

การควบคุมตำแหน่งและความเร็วของเซอร์โวไฮดรอลิกส์  
ด้วยระบบ พี ไอ ดี และ ฟิชชีลอจิก

เดชฤทธิ์ มณีธรรม

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
กรกฎาคม 2560  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



การควบคุมตำแหน่งและความเร็วของเซอร์โวไฮดรอลิกส์  
ด้วยระบบ พี ไอ ดี และ พีซีลอจิก

เดชฤทธิ์ มณีธรรม

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

กรกฎาคม 2560

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม





คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายเดชฤทธิ์ มณีธรรม  
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  
(ผศ.ดร.อดิเรก จันทะคุณ)

.....  
(รศ.ดร.วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล)

.....  
(ผศ.ดร.ชลธิ โพธิ์ทอง)

.....  
(ผศ.ดร.นิวัตร อังควิเศษฐพันธ์)

ประธานกรรมการ

(ผู้ทรงคุณวุฒิ)

กรรมการ

(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก)

กรรมการ

(อาจารย์บัณฑิตศึกษาประจำคณะ)

กรรมการ

(อาจารย์บัณฑิตศึกษาประจำคณะ)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....  
(รศ.ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....  
(ศ.ดร.ประดิษฐ์ เทอดพูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 31 เดือน 11 พ.ศ. 2560



### กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีนั้น ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งของคณาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิหลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำทั้งด้านวิชาการและให้กำลังใจ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้โดยสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนเวลาในการศึกษา และปฏิบัติงานวิจัย อีกทั้งบริษัทและหน่วยงานที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์วัสดุ และครุภัณฑ์ในการวิจัย จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดีมา ณ โอกาสนี้

เดชฤทธิ์ มณีธรรม



|                  |                                                                               |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อเรื่อง       | การควบคุมตำแหน่งและความเร็วของเซอร์โวไฮดรอลิกส์ด้วยระบบ พี ไอ ดี และพีซีลอจิก |
| ผู้วิจัย         | นายเดชฤทธิ์ มณีธรรม                                                           |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณน์ เสงี่ยมวิบูล                                         |
| ปริญญา           | ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์                        |
| มหาวิทยาลัย      | มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2560                                          |

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการควบคุมความดันของน้ำมันที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของลูกสูบให้ตรงตามตำแหน่งและความเร็ว และเพื่อเปรียบเทียบผลการควบคุมความดันของน้ำมันด้วยการทดลองการเคลื่อนที่ของลูกสูบด้วยระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์และการจำลองสถานการณ์

จากการศึกษาทำให้ สามารถได้แสดงให้เห็นว่า การทดลองเพื่อควบคุมตำแหน่งและความเร็วของระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์ โดยการทดสอบระบบควบคุมแบบพีไอดี ระบบควบคุมแบบพีซีลอจิก และระบบควบคุมแบบ โดยการควบคุมทั้ง 3 แบบนี้ ทำให้สามารถควบคุมตำแหน่งและความเร็วของระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์ได้ผลใกล้เคียงกัน แต่การควบคุมระบบไฮดรอลิกส์จะเป็นการควบคุมจากตัวต้นกำลัง และสามารถควบคุมแรงดัน อัตราการไหล และค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ที่มีผลทำให้ลูกสูบสามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วและตำแหน่งที่ถูกต้อง และผลการทดลองสามารถหาค่าความผันแปรของค่าความผิดพลาดจากการควบคุมทั้ง 3 ระบบได้

ผลการจำลองการทำงานของวงจรการทดลอง เพื่อควบคุมตำแหน่งและความเร็วของระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์ แสดงให้เห็นว่าวงจรสามารถทำงานได้ตามทฤษฎีที่ออกแบบไว้

**คำสำคัญ:** ไมโครคอนโทรลเลอร์; ระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์; ระบบควบคุม



**TITLE** Position and Speed Control with Hydraulic Servo System Control by  
PID and Fuzzy Logic System

**AUTHOR** Mr. Dechrit Maneetham

**ADVISORS** Assoc. Prof. Dr. Worawat Sa-Ngiamvibool, Ph.D.

**DEGREE** Doctor of Philosophy **MAJOR** Electrical and Computer Engineering

**UNIVERSITY** Mahasarakham University **YEAR** 2017

### ABSTRACT

The propose of this thesis is to study the pressure control of the oil that affects the movement of the piston to the position and speed, and to compare the results of the oil pressure control with the piston of hydraulic servo system and simulation.

From my research, can show that experiment to control the position and velocity of hydraulic servo systems. By testing the PID control system,. fuzzy logic control and hybrid control system. These three controls, the position and speed of the hydraulic servo system can be controlled. The results are similar but the hydraulic control is controlled by the power source and can control pressure, flow rate and other parameters. The result is that the piston can move a high accuracy of speed and position and Experiments were able to find the variation of the error values from all three controls.

The simulation results of the experimental circuit. To control the position and speed of hydraulic servo systems. Show that the circuit can work according to the theory designed.

**Keyword:** microcontroller; hydraulic servo system; control system



## สารบัญ

## หน้า

|                                                     |       |
|-----------------------------------------------------|-------|
| กิตติกรรมประกาศ                                     | ค     |
| บทคัดย่อภาษาไทย                                     | ก     |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                                  | ข     |
| สารบัญ                                              | ง     |
| สารบัญตาราง                                         | ฉ     |
| สารบัญภาพ                                           | ช     |
| <br>บทที่ 1 บทนำ                                    | <br>1 |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา                       | 1     |
| 1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย                         | 4     |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย                               | 4     |
| 1.4 สมมุติฐานของการวิจัย                            | 5     |
| 1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น                                | 5     |
| 1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ                                 | 5     |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง              | 7     |
| 2.1 ระบบไฮดรอลิกส์                                  | 7     |
| 2.2 การควบคุมระบบไฮดรอลิกส์                         | 12    |
| 2.3 การควบคุมสัญญาณ                                 | 14    |
| 2.4 หลักการควบคุมอันดับหนึ่งและอันดับสอง            | 15    |
| 2.5 ระบบควบคุมแบบ พี ไอ ดี                          | 19    |
| 2.6 ระบบควบคุมแบบ ฟีดแบ็ค                           | 22    |
| 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                           | 25    |
| 2.8 สรุปกรอบแนวคิดในการวิจัย                        | 26    |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย                          | 27    |
| 3.1 การศึกษาและกำหนดทฤษฎีสำหรับการทดลอง             | 27    |
| 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและการสร้างเครื่องมือ | 27    |
| 3.3 ขั้นตอนและวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล               | 30    |
| 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้                | 33    |
| 3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล                             | 33    |
| 3.6 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์                             | 33    |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย                     | 45    |
| 4.1 ผลการทดลองระบบเปิด (open loop)                  | 46    |
| 4.2 ผลการทดลองระบบปิด (closed loop control)         | 50    |
| 4.3 ผลการจำลองการทำงาน                              | 56    |



## หน้า

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ            | 57  |
| 5.1 สรุปผล                                        | 57  |
| 5.2 อภิปรายผล                                     | 59  |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ                                    | 60  |
| เอกสารอ้างอิง                                     | 61  |
| ภาคผนวก                                           | 64  |
| ภาคผนวก ก การควบคุมความดันในระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์ | 65  |
| ภาคผนวก ข ภาษาซี                                  | 79  |
| ประวัติย่อผู้วิจัย                                | 100 |



## สารบัญตาราง

| ตารางที่                                                                                                                                 | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 3.1 แสดงการกำหนดความสัมพันธ์ของการทดลองระหว่างความดันและความถี่ตาม<br>ทฤษฎีการควบคุมแบบพี ไอ ดี (PID control)                            | 31   |
| 3.2 แสดงการกำหนดความสัมพันธ์ของการทดลองระหว่างความดันและความถี่ตาม<br>ทฤษฎีการควบคุมแบบฟัซซี่ (fuzzy control) และไฮบริด (hybrid control) | 32   |
| 3.3 ค่าพารามิเตอร์ในระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์                                                                                                | 40   |
| 5.1 ความผันแปรของค่าความผิดพลาดของระบบกำลังไฮดรอลิกส์                                                                                    | 59   |



## สารบัญภาพ

| ภาพที่                                                               | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 เครื่องปั๊มขึ้นงาน                                               | 8    |
| 2.2 เครื่องพับ-ตัดขึ้นงาน                                            | 8    |
| 2.3 รถยกของ                                                          | 9    |
| 2.4 เครื่องจักรชุดลอกแม่น้ำหรือลำคลอง                                | 10   |
| 2.5 เครื่องจักรชุดเจาะน้ำมัน                                         | 10   |
| 2.6 อุตสาหกรรมต่อเรือ                                                | 10   |
| 2.7 เครื่องจักรเทอร์โบ                                               | 11   |
| 2.8 อุตสาหกรรมในงานโยธา                                              | 11   |
| 2.9 อุตสาหกรรมการบิน                                                 | 11   |
| 2.10 วงจรควบคุมไฮดรอลิกส์ด้วยน้ำมัน                                  | 12   |
| 2.11 วงจรควบคุมไฮดรอลิกส์ด้วยไฟฟ้า                                   | 13   |
| 2.12 แผนผังกรอบของตัวควบคุมเชิงเลข                                   | 14   |
| 2.13 การควบคุมแบบป้อนกลับ                                            | 16   |
| 2.14 การควบคุมแบบป้อนกลับแสดงการตอบสนองของระบบอันดับหนึ่ง            | 17   |
| 2.15 การตอบสนองของระบบอันดับสองเมื่ออินพุตเป็น unit step ทั้ง 4 กรณี | 17   |
| 2.16 บล็อกไดอะแกรมของคอนโทรลเลอร์แบบ PID                             | 19   |
| 2.17 PV vs time โดยเปลี่ยนค่า $K_p$ (ค่า $K_i$ และ $K_d$ คงที่)      | 20   |
| 2.18 PV vs time โดยเปลี่ยนค่า $K_i$ (ค่า $K_p$ และ $K_d$ คงที่)      | 21   |
| 2.19 PV vs time โดยเปลี่ยนค่า $K_d$ (ค่า $K_p$ และ $K_i$ คงที่)      | 21   |
| 2.20 โครงสร้างพื้นฐานการประมวลผลแบบพีซี                              | 22   |
| 2.21 ขั้นตอนการประมวลผลแบบพีซี                                       | 23   |
| 2.22 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบพีซีล็อกจิก                       | 23   |
| 2.23 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบพีซีล็อกจิก                       | 24   |
| 2.24 ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบพีซีล็อกจิก                       | 24   |
| 2.25 ขั้นตอนที่ 4 ของการประมวลผลแบบพีซีล็อกจิก                       | 25   |
| 3.1 แสดงไดอะแกรมการทำงานของระบบไฮดรอลิกส์                            | 28   |
| 3.2 ชุดอุปกรณ์ของระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์                               | 29   |
| 3.3 วงจรควบคุมของระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์                               | 29   |
| 3.4 แสดงการจำลองสถานการณ์ (simulation)                               | 30   |
| 3.5 แสดงไดอะแกรมการเคลื่อนที่ของลูกสูบ                               | 33   |
| 3.6 การจำลองระบบงานด้วยกล่อง                                         | 35   |
| 3.7 หน้าต่างแสดง “Ident” Tool Box                                    | 37   |



ภาพที่

หน้า

|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.8 แสดงการควบคุมสัดส่วนเชิงเส้นของระบบอันดับที่สอง (estimated1)<br>และการควบคุมสัดส่วนเชิงเส้นของระบบอันดับที่สาม (estimated2) | 38 |
| 3.9 โครงสร้างของระบบควบคุมแบบฟัซซีลอจิก                                                                                         | 40 |
| 3.10 การออกแบบฟังก์ชันสมาชิกของอินพุต                                                                                           | 42 |
| 3.11 การออกแบบฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุต...                                                                                      | 42 |
| 3.12 โครงสร้างการอินเตอร์เฟสของระบบควบคุมแบบฟัซซีลอจิก                                                                          | 42 |
| 3.13 กฎการควบคุมฟัซซีลอจิก                                                                                                      | 43 |
| 3.14 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตและอินพุตของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก                                                           | 43 |
| 4.1 ไดอะแกรมการทำงานของระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์                                                                                    | 45 |
| 4.2 การหาค่าความเสียหายของน้ำมัน                                                                                                | 46 |
| 4.3 ชุดทดลองเซอร์โวไฮดรอลิกส์                                                                                                   | 46 |
| 4.4 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมเซอร์โวไฮดรอลิกส์ระบบเปิด                                                                             | 47 |
| 4.5 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ที่สัญญาณอินพุต 1 เฮิรท์ และความดัน 30 บาร์                                                       | 48 |
| 4.6 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ที่สัญญาณอินพุต 6 เฮิรท์ และความดัน 30 บาร์                                                       | 48 |
| 4.7 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ที่สัญญาณอินพุต 1 เฮิรท์ และความดัน 40 บาร์                                                       | 48 |
| 4.8 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ที่สัญญาณอินพุต 6 เฮิรท์ และความดัน 40 บาร์                                                       | 49 |
| 4.9 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ที่สัญญาณอินพุต 1 เฮิรท์ และความดัน 50 บาร์                                                       | 49 |
| 4.10 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ที่สัญญาณอินพุต 6 เฮิรท์ และความดัน 50 บาร์                                                      | 49 |
| 4.11 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ที่สัญญาณอินพุต 6 เฮิรท์ และความดัน 50 บาร์                                                      | 50 |
| 4.12 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมเซอร์โวไฮดรอลิกส์ระบบปิด                                                                             | 51 |
| 4.13 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบพีไอดี                                                                                            | 52 |
| 4.14 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบฟัซซีลอจิก                                                                                        | 52 |
| 4.15 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบไฮบริด                                                                                            | 52 |
| 4.16 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมความเร็ว แรง และแรงเสียหาย                                                                           | 53 |
| 4.17 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบลิเนียร์โพเทนชิโอเมเตอร์                                                                          | 53 |
| 4.18 การควบคุมแบบพีไอดี (PID controller)                                                                                        | 53 |
| 4.19 การควบคุมแบบฟัซซีลอจิก (fuzzy logic)                                                                                       | 54 |
| 4.20 การควบคุมแบบไฮบริด (hybrid control)                                                                                        | 54 |
| 4.21 การทดสอบการควบคุมตำแหน่งของลูกสูบด้วยการควบคุมแบบพีไอดี                                                                    | 55 |
| 4.22 การทดสอบการควบคุมตำแหน่งของลูกสูบด้วยการควบคุมแบบฟัซซีลอจิก                                                                | 55 |
| 4.23 การทดสอบการควบคุมตำแหน่งของลูกสูบด้วยการควบคุมแบบไฮบริด                                                                    | 55 |
| 4.24 การทดสอบการควบคุมความเร็วของลูกสูบด้วยการควบคุมแบบพีไอดี                                                                   | 55 |
| 4.25 การทดสอบการควบคุมความเร็วของลูกสูบด้วยการควบคุมแบบฟัซซีลอจิก                                                               | 56 |
| 4.26 การทดสอบการควบคุมความเร็วของลูกสูบด้วยการควบคุมแบบไฮบริด.                                                                  | 56 |



## ภาพที่

## หน้า

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| 5.1 การควบคุมแบบพีไอดี (PID controller)   | 57 |
| 5.2 การควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก (fuzzy logic) | 58 |
| 5.3 การควบคุมแบบไฮบริด (hybrid control)   | 58 |



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ระบบไฮดรอลิกส์เป็นระบบที่มีการส่งถ่ายพลังงาน (transmission) ของของไหลให้เป็นพลังงานกลโดยผ่านตัวกระทำ (actuators) เช่น กระบอกสูบ (cylinder) มอเตอร์ไฮดรอลิกส์ (hydraulic motor) ในอุตสาหกรรมนิยมใช้น้ำมันไฮดรอลิกส์ (hydraulic oil) เป็นตัวกลาง ในการส่งถ่ายพลังงาน เพราะน้ำมันไฮดรอลิกส์มีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ ไม่สามารถยุบตัวได้ (incompressible) จึงทำให้การส่งถ่ายพลังงานมีประสิทธิภาพมาก ในปัจจุบันได้มีการนำระบบไฮดรอลิกส์ไปใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย แยกตามประเภทอุตสาหกรรม คือ อุตสาหกรรมเหล็ก อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ และการพิมพ์ งานด้านวิศวกรรมโยธา งานด้านการเดินเรือทะเล งานสำรวจแหล่งแร่ ขุด เจาะ ต่างๆ อุตสาหกรรมยาง ไม้ และอุตสาหกรรมพลาสติก ซึ่งระบบไฮดรอลิกส์ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ส่วนแรกเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน ทำหน้าที่ส่งถ่ายพลังงานน้ำมันเข้าสู่ระบบ โดยมีมอเตอร์ไฟฟ้า หรือเครื่องยนต์เป็นตัวขับ (drive) ไฮดรอลิกส์ปั๊มให้หมุน เพื่อที่จะดูดน้ำมัน จากถังพักเข้ามาในตัวเสื้อของปั๊ม และส่งออกไปสู่ระบบ โดยส่วนมากมักจะเรียกส่วนนี้ว่าแหล่งจ่ายพลังงาน (power unit) ซึ่งจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ไฮดรอลิกส์ปั๊ม (hydraulic pump) มอเตอร์ไฟฟ้า หรือเครื่องยนต์ขับ ถังพักน้ำมัน (tank) ไส้กรองน้ำมัน (strainer) ชุดวัดระดับน้ำมัน (level gauge) ฝาเติมน้ำมัน และระบายอากาศ (air breather) วาล์วปลดความดัน หรือเรียกอีกชื่อว่า รีลิววาล์ว (pressure relief valve) วาล์วควบคุมความดันของน้ำมันในระบบ (pressure control)

ส่วนที่สอง คือระบบควบคุมการทำงาน เป็นระบบที่ใช้ควบคุมการทำงานของกระบอกไฮดรอลิกส์ หรือไฮดรอลิกส์มอเตอร์ โดยควบคุมทิศทางการไหลของน้ำมัน (directional control) ทำให้กระบอกเคลื่อนที่ เข้า ออก ได้ เช่น โซลินอยด์วาล์ว (solenoid valve) เป็นต้น เพื่อจำกัดความดันในการใช้งานต่างๆ ให้เป็นไปตามต้องการ อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมความดัน ได้แก่ วาล์วลดความดัน (pressure reducing valve) วาล์วจัดลำดับความดัน (pressure sequence valve) เคาน์เตอร์บาลานซ์วาล์ว (counter balancing valve) อันโหลดวาล์ว (unloading valve)

ส่วนที่สาม คือระบบควบคุมปริมาณการไหลของน้ำมัน (flow control) เพื่อจำกัดปริมาณการไหลของน้ำมันให้มากหรือน้อย ทำให้สามารถควบคุมความเร็วของอุปกรณ์ทำงานได้ [1,2,3]

ในการควบคุมอุปกรณ์การทำงาน (actuator) ในระบบไฮดรอลิกส์ให้ทำงานตามคำสั่งที่ต้องการนั้น อุปกรณ์สำคัญที่ทำให้อุปกรณ์ทำงานเปลี่ยนทิศทางและตำแหน่งได้ก็คือ วาล์วควบคุมทิศทาง (directional control valve) โดยในการเลื่อนวาล์วควบคุมสัญญาณทิศทางนั้นสามารถทำได้หลายวิธีเช่นการเลื่อนวาล์วโดยใช้มือ การเลื่อนโดยใช้กลไก การเลื่อนโดยใช้น้ำมัน และการเลื่อนวาล์วโดยใช้สัญญาณน้ำมัน และการเลื่อนวาล์วโดยใช้สัญญาณไฟฟ้า ซึ่งการเลื่อนวาล์วโดยใช้สัญญาณไฟฟ้าก็คือ โซลินอยด์วาล์ว (solenoid valve) นั่นเอง โดยโครงสร้างของโซลินอยด์วาล์ว จะประกอบด้วยสองส่วนหลักคือ ชุดขดลวดหรือ โซลินอยด์กับตัววาล์ว สำหรับชุดขดลวดจะใช้ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กเพื่อให้เกิดแรงในการเลื่อนแกนภายใน และแกนดังกล่าวนี้จะถูกนำไปใช้เป็นตัว



สั่งงานในการเลื่อนวาล์ว ในส่วนของโซลินอยด์โดยทั่วไปจะมีให้เลือกอยู่ 2 แบบ คือ โซลินอยด์ใช้กับไฟตรง และโซลินอยด์ที่ใช้กับไฟสลับ ส่วนเซอร์โววาล์ว (servo valve) จะมีหลักการทำงานที่แตกต่างจากโซลินอยด์วาล์ว โดยโซลินอยด์วาล์วจะอาศัยหลักการทำงานเป็นแบบปิดเปิด (off-on) เพื่อควบคุมให้ลูกสูบเคลื่อนที่เข้า ออกสู่ระยะการทำงานเท่านั้นเอง แต่เซอร์โววาล์ว จะมีระบบควบคุมที่มีการตรวจสอบและบังคับเอาต์พุตระบบด้วยตัวเองของมัน เพื่อให้ติดตามสัญญาณคำสั่งหรือสัญญาณอ้างอิงได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ ซึ่งหมายถึงผลที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาดในอุปกรณ์ควบคุมเอง รวมทั้งผลที่เกิดขึ้นจากโหลดหรือการรบกวนภายนอกสามารถที่จะปรับลดลงได้ โดยเราเรียกระบบดังกล่าวว่า ระบบการควบคุมวงจรรอบปิด (closed loop system) หรือควบคุมแบบป้อนกลับ (feedback control system) เซอร์โววาล์วนับเป็นวาล์วอนาล็อก (analog valve) ที่สามารถได้อย่างต่อเนื่องด้วยสัญญาณอินพุตสั่งงานที่เป็นแบบต่อเนื่องแต่จะมีสมรรถนะในการทำงานที่สูงกว่าพอร์พอร์ชันนัลวาล์ว สำหรับเซอร์โววาล์วในระบบไฮดรอลิกส์สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ด้วยกันคือ วาล์วควบคุมทิศทาง วาล์วควบคุมความดัน และวาล์วควบคุมการไหล ซึ่งวาล์วแต่ละกลุ่มก็จะทำหน้าที่แตกต่างกันออกไป ด้วยคุณสมบัติที่สามารถควบคุมการทำงานได้อย่างต่อเนื่องจึงส่งผลให้ชนิดของวาล์วที่ค่อนข้างมีบทบาทมากที่สุดในการนำมาประยุกต์ใช้งานก็คือ วาล์วควบคุมทิศทาง ทั้งนี้เพราะนอกจากจะควบคุมทิศทางได้แล้วยังสามารถควบคุมการไหลภายในตัวมันเอง และสามารถนำมาใช้ควบคุมความดันได้อีกด้วย

ระบบควบคุมแบบเซอร์โวที่ใช้ไฟฟ้าและระบบ ไฮดรอลิกส์มีหลายชนิดด้วยกัน ซึ่งแต่ละชนิดจะให้การควบคุมทั้งตำแหน่งและอัตราการไหลของน้ำมันที่มีความเที่ยงตรงมากทั้งสิ้น โดยปกติแล้วมักใช้ควบคุมกระบอกสูบไฮดรอลิกหรือมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ แต่ถ้าต้องการปริมาณน้ำมันมาก ๆ ก็ให้ใช้ควบคุมการทำงานของปั๊มไฮดรอลิกส์ชนิดปรับแต่งค่าการส่งน้ำมันได้ ในลักษณะงานที่ต้องการค่าความละเอียดของการเคลื่อนที่ของสปูลวาล์วนั้นให้ละเอียดเช่นเซอร์โวจับตำแหน่งที่เรียกว่า LVDT การเคลื่อนที่ของสปูลวาล์วจะถูกควบคุมโดยสัญญาณอินพุตตั้งนั้นแรงที่ดันสปูลวาล์วจึงเป็นอิสระจากค่าอื่น ๆ เช่น อัตราการไหล ความดัน และความเสียดทาน ด้วยเหตุผลนี้เอง อัตราการไหลของวาล์วจะควบคุมโดยสัญญาณอินพุตทั้งสองด้าน และความดันตกคร่อมที่ไหลผ่านวาล์วมีค่าเป็นสัดส่วนโดยประมาณกับรากที่สองของความดันแตกต่าง ข้อสรุปของการนำวาล์วควบคุมทิศทางไปใช้งาน

1. วาล์วควบคุมทิศทางแบบกระทำโดยตรงไม่มีสัญญาณย้อนกลับเหมาะกับลักษณะงานที่ต้องการตำแหน่งทำงานที่เที่ยงตรงไม่มากนัก
2. วาล์วควบคุมทิศทางแบบกระทำโดยตรงมีสัญญาณย้อนกลับเหมาะกับลักษณะงานที่ต้องการตำแหน่งทำงานที่มีความเที่ยงตรงมากขึ้นกว่าแบบไม่มีสัญญาณย้อนกลับ
3. วาล์วควบคุมทิศทางแบบไหลตามมีสัญญาณย้อนกลับเหมาะกับลักษณะงานที่ต้องการตำแหน่งทำงานที่เที่ยงตรง และมีอัตราการไหลของน้ำมันมากกว่าแบบกระทำโดยตรง

การควบคุมตำแหน่งและความเร็ว คือการควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันให้คงที่หรือให้เป็นไปตามที่ต้องการ โดยอัตราการไหลขึ้นอยู่กับสัญญาณคำสั่งหรืออ้างอิงเพียงอย่างเดียว [4] และต้องรักษาความดันที่ตกคร่อมวาล์วให้คงที่เนื่องจากอัตราการไหลขึ้นอยู่กับค่าดังกล่าว นอกจากนั้นต้องใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับอัตราการไหลของน้ำมันที่เข้าไปยังอุปกรณ์การทำงานแล้วส่งสัญญาณที่ได้กลับไปยังชุดควบคุม พี ไอ ดี ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับความเร็วแบบโพเทนชิโอมิเตอร์ หรือความดันทานแบบปรับค่าได้แบบเชิงเส้น ส่วนการควบคุมแรงและแรงดัน เนื่องจากความดันเป็นสัดส่วน



โดยตรงกับแรงที่ได้จากอุปกรณ์ทำงาน ดังนั้นการควบคุมความดันก็คือการควบคุมแรงนั่นเอง แต่เพื่อความสะดวกในบางครั้งการวัดความดันอาจวัดแรงโดยตรงก็สามารถที่จะทำได้ด้วยการใช้เซ็นเซอร์วัดแรงซึ่งอยู่ในรูปของโหลดเซลล์แล้วนำเอาสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ป้อนกลับไปยังชุดควบคุม พี ไอ ดี

Rong และคณะ [5] ได้ใช้ตัวควบคุมแบบ Pulse Width Modulation (PWM) ที่เครื่องอัดขึ้นงานด้วยโปรแกรมควบคุมตำแหน่ง (position) และความเร็ว (speed) โดยการควบคุมอัตราการไหลของน้ำมัน ที่ใช้สัญญาณการป้อนกลับเป็นแรงดันที่ป้อนให้วาล์ว ON/OFF Keles และ Ercan [6] การทดสอบแบบระบบเปิด ด้วยการตอบสนองด้วยสัญญาณคลื่นแบบไซน์ (Sinusoidal) และระบบปิดโดยลูปภายในมีการใช้ PI ควบคุมตำแหน่ง (position) การเคลื่อนที่ของลูกสูบ Li et al [7] การควบคุมความเร็ว (speed) ของลูกสูบ โดยใช้ทฤษฎี พี ดี ประยุกต์ใช้รูปแบบการเคลื่อนที่ของความเร็วแบบสี่เหลี่ยมคางหมูและยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ Measson et al [8] ได้ใช้การควบคุมแบบ PID ควบคุมแรง (force) และความเร็ว (speed) แขนหุ่นยนต์แบบไฮดรอลิกส์ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการหยิบจับชิ้นงาน Branco และ Dente [9] ได้กล่าวถึงการใชทฤษฎีฟัซซี ในการควบคุมตำแหน่งของระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์ และเปรียบเทียบกับวิธีการจำลองโมเดลการซึมมูละชั้น อ้างว่าสามารถลดผลกระทบของความไม่เชิงเส้น (Nonlinearities) ในระบบควบคุมได้. Mudi และ Pal [10] ได้ใช้ตัวควบคุมแบบปรับตัว (self-tuning) แบบพี ไอ ควบคุมระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์ ร่วมกับทฤษฎีฟัซซี โดยชุดควบคุมนี้จะปรับตัวเองโดยอัตโนมัติเพื่อหาค่าเสถียรภาพที่ดีที่สุดในการควบคุมที่สภาวะที่แตกต่างกัน Berger [11] ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีเพื่อควบคุมตำแหน่ง (position) ของลูกสูบในการป้อนกลับแบบจำลองและมีตัวสังเกต (observer) สำหรับชดเชยความไม่เป็นเชิงเส้น และความไม่แน่นอนของระบบ Yamazaki [12] แนะนำให้มีการเลือกใช้ทฤษฎีการควบคุมให้เหมาะสมของรูปแบบการเคลื่อนที่ให้สอดคล้องกับงานแต่ละงานเช่น ฟัซซี – พีไอดี ฟัซซี – พีไอ ฟัซซี – พีดี เป็นต้น

ดังนั้นแนวทางในการแก้ไขและพัฒนาการควบคุมเซอร์โวไฮดรอลิกส์เพื่อควบคุมตำแหน่ง (position) และความเร็ว (speed) ของลูกสูบให้ได้ตามต้องการ โดยจะใช้ทฤษฎีในการควบคุมตำแหน่งและความเร็วของลูกสูบด้วย พีไอดี (PID) และฟัซซีลอจิก (fuzzy logic) เพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพและเหมาะสมที่สุด (optimize) โดยอาศัยคณิตศาสตร์ขั้นสูงในการเปลี่ยนอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบไฮดรอลิกส์ และควบคุมให้อยู่ในรูปของโมเดลทางคณิตศาสตร์แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมแมทแล็บ (MATLAB) โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะทำให้เราทราบค่าเกณฑ์ต่าง ๆ ของชุดควบคุมควรมีค่าเป็นเท่าใด ระบบจึงจะมีเสถียรภาพและเหมาะสมที่สุด อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในเชิงทฤษฎีจะทำให้เราสามารถประมาณการได้ว่าค่าเกณฑ์ของโหมดควบคุมต่าง ๆ ควรมีค่าประมาณเท่าใด ซึ่งจะทำให้สามารถปรับค่าเกณฑ์ของโหมดควบคุมต่าง ๆ ในการปฏิบัติงานจริงได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น



## 1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการควบคุมความดันของน้ำมันที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของลูกสูบให้ตรงตามตำแหน่ง และความเร็ว
2. เพื่อเปรียบเทียบผลการควบคุมความดันของน้ำมันด้วยการทดลองการเคลื่อนที่ของลูกสูบด้วยระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์และการจำลองสถานการณ์

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตด้านต่าง ๆ ของการวิจัยดังนี้

### 1. ขอบเขตด้านทฤษฎีของการทดลอง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีของการควบคุมระบบไฮดรอลิกส์จากจำนวน 4 แบบ คือ ทฤษฎีการควบคุมแบบพี ไอ ดี (PID control) ทฤษฎีการควบคุมแบบฟัซซีลอจิก (fuzzy logic) ทฤษฎีของการควบคุมแบบสไลด์ิงโหมด (sliding mode) ทฤษฎีการควบคุมแบบโรบัสต์ (robust control) ทฤษฎีการควบคุมความดันฟิวเตอร์ (karma filter control) ทฤษฎีการควบคุมแบบเอสทู (h2 control) และทฤษฎีการควบคุมแบบเอสอินฟินิตี้ ( $h_\infty$  control) ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกจำเพาะเจาะจงให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยโดยการเลือกใช้ 3 ทฤษฎี ได้แก่

1.1 ทฤษฎีการควบคุมแบบพี ไอ ดี (PID Control) เพื่อต้องการปรับแก้ไขสมการควบคุม เช่น สามารถกระทำการ บวก ลบ คูณ หาร อินทิเกรต รวมทั้งการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงหรืออนุพันธ์ได้ ด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า

1.2 ทฤษฎีการควบคุมแบบฟัซซีลอจิก (fuzzy logic) ใช้สำหรับการปรับค่าเกณฑ์ค่าความผิดพลาด และอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด

1.3 ทฤษฎีการควบคุมแบบไฮบริด (hybrid Control) ใช้สำหรับการปรับค่าเกณฑ์ระหว่างทฤษฎีการควบคุมแบบพี ไอ ดี กับ ทฤษฎีการควบคุมแบบฟัซซีลอจิก ให้ลูกสูบมีความเร็วและแม่นยำมากที่สุด

### 2. ขอบเขตด้านเนื้อหา

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยมุ่งศึกษาตามขอบเขตของเนื้อหาเพื่อให้นำมาสนับสนุนการศึกษาทดลองให้เป็นไปตามความมุ่งหมายของการวิจัยดังต่อไปนี้

2.1 ศึกษาและค้นคว้าทฤษฎีการควบคุมแบบพี ไอ ดี (PID control) โดยศึกษาและค้นคว้าการควบคุมแบบสัดส่วนบวกกับอนุพันธ์ (PD control) หรือศึกษาค้นคว้าตัวควบคุมแบบสัดส่วนใช้ร่วมกับอินทิกรัล (PI control) ตลอดจนศึกษาค้นคว้าการใช้ตัวควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับตัวควบคุมแบบอินทิกรัลและตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (PID control)

2.2 ศึกษาและค้นคว้าทฤษฎีการควบคุมแบบฟัซซี (fuzzy logic) โดยศึกษาและค้นคว้าการควบคุมและประยุกต์งานควบคุมที่มีลักษณะไม่เชิงเส้น โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ แบบฟัซซิฟิเคชัน (fuzzification) การวินิจฉัย (fuzzy inference) และดีฟัซซิฟิเคชัน (defuzzification)



3. ขอบเขตด้านการทดลอง ผู้วิจัยกำหนดตัวแปรสำหรับการวิจัยในครั้งนี้คือ

3.1 ตัวแปรต้น คือปัจจัยที่ใช้ในการทดลองการควบคุมการเคลื่อนที่ของลูกสูบ ได้แก่ ความดันของน้ำมัน และ ความถี่ โดยผู้วิจัยกำหนดช่วงของความดันที่ทดลองจากมาตรฐานการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปดังนี้

3.1.1 ความดันของน้ำมัน ที่ทดลองคือ 30, 40, 50 และ 60 บาร์ ตามลำดับ

3.1.2 ความถี่ ที่ใช้ในการทดลอง คือ 1, 2, 3, 4, 5, 6 เฮิรท์ซ์ ตามลำดับ

3.2 ตัวแปรตาม คือ ความแม่นยำของการเคลื่อนที่ลูกสูบ ได้แก่ ตำแหน่ง (position) และความเร็ว (speed)

4. ขอบเขตด้านระยะเวลา ผู้วิจัยจะใช้เวลาศึกษาและพัฒนา ระหว่างเดือนเมษายน พ.ศ. 2559 – มีนาคม พ.ศ. 2560

#### 1.4 สมมติฐานของการวิจัย

การควบคุมตำแหน่งและความเร็วของลูกสูบด้วยทฤษฎีของ พี ไอ ดี และทฤษฎีของฟัซซีลอจิก ทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งและความเร็วของลูกสูบที่แน่นอนในการเคลื่อนที่

#### 1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น

การทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดสมบัติเฉพาะของกระบอกสูบไฮดรอลิกส์สำหรับการทดลอง เพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานในระบบอุตสาหกรรมที่นิยมใช้งานไว้ดังนี้

1. ขนาดของลูกสูบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ระยะชักสูงสุด 200 มิลลิเมตร
2. น้ำหนักที่ปลายกระบอกสูบไฮดรอลิกส์เฉพาะ 9 กิโลกรัม
3. เซอร์โววาล์ว แบบ 4/3
4. อัตราการไหลของน้ำมันสูงสุด 4 ลิตร/นาที

#### 1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ทฤษฎีการควบคุม หมายถึง ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาทดลองการควบคุมตำแหน่งและความเร็วของลูกสูบด้วย เพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพและเหมาะสมที่สุด ในที่นี้ได้แก่ทฤษฎีการควบคุมพีไอดี (PID) และทฤษฎีการควบคุม ฟัซซีลอจิก (fuzzy logic)

2. ปัจจัยการควบคุมการเคลื่อนที่ของลูกสูบ หมายถึง คุณสมบัติที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ได้แก่ ความดัน ความถี่ ที่ใช้ในการทดลอง

3. การควบคุมตำแหน่ง หมายถึง การกำหนดค่าระยะทางการเคลื่อนที่ของลูกสูบอย่างแม่นยำ เพื่อให้มีความสัมพันธ์กับความเร็ว

4. การควบคุมความเร็ว หมายถึง การกำหนดค่าความเร็วของลูกสูบ ให้ได้ความเร็วตามการปรับความดันของระบบที่ 30 บาร์ 40 บาร์ และ 50 บาร์



5. การซิมูเลชัน หมายถึง การทดลองการควบคุมระบบเปิด (open loop) และระบบปิด (closed loop) โดยวิธีจำลองผลทางคณิตศาสตร์

6. การเคลื่อนที่อย่างแม่นยำ หมายถึง ผลการเปรียบเทียบค่าความเร็วและตำแหน่งระหว่างเครื่องเซอร์โวไฮดรอลิกส์กับการจำลองผลทางคณิตศาสตร์ที่มีค่าความใกล้เคียงกันในระดับที่รับได้



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยเรื่อง การควบคุมตำแหน่งและความเร็วของเซอร์โวไฮดรอลิกส์ ด้วยระบบพี ไอ ดี และพีซีลอจิก ครั้งนี้ได้ศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจากเอกสาร ตำราและงานวิจัย ซึ่งจะเป็นประโยชน์และทำให้การวิจัยครั้งนี้บรรลุตามจุดมุ่งหมายที่ตั้งไว้ ดังต่อไปนี้

1. ระบบไฮดรอลิกส์
2. การควบคุมระบบไฮดรอลิกส์
3. การควบคุมสัญญาณ
4. หลักการควบคุมอันดับหนึ่งและอันดับสอง
5. ระบบควบคุมแบบ พี ไอ ดี
6. ระบบควบคุมแบบ พีซีลอจิก
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
8. สรุปกรอบแนวคิดในการวิจัย

### 2.1 ระบบไฮดรอลิกส์

ระบบไฮดรอลิกส์มีใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ระบบไฮดรอลิกส์สามารถควบคุมอุปกรณ์ขนาดเล็กขนาดกลาง หรือเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ที่มีขนาดปานกลาง ไปจนถึงขนาดใหญ่ หรืองานที่ต้องการกำลังมาก (heavy load) เช่น เครื่องปั๊มขึ้นงาน (press machine) เครื่องฉีดพลาสติก (injection molding) การประกอบชิ้นส่วนอัตโนมัติ (automatic assembly) หรือหุ่นยนต์อุตสาหกรรม (industrial robot) เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วการทำงานของระบบไฮดรอลิกส์ จะเหมือนกับระบบนิวแมติกส์ คือจะมีการควบคุมทิศทางการทำงาน ส่วนอุปกรณ์และวงจรอื่นๆจะเหมือนกัน แต่จะแตกต่างกันตรงที่ระบบนิวแมติกส์ จะใช้ลมเป็นตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน โดยปกติจะใช้ความดันที่ 6-8 bar และลมจะถูกปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศ ส่วนระบบไฮดรอลิกส์ จะใช้น้ำมันเป็นตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงาน โดยปกติจะใช้ความดันที่ 30-400 บาร์ แต่น้ำมันจะไหลกลับสู่ถังเก็บน้ำมันเหมือนเดิม ตัวกลางระหว่างลมกับน้ำมันนั้น น้ำมันจะมีการยุบตัวน้อยกว่าระบบลม จึงทำให้ระบบไฮดรอลิกส์ มีการทำงานที่ถูกต้องและแม่นยำกว่าระบบนิวแมติกส์

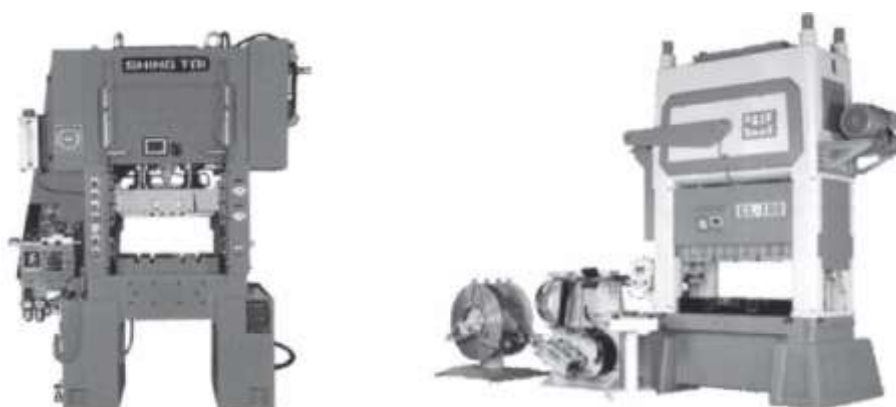
1. พื้นฐานระบบไฮดรอลิกส์ เป็นระบบที่ใช้อยู่ในเครื่องจักร และเครื่องทุ่นแรงหลายประเภท โดยทั่วไประบบไฮดรอลิกส์จะใช้กับงานที่มีลักษณะที่ต้องการแรงดึง แรงดัน แรงกด หรือแรงยก ที่ใช้แรงมาก ๆ ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบไฮดรอลิกส์จึงมีความหลากหลาย ใ้การใช้งานแต่ละประเภท ถึงแม้ว่าสัญลักษณ์การทำงานจะเหมือนกัน แต่โครงสร้างในการทำงานจะแตกต่างกันไปตามความจำเป็นของงานเครื่องจักรที่ใช้ระบบ ไฮดรอลิกส์สำหรับควบคุมการทำงาน สามารถแบ่งออกได้ดังนี้คือ



1.1 เครื่องจักรที่อยู่กับที่จะถูกออกแบบมาให้ประหยัดพลังงาน ดังนั้นจะเลือกใช้ อุปกรณ์การทำงานของระบบไฮดรอลิกส์ ที่มีขนาดใหญ่ แต่ใช้แรงดันในระบบต่ำ จึงทำให้ประหยัดพลังงาน

1.2 เครื่องจักรที่เคลื่อนที่จะถูกออกแบบให้มีน้ำหนักเบา เพื่อสะดวกในการเคลื่อนที่ ดังนั้นจะเลือกใช้ อุปกรณ์การทำงานของระบบไฮดรอลิกส์ที่มีขนาดเล็ก แต่ใช้แรงดันในระบบสูง ทำให้ได้ กำลังในการทำงานสูงด้วยสำหรับระบบไฮดรอลิกส์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไป ที่ใช้ในการควบคุม เครื่องจักรกลอัตโนมัติ สามารถแบ่งออกตามลักษณะการใช้งานดังนี้

1.2.1 ไฮดรอลิกส์อุตสาหกรรม (industrial hydraulic) ไฮดรอลิกส์อุตสาหกรรม คือ ไฮดรอลิกส์ที่ใช้ควบคุม เครื่องจักรในงานอุตสาหกรรม โดยทั่วไปใช้ในเครื่องจักรชนิดอยู่กับที่ เช่น เครื่องฉีดพลาสติก (injection molding) เครื่องปั๊มชิ้นงาน (press machine) เครื่องจักร ซี เอ็น ซี (CNC machine) เป็นต้น



ภาพที่ 2.1 เครื่องปั๊มชิ้นงาน



ภาพที่ 2.2 เครื่องพับ-ตัดชิ้นงาน



1.2.2 ไฮดรอลิกส์โมบายล์ (mobile hydraulic) คือ ไฮดรอลิกส์ที่ใช้ควบคุมเครื่องจักรในงานอุตสาหกรรม โดยทั่วไปใช้ในเครื่องจักรที่มีการเคลื่อนที่ โดยส่วนใหญ่จะมีการใช้งานในภาคสนาม เช่น รถไถ่ปูน รถเกรดถนน รถขุด รถบดถนน หรือรถเครนยกของบนตึกสูง เป็นต้น



ภาพที่ 2.3 รอยยกของ

1.2.3 ไฮดรอลิกส์เทคโนโลยี (technology hydraulic) คือ ไฮดรอลิกส์ที่ใช้ควบคุมเครื่องจักรในงานอุตสาหกรรมหนักหรืออุตสาหกรรมที่ต้องการเทคโนโลยีขั้นสูง (advanced technology) ตลอดจนมีประสิทธิภาพและให้กำลังงานสูงด้วย เช่น เครื่องจักรขุดลอกแม่น้ำหรือลำคลอง (dredge industry) เครื่องจักรขุดเจาะน้ำมัน (offshore industry) หรือเครื่องจักรเทอร์ไบน์ (turbine industry) เป็นต้น





ภาพที่ 2.4 เครื่องจักรขุดลอกแม่น้ำหรือลำคลอง



ภาพที่ 2.5 เครื่องจักรขุดเจาะน้ำมัน



ภาพที่ 2.6 อุตสาหกรรมการต่อเรือ



ภาพที่ 2.7 เครื่องจักรเทอร์ไบน์



ภาพที่ 2.8 อุตสาหกรรมในงานโยธา

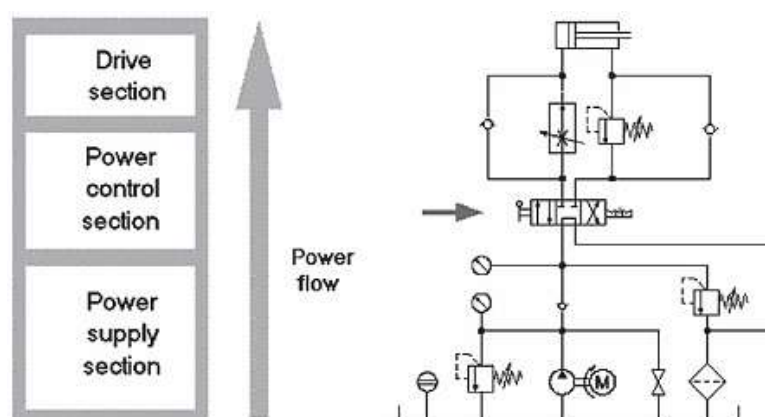


ภาพที่ 2.9 อุตสาหกรรมการบิน

## 2.2 การควบคุมระบบไฮดรอลิกส์

การควบคุมระบบไฮดรอลิกส์มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว เพื่อให้ทันกับเทคโนโลยีที่ทันสมัย ในปัจจุบันอุตสาหกรรมระบบไฮดรอลิกส์ ได้มีการพัฒนานำเทคโนโลยีมาควบคุม เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ตลอดจนถูกต้องและแม่นยำ โดยแบ่งวงจรการควบคุมออกเป็น 2 ชนิด คือ วงจรกำลัง (circuit power) และวงจรควบคุม (circuit control) โดยวงจรกำลัง จะมีน้ำมันเป็นตัวกลางในการส่งกำลัง เพื่อควบคุมวงจรการทำงาน ส่วนวงจรควบคุม จะใช้ตัวควบคุมหลายอย่าง เช่น electro, PLC, proportional, servo, microcontroller เป็นต้น การควบคุมระบบไฮดรอลิกส์สามารถแบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้ดังนี้

1. การควบคุมระบบไฮดรอลิกส์ด้วยน้ำมัน ระบบไฮดรอลิกส์จะใช้น้ำมันเป็นตัวกลางในการส่งถ่ายกำลัง โดยระบบของไฮดรอลิกส์จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต้นกำลัง มอเตอร์ (motor), ปั๊มไฮดรอลิกส์ (hydraulic pump), กรองน้ำมัน (filter), วาล์วควบคุมความดัน (pressure relief valve), เกจวัดความดัน (pressure gauge), วาล์วควบคุมทิศทาง (solenoid valve), กระบอกสูบ (cylinder) เป็นต้น



ภาพที่ 2.10 วงจรควบคุมไฮดรอลิกส์ด้วยน้ำมัน

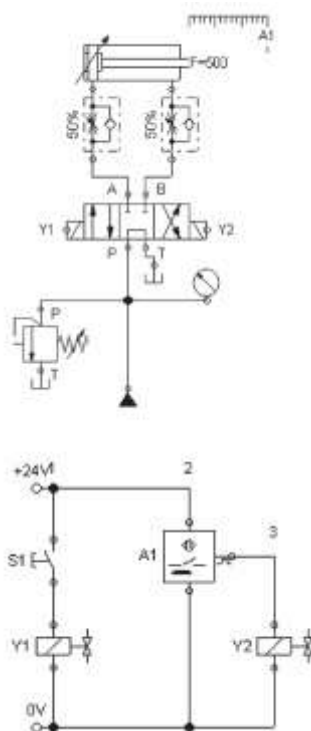
2. การควบคุมระบบไฮดรอลิกส์ด้วยไฟฟ้า การควบคุมระบบไฮดรอลิกส์ด้วยไฟฟ้าแบ่งวงจรการควบคุมออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.1 วงจรกำลัง (circuit power) เป็นวงจรควบคุมการทำงานของระบบไฮดรอลิกส์ ประกอบด้วย อุปกรณ์ต้นกำลัง (power source) ชุดกรองน้ำมัน (filter) โซลินอยด์วาล์ว (solenoid valve) กระบอกสูบ (cylinder) เป็นต้น

2.2 วงจรควบคุม (circuit control) เป็นวงจรควบคุมการทำงานของระบบไฮดรอลิกส์ไฟฟ้า ประกอบด้วยสวิตช์ปุ่มกด (pushbutton switch) รีเลย์ (relay) ตัวตั้งเวลา (timer) ตัวนับจำนวน (counter) เซ็นเซอร์ (sensor) เป็นต้น



วงจรกำลัง



ภาพที่ 2.11 วงจรควบคุมระบบไฮดรอลิกส์ด้วยไฟฟ้า

3. การควบคุมระบบไฮดรอลิกส์ด้วยพีแอลซี (programmable logic controller) ที่ใช้ในปัจจุบันนี้ ได้เข้ามามีบทบาทในการควบคุมระบบไฮดรอลิกส์ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมการบิน ตลอดจนอุปกรณ์ต่าง ๆ ในงานอุตสาหกรรมโดยภายในพีแอลซี (PLC) จะมีฟังก์ชันและอุปกรณ์ควบคุมภายในมากมาย เช่น รีเลย์ (relay) ตัวตั้งเวลา (timer) ตัวนับเวลา (counter) เป็นต้น ทำให้การเรียกใช้หรือแก้ไขโปรแกรมสะดวก รวดเร็ว และลดค่าใช้จ่ายลงอีกด้วย สำหรับภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมพีแอลซี (PLC) สามารถเขียนได้หลายภาษาเช่น ภาษาบูลีน (STL : instruction list boolean logic element) ภาษาแลดเดอร์ไดอะแกรม (ladder diagram) ภาษาบล็อกไดอะแกรม (function chart) เป็นต้น [13]

4 การควบคุมระบบไฮดรอลิกส์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ในปัจจุบัน ยังไม่นิยมมากนัก แต่นิยมใช้ควบคุมเครื่องจักร และระบบการผลิตในอุตสาหกรรม เพราะต้องศึกษาหลายอย่าง และต้องรู้เกี่ยวกับขั้นตอนการทำงานอย่างแท้จริง เช่น สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำอินพุต เอาต์พุต โปรแกรม วงจรอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น โดยทั่วไปไมโครคอนโทรลเลอร์ จะประกอบด้วย ตัวตั้งเวลา ตัวนับจำนวน อินพุตและเอาต์พุต (I/O) พอร์ตอนุกรม (serial port) เป็นต้น ในปัจจุบันมีหลายบริษัทที่ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น intel, phillips, motorola, microchip เป็นต้น สำหรับภาษาที่ใช้ในการเขียนสั่งงานควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถเขียนได้หลายภาษา เช่น ภาษาเบสิก (basic language) ภาษาแอสเซมบลี (assembly language) และภาษาซี (C language) [14]

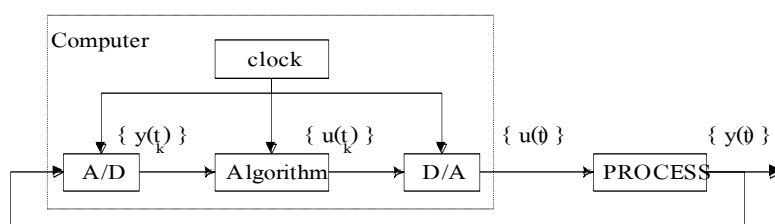


## 2.3 การควบคุมสัญญาณ

ตัวควบคุมอนาล็อก (analog controller) สามารถทำให้กระบวนการทางอุตสาหกรรมทำงานได้เป็นอย่างดี รวมไปถึงประหยัดและง่ายสำหรับการประยุกต์ใช้จริง แต่ตัวควบคุมอนาล็อกเองก็มีข้อจำกัด เช่น ความเพี้ยนอันเกิดจากส่วนประกอบวงจร ตัวควบคุมอนาล็อกที่มีความเพี้ยนน้อยก็จะมีราคาสูงมาก และยากการเปลี่ยนแปลงชนิดของตัวควบคุมอีกด้วย นอกจากนี้ยังไม่เหมาะสมกับการควบคุมป้อนไปหน้า (feedforward control) และการชดเชย (dead time) เพราะใช้เวลาในการประมวลผลนานเกินไป ขณะที่ ตัวควบคุมเชิงเลข (digital controller) สามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ได้ เนื่องจากความสำเร็จของ ไมโครโพรเซสเซอร์ชิปเดี่ยว (single-chip microprocessor) ที่มีความรวดเร็วในการทำงาน ทำให้มีการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายออกในวงกว้าง อีกทั้งมีการดัดแปลงไปใช้กับงานหลายประเภท เช่น ระบบควบคุมตำแหน่งมอเตอร์โดยอาศัย pulse-width modulation เป็นต้น

นอกจากนี้สิ่งที่ทำให้ตัวควบคุมเชิงเลขเป็นที่นิยมในระบบการผลิตสมัยใหม่ก็คือ ตัวควบคุมแต่ละตัวสามารถที่จะควบคุมการทำงานได้หลายวงพร้อมกัน และยังสามารถเชื่อมต่อเข้าระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ (management information system, MIS) ส่วนประกอบของตัวควบคุมเชิงเลขมีอยู่ 4 ส่วนใหญ่ๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.12 ได้แก่

1. ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A/D converter) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ส่งเข้าตัวควบคุม แปลงสัญญาณแอนะล็อกที่ต่อเนื่องไปเป็นสัญญาณเชิงเลข เพื่อให้ไมโครโพรเซสเซอร์ประมวลผลได้
2. ไมโครโพรเซสเซอร์ (microprocessor) ทำหน้าที่รับข้อมูลจาก A/D converter แล้วประมวลผล และสร้างสัญญาณควบคุมเพื่อป้อนให้กับกระบวนการ ก่อนหน้านั้น สัญญาณควบคุมที่ประมวลได้จะผ่านไปยัง D/A converter เพื่อแปลงเป็นสัญญาณอนาล็อกแล้วจึงส่งต่อไปยังกระบวนการ
3. ตัวแปลงสัญญาณเชิงเลขเป็นอนาล็อก (D/A converter) ทำหน้าที่รับสัญญาณควบคุมที่ได้จากไมโครโพรเซสเซอร์ในรูปของสัญญาณเชิงเลข แล้วแปลงกลับเป็นค่าสัญญาณอนาล็อกเพื่อส่งไปควบคุมกระบวนการ
4. นาฬิกา (clock) ทำหน้าที่กำหนดจังหวะการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ให้สอดคล้องกัน



ภาพที่ 2.12 แผนผังกรอบของตัวควบคุมเชิงเลข



กระบวนการทั่วไปมีการปฏิบัติงานในเวลาจริง (real time) เพราะฉะนั้นเมื่อนำไมโครโพรเซสเซอร์ มาต่อทำงานร่วมกับกระบวนการเพื่อประมวลสัญญาณสำหรับควบคุมระบบ ไมโครโพรเซสเซอร์ต้องปฏิบัติการในสเกลเวลาเดียวกับระบบความสัมพันธ์นี้เรียกว่า clock-based อัตราการชั่งตัวอย่าง (sampling rate) หรือความถี่การชั่งตัวอย่าง (sampling frequency) ของระบบควบคุมป้อนกลับ ขึ้นกับค่าคงตัวเวลาของระบบที่ต้องการควบคุม ระบบโดยทั่วไปมีค่าคงตัวเวลา (time constant) ในสเกลเวลาเป็นชั่วโมง นาที หรือ วินาที สำหรับระบบที่มีค่าคงตัวเวลาสั้นอัตราการชั่งตัวอย่างต้องเร็ว ความถี่การชั่งตัวอย่างควรเลือกเป็น 6 ถึง 10 เท่าของแถบกว้างความถี่ (bandwidth) ของระบบวงปิด หรือ 2 ถึง 3 เท่าของช่วงเวลาที่ขึ้น (rise time) ของผลตอบสนองไมโครโพรเซสเซอร์ที่ใช้ควบคุมระบบต้องสมมูล (synchronize) กับเวลาจริง และต้องสามารถดำเนินการ เช่น การวัด การคำนวณ การส่งสัญญาณกลับ ได้ทั้งหมดภายในคาบเวลาของการชั่งตัวอย่าง ความสมบูรณ์ของการทำงานภายในเวลาที่กำหนดขึ้นกับปริมาณงานที่ต้องทำและความเร็วของไมโครโพรเซสเซอร์ การสมมูลทำได้โดยการเพิ่มวงจรมานาฬิกาให้กับไมโครโพรเซสเซอร์ เรียกว่า นาฬิกาเวลาจริง (real-time clock) และใช้สัญญาณจากนาฬิกานี้เพื่อขัดจังหวะ (interrupt) การทำงานของไมโครโพรเซสเซอร์ในช่วงเวลาที่กำหนด ขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

1. นาฬิกาทำหน้าที่กำหนดจังหวะการทำงานของแต่ละส่วนของระบบให้สอดคล้องกัน กำหนดสัญญาณเริ่มต้นทำงาน
2. สุ่มตัวอย่างสัญญาณออกของกระบวนการด้วย A/D converter เพื่อแปลงสัญญาณแอนะล็อก เป็นสัญญาณเชิงเลข
3. ไมโครโพรเซสเซอร์รับสัญญาณเชิงเลขจาก A/D converter แล้วคำนวณตามขั้นตอนวิธี algorithm ที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นจึงส่งผลลัพธ์ของการคำนวณไปยัง D/A Converter
4. D/A converter แปลงสัญญาณเชิงเลขจากไมโครโพรเซสเซอร์ไปเป็นสัญญาณแอนะล็อก ซึ่งเป็นสัญญาณควบคุมป้อนให้กับกระบวนการ
5. รอจังหวะเริ่มการทำงานจากนาฬิกา

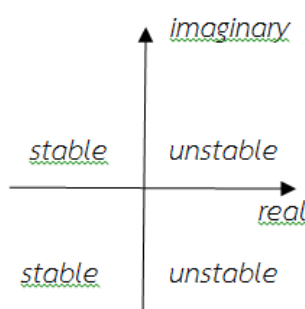
## 2.4 หลักการควบคุมอันดับหนึ่งและสอง

การพิจารณาความเสถียรของระบบควบคุมแบบป้อนกลับนั้นจะพิจารณาจากตำแหน่งโพล ของระบบควบคุมแบบปิดที่วางอยู่ในระนาบเอส (s-plane) นั่นคือในการออกแบบและวิเคราะห์ระบบควบคุมสิ่งสำคัญที่เราต้องการหาคือความเสถียรของระบบ ในระบบที่ไม่เสถียรเราไม่สามารถออกแบบตัวควบคุมให้มีการตอบสนองชั่วขณะ (transient response) หรือความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ (steady-state error) ตามที่ต้องการได้ อยู่ทีระบบ linear time-invariant ความหมายของความเสถียรของระบบนั้นขึ้นกับจุดที่เรามองระบบ เอาต์พุตของระบบควบคุมเกิดจากผลรวมของการตอบสนอง 2 แบบคือ ผลการตอบสนองโดยธรรมชาติ (natural response) กับผลการตอบสนองโดยบังคับ (force response) สมการที่ 1 แสดงฟังก์ชันถ่ายโอนระบบควบคุมวงปิด เมื่อทำการหาฟังก์



ถ่ายโอนของสมการระบบวงปิดแล้วการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบหาได้จากการนำสมการมาพล็อตในระนาบของ S-Plane เพื่อดูว่าอยู่ด้านใดของกราฟโดยสามารถดูได้จากรูปที่ 2.13 โดยผลตอบสนองจะเป็นดังต่อไปนี้

$$G(s) = \frac{(s + z_1)(s + z_2) \dots (s + z_m)}{(s + p_1)(s + p_2) \dots (s + p_n)} \quad (1)$$



ภาพที่ 2.13 การควบคุมแบบป้อนกลับ

1. ถ้าตำแหน่งโพลอยู่ครึ่งขวาของ s-plane จำทำให้ผลตอบสนองชั่วขณะ (transient response) เพิ่มขึ้นหรือเกิดการแกว่ง (oscillate) ตามค่าของเวลาที่เพิ่มขึ้น หมายความว่าระบบไม่เสถียร (unstable)

2. ถ้าตำแหน่งโพลอยู่ครึ่งซ้ายของ s-plane แล้วผลตอบสนองชั่วขณะ (transient response) จะเข้าสู่สภาวะคงตัวระบบจะเสถียร

3. ถ้าตำแหน่งโพลอยู่บนแกนจินตภาพ (j) จะทำให้ผลตอบสนอง (response) เกิดการแกว่ง (oscillate) ด้วยขนาด (amplitude) คงที่ แต่ในระบบจริงอาจจะมีสัญญาณรบกวนและทำให้เกิดการแกว่งเพิ่มของขนาด ดังนั้นในระบบควบคุมจึงไม่ควรมีโพลของลูบปี ดอยู่บนแกนจินตภาพ เราสามารถแสดงถึงขอบเขตของโพลของระบบที่ทำให้ระบบเสถียรคือด้านซ้ายของแกน j และไม่เสถียรคือด้านขวาของแกน j การนิยามความเสถียรสำหรับระบบเชิงเส้นที่ไม่แปรตามเวลา โดยพิจารณาจากผลการตอบสนองทางธรรมชาติ (natural response)

1) ระบบจะเป็นระบบที่มีเสถียรภาพถ้าผลการตอบสนองทางธรรมชาติมีค่าประมาณศูนย์ เมื่อเวลาเข้าใกล้อนันต์

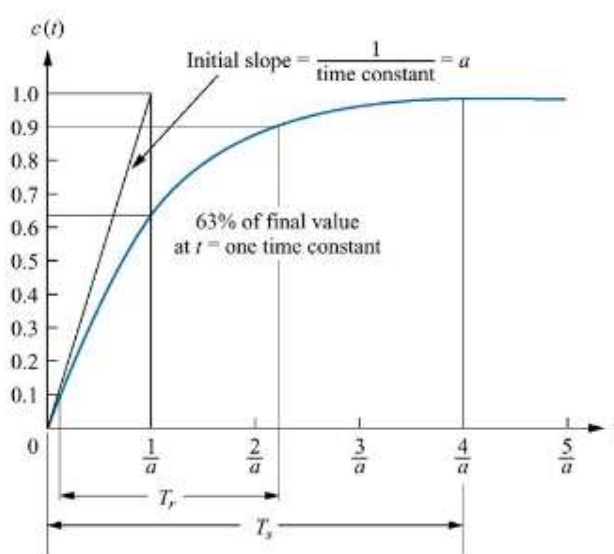
2) ระบบจะเป็นระบบที่ไม่เสถียรถ้าผลการตอบสนองทางธรรมชาติมีค่าประมาณอนันต์ที่เวลาเข้าใกล้อนันต์

3) ระบบจะเป็นระบบที่เสถียรแบบขอบเขตถ้าผลการตอบสนองทางธรรมชาติมีค่าคงที่

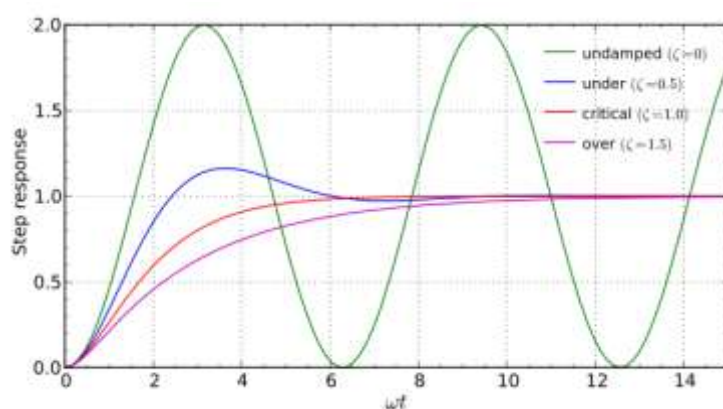


ในภาพที่ 2.14 -2.15 แสดงผลการตอบสนองอันดับที่หนึ่งและอันดับสองของอินพุตแบบสัญญาณระดับ โดยระบบที่เกิดขึ้นโดยทั่วไป มักมีสมการโดยทั่วไปใกล้เคียงกับระบบงานจริงที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรม ซึ่งในกระบวนการทางอุตสาหกรรมนั้น ถ้ามีระบบส่วนหนึ่งใดที่ต้องการผลตอบสนองให้ตามที่ต้องการ

ตัวอย่างเช่นการรักษาปริมาณหรือลดค่าอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการนั้นต้องวิเคราะห์ถึงธรรมชาติของสัญญาณและพารามิเตอร์ต่างๆที่ผลต่อผลตอบสนองนั้น การที่จะทราบได้ด้วยการทดสอบด้วยสัญญาณควบคุมในรูปเป็นการส่งสัญญาณระดับเพื่อตรวจสอบ (unit step function)



ภาพที่ 2.14 การควบคุมแบบป้อนกลับแสดงการตอบสนองของระบบอันดับหนึ่งต่ออินพุตแบบสัญญาณระดับ



ที่มา: feedback control system

ภาพที่ 2.15 การตอบสนองของระบบอันดับ 2 เมื่ออินพุตเป็น unit step ทั้ง 4 กรณี



ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ จะอาศัยหลักการของการป้อนกลับของสัญญาณโดยจะใช้ sensor เป็นอุปกรณ์วัดสัญญาณที่ชี้ให้เห็นสภาพหรือคุณสมบัติหรือระดับพลังงานที่เราต้องการควบคุม ที่เรียกว่า controlled variable แล้วส่งสัญญาณไปที่อุปกรณ์ควบคุมที่เรียกว่า controller ซึ่ง controller จะนำไปเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย หรือเรียกว่า set point ทำให้เกิดเป็นค่าความแตกต่างระหว่าง controlled variable กับ set point ขึ้นเรียกว่า error signal หรือ deviation โดยที่ controller จะนำเอาค่า error signal ไปเป็นตัวกำหนดขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงของ final control element เช่น วาล์ว , damper เป็นต้น เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรที่ทำให้ controlled variable เกิดการเปลี่ยนแปลง เพื่อรักษาค่า controlled variable ให้ได้ตามค่ากำหนดอยู่ตลอดเวลา

องค์ประกอบของระบบควบคุมแบบป้อนกลับหรือแบบป้อนกลับ

ระบบการควบคุมแบบป้อนกลับเป็นประเภทหนึ่งของระบบควบคุมความมุ่งหมายของระบบควบคุมแบบป้อนกลับคือเพื่อผลการควบคุมเป็นไปตามความมุ่งหมายทั้งคุณภาพและปริมาณ ส่วนประกอบพื้นฐานของระบบการควบคุมแบบป้อนกลับมีอยู่ 4 องค์ประกอบคือ

1. process หมายถึง กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพหรือทางเคมีหรือการเปลี่ยนรูปของพลังงานซึ่งผลที่ออกจากกระบวนการจะมีคุณลักษณะหรือตัวแปรต่าง ๆ เช่น ความดัน, อุณหภูมิ, ระดับ, อัตราการไหล เป็นต้น ซึ่งในกระบวนการควบคุมจะมีการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ที่ต้องการควบคุมให้เป็นไปตามที่ได้กำหนด

2. sensor และ transmitter หมายถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าของ controlled variable ซึ่ง sensor เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดเช่น อุณหภูมิ, แรงดัน, อัตราการไหล ฯลฯ ซึ่งสัญญาณที่วัดได้นั้นยังไม่เป็นสัญญาณมาตรฐานจึงต้องมีการส่งสัญญาณไปที่ Transmitter เพื่อเปลี่ยนเป็นสัญญาณมาตรฐานเพื่อส่งให้ตัวควบคุม, เครื่องบันทึกสัญญาณ หรืออุปกรณ์แสดงค่าการวัดต่อไป

3. controller เป็นส่วนประกอบที่ใช้ในการควบคุม controlled variable โดยการนำเอามาเปรียบเทียบกับ set point แล้วนำ error ไปกำหนดเป็นสัญญาณ controller output โดย controller มีโหมดการทำงานอยู่หลายลักษณะการควบคุมคือ on-off control , proportional control , proportional pulse integral control , proportional pulse integral pulse derivative control

4. final control element เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานตามคำสั่งของสัญญาณ control output ซึ่งจะเป็นตัวที่ใช้ในการปรับปริมาณของ Manipulated variable เช่น valve, pump, damper เป็นต้น ส่งผลทำให้ controlled variable เข้าหาค่า set point

สิ่งที่ควรพิจารณาในการออกแบบระบบควบคุมแบบป้อนกลับ คือ

- 1) กระบวนการอุตสาหกรรมที่ต้องการจะควบคุมควรใช้เครื่องควบคุมแบบใด
- 2) เครื่องควบคุมที่ใช้ควบคุมระบบใด ๆ นั้น ควรปรับตัวแปรควบคุมอะไร
- 3) เลือกเครื่องควบคุม และปรับเครื่องควบคุมใช้เกณฑ์ในการเลือก และตัดสินใจอย่างไร

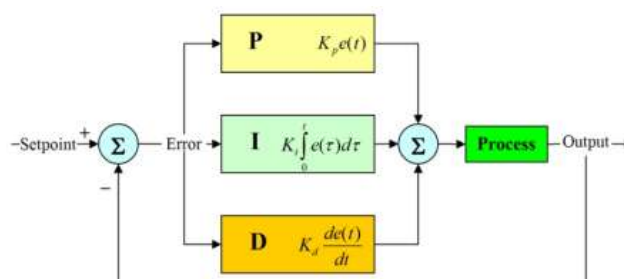


## 2.5 ระบบควบคุมแบบ พี ไอ ดี

ระบบควบคุมแบบ PID (หรือ PID controller) จากชื่อจะเห็นได้ว่ามีสองส่วน คือคอนโทรลเลอร์ และ PID คอนโทรลเลอร์ก็คืออุปกรณ์ในการควบคุมระบบตามที่ต้องการโดยจะมีการตั้งค่า SP (set point : เซ็ตพอยน์) หรือค่าที่ต้องการไว้ และนำมาเปรียบเทียบกับค่า PV (process variable : ตัวแปรกระบวนการหรือค่าจริงที่เกิดจากผลการทำงานของระบบ) เพื่อให้ได้ค่า Error แล้วคอนโทรลเลอร์จะนำค่า Error นั้นมาทำการปรับแต่งค่าเอาทพุตหรือ MV (manipulated variable) : ตัวแปรที่ถูกควบคุม บางทีจะเรียกว่า CV (control variable : ตัวแปรในการคอนโทรล) เพื่อลดค่า error ให้ได้มากที่สุด

PID ย่อมาจาก Proportional-Integral-Derivative แปลเป็นไทย ก็จะได้ว่า อัตราส่วน - อินทิกรัล-อนุพันธ์ โดย

- 1) proportional เป็นส่วนปฏิกิริยาต่อ error ณ ขณะนั้น (current error)
- 2) integral เป็นส่วนปฏิกิริยาที่เกิดจากผลรวมของค่า error ที่ผ่านมามากที่สุด (sum of recent errors)



ภาพที่ 2.16 บล็อกไดอะแกรมของคอนโทรลเลอร์แบบ PID

3) derivative เป็นส่วนปฏิกิริยาที่เกิดจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า error (rate at which the error has been changing) ผลรวมตามน้ำหนัก (weighted sum) ของทั้งสาม ซึ่งปรับแต่งโดยค่าคงที่  $K_p$ ,  $K_i$ , และ  $K_d$  เพื่อให้ได้การตอบสนองที่ต้องการ จะถูกนำไปใช้ในการควบคุมกระบวนการต่างๆ เช่น รอบเครื่อง/เพลลา ตำแหน่งจาลว หรืออุปกรณ์ทำความร้อน โดยทั่วไปค่า gain บางค่า อาจเป็นศูนย์ก็ได้ ซึ่งคอนโทรลเลอร์ พี ไอ ดี นั้นจะกลายมาเป็นคอนโทรลเลอร์แบบ PI, PD, P หรือ I ขึ้นอยู่กับว่าเทอมไหนหายไป

### 2.5.1 ทฤษฎีคอนโทรลเลอร์แบบ PID

การควบคุมแบบ PID นั้นประกอบด้วยเทอมสำหรับการปรับแต่ง 3 เทอมรวมกันเป็น MV

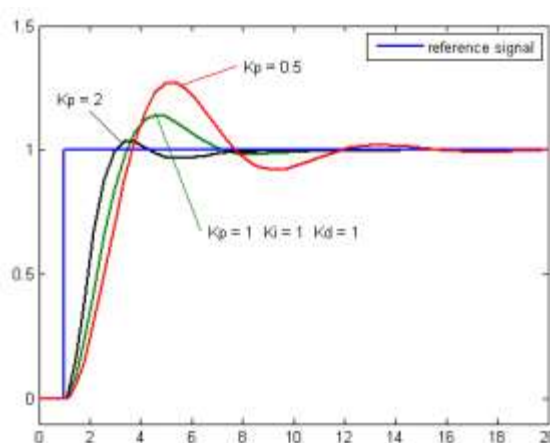
$$MV(t) = P_{out} + I_{out} + D_{out} \quad (1)$$



โดยที่  $P_{out}$   $I_{out}$  และ  $D_{out}$  เป็นเอาทพุตจากแต่ละเทอมตามลำดับ เทอม *Proportional* เปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนของค่า *Error* ปัจจุบัน ซึ่งค่า  $P_{out}$  สามารถคำนวณได้โดยการนำค่า *Error* มาคูณกับค่าคงที่  $K_p$

$$P_{out} = K_p e(t) \quad (2)$$

ค่า  $K_p$  ที่สูง จะเป็นผลให้ค่าเอาทพุตมากขึ้นตาม หากค่า  $K_p$  มากเกินไป ระบบอาจจะไม่เสถียรได้ ในทางตรงข้ามหากค่า  $K_p$  น้อยเกินไป อาจทำให้ระบบตอบสนองช้าเกินไป ซึ่งในกรณีนี้ไปไม่ได้ว่า การตอบสนองดังกล่าว อาจจะมีสิ่งรบกวน (*Disturbance*) ในระบบได้ทันการ เช่น ในการเร่งรอบเครื่องยนต์ เมื่อมีโหลดมากกระทันหันกับเครื่องหากคอนโทรลเลอร์เร่งรอบเครื่องช้าไม่ทันกับโหลดที่เพิ่มขึ้นมาทันที รอบเครื่องก็จะค่อยๆ ตกลง และเครื่องก็จะดับในที่สุด



ภาพที่ 2.17 PV vs time โดยเปลี่ยนค่า  $K_p$  (ค่า  $K_i$  และ  $K_d$  คงที่)

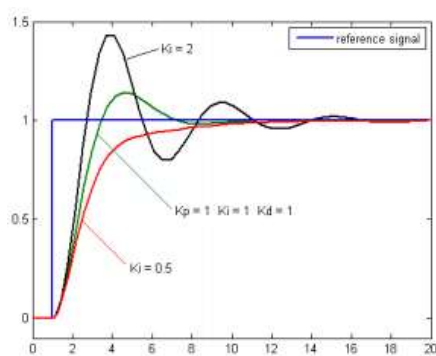
ในกรณีระบบที่ไม่มี *disturbance* การใช้เทอม *proportional* อย่างเดียวจะทำให้ระบบเกิดการ *oscillate* รอบๆ *SP* จะไม่อยู่ที่ *SP* พอดี

เทอม *Integral* เป็นอัตราส่วนของค่า *error* สะสมในหนึ่งช่วงเวลา (ปัจจุบัน ย้อนไปในอดีต) ค่า  $I_{out}$  เกิดจากผลคูณของค่าคงที่  $K_i$  กับผลรวมของ  $e(t)$  ซึ่งเป็นค่าสะสมของ *error* ที่ควรจะตัดองถูกแก้ไขมาก่อนหน้านี้

$$I_{out} = k_i \int_0^t e(T) dT \quad (3)$$

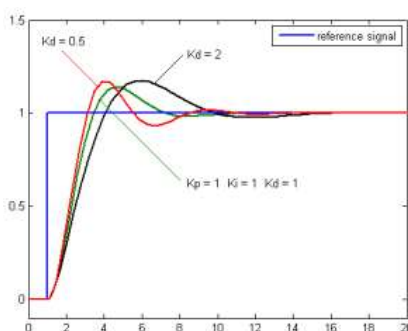


เทอม integral (เมื่อใช้ร่วมกับเทอม proportional) จะช่วยเร่งให้ระบบวิ่งเข้าหา SP เร็วขึ้น และช่วยลด error ที่เกิดจากการใช้เทอม proportional อย่างเดียว อย่างไรก็ตาม เนื่องจากว่าเทอม Integral นั้นเกิดจากการคำนวณโดยรวม error ที่เกิดขึ้นในอดีตด้วย อาจจะทำให้เกิด overshoot เกิน SP ในคาบปัจจุบันด้วย



ภาพที่ 2.18 PV vs time โดยเปลี่ยนค่า Ki (ค่า Kp และ Kd คงที่)

เทอม derivative อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า error ในโปรเซสนั้นคำนวณได้โดยสโลป (Slope) ของกราฟ error vs time ซึ่งก็คืออนุพันธ์แรกเทียบกับเวลา และคูณค่าสโลปนี้กับค่าคงที่  $K_d$  ก็จะได้ เทอม derivative



ภาพที่ 2.19 PV vs time โดยเปลี่ยนค่า Kd (ค่า Kp และ Ki คงที่)

$$D_{out} = k_d \frac{de}{dt}(t) \quad (4)$$

เทอม derivative จะช่วยดึงเอาทศจากคอนโทรลเลอร์ให้ช้าลง ซึ่งจะเห็นผลได้ชัดเมื่อโปรเซสเข้าใกล้ set point ฉะนั้นเทอม derivative จึงช่วยลดอาการ overshoot ซึ่งเกิดจากเทอม integral และช่วยปรับปรุงเสถียรภาพของระบบอย่างไรก็ตาม ค่า derivative นั้นค่อนข้างไวต่อ Noise ซึ่งอาจทำให้ระบบไม่เสถียรได้ หาก noise และค่า Kp สูงเกินไป รวมสามเทอมเข้าด้วยกัน เมื่อรวมเทอม proportional, integral, และ derivative เข้าด้วยกันก็จะได้ เอาทศจากคอนโทรลเลอร์ PID ดังนี้



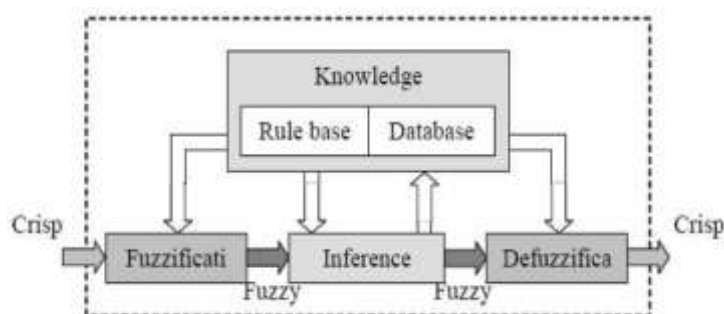
$$MV(t) = k_p e(t) + K_i \int_0^t e(T) dT + K_d \frac{de}{dt}(t) \quad (5)$$

โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ค่า proportional gain,  $K_p$ : ค่าที่มากขึ้นหมายถึงการตอบสนองที่เร็วขึ้น เพราะค่า error ยิ่งมาก ค่าชดเชยจากเทอมนี้ก็จะมากขึ้นตาม ค่า gain ที่มากเกินไปจะนำไปสู่โปรเซสที่ไม่เสถียรและการแกว่ง (oscillation) ค่า Integral gain,  $K_i$ : ค่าที่มากขึ้นหมายถึง ค่า error แบบ steady-state จะถูกกำจัดได้เร็วขึ้น ข้อเสียก็คือ Overshoot ค่า Error ที่เป็นลบ จะต้องถูกแก้ด้วย error ที่เป็นบวก ก่อนที่ระบบจะเข้าสู่ steady-state ค่า derivative gain,  $K_d$ : ค่าที่มากขึ้นหมายถึงขนาด overshoot ที่ลดลง แต่ก็อาจทำให้การตอบสนองช้าลงบ้าง และอาจนำไปสู่ความไม่เสถียรของระบบเนื่องจาก noise ได้

## 2.6 ระบบควบคุมแบบ ฟัซซีลอจิก

ตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกได้ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในลักษณะของงานที่มีความไม่แน่นอน และ/หรือ ไม่เที่ยงตรงของตัวแปรต่างๆในการควบคุม และเนื่องจากพฤติกรรมทางด้านพลศาสตร์ของระบบไฮดรอลิกส์มีความซับซ้อนและไม่แน่นอนของตัวแปรเกิดขึ้น ขณะที่ลูกสูบทำงาน ดังนั้นจึงมีการนำตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกมาใช้ในการควบคุมการทำงานของลูกสูบ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้ทำการปรับปรุงตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกสำหรับควบคุมการทำงานของลูกสูบ เพื่อลดค่าความผิดพลาดของตำแหน่ง ณ สภาวะคงตัว และไม่ทำให้ผลการตอบสนองแบบชั่วครู่ของระบบเปลี่ยนไป [15]

2.6.1 ระบบกฎแบบฟัซซี ในระบบปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence) หรือ เครื่องจักรอัจฉริยะ (machine intelligence) มีวิธีการหลายวิธีในการที่จะแสดงองค์ความรู้ของมนุษย์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ตรรกะ (logic) เฟรม (frames) โครงข่ายความหมาย (semantic nets) ภาววิทยา (ontology) และกฎ (rules) ซึ่งแบบหลังสุดเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในระบบฟัซซี โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วนดังนี้ ดังภาพที่ 2.20

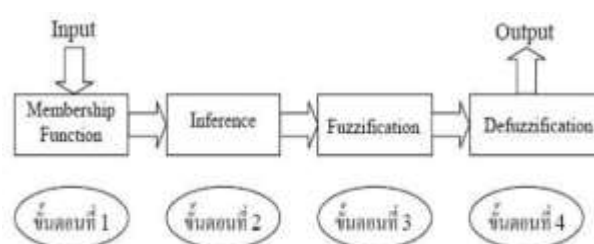


ภาพที่ 2.20 โครงสร้างพื้นฐานการประมวลผลแบบฟัซซี



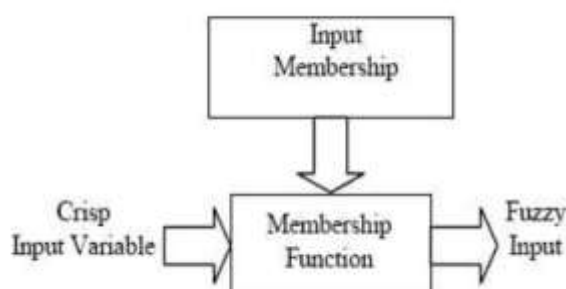
ส่วนที่แปลงการอินพุตทั่วไปเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี (fuzzification) หรือในรูปแบบเซตฟัซซีหรือเรียกว่าเป็นตัวแปรภาษา (linguistic variable) ฐานความรู้ (knowledge base) เป็นส่วนที่จัดเก็บรวบรวมข้อมูลในการควบคุมประกอบ 2 ส่วนคือ ฐานกฎ (rule base) และ ฐานข้อมูล (database) ฐานกฎ (rule base) ส่วนของการกำหนดวิธีการควบคุม ซึ่งได้จากผู้เชี่ยวชาญ ในรูปแบบของชุดข้อมูลแบบกฎของภาษา (linguistic rule) ฐานข้อมูล (database) เป็นการจัดเตรียม ส่วนที่จำเป็นเพื่อที่จะใช้ในการกำหนดกฎการควบคุม และการจัดการข้อมูลของตรรกศาสตร์ฟัซซี เครื่องอนุมานหรือการตีความ (inference engine) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจสอบข้อเท็จจริง และ กฎ เพื่อใช้ในการตีความหาเหตุผล เหมือนกลไกสำหรับควบคุมการใช้ความรู้ในการแก้ไขปัญหา รวมทั้ง การกำหนดวิธีการของการตีความเพื่อหาคำตอบ ส่วนที่แปลงการเอาต์พุตให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (defuzzification) เป็นการทำการแปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบฟัซซีให้เป็นค่าที่สรุปผลหรือค่าการควบคุม ระบบ

2.6.2 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิกมีรูปแบบการทำงานเป็น 4 ส่วนจะแสดงดัง ภาพที่ 2.21



ภาพที่ 2.21 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซี

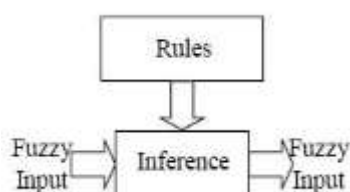
ขั้นตอนที่ 1 เป็นการแปลงการอินพุตแบบทวินัยเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี โดยจะสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเดียวกัน ขึ้นกับคุณลักษณะของแต่ละ การอินพุต (input) และความสำคัญต่อการเอาต์พุต (output) ที่น่าสนใจโดยฟังก์ชันจะมีลักษณะเป็น การกำหนดภาษาสามัญ เพื่อให้เป็นฟัซซีการอินพุต ดังภาพที่ 2.22



ภาพที่ 2.22 ขั้นตอนที่ 1 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

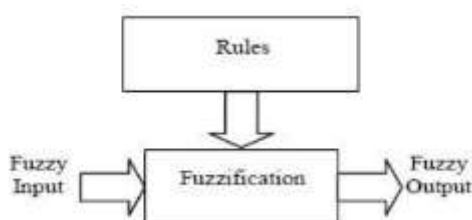


ขั้นตอนที่ 2 เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตที่อาศัยหลักการของการหาเหตุและผล อาจจะสร้างการเก็บข้อมูล การคาดการณ์จากการตัดสินใจของมนุษย์ หรือค่าจากการทดลอง โดยเขียนเป็นกฎการควบคุมระบบ ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบ ถ้า (If) และ (and) หรือ (or) ซึ่งเป็นภาษาสามัญ นากฎทั้งหมดมาประมวลผลรวมกัน เพื่อการหาตัดสินใจที่เหมาะสม ดังภาพที่ 2.23



ภาพที่ 2.23 ขั้นตอนที่ 2 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

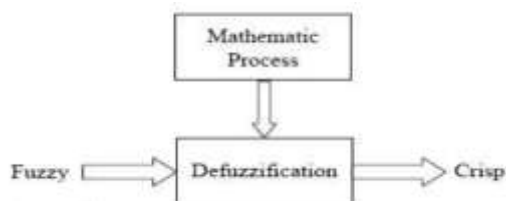
ขั้นตอนที่ 3 เป็นการหาฟัซซีเอาต์พุต โดยการนากฎการควบคุมที่สร้างขึ้น ในขั้นตอนที่ 2 มาประมวลผลกับฟัซซีอินพุต โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อบริหารค่าที่ได้ประมวลผล ดังภาพที่ 2.24



ภาพที่ 2.24 ขั้นตอนที่ 3 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

วิธีการหาเป็นค่าคลุมเครือ (fuzzification) วิธีการที่นิยมใช้ในการตีความหาเหตุผลเลือกใช้ max-min method และ max-dot method ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนสุดท้ายหรือขั้นตอนการสรุปเหตุผลฟัซซี โดยจะเปลี่ยนฟัซซีเอาต์พุตให้เป็นทวินัยเอาต์พุตตามภาพที่ 2.25 และด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ เช่นวิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วง (central of gravity) เพื่อบริหารค่าที่ได้มาใช้ในการตัดสินใจเพื่อควบคุมระบบในสถานการณ์นั้นๆ





ภาพที่ 2.25 ขั้นตอนที่ 4 ของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

วิธีการหาค่าฟัซซีให้เป็นค่าปกติ (defuzzification) วิธีการที่เป็นเทคนิคการเลือกค่าสูงสุดหรือสรุปหาเหตุผลจากหลาย ๆ เซตมาเพียงค่าเดียว ซึ่งเป็นการใช้ค่าสูงสุดของค่าระดับการเป็นสมาชิกจากการกระทำหลายๆ แบบ และเลือกกระทำเพียงรูปแบบเดียว วิธีการหาจุดศูนย์ถ่วง (central of gravity: COG) เป็นวิธีการเฉลี่ยผลที่ได้จากการตีความหาเหตุที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ค่าที่ได้จะคำนวณจุดศูนย์ถ่วงโดยรวมจะหาได้จากการประมาณค่าจากสมการ

$$COG = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i w_i}{\sum_{i=1}^N \alpha_i w_i}$$

โดยสมการ ได้กำหนดค่าของสมการดังนี้

COG แทน ค่าจุดศูนย์ถ่วง (Central of Gravity)

N แทน ค่าตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ i

$\alpha$  แทนค่าตำแหน่งฟัซซีของเอาต์พุตในตำแหน่งที่ i

w แทน พื้นที่ใต้โค้งของเซตฟัซซีตำแหน่งที่ i

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Jianyong และ Zongxia [20] ได้ทำการทดลองการควบคุมระบบไฮดรอลิกส์ผ่านการจำลองสถานการณ์ (simulation) และทดลอง (Experiment) ด้วยทฤษฎีการควบคุมโรบัสต์ (robust control) ได้ทดลองและทดสอบการชดเชยค่าตัวแปรที่ไม่แน่ใจในระบบ ทำให้พบว่าค่าความถูกต้องและความแม่นยำของลูกสูบในการเคลื่อนสูง

Zhao และ Virvalo [21] ได้ทดลองหาประสิทธิภาพการควบคุมตำแหน่งของลูกสูบ ด้วยระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์ แบบไม่รู้ค่าน้ำหนักชิ้นงานโดยการทดลองการเคลื่อนที่แบบโพลไม่ราบเรียบ (nonlinear) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลด แต่ยังคงค่าเกนเด้นผลคือยังทำให้ไม่เกิดค่าเปลี่ยนแปลงในระบบ การทดลองแบบฟัซซีคอนโทรลนี้ สามารถนำมาใช้ควบคุมระบบไฮดรอลิกส์ได้และมีความเสถียรภาพเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลด



Ayman และคณะ [22] ได้ทดลองหาประสิทธิภาพการควบคุมตำแหน่งของลูกสูบของแขนหุ่นยนต์ด้วยทฤษฎีการควบคุมแบบ พี ไอ กับ ทฤษฎีการควบคุมแบบฟuzzy มีผลทำให้แขนของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ตรงตามตำแหน่ง และได้ความเร็วในการเคลื่อนจากจุดเริ่มต้นได้รวดเร็ว

Rozali และคณะ [23] ได้ทำการทดลองการควบคุมระบบไฮดรอลิกส์อุตสาหกรรม ผ่านการจำลองสถานการณ์ (simulation) และทดลอง (experiment) ด้วยทฤษฎีการควบคุมแบบ พี ไอ ดี และการปรับจูน

## 2.8 สรุปกรอบแนวคิดในการวิจัย

2.8.1 ตัวแปรต้น คือ การกำหนดความดัน และการกำหนดความถี่ของการเคลื่อนที่

2.8.2 ตัวแปรตาม คือ การเคลื่อนที่ของลูกสูบที่ตรงตำแหน่งและเวลาที่เร็ว

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้ทฤษฎีที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน ได้แก่

- 1) การควบคุมแบบ พีไอดี
- 2) การควบคุมแบบ ฟuzzy ลอจิก
- 3) การควบคุมแบบ ไฮบริด



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การควบคุมตำแหน่งและความเร็วของเซอร์โวไฮดรอลิกส์ด้วยทฤษฎี พี ไอ ดี และ ฟัซซีลอจิก เป็นการใช้ระเบียบการวิจัยเชิงทดลอง (experimental research) ผู้วิจัยมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

- 3.1 การศึกษาและกำหนดทฤษฎีสำหรับการทดลอง
- 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและการสร้างเครื่องมือ
- 3.3 ขั้นตอนและวิธีการการเก็บรวบรวมข้อมูล
- 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้
- 3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล
- 3.6 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

#### 3.1 การศึกษาและกำหนดทฤษฎีสำหรับการทดลอง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีของการควบคุมระบบไฮดรอลิกส์จากจำนวน 4 แบบ คือทฤษฎีการควบคุมแบบพี ไอ ดี (PID control) ทฤษฎีการควบคุมแบบฟัซซี (fuzzy logic) ทฤษฎีของการควบคุมแบบสไลด์ิงโหมด (sliding mode) ทฤษฎีการควบคุมแบบโรบัสต์ (robust control) ทฤษฎีการควบคุมคามาเนฟิวเตอร์ (karma filter control) ทฤษฎีการควบคุมแบบเอสทู (h2 control) และทฤษฎีการควบคุมแบบเอสอินฟินิตี้ ( $h\infty$  control) ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกจำเพาะเจาะจงให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยโดยการใช้ 3 ทฤษฎี ได้แก่

3.1.1 ทฤษฎีการควบคุมแบบพี ไอ ดี (PID control) เพื่อต้องการปรับแก้ไขสมการควบคุม เช่น สามารถกระทำการ บวก ลบ คูณหาร อินทิเกรต รวมทั้งการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงหรืออนุพันธ์ได้ ด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า

3.1.2 ทฤษฎีการควบคุมแบบฟัซซี (fuzzy logic) ใช้สำหรับการปรับค่าเกน ค่าความผิดพลาด และอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด

3.1.3 ทฤษฎีไฮบริด (hybrid) ใช้สำหรับการปรับค่าเกน ของ พี ไอ ดี กับ ฟัซซี เพื่อให้การเคลื่อนที่ระยะต้นของลูกสูบไฮดรอลิกส์มีความเร็วสูงและเข้าตำแหน่งเซตพอยท์ (set point) ได้เร็วขึ้น

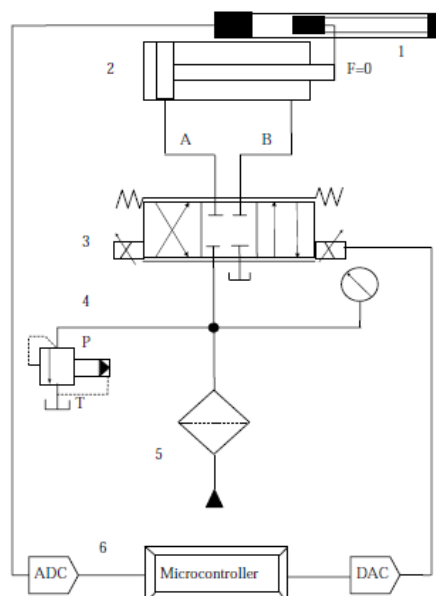
#### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและการสร้างเครื่องมือ

การวิจัยทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยได้จัดกระทำข้อมูลการวิจัยทดลองโดยแบ่งเครื่องมือออกเป็นขั้นตอนเพื่อช่วยในการหาคำตอบตามวัตถุประสงค์ทั้ง 2 ข้อ ของการวิจัยครั้งนี้ ในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้



3.1 ขั้นตอนศึกษาการควบคุมความดันของน้ำมันที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของลูกสูบให้ตรงตามตำแหน่ง และความเร็ว ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์อุปกรณ์ในการทดลองและกระบวนการทดลองดังนี้

การศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้อุปกรณ์ในระบบไฮดรอลิกส์ เพื่อควบคุมตำแหน่ง และความเร็วของลูกสูบ โดยโครงสร้างของระบบไฮดรอลิกส์จะประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆ ดังนี้



ภาพที่ 3.1 แสดงไดอะแกรมการทำงานของระบบไฮดรอลิกส์

จากภาพที่ 3.1 สามารถแสดงรายละเอียดตามหมายเลขดังนี้

- หมายเลข 1 ลิเนียร์โพเทนติโอมิเตอร์แบบ 0-10 โวลต์
- หมายเลข 2 กระบอกสูบแบบสองทางระยะชักสูงสุด 200 มิลลิเมตร
- หมายเลข 3 เซอร์โวไฮดรอลิกส์ โมเดล PTH-100/20E0
- หมายเลข 4 วาล์วกำจัดความดัน
- หมายเลข 5 ปัมป์ไฮดรอลิกส์โดยมีอัตราการไหลสูงสุดที่ 4 ลิตรต่อนาที
- หมายเลข 6 ไมโครคอนโทรลเลอร์

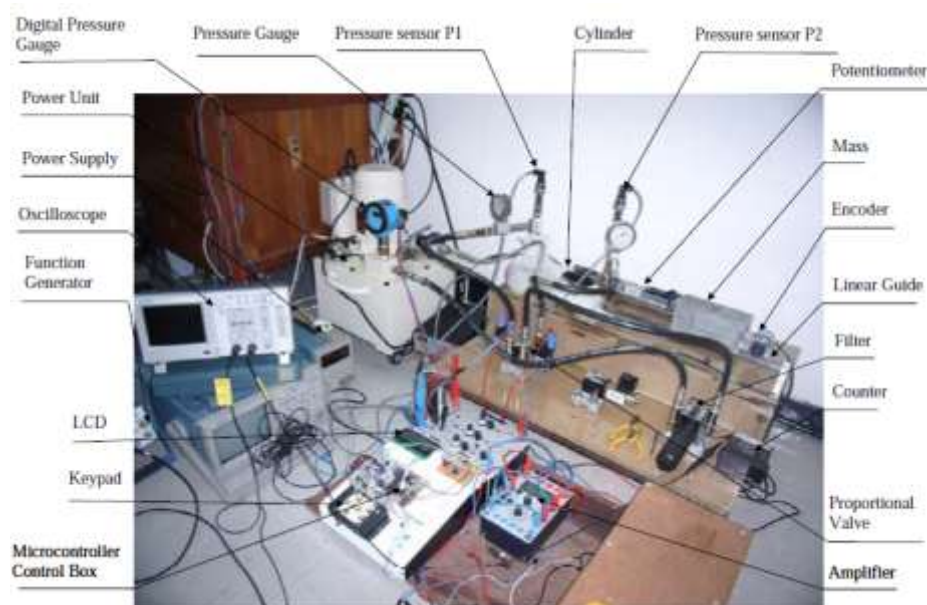
สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบร่วม ประกอบด้วยเพรสเซอร์เซ็นเซอร์ เพรสเซอร์เกจไหลที่ใช้ทดสอบ ออสซิลโลสโคป ฟังก์ชันเจนเรเตอร์ เป็นต้น

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลไว้ 2 ลักษณะการทำงานคือ

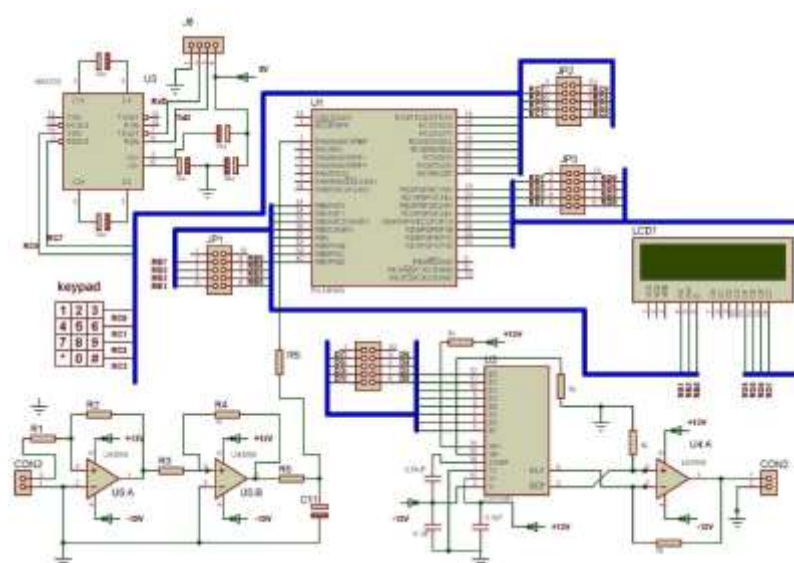
1 อุปกรณ์ระบบไฮดรอลิกส์สำหรับการทดลอง (experiment) อุปกรณ์ระบบไฮดรอลิกส์ที่ใช้ทดลองเพื่อแสดงผลการเก็บข้อมูล โดยจะเริ่มจากการเคลื่อนที่ของลูกสูบ เมื่อลูกสูบมีการเคลื่อนที่ โดยที่ก้านของลูกสูบจะยึดติดกับลิเนียร์โพเทนชิโอมิเตอร์ (linear potentiometer) จะทำให้โพเทนชิโอมิเตอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่เชิงเส้น โดยส่งสัญญาณเอาต์พุตออกมา



ระหว่าง 0 - 10 โวลต์ หลังจากนั้นสัญญาณจะไปที่ DAC ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จะปรับจูนค่า พี ไอ ดี หรือพีซีซี จะคอมไพล์และส่งสัญญาณออกจาก ADC ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ไปยังเซอร์โวไฮดรอลิกส์ โดยเซอร์โวไฮดรอลิกส์จะถูกปรับอัตราการไหลของลิ้น วาล์วเพื่อควบคุมน้ำมันในระบบ ทำให้สามารถควบคุมตำแหน่งและความเร็วของลูกสูบได้ หลังจากนั้น จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อีกตัว เขียนเพื่อรับค่าการเคลื่อนที่ของลูกสูบ และนำมาเก็บค่าและแสดงผล การเคลื่อนที่ลูกสูบ หรือแสดงผลผ่านออสซิลโลสโคปได้

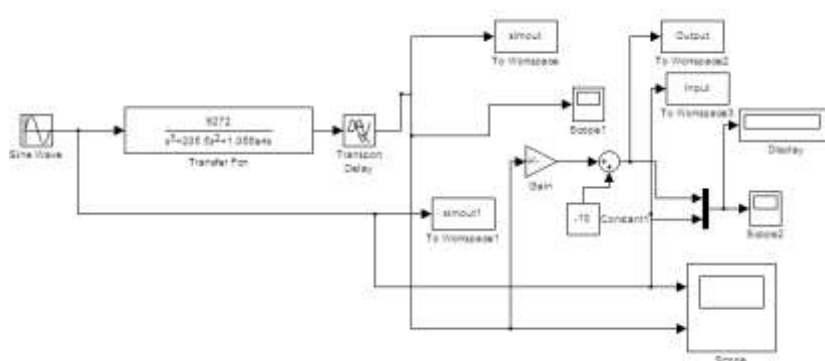


ภาพที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์ของระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์



ภาพที่ 3.3 วงจรควบคุมของระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์

2 การแสดงผลการทดลองระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์ผ่านการจำลองผลทางคณิตศาสตร์ (simulation) การจำลองและวิเคราะห์ของระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์จะใช้โปรแกรม MATLAB ในการจำลองสถานการณ์ (simulation) โดยในการจำลองสถานการณ์นี้จะนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลของการทดลอง (experiment) ว่ามีค่าใกล้เคียงกันหรือไม่ โดยโปรแกรม MATLAB จะมีกล่องเครื่องมือที่ใช้หลากหลายเช่น การประมวลสัญญาณ (signal processing toolbox) ระบบควบคุม (control system toolbox) หรือ ฟัซซีลอจิก (fuzzy logic toolbox) เป็นต้น



ภาพที่ 3.4 แสดงการจำลองสถานการณ์ (simulation)

3.2 ขั้นตอนการศึกษาเปรียบเทียบผลของการกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมของการเคลื่อนที่ลูกสูบไฮดรอลิกส์ ผู้วิจัยได้นำผลที่ได้จากตารางที่ 3.2 ดังนี้

3.2.1 ทดสอบผลการทดลองจากระบบไฮดรอลิกส์ (experiments) แบบระบบเปิดและระบบปิด

3.2.2 ทดสอบผลการทดลองจากโปรแกรม (MATLAB Simulation) แบบระบบเปิดและระบบปิดด้วยการทดสอบ simulation

3.2.3 นำผลการทดลองระหว่างระบบไฮดรอลิกส์ (experiments) กับผลการทดลองจากโปรแกรม (simulation) มาเปรียบเทียบเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสม ของการเคลื่อนที่ลูกสูบไฮดรอลิกส์

### 3.3 ขั้นตอนและวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้มีวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล สำหรับการทดลองลูกสูบควบคุมด้วยเซอร์โวไฮดรอลิกส์ ทดลองการควบคุมระบบไฮดรอลิกส์ผ่านการจำลองทางคณิตศาสตร์ (simulation) และทดลองอุปกรณ์ระบบไฮดรอลิกส์ (experiment) โดยจะนำค่าความสัมพันธ์ทั้ง 2 วิธีมาเปรียบเทียบผลการทดลอง เช่น การทดสอบความดันด้านทางออก (P1) และทางเข้า (P2) การควบคุมแบบระบบเปิด (open loop control) การควบคุมระบบปิดด้วย การทดสอบทฤษฎีการควบคุมแบบพี ไอ ดี การทดสอบทฤษฎีการควบคุมแบบฟัซซี (fuzzy control) และการทดสอบทฤษฎีไฮบริด (hybrid control) ดังแสดงตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2



ตารางที่ 3.1 แสดงการกำหนดความสัมพันธ์ของการทดลองระหว่างความดันและความถี่ตามทฤษฎีการควบคุมแบบพี ไอ ดี (PID control)

| ตัวแปรลำดับที่ | แบบสัดส่วนบวกกับอนุพันธ์ PD control |                   | ตัวแปรลำดับที่ | แบบสัดส่วนบวกกับอินทิกรัล PI control |                   | ตัวแปรลำดับที่ | แบบสัดส่วนร่วมกับอนุพันธ์และอินทิกรัล PID control |                   |
|----------------|-------------------------------------|-------------------|----------------|--------------------------------------|-------------------|----------------|---------------------------------------------------|-------------------|
|                | ความดันน้ำมัน (บาร์)                | ความถี่ (เฮิรตซ์) |                | ความดันน้ำมัน (บาร์)                 | ความถี่ (เฮิรตซ์) |                | ความดันน้ำมัน (บาร์)                              | ความถี่ (เฮิรตซ์) |
| 1              | 30                                  | 1                 | 19             | 30                                   | 1                 | 37             | 30                                                | 1                 |
| 2              | 30                                  | 2                 | 20             | 30                                   | 2                 | 38             | 30                                                | 2                 |
| 3              | 30                                  | 3                 | 21             | 30                                   | 3                 | 39             | 30                                                | 3                 |
| 4              | 30                                  | 4                 | 22             | 30                                   | 4                 | 40             | 30                                                | 4                 |
| 5              | 30                                  | 5                 | 23             | 30                                   | 5                 | 41             | 30                                                | 5                 |
| 6              | 30                                  | 6                 | 24             | 30                                   | 6                 | 42             | 30                                                | 6                 |
| 7              | 40                                  | 1                 | 25             | 40                                   | 1                 | 43             | 40                                                | 1                 |
| 8              | 40                                  | 2                 | 26             | 40                                   | 2                 | 44             | 40                                                | 2                 |
| 9              | 40                                  | 3                 | 27             | 40                                   | 3                 | 45             | 40                                                | 3                 |
| 10             | 40                                  | 4                 | 28             | 40                                   | 4                 | 46             | 40                                                | 4                 |
| 11             | 40                                  | 5                 | 29             | 40                                   | 5                 | 47             | 40                                                | 5                 |
| 12             | 40                                  | 6                 | 30             | 40                                   | 6                 | 48             | 40                                                | 6                 |
| 13             | 50                                  | 1                 | 31             | 50                                   | 1                 | 49             | 50                                                | 1                 |
| 14             | 50                                  | 2                 | 32             | 50                                   | 2                 | 50             | 50                                                | 2                 |
| 15             | 50                                  | 3                 | 33             | 50                                   | 3                 | 51             | 50                                                | 3                 |
| 16             | 50                                  | 4                 | 34             | 50                                   | 4                 | 52             | 50                                                | 4                 |
| 17             | 50                                  | 5                 | 35             | 50                                   | 5                 | 53             | 50                                                | 5                 |
| 18             | 50                                  | 6                 | 36             | 50                                   | 6                 | 54             | 50                                                | 6                 |



ตารางที่ 3.2 แสดงการกำหนดความสัมพันธ์ของการทดลองระหว่างความดันและความถี่ตาม  
ทฤษฎีการควบคุมแบบฟัซซี่ (fuzzy control) และไฮบริด (hybrid control)

| ตัวแปร<br>ลำดับที่ | การควบคุมแบบฟัซซี่<br>(fuzzy control ) |                     | ตัวแปร<br>ลำดับที่ | การควบคุมแบบไฮบริด<br>(hybrid control) |                     |
|--------------------|----------------------------------------|---------------------|--------------------|----------------------------------------|---------------------|
|                    | ความดันน้ำมัน<br>(บาร์)                | ความถี่<br>(เฮิรท์) |                    | ความดันน้ำมัน<br>(บาร์)                | ความถี่<br>(เฮิรท์) |
| 1                  | 30                                     | 1                   | 30                 | 30                                     | 1                   |
| 2                  | 30                                     | 2                   | 30                 | 30                                     | 2                   |
| 3                  | 30                                     | 3                   | 30                 | 30                                     | 3                   |
| 4                  | 30                                     | 4                   | 30                 | 30                                     | 4                   |
| 5                  | 30                                     | 5                   | 30                 | 30                                     | 5                   |
| 6                  | 30                                     | 6                   | 30                 | 30                                     | 6                   |
| 7                  | 40                                     | 1                   | 40                 | 40                                     | 1                   |
| 8                  | 40                                     | 2                   | 40                 | 40                                     | 2                   |
| 9                  | 40                                     | 3                   | 40                 | 40                                     | 3                   |
| 10                 | 40                                     | 4                   | 40                 | 40                                     | 4                   |
| 11                 | 40                                     | 5                   | 40                 | 40                                     | 5                   |
| 12                 | 40                                     | 6                   | 40                 | 40                                     | 6                   |
| 13                 | 50                                     | 1                   | 50                 | 50                                     | 1                   |
| 14                 | 50                                     | 2                   | 50                 | 50                                     | 2                   |
| 15                 | 50                                     | 3                   | 50                 | 50                                     | 3                   |
| 16                 | 50                                     | 4                   | 50                 | 50                                     | 4                   |
| 17                 | 50                                     | 5                   | 50                 | 50                                     | 5                   |
| 18                 | 50                                     | 6                   | 50                 | 50                                     | 6                   |
| 19                 | 60                                     | 1                   | 60                 | 60                                     | 1                   |
| 20                 | 60                                     | 2                   | 60                 | 60                                     | 2                   |
| 21                 | 60                                     | 3                   | 60                 | 60                                     | 3                   |
| 22                 | 60                                     | 4                   | 60                 | 60                                     | 4                   |
| 23                 | 60                                     | 5                   | 60                 | 60                                     | 5                   |
| 24                 | 60                                     | 6                   | 60                 | 60                                     | 6                   |



### 3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองที่ใช้เครื่องมือในการวิจัยทดลองประกอบด้วยแบบโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการจำลองผลทางคณิตศาสตร์ระหว่างความสัมพันธ์ระหว่างความดันและความถี่ตามทฤษฎีที่ใช้ในการทดลอง ข้อมูลที่ได้ปรากฏผลออกมาเป็นกราฟ และอ่านค่าและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ (qualitative data)

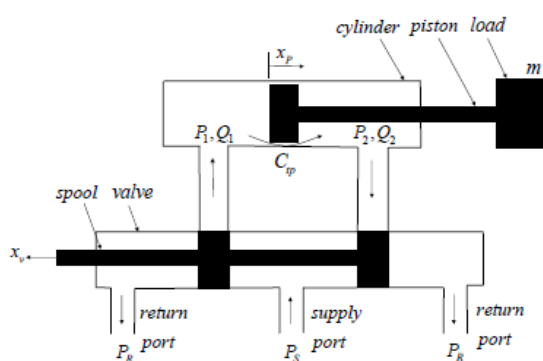
### 3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยทดลองครั้งนี้ แบ่งวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลออกเป็นขั้นตอนดังนี้

1. การศึกษาทฤษฎีการควบคุมระบบไฮดรอลิกส์ที่นำมาใช้ในระบบอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่และสามารถใช้ได้เป็นอย่างดี โดยศึกษารวบรวมจากข้อมูลเอกสาร ทฤษฎีต่าง ๆ
2. การบันทึกผลการทดลอง จากการจำลองผลทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วยแบบโปรแกรมสำเร็จรูป แมทแล็บ (MATLAB) ผู้วิจัยจัดทำแบบบันทึกการทดสอบเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับ คุณสมบัติด้านตำแหน่งและความเร็ว โดยการอ่านค่าจากกราฟบันทึกผล

### 3.6 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ ประกอบด้วยสมการเซอร์โววาล์วและสมการกระบอกสูบเป็นหลัก เซอร์โววาล์วเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างมากในการควบคุมระบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยอัตราการไหลของน้ำมันอยู่ในรูปฟังก์ชันของความต่างศักย์ไฟฟ้า และความดันของน้ำมันไฮดรอลิกส์ที่ตกคร่อมตัววาล์ว ภาพที่ 3.5 แสดงสัญลักษณ์และตัวแปรที่เกี่ยวข้องของเซอร์โววาล์ว สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก ( $Q$ ) ความดันไฮดรอลิก ( $P$ ) และน้ำหนัก ( $M$ ) สามารถหาได้จากจากสมการ Bernoulli ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.5 แสดงไดอะแกรมการเคลื่อนที่ของลูกสูบ



พิจารณาสมการการอัดตัวของน้ำมันภายในที่กระบอกสูบ

$$Q_1 = A_1 \dot{x} + \frac{V_1}{\beta} P_1 \quad (1)$$

$$Q_2 = A_2 \dot{x} + \frac{V_2}{\beta} P_2 \quad (2)$$

โดยในที่นี้  $V_1$  และ  $V_2$  คือปริมาตรเริ่มต้นของกระบอกสูบทั้งสอง ด้านในขณะเริ่มทำงาน และ  $\beta$  คือค่าบีบอัดตัวของน้ำมัน ลำดับต่อไป ประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน เพื่อหาสมการการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบ จะได้

$$m\ddot{x} = P_1 A_1 - P_2 A_2 - cx - F_f \quad (3)$$

การหาสมการของกระบอกสูบนั้นจะอยู่ภายใต้สมมติฐานว่าไม่มี การสูญเสียอัตราการไหลในท่อหรือสายไฮดรอลิกส์ระหว่างเซอโววาล์วกับกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ ดังนั้น

$$\frac{V_t}{4\beta_e} \dot{P}_L = A\dot{x} - C_{tp} P_L + Q_L \quad (4)$$

เมื่อ

$V_t$  = ปริมาตรของลูกสูบ

$P_L$  = ความดัน

$Q_L$  = อัตราการไหล

$A$  = พื้นที่

$\beta_e$  = สัมประสิทธิโมดูลัส

$C_{tp}$  = สัมประสิทธิการรั่วไหล

สมการอัตราการไหลในระบบจะได้เท่ากับ

$$Q_L = C_d w x_v \sqrt{\frac{P_s - \text{sgn}(x_v) P_L}{\rho}} \quad (5)$$

การหาความดันในระบบไฮดรอลิกส์ได้จากสมการที่ (4) และสมการที่ (5) ได้ดังนี้

$$P_L = -\left(\frac{4\beta_e A}{V_t}\right) \dot{x} - \left(\frac{4\beta_e C_{tp}}{V_t}\right) P_L + \left(\frac{4\beta_e}{V_t}\right) Q_t \quad (6)$$



$$P_L = -\alpha \dot{x} - \beta P_L + \left( \frac{4\beta_e C_d w}{V_t \sqrt{\rho}} \right) x_v \sqrt{P_s - \text{sgn}(x_v P_L)} \quad (7)$$

เมื่อค่าพารามิเตอร์ในระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์ประกอบด้วย

ค่าแอลฟา

$$\alpha = (4\beta_e A / V_t) \quad (8)$$

ค่าเบต้า

$$\beta = (4\beta_e C_{tp} / V_t) \quad (9)$$

ค่าแกมมา

$$\gamma = (4\beta_e C_d w / V_t \sqrt{\frac{1}{\rho}}) \quad (10)$$

เมื่อแทนสมการ (1) - (6) ลงในสมการ จะได้สมการตัวแทนเชิงคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= \frac{1}{m}(Ax_3 - F_f) \\ \dot{x}_3 &= -\alpha x_2 - \beta x_3 + (\sqrt{(P_s - \text{sgn}(x_4)x_3})x_4) \\ \dot{x}_4 &= x_5 \\ \dot{x}_5 &= -\omega_e^2 x_4 - 2\zeta\omega_e x_5 + \omega_e^2 \mu \end{aligned} \quad (11)$$

เมื่อกำหนดให้

$(\dot{x}_1)$  = ตำแหน่งของลูกสูบ

$(\dot{x}_2)$  = ความเร็วของลูกสูบ

$(\dot{x}_3)$  = ความดันน้ำมัน

$(\dot{x}_4)$  = ตำแหน่งของวาล์ว

$(\dot{x}_5)$  = ความเร็วของวาล์ว

3.6.1 การสร้างแบบจำลองระบบงาน (Plant Model) สามารถจำลองในส่วนของระบบงานให้เป็นรูปแบบของ “กล่อง (Box)” ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 การจำลองระบบงานด้วยกล่อง



สามารถจำแนกรูปแบบการโมเดลของกล่อง ได้ 3 รูปแบบ ดังนี้

1) white box modelling เป็นโมเดลระบบทำงานที่ทราบโครงสร้างของระบบทั้งหมดอย่างถูกต้องและครบถ้วน หรือเป็นปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ที่เกิดขึ้นได้อย่างแน่นอนตลอดเวลา (เช่น  $F = ma$ ) ซึ่งโมเดลนี้จะทำให้สามารถทำนายผลกระทบที่เกิดขึ้นจากระบบได้ถูกต้อง

2) grey box modelling เป็นโมเดลระบบทำงานที่ทราบโครงสร้างของระบบเพียงบางส่วน และยังมีข้อมูลของพารามิเตอร์บางตัวไม่ครบถ้วน เนื่องจากบางพารามิเตอร์ไม่สามารถวัดได้ (เช่น น้ำหนักของดาวเคราะห์) ซึ่งการจะทำให้ได้พารามิเตอร์ครบถ้วน อาจต้องหาจากข้อมูลจากประสบการณ์และความชำนาญ (experiment data) หรือข้อมูลจากการปรับตั้ง (tuning data)

3) black box modelling เป็นโมเดลระบบทำงานที่ไม่ทราบโครงสร้างภายใน หรือเป็นระบบทำงานที่ไม่มีทฤษฎีมารองรับอย่างถูกต้องเหมาะสม ซึ่งการจะโมเดลนี้ได้ต้องมาจากการเดาความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของระบบออกมา เช่น มอเตอร์ไฟฟ้าตัวที่จะควบคุมไม่มีชีตข้อมูล (data sheet) ประกอบ จากแบบจำลองระบบงานทั้ง 3 รูปแบบ พบว่าในการทำงานจริงระบบทำงานส่วนใหญ่จะเป็นแบบ grey box และ black box เนื่องจากไม่มีข้อมูลของพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ทั้งหมด หรือไม่มีข้อมูลเลย เช่น ข้อมูลในมอเตอร์ที่อยู่ในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น หรือบางครั้งอุปกรณ์มีการใช้งานเป็นเวลานาน ทำให้พารามิเตอร์เพี้ยนไปจากเดิม (แต่ไม่ทราบว่าเพี้ยนไปเป็นค่าใด) จึงเป็นการยากที่จะโมเดลทางคณิตศาสตร์ให้ได้อย่างถูกต้อง วิธีระบุเอกลักษณ์ของระบบ (system identification) จึงได้ถูกพัฒนามาเพื่อใช้หาโมเดลของระบบที่เป็นชนิด grey box และ black box โดยอาศัยข้อมูลความสัมพันธ์ของอินพุตกับเอาต์พุตของระบบงานนั้นๆ มาหาโมเดลของระบบงานได้

3.6.2 การระบุเอกลักษณ์ (Identification) การระบุเอกลักษณ์ของระบบ (system identification) ในการออกแบบระบบควบคุม จะประกอบด้วย 3 ส่วนที่สำคัญ ดังนี้

3.6.2.1 ชุดควบคุม (controller)

3.6.2.2 ระบบงาน (plant)

3.6.2.3 ชุดตรวจจับ (sensor)

ซึ่งในการออกแบบระบบควบคุมให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น จะต้องโมเดลระบบงาน (plant) ให้มีความถูกต้องให้เหมือนกันอุปกรณ์ที่ต้องการควบคุมจริงให้มากที่สุด ซึ่งโดยทั่วไปจะวิเคราะห์ในส่วนระบบให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันโอนย้าย (transfer function) ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตของระบบ ซึ่งอยู่ในรูปแบบของโมเดลคณิตศาสตร์ (math model) สามารถระบุเอกลักษณ์ของระบบใดๆ ได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ของอินพุตกับเอาต์พุต ดังสมการที่ (12)

$$y = f(u) \quad (12)$$

เมื่อ  $y$  คือ เอาต์พุต (ตัวแปรตาม, dependent variables)

$u$  คือ อินพุต (ตัวแปรอิสระ, independent variables)



ตัวอย่าง : จากกฎของนิวตัน  $F = ma$  ถ้าต้องการหาความเร่ง (a) จะพบว่า ความเร่งเป็นผลกระทบมาจากแรงที่กระทำ (F) ซึ่งจะมีมวล (m) เป็นค่าคงที่ จะได้  $y = a$ ,  $u = F$  และ  $f(u) = u/m$

ซึ่งโดยทั่วไป ตัวแปร  $y$  และ  $u$  มีลักษณะเป็นเวกเตอร์ได้ (หลายอินพุต, หลายเอาต์พุต ที่มีความสัมพันธ์กันอยู่) เช่น  $y = [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_p]'$  และ  $u = [u_1 \ u_2 \ \dots \ u_m]'$  โดยที่

กรณี  $m = 1$  : คำตอบที่ได้ เป็นปริมาณสเกลาร์ (scalar,  $p = 1$ ) สมการที่ (1) จะเป็นลักษณะเส้นโค้ง (curve) ในระนาบ  $x - y$  (รูป 2 มิติ)

กรณี  $m = 2$  : สมการที่ (1) จะมีลักษณะเป็นพื้นผิว (surface) (รูป 3 มิติ)

กรณี  $m > 2$  : สมการที่ (1) จะมีลักษณะเป็นพื้นผิวชั้นสูง (hypersurface) ในที่ว่าง (space) ที่เหมาะสม (รูปหลายมิติ)

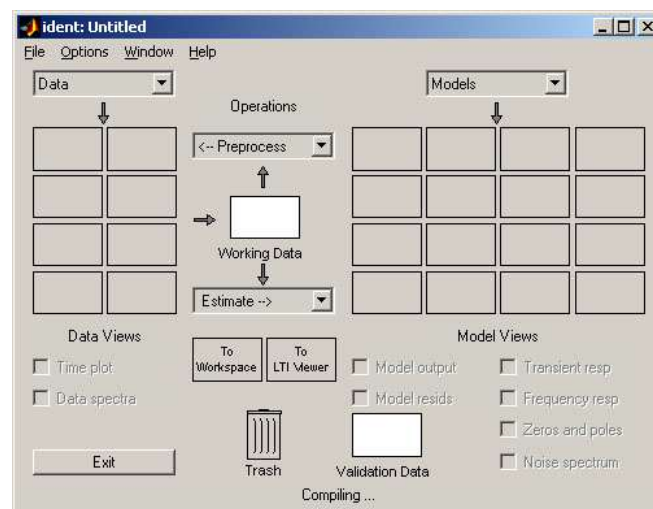
การระบุเอกลักษณ์ให้มีความถูกต้อง จะต้องคำนึงถึงสัญญาณรบกวน และความผิดพลาดต่างๆ ด้วย จะได้

$$y(k) = f(u(k)) + v(k), \quad k=1, 2, \dots, N \quad (13)$$

เมื่อ  $v(k)$  คือความผิดพลาดที่เกิดขึ้น (เช่น ความผิดพลาดจากการวัด) กระบวนการระบุเอกลักษณ์ จะทำการเรียนรู้ (Learning) เพื่อหา  $f(u)$  จากความสัมพันธ์ของคู่  $(u(k), y(k))$  ซึ่งก็คือ (examples, training set) ซึ่งจะต้องมีการใช้ทฤษฎีต่างๆมาใช้ในการคำตอบ (ระบุเอกลักษณ์ของระบบ) ออกมา เช่น ทฤษฎีการประมาณฟังก์ชัน (function approximation theory), ทฤษฎีการเรียนรู้ (learning theory), ทฤษฎีโครงข่ายประสาทเทียม (neural networks) และ last but not least, statistics เป็นต้น

### 3.6.3 การระบุเอกลักษณ์ของระบบทำงานด้วยโปรแกรมแมทแล็บ (MATLAB)

โปรแกรมแมทแล็บ จะมีกล่องเครื่องมือ (tool box) ที่เรียกว่า “ident” เพื่อใช้ในการระบุเอกลักษณ์ของระบบทำงานได้ โดยใช้ข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตที่ได้จากการทดสอบของระบบทำงานนั้น มาใช้เป็นข้อมูลในการระบุเอกลักษณ์



ภาพที่ 3.7 หน้าต่างแสดง “ident” tool box



1) ข้อมูลของอินพุตและเอาต์พุตของระบบ จะป้อนที่ส่วนของ data ทางซ้ายของ หน้าต่าง

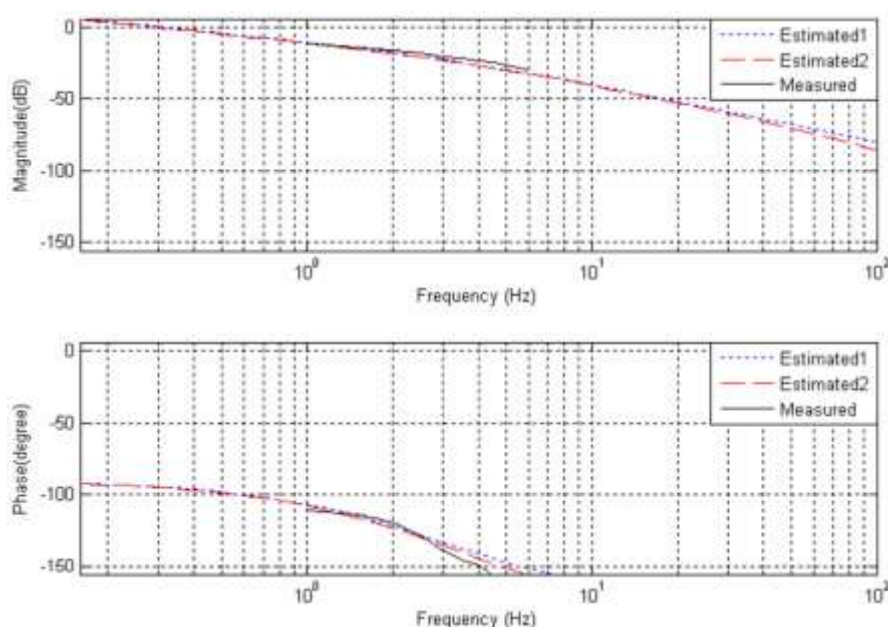
2) ในส่วน operations จะเป็นการกำหนด zero , pole และ delay time ของระบบ ซึ่งจะส่งผลต่อความถูกต้องในการระบุเอกลักษณ์ของระบบ

3) ในส่วน model เป็นคำตอบที่ได้จากการทำกำหนดค่าต่างๆในส่วน operations จะมีการเปรียบเทียบเอาต์พุตที่ได้จากการระบุเอกลักษณ์ กับเอาต์พุตที่ป้อนเข้าไปตอนแรก (เอาต์พุตที่ได้จากการทดสอบจริง)

ในการทดสอบระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์ จะใช้ความดันสูงสุดที่ 50 บาร์ โดยมีความถี่ 1- 6 เฮิรท์ และค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ดังนั้นการควบคุมสัดส่วนเชิงเส้นของระบบอันดับที่สาม (third order plant) จากการคำนวณผลทางคณิตศาสตร์จะได้สมการดังนี้

$$Gs = \frac{Kq \frac{\omega_n^2}{A_1}}{s(s^2 + 2\delta\omega_n s + \omega_n^2)} \quad (14)$$

การระบุเอกลักษณ์ของระบบทำงานด้วยโปรแกรมแมทแลบ ด้วยการควบคุมสัดส่วนเชิงเส้นของระบบอันดับที่สาม จากกล่องเครื่องมือ (tool box) ที่เรียกว่า “ident” จะได้กราฟดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 แสดงการควบคุมสัดส่วนเชิงเส้นของระบบอันดับที่สอง (estimated1) และการควบคุมสัดส่วนเชิงเส้นของระบบอันดับที่สาม (estimated2)



จากผลการทดลองการหาค่าการระบุเอกลักษณ์ของระบบทำงานด้วยโปรแกรมแมทแล็บ ซึ่งประมาณได้ว่าระบบควบคุมเซอร์โวไฮดรอลิกส์ เป็นระบบอันดับสาม แล้วนำมาเขียนเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปของฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบได้ดังนี้

สมการแบบพีไอดี

$$u(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (15)$$

สมการฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ

$$\frac{X(s)}{R(s)} = \frac{C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)} \quad (16)$$

สมการระบบปิดแบบการควบคุมสัดส่วนเชิงเส้นของระบบอันดับที่สาม

$$Gs = \frac{5432.58}{s^3 + 179.65s^2 + 8069.07s} \quad (17)$$

เมื่อแทนสมการ (16) - (17) ลงในสมการ จะได้สมการตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$\frac{K_p(1+T_{ds} + \frac{1}{T_{is}}) \frac{K}{s(1+T_{p1s})(1+T_{p2s})}}{1 + K_p(1+T_{ds} + \frac{1}{T_{is}}) \frac{K}{s(1+T_{p1s})(1+T_{p2s})}} \quad (18)$$

ดังนั้น จากสมการพีไอดี (PID) จะได้ค่าเกนของตัวควบคุมดังนี้

$$Kp = 0.694$$

$$Ki = 1.84$$

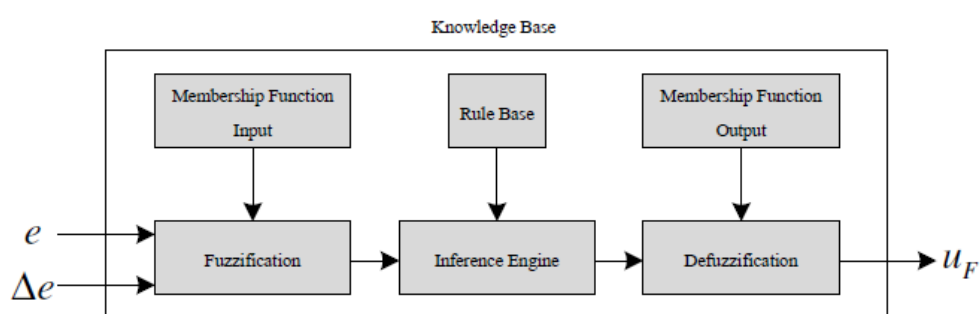
$$Kd = 1.64$$



ตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์ในระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์

| ชนิดของพารามิเตอร์                     | ค่าของพารามิเตอร์      | หน่วย        |
|----------------------------------------|------------------------|--------------|
| supply pressure ( $P_s$ )              | $5 \times 10^6$        | Pa           |
| total actuator volume ( $V_t$ )        | $2.44 \times 10^{-5}$  | $m^3$        |
| effective modulus ( $\beta_e$ )        | $7.60 \times 10^8$     | $N/m^2$      |
| actuator ram area ( $A$ )              | $2.4 \times 10^{-4}$   | $m^2$        |
| actuator piston position ( $x_v$ )     | 0.2                    | m            |
| total leakage coefficient ( $C_{tp}$ ) | $5 \times 10^{-13}$    | $m^3/(s.Pa)$ |
| discharge coefficient ( $C_d$ )        | 0.61                   | -            |
| spool valve area gradient ( $\omega$ ) | $2.39 \times 10^{-3}$  | m            |
| spool valve position ( $x$ )           | $0.238 \times 10^{-3}$ | m            |
| load flow ( $Q_L$ )                    | $2.5 \times 10^{-5}$   | $m^3/sec$    |
| fluid mass density ( $\rho$ )          | 870                    | $kg/m^3$     |
| mass of actuator and load ( $m$ )      | 9.19                   | kg           |

3.6.4 การออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิก ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกเป็นตัวควบคุมหนึ่งที่สามารถกำหนดตัวแปรด้านอินพุตและด้านเอาต์พุตได้หลายตัวแปร (multi Input & multi output) ด้วยเหตุนี้ ฟัซซีลอจิกจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ถูกวิจัยได้นำมาประยุกต์ใช้ สำหรับควบคุมระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์ ซึ่งโครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกแสดงได้ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 โครงสร้างของระบบควบคุมแบบฟัซซีลอจิก



จากทฤษฎีนี้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกมีจำนวนตัวแปรอินพุตอยู่ด้วยกัน 2 อินพุต โดยที่อินพุตแรกเป็นตัวแปรค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ ( $e(k)$ ) โดยกำหนดได้ดังนี้

$$e(k) = r(k) - y(k) \quad (19)$$

เมื่อ  $y(k)$  เป็นผลตอบสนองของการเคลื่อนที่ และ  $r(k)$  เป็นตำแหน่งอ้างอิง ส่วนตัวแปรอินพุตถัดมาเป็นตัวแปรอนุพันธ์ค่าความผิดพลาดของอนุกรม ( $\Delta e(k)$ ) โดยกำหนดได้ดังนี้

$$\Delta e(k) = e(k) - e(k-1) \quad (20)$$

เมื่อ  $e(k-1)$  เป็นค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ที่ผ่านมา สำหรับตัวแปรเอาต์พุตมีจำนวน 1 เอาต์พุตเป็นค่าสัญญาณควบคุมที่ได้จากกระบวนการสรุปหาเหตุผล (defuzzification) ด้วยวิธีการหาจุดศูนย์ถ่วง (central of gravity)

$$COG = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i \omega_i}{\sum_{i=1}^N \alpha_i} \quad (21)$$

จากสมการที่ (21) ได้กำหนดค่าของสมการได้ดังนี้

$COG$  คือ ค่าของจุดศูนย์ถ่วง (central of gravity)

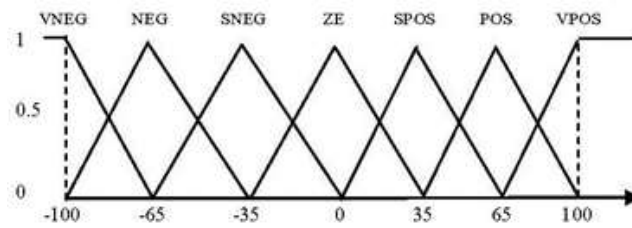
$N$  คือ ค่าฟัซซีตำแหน่งที่ 1 ถึง ตำแหน่งที่  $i$

$\alpha_i$  คือ ค่าฟัซซีของเอาต์พุตในเซตฟัซซีตำแหน่งที่  $i$

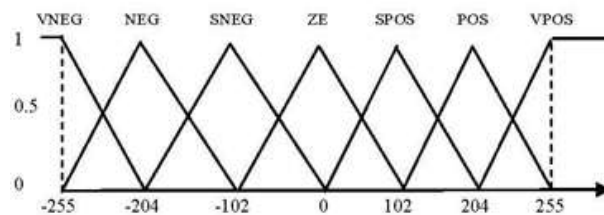
$\omega_i$  คือ พื้นที่ใต้โค้งของเซตฟัซซีตำแหน่งที่  $i$

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรทั้ง 3 ตัวเลือกใช้เป็นฟังก์ชันสามเหลี่ยมเนื่องจากเป็นฟังก์ชันดั้งเดิมสะดวกและมักใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยที่จำนวนอินพุตของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกมีอยู่ด้วยกัน 2 อินพุต ซึ่งแต่ละอินพุตมีจำนวนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเท่ากับ 7 สมาชิก โดยกำหนดค่าระยะระหว่าง -100 ถึง 100 ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.10 และเอาต์พุตมีจำนวนฟังก์ชันความเป็นสมาชิกเท่ากับ 7 สมาชิก โดยกำหนดค่าระยะระหว่าง -255 ถึง 255 ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 3.11

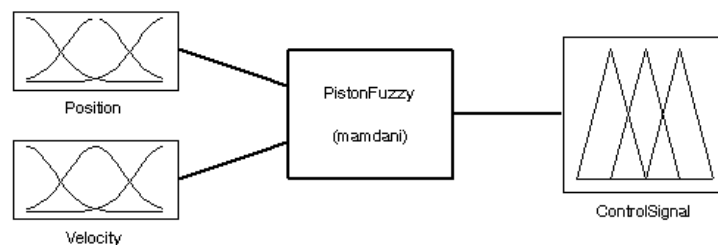




ภาพที่ 3.10 การออกแบบฟังก์ชันสมาชิกของอินพุต



ภาพที่ 3.11 การออกแบบฟังก์ชันสมาชิกของเอาต์พุต



ภาพที่ 3.12 โครงสร้างการอินเตอร์เฟสของระบบควบคุมแบบฟัซซีลอจิก

ดังนั้นจำนวนกฎของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกจึงมีค่าเท่ากับ 49 กฎ ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 3.13

กฎข้อ 1 ถ้า  $\Delta P$  มีค่า VNEG และ  $\Delta V$  มีค่า VPOS แล้ว ข้อมูล  $\Delta O$  เป็นกลุ่ม ZE

หรือ  $[(\Delta P = \text{VNEG} \wedge \Delta V = \text{VPOS}) \text{ เมื่อ } \Delta O = \text{ZE}]$

กฎข้อ 2 ถ้า  $\Delta P$  มีค่า VNEG และ  $\Delta V$  มีค่า POS แล้ว ข้อมูล  $\Delta O$  เป็นกลุ่ม SPOS

หรือ  $[(\Delta P = \text{VNEG} \wedge \Delta V = \text{POS}) \text{ เมื่อ } \Delta O = \text{SPOS}]$

กฎข้อ 3 ถ้า  $\Delta P$  มีค่า VNEG และ  $\Delta V$  มีค่า SPOS แล้ว ข้อมูล  $\Delta O$  เป็นกลุ่ม POS

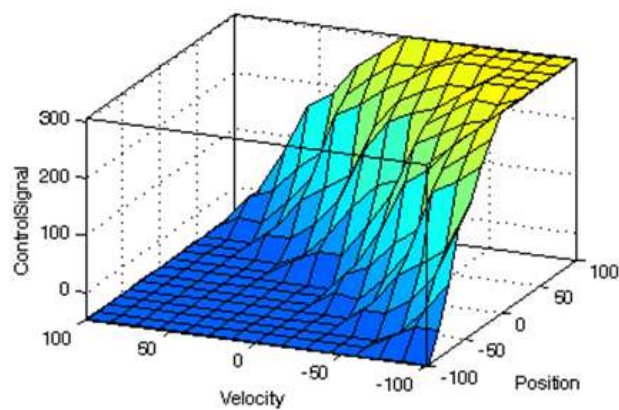
หรือ  $[(\Delta P = \text{VNEG} \wedge \Delta V = \text{SPOS}) \text{ เมื่อ } \Delta O = \text{POS}]$



| e/de | VPOS | POS  | SPOS | ZE   | NSEG   | NEG  | VNEG |
|------|------|------|------|------|--------|------|------|
| VNEG | ZE   | SPOS | POS  | VPOS | VPOS   | VPOS | VPOS |
| NEG  | SNEG | ZE   | SPOS | POS  | VSPPOS | VPOS | VPOS |
| SNEG | NEG  | SNEG | ZE   | SPOS | POS    | VPOS | VPOS |
| ZE   | VNEG | NEG  | SNEG | ZE   | SPOS   | POS  | VPOS |
| SPOS | VNEG | VNEG | NEG  | SNEG | ZE     | SPOS | POS  |
| POS  | VNEG | VNEG | VNEG | NEG  | SNEG   | ZE   | SPOS |
| VPOS | VNEG | VNEG | VNEG | VNEG | NEG    | SNEG | ZE   |

ภาพที่ 3.13 กฎการควบคุมฟัซซีลอจิก

จากกระบวนการประมวลผลของฟัซซีลอจิกสามารถแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตและอินพุตบนพื้นผิวฟัซซีทั้ง 3 ระนาบซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.14 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุตและอินพุตของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก

ฟังก์ชันสมาชิกของระบบไฮดรอลิกส์ โดยที่จำนวนอินพุตของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกมีอยู่ด้วยกัน 2 อินพุต สามารถหาค่าสโลป (slop) จากการออกแบบฟังก์ชันสมาชิกได้ดังนี้

$$VPOS(x) = \begin{cases} (x - 65) / 35 & \text{when } 65 \leq x \leq 100, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (22)$$

$$POS(x) = \begin{cases} (100 - x) / 35 & \text{when } 65 \leq x \leq 100, \\ (x - 35) / 30 & \text{when } 35 \leq x \leq 65, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (23)$$

$$SPOS(x) = \begin{cases} (65 - x) / 30 & \text{when } 35 \leq x \leq 65, \\ x / 35 & \text{when } 0 \leq x \leq 35, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (24)$$



$$ZE(x) = \begin{cases} (35-x)/35 & \text{when } 0 \leq x \leq 35, \\ (x+35)/35 & \text{when } -35 \leq x \leq 0, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (25)$$

$$SNEG(x) = \begin{cases} x/35 & \text{when } -35 \leq x \leq 0, \\ (x+65)/30 & \text{when } -65 \leq x \leq -35 \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (26)$$

$$NEG(x) = \begin{cases} -(35+x)/30 & \text{when } -65 \leq x \leq 35, \\ (x+100)/35 & \text{when } -100 \leq x \leq -65, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (27)$$

$$VNEG(x) = \begin{cases} -(65+x)/35 & \text{when } -100 \leq x \leq -65, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (28)$$

ฟังก์ชันสมาชิกของระบบไฮดรอลิกส์ จากเอาต์พุตของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก สามารถหาค่าสโลป (slop) จากการออกแบบฟังก์ชันสมาชิกได้ดังนี้

$$VPOS = \begin{cases} (x-204)/51 & \text{when } 204 \leq x \leq 255, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (29)$$

$$POS = \begin{cases} (255-x)/51 & \text{when } 204 \leq x \leq 255, \\ (x-102)/100 & \text{when } 102 \leq x \leq 204, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (30)$$

$$SPOS = \begin{cases} (204-x)/100 & \text{when } 102 \leq x \leq 204, \\ x/102 & \text{when } 0 \leq x \leq 102, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (31)$$

$$ZE = \begin{cases} (102-x)/102 & \text{when } 0 \leq x \leq 102, \\ (x+102)/102 & \text{when } -102 \leq x \leq 0, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (32)$$

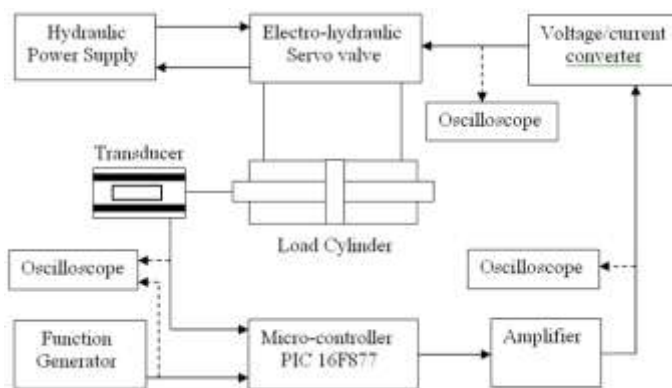


## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปราย

จากผลการวิจัยเรื่อง การควบคุมตำแหน่งและความเร็วของเซอร์โวไฮดรอลิกส์ด้วยระบบ พี ไอ ดี และ ฟัซซีลอจิก โดยการออกแบบตัวควบคุมแบบสัดส่วนปริพันธ์ อนุพันธ์ (PID controller) และตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก (fuzzy logic) เพื่อควบคุมตำแหน่ง (position) และความเร็ว (speed) ของเซอร์โวไฮดรอลิกส์ สำหรับระบบควบคุมป้อนกลับแบบพีไอดี ที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการและค่าที่ต้องการ ตัวควบคุมพยายามที่จะลดค่าความผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรของพีไอดี ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบ วิธีการคำนวณของพีไอดี ขึ้นอยู่กับสามตัวแปรคือค่าสัดส่วน ปริพันธ์ และอนุพันธ์ โดยค่าสัดส่วนกำหนดจากผลของความผิดพลาดในปัจจุบัน ค่าปริพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของผลรวมความผิดพลาดที่ซึ่งเพิ่งผ่านพ้นไป และค่าอนุพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด โดยในงานวิจัยนี้ต้องการปรับค่าคงที่ของพีไอดี ให้เหมาะสมกับขบวนการและความต้องการได้ โดยได้ทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมกับความดันที่ 30, 40, 50 บาร์ และทดสอบที่ความถี่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 เฮิรท์ การทดสอบระบบควบคุมแบ่งออกได้ดังนี้

1. ระบบเปิด (open loop)
2. การควบคุมแบบพีไอดี (PID controller)
3. การควบคุมแบบฟัซซีลอจิก (fuzzy logic)
4. การควบคุมแบบไฮบริด (hybrid control)



ภาพที่ 4.1 ไดอะแกรมการทำงานของระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์



#### 4.1 ผลการทดลองระบบเปิด (open loop)

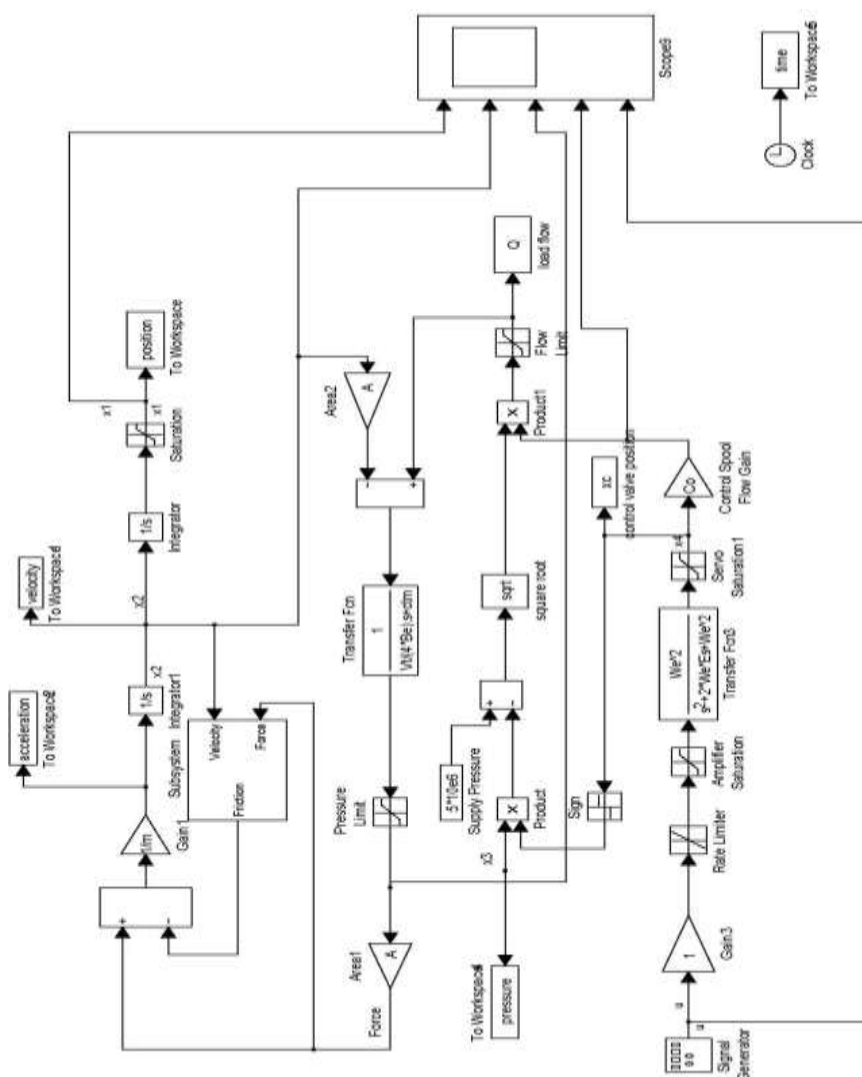
ผลการทดลอง การแสดงผลการทดลองระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์ผ่านการจำลองผลทางคณิตศาสตร์ (simulation) การจำลองและวิเคราะห์ของระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์จะใช้โปรแกรม MATLAB ในการจำลองสถานการณ์ (simulation) โดยในการจำลองสถานการณ์นี้จะนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลของการทดลอง (experiment) ว่ามีค่าใกล้เคียงกันหรือไม่ โดยอาจจะมีการเปรียบเทียบระหว่างเฟส (phase) หรือแอมพลิจูด (amplitude) การทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมกับความดันที่ 30, 40, 50 บาร์ และทดสอบที่ความถี่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 เฮิรตซ์ ดังนี้



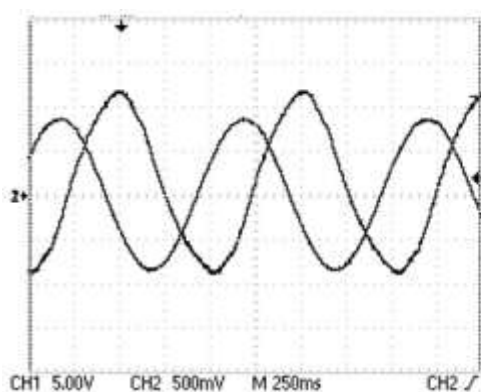
ภาพที่ 4.2 การหาค่าความเสียดทานของน้ำหนักร



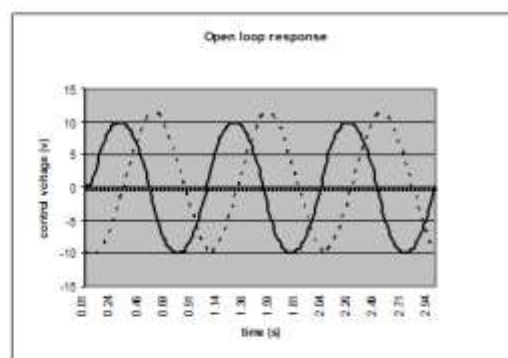
ภาพที่ 4.3 ชุดทดลองเซอร์โวไฮดรอลิกส์



ภาพที่ 4.4 บล็อกไดอะแกรมการควบเซอร์โวไฮดรอลิกส์ระบบเปิด

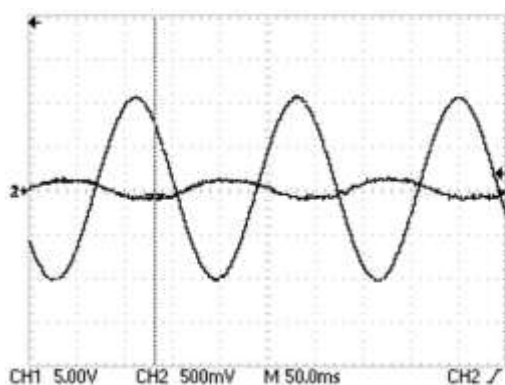


ก) การทดลอง (experiment)

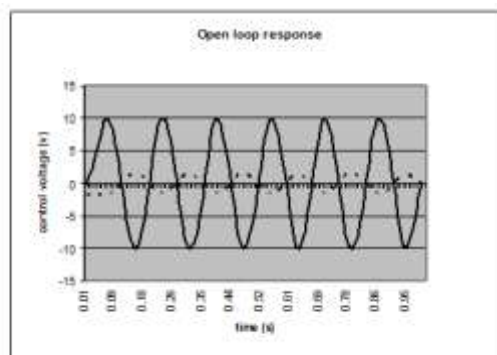


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 4.5 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 1 เฮิรท์ และความดัน 30 บาร์

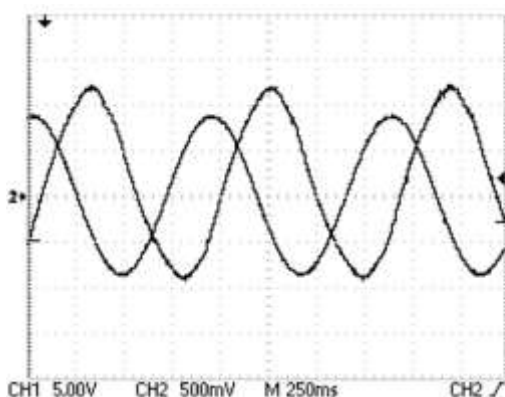


ก) การทดลอง (experiment)

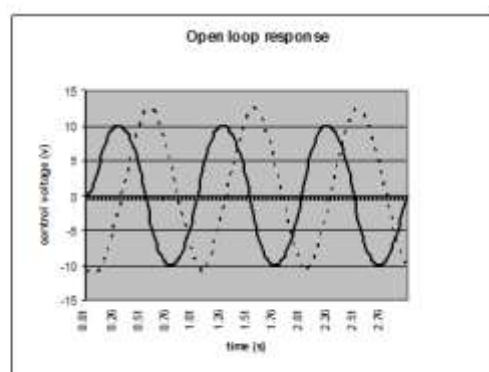


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 4.6 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 6 เฮิรท์ และความดัน 30 บาร์



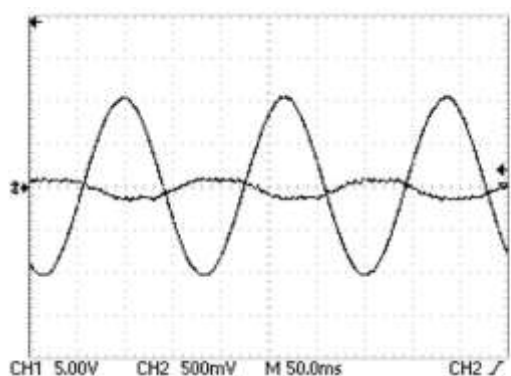
ก) การทดลอง (experiment)



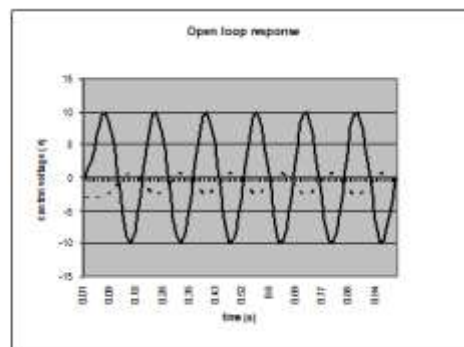
ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 4.7 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 1 เฮิรท์ และความดัน 40 บาร์



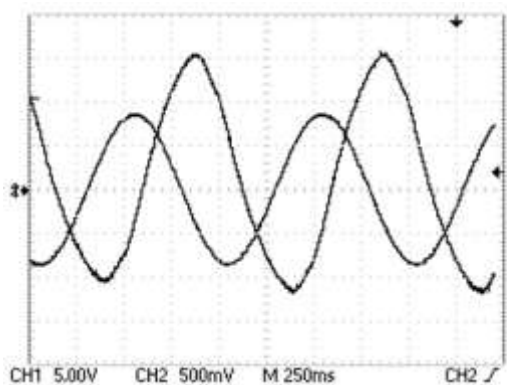


ก) การทดลอง (experiment)

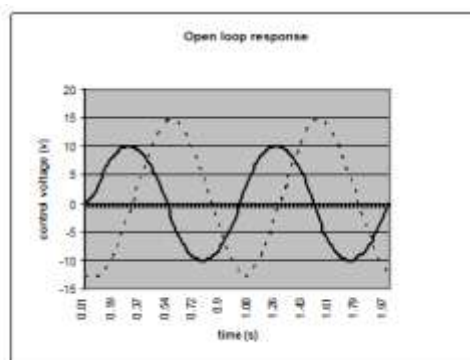


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 4.8 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 6 เฮิรท์ และความดัน 40 บาร์

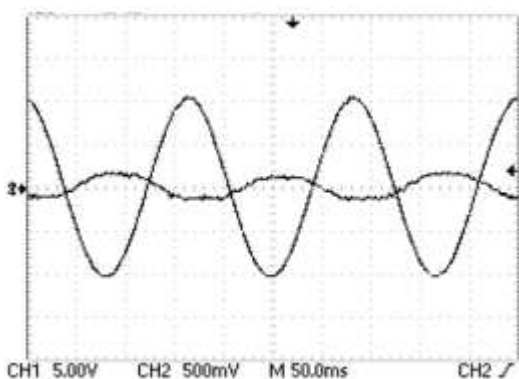


ก) การทดลอง (experiment)

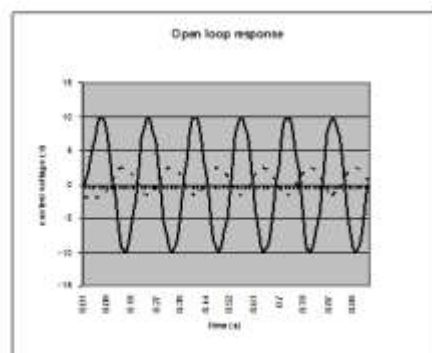


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 4.9 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 1 เฮิรท์ และความดัน 50 บาร์

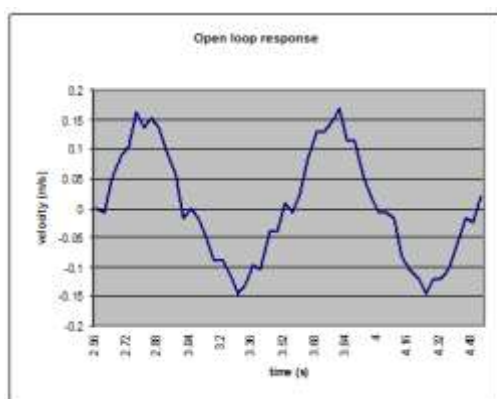


ก) การทดลอง (experiment)

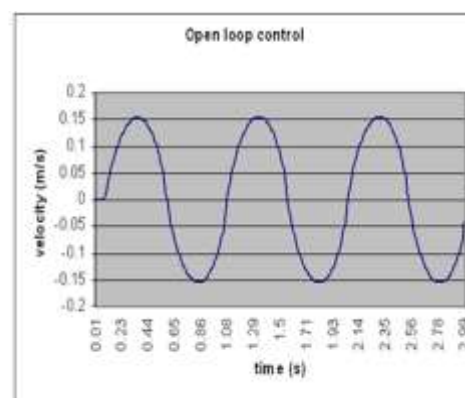


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 4.10 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 6 เฮิรท์ และความดัน 50 บาร์



ก) การทดลอง (experiment)



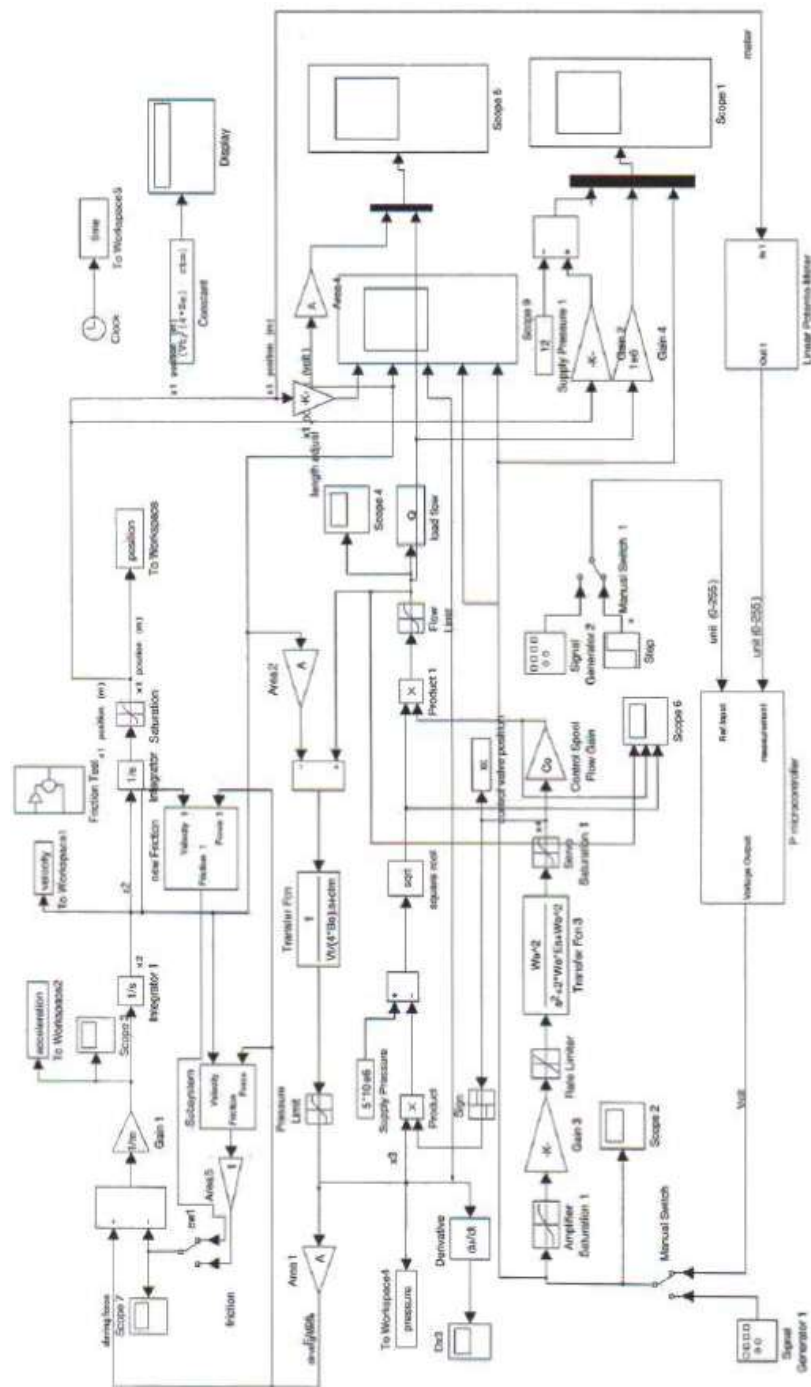
ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 4.11 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 6 เฮิรตซ์ และความดัน 50 บาร์

## 4.2 ผลการทดลองระบบปิด (closed loop control)

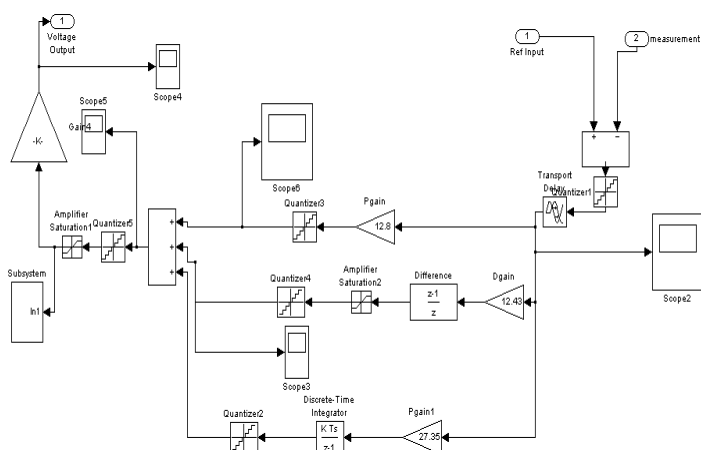
ผลการทดลองการจำลองผลทางคณิตศาสตร์ จำนำค่าพารามิเตอร์เช่น ความดัน ปริมาตร ของลูกสูบ ค่าบัคคโมดูลัส และค่าอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องมาทำการทดสอบการควบคุมตำแหน่ง และความเร็ว ของลูกสูบไฮดรอลิกส์ การสร้างระบบควบคุมแบบ พีไอดีและพีซซีลอจิก ในการควบคุมความเร็วของ ระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์นี้ ระบบไฮดรอลิกที่ใช้ในการทดลองที่ทำงานด้วยกระบอกสูบและบังคับ ความเร็วการทำงานด้วยวาล์วควบคุมทิศทางชนิดเซอร์โวไฮดรอลิกส์ ระบบควบคุมแบบพีไอดีและพีซซี ลอจิก ที่สร้างขึ้นจะคำนวณคำสั่งส่งงานส่งไปยังวาล์วควบคุมทิศทางเซอร์โวไฮดรอลิกส์ โดยใช้สัญญาณ ป้อนกลับจากลิเนียโพเทนชิโอมิเตอร์ ผลการควบคุมตำแหน่งและความเร็วของระบบไฮดรอลิกส์ด้วยพีไอ ดีและพีซซีลอจิกจะถูกเปรียบเทียบกับผลการควบคุมด้วยการจำลองสถานการณ์ (simulation) กระทำ ได้ด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะคำนวณสัญญาณควบคุมตามสัญญาณสั่งงาน และสัญญาณ ป้อนกลับจาก ลิเนียโพเทนชิโอมิเตอร์ สัญญาณสั่งงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกขยายด้วยวาล์ว แอมพลิไฟเออร์ ก่อนส่งไปยังวาล์วควบคุมทิศทาง ที่ตำแหน่งปลายของลูกสูบจะมีที่สำหรับติดตั้งมวล ถ่วงเพื่อใช้สำหรับการทดลองในกรณีทีภาระภายนอกมีขนาดไม่คงที่



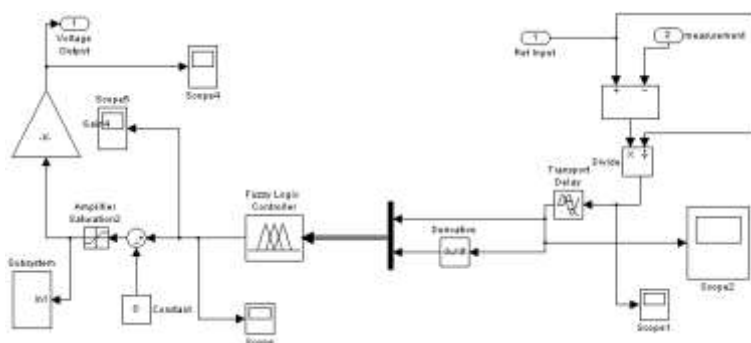


ภาพที่ 4.12 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมเซอร์โวไฮดรอลิกส์ระบบปิด

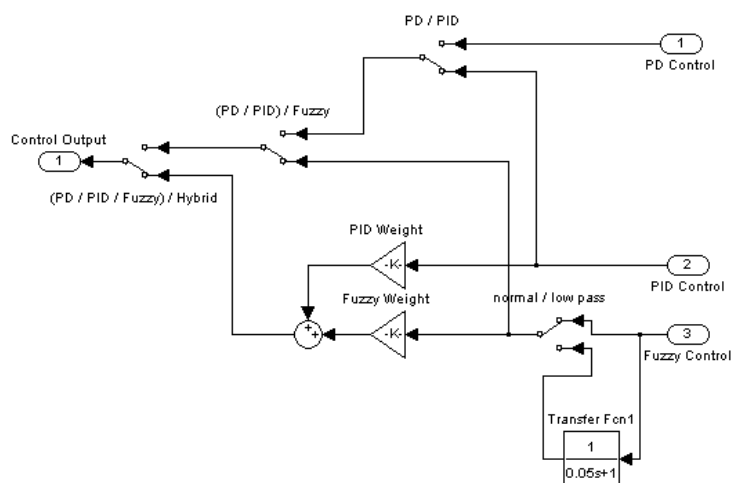




ภาพที่ 4.13 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบพีไอดี

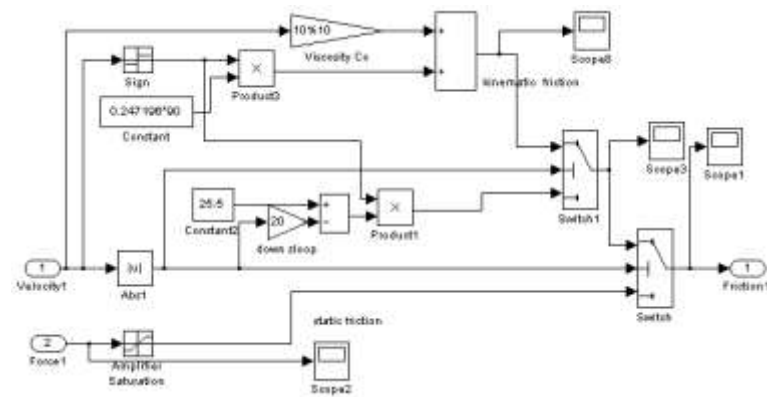


ภาพที่ 4.14 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก

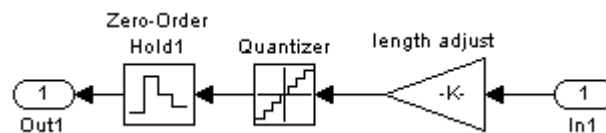


ภาพที่ 4.15 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบไฮบริด

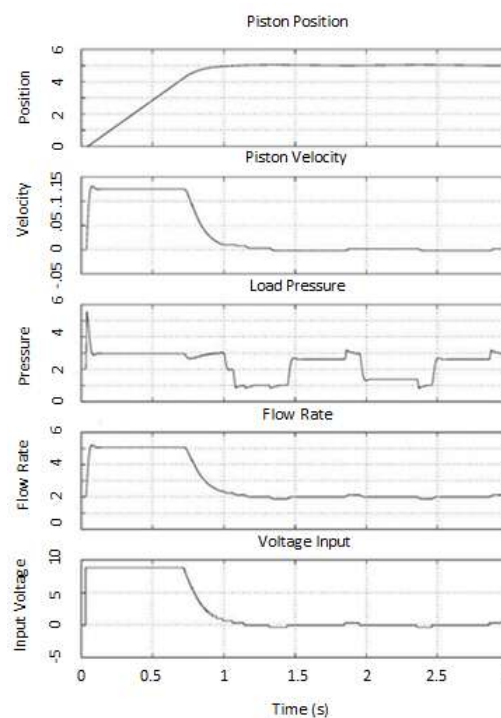




ภาพที่ 4.16 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมความเร็ว แรง และแรงเสียดทาน

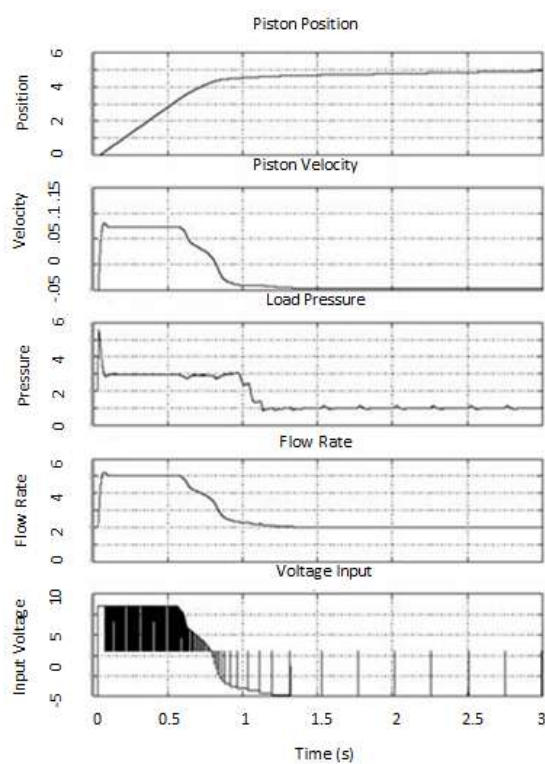


ภาพที่ 4.17 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบลิเนียร์โพเทนชิโอมิเตอร์

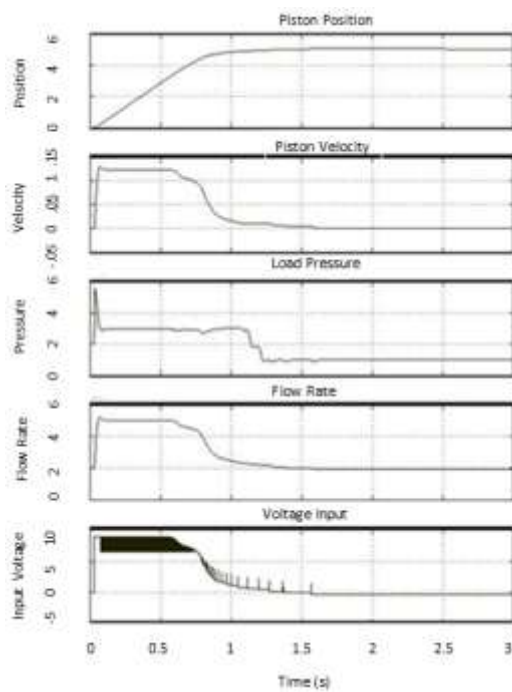


ภาพที่ 4.18 การควบคุมแบบพีไอดี (PID controller)

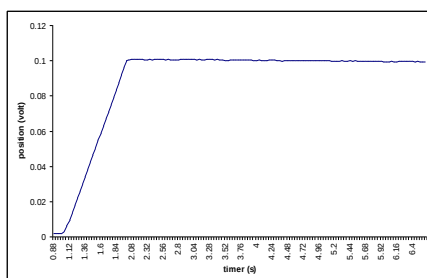




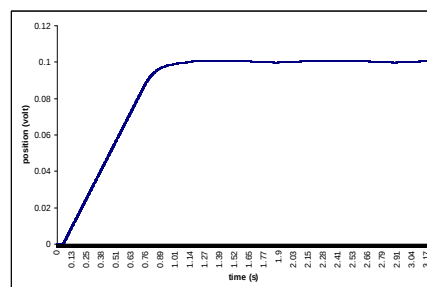
ภาพที่ 4.19 การควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก (fuzzy logic)



ภาพที่ 4.20 การควบคุมแบบไฮบริด (hybrid control)

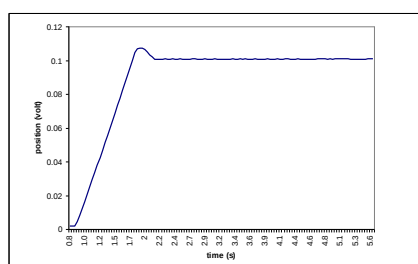


ก) การทดลอง (experiment)

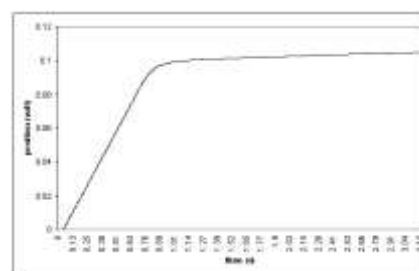


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 4.21 การทดสอบการควบคุมตำแหน่งของลูกสูบด้วยการควบคุมแบบพีไอดี

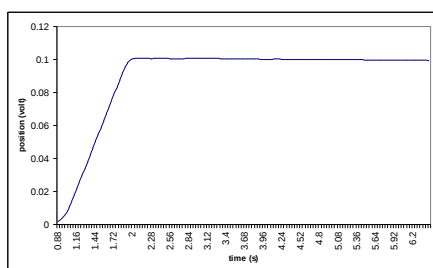


ก) การทดลอง (experiment)

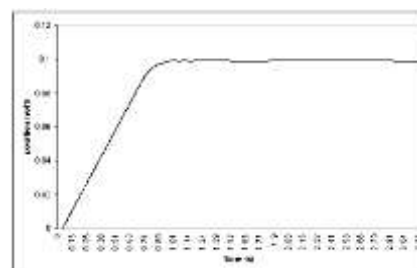


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 4.22 การทดสอบการควบคุมตำแหน่งของลูกสูบด้วยการควบคุมแบบพีซีแอลจิก

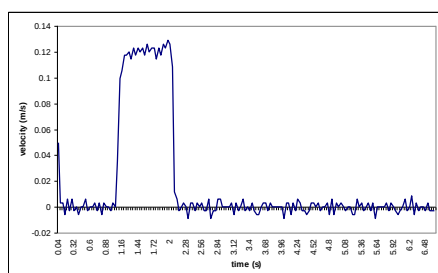


ก) การทดลอง (experiment)

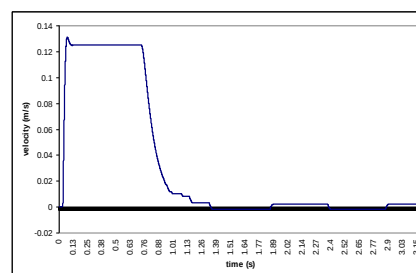


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 4.23 การทดสอบการควบคุมตำแหน่งของลูกสูบด้วยการควบคุมแบบไฮบริด



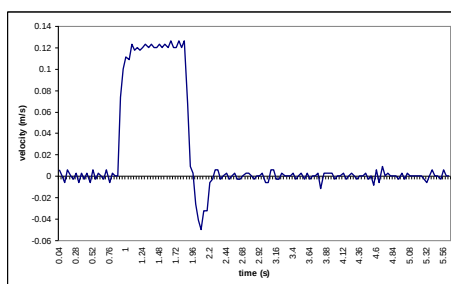
ก) การทดลอง (experiment)



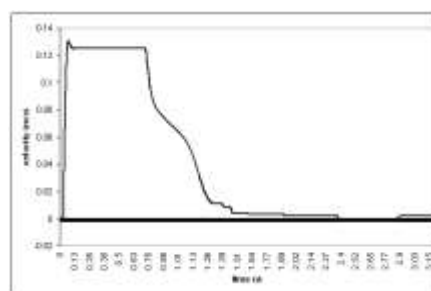
ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 4.24 การทดสอบการควบคุมความเร็วของลูกสูบด้วยการควบคุมแบบพีไอดี



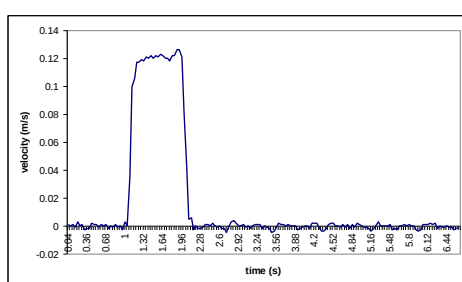


ก) การทดลอง (experiment)

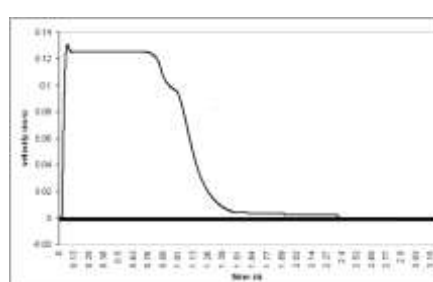


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 4.25 การทดสอบการควบคุมความเร็วของลูกสูบด้วยการควบคุมแบบพีชชีลอจิก



ก) การทดลอง (experiment)



ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 4.26 การทดสอบการควบคุมความเร็วของลูกสูบด้วยการควบคุมแบบไฮบริด

### 4.3 ผลการจำลองการทำงาน

ผลจากการจำลองผลทางคณิตศาสตร์ ซึ่งประมาณได้ว่าการวิเคราะห์ระบบของเซอร์โวไฮดรอลิกส์ นี้เป็นระบบอันดับที่สาม ดังแสดงที่สมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยในระบบจะใช้ค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ ความดันที่ ( $P_s$ )  $5 \times 10^6 \text{ Pa}$ , ปริมาตรของลูกสูบ ( $V_t$ )  $2.44 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ , ค่าบักคโมดูลัส ( $\beta_e$ )  $7.60 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ , ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วไหล ( $C_{tp}$ )  $5 \times 10^{-13} \text{ m}^3 / (\text{s.Pa})$ , ค่าสัมประสิทธิ์การปล่อย ( $C_d$ ) 0.61, ขนาดของสปูนวาล์ว ( $\chi_v$ )  $0.238 \times 10^{-3} \text{ m}$ , อัตราการไหล ( $Q_L$ )  $2.5 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{sec}$ , ความหนาแน่น ( $\rho$ )  $870 \text{ kg/m}^3$ , น้ำหนักวาล์ว ( $m$ )  $9 \text{ kg}$ . โครงสร้างบล็อกไดอะแกรม ของระบบควบคุมดังแสดงในภาพที่ 4.12 อธิบายได้ว่าสัญญาณควบคุมของตัวควบคุมแบบค่าสัดส่วน ปริพันธ์ อนุพันธ์ และแบบพีชชีลอจิก ถูกนำมารวมเป็นสัญญาณควบคุมเพื่อเป็นการปรับแต่งสัญญาณควบคุมตำแหน่ง (position control) ความเร็ว (speed control) และลดค่าความผิดพลาดของระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์ที่เกิดขึ้นขณะที่ระบบอยู่ในสภาวะคงตัว



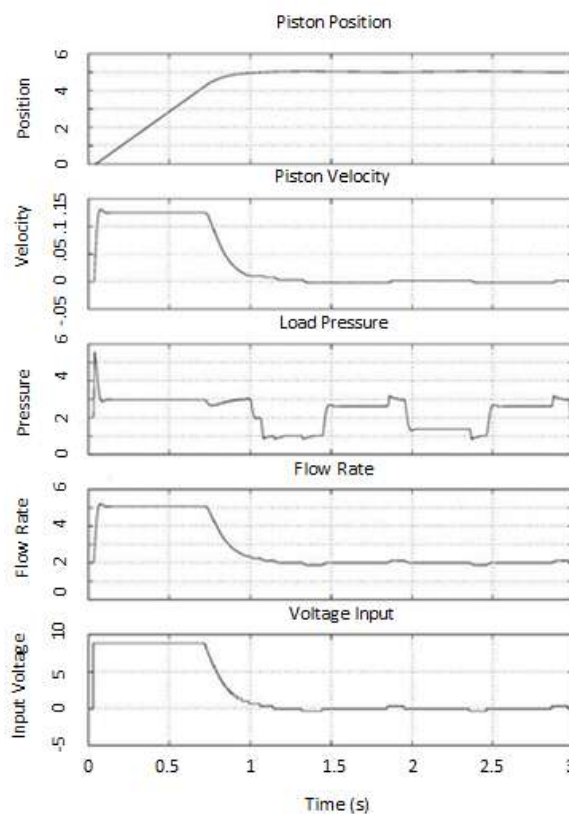
## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

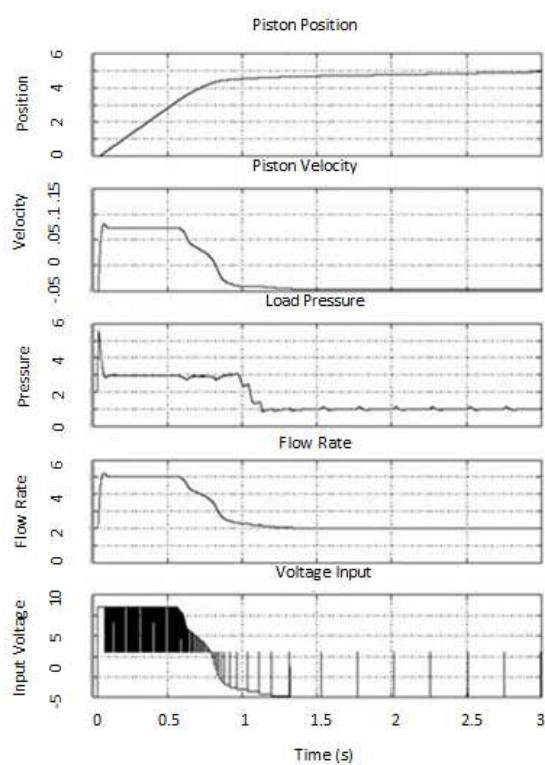
จากการสังเคราะห์วงจรในบทที่ 4 ได้แสดงให้เห็นว่า การทดลองเพื่อควบคุมตำแหน่งและความเร็วของระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์ ทดสอบความสามารถของระบบควบคุมพีไอดี ค่าเกน  $K_P$  ค่าเกน  $K_I$  และ ค่าเกน  $K_D$  และระบบควบคุมของฟัซซีลอจิกถูกเลือกโดยการทดลองให้มีผลการควบคุมที่ดีที่สุด โดยได้แบ่งผลการทดลองได้ดังนี้

- 1.การควบคุมแบบพีไอดี (PID controller)
- 2.การควบคุมแบบฟัซซีลอจิก (fuzzy logic)
- 3.การควบคุมแบบไฮบริด (hybrid control)

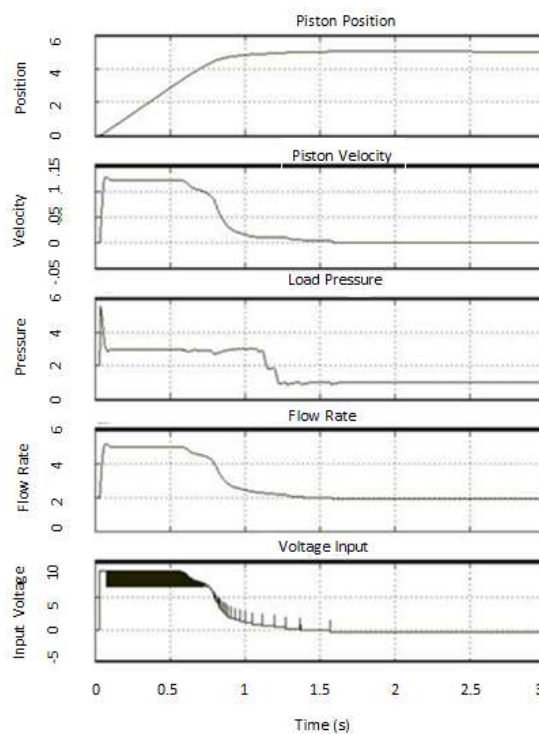


ภาพที่ 5.1 การควบคุมแบบพีไอดี (PID controller)





ภาพที่ 5.2 การควบคุมแบบฟัซซีลอจิก (fuzzy logic)



ภาพที่ 5.3 การควบคุมแบบไฮบริด (hybrid control)



โดยการควบคุมทั้ง 3 แบบนี้ ทำให้สามารถควบคุมตำแหน่งและความเร็วของระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์ ได้ผลใกล้เคียงกัน แต่การควบคุมระบบไฮดรอลิกส์จะเป็นการควบคุมจากตัวต้นกำลัง (power) โดยสามารถควบคุมแรงดัน อัตราการไหล และค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ที่มีผลทำให้ลูกสูบสามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วและตำแหน่งที่ถูกต้อง ดังนั้นจากผลการทดลองสามารถหาค่าความผันแปรของค่าความผิดพลาดได้จาก

$$\text{กำลัง (power)} = \text{แรงดัน (pressure)} \times \text{อัตราการไหล (flow rate)}$$

โดยค่าความผันแปรของค่าความผิดพลาดต่อช่วงระยะเวลาสามารถเปรียบเทียบจากผลการทดลองดังตารางที่ 5.1 ดังนี้

ตารางที่ 5.1 ความผันแปรของค่าความผิดพลาดของระบบกำลังไฮดรอลิกส์

| ชนิดของตัวควบคุม | คาบเวลาที่1<br>(0-0.5 sec) | คาบเวลาที่2<br>(0.5-1 sec) | คาบเวลาที่3<br>(1-1.5 sec) | คาบเวลาที่4<br>(1.5-2 sec) | คาบเวลาที่5<br>(2-2.5 sec) | คาบเวลาที่6<br>(2-2.5 sec) |
|------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| พีไอดี           | 1.464<br>kw/h              | 0.434<br>kw/h              | 0.08 kw/h                  | 0.648<br>kw/h              | 0.27 kw/h                  | 0.648<br>kw/h              |
| พีซีแอลจิก       | 1.464<br>kw/h              | 0.108<br>kw/h              | 0.014<br>kw/h              | 0.007<br>kw/h              | 0.007<br>kw/h              | 0.007<br>kw/h              |
| ไฮบริด           | 1.464<br>kw/h              | 0,027<br>kw/h              | 0.009<br>kw/h              | 0.007<br>kw/h              | 0.007<br>kw/h              | 0.007<br>kw/h              |

ผลรวมของตัวควบคุมแบบพีไอดี = 3.544 kw/h

ผลรวมของตัวควบคุมแบบพีซีแอลจิก = 1.607 kw/h

ผลรวมของตัวควบคุมแบบไฮบริด = 1.521 kw/h

## 5.2 อภิปรายผล

จากการทดลองการทำงานของระบบไฮดรอลิกส์ด้วยการควบคุมตำแหน่งและความเร็วของลูกสูบที่ตำแหน่งของลูกสูบ 42 มิลลิเมตร ด้วยความเร็ว 0.123 เมตรต่อวินาที ค่าความผันแปรของค่าความผิดพลาดของระบบกำลังไฮดรอลิกส์ ด้วยตัวควบคุมแบบพีไอดีมีค่าเท่ากับ 3.544 kw/h ตัวควบคุมแบบพีซีแอลจิกมีค่าเท่ากับ 1.607 kw/h และตัวควบคุมแบบไฮบริดมีค่าเท่ากับ 1.521 kw/h



### 5.3 ข้อเสนอแนะ

1. โดยตัวควบคุมแบบพีไอดี จะเกิดคาคลาดเคลื่อนในสถานะคงตัวมากกว่าตัวควบคุมแบบพีซีลอจิก ระบบควบคุมพีซีลอจิก จะถูกออกแบบและประยุกต์ใช้กับการควบคุมความเร็วของระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์ ระบบควบคุมได้ถูกออกแบบด้วยจำนวนของกฎการควบคุมที่ไม่มากนัก ผลการทดลองแสดงให้เห็นผลการควบคุมที่ดีของระบบพีซีลอจิก เมื่อเปรียบเทียบกับระบบควบคุมพีไอดี ระบบพีซีลอจิก จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับระบบควบคุมเซอร์โวไฮดรอลิกส์

2. การใช้งานระบบไฮดรอลิกส์เป็นไปอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมหนัก เนื่องจากข้อดีของระบบไฮดรอลิกส์คือความทนทานในการใช้งานหนักเป็นระยะเวลาต่อเนื่องโดยปราศจากความเสียหาย ความสะดวกในการถ่ายทอดกำลังโดยผ่านทางสายไฮดรอลิกส์ การเคลื่อนที่ของไฮดรอลิกส์มีความแข็งแรงสูงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่น อัตราส่วนระหว่างขนาดต่อกำลังที่มีขนาดเล็กกว่าระบบอื่น และระบบไฮดรอลิกส์มีประสิทธิภาพในการระบายความร้อนได้ดีกว่าระบบอื่น แต่ข้อเสียที่สำคัญของระบบไฮดรอลิกส์คือระบบไฮดรอลิกส์เป็นระบบที่ซับซ้อน ไม่เป็นเชิงเส้น และยากที่จะสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้ละเอียดและถูกต้อง

3. เนื่องจากงานในวิจัยครั้งนี้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะพิจารณาเพียงส่วนของ เซอร์โววาลว และกระบอสูบไฮดรอลิกส์เท่านั้น แต่ไม่ได้พิจารณาแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในระบบด้วย ดังนั้น หากกล่าวในแง่ของประสิทธิภาพการควบคุมที่ดีขึ้นจึงควรมีการสร้างแบบจำลอง แรงเสียดทาน (friction model) ให้กับระบบและควรเพิ่มการชดเชยแรงเสียดทาน (friction compensation) ให้กับตัวควบคุมด้วย นอกจากนั้นเนื่องจากในขณะที่ระบบไฮดรอลิกส์ทำงาน ค่าตัวแปรภายในระบบอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงดังนั้นจึงควรมีการออกแบบตัวควบคุมแบบปรับ ค่าตัวแปร (adaptive parameter) เพิ่มเติมด้วย



เอกสารอ้างอิง



## เอกสารอ้างอิง

- [1] Werner, Gotz. Bosch Hydraulics. Stuttgart, Robert Bosch GmbH, 1984.
- [2] Closed Loop Training Manual for Proportional and Servo Valves. Sperry Vickers, 1989.
- [3] Proportional Technology. Lohr HYDAC GmbH, Mannesmann Rexroth GmbH, 1986.
- [4] M, Ahmed. B, D. H. M, I. and B, M. System Identification and Control of a Hydraulic Actuator. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2015, Vol.10, pp.9043-9047.
- [5] Rong, L. Xuanyin, W. Guoliang, T. and Fan, D. Theoretical and Experimental Study on hydraulic servo position control system with generalization pulse Code modulation control.
- [6] Keles, O. and Ercan, Y. Theoretical and experimental investigation of a pulse-width modulated digital hydraulic position control system. Control Engineering Practice, 2002, Vol.10, pp.645-654.
- [7] Li, K. Mannan, M. Xu, M. and Xiao, Z. Electro hydraulic proportional control of twin cylinder hydraulic elevators. Control Engineering Practice, 2001, Vol.9, pp.367-373.
- [8] Measson, Y. David, O. Louveau, F. and Friconneau, J. P. Technology and Control for hydraulic manipulators. Fusion Engineering and Design, 2003, pp.129-134.
- [9] Branco, P. J. C. and Dente, J. A. On using fuzzy logic to integrate learning Mechanisms in an electro - hydraulic system. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics, 2000, Vol.30, pp.305-316.
- [10] Mudi, R. K. and Pal, N. K. A self - turning fuzzy PI controller. Fuzzy sets systems, 2000, Vol.115, pp.327-338.
- [11] Berger, M. Self-turning of a PI controller using fuzzy logic for a construction unit testing apparatus. Control Engineering Practice, 1996, Vol.4, pp.785-790.
- [12] Yamazaki, T. An improved algorithm for self-organizing controller and its Experimental analysis. John Hopkins, University Press, Baltimore, 1982.
- [13] เดชฤทธิ์ มณีธรรม. “คัมภีร์การใช้งานระบบไฮดรอลิกส์”. กรุงเทพฯ, ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2559.
- [14] เดชฤทธิ์ มณีธรรม. “คัมภีร์การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC”. กรุงเทพฯ, ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2559.
- [15] Chen, C. Y, Cheng, C. C. and Chiu, G.T. Fuzzy controller design for synchronous motion in a dual cylinder electro hydraulic system. Control Eng. Pract. 2008, Vol.16, pp.658- 673.



- [16] Yongxing, H. Chaofeng, W. and Lihui, Song. Study on fuzzy-logic PID control System of synchronous jack-up system of turbine runner static equilibrium experiment.
- [17] Ayman, A. A. A Hybrid of Fuzzy and PID Controller for Servo Electro – Hydraulic System. International Journal of Scientific & Engineering Research, 2015, Vol. 6, pp.1595-1600.
- [18] Dr, Ali. A, Mohsin. and H, AL. Assady. Design and Analysis of Electro-Hydraulic Servo System for Speed Control of Hydraulic Motor. Journal of Engineering, 2013, Vol. 19, (journal style)
- [19] K, Sailan. DC Motor Angular Position Control using PID Controller for the Purpose Of Controlling the Hydraulic Pump. International conference on Control, Engineering, Information Technology (CEIT'13) proceeding engineering and technology, 2013, Vol. 1, pp .22- 26.
- [20] Jianyong, YAO and Zongxia JIAO. Nonlinear Adaptive Robust Force Control of Hydraulic Load Simulator. Chinese Journal of Aeronautics, 2012, Vol. 25, pp. 766-775.
- [21] Zhao, T. and Virvalo, T. Development of Fuzzy State Controller and Its Application in Hydraulic Position Servo. Journal of Mechatronics, Vol 5, 1995, pp. 527–540.
- [22] Ayman, A. Model Reference PID Control of an Electro-hydraulic Drive. Intelligent Systems and Applications, 2012, Vol. 11, pp. 24-32.
- [23] Rozali, S. PID Controller Design for an Industrial Hydraulic Actuator with Servo System. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010, Vol. 16, pp. 13-14.

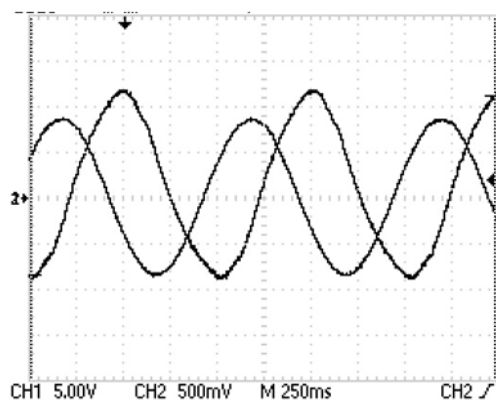


ภาคผนวก

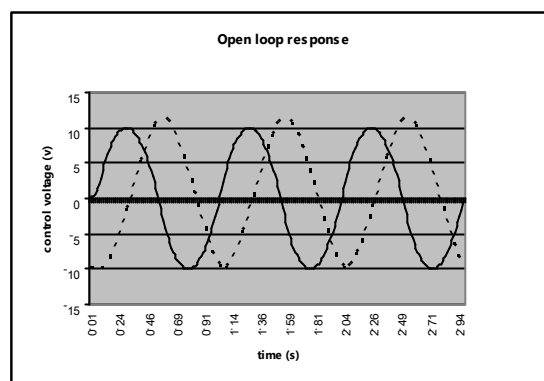


ภาคผนวก ก  
การควบคุมความดันในระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์



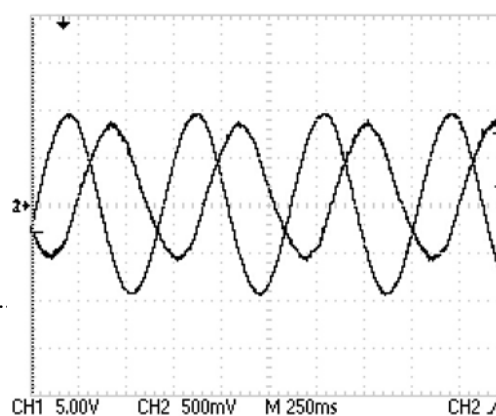


ก) การทดลอง (experiment)

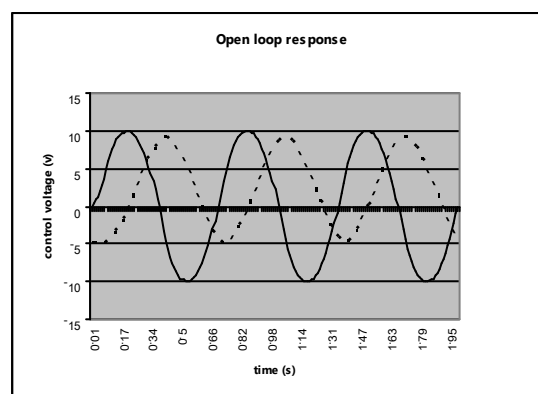


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 1 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 1 เฮิร์ต และความดัน 30 บาร์

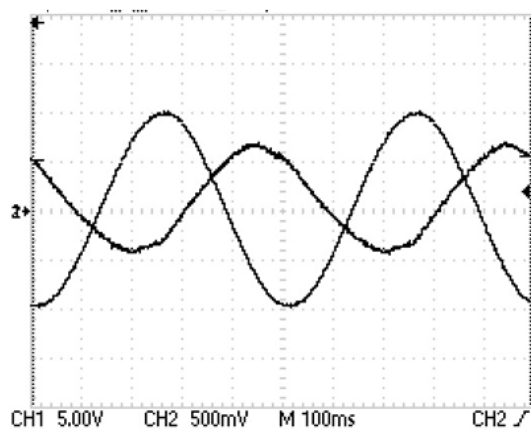


ก) การทดลอง (experiment)

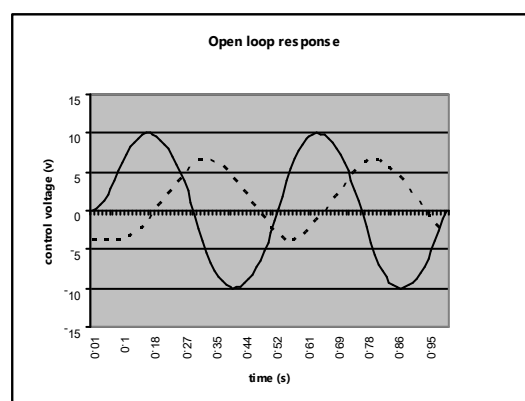


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 2 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 1.5 เฮิร์ต และความดัน 30 บาร์



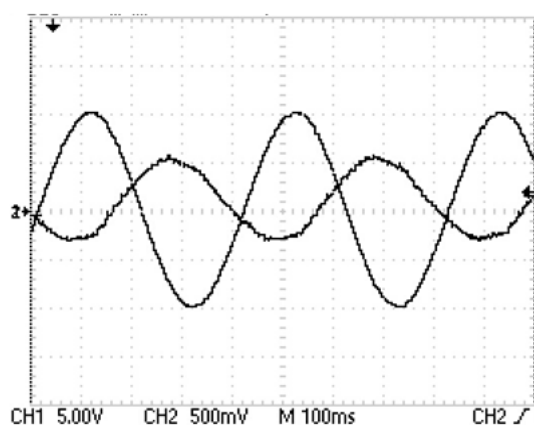
ก) การทดลอง (experiment)



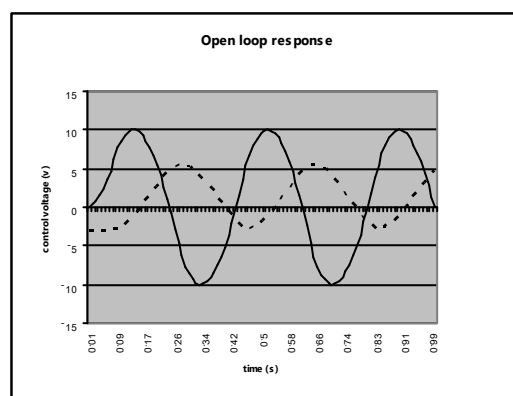
ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 3 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 2 เฮิร์ต และความดัน 30 บาร์



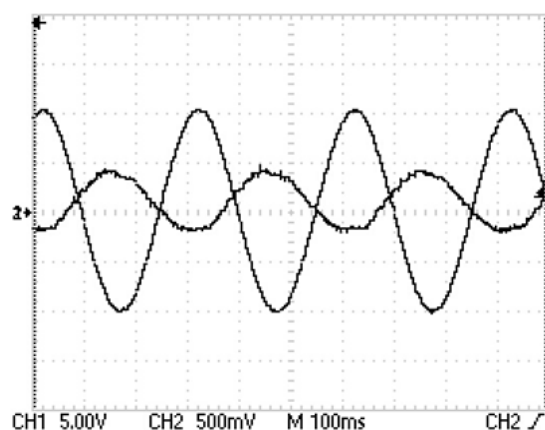


ก) การทดลอง (experiment)

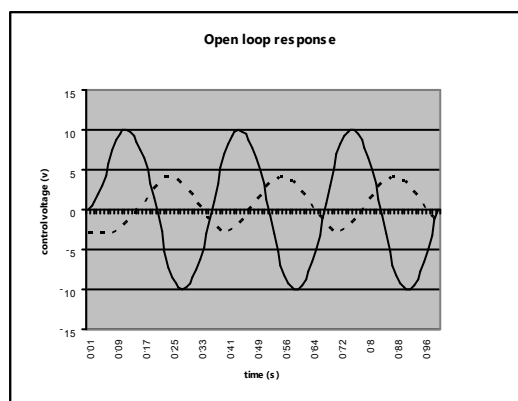


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 4 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 2.5 เฮิรท์ และความดัน 30 บาร์

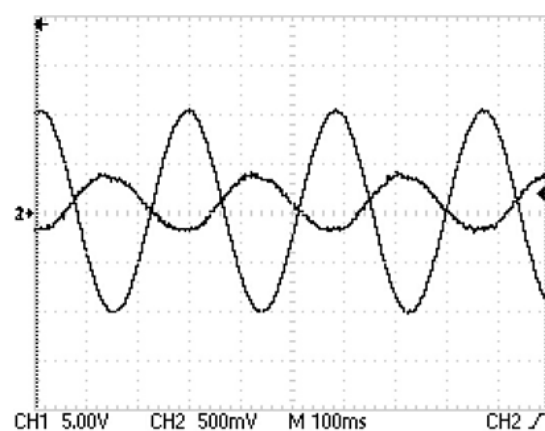


ก) การทดลอง (experiment)

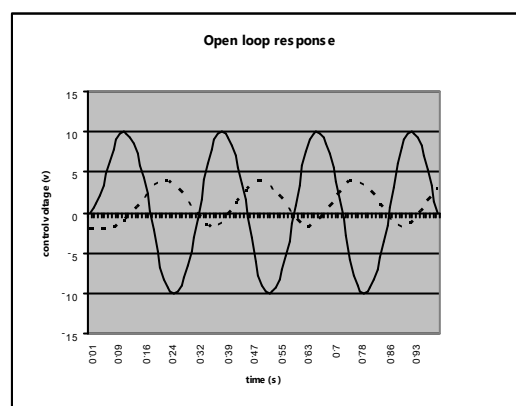


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 5 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 3 เฮิรท์ และความดัน 30 บาร์



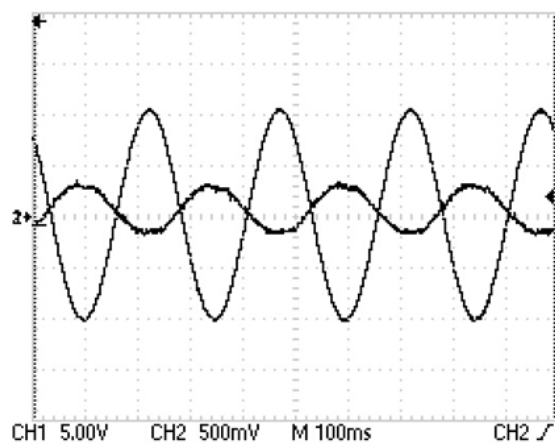
ก) การทดลอง (experiment)



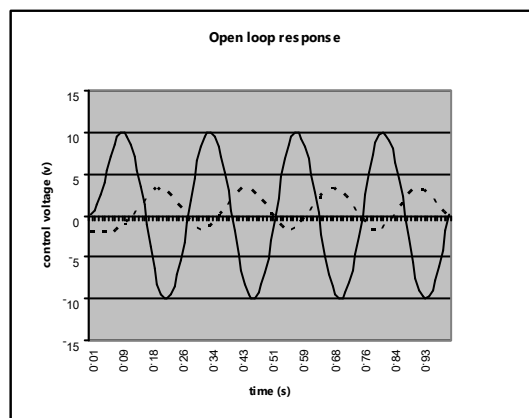
ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 6 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 3.5 เฮิรท์ และความดัน 30 บาร์



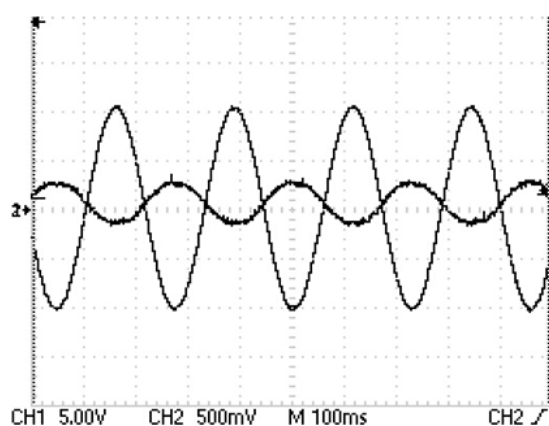


ก) การทดลอง (experiment)

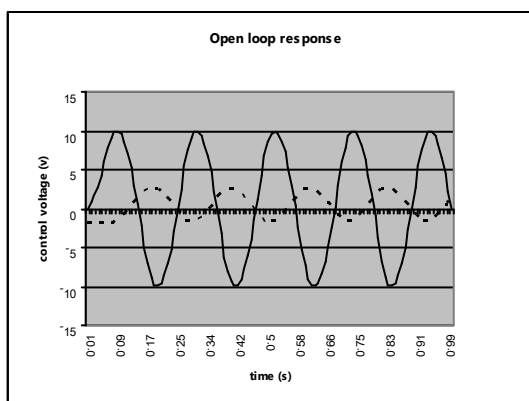


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 7 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 4 เฮิรท์ และความดัน 30 บาร์

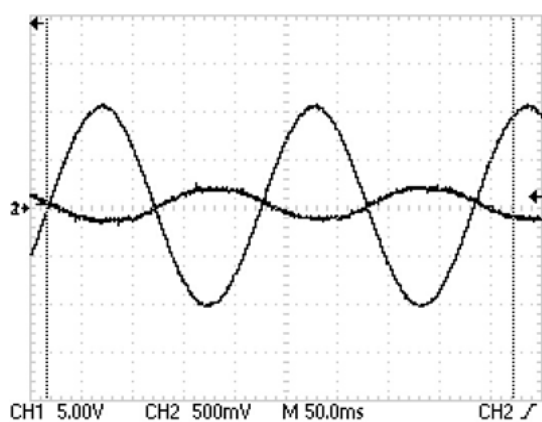


ก) การทดลอง (experiment)

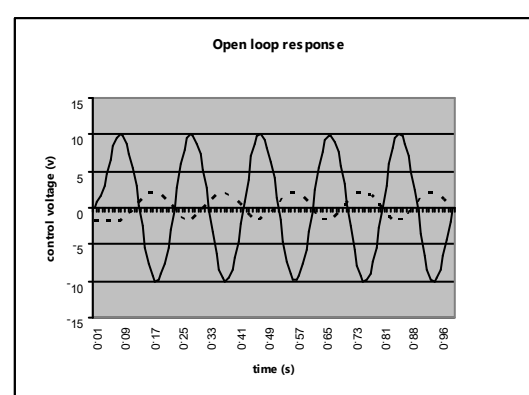


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 8 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 4.5 เฮิรท์ และความดัน 30 บาร์



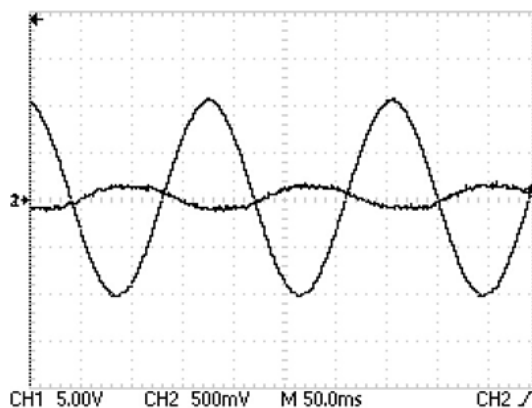
ก) การทดลอง (experiment)



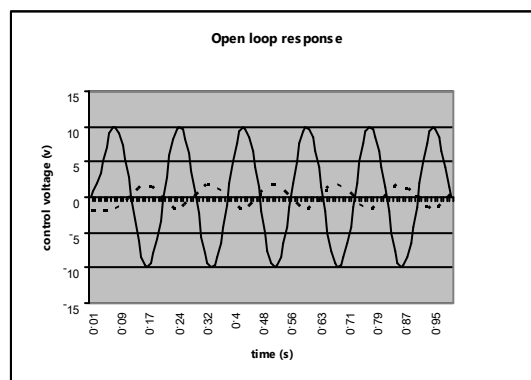
ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 9 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 5 เฮิรท์ และความดัน 30 บาร์



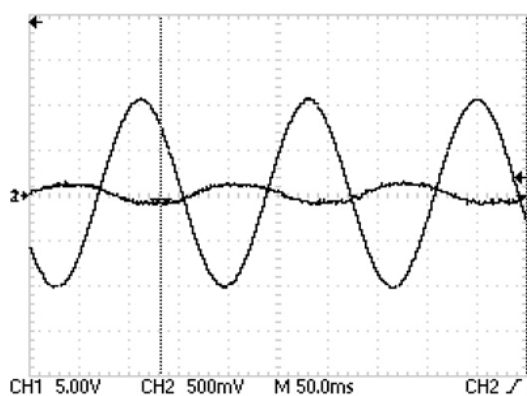


ก) การทดลอง (experiment)

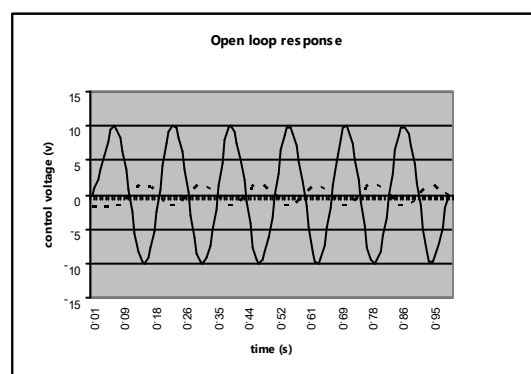


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 10 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 5.5 เฮิรท์ และความดัน 30 บาร์

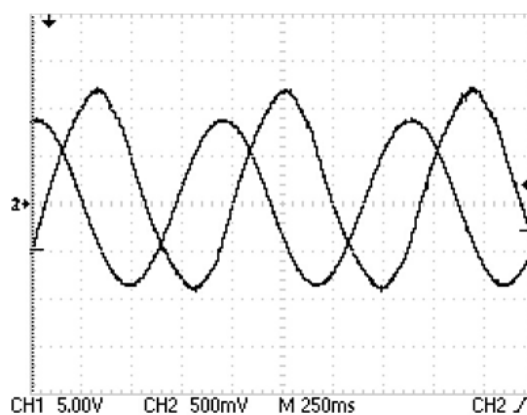


ก) การทดลอง (experiment)

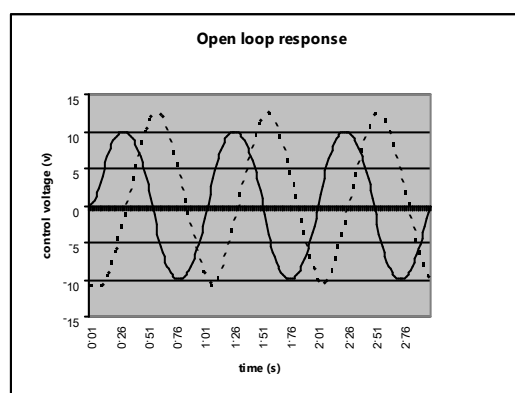


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 11 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 6 เฮิรท์ และความดัน 30 บาร์



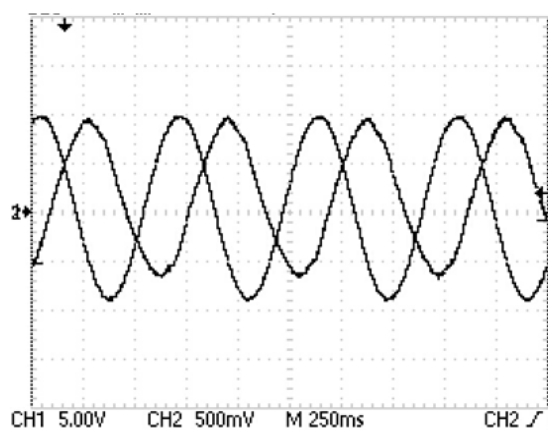
ก) การทดลอง (experiment)



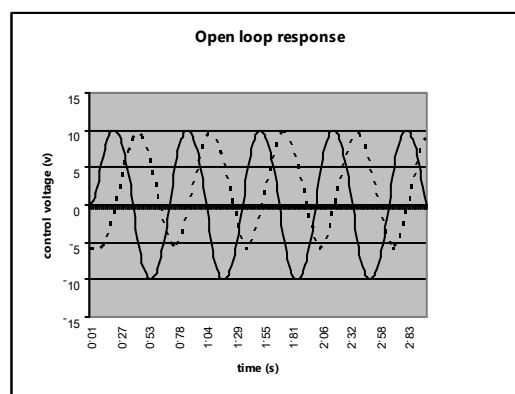
ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 12 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 1 เฮิรท์ และความดัน 40 บาร์



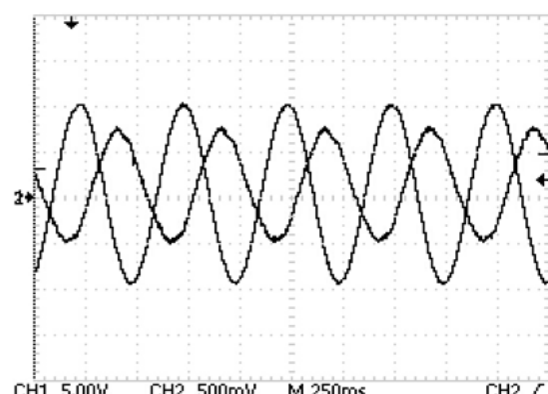


ก) การทดลอง (experiment)

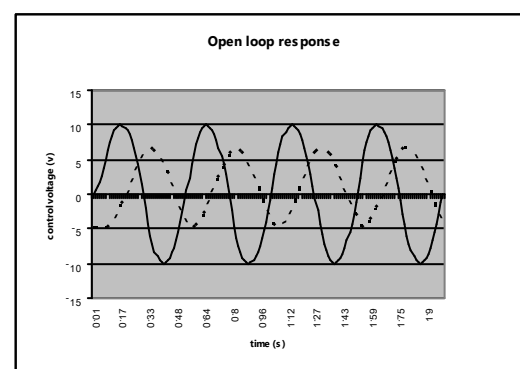


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 13 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 1.5 เฮิรท์ และความดัน 40 บาร์

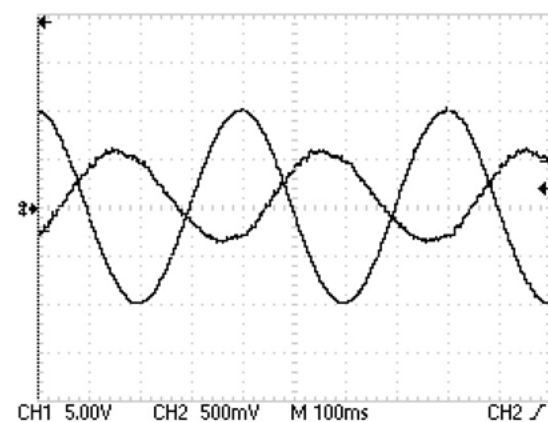


ก) การทดลอง (experiment)

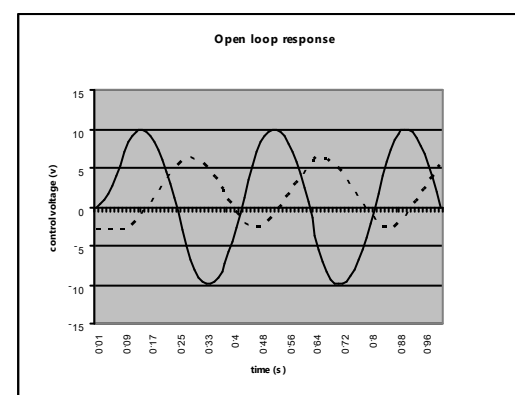


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 14 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 2 เฮิรท์ และความดัน 40 บาร์



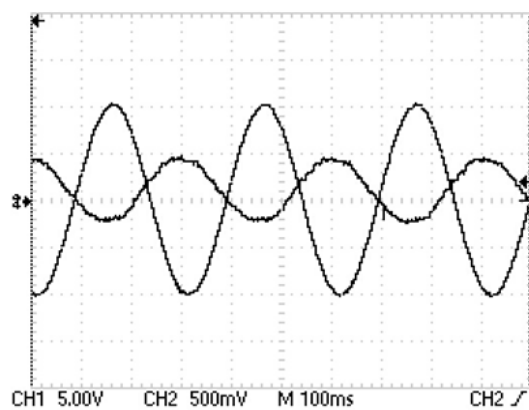
ก) การทดลอง (experiment)



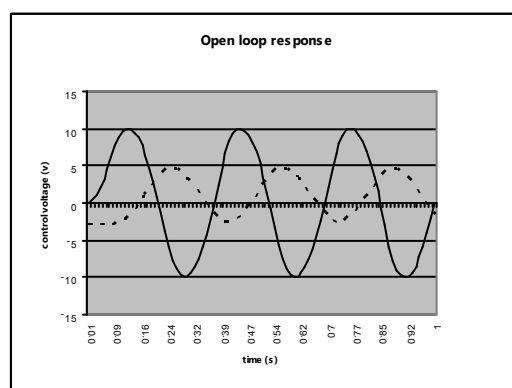
ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 15 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 2.5 เฮิรท์ และความดัน 40 บาร์



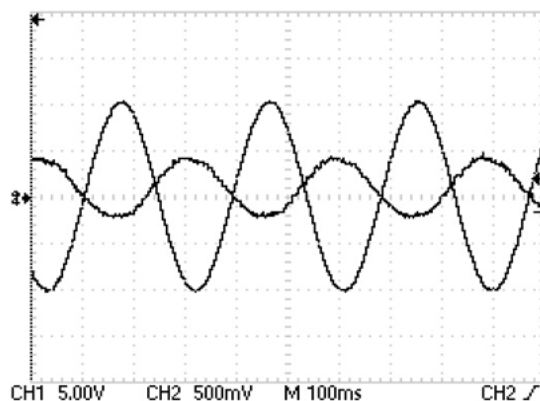


ก) การทดลอง (experiment)

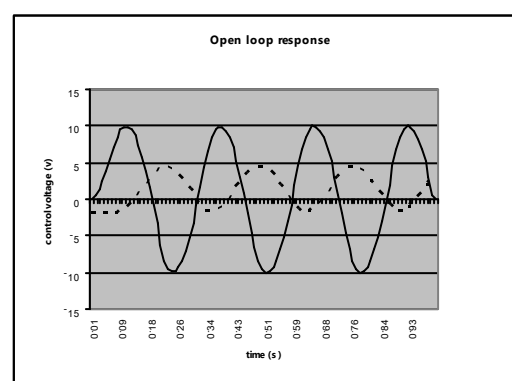


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 16 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 3 เฮิร์ต และความดัน 40 บาร์

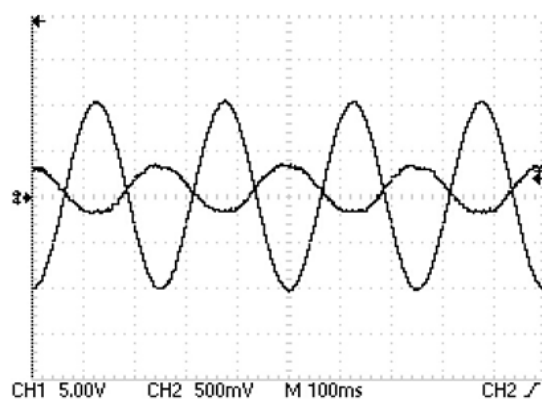


ก) การทดลอง (experiment)

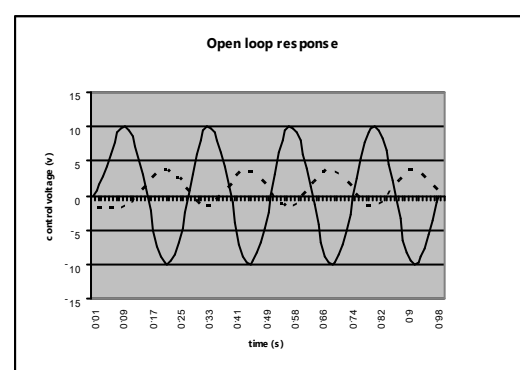


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 17 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 3.5 เฮิร์ต และความดัน 40 บาร์



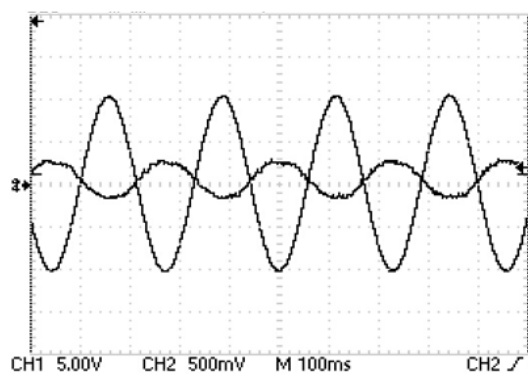
ก) การทดลอง (experiment)



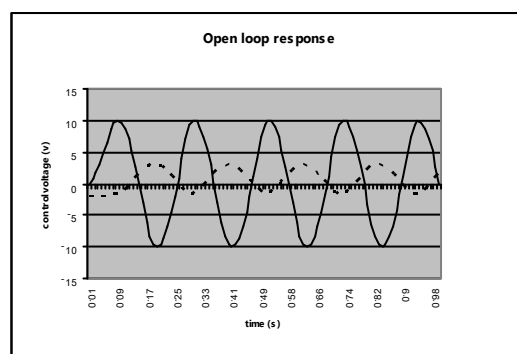
ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 18 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 4 เฮิร์ต และความดัน 40 บาร์



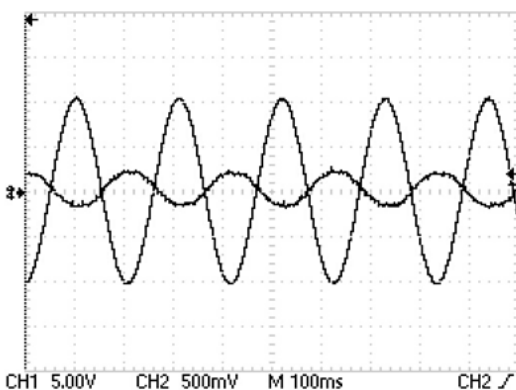


ก) การทดลอง (experiment)

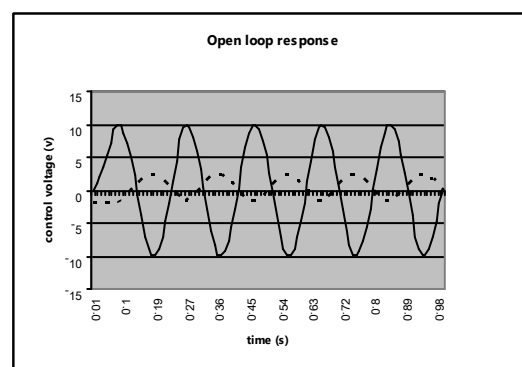


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 19 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 4.5 เฮิรท์ และความดัน 40 บาร์

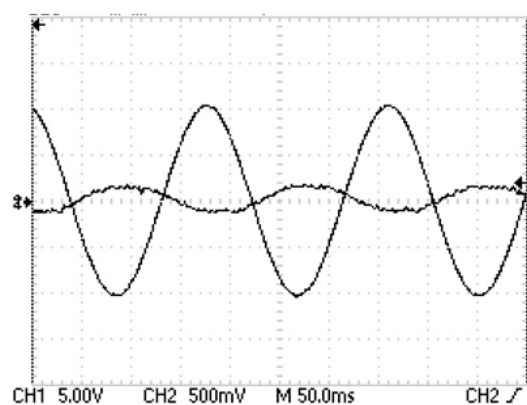


ก) การทดลอง (experiment)

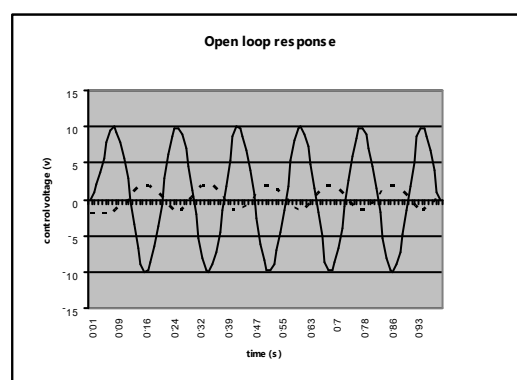


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 20 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 5 เฮิรท์ และความดัน 40 บาร์



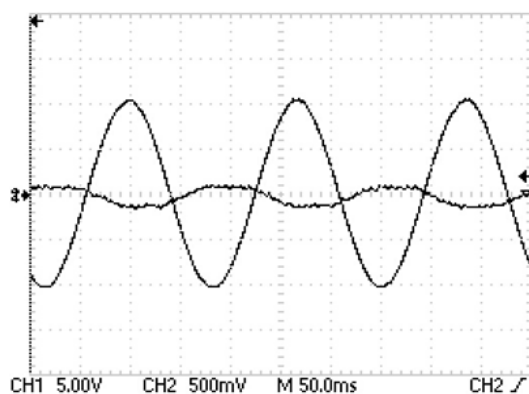
ก) การทดลอง (experiment)



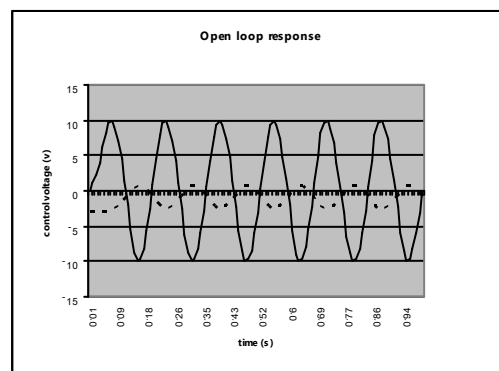
ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 21 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 5.5 เฮิรท์ และความดัน 40 บาร์



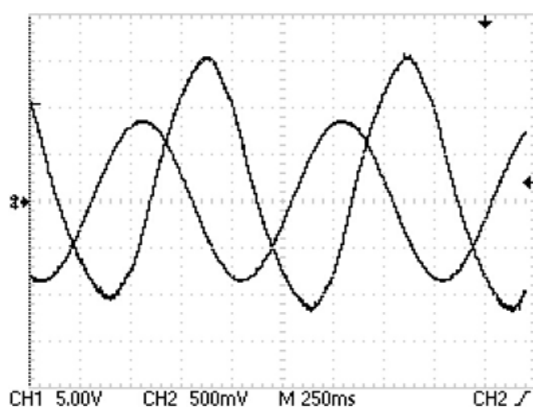


ก) การทดลอง (experiment)

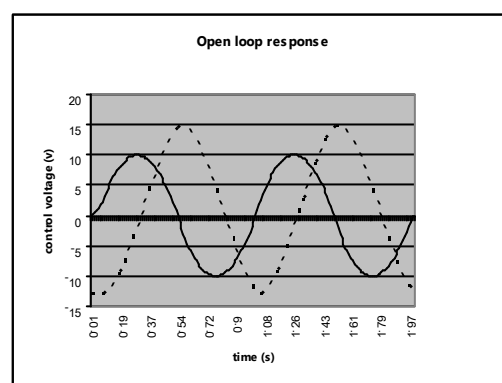


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 22 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 6 เฮิร์ต และความดัน 40 บาร์

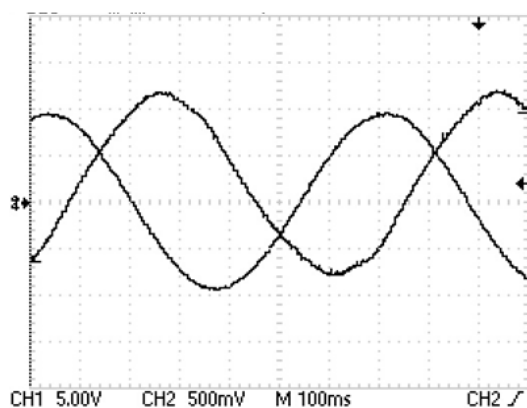


ก) การทดลอง (experiment)

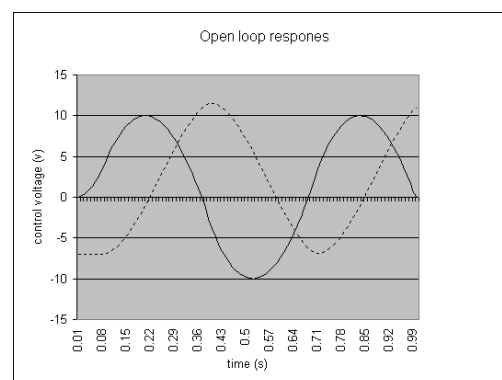


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 23 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 1 เฮิร์ต และความดัน 50 บาร์



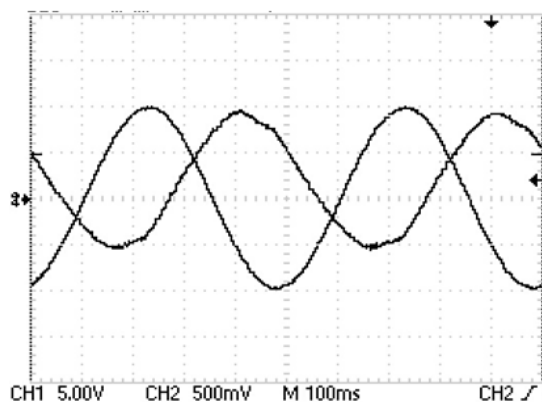
ก) การทดลอง (experiment)



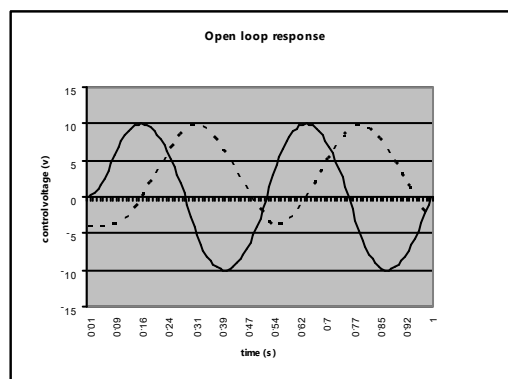
ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 24 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 1.5 เฮิร์ต และความดัน 50 บาร์



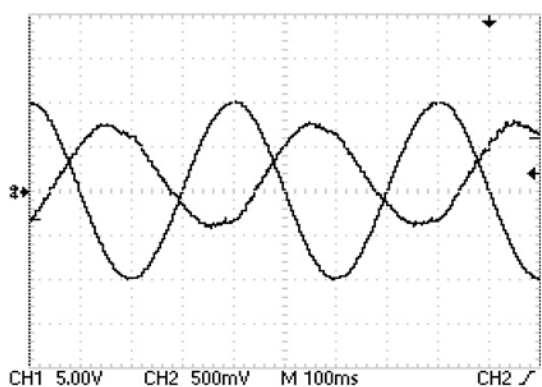


ก) การทดลอง (experiment)

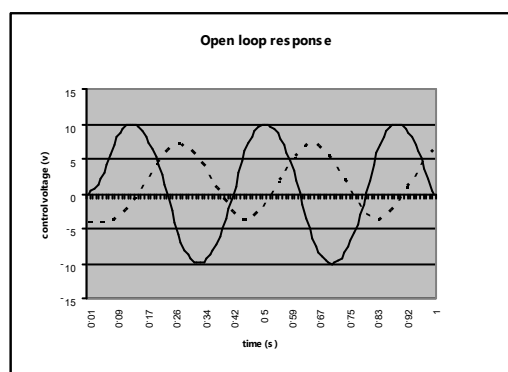


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 25 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 2 เฮอร์ท และความดัน 50 บาร์

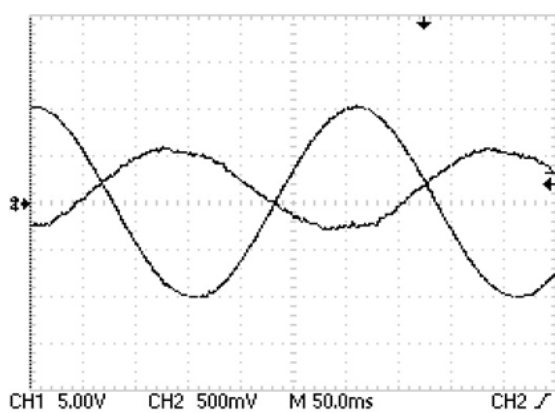


ก) การทดลอง (experiment)

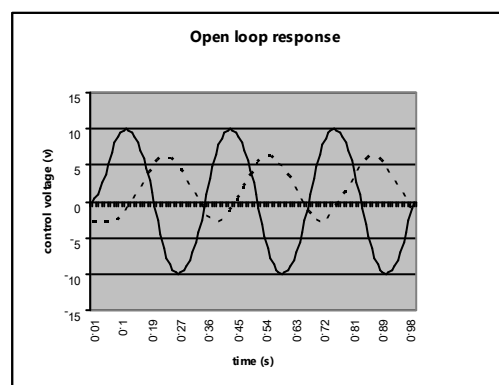


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 26 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 2.5 เฮอร์ท และความดัน 50 บาร์



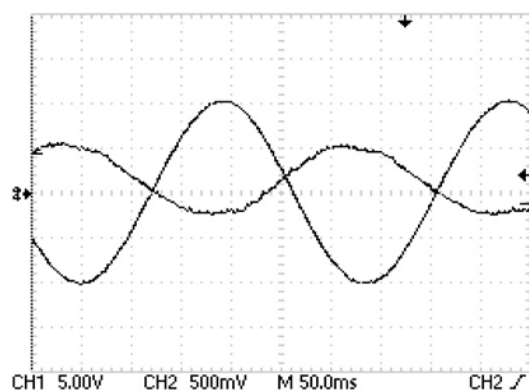
ก) การทดลอง (experiment)



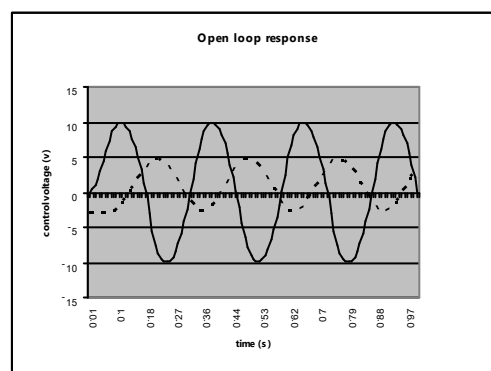
ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 27 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 3 เฮอร์ท และความดัน 50 บาร์



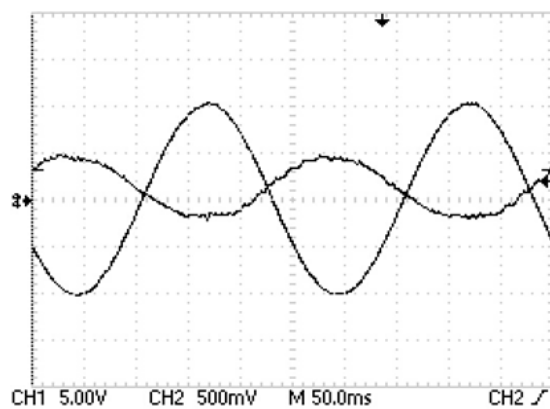


ก) การทดลอง (experiment)

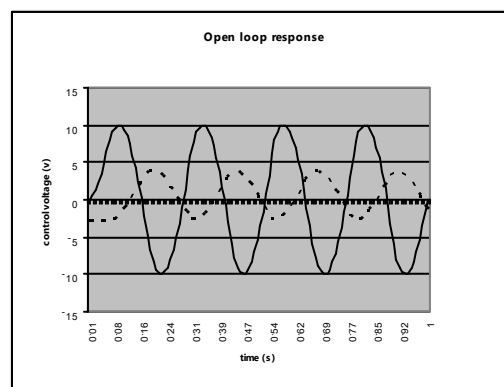


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 28 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 3.5 เฮิรท์ และความดัน 50 บาร์

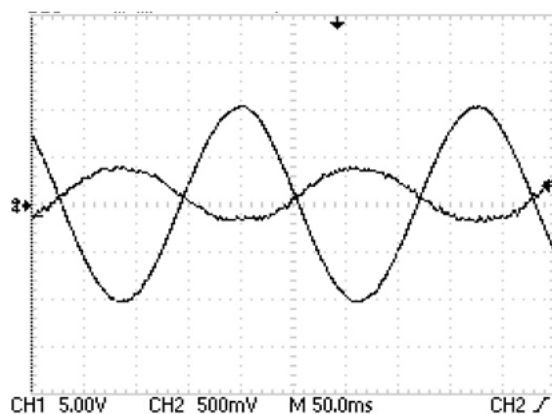


ก) การทดลอง (experiment)

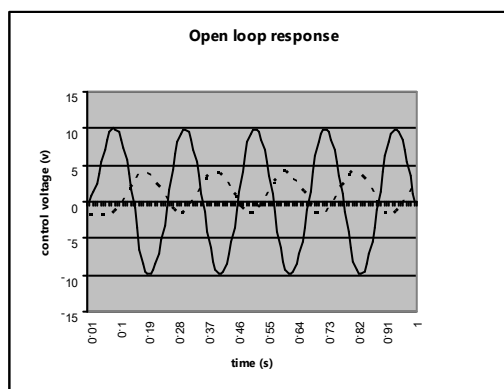


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 29 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 4 เฮิรท์ และความดัน 50 บาร์



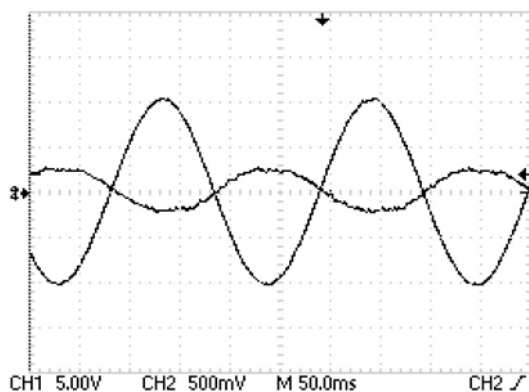
ก) การทดลอง (experiment)



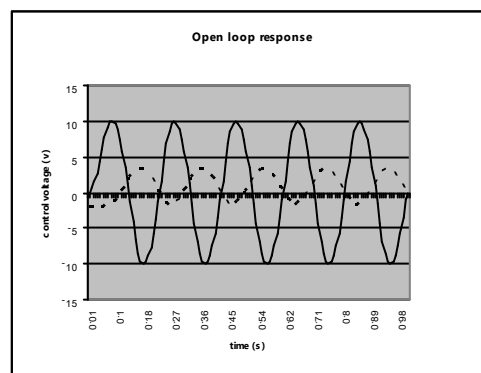
ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 30 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 4.5 เฮิรท์ และความดัน 50 บาร์



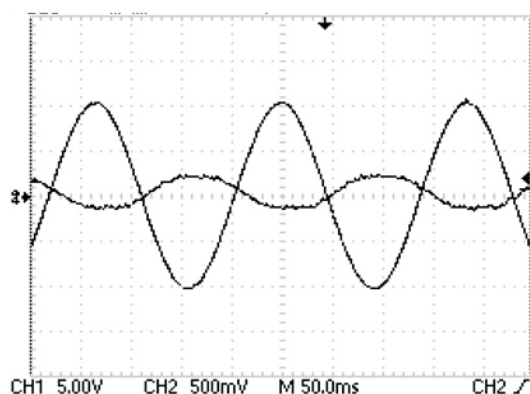


ก) การทดลอง (experiment)

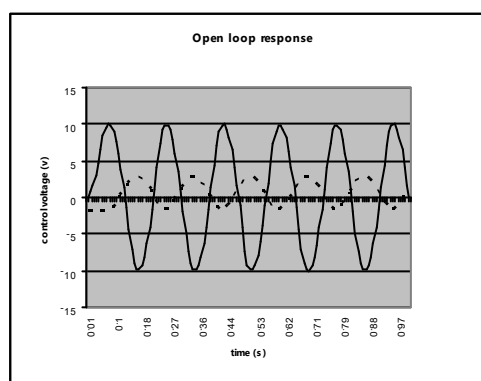


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 31 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 5 เฮิรตซ์ และความดัน 50 บาร์

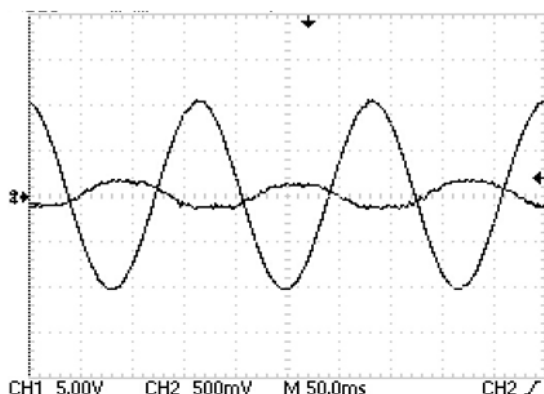


ก) การทดลอง (experiment)

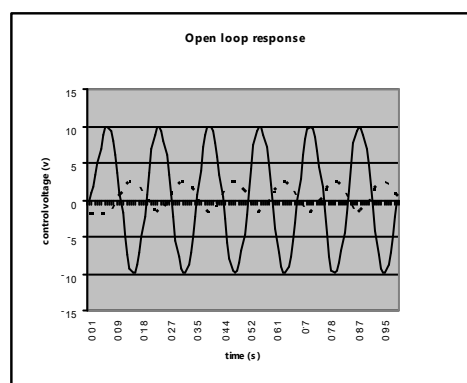


ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 32 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 5.5 เฮิรตซ์ และความดัน 50 บาร์



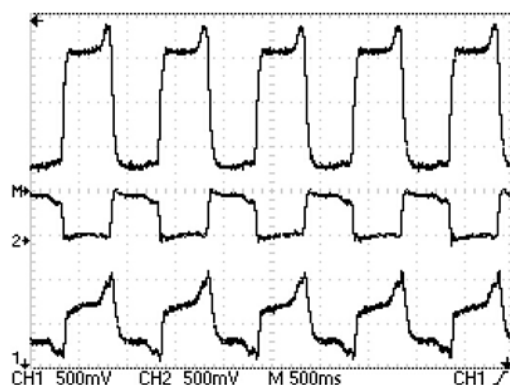
ก) การทดลอง (experiment)



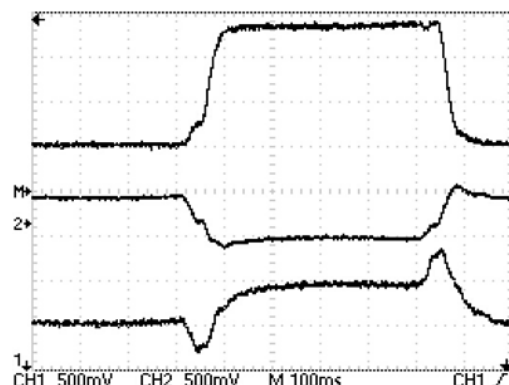
ข) การจำลองสถานการณ์ (simulation)

ภาพที่ 33 ป้อนสัญญาณอินพุตแบบรูปไซน์ ที่สัญญาณอินพุต 6 เฮิรตซ์ และความดัน 50 บาร์

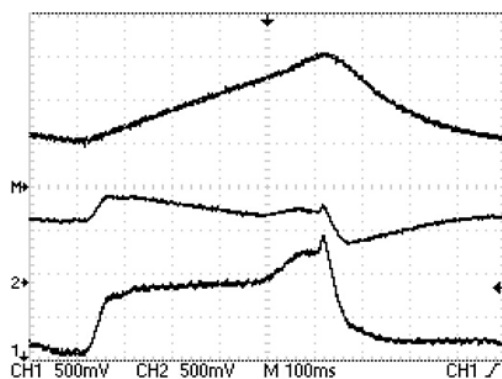




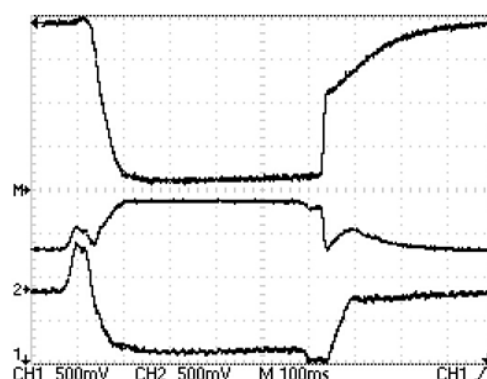
ภาพที่ 34 การเปรียบเทียบ P1 กับ P2  
สัญญาณรูปไซน์ 1 เฮิรต ความดัน 30 บาร์



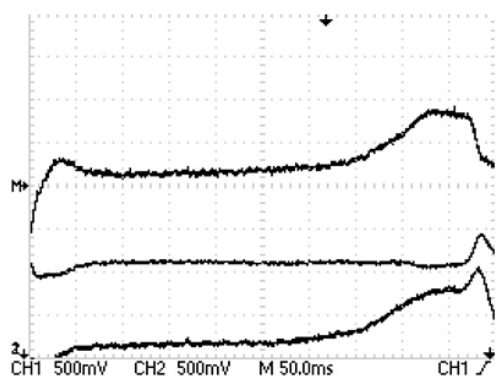
ภาพที่ 35 การเปรียบเทียบ P1 กับ P2  
สัญญาณแบบสแคว์ 1 เฮิรต ความดัน 30 บาร์



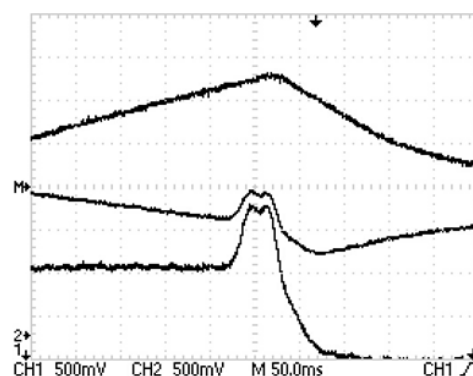
ภาพที่ 36 การเปรียบเทียบ P1 กับ P2  
สัญญาณรูปไซน์ 1 เฮิรต ความดัน 40 บาร์



ภาพที่ 37 การเปรียบเทียบ P1 กับ P2  
สัญญาณแบบสแคว์ 1 เฮิรต ความดัน 40 บาร์

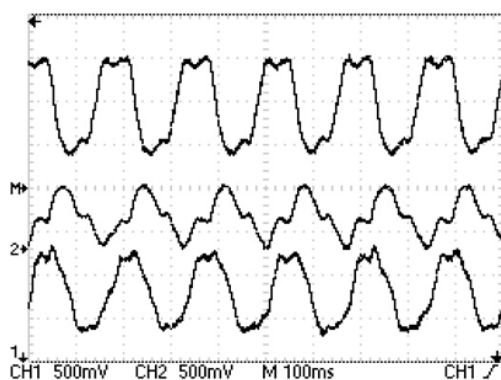


ภาพที่ 38 การเปรียบเทียบ P1 กับ P2  
สัญญาณรูปไซน์ 1 เฮิรต ความดัน 50 บาร์

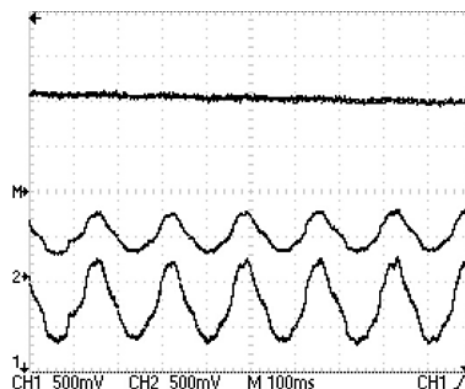


ภาพที่ 39 การเปรียบเทียบ P1 กับ P2  
สัญญาณแบบสแคว์ 1 เฮิรต ความดัน 50 บาร์

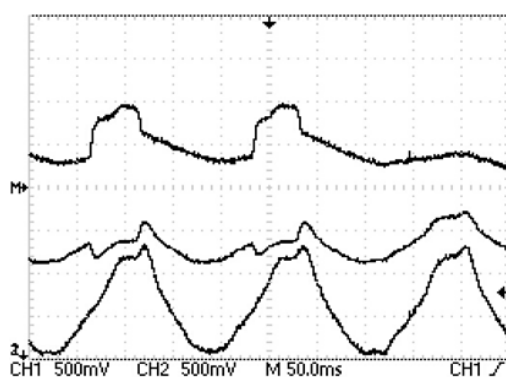




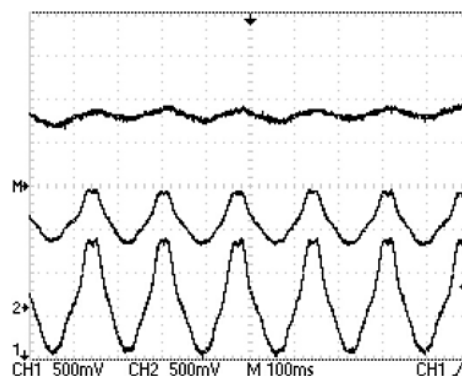
ภาพที่ 40 การเปรียบเทียบ P1 กับ P2  
สัญญาณรูปไซน์ 6 เฮิรต ความดัน 30 บาร์



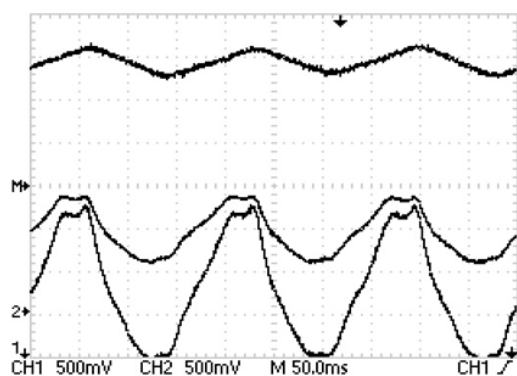
ภาพที่ 41 การเปรียบเทียบ P1 กับ P2  
สัญญาณแบบสเต็ป 6 เฮิรต ความดัน 30 บาร์



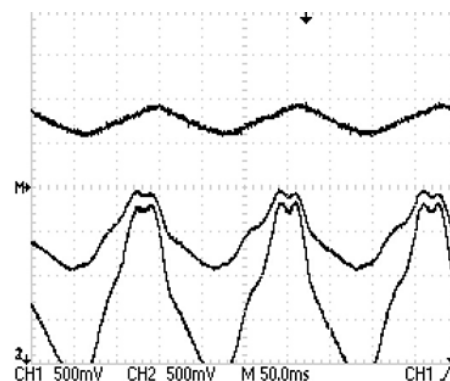
ภาพที่ 42 การเปรียบเทียบ P1 กับ P2  
สัญญาณรูปไซน์ 6 เฮิรต ความดัน 40 บาร์



ภาพที่ 43 การเปรียบเทียบ P1 กับ P2  
สัญญาณแบบสเต็ป 6 เฮิรต ความดัน 40 บาร์



ภาพที่ 44 การเปรียบเทียบ P1 กับ P2  
สัญญาณรูปไซน์ 6 เฮิรต ความดัน 50 บาร์



ภาพที่ 45 การเปรียบเทียบ P1 กับ P2  
สัญญาณแบบสเต็ป 6 เฮิรต ความดัน 50 บาร์



ภาคผนวก ข  
ภาษาซี



```

#include <16F877.h>
#define adc=8
#define FUSES NOWDT, HS, NOPUT, PROTECT, BROWNOUT, NOLVP, NOCPD, WRT, NODEBUG
#define use delay(clock=10000000)
#define use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)
#define sw_inc pin_c3
#define sw_dec pin_c2
#define sw_enter pin_c1
#define sw_func pin_c0
#include<lcd_sam3.c>
void clrsv(void);
void get_bcd(int32 k);
void enter_pid(void);
void enter_p(void);
void enter_i(void);
void enter_d(void);
void enter_sp(void);
void man_mode(void);
void auto_mode(void);
void inc_op(void);
void dec_op(void);
char const s[10]={'0','1','2','3','4','5','6','7','8','9'};
#define TYPE SIGNED
int8 a,b,c,d;
int32 pv;
int32 kp;
int32 ki;
int32 kd;
int32 sp;
int32 OP;
int32 op1;
int32 p;
int32 i;
int32 dd;
//-----
//int32 error;
int32 error_last;

```



```

int32 errint;
int32 error_now;
//-----
int8 f_count;
int1 flg_p,flg_i,flg_d;
int1 flg_sp,flg_man,flg_auto;
void main()
{
    setup_adc_ports(AN0_AN1_AN3);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    setup_psp(PSP_DISABLED);
    setup_spi(SPI_SS_DISABLED);
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_1);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    output_b(127);
    // TODO: USER CODE!!
    lcd_init();
    lcd_gotoxy(1,1);
    lcd_putc("ASIAN INSTITUTE");
    lcd_gotoxy(2,2);
    lcd_putc("ENGINEERING ");
    lcd_gotoxy(3,2);
    lcd_putc("MECHATRONICS");
    DELAY_ms(15000);
    f_count=0;
    flg_p=flg_i=flg_d=0;
    flg_sp=flg_man=flg_auto=0;
    clr();kp=2;ki=0;kd=0;sp=20;OP=127;output_b(127);
    while(true)
    {
        // set_adc_channel(0);
        // delay_us(10);
        // pv = read_adc();
        // get_bcd(pv);
        // lcd_gotoxy(2,1);
        // lcd_putc(s[a]);
    }
}

```



```

// lcd_putc(s[b]);
// lcd_putc(s[c]);
// lcd_putc(s[d]);
if(!input(sw_func))
{
    delay_ms(100);
    if(!input(sw_func))
    {
        f_count++;
        if(f_count>=6) f_count=0;
        while(!input(sw_func));

        if(f_count==0)
        {
            lcd_gotoxy(1,1);
            lcd_putc("  ENTER KP  ");
        }
        else if(f_count==1)
        {
            lcd_gotoxy(1,1);
            lcd_putc("  ENTER KI  ");
        }
        else if(f_count==2)
        {
            lcd_gotoxy(1,1);
            lcd_putc("  ENTER KD  ");
        }
        else if(f_count==3)
        {
            lcd_gotoxy(1,1);
            lcd_putc("  ENTER SP  ");
        }
        else if(f_count==4)
        {
            lcd_gotoxy(1,1);
            lcd_putc("  MANUAL RUN  ");
        }
    }
}

```



```

        else if(f_count==5)
        {
            lcd_gotoxy(1,1);
            lcd_putc("  AUTO RUN  ");
        }
        else
        {
        }
    }
} //input(sw_func)

//=====
=====
    if(!input(sw_enter))
    {
        delay_ms(100);
        if(!input(sw_enter))
        {while(!input(sw_enter));
            if(f_count==0)
            {
                flg_p=1;
                enter_p();
            }
            else if(f_count==1)
            {
                flg_i=1;enter_l();
            }
            else if(f_count==2)
            {
                flg_d=1;enter_D();
            }
            else if(f_count==3)
            {
                flg_sp=1;enter_sp();
            }
            else if(f_count==4)
            {

```



```

        flg_man=1;man_mode();
    }
    else if(f_count==5)
    {
        flg_auto=1; auto_mode();
    }
    else
    {
    }

    }
    }//if(!input(sw_enter))
//=====
    }
}
void clrsv(void)
{
    lcd_send_byte(0,1);// clear display
}
void get_bcd(int32 k)
{a=b=c=d=0;
a=k/1000;
k%=1000;
b=k/100;
k%=100;
c=k/10;
k%=10;
d=k;
}
void enter_p(void)
{ get_bcd(kp);
  lcd_gotoxy(3,1);
  lcd_putc("KP = ");
  lcd_putc(s[a]);
  lcd_putc(s[b]);
  lcd_putc(s[c]);
  lcd_putc(s[d]);

```



```

    lcd_gotoxy(4,1);
    lcd_putc(" (+ INC) (- DEC)");
while(flag_p)
{
    if(!input(sw_inc))
    {
        if(kp<=100)kp++;
        delay_ms(200);
        get_bcd(kp);
        lcd_gotoxy(3,6);
        lcd_putc(s[a]);
        lcd_putc(s[b]);
        lcd_putc(s[c]);
        lcd_putc(s[d]);
    }
    //=====
    if(!input(sw_dec))
    {
        if(kp!=0)kp--;
        delay_ms(200);
        get_bcd(kp);
        lcd_gotoxy(3,6);
        lcd_putc(s[a]);
        lcd_putc(s[b]);
        lcd_putc(s[c]);
        lcd_putc(s[d]);
    }
    if(!input(sw_enter))
    {
        delay_ms(100);
        if(!input(sw_enter))
        {
            while(!input(sw_enter));
            lcd_gotoxy(3,1);
            lcd_putc("          ");
            lcd_gotoxy(4,1);
            lcd_putc("          ");

```



```

        flg_p=0;
    }
}
}
}
void enter_i(void)
{ get_bcd(ki);
  lcd_gotoxy(3,1);
  lcd_putc("KI = ");
  lcd_putc(s[a]);
  lcd_putc(s[b]);
  lcd_putc(s[c]);
  lcd_putc(s[d]);
  lcd_gotoxy(4,1);
  lcd_putc(" (+ INC) (- DEC)");
while(flgl)
{
    if(!input(sw_inc))
    {
        if(kl<=100)kl++;
        delay_ms(200);
        get_bcd(kl);
        lcd_gotoxy(3,6);
        lcd_putc(s[a]);
        lcd_putc(s[b]);
        lcd_putc(s[c]);
        lcd_putc(s[d]);
    }
    //=====
    if(!input(sw_dec))
    {
        if(kl!=0)kl--;
        delay_ms(200);
        get_bcd(kl);
        lcd_gotoxy(3,6);
        lcd_putc(s[a]);
        lcd_putc(s[b]);

```



```

        lcd_putc(s[c]);
        lcd_putc(s[d]);
    }
    if(!input(sw_enter))
    {
        delay_ms(100);
        if(!input(sw_enter))
        {
            while(!input(sw_enter));
            lcd_gotoxy(3,1);
            lcd_putc("          ");
            lcd_gotoxy(4,1);
            lcd_putc("          ");
            flg_l=0;
        }
    }

}
}

void enter_d(void)
{
    get_bcd(kd);
    lcd_gotoxy(3,1);
    lcd_putc("Kd = ");
    lcd_putc(s[a]);
    lcd_putc(s[b]);
    lcd_putc(s[c]);
    lcd_putc(s[d]);
    lcd_gotoxy(4,1);
    lcd_putc(" (+ INC) (- DEC)");
    while(fl_g_d)
    {
        if(!input(sw_inc))
        {
            if(kd<=100)kd++;
            delay_ms(200);
            get_bcd(kd);

```



```

    lcd_gotoxy(3,6);
    lcd_putc(s[a]);
    lcd_putc(s[b]);
    lcd_putc(s[c]);
    lcd_putc(s[d]);
}
//=====================================================
if(!input(sw_dec))
{
    if(kd!=0)kd--;
    delay_ms(200);
    get_bcd(kd);
    lcd_gotoxy(3,6);
    lcd_putc(s[a]);
    lcd_putc(s[b]);
    lcd_putc(s[c]);
    lcd_putc(s[d]);
}
if(!input(sw_enter))
{
    delay_ms(100);
    if(!input(sw_enter))
    {
        while(!input(sw_enter));
        lcd_gotoxy(3,1);
        lcd_putc("          ");
        lcd_gotoxy(4,1);
        lcd_putc("          ");
        flg_d=0;
    }
}
}
}
void enter_sp(void)
{
    get_bcd(sp);
    lcd_gotoxy(3,1);

```



```

    lcd_putc("sp = ");
    lcd_putc(s[a]);
    lcd_putc(s[b]);
    lcd_putc(s[c]);
    lcd_putc(s[d]);
    lcd_gotoxy(4,1);
    lcd_putc(" (+ INC) (- DEC)");
while(flag_sp)
{
    if(!input(sw_inc))
    {
        if(sp<=254)sp++;
        delay_ms(200);
        get_bcd(sp);
        lcd_gotoxy(3,6);
        lcd_putc(s[a]);
        lcd_putc(s[b]);
        lcd_putc(s[c]);
        lcd_putc(s[d]);
    }
    //=====
    if(!input(sw_dec))
    {
        if(sp!=0)sp--;
        delay_ms(200);
        get_bcd(sp);
        lcd_gotoxy(3,6);
        lcd_putc(s[a]);
        lcd_putc(s[b]);
        lcd_putc(s[c]);
        lcd_putc(s[d]);
    }
    if(!input(sw_enter))
    {
        delay_ms(100);
        if(!input(sw_enter))
        {

```



```

        while(!input(sw_enter));
        lcd_gotoxy(3,1);
        lcd_putc("          ");
        lcd_gotoxy(4,1);
        lcd_putc("          ");
        flg_sp=0;
    }
}
}
}
void man_mode(void)
{
    clrscr();
    lcd_gotoxy(1,1);
    lcd_putc(" MANUAL CONTROL ");
    lcd_gotoxy(4,1);
    lcd_putc(" PUSH ENTER TO EXIT ");

    //=====
    lcd_gotoxy(2,1);
    lcd_putc("PV= ");
    set_adc_channel(0);
    delay_us(10);
    pv = read_adc();
    lcd_gotoxy(2,4);
    get_bcd(pv);
    lcd_putc(s[a]);
    lcd_putc(s[b]);
    lcd_putc(s[c]);
    lcd_putc(s[d]);

    //=====
    lcd_gotoxy(2,9);
    lcd_putc("OP= ");
    output_b(op);
    lcd_gotoxy(2,13);
    get_bcd(OP);
    lcd_putc(s[a]);
    lcd_putc(s[b]);
    lcd_putc(s[c]);

```



```

        lcd_putc(s[d]);
while(flag_man)
{
    if(!input(sw_inc))
    {
        OP++;
        if(OP>=255)OP=255;
        delay_ms(200);
        get_bcd(OP);
        output_b(op);
        lcd_gotoxy(2,13);
        lcd_putc(s[a]);
        lcd_putc(s[b]);
        lcd_putc(s[c]);
        lcd_putc(s[d]);
    }
    //=====
    if(!input(sw_dec))
    {
        OP--;
        if(OP<-1)OP=0;
        delay_ms(200);
        get_bcd(OP);
        output_b(op);
        lcd_gotoxy(2,13);
        lcd_putc(s[a]);
        lcd_putc(s[b]);
        lcd_putc(s[c]);
        lcd_putc(s[d]);
    }
    if(!input(sw_enter))
    {
        delay_ms(100);
        if(!input(sw_enter))
        {
            while(!input(sw_enter));
            lcd_gotoxy(2,1);

```



```

        lcd_putc("          ");
        lcd_gotoxy(4,1);
        lcd_putc("          ");
        flg_MAN=0; output_b(127);
    }
}

//=====READ PV=====
    set_adc_channel(0);
    delay_us(10);
    pv = read_adc();
    if(flgs_man)
    {
        lcd_gotoxy(2,4);
        get_bcd(pv);
        lcd_putc(s[a]);
        lcd_putc(s[b]);
        lcd_putc(s[c]);
        lcd_putc(s[d]);
    }
//=====
}
}

void auto_mode(void)
{
    clrscr();
    lcd_gotoxy(1,1);
    lcd_putc("  AUTO CONTROL ");
//=====
    while(flgs_auto)
    {
        delay_ms(100);
        set_adc_channel(0);
        delay_us(10);
        pv = read_adc();
        lcd_gotoxy(2,4);
        get_bcd(pv);
        lcd_putc(s[a]);
        lcd_putc(s[b]);
    }
}

```



```

    lcd_putc(s[c]);
    lcd_putc(s[d]);
//-----
    lcd_gotoxy(3,1);
    lcd_putc("SETPOINT = ");
    get_bcd(SP);
    lcd_gotoxy(3,12);
    lcd_putc(s[a]);
    lcd_putc(s[b]);
    lcd_putc(s[c]);
    lcd_putc(s[d]);
    error_now=sp-pv;
    if((error_now<3)&&(error_now>-3))error_now=0;
    p=error_now*kp;
    errint=error_now+error_last;
    i=ki*errint/50;
    if(i>200)i=200;
    dd=kd*(error_now-error_last);
    dd=dd/50;
    op=p+i+dd;
    if(op>255)op=255;
    if(op<-255)op=-255;
    op1=(op+255)/2;
    output_b(op1);
    error_last=error_now;
    lcd_gotoxy(2,10);
    get_bcd(pv);
    lcd_putc(s[a]);
    lcd_putc(s[b]);
    lcd_putc(s[c]);
    lcd_putc(s[d]);
    lcd_gotoxy(4,1);
    lcd_putc("error_last= ");
    get_bcd(error_last);
    lcd_gotoxy(4,11);
    lcd_putc(s[a]);
    lcd_putc(s[b]);

```



```

    lcd_putc(s[c]);
    lcd_putc(s[d]);

    //=====
    if(!input(sw_enter))
    {
        delay_ms(100);
        if(!input(sw_enter))
        {
            while(!input(sw_enter));

            lcd_gotoxy(3,1);
            lcd_putc("        ");
            lcd_gotoxy(4,1);
            lcd_putc("        ");
            flg_auto=0;
        }
        output_b(127);
    }
}

/////////////////////////////////////////////////////////////////
///                      LCDD.C                      ///
///          Driver for common LCD modules          ///
///                      ///
/// lcd_init()  Must be called before any other function.  ///
///                      ///
/// lcd_putc(c) Will display c on the next position of the LCD.  ///

```



```

////          The following have special meaning:          ////
////          \f Clear display                               ////
////          \n Go to start of second line                  ////
////          \b Move back one position                     ////
////                                     ////
//// lcd_gotoxy(x,y) Set write position on LCD (upper left is 1,1)  ////
////                                     ////
//// lcd_getc(x,y) Returns character at position x,y on LCD      ////
////                                     ////
////////////////////////////////////
//// (C) Copyright 1996,1997 Custom Computer Services          ////
//// This source code may only be used by licensed users of the CCS C  ////
//// compiler. This source code may only be distributed to other  ////
//// licensed users of the CCS C compiler. No other use, reproduction  ////
//// or distribution is permitted without written permission.      ////
//// Derivative programs created using this software in object code  ////
//// form are not restricted in any way.                          ////
////////////////////////////////////

// As defined in the following structure the pin connection is as follows:
// D0 enable
// D1 rs
// D2 rw
// D4 D4
// D5 D5
// D6 D6
// D7 D7
//
// LCD pins D0-D3 are not used and PIC D3 is not used.
// Un-comment the following define to use port B
// #define use_portb_lcd TRUE
struct lcd_pin_map {          // This structure is overlaid
    boolean enable;          // on to an I/O port to gain
    boolean rs;              // access to the LCD pins.
    boolean rw;              // The bits are allocated from
    boolean unused;          // low order up. ENABLE will
    int data : 4;            // be pin B0.
};

```



```

    } lcd;
#ifdef __PCH__
#ifdef use_portb_lcd
    #byte lcd = 0xF81          // This puts the entire structure
#else
    #byte lcd = 0xF83          // This puts the entire structure
#endif
#else
#ifdef use_portb_lcd
    #byte lcd = 6              // on to port B (at address 6)
#else
    #byte lcd = 8              // on to port D (at address 8)
#endif
#endif
#ifdef use_portb_lcd
    #define set_tris_lcd(x) set_tris_b(x)
#else
    #define set_tris_lcd(x) set_tris_d(x)
#endif
#define lcd_type 2            // 0=5x7, 1=5x10, 2=2 lines
#define lcd_line_one 0x00    // LCD RAM address for the second line
#define lcd_line_two 0x40    // LCD RAM address for the second line
#define lcd_line_three 0x14   // LCD RAM address for the second line
#define lcd_line_four 0x54    // LCD RAM address for the second line
#define lcd_line_five 0xc0    // LCD RAM address for the second line
byte CONST LCD_INIT_STRING[4] = {0x20 | (lcd_type << 2), 0xc, 0xf, 6};
    // These bytes need to be sent to the LCD
    // to start it up.
    // The following are used for setting
    // the I/O port direction register.

STRUCT lcd_pin_map const LCD_WRITE = {0,0,0,0,0}; // For write mode all pins are out
STRUCT lcd_pin_map const LCD_READ = {0,0,0,0,15}; // For read mode data pins are in
byte lcd_read_byte() {
    byte low,high;
    set_tris_lcd(LCD_READ);
    lcd.rw = 1;
    delay_us(10);

```



```

    lcd.enable = 1;
    delay_us(10);
    high = lcd.data;
    lcd.enable = 0;
    delay_us(10);
    lcd.enable = 1;
    delay_us(1);
    low = lcd.data;
    lcd.enable = 0;
    set_tris_lcd(LCD_WRITE);
    return( (high<<4) | low);
}

void lcd_send_nibble( byte n ) {
    lcd.data = n;
    delay_us(10);
    lcd.enable = 1;
    delay_us(10);
    lcd.enable = 0;
}

void lcd_send_byte( byte address, byte n ) {
    lcd.rs = 0;
    while ( bit_test(lcd_read_byte(),7) );
    delay_us(100);
    lcd.rs = address;
    delay_us(50);
    lcd.rw = 0;
    delay_us(50);
    lcd.enable = 0;
    lcd_send_nibble(n >> 4);
    lcd_send_nibble(n & 0xf);
}

void lcd_init() {
    byte i;
    set_tris_lcd(LCD_WRITE);
    lcd.rs = 0;
    lcd.rw = 0;
    lcd.enable = 0;

```



```

    delay_ms(15);
    for(i=1;i<=3;++i) {
        lcd_send_nibble(3);
        delay_ms(5);
    }
    lcd_send_nibble(2);
    for(i=0;i<=3;++i)
        lcd_send_byte(0,LCD_INIT_STRING[i]);
}

void lcd_gotoxy( byte x, byte y) {
    byte address;
    if(x==1)
    {
        address=lcd_line_one;
        address+=y;
        lcd_send_byte(0,0x80|address);
    }
    else if(x==2)
    {
        address=lcd_line_two;
        address+=y;
        lcd_send_byte(0,0x80|address);
    }
    else if(x==3)
    {
        address=lcd_line_three;
        address+=y;
        lcd_send_byte(0,0x80|address);
    }
    else if(x==4)
    {
        address=lcd_line_four;
        address+=y;
        lcd_send_byte(0,0x80|address);
    }
    else if(x==5)// define for lcd 1 line page2 8 to 16
    {

```



```

    address=lcd_line_five;
    address+=y;
    lcd_send_byte(0,0x80|address);
}
else{
    //address=0;
    //address+=y;
    //lcd_send_byte(0,0x80|address);
}
void lcd_putc( char c) {
    switch (c) {
        case '\f' : lcd_send_byte(0,1);
                    delay_ms(2);
                    break;
        case '\n' : lcd_gotoxy(1,2);      break;
        case '\b' : lcd_send_byte(0,0x10); break;
        default   : lcd_send_byte(1,c);   break;
    }
}
char lcd_getc( byte x, byte y) {
    char value;
    lcd_gotoxy(x,y);
    lcd.rs=1;
    value = lcd_read_byte();
    lcd.rs=0;
    return(value);
}

```



ประวัติย่อผู้วิจัย



## ประวัติย่อผู้วิจัย

|                                       |                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อ นามสกุล                          | นายเดชฤทธิ์ มณีธรรม                                                                                                                                                                                  |
| วัน เดือน ปีเกิด                      | วันที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ. 2522                                                                                                                                                                           |
| จังหวัด และประเทศที่เกิด              | จังหวัดปทุมธานี ประเทศไทย                                                                                                                                                                            |
| ประวัติการศึกษา                       | พ.ศ. 2552 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.)<br>สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยขอนแก่น<br>พ.ศ. 2560 ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด.)<br>สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม |
| ตำแหน่ง สถานที่ทำงาน                  | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม<br>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี<br>จังหวัดปทุมธานี 12110                                                                     |
| ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้             | 39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี<br>จังหวัดปทุมธานี 12110                                                                                                                         |
| รางวัลเรียนดี ทุนวิจัย และทุนการศึกษา |                                                                                                                                                                                                      |

ผลงานวิจัย

