

เครื่องทดสอบวัสดุระบบไฮดรอลิกส์  
MATERIAL TESTING MACHINE WITH HYDRAULIC



โดย

นาย ประมุข ศรีภพนารถ

นาย พิชิต ทิมพวงทอง

นาย พิพัฒน์ จิระสุข

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.จำลอง ปราบแก้ว

ดร.อนุรัตน์ พิณโสภณ

เลขที่.....  
เลขทะเบียน.....42447  
วัน, เดือน, ปี.....23 พ.ค. 2545

b.....  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ.2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องทดสอบวัสดุระบบไฮดรอลิกส์

MATERIAL TESTING MACHINE WITH HYDRAULIC

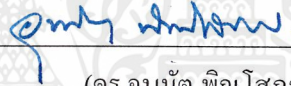
ผู้จัดทำ

- |                        |                       |
|------------------------|-----------------------|
| 1. นายประมุข ตรีภพนารถ | รหัสประจำตัว 40010438 |
| 2. นายพิชิต ทิมพวงทอง  | รหัสประจำตัว 40010506 |
| 3. นายพิพัฒน์ จิระสุข  | รหัสประจำตัว 40010512 |



(ผศ.จำลอง ปราบแก้ว)

อาจารย์ที่ปรึกษา



(ดร.อนุวัต พิณโสภณ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องทดสอบวัสดุระบบไฮดรอลิกส์

นายประมุข ศรีภพนารถ 40010438

นายพิชิต ทิมพวงทอง 40010506

นายพิพัฒน์ จิระสุข 40010512

ผศ. จำลอง ปราบแก้ว

ดร.อนันต์ พิณโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2543

### บทคัดย่อ

เครื่องทดสอบวัสดุในปัจจุบันนี้ส่วนใหญ่ นำมาจากต่างประเทศ ราคาค่อนข้างสูง โครงการนี้จึงได้มุ่งทำการศึกษาออกแบบเพื่อสร้างเครื่องทดสอบวัสดุที่ทำงานด้วยระบบไฮดรอลิกส์ สำหรับใช้ในการทดสอบค่าความเค้นดึง(Tensile Stress) ความเค้นอัด(Compress Stress) แรงอัดตัด(Punching force) แรงตัดของมุมลิ้ม(Cutting force on wedge angle) แรงดึงขึ้นรูป(Dep drawing force) หรือทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของแท่งวัสดุ ยาง พลาสติก หรือกล่องกระดาษ เป็นต้น หลักการทำงานของเครื่องจะใช้กระบอกสูบไฮดรอลิกส์เป็นตัวออกแรงโดยใช้วาล์วลิ้นรอบโพชั่นนอล(Proportional Control Valve) เป็นตัวควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ แรงและระยะการเคลื่อนที่ของก้านสูบ ค่าแรงและระยะการเคลื่อนที่ของก้านสูบจะเป็นข้อมูลสำหรับเขียนโปรแกรมคำนวณค่าความสัมพันธ์ของแรงกับระยะยืดตัวหรือหดตัว

## MATERIAL TESTING MACHINE WITH HYDRAULIC

Pramuk Treephonart

Pichit Timtaungthong

Pipat Jirasuk

Assist. Prof. Chamlong Prabkeo

Dr. Unnat Pinsopon Advisor

### ABSTRACT

Nowadays, most of materials testing machines are imported from overseas. The purpose of this project study is to design and fabricate a material-testing machine by a hydraulic system. The machine can be used for testing Tensile Stress, Compress Stress, Punching force, Cutting force on wedge angle, Deep drawing force or Property of materials, rubber, plastics or paper box. The machine uses hydraulic piston to generate weight. The Proportional control valve which controls direction, force and distance of piston.

The measured force and distance are fed to a computer. The program will calculate relations between force and distance.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการเรียนวิชา Project I และ Project II ซึ่งนับเป็นโอกาสอันดีที่ทำให้นักศึกษาได้นำความรู้ทางทฤษฎี มาทำการปฏิบัติ และรู้จักได้ศึกษาเรียนรู้ในสิ่งใหม่ เพื่อเป็นการเพิ่มพูนความรู้ และประสบการณ์ทั้งในและนอกตำราเรียน

ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ. จำลอง ปราบแก้ว และ ดร. อุนนัต พิณโสภณ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษา รวมถึงการให้ความช่วยเหลือและรวมกันแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำปริญญาานิพนธ์ ทำให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีได้

ขอขอบคุณเพื่อนที่แสนดี นาย ปิยะ ผลิเจริญผล และ นาย ปานกริช จันทร์สะอาด นศ. วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ชั้นปีที่ 4 ที่ให้คำปรึกษาแนะนำในเวลาที่ต้องการเสมอ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้ทุนสนับสนุนการทำปริญญาานิพนธ์ในครั้งนี้ รวมถึงบุคคลที่จะต้องขอบคุณมาตลอดชีวิต คือ บิดา และ มารดา ที่เป็นผู้สร้างและส่งเสริมจนกระทั่งได้พบแต่สิ่งที่ดีสำหรับการดำเนินชีวิตมาตลอด

สิ่งที่เป็นประโยชน์และมีคุณค่าที่ได้จากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้ทำวิจัยขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่านและตัวผู้ทำวิจัยเองที่ตั้งใจทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ด้วยความมุ่งมั่น

ผู้จัดทำโครงการ

## สารบัญ

เรื่อง	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	IX
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 ขอบเขตของโครงการ	3
1.4 วิธีการดำเนินงาน	4
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ</b>	<b>5</b>
2.1 ระบบไฮดรอลิกส์	5
2.2 วาล์วที่ใช้ในโครงการ	5
2.3 พร้อพอร์ชันนัลคอนโทรลวาล์ว (Proportional control valve)	10
2.4 โหลดเซลล์ (Load cell)	16
2.5 เอ็นโคดเดอร์ (Encoder)	19
2.6 บอร์ดแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D Converter)	20
2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)	22
2.8 ทฤษฎีคุณสมบัติทางกลของวัสดุ	24
2.9 โปรแกรมภาษาเดลไฟ (Delphi)	27
2.10 โปรแกรมภาษาแอสเซมบลี (Assembly language)	28
<b>บทที่ 3 การคำนวณและออกแบบ</b>	<b>29</b>
3.1 การทดสอบโหลดเซลล์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับแรงดันทางไฟฟ้า	29
3.2 หลักการคำนวณหาระยะทางที่ก้านสูบเคลื่อนที่ต่อจำนวนพัลส์ของเอ็นโคดเดอร์ที่เหมาะสม	30
3.3 วงจรไครฟ์สำหรับควบคุมโซลินอยด์วาล์ว	31
3.4 วงจรการรับสัญญาณจากเอ็นโคดเดอร์และสวิตช์ฉุกเฉิน	32
3.5 โครงสร้างของตัวเครื่อง	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ระบบการทำงาน หลักการคำนวณและโปรแกรมการคำนวณ	34
4.1 ระบบการทำงานของเครื่องทดสอบวัสดุระบบไฮดรอลิกส์	34
4.2 หลักการคำนวณและโปรแกรมการคำนวณ	34
บทที่ 5 การทดสอบและผลการทดสอบ	39
5.1 ชนิด A	40
5.2 ชนิด B	41
5.3 ชนิด C	42
5.4 ชนิด D	43
บทที่ 6 สรุปผล วิเคราะห์ ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา	44
6.1 สรุปผลและวิเคราะห์	44
6.2 เสนอแนะและการพัฒนา	44
บรรณานุกรม	46
ภาคผนวก	47



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดของวาล์วปลดความดันแบบลูกสูบสมบูรณ์	7
ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลที่เขียนให้กับไอซี LTC1298	21
ตารางที่ 2.3 แสดงรูปแบบของสัญญาณอะนาลอกอินพุท	22
ตารางที่ 3-1 ตารางแสดงโวลต์ที่จ่ายออกมาจากแอมพลิฟายเออร์	29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้าที่
รูปที่ 2.1 วาล์วปลดความดันแบบไหลอดที่มีโครงสร้างเป็นแบบลูกสูบสมดุล	8
รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลกับความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นกับวาล์ว	9
รูปที่ 2.3 แสดงสัญลักษณ์	10
รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างโครงสร้างภายในของฟร็อพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมทิศทาง	10
รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่าง LVDT(1)	11
รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่าง LVDT(2)	11
รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างโครงสร้างของฟร็อพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมทิศทางประสิทธิภาพสูง	12
รูปที่ 2.8 สัญลักษณ์ของฟร็อพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมทิศทางประสิทธิภาพสูง	12
รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างภายในของฟร็อพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมทิศทางที่นำมาใช้ทำเป็นวาล์วควบคุมอัตราการไหล	13
รูปที่ 2.10 การควบคุมการไหลผ่านทางเดียว	13
รูปที่ 2.11 การต่อพอร์ตขนาน	13
รูปที่ 2.12 แสดงสัญลักษณ์และโครงสร้างของฟร็อพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมอัตราไหลแบบชดเชยความดัน	14
รูปที่ 2.13 สัญลักษณ์	15
รูปที่ 2.14 โครงสร้างของวาล์วที่ใช้ในการสั่งงานวาล์วควบคุมความดันหลัก	15
รูปที่ 2.15 ฟร็อพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมความดันที่สมบูรณ์แบบ	15
รูปที่ 2.16 โหลดเซลล์	18
รูปที่ 2.17 ลักษณะของสัญญาณที่ออกมาจากเอ็นโค้ดเดอร์	19
รูปที่ 2.18 เอ็นโค้ดเดอร์	20
รูปที่ 2.19 A/D Converter	22
รูปที่ 2.20 แสดงอุปกรณ์ภายในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	24
รูปที่ 2.21 หน่วยการทำงานทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์	24
รูปที่ 2.22 แผนภาพแสดงความเค้น-ความเครียดของวัสดุเหนียว	25
รูปที่ 2.23 แผนภาพแสดงความเค้น-ความเครียดของวัสดุเปราะ	25
รูปที่ 2.24 แสดงการทดสอบแรงกด	27
รูปที่ 2.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะหดตัวของ การทดสอบแบบกด	27
รูปที่ 3.1 ล้อยางที่ติดตั้งกับก้านเอ็นโค้ดเดอร์	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่	หน้าที่
รูปที่ 3.2 วงจรไครฟ์สำหรับควบคุมโซลินอยด์วาล์ว	31
รูปที่ 3.3 วงจรไครฟ์สำหรับควบคุมโซลินอยด์วาล์ว (ขวามือ)	32
รูปที่ 3.4 วงจรวงจรการรับสัญญาณจากเอ็นโค้ดเดอร์และสวิตช์ฉุกเฉิน	32
รูปที่ 3.4 ชุดเครื่องทดสอบวัสดุระบบไฮดรอลิกส์	33
รูปที่ 4.1 หลักการทำงานของเครื่องทดสอบ	35
รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรม	36
รูปที่ 4.3 แสดงหน้าจอโปรแกรม	37
รูปที่ 4.4 แสดงหน้าจอโปรแกรมแบบ Manual	37
รูปที่ 4.5 แสดงหน้าจอโปรแกรมแบบ Automatic	38
รูปที่ 5.1 วัสดุชนิด A	39
รูปที่ 5.2 วัสดุชนิด B	39
รูปที่ 5.3 วัสดุชนิด C	39
รูปที่ 5.4 วัสดุชนิด D	39

## สารบัญกราฟ

กราฟที่	หน้าที่
กราฟที่ 5.1 การทดสอบโดยเครื่องที่จัดสร้างขึ้น (ชนิด A)	40
กราฟที่ 5.2 การทดสอบโดยเครื่องมาตรฐาน (ชนิด A)	40
กราฟที่ 5.3 การทดสอบโดยเครื่องที่จัดสร้างขึ้น (ชนิด B)	41
กราฟที่ 5.4 การทดสอบโดยเครื่องมาตรฐาน (ชนิด B)	41
กราฟที่ 5.5 การทดสอบโดยเครื่องที่จัดสร้างขึ้น (ชนิด C)	42
กราฟที่ 5.6 การทดสอบโดยเครื่องมาตรฐาน (ชนิด C)	42
กราฟที่ 5.7 การทดสอบโดยเครื่องที่จัดสร้างขึ้น (ชนิด D)	43
กราฟที่ 5.8 การทดสอบโดยเครื่องมาตรฐาน (ชนิด D)	43



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มา

ปัจจุบันนี้เครื่องทดสอบวัสดุมีความจำเป็นต่ออุตสาหกรรมอย่างมาก เพราะการทดสอบจะทำให้ทราบถึงคุณสมบัติต่างๆของวัสดุ เช่น ความเค้น(Stress) , ความเครียด(Strain) , ความเหนียว(Stickness) , ความแข็ง (Strength) เป็นต้น คุณสมบัติต่างๆเหล่านี้จะทำให้สามารถเลือกใช้วัสดุให้ถูกต้องกับการใช้งานได้

#### 1.1.1 เครื่องทดสอบวัสดุ

การทดสอบวัสดุนั้นสามารถทำได้หลายแบบ คือ การทดสอบแรงดึง (Tensile Test), การทดสอบแรงกด(Compressive Test), การทดสอบแรงดัดโค้ง(Bending Test)และ การทดสอบแรงเฉือน(Shearing Test) ซึ่งการทดสอบแต่ละแบบนี้จะให้คุณสมบัติที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับผู้ทดสอบว่าต้องการหาคุณสมบัติอะไรของวัสดุ

เครื่องทดสอบที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้หรือที่เรียกว่า ยูนิเวอร์แซลเทสติ้งแมชชีน(Universal Testing Machine) สามารถทดสอบวัสดุได้หลายแบบไม่ว่าจะเป็น การทดสอบแรงดึง, การทดสอบแรงกด, การทดสอบแรงดัดโค้งและ การทดสอบแรงเฉือน แต่เครื่องทดสอบนี้ปัจจุบันจะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ มีราคาค่อนข้างสูง

#### ชนิดของวัสดุที่มักนิยมทำการทดสอบ

- พลาสติกแผ่น
- พลาสติกฟิล์ม
- ไฟเบอร์กลาส
- ยาง และชิ้นส่วนยาง
- โลหะ, สปริง
- อาหาร
- ชิ้นส่วนรถยนต์
- ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

#### รายชื่อมาตรฐานและองค์กร

- ASTM American Society for Testing and Materials
- BSI British Standard Institution
- DIN Deutsche Industries Normen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ISO International Organization for Standard
- JISC Japan Industrial Standard Committee
- TISIThai Industrial Standard Institute

### 1.1.2 การใช้งานระบบไฮดรอลิกส์

ขอบข่ายงานต่างๆที่นำเอาระบบไฮดรอลิกส์ไปใช้งานนั้น แบ่งออกได้เป็น 5 ส่วน คือ

1.1.2.1 ระบบไฮดรอลิกส์ในโรงงานอุตสาหกรรม(Industrial hydraulics) ในโรงงานอุตสาหกรรมได้มีการนำเอาระบบไฮดรอลิกส์ไปใช้ในเครื่องมือต่างๆ ตัวอย่างเช่น เครื่องฉีดพลาสติก เครื่องฉีดอะลูมิเนียม แท่นอัดขึ้นงาน เครื่องป้อนและตัดขึ้นงาน เครื่องพับและตัดขึ้นงาน เครื่องประกอบชิ้นรูปขึ้นงาน เครื่องจักรขนาดใหญ่ เครื่องกลึงและเจียระไน เป็นต้น

1.1.2.2 ระบบไฮดรอลิกส์ในอุตสาหกรรมเหล็กกล้า งานวิศวกรรมโยธา และสถานีกำเนิดไฟฟ้า (Hydraulics in steelworks, civil engineering and generating stations) ในปัจจุบันงานเหล็กกล้าส่วนใหญ่จะต้องมีการใช้งานอุปกรณ์ไฮดรอลิกส์ ตัวอย่างเช่น ใช้กับแท่นเลื่อน แขนโยก เป็นต้น ส่วนตัวอย่างที่ใช้ในงานวิศวกรรมโยธา เช่น ระบบเปิด-ปิด ประตูกั้นน้ำ เขื่อนกั้นน้ำ การควบคุมการเปิด-ปิดสะพาน เป็นต้น

1.1.2.3 ระบบไฮดรอลิกส์ยานยนต์อุตสาหกรรม(Mobile machinery hydraulics) ตัวอย่างเช่น รถแทรกเตอร์ รถแทรกเตอร์ ปั่นจั่น รถยก รถขุด เครน รถกวาด รถตัก และเครื่องมือที่ใช้ในการก่อสร้างต่างๆ เป็นต้น

1.1.2.4 ระบบไฮดรอลิกส์ในเรือเดินทะเล(Hydraulics for marine applications) ตัวอย่างเช่น ระบบนำร่องอัตโนมัติ ระบบหางเสือเรือ การควบคุมการปล่อยยอน การควบคุมระบบระบายน้ำใต้ท้องเรือ เป็นต้น

1.1.2.5 ระบบไฮดรอลิกส์ในงานเทคนิคเฉพาะอย่าง(Hydraulics in special technical application) ตัวอย่างเช่น กล้องเทเลสโคป ระบบสื่อสารทางอากาศ เครื่องขุดเจาะน้ำมันในทะเล เครื่องสำรวจแหล่งแร่ เครื่องสำรวจชั้นดิน เป็นต้น

### 1.1.3 ข้อได้เปรียบของระบบไฮดรอลิกส์

1.1.3.1 ง่ายต่อการควบคุม โดยปกติแล้วการส่งกำลัง โดยกลไกจะมีความยุ่งยากเกี่ยวกับโครงสร้างที่จะควบคุมให้เกิดการเคลื่อนที่ทำงานทั้งในแบบหมุนหรือในแนวตรง แต่ระบบไฮดรอลิกส์ทำงานได้ง่ายและดีในแนวตรงและหมุน

1.1.3.2 การปรับเปลี่ยนความเร็วลูกสูบหรือมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ทำได้ง่าย สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วได้ทุกระดับ โดยปรับที่วาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำมัน ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์นั้นควรทำงานที่ความเร็วคงที่มากกว่า

1.1.3.3 แรงทวีคูณ ในระบบกลไกเราจะเพิ่มแรงแล้วส่งผ่านชุดเกียร์ รอก คานและอื่นๆ ทำให้พลังงานจำนวนมากสูญเสียไปกับแรงต้านทานในส่วนต่างๆ แต่ในระบบไฮดรอลิกส์เราสามารถเพิ่มแรงเป็นทวีคูณได้โดยไม่มีข้อจำกัด และใช้ส่วนที่เคลื่อนที่เพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.3.4 แรงคงที่ ระบบไฮดรอลิกส์สามารถจะให้แรงที่คงที่โดยไม่จำกัดความเร็ว และยังให้ประสิทธิภาพสูง ถึงแม้ในระบบจะมีการรั่วไหลแต่ความดันก็ยังคงที่

1.1.3.5 ตั้งขนาดของแรงที่ต้องการใช้งานได้ เพราะปริมาณน้ำมันที่ความดันส่วนเกินจะไหลออกไปทางวาล์วจำกัดความดันหมด

1.1.3.6 การทำงานกลับทิศไปมา กระบอกสูบและมอเตอร์ไฮดรอลิกส์สามารถทำงานกลับทิศไปมาได้โดยไม่ต้องรอให้หยุด โดยอาศัยวาล์วควบคุมทิศทางการไหล ส่วนปัญหาการโอเวอร์โหลด ขณะทำงานกลับทิศจะไม่มี

1.1.3.7 ควบคุมการทำงานได้เที่ยงตรง แม่นยำ และถูกต้อง เพราะมีวาล์วที่จะควบคุมทั้งความเร็วและความดัน

1.1.3.8 กะทัดรัด กินเนื้อที่ในการติดตั้งและมีน้ำหนักน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดกำลังเดียวกัน และในบริเวณที่ไม่เหมาะสมก็สามารถติดตั้งได้เพียงแต่ให้มีที่วางท่อเท่านั้น

1.1.3.9 สามารถหยุดชะงัก เนื่องจากการรับโอเวอร์โหลดได้นาน เมื่อโหลดลดลงก็ทำงานต่อไปได้โดยทันที ไม่มีปัญหาเนื่องจากฟิวส์ขาดเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อรับโอเวอร์โหลดนานๆ ระบบก็ยังคงทำงานอยู่ต่อไปได้

1.1.3.10 ปลอดภัย ระบบไฮดรอลิกส์มีความปลอดภัยสูง แม้ว่าจะรับภาระโหลดนานๆ ไม่มีปัญหาเนื่องจากไฟฟ้าช็อตเหมือนระบบไฟฟ้า จึงทำให้เป็นที่สนใจและนำไปใช้ในโรงงานได้ดีกว่าระบบอื่นๆ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ออกแบบและจัดสร้างเครื่องทดสอบวัสดุชนิดแบบกดที่มีราคาไม่แพง

1.2.2 ศึกษาการทำงานของระบบไฮดรอลิกส์แล้วนำมาใช้งานได้อย่างถูกต้อง

1.2.3 ศึกษาอุปกรณ์ต่างๆที่จะนำมาใช้ในการสร้างเครื่องทดสอบวัสดุ แล้วเลือกมาใช้ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมที่สุด

1.2.4 ทดสอบวัสดุ เพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะของเครื่องทดสอบมาตรฐาน แล้วสามารถทำการปรับปรุงแก้ไขให้มีความผิดพลาดน้อยได้

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ออกแบบ คำนวณ จัดสร้าง และประกอบโครงสร้างของเครื่องทดสอบ

1.3.2 ออกแบบและติดตั้งระบบควบคุมการงานของเครื่องทดสอบ

1.3.3 เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานและการคำนวณของเครื่องทดสอบแล้วแสดงผลที่ได้ในรูปแบบของกราฟ

1.3.4 ทดสอบเครื่องที่ได้จัดสร้างขึ้นพร้อมทั้งนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบที่ได้มาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 วิธีการดำเนินงาน

โครงการนี้จะเริ่มต้นด้วยการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ซึ่งจะมี 3 เรื่องหลักๆด้วยกัน คือ 1. โครงสร้างของเครื่องทดสอบ 2. อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในระบบควบคุม 3. โปรแกรมการทำงานของเครื่องทดสอบ จากนั้นจะนำความรู้ที่ได้ศึกษามาทั้งหมดมาออกแบบเครื่องทดสอบ

ขั้นตอนแรก จัดสร้างโครงสร้างตามแบบที่ได้ออกแบบไว้และประกอบเข้ากับระบบไฮดรอลิกส์ จากนั้นนำเอาเอ็นโค้ดเดอร์(encoder) และโหลดเซลล์(load cell) มาติดตั้งที่โครงสร้างเพื่อต่อเข้าสู่ระบบควบคุม จากนั้นจะเริ่มเข้าสู่ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานและการคำนวณของเครื่องทดสอบ จากนั้นจะเริ่มทำการทดสอบหาค่าผิดพลาดแล้วทำการแก้ไขจุดบกพร่องต่างๆ นำผลการทดลองที่ได้ไปเปรียบเทียบกับเครื่องที่ได้มาตรฐาน แล้วจึงสรุปผลการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 ระบบไฮดรอลิกส์

ระบบกำลังของไหลมีบทบาทในงานวิศวกรรมแขนงต่างๆมากมาย ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ขนาดเล็กๆ ไปจนถึงอุปกรณ์ขนาดใหญ่ๆ ในเครื่องจักรอุตสาหกรรม คำว่า ‘ไฮดรอลิกส์’(Hydraulic) หมายถึง การไหลของเหลวทุกชนิดที่ใช้ในระบบเพื่อเป็นตัวกลางการถ่ายทอดกำลังงานในการเปลี่ยนกำลังงานของไหลให้เป็นกำลังงานกล คือ ทำให้กระบอกสูบไฮดรอลิกส์และมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ทำงาน ตัวอย่างการทำงาน เช่น ระบบเบรคในรถยนต์ แม่แรงไฮดรอลิกส์ เครื่องอัด เกียร์อัตโนมัติ เกรน กว้าน รถแทรกเตอร์ และเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ระบบไฮดรอลิกส์จะต้องมีอุปกรณ์พื้นฐานในการทำงานดังนี้

2.1.1 อุปกรณ์ต้นกำลังไฮดรอลิกส์ (Primary Component) ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนปั๊มน้ำมันไฮดรอลิกส์ เพื่อส่งจ่ายแก่ระบบไฮดรอลิกส์ ประกอบด้วยเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ไฟฟ้า

2.1.2 อุปกรณ์เก็บและปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันไฮดรอลิกส์(Storage And Treatment) ทำหน้าที่เป็นที่พักของน้ำมันขจัดสิ่งสกปรก ขจัดฟองอากาศ และระบายความร้อนของน้ำมันไฮดรอลิกส์ ประกอบด้วยถังพักน้ำมันไฮดรอลิกส์ ใส์กรองน้ำมันไฮดรอลิกส์ และอุปกรณ์ประกอบอื่นๆที่ใช้กับถังพักน้ำมัน

2.1.3 อุปกรณ์สร้างการไหล(Transferring Component) ทำหน้าที่สร้างอัตราการไหล ประกอบด้วยปั๊มไฮดรอลิกส์ ชนิดต่างๆ

2.1.4 อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน(Controlling Component) หมายถึงวาล์วควบคุมชนิดต่างๆในระบบไฮดรอลิกส์ เช่น วาล์วควบคุมทิศทางการไหลใช้ควบคุมทิศทางเคลื่อนที่ของก้านสูบ วาล์วควบคุมอัตราการไหลให้จำกัดปริมาณน้ำมันที่เข้าสู่ลูกสูบเพื่อควบคุมความเร็วของก้านสูบ วาล์วควบคุมความดันใช้ควบคุมความดันในระบบ

2.1.5 อุปกรณ์การทำงาน(Actuator or Working Component) ทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังงานของไหลให้เป็นกำลังกล เช่น กระบอกสูบไฮดรอลิกส์ หรือมอเตอร์ไฮดรอลิกส์

2.1.6 อุปกรณ์ในระบบท่อทาง(Piping System) ทำหน้าที่เป็นท่อทางการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกส์ในระบบ ประกอบด้วยแป๊ป(Pipe) ท่อ(Tube) สายน้ำมันไฮดรอลิกส์(Hoses) ข้องอ(bending) และข้อต่อชนิดต่างๆ(Fitting)

#### 2.2 วาล์วที่ใช้ในโรงงาน

วาล์ว เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมทิศทางเคลื่อนที่ ควบคุมความเร็ว และควบคุมแรงหรือความดันของอุปกรณ์ทำงาน (Actuator) ซึ่งวาล์วในระบบไฮดรอลิกส์นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ด้วยกันตามลักษณะของการควบคุมดังกล่าวในข้างต้น กล่าวคือ วาล์วควบคุมทิศทาง (Directional control valve) วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Flow control valve) และวาล์วควบคุมความดัน (Pressure control valve)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และไม่ว่าจะเป็นวาล์วชนิดใดก็ตาม หากเราคิดจะแบ่งกลุ่มโดยอาศัยลักษณะ (การเคลื่อนที่) ในการทำงานจะทำให้แบ่งวาล์วออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ด้วยกัน คือ วาล์วที่ทำงานในลักษณะเปิด/ปิด หรือทำงานกับไม่ทำงาน (Switching valves) และวาล์วที่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง หรือวาล์วพลวัต (Dynamic valves) หรืออาจจะเรียกกันทางภาษาเทคนิคว่า ไดนามิกวาล์ว

จากการแบ่งวาล์วตามพื้นฐานซึ่งมี 3 กลุ่มใหญ่ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ในโครงการนี้ก็มีการใช้งานวาล์วทั้ง 3 กลุ่ม ซึ่งวาล์วที่ใช้ในโครงการนี้ประกอบด้วย

**2.2.1 วาล์วควบคุม 4 ทิศทางทำงานด้วยโซลินอยด์โดยตรง (Direct-acting solenoid valve 4 way D.C.V.)** วาล์วแบบ 4 ทิศทางแบบสปูลเลื่อนที่ควบคุมด้วยวิธีโซลินอยด์นี้มีทั้งแบบโซลินอยด์คู่ มีสปริงดันให้อยู่ตำแหน่งกลางแบบ 3 ตำแหน่ง โซลินอยด์เดี่ยวมีสปริงดันกลับแบบ 2 ตำแหน่ง และโซลินอยด์คู่ยึดค้างด้วยร่องยึด 2 ร่อง แบบ 2 ตำแหน่ง เมื่อโซลินอยด์ทำงานจะเกิดอำนาจแม่เหล็กผลักดันสปูลของวาล์วให้เลื่อนโดยตรง อำนาจแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดโซลินอยด์อาจน้อยเกินไปจนไม่อาจที่จะผลักดันสปูลที่มีขนาดใหญ่ได้ ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดของขนาดวาล์วที่จะใช้วิธีนี้ควบคุม ส่วนมากแล้วจะควบคุมวาล์วทิศทางที่มีขนาดรูต่อไม่เกิน  $1/4$  นิ้ว รายละเอียดการควบคุมด้วยโซลินอยด์โดยตรงมีดังนี้

ก. โซลินอยด์วาล์วต้องมีช่องว่างของอากาศ (air gap) ภายในตัววาล์วระหว่างอาร์เมเจอร์ (armature) กับขดลวด และช่องว่างนี้จะถูกปิดเมื่อโซลินอยด์ทำงาน สำหรับกระแสไฟฟ้าที่เข้าขดลวดแล้วทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กพอที่จะผลักดันแกนวาล์วจะต้องมีมากกว่าปกติ 5-10 เท่า โดยที่สวิทช์จำกัดระยะ (Limit switch) เป็นตัวควบคุมกระแสไฟฟ้าที่จะเข้าขดลวดโซลินอยด์ สวิทช์นี้มีขนาด 10 แอมแปร์ 115 โวลต์ 60 ไซเคิล ซึ่งจะช่วยให้จำกัดให้ได้แรงที่กระทำในแกนวาล์วเริ่มเคลื่อนที่อยู่ในระดับ 5-10 ปอนด์ และเพิ่มขึ้นเป็น 15-20 ปอนด์ เมื่อช่องว่างของอากาศใกล้จะถูกปิด แต่แรงขนาดนี้จะไม่เพียงพอที่จะเลื่อนแกนวาล์วที่มีขนาดใหญ่

ข. โซลินอยด์จะต้องทำงานทันทีเพื่อลดจำนวนกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้า โซลินอยด์ขนาดใหญ่ ๆ มักจะมีแรงกระแทกเมื่อเวลาทำงานมาก ๆ ทำให้สึกหรอเร็วและเกิดเสียงดังขณะทำงาน

ค. ในกรณีที่มีโซลินอยด์ทำงานทั้งสองด้านของวาล์ว ถ้าหากตัวใดตัวหนึ่งทำงาน อีกตัวหนึ่งจะต้องอยู่ในตำแหน่งปกติ โดยไม่มีไฟป้อนเสมอ ถ้าหากป้อนไฟให้โซลินอยด์ทำงานทั้งสองตัวพร้อม ๆ กันจะเป็นผลให้ขดลวดโซลินอยด์ไหม้ได้เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่เข้าโซลินอยด์มีกำลังสูง

จ. การทำงานของอาร์เมเจอร์จะต้องรวดเร็วเพื่อลดความร้อนที่เกิดขึ้น ดังนั้นสปูลจะต้องเลื่อนเร็วตามไปด้วย แต่วาล์วทิศทางที่ควบคุมแบบใช้โซลินอยด์บังคับโดยตรงจะไม่สามารถปรับความเร็วของสปูลได้จึงทำให้เกิดอาการสั่น ส่วนวาล์วทิศทางที่ควบคุมแบบใช้โซลินอยด์ควบคุมและบังคับให้ทำงานด้วยความดันไหลอดสปูลได้ จึงไม่มีอาการสั่น

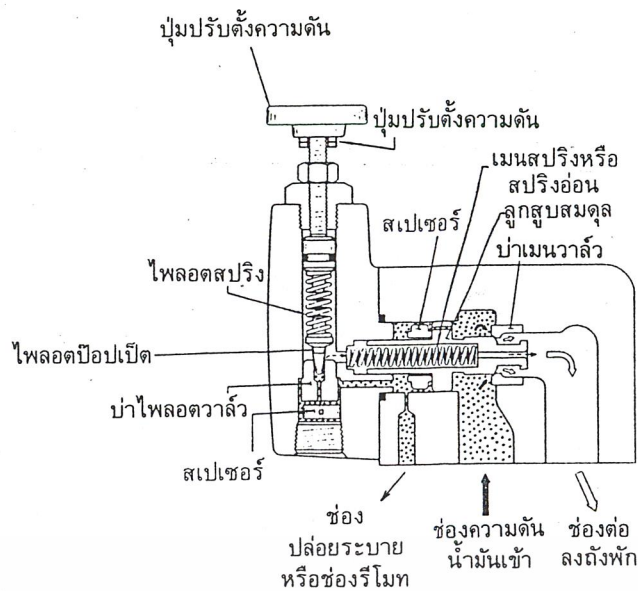
เดิมวาล์วทิศทางในระบบไฮดรอลิกจะเป็นแบบโซลินอยด์บังคับโดยตรงกันมาก แต่มีข้อเสียดังกล่าวมาแล้ว ดังนั้นจึงมีการออกแบบโซลินอยด์วาล์วขึ้นใหม่ให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้นและดีกว่า โดยให้ความดันไหลอดเข้ามาช่วยด้วย อย่างไรก็ตามข้อดีของระบบโซลินอยด์บังคับโดยตรงก็ยังมี เช่น ง่ายต่อการใช้ ราคาต่ำ ทำงานได้ที่ความดันต่ำมาก ๆ เป็นต้น

2.2.2 วาล์วปลดความดัน เป็นวาล์วควบคุมความดันที่อยู่ส่วนแรกของวงจรไฮดรอลิก คือติดตั้งไว้ที่ท่อทางน้ำมันไหลออกจากปั๊มก่อนเข้าสู่ระบบ มีหน้าที่คอยควบคุมความดันของวงจรทั้งหมดหรือวงจรบางส่วนให้อยู่ที่ระดับความดันเดียวกันทั้งวงจร ใช้เพื่อจุดประสงค์ในการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ทั้งหมดในวงจรอันเนื่องมาจาก ความดันสูงเกินไป คือ เมื่อความดันในวงจรเพิ่มขึ้นถึงจุดที่กำหนด (Set pressure) หรือปรับตั้งไว้ วาล์วนี้จะเปิดเพื่อระบายน้ำมันที่ทำให้เกิดความดันส่วนเกิน (Over pressure) โดยน้ำมันนี้จะดันสปริงของวาล์วให้ยุบตัว เมื่อความดันในระบบสูงขึ้นจนชนะแรงสปริง ตัวลูกบอลหรือป๊อปเป็ตหรือสปูลจะถอยเปิดให้น้ำมันไหลกลับสู่ถังพักได้ ความดันก็จะลดลงและมีค่าคงที่เท่ากับที่ปรับตั้งเอาไว้ วาล์วปลดความดันนี้สามารถแบ่งได้ตามวิธีควบคุมเป็น 2 ประเภท คือ วาล์วปลดความดันแบบไคเรกแอกติง และวาล์วปลดความดันแบบไหลอด ซึ่งวาล์วปลดความดันแบบไหลอดยังสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด คือแบบป๊อปเป็ต (Poppet type) กับแบบลูกสูบสมดุล (Balance piston type) ซึ่งในโครงการนี้เราเลือกใช้วาล์วปลดความดันแบบลูกสูบสมดุล เนื่องจากเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปหาได้ง่าย และสามารถรับความดันในการทดสอบวัสดุที่ใช้แรงทดสอบสูงมากได้

วาล์วปลดความดันแบบไหลอดชนิดลูกสูบสมดุล โครงสร้างของวาล์วปลดความดันแบบนี้เป็นแบบที่มีจำหน่ายและนิยมใช้กันโดยทั่วไป ตัววาล์วประกอบด้วยชุดลูกสูบสมดุลซึ่งทำหน้าที่ปิด-เปิดปล่อยน้ำมันให้ไหลกลับถังพักเมื่อความดันในระบบถึงค่าที่จำกัด ไพลอตวาล์วหรือไพลอตป๊อปเป็ตจะทำหน้าที่ควบคุมลูกสูบสมดุลให้ทำงาน ดังนั้นการทำงานจะเหมือนกันกับโครงสร้างแบบป๊อปเป็ตทุกประการ ต่างกันที่ใช้เมนป๊อปเป็ตกับลูกสูบสมดุลเป็นตัวทำให้วาล์วปิด-เปิด และสามารถควบคุมได้ทั้งแบบรีโมทคอนโทรล ใช้ในวงจรลดภาระการทำงานและวงจรความดันสูง-ต่ำได้ ขนาดและอัตราการไหลสูงสุดของวาล์วปลดความดันแบบนี้แสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งมีจำหน่ายและนิยมใช้ทั่วไป

ขนาดวาล์ว	อัตราการไหลสูงสุด (LPM)
3/6	100
3/4	200
1 1/4	400
2	800
3	1200

ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดของวาล์วปลดความดันแบบลูกสูบสมดุล



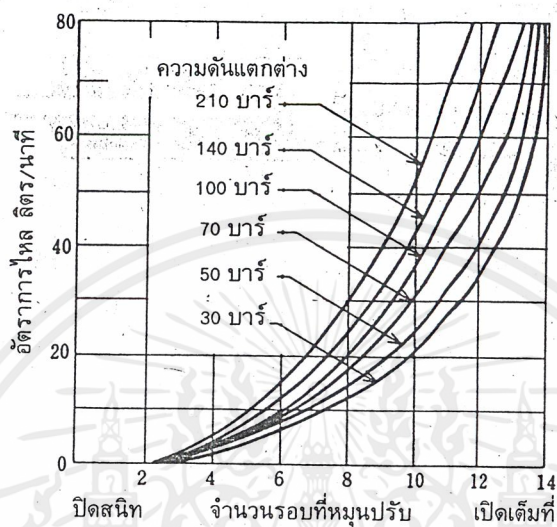
รูปที่ 2.1 วาล์วปลดความดันแบบไฟลอคที่มีโครงสร้างเป็นแบบลูกสูบสมดุล

จากรูปที่ 2.1 ส่วนของวาล์วทางด้านซ้ายมือเรียกว่า ไฟลอควาล์ว ซึ่งก็เป็นวาล์วปลดความดันแบบไโดเรกแอคติงตัวหนึ่ง เราทำให้เกิดความดันในระบบได้โดยการหมุนปั๊มปรับตั้งผ่านแกนไปดันไฟลอคสปริง ไฟลอคสปริงก็จะไปดันไฟลอคป๊อปเปิดให้แนบสนิทกับป่าปิดไม่ให้น้ำมันในห้องที่อยู่ด้านหลังลูกสูบสมดุลไหลผ่านไปได้ จะเปิดให้น้ำมันไหลผ่านไฟลอคป๊อปเปิดลงมาได้ เมื่อแรงที่กระทำต่อไฟลอคกับแรงสปริงเกิดเสียสมดุล ทำให้ความดันถึงค่าที่ปรับตั้งจำกัดเอาไว้ ส่วนของวาล์วทางด้านขวามือคือ ลูกสูบเมนหรือเรียกว่าลูกสูบสมดุล ที่ตัวลูกสูบสมดุลจะมีรูเล็ก ๆ เรียกว่า รูออริฟิซหรือรูโซ้ก ทำไว้เพื่อให้น้ำมันจากช่องทางเข้าไหลผ่านเข้าไปที่แชมเบอร์ด้านหลังของลูกสูบได้เพื่อให้เกิดความดันสมดุล ทำให้วาล์วปิดและให้เกิดความดันแตกต่าง (ความดันเสียสมดุล) ทำให้วาล์วเปิด เมื่อไฟลอคป๊อปเปิดถูกดันให้พ้นป่าทำให้น้ำมันไหลผ่านลงมาข้างล่างได้ ก็จะให้ความดันสมดุลระหว่างด้านหลังกับด้านหน้าลูกสูบเสียไปแต่รูโซ้กนี้ออกแบบให้เป็นรูขนาดเล็ก ๆ น้ำมันไหลได้ในอัตรา 1 ลิตรต่อนาที ถ้ารูโซ้กใหญ่เกินไปน้ำมันจะไหลได้ง่ายขึ้น เมื่อไฟลอคป๊อปเปิดพ้นป่า จะไม่เกิดความดันแตกต่างเอาชนะแรงสปริงที่ดันลูกสูบสมดุลซึ่งเป็นสปริงอ่อน มีค่าแรงดันประมาณ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว สปริงมีค่าคงที่ปรับตั้งไม่ได้ วาล์วก็ไม่ถูกเปิดออก ดังนั้นรูโซ้กจึงทำเป็นรูเล็ก ๆ ดังกล่าว เพื่อให้เกิดความดันเสียสมดุลคือ เกิดความดันระหว่างด้านหน้ากับด้านหลังลูกสูบต่างกัน ก็จะได้ความดันส่วนหน้าของลูกสูบสมดุลนี้เอาชนะแรงสปริง ทำให้ลูกสูบสมดุลนี้เคลื่อนตัวพ้นจากป่า เปิดให้น้ำมันส่วนเกินความต้องการไหลจากช่องทางเข้ากลับไปยังถังพักทางช่องทางออกได้

จากรูปโครงสร้างของวาล์วปลดความดันแบบนี้ที่แชมเบอร์ด้านหลังลูกสูบสมดุลจะใส่ตัวสเปเซอร์ไว้ด้วย ซึ่งสามารถเคลื่อนตัวได้อย่างอิสระ เพื่อเป็นการลดปริมาตรภายในแชมเบอร์นั้นให้น้อยลง ถ้าแชมเบอร์มีปริมาตรมากก็จะทำให้เกิดการสั่นกระแทกของน้ำมันได้ง่ายขึ้น แต่บางบริษัทก็ไม่ใส่เอาไว้หรือถ้าเป็นโมเดลรุ่นเล็ก ๆ ก็จะไม่ใส่ตัวสเปเซอร์เช่นกัน ที่แชมเบอร์ด้านหลังลูกสูบสมดุลนี้ก็มีช่องปล่อยระบายเหมือนกันกับแบบป๊อปเปิด ทำให้สามารถควบคุมด้วยวิธีรีโมทคอนโทรลได้ โดยการระบายน้ำมันในแชมเบอร์ที่ผ่านไปทางด้านหน้ากับด้านหลังของลูกสูบสมดุล เมื่อด้านหน้าลูกสูบสมดุลมีความดันที่สูงกว่า ก็จะดันชนะแรงสปริงอ่อน วาล์วก็เปิดให้น้ำมันไหลออกสู่ถังพักไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 วาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบไม่มีการชดเชย วาล์วชนิดนี้มีโครงสร้างและการทำงานอย่างง่าย ๆ สามารถควบคุมการไหลได้หลายระดับ โดยขึ้นอยู่กับความดันแตกต่างระหว่างความดันก่อนทางเข้าวาล์วกับความดันที่ทางออกวาล์ว หรือเรียกว่าความดันลดที่เกิดขึ้นที่ตัววาล์ว ถ้าความดันแตกต่างหรือความดันลดมีค่ามาก ปริมาณการไหลที่ไหลผ่านวาล์วก็จะมีค่ามากตามด้วย ถึงแม้ว่าช่องทางไหลของวาล์วจะมีค่าคงที่ตามที่เราระบุตั้งไว้ก็ตาม ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการไหลกับความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นกับวาล์ว

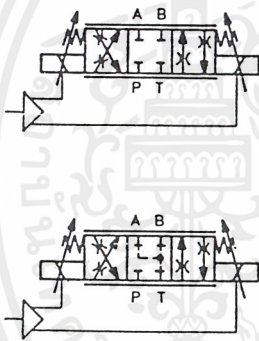
เมื่อสังเกตจากเส้นกราฟในรูปจะเห็นว่า ถ้าความดันแตกต่างมากขึ้นก็จะทำให้มีน้ำมันไหลผ่านวาล์วได้มากขึ้นถึงแม้จะปรับวาล์วไว้คงที่ก็ตาม ดังนั้นวาล์วชนิดนี้จึงไม่ควรใช้ในงานที่ไหลเปลี่ยนแปลงไปมาและในงานที่ต้องการควบคุมความเร็วให้คงที่ตลอดเวลาเพราะอัตราการไหลที่ปรับตั้งไว้จะเปลี่ยนแปลงไปตามความดันแตกต่างดังได้กล่าวข้างต้น วาล์วชนิดนี้จึงมีข้อจำกัดในการใช้ควบคุมความเร็วของอุปกรณ์การทำงานอยู่บ้างและไม่ค่อยเหมาะสม ควรเลือกใช้ประเภทที่มีการชดเชยความดันและชดเชยอุณหภูมิจะเหมาะสมกว่า แต่ราคาของวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบไม่มีการชดเชยจะถูกกว่ามาก บางครั้งเรียกว่าวาล์วหรือน้ำมันมากกว่าที่จะเรียกว่าวาล์วควบคุมความเร็ว มีโครงสร้าง 2 แบบคือ แบบควบคุมการไหลได้สองทิศทางกับแบบควบคุมปริมาณการไหลทางเดียวมีวาล์วกันกลับอยู่ภายในไหลย้อนกลับได้อย่างอิสระ สำหรับในโครงการนี้เลือกใช้เป็นวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบไม่มีการชดเชยแบบควบคุมปริมาณการไหลทางเดียวมีวาล์วกันกลับอยู่ภายใน น้ำมันที่ไหลย้อนกลับสามารถไหลผ่านได้อย่างอิสระ เพราะมีวาล์วกันกลับประกอบอยู่ภายใน มีโครงสร้างหลักคือ ไม่ใช่สปูลและก้านกระทุ้งเปลี่ยนมาเป็นลูกสูบ ซึ่งมีแกน 2 ด้านต่อเป็นชิ้นเดียวกัน ด้านหนึ่งรับแรงผลักดันจากสกรูที่หมุนปรับตั้งโดยตรง ส่วนอีกหนึ่งดันติดกับวาล์วกันกลับอยู่ เมื่อน้ำมันไหลเข้าทางช่องทางขวามือ ปริมาณน้ำมันจะไหลผ่านวาล์วกันกลับไม่ได้และถูกควบคุมด้วยออริฟิซตามที่ปรับตั้งไว้ แต่เมื่อให้ไหลย้อนกลับคือไหลเข้าทางช่องซ้ายมือ น้ำมันจะดันวาล์วกันกลับให้เลื่อนตัวลงได้ น้ำมันจะไหลผ่านวาล์วได้อย่างอิสระ

### 2.3 วาล์วสัดส่วนชนิดคอนโทรลวาล์ว (Proportional control valve)

คำว่า Proportional ความหมายในภาษาไทย ก็คือ เป็นสัดส่วนหรือแปรผันโดยตรง ดังนั้นคำว่า วาล์วสัดส่วนชนิดวาล์ว ก็คือวาล์วสัดส่วนหรือวาล์วที่แปรผันโดยตรง และจากคำจำกัดความดังกล่าวนี้ สามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ว่า วาล์วประเภทนี้ สัญญาณเอาต์พุตหรือการเคลื่อนตัวของสปูลภายในตัววาล์วจะเป็นสัดส่วนหรือแปรผันโดยตรงกับสัญญาณอินพุตที่ใช้ในการสั่งงาน ดังนั้นวาล์วประเภทนี้จึงมีความสามารถในการเคลื่อนตัวของสปูลให้ไปอยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ภายในตัววาล์ว โดยทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณอินพุตที่ใช้ในการสั่งงาน ซึ่งต่างกับวาล์วที่เราเคยรู้จักที่ทำงานเป็นแบบเปิด/ปิด หรือทำงานกับไม่ทำงาน (On/off or switching valves)

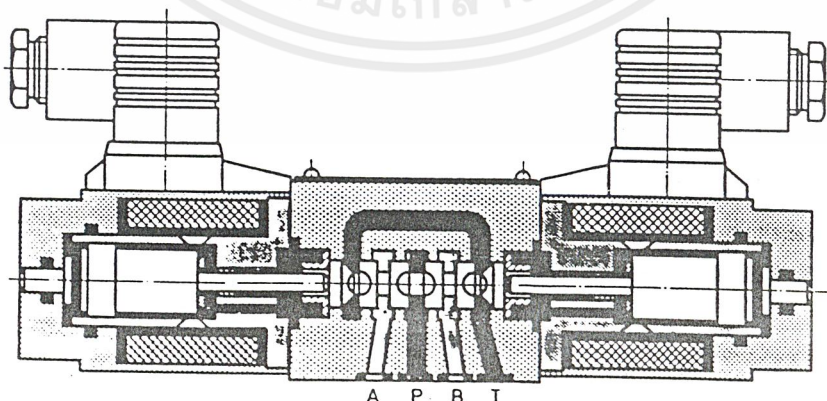
ดังที่เราทราบกันเป็นพื้นฐานอยู่แล้วว่า วาล์วในระบบไฮดรอลิกสัณฐานจะมีอยู่ 3 กลุ่มด้วยกัน คือ วาล์วควบคุมทิศทาง วาล์วควบคุมอัตราการไหล (ความเร็ว และวาล์วควบคุมความดัน (แรง) วาล์วสัดส่วนชนิดวาล์วก็สามารถแบ่งประเภทออกได้ในลักษณะทำนองเดียวกัน

#### 2.3.1 วาล์วสัดส่วนชนิดวาล์วควบคุมทิศทาง (Proportional directional control valves)



รูปที่ 2.3 แสดงสัญลักษณ์

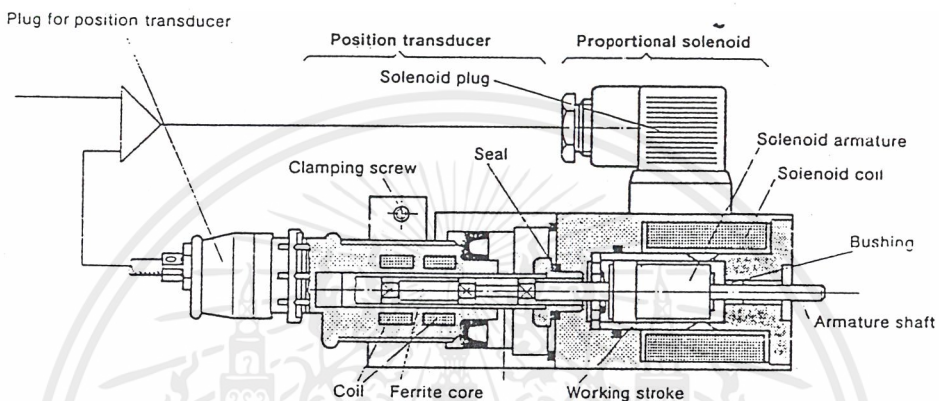
วาล์วสัดส่วนชนิดวาล์วควบคุมทิศทางจะมีข้อได้เปรียบกว่าวาล์วควบคุมทิศทางแบบเปิด/ปิดตรงที่สปูล ภายในตัววาล์วสามารถค่อย ๆ เคลื่อนตัวได้ โดยทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดและทิศทางของกระแสหรือแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับชุดโซลินอยด์ ดังนั้นการทำงานจึงราบเรียบกว่าและนอกจากนั้นยังสามารถควบคุมอัตราการไหลได้อีกด้วย รูปที่ 2.3 แสดงสัญลักษณ์ ส่วนรูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างภายในของวาล์วสัดส่วนชนิดวาล์วควบคุมทิศทาง



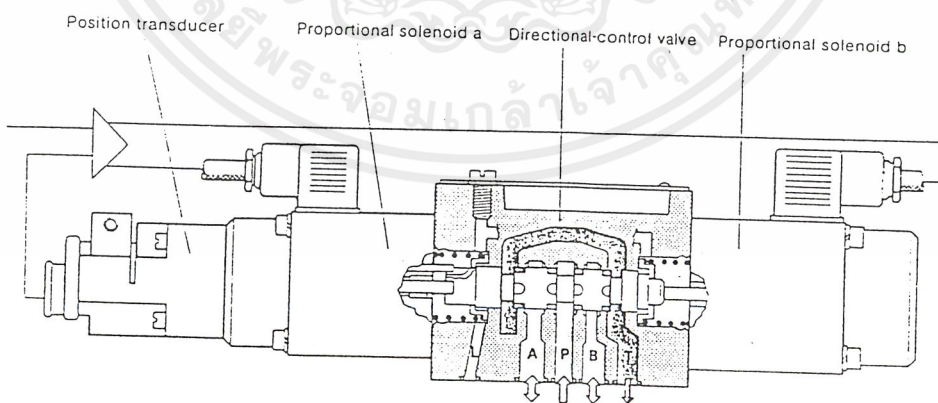
รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างโครงสร้างภายในของวาล์วสัดส่วนชนิดวาล์วควบคุมทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามพร็อพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมทิศทางดังตัวอย่างที่ผ่านมานั้นจะไม่มีการตรวจสอบตำแหน่งการเคลื่อนตัวของสปูล (Non-feedback) จึงอาจก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนหรือผิดพลาดในการควบคุมและนำไปใช้งานได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนาโดยการใส่เซนเซอร์ตรวจสอบตำแหน่งในการเคลื่อนที่ของสปูลร่วมเข้าไปด้วย ซึ่งเซนเซอร์ที่ใช้ส่วนมากจะเป็น LVDT



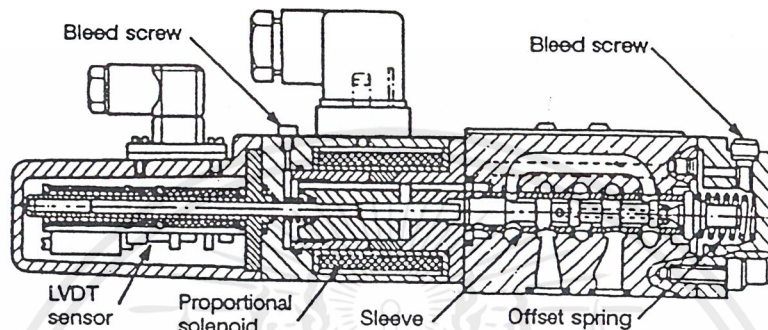
รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่าง LVDT(1)



รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่าง LVDT(2)

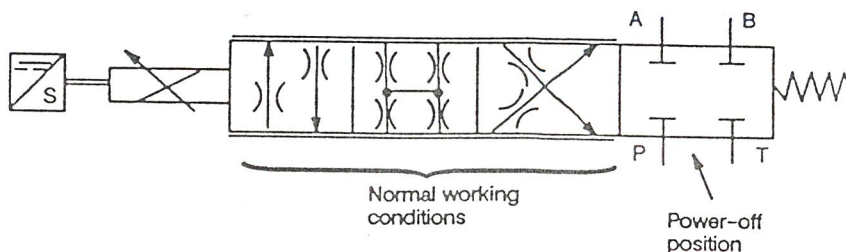
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันพรีออร์ชันนัลวาล์วควบคุมทิศทางมีการพัฒนาประสิทธิภาพให้สูงขึ้น (High performance proportional valves) โดยมีการใช้ชุดโซลินอยด์เพียงด้านเดียว (Single solenoid) ร่วมกับเซนเซอร์ตรวจจับตำแหน่ง (LVDT) ซึ่งสร้างสัญญาณป้อนกลับให้กับชุดขยายสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมวาล์ว วาล์วชนิดนี้จะมีการตอบสนองที่ค่อนข้างรวดเร็ว คือจะมีเวลาน้อยกว่า 10 ms (สำหรับสัญญาณระดับ ; step input)



รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างโครงสร้างของพรีออร์ชันนัลวาล์วควบคุมทิศทางประสิทธิภาพสูง

วาล์วแบบนี้จะใช้มาตรฐานเดียวกับวาล์วควบคุมทิศทาง แต่จะมีเซนเซอร์ตรวจจับตำแหน่งของสปูลแบบ LVDT เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการเคลื่อนตัวของสปูลที่เหมาะสมกับตำแหน่งพอร์ต (Port) หรือจุดต่อน้ำมันและภายในตัววาล์วจะมีการใส่ปลอก (Sleeve) ซึ่งสปูลจะเคลื่อนตัวอยู่ภายในปลอกนี้โดยตำแหน่งของการเคลื่อนจะถูกควบคุมด้วยชุดโซลินอยด์สำหรับ LVDT จะให้สัญญาณป้อนกลับของตำแหน่งสปูลไปยังชุดขยายสัญญาณที่ใช้ในการขับวาล์ว ส่วนสปริงจะทำหน้าที่ ดันสปูลให้ไปอยู่ในตำแหน่งปิดในกรณีที่ไม่ได้จ่ายไฟให้กับชุดโซลินอยด์ (Fail-safe) และ บลีดสกรู (Bleed screw) จะใช้สำหรับกำจัดฟองอากาศออกจากวาล์วตอนเริ่มติดตั้งหรือขณะใช้งานไปแล้ว

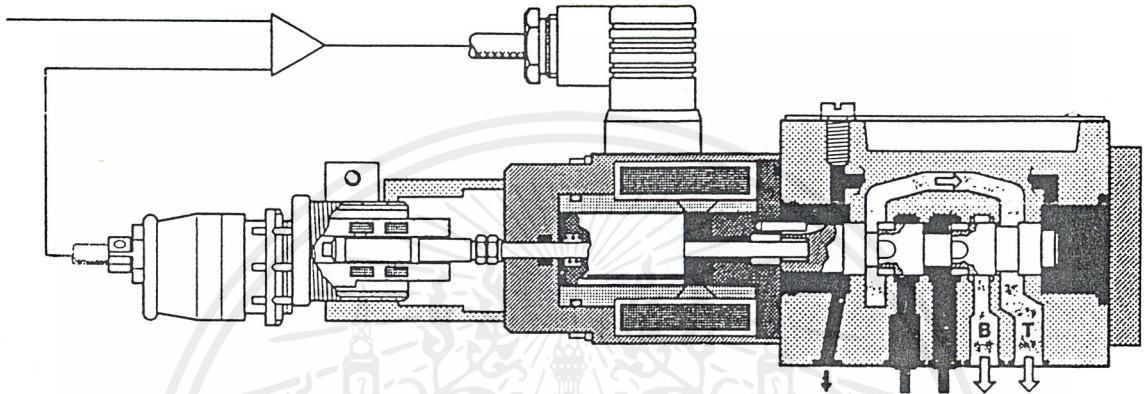


รูปที่ 2.8 สัญลักษณ์ของพรีออร์ชันนัลวาล์วควบคุมทิศทางประสิทธิภาพสูง

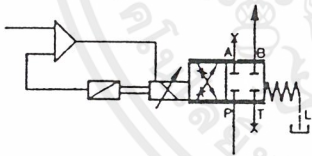
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 วาล์วปรับอัตราการไหล (Proportional flow control valves)

วาล์วที่แสดงในรูปที่ 2.9 ต่อไปนี้ถูกพัฒนามาจากวาล์วควบคุมทิศทาง ดังที่เราทราบในเบื้องต้นแล้วว่า วาล์วปรับอัตราการไหลนั้นสปลูสามารถเลื่อนไปอยู่ ณ ตำแหน่งใด ๆ ก็ได้ภายในตัววาล์ว ดังนั้นเมื่อวาล์วมีความสามารถในการค่อย ๆ เลื่อนตัวของสปลูได้จึงทำให้สามารถควบคุมอัตราการไหลได้นั่นเอง



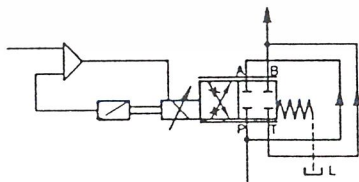
รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างภายในของวาล์วปรับอัตราการไหลที่นำมาใช้ทำเป็นวาล์วควบคุมอัตราการไหล



ห้องสปริง (Spring chamber) ที่ส่วนปลายของสปริงจะมีการต่อน้ำมันรั่วไหล (Leakage oil connection ; L) ดังนั้นในที่นี้จึงมีการนำพอร์ต T ไปใช้งาน

รูปที่ 2.10 การควบคุมการไหลผ่านทางเดียว

การใช้วาล์วควบคุมทิศทางเป็นการควบคุมการไหลผ่านทางเดียว (Single through flow) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 จะมีการไหลจากพอร์ต P ไปยัง B สำหรับการควบคุมการไหล ส่วนพอร์ต A และ T จะถูกปิด

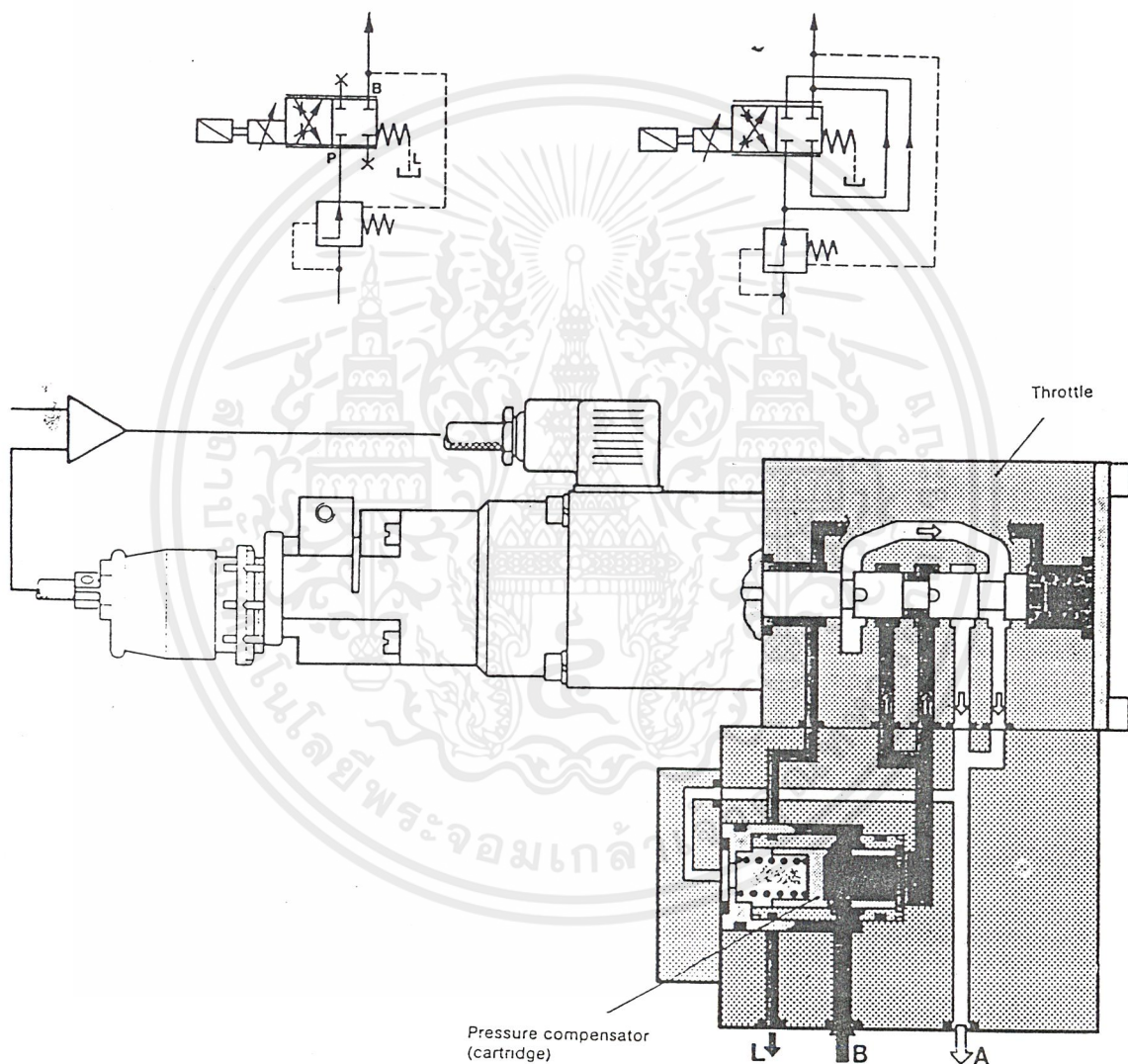


รูปที่ 2.11 การต่อพอร์ตขนาน

การไหลผ่านทางสองทาง (Double through flow) หากมีการต่อพอร์ตขนานกันดังรูปที่ 2.11 จะทำให้มีการไหลสองทาง กล่าวคือ พอร์ต P และ A จะเป็นด้านเข้า และพอร์ต B และ T จะเป็นด้านออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

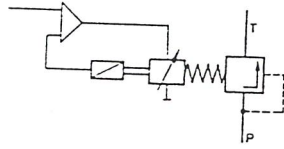
การใช้วอร์ชันนัลวาล์วควบคุมการไหลทั้งสองลักษณะที่ผ่านมานั้น จะมีข้อเสียตรงที่ไม่สามารถที่จะปรับอัตราการไหลได้หากมีการเปลี่ยนแปลงความดันที่ผ่านเข้ามายังวาล์วหรือความดันโหลดมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงได้มีการนำเอาวอร์ชันนัลวาล์วควบคุมการไหลดังที่ได้กล่าวในตอนต้นมารวมเข้ากับชุดชดเชยความดัน (Pressure-compensated)



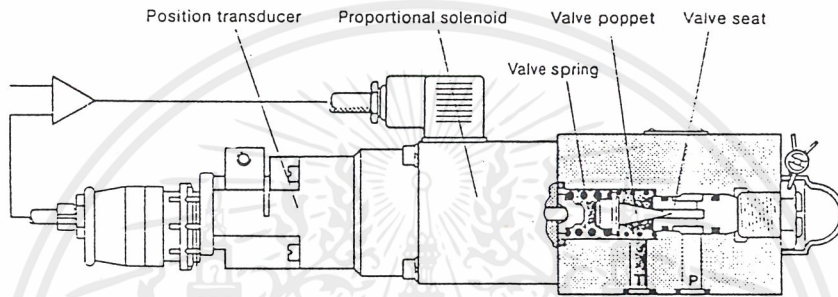
รูปที่ 2.12 แสดงสัญลักษณ์และโครงสร้างของวอร์ชันนัลวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบชดเชยความดัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 พร็ออพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมความดัน (Proportional pressure valve)

โครงสร้างของวาล์วที่แสดงในรูปที่ 2.14 เป็นวาล์วที่ใช้ในการสั่งงาน (Pilot pressure valve) วาล์วควบคุมความดันหลัก (Main valve) อีกชนิดหนึ่ง

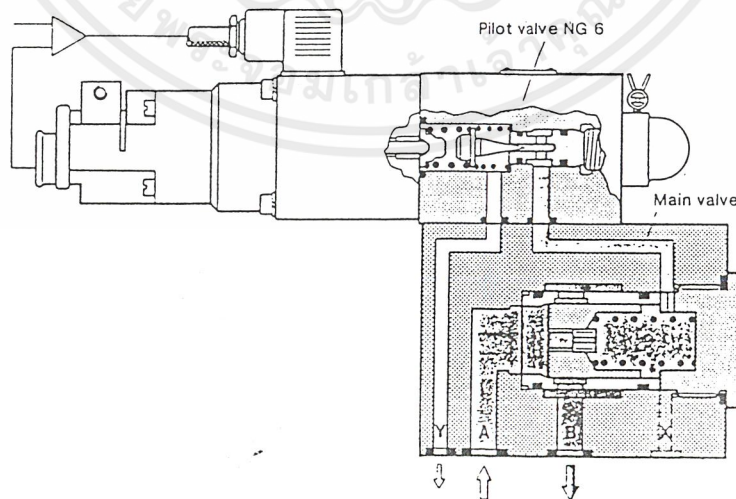


รูปที่ 2.13 สัญลักษณ์



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของวาล์วที่ใช้ในการสั่งงานวาล์วควบคุมความดันหลัก

พร็ออพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมความดันที่สมบูรณ์แบบก็คือ การเอาวาล์วที่ใช้ในการสั่งงานดังกล่าว ในข้างต้นรวมเข้ากับวาล์วหลักซึ่งอาจจะเป็นวาล์วปลดความดัน (Pressure relief valve) หรือวาล์วลดความดัน (Pressure reducing valve) ก็ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 พร็ออพอร์ชันนัลวาล์วควบคุมความดันที่สมบูรณ์แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 โหลดเซลล์ (Load cell)

โหลดเซลล์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดแรงที่กระทำต่อชิ้นทดสอบ โดยจะส่งสัญญาณออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ซึ่งจะมีค่าแปรตามแรงที่กระทำต่อโหลดเซลล์ การทำงานของโหลดเซลล์จะอาศัยสเตรนเกจ (Strain gauge) ที่อยู่ภายในโหลดเซลล์เป็นตัวแปลงสัญญาณ

### สเตรนเกจโลหะ (Metallic strain gauge)

เส้นโลหะตัวนำเพียงเส้นเดียวไม่สามารถที่จะนำมาใช้ทำเป็นสเตรนเกจได้ ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยของความต้านทานรวมของเกจรวมทั้งพื้นที่ที่ใช้ในการรับแรง ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มความยาวของตัวนำและลดขนาดพื้นที่ของเกจเส้นโลหะตัวนำของสเตรนเกจจึงได้ถูกผลิตให้มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กลง (โดยมีขนาดประมาณ 0.001 นิ้ว) และสามารถขดม้วนกันเป็นกลุ่มได้ซึ่งชุดขดลวดดังกล่าวนี้จะมีชื่อเรียกว่า กริด (Grid) สำหรับสเตรนเกจแบบนี้กระบวนการในการผลิตที่นิยมใช้ก็คือ กระบวนการที่คล้ายกับการถ่ายภาพหรือคล้ายกับการทำลายวงจรบนแผ่นปริ้น (Photoetching process) ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากกระบวนการดังกล่าวนี้สามารถผลิตกริดที่มีรูปร่างและขนาดหลากหลายตามความต้องการจากเส้นโลหะที่มีขนาดเล็ก ๆ ได้ สำหรับส่วนหัวและปลายของขดลวดตัวนำจะถูกออกแบบให้มีขนาดใหญ่เพื่อให้ง่ายต่อการเชื่อมเข้ากับวงจรไฟฟ้าซึ่งจุดดังกล่าวนี้จะเรียกว่า จุดต่อเชื่อม (Solder tab)

เนื่องจากกริดภายในสเตรนเกจมีคุณสมบัติเปราะบางและง่ายต่อการชำรุดเสียหายดังนั้นในกระบวนการผลิตจึงมีการนำเอาแผ่นพลาสติกบาง ๆ มาใช้เป็นพื้นรองและตัวนำพาโดยจะมีการทำเครื่องหมายที่กึ่งกลางของความยาวเกจเพื่อให้ง่ายต่อการติดตั้งและยังทำหน้าที่เป็นฉนวนให้กับเกจและวัสดุที่จะนำไปติดตั้งอีกด้วย วัสดุที่นำมาใช้เป็นพื้นรองมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน โดยทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่จะนำไปใช้ ตัวอย่างเช่น Polyamind plastic ใช้กับงานทั่วไป Epoxy ใช้กับงานที่ต้องการความแม่นยำและความเป็นเชิงเส้นสูง Glass-reinforced epoxy ใช้กับงานที่มีความเครียดสูงและอุณหภูมิสูง (ประมาณ 400 °C) หรือถ้าในงานที่มีอุณหภูมิสูงมาก ๆ พื้นรองสามารถเอาออกได้และในขณะที่ติดตั้งแล้วให้ใช้การเซรามิกทาเพื่อให้อุณหภูมิของกริดรวมทั้งยังเป็นฉนวนของกริดกับผิวงานที่จะติดตั้งอีกด้วย

หลักการการทำงานของสเตรนเกจ : จากทฤษฎีที่กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าของโลหะจะเกิดขึ้นเมื่อโลหะนั้นถูกกระทำภายใต้โหลด (แรงหรือความเค้น) ถ้าวัสดุซึ่งเป็นโลหะที่นำมาใช้เป็นตัวนำทางไฟฟ้าจะนำไปสู่ความเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้าของตัวนำ จากสมการพื้นฐานความต้านทานของตัวนำที่ว่า

$$R = \rho l/A = \rho l/CD^2 \quad (2.1)$$

โดยที่  $\rho$  = สภาพต้านทานทางไฟฟ้าหรือค่าความต้านทานจำเพาะของตัวนำนั้น ๆ

$l$  = ความยาวของตัวนำ

$A$  = พื้นที่หน้าตัดของตัวนำซึ่งมีค่าเท่ากับ  $CD^2$  โดยค่า  $C$  ในที่นี้หมายถึงสัดส่วนหรือค่า

คงที่ เช่น ถ้าเป็นวงกลม  $C = \pi/4$  หรือถ้าเป็นสี่เหลี่ยม  $C = 1$  เป็นต้น ส่วน  $D$  นั้นหมายถึง

ถึงเส้นผ่านศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีแรงกระทำต่อโลหะตัวนำจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกลขึ้นกับโลหะตัวนำนั้น โดยจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานตามไปด้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานดังกล่าวสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการดิฟเฟอเรนเชียลของสมการที่ 1 ได้ว่า

$$\begin{aligned} dR &= \frac{CD^2(l dp + p dl) - 2Cp l D dD}{(CD^2)^2} \\ &= \frac{1}{CD^2} \left[ (l dp + p dl) - 2pl \frac{dD}{D} \right] \end{aligned} \quad \text{_____ (2.2)}$$

หารสมการที่ 2 ด้วยสมการที่ 1 จะได้ว่า

$$\frac{dR}{R} = \frac{dl}{l} - 2 \frac{dD}{D} + \frac{dp}{p}$$

หรืออาจเขียนใหม่ก็จะได้ว่า

$$\boxed{\frac{dR/R}{dl/l} = 1 - 2 \frac{dD/D}{dl/l} + \frac{dp/p}{dl/l}} \quad \text{_____ (2.3)}$$

เมื่อ  $dl/l$  = ความเครียดในแนวแกน ( $\epsilon_a$  = axial strain)  
 $dD/D$  = ความเครียดด้านข้าง ( $\epsilon_l$  = lateral strain)

หากถามว่าแล้วความเครียดในแนวแกนกับความเครียดด้านข้าง คืออะไรแล้วต่างกันอย่างไร คำตอบก็คือว่า ความเครียดในแนวแกนนั้นหมายถึงการเปลี่ยนแปลงค่าความยาว ( $dl/l$ ) ที่เกิดขึ้นในแนวแรงเท่านั้น ส่วนความเครียดด้านข้างก็หมายถึงการเปลี่ยนแปลงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง ( $dD/D$ ) ของตัวนำ และอัตราส่วนระหว่างความเครียดด้านข้างกับความเครียดในแนวแกนจะเรียกว่า Poisson's ratio ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการได้ดังต่อไปนี้

$$\boxed{\text{Poisson's ratio} = \nu = - \frac{dD/D}{dl/l}} \quad \text{_____ (2.4)}$$

หากเรานำเอาสมการที่ 4 เข้าไปแทนในสมการที่ 3 ก็จะได้ว่า

$$\boxed{\frac{dR/R}{dl/l} = 1 + 2\nu + \frac{dp/p}{dl/l}} \quad \text{_____ (2.5)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

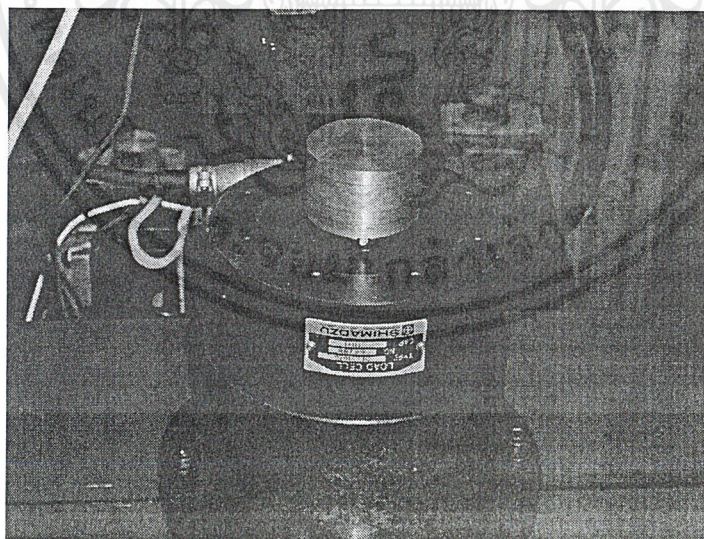
เกจแฟคเตอร์ (Gauge Factor ; GF) : ในการพิจารณาคุณสมบัติของสเตรนเกจตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญก็คือ เกจแฟคเตอร์ ซึ่งค่าของตัวแปรดังกล่าวนี้จะเป็นตัวที่บ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานในตัวสเตรนเกจ โดยส่วนมากค่าเกจแฟคเตอร์ จะถูกระบุมาให้จากโรงงานผู้ผลิตเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณา เกจแฟคเตอร์ สามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการได้ดังต่อไปนี้

$$GF = \frac{dR/R}{dL/l} \quad \text{_____} (2.6)$$

เมื่อค่าเกจแฟคเตอร์ คือ จำนวนของความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีความเครียด ดังนั้นมันก็มี ความหมายเหมือนกับสมการที่ 3 และสมการที่ 5 นั่นเอง กล่าวคือ

$$GF = \frac{dR/R}{dL/l} = 1 + 2\nu + \frac{dp/p}{dL/l} \quad \text{_____} (2.7)$$

จากสมการที่ 7 เราก็จะพบว่าค่าเกจแฟคเตอร์จะมากหรือน้อยนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าของ Poisson's ratio เป็นสำคัญ นอกจากนั้นค่าของเกจแฟคเตอร์ยังเป็นตัวบอกความไวของเกจอีกด้วย กล่าวคือ เกจที่มีค่าเกจแฟคเตอร์สูงก็จะหมายถึงว่าเกคนั้นจะมีความไวในการเปลี่ยนแปลงสูง



รูปที่ 2.16 โหลดเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

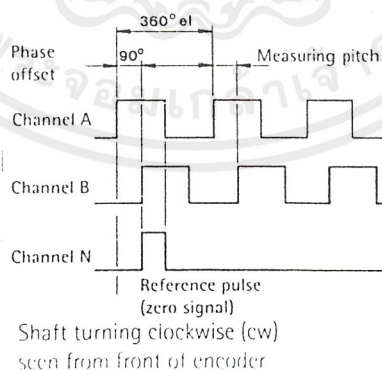
## 2.5 เอ็นโคเดอร์ (Encoder)

เอ็นโคเดอร์เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดระยะการเคลื่อนที่ของกระบอบอกสูบหรือวัฏระยะที่ขึ้นทดสอบยึดหรือหัด ในการทำงานของเอ็นโคเดอร์ เมื่อเอ็นโคเดอร์หมุน แผ่นแก้ววงกลมภายในเอ็นโคเดอร์จะหมุนตัดลำแสงของอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ โดยที่แผ่นแก้วมีขีดที่แบ่งว่าในแต่ละรอบที่เอ็นโคเดอร์หมุนจะส่งสัญญาณ (Single) ออกมาก็สัญญาณ สัญญาณที่ออกมาจากเอ็นโคเดอร์จะเป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Squarewave pulse)

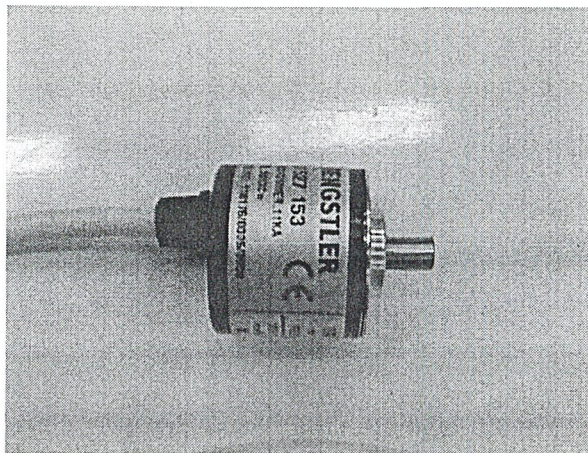
จากสัญญาณที่ส่งออกมาทำให้แบ่งประเภทเอ็นโคเดอร์ได้เป็น 3 ชนิดคือ

1. ชนิดสัญญาณเดี่ยว (Single - channel shaft encoders) เอ็นโคเดอร์ชนิดนี้จะส่งสัญญาณ (Output channel) ออกมาเพียงสัญญาณเดี่ยว ใช้กับงานที่ไม่ต้องการการตรวจสอบ
2. ชนิดสองสัญญาณ (Two - channel shaft encoders) เอ็นโคเดอร์ชนิดนี้จะส่งสัญญาณออกมา 2 สัญญาณ โดยสัญญาณที่ส่งออกมาจะห่างกัน 90 องศา เพื่อตรวจว่าเอ็นโคเดอร์หมุนไปทิศทางไหน
3. ชนิดสามสัญญาณ (Three - channel shaft encoders) เอ็นโคเดอร์ชนิดนี้นอกจากจะมีสัญญาณที่ส่งออกมาเหมือนกับประเภทสองสัญญาณแล้ว ก็ยังส่งสัญญาณออกมาอีกสัญญาณหนึ่ง คือ สัญญาณที่บอกว่าเอ็นโคเดอร์หมุนได้กี่รอบ

ในโครงการนี้เอ็นโคเดอร์ชนิดสามสัญญาณ โดยมีความละเอียด 500 สัญญาณ ต่อรอบ โดยสัญญาณที่ออกมาจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.17 สัญญาณ A จะนำสัญญาณ B อยู่ 90 องศา ซึ่งแสดงว่าเอ็นโคเดอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา แต่ถ้าเอ็นโคเดอร์หมุนย้อนกลับคือหมุนทวนเข็มนาฬิกา สัญญาณที่ออกมาจากเอ็นโคเดอร์จะมีลักษณะสัญญาณ B นำสัญญาณ A ซึ่งสัญญาณที่ส่งออกมานี้จะเป็นตัวบอกว่าลูกสูบเลื่อนขึ้นหรือลง



รูปที่ 2.17 ลักษณะของสัญญาณที่ออกมาจากเอ็นโคเดอร์



รูปที่ 2.18 เอ็นโค้ดเดอร์

## 2.6 บอร์ดแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D Converter)

เนื่องจากสัญญาณที่ออกจากโพลคเซลล์เป็นสัญญาณอะนาลอก (Analog) ซึ่งไม่สามารถนำมาประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ได้ ดังนั้นเราใช้บอร์ดแปลงสัญญาณอะนาลอกที่ออกจากโพลคเซลล์ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล(Digital)เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถนำสัญญาณจากโพลคเซลล์มาประมวลผลได้

ในโครงการนี้เราเลือกใช้บอร์ดสำเร็จรูป ET-AD12 เปลี่ยนสัญญาณจากอะนาลอกเป็นสัญญาณทางดิจิทัลขนาด 12 บิต โดยเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ PC ทางพอร์ตขนาน (Parallel port) ของเครื่องพิมพ์ (Printer port) โดยสัญญาณอะนาลอกที่ป้อนให้บอร์ดมีค่าอยู่ระหว่าง 0 VDC ถึง +5DVC ภายในบอร์ด ET-AD12 ใช้ไอซี LTC1298 เป็นตัวเปลี่ยนสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

คุณสมบัติของบอร์ด ET-AD12

Conversion time	:	60US
Sampling rate	:	11.1 KHZ
ADC/Channel	:	2 Channel
Gain error	:	+/- 2 LSB
Analog input range	:	-0.05 V to +5.05 V
+VCC Supply	:	+9 VDC

### การทำงานของไอซี LTC1298

ไอซี LTC1298 เป็นไอซีทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล ขนาด 12 บิต จำนวน 2 ช่องสัญญาณ(Channel) โดยเป็น ไอซีที่จัดอยู่ในตัวถังแบบ DIP ขนาด 8 ขา ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

PIN1 (CS#/SHDN) : เป็นขาสัญญาณอินพุต ใช้ควบคุมการทำงานของไอซี ทำงานที่โลจิกศูนย์ เมื่อขา นี้ได้รับโลจิกศูนย์จะเป็นการเลือกการทำงานให้กับไอซี (Enable) เมื่อขานี้เป็นโลจิกหนึ่งจะทำให้ไอซีหยุดการทำงานและอยู่ในโหมดปิด (Shut down)

PIN2 (CH0) : เป็นขาสัญญาณอะนาลอกอินพุทของช่องสัญญาณ0 (Channel0)

PIN3 (CH1) : เป็นขาสัญญาณอะนาลอกอินพุทของช่องสัญญาณ1 (Channel1)

PIN4 (GND) : เป็นขาสัญญาณอ้างอิง (Ground) ของไอซี ซึ่งควรต่อโดยตรงกับแผ่นอ้างอิง (Ground plane) เพื่อลดสัญญาณรบกวน

PIN5 (DIN) : เป็นขาสัญญาณข้อมูลอินพุทแบบอนุกรม ของสัญญาณดิจิทัล เพื่อใช้กำหนดช่องสัญญาณและจัดรูปแบบ (Format) ของข้อมูลที่ต้องการอ่านค่ากลับออกมาทางขาสัญญาณ DOUT

PIN6 (DOUT) : เป็นขาสัญญาณข้อมูลเอาต์พุทแบบอนุกรม ซึ่งค่าของข้อมูลที่อ่านได้จากขาขึ้นคือผลลัพธ์จากการเปลี่ยนสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลของไอซี LTC1298

PIN7 (CLK) : เป็นสัญญาณนาฬิกาอินพุทใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงสำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับไอซี LTC1298 โดยจะทำการอ่านและเขียนข้อมูลกับไอซี LTC1298 ในช่วงของขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกาเสมอ

PIN8 (VCC/VREF) : เป็นขาแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับไอซี LTC1298 ซึ่งขาขึ้นจะใช้เป็นขาสัญญาณอ้างอิงของไอซีในการเปลี่ยนค่าจากสัญญาณอะนาลอกให้เป็นสัญญาณทางดิจิทัลด้วย ดังนั้นที่ขาขึ้นจึงควรทำการป้องกันและกำจัดสัญญาณรบกวนให้กับไอซีด้วย เพราะถ้าหากว่าที่ขาขึ้นเกิดสัญญาณรบกวนมากหรือแรงดันไฟเลี้ยงไม่คงที่ จะส่งผลทำให้ค่าของข้อมูลเอาต์พุทที่ได้เปลี่ยนไปด้วย

จะเห็นว่าในการจัดวงจรเพื่อเชื่อมต่อกับไอซี LTC1298 ต้องใช้สัญญาณทั้งหมด 4 เส้น ซึ่งเป็นสัญญาณเอาต์พุทจากอุปกรณ์ภายนอกส่งไปให้ไอซี LTC1298 เพื่อควบคุมและสั่งงาน 3 สัญญาณ และเป็นสัญญาณเอาต์พุทส่งออกจากไอซี LTC1298 เพื่อใช้สำหรับอ่านค่าจากไอซี LTC1298 อีก 1 สัญญาณ

#### การเขียนข้อมูลให้กับไอซี LTC1298

ไอซี LTC1298 ต้องการสัญญาณข้อมูลอินพุทจำนวน 4 บิตเพื่อกำหนดการทำงาน โดยก่อนที่จะเขียนข้อมูลให้กับไอซี LTC1298 นี้ต้องกำหนดให้สัญญาณ CS ทำงาน คือ เป็นลอจิกศูนย์ก่อน แล้วจึงเขียนข้อมูลให้กับไอซี LTC1298 ในช่วงขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา โดยข้อมูลที่จะเขียนให้กับไอซี LTC1298 มีดังนี้คือ

START	SGL/DIFF	ODD/SIGN	MSBF
-------	----------	----------	------

#### ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลที่เขียนให้กับไอซี LTC1298

START BITS เป็นข้อมูลกำหนดการเริ่มต้น โดยต้องส่งเป็นบิตแรกหลังจากสัญญาณ CS เป็นลอจิกศูนย์แล้ว ซึ่งค่าของสัญญาณ START BITS นี้ต้องมีค่าเป็นลอจิกหนึ่งเสมอ

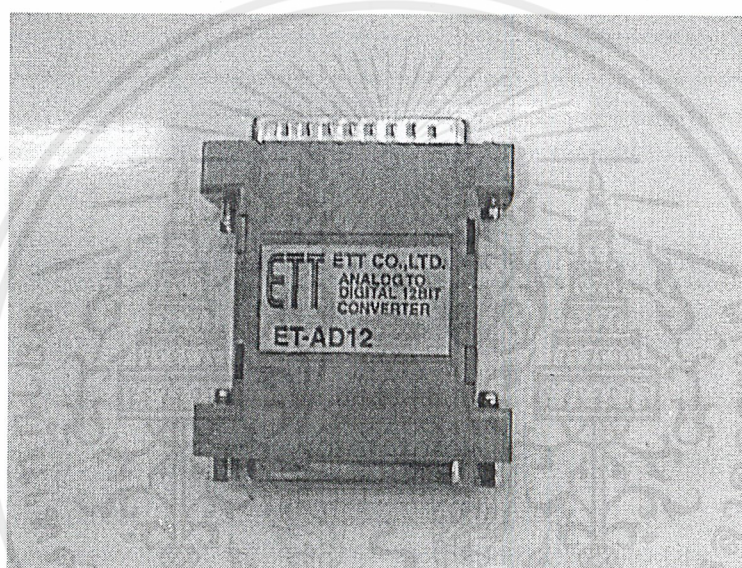
SGL/DIFF และ ODD/SIGN เป็นข้อมูลใช้สำหรับกำหนดและเลือกช่องสัญญาณของสัญญาณที่ต้องการแปลง (Convert) และกำหนดรูปแบบของสัญญาณอะนาลอกอินพุทดังตารางที่

MSBF เป็นการกำหนดลำดับข้อมูลเอาต์พุทที่จะอ่านจากไอซี LTC1298

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SGL/DIFF	ODD/SIGN	CH0	CH1	GND
1	0	+		-
1	1		+	-
0	0	+	-	
0	1	-	+	

ตารางที่ 2.3 แสดงรูปแบบของสัญญาณอะนาลอกอินพุท



รูปที่ 2.19 A/D Converter

## 2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์อาจเป็นคำที่ไม่คุ้นเคยมากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับคำว่าไมโครโปรเซสเซอร์(Microprocessor) ซึ่งมีการใช้งานแพร่หลายมากกว่า โดยมักจะเรียกว่าเป็นตัวประมวลผลกลาง หรือ ซีพียู(CPU)ของระบบ เมื่อมีการนำไปใช้งานจำเป็นจะต้องมีการประกอบไอซีภายนอกเพิ่มเติมเข้าไปเพื่อให้ระบบสมบูรณ์ เช่น หน่วยความจำ พอร์ตควบคุม เป็นต้น ดังแผนภาพในรูปที่ 2.21 โดยองค์ประกอบของไมโครโปรเซสเซอร์จะเป็นบล็อกทั้งหมดที่อยู่ภายในเส้นประ บล็อกของการทำงานอื่นๆ เป็นไอซีภายนอกที่จะต้องเพิ่มเติมเข้าไปให้ครบตามหน้าที่ที่ต้องการ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ก็มีหลักการพื้นฐานเช่นเดียวกัน เพียงแต่องค์ประกอบการทำงานเหล่านั้นหลายส่วนได้รับการออกแบบให้บรรจุอยู่ในไอซีตัวเดียวเท่านั้น ดังนั้นการนำไปใช้งานก็ค่อนข้างที่จะสะดวกเพียงต่อคริสตอลเพื่อเป็นฐานเวลาและแหล่งจ่ายไฟให้เท่านั้น ก็จะเป็นระบบคอมพิวเตอร์เพียงงานที่ควบคุมที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

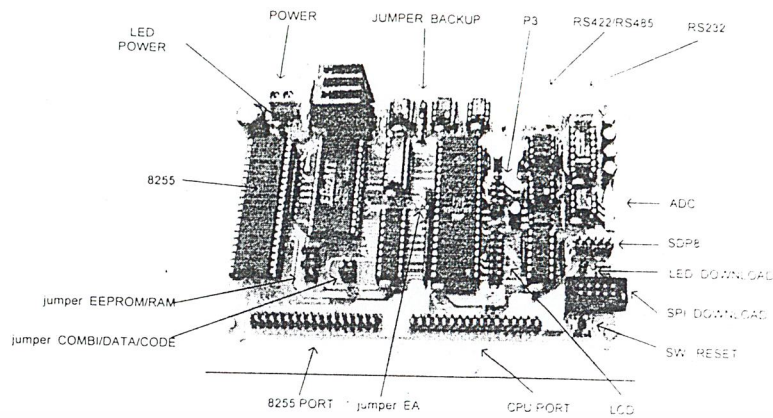
ลักษณะงานที่เหมาะสมกับการไมโครคอนโทรลเลอร์ไปใช้งาน มักจะเป็นงานประยุกต์ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุม หรือจัดการสัญญาณอินพุต/เอาต์พุตของวงจรอิเล็กทรอนิกส์และวงจรดิจิทัลต่างๆ เช่น ระบบแสดงผล หรือระบบเตือนภัย ระบบควบคุมภายในเครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งงานควบคุมเหล่านี้มักจะไม่มีภารกิจคำนวณที่ซับซ้อนมากนัก และต้องการพื้นที่ของแผงวงจรที่จำกัด

จากการเลือกใช้อินเตอร์ควบคุมในตระกูล MCS-51 เราได้เลือกใช้ CP-S8252 V2.0 ซึ่งจากคุณสมบัติเด่นที่ทำให้ ซีพียู ทำงานแบบซิงเกิลชิพ (SINGLE CHIP) โดยสามารถพัฒนาและโหลดข้อมูลลงในหน่วยความจำได้ภายในตัวทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย สามารถทำงานจากหน่วยความจำภายนอก ในกรณีที่หน่วยความจำภายในไม่พอ แต่ไม่ต้องการเปลี่ยนบอร์ดควบคุมใหม่ สามารถเชื่อมต่อกับแรม (RAM) สำหรับเก็บข้อมูลเป็นจำนวนมาก ขยายพอร์ต 8255 เมื่อพอร์ตของซีพียู ไม่เพียงพอที่จะใช้ควบคุมภายนอก สํารองข้อมูลในแรม เมื่อไฟดับ

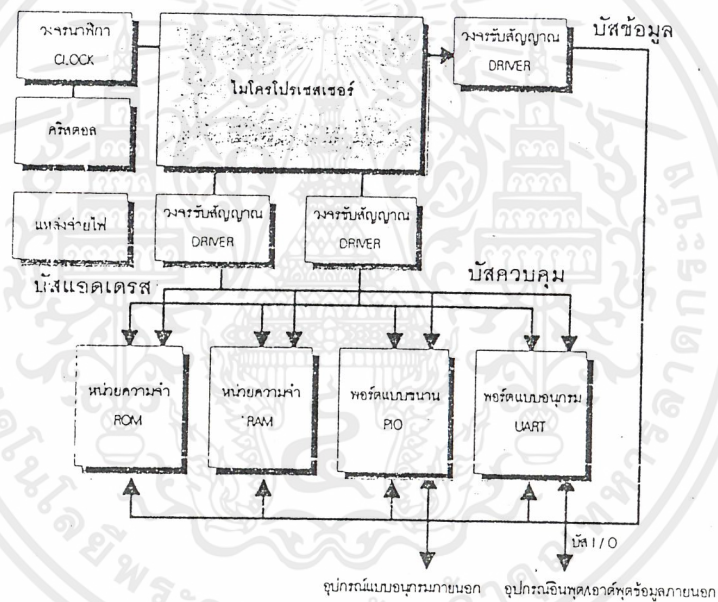
คุณสมบัติของ CP-S8252 V2.0

- MCS-51 #AT89S8252 or #AT89S53 Microcontroller
- On-Board Down Load
- 4 Bit LCD Character port
- 12 Bit 2 Channel Analog to Digital #LTC1298 (Option)
- RTC # DS1307 (Option)
- Serial EPROM #24xx (Option)
- Back Up Ram #DS1210(Option)
- RS232 Communication
- RS422/RS485 Communication (Option)
- 72IOZ80 #8255 port
- 72IOZ80 #AT89S8252 port
- P3 #AT89S8252 port
- RAM #62256 (32KByte) or EPROM #27256 (32KByte)
- ET-SDP8 port
- Speed Xtal 18.342 MHz
- On-Board 5V Power Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 แสดงอุปกรณ์ภายในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.21 หน่วยการทำงานทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์

2.8 ทฤษฎีคุณสมบัติทางกลของวัสดุ

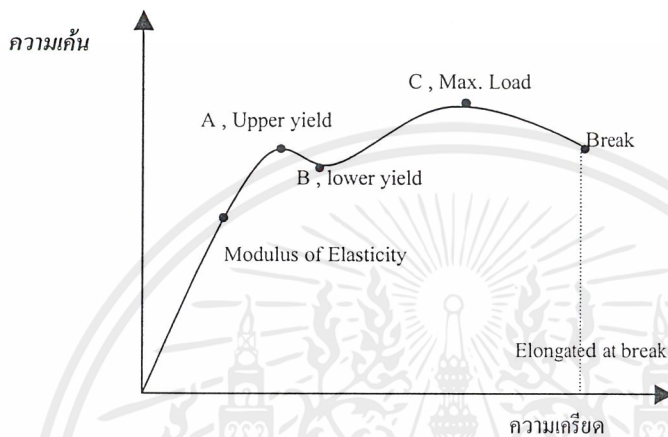
ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลจะต้องกำหนดหาขนาดของชิ้นส่วนต่าง โดยคำนึงถึงคุณสมบัติทางกลของวัสดุเป็นสำคัญ ซึ่งจะพบว่ามีชื่อเรียกต่างๆอยู่มาก ดังนั้นเราจะได้นิยามความหมายต่างๆไว้พอสังเขปดังนี้

ความต้านทานแรงดึงอัลติเมต (Ultimate tensile strength) , $\sigma_u$  เป็นความเค้นสูงที่สุดที่วัสดุจะรับได้ ซึ่งคำนวณได้จากการนำแรงที่ใช้ดึงวัสดุหารด้วยพื้นที่หน้าตัดเดิม และแทนด้วยจุด C ในรูปที่

2.21 ในบางครั้งอาจเรียกให้สั้นลงได้ว่า ความต้านแรงดึง ( tensile strength ) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

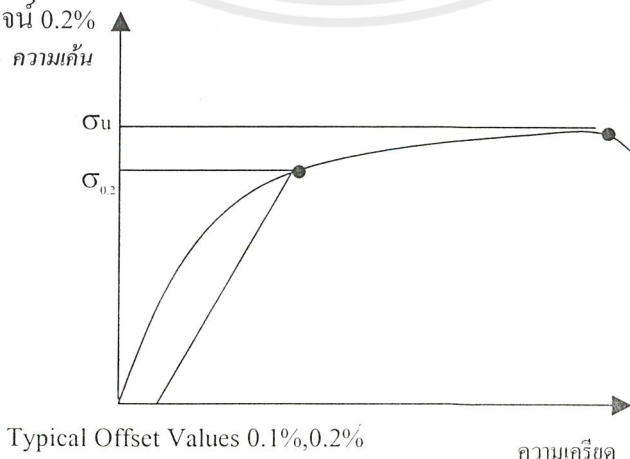
ขีดจำกัดความเป็นสัดส่วน ( Proportional limit) เป็นค่าความเค้นสุดท้ายที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด เมื่อพ้นจุดนี้ไปแล้วกราฟจะเป็นเส้นโค้ง ในทางปฏิบัติจะหาจุดนี้ยากมาก ฉะนั้นในการการออกแบบวัสดุจึงนิยมใช้ความต้านทานแรงดึงคราก( yield strength ) แทน

ขีดจำกัดความยืดหยุ่น ( Elastic limit) อยู่ระหว่างจุด A และ B ในรูปที่ 2.21 เป็นจุดสุดท้ายเมื่อเอาแรงภายนอกออกแล้วชิ้นตัวอย่างทดสอบจะกลับมามีขนาดเท่าเดิม กราฟในช่วง AB นี้จะมีความโค้งและน้อย



รูปที่ 2.22 แผนภาพแสดงความเค้น-ความเครียดของวัสดุเหนียว

ความเค้นแรงดึงคราก ( Yield strength) ,  $\sigma_y$  เป็นจุดที่ชิ้นทดสอบยืดออกได้มากโดยที่เพิ่มแรงอีกเล็กน้อยเท่านั้น (หรือไม่ได้เพิ่ม) ซึ่งแทนด้วยจุด B หรือเรียกว่าจุดคราก ความเค้นที่จุดนี้ถือเป็นหลักในการออกแบบทั่วไป สำหรับวัสดุที่ไม่มีจุดคราก เช่น เหล็กหล่อ ก็อาจใช้ความต้านแรงดึงเป็นหลักการในการออกแบบหรืออาจจะหาความเค้นที่เรียกว่า ความเค้นที่จุดยึดถาวร (Proof stress) มาใช้แทนความต้านแรงดึงคราก โดยการลากเส้นขนานกับส่วนที่เป็นเส้นตรงของกราฟตามเปอร์เซ็นต์ ของความเครียดที่ต้องการดังรูปที่ 2.22 โดยทั่วไปแล้วมักจะใช้ 0.2% และเพื่อแสดงความแตกต่างระหว่างความเค้นที่จุดยึดถาวรกับความต้านแรงดึงคราก จึงใช้สัญลักษณ์แทนความเค้นที่จุดยึดถาวร 0.2% ว่า  $\sigma_{0.2}$  หรืออาจเรียกสั้นๆ ว่า ความเค้นพิสูจน์ 0.2%



รูปที่ 2.23 แผนภาพแสดงความเค้น-ความเครียดของวัสดุเปราะ

ยังโมดูลัส (Young's modulus) หรือโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) เป็นอัตราส่วนระหว่างความเค้นกับความเครียดในส่วนของกราฟที่เป็นเส้นตรง

$$E = \sigma/\epsilon \quad \text{_____} \quad (2.8)$$

โมดูลัสเฉือน ( Shear modulus) หรือโมดูลัสความแข็งเกร็ง (Modulus of rigidity) ในการทดสอบชิ้นส่วนโดยใช้แรงเฉือนแล้วเขียนกราฟระหว่างความเค้นเฉือน (Shear stress) กับความเครียดเฉือน (Shear strain) ก็จะได้กราฟลักษณะเดียวกับการทดสอบแรงดึง อัตราส่วนระหว่างความเค้นเฉือนกับความเครียดเฉือนในส่วนของกราฟที่เป็นเส้นตรง เรียกว่า โมดูลัสเฉือน

ความเค้น : Stress ( $\sigma$ ) คือค่าสัดส่วนระหว่างแรงภายนอก (F) ที่มากระทำต่อพื้นที่ (A) ของชิ้นวัสดุ

$$\sigma = F/A \quad \text{_____} \quad (2.9)$$

หน่วยของความเค้น : นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ( $N/mm^2$ ) หรือ (MPa)

เมื่อ  $\sigma$  = ความเค้น

F = แรงกดที่กระทำต่อวัสดุ

A = พื้นที่หน้าตัดของวัสดุที่ทดสอบ

ความเครียด : Strain ( $\epsilon$ ) คือค่าสัดส่วนของมิติใดมิติหนึ่ง โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าของมิตินั้นที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีแรงมากระทำกับ ค่าของมิตินั้นเริ่มต้นก่อนที่มีแรงมากระทำ

$$\epsilon = \delta/L \quad \text{_____} \quad (2.10)$$

เมื่อ  $\epsilon$  = ความเครียด

$\delta$  = ระยะที่เปลี่ยนแปลง

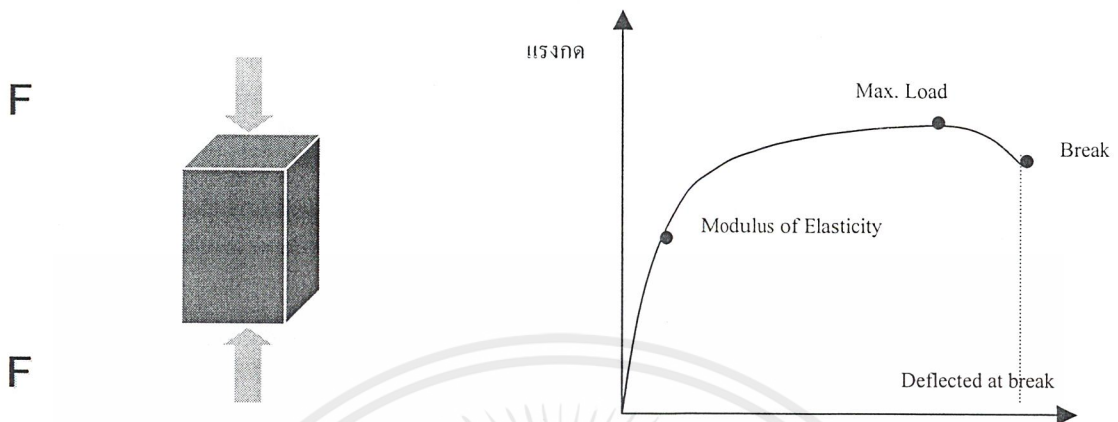
L = ความยาวเดิม

#### ชนิดของการทดสอบ

- การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)
- การทดสอบแรงกด (Compressive Test)
- การทดสอบแรงดัดโค้ง (Bending Test)
- การทดสอบแรงเฉือน (Shearing Test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การทดสอบแรงกด



รูปที่ 2.24 แสดงการทดสอบแรงกด

รูปที่ 2.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะหดตัวของการทดสอบแบบกด

### ความสำคัญและประโยชน์ที่ได้จากการตรวจสอบวัสดุ

1. เพื่อพิสูจน์ความคิดในการออกแบบ
2. เพื่อเป็นหลักประกันของความเชื่อถือ
3. เพื่อความปลอดภัย
4. เพื่อป้องกันการฟ้องร้อง
5. เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานและข้อมูลจำเพาะ
6. เพื่อตรวจสอบในกระบวนการผลิต
7. เพื่อประเมินผลิตภัณฑ์ของกลุ่มแข่ง
8. เพื่อเก็บเป็นข้อมูลสำหรับวัสดุใหม่

### 2.9 โปรแกรมภาษาเดลไฟ (Delphi)

เดลไฟเป็นชุดเครื่องมือสำหรับสร้างแอปพลิเคชันที่รันบนวินโดวส์ (Windows) ซึ่งจะมีเครื่องมือต่างๆ ให้ใช้งานมากมายที่ใช้ในการออกแบบ, สร้าง, ทดสอบ และแจกจ่ายแอปพลิเคชันที่สร้างนั้น

ส่วนประกอบเดลไฟ แบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

ส่วนที่จะเห็นทันทีเมื่อเปิดเดลไฟ ซึ่งประกอบด้วย

- วินโดวส์หลัก (Main Windows)
- ออบเจกต์อินสเปกเตอร์ (Object Inspector)
- ฟอร์ม (Form)
- โค้ดเอดิเตอร์ (Code Editor)

ส่วนที่ซ่อนไว้จนกว่าเราจะต้องการใช้มัน (โดยเรียกใช้งานจากคำสั่งในเมนู) ซึ่งประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โปรเจกต์แมนเนเจอร์ (Project Manager)
- เมนูดิไซน์เนอร์ (Menu Designer)
- อินทิเกรทดีบักเกอร์ (Integrated Debugger)
- ออบเจกต์บราวเซอร์ (Object Browser)

ในการสร้างเครื่องทดสอบนี้ เราได้นำโปรแกรม เดลไฟมาใช้ในการติดต่อใช้งานกับผู้ใช้เครื่องทดสอบ ใช้ในการคำนวณผลที่ได้พร้อมทั้งแสดงผลที่ได้ให้ผู้ทดสอบรับทราบ เพื่อนำไปวิเคราะห์การทดสอบได้ เนื่องจากจุดเด่นของภาษาเดลไฟคือ มีรูปแบบที่ผู้ใช้สามารถเข้าสู่โปรแกรมการทำงานและใช้ได้ง่าย

## 2.10 โปรแกรมภาษาแอสเซมบลี (Assembly language)

ภาษาแอสเซมบลี เป็นการใช้กลุ่มคำหรือสัญลักษณ์ในการแทนความหมายของรหัสตัวเลข ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะสามารถเข้าใจได้ ซึ่งภาษานี้เป็นภาษาที่อยู่ระหว่างภาษาเครื่องกับภาษาระดับสูง โดยภาษาระดับสูงจะใช้ชุดคำสั่งที่ใกล้เคียงกับภาษาที่มนุษย์เข้าใจได้ง่าย ส่วนภาษาเครื่องจะเป็นภาษาที่ใช้เลขฐานสองซึ่งคอมพิวเตอร์จะเข้าใจ

โปรแกรมภาษาแอสเซมบลี ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

2.10.1 แมชชีน อินสตรัคชั่น (Machine Instruction) คือชุดคำสั่งภาษาเครื่อง โดยแทนด้วยรหัส นิโมนิก(Mnemonics) เช่น MOV, ANL เป็นต้น

2.10.2 แอสเซมเบลอร์ ไดรექทีฟ (Assembler Directive) หรือคำสั่งเทียมเป็นคำสั่งที่กำหนดขึ้นในภาษาแอสเซมบลีโดยจะไม่ถูกเปลี่ยนแปลงเป็นรหัสภาษาเครื่อง มีไว้สำหรับกำหนดโครงสร้างโปรแกรม,สัญลักษณ์,ข้อมูลต่างๆ เช่น ORG,EQU เป็นต้น

2.10.3 แอสเซมเบลอร์ คอนโทรล(Assembler controls) เป็นชุดคำสั่งในการควบคุมตัวแอสเซมเบลอร์

2.10.4 คอมเมนต์ (Comments) เป็นการเขียนอธิบายเข้าไปในโปรแกรม

ในการสร้างเครื่องทดสอบนั้นเราได้นำ โปรแกรมภาษาแอสเซมบลีมาใช้ในการควบคุมขั้นต้นในการเปิดปิดของวาล์ว โดยจะให้การกดตัวอักษร A ที่คีย์บอร์ด เป็นการสั่งให้กระบอกสูบเคลื่อนที่ขึ้น ถ้ากดตัวอักษร B จะเป็นการสั่งให้กระบอกสูบเคลื่อนที่ลง และกดตัวอักษร C เป็นการสั่งให้กระบอกสูบหยุดการทำงาน และใช้ในการรับสัญญาณจากโรตารี เอ็นโค้ดเดอร์ (Rotary Encoder) แล้วส่งให้คอมพิวเตอร์เข้าใจเพื่อนำค่าไปประมวลผล อีกทั้งยังเขียนโปรแกรมให้รับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ จากสวิทช์ฉุกเฉินเพื่อให้ทุกอย่างหยุดการทำงานด้วย

## บทที่ 3

### การคำนวณและออกแบบ

#### 3.1 การทดสอบโพลดเซลล์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับแรงดันทางไฟฟ้า

จาก Method of Least Square จะได้สมการดังนี้

$$\begin{bmatrix} m & \sum_{i=1}^m x_i \\ \sum_{i=1}^m x_i & \sum_{i=1}^m x_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^m y_i \\ \sum_{i=1}^m x_i y_i \end{bmatrix}$$

จากการทดสอบโพลดเซลล์โดยนำโพลดเซลล์ไปกดด้วยเครื่องทดสอบวัสดุที่ได้มาตรฐาน แล้ววัดเอาต์พุตที่แอมพลิฟายเออร์จ่ายออกมาเป็นแรงดันทางไฟฟ้า ได้ค่าดังนี้

กำหนดให้  $x_i = \text{Voltage}$

$y_i = F$

จำนวนครั้งที่ทำการทดสอบ(m) = 11

ครั้งที่	F	Voltage	$x_i^2$	$x_i y_i$
1	0.011	0.02	0.0004	0.00022
2	4.274	0.05	0.0025	0.2137
3	10.59	0.14	0.0196	1.4826
4	16.29	0.23	0.0529	3.7467
5	20.95	0.3	0.09	6.285
6	27.27	0.31	0.0961	8.4537
7	31.02	0.45	0.2025	13.959
8	35.18	0.51	0.2601	17.9418
9	41.77	0.61	0.3721	25.4797
10	46.46	0.68	0.4624	31.5928
11	51.16	0.78	0.6084	39.9048
total	284.975	4.08	2.167	149.06

ตารางที่ 3-1 ตาราง แสดงโวลต์ที่จ่ายออกมาจากแอมพลิฟายเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าใน Method of Least Square ได้ค่าดังนี้

$$\begin{bmatrix} 11 & 4.08 \\ 4.08 & 2.167 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 284.975 \\ 149.06 \end{bmatrix}$$

แก้สมการได้ค่า  $a = 1.30393$ ,  $b = 66.33132$

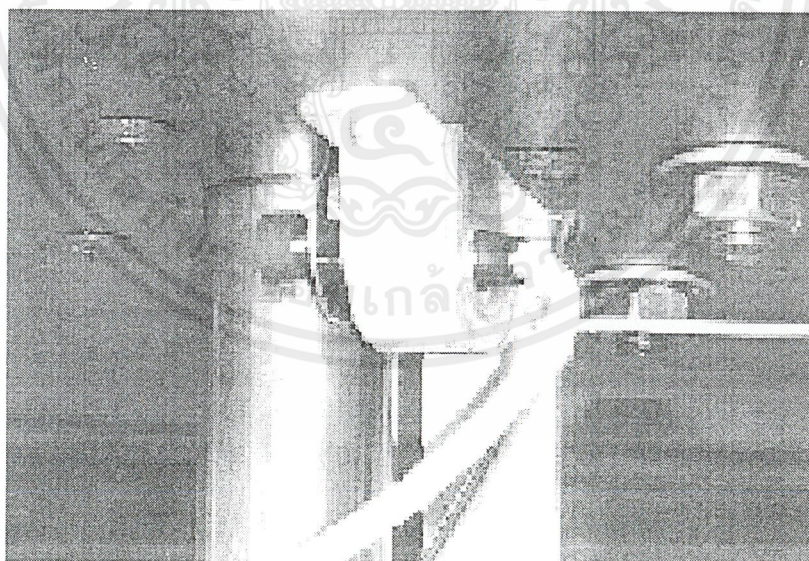
แทนค่า  $a$  และ  $b$  ในสมการเส้นตรง ( $y = a+bx$ ) จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับแรงดันทางไฟฟ้า ดังนี้

$$F = 1.30393 + 66.33132(\text{Voltage})$$

### 3.2 หลักการคำนวณหาระยะทางที่ก้านสูบเคลื่อนที่ต่อจำนวนพัลส์ของเอ็นโค้ดเดอร์ที่หมุน

ที่ก้านหมุนของเอ็นโค้ดเดอร์มีการติดตั้งล้อยางเพื่อให้การสัมผัสระหว่างก้านสูบที่เคลื่อนที่กับก้านหมุนของเอ็นโค้ดเดอร์มีความฝืดมากขึ้น ล้อยางที่นำมาติดตั้งนี้มีรัศมี 6.8 มิลลิเมตร เอ็นโค้ดเดอร์ที่นำมาติดตั้งนี้เป็นแบบ 500 พัลส์ คือ เมื่อเอ็นโค้ดเดอร์หมุนครบ 1 รอบ จะมีจำนวนพัลส์ออกมา 500 พัลส์ และระยะทางที่ก้านสูบเคลื่อนที่ได้เมื่อเอ็นโค้ดเดอร์หมุนครบ 1 รอบ คือ  $2\pi r$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ระยะทางที่ก้านสูบเคลื่อนที่ต่อพัลส์} &= 2\pi r / 500 \\ &= (2 \times 3.14 \times 6.8) / 500 \\ &= 85 \text{ ไมโครเมตร} \end{aligned}$$

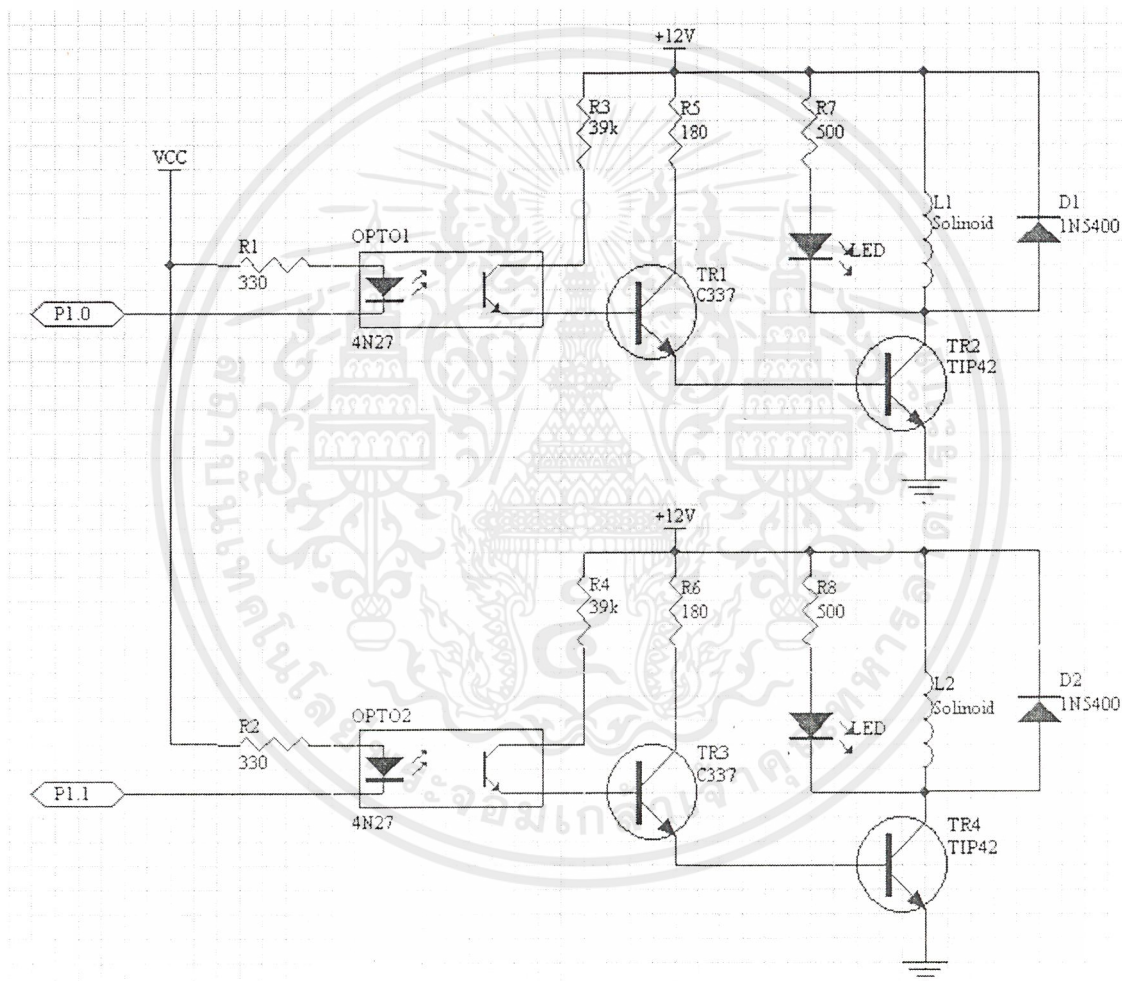


รูปที่ 3.1 ล้อยางที่ติดตั้งกับก้านเอ็นโค้ดเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

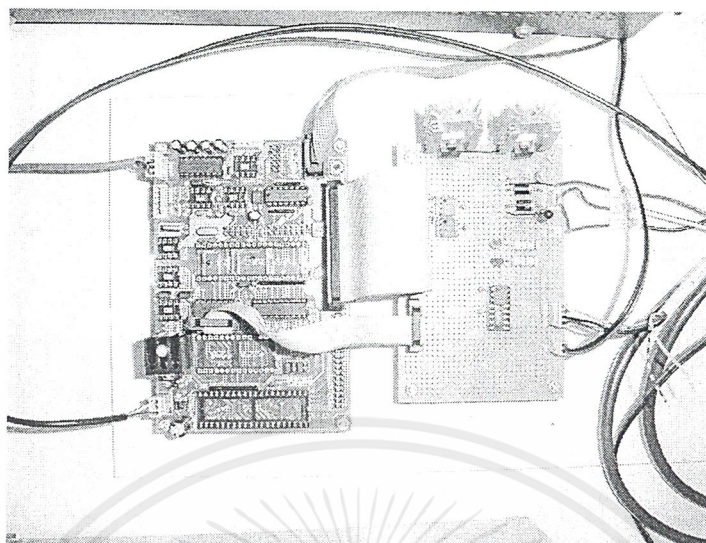
### 3.3 วงจรไครฟ์สำหรับควบคุมโซลินอยด์วาล์ว

เนื่องจากการที่จะสั่งการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีการจ่ายและใช้ไฟแรงดัน 5 โวลต์ แต่โซลินอยด์วาล์วต้องใช้แรงดันไฟฟ้าในการทำงาน 12 โวลต์ และกินกระแสมากกว่า ดังนั้นเราจึงออกแบบให้การทำงานระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรถูกสื่อสารถึงกันได้ แต่ไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่ได้รับความเสียหายเนื่องจากแรงดันไฟฟ้า โดยเราจะใช้ออปโต (OPTO) ในการคั่นกลางระหว่างแรงดันไฟฟ้าคำสั่ง 5 โวลต์กับแรงดันไฟฟ้าใช้งานสำหรับโซลินอยด์วาล์ว 12 โวลต์ จะใช้หลักการเมื่อมีกระแสไฟด้านแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ไหลผ่านจะทำให้เกิดแสงขึ้นส่งผลให้กระแสไฟด้านแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ ไหลด้วย ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรไครฟ์สำหรับควบคุมโซลินอยด์วาล์ว

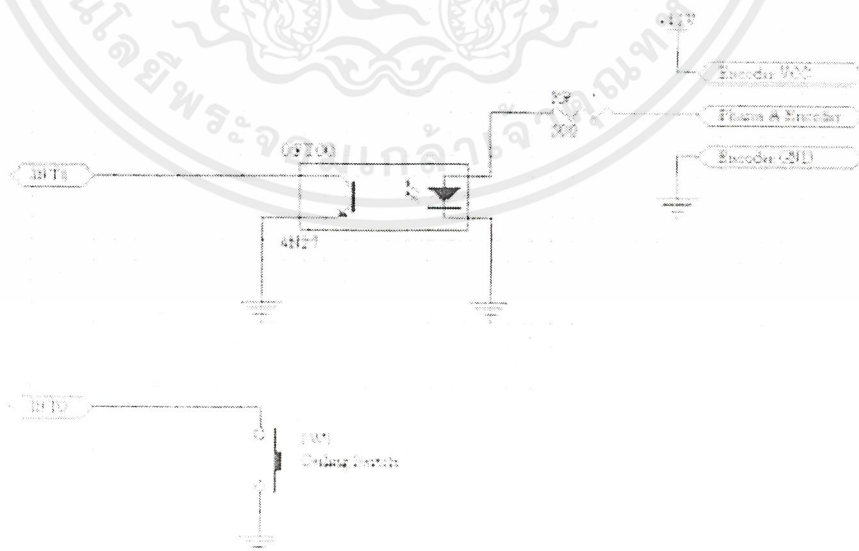
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 วงจรไครฟ์สำหรับควบคุมโซลินอยด์วาล์ว (ขวามือ)

#### 3.4 วงจรการรับสัญญาณจากเอ็นโค้ดเดอร์และสวิตช์ฉุกเฉิน

วงจรที่จะรับสัญญาณจากเอ็นโค้ดเดอร์จะใช้หลักการเช่นเดียวกับวงจรไครฟ์คือจะใช้ อีพโทไดโอด การค้นการส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่แตกต่างกัน แต่จะกลับให้ด้านที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่า (ด้านเอ็นโค้ดเดอร์) เป็นตัวส่งการให้ด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า(ด้านไมโครคอนโทรลเลอร์) ส่วนสวิตช์ฉุกเฉินเราสามารถต่อเข้าอินเทอร์รัปต์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เลย ดังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรวงจรการรับสัญญาณจากเอ็นโค้ดเดอร์และสวิตช์ฉุกเฉิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 โครงสร้างของตัวเครื่อง

จากการออกแบบ กำหนดให้ฐานบนและฐานล่างของตัวเครื่องมีขนาด(กว้าง x ยาว) = 300 x 500 mm. มีเสาทั้งหมด 4 ต้น รับแรงได้สูงสุด 15 ต้นหรือเท่ากับ 147.15 kN

วัสดุที่เลือกใช้มีคุณสมบัติ คือ เหล็กหล่อ(ASTM A47) มีจุดคราก(yield strength)เท่ากับ 32.5 ksi หรือมีค่าเท่ากับ 224.0875 N/mm<sup>2</sup>

เลือกใช้ค่าเซฟตีเฟคเตอร์(safety factor , N) = 2

ดังนั้น ความเค้นที่ใช้ออกแบบ ( $\sigma_d$ )คือ 224.0875/2 = 112.044 N/mm<sup>2</sup>

สิ่งที่ต้องคำนวณหา คือ ขนาดของเสาและความหนาของฐานบนกับฐานล่าง

3.4.1 ขนาดของเสา แรงที่กระทำกับเสาแต่ละต้นมีค่า 147.15/4 = 36.7875 kN

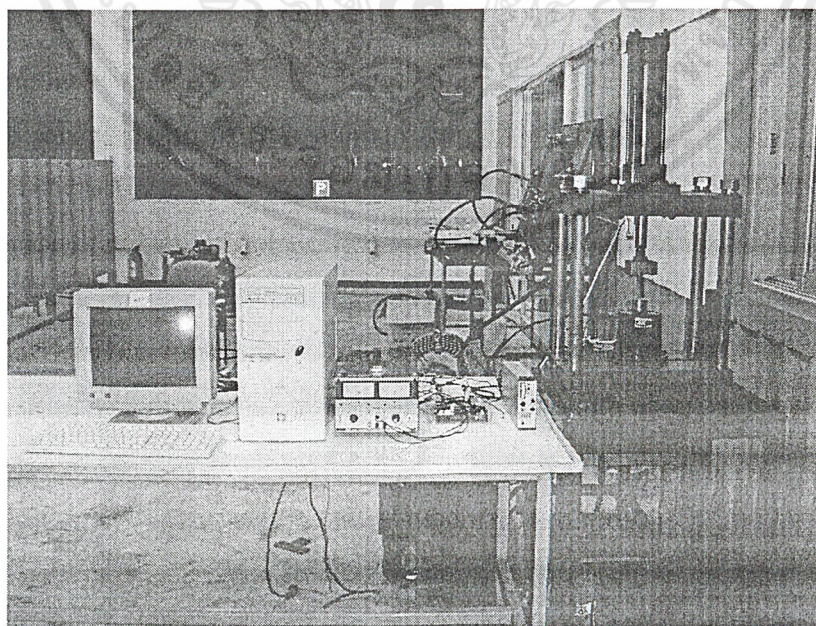
$$\begin{aligned}\sigma_d &= F/A \\ 112.044 &= 36787.5/A \\ A &= 328.33 \text{ mm}^2 \\ A &= \pi D^2/4 = 328.33 \text{ mm}^2 \\ D &= 20.5 \text{ mm.}\end{aligned}$$

เลือกใช้เสาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 25 mm.

3.4.2 ความหนาของฐานบนกับฐานล่าง การออกแบบจะมองฐานบนให้เป็นคาน

$$\begin{aligned}\sigma_d &= Mc/I, c = h/2, I = bh^3/12 \\ 112.044 &= (147.15 \times 10^3 \times 250)(h/2) / (300 \times h^3/12) \\ h &= 81.03 \text{ mm.}\end{aligned}$$

เลือกใช้เหล็กที่มีความหนา 85 mm.



รูปที่ 3.4 ชุดเครื่องทดสอบวัสดุระบบไฮดรอลิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ระบบการทำงาน หลักการคำนวณและโปรแกรมการคำนวณ

#### 4.1 ระบบการทำงานของเครื่องทดสอบวัสดุระบบไฮดรอลิกส์

การทำงานของเครื่องทดสอบวัสดุ จะเริ่มจากวัดพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ(A) จากนั้นนำชิ้นทดสอบมาวางที่ตำแหน่งทดสอบแล้วจึงทำการเปิดเครื่องให้กระบอกสูบออกแรงกดอัด ระยะเวลาการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบจะถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะส่งสัญญาณไปไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านวงจรไครฟ์ไปควบคุมพรีอพอร์ชันนัลคอนโทรลวาล์ว ซึ่งๆในที่นี้เราได้ใช้โซลินอยด์วาล์วแทนและใช้วาล์วปรับอัตราการไหลด้วยมือแทน หลังจากนั้นวัดแรงที่กระทำต่อวัสดุ (F) และระยะเคลื่อนที่ของกระบอกสูบ (D) โดยที่ค่าแรง จะได้จากกรณีที่โหลดเซลล์ รับแรงแล้วส่งแรงดันไฟฟ้าออกมา แต่เนื่องด้วยแรงดันไฟฟ้าค่าน้อยมากจึงต้องทำการขยายด้วยแอมพลิไฟเออร์เสียก่อน จากนั้นจึงส่งสัญญาณผ่านตัวแปลงสัญญาณเพื่อแปลงสัญญาณจาก อะนาลอก เป็นสัญญาณดิจิตอลต่อเข้าสู่คอมพิวเตอร์ ส่วนค่าระยะหดตัว นั้นจะได้จากการที่ โรตารีเอ็นโค้ดเดอร์ หมุนแล้วให้ค่าออกมาเป็นพัลลัสที่ได้จากนั้นใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำการแปลงสัญญาณที่ได้แล้วจึงต่อเข้าสู่คอมพิวเตอร์ จากนั้นคอมพิวเตอร์ จะทำการประมวลผลโดยโปรแกรม ที่เขียนขึ้นจะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงกดและระยะหดตัวจากนั้นจึงหาค่าความเค้นของวัสดุได้

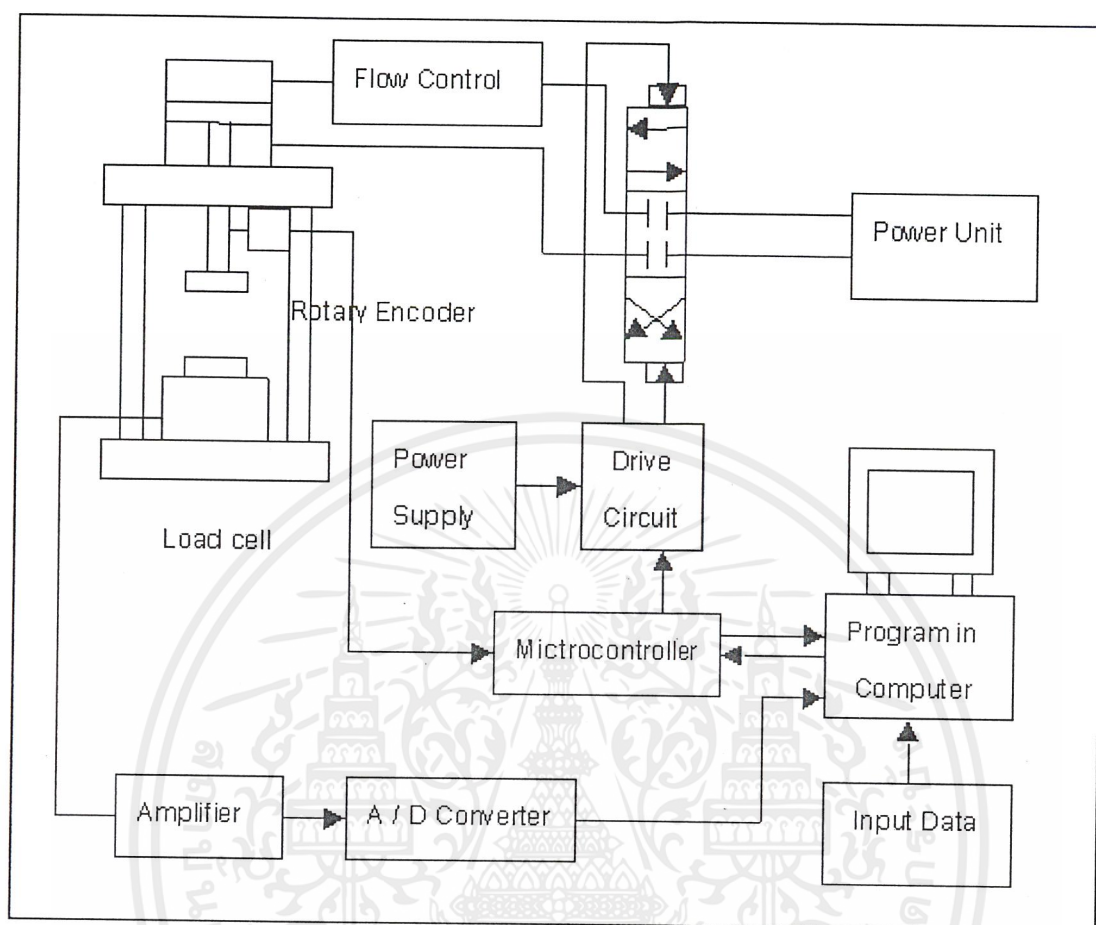
ส่วนอุปกรณ์ในการส่งถ่ายน้ำมัน ไฮดรอลิกส์จะส่งถ่ายด้วย Pump และมี Pressure Relief Valve เพื่อป้องกันความเสียหายของกระบอกสูบ อีกทั้งเราจะติดตั้งสวิทช์ฉุกเฉินเพื่อทำการหยุดแบบกะทันหันเพื่อการป้องกันการเสียหายของอุปกรณ์ด้วย ดังรูปที่ 4.1

#### 4.2 หลักการคำนวณและโปรแกรมการคำนวณ

ในส่วนของการเขียน โปรแกรม เพื่อนำค่าที่ได้ขึ้นมาประมวลผลหาค่าคุณสมบัติของวัสดุ ซึ่งจะมีหลักการในการเขียน โปรแกรม ดังนี้

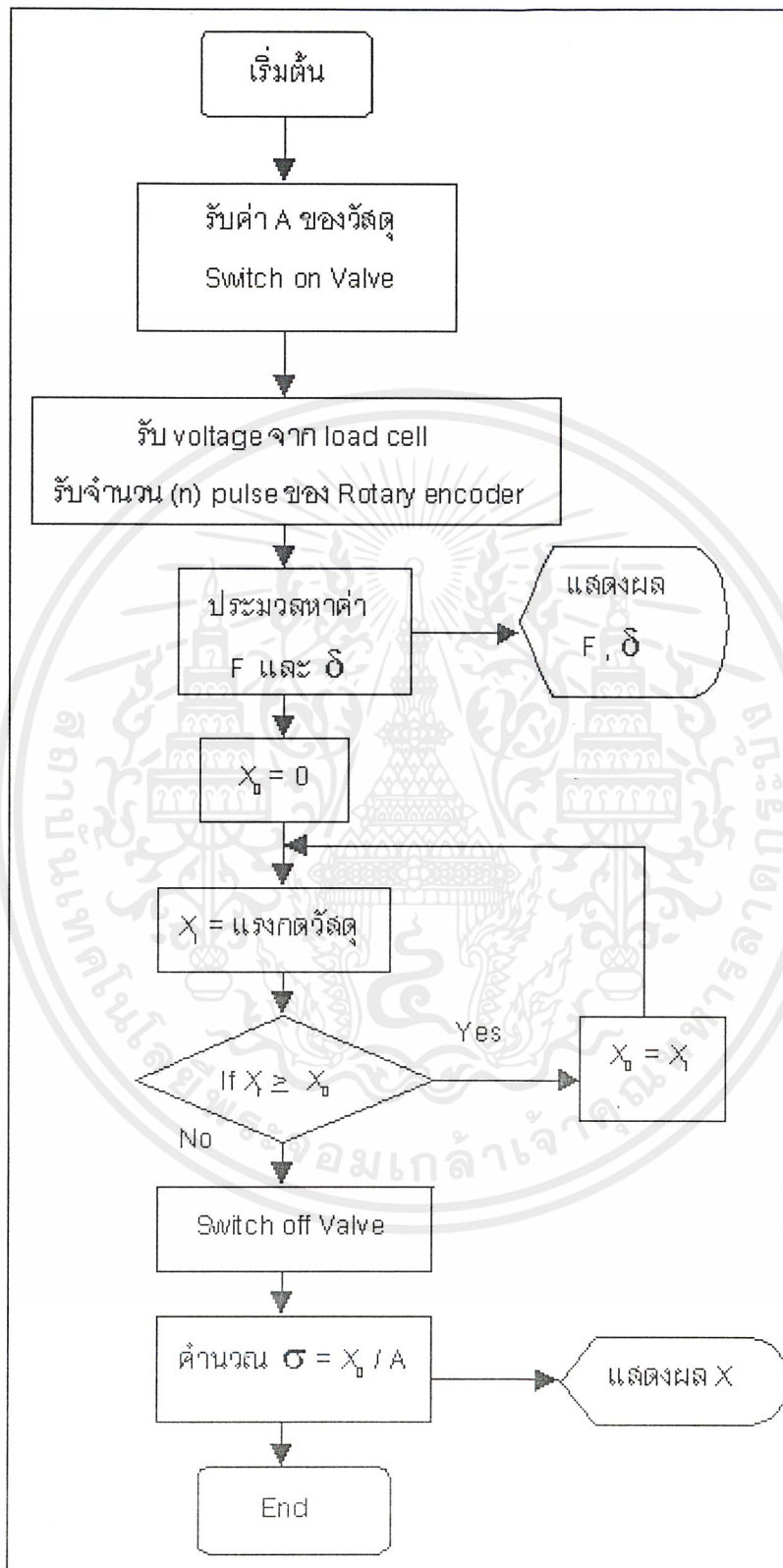
ในขั้นแรกป้อนค่า A (พื้นที่ของวัสดุ) หลังจากนั้นเริ่มการทำงาน โปรแกรมจะสั่งการให้กระบอกสูบเคลื่อนที่ลงกดวัสดุทำให้เกิดแรงกดที่โหลดเซลล์ จากนั้น โปรแกรม จะรับค่าที่เป็นแรงดันที่ได้จากโหลดเซลล์ และรับจำนวนพัลลัส ของโรตารีเอ็นโค้ดเดอร์ที่หมุน จากไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่ง โปรแกรม จะทำการคำนวณหาค่าแรงกดและระยะการเคลื่อนที่ของลูกสูบแล้วนำค่าที่ได้ไปเก็บเป็นฐานข้อมูล พร้อมทั้งแสดงความสัมพันธ์ออกมาเป็นกราฟ เมื่อกระบอกสูบเคลื่อนที่ไปจนแรงที่กดวัสดุเริ่มลดลง โปรแกรม จะสั่งให้หยุดการทำงาน เพราะวัสดุได้เกิดการเสียรูปแล้ว นำค่าแรงสูงสุดมาคำนวณหาค่าความเค้น( $\sigma$ ) ของวัสดุ และจะมีการรับอินเตอร์รัปต์จากสวิทช์ฉุกเฉิน ถ้าเมื่อใดมีการกดปุ่มสวิทช์การทำงานของกระบอกสูบจะหยุดการทำงานทันทีแม้ในขณะที่ยังปฏิบัติงานไม่สำเร็จตามคำสั่งที่ตั้งไว้ ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



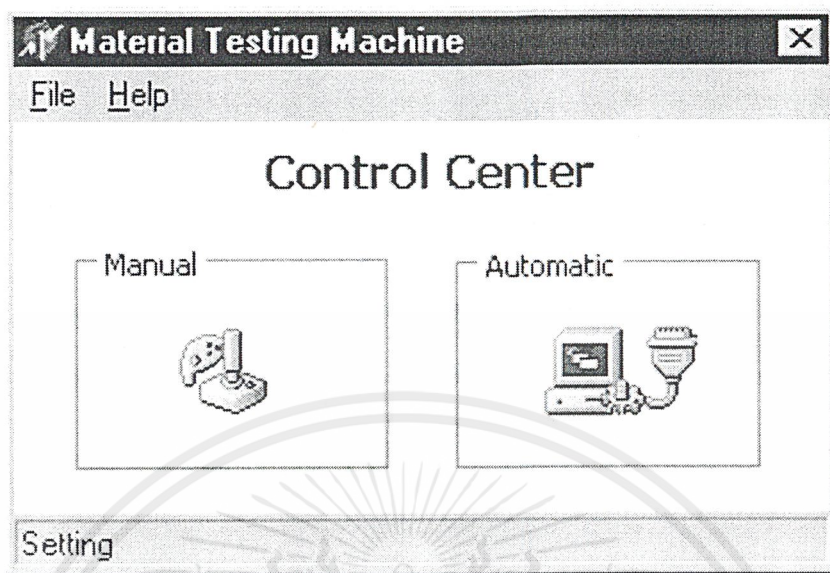
รูปที่ 4.1 หลักการทำงานของเครื่องทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

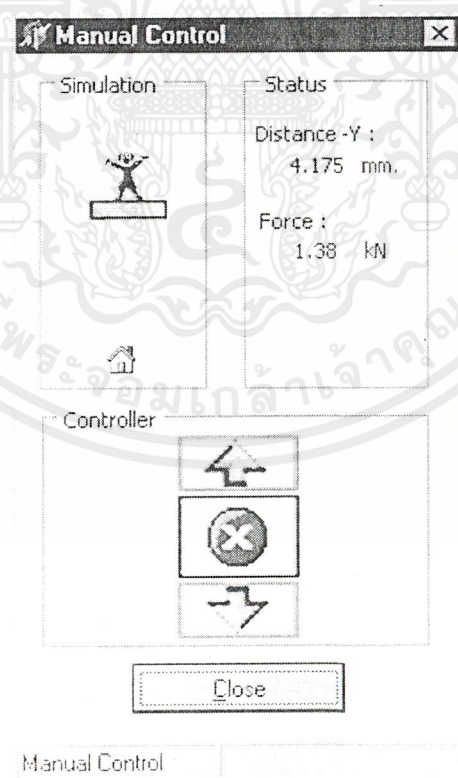


รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

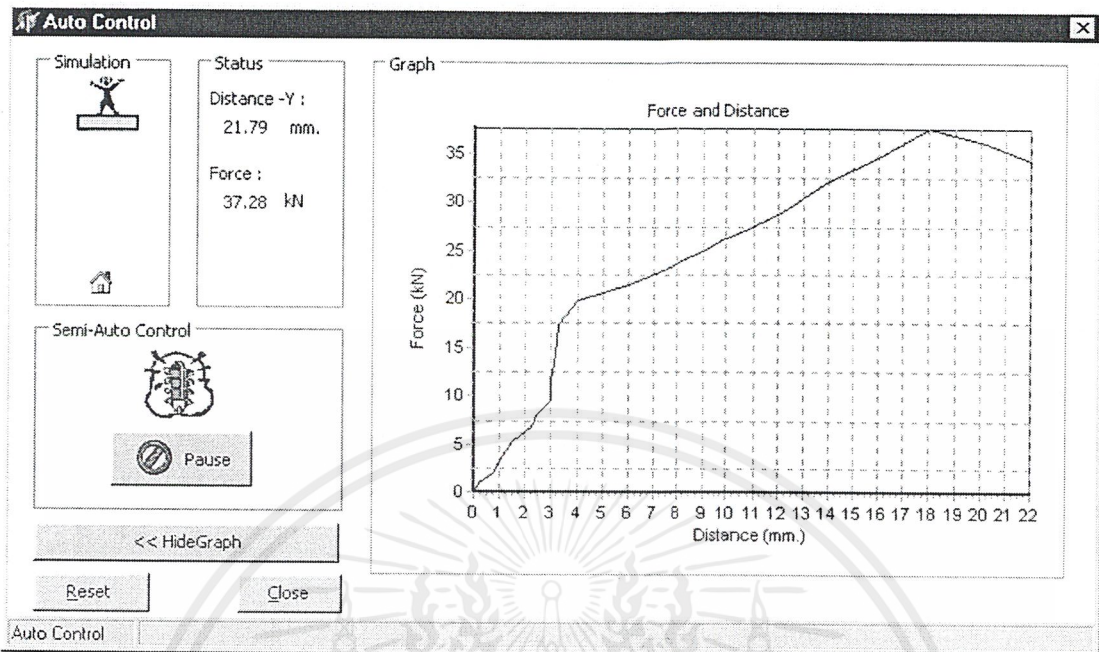


รูปที่ 4.3 แสดงหน้าจอโปรแกรม



รูปที่ 4.4 แสดงหน้าจอโปรแกรมแบบ Manual

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงหน้าจอโปรแกรมแบบ Automatic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

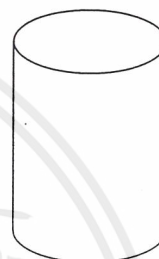
## บทที่ 5

### การทดสอบและผลการทดสอบ

การทำทดสอบจะนำชิ้นทดสอบตั้งอย่างทดสอบกับเครื่องที่ออกแบบและนำชิ้นทดสอบเดียวกันนี้ไปทดสอบกับเครื่องทดสอบมาตรฐานที่ทางภาคเครื่องกลมีอยู่แล้ว นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกัน โดยการทดสอบจะให้ทำการทดสอบตามโปรแกรมที่ตั้งไว้จนกระทั่งวัสดุเกิดการแตกหักเสียรูป เราได้เลือกชิ้นทดสอบตัวอย่างมา 4 ชิ้น ซึ่งมีลักษณะดังนี้

ชนิด A แท่งพลาสติก

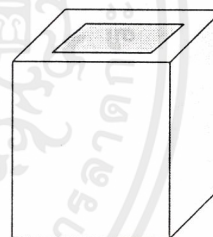
ยาว 38 มิลลิเมตร  
เส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.1 วัสดุชนิด A

ชนิด B อะลูมิเนียม

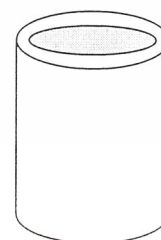
25x25 มิลลิเมตร  
หนา = 0.6 มิลลิเมตร  
ยาว 65 มิลลิเมตร.



รูปที่ 5.2 วัสดุชนิด B

ชนิด C ท่อพีวีซี PVC

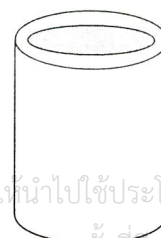
ยาว 53 มิลลิเมตร  
หนา 2 มิลลิเมตร  
เส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.3 วัสดุชนิด C

ชนิด D ท่ออะลูมิเนียม

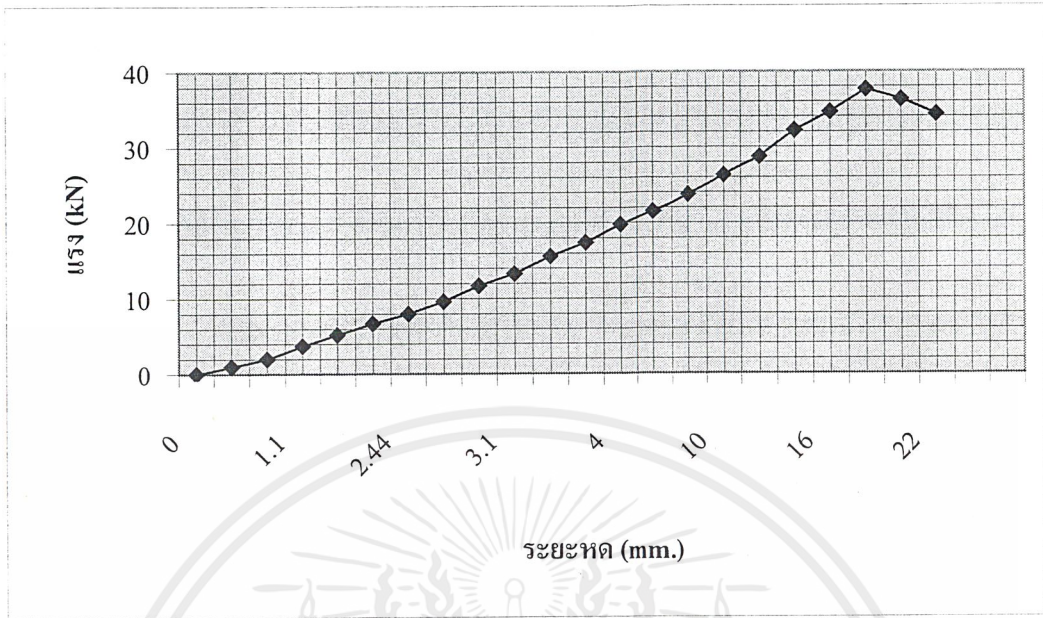
ยาว 35 มิลลิเมตร  
หนา 1.5 มิลลิเมตร  
เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร



รูปที่ 5.4 วัสดุชนิด D

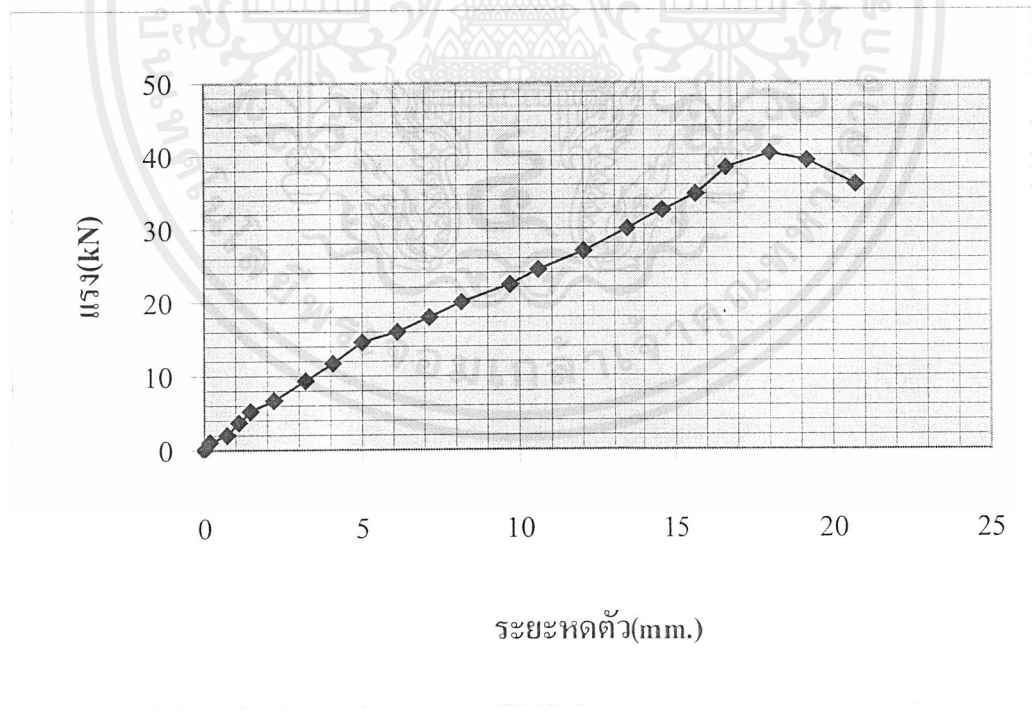
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.1 ชนิด A



กราฟที่ 5.1 การทดสอบโดยเครื่องที่จัดสร้างขึ้น (ชนิด A)

จากกราฟที่ 5.1 ได้แรงสูงสุด 37.76 kN , ระยะหดตัว 21.783 mm.

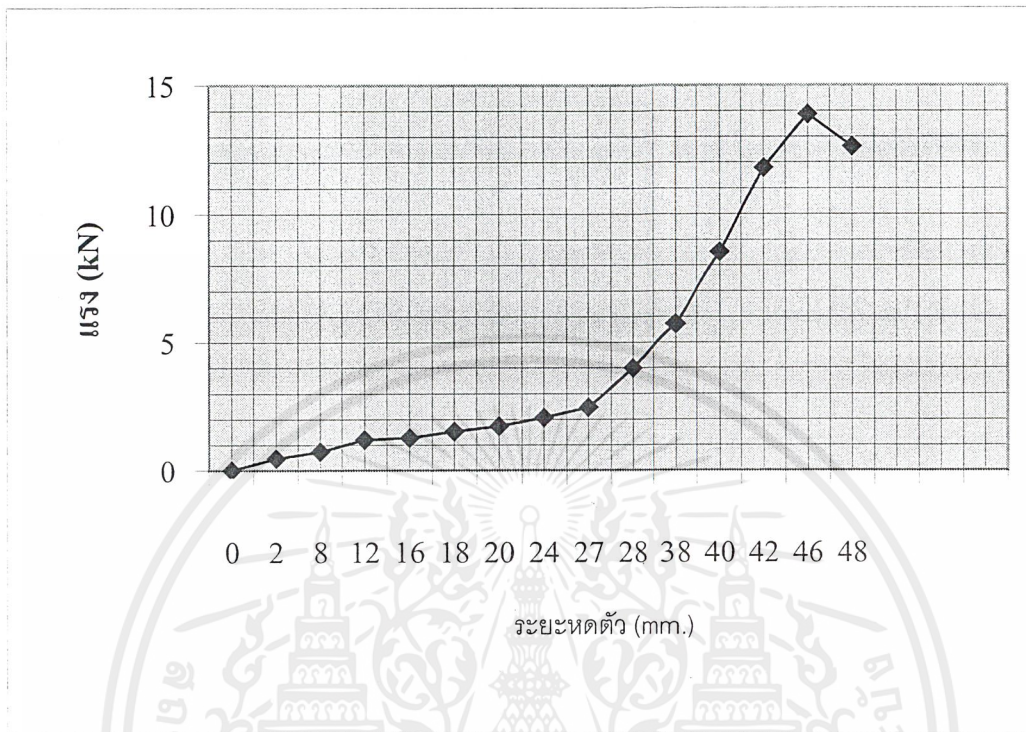


กราฟที่ 5.2 การทดสอบโดยเครื่องมาตรฐาน (ชนิด A)

จากกราฟที่ 5.2 ได้แรงสูงสุด 40.312 kN , ระยะหดตัว 20.735 mm.

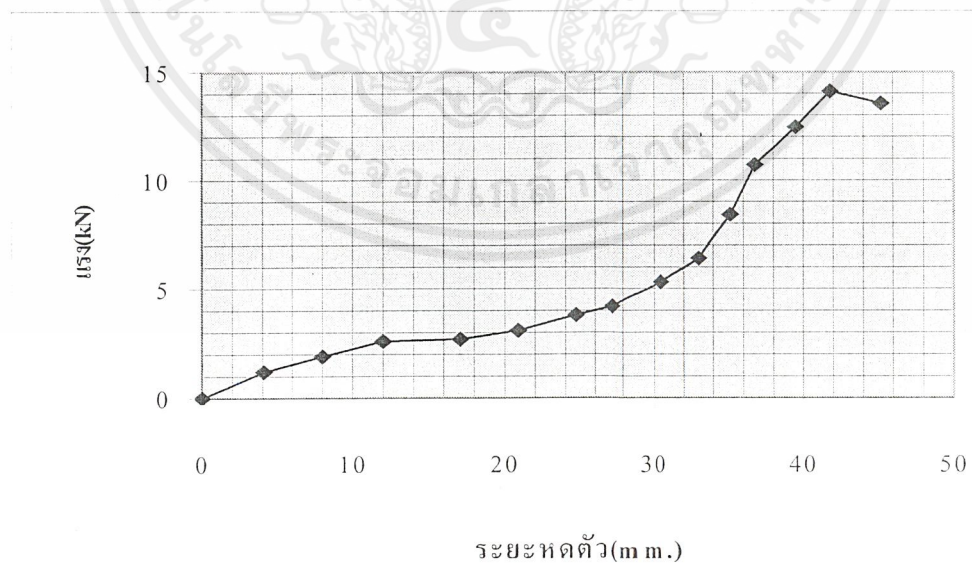
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ชนิด B



กราฟที่ 5.3 การทดสอบโดยเครื่องที่จัดสร้างขึ้น (ชนิด B)

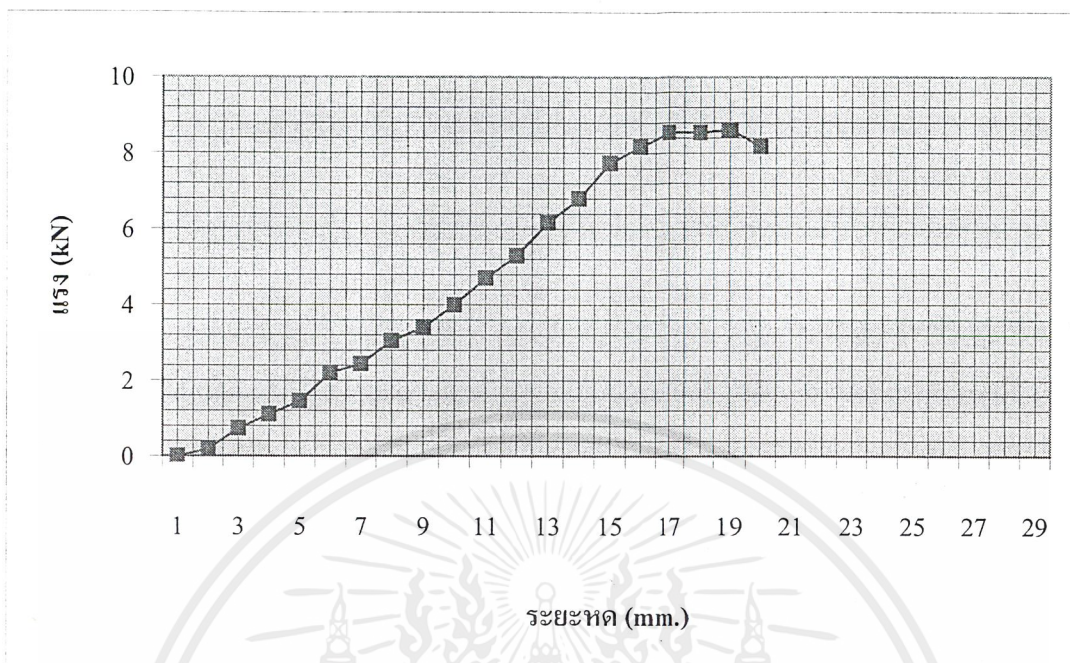
จากกราฟที่ 5.3 ได้แรงสูงสุด 13.91 kN , ระยะหดตัว 47.331 mm.



กราฟที่ 5.4 การทดสอบโดยเครื่องมาตรฐาน (ชนิด B)

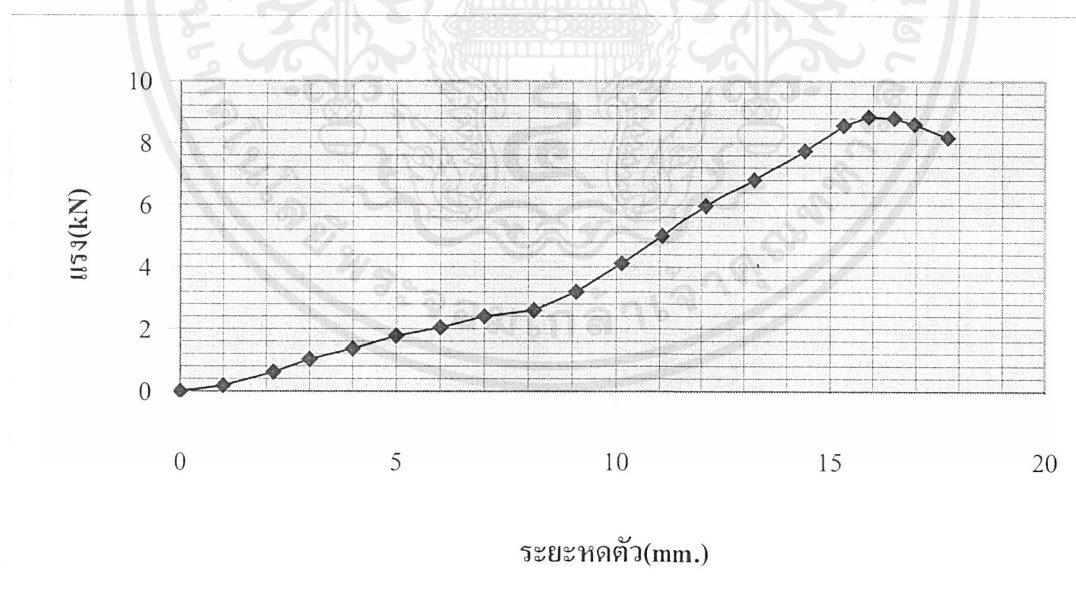
เอกสารที่กราฟที่ 5.4 ได้แรงสูงสุด 14.167 kN , ระยะหดตัว 45.285 mm นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.3 ชนิด C



กราฟที่ 5.5 การทดสอบโดยเครื่องที่จัดสร้างขึ้น (ชนิด C)

จากกราฟที่ 5.5 ได้แรงสูงสุด 8.606 kN , ระยะหดตัว 19.517 mm.

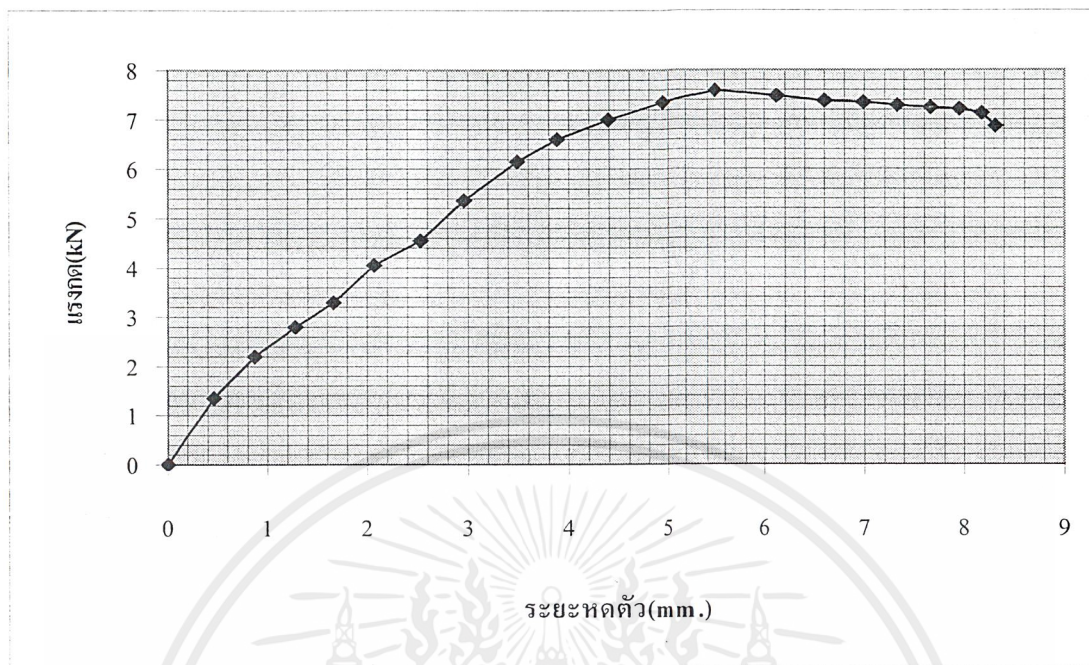


กราฟที่ 5.6 การทดสอบโดยเครื่องมาตรฐาน (ชนิด C)

จากกราฟที่ 5.6 ได้แรงสูงสุด 8.913 kN , ระยะหดตัว 17.876 mm.

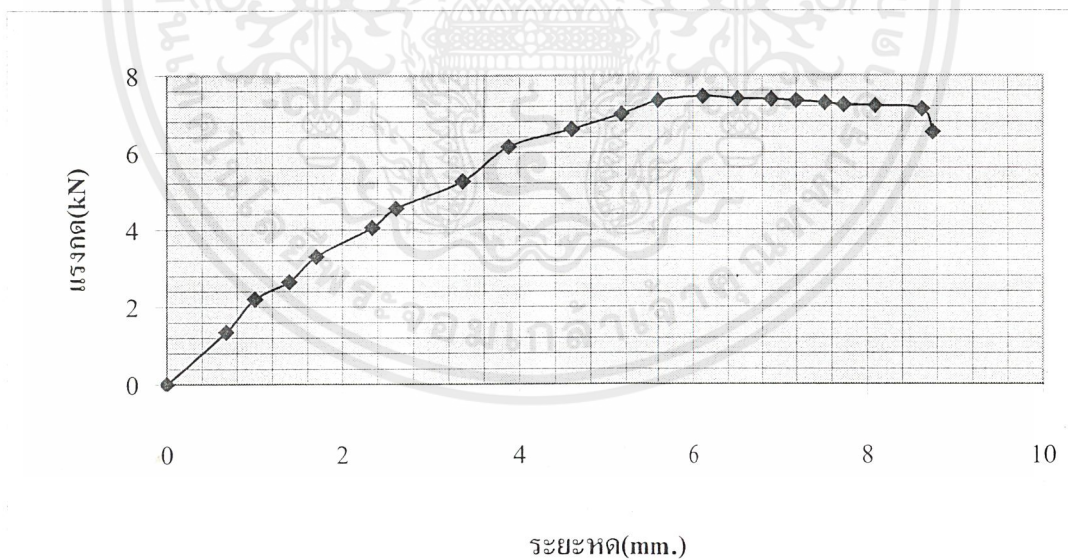
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4 ชนิด D



กราฟที่ 5.7 การทดสอบโดยเครื่องที่จัดสร้างขึ้น (ชนิด D)

จากกราฟที่ 5.7 ได้แรงสูงสุด 7.453 kN , ระยะหดตัว 8.754 mm.



กราฟที่ 5.8 การทดสอบโดยเครื่องมาตรฐาน (ชนิด D)

จากกราฟที่ 5.8 ได้แรงสูงสุด 7.598 kN , ระยะหดตัว 8.316 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

# สรุปผล วิจัย ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

### 6.1 สรุปผลและวิจารณ์

จากการปฏิบัติสร้างเครื่องทดสอบระบบไฮดรอลิกส์แล้วทำการทดสอบวัสดุเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากเครื่องที่ได้มาตรฐาน ผลการทดสอบได้ผลดังนี้

6.1.1 ระยะเวลายวบตัวของวัสดุมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ได้จากมาตรฐาน และมีความละเอียดน้อยกว่า อาจเกิดได้จากความละเอียดของโรตารี เอ็นโค้ดเดอร์ หรือเป็นจากการติดตั้งทั้งเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากใช้ยางในการสัมผัส ทำให้รัศมีของโรตารี เอ็นโค้ดเดอร์เปลี่ยนไปซึ่งมีผลให้การคำนวณผิดพลาดด้วย

6.1.2 แรงที่วัดได้จากเครื่องที่สร้างขึ้นมีค่าไม่แน่นอนมีการแกว่งตัว ทำให้ผิดพลาดจากเครื่องที่ได้มาตรฐาน แต่กราฟแสดงการยวบตัวมีลักษณะรูปแบบคล้ายกัน การแกว่งตัวของแรงที่ได้เกิดมาจากอุปกรณ์ขยายแรงดันที่ได้จากโหลดเซลล์ส่งค่าออกมามีการสั่นอยู่แล้ว ส่วนความละเอียดของแรงน่าจะมาจากใช้สูตรคำนวณการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าเป็นแรงกระทำ หรือการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลมีความละเอียดไม่พอ

6.1.3 การหยุดการทดสอบจากเครื่องที่สร้างขึ้นเองจะเกิดความล่าช้ากว่า จึงทำให้ได้จุดแตกหักมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง อาจเกิดขึ้นเนื่องจากอุปกรณ์มีการสั่งการช้า หรือสปริงมีการคืนตัวช้า โปรแกรมการสั่งหยุดทำงานเนื่องจากวัสดุแตกหักก็มีผลทำให้การหยุดทดสอบล่าช้าได้

6.1.4 เมื่อการทดสอบวัสดุที่มีค่าความแข็งมาก ระหว่างการกดอาจเกิดการคืนตัวของวัสดุได้เนื่องจากการยวบตัวของน้ำมันไฮดรอลิกส์หรือการรั่วไหลของท่อส่งและข้อต่อ

6.1.5 การออกแบบหัวกดวัสดุมีความจำเป็นในการทดสอบ จะต้องออกแบบให้มีการกดกระทำตั้งฉากและกระจายแรงสม่ำเสมอกับพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ เพราะการทดสอบวัสดุที่มีรูปร่างสูงอาจเกิดการโก่งตัวของวัสดุได้ ทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อน

### 6.2 เสนอแนะและการพัฒนา

6.2.1 การที่จะต้องการให้ได้ระยะของการหดตัวนั้นจะกระทำได้โดยการเลือกอุปกรณ์วัดที่มีความละเอียดมากขึ้น หรือเปลี่ยนรูปแบบอุปกรณ์ที่ใช้วัดระยะทางแต่มีความเที่ยงตรงกว่ามาแทน ทั้งนี้การติดตั้งอุปกรณ์ต้องแม่นยำและมั่นคงเพื่อการวัดระยะได้ถูกต้อง

6.2.2 การทดสอบวัสดุต้องคำนึงถึงความสามารถในการกดของเครื่อง เนื่องจากเครื่องที่ใช้ระบบไฮดรอลิกส์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความดันของน้ำมันที่ป้อนทำการป้อนให้แก่กระบอกสูบ จึงต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับค่าความแข็งของวัสดุด้วย

6.2.3 อุปกรณ์วัดแรงที่เรานำมาใช้นั้นเราควรหาสมการที่ถูกต้องและมีความละเอียดให้ใกล้เคียงพฤติกรรมของอุปกรณ์วัดนั้น อาจจะต้องศึกษาพฤติกรรมให้ได้ว่ามีรูปแบบอย่างไรและความละเอียดก่อนที่จะนำมาใช้งานจริง

6.2.4 เราจะต้องศึกษาคุณสมบัติของวัสดุว่ามีลักษณะและรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะหดตัวตามหลักกลศาสตร์วัสดุ เพื่อจะทราบได้ว่าวัสดุจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อถึงจุดที่รับแรงสูงสุดและจุดที่วัสดุแตกหัก ทำให้สามารถเขียนโปรแกรมการคำนวณและหยุดการทำงานได้อย่างถูกต้อง

6.2.5 สำหรับการที่จะพัฒนาเครื่องทดสอบวัสดุนี้จากการกดนี้เป็นการทดสอบแบบการดึง หรือสามารถทดสอบได้ทั้ง 2 แบบก็ย่อมทำได้ กระนั้นจึงทำการปรับเปลี่ยนดังนี้

- เปลี่ยนลักษณะจากหัวกดให้สามารถจับชิ้นงานได้เพื่อสำหรับการดึง และส่วนที่ยึดติดกับอุปกรณ์วัดแรงหรือโหลดเซลล์ก็เพียงทำการเปลี่ยนการยึดติดให้อยู่ในลักษณะรับแรงดึงเท่านั้นเพราะโหลดเซลล์เป็นอุปกรณ์ที่รับแรงได้ทั้งกดและดึง

- เปลี่ยนลักษณะโปรแกรมเพราะทั้งนี้เนื่องจากลักษณะพฤติกรรมของวัสดุเมื่อรับแรงกดจะต่างกับเมื่อรับแรงดึง ทำให้การทำงานของโปรแกรมเปลี่ยนไปด้วย

- การทำงานของโรตารีเอ็นโค้ดเดอร์จะต้องทำการพัฒนาโปรแกรมในการรับค่าเอาต์พุตให้สามารถรับรู้ได้ว่าโรตารีเอ็นโค้ดเดอร์มีการหมุนทวนหรือตามเข็มนาฬิกา เราจะได้รู้ว่าลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นหรือลง

- ลักษณะวาล์วที่ใช้ในการพัฒนาต่อไปจากที่ใช้อยู่ปัจจุบันควรจะเป็นวาล์วที่มีการปรับค่าการไหลได้โดยคุณสมบัติทางไฟฟ้ามาเป็นตัวควบคุม จะทำให้เครื่องทดสอบมีความละเอียดและสะดวกในการใช้งานมากยิ่งขึ้น

- การพัฒนาที่ควรจะปฏิบัติต่อไปอีกก็คือการควบคุมการเคลื่อนที่กระบอกสูบขึ้นลงโดยกำหนดค่าระยะทางหรือกำหนดแรงแล้วให้เคลื่อนที่ได้อัตโนมัติ จนกระทั่งเสร็จสิ้นคำสั่ง

### บรรณานุกรม

- [1] Nash, A.W. : “*Theory and Problem of strength of Materials*,”second ed., McGraw-Hill book Co.
- [2] V.M. FAIRES : “*Design of Machine Element*”,fourth ed., The Macmillan Company.
- [3] Richard S. Figliola, Donald E. Beasley : “*Theory and Design for Measurements*”, John Wiley & Sons, Inc.1995.
- [4] สุนทร วิฑูสรพจน์ : “*การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051*”, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), พ.ศ. 2537
- [5] วิทยา ยงเจริญ, อภิชาติ อรุณคุณารักษ์ : “*ระบบควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์สำหรับเครื่องทดสอบวัสดุ*” การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14 , 2-3 พฤศจิกายน 2543
- [6] ขวัญชัย สันทิพย์สมบุรณ์, ปานเพชร ชินินทร : “*ไฮดรอลิกอุตสาหกรรม*”, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), พ.ศ. 2541
- [7] พรกิจ ผดุมสุวรรณ : “*พื้นฐานหุ่นยนต์ และเครื่องจักรอัตโนมัติ*”, สำนักพิมพ์เรือนแก้ว พ.ศ. 2537
- [8] *ET-AD12 USER MANUAL* และ *CP-S8252 V 2.0 USER MANUAL* , บริษัท อีทีที จำกัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Dynamic Strain Amplifier (DPM-613A)

### Specifications

Application strain gages	60 to 1000 $\Omega\mu\epsilon$
Bridge excitation	AC 2V,0.5V , switchable
Sensitivity ( $10 \times 10^{-6}$ strain input)	0.2V ( $R_L = 5k\Omega$ ) 3mA ( $R_L = 30\Omega$ )
Output	OUTPUT-V $\pm 5V, \pm 2mA$ OUTPUT-I $\pm 5V, \pm 30mA$
Non-linearity	$\pm 0.2\%$ FS
Output impedance	10 $\Omega$
Gage factor	2.00, constant
Calibration signal strain	$\pm 1$ to $9999 \times 10^{-6}$ strain Accuracy $\pm 0.5\% + 1 \times 10^{-6}$
Frequency response range	DC to 10 kHz
Low-pass filter	10,30,100,1kHz,F Amplitude response : $-3dB \pm 1dB$
Operating temperature range	-10 to +50 $^{\circ}C$ ,85%RH or lower
Storage temperature range	-30 to +70 $^{\circ}C$
Power requirement	AC line,7VA DC 10.5 to 15V,0.4A
Dimensions and weight	49(W)x 142(H) x 264(D) mm Approx. 1.6 kg

### Adjustment before measurement

#### Preheating

Although the amplifier is operable soon after power supply is started, perform preheating for 10 to 15 minutes to insure stable performance. Take a longer time for preheating (30 to 60 minutes) for measurement of micro strain or long – term measurement.

#### Zero balancing

Zero balancing is required to eliminate initial-unbalanced-components which are generated through connection of the amplifier with a strain gage bridge or strain gage type transducer. Either manual balancing or automatic balancing is applicable depending on the type of amplifier. The former to DMP-601, 602 and 603, and the latter to DMP-611, 612 and 613.

### Automatic balancing (for DMP-611, 612 and 613)

Tune the range selector [RANGE] to “100”. “50”.... and up to a wanted position, starting from the [OFF] position. Depress the self-check/zero-balancing push button [CHECK/BALL] two times successively with a short interval (less than 1 second). With this automatic zero-balancing can be achievable in 1 second thereabouts irrespective of the range selector’s position [OFF] or any other position.

### Zero point adjustment

With the automatic balancing amplifiers (DMP-611, 612 and 613), a zero point can be shifted following achievement of zero balancing. This adjustment is made by turning the resistance trimmer with the accessory screwdriver. The trimmer is a 12-turn potentiometer. When it is turned to the right (clockwise), the zero point moves to the (+) side, and when it is turned to the left (counterclockwise), to the (-) side.

### Low-pass filter setting

In order to eliminate unwanted frequency components involved in phenomenal waveform to measure, the amplifier is armed by a built-in low-pass filter. The filter’s cutoff frequencies are 10, 30, 300, 1K(1000) Hz – five – steps added by F (PASS at which the filter has no effect). Set and use the filter at a wanted frequency stage. A setting standard will be foreseen phenomenal-waveform frequency multiplied by from 5 to 10.

### Selection of bridge excitation

The amplifier allows for selection of bridge excitation applicable to a strain-gage bridge, 2V or 5V. In ordinary measurement, use bridge excitation of 2V. (The amplifier is set at 2V when it is shipped from the manufacturer’s plant.)

- Measurement of material with poor heat-radiation ability such plastics, wood, etc.(A strain gage is heated by high current to which it is exposed. And, if radiation of the heat is poor, accurate measurement is impossible. Lower bridge-excitation used helps to reduce heat.)
- Measurement of extra-high strain. (By using 0.5V, the strain measuring range can be expanded four times as large)
- When using strain gages having extra-short gage length, 1 mm or less.

To make selection of bridge excitation to use, remove the side panel of the amplifier and set the toggle-switch which is found on the upper section, closer to the rear panel, of the circuit board. Push this switch down to select 0.5V and push the upward to select 2V,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Measurement

Upon a finish of preceding calibration-signal application, the amplifier is ready for measurement.

The strain measurement range varies according to a position of the range selector [RANGE] and that of the fine sensitivity control [VERN] as shown in the table below. When setting positions of the knobs to match strain quantity to measure, refer to the below table.

Range Selector [RANGE] (x100 micro stain)	Position of fine sensitivity control [VERN]	[CAL] value setting and measurable strain quantity range			
		With 2V bridge excitation		With 0.5V bridge excitation	
		Measuring range (x 10 <sup>-6</sup> strain)	[CAL]	Measuring range (x 10 <sup>-6</sup> strain)	[CAL]
1	max	1 to 250	1 to 250	4 to 1000	4 to 1000
	min	App. 3 to 750	3 to 750	12 to 3000	12 to 3000
2	max	2 to 500	2 to 500	8 to 2000	8 to 2000
	min	App. 6 to 1500	6 to 1500	24 to 6000	24 to 6000
5	max	5 to 1250	5 to 1250	20 to 5000	20 to 5000
	min	App. 15 to 3750	15 to 3750	App. 60 to 15000	60 to 9999
10	max	10 to 2500	10 to 2500	40 to 10000	40 to 9999
	min	App. 30 to 7500	30 to 7500	App. 120 to 30000	120 to 9999
20	max	20 to 5000	20 to 5000	80 to 20000	80 to 9999
	min	App. 60 to 15000	60 to 9999	App. 240 to 60000	240 to 9999
50	max	50 to 12500	50 to 9999	200 to 50000	200 to 9999
	min	App. 150 to 37500	150 to 9999	App. 600 to 150000	600 to 9999
100	max	100 to 25000	100 to 9999	400 to 100000	400 to 9999
	min	App. 300 to 75000	300 to 9999	App. 1200 to 300000	1200 to 9999

Calibration values shown in the table are standard. You may use any calibration value provided that it does not exceed a measuring range.

## โปรแกรมภาษาแอสเซมบลี

ORG 0000H

LJMP INIT

ORG 0003H

LJMP INTR0

ORG 0013H

LJMP INTR1

ORG 0030H

INIT:

MOV IE,#85H ;Enable INT0 & Int1

MOV IP,#0ffH ;Set Priority Int0,Int1

SETB IT0 ;Set Level trig0

SETB IT1 ;Set Level trig1

MOV TMOD,#20H ;Serial port set

MOV SCON,#52H

MOV TH1,#0FBH

SETB TR1

MAIN: JNB RI,S

CLR RI

MOV A,SBUF

CJNE A,#'a',not\_a

SETB p1.1

CLR p1.0

JMP end

not\_a:

CJNE A,#'b',not\_b

SETB p1.0

CLR p1.1

JMP end

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

not_b:
    CJNE  A,#'c',end
    SETB  p1.0
    SETB  p1.1
end:
    SJMP  MAIN

```

```

;=====
;===== Interrupt 0 (micro switch) =====
;=====

```

INTR0:

```

    SETB  p1.0
    SETB  p1.1
    RETI

```

```

;=====
;===== Interrupt 1 (Encoder) =====
;=====

```

INTR1:

```

    JNB   T1,S
    CLR   TI
    MOV   SBUF,#'0'
    RETI

```

END