# แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 7

## หัวข้อเนื้อหา

กระบอกสูบในระบบไฮดรอลิกส์
การคำนวณหาแรงลูกสูบ
โนโมแกรม
การคำนวณหาความเร็วลูกสูบ
การติดตั้งจับยึดกระบอกสูบ
มอเตอร์ไฮดรอลิกส์
การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์

## วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เมื่อศึกษาบทที่ 7 จบแล้วนักศึกษาสามารถ

1. บอกประเภทและอธิบายหลักการทำงานของกระบอกสูบในระบบไฮดรอลิกส์ได้
2. คำนวณหาแรงและความเร็วของลูกสูบได้
3. อธิบายหลักการทำงานของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ได้

## วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. วิธีสอน
   1.1 วิธีสอนแบบบรรยาย
   1.2 วิธีสอนแบบอภิปราย
   1.3 วิธีสอนแบบสาธิต
2. กิจกรรมการเรียนการสอน

2.1 จัดแบ่งกลุ่มเพื่อทำการปฏิบัติ การต่อวงจรไฮดรอลิกส์ตามแบบปฏิบัติการ 7 และ 8 ที่ได้รับมอบหมาย

2.2 แต่ละกลุ่มนำเสนอปัญหาจากการลงมือปฏิบัติ การต่อวงจรไฮดรอลิกส์จากชุดสาธิต พร้อมวิธีการแก้ปัญหา จากนั้นนำเสนอรายงานและตอบคำถาม

## สื่อการเรียนการสอน

1. ชุดสาธิตไฮดรอลิกส์
2. เครื่องฉายภาพ 3 มิติ
3. แผ่นภาพโปร่งใส
4. แบบปฏิบัติการไฮดรอลิกส์
5. หนังสือและเอกสารประกอบการสอน
6. วีดิทัศน์

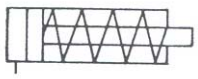
## การวัดและการประเมินผล

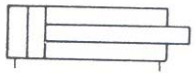
1. ใช้วิธีการสังเกตและบันทึกผล
   1.1 จากการทำกิจกรรมกลุ่ม แต่ละกลุ่มร่วมกันแก้ปัญหา
   1.2 จากการมีส่วนร่วมในการอภิปราย ตอบคำถาม
2. ใช้วิธีตรวจผลงาน
   2.1 ตรวจผลงานขณะปฏิบัติ
   2.2 ตรวจรายงาน

# บทที่ 7
# อุปกรณ์ทำงานในระบบไฮดรอลิกส์

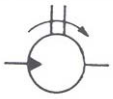
ในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์การทำงานในระบบไฮดรอลิกส์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนกำลังงานของน้ำมันไฮดรอลิกส์ให้เป็นกำลังงานกลโดยการเปลี่ยนความดันและความเร็วของน้ำมันไฮดรอลิกส์ในท่อทางให้มีการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงและการเคลื่อนที่ในแนวหมุน ได้แก่ กระบอกสูบและมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ โดยจะอธิบายถึงชนิดต่าง ๆ โครงสร้าง และวิธีการทำงาน รวมทั้งหลักการคำนวณหาแรงที่ได้จากอุปกรณ์ประเภทนี้ ซึ่งจะช่วยให้สามารถเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับระบบและช่วยให้การทำงานมีประสิทธิภาพตามต้องการ ซึ่งขวัญชัย สินทิพย์สมบูรณ์, และปานเพชร ชินินทร (2539, หน้า 266) กล่าวว่าอุปกรณ์ทำงานในระบบไฮดรอลิกส์ทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังงานไฮดรอลิกส์ไปเป็นพลังงานกล แบ่งออกได้ 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

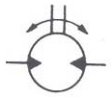
1. อุปกรณ์ทำงานที่เปลี่ยนความดันของน้ำมันเป็นแรงและการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง
   - 1.1 กระบอกสูบทางเดียว (single acting cylinder)

     
   - 1.2 กระบอกสูบสองทาง (double acting cylinder)

     
   - 1.3 กระบอกสูบสองทางแบบมีก้านสูบสองด้าน (double rod cylinder)

2. อุปกรณ์ทำงานที่เปลี่ยนความดันของน้ำมันเป็นแรงบิดและการเคลื่อนที่ในแนวหมุน
   - 2.1 มอเตอร์ไฮดรอลิกส์ชนิดหมุนได้ทางเดียว (hydraulic motor unidirectional)

     
   - 2.2 มอเตอร์ไฮดรอลิกส์ชนิดหมุนได้สองทาง (hydraulic motor bidirectional)

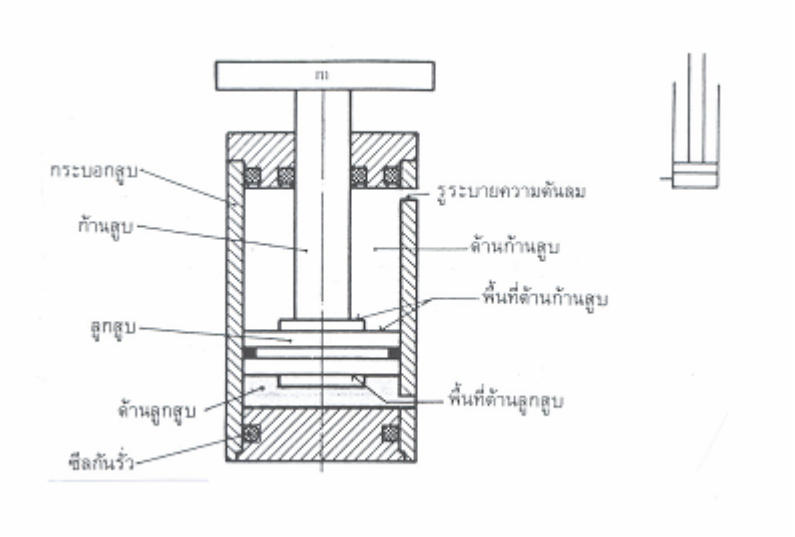
     

## กระบอกสูบในระบบไฮดรอลิกส์

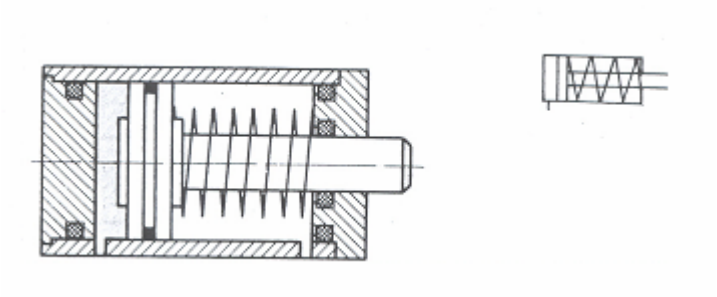
ทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนกำลังงานไฮดรอลิกส์ให้เป็นพลังงานกลออกมาในรูปของการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง แรงที่ได้ออกมาของก้านสูบจะนำเอาไปดัน ยก หรือดึงชิ้นงาน (load) ให้เกิดการเคลื่อนที่ เช่น รถยกสินค้า (forklift) เครื่องปั๊มขึ้นรูปชิ้นงาน

**1. กระบอกสูบทางเดียว** (single acting cylinder)

กระบอกสูบทางเดียว เป็นตัวทำงานที่รับน้ำมันเข้ากระบอกสูบทางด้านหัวลูกสูบเพียงทางเดียว เพื่อผลักดันให้ลูกสูบพร้อมก้านสูบเคลื่อนที่ออกไปผลักดันชิ้นงาน ส่วนในตอนที่ลูกสูบเคลื่อนที่กลับจะไม่ใช้น้ำมันดัน แต่จะใช้ชิ้นงานหรือสปริงเป็นตัวผลักดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ช้า ดังแสดงในภาพที่ 7.1




ก. กระบอกสูบทางเดียวชนิดใช้แรงจากภายนอกเลื่อนลูกสูบกลับ



ข. กระบอกสูบทางเดียวชนิดมีสปริงเลื่อนกลับอยู่ภายใน

ภาพที่ 7.1 กระบอกสูบทางเดียว
ที่มา (มนตรี โชติวรวิทย์ และชนินทร์ นุ่มศิริ, 2545, หน้า 87)

**ส่วนประกอบ**

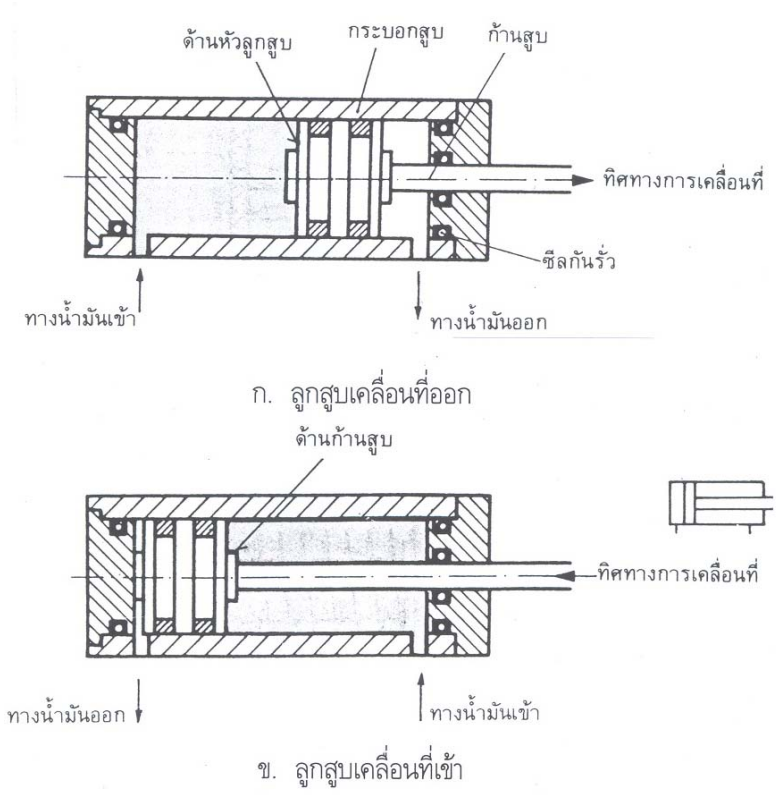
1. กระบอกสูบและฝาปิด
2. ก้านสูบ
3. ลูกสูบ
4. ซีลกันรั่ว

**2. กระบอกสูบทำงานสองทาง** (double acting cylinder)

กระบอกสูบสองทาง เป็นตัวทำงานที่มีรูรับน้ำมันเข้าและออกอยู่ด้านหัวลูกสูบและด้านก้านสูบทั้ง 2 ทาง การทำงานจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ

2.1 ลูกสูบเคลื่อนที่ออกเพื่อไปผลักดันชิ้นงาน กระทำได้โดยให้น้ำมันเข้าทางด้านหัวลูกสูบและให้น้ำมันออกทางด้านก้านสูบ ดังแสดงในภาพที่ 7.2 ก.

2.2 ลูกสูบเคลื่อนที่เข้าเพื่อดึงชิ้นงานเข้ามา กระทำได้โดยให้น้ำมันเข้าทางด้านก้านสูบและให้น้ำมันออกทางด้านหัวลูกสูบ ดังแสดงในภาพที่ 7.2 ข.




ภาพที่ 7.2 กระบอกสูบสองทาง

ที่มา (มนตรี โชติวรวิทย์, 2545, หน้า 88)

**ส่วนประกอบ**

1. กระบอกสูบพร้อมฝาปิด
2. ลูกสูบและก้านสูบ
3. ซีลกันรั่ว

## การคำนวณหาแรงลูกสูบ

แรงที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบและส่งแรงมายังก้านสูบนั้น ขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ ความดันน้ำมันและแรงต้านทานจากความเสียดทานของอุปกรณ์ซีลต่าง ๆ

การคำนวณหาแรงลูกสูบทางทฤษฎีสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$F_{th} = A \cdot P$$

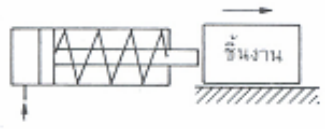
$F_{th}$ คือแรงลูกสูบทางทฤษฎี (N)

A คือพื้นที่หน้าตัดลูกสูบ ($cm^2$)

P คือความดันใช้งาน ($N/m^2$, bar)

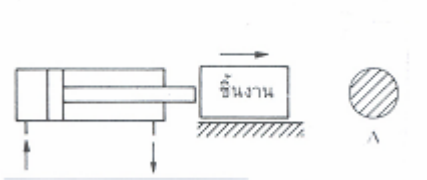
ในทางปฏิบัติ ผลของแรงลูกสูบที่ได้ต้องคำนึงถึงแรงเสียดทานจากซีลลูกสูบ ซึ่งมีค่าประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ของแรงลูกสูบที่คำนวณได้ในทางทฤษฎีโดยคำนวณได้จากสูตรดังนี้

**กระบอกสูบชนิดทำงานทางเดียว**



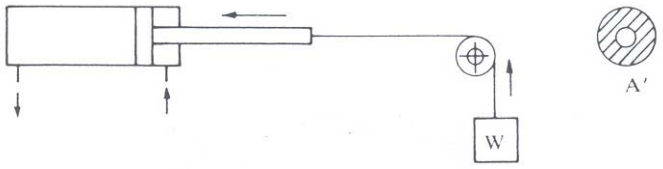

$$F_n = A \cdot P - (F_R + F_F)$$

**กระบอกสูบชนิดทำงานสองทาง จังหวะลูกสูบเลื่อนออก (forward stroke)**




$$F_n = (A \cdot P) - F_R$$

**กระบอกสูบชนิดทำงานสองทาง จังหวะลูกสูบเลื่อนเข้า (return stroke)**




$$F_n = (A' \cdot P) - F_R$$

$F_n$ คือแรงลูกสูบที่ได้จริง (N)

A คือพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ ($cm^2$)

$$= \left[ \frac{D^2 \times \pi}{4} \right]$$

A’ คือพื้นที่หน้าตัดของวงแหวนลูกสูบ (ด้านที่มีก้านสูบ) ($cm^2$)

$$= (D^2 - d^2) \frac{\pi}{4}$$

P คือความดันใช้งาน ($N/m^2$ , bar)

$F_R$ คือแรงเสียดทานจากซีลลูกสูบมีค่าประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ของแรงลูกสูบ (N)

$F_F$ คือแรงต้านจากสปริง (N)

D คือเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ (mm)

d คือเส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ (mm)

**ตัวอย่างที่ 7.1 การคำนวณหาแรงลูกสูบ**

กระบอกสูบไฮดรอลิกส์ชนิดทำงานสองทางตัวหนึ่งมีค่าต่าง ๆ ดังนี้

เส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ (D) = 32 มิลลิเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ (d) = 16 มิลลิเมตร

แรงเสียดทานจากซีลลูกสูบ ($F_R$) = 10 เปอร์เซ็นต์

ความดันใช้งานของน้ำมัน (P) = 60 บาร์

แรงลูกสูบที่ได้จริง ($F_n$) มีค่าเท่าไร

**การคำนวณ**

พื้นที่หน้าตัดลูกสูบ

$$A = D^2 \cdot \frac{\pi}{4} = (3.2)^2 \ cm^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 8.04 \ cm^2$$

พื้นที่หน้าตัดของวงแหวนลูกสูบ

$$A' = (D^2 - d^2) \cdot \frac{\pi}{4} = [(3.2)^2 \ cm^2 - (1.6)^2 \ cm^2]\frac{\pi}{4} = 6.03 \ cm^2$$

แรงลูกสูบทางทฤษฎีในจังหวะลูกสูบเลื่อนออก

$$F_{th(out)} = A \cdot P = (8.04 \times 10^{-4} \ m^2) \cdot (60 \times 10^5 \ N/m^2) = 4824 \ N$$

แรงเสียดทานจากซีลลูกสูบ (คิด 10% ของ $F_{th}$)

$$F_R = 482.4 \ N$$

แรงลูกสูบที่ได้จริงในจังหวะลูกสูบเลื่อนออก

$$F_{n(out)} = (A \cdot P) - F_R = (8.04 \times 10^{-4}) \cdot (60 \times 10^5 \ N/m^2) - 482.4 \ N \approx 4342 \ N$$

แรงลูกสูบทางทฤษฎีในจังหวะลูกสูบเลื่อนเข้า

$$F_{th(in)} = A' \cdot P = (6.03 \times 10^{-4} \ m^2) \cdot (60 \times 10^5 \ N/m^2) = 3618 \ N$$

แรงเสียดทานจากซีลลูกสูบ (คิด 10% ของ $F_{th}$)

$$F_R = 361.8 \ N$$

แรงลูกสูบที่ได้จริงในจังหวะลูกสูบเลื่อนเข้า

$$F_{n(in)} = (A' \cdot P) - F_R = (6.03 \times 10^{-4} \ m^2) \cdot (60 \times 10^5 \ N/m^2) - 361.8 \ N \approx 3256 \ N$$

## โนโมแกรม

โนโมแกรมจะเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ได้จากกระบอกสูบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบและความดันที่นำไปใช้งาน ซึ่งจะช่วยทำให้มีความสะดวก รวดเร็ว ประหยัดเวลาได้มากกว่าการคำนวณหาขนาดต่าง ๆ เช่น การหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ หาแรงของลูกสูบและการหาความดันที่ใช้งาน ดังแสดงในภาพที่ 7.3

การหาขนาดแรงลูกสูบสามารถหาได้ 2 วิธีคือ

**วิธีที่ 1** หาโดยใช้สูตร $F = P \cdot A$ โดยที่เราจะต้องทราบค่าความดันใช้งาน (P) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ (D) เพื่อนำมาหาพื้นที่หน้าตัด (A) จึงจะสามารถคำนวณหาค่าแรงลูกสูบ (F) ได้ดังตัวอย่างที่ 7.2

**ตัวอย่างที่ 7.2** กระบอกสูบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.2 เซนติเมตร ความดันใช้งานในระบบไฮดรอลิกส์ เท่ากับ 75 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร จงคำนวณหาแรงลูกสูบ

จากสูตร $F = P \cdot A$

เมื่อ $P = 75 \ kg/cm^2$

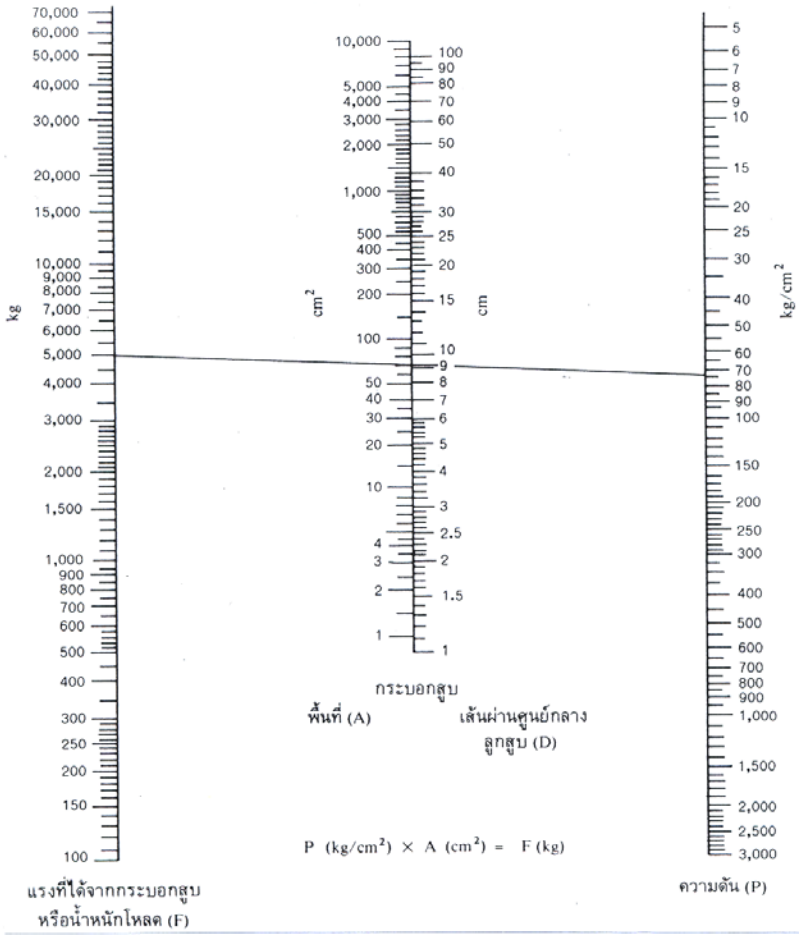
$$A = \frac{(9.2)^2 \cdot \pi}{4} \ cm^2$$

$$F = \frac{75 \times (9.2)^2 \times \pi}{4} = 5000 \ kg$$

**วิธีที่ 2** หาโดยใช้โนโมแกรม ดังแสดงในภาพที่ 7.3 และตัวอย่างที่ 7.3

**ตัวอย่างที่ 7.3** กระบอกสูบมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.2 เซนติเมตร ความดันใช้งานในระบบไฮดรอลิกส์เท่ากับ 75 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร จาหาแรงลูกสูบโดยใช้โนโมแกรม

โนโมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงลูกสูบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบและความดันใช้งานของระบบเมตริก




ภาพที่ 7.3 โนโมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงลูกสูบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบและความดันใช้งาน

ที่มา (ขวัญชัย สินทิพย์สมบูรณ์ และปานเพชร ชินินทร, 2539, หน้า 573)

จากโนโมแกรม กำหนดจุดค่าความดันใช้งานบนเส้นทางขวามือที่จุด 75 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร กำหนดจุดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบที่จุด 9.2 เซนติเมตร ลากเส้นตรงจากจุดค่าความดันใช้งานผ่านจุดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบทางด้านซ้ายมืออ่านค่าได้ 5,000 กิโลกรัม

**หมายเหตุ** โนโมแกรมนี้ใช้หน่วยทางเมตริกและไม่ได้คิดแรงเสียดทาน

## การคำนวณหาความเร็วลูกสูบ

ความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกสูบ มีผลกระทบต่อการทำงานคืองานบางประเภทต้องการให้ลูกสูบ เคลื่อนที่ช้า ๆ เพื่อทำงานที่ต้องการความนิ่มนวลหรืองานบางประเภทต้องการความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกสูบสูงทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของกระบอกสูบและปริมาณการไหลของน้ำมัน โดยสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$V = \frac{Q}{A}$$

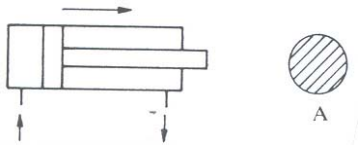
V คือความเร็วลูกสูบ (m/min)

Q คือปริมาณการไหลของน้ำมันที่เข้าไปในลูกสูบ (l/min)

A คือพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ ($cm^2$)

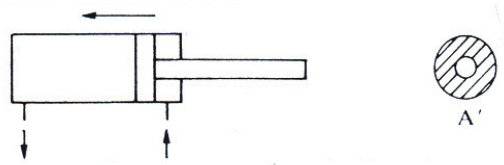
ในทางปฏิบัติ ความเร็วลูกสูบเกิดอยู่ 2 จังหวะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัด

**กระบอกสูบชนิดทำงานสองทาง จังหวะลูกสูบเลื่อนออก**




$$V_o = \frac{Q}{A}$$

**กระบอกสูบชนิดทำงานสองทาง จังหวะลูกสูบเลื่อนเข้า**




$$V_i = \frac{Q}{A}$$

A คือพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ ($cm^2$)

$$= \left[\frac{D^2 \cdot \pi}{4}\right]$$

A′ คือพื้นที่หน้าตัดของวงแหวนลูกสูบ ($cm^2$)

$$= (D^2 - d^2)\frac{\pi}{4}$$

D คือเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ (mm)

d คือเส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ (mm)

**ตัวอย่างที่ 7.4 การคำนวณหาความเร็วลูกสูบ**

กระบอกสูบชนิดทำงานสองทางตัวหนึ่ง มีค่าต่าง ๆ ดังนี้

เส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ (D) = 50 มิลลิเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ (d) = 20 มิลลิเมตร

ปริมาณการไหลของน้ำมันที่เข้าไปในลูกสูบ (Q) = 7 ลิตร/นาที

ความเร็วลูกสูบ (V) มีค่าเท่าไร

**การคำนวณ**

พื้นที่หน้าตัดลูกสูบ

$$A = D^2 \cdot \frac{\pi}{4} = (5)^2 \ cm^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 19.63 \ cm^2$$

พื้นที่หน้าตัดของวงแหวนลูกสูบ

$$A' = (D^2 - d^2) \cdot \frac{\pi}{4} = [(5)^2 \ cm^2 - (2.0)^2 \ cm^2]\frac{\pi}{4} = 16.49 \ cm^2$$

ความเร็วลูกสูบในจังหวะลูกสูบเลื่อนออก

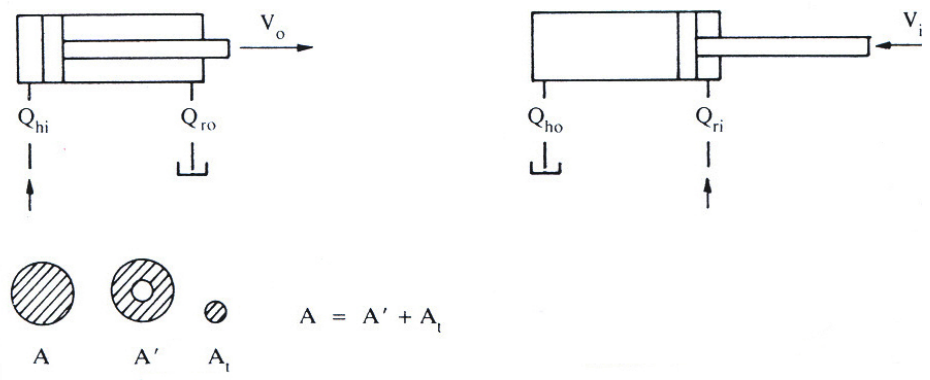
$$V_o = \frac{Q}{A} = \frac{7l/\min \cdot 10}{19.63cm^2} \approx 3.56 \text{ m/min}$$

ความเร็วลูกสูบในจังหวะลูกสูบเลื่อนเข้า

$$V_i = \frac{Q}{A} = \frac{7l/\min \cdot 10}{16.49cm^2} \approx 6.6 \text{ m/min}$$

คำอธิบายเกี่ยวกับปริมาณการไหลของน้ำมันที่เข้าไปในกระบอกสูบ (quantity flow) หมายถึง ปริมาณน้ำมันที่ส่งจ่ายออกมาจากปั๊ม ซึ่งเราสามารถดูได้จากสเปคของบริษัทผู้ผลิตหรือโดยการวัดด้วยถ้วยตวง ในกรณีนี้ต้องพิจารณาด้วยว่าไม่มีน้ำมันที่ส่งมาจากปั๊มไหลไปทางอื่นเลย ถ้ามีทางแยกของน้ำมันที่ส่งจากปั๊มไหลผ่านไปส่วนอื่น ๆ เราจะนำเอาค่าของปริมาณน้ำมันที่ส่งจ่ายจากปั๊ม คิดเป็นปริมารการไหลของน้ำมันที่เข้าไปในกระบอกสูบไม่ได้

จากสูตรการคำนวณหาความเร็วกระบอกสูบที่กล่าวมาข้างต้น ใช้ในกรณีที่ทราบค่าตัวแปรต่าง ๆ ครบถ้วน แต่บางกรณีถ้าเราไม่ทราบค่าตัวแปรเหล่านั้นเรายังสามารถพลิกแพลงสูตรต่าง ๆ ได้อีกเพื่อให้สามารถคำนวณหาความเร็วลูกสูบได้กว้างขวางขึ้น




จากสูตรเดิม

$$V = \frac{Q}{A}$$

สามารถแปลงสูตรใหม่ได้ดังนี้

$$V_O = \frac{Q_{hi}}{A} = \frac{Q_{ro}}{A'}$$

$$V_i = \frac{Q_{ri}}{A'} = \frac{Q_{ho}}{A}$$

เมื่อ Q ย่อมาจาก quantity Flow

h ย่อมาจาก head

r ย่อมาจาก ring

i ย่อมาจาก in

o ย่อมาจาก out

A ย่อมาจาก area

ฉะนั้น $V_O$ คือความเร็วที่ลูกสูบเลื่อนออก (m/min)

$V_i$ คือความเร็วที่ลูกสูบเลื่อนเข้า (m/min)

$Q_{hi}$ คือปริมาณการไหลของน้ำมันที่ไหลเข้าด้านหัวลูกสูบ (l/min)

$Q_{ho}$ คือปริมาณการไหลของน้ำมันที่ไหลออกด้านหัวลูกสูบ (l/min)

$Q_{ri}$ คือปริมาณการไหลของน้ำมันที่ไหลเข้าด้านพื้นที่วงแหวน (ด้านก้านสูบ) (l/min)

$Q_{ro}$ คือปริมาณการไหลของน้ำมันที่ไหลออกจากด้านพื้นที่วงแหวน (ด้านก้านสูบ) (l/min)

A คือพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบ ($cm^2$)

$A^{/}$ คือพื้นที่หน้าตัดของวงแหวนลูกสูบ (ด้านก้านสูบ) ($cm^2$)

$A_t$ คือพื้นที่หน้าตัดของก้านสูบ ($cm^2$)

**ตัวอย่างที่ 7.5** จงเลือกความเร็วเคลื่อนที่ออกของก้านสูบ 3 ขั้นความเร็ว โดยมีอัตราการไหลของปั๊ม 40 ลิตรต่อนาที พื้นที่หน้าตัดลูกสูบ 100 ตารางเซนติเมตร พื้นที่หน้าตัดของก้านสูบ 60 ตารางเซนติเมตร วาล์ว $Q_1$ ให้น้ำมันไหลผ่าน 10 ลิตรต่อนาที วาล์ว $Q_2$ ให้น้ำมันไหลผ่าน 2 ลิตรต่อนาที จงคำนวณหาความเร็วในการเคลื่อนที่ออกและเข้าของก้านสูบดัง

ภาพที่ 7.4 วงจรการเคลื่อนที่ออก 3 ขั้นความเร็ว

ที่มา (มนตรี โชติวรวิทย์ และชนินทร์ นุ่มศิริ, 2545, หน้า 196)

**การคำนวณ**

จากสูตร $V = \frac{Q}{A}$

หาความเร็วในการเคลื่อนที่ออกเร็วที่สุด

$$Vomax = \frac{Q_{hi}}{A} = \frac{Q_{ro}}{A'}$$

$$= \frac{Qhi}{A} = \frac{40x10}{100} = 4 \text{ m/min}$$

หาความเร็วในการเคลื่อนที่ออกปานกลาง

$$Vomed = \frac{Q_{ro}}{A'} = \frac{Q_1}{A'}$$

$$= \frac{10x10}{40} = 2.5 \text{ m/min}$$

หาความเร็วในการเคลื่อนที่ออกช้าที่สุด

$$Vomin = \frac{Q_{ro}}{A'} = \frac{Q_2}{A'}$$

$$= \frac{2 \times 10}{(100-60)} = \frac{20}{40} = 0.5 \text{ m/min}$$

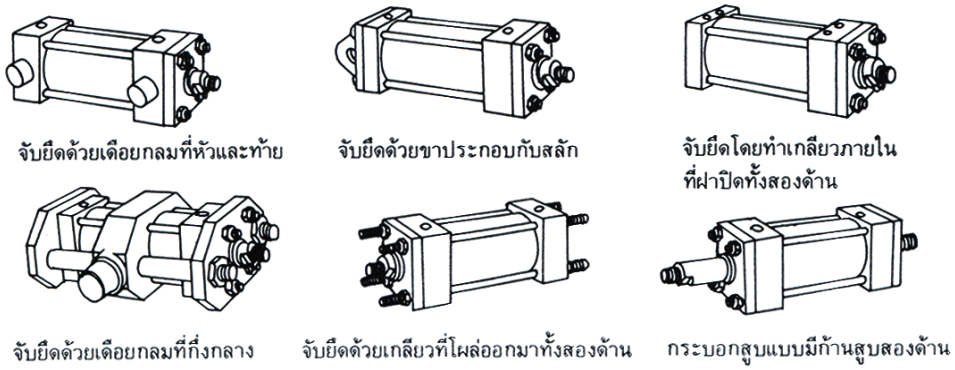
หาความเร็วในการเคลื่อนที่เข้า

$$Vi = \frac{Q_{ri}}{A'} = \frac{OP}{A'}$$

$$= \frac{40x10}{40} = 10 \text{ m/min}$$

## การติดตั้งจับยึดกระบอกสูบ

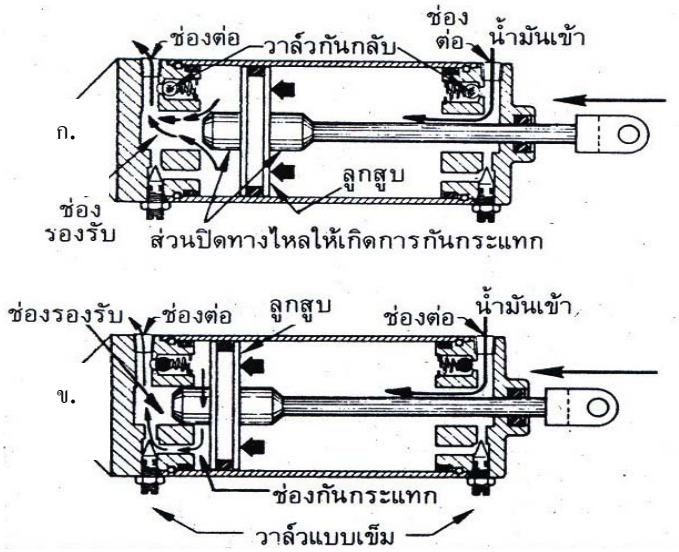
กระบอกสูบที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่แล้วจะเป็นแบบที่มีฝาปิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสทั้งสองด้านยึดประกอบกันด้วยสลักเกลียวสี่ตัวซึ่งกระบอกสูบชนิดนี้สามารถถอดหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ภายในได้สะดวกรวดเร็ว ซึ่งขวัญชัย สินทิพย์สมบูรณ์, และปานเพชร ชินินทร (2539, หน้า 288) กล่าวว่า สำหรับฐานติดตั้งเพื่อให้กระบอกสูบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นจะมีหลายลักษณะขึ้นอยู่กับการใช้งาน และสภาพรอบ ๆ ด้านของกระบอกสูบว่าสามารถจับยึดด้วยวิธีการใด




ภาพที่ 7.5 การติดตั้งจับยึดกระบอกสูบแบบต่าง ๆ

ที่มา (ขวัญชัย สินทิพย์สมบูรณ์ และปานเพชร ชินินทร, 2539, หน้า 288)

**กระบอกสูบกันกระแทก** (cushioned cylinder) กระบอกสูบส่วนใหญ่ไม่ว่าจะใช้กับระบบลมหรือระบบไฮดรอลิกส์อาจมีอุปกรณ์กันกระแทกไว้ที่ปลายกระบอกสูบด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้านเพื่อช่วยลดความเร็วหรือลดอัตราหน่วงของลูกสูบเมื่อสุดระยะชัก เป็นการป้องกันการกระแทกที่เกิดขึ้นระหว่างลูกสูบกับฝาปิด โดยการใช้วาล์วแบบเข็มและวาล์วกันกลับทำให้เกิดเบาะน้ำมันขึ้นมาระหว่างลูกสูบกับฝาปิด น้ำมันข้างที่มีความดันสูงก็จะดันลูกสูบให้เคลื่อนที่ต่อไปด้วยความลำบากจะเป็นการหน่วงความเร็วของลูกสูบลงตอนใกล้สุดระยะชัก ทำให้ไม่เกิดกระแทกขึ้นดังแสดงในภาพที่ 7.4 โดยทั่วไประยะกันกระแทกจะอยู่ระหว่าง $\frac{7}{8} - 2\frac{1}{4}$ นิ้ว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ




ภาพที่ 7.6 กระบอกสูบกันกระแทก

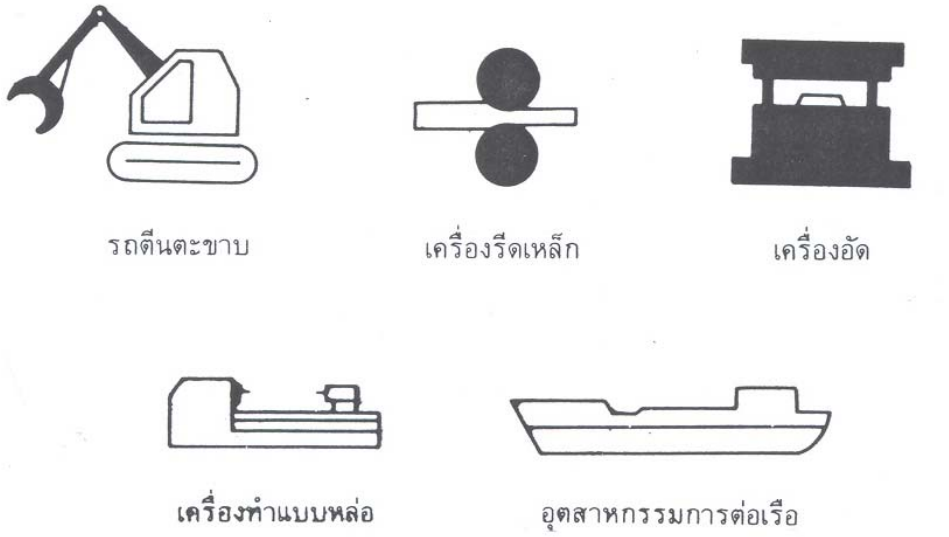
ที่มา (ขวัญชัย สินทิพย์สมบูรณ์ และปานเพชร ชินินทร, 2539, หน้า 298)

จากภาพที่ 7.6 (ก) และ (ข) แสดงกระบอกสูบที่มีวาล์วเข็มใช้ทำให้เกิดเบาะน้ำมันกันกระแทกทั้งสองด้าน เมื่อก้านสูบเลื่อนไปถึงช่องกันกระแทก น้ำมันส่วนที่อยู่หน้าลูกสูบจะถูกดันให้ออกทางวาล์วเข็ม (ซึ่งสามารถจะปรับได้ตามต้องการ) ความเร็วของลูกสูบก็จะถูกหน่วงให้ลดลงตอนใกล้สุดระยะชัก

เมื่อน้ำมันเริ่มผ่านเข้ากระบอกสูบเพื่อดันให้ก้านสูบเลื่อนกลับ น้ำมันจะไหลเข้าทางวาล์วกันกลับและวาล์วเข็มได้ทำให้เกิดความดันของน้ำมันที่ไปกระทำต่อผิวหน้าลูกสูบได้เต็มเนื้อที่ เพราะวาล์วกันกลับนี้มีหน้าที่ทำให้น้ำมันไหลเข้ากระบอกสูบได้อย่างเต็มที่ ก้านสูบก็เลื่อนได้เต็มความเร็วดังภาพที่ 7.6 (ก) น้ำมันยังถูกระบายออกไปได้อย่างอิสระ เพราะส่วนปิดทางไหลก่อนสุดระยะชัก (cushion nose) ยังเลื่อนไม่ถึงช่องรองรับ (cushion recess) ส่วนปิดทางไหลแต่เมื่อส่วนปิดทางไหลเลื่อนไปอีกจนถึงช่องรองรับดังภาพที่ 7.6 (ข) น้ำมันส่วนที่เหลือก็จะไหลผ่านทางช่องนี้ไม่ได้ น้ำมันส่วนนี้ก็จะเป็นเบาะเพื่อกันการกระแทกได้ บริเวณนี้จึงเรียกว่าช่องกันกระแทก (cushion chamber) หรือช่องเบาะน้ำมันนั่นเองและน้ำมันส่วนนี้จะถูกดันให้ค่อย ๆ ไหลออกไปทางวาล์วเข็มโดยสามารถปรับปริมาณการไหลที่วาล์วเข็มได้เพื่อให้เกิดการกระแทกมากหรือน้อย

## มอเตอร์ไฮดรอลิกส์

มอเตอร์ไฮดรอลิกส์ทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนกำลังงานไฮดรอลิกส์ให้เป็นกำลังงานกลออกมาในรูปของการหมุน มีขนาดรูปร่างลักษณะและสัญลักษณ์คล้ายกันกับปั๊มน้ำมันไฮดรอลิกส์ต่างกันที่ปั๊มน้ำมันไฮดรอลิกส์รับการหมุนจากมอเตอร์ไฟฟ้าทำให้เกิดการส่งจ่ายน้ำมันออกไป แต่มอเตอร์ไฮดรอลิกส์รับน้ำมันเข้ามาทำให้เกิดการหมุน ซึ่ง มนตรี โชติวรวิทย์ และชนินทร์ นุ่มศิริ (2536, หน้า 110) กล่าวว่า แรงบิดของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดและความดันของน้ำมัน มอเตอร์ไฮดรอลิกส์จะถูกนำไปใช้งานในลักษณะของการหมุนที่ต้องการแรงบิดสูง ๆ แต่รอบต่ำ เช่น เป็นตัวขับเคลื่อนล้อรถตีนตะขาบ ขับลูกกลิ้งงานรีดในโรงงานผลิตเหล็กหรือโรงโม่ ในงานสร้างเครื่องจักรกลหนักและเครื่องอัด เป็นตัวขับเพลาในงานฉีดและเครื่องทำแบบหล่อ กว้านสมอเรือเดินทะเลหรือใช้ขับเคลื่อนเครื่องจักรกลในอุตสาหกรรมการต่อเรือ




ภาพที่ 7.7 การนำมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ไปใช้งานอุตสาหกรรม
ที่มา (มนตรี โชติวรวิทย์, 2536, หน้า 110)

**1. มอเตอร์ไฮดรอลิกส์ชนิดหมุนทางเดียว** ที่ตัวอุปกรณ์จะมีรูอยู่ 2 รู ถ้าให้น้ำมันเข้ารูหนึ่งอีกรูหนึ่งให้น้ำมันไหลออกไปลงถังจะทำให้เกิดการหมุน

**2. มอเตอร์ไฮดรอลิกส์ชนิดหมุนได้สองทาง** ที่ตัวอุปกรณ์มีรูอยู่ 2 รู เช่นเดียวกับชนิดหมุนทางเดียว ถ้าสลับทิศทางเข้า-ออกของน้ำมันทิศทางของการหมุนก็จะเปลี่ยนแปลง

**ภาพโครงสร้างและการทำงานของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์แบบ cam-type axial-piston motor**
ส่วนประกอบ ดังแสดงในภาพที่ 7.8

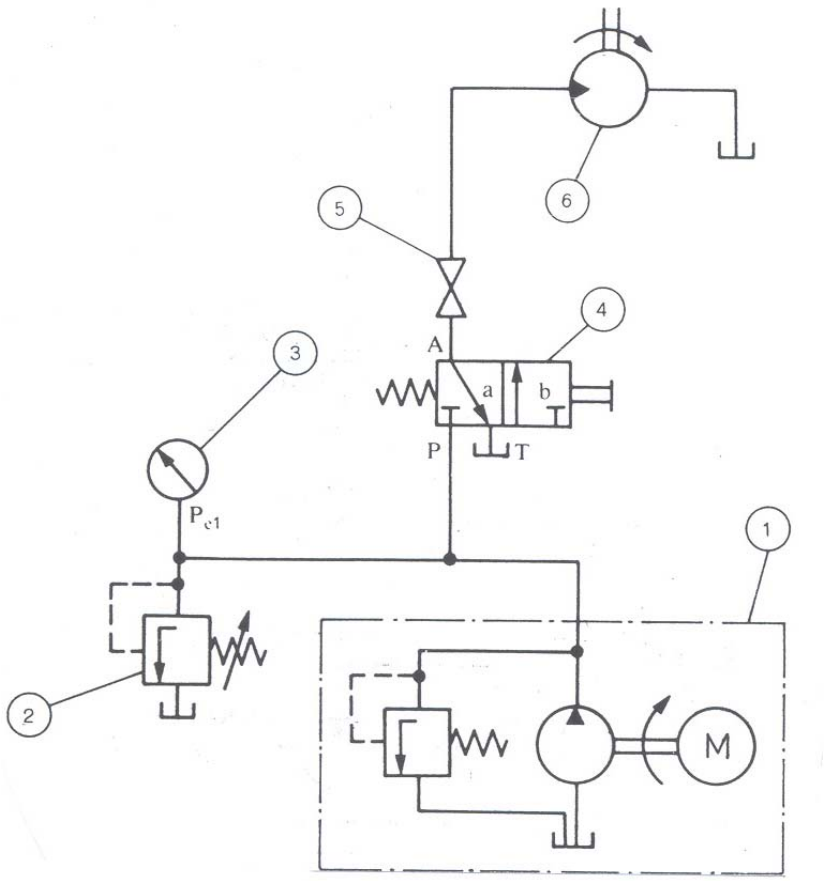
1. แผ่นลูกเบี้ยว
2. บริเวณที่ปิดลูกสูบด้านบน
3. ตำแหน่งกึ่งกลาง
4. บริเวณที่น้ำมันเข้า

5. บริเวณที่น้ำมันออก

ภาพที่ 7.8 โครงสร้างมอเตอร์ไฮดรอลิกส์
ที่มา (มนตรี โชติวรวิทย์ และชนินทร์ นุ่มศิริ, 2545, หน้า 112)

การทำงาน พิจารณาภาพที่ 7.8 ได้ดังนี้ แผ่นลูกเบี้ยว (หมายเลข 1) จะเป็นตัวแยกทางน้ำมันเข้า (หมายเลข 4) และทางน้ำมันออก (หมายเลข 5) ให้อยู่คนละข้างลูกสูบซึ่งสวมอยู่ในลูกโม่จะถูกน้ำมันจากช่องที่ 4 ดันให้เลื่อนลง เมื่อลูกสูบเลื่อนลงไปตามแผ่นเอียงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของลูกโม่ไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา เมื่อลูกสูบเคลื่อนตัวไปพร้อมกับลูกโม่ถึงตำแหน่งหมายเลข 3 จะไม่มีแรงดันพอเลยมาถึงตำแหน่งหมายเลข 5 ลูกสูบจะถูกยกตัวขึ้นตามแผ่นเอียง น้ำมันจะไหลผ่านออกไปทางตำแหน่งหมายเลข 5 ในเวลาเดียวกันลูกสูบอื่น ๆ จะเข้ามารับน้ำมันที่ตำแหน่งหมายเลข 4 ซึ่งจะเป็นการผลักดันให้ลูกโม่หมุนไปเรื่อย ๆ โดยที่ลูกโม่มีแกนเพลาติดอยู่ ฉะนั้นเมื่อลูกโม่หมุนแกนเพลาจะหมุนตามไปด้วย จากแกนเพลานี้ นำเอาการหมุนไปต่อเข้ากับชิ้นงาน ถ้าจำนวนลูกสูบมากพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบแต่ละลูกมากและน้ำมันที่เข้ามาในช่องที่ 4 มีแรงดันสูงจะทำให้แรงบิดที่เพลางานสูงตามไปด้วย

**วงจรที่ 7.1** เป็นวงจรที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ชนิดหมุนทางเดียว วาล์วที่ใช้ในการควบคุมต้องใช้ชนิด 3/2 (3/2 way valve normally closed) ดังแสดงในภาพที่ 7.9




ภาพที่ 7.9 แสดงแผนภาพวงจรที่ 7.1

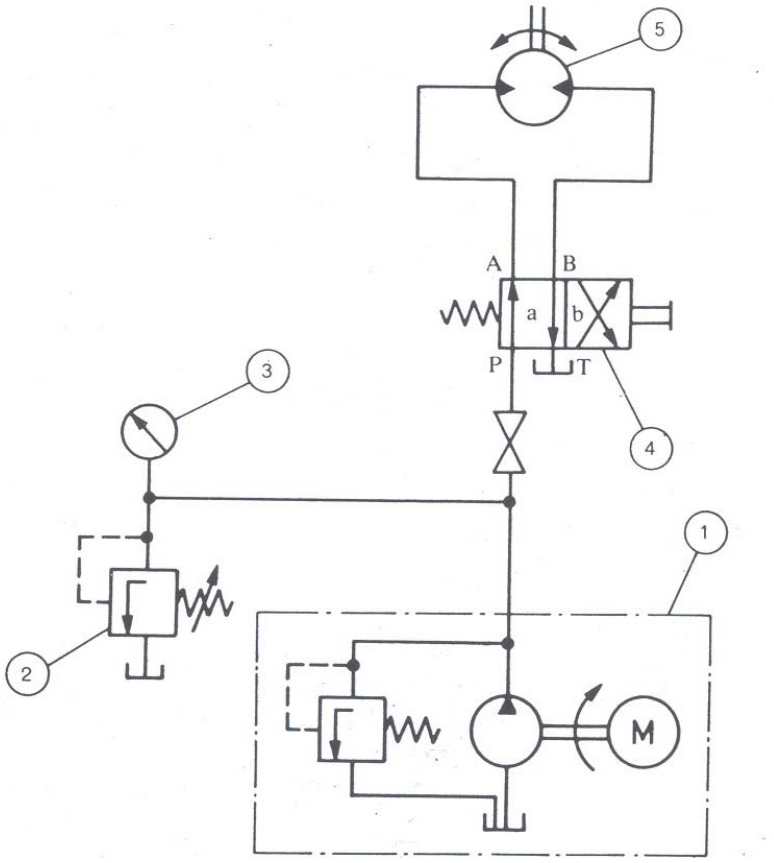
ที่มา (มนตรี โชติวรวิทย์ และชนินทร์ นุ่มศิริ, 2545, หน้า 113)

**อุปกรณ์ประกอบด้วย**

1. ชุดต้นกำลังไฮดรอลิกส์
2. วาล์วควบคุมความดันน้ำมัน
3. เกจวัดความดัน
4. วาล์วควบคุมทิศทางน้ำมันชนิด 3/2 ตำแหน่งปกติปิด
5. วาล์วเปิด - ปิด
6. มอเตอร์ไฮดรอลิกส์ชนิดหมุนทางเดียว

**ข้อสังเกต** วาล์วเปิด-ปิด ใช้แทนวาล์วควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ให้ช้าลงได้โดยการเปิดกว้างหรือแคบเพื่อให้อัตราการไหลของน้ำมันไหลผ่านไปได้มากหรือน้อย

**วงจรที่ 7.2** วงจรการควบคุมมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ชนิดหมุนได้สองทางด้วยวาล์วควบคุมทิศทางชนิด 4/2 (4/2 way valve) ดังแสดงในภาพที่ 7.10



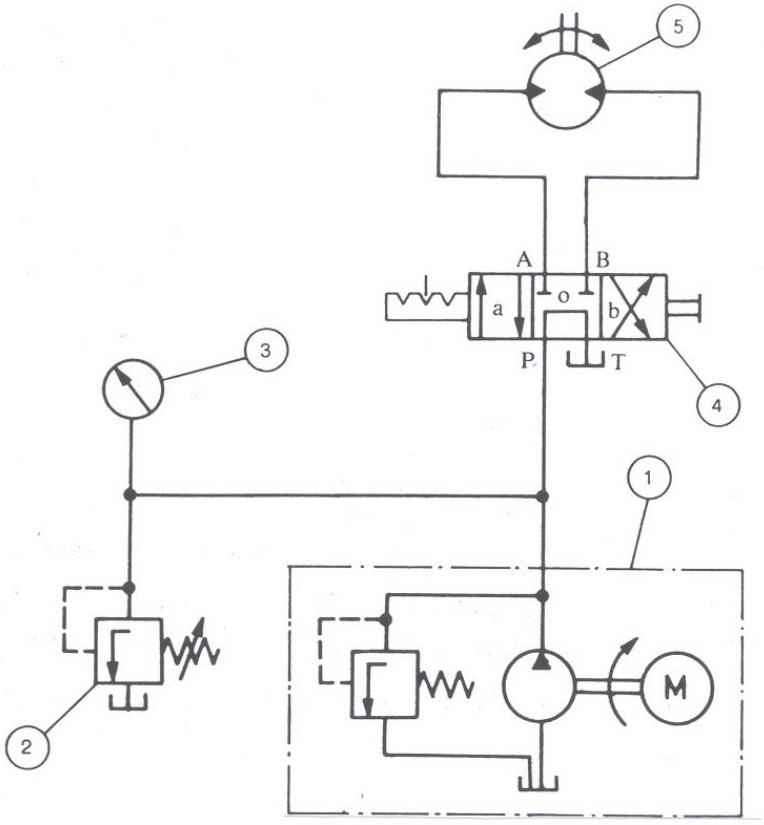

ภาพที่ 7.9 แสดงแผนภาพวงจรที่ 7.10
ที่มา (มนตรี โชติวรวิทย์ และชนินทร์ นุ่มศิริ, 2545, หน้า 114)

**อุปกรณ์ประกอบด้วย**

1. ชุดต้นกำลังไฮดรอลิกส์
2. วาล์วควบคุมความดันน้ำมัน
3. เกจวัดความดัน
4. วาล์วควบคุมทิศทางน้ำมันชนิด 4/2
5. มอเตอร์ไฮดรอลิกส์ชนิดหมุนได้สองทาง

**ข้อสังเกต** วงจรนี้ปกติมอเตอร์ไฮดรอลิกส์จะหมุนอยู่ตลอดเวลาถ้าหากเรากดวาล์วควบคุมทิศทางน้ำมัน (4) มอเตอร์ไฮดรอลิกส์จะหมุนเปลี่ยนทิศทางได้อย่างทันทีทันใด

**วงจรที่ 7.3** วงจรควบคุมมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ชนิดหมุนได้สองทางด้วยวาล์วควบคุมทิศทางชนิด 4/3 (4/3 way valve) ดังแสดงในภาพที่ 7.11




ภาพที่ 7.11 แสดงแผนภาพวงจรที่ 7.3

ที่มา (มนตรี โชติวรวิทย์ และชนินทร์ นุ่มศิริ, 2545, หน้า 115)

**อุปกรณ์ประกอบด้วย**

1. ชุดต้นกำลังไฮดรอลิกส์
2. วาล์วควบคุมความดันน้ำมัน
3. เกจวัดความดัน
4. วาล์วควบคุมทิศทางน้ำมันชนิด 4/3
5. มอเตอร์ไฮดรอลิกส์ชนิดหมุนได้สองทาง

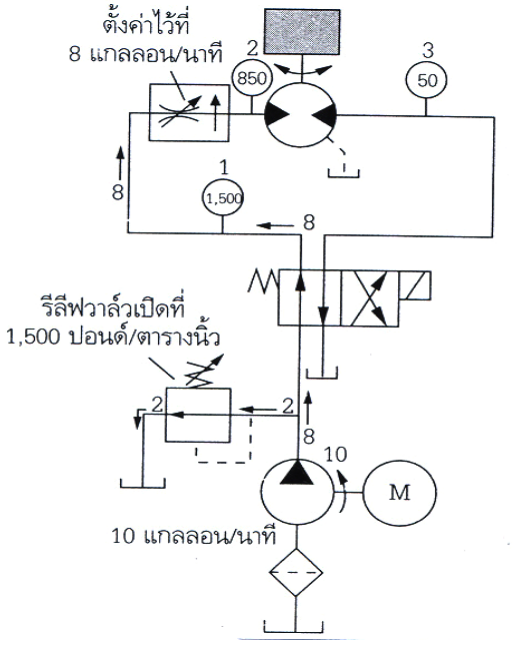
**ข้อสังเกต** วงจรนี้ปกติมอเตอร์ไฮดรอลิกส์จะหยุดหมุนเพราะน้ำมันจากชุดต้นกำลังจะผ่านไปยังอุปกรณ์ผ่านไปลงถังทางอุปกรณ์หมายเลข (4)

## การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์จะขึ้นอยู่กับน้ำมันที่เข้าไปในมอเตอร์ เพื่อทำให้หมุนที่ความเร็วสูงหรือความเร็วต่ำได้ เช่น น้ำมันเข้าไปเท่ากับ 5 แกลลอน/นาที ก็จะได้ค่าความเร็วค่าหนึ่งแต่ถ้าให้อัตราการไหลของน้ำมันเพิ่มขึ้นที่ 10 แกลลอน/นาที ก็จะได้ค่าความเร็วมากขึ้นเป็น 2 เท่า เป็นต้น ซึ่งณรงค์ ตันชีวะวงศ์ (2544 , หน้า 123-124) กล่าวว่า การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์นั้นกระทำได้โดยการใช้วาล์วควบคุมความเร็ว (flow control valve) ด้วยวิธีการควบคุม 3 วิธี คือ การควบคุมแบบมิเตอร์-อิน การควบคุมแบบมิเตอร์-เอาท์ และการควบคุมแบบบลีด-ออฟ วิธีควบคุมแบบบลีด-ออฟจะเป็นวิธีที่ทำให้เกิดความร้อนในระบบน้อยที่สุด แต่ได้ความแม่นยำน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ 2 วิธีแรก เพราะเป็นวิธีควบคุมในทางอ้อม (indirect) ไม่สามารถใช้วิธีชดเชยความดัน (pressure compensate) ได้ การใช้วิธีควบคุมแบบบลีด-ออฟมักจะใช้ควบคุมวงจรในกรณีที่ไม่ต้องการความแม่นยำมากนัก

### การควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบมิเตอร์-อิน (Meter - in)

ตำแหน่งการติดตั้งของวาล์วควบคุมความเร็วชนิดชดเชยความดันแบบมิเตอร์-อิน จะติดตั้งอยู่ในตำแหน่งก่อนน้ำมันเข้ามอเตอร์

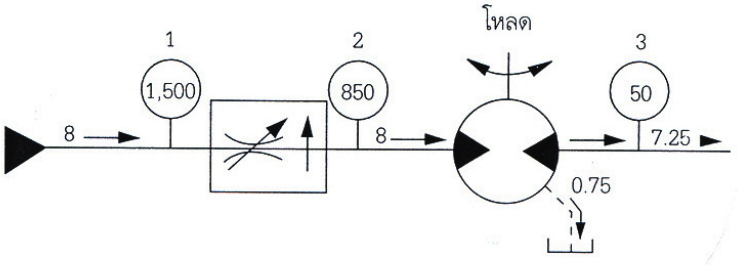



ภาพที่ 7.12 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบมิเตอร์-อิน
ที่มา (ณรงค์ ตันชีวะวงศ์, 2544, หน้า 124)

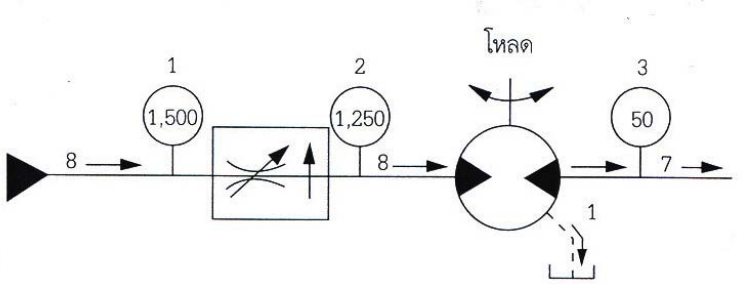
จากภาพที่ 7.12 สมมติให้ภาระของมอเตอร์ต้องการความดัน 800 ปอนด์/ตารางนิ้ว เพื่อขับภาระที่มีความดันย้อนกลับ (back pressure) เท่ากับ 50 ปอนด์/ตารางนิ้ว ความดันในระบบที่ตั้งค่าไว้ที่รีลีฟวาล์ว 1,500 ปอนด์/ตารางนิ้ว ส่วนปั๊มส่งน้ำมันได้ 10 แกลลอน/นาที และวาล์วควบคุมการไหลปรับให้น้ำมันผ่านไปได้ 8 แกลลอน/นาที

เมื่อปั๊มเริ่มต้นทำงาน วัดได้จากเกจวัดความดัน 1 ได้เท่ากับ 1,500 ปอนด์/ตารางนิ้ว ซึ่งเป็นค่าความดันของระบบส่วนเกจวัดค่าความดัน 2 เป็นค่าความดันที่ภาระต้องการคือ 800 ปอนด์/ตารางนิ้ว และบวกด้วยค่าความดันย้อนกลับอีก 50 ปอนด์/ตารางนิ้ว จึงอ่านค่าได้ 850 ปอนด์/ตารางนิ้ว และที่เกจวัดค่าความดัน 3 เป็นค่าความดันย้อนกลับ 50 ปอนด์/ตารางนิ้ว วาล์วควบคุมการไหลแบบชดเชยความดันจำกัดการไหลของน้ำมันที่ส่งมาจากปั๊มให้ผ่านออกไปได้ 8 แกลลอน/นาที แต่ปั๊มส่งน้ำมันออกได้ 10 แกลลอน/นาที ดังนั้นน้ำมันที่เหลือ 2 แกลลอน/นาที จึงต้องไหลลงถังน้ำมันทางรีลีฟวาล์ว

จากภาพที่ 7.13 จำนวนน้ำมันที่ส่งเข้าไปในมอเตอร์ 8 แกลลอน/นาที จะมีส่วนหนึ่งที่รั่วภายในมอเตอร์และสะสมรวมกันอยู่จึงจำเป็นต้องระบายทิ้งลงถังน้ำมัน ไม่เช่นนั้นจะต้านกับการหมุนของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ ดังนั้นมอเตอร์ไฮดรอลิกส์จึงต้องมีท่อต่อออกจากตัวมอเตอร์ การรั่วของน้ำมันเกิดจากช่องว่างของอุปกรณ์มีมากเกินไปอันเนื่องมาจากการใช้งานมานาน เช่น การรั่วจากใบเวนหรือเฟืองหรือจากลูกสูบกับกระบอกสูบ




ก. ความเร็วของมอเตอร์วัดจากการไหลของน้ำมัน



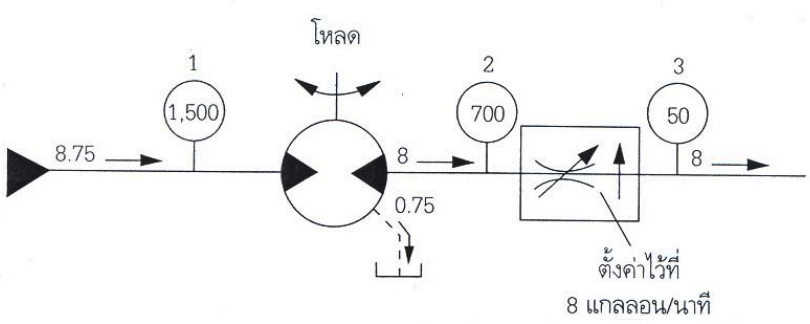

ข. ความเร็วของมอเตอร์ลดลงเมื่อภาระเพิ่มขึ้น

ภาพที่ 7.13 ความเร็วของมอเตอร์

ที่มา (ณรงค์ ตันชีวะวงศ์, 2544, หน้า 125)

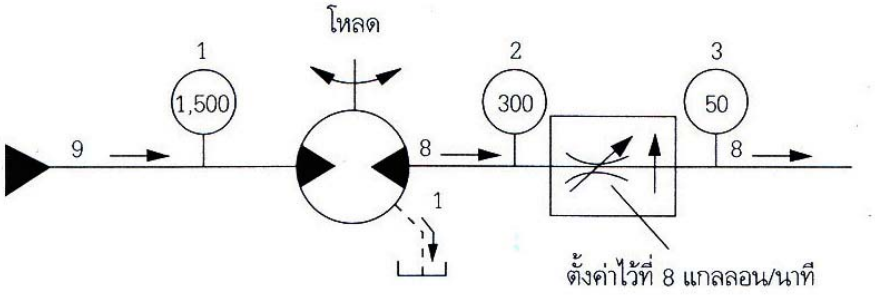
เมื่อมีน้ำมันไหลเข้าไปในมอเตอร์ไฮดรอลิกส์จำนวน 8 แกลลอน/นาที และเกิดการรั่วภายในเท่ากับ 0.75 แกลลอน/นาที ดังนั้นน้ำมันที่ออกจากมอเตอร์ไฮดรอลิกส์จึงเหลือ 7.25 แกลลอน/นาที เท่านั้นและค่าของน้ำมันที่ออกจากมอเตอร์นี้เป็นตัวชี้ถึงค่าความเร็วของมอเตอร์ คือ มอเตอร์มีความเร็วที่อัตราการไหลเท่ากับ 7.25 แกลลอน/นาที ถ้าความดันที่ต้องการขับภาระเพิ่มขึ้นเป็น 1,200 ปอนด์/ตารางนิ้ว บวกกับค่าความดันย้อนกลับอีก 50 ปอนด์/ตารางนิ้ว จึงเท่ากับ 1,250 ปอนด์/ตารางนิ้ว ก็จะทำให้ค่าการรั่วไหลภายในของน้ำมันยิ่งเพิ่มมากขึ้น (ความดันแตกต่างเพิ่มมากขึ้น) เช่น รั่วเพิ่มขึ้นเป็น 1 แกลลอน/นาที ดังภาพที่ 7.13 ดังนั้นน้ำมันที่ออกจากมอเตอร์ไฮดรอลิกส์จึงเหลือเท่ากับ 7 แกลลอน/นาทีเท่านั้น ทำให้ความเร็วลดลงเมื่อมีภาระเพิ่มขึ้น

**การควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบมิเตอร์ - เอาท์ (meter - out)**




ภาพที่ 7.14 การควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบมิเตอร์-เอาท์
ที่มา (ณรงค์ ตันชีวะวงศ์, 2544, หน้า 126)

วิธีการควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันที่เข้ามอเตอร์แบบมิเตอร์ – อิน ไม่ใช่วิธีที่จะได้ความเร็วของมอเตอร์ที่เป็นค่าละเอียดมากนัก เนื่องจากความต้านทานของภาระและค่าความดันแตกต่างมีการเปลี่ยนแปลง ถ้าต้องการค่าความละเอียดในการควบคุมความเร็วมากขึ้นให้ใช้วิธีการควบคุมแบบมิเตอร์ – เอาท์ ดังภาพที่ 7.14 วัดความดันที่เกจ 1 เท่ากับ 1,500 ปอนด์/ตารางนิ้ว ซึ่งมีค่าที่ตั้งไว้ที่ รีลีฟวาล์ว ที่เกจ 2 อ่านค่าความดันได้ 700 ปอนด์/ตารางนิ้ว ค่าความดันแตกต่าง (pressure differential) ที่ด้านทางออกของมอเตอร์ 800 ปอนด์/ตารางนิ้ว (1,500-700) น้ำมันเข้ามอเตอร์ 8.75 ปอนด์/ตารางนิ้ว รั่วภายในเท่ากับ 0.75 ปอนด์/ตารางนิ้ว จึงได้น้ำมันออกจากมอเตอร์ 8 แกลลอน/นาที ซึ่งเป็นค่าชี้ถึงความเร็วของมอเตอร์




ภาพที่ 7.15 การรั่วของน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่อความดันแตกต่างเพิ่มขึ้น
ที่มา (ณรงค์ ตันชีวะวงศ์, 2544, หน้า 126)

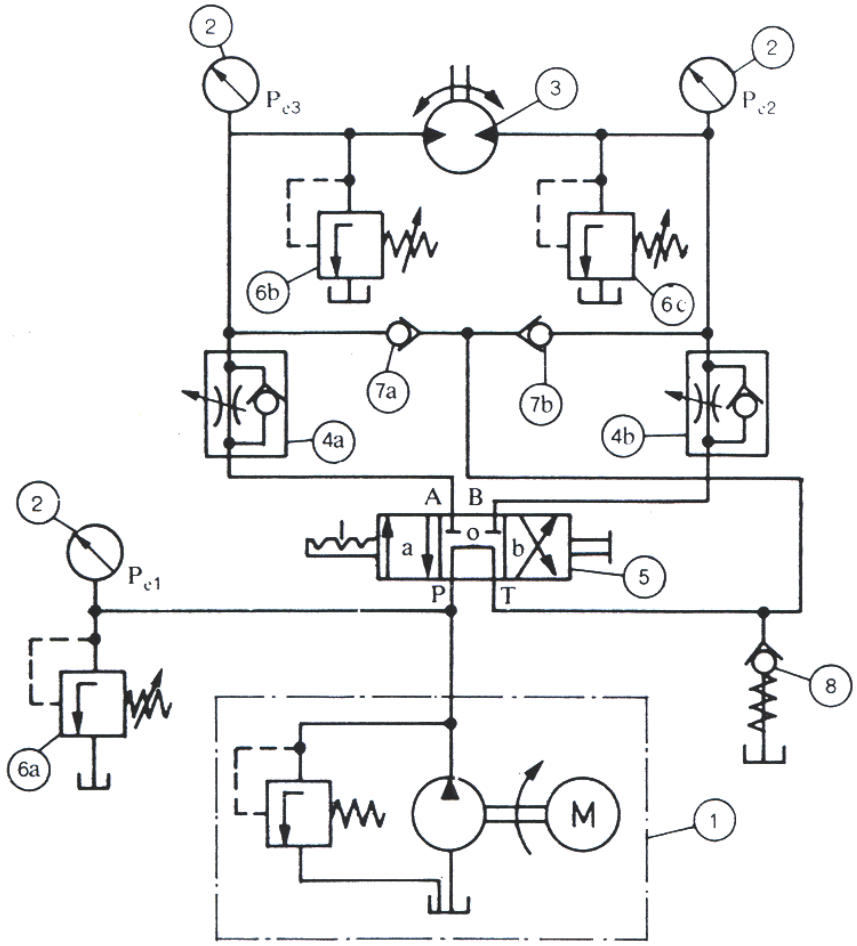
จากภาพที่ 7.15 เมื่อภาระเพิ่มขึ้นทำให้ต้องการความดันแตกต่างเพิ่มขึ้นเป็น 1,200 ปอนด์/ตารางนิ้ว เพื่อให้เท่ากับค่าความต้านทานของภาระที่เพิ่มขึ้น ที่เกจ 1 วัดค่าความดันได้ 1,500 ปอนด์/ตารางนิ้ว ที่เกจ 2 วัดความดันได้ลดลงเหลือ 300 ปอนด์/ตารางนิ้ว และที่เกจ 3 เท่ากับความดันน้ำมันลงถังน้ำมัน 50 ปอนด์/ตารางนิ้ว จะเห็นว่าการรั่วของน้ำมันเพิ่มขึ้น แต่จำนวนน้ำมันออกจากมอเตอร์ยังเท่าเดิม ดังนั้น ความเร็วยังคงเท่าเดิมเมื่อภาระยังไม่เพิ่มหรือยังเท่าเดิมเมื่อความดันแตกต่างเท่ากับ 800 ปอนด์/ตารางนิ้ว

## สรุป

อุปกรณ์ทำงานในระบบไฮดรอลิกส์จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักคือ กระบอกสูบ มอเตอร์ไฮดรอลิกส์ โดยกระบอกสูบจะเป็นตัวรับแรงดันน้ำมันมาจากปั๊มมาดันให้กระบอกสูบทำการเคลื่อนที่เพื่อให้เกิดงาน โดยอัตราการไหลของน้ำมันจะเป็นตัวกำหนดความเร็วของกระบอกสูบ ส่วนการเคลื่อนที่จะช้าหรือเร็วนั้นสามารถคำนวณหาความเร็วของลูกสูบได้ กระบอกสูบทั่ว ๆ ไปมี 2 แบบ คือ แบบทำงานทางเดียวและแบบทำงานสองทาง ส่วนมอเตอร์ไฮดรอลิกส์จะเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานไฮดรอลิกส์ให้เป็นกำลังงานกลอยู่ในรูปของการหมุนและจะถูกนำไปใช้งานในลักษณะของการหมุนที่ต้องการแรงบิดสูง ๆ เช่น เป็นตัวขับเคลื่อนล้อรถตีนตะขาบ ขับเครื่องจักรในงานอุตสาหกรรม การหมุนของมอเตอร์สามารถหมุนทั้งตามเข็มและทวนเข็มนาฬิกาซึ่งสามารถควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ได้

# แบบฝึกหัด

1. กระบอกสูบที่ใช้ในระบบไฮดรอลิกส์แบ่งออกเป็นกี่ประเภท แต่ละประเภทมีหลักการทำงานที่แตกต่างกันอย่างไร
2. วงจรไฮดรอลิกส์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบ 35 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางก้านสูบ 18 มิลลิเมตร โดยมีปริมาณการไหลของน้ำมันที่เข้าไปในกระบอกสูบจำนวน 5 ลิตร/นาที จงหาความเร็วของลูกสูบ
3. ไฮดรอลิกส์วงจรหนึ่งมีขนาดกระบอกสูบ 6.5 เซนติเมตร ความดันในการใช้งานของระบบ 3,500 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร จงหาแรงลูกสูบโดยใช้โนโมแกรม
4. จงอธิบายการทำงานของกระบอกสูบกันกระแทกของระบบไฮดรอลิกส์มาให้เข้าใจ
5. จงอธิบายหน้าที่ของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ และนำไปใช้กับงานชนิดใด
6. มอเตอร์ไฮดรอลิกส์ชนิดหมุนได้สองทางมีการทำงานอย่างไร
7. การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์มีกี่วิธี อะไรบ้าง
8. จงอธิบายการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฮดรอลิกส์แบบมิเตอร์-อิน มาให้เข้าใจ
9. จงอธิบายการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฮดรอลิกส์แบบมิเตอร์-เอาท์ มาให้เข้าใจ
10. จากภาพการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ชนิดหมุนได้ 2 ทิศทาง ในหน้าถัดไป จงตอบคำถามดังต่อไปนี้
    10.1 วาล์วหมายเลข (6a) มีชื่อเรียกว่าอะไรและมีการทำงานอย่างไร
    10.2 วาล์วหมายเลข (6b) และ (6c) มีชื่อเรียกว่าอะไรและมีหน้าที่อย่างไร
    10.3 ถ้าไม่มีวาล์วหมายเลข (6b) และ (6c) วงจรจะมีข้อเสียอย่างไรบ้าง




ภาพการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฮดรอลิกส์ชนิดหมุนได้ 2 ทิศทาง

# เอกสารอ้างอิง


ขวัญชัย สินทิพย์สมบูรณ์, และปานเพชร ชินินทร. (2539). **ไฮดรอลิกส์อุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.

ณรงค์ ตันชีวะวงศ์. (2540). **ระบบไฮดรอลิกส์.** กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

_____. (2544). **ไฮดรอลิกส์อุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

_____. (2547). **รวมวงจรนิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์.** กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

มนตรี โชติวรวิทย์, และชนินทร์ นุ่มศิริ. (2536). **ไฮดรอลิกส์.** กรุงเทพฯ:วิทยาลัยช่างกลปทุมวัน.

_____. (2545). **หลักการทำงานและเทคนิคการประยุกต์ใช้งานไฮดรอลิกส์.** กรุงเทพฯ: วิทยาลัยเทคนิคปทุมวัน.

Euthenic. (n.d.). **Duplomatic hydraulics.** Bangkok: n.p.

_____. (1992). **Collection of circuit exercises and solutions : hydraulics.** np.: n.p.