

## บทที่ 2

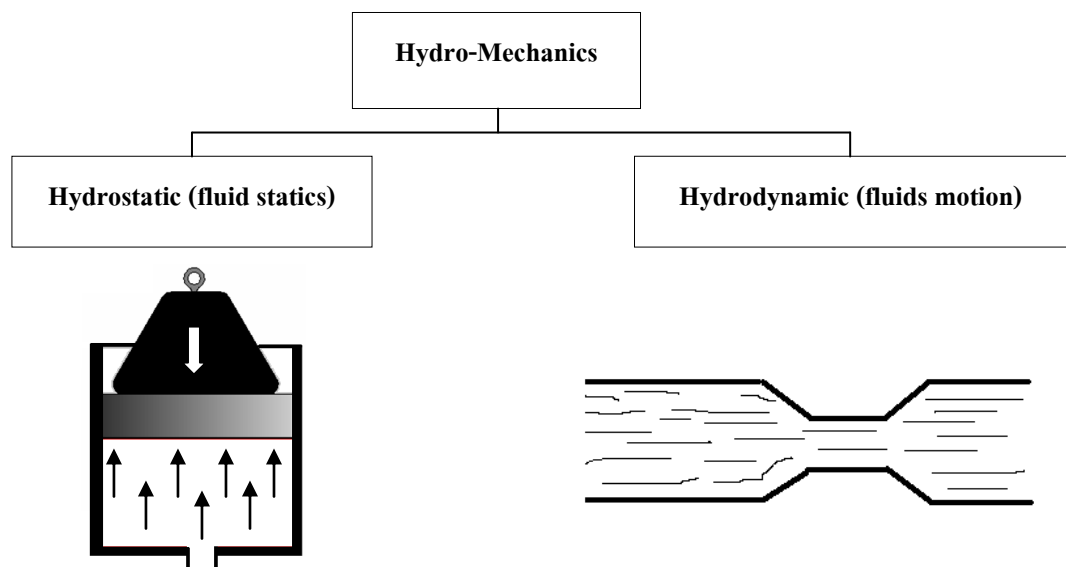
### หลักการพื้นฐานทางไฮดรอลิก

#### (Basic principle of Hydraulics)

ระบบไฮดรอลิกเป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับเรื่องของแรง,แรงบิด,ความดัน,อัตราการไหล,ความเร็ว,ความเร็วรอบ, กำลังงาน และกำลังงานสูญเสียเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นสิ่งสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการศึกษา และทำความเข้าใจกับธรรมชาติของระบบไฮดรอลิก คือ วิชาที่เกี่ยวกับของไหล อีกทั้งยังเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์และหาสาเหตุของความผิดปกติในระบบไฮดรอลิก เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นต่อไป ซึ่งปัจจัยต่างๆที่กล่าวมานั้นจะมีความสัมพันธ์กันอยู่ ดังนั้นจำเป็นต้องมีเครื่องมือการตรวจวัดต่างๆ เช่น เกจวัดความดัน,อัตราการไหล เป็นต้น ดังนั้นเนื้อหาในบทนี้จะเกี่ยวข้องกับเรื่องของแรง และความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความดัน , ความเร็วเชิงเส้นหรือเชิงมุมและความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นหรือเชิงมุมกับอัตราการไหล รวมถึงศึกษาเกี่ยวกับเครื่องมือวัด หน่วยที่ใช้ในการวัด ความสัมพันธ์ของหน่วยการวัด การควบคุมความดันและอัตราการไหล ประสิทธิภาพและการสูญเสียในระบบไฮดรอลิก เป็นต้น

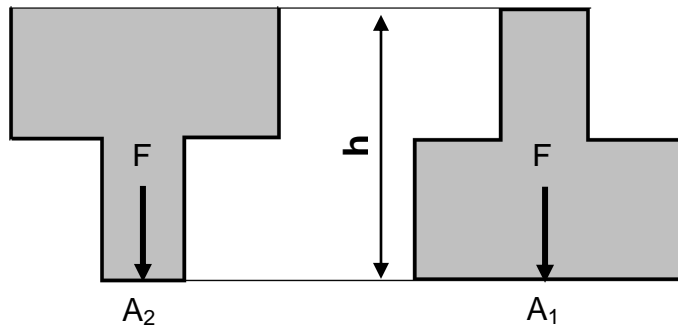
ดังนั้นในบทนี้จะแยกพิจารณาหัวข้อใหญ่ๆ ก็คือ สภาวะของไหลอยู่นิ่ง (Hydro static/ Fluid statics) ที่เกี่ยวข้องกับแรง แรงบิดและความดัน อีกสภาวะคือ สภาวะของไหลเคลื่อนที่ (Hydrodynamic/ Fluid motion) ที่เกี่ยวข้องกับอัตราการไหล

**2.1 กลศาสตร์ของไหล** เนื่องจากวิชาไฮดรอลิกเกี่ยวข้องกับการใช้แรงและกำลังงาน จำเป็นที่จะต้องมีการทบทวนความรู้พื้นฐานทางกลศาสตร์ก่อน เพื่อให้ทราบและเข้าใจเกี่ยวกับวิชาไฮดรอลิกมากขึ้น โดยหลักในการพิจารณาทางด้านฟิสิกส์ ไฮดรอลิก นั้นสามารถแยกพิจารณาได้ 2 อย่างคือ



ภาพที่ 2-1 ภาพแสดงประเภทของ Hydro mechanics

## 2.2 ความดันไฮโดรสแตติกส์ (Hydrostatic pressure)



ภาพที่ 2-2 Hydrostatic pressure

ความดันแบบไฮโดรสแตติกส์ หรือเรียกสั้นๆ ว่า “ความดัน” คือ แรงที่เกิดจากน้ำหนักของของไหลที่กดบนพื้นด้านล่างของภาชนะบรรจุของไหล โดยค่าของความดันของของไหลจะไม่ขึ้นกับลักษณะของภาชนะบรรจุ แต่จะขึ้นกับค่าของความสูง พื้นที่กั้นภาชนะและความหนาแน่นของของไหล ตามภาพที่ 2-2 อีกทั้งค่าของความดันยังขึ้นอยู่กับค่าของแรงดันเนื่องจากน้ำหนักของของไหล  $F$  ที่กระทำกับพื้นที่ที่ถูกกระทำ ตามภาชนะบรรจุของไหลหนึ่งชนิด จำนวน 2 ชิ้นจะมีค่าของพื้นที่ตรงกันภาชนะที่แตกต่างกัน ( $A_1$  และ  $A_2$ ) โดยจะให้แรงที่กระทำเนื่องจากน้ำหนักของของไหล ( $F$ ) กระทำที่พื้นที่กั้นภาชนะ จะพบว่าค่าความดัน จะมีค่าแตกต่างกันเนื่องจากความแตกต่างของพื้นที่กั้นภาชนะทั้งสอง โดยจะพบว่าในกรณีของพื้นที่กั้นภาชนะที่เล็กกว่า ( $A_2$ ) จะมีค่าความดันสูงกว่าภาชนะที่มีพื้นที่กั้นภาชนะที่ใหญ่กว่า

### 2.2.1 หน่วยของ แรง, งาน และกำลังงาน (The Unit of Force, Work and Power)

ในระบบไฮดรอลิก หรือระบบการวัดสิ่งที่สำคัญและเป็นตัวบ่งบอกถึงสิ่งที่กำลังพิจารณา ขนาด หรือปริมาณ ก็คือหน่วย โดยหน่วยที่ใช้จะมีหลากหลายหน่วยขึ้นอยู่กับประเทศนั้นๆ อีกชื่อหน่วยใดในการใช้งาน แต่หน่วยทุกหน่วยสามารถเทียบกันได้ โดยในบทนี้จะเริ่มที่หน่วยของ :

#### 2.2.1.1 แรง (Force: $F$ ) แบ่งพิจารณาเป็นแรงในแนวราบและแรงในแนวตั้ง

$$\text{แรง(force)} = \text{มวล (mass)} \times \text{ความเร่ง (acceleration)}$$

$$\text{แรง(force)} = \text{มวล (mass)} \times \text{ความเร่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก (gravity force)}$$

หากพิจารณาตาม International Systems of Units (SI Unit)

ดังนั้น **แรง 1 Newton = แรงที่กระทำให้อัตถุ 1 กิโลกรัม เกิดการเคลื่อนที่เป็นระยะทาง 1 เมตร โดยมี ความเร่ง 1 เมตร/วินาที<sup>2</sup>**

$$\text{Force } 1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kg.m}}{\text{s}^2}$$



แต่ถ้าหากเป็นแรงที่เกิดภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกหรือเป็นแรงที่เกิดจากน้ำหนักของมวล ซึ่งจะเรียกว่า กิโลกรัมแรง

$$\text{แรง(force)} = \text{มวล(mass)} \times \text{ความเร่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก(gravity force)}$$

เมื่อ ; Specific gravity (g) =  $9.81 \text{ m/s}^2$  ในระบบ SI แต่เพื่อให้่ายต่อการคำนวณจึงประมาณเป็น  $10 \text{ m/s}^2$   
=  $32.24 \text{ ft/s}^2$  ในระบบอังกฤษ

$$\text{Force (N)} = 1 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 = 9.81 \text{ N} \approx 10 \text{ N}$$

ซึ่งแรงที่เกิดขึ้นนั้นมิได้เกิดจากแรงภายนอกแต่เกิดจากน้ำหนักของมวล ซึ่งจะเรียกว่า กิโลกรัมแรง (Kilogram force: kgf)

$$9.81 \text{ N} = 1 \text{ kgf}$$

$$10 \text{ N} = 1 \text{ kgf}$$

### ระบบหน่วยของแรง(The unit of force)

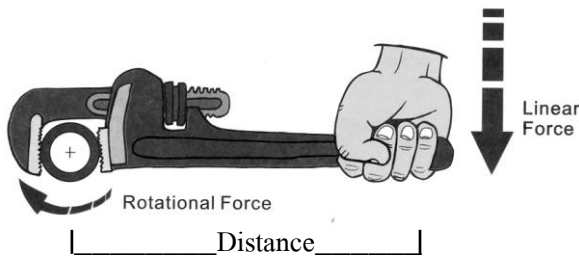
หน่วยของแรง(The unit of force)		
SI Unit	English Unit	Metric Unit
Newton(N)	Pound(lb) Pound mass(lbm) Pound force(lbf)	Kg force(kgf)

ตารางที่ 2-1 แสดงระบบหน่วยของแรงตามมาตรฐานต่างๆ

### 2.2.1.2 แรงบิดหรือทอร์ค (Torque)

แรงบิด หรือ ทอร์ค คือ แรงที่พยายามทำให้เกิดการหมุน หรือการบิดตัว โดยเกิดจากแรงในแนวเชิงเส้นกระทำตั้งฉากกับระยะทางจากจุดรับแรงไปยังจุดหมุน เช่น แรงที่ใช้ในการขันนัท โดยออกแรงกดที่ประแจและมีระยะทางจากนัทไปยังจุดที่มีมือออกแรงกด เป็นต้น

$$\text{แรงบิด(torque)} = \text{ปริมาณแรงที่กระทำตั้งฉาก (force) x ระยะจากจุดหมุนไปยังจุดรับแรง (distance)}$$



โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างระบบหน่วยดังต่อไปนี้ ;

$$\begin{aligned} 1 \text{ N}\cdot\text{m} &= 0.737561 \text{ lb}\cdot\text{ft} \\ &= 8.85075 \text{ lb}\cdot\text{inch} \\ &= 0.1019716 \text{ kgf}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

ภาพที่ 2-3 ภาพแสดงแรงกระทำกับประแจและเกิดแรงบิด

### ระบบหน่วยของแรงบิด(The unit of torque)

หน่วยของแรงบิด(The unit of torque)		
SI Unit	English Unit	Metric Unit
Newton-meter (N·m)	Pound-inch (lb·in) Pound-foot (lb·ft)	Kilogram force - meter( kgf·m)

ตารางที่ 2-2 แสดงระบบหน่วยของแรงบิดตามมาตรฐานต่างๆ

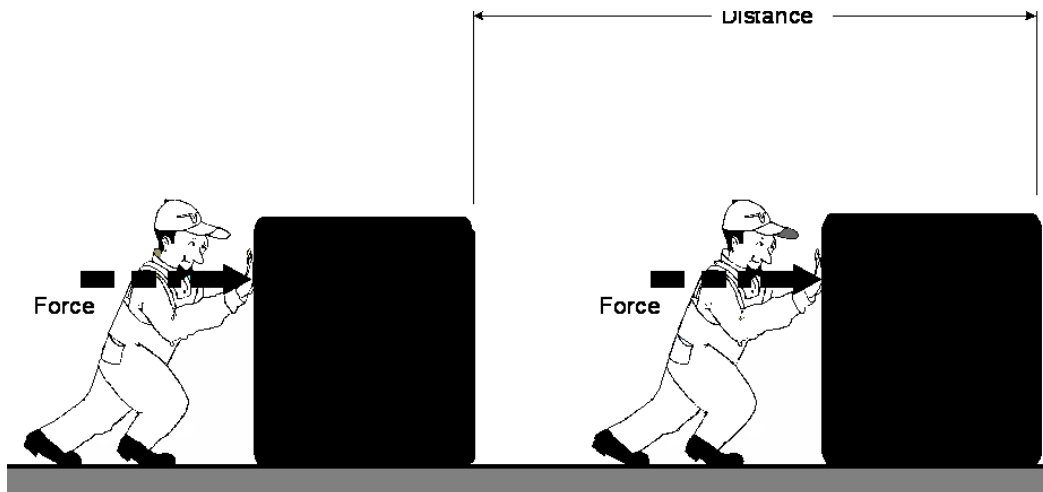
### 2.2.1.3 งาน (Work: W)

งานทางกลศาสตร์ คือ การที่แรงกระทำกับวัตถุในทิศทางการเคลื่อนที่ และวัตถุเกิดการเคลื่อนที่ หากไม่เกิดการเคลื่อนที่จะไม่ถือว่าเกิดงาน โดยสมการของงานจะเป็นไปตามนี้

$$\text{งาน (Work)} = \text{แรงในทิศทางเคลื่อนที่ (Force) x ระยะทางตามทิศทางที่ของแรง (Distance)}$$

โดยมีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$1 \text{ N}\cdot\text{m} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ J}$$



ภาพที่ 2-4 ภาพแสดงแรงกระทำกับวัตถุแล้วเกิดการเคลื่อนที่ และเกิดงาน

ระบบหน่วยของงาน(The unit of work)

หน่วยของงาน(The unit of work)		
SI Unit	English Unit	Metric Unit
Joule (J)	Pound. Inch (lb.in)	Kilogram force x centimeter( kgf.cm )
Newton. meter (N.m)	Pound.foot (lb.ft)	

ตารางที่ 2-3 แสดงระบบหน่วยของงานตามมาตรฐานต่างๆ

2.2.1.4 กำลังงาน (Power : P) กำลังงาน คือ อัตราการทำงาน หรืองานที่ได้เทียบกับเวลา ตามสมการต่อไปนี้

$$\text{กำลังงาน(Power)} = \frac{\text{งาน (Work)}}{\text{เวลา (Time)}}$$

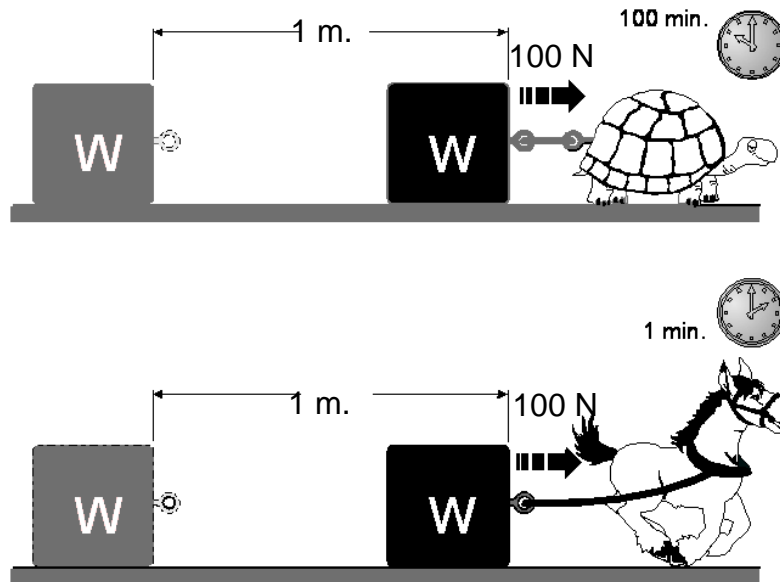
จากภาพที่ 2-5 เป็นการเปรียบเทียบกำลังงานจากต้นกำลังทั้งสอง

เช่น - กำลังที่ได้จากเต่า =  $\frac{100 \text{ N.m}}{100 \text{ min}} = 1 \text{ Nm/min}$

- กำลังงานที่ได้จากม้า =  $\frac{100 \text{ N.m}}{1 \text{ min}} = 100 \text{ Nm/min}$

โดยมีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ Nm/s}$$



ภาพที่ 2-5 ภาพแสดงกำลังงานระหว่างต้นกำลังทั้งสอง

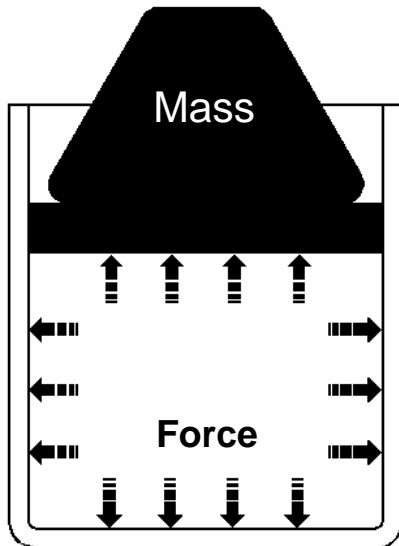
ระบบหน่วยของกำลังงาน (The unit of Power)

หน่วยของกำลังงาน(The unit of Power)		
SI Unit	English Unit	Metric Unit
Joule/Second(J/s)	Pound.inch/minute(lb.in/min)	Kilogram force /Second (kgf.cm /s)
Newton. Meter/Second (N.m/s)	Pound.foot/minute(lb.in/min)	

ตารางที่ 2-4 แสดงระบบหน่วยของกำลังงานตามมาตรฐานต่างๆ

### 2.2.1.5 ความดันจากทฤษฎี Pascal's law (Pa)

“ความดันในภาชนะปิดจะมีความดันเท่ากันทุกจุด ไม่ว่าจะวัดความดัน ณ จุดใดก็ตาม และภายใต้ความดัน จะเกิดแรงกระทำในแนวตั้งฉากกับทุกๆพื้นผิว ” จากทฤษฎีของ Pascal's law จะเป็นไปตามภาพต่อไปนี้



แรงที่เกิดจากน้ำหนักของวัตถุกระทำบนลูกสูบของภาชนะปิดที่มีของไหลอยู่ภายใน ซึ่งจะเกิดแรงที่กระทำในทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่เป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$\text{ความดัน(pressure)} = \frac{\text{แรง(Force)}}{\text{พื้นที่(Area)}}$$

จากทฤษฎีของ Pascal's law

$$1 \text{ Pascal (Pa)} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}^2}$$

ภาพที่ 2-6 ภาพแสดงแรงกระทำกับพื้นที่ภาชนะ

โดยมีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ Pascal}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ bar} &= 10^5 \text{ N/m}^2 \\ &= 10 \text{ N/cm}^2 \\ &= 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

$$1 \text{ bar} = 1.019716 \text{ kg./cm}^2$$

$$1 \text{ bar} = 14.504 \text{ psi}$$

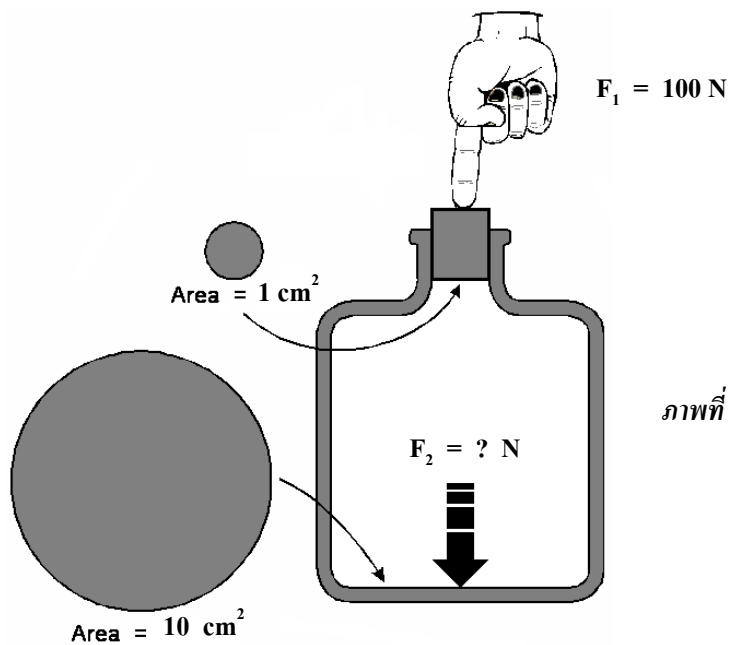
ระบบหน่วยของความดัน(The unit of Pressure)

หน่วยของความดัน(The unit of Pressure)		
SI Unit	English Unit	Metric Unit
N/m <sup>2</sup>	Lb/in <sup>2</sup>	Kg/m <sup>2</sup>

Pascal(Pa)	PSI	Kg/cm <sup>2</sup>
Bar		

ตารางที่ 2-5 แสดงระบบหน่วยของความดันตามมาตรฐานต่างๆ

**ตัวอย่างที่ 1** ออกแรงกดขนาด 0.1 KN (1 kg.) บนจุกขวดซึ่งมีพื้นที่รับแรงกด 1cm<sup>2</sup> จะทำให้ของเหลวในภาชนะมีความดันเท่าไรและมีแรง F<sub>2</sub> กระทำกับพื้นที่ก้นขวดขนาดเท่าไร



ภาพที่ 2-7 ความดันที่เกิดจากกฎของ  
Pascal's law

วิธีทำ

$$P = \frac{F}{A} = \frac{100 \text{ N}}{1 \text{ cm}^2} = 10 \text{ bar} \quad ; \text{ ซึ่งความดันในภาชนะปิดจะมีความดันเท่ากันทุกจุด}$$

$$F_2 = p \times A = 100 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \times 10 \text{ cm}^2 = 1000 \text{ N}$$

หมายเหตุ ; 1 bar = 10  $\frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$

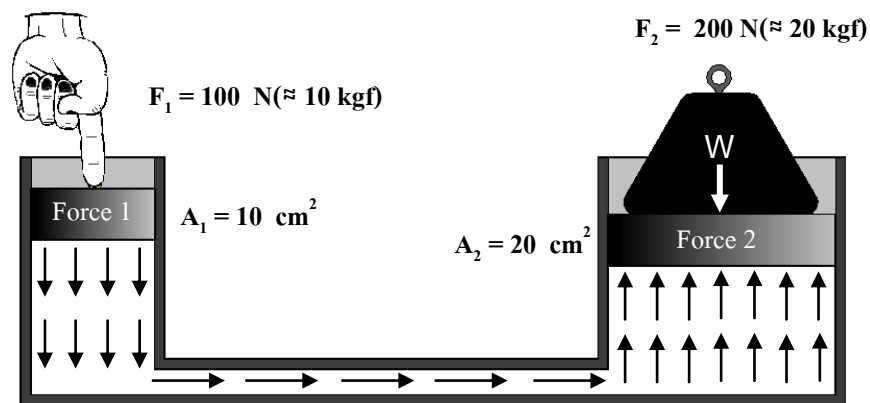


### 2.2.1.6 การส่งผ่านแรงโดยความดันของของไหล (Force transmission by pressure of Pascal's law)

จากนิยามของปาสคาล สามารถสรุปเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

- ความดันที่เกิดจากของไหล ซึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะปิดจะไปปรากฏและกระทำมีค่าเท่ากันในทุกทิศทางต่อพื้นผิวภาชนะ
- ทิศทางของแรงที่เกิดจากความดันของของไหลจะกระทำในทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่ที่ของไหลนั้นสัมผัสอยู่
- ความดันของของไหลจะมีค่าเท่ากันในระดับเดียวกันหากเป็นภาชนะเปิด

ลักษณะเช่นเดียวกับการส่งผ่านความดันของของไหลจะพบว่าความดันทุกๆ จุดในระบบปิดจะเท่ากันโดยไม่ขึ้นกับลักษณะรูปร่างของภาชนะที่ใช้บรรจุของเหลว ตามภาพที่ 2-8



ภาพที่ 2-8 แสดงการส่งถ่ายแรงโดยผ่านทางความดันจากกฎของ Pascal's law

จะได้ว่า

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1} \quad \text{และ} \quad P_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

จากสมการข้างต้นเมื่อระบบอยู่ในสภาพสมดุลย์ จะได้ว่า  $p_1 = p_2$

ดังนั้น

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

หรือ

$$F_1 = \frac{A_1 \cdot F_2}{A_2} \quad , \quad A_2 = \frac{A_1 \cdot F_2}{F_1}$$

**ตัวอย่างที่ 2** จากภาพที่ 2-8 ออกแรงกดลูกสูบ  $A_1$  ด้วยแรง 100 N บนพื้นที่รับแรง  $10 \text{ cm}^2$  จงหาความดันที่เกิดขึ้นในภาชนะและจงหาแรง  $F_2$  ที่ได้

**วิธีทำ**

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1} = \frac{100 \text{ N}}{10 \text{ cm}^2} = 10 \text{ N/cm}^2 = 1 \text{ bar}$$

จากกฎของ Pascal's law ความดันที่เกิดจากของไหล ซึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะปิดจะไปปรากฏและกระทำต่อพื้นผิวภาชนะ ซึ่งจะมีค่าเท่ากันในทุกทิศทาง

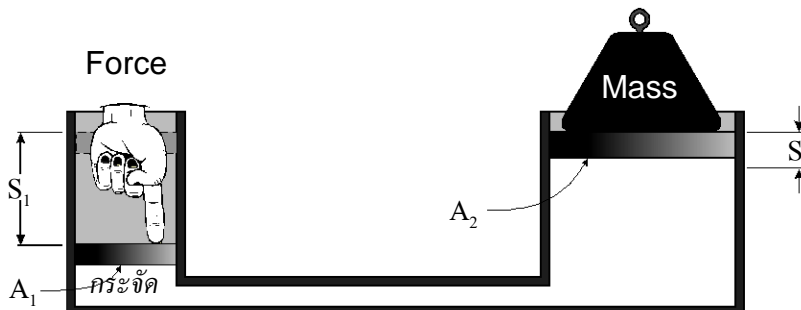
$$P_1 = P_2$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot A_2}{A_1} = \frac{100 \text{ N} \times 20 \text{ cm}^2}{10 \text{ cm}^2} = 200 \text{ N}$$

### 2.2.1.7 การส่งผ่านโดยการกระจัดของของไหล (Displacement transmission)

อธิบายจากภาพที่ 2-9 จะเห็นได้ว่า ถ้าออกแรงกระทำลูกสูบพื้นที่หน้าตัด  $A_1$  ด้วยแรง  $F_1$  โดยลูกสูบ 1 (ฝั่งซ้ายมือ) เคลื่อนที่ด้วยระยะ  $S_1$  ทำให้ลูกสูบ 2 (ฝั่งขวามือ) มีพื้นที่หน้าตัด  $A_2$  เป็นระยะ  $S_2$



ภาพที่ 2-9 แสดงการส่งผ่านโดยการ

ภาพลักษณะการออกแรง กระทำ  $F_1$  ด้านลูกสูบ  $A_1$  เคลื่อนเป็นระยะ  $S_1$  ทำให้ปริมาณน้ำมัน  $(S_1 \cdot A_1)$  เข้าไปแทนด้านลูกสูบ  $A_2$  ทำให้เคลื่อนที่เป็นระยะ  $S_2$

จะได้ว่า ปริมาตรกระจัด  $V_1 = S_1 \cdot A_1$  และ  $V_2 = S_2 \cdot A_2$

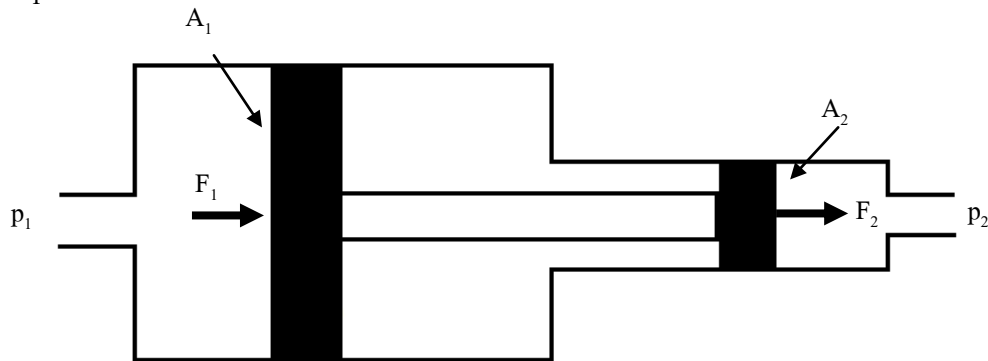
เนื่องจาก  $V_1 = V_2$

เพราะฉะนั้น  $S_1 \cdot A_1 = S_2 \cdot A_2$

จากสมการพบว่า ระยะ  $S_1$  จะมากกว่าระยะ  $S_2$  เนื่องจากพื้นที่หน้าตัด  $A_1$  เล็กกว่า  $A_2$

### 2.2.1.8 การส่งผ่านความดันของของไหล (Pressure transmission/ Pressure Intensifier)

อธิบายจากภาพที่ 2-10 จะเห็นได้ว่า เมื่อป้อนน้ำมันที่มีความดัน  $p_1$  เข้าทางด้านลูกสูบพื้นที่หน้าตัด  $A_1$  ทำให้เกิดแรงกระทำ  $F_1$  บนพื้นที่หน้าตัด  $A_1$  ดังนั้นแรงกระทำ  $F_1$  เสมือนไปกระทำด้านลูกสูบพื้นที่หน้าตัด  $A_2$  ด้วยทำให้เกิดความดัน  $p_2$  ขึ้น และเนื่องจากลูกสูบพื้นที่หน้าตัด  $A_2$  มีค่าน้อยกว่าลูกสูบพื้นที่หน้าตัด  $A_1$  ทำให้ความดันด้าน  $p_2$  จึงมีค่ามากกว่า  $p_1$



ภาพที่ 2-10 แสดงหลักการของอุปกรณ์เพิ่มความดัน (Pressure intensifier)

ภาพลักษณะการถ่ายเทความดันจากลูกสูบพื้นที่หน้าตัด  $A_1$  ไป  $A_2$  เปรียบเสมือนแรงกระทำ  $F_1 = F_2$  ทำให้เกิดความดันเพิ่มขึ้นจาก  $p_1$  เป็น  $p_2$

ดังนั้น จากสูตร 
$$p = \frac{F}{A}$$

จะได้ว่า  $F_1 = p_1 \cdot A_1$  และ  $F_2 = p_2 \cdot A_2$

แต่เนื่องจาก  $F_1 = F_2$  ; เพราะเป็นชิ้นเดียวกัน

เพราะฉะนั้น  $p_1 \cdot A_1 = p_2 \cdot A_2$



**ตัวอย่างที่ 3** จงหาค่าความดันที่เพิ่มสูงขึ้น ( $p_2$ ) ของกระบอกสูบทำงานสองทาง จากภาพที่ 2-10

$$\text{เมื่อกำหนดให้ : } p_1 = 10 \text{ bar}$$

$$A_1 = 10 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 5 \text{ cm}^2$$

**วิธีทำ**

$$\text{จาก } p_1 \cdot A_1 = p_2 \cdot A_2$$

$$\text{เพราะฉะนั้น } p_2 = (p_1 \cdot A_1) / A_2$$

$$= \frac{10 \times 10}{5}$$

$$\text{ความดัน } p_2 \text{ ที่เพิ่มสูงขึ้น} = 20 \text{ bar (2 เท่า)}$$

**ตอบ**

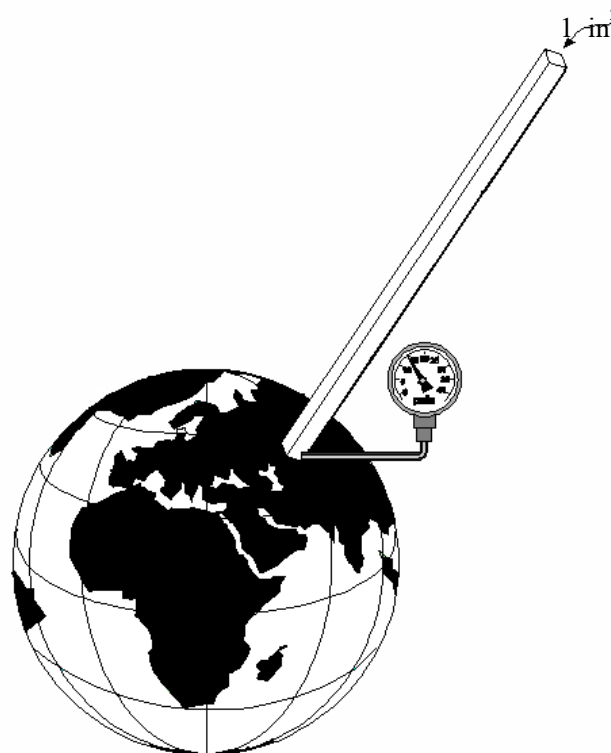
### 2.2.1.9 การวัดความดันในระบบไฮดรอลิก (Measurement pressure in Hydraulic systems)

การวัดความดันแบ่งได้อยู่ 3 ประเภทดังต่อไปนี้

1. ความดันบรรยากาศ ( $p_{atm}$ ) คือ ความดันบรรยากาศ ณ ระดับน้ำทะเล มีค่า 14.7 PSI. (1.013 bar)
2. ความดันเกจ ( $p_g$ ) คือ ความดันที่สามารถวัดได้ด้วยเกจวัดความดัน (Pressure gauge)
3. ความดันสัมบูรณ์ ( $p_{abs}$ ) คือ ความดันที่แท้จริงได้จากความดันเกจ + ความดันบรรยากาศ (1.013 bar)

#### 1. ความดันบรรยากาศ (Atmospheric pressure : $P_{atm}$ )

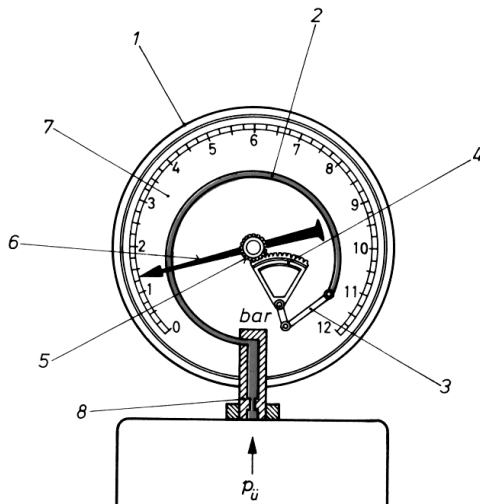
ความดันบรรยากาศ เกิดจากน้ำหนักของอากาศซึ่งหนักขนาด 14.7 lb กดกระทำที่ระดับน้ำทะเลด้วยพื้นที่  $1 \text{ in}^2$  ดังนั้นความดัน 1 บรรยากาศ ( $P_{atm}$ ) =  $14.7 \text{ lb/in}^2 = 1.013 \text{ bar}_{(abs)}$  แต่ถ้าอ่านจากเกจวัดความดันจะอ่านได้  $0 \text{ bar}_{(gauge)}$



ภาพที่ 2-11 แสดงที่มาของความดันบรรยากาศ

## 2. ความดันเกจ (Gauge pressure : $P_g$ )

ความดันเกจ คือ ความดันที่สามารถอ่านได้จากเกจวัดความดันทั่วไป (pressure gauge) ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นชนิดแบบบุดองทิว (Bourdon tube) เมื่อของไหลไหลเข้าไปยังบุดองทิว จะทำให้ท่อเกิดการยืดตัว ขณะเดียวกันชุดกลไกที่ต่อเข้ากับเข็มเพื่อชี้ค่าความดันก็จะเกิดการเคลื่อนที่ที่สอดคล้องกับความดันในขณะนั้น

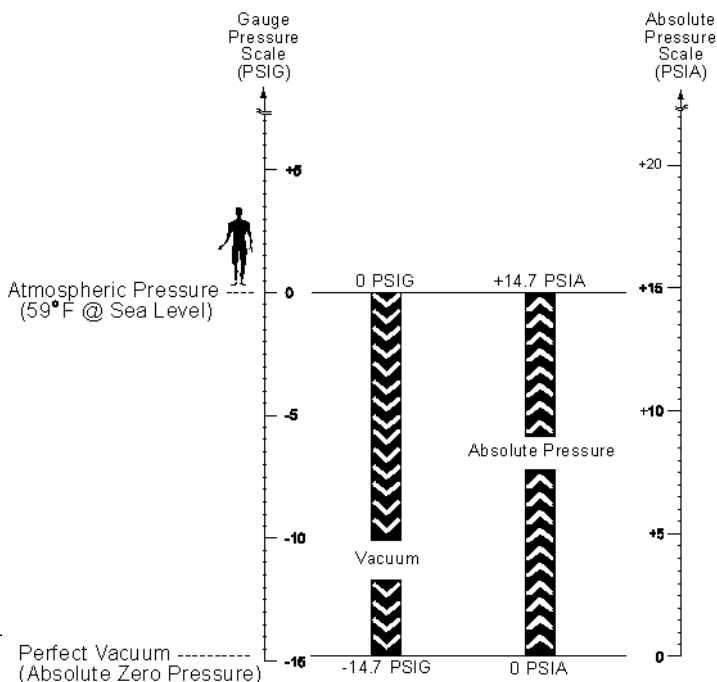


1. เลือ้เกจ
2. บุดองส์ทิว
3. Mechanic link
4. Gear link
5. Turn center
6. Measurement needle
7. Measurement rang
8. Inlet tube

ภาพที่ 2-12 แสดงชิ้นส่วนภายในของบุดองเกจ

## 3. ความดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure: $p_{abs}$ )

คือ ความดันที่แท้จริง โดยได้จากการนำค่าความดันเกจที่วัดได้ + ค่าความดันบรรยากาศ (1.013 bar) ก็จะได้ความดันที่แท้จริงที่เกิดขึ้นในขณะนั้น



**ตัวอย่างเช่น** อ่านค่าความดันเกจได้ 3 bar

ความดันที่แท้จริงจะเท่ากับ ความดันเกจ + ความดันเก

$$\text{ได้ค่า } 3 \text{ bar}_{(\text{gauge})} + 1.013 \text{ bar}_{(\text{atm})} = 4.013 \text{ bar}_{(\text{abs})}$$

## 2.3 ไฮดรอลิกไดนามิกส์ (Hydrodynamic) ความสัมพันธ์ของปริมาณ

ไฮดรอลิกไดนามิกส์ คือ การศึกษาเกี่ยวกับการไหลหรือการเคลื่อนที่ของของไหล โดยทั่วไปจะเกี่ยวข้องกับเรื่อง ปริมาตร และเวลา

### 2.3.1 กฎของอัตราการไหล (Flow rate law)

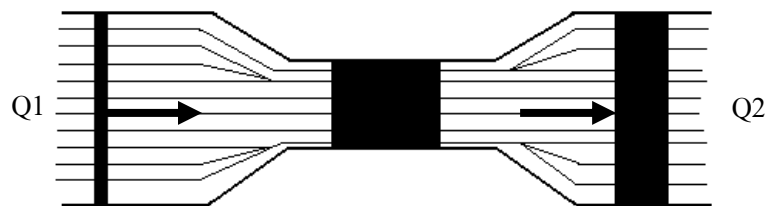
อัตราการไหลของของเหลวสามารถอธิบายได้ คือ ปริมาตรของของเหลวที่ไหลผ่านท่อในช่วงเวลาหนึ่งๆ ตัวอย่างเช่นภายในเวลา 1 นาที น้ำสามารถไหลผ่านลงไปจนถึงได้ปริมาณ 10 ลิตร นั่นคืออัตราการไหลเท่ากับ 10 ลิตร ต่อ นาที

ดังนั้น

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

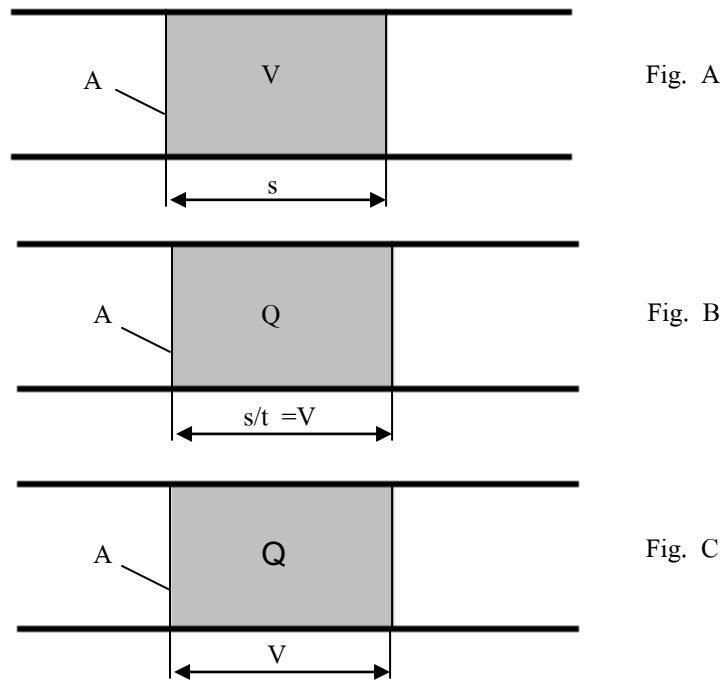
เมื่อกำหนดให้

- Q = อัตราการไหล
- V = ปริมาตรของของเหลว
- t = คาบเวลา



ภาพที่ 2-14 แสดงหลักการหาค่าอัตราการไหลของของเหลว

จากอัตราการไหลที่หาได้จากปริมาตรที่ไหลผ่านเทียบกับหน่วยของเวลาในรูป Fig. A แล้วยังมีปริมาตรของของเหลว สามารถหาได้จากพื้นที่หน้าตัด คูณด้วยระยะกระจัด ( $V = A \cdot s$ ) ในรูป Fig. B และความเร็วเท่ากับระยะทางที่เคลื่อนที่ในช่วงเวลาหนึ่งๆ ( $v = s/t$ ). ในรูป Fig. C

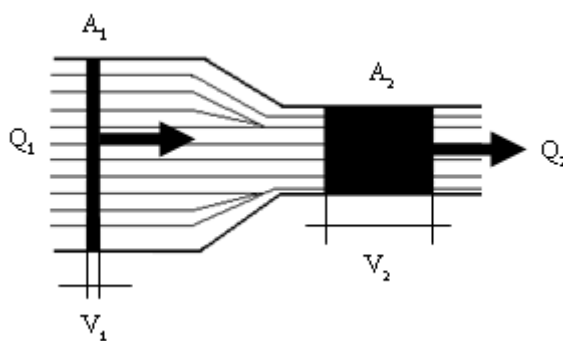


ภาพที่ 2-15 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลในแต่ละสมการ

จาก

$$Q = \frac{V}{t}, \quad \boxed{Q = A \cdot v}, \quad \boxed{v = \frac{Q}{A}}$$

ซึ่งในระบบไฮดรอลิกของไหลที่ใช้เป็นของเหลวซึ่งไม่มีการยุบตัว อัตราการไหลที่หน้าตัด  $A_1$  = อัตราการไหลหน้าตัด  $A_2$



$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_2 \\ Q_1 &= A_1 \cdot V_1 \\ Q_2 &= A_2 \cdot V_2 \end{aligned}$$

$$\boxed{A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2}$$

ภาพที่ 2-16 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการไหลและความเร็วในการไหล



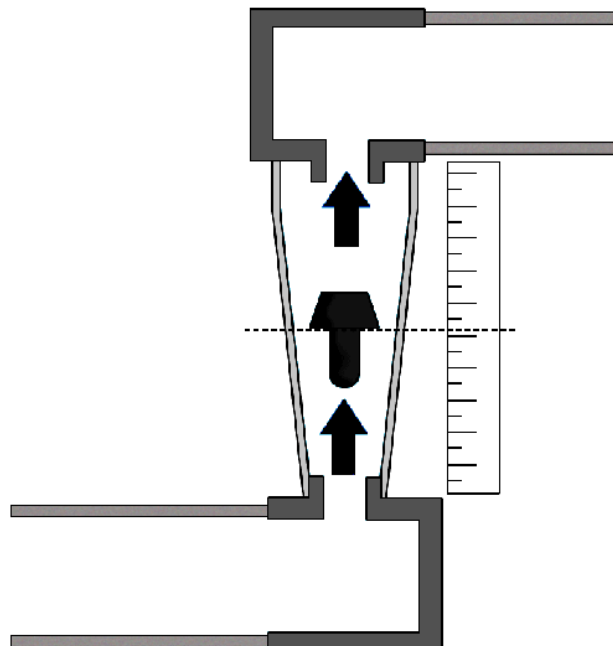
ระบบหน่วยของอัตราการไหล(The unit of flow rate)

หน่วยของอัตราการไหล(The unit of flow rate)		
SI Unit	England Unit	Metric
Liter/minute (l/min)	Gallon/minute(GPM)	Cubic meter/minute( $m^3/min$ ) Cubic centimeter/second( $cm^3/s$ )

ตารางที่ 2-6 แสดงระบบหน่วยของอัตราการไหลตามมาตรฐานต่างๆ

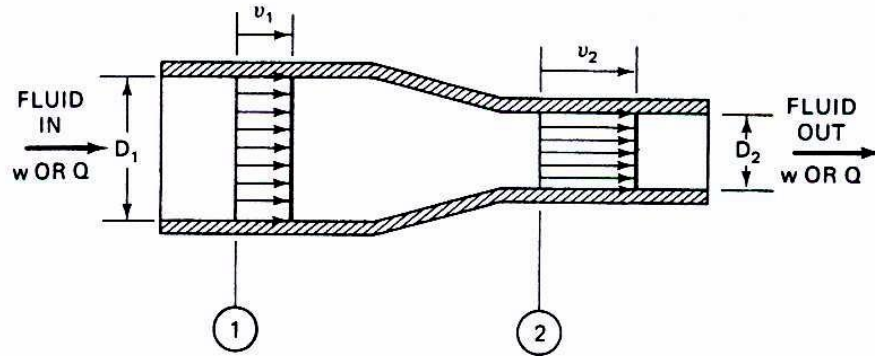
เครื่องมือวัดอัตราการไหล

1. เครื่องมือวัดอัตราการไหลแบบโรตานิเตอร์ ( Rota flow meter) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดปริมาตรของน้ำมัน ไฮดรอลิกที่ไหลผ่านเทียบกับเวลา 1 นาที



ภาพที่ 2-17 แสดงเครื่องมือที่ใช้วัดอัตราการไหลในระบบไฮดรอลิก

ตัวอย่างที่ 4 จากภาพข้างล่าง จงหาค่าอัตราการไหลของของเหลว Q และความเร็ว  $V_2$



ภาพที่ 2-18 แสดงการไหลผ่านช่องคอขวด

เมื่อกำหนดให้  $D_1 = 4 \text{ inch}^2$ ,  $D_2 = 2 \text{ inch}^2$  และ  $V_1 = 4 \text{ ft/s}$

วิธีทำ จากสมการ  $Q = A \cdot v$   
ดังนั้น  $Q = Q_1 = A_1 \cdot v_1$

$$\text{เมื่อ } A_1 = \frac{\pi}{4} D_1^2 = \frac{\pi}{4} \left( \frac{4}{12} \right)^2 \text{ ft}^2 = 0.0873 \text{ ft}^2$$

อัตราการไหล  $Q = 0.0873 \times 4 = 0.349 \text{ ft}^3/\text{sec}$  ตอบ

$$\text{และจาก } Q_2 = \frac{v_1 \cdot A_1}{A_2} = v_1 \cdot \frac{D_1^2}{D_2^2}$$

ความเร็ว  $v_2 = 4 \times \frac{(4)^2}{(2)^2} = 16 \text{ ft/sec}$  ตอบ

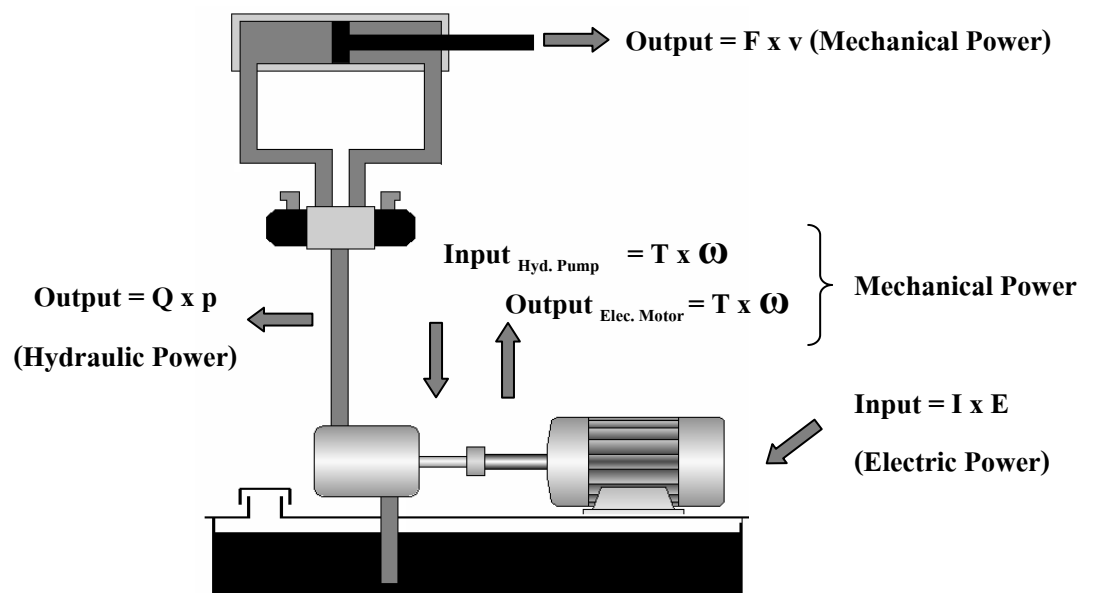
## 2.4 กำลังงานในระบบไฮดรอลิก (Power in hydraulic system)

กำลังงานในระบบไฮดรอลิก หมายถึง ความดันใช้งานในระบบที่เกิดขึ้นตามภาระของงานกล แล้วกระทำต่อพื้นที่ภายในห้อง ปริมาตรของอุปกรณ์การทำงาน จนได้แรงผลักดันให้ภาระของงานกลนั้นเคลื่อนที่ไปโดยมีความเร็ว

จะได้ว่า

$$\text{Power} = p \cdot Q$$

กำลังในระบบไฮดรอลิกสามารถแบ่งออกได้เป็น กำลังงานไฮดรอลิกที่ออกจากปั๊ม, กำลังงานที่ใช้ขับปั๊มไฮดรอลิก และกำลังงานกลที่ได้จากการทำงานของอุปกรณ์ทำงาน โดยแสดงไว้ในภาพที่ 2-19



ภาพที่ 2-19 แสดงการจำแนกกำลังงานในระบบไฮดรอลิก



## 2.5 ประสิทธิภาพของระบบไฮดรอลิก (Hydraulic Efficiency)

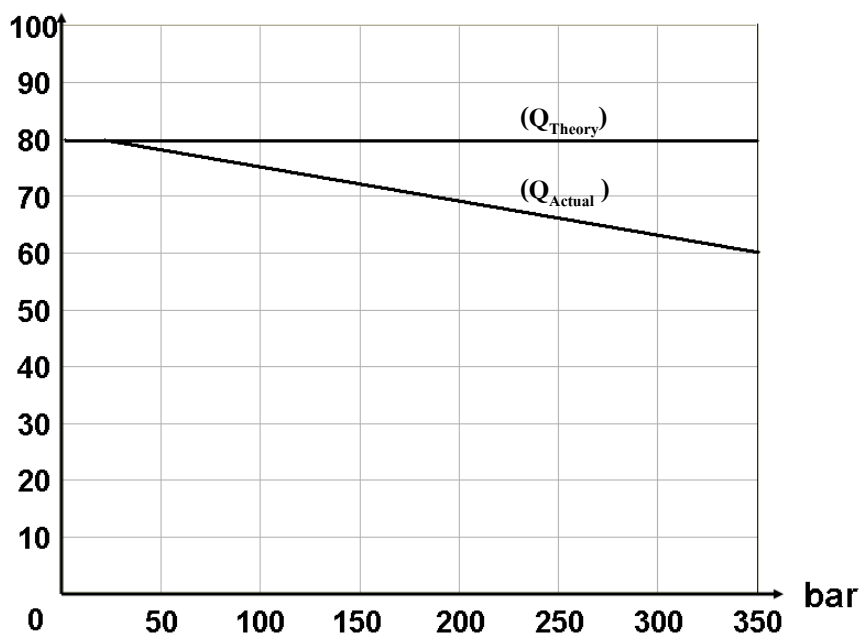
ตัวที่ชี้บ่งถึงความสามารถในการทำงานของระบบทุกระบบ รวมถึงระบบไฮดรอลิกด้วยก็คือ “ ประสิทธิภาพ ” (Efficiency :  $\eta$ ) ซึ่งประสิทธิภาพในระบบไฮดรอลิกนั้นมีอยู่หลากหลาย แต่ตัวที่มีความสำคัญคือ ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร (Volumetric efficiency :  $\eta_v$ ) และประสิทธิภาพรวม (Overall efficiency :  $\eta_o$ )

### 2.5.1 ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร (Volumetric efficiency : $\eta_v$ )

ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรเป็นตัวบ่งถึงประสิทธิภาพของปั๊มเป็นส่วนใหญ่ คือ จะบ่งบอกถึงการสร้างอัตราการไหลของปั๊มได้ตามขนาดของปั๊มจริงหรือไม่ โดยเฉพาะเมื่อระบบมีความดันสูงขึ้นอัตราการไหลของปั๊มจะลดลง แต่จะลดลงมากหรือน้อยขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความดัน, ความหนืดของน้ำมัน, อุณหภูมิ, ความสมบูรณ์ของปั๊ม เป็นต้น ดังนั้นการที่จะหาประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของปั๊มจะนิยมนำปั๊มไปทดสอบที่ห้องปฏิบัติการ ที่สามารถจำลองเงื่อนไขต่างๆ ได้ โดยทางห้องปฏิบัติการจะทำการหาอัตราการไหลที่แท้จริงจากปั๊มทดสอบและหารด้วยอัตราการไหลในทางทฤษฎี ก็จะเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร}(\eta_v) = \frac{\text{อัตราการไหลที่ได้จากการทดสอบ (} Q_{\text{Actual}} \text{)}}{\text{อัตราการไหลที่ได้จากทฤษฎี (} Q_{\text{Theory}} \text{)}}$$

อัตราการไหล L/min

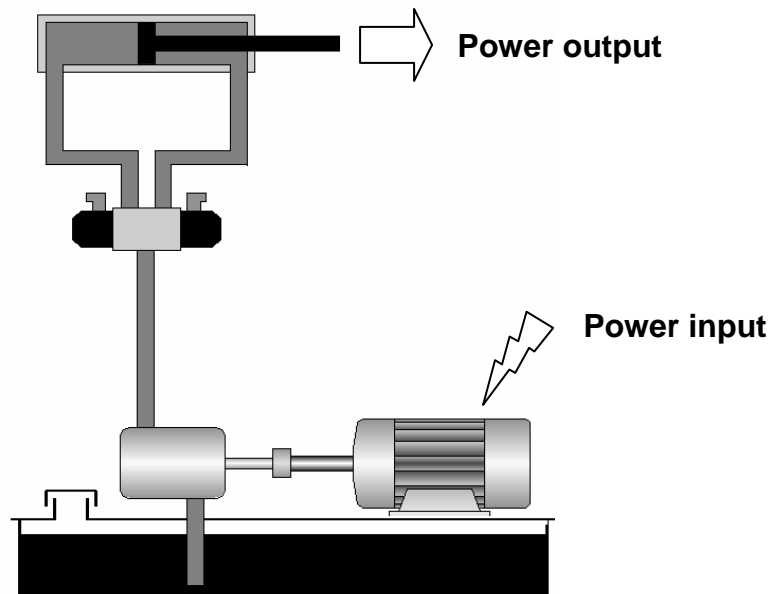


ภาพที่ 2-20 แสดงอัตราการไหลในทางทฤษฎีและอัตราการไหลที่แท้จริงเมื่อความดันเพิ่มขึ้น

### 2.5.2 ประสิทธิภาพรวม (Overall efficiency : $\eta_o$ )

ประสิทธิภาพรวมเป็นตัวบ่งถึงประสิทธิภาพของรวมของทั้งระบบเริ่มตั้งแต่ต้นกำลังไปจนถึงอุปกรณ์ทำงาน หรือจะมองอีกแง่ก็คือ กำลังงานที่ให้แก่ระบบ (Power input) หารด้วยกำลังงานที่ได้ออกมา (Power output) ดังสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ประสิทธิภาพรวม}(\eta_o) = \frac{\text{กำลังงานที่ได้จากระบบ ( power output)}}{\text{กำลังงานที่ให้แก่ระบบ ( power input)}}$$

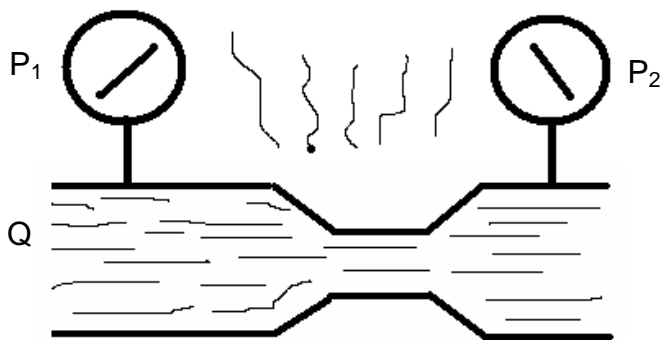


ภาพที่ 2-21 แสดงเส้นทางเดินของกำลังงานที่ให้แก่ระบบและกำลังงานที่ได้จากระบบ

## 2.6 กำลังงานที่สูญเสียในระบบไฮดรอลิก

กำลังงานที่สูญเสียในระบบไฮดรอลิก ส่วนใหญ่เกิดจากความดันที่สูญเสียไป เนื่องจากความเสียดทานที่ผนังท่อ และที่อุปกรณ์กีดขวางการไหลต่างๆ กัน เช่น ข้อต่อ ข้องอ และวาล์วต่างๆ แต่ถ้าระบบท่อในวงจรไฮดรอลิกมีการรั่วซึมเกิดขึ้นหรือมีการรั่วภายในของตัวอุปกรณ์ที่อยู่ภายในระบบไฮดรอลิกเองก็จะทำให้กำลังงานไฮดรอลิกลดลงได้ และในกรณีที่ระบบวงจรไฮดรอลิกที่มีการควบคุมความเร็วของอุปกรณ์ด้วยวาล์วควบคุมอัตราการไหล วาล์วจำกัดความดันก็จะต้องทำงานตลอดเวลาที่วงจรทำงานอยู่เพื่อระบายน้ำมันส่วนเกินกลับลงถึงน้ำมัน ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังงานอย่างมากที่ตัววาล์วจำกัดความดัน

การสูญเสียกำลังงานในกรณีต่างๆ ดังกล่าวนั้นหากพิจารณาถึงกฎของพลังงานคือพลังงานไม่มีการสูญหายไปจากโลกแต่จะเปลี่ยนรูปของพลังงานไปเป็นพลังงานความร้อนแทนทำให้ระบบไฮดรอลิกและอุปกรณ์ต่างๆ ร้อนขึ้น และความร้อนนี้ก็จะถ่ายเทให้กับน้ำมันไฮดรอลิกที่ไหลผ่าน ทำให้น้ำมันมีอุณหภูมิสูงขึ้น อาจมีผลทำให้อุปกรณ์ทำงานต่างๆ ได้รับความเสียหายในอนาคต และก่อให้เกิดผลเสียตามมาอีกมากมาย ดังภาพที่ 2-22

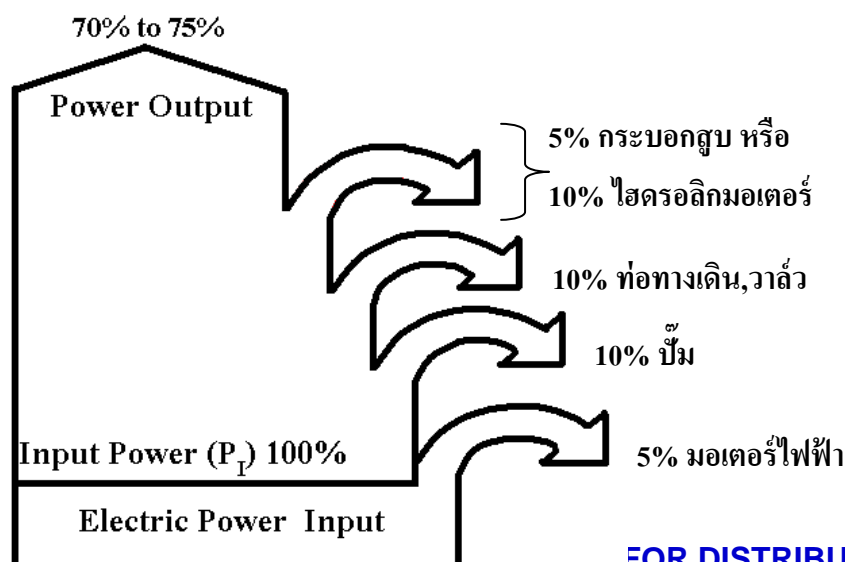


ภาพที่ 2-22 แสดงการเปลี่ยนรูปของกำลังงานที่สูญเสีย

$$P = \frac{Q \cdot p}{600}$$

- P = กำลังงานสูญเสีย(KW)  
Q = อัตราการไหลที่ไหลผ่าน (l/min)  
 $\Delta p$  = ค่าความดันแตกต่าง (Bar)

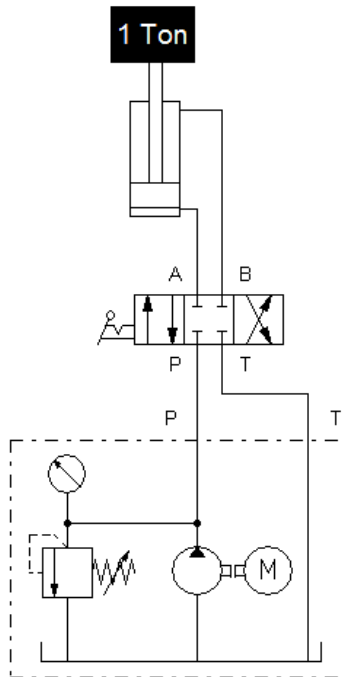
ดังนั้นเปอร์เซ็นต์การสูญเสียกำลังงานในระบบไฮดรอลิก สามารถจำแนกออกได้ ดังภาพที่ 2-23



ภาพที่ 2-23 แสดงการจำแนกเปอร์เซ็นต์การสูญเสียกำลังงานในระบบไฮดรอลิก

ตัวอย่างที่ 5 จงหาขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนไฮดรอลิกขนาด 50 cc/rev โดยใช้ความเร็วรอบ 1000 rpm. โดยใช้กระบอกสูบไฮดรอลิกพื้นที่หน้าตัด 30 cm<sup>2</sup> โดยต้องการให้มีความเร่ง 0.05 m/s<sup>2</sup> และกระบอกสูบยกภาระ 1 Ton โดยพิจารณาถึงกำลังงานสูญเสียที่จุดต่างๆด้วย โดยกำหนดให้ดังนี้

- การสูญเสียที่มอเตอร์ไฟฟ้า 5 %
- การสูญเสียที่ปั๊ม 10 %
- การสูญเสียที่ท่อทางเดิน 10 %
- การสูญเสียที่กระบอกสูบ 5 %



ภาพที่ 2-24 แสดงระบบไฮดรอลิกที่ใช้ในการคำนวณ

$$1 \text{ Ton} = 1000 \text{ kg} \\ = 10,000 \text{ N} \rightarrow F = 10 \text{ KN}$$

$$p = \frac{F \times 100}{A} = \frac{10 \times 100}{30} = 33.33 \text{ bar}$$

นี่คือความดันที่ต้องใช้ยกโหลดให้คงค้างได้ แต่โจทย์ต้องการเกิดการเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง 0.05 m/s<sup>2</sup>

$$F = ma = 1000 \text{ kg} \times 0.05 \text{ m/s}^2 = 50 \text{ KN}$$

$$p = \frac{F \times 100}{A} = \frac{50 \times 100}{30} = 166.66 \text{ bar}$$

$$Q = \frac{V_d \times n}{1000} = \frac{50 \times 1000}{1000} = 50 \text{ l/min}$$

$$\text{Power} = \frac{p \times Q}{600} = \frac{(166.66 \times 50)}{600} = 13.88 \text{ KW}$$

เมื่อพิจารณาถึงกำลังงานที่สูญเสีย ;

$$\text{Power loss} = \frac{p \times Q}{600 \times (\eta_{\text{motor}} + \eta_{\text{pump}} + \eta_{\text{pipe}} + \eta_{\text{actuator}})} = \frac{166.66 \times 50}{600 \times (0.95 + 0.90 + 0.90 + 0.95)} = 3.78 \text{ KW}$$

ดังนั้นหากเลือกมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 13.88 KW จะเหลือใช้งานจริงๆ แค่ (13.88 - 3.78) = 10.1 KW ซึ่งจะเห็นว่าไม่เพียงพอต่อการขับโหลดดังนั้นจะต้องเอาค่า Power loss มาบวกกับค่า Power ในการขับโหลด (13.88 + 3.78) = 17.66 KW



แต่ในการเลือกใช้จริงจะต้องไม่ใช่กำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าเกิน 80 %

$$\text{Power} = (17.66 \times 100)/80 = 22.075 \text{ KW} ; \text{ควรเลือกขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าที่มากกว่า } 22.075 \text{ KW}$$

## 2.7 สรุปสูตรคำนวณที่ใช้ในการคำนวณทางด้านไฮดรอลิก

สูตรที่ 1 การคำนวณหาค่าของแรง 
$$F = \frac{p \cdot A}{100}$$

สูตรนี้จะใช้ได้เมื่อ F มีหน่วยเป็น kN

p มีหน่วยเป็น bar

A มีหน่วยเป็น  $\text{cm}^2$

สูตรที่ 2 การคำนวณหาค่าความเร็ว 
$$v = \frac{10 \cdot Q}{A}$$

สูตรนี้จะใช้ได้เมื่อ v มีหน่วยเป็น m/min

Q มีหน่วยเป็น l/min

A มีหน่วยเป็น  $\text{cm}^2$

สูตรที่ 3 การคำนวณหาค่าความเร็ว 
$$v = \frac{0.3208 \cdot Q}{A}$$

สูตรนี้จะใช้ได้เมื่อ v มีหน่วยเป็น ft/sec

Q มีหน่วยเป็น GPM

A มีหน่วยเป็น  $\text{inch}^2$

สูตรที่ 4 การคำนวณหาค่าของกำลังงาน 
$$P = \frac{Q \cdot p}{600}$$

สูตรนี้จะใช้ได้เมื่อ P มีหน่วยเป็น kW

Q มีหน่วยเป็น l/min

p มีหน่วยเป็น bar

หมายเหตุ ค่าของตัวหารจะเปลี่ยนจาก 600 เป็น 612 เมื่อความดันเปลี่ยนจาก bar เป็น  $\text{kg/cm}^2$

สูตรที่ 5 การคำนวณหาค่าของกำลังงาน 
$$P = \frac{Q \cdot p}{1714}$$

สูตรนี้จะใช้ได้เมื่อ P มีหน่วยเป็น HP

Q มีหน่วยเป็น GPM

p มีหน่วยเป็น psi

(จำนวนตัวเลขที่อยู่ในสูตรต่างๆ คือ ค่าคงที่ที่ใช้ในการเปลี่ยนหน่วย)





Thai-German Institute  
สถาบันไทย-เยอรมัน

Module Unit code : 21-HYD-10-02  
Module name : Fundamental of hydraulic control systems  
Unit name : Basic principle of Hydraulics

Information Sheet  
Rev : 00