

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในการสร้างชุดทดลองปั๊มลูกสูบชักนี้ใช้หลักการและทฤษฎีต่าง ๆ ดังนี้

2.1 ปั๊ม

การจำแนกปั๊ม และ เทอมต่าง ๆ [4]

การเรียกชื่อปั๊มนั้น มักจะเรียกชื่อตามลักษณะต่าง ๆ แตกต่างกันไป เช่น ลักษณะการเคลื่อนที่ของของเหลว ลักษณะการใช้งานพิเศษ เป็นต้น และจากการที่มีการเรียกชื่อแตกต่างกันมากมาย ทำให้บางครั้งเกิดการสับสนได้ ดังนั้นจึงได้มีการจัดแบ่งหมวดหมู่ของปั๊มขึ้นเพื่อให้สามารถเรียกชื่อได้ชัดเจนขึ้นและสามารถใช้อ้างอิงต่อไปได้

2.1.1 ชนิดของปั๊ม

ปั๊มชนิดต่าง ๆ ที่ใช้งานกันอยู่นั้น หากพิจารณาถึงกลไกในการเคลื่อนที่ของของเหลวภายในปั๊ม จะสามารถแบ่งเป็นชนิด ต่าง ๆ ได้ 3 ชนิด คือ

1. ปั๊มแบบโรตารี (Rotary Pump) เป็นกลุ่มของปั๊มที่เพิ่มพลังงานให้กับของเหลว โดยที่ของเหลวจะถูกบีบหรือรีดผ่านช่องแคบ ๆ ที่อยู่ระหว่างผนังห้องสูบกับกลไกการเคลื่อนที่ที่เรียกว่า Rotating Element

2. ปั๊มแบบชัก (Reciprocating Pump) เป็นกลุ่มของปั๊มซึ่งของเหลวจะเข้าไปแทนที่ช่องว่างที่เกิดขึ้นในห้องสูบจากการเคลื่อนที่ของกลไกประเภทลูกสูบและไดอะแฟรม ทำให้เกิดการขับเคลื่อนของเหลวออกจากตัวปั๊มอย่างเป็นจังหวะตามการเคลื่อนที่ของกลไก

3. ปั๊มแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Pump) เป็นกลุ่มของปั๊มสร้างเสถหรือพลังงานให้กับของเหลว โดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของปั๊ม

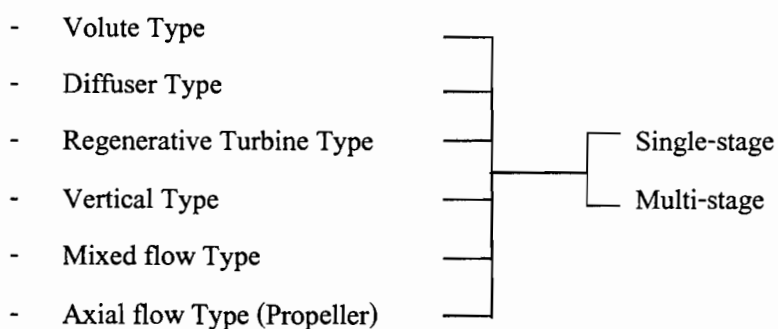
นอกจากนี้ยังมีปั๊มที่มีลักษณะพิเศษอีกกลุ่มหนึ่ง คือ ปั๊มแบบอัดอากาศ (Jet Pump or Eductor) เป็นปั๊มที่อาศัยหลักของความกดดันที่เกิดขึ้นบริเวณคอคอด โดยให้อากาศหรือของเหลวความเร็วสูงพุ่งผ่านคอคอดในปั๊ม และอาศัยแรงดันของบรรยากาศภายนอกดันของเหลวให้ไหลเข้าสู่บริเวณความดันที่ลดลง

2.1.2 การจัดประเภทปั๊ม

ปั๊มในแต่ละประเภทดังกล่าวข้างต้นนั้น ยังแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ มากมาย ตามลักษณะการออกแบบและการทำงานของปั๊ม เช่น ปั๊มแบบ ใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง สถาบัน Hydraulic Institute แบ่งประเภทตามห้องสูบ ออกเป็นประเภท Volute, Circular หรือ Diffuser ถ้าหากแบ่งโดย

พิจารณาดำแหน่งของเพลลา แบ่งได้เป็นประเภท แนวนอน หรือ แนวตั้ง ถ้าหากพิจารณาด้านดูด ของปั๊ม ก็สามารถแบ่งได้เป็นแบบ Single หรือ Double suction และถ้าหากพิจารณาไปยังจำนวนชั้นของใบพัด ก็สามารถแบ่งได้เป็น แบบ Single-Stage หรือ Multi-Stage ปั๊มแบบต่าง ๆ ที่กล่าวในหัวข้อที่ 2.1.1 สามารถแบ่งได้เป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้

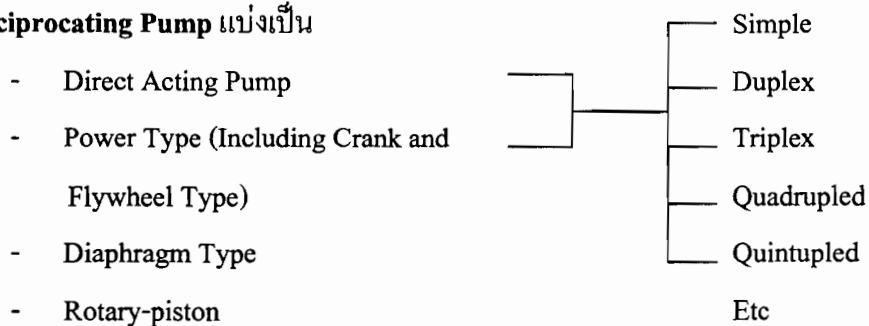
Centrifugal Pump แบ่งเป็น



Rotary Pump แบ่งเป็น

- Gear Type
- Vane Type
- Cam and Piston Type
- Screw Type
- Lobular Type
- Shuttle Block Type
- Flexible Chamber Type

Reciprocating Pump แบ่งเป็น



2.1.3 คุณสมบัติทั่วไป

ลักษณะทั่วไปของปั๊มบางประเภท เช่น อัตราการไหล เซด ระยะยกด้านดูด สูงสุด คุณสมบัติของของเหลว ฯลฯ แสดงดังตารางที่ 2.1 ดังนั้นการเลือกประเภทของปั๊มเบื้องต้นสามารถพิจารณาได้จากคุณสมบัติในตารางที่ 2.1 แล้วจะเห็นได้ว่า การเลือกปั๊มแบบ Reciprocating ซึ่งจะเป็นประเภท Piston, Direct Acting หรือ Power Type ขึ้นอยู่กับความต้องการของงานสูบซึ่งต้องพิจารณาโดยละเอียดต่อไป

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทั่วไปของปั๊ม

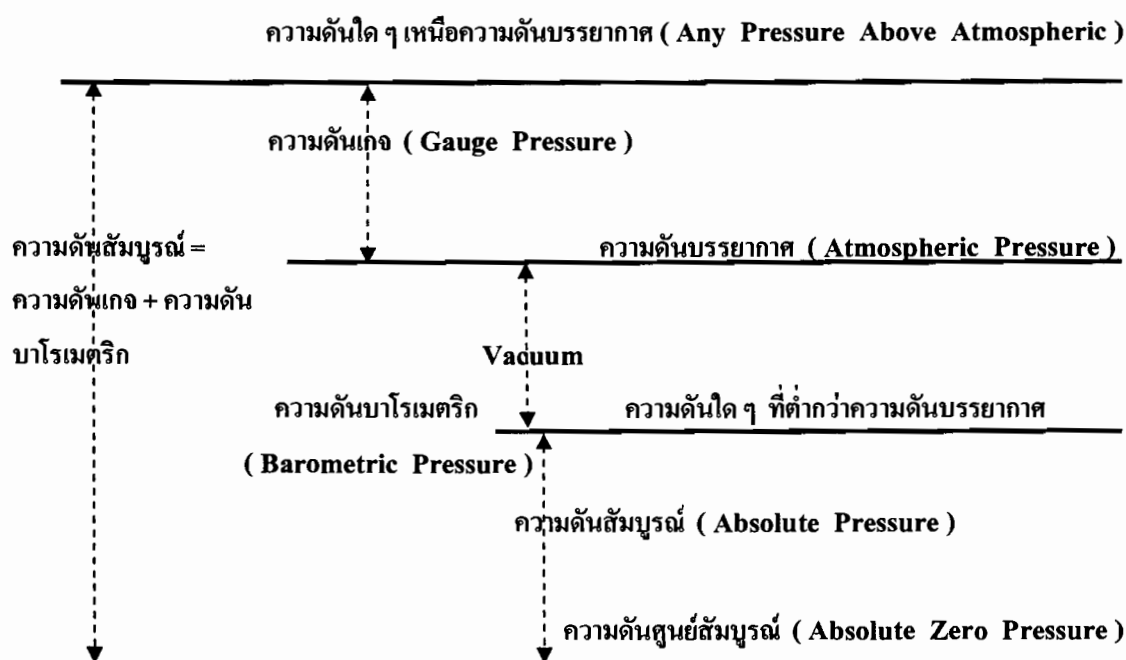
	Centrifugal		Rotary	Reciprocating		
	Volute และ Diffuser	Axial flow	Screw และ Gear	Direct- Acting Steam	Double- Acting Steam	Triplex
การไหลที่ได้	คงที่	คงที่	คงที่	เป็นจังหวะ	เป็นจังหวะ	เป็นจังหวะ
โดยปกติมี max. suction lift, ฟุต	15	15	22	22	22	22
ลักษณะของเหลว	ใสสะอาด สกปรก มีวัสดุแหลมคม ประปน; ประปนไปด้วยของแข็ง มากมาย		หนืด ไม่มี วัสดุแหลมคม ประปน	ใสและสะอาด		
- ช่วงของ head - ช่วงอัตราการไหล	ต่ำ-สูง น้อยถึงมาก		ปานกลาง น้อย-ปาน กลาง	น้อย-สูงแต่ ให้อัตราการไหลค่อนข้างต่ำ		
การเพิ่ม head มีผลทำให้ - อัตราการไหล - power input	ลดลง ขึ้นอยู่กับความเร็วจำเพาะ		ไม่มีผล เพิ่มขึ้น	ลดลงเพิ่มขึ้น	ไม่มีผล เพิ่มขึ้น	ไม่มีผล เพิ่มขึ้น
การลด head มีผลทำให้ - อัตราการไหล - power input	เพิ่มขึ้น ขึ้นอยู่กับความเร็วจำเพาะ		ไม่มีผล ลดลง	เพิ่มขึ้น เล็กน้อยลดลง	ไม่มีผล ลดลง	ไม่มีผล ลดลง

2.1.4 เทอมและคำจำกัดความต่าง ๆ

เทอมและคำจำกัดความต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปั๊ม เป็นสิ่งจำเป็นที่วิศวกรควรทราบเพื่อจะได้ไม่สับสนในการพิจารณาเลือกปั๊มจากเอกสารที่บริษัทผู้ผลิตจัดทำ เทอมต่าง ๆ นั้นประกอบด้วย

1. ความดัน (Pressure, P) คือ เทอมของความดันที่มักพบในงานปั๊ม ได้แก่ ความดันสัมบูรณ์ ความดันบาโรเมตริก และความดันเกจ ส่วนเทอม สุญญากาศใช้กับการใช้งานที่มีความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ซึ่งแต่ละเทอมมีความหมายดังนี้

- ความดันสัมบูรณ์ คือ ความดันที่มีค่ามากกว่าความดันศูนย์สัมบูรณ์ ซึ่งอาจจะมีค่ามากกว่า หรือน้อยกว่าความดันบรรยากาศ ณ ตำแหน่งที่พิจารณา



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเทอมความดันต่าง ๆ

- ความดันบาโรเมตริก คือ ความดันบรรยากาศ ของตำแหน่งที่ทำการวัดและเปลี่ยนแปลงไปตามระดับความสูงและสภาพภูมิอากาศ
- ความดันเกจ คือ ความดันที่มีค่าความดันบรรยากาศ ณ ตำแหน่งนั้น หากพิจารณาความดันสัมบูรณ์ ณ ตำแหน่งใด ๆ เหนือความดันบรรยากาศ จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 \text{ความดันสัมบูรณ์} &= \text{ความดันเกจ} + \text{ความดันบาโรเมตริก} \\
 &= \text{ความดันเกจ} + \text{ความดันบรรยากาศ}
 \end{aligned}$$

- สุญญากาศ คือ ความดันที่มีค่าติดลบ หรือความดันที่มีค่าน้อยกว่าความดันบรรยากาศ

ความดันมีหน่วยเป็น แรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ หน่วยของความดันที่จะได้กล่าวต่อไป ได้แก่ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (kg/cm^2), ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) และบรรยากาศ (atm)

2. **เฮด (Head, H)** คือ ความสูงของแท่งน้ำหรือของเหลวในแนวดิ่ง ซึ่งแสดงถึงพลังงาน หรือ ความสามารถในการทำงานโดยเปรียบเทียบในรูปของความดัน ในระบบสุบใด ๆ ของเหลวจะเคลื่อนที่จากแหล่งสูบไปยังแหล่งจ่าย โดยได้รับผลพลังงานจากปั๊ม ขณะเคลื่อนที่ภายในท่อพลังงานบางส่วนก็จะสูญเสียไป เนื่องจากความฝืดของท่อและอุปกรณ์ประกอบ พลังงานที่เกี่ยวข้องในระบบสุบ ประกอบไปด้วย เฮดสถิตย, เฮดความดัน, เฮดความฝืด, การสูญเสียที่ทางเข้า h_i และทางออก h_o และ เฮดความเร็ว หากพิจารณา เฉพาะปั๊มแล้ว เฮด จะบ่งบอกถึงพลังงานทั้งหมดที่ให้แก่งของเหลว ที่ความเร็วรอบ และอัตราการไหลขณะที่ใช้งาน เฮด สามารถเปลี่ยนเป็นความดันได้จากสมการ

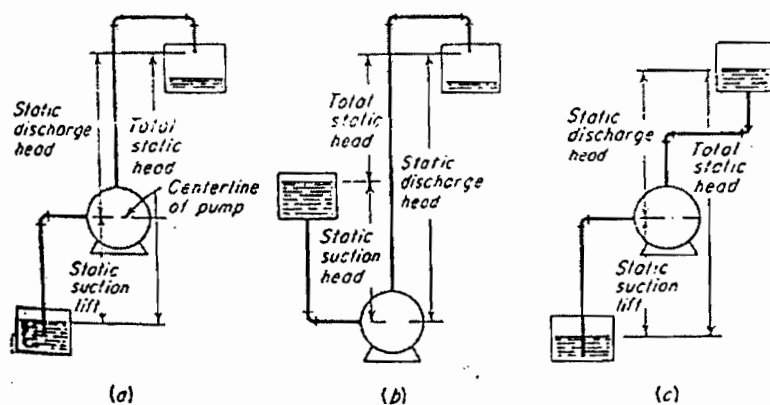
$$H = \frac{P}{\gamma} = \frac{P}{\rho g} \quad \dots\dots\dots 2.1$$

โดย

H	=	เฮดความสูงของแท่งของเหลว, m
P	=	ความดันในหน่วยของแรงต่อ1หน่วยพื้นที่, kPa
ρ	=	ความหนาแน่นของของเหลว, kg/m^3
g	=	อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก, m/s^2
γ	=	ความถ่วงจำเพาะของของเหลว, N/m^3

3. **เฮดสถิตย (Static Head, H_s)** คือ ความดันที่วัดเทียบเป็นแท่งความสูงของของเหลวที่กระทำทางด้านดูด หรือด้านจ่าย ของปั๊มน้ำ โดยถือว่าความเร็วการไหลมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากความแตกต่างของระดับในการติดตั้งปั๊มน้ำรูปแบบต่าง ๆ

4. ระยะยกสถิตย์ด้านดูด (Static Suction Lift) และ เฮดสถิตย์ด้านดูด (Static Suction Head, S) คือ ระยะทางในแนวดิ่งจากระดับผิวของเหลวแหล่งสูบถึงศูนย์กลางปั๊ม ซึ่งหากระดับผิวของเหลวอยู่ต่ำกว่า แนวศูนย์กลางปั๊ม ดังรูปที่ 2.2 (a) และ (c) จะเรียกระยะนี้ว่า Static Suction Lift แต่ถ้าอยู่สูงกว่า ดังรูปที่ 2.2 (b) จะเรียกระยะนี้ว่า Static Suction Head



รูปที่ 2.2 เทอมของเฮด ต่าง ๆ ที่ใช้ในงานสูบ

5. เฮดสถิตย์ด้านจ่าย (Static Discharge Head, D) คือ ระยะในแนวดิ่งจากศูนย์กลางปั๊มถึงจุดปล่อยอิสระ (Point of Free Delivery) ของของเหลวด้านจ่าย

6. เฮดสถิตย์รวม (Total Static Head, H_{st}) คือ ระยะทางในแนวดิ่งระหว่างผิวของเหลวด้านแหล่งสูบถึงจุดปล่อยอิสระด้านจ่าย

$$\text{Total Static Head} = \text{Static Suction Lift} + \text{Static Discharge Head} \text{ หรือ}$$

$$\text{Total Static Head} = \text{Static Discharge Head} - \text{Static Suction Head}$$

7. เฮดความฝืด (Friction Head, h_f) คือ เฮดที่ต้องการในการเอาชนะความต้านทานการไหลจากท่อ วาล์วและอุปกรณ์ประกอบท่อ ทั้งทางด้านท่อดูดและท่อจ่ายของระบบ เฮดความฝืดขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของของเหลว ขนาดของท่อ ชนิดและความขรุขระภายในของท่อรวมถึงคุณสมบัติของของเหลวเช่น ความหนืด เป็นต้น

8. เฮดความเร็ว (Velocity Head, h_v) คือ พลังงานจลน์ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของของเหลวถ้าของเหลวเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว V เฮดความเร็ว จะเท่ากับระยะทางที่มวลของน้ำตกลง

มาด้วยแรงดึงดูดของโลก จนกระทั่งมีความเร็วเท่ากับความเร็ว V ดังนั้นเฮดความเร็วจึงคำนวณได้จากสมการ

$$h_v = \frac{V^2}{2g} \quad \dots\dots\dots 2.2$$

โดย

$$\begin{aligned} h_v &= \text{เฮดความเร็ว, m/s} \\ V &= \text{ความเร็วการไหล, m/s} \\ g &= \text{อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก, m/s}^2 \end{aligned}$$

9. การสูญเสียที่ทางเข้า h_i และทางออก h_e (Charge and Discharge Losses) เมื่อของเหลวเคลื่อนที่จากแหล่งสูบเข้าสู่ท่อ จะเกิดการสูญเสียพลังงาน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดการไหล หากของเหลวเคลื่อนที่จากแหล่งสูบเข้าสู่ท่อ จะเรียกการสูญเสียพลังงานนี้ว่า การสูญเสียที่ทางเข้า และหากเคลื่อนที่ออกจากท่อ จะเรียกว่าการสูญเสียที่ทางออก การสูญเสียทั้งสองกรณีนี้จะทำให้เฮดความเร็ว ณ ตำแหน่งนั้นลดลง การสูญเสียพลังงานสามารถลดลงได้โดยการติดตั้งท่อรูปปากแตร ที่ปลายท่อดูดของปั๊ม หรือติดตั้งท่อขยาย ที่ปลายท่อจ่าย ซึ่งจะทำให้การเปลี่ยนแปลงหน้าตัดการไหลค่อย ๆ เกิดขึ้น การสูญเสียพลังงานที่จะเกิดขึ้นน้อยลง

10. เฮดด้านดูดรวม (Total Suction Head) และ ระยะยกด้านดูดรวม (Total Suction Lift) ค่า Total Suction Head กรณีเป็นระบบปิด ดังรูป 2.3 a คำนวณได้จากสมการ

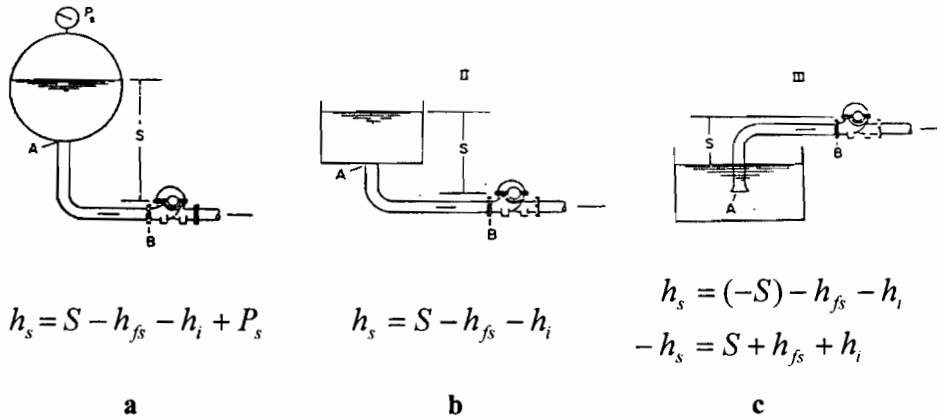
$$\begin{aligned} \text{เฮดด้านดูดรวม} &= \text{เฮดสถิตย์ด้านดูด} - \text{การสูญเสียที่ทางเข้า} - \text{เฮดความฝืดท่อดูด} \\ &\quad + \text{เฮดความดันใด ๆ ที่ผิวของเหลวแหล่งสูบ} \end{aligned}$$

หาก เฮดความดันใด ๆ วัดเทียบกับความดันบรรยากาศ ของเฮดทางด้านดูดที่ได้ก็จะเป็นเฮดที่วัดเทียบกับบรรยากาศเช่นกัน ดังนั้นถ้าเป็นแหล่งสูบบนระบบเปิด ดังรูป 2.3 b โดย เฮดความดันจะมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ หรือเท่ากับศูนย์

เทอม ระยะยกด้านดูด คือ ค่าติดลบของ เฮดด้านดูด ซึ่งปกติจะใช้คำว่า ระยะยก แทน เฮดเมื่อปั๊มดูดของเหลวจากแหล่งสูบที่อยู่ต่ำกว่าตัวปั๊ม และแหล่งสูบเปิดให้ผิวของเหลวสัมผัสอากาศ ดังรูป 2.3 c ดังนั้น ระยะยกด้านดูดรวม สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{ระยะยกด้านดูดรวม} = \text{ระยะยกสถิตย์ด้านดูด} + \text{การสูญเสียที่ทางเข้า} + \text{เฮดความฝืดท่อดูด}$$

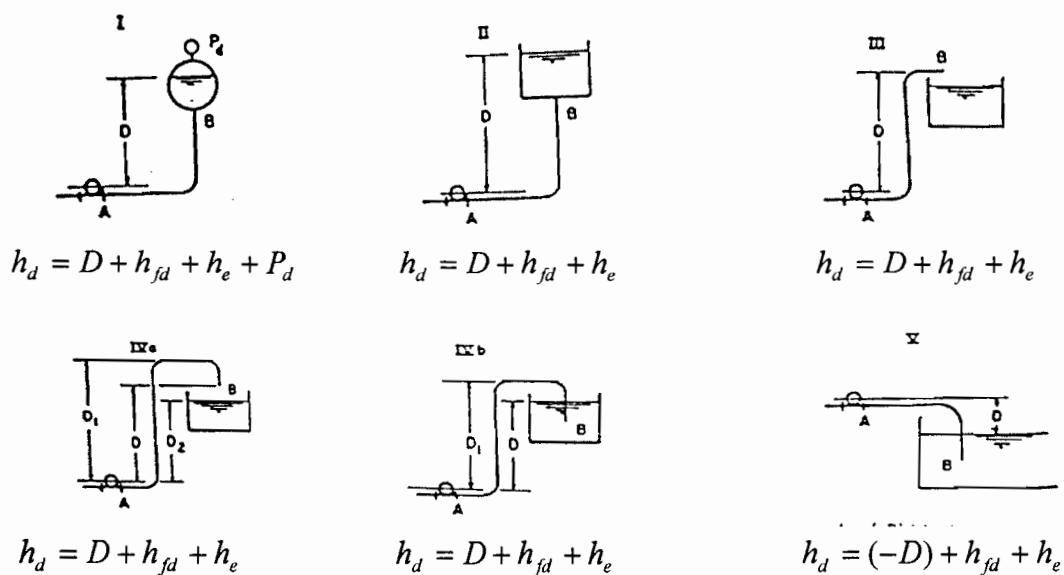
หากนำเงามาติดตั้งที่ท่อดูด ค่าที่อ่านได้ คือ เสดด้านดูดรวม (วัดเทียบกับบรรยากาศ) ลบ ด้วยเสดความเร็วของจุดที่ติดตั้งเกจ แต่สำหรับ ระยะยกด้านดูด ค่าที่อ่านได้จากเกจ คือ ระยะยกด้านดูดรวม (วัดเทียบกับบรรยากาศ) บวกด้วยเสดความเร็วของจุดที่ติดตั้งเกจ



รูปที่ 2.3 การคำนวณ Total Suction ของแหล่งจ่ายรูปแบบต่าง ๆ

11. เสดรวมด้านจ่าย (Total Discharge Head, h_d) สามารถคำนวณได้จากสมการ

เสดรวมด้านจ่าย = เสดสถิตย์ด้านจ่าย + การสูญเสียที่ทางออก + เสดความเร็วปลายท่อจ่าย + เสดความดันใด ๆ ที่ผิวของเหลวด้านแหล่งจ่าย



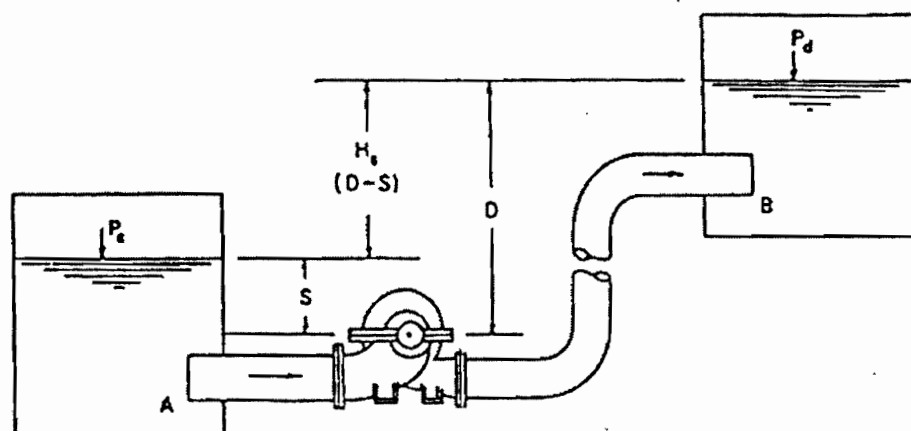
รูปที่ 2.4 ระบบท่อด้านจ่ายรูปแบบต่าง ๆ

12. **เฮดรวม (Total Head, H)** คือพลังงานทั้งหมดที่ต้องการจากปั๊ม สามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned}\text{เฮดรวม} &= \text{ระยะยกด้านดูดรวม} + \text{เฮดรวมด้านจ่าย} \text{ หรือ} \\ &= \text{เฮดด้านดูดรวม} - \text{เฮดรวมด้านจ่าย}\end{aligned}$$

เฮดรวม อาจคำนวณจากเฮดสถิตยัรวม เช่น ระบบปิดในรูปที่ 2.5 ที่คำนวณได้จากสมการ

เฮดรวม = เฮดสถิตยัรวม + การสูญเสียที่ทางเข้าและทางออก + เฮดความฝืดของท่อ
 ดูดและท่อจ่าย + เฮดความเร็วปลายท่อจ่าย + เฮดความดันใด ๆ ที่ผิว
 ของเหลวแหล่งสูบและแหล่งจ่าย



$$\begin{aligned}H &= h_d - h_s \\ &= H_s + h_f + h_i + h_e + (P_d - P_s)\end{aligned}$$

รูปที่ 2.5 Total Head ของระบบสูบแบบปิดภายใต้ความดัน

13. แรงม้าทางทฤษฎี (Water Horsepower, W_{hp}) เป็นพลังงานที่ปั๊มให้แก่ของเหลว (Power Output) ในหน่วยของแรงม้า ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$W_{hp} = \frac{\gamma QH}{550} \dots\dots\dots 2.3$$

โดย

$$\begin{aligned} \gamma &= \text{ความถ่วงจำเพาะของของเหลว, N/m}^3 \\ Q &= \text{อัตราการไหล, m}^3/\text{sec} \\ H &= \text{เฮดรวม, m} \end{aligned}$$

สำหรับพลังงานที่ปั๊มให้แก่ของเหลวในหน่วย กิโลวัตต์ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P_o = \gamma QH \dots\dots\dots 2.4$$

โดย

$$\begin{aligned} \gamma &= \text{ความถ่วงจำเพาะของของเหลว, N/m}^3 \\ Q &= \text{อัตราการไหล, m}^3/\text{sec} \\ H &= \text{เฮดรวม, m} \end{aligned}$$

14. แรงม้าของต้นกำลัง (Break Horsepower, B_{hp}) เป็นกำลังงานที่ปั๊มได้รับจากมอเตอร์ (Power Input) หรือเครื่องยนต์ในหน่วยของแรงม้า เพื่อใช้พลังงานให้กับของเหลว เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$B_{hp} = \frac{\omega \tau}{550} \dots\dots\dots 2.5$$

โดย

$$\begin{aligned} \omega &= \text{ความเร็วเชิงมุม, rad/sec} \\ \tau &= \text{กำลังบิดโดยใบพัด, N.m} \end{aligned}$$

สำหรับงานที่ปั๊มได้รับจากมอเตอร์หรือเครื่องยนต์ ในหน่วยของกิโลวัตต์คำนวณได้จาก

$$P_i = \omega \tau \quad \dots\dots\dots 2.6$$

โดย ω = ความเร็วเชิงมุม, rad/sec
 τ = กำลังบิดโดยใบพัด, N.m

15. ประสิทธิภาพของปั๊ม (Pump Efficiency, E_p) หรือประสิทธิภาพเชิงกล(Mechanical Efficiency) คือ สัดส่วนของกำลังงานที่ปั๊มให้กับของเหลว (Power Output, P_o) กับกำลังงานที่ปั๊มได้รับ (Power Input, P_i)

$$E_p = \frac{W_{hp}}{B_{hp}} = \frac{P_o}{P_i} \quad \dots\dots\dots 2.7$$

16. ประสิทธิภาพของมอเตอร์, E_m คือ สัดส่วนของกำลังที่ปั๊มได้รับ กับกำลังงานของมอเตอร์ หรือเครื่องยนต์ต้นกำลังขับปั๊ม P_m เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$E_m = \frac{P_i}{P_m} \quad \dots\dots\dots 2.8$$

17. ประสิทธิภาพของปั๊ม (Overall Efficiency, E) คือ สัดส่วนระหว่างกำลังงานที่ออกจากปั๊ม และกำลังงานที่มอเตอร์ให้กับปั๊ม ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$E = \frac{P_o}{P_m} = E_p \cdot E_m \quad \dots\dots\dots 2.9$$

2.1.5 ปั๊มแบบโรตารี

ปั๊มโรตารี เป็นปั๊มที่ของเหลวจะต้องเข้าไปแทนที่ภายในช่องว่างในเรือนสูบ ซึ่งช่องว่างนี้เกิดขึ้นจากการเคลื่อนไหวนของกลไกของปั๊มนั้น จึงเรียกปั๊มนี้นว่าแบบ Positive Displacement Pump เช่นเดียวกับปั๊มแบบชัก ซึ่งเป็นปั๊มแบบใช้ลูกสูบแต่จะต่างกันที่ลักษณะการเคลื่อนไหวนของชิ้นส่วนเท่านั้น ปั๊มแบบโรตารีทำงานด้วยการเคลื่อนที่ของเหลวเข้าไปแทนที่ช่องว่างในเรือนสูบ ซึ่งเกิดจาก

การเคลื่อนที่ในลักษณะหมุนวนส่วนปั๊มแบบลูกสูบนั่น การเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดช่องว่างเพื่อให้ของเหลวเข้าไปแทนที่ จะเป็นในลักษณะชัก

หลักการทำงานของปั๊มแบบโรตารี คือ ชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวยังอาจเป็นเฟือง แผ่นโลหะ ลูกสูบ เกลิยว หรือลูกเบี้ยว ฯลฯ ซึ่งบรรจุอยู่ในเรือนสูบนั่น จะหมุนหรือเคลื่อนที่ไป ของเหลวจะไหลผ่านตามช่องทางเข้าและถูกชิ้นส่วนเหล่านี้ดักหรือกวาดให้ลัดเลาะไปตามขอบผนังของเรือนสูบ โดยมีระยะห่างระหว่างผนังของตัวสูบกับปลายของชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ที่น้อยมาก ของเหลวจะได้รับพลังงานเพิ่มจากการถูกอัดหรือรีดไประหว่างช่องแคบนี้ จากนั้นก็จะถูกปล่อยออกที่ปากทางออก การเคลื่อนไหวยังทำให้แรงดันของเหลวอันเกิดจากการรีดผ่านช่องแคบ ๆ สูงมาก ปั๊มแบบนี้จึงใช้ได้กับระบบที่ต้องการแรงดันสูง ๆ ปั๊มแบบโรตารีนี้ ใช้ได้กับของไหลทุกชนิด ตั้งแต่ น้ำของเหลวชนิดต่าง ๆ อากาศและแก๊ส และด้วยคุณสมบัติอันนี้เอง ทำให้ปั๊มโรตารีเป็นที่นิยมมากในการนำไปใช้งานกับของเหลวที่มีความหนืดสูง เช่น น้ำมันดิบ เป็นต้น

ชนิดของปั๊มโรตารี

เนื่องจากโรตารีซึ่งเป็นตัวจักรสำคัญในการทำงานของปั๊มโรตารี ดังนั้นการจำแนกชนิดของปั๊มโรตารีโดยการยึดถือแบบของโรเตอร์เป็นหลัก จึงต้องแยกปั๊มชนิดโรตารีออกเป็นหลายแบบตามชนิดและหลักการทำงานของโรเตอร์ ดังนี้

1. แบบเฟืองเกียร์ (Gear Pump) แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ
 - ปั๊มแบบเฟืองภายนอก (External Gear Pump)
 - ปั๊มแบบเฟืองภายใน (Internal Gear Pump)
2. แบบลูกสูบและลูกเบี้ยว (Cam-and-piston Pump)
3. แบบโลบิวลาร์ (Lobular Pump)
4. แบบ Circumferential Piston Pump
5. แบบเกลียว (Screw Pump)
6. แบบแผ่นใบพัด (Vane Pump)
7. แบบห้องอ่อน (Flexible Chamber Pump)

ลักษณะการใช้งานปั๊มโรตารี

ปั๊มโรตารีส่วนใหญ่จะสามารถล่อน้ำได้ด้วยตนเอง และมักจะใช้ได้กับของไหลได้ทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นของเหลว น้ำ แก๊ส ตลอดจนของเหลวที่มีอากาศหรือแก๊สปนอยู่โดยเฉพาะอย่างยิ่งของเหลวที่มีความหนืดสูง ๆ ดังนั้นการใช้งานปั๊มแบบโรตารีจึงค่อนข้างกว้างและมักจะอยู่ใน

โรงงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนมาก งานต่าง ๆ ที่ปั๊มโรตารีทำงานได้คือรวมไปถึงงานสูบของเหลวที่มีความหนืดทุกระดับ งานสูบสารเคมี กระบวนการผลิตอาหาร งานลำเลียง และงานขนถ่ายวัสดุประเภทที่เป็นของเหลวและแก๊ส งานดับเพลิง ใช้ในระบบไฮดรอลิกส์ของเครื่องจักรกลต่าง ๆ ใช้ในระบบหล่อลื่นหล่อเย็น งานขนถ่ายแก๊สเหลว ตลอดจนการใช้งานสูบน้ำไปใช้ตามอาคารบ้านเรือน เป็นต้น

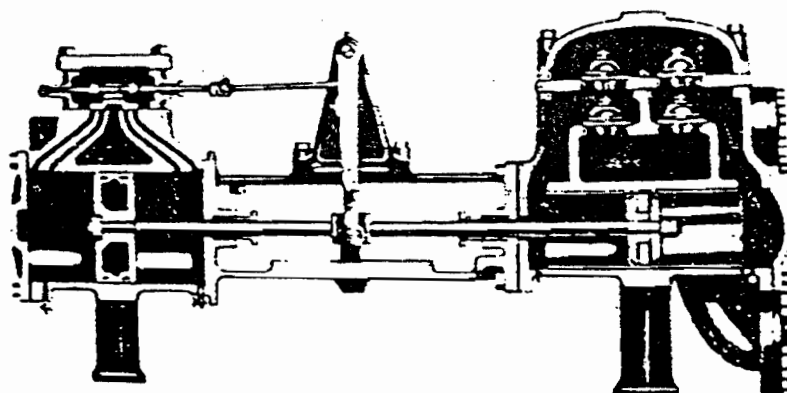
2.1.6 ปั๊มแบบชัก

ปั๊มแบบชัก หรือบางครั้งเรียกทับศัพท์ว่า ปั๊มรีซิโพรเคท เป็นปั๊มที่จัดอยู่ในกลุ่ม Positive Displacement Pump คือ เป็นปั๊มที่ให้ปริมาณของเหลวคงที่ โดยของเหลวจะเข้าไปแทนที่ช่องว่างที่เกิดขึ้นภายในห้องสูบจากการเคลื่อนที่ของกลไก เช่นเดียวกับกับปั๊มแบบโรตารี แต่ต่างกันตรงที่ปั๊มแบบนี้ มีการเคลื่อนไหวยของกลไกในลักษณะกลับไปกลับมา จึงเรียกชื่อตามลักษณะของการทำงานว่า “Reciprocating Pump” ได้แก่ ปั๊มน้ำที่ใช้ลูกสูบ ซึ่งพบมากตามอาคารบ้านเรือนต่าง ๆ ปั๊มแบบนี้ ปริมาณของเหลวที่ได้ในการทำงานของลูกสูบแต่ละครั้ง คือ ผลคูณระหว่างพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบกับความยาวของช่วงชัก ซึ่งก็เป็นไปตามหลักการเท่านั้น ในการใช้งานจริง ปริมาณของเหลวที่ได้จะน้อยกว่าผลคูณดังกล่าว เพราะมีของเหลวบางส่วนสูญเสียไปกับการไหลย้อนกลับทาง (Slip Loss) เช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในโรตารี

ชนิดของปั๊มแบบชัก

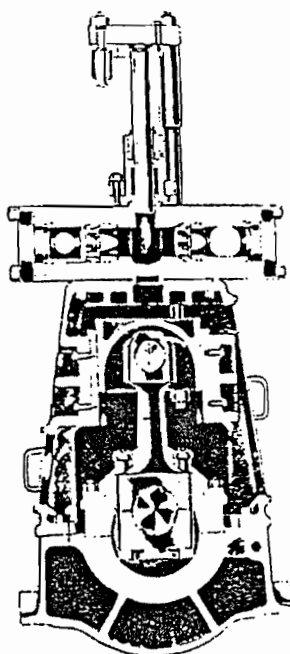
ปั๊มแบบชัก จะแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ ปั๊มแบบส่งกำลังตรง และปั๊มแบบส่งกำลังผ่านข้อเหวี่ยง เรียกว่า Power Pump แต่อย่างไรก็ตาม ยังปรากฏว่า ได้มีการดัดแปลงปั๊มทั้งสองแบบนี้ ออกไปอย่างกว้างขวาง ด้วยวัตถุประสงค์ที่จะให้ใช้งานเฉพาะอย่างได้ตามลักษณะที่ต้องการ ดังนั้น ปั๊มใด ๆ ที่มีกลไกในการสูบของเหลวที่เคลื่อนที่ในลักษณะที่กลับไปกลับมา ไม่ว่าจะเป็นลูกสูบ พลังเจอร์ หรือแผ่นไดอะแฟรม ก็จะถือว่าเป็นปั๊มแบบชักทั้งสิ้น

1. **ปั๊มแบบส่งกำลังตรง** เครื่องต้นกำลังที่ใช้ขับปั๊มประเภทนี้ คือ เครื่องจักรไอน้ำ โดยก้านสูบของลูกสูบไอน้ำจะต่อตรงอยู่กับลูกสูบของปั๊ม และเคลื่อนไปด้วยกัน การขับเคลื่อนมักจะอยู่ในลักษณะหนึ่งต่อหนึ่ง คือ ลูกสูบไอน้ำหนึ่งสูบต่อลูกสูบปั๊มหนึ่งสูบ รูปที่ 2.6 แสดงรูปตัดภายในของปั๊มแบบส่งกำลังตรงแบบ Duplex



รูปที่ 2.6 ปั๊มแบบส่งกำลังตรงแบบ Duplex

2. ปั๊มแบบส่งกำลังผ่านข้อเหวี่ยง ปั๊มแบบนี้จะรับกำลังจากเครื่องต้นกำลังผ่านเข้ามาทางข้อเหวี่ยง โดยมีล้อช่วยแรง เป็นอุปกรณ์ช่วยลดความเร็วรอบที่ผ่านจากเครื่องต้นกำลังเข้ามา มีเฟืองเกียร์ที่อยู่ภายในเรือนปั๊มเป็นตัวช่วยลดความเร็วของลูกสูบลง นอกจากนี้ล้อช่วยแรง จะยังช่วยรักษาเสถียรภาพในจังหวะการทำงานของลูกสูบอีกด้วย (รูปที่ 2.7)



รูปที่ 2.7 ปั๊มแบบส่งกำลังผ่านข้อเหวี่ยงแบบ Inverted Triplex Vertical Plunger

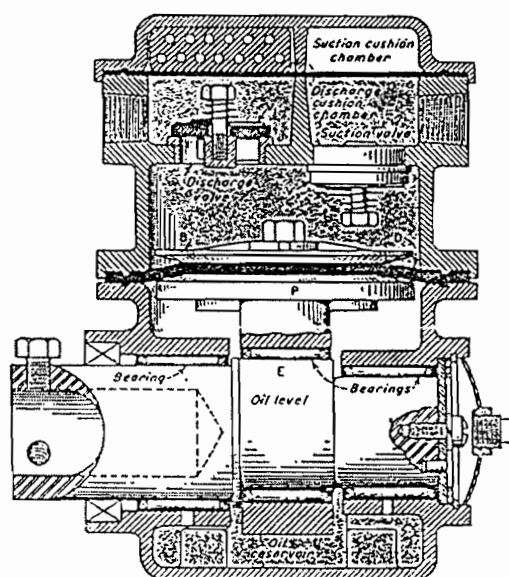
ปั๊มแบบใช้ข้อเหวี่ยงจะส่งน้ำได้ในปริมาณเกือบจะคงที่ เมื่อทำงานด้วยความเร็วคงที่ ในขณะที่เฮดอาจเปลี่ยนแปลงไปได้เป็นช่วงกว้าง และมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง ปั๊มชักไม่ว่าจะเป็นแบบ Piston หรือ Plunger สามารถให้แรงดันที่สูงมากได้ ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อปั๊มเอง ถ้าลูกสูบทำงานไม่สัมพันธ์กับวาล์วบังคับทิศทางการไหลของของเหลว ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องใช้วาล์วลดแรงดันเข้าช่วย เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้กับปั๊มและท่อปล่อย ในกรณีที่ปั๊มทำงานอยู่ในขณะที่ประตุน้ำหรือวาล์วปิดกั้นทางออกอยู่ในสภาวะปิดสนิท ในปั๊มแบบส่งกำลังตรงจากเครื่องไอน้ำนั้นลูกสูบจะหยุดทำงานทันที เมื่อแรงดันบริเวณหน้าตัดของลูกสูบของเหลวเท่ากับแรงดันที่หน้าตัดของลูกสูบไอน้ำ แต่ในเครื่องสูบแบบใช้ข้อเหวี่ยงนั้น แรงดันบริเวณหน้าลูกสูบจะสูงกว่าแรงที่ส่งเข้ามาอย่างมากมาก่อนที่มันจะหยุดทำงานซึ่งเป็นสภาวะที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่ปั๊มหรือท่อได้ เพราะปั๊มแบบนี้มีการทดกำลังผ่านข้อเหวี่ยงเข้ามาโดยใช้เฟืองเป็นตัวทด และยังมี ล้อช่วยแรงเพิ่มกำลังเข้าไปด้วย ทำให้กำลังของลูกสูบสูงขึ้นกว่ากำลังที่ส่งเข้ามา และด้วยเหตุผลนี้เองที่ทำให้ปั๊มแบบนี้สามารถใช้ได้อย่างดียิ่งสำหรับงานที่ต้องการแรงดันสูง ๆ

ปั๊มแบบข้อเหวี่ยงมีทั้งชนิดสูบตั้งและสูบนอน เช่นเดียวกันกับปั๊มที่ใช้กำลังไอน้ำ สำหรับปั๊มที่เป็นแบบสูบนอนและใช้ลูกสูบแบบ Plunger บางแบบใช้กำลังขับเคลื่อนถึง 200 แรงม้าและมีขนาดไม่ใหญ่โตนัก ง่ายต่อการดูแลรักษา โดยมากจะมี 3 ถึง 5 สูบ ส่วนแบบที่ใช้ Piston บางแบบใช้กำลังขับเคลื่อนถึง 2000 แรงม้า และมักมีจำนวนลูกสูบเพียง 2-3 สูบ มีทั้งแบบทำงานทางเดียว และทำงานสองทาง ปั๊มแบบสูบตั้งที่ใช้ Plunger มีขนาดขึ้นไปถึงขนาดที่ใช้กำลังขับเคลื่อน 1500 แรงม้า ปั๊มแบบนี้แม้จะแก้ปัญหาเรื่องน้ำหนักกดของลูกสูบบนบูชและปะเก็นได้ แต่ต้องมีซีลกันรั่วแบบพิเศษที่จะป้องกันไม่ให้น้ำหรือของเหลวจากลูกสูบรั่วเข้าไปปนกับน้ำมันเครื่องที่อยู่ทางด้านเพลาลูกสูบ

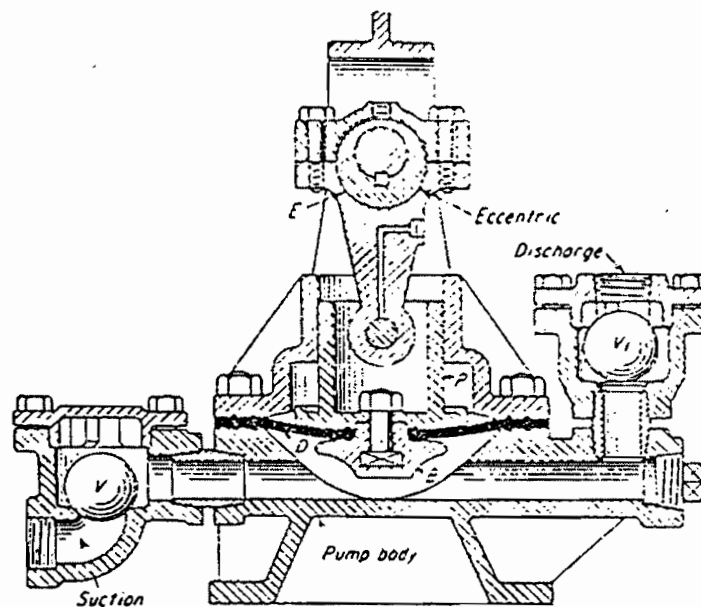
ลูกสูบแบบ Plunger มักใช้กับปั๊มที่ต้องการแรงดันตั้งแต่ 1,000 ถึง 30,000 psi ส่วนแบบ Piston สามารถสร้างแรงดันได้ประมาณ 1,000 psi เท่านั้น แรงดันซึ่งปั๊มสามารถสร้างขึ้นได้นี้เป็นอัตราส่วนกำลังที่ข้อเหวี่ยงสามารถจะให้ได้ซึ่งบางครั้งแรงดันที่ได้จากปั๊มจะสูงมากจนต้องมีการใช้อุปกรณ์ระบายแรงดัน เพื่อป้องกันความเสียหายของปั๊มและของท่อส่ง ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

3. ปั๊มแบบแผ่นไดอะแฟรม ปั๊มแบบนี้ ทำงานด้วยการเคลื่อนที่ในลักษณะกลับไปกลับมาของแผ่นไดอะแฟรมที่ทำด้วยวัสดุยืดหยุ่นตัวได้ เช่น ยางหรือวัสดุเทียบบาง ๆ ฯลฯ โดยที่จุดศูนย์กลางของแผ่นไดอะแฟรมจะมีก้านต่ออยู่กับแกนยก ซึ่งทำหน้าที่เหมือนเป็นก้านสูบของแผ่นไดอะแฟรม แกนยกนี้ จะวางอยู่บนลูกเบี้ยวโดยตรงหรืออาจวางอยู่บนกระเดื่องอีก โดยปลายอีกข้างหนึ่งของกระเดื่องจะวางอยู่บนลูกเบี้ยวก็ได้ ลูกเบี้ยวจะรับกำลังมาจากการหมุนของเพลาลูกเบี้ยว เมื่อเพลาลูกเบี้ยวหมุนไป ลูกเบี้ยวก็จะดันกระเดื่องหรือแกนยกของแผ่นไดอะแฟรมให้เคลื่อนที่ไป ดึงให้แผ่นไดอะแฟรมให้ทำงาน แผ่นไดอะแฟรมอยู่ในห้องสูบ เมื่อแผ่นไดอะแฟรมเคลื่อนที่ขึ้น ก็จะดัน

ของเหลวที่อยู่ในห้องสูบให้ออกไปยังช่องทางออก ระหว่างช่องทางออกกับห้องสูบจะมีลิ้นก้นกลับปิดกันไว้โดยวางลิ้นนี้ไว้ในลักษณะที่จะให้ของเหลวผ่านจากห้องสูบไปยังช่องทางออกได้เพียงทางเดียว ลิ้นนี้ทำงานโดยอาศัยแรงดันของน้ำที่อยู่ภายในห้องสูบ เมื่อแผ่นไดอะแฟรมเลื่อนขึ้นไปจนสุดแล้วก็หยุด ทำให้แรงดันในห้องสูบลดลง ลิ้นก้นกลับก็จะปิดลง จากนั้นแผ่นไดอะแฟรมก็จะเลื่อนกลับซึ่งทำให้เกิดช่องว่างขึ้นภายในห้องสูบ ช่องว่างนี้จะมีสภาพเกือบจะเป็นสุญญากาศ แรงดันบรรยากาศที่อยู่ภายนอกจึงดันของเหลวผ่านเข้ามา และดันลิ้นก้นกลับที่ปิดกันทางเข้าไว้ให้เปิดออก ของเหลวก็จะไหลเข้ามาในห้องสูบ จนกระทั่งเมื่อแผ่นไดอะแฟรมเลื่อนกลับไปจนสุดระยะแล้วก็จะหยุด ลิ้นก้นกลับบริเวณทางเข้าจะปิด จากนั้นก็จะเริ่มจังหวะการสูบออกใหม่ต่อไปอีก

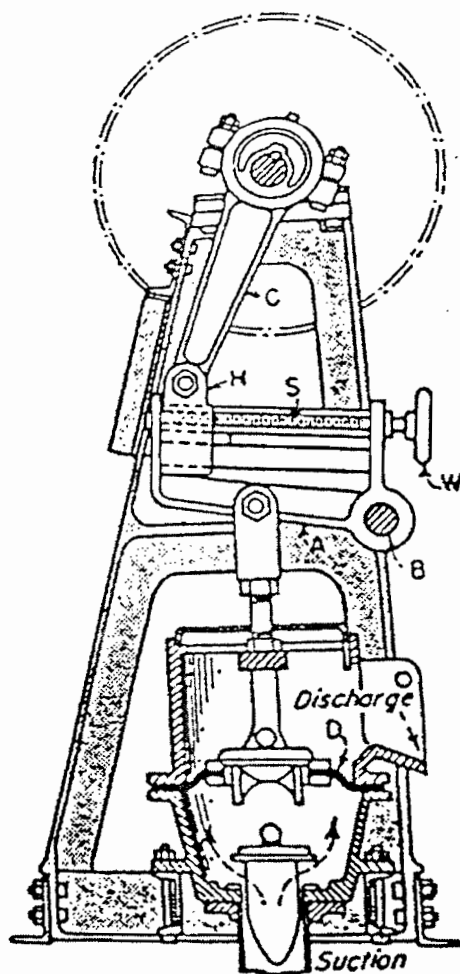


รูปที่ 2.8 ปั๊มแบบแผ่นไดอะแฟรมแบบ short-stroke High-speed Spray Pump



รูปที่ 2.9 ปั๊มแบบแผ่นไดอะแฟรมแบบใช้ Ball Valve

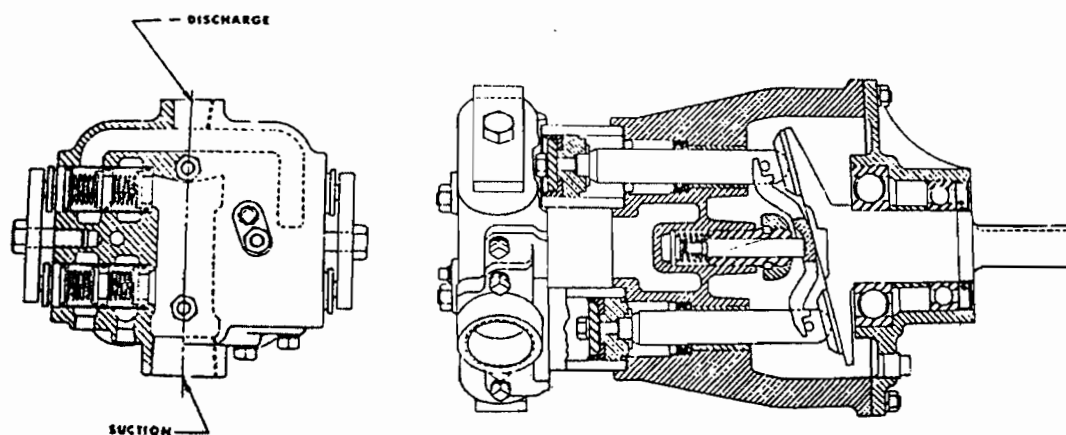
4. ปั๊มแบบปรับปริมาณได้ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ปริมาณของของเหลวที่ได้จากปั๊มแบบชัก จะมีค่าคงที่ถ้าความเร็วคงที่ เนื่องจากกระบอกสูบของปั๊มซึ่งน้ำเข้าไปแทนที่นั้นมีปริมาตรคงที่ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของน้ำที่ได้จากปั๊ม จึงสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วเท่านั้น ฉะนั้นถ้าใช้เครื่องต้นกำลังที่ไม่สามารถปรับความเร็วได้ เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า ก็จะทำให้ควบคุมการไหลได้ลำบาก การใช้ปั๊มแบบปรับปริมาณน้ำได้ จึงเป็นสิ่งที่เหมาะสมมากสำหรับงานที่ต้องการแรงดันสูง และต้องมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำอยู่เสมอ ซึ่งเหมาะสมสำหรับงานอุตสาหกรรมบางประเภท หลักการของปั๊มแบบนี้ คือ การเปลี่ยนแปลงความยาวของช่วงชักของก้านสูบซึ่งอาจจะทำได้ด้วยวิธีต่าง ๆ กัน เช่น การปรับความยาวของช่วงชักโดยใช้สกรู ซึ่งจะมีผลทำให้ช่วงชักของแผ่นไดอะแฟรมเปลี่ยนความยาวไปด้วย ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ปั๊มแบบปรับปริมาณได้

นอกจากนี้ปั๊มชักแบบต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ปั๊มแบบชักนี้ ยังได้รับการออกแบบให้มีลักษณะแตกต่างออกไปอีกมาก ส่วนใหญ่จะออกแบบมาให้ใช้งานพิเศษเฉพาะอย่างมีรูปแบบที่ใช้หลักการทำงานผสมกันระหว่างปั๊มแบบโรตารีและแบบรีซิโพรเคท ทำให้เกิดความยุ่งยากในการจำแนก เช่น ปั๊มแบบสูบหมุน ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งประกอบด้วยลูกสูบตั้งแต่ 5 ถึง 7 ลูกสูบ วางเรียงกันเป็นรูปวงกลมอยู่ในกระบอกสูบซึ่งเป็นรูปทรงกระบอก ปลายของก้านสูบทุกอันจะต่ออยู่กับรูปหมุนทรงกลมผ่าเฉียง ซึ่งรับกำลังมาจากเพลาลูกเบี้ยว (Wobbler) หมุน ส่วนเฉียงของผิวหน้าที่หมุนไปจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไปมาของลูกสูบ บางครั้งเรียกลูกสูบลักษณะนี้ว่า Axial-lined Piston Pump ซึ่งจะพบได้ในคอมเพรสเซอร์ของเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศบางชนิด เนื่องจากสามารถสร้างแรงดันได้สูง และมีอาการสั่นสะเทือนขณะทำงานน้อยกว่าแบบลูกสูบชักแบบ

ธรรมชาติการสึกหรอก็มีน้อยกว่า สาเหตุที่เรียกเช่นนี้ เพราะทิศทางการเคลื่อนที่ของลูกสูบจะขนานไปกับแนวแกนเพลลา ถ้าว่างลูกสูบให้ตั้งฉากกับแนวแกนเพลลา การเคลื่อนที่ก็จะตั้งฉากกับแนวแกนเพลลาด้วย เรียกว่า Radial-piston Pump



รูปที่ 2.11 ปั๊มแบบสูบหมุน

ลักษณะการใช้งานของปั๊มแบบชัก

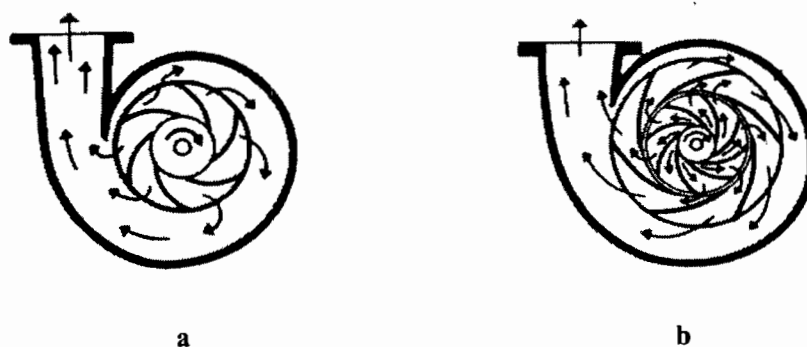
ปั๊มแบบใช้ข้อเหวี่ยงสามารถนำไปใช้งานได้หลายประเภท ตั้งแต่งานสูบน้ำจากถังพักหรือบ่อพัก ไปใช้งานในอาคารที่อยู่อาศัยไปจนถึงงานในโรงงานขนาดใหญ่ งานที่ต้องการใช้แรงดันสูงแต่มีปริมาณน้ำไม่มาก เช่น สูบเติมน้ำในหม้อต้ม การใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม ผลิดอาหาร สารเคมี น้ำมันและน้ำมันดิบ การสูบของเหลวที่มีตะกอนแขวนลอยไม่ขึ้นมากนัก แต่ก็มียานบางประเภทที่ต้องใช้การออกแบบพิเศษ เช่น การสูบของเหลวที่ติดไฟง่าย ซึ่งไม่เหมาะที่จะใช้กับปั๊มประเภทนี้ รวมทั้งของเหลวที่มีอุณหภูมิเกิน 120°C หรือความหนืดเกิน 250 SSU (Saybolt-Second Universal) ตลอดจนของไหลที่สามารถลดปริมาณลงได้มากเมื่อถูกอัดด้วยแรงดันสูง เป็นต้น ก็ไม่เหมาะที่จะใช้กับปั๊มประเภทนี้

2.1.7 ปัมป์ชนิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

ปัมป์ชนิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ประกอบด้วยใบพัด ซึ่งหมุนอยู่ภายในห้องสูบหรือเรือนสูบ พลังงานจะถูกถ่ายเทให้กับของเหลว โดยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง อันเกิดจากการหมุนของใบพัด ปัมป์แบบนี้ จะมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่สองส่วน คือ

- ส่วนที่เคลื่อนที่ได้ ได้แก่ ใบพัด เฟลา
- ส่วนที่อยู่กับที่ ได้แก่ เรือนสูบ เลือเฟลา ฯลฯ

ในปัมป์แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ของเหลวจะถูกผลักดันด้วยแรงดันบรรยากาศหรือแรงอื่น ๆ ตามที่ปัมป์นั้นได้รับการออกแบบมา ให้ไหลผ่านเข้าไปสู่ใบพัดเรือนสูบ แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง อันเกิดจากการหมุนของใบพัดนี้ จะทำให้ของเหลวเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง และความเร็วนี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานในรูปของแรงดัน โดยไหลผ่านเข้าไปในท่อรูปก้นหอย ดังรูปที่ 2.12 a หรือผ่านทางแผ่นกระจายของเหลว ซึ่งติดตั้งอยู่บนผนังเรือนสูบ ดังรูปที่ 2.12 b จากนั้นจะไหลออกจากปัมป์ ซึ่งจากจุดนี้ก็จะมีการส่งมาต่อเข้ากับตัวปัมป์ เพื่อนำของเหลวเข้าสู่ในระบบต่อไป



รูปที่ 2.12 ปัมป์แบบหอยโข่ง a และแบบเทอร์ไบน์ b

2.1.8 การใช้พลังงานและประสิทธิภาพของปั๊มต่างๆ

1. จำนวนงานที่ปั๊มให้แก่น้ำ หรือกำลังงานของน้ำ, W_o
2. จำนวนมอเตอร์ที่ให้แกปั๊ม, W
3. จำนวนประสิทธิภาพของปั๊ม, η

1.1 งานที่ปั๊มให้แก่น้ำ หรือกำลังงานของน้ำ (W_o) หาได้จากอัตราการไหลของน้ำ และ ความดันที่เพิ่มขึ้น

$$W_o = Q \times P \quad \dots\dots\dots 2.10$$

$$W_o = Q \left[\frac{L}{\text{min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ sec}} \times \frac{1 m^3}{1000 L} \right] \times P \left[\frac{kg_f}{cm^2} \times \frac{10^4 cm^2}{m^2} \times \frac{9.81 N}{1 kg} \right]$$

โดย

$$W_o = \text{กำลังงานมอเตอร์ที่ให้กับน้ำ, } N.m / \text{sec}$$

$$Q = \text{อัตราการไหลของน้ำ, } L / \text{min}$$

$$P = \text{ความดันพื้นที่เพิ่มขึ้น}$$

$$= \text{ความดันท่อส่ง - ความดันท่อดูด, } kg_f / cm^2$$

1.2 งานมอเตอร์ที่ให้แกปั๊ม (W_i) วัดได้จากแรงบิดของมอเตอร์ และความเร็วรอบของมอเตอร์

$$W_i = \frac{Fr \times 2\pi n}{60} \quad \dots\dots\dots 2.11$$

โดย

$$W_i = \text{กำลังงานที่มอเตอร์ให้แกปั๊ม, } N.m / \text{sec}$$

$$n = \text{ความเร็วรอบต่อนาที, rpm}$$

$$F = \text{แรงบิดวัดที่ปลายแขนหมุนของมอเตอร์ไคนาโมมิเตอร์, N}$$

$$r = \text{ความยาวของแขนหมุนของไคนาโมมิเตอร์, m}$$

ในกรณีที่ ค่าแรงบิด $\tau = Fr$ สามารถอ่านค่าได้โดยตรง และมีหน่วย (N.m)

$$W_i = [N \times m] \times n \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}} \times \frac{2\pi}{\text{rec}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ sec}} \right] \quad \dots\dots\dots 2.12$$

1.3 ประสิทธิภาพของปั๊ม, η

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพของปั๊ม} &= \frac{\text{กำลังงานที่ป้อนให้แก่ น้ำ}}{\text{กำลังงานที่มอเตอร์ให้แก่ปั๊ม}} \quad \dots\dots\dots 2.13 \\ &= \frac{W_o}{W_i} \end{aligned}$$

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้า

2.2.1 ประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้า [1]

เมื่อมีกระแส ไฟฟ้าใช้ การใช้มอเตอร์ไฟฟ้าจะให้ประโยชน์เหนือกว่าการใช้เครื่องยนต์ที่ จูกระเบิดภายใน โดยเฉพาะในกรณีต่อไปนี้

1. เมื่อปฏิบัติงานต่อเนื่องกันหลาย ๆ ชั่วโมง
2. เมื่อปฏิบัติงานตลอดคืน
3. เมื่อต้องการติดและดับเครื่องยนต์บ่อยครั้ง
4. เมื่อต้องการติดและดับเครื่องโดยอัตโนมัติ

ในกรณีของการวิดน้ำ ระบายน้ำ เครื่องอบแห้ง เครื่องเป่า สายพาน เลื่อยไสใหญ่ งานโลหะ และงานไม้ การแปรสภาพเมล็ดพืช ฯลฯ มักจะต้องปฏิบัติงานในสภาพที่กล่าวข้างต้น 1-2 กรณี การใช้มอเตอร์ไฟฟ้าจะน่าวางใจกว่ามาก

มอเตอร์ไฟฟ้าอาจจะไม่สามารถโยกย้ายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ง่าย ๆ อย่างเครื่องยนต์ จูกระเบิดภายใน แต่เราก็สามารถจะต่อไฟมาให้กับเครื่องได้ในระยะถึง 20 เมตร โดยการใช้สายต่อ แต่ควรระมัดระวังว่าสายไฟที่ใช้ต่อควรจะมีขนาดใหญ่พอ มิฉะนั้นจะเกิดความต่างศักย์ตก และ ประสิทธิภาพลดลง

2.2.2 มอเตอร์เฟสเดียว

ในบ้านเรือนทั่วไปจะมีกระแสไฟฟ้าเฟสเดียวขนาด 220 โวลต์ 50 Hz ใช้แต่มอเตอร์ไฟฟ้า จะมีข้อจำกัดที่ใช้ได้เฉพาะกระแส Contracted เท่านั้น บนป้ายทะเบียนของมอเตอร์จะบอกชนิดและขนาดของกระแส เมื่ออ่านป้ายนี้ก็สามารถใช้มอเตอร์ได้อย่างถูกต้อง ดูตารางที่ 2.2

จากตารางข้างต้นจะเห็นว่ามอเตอร์ไฟฟ้าในตารางที่ 2.2 a เป็นมอเตอร์ที่ใช้ไฟฟ้า 220 โวลต์ 50 Hz กำลัง 0.4 กิโลวัตต์ (โดยมี 0.735 กิโลวัตต์ เท่ากับประมาณ 1 กำลังม้า ฉะนั้นมอเตอร์นี้ มีกำลังประมาณ 0.5 แรงม้า) และกระแสที่ใช้คือ ต่ำกว่า 9.5 แอมแปร์

แม้รอบหมุนจะไม่ได้พูดถึงกันบ่อยครั้ง แต่มอเตอร์ขนาด 4 ขั้ว มีรอบหมุน 1,500 รอบต่อนาที (1,500 rpm) ที่ 50 Hz ส่วนมอเตอร์ 2 ขั้ว และ 8 ขั้ว จะมีรอบหมุน 3,000 rpm และ 750 rpm ตามลำดับ (รอบหมุนจะเป็นสัดส่วนกลับกับจำนวนขั้ว)

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างแผ่นป้ายมอเตอร์

มอเตอร์ สี่เฟสเดียว	คอนเดนเซอร์ สตาร์ท	
220 V 50 Hz	ขนาด	0.4 kw
4 P . 1500 rpm		9.5 A

a

มอเตอร์ สี่เฟสเดียว		
แยกสี่สตาร์ท		
71 – 1871	ขนาด	ค่า
กระแสเข้า B 1 W	35 W	E F O U – K T
ขั้ว 100 / 100 / 110	หมายเลข	M 1035 F
Hz 50 / 60 / 60	JIS	C 4004
แอมป์ 1440 / 1730 / 1740	หมายเลขการผลิต	_____
Rpm 1.30 / 1.20 / 1.20		
ทิศทางของการหมุน (จากด้านงาน)		
ฮิตาชิ จก. โตเกียว ญี่ปุ่น		

b

มอเตอร์เฟสเดียวแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

- 1) ประเภทสตาร์ทแยก
- 2) ประเภทสตาร์ทด้วยคอนเดนเซอร์
- 3) ประเภทสตาร์ทด้วยแรงผลัก

สองประเภทหลังมีแรงบิดเครื่องที่ดีกว่าประเภท 2 กำลังเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ทิศทางของการหมุนจะกลับทางได้โดยการเปลี่ยนการต่อลวดสำหรับประเภทที่ 1 และ 2 ส่วนประเภทที่ 3 ใช้วิธีเปลี่ยนแผ่นโลหะ

ในประเภทของมอเตอร์แบบเฟสเดียว นอกจากมอเตอร์แบบแม่เหล็กไฟฟ้าแล้ว ยังมีเครื่องชนิดแบบต่าง ๆ อีก ซึ่งเครื่องชนิดเหล่านี้จะใช้กระแสสลับหรือกระแสตรงก็ได้ แรงของการบิดเครื่องจะแรงมากและส่วนมากใช้กับส่วนไฟฟ้า เลื่อยวงเดือน และอุปกรณ์งานบ้านอื่น ๆ

สำหรับมอเตอร์แบบสตาร์ทด้วยแรงผลักและเป็นแบบที่ใช้แผ่นโลหะ จะต้องคอยเปลี่ยนแผ่นโลหะเมื่อชำรุดเสมอ มอเตอร์แบบเฟสเดียวส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็กกว่า 1 กิโลวัตต์

2.3 สายพาน

2.3.1 คุณสมบัติส่งกำลังด้วยสายพาน [2]

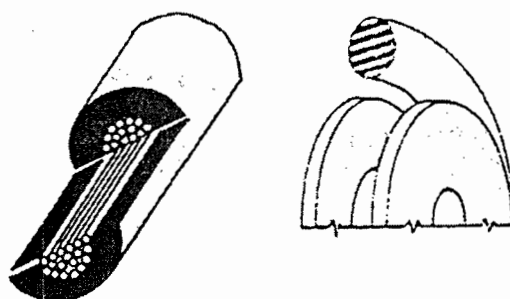
การส่งกำลังด้วยสายพาน เป็นการส่งกำลังอย่างง่ายและราคาไม่แพง มีใช้กันแพร่หลายทั้งในชนบทและในเมือง เช่น เครื่องปั่นไฟ เครื่องสูบน้ำ เครื่องรถไถนา เครื่องรถยนต์ เครื่องเลื่อย เครื่องเจาะ เป็นต้น การส่งกำลังจะส่งจากเพลานึงไปยังอีกเพลานึงผ่านล้อสายพาน (Pulley) โดยอาศัยความฝืดล้อสายพานกับสายพาน

2.3.2 คุณสมบัติสายพานส่งกำลังประเภทต่าง ๆ

สายพานส่งกำลังได้โดยอาศัยความฝืด จากการสัมผัสระหว่างสายพานกับล้อสายพาน ปัจจุบันมีการออกแบบให้เหมาะสมกับความก้าวหน้าทางวิชาการหลายรูปแบบที่เป็นมาตรฐานสากล สายพานสามารถจำแนกออกเป็นสายพานกลม สายพานแบน สายพานลิ้ม สายพานฟันเฟือง สายพานหลายลิ้ม สายพานข้อต่อ เป็นต้น

2.3.3 สายพานกลม

สายพานกลม เป็นสายพานที่ออกแบบส่งกำลังเบา ๆ เช่น จักรเย็บผ้า เครื่องเล่นเทปเสียง เครื่องฉายหนัง และเครื่องเจียรไนพลอย เป็นต้น สายพานกลมมีลักษณะเหมือนโอริง ทำจากยางหนังสัตว์ การส่งกำลังของสายพาน อาศัยความฝืดที่เกิดจากร่องล้อสายพานสัมผัสกับท้องสายพาน

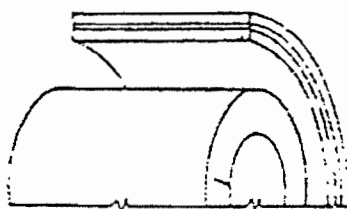


รูปที่ 2.13 สายพานกลมในล้อยสายพาน

2.3.4 สายพานแบน

เครื่องจักรกลยุคหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เช่น โรงสีข้าวขนาดใหญ่ โรงเลื่อยไม้โรงกลึง ใช้เครื่องจักรไอน้ำหรือเครื่องยนต์เป็นเครื่องต้นกำลัง ระบบส่งกำลังใช้เพลายาวใส่ล้อยสายพานเป็นระยะที่ต้องการ ส่งถ่ายกำลังไปแต่ละจุดด้วยสายพานแบน สายพานแบนสามารถส่งกำลังได้มาก และสามารถส่งกำลังไปยังจุดต่าง ๆ ที่อยู่ห่างไกลได้ เพราะเกินขอบเขตความยาวสายพานลิ่ม

การส่งถ่ายกำลังของสายพาน อาศัยความฝืดที่เกิดจากผิวนอกล้อยสายพานสัมผัสกับท้องสายพาน

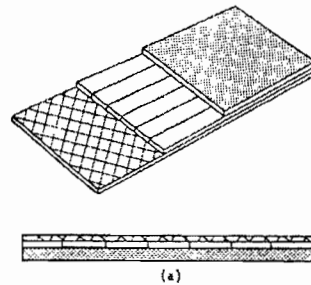


รูปที่ 2.14 สายพานแบนและล้อยสายพาน

2.3.5 โครงสร้างสายพานแบน

สายพานแบนประเภทงานเบาเช่นสายพานหนังและสายพานผ้าทำด้วยหนังหรือใยสังเคราะห์ ใช้สำหรับงานที่มีโหลดน้อยและความเร็วรอบต่ำ เช่น เครื่องวัดรอบเครื่องจักร

สำหรับสายพานแบนที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นสายพานผ้าใบปะยางสังเคราะห์ มีความคงทนต่องานดึง และเกาะแน่นได้ดีกับผิวล้อยสายพาน



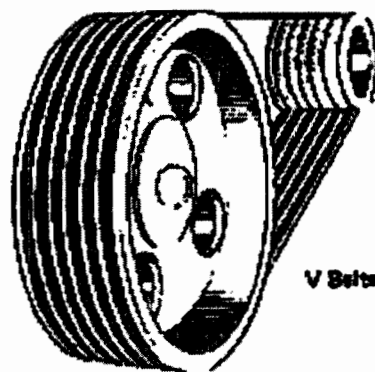
รูปที่ 2.15 โครงสร้างสายพานแบน

2.3.6 สายพานลิ่ม

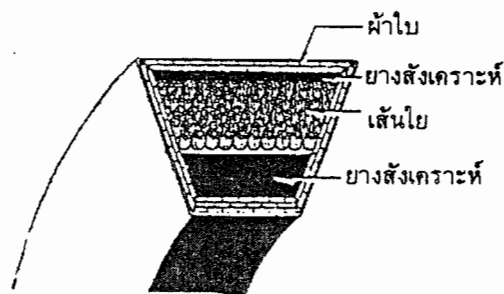
สายพานลิ่ม มีรูปร่างหน้าตัดเป็นรูปตัววีที่เรียกว่า V-Belt เป็นมุมเพิ่มประสิทธิภาพการส่งถ่ายกำลังของสายพานมีใช้กันอย่างแพร่หลายในเครื่องทุ่นแรงงานการเกษตรและงานอุตสาหกรรม การส่งถ่ายกำลังของสายพาน อาศัยความฝืดที่เกิดจากขอบร่องลิ่มลือสายพานกับผิวลิ่มของสายพาน

2.3.7 โครงสร้างสายพานลิ่ม

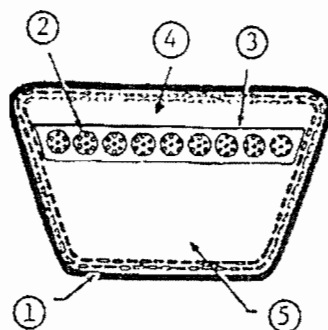
สายพานลิ่มประกอบด้วย ยางสังเคราะห์เส้นใยเสริมแรงหรือเท็ดตรอน และห่อหุ้มด้วยผ้าใบทั้ง 4 ด้านสายพานลิ่ม เป็นสายพานแบบไม่มีรอยต่ออ่อนตัวได้ดี ทนแรงดึงสูง



รูปที่ 2.16 ลักษณะสายพานลิ่ม



รูปที่ 2.17 ส่วนประกอบสายพานลิ่ม



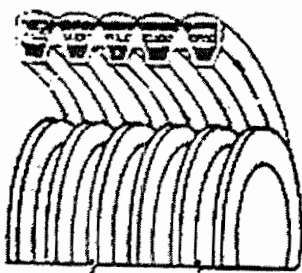
รูปที่ 2.18 หน้าที่ส่วนประกอบสายพานลิ่ม

2.3.8 หน้าที่ส่วนประกอบสายพานลิ่ม

1. ผิวนอกส่วน ที่สัมผัสกับร่องล้อสายพานเป็นยางที่ทนต่อการเสียดสีและทนต่อการกัดกร่อน ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำมัน โดยมีผ้าใบรองรับภายในโดยรอบ
2. เส้นเชือกภายใน เป็นใยสังเคราะห์ประเภทเรเยอนลอนหรือเส้นลวด ชั้นเดียวหรือหลายชั้น ป้องกันสายพานยืด
3. ยางหุ้มเส้นเชือก เพื่อให้เส้นเชือกรักษาดำแหน่งของมันโดยไม่แตกตัว
4. ยางส่วนบนทำหน้าที่เฉลี่ยแรงให้เส้นเชือกและรักษารูปร่างของสายพานให้ตรง ยึดตัวเมื่อสายพานโอบล้อมล้อสายพาน
5. ยางส่วนล่าง เป็นส่วนรับแรงกด ส่งแรงจากเส้นเชือกไปยังร่องสายพาน

2.3.9 สายพานหลายลิ้ม

สายพานหลายลิ้มมีลักษณะเป็น สายพานลิ้มธรรมดาหลายอันหลังติดกันเป็นแพ หลังสายพานจึงมีโครงสร้างเหมือนสายพานแบนขนาดบาง ช่องล้อสายพานต้องมีขนาดที่เที่ยงตรงกับสายพาน และล้อสายพานต้องตั้งให้ได้ศูนย์กลางพอดี เพราะสายพานหลายลิ้มยืดหยุ่นแนวขอบไม่ได้

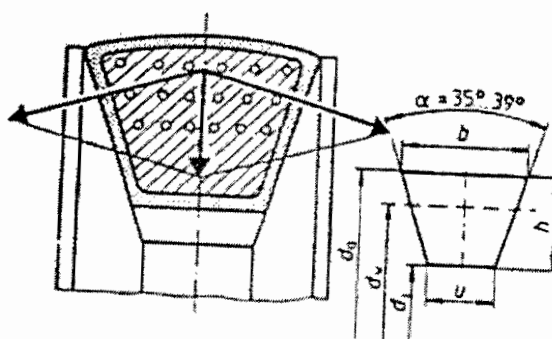


รูปที่ 2.19 สายพานหลายลิ้ม

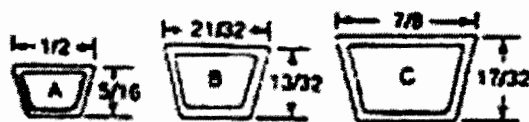
2.3.10 พิกัดสายพานลิ้ม

พิกัดสายพานในที่นี้จะกล่าวเฉพาะพิกัดสายพานลิ้ม เพราะพบเห็นได้ง่ายตามร้านขายวัสดุและเครื่องมือทำงานทางเครื่องกลและไฟฟ้าตลอดจนร้านขายอะไหล่และบริการรถยนต์ตามข้างถนนทั่วไป

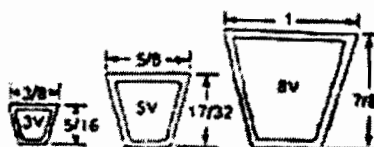
ขนาดสายพานลิ้ม ที่หลังสายพานมีเครื่องหมายกำหนดขนาดไว้ หรือกำหนดตามตารางที่ 5.6 ความยาวกำหนดเป็นนิ้ว หรือ มม. เช่น สายพานลิ้มพิกัดนิ้ว ขนาด B 75 หมายถึง สายพานลิ้มหน้าตัดขนาด B ยาวรอบวง 75 นิ้ว หรือสายพานพิกัดเมตริก ขนาด 7.5×1000 หมายถึงสายพานหลังกว้าง 7.5 มม. ยาว 1000 มม.



รูปที่ 2.20 สายพานลิ้มพิกัด ISO และเมตริก



สายพานหน้ากว้าง



สายพานหน้าแคบ

รูปที่ 2.21 สายพานลิ่มพิกัดนิ้ว แถวบนหน้ากว้าง แถวล่างหน้าแคบ

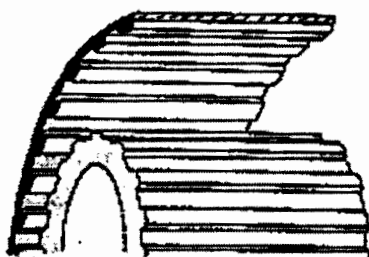
2.3.11 สายพานลิ่มหน้าแคบ นิยมใช้กันทั่วไป เพราะเบาและอ่อนตัวได้ดีมาก ถ้าใช้เส้นเดียวไม่พอแรงก็ใช้หลายเส้นได้ ยังใช้ความเร็วรอบได้สูงถึง 40 เมตรต่อวินาที ทนต่อแรงสั่นสะเทือนได้สูงและไม่เกิดความร้อน

2.3.12 สายพานหน้ากว้าง สายพานแบบนี้ มีใช้เฉพาะงานที่มีความเร็วรอบไม่สูงนัก และมักเป็นงานที่ใหญ่ ๆ ถ้าความเร็วสูงมักลื่นและมีเสียงดัง ทั้งนี้ ยกเว้นสายพานที่ต้องเป็นฟันเฟืองยึดหุ่ยน และอ่อนตัวได้ดีมาก ใช้กับล้อสายพานขนาดเล็ก ๆ ได้ ส่งแรงได้มากและไม่ลื่น

2.3.13 สายพานฟันเฟือง

สายพานฟันเฟืองออกแบบพัฒนาจากข้อดีของโซ่ เฟืองและสายพานแบนมารวมอยู่ด้วยกัน คือตัวสายพานมีหน้ากว้างแต่บางเหมือนสายพานแบน ท้องสายพานเป็นฟันเหมือนฟันเฟืองตื้น ๆ ที่มีระยะพิตซ์เท่า ๆ กัน เส้นใยโครงสายพานเป็นลวดเหล็กคุณภาพสูง วางเรียบแนวเฉียง สามารถรับโหลดได้มาก ในทำนองเดียวกัน ที่เป็นสายพานก็เสริมความแข็งแรงด้วยเส้นลวด เพื่อให้คงทนต่อการตัดฉีกและความเร็วสูง ๆ เช่น สายพานไทม์มิ่งเครื่องยนต์

ล้อสายพานฟันเฟืองมีลักษณะเหมือนเฟืองฟันตื้น ส่งถ่ายกำลังเหมือนโซ่ส่งกำลัง จึงส่งถ่ายกำลังได้เที่ยงตรง



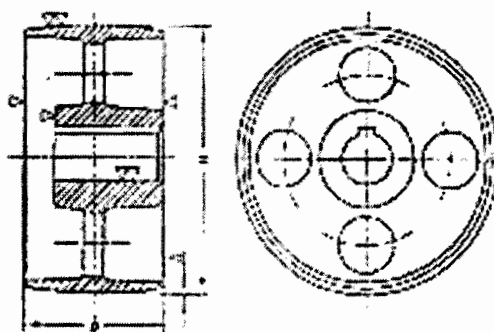
รูปที่ 2.22 สายพานฟันเฟือง

2.4 โครงสร้างล้อสายพาน

ล้อสายพานทั่วไปทำจากเหล็กแผ่นและเหล็กหล่อมีพิกัดตามมาตรฐาน ล้อสายพานที่ผลิตในประเทศไทย ส่วนใหญ่เป็นช่างไทยซื้อสายจีน หล่อและกลึงจำหน่ายในราคาถูก สำหรับเครื่องทუნแรงงานเกษตร หรืองานที่ไม่ต้องการความเที่ยงตรงนัก ส่วนอีกประเภทหนึ่งเป็นประเภทไทยทำเพื่ออุตสาหกรรมผลิตตามพิกัดอุตสาหกรรมหรือผลิตตามบริษัทแม่กำหนด คือกำหนดทั้งคุณสมบัติวัสดุและขนาดต่าง ๆ เพื่อเป็นชิ้นส่วนประกอบเครื่องจักร เครื่องยนต์ เป็นต้น

2.4.1 ล้อสายพานแบนหลังนูน

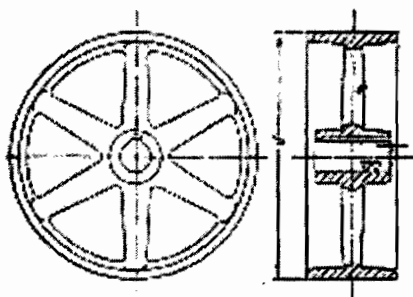
ล้อสายพานหลังนูน เป็นล้อสายพานขนาดเล็ก ป้องกันสายพานหลุดจากล้อสายพานได้ดี หลังล้อสายพานกลึงเป็นผิวหยาบ ป้องกันสายพานลื่น ปีนล้อสายพาน คือระหว่างคูล้อสายพานและวงล้อสายพาน ถ้าหล่อตัน จะเจาะรูโหว่โปร่งเพื่อลดน้ำหนักหรือหล่อเป็น 6 ปีก



รูปที่ 2.23 ล้อสายพานแบนหลังนูน

2.4.2 ล้อสายพานแบนหลังเรียบ

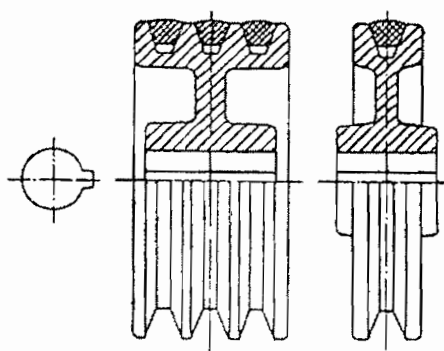
ล้อสายพานแบนหลังเรียบ เป็นแบบใช้กันแพร่หลาย ทำด้วยเหล็กหล่อ หลังกลึงเป็นผิวหยาบเพื่อป้องกันสายพานลื่นไหล ตรงกลางเป็นคุมเซาะร่องลึ้ม เพื่อประกอบติดแน่นกับเพล



รูปที่ 2.24 ล้อสายพานแบนหลังเรียบ

2.4.3 ล้อสายพานลึ้ม

ล้อสายพานลึ้มส่วนใหญ่ทำด้วยเหล็กหล่อผิวลึ้นและคงทน สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี หากเป็นล้อสายพานคุณภาพสูงที่ใช้ในเครื่องจักรกลหรือเครื่องยนต์ ต้องกำหนดพิคัดเนื้อเหล็กหล่อและพิคัดขนาดนับ 10 จุด ล้อสายพานลึ้มที่ส่งกำลังน้อย เช่น เครื่องเจียรไนเสียง ใช้ล้อสายพานเหล็กแผ่นขึ้นรูปหรือพลาสติกที่มีน้ำหนักน้อยและแข็งแรงเพียงพอ



รูปที่ 2.25 ล้อสายพานลึ้มทำด้วยเหล็กหล่อ

2.4.4 การเลือกสายพานให้เหมาะสมกับช่องล้อสายพาน

ขนาดถูกต้อง สายพานเต็มร่องล้อสายพานพอดี สายพานจึงจะส่งถ่ายกำลังได้ประสิทธิภาพสูง มีอายุใช้งานยาวนาน ส่งกำลังไม่มีเสียงดังและไม่ต้องปรับแต่งบ่อย

มุมสายพานผิดอาจเกิดจากเลือกสายพานผิดหรือกลิ้งร่องล้อสายพานผิดเพราะมุมล่างสัมผัสแต่มุมบนไม่สัมผัสขนาดของสายพานผิด คือ สายพานแคบกว่าเพลาร่องสายพานที่องสายพานสัมผัสที่องร่องสายพาน



รูปที่ 2.26 ลักษณะการเลือกสายพานให้เหมาะสมกับร่องสายพาน

2.5 วาล์ว [5]

วาล์วถึงแม้จะไม่ใช่ตัวเอกในโรงงานอุตสาหกรรมก็ตาม แต่มันก็เป็นตัวประกอบที่สำคัญที่สุด วาล์วแต่ละแบบก็มีหน้าที่และคุณสมบัติแตกต่างกันไป ก่อนที่จะตัดสินใจเลือกว่าจะใช้วาล์วอะไรจะต้องรู้ว่าเราจะใช้วาล์วไปทำหน้าที่อะไร เราพอจะสรุปหน้าที่ของวาล์วแต่ละแบบได้ดังนี้

1. ทำหน้าที่ปิด เปิด (On-off Service)

- ประตูน้ำ (Gate Valve)
- ปลั๊กวาล์ว (Plug Valve)
- บอลวาล์ว (Ball Valve)

2. ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหล (Throttling Service)

- โกลบวาล์ว (Globe Valve)
- วาล์วผีเสื้อ (Butterfly Valve)
- ไดอะแฟรมวาล์ว (Diaphragm Valve)

3. ทำหน้าที่กันการไหลกลับ (Prevention of Back Flow)

- เช็ควาล์ว (Check Valve)

ของเหลวที่เกี่ยวข้องในโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายลักษณะด้วยกัน อาจเป็นของเหลวของพวกของเสียที่มีสารแขวนลอยเต็มไปด้วยหิน หรือเป็นพวกสารเคมีที่มีความกัดกร่อนสูง โดยทั่วไปลักษณะสำคัญของของเหลวที่จะต้องนำมาพิจารณาก็คือ ความหนืดและความกัดกร่อน ยังมีข้อปลีกย่อยที่ต้องพิจารณาอีกคือ วาล์วนั้นเกี่ยวข้องกับของเหลวเพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิด ของเหลวมีความดันมากน้อยเพียงใด มีอุณหภูมิสูงมากน้อยเพียงใด เป็นต้น อุณหภูมิและความกัดกร่อนมีผลต่อเนื้อวัสดุที่ใช้ทำวาล์วหรือตัวบุวาล์ว (Lining) วัสดุที่ใช้บุภายในวาล์วนั้นมักทำจากพวกพลาสติกเรซิน เพื่อกันความกัดกร่อน ตัววาล์วทำจากเหล็กหล่อหรือเหล็กเหนียวจะทนความดันและความร้อนสูงได้ดี วาล์วตัวเล็ก (4 นิ้วลงมา) มักทำด้วยทองเหลืองหรือทองบรอนซ์ ถ้าขนาดใหญ่หรือใช้กับความดันสูงก็ใช้เหล็กหล่อแทน

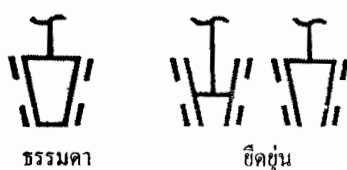
“ความดันลด” (ขอใช้คำว่า ความดันลดแทน Pressure Drop) ในวาล์วมีความสำคัญมาก เพราะเป็นตัวเลขไม่ใช่น้อยเมื่อเทียบกับความดันลดทั้งระบบการเลือกชนิดวาล์วที่ใช้ความดันลดต่ำเป็นสิ่งที่ดีที่สุดเพราะสามารถประหยัดพลังงานของปั๊มลงได้ไม่น้อยทีเดียว

2.5.1 ประตุน้ำ

ประตุน้ำเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดในกลุ่มวาล์วที่ทำหน้าที่ประเภทเดียวกัน (ปลั๊กและบอลวาล์ว) ประตุน้ำใช้ทำหน้าที่ปิดเปิดเท่านั้น ไม่ควรที่จะเปิดครึ่ง ๆ กลาง ๆ จะต้องเปิดให้กว้างสุด ทั้งนี้เพราะโครงสร้างของประตุน้ำก่อให้เกิดการขัดสีที่ขอบของประตูได้ (ถ้าเปิดครึ่ง ๆ ไว้) ถึงแม้จะเป็นที่นิยมมากก็ตามแต่ก็มีขีดจำกัดในการใช้

1. ลิ่มแบบลิ้ม

(a) ลิ้มตัน



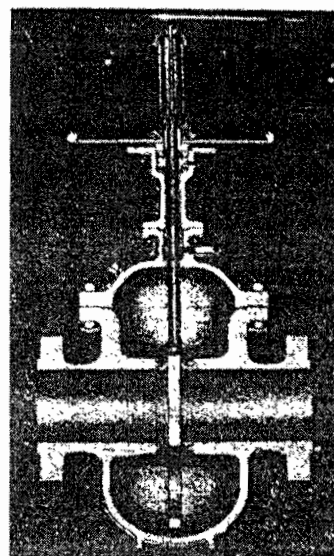
(b) แยกลิ้ม



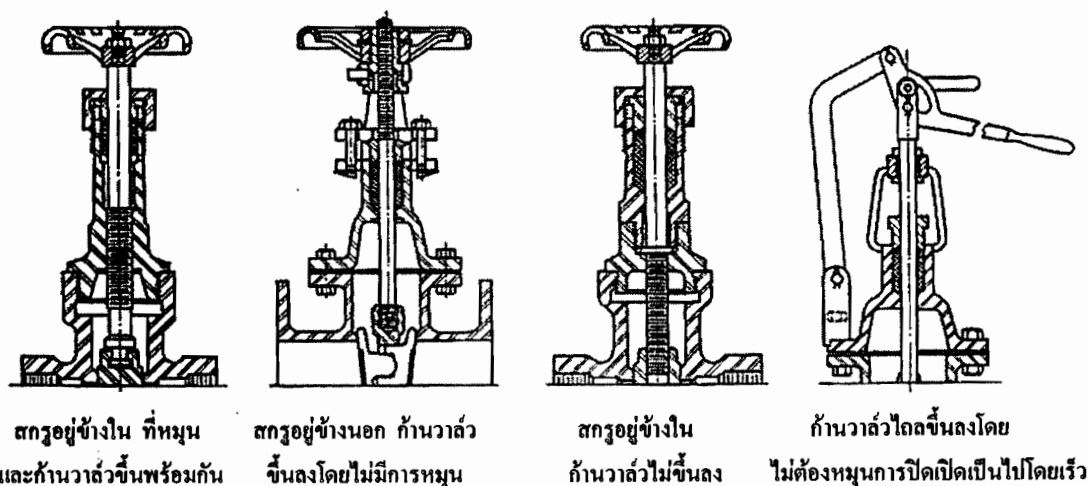
2. ลิ้มแบบจานประกบกัน



รูปที่ 2.27 ลักษณะของลิ้ม



รูปที่ 2.28 ประตูแบบ Full Bore Through
Conduit Pipe Line Gate Valve



รูปที่ 2.29 ลักษณะการประกอบของก้านวาล์วในแบบต่าง ๆ กัน

2.5.2 ชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นลิ้น

โดยทั่ว ๆ ไปลิ้นจะเป็นลิ้นตัน พร้อมทั้งมีร่องลิ้น (หรือร่องประตู) เอียง (Incline Seat) แบบนี้เมื่อใช้ไปนาน ๆ จะสึกได้ ทำให้ปิดไม่สนิท ถ้าใช้ลิ้นที่มีความยืดหยุ่นได้ (Flexible Wedge) โดยทำเป็นรูปโครงสร้างแบบตัว “H” หรือ ตัว “n” (ยืมว่า) ดังรูปที่ 2.27 ก็สามารถลดอัตราการสึกหรอไปได้และไม่ต้องคำนึงถึงว่าลิ้นจะสอดคล้องตรงแนวหรือไม่ ลิ้นที่เป็นแบบลิ้นยังมีอีกแบบคือ แบบแยกลิ้น (ดูรูปที่ 2.27) ลิ้นหนึ่งจะเป็นครึ่งทรงกลมยื่นออกมาอยู่ในลิ้นอีกชิ้นหนึ่งที่เป็นทรงกลมเว้าเข้า แบบนี้มักใช้กับงานความดันต่ำสามารถปิดได้สนิทดี ทนทานเพราะคล่องตัวในการเคลื่อนที่

ลิ้นแบบไม่เป็นลิ้นนั้นจะประกอบด้วยจานสองแผ่นประกบกัน ระหว่างแผ่นจานทั้งสองจะมีกลไกดันให้แผ่นจานดันติดกับร่องจาน

รูปที่ 2.28 เป็น Full Bore Through Conduit Pipe Line Gate Valve ซึ่งมีหน้าที่ทำเป็นช่องสำหรับกันเอาของเหลวออก

2.5.3 ชิ้นส่วนที่ไปเปิดปิดลิ้น

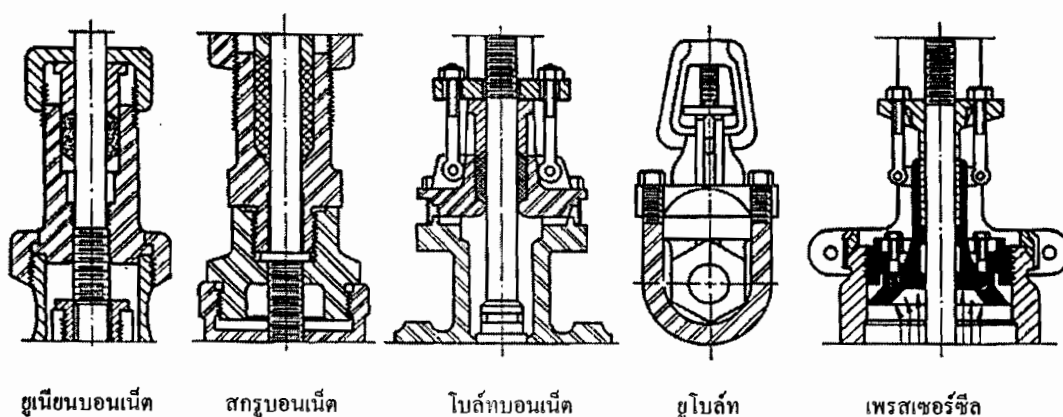
ชิ้นส่วนที่ไปเปิดปิดลิ้นก็คือ ก้านวาล์ว (Stem) นั่นเอง ปลายก้านวาล์วข้างหนึ่งจะจับกับลิ้น อีกข้างหนึ่งยื่นออกมาติดกับส่วนที่ใช้หมุน (Hand Wheel) รูปแบบของเม็คแคนิซึมก็มีหลายแบบด้วยกัน โดยทั่วไปมี 4 แบบ เท่าที่เห็นในรูปที่ 2.29 ทางซ้ายสุดเป็นแบบสกรูของก้านวาล์วอยู่ภายใน (Inside Screw) ที่หมุน (Hand Wheel) จะขันแน่นติดกับก้านวาล์ว ดังนั้นเวลาเปิดปิดวาล์ว ก้านวาล์วและที่หมุนจะเคลื่อนที่ไปด้วยกันถัดมาเป็นแบบสกรูของก้านวาล์วอยู่ภายนอกที่หมุนจับติดกับตัววาล์ว เวลาเปิดปิดก้านวาล์วจะเคลื่อนที่ขึ้นลงโดยที่ที่หมุนอยู่กับที่ ถัดมาเป็นแบบสกรูของ

ก้านวาล์วอยู่ภายในอีกเช่นกัน แต่สกรูจะไปขันกับลิ้นก้านวาล์วอยู่กับที่ที่หมุนขึ้นติดกับก้านวาล์ว เวลาเปิดปิดจึงมีแต่ลิ้นเท่านั้นที่เคลื่อนที่ขึ้นลงแบบนี้ไม่ค่อยนิยมใช้ รูปสุดท้ายไม่ใช่เกลียว แต่ใช้คันโยกชักเข้าชักออก แบบนี้จะเปิดหรือปิดได้รวดเร็วกว่า 3 แบบแรก การที่เลือกใช้แบบไหนนั้นขึ้นกับสภาพรอบ ๆ ถ้าสภาพรอบ ๆ มีความกัดกร่อนมาก เช่น ใช้น้ำที่ใกล้ทะเล เป็นต้น จะใช้แบบสกรูภายในเพื่อป้องกันการกัดกร่อนที่สกรูของก้านวาล์ว ส่วนแบบสกรูภายนอกก็มีประโยชน์ตรงที่สามารถหล่อลื่นได้สะดวก

2.5.4 ระบบกันซึม

ประตุน้ำจะต้องมีการป้องกันการซึม 4 จุดด้วยกัน 3 จุดแรก จะกันของเหลวออกนอกวาล์ว คือ ที่ข้อต่อระหว่างตัววาล์วกับบอนเน็ต (Bonnet - ก็คือ ตัวที่ยึดก้านวาล์ว) 2 จุด และอีกจุดคือ ที่ซึ่งออกจากก้านวาล์ว จุดที่เหลือคือ ที่ลิ้นของวาล์ว

ลักษณะของบอนเน็ตมีหลายแบบด้วยกัน (รูปที่ 2.30) แบบยูเนียนและสกรูบอนเน็ตมักใช้กับวาล์วตัวเล็กแบบโบล์ทบอนเน็ตใช้กับวาล์วตัวใหญ่ แบบเพรสเชอร์ซีลใช้กับความดันและอุณหภูมิสูง



รูปที่ 2.30 บอนเน็ตแบบต่าง ๆ

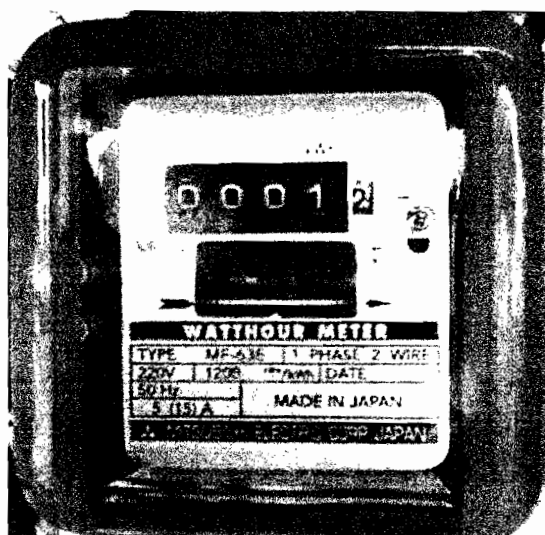
การกันรั่วที่ลิ้นมี 2 แบบด้วยกัน คือ ระหว่างโลหะต่อโลหะ และระหว่างโลหะกับวัสดุหุ่่นแบบระหว่างโลหะจะมีความแข็งแรง แต่เมื่อใช้ไปสักพักผิวสัมผัสระหว่างหน้าโลหะจะเสีา ใช้การไม่ได้ แต่ถ้ามีการใช้โลหะที่มีความแข็งต่างกัน ก็ลดการสึกหรอได้บ้าง สำหรับแบบโลหะต่อวัสดุหุ่่นนั้นใช้กับอุณหภูมิสูงมาก ๆ ก็ไม่ได้

2.5.5 ลักษณะอื่นๆ

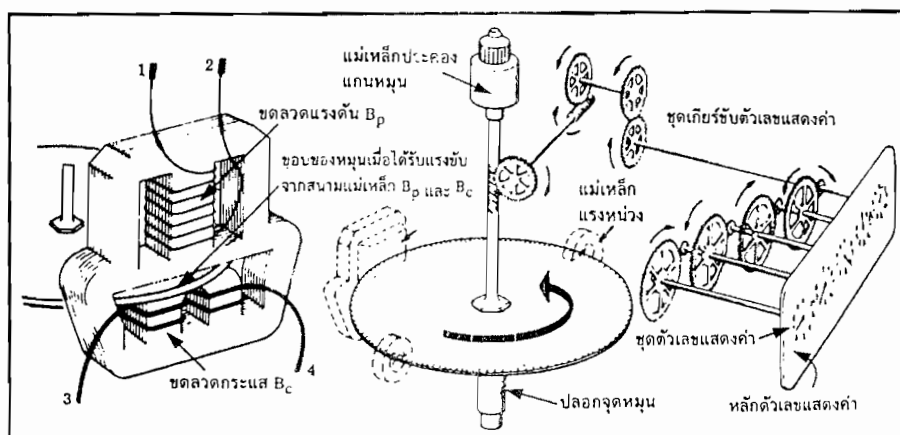
ประตุน้ำมีข้อเสียตรงที่มีน้ำหนักมากและกินที่มากจึงต้องการที่รองรับน้ำหนักด้วย (ถ้าจำเป็น) การติดตั้งและซ่อมบำรุงยากลำบาก

2.6 เครื่องวัดงานไฟฟ้า [6]

เครื่องวัดงานไฟฟ้า หรือเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณงานทางไฟฟ้าหรือพลังงานทางไฟฟ้า มีชื่อเรียกว่า Kilowatt-Hour Meter นั่นคือวัดค่าของกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาที่กำหนดหน่วยของการวัดคือ หน่วย เพราะ $1 \text{ Unit} = 1 \text{ kWh}$ เครื่องวัดงานไฟฟ้ามีหลายชนิดเนื่องจากมีโครงสร้างภายในและหลักการทำงานที่แตกต่างกัน เช่น เครื่องวัดงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ ใช้วัดงานไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น และเครื่องวัดงานไฟฟ้าแบบมอเตอร์ วัดงานไฟฟ้าได้ทั้งวงจรไฟตรงและไฟสลับ (รายละเอียดของโครงสร้างและการทำงานแต่ละแบบจะศึกษาเพิ่มเติมจากเครื่องวัดไฟฟ้า : ณรงค์ ขอนตะวัน หน้า 122-134) สำหรับเครื่องวัดงานไฟฟ้าที่นิยมใช้เพื่อวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ซื้อไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคของประเทศไทยนั้น ซึ่งมีลักษณะภายนอกและโครงสร้างภายในดังรูป 2.31 (ก) และ (ข)



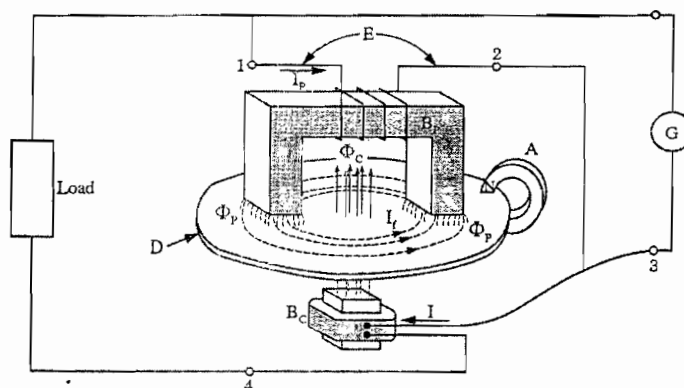
รูปที่ 2.31 (ก) ลักษณะภายนอกของเครื่องวัดงานไฟฟ้า



รูปที่ 2.31 (ข) โครงสร้างภายในของเครื่องวัดงานไฟฟ้าชนิด 1 เฟส

รูปที่ 2.31 การทำงานของเครื่องวัดงานไฟฟ้า

2.6.1 การทำงานของเครื่องวัดงานไฟฟ้า พิจารณาจากรูปที่ 2.32 เป็นวงจรการต่อเครื่องวัดงานไฟฟ้ากับโหลด โดยต่อชุดลวดแรงดันไฟฟ้าขั้วที่ 1-2 ขนานกับโหลดเพื่อวัดแรงดันคร่อมโหลด เป็นผลให้เส้นแรงแม่เหล็กส่วนแรก (Φ_p) แปรผันโดยตรงกับแรงดันคร่อมโหลดและต่อชุดลวดกระแสไฟฟ้าขั้วที่ 3-4 อนุกรมกับโหลด เป็นผลให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กส่วนที่สอง (Φ_c) แปรผันโดยตรงกับกระแสผ่านโหลด และเมื่อ Φ_p และ Φ_c ผ่านจานหมุนจะทำให้เกิดกระแสไหลวน (I_f) ไหลอยู่บนจานหมุน ทำให้เกิดทอร์กหมุนงานไปในทิศทางเดียวกับกระแสไหลวน ซึ่งความเร็วของจานหมุนขึ้นอยู่กับผลคูณของแรงดันโหลดและกระแสโหลด อย่างไรก็ตามหากความเร็วของจานหมุนเร็วกว่าปกติสามารถบังคับให้ช้าลงได้โดยใช้แม่เหล็กถาวรที่ใช้เบรก (Breaking Magnet) คือแม่เหล็ก A ในรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 วงจรแสดงการทำงานของเครื่องวัดงานไฟฟ้า

2.6.2 การอ่านค่างานไฟฟ้า เนื่องจากการหมุนของจานหมุนแต่ละรอบแปรผันโดยตรงกับค่ากำลังไฟฟ้าของโหลด และเพลลาของจานหมุนจะต่อไปยังเกียร์ที่จับชุดบอกค่าปริมาณงานไฟฟ้า ซึ่งค่าของจำนวนรอบการหมุนของจานหมุนเพื่อให้ได้ค่างานไฟฟ้าเท่ากับ 1 Wh อาจเรียกได้ว่าค่าคงที่ของเครื่องวัดงานไฟฟ้า (Proportional Factor) ดังสมการ

$$K = \frac{\text{จำนวนรอบการหมุน}}{\text{วัตต์ - ชั่วโมง}} = \frac{N}{Wh} \quad \dots\dots\dots 2.14$$

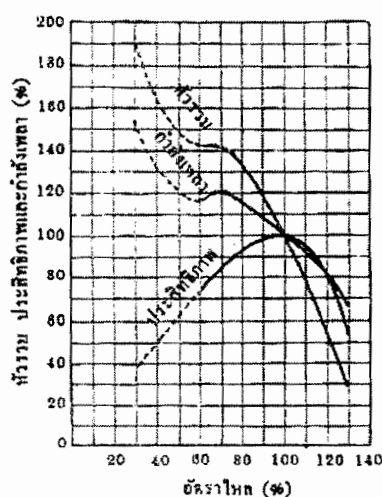
ค่าของงานไฟฟ้า (W) มีหน่วยเป็นยูนิต ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$1 \text{ ยูนิต} = 1 \text{ kWh}$$

หน่วยยูนิต คือ หน่วยที่ใช้ในการคำนวณค่าการใช้ไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องชำระตามตัวเลขยูนิตการใช้งานไฟฟ้าตามตารางที่การไฟฟ้ากำหนด เครื่องวัดไฟฟ้าจะมีมาตรฐานการทดค่ากระแสไฟฟ้าเกินพิกัดของขดลวดกระแสไฟฟ้า โดยจะมีค่าสูงกว่าพิกัด 25 - 40% โดยไม่เกิดอันตรายใด ๆ ต่อขดลวดกระแสไฟฟ้า เช่น เครื่องวัดงานไฟฟ้าเฟสเดียวพิกัด 5 (15) A หมายความว่า เป็นเครื่องวัดงานไฟฟ้าที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่านได้สูงถึง 15 A โดยไม่เ็นอันตราย แต่เป็นเครื่องวัดที่มีพิกัดเพียง 5 A หรือเครื่องวัดพิกัด 15 (45) A หมายความว่า เป็นเครื่องวัดงานไฟฟ้าพิกัดกระแส 15 A แต่ยอมให้กระแสเกินพิกัดได้ถึง 45 A โดยขดลวดกระแสไม่เกิดอันตราย เป็นต้น

2.7 กราฟแสดงประสิทธิภาพของปั๊มทางทฤษฎี [3]

ในรูปที่ 2.33 แสดงลักษณะการทำงานของปั๊มประเภทไหลตามแนวแกน กำหนดให้ อัตราการไหล เหนือรวม ประสิทธิภาพ และกำลังเพลเป็น 100 % ที่จุดที่ปั๊มทำงานที่ประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ 2.33 กราฟแสดงคุณลักษณะของปั๊มไหลตามแนวแกน