บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในการสร้างชุดทดลองเครื่องสูบแบบลูกสูบเฟืองนี้ใช้หลักการและทฤษฎีต่าง ๆ ดังนี้

2.1 เครื่องสูบ

การจำแนกเครื่องสูบ และ เทอมต่าง ๆ [4]

การเรียกชื่อเครื่องสูบนั้น มักจะเรียกชื่อตามลักษณะต่าง ๆ แตกต่างกันไป เช่น ลักษณะการเคลื่อนที่ของของเหลว ลักษณะการใช้งานพิเศษ เป็นต้น และจากการที่มีการเรียกชื่อแตกต่างกันมากมาย ทำให้บางครั้งเกิดการสับสนได้ ดังนั้นจึงได้มีการจัดแบ่งหมวดหมู่ของเครื่องสูบขึ้นเพื่อให้สามารถเรียกชื่อได้ชัดเจนขึ้นและสามารถใช้อ้างอิงต่อไปได้

2.1.1 ชนิดของเครื่องสูบ

เครื่องสูบชนิดต่าง ๆ ที่ใช้งานกันอยู่นั้น หากพิจารณาถึงกลไกในการเคลื่อนที่ของของเหลวภายในเครื่องสูบ จะสามารถแบ่งเป็นชนิด ต่าง ๆ ได้ 3 ชนิด คือ

1. เครื่องสูบแบบโรตารี่ (Rotary Pump) เป็นกลุ่มของเครื่องสูบที่เพิ่มพลังงานให้กับของเหลว โดยที่ของเหลวจะถูกบีบหรือรีดผ่านช่องแคบ ๆ ที่อยู่ระหว่างผนังห้องสูบกับกลไกการเคลื่อนที่ที่เรียกว่า Rotating element

2. เครื่องสูบแบบชัก (Reciprocating Pump) เป็นกลุ่มของเครื่องสูบซึ่งของเหลวจะเข้าไปแทนที่ช่องว่างที่เกิดขึ้นในห้องสูบจากการเคลื่อนที่ของกลไกประเภทลูกสูบและไดอะแฟรม ทำให้เกิดการขับดันของเหลวออกจากตัวเครื่องสูบอย่างเป็นจังวะตามการเคลื่อนที่ของกลไก

3. เครื่องสูบแบบใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์ (Centrifugal Pump) เป็นกลุ่มของเครื่องสูบสร้างเฮดหรือพลังงานให้กับของเหลว โดยใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของเครื่องสูบ

นอกจากนี้ยังมีเครื่องสูบที่มีลักษณะพิเศษอีกกลุ่มหนึ่ง คือ **เครื่องสูบแบบอัดอากาศ (Jet Pump or Educator)** เป็นเครื่องสูบที่อาศัยหลักของความกดดันที่เกิดขึ้นบริเวณคอคอด โดยให้อากาศหรือของเหลวความเร็วสูงพุ่งผ่านคอคอดในเครื่องสูบ และอาศัยแรงดันของบรรยากาศภายนอกดันของเหลวให้ไหลเข้าสู่บริเวณความดันที่ลดลงนั้น

2.1.2 การจัดประเภทเครื่องสูบ

เครื่องสูบในแต่ละประเภทดังกล่าวข้างต้นนั้น ยังแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ มากมาย ตามลักษณะการออกแบบและการทำงานของเครื่องสูบ เช่น เครื่องสูบแบบ ใช้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์

สถาบัน Hydraulic Institute แบ่งประเภทตามห้องสูบ ออกเป็นประเภท Volute, Circular หรือ Diffuser ถ้าหากแบ่งโดยพิจารณาตำแหน่งของเพลา แบ่งได้เป็นประเภท แนวนอน หรือ แนวตั้ง ถ้าหากพิจารณาด้านดูด ของเครื่องสูบ ก็สามารถแบ่งได้เป็นแบบ Single หรือ Double suction และถ้าหากพิจารณาย่อยไปถึงจำนวนชั้นของใบพัด ก็จะสามารถแบ่งได้เป็น แบบ Single-Stage หรือ Multi-Stage เครื่องสูบแบบต่าง ๆ ที่กล่าวในหัวข้อที่ 2.1.1 สามารถแบ่งได้เป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้

Centrifugal Pump แบ่งเป็น

- Volute Type
- Diffuser Type
- Regenerative Turbine Type
- Vertical Type
- Mixed flow Type
- Axial flow Type (Propeller)

→ Single-stage
→ Multi-stage

Rotary Pump แบ่งเป็น

- Gauqe Type
- Vane Type
- Cam and Piston Type
- Screw Type
- Lodular Type
- Shuttle Block Type
- Flexibl Chamber Type

Recirocating Pump แบ่งเป็น

- Direct Acting Pump
- Power Type (Including Crank and Flywheel Type)
- Diaphram Type
- Rotary-piston

→ Simple
→ Duplex
→ Triplex
→ Quadruplex
→ Quintupplex
→ Etc.

2.1.3 คุณลักษณะทั่วไป

ลักษณะทั่วไปของเครื่องสูบบางประเภท เช่น อัตราการไหล เฮด ระยะยกด้านดูด สูงสุด คุณสมบัติของของเหลว ฯลฯ แสดงดังตารางที่ 2.1 ดังนั้นการเลือกประเภทของเครื่องสูบเบื้องต้นสามารถพิจารณาได้จากคุณสมบัติในตารางที่ 2.1 แล้วจะเห็นได้ว่า ควรเลือกเครื่องสูบแบบ Reciprocating ซึ่งจะเป็นประเภท Piston, Direct Acting หรือ Power Type ขึ้นอยู่กับความต้องการของงานสูบซึ่งต้องพิจารณาโดยละเอียดต่อไป

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทั่วไปของเครื่องสูบ

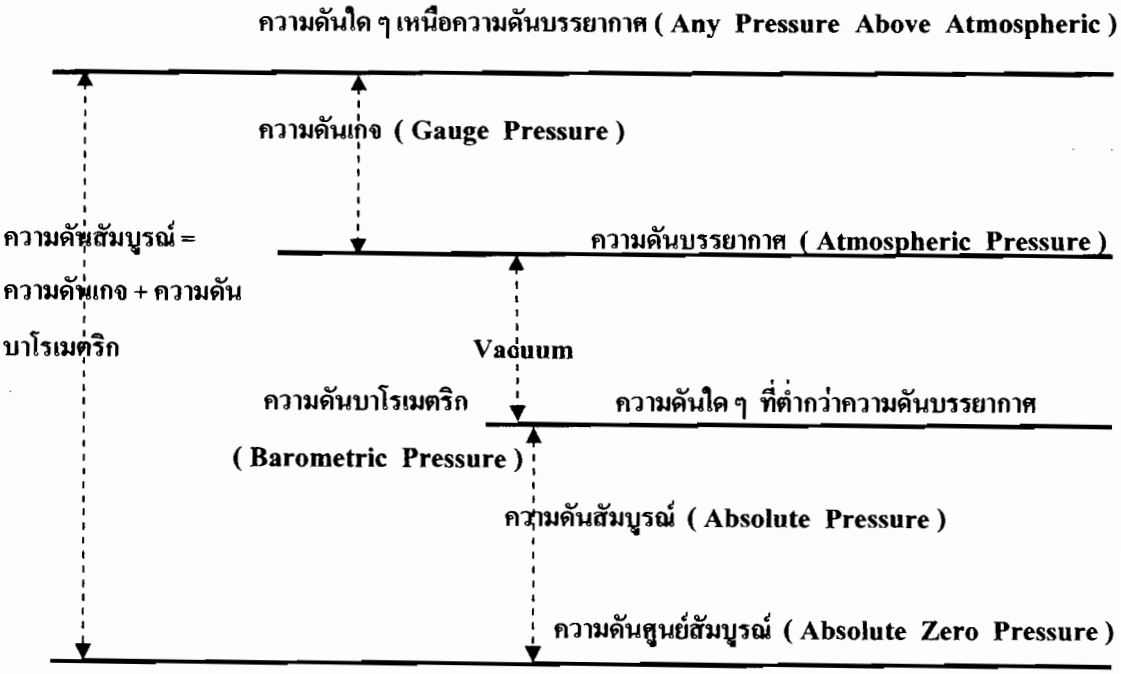
	Centrifugal		**Rotary**	**Reciprocating**		
	Volutec และ Diffuser	Axial flow	Screw และ Gear	Direct-Acting Steam	Double-Acting Steam	Triplex
การไหลที่ได้	คงที่	คงที่	คงที่	เป็นจังหวะ	เป็นจังหวะ	เป็นจังหวะ
โดยปกติมี Max. suction lift, ฟุต	15	15	22	22	22	22
ลักษณะของเหลว	ใสสะอาด สกปรก มีวัสดุแหลมคม ปะปน; ปะปนไปด้วยของแข็งมากมาย		หนืด ไม่มีวัสดุแหลมคมปะปน	ใสและสะอาด		
- ช่วงของ head - ช่วงอัตราการไหล	ต่ำ-สูง น้อยถึงมาก		ปานกลาง น้อย-ปานกลาง	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 ที่เกี่ยวของกับเครื่องสูบ เป็นสิ่งจำเป็นที่วิศวกรควรทราบ เพื่อจะได้ไม่สับสนในการพิจารณาเลือกเครื่องสูบจากเอกสารที่บริษัทผู้ผลิตจัดทำ เทอมต่าง ๆ นั้น ประกอบด้วย

1. ความดัน (Pressure,P) เทอมของความดันที่มักพบในงานเครื่องสูบ ได้แก่ ความดันสัมบูรณ์ ความดันบาโรเมตริก และความดันเกจ ส่วนเทอม สูญญากาศใช้กับการใช้งานที่มีความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ 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

ความดันสัมบูรณ์ = ความดันเกจ + ความดันบาโรเมตริก

= ความดันเกจ + ความดันบรรยากาศ

- **สูญญากาศ** คือ ความดันที่มีค่าติดลบ หรือความดันที่มีค่าน้อยกว่าความดันบรรยากาศ

ความดันมีหน่วยเป็น **แรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่** หน่วยของความดันที่จะได้กล่าวต่อไป ได้แก่ กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (kg/cm^2), ปอนด์/ตารางนิ้ว (psi) และบรรยากาศ (atm)

2. เฮด (Head, H) คือ ความสูงของแท่งน้ำหรือของเหลวในแนวดิ่ง ซึ่งแสดงถึงพลังงาน - หรือ ความสามารถในการทำงานโดยเปรียบเทียบในรูปของความดัน ในระบบสูบใด ๆ ของเหลวจะเคลื่อนที่จากแหล่งสูบไปยังแหล่งจ่าย โดยได้รับผลพลังงานจากเครื่องสูบ ขณะเคลื่อนที่ภายในท่อพลังงานบางส่วนก็จะสูญเสียไป เนื่องจากความฝืดของท่อและอุปกรณ์-ประกอบ พลังงานที่เกี่ยวข้องในระบบสูบ ประกอบไปด้วย เฮดสถิตย์, เฮดความดัน, เฮดความฝืด, การสูญเสียที่ทางเข้า h_i และทางออก h_e และ เฮดความเร็ว หากพิจารณา เฉพาะเครื่องสูบแล้ว เฮด จะบ่งบอกถึงพลังงานทั้งหมดที่ให้แก่ของเหลว ที่ความเร็วรอบ และอัตราการไหลขณะที่ใช้งาน เฮด สามารถเปลี่ยนเป็นความดันได้จากสมการ

$$H = \frac{P}{\gamma} = \frac{P}{\rho g} \quad \text{..... (2.1)}$$

โดย

H = เฮดความสูงของแท่งของเหลว, (m)

P = ความดันในหน่วยของแรงต่อ1หน่วย0พื้นที่, (kPa)

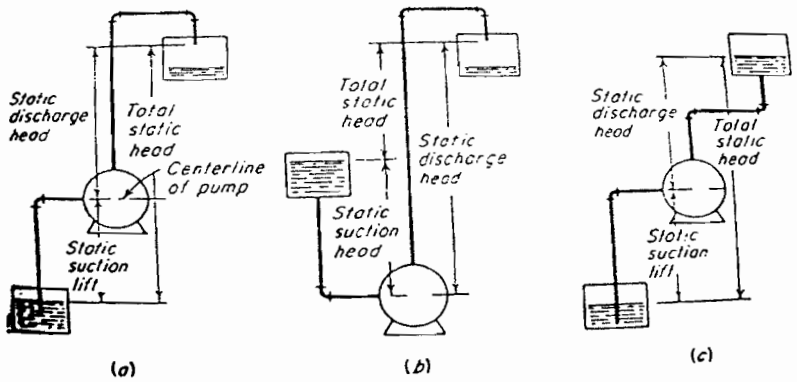
ρ = ความหนาแน่นของของเหลว, (kg/m^3)

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก, (m/s^2)

γ = ความถ่วงจำเพาะของของเหลว, (N/m^3)

3. เฮดสถิตย์ (Static Head, H_s) คือ ความดันที่วัดเทียบเป็นแท่งความสูงของของเหลวที่กระทำทางด้านดูด หรือด้านจ่าย ของเครื่องสูบน้ำ โดยถือว่าความเร็วการไหลมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากความแตกต่างของระดับในการติดตั้งเครื่องสูบน้ำรูปแบบต่าง ๆ

4. ระยะยกสถิตย์ด้านดูด (Static.Suction Lift) และ เฮดสถิตด้านดูด **(Static Suction Head, S)** คือ ระยะทางในแนวดิ่งจากระดับผิวของเหลวแหล่งสูบถึงศูนย์กลางเครื่องสูบ ซึ่งหากระดับผิวของเหลวอยู่ต่ำกว่า แนวศูนย์กลางเครื่องสูบ 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. เฮดสถิตด้านจ่าย (Static Discharge Head, D) คือ ระยะในแนวดิ่งจากศูนย์กลางเครื่องสูบถึงจุดปล่อยอิสระ (Point of Free Delivery) ของของเหลวด้านจ่าย

6. เฮดสถิตรวม (Total Static Head, Hst) คือ ระยะในแนวดิ่งระหว่างผิวของเหลวด้านแหล่งสูบถึงจุดปล่อยอิสระด้านจ่าย

Total Static Head = Static Suction Lift + Static Discharge Head หรือ

Total Static Head = Static Discharge Head - Static Suction Head

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

8. เฮดความเร็ว (Velocity Head, h_v) คือ พลังงานจลที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของของเหลว ถ้าของเหลวเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว V เฮดความเร็ว จะเท่ากับระยะทางที่มวลของน้ำตกลงมาด้วย

แรง-ดึงดูดของโลก จนกระทั้งมีความเร็วเท่ากับความเร็ว V ดังนั้นเฮดความเร็วจึงคำนวณได้จากสมการ

$$h_v = \frac{V^2}{2g} \quad \text{..... (2.2)}$$

โดย

h_v = เฮดความเร็ว, (m/s)

V = ความเร็วการไหล, (m/s)

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, (m/s^2)

9. การสูญเสียที่ทางเข้า h_i และทางออก h_e (Charge and Discharge Losses) เมื่อของเหลวเคลื่อนที่จากแหล่งสูบเข้าสู่ท่อ จะเกิดการสูญเสียพลังงาน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดการไหล หากของเหลวเคลื่อนที่จากแหล่งสูบเข้าสู่ท่อ จะเรียกการสูญเสียพลังงานนี้ว่า การสูญเสียที่ทางเข้า และหากเคลื่อนที่ออกจากท่อ จะเรียกว่าการสูญเสียที่ทางออก การสูญเสียทั้งสองกรณีนี้จะทำให้เฮดความเร็ว ณ ตำแหน่งนั้นลดลง การสูญเสียพลังงานสามารถลดลงได้โดยการติดตั้งท่อรูปปากแตร ที่ปลายท่อดูดของเครื่องสูบน้ำ 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

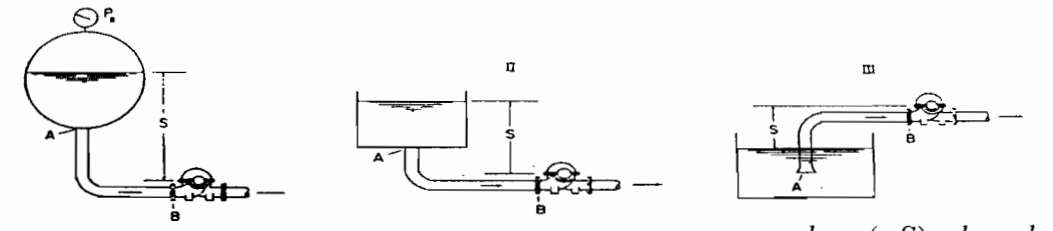
เฮดด้านดูดรวม = เฮดสถิตด้านดูด – การสูญเสียที่ทางเข้า – เฮดความฝืดท่อดูด
+ เฮดความดันใด ๆ ที่ผิวของเหลวแหล่งสูบ

หาก เฮดความดันใด ๆ วัดเทียบกับความดันบรรยากาศ เฮดทางด้านดูดที่ได้ก็จะเป็นเฮด ที่วัดเทียบกับบรรยากาศเช่นกัน ดังนั้นถ้าเป็นแหล่งสูบแบบระบบเปิด ดังรูป 2.3 b โดย เฮด ความดันจะมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ หรือเท่ากับศูนย์

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

ระยะยกด้านดูดรวม = เฮดสถิตย์ด้านดูด + การสูญเสียที่ทางเข้า + เฮดความฝืดท่อดูด

หากนำเกจมาติดตั้งที่ท่อดูด ค่าที่อ่านได้ คือ เฮดด้านดูดรวม (วัดเทียบกับบรรยากาศ) ลบด้วยเฮดความเร็วของจุดที่ติดตั้งเกจ แต่สำหรับ Suction Lift ค่าที่อ่านได้จากเกจ คือ ระยะยกด้านดูดรวม (วัดเทียบกับบรรยากาศ) บวกด้วยเฮดความเร็วของจุดที่ติดตั้งเกจ



$h_s = S - h_{fs} - h_i + P_s$ $h_s = S - h_{fs} - h_i$ $h_s = (-S) - h_{fs} - h_i$

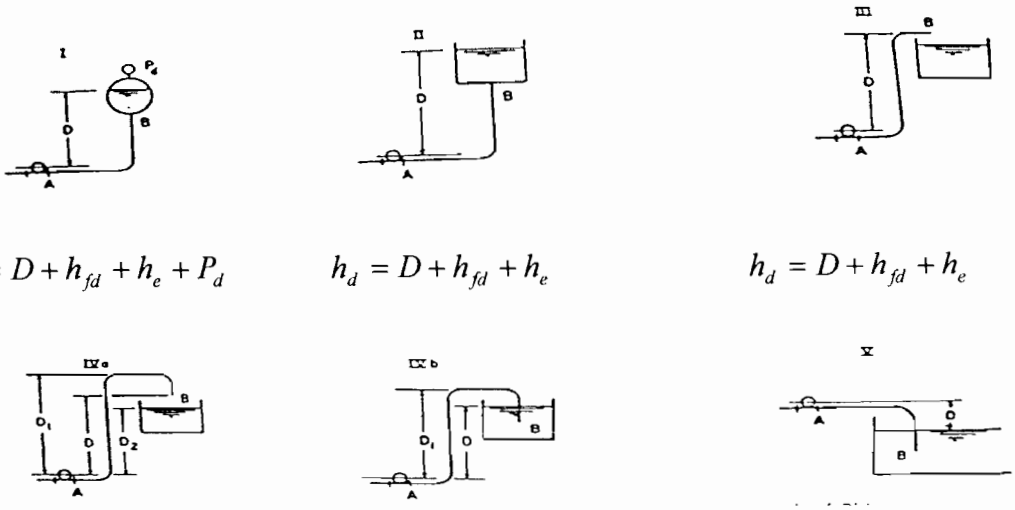
$-h_s = S + h_{fs} + h_i$

a **b** **c**

รูปที่ 2.3 การคำนวณ Total Sction ของแหล่งจ่ายรูปแบบต่าง ๆ

11. เฮดรวมด้านจ่าย (Total Discharge Head, h_d) สามารถคำนวณได้จากสมการ

เฮดรวมด้านจ่าย = เฮดสถิตย์ด้านจ่าย + การสูญเสียที่ทางออก + เฮดความเร็วปลายท่อจ่าย + เฮดความดันใด ๆที่ผิวของเหลวด้านแหล่งจ่าย



$h_d = D + h_{fd} + h_e + P_d$ $h_d = D + h_{fd} + h_e$ $h_d = D + h_{fd} + h_e$

$h_d = D + h_{fd} + h_e$ $h_d = D + h_{fd} + h_e$ $h_d = (-D) + h_{fd} + h_e$

รูปที่ 2.4 ระบบท่อด้านจ่ายรูปแบบต่าง ๆ

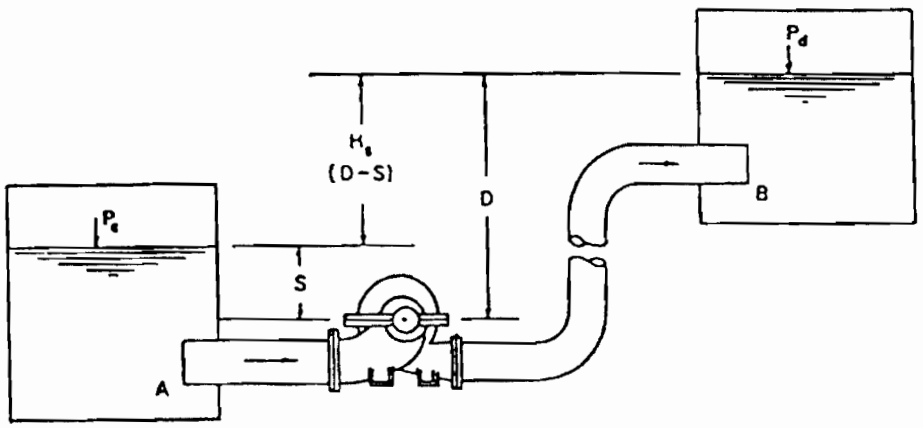
12. เฮดรวม (Total head, H) คือ พลังงานทั้งหมดที่ต้องการจากเครื่องสูบ สามารถคำนวณได้จากสมการ

เฮดรวม = ระยะยกด้านดูดรวม + เฮดรวมด้านจ่าย หรือ

= เฮดด้านดูดรวม - เฮดรวมด้านจ่าย

เฮดรวม อาจคำนวณจากเฮดสถิตย์รวม เช่น ระบบปิดในรูปที่ 2.5 ที่คำนวณได้จากสมการ

เฮดรวม = เฮดสถิตย์รวม + การสูญเสียที่ทางเข้าและทางออก + เฮดความฝืดของท่อดูดและท่อจ่าย + เฮดความเร็วปลายท่อจ่าย + เฮดความดันใด ๆ ที่ผิวของเหลวแหล่งสูบและแหล่งจ่าย



$$H = h_d - h_s$$
$$= H_s + h_f + h_i + h_e + (P_d - P_s)$$

รูปที่ 2.5 Total Head ของระบบสูบแบบปิดภายใต้ความดัน

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

$$W_{hp} = \frac{\gamma QH}{550} \quad \text{..... (2.3)}$$

โดย

γ = ความถ่วงจำเพาะของของเหลว, (N/m^3)

Q = อัตราการไหล, (m^3/sec)

H = เฮดรวม, (m)

สำหรับพลังงานที่เครื่องสูบให้แก่ของเหลวในหน่วย กิโลวัตต์ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P_O = \gamma QH \quad \text{..... (2.4)}$$

โดย

P_O = ความดันทางออก, (kg_f/cm^2)

γ = ความถ่วงจำเพาะของของเหลว, (N/m^3)

Q = อัตราการไหล, (m^3/sec)

H = เฮดรวม, (m)

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

$$B_{hp} = \frac{\omega\tau}{550} \quad \text{..... (2.5)}$$

โดย

ω = ความเร็วเชิงมุม, (rad/sec)

τ = กำลังบิดโดยใบพัด, (N.m)

สำหรับกำลังงานที่เครื่องสูบได้รับจากมอเตอร์หรือเครื่องยนต์ ในหน่วยของกิโลวัตต์ คำนวณได้จาก

$$p_i = \omega\tau \quad \text{..... (2.6)}$$

โดย p_i = ความดันทางเข้า, (kg_f/cm^2)

ω = ความเร็วเชิงมุม มีหน่วยเป็น, (rad/sec)

τ = กำลังบิดโดยใบพัด, (N.m)

15. **ประสิทธิภาพของเครื่องสูบ (Pump Efficency, E_p) หรือประสิทธิภาพเชิงกล (Mechanical Efficiency)** คือ สัดส่วนของกำลังงานที่เครื่องสูบให้กับของเหลว (Power Output, P_o) กับกำลังงานที่เครื่องสูบได้รับ (Power Input, P_i)

$$E_p = \frac{W_{hp}}{B_{hp}} = \frac{P_o}{P_i} \quad \text{..... (2.7)}$$

16. ประสิทธิภาพของมอเตอร์, E_m คือ สัดส่วนของกำลังที่เครื่องสูบได้รับ กับกำลังงานของมอเตอร์ หรือเครื่องยนต์ต้นกำลังขับเครื่องสูบ, P_m เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$E_m = \frac{Pi}{P_m} \quad \text{..... (2.8)}$$

17. ประสิทธิภาพของเครื่องสูบ (Oveall Efficiency, E) คือ สัดส่วนระหว่างกำลังงานที่ออกจากเครื่องสูบ และกำลังงานที่มอเตอร์ให้กับเครื่องสูบ ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$E = \frac{P_o}{P_m} = E_p \cdot E_m \quad \text{..... (2.9)}$$

2.1.5 เครื่องสูบแบบเฟือง

เครื่องสูบแบบเฟืองจะมีหลักทำงานแบบเดียวกับเครื่องสูบแบบโรตารี่ เนื่องจากโรเตอร์เป็นตัวจักรสำคัญในการทำงานของสูบโรตารี่ซึ่งเครื่องสูบแบบเฟือง ก็เป็นเครื่องสูบแบบโรตารี่ชนิดหนึ่ง ในที่นี้จะกล่าวโดยรวมทั้งหมดของเครื่องสูบแบบโรตารี่ของมอเตอร์

เครื่องสูบแบบโรตารี่ เป็นเครื่องสูบที่ของเหลวจะต้องเข้าไปแทนที่ภายในช่องว่างภายในเรือนสูบซึ่งช่องว่างนี้เกิดจากการเคลื่อนไหวของกลไกของเครื่องสูบนั้น จึงเรียกเครื่องสูบนี้ว่า แบบ Positive Displacement Pump เช่นเดียวกับเครื่องสูบแบบชัก ซึ่งเป็นเครื่องสูบแบบใช้ลูกสูบแต่จะต่างกันที่ลักษณะการเคลื่อนไหวของชิ้นส่วนเท่านั้น เครื่องสูบแบบโรตารี่ทำงานด้วยการเคลื่อนที่ของเหลวเข้าไปแทนที่ช่องว่างภายในเรือนสูบ ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ในลักษณะหมุนวนส่วนเครื่องสูบแบบลูกสูบนั้น การเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดช่องว่างเพื่อให้ของเหลวเข้าไปแทนที่จะเป็นลักษณะกลับไปกลับมา

หลักการทำงานของเครื่องสูบแบบโรตารี่ คือ ชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวซึ่งอาจเป็นเฟืองแผ่นโลหะ ลูกสูบ เกลียว หรือลูกเบี้ยว ฯลฯ ซึ่งบรรจุอยู่ในเรือนสูบนั้น จะหมุนหรือเคลื่อนที่ไปของเหลวจะไหลผ่านตามช่องทางเข้าและถูกชิ้นส่วนเหล่านี้ตักหรือกวาดให้ลัดเลาะไปตามขอบผนังของเรือนสูบ โดยมีระยะห่างระหว่างผนังของตัวสูบกับปลายของชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ที่น้อยมาก ของเหลวจะได้รับพลังงานเพิ่มจากการถูกอัดหรือรีดไประหว่างช่องแคบนี้ จากนั้นก็ถูกปล่อยออกที่ปากทางออก การเคลื่อนไหวนี้ ทำให้แรงดันของเหวอันเกิดจากการรีดผ่านช่องแคบๆ สูงมาก เครื่องสูบแบบนี้จึงใช้ได้ดีกับระบบที่ต้องการแรงดันสูงๆ เครื่องสูบแบบโรตารี่นี้ ใช้ได้กับของไหลทุกชนิด ตั้งแต่-น้ำ ของเหลวชนิดต่างๆ อากาศและแก๊ส และด้วยคุณสมบัติอันนี้เอง ทำให้เครื่องสูบโรตารี่เป็นที่นิยมมากในการนำไปใช้งานกับของเหลวที่มีความหนืดสูง เช่น น้ำมันดิบ เป็นต้น

ส่วนประกอบของเครื่องสูบแบบเฟือง

เครื่องสูบแบบเฟืองมีอยู่มากมายหลายแบบ แต่ละแบบก็มีส่วนประกอบแตกต่างกันไปแต่ก็ยังมีชิ้นส่วนบางชิ้นที่เครื่องสูบแบบเฟืองทุกแบบจะต้องมีเหมือนๆ กันดังต่อไปนี้

ห้องสูบ หมายถึง ช่องว่างภายในเครื่องสูบซึ่งในขณะทำงานจะมีของเหลวเข้ามาบรรจุอยู่เต็ม โดยผ่านเข้ามาตามช่องทางเข้า ซึ่งอาจจะมีช่องเดียวหรือหลายช่อง และของเหลวจะไหลออกจากห้องสูบทางช่องทางออก ซึ่งอาจจะมีทางเดียวหรือหลายทางเช่นกัน

ตัวสูบ หมายถึง ชิ้นส่วนที่หุ้มห่อห้องสูบไว้ ซึ่งก็คือเรือนสูบนั่นเอง ในเครื่องสูบโรตารี่บางแบบ ตัวสูบเองเป็นชิ้นส่วนที่หมุนไป แต่ส่วนใหญ่ตัวสูบมักจะอยู่กับที่ บางครั้งจึงเรียกส่วนนี้ว่า Stator ส่วนปลายของตัวสูบจะเป็นฝาคลอบห้องสูบซึ่งเป็นส่วนที่ปิดส่วนปลายห้องสูบเอาไว้

ส่วนที่เคลื่อนไหวของเครื่องสูบแบบเฟือง ประกอบด้วยชิ้นส่วนที่สำคัญ คือ โรเตอร์ (Rotor) ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันไปในแต่ละแบบ เช่น เกียร์ สกรู ลูกเบี้ยว ลูกสูบ ฯลฯ ทำหน้าที่ถ่ายเทพลังงานให้กับของเหลว โรเตอร์จะอยู่กับเพลาส่งกำลัง ซึ่งเป็นส่วนที่เคลื่อนไหวอีกชิ้นหนึ่ง เพลาจะรับกำลังโดยผ่านมาทางชิ้นส่วนเคลื่อนไหวชิ้นที่สาม คือ ข้อต่อถ่ายกำลัง แต่เครื่องสูบแบบ

เฟืองบางแบบก็ถ่ายกำลัง โดยผ่านทางตัวถ่ายกำลังที่ทำงานด้วยระบบแม่เหล็กธรรมดาหรือแม่เหล็กไฟฟ้า

ซีลกันรั่วของเครื่องสูบแบบเฟืองมี 2 แบบ คือ Static seal ซึ่งใช้วิธีอัดของเหลวหรืออากาศไว้ระหว่างชิ้นส่วนที่หมุนกับส่วนที่อยู่กับที่ เพื่อป้องกันไม่ให้ของเหลวภายในซึมผ่านออกมาได้อีกแบบหนึ่งคือ moving seal ใช้ป้องกันการรั่วของของเหลวในบริเวณห้องสูบ ส่วนที่เพลาส่งกำลังยื่นออกมาภายนอก ตลอดจนส่วนทุกส่วนที่เป็นรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนที่หมุนกับกับชิ้นส่วนที่อยู่กับที่สำหรับกระบอกปะเก็นกันรั่วนั้น พบว่ามีใช้บ้างเหมือนกันในเครื่องโรตารี่บางชนิดโดยใช้ที่บริเวณห้องสูบส่วนที่เพลายื่นออกมา เช่นเดียวกับเครื่องสูบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์

การทำงานของเครื่องสูบแบบเฟือง

เครื่องสูบแบบเฟืองส่วนใหญ่จะใช้โรเตอร์ หรือส่วนของโรเตอร์ส่วนใดส่วนหนึ่ง เป็นลิ้นปิดกั้นทางเดินของเหลวที่เข้าและออกจากตัวสูบ ดังนั้นเครื่องสูบแบบเฟืองจึงไม่จำเป็นต้องมี Inlet valve และ Outlet valve นอกจากนี้ปริมาณของเหลวที่จะผ่านเครื่องสูบก็ขึ้นอยู่กับปริมาตรของช่องว่างภายในโรเตอร์ ซึ่งใช้เป็นส่วนที่ดักของเหลวไว้เท่านั้น สภาวะการทำงานของเครื่องสูบแบบเฟือง แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. ทางเข้าเปิด-ทางออกปิด (Closed-to-outlet Open-to-inlet) ในสภาวะนี้ ของของเหลวจะไหลเข้าสู่ตัวสูบตามช่องทางเข้าที่เปิดอยู่ ส่วนทางออกจะปิดสนิท

2. ทางเข้าปิด-ทางออกปิด (Closed-to-outlet Closed-to-inlet) เป็นช่วงที่ทั้งทางเข้าและทางออกจะถูกส่วนของโรเตอร์ปิดกั้นไว้ แล้วโรเตอร์จะหมุนนำเอาของเหลวที่ดักเอาไว้ในช่องว่างของตัวมัน ลัดเลาะจากด้านทางเข้าไปยังทางออกของตัวสูบ

3. ทางเข้าปิด-ทางออกเปิด (Open-to-outlet Closed-to-inlet) เป็นจังหวะที่ของเหลวที่โรเตอร์ดักไว้เดินทางไปถึงด้านทางออก ซึ่งจะเป็นทางให้ของเหลวผ่านออกไป

จะเห็นได้ว่า ปริมาตรของเหลวที่ผ่ายเครื่องสูบจะขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 สิ่ง คือ การทำงานประสานกันระหว่าง Rotor กับ Stator ในการเปิด-ปิดช่องทางเข้าออกตัวสูบ และประการที่สอง คือ เวลาที่ใช้ในการเปิด-ปิดช่องทางเข้าออกในจังหวะแรก เมื่อทางเข้าเปิดและทางออกปิดของของเหลวจะไหลเข้าสู่ช่องว่างใน Rotor ทำให้ปริมาตรของของเหลวในตัวสูบเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่ช่วงเวลาที่ทางเข้าเปิดสั้น ของเหลวก็จะไหลเข้าสู่ตัวสูบได้น้อย ให้ปริมาตรของของเหลวที่มีในช่วงที่สองเมื่อ-ทางเข้าออกปิดหมด และของเหลวถูกนำมาจากทางเข้าไปยังทางออกมีปริมาตรน้อยไปด้วย เมื่อถึงช่วงจังหวะที่สามเมื่อทางออกเปิดของเหลวที่ผ่านออกมาก็มีปริมาตรน้อย ระสิทธิภาพของเครื่องก็ลดลง

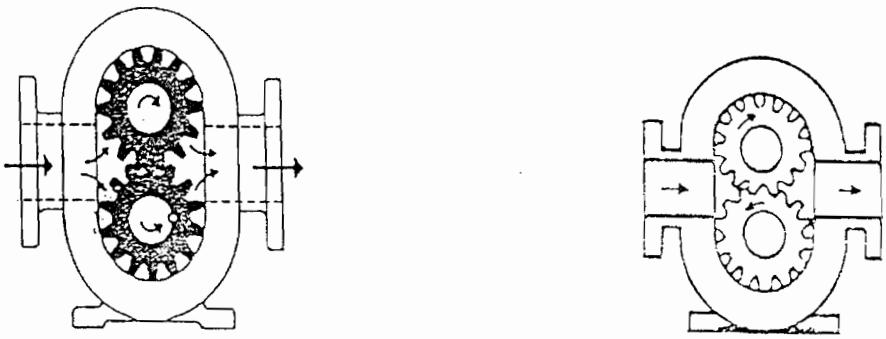
ชนิดของเครื่องสูบแบบโรตารี่

เนื่องจากโรเตอร์ซึ่งเป็นตัวจักรสำคัญในการทำงานของสูบโรตารี่ ดังนั้นการจำแนกชนิดของเครื่องสูบโรตารี่โดยการยึดถือแบบของโรเตอร์เป็นหลัก จึงต้องแยกเครื่องสูบชนิดโรตารี่ออกเป็นหลายแบบตามชนิดและหลักการทำงานของโรเตอร์ ดังนี้

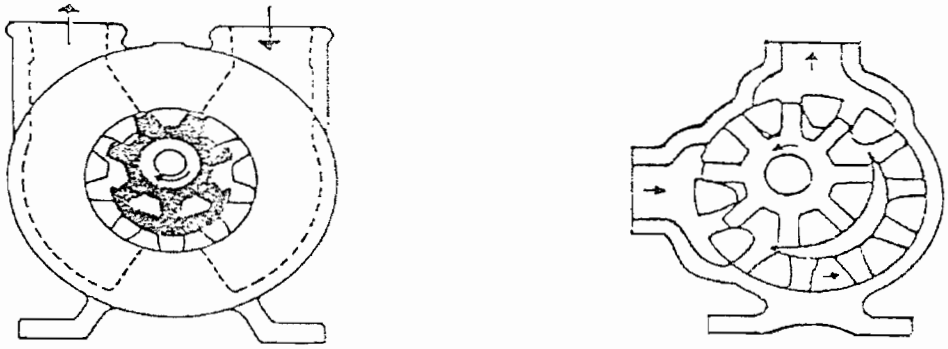
1. แบบเฟืองเกียร์ (Gear pump) แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

- เครื่องสูบแบบเฟืองภายนอก (External Gear Pump) มีเฟืองตามเกาะอยู่ที่ขอบนอกของเฟืองขับ และทั้งคู่จะถูกบรรจุภายในตัวสูบ โดยมีช่องว่างระหว่างปลายเฟืองทั้งคู่กับผนังตัวสูบน้อยที่สุด

- เครื่องสูบเฟืองภายใน (Internal Gear Pump) คือ เฟืองตัวตามเป็นรูปวงแหวนที่มีฟันเฟืองอยู่ทางด้านในเฟืองขับจะบรรจุไว้ในช่องว่างของวงแหวนโดยมีฟันแตะกันอยู่ที่จุดหนึ่งจึงมองดูเป็นเฟืองสองวงที่เกาะกันอยู่ในลักษณะเยื้องศูนย์ทำให้จุดตรงข้ามกับจุดที่เฟืองทั้งคู่ขบกันอยู่กลายเป็นช่องเปิดกว้างจึงต้องป้องกันการไหลกลับของของเหลวที่อยู่ในช่องนี้ ด้วยการนำเอาชิ้นโลหะรูปพระจันทร์เสี้ยวมาบรรจุไว้ในช่องนี้ โดยให้มีช่องว่างระหว่างผิวของโลหะนี้กับปลายเฟืองเกียร์น้อยที่สุด เครื่องสูบทั้งสองแบบนี้สามารถสลับสับเปลี่ยนช่องทางการเข้า ออกของของเหลวได้โดยเปลี่ยนทิศทางการหมุนของ Rotor เท่านั้น กล่าวคือ ทิศทางการไหลเข้าออกของของเหลวในตัวสูบขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุนของเพลา

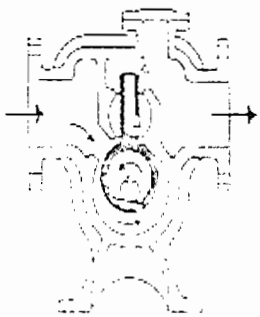


รูปที่ 2.6 เครื่องสูบแบบเฟืองภายนอก External Gear Pump



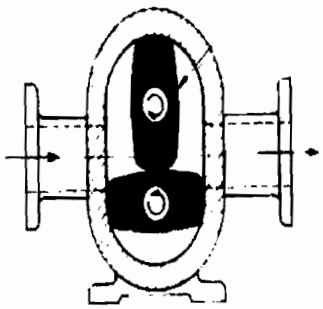
รูปที่ 2.7 เครื่องสูบแบบเฟืองภายใน Internal Gear Pump

2. แบบลูกสูบและลูกเบี้ยว (Cam-and-piston Pump) หรืออาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า "Rotary-plunger pump" เครื่องสูบแบบนี้ จะมีแขนที่อยู่ในลักษณะเยื้องศูนย์การหมุนของเพลาทำให้หมุนเหวี่ยงไปตามห้องสูบของเหลวจะไหลเข้าห้องสูบและถูกรีบผ่านไปตามช่องว่างภายในห้องสูบต่อเนื่องกันไป



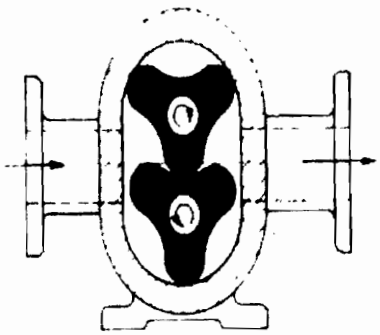
รูปที่ 2.8 เครื่องสูบแบบลูกสูบและลูกเบี้ยว Cam-and-piston Pump

3. แบบโลบิวลาร์ (Lobular Pump) เครื่องสูบแบบนี้มีลักษณะคล้ายกับเครื่องสูบแบบเฟืองเกียร์ คือ ส่วนที่เป็น Rotor มีลักษณะการทำงานเหมือนเฟือง แต่มีลักษณะของฟันใหญ่กว่าฟันเฟืองเรียกว่า "Lobe" ซึ่งมีจำนวน Lobe เครื่องสูบแบบนี้จะให้ปริมาตรของเหลวที่สูบได้มากกว่าเครื่องสูบแบบเฟืองเกียร์ แต่ของเหลวที่จะได้มีลักษณะการไหลที่ไม่ราบเรียบและสม่ำเสมอเหมือนเครื่องสูบแบบเฟืองเกียร์



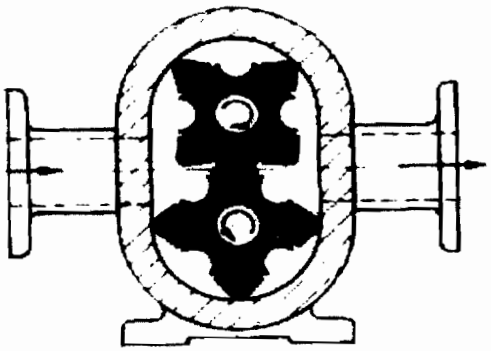
รูปที่ 2.9 เครื่องสูบแบบสองโหลบ

Two Lobe Pump



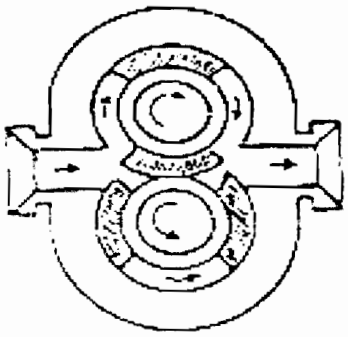
รูปที่ 2.10 เครื่องสูบแบบสามโหลบ

Three Lobe Pump

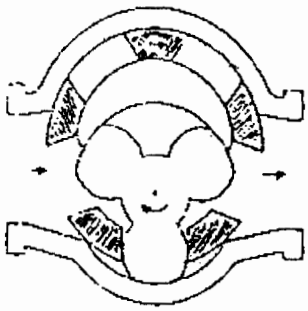


รูปที่ 2.11 เครื่องสูบแบบสี่โหลบ Four Lobe Pump

4. แบบ Circumferential piston pump เป็นเครื่องสูบที่ดัดแปลงมาจากเครื่องสูบแบบเฟือง เกียร์ มี 2 แบบ คือ Circumferential piston pump แบบ external และแบบ internal

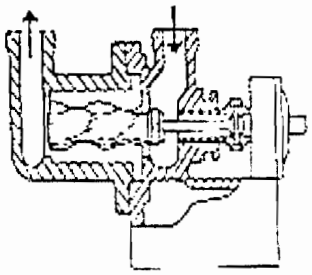


รูปที่ 2.12 Circumferential Piston Pump แบบ External



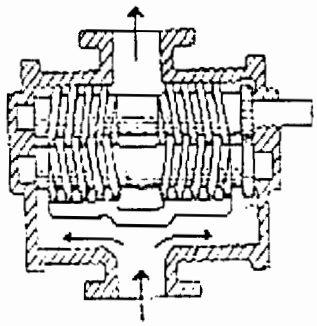
รูปที่ 2.13 Circumferential Piston Pump แบบ Lnternal

5. แบบเกลียว (Screw Pump) เครื่องสูบแบบเกลียวนั้น มีทั้ง 1 เกลียว 2 เกลียว และ 3 เกลียว เครื่องสูบแบบนี้ส่วนที่ทำหน้าที่เป็น Rotor จะมีลักษณะเป็นแกนยาวบิดเป็นเกลียว (Spiral) และหมุนแบบเยื้องศูนย์ โดยของเหลวจะถูกรีบผ่านไปตามร่องเกลียว ลักษณะการทำงานเช่นนี้ ทำให้เครื่องสูบแบบเกลียวสามารถสร้างแรงดันให้กับของเหลวได้มาก จึงมักใช้เครื่องสูบแบบนี้กับของเหลวที่มีความหนืดมากๆ ได้เป็นอย่างดี



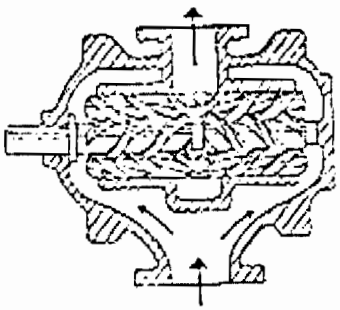
รูปที่ 2.14 เครื่องสูบแบบ 1 เกลียว

Single Screw Pump



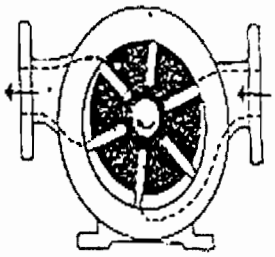
รูปที่ 2.15 เครื่องสูบแบบ 2 เกลียว

Two Screw Pump

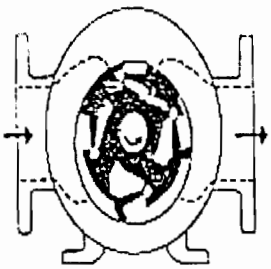


รูปที่ 2.16 เครื่องสูบแบบ 3 เกลียว Tree Screw Pump

6. แบบแผ่นใบพัด (Vane Pump) มี 2 แบบ คือ แบบ Sliding Vane Pump และ แบบ Swinging Vane Pump โดยทั้งสองแบบจะทำงานโดยอาศัย Rotor ที่มีลักษณะเป็นแผ่นคล้ายใบพัด และคล้ายซ้อนตามลำดับ หมุนกวาดของเหลวไปตามช่องว่างภายในห้องสูบ ในบางครั้งแผ่นใบพัดหรือซ้อนที่ทำหน้าที่เป็น Rotor นั้น อาจทำด้วยวัสดุจำพวกยางก็ได้ ซึ่งจะทำให้การทำงานของเครื่องสูบแบบนี้มีเสียงเงียบมากขึ้น



รูปที่ 2.17 Sliding Vane Pump



รูปที่ 2.18 Swinging Vane Pump

นอกจากแบบต่างๆ ที่กล่าวมาแล้ว เครื่องสูบโรตารี่ยังมีแบบอื่นๆ อีกหลายแบบ เช่น แบบ Shuttle Block แบบ Universal Joint และแบบอื่นๆ ที่ออกมาเพื่อใช้งานเฉพาะอย่าง จึงมักมีราคาแพงและอาจใช้งานได้ไม่ดีนักกับงานอื่นๆ นอกเหนือจากงานที่มันถูกออกแบบให้ใช้

ลักษณะสมบัติของเครื่องสูบโรตารี่

เครื่องสูบโรตารี่ส่วนใหญ่ได้รับการออกแบบมาเพื่อให้ใช้กับถังน้ำและของเหลวอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งของเหลวที่มีความหนืดสูงจะใช้กับเครื่องสูบประเภทนี้ได้ดี คุณสมบัติเฉพาะตัวของเครื่องสูบโรตารี่ คือ จะให้แรงดันสูง ในขณะที่ปริมาตรของของเหลวที่ผ่านเครื่องสูบเกือบจะคงที่ปริมาณของเหลวจะเปลี่ยนแปลงได้ ก็ต่อเมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วของเครื่องสูบเท่านั้น เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการใช้เครื่องสูบโรตารี่ คือ ต้องการแรงดันสูง ดังนั้นเส้นกราฟแสดงคุณสมบัติจึงเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเหลวที่ผ่านเครื่องสูบกับแรงดันแทนที่จะเป็น เฮด เหมือนเครื่องสูบแบบ Centrifugal Pump

การใช้งานเครื่องสูบโรตารี่

เครื่องสูบโรตารี่ส่วนใหญ่จะสามารถหล่อน้ำได้ด้วยตนเอง ละมักจะใช้ได้กับของไหลได้ทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นของเหลว น้ำ แก๊ส ตลอดจนของเหลวที่มีอากาศหรือแก๊สปนอยู่โดยเฉพาะอย่างยิ่งของเหลวที่มีความหนืดสูงๆ ดังนั้นวงการใช้งานสูบโรตารี่จึงค่อนข้างกว้างและมักจะอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ งานต่างๆ ที่เครื่องสูบโรตารี่ทำงานได้ดีรวมไปถึงงานสูบ

ของเหลวที่มีความหนืดทุกระดับ งานสูบสารเคมี กระบวนการผลิตอาหาร งานลำเลียงและงานขนถ่ายวัสดุประเภทที่เป็นของเหลวและแก๊ส งานดับเพลิง ใช้ในระบบไฮโดรลิกส์ของเครื่องจักรกลต่างๆ ใช้ในระบบหล่อลื่น หล่อเย็น งานขนถ่ายแก๊สเหลว ตลอดจนการใช้งานสูบน้ำไปใช้ตามอาคารบ้านเรือน เป็นต้น

2.1.6 เครื่องสูบแบบชัก

เครื่องสูบแบบชัก หรือบางครั้งเรียกทับศัพท์ว่า เครื่องสูบรีซิโปรเคท เป็นเครื่องสูบที่จัดอยู่ในกลุ่ม Positive Displacement Pump คือ เป็นเครื่องสูบที่ให้ปริมาณของเหลวคงที่ โดยของเหลวจะเข้าไปแทนที่ช่องว่างที่เกิดขึ้นภายในห้องสูบจากการเคลื่อนที่ของกลไก เช่นเดียวกันกับเครื่องสูบแบบโรตารี่ แต่ต่างกันตรงที่เครื่องสูบแบบนี้ มีการเคลื่อนไหวของกลไกในลักษณะกลับไปกลับมา จึงเรียกชื่อตามลักษณะของการทำงานว่า “Recipocating Pump” ได้แก่ เครื่องสูบน้ำที่ใช้ลูกสูบ ซึ่งพบมากตามอาคารบ้านเรือนต่าง ๆ เครื่องสูบแบบนี้ ปริมาณของเหลวที่ได้ในการทำงานของลูกสูบแต่ละครั้ง คือ ผลคูณระหว่างพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบกับความยาวของช่วงชัก ซึ่งก็เป็นไปตามหลักการเท่านั้น ในการใช้งานจริง ปริมาณของเหลวที่ได้จะน้อยกว่าผลคูณดังกล่าว เพราะมีของเหลวบางส่วนสูญเสียไปกับการไหลย้อนกลับทาง เช่นเดียวกับที่เกิดในโรตารี่

ชนิดของเครื่องสูบแบบชัก

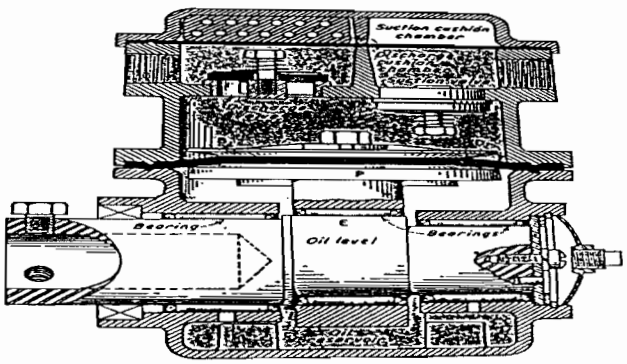
เครื่องสูบแบบชัก จะแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ เครื่องสูบแบบส่งกำลังตรง และเครื่องสูบแบบส่งกำลังผ่านข้อเหวี่ยง เรียกว่า Power Pump แต่อย่างไรก็ตาม ยังปรากฏว่า ได้มีการดัดแปลงเครื่องสูบทั้งสองแบบนี้ออกไปอย่างกว้างขวาง ด้วยวัตถุประสงค์ที่จะให้ใช้งานเฉพาะอย่างได้ตามลักษณะที่ต้องการ ดังนั้น เครื่องสูบใด ๆ ที่มีกลไกในการสูบของเหลวที่เคลื่อนที่ในลักษณะที่กลับไปกลับมา ไม่ว่าจะเป็นลูกสูบพลังเจอร์ หรือแผ่นไดอะแฟรม ก็จะถือว่าเป็นเครื่องสูบแบบเฟืองทั้งสิ้น

1. เครื่องสูบแบบส่งกำลังตรง เครื่องต้นกำลังที่ใช้ขับเครื่องสูบประเภทนี้ คือ เครื่องจักรไอน้ำ โดยก้านสูบของลูกสูบไอน้ำจะต่อตรงอยู่กับลูกสูบของเครื่องสูบ และเคลื่อนไปด้วยกัน การขับเคลื่อนมักจะอยู่ในลักษณะหนึ่งต่อหนึ่ง คือ ลูกสูบไอน้ำหนึ่งสูบต่อลูกสูบเครื่องสูบหนึ่งสูบ แสดงรูปตัดภายในของเครื่องสูบแบบส่งกำลังตรงแบบ Duplex

2. เครื่องสูบแบบส่งกำลังผ่านข้อเหวี่ยง เครื่องสูบแบบนี้จะรับกำลังจากเครื่องต้นกำลังผ่านเข้ามาทางข้อเหวี่ยง โดยมีล้อช่วยแรง เป็นอุปกรณ์ช่วยทดความเร็วรอบที่ผ่านจากเครื่องต้นกำลังเข้า

มา มีเฟืองเกียร์ที่อยู่ภายในเรือนเครื่องสูบเป็นตัวช่วยลดความเร็วของลูกสูบลง นอกจากนี้ล้อช่อยแรงจะยังช่วยรักษาเสถียรภาพในจังหวะการทำงานของลูกสูบอีกด้วย

3. เครื่องสูบแบบแผ่นไดอะแฟรม เครื่องสูบแบบนี้ ทำงานด้วยการเคลื่อนที่ในลักษณะกลับไปกลับมาของแผ่นไดอะแฟรมที่ทำด้วยวัสดุยืดหยุ่นตัวได้ เช่น ยางหรือวัสดุเทียบยาง ฯลฯ โดยที่จุดศูนย์กลางของแผ่นไดอะแฟรมจะมีก้านต่ออยู่กับแกนยก ซึ่งทำหน้าที่เหมือนเป็นก้านสูบของแผ่นไดอะแฟรม แกนยกนี้ จะวางอยู่บนลูกเบี้ยวโดยตรงหรืออาจวางอยู่บนกระเดื่องอีก โดยปลายอีกข้างหนึ่งของกระเดื่องจะวางอยู่บนลูกเบี้ยวก็ได้ ลูกเบี้ยวจะรับกำลังมาจากการหมุนของเพลาลูกเบี้ยว เมื่อเพลาหมุนไป ลูกเบี้ยวก็จะดันกระเดื่องหรือแกนยกของแผ่นไดอะแฟรมให้เคลื่อนที่ไป ดึงให้แผ่นไดอะแฟรมให้ทำงาน แผ่นไดอะแฟรมอยู่ในห้องสูบ เมื่อแผ่นไดอะแฟรมเคลื่อนที่ขึ้น ก็จะดันของเหลวที่อยู่ในห้องสูบให้ออกไปยังช่องทางออก ระหว่างช่องทางออกกับห้องสูบจะมีลิ้นกันกลับปิดกันไว้โดยวางลิ้นนี้ไว้ในลักษณะที่จะให้ของเหลวผ่านจากห้องสูบไปยังช่องทางออกได้เพียงทางเดียว ลิ้นนี้ทำงานโดยอาศัยแรงดันของน้ำที่อยู่ภายในห้องสูบ เมื่อแผ่นไดอะแฟรมเลื่อนขึ้นไปจนสุดแล้วก็หยุด ทำให้แรงดันให้ห้องสูบ-ลดลง ลิ้นกันกลับก็จะปิดลง จากนั้นแผ่นไดอะแฟรมก็จะเลื่อนกลับซึ่งทำให้เกิดช่องว่างขึ้นภายในห้องสูบ ช่องว่างนี้จะมีสภาพเกือบจะเป็นสูญญากาศ แรงดันบรรยากาศที่อยู่ภายนอกจึงดันของเหลวผ่านเข้ามา และดันลิ้นกันกลับที่ปิดกั้นทางเข้าไว้ให้เปิดออก ของเหลวก็จะไหลเข้ามาในห้องสูบ จนกระทั่งเมื่อแผ่นไดอะแฟรมเลื่อนกลับไปจนสุดระยะแล้วก็จะหยุด ลิ้นกันกลับบริเวณทางเข้าจะปิด จากนั้นก็จะเริ่มจังหวะการสูบออกใหม่ต่อไปอีก



รูปที่ 2.19 เครื่องสูบแบบแผ่นไดอะแฟรมแบบ Short-stroke High-speed Spray Pump

4. เครื่องสูบแบบปรับปริมาณได้ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ปริมาณของของเหลวที่ได้จากเครื่องสูบแบบเฟือง จะมีค่าคงที่ถ้าความเร็วคงที่ เนื่องจากกระบอกสูบของเครื่องสูบซึ่งน้ำเข้าไป

แทนที่นั้นมีปริมาตรคงที่ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของน้ำที่ได้จากเครื่องสูบ จึงสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วเท่านั้นฉะนั้นถ้าใช้เครื่องต้นกำลังที่ไม่สามารถปรับความเร็วได้ เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า ก็จะทำให้ควบคุมการไหลได้ลำบาก การใช้เครื่องสูบแบบปรับปริมาณน้ำได้ จึงเป็นสิ่งที่เหมาะสมมากสำหรับงานที่ต้องการแรงดันสูง และต้องมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำอยู่เสมอ ซึ่งเหมาะสมสำหรับงานอุสาหกรรมบางประเภท หลักการของเครื่องสูบแบบนี้ คือ การเปลี่ยนแปลงความยาวของช่วงชักของก้านสูบซึ่งอาจจะทำได้ด้วยวิธีต่าง ๆ กัน เช่น การปรับความยาวของช่วงชักโดยการใช้สกรู ซึ่งจะมีผลทำให้ช่วงชักของแผ่นไดอะแฟรมเปลี่ยนความยาวไปด้วย

2.1.7 เครื่องสูบชนิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์

เครื่องสูบชนิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ ประกอบด้วยใบพัด ซึ่งหมุนอยู่ภายในห้องสูบหรือเรือนสูบ พลังงานจะถูกถ่ายทอดให้ของเหลว โดยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ อันเกิดจากการหมุนของใบพัด เครื่องสูบแบบนี้ จะมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่สองส่วน คือ

- ส่วนที่เคลื่อนที่ได้ ได้แก่ ใบพัด เพลา
- ส่วนที่อยู่กับที่ ได้แก่ เรือนสูบ เสื้อเพลา ฯลฯ

ในเครื่องสูบแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ ของเหลวจะถูกผลักดันด้วยแรงดันบรรยากาศหรือแรงอื่น ๆ ตามที่เครื่องสูบนั้นได้รับการออกแบบมา ให้ไหลผ่านเข้าไปสู่ใบพัดเรือนสูบ แรงเหวี่ยงหนีศูนย์ อันเกิดจากการหมุนของใบพัดนี้ จะทำให้ของเหลวเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง และความเร็วนี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานในรูปของแรงดัน โดยไหลผ่านเข้าไปในท่อรูปก้นหอย ดังรูปที่ 2.20 a หรือผ่านทางแผ่นกระจายของเหลว ซึ่งติดตั้งอยู่บนผนังเรือนสูบ ดังรูปที่ 2.20 b จากนั้นจะไหลออกจากเครื่องสูบ ซึ่งจากจุดนี้ก็จะมีท่อส่งมาต่อเข้ากับตัวเครื่องสูบ เพื่อนำของเหลวเข้าสู่ในระบบต่อไป

a b

รูปที่ 2.20 เครื่องสูบแบบหอยโข่ง a และแบบเทอไบน์ b

2.1.8 การใช้พลังงานและประสิทธิภาพของเครื่องสูบต่าง ๆ

1. คำนวณงานที่เครื่องสูบให้แก่น้ำ หรือกำลังงานของน้ำ, (W_O)

2. คำนวณมอเตอร์ที่ให้แก่เครื่องสูบ, (W_i)

3. คำนวณประสิทธิภาพของเครื่องสูบ, (η)

1.1 งานที่เครื่องสูบให้แก่น้ำ หรือกำลังงานของน้ำ (W_O) หาได้จากอัตราการไหลของน้ำและความดันที่เพิ่มขึ้น

$$W_O = Q \times P \quad \text{..... (2.10)}$$

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

โดย

W_O = กำลังงานมอเตอร์ที่ให้กับน้ำ, ($N.m/\sec$)

Q = อัตราการไหลของน้ำ, (L / min)

P = ความดันพื้นที่เพิ่มขึ้น

= ความดันท่อส่ง - ความดันท่อดูด, (kg_f / cm^2)

1.2 งานมอเตอร์ที่ให้แก่เครื่องสูบ (W_i) วัดได้จากแรงบิดของมอเตอร์ และความเร็วรอบของมอเตอร์

$$W_i = \frac{Fr \times 2\pi n}{60} \quad \text{..... (2.11)}$$

โดย

W_i = กำลังงานที่มอเตอร์ให้แก่เครื่องสูบ, ($N.m/\sec$)

n = ความเร็วรอบต่อนาที, (rpm)

F = แรงบิดวัดที่ปลายแขนหมุนของมอเตอร์ไดนาโมมิเตอร์, (N)

r = ความยาวของแขนหมุนของไดนาโมมิเตอร์, (m)

ในกรณีที่ ค่าแรงบิด τ = Fr สามารถอ่านค่าได้โดยตรง และมีหน่วย (N.m)

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

1.3 ประสิทธิภาพของเครื่องสูบ, η

ประสิทธิภาพของเครื่องสูบ = $\frac{\text{กำลังงานที่ป้อนให้แก่น้ำ}}{\text{กำลังงานที่มอเตอร์ให้แก่เครื่องสูบ}}$ ..... (2.13)

$$= \frac{W_O}{W_i}$$

2.2 มอเตอร์ไฟฟ้า

2.21 ประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้า [1]

เมื่อมีกระแส ไฟฟ้าใช้ การใช้มอเตอร์ไฟฟ้าจะให้ประโยชน์เหนือกว่าการใช้เครื่องยนต์ที่จุดระเบิดภายใน 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 อย่างเครื่องยนต์จุดระเบิดภายใน แต่เราก็สามารถจะต่อไฟมาใช้กับเครื่องได้ในระยะถึง 20 เมตร โดยการใช้สายต่อ แต่ควรระมัดระวังว่าสายไฟที่ใช้ต่อควรจะมีขนาดใหญ่พอ มิฉะนั้นจะเกิดความต่างศักย์ตก และประสิทธิภาพลดลง

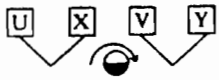
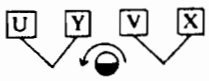
มอเตอร์เฟสเดียว

ในบ้านเรือนทั่วไปจะมีกระแสไฟฟ้าเฟสเดียวขนาด 220 โวลท์ 50 Hz ใช้แต่มอเตอร์ไฟฟ้าจะมีข้อจำกัดที่ใช้ได้เฉพาะกระแส Contracted เท่านั้น บนป้ายทะเบียนของมอเตอร์จะบอกชนิดและขนาดของกระแส เมื่ออ่านป้ายนี้เราก็สามารถใช้มอเตอร์ได้อย่างถูกต้อง ดูตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างของแผ่นป้ายมอเตอร์

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

a

มอเตอร์ สื่อเฟสเดียว แยกสื่อสตาร์ท			
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		
Rpm	1.30 / 1.20 / 1.20	หมายเลขการผลิต	_____
ทิศทางของการหมุน (จากด้านงาน)			
ฮิตาชิ จก. โตเกียว ญี่ปุ่น			

b

จากตารางข้างต้นจะเห็นว่ามอเตอร์ไฟฟ้าในตัวอย่างที่ 1 เป็นมอเตอร์ที่ใช้ไฟฟ้า 220 โวลท์ 50 Hz กำลัง 0.4 กิโลวัตต์ (โดยมี 0.735 กิโลวัตต์ เท่ากับประมาณ 1 กำลังม้า ฉะนั้นมอเตอร์นี้มีกำลังประมาณ 0.5 แรงม้า) และกระแสที่ใช้คือ ต่ำกว่า 9.5 แอมแปร์แม้รอบหมุนจะไม่ได้พูดถึงกันบ่อยครั้ง แต่มอเตอร์ขนาด 4 ขั้ว มีรอบหมุน 1,500 รอบต่อนาที่ (1,500 rpm) ที่ 50 (Hz) ส่วนมอเตอร์ 2 ขั้ว และ 8 ขั้ว จะมีรอบหมุน 3,000 (rpm) และ 750 (rpm) ตามลำดับ (รอบหมุนจะเป็นสัดส่วนกลับกับจำนวนขั้ว)

มอเตอร์เฟสเดียวแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1) ประเภทสตาร์ทแยก

2) ประเภทสตาร์ทด้วยคอนเดนเซอร์

3) ประเภทสตาร์ทด้วยแรงผลัก

สองประเภทหลังหลังมีแรงติดเครื่องที่ดีกว่าประเภท 2 กำลังเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ทิศทางของการหมุนจะกลับทางได้โดยการเปลี่ยนการต่อลวดสำหรับประเภทที่ 1 และ 2 ส่วนประเภทที่ 3 ใช้วิธีเปลี่ยนแผ่นโลหะ

ในประเภทของมอเตอร์แบบเฟสเดียว นอกจากมอเตอร์แบบแม่เหล็กไฟฟ้าแล้ว ยังมีเครื่องยนต์แบบต่าง ๆ อีก ซึ่งเครื่องยนต์เหล่านี้จะใช้กระแสสลับหรือกระแสตรงก็ได้ แรงของการติดเครื่องจะแรงมากและส่วนมากใช้กับสว่านไฟฟ้า เลื่อยวงเดือน และอุปกรณ์งานบ้านอื่น ๆ

สำหรับมอเตอร์แบบสตาร์ทด้วยแรงผลักและเป็นแบบที่ใช้แผ่นโลหะ จะต้องคอยเปลี่ยนแผ่นโลหะเมื่อชำรุดเสมอ มอเตอร์แบบเฟสเดียวส่วนใหญ่จะมีขนาดเล็กกว่า 1 กิโลวัตต์

2.3 สายพาน

2.3.1 คุณลักษณะส่งกำลังด้วยสายพาน [2]

การส่งกำลังด้วยสายพาน เป็นการส่งกำลังอย่างง่ายและราคาไม่แพง มีใช้กันแพร่หลายทั้งในชนบทและในเมือง เช่น เครื่องปั่นไฟ เครื่องสูบน้ำ เครื่องรถไถนา เครื่องรถยนต์ เครื่องเลื่อย เครื่องเจาะเป็นต้น การส่งกำลังจะส่งจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่งผ่านล้อสายพาน (Pulley) โดยอาศัยความฝืดล้อสายพานกับสายพาน

2.3.2 คุณสมบัติสายพานส่งกำลังประเภทต่าง ๆ

สายพานส่งถ่ายกำลังได้โดยอาศัยความฝืด จากการสัมผัสระหว่างสายพานกับล้อสายพาน ปัจจุบันมีการออกแบบให้เหมาะสมกับความก้าวหน้าทางวิชาการหลายรูปแบบที่เป็นมาตรฐานสากล สายพานสามารถจำแนกออกเป็นสายพานกลม สายพานแบน สายพานลิ่ม สายพานฟันเฟือง สายพานหลายลิ่ม สายพานข้อต่อ เป็นต้น

2.3.3 สายพานกลม

สายพานกลม เป็นสายพานที่ออกแบบส่งกำลังเบา ๆ เช่นจักรเย็บผ้า เครื่องเล่นเทปเสียง เครื่องฉายหนัง และเครื่องเจียระไนพลอยเป็นต้น สายพานกลมมีลักษณะเหมือนโอริง ทำจากยาง หนังสัตว์ การส่งถ่ายกำลังของสายพาน อาศัยความฝืดที่เกิดจากร่องล้อสายพานสัมผัสกับท้องสายพาน

2.3.4 สายพานแบน

เครื่องจักรกลยุคหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 เช่น โรงสีข้าวขนาดใหญ่ โรงเลื่อยไม้โรงกลึง ใช้เครื่องจักรไอน้ำหรือเครื่องยนต์เป็นเครื่องต้นกำลัง ระบบส่งกำลังใช้เพลายาวใส่ล้อสายพานเป็นระยะที่ต้องการ ส่งถ่ายกำลังไปแต่ละจุดด้วยสายพานแบน สายพานแบนสามารถ-ส่งกำลังได้มาก และสามารถส่งกำลังไปยังจุด ต่าง ๆ ที่อยู่ห่างไกลได้ เพราะเกินขอบเขตความยาวสายพานลิ่ม

การส่งถ่ายกำลังของสายพาน อาศัยความฝืดที่เกิดจากผิวนอกล้อสายพานสัมผัสกับท้องสายพาน

2.3.5 โครงสร้างสายพานแบน

สายพานแบนประเภทงานเบาเช่นสายพานหนังและสายพานผ้าทำด้วยหนังหรือใยสังเคราะห์ ใช้สำหรับงานที่มีโหลดน้อยและความเร็วรอบต่ำ เช่น เครื่องวัดรอบเครื่องจักร

สำหรับสายพานแบนที่จะกล่าวต่อไปนี้ เป็นสายพานผ้าใบปะยางสังเคราะห์ มีความคงทนต่องานดึง และเกาะแน่นได้ดีกับผิวล้อสายพาน

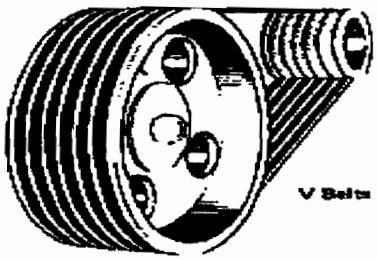
2.3.6 สายพานลิ่ม

สายพานลิ่ม มีรูปร่างหน้าตัดเป็นรูปตัววีที่เรียกว่า V-Belt เป็นมุมเพิ่มประสิทธิภาพการส่งถ่ายกำลังของสายพานมีใช้กันอย่างแพร่หลายในเครื่องทุ่นแรงงานการเกษตรและงานอุตสาหกรรม

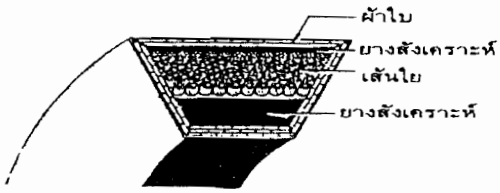
การส่งถ่ายกำลังของสายพาน อาศัยความฝืดที่เกิดจากขอบร่องลิ่มล้อสายพานกับผิวลิ่มของสายพาน

2.3.7 โครงสร้างสายพานลิ่ม

สายพานลิ่มประกอบด้วย ยางสังเคราะห์เส้นใยเสริมแรมหรือเท็ตตรอน และห่อหุ้มด้วยผ้าใบทั้ง 4 ด้านสายพานลิ่ม เป็นสายพานแบบไม่มีรอยต่ออ่อนตัวได้ดี ทนแรงดึงสูง



รูปที่ 2.21 ลักษณะสายพานลิ่ม



รูปที่ 2.22 ส่วนประกอบสายพานลิ่ม

2.3.8 หน้าที่ส่วนประกอบสายพานลิ่ม

1. ผิวนอกส่วน ที่สัมผัสกับร่องล้อสายพานเป็นยางที่ทนต่อการเสียดสีและทนต่อการกัดกร่อน ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำมัน โดยมีผ้าใบรองรับภายในโดยรอบ

2. เส้นเชือกภายใน เป็นใยสังเคราะห์ประเภทเรเยอไนล่อนหรือเส้นลวด ชั้นเดียว หรือ หลายชั้น ป้องกันสายพานยืด

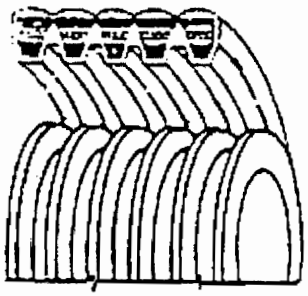
3. ยางหุ้มเส้นเชือก เพื่อให้เส้นเชือกรักษาตำแหน่งของมันโดยไม่แตกตัว

4. ยางส่วนบนทำหน้าที่เฉลี่ยแรงให้เส้นเชือกและรักษารูปทรงสายพานให้ตรง ยืดตัวเมื่อ สายพานโอบล้อสายพาน

5. ยางส่วนล่าง เป็นส่วนรับแรงกด ส่งแรงจากเส้นเชือกไปยังร่องสายพาน

2.3.9 สายพานหลายลิ่ม

สายพานหลายลิ่มมีลักษณะเป็น สายพานลิ่มธรรมดาหลายอันหลังติดกันเป็นแพ หลังสายพานจึงมีโครงสร้างเหมือนสายพานแบนขนาดบาง ช่องล้อสายพานต้องมีขนาดที่เที่ยงตรงกับสายพาน และล้อสายพานต้องตั้งให้ได้ศูนย์กันพอดี เพราะสายพานหลายลิ่มยืดหยุ่นแนวขอบไม่ได้

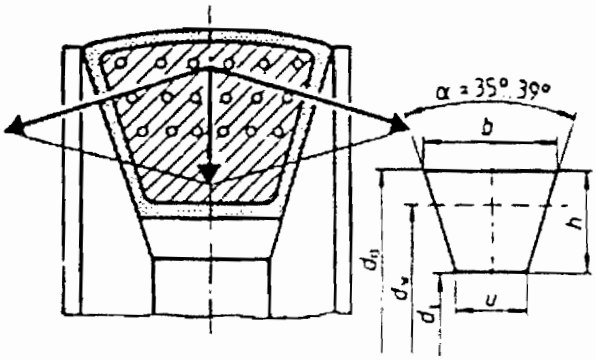


รูปที่ 2.23 ภาพตัดสายพานหลายลิ่ม

2.3.10 พิกัดสายพานลิ่ม

พิกัดสายพานในที่นี้จะกล่าวเฉพาะพิกัดสายพานลิ่ม เพราะพบเห็นได้ง่ายตามร้านขายวัสดุและเครื่องมือทั้งงานทางเครื่องกลและไฟฟ้าตลอดจนร้านขายอะไหล่และบริการรถยนต์ตามข้างถนนทั่วไป

ขนาดสายพานลิ่ม ที่หลังสายพานมีเครื่องหมายกำหนดขนาดไว้ หรือกำหนดตามตารางที่ 5.6 ความยาวกำหนดเป็นนิ้ว หรือ มม. เช่น สายพานลิ่มพิกัดนิ้ว ขนาด B 75 หมายถึง สายพานลิ่มหน้าตัดขนาด B ยาวรอบวง 75 นิ้ว หรือสายพานพิกัดเมตริก ขนาด 7.5 × 1000 หมายถึงสายพานหลังกว้าง 7.5 มม. ยาว 1000 มม



รูปที่ 2.24 สายพานลิ่มพิกัด ISO และเมตริก

2.3.11 สายพานลิ่มหน้าแคบ

นิยมใช้กันทั่วไป เพราะเบาและอ่อนตัวได้ดีมาก ถ้าใช้เส้นเดียวไม่พอแรง ก็ใช้หลายเส้นได้ ยังใช้ความเร็วขอบได้สูงถึง 40 ม./วินาที ทนต่อแรงสั่นสะเทือนได้สูงและไม่เกิดความร้อน

2.3.12สายพานหน้ากว้าง

สายพานแบบนี้ มีใช้เฉพาะงานที่มีความเร็วรอบไม่สูงนัก และมักเป็นงานที่ใหญ่ ๆ ถ้าความเร็วสูงมักลื่นและมีเสียงดัง ทั้งนี้ ยกเว้นสายพานที่ท้องเป็นฟันเฟืองยืดหยุ่น และอ่อนตัวได้ดีมาก ใช้กับล้อสายพานขนาดเล็ก ๆ ได้ ส่งแรงได้มากและไม่ลื่น

2.3.13 สายพานฟันเฟือง

สายพานฟันเฟืองออกแบบพัฒนาจากข้อดีของโซ่ เฟืองและสายพานแบนมารวมอยู่ด้วยกัน คือตัวสายพานมีหน้ากว้างแต่บางเหมือนสายพานแบน ท้องสายพานเป็นฟันเหมือนฟันเฟืองตื้น ๆ ที่มีระยะพิตช์เท่า ๆ กัน เส้นใยโครงสายพานเป็นลวดเหล็กคุณภาพสูง วางเรียบแนวเฉียง สามารถรับโหลดได้มาก ในทำนองเดียวกัน ที่เป็นสายพานก็เสริมความแข็งแรงด้วยเส้นลวด เพื่อให้คงทนต่อการตัดเฉือนและความเร็วสูง ๆ เช่น สายพานไทมิ่งเครื่องยนต์

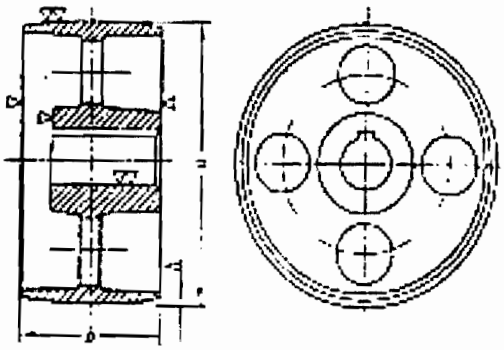
ล้อสายพานฟันเฟืองมีลักษณะเหมือนเฟืองฟันตื้น ส่งถ่ายกำลังเหมือนโซ่ส่งกำลัง จึงส่งถ่ายกำลังได้เที่ยงตรง

2.4 โครงสร้างล้อสายพาน

ล้อสายพานทั่วไปทำจากเหล็กแผ่นและเหล็กหล่อมีพิกัดตามมาตรฐาน ล้อสายพานที่ผลิตในประเทศไทย อาจจำแนกเป็นกลุ่มใหญ่ได้ 2 ประเภท คือประเภทไทยทำเพื่อไทยใช้ ส่วนใหญ่เป็นช่างไทยเชื้อสายจีน หล่อและกลึงจำหน่ายในราคาถูก สำหรับเครื่องทุ่นแรงงานเกษตร หรืองานที่ไม่ต้องการความเที่ยงตรงนัก ส่วนอีกประเภทหนึ่งเป็นประเภทไทยทำเพื่ออุตสาหกรรมผลิตตามพิกัดอุตสาหกรรมหรือผลิตตามบริษัทแม่กำหนด คือกำหนดทั้งคุณสมบัติวัสดุและขนาดต่าง ๆ เพื่อเป็นชิ้นส่วนประกอบเครื่องจักร เครื่องยนต์ เป็นต้น

2..4.1ล้อสายพานแบนหลังนูน

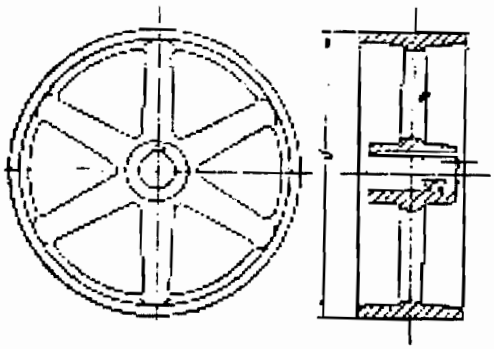
ล้อสายพานหลังนูน เป็นล้อสายพานขนาดเล็ก ป้องกันสายพานหลุดจากล้อสายพานได้ดี หลังล้อสายพานกลึงเป็นผิวหยาบ ป้องกันสายพานลื่น ปีนล้อสายพาน คือระหว่างดุมล้อสายพานและวงล้อสายพาน ถ้าหล่อตัน จะเจาะรูโหว่โปร่งเพื่อลดน้ำหนักหรือหล่อเป็น 6 ปีก



รูปที่ 2.25 ล้อสายพานแบนหลังนูน

2.4.2 ล้อสายพานแบนหลังเรียบ

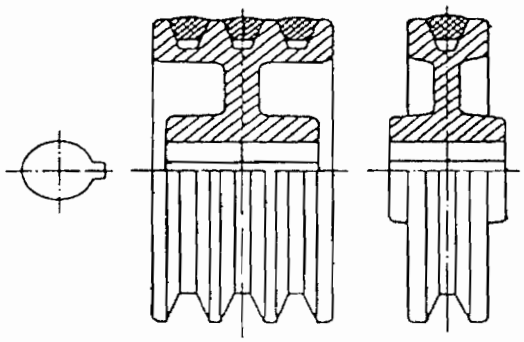
ล้อสายพานแบนหลังเรียบ เป็นแบบใช้กันแพร่หลาย ทำด้วยเหล็กหล่อ หลังกลึงเป็นผิวหยาบเพื่อป้องกันสายพานลื่นไหล ตรงกลางเป็นดุมเซาะร่องลิ่ม เพื่อประกอบติดแน่นกับเพลา



รูปที่ 2.26 ล้อสายพานแบนหลังเรียบ

2.4.3 ล้อสายพานลิ่ม

ล้อสายพานลิ่มส่วนใหญ่ทำด้วยเหล็กหล่อผิวลื่นและคงทน สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี หากเป็นล้อสายพานคุณภาพสูงที่ใช้ในเครื่องจักรกลหรือเครื่องยนต์ ต้องกำหนดพิกัดเนื้อเหล็กหล่อและพิกัดขนาดนับ 10 จุด ล้อสายพานลิ่มที่ส่งกำลังน้อย เช่น เครื่องเจียระไนเสียง ใช้ล้อสายพานเหล็กแผ่นขึ้นรูปหรือพลาสติกที่มีน้ำหนักน้อยและแข็งแรงเพียงพอ



รูปที่ 2.27 ล้อสายพานลิ่มทำด้วยเหล็กหล่อ

2.4.4 การเลือกสายพานให้เหมาะสมกับช่องล้อสายพาน

ขนาดถูกต้อง สายพานเต็มร่องล้อสายพานพอดี สายพานจึงจะส่งถ่ายกำลังได้ประสิทธิภาพสูง มีอายุใช้งานยาวนาน ส่งกำลังไม่มีเสียงดังและไม่ต้องปรับแต่งบ่อย

มุมสายพานผิดอาจเกิดจากเลือกสายพานผิดหรือกลึงร่องล้อสายพานผิดเพราะมุมล่างสัมผัสแต่มุมบนไม่สัมผัสขนาดของสายพานผิด คือ สายพานแคบกว่าเพลาร่องสายพานท้องสายพานสัมผัสท้องร่องสายพาน

ขนาดถูกต้องสายพานเต็มร่องพอดี　　มุมสายพานผิด　　ขนาดสายพานผิด

รูปที่ 2.28 ลักษณะการเลือกสายพานให้เหมาะสมกับร่องสายพาน

2.5 วาล์ว [5]

วาล์วถึงแม้จะไม่เป็นตัวเอกในโรงงานอุตสาหกรรมก็ตาม แต่มันก็เป็นตัวประกอบที่สำคัญที่สุด วาล์วแต่ละแบบก็มีหน้าที่และคุณสมบัติแตกต่างกันไป ก่อนที่จะตัดสินใจเลือกว่าจะใช้วาล์วอะไรจะต้องรู้ว่าเราจะใช้วาล์วไปทำหน้าที่อะไร เราพอจะสรุปหน้าที่ของวาล์วแต่ละแบบได้ดังนี้

1. ทำหน้าที่ปิด เปิด (On-off Service)

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

2. ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหล (Throttling Service)

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

3. ทำหน้าที่กันการไหลกลับ (Prevention of Back Flow)

- เช็ควาล์ว (Check Valve)

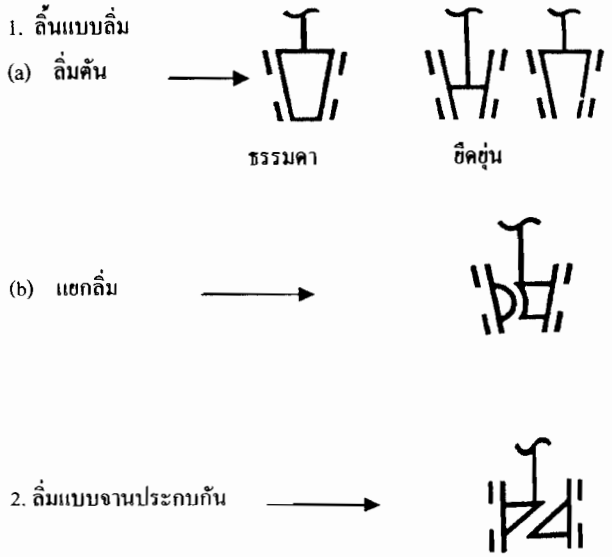
ของเหลวที่เกี่ยวข้องในโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายลักษณะด้วยกัน อาจเป็นของเหลวของพวกของเสียที่มีสารแขวนลอยเต็มไปหมด หรือเป็นพวกสารเคมีที่มีความกัดกร่อนสูง โดยทั่วไปลักษณะสำคัญของของเหลวที่จะต้องนำมาพิจารณาก็คือ ความหนืดและความกัดกร่อน ยังมีข้อปลีกย่อยที่ต้องพิจารณาอีกคือ วาล์วนั้นเกี่ยวข้องกับของเหลวเพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิด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

"ความดันลด" (ขอใช้คำว่า ความดันลดแทน Pressure drop) ในวาล์วมีความสำคัญมาก เพราะเป็นตัวเลขไม่ใช้น้อยเมื่อเทียบกับความดันลดทั้งระบบการเลือกชนิดวาล์วที่ใช้ความดันลดต่ำเป็นสิ่งที่ดีที่สุดเพราะสามารถประหยัดพลังงานของปั๊มลงได้ไม่น้อยที่เดียว

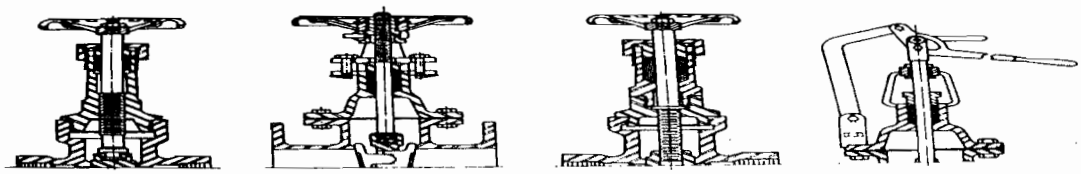
2.5.1 ประตูน้ำ

ประตูน้ำเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดในกลุ่มวาล์วที่ทำหน้าที่ประเภทเดียวกัน (ปลั๊กและบอลล์วาล์ว) ระตูน้ำใช้ทำหน้าที่ปิดเปิดเท่านั้น ไม่ควรจะเปิดครึ่ง ๆ กลาง ๆ จะต้องเปิด

ให้กว้างสุด ทั้งนี้เพราะโครงสร้างของประตูน้ำก่อให้เกิดการขัดสีที่ขอบของประตูได้ (ถ้าเปิดครึ่ง ๆ ไว้) ถึงแม้จะเป็นที่นิยมมากก็ตามแต่ก็มีขีดจำกัดในการใช้



รูปที่ 2.29 ลักษณะของลิ้น



สกรูอยู่ข้างใน ที่หมุน และก้านวาล์วขึ้นพร้อมกัน | **สกรูอยู่ข้างนอก ก้านวาล์ว ขึ้นลงโดยไม่มีการหมุน** | **สกรูอยู่ข้างใน ก้านวาล์วไม่ขึ้นลง** | **ก้านวาล์วไถลขึ้นลงโดย ไม่ต้องหมุนการปิดเปิดเป็นไปโดยเร็ว**

รูปที่ 2.30 ลักษณะการประกอบของก้านวาล์วในแบบต่าง ๆ กัน

2.5.2 ชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นลิ้น

โดยทั่ว ๆ ไปลิ้นจะเป็นลิ่มตัน พร้อมทั้งมีร่องลิ้น (หรือร่องประตู) เอียง (Incline seat) แบบนี้เมื่อใช้ไปนาน ๆ จะสึกได้ ทำให้ปิดไม่สนิท ถ้าใช้ลิ้นที่มีความยืดหยุ่นได้ (Flexible wedge) โดยทำเป็นรูปโครงสร้างแบบตัว "H" หรือ ตัว "n" (ยูคว่ำ) ก็สามารถลดอัตราการสึกหรอไปได้และไม่ต้องคำนึงถึงว่าลิ้นจะสอดปิดตรงแนวหรือไม่ ลิ้นที่เป็นแบบลิ่มยังมีอีกแบบคือ แบบแยกลิ่ม ชิ้นหนึ่งจะเป็นครึ่งทรงกลมนูนออกสวมอยู่ในลิ่มอีกชิ้นหนึ่งที่เป็นทรงกลมเว้าเข้า แบบนี้มักใช้กับงานความดันต่ำสามารถปิดได้สนิทดี ทนทานเพราะคล่องตัวในการเคลื่อนที่

ลิ้นแบบไม่เป็นลิ่มนั้นจะประกอบด้วยจานสองแผ่นประกอบกัน ระหว่างแผ่นจานทั้งสองจะมีกลไกดันให้แผ่นจานดันติดกับร่องจาน

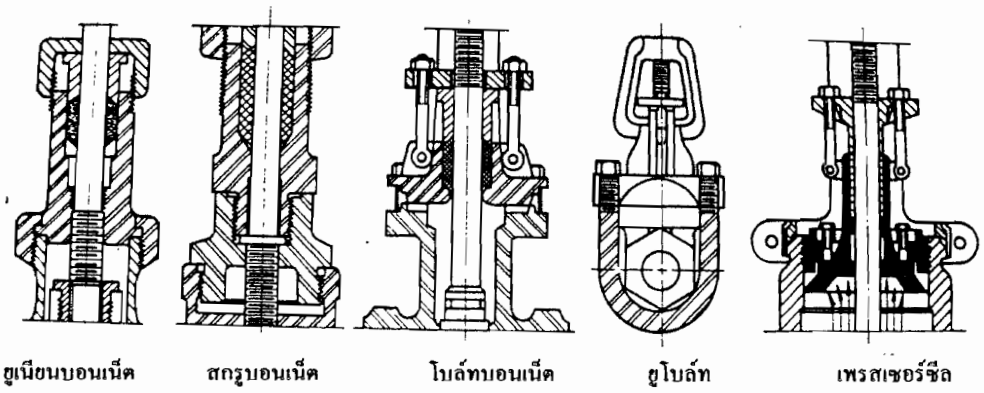
2.5.3 ชิ้นส่วนที่ไปเปิดปิดลิ้น

ชิ้นส่วนที่ไปเปิดปิดลิ้นก็คือ ก้านวาล์ว (Stem) นั่นเอง ปลายก้านวาล์วข้างหนึ่งจะจับกับลิ้น อีกข้างหนึ่งยื่นออกมาติดกับส่วนที่ใช้หมุน (Hand wheel) รูปแบบของเม็ดแคนิซึมก็มีหลายแบบด้วยกัน โดยทั่วไปมี 4 แบบ เท่าที่เห็นในรูปที่ 2.30 ทางซ้ายสุดเป็นแบบสกรูของก้านวาล์วอยู่ภายใน (Inside screw) ที่หมุน (Hand wheel) จะขันแน่นติดกับก้านวาล์ว ดังนั้นเวลาเปิดปิดวาล์ว ก้านวาล์วและที่หมุนจะเคลื่อนที่ไปด้วยกันถัดมาเป็นแบบสกรูของก้านวาล์วอยู่ภายนอกที่หมุนขับติดกับตัววาล์ว เวลาเปิดปิดก้านวาล์วจะเคลื่อนที่ขึ้นลงโดยที่ที่หมุนอยู่กับที่ ถัดมาเป็นแบบสกรูของก้านวาล์วอยู่ภายในอีกเช่นกัน แต่สกรูจะไปขันกับลิ้นก้านวาล์วอยู่กับที่ที่หมุนขันติดกับก้านวาล์วเวลาเปิดปิดจึงมีแต่ลิ้นเท่านั้นที่เคลื่อนที่ขึ้นลงแบบนี้ไม่ค่อยนิยมใช้ รูปสุดท้ายไม่ใช้เกลียว แต่ใช้คันโยกชักเข้าชักออก แบบนี้จะเปิดหรือปิดได้รวดเร็วกว่า 3 แบบแรก การที่เลือกใช้แบบไหนนั้นขึ้นกับสภาพรอบ ๆ ถ้าสภาพรอบ ๆ มีความกัดกร่อนมาก เช่น ใช้ในที่ใกล้ทะเล เป็นต้น จะใช้แบบสกรูภายในเพื่อป้องกันการกัดกร่อนที่สกรูของก้านวาล์ว ส่วนแบบสกรูภายนอกก็มีประโยชน์ตรงที่สามารถหล่อลื่นได้สะดวก

2.5.4 ระบบกันซึม (Sealing methods)

ประตูน้ำจะต้องมีการป้องกันการซึม 4 จุดด้วยกัน 3 จุดแรก จะกันของเหลวออกนอกวาล์ว คือ ที่ข้อต่อระหว่างตัววาล์วกับบอนเน็ท (Bonnet ก็คือ ตัวที่ยึดก้านวาล์ว) 2 จุด และอีกจุดคือ ที่ซึ่งออกจากก้านวาล์ว จุดที่เหลือคือ ที่ลิ้นของวาล์ว

ลักษณะของบอนเน็ทมีหลายแบบด้วยกัน (รูปที่ 2.31) แบบยูเนี่ยนและสกรูบอนเน็ทมักใช้กับวาล์วตัวเล็กแบบโบล์ทบอนเน็ทใช้กับวาล์วตัวใหญ่ แบบเพรสเซอร์ซีลใช้กับความดันและอุณหภูมิสูง



รูปที่ 2.31 บอนเน็ทแบบต่าง ๆ

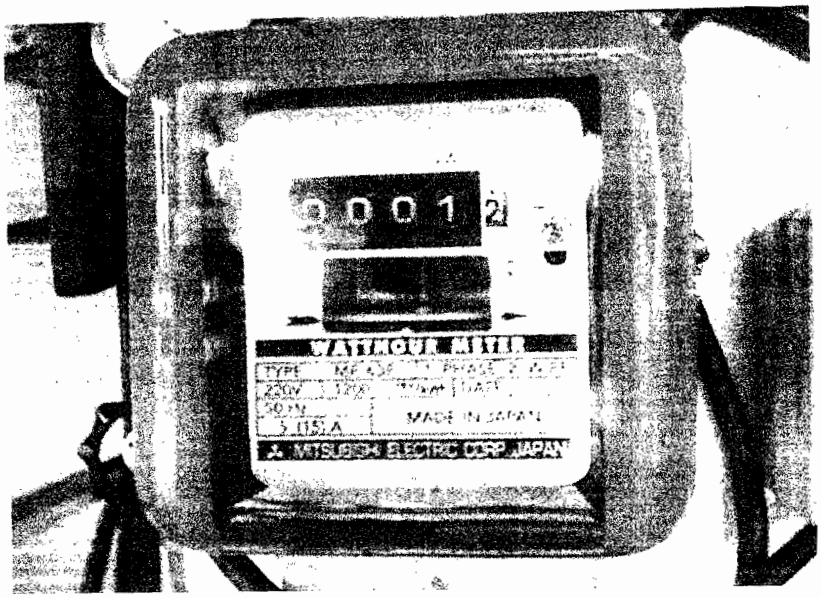
การกันรั่วที่ลิ้นมี 2 แบบด้วยกัน คือ ระหว่างโลหะต่อโลหะ และระหว่างโลหะกับวัสดุหยุ่น แบบระหว่างโลหะจะมีความแข็งแรง แต่เมื่อใช้ไปสักพักผิวสัมผัสระหว่างหน้าโลหะจะเสีย ใช้การไม่ได้ แต่ถ้ามีการใช้โลหะที่มีความแข็งต่างกัน ก็ลดการสึกหรอได้บ้าง สำหรับแบบโลหะต่อวัสดุหยุ่นนั้นใช้กับอุณหภูมิสูงมาก ๆ ก็ไม่ได้

2.5.5 ลักษณะอื่น ๆ

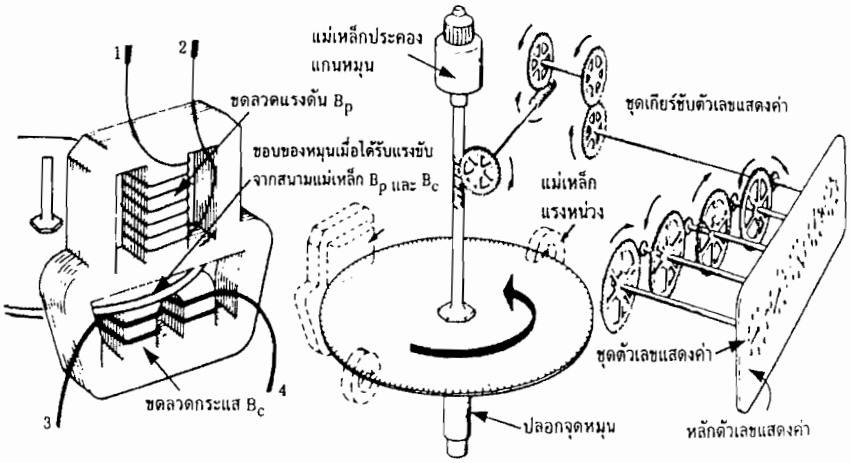
ประตูน้ำมีข้อเสียตรงที่มีน้ำหนักมากและกินที่มากจึงต้องการที่รองรับน้ำหนักด้วย (ถ้าจำเป็น) การติดตั้งและซ่อมบำรุงยากลำบาก

2.6 เครื่องวัดงานไฟฟ้า [6]

เครื่องวัดงานไฟฟ้า หรือเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณงานทางไฟฟ้าหรือพลังงานทางไฟฟ้า มีชื่อเรียกว่า Kilowatt-Hour Meter นั่นคือวัดค่าของกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาที่กำหนดหน่วยของการวัดคือ ยูนิต เพราะว่า 1 ยูนิต = 1 kWh ดั้งนั้น 1 ยูนิต = 1 P.t เมื่อ P คือวัตต์ และ t คือชั่วโมง เครื่องวัดง่านไฟฟ้ามีหลายชนิดเนื่องจากมีโครงสร้างภายในและหลักการทำงานที่แตกต่างกัน เช่น เครื่องวัดงานไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรไลติก ใช้วัดงานไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น และเครื่องวัดงานไฟฟ้าแบบมอเตอร์ วัดงานไฟฟ้าได้ทั้งวงจรไฟตรงและไฟสลับ (รายระเอียดของโครงสร้างและการทำงานแต่ละแบบจะศึกษาเพิ่มเติมจากเครื่องวัดไฟฟ้า : ณรงค์ ชอนตะวัน หน้า 122-134) สำหรับเครื่องวัดงานไฟฟ้าที่นิยมใช้เพื่อวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ซื้อไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคของประเทศไทยนั้น จะใช้เครื่องวัดงานไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ ซึ่งมีลักษณะภายนอกและโครงสร้างภายในดังรูป 2.32 และ 2.33



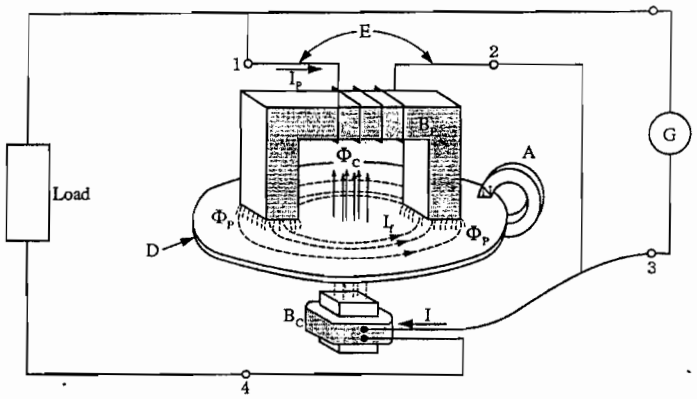
รูปที่ 2.32 ลักษณะภายนอกของเครื่องวัดงานไฟฟ้า



รูปที่ 2.33 โครงสร้างภายในของเครื่องวัดงานไฟฟ้าชนิด 1 เฟส

2.6.1 การทำงานของเครื่องวัดงานไฟฟ้า พิจารณาจากรูปที่ 2.33 เป็นวงจรการต่อเครื่องวัดงานไฟฟ้ากับโหลด โดยต่อขดลวดแรงดันไฟฟ้าขั้วที่ 1- 2 ขนานกับโหลดเพื่อวัดแรงดันคร่อมโหลดเป็นผลให้เส้นแรงแม่เหล็กส่วนแรง (Φ_p) แปรผันโดยตรงกับแรงดันคร่อมโหลด และต่อขดลวดกระแสไฟฟ้าขั้วที่ 3-4 อนุกรมกับโหลด เป็นผลให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กส่วนที่สอง (Φ_C) แปรผันโดยตรงกับกระแสผ่านโหลด และเมื่อ Φ_p และ Φ_C ผ่านจานหมุนจะทำให้เกิดกระแส

ไหลวน (I_f) ไหลอยู่บนจานหมุน ทำให้เกิดทอร์กหมุนจานไปในทิศทางเดียวกับกระแสไหลวน ซึ่งความเร็วของจานหมุนขึ้นอยู่กับผลคูณของแรงดันโหลดและกระแสโหลด อย่างไรก็ตามหากความเร็วของจานหมุนเร็วกว่าปกติสามารถบังคับให้ช้าลงได้โดยใช้แม่เหล็กถาวรที่ใช้เบรก (Breaking Magnet) คือแม่เหล็ก A ในรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.34 วงจรแสดงการทำงานของเครื่องวัดงานไฟฟ้า

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

$$K = \frac{\text{จำนวนรอบการหมุน}}{\text{วัตต์ – ชั่วโมง}} = \frac{N}{Wh} \quad \text{..... (2.14)}$$

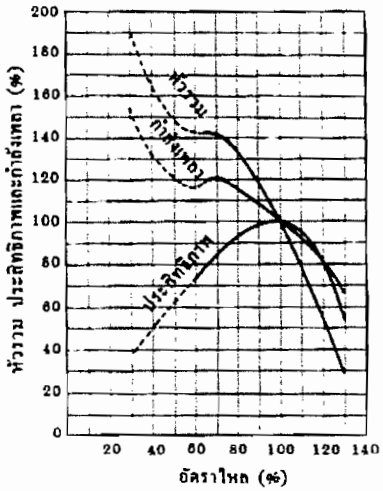
ค่าของงานไฟฟ้า (W) มีหน่วยเป็นยูนิต ซึ่งมีค่าเท่ากับ

1 ยูนิต = 1 kWh

หน่วยยูนิต คือ หน่วยที่ใช้ในการคำนวณค่าการใช้ไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องชำระตามตัวเลขยูนิตการใช้งานไฟฟ้าตามตารางที่การไฟฟ้ากำหนด เครื่องวัดไฟฟ้าจะมีมาตรฐานการทดค่ากระแสไฟฟ้าเกินพิกัดของขดลวดกระแสไฟฟ้า โดยจะมีค่าสูงกว่าพิกัด 25 - 40% โดยไม่เกิดอันตรายใด ๆ ต่อขดลวดกระแสไฟฟ้า เช่น เครื่องวัดงานไฟฟ้าเฟสเดียวพิกัด 5 (15) A หมายความว่าเป็นเครื่องวัดงานไฟฟ้าที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าผ่านได้สูงถึง 15 A โดยไม่เป็นอันตราย แต่เป็นเครื่องวัดที่มีพิกัดเพียง 5 A หรือเครื่องวัดพิกัด 15 (45) A หมายความว่าเป็นเครื่องวัดงานไฟฟ้าพิกัดกระแส 15 A แต่ยอมให้กระแสเกินพิกัดได้ถึง 45 A โดยขดลวดกระแสไม่เกิดอันตราย เป็นต้น

2.7 กราฟแสดงประสิทธิภาพของเครื่องสูบทางทฤษฎี [3]

ในรูปที่ 2.34 แสดงลักษณะการทำงานของเครื่องสูบแบบผสมประเภทไหลตามแนวแกน กำหนดให้ อัตราการไหล เฮดรวม ประสิทธิภาพ และกำลังเพลาเป็น 100 % ที่จุดที่เครื่องสูบแบบผสมทำงานที่ประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ 2.35 กราฟแสดงคุณลักษณะของเครื่องสูบแบบผสมไหลตามแนวแกน