

### 2-5.1 ชนิดและประเภทของปั๊ม

- (1) แยกตามลักษณะการไหลของของเหลวในปั๊ม
- (2) แยกตามลักษณะการขับเคลื่อนของเหลวในปั๊ม
- (3) ตารางเปรียบเทียบปั๊มแต่ละชนิด
- (4) อัตราการสูบและความดันของปั๊มแต่ละชนิด

### 2-5.2 ระบบการทำงานของปั๊มประกอบด้วยอะไรบ้าง?

- (1) การติดตั้งปั๊มในลักษณะต่างๆ
- (2) การต่อร่วมแบบขนาน
- (3) การต่อร่วมแบบอนุกรม
- (4) สมรรถภาพในการดูดของเครื่องสูบ (NPSH)
- (5) คาวิตชัน(Cavitation)
- (6) ผลของความต้านทานในท่อเปลี่ยน
- (7) การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบการหมุนของปั๊ม
- (8) การเปลี่ยนแปลงขนาดใบพัดของปั๊ม

### 2-5.3 การเลือกใช้ปั๊มอย่างไรให้เหมาะสมกับการใช้งาน ?

- (1) การเลือกเครื่องปั๊มน้ำสำหรับบ้านพักอาศัย
- (2) การเลือกเครื่องปั๊มน้ำสำหรับอาคารขนาดใหญ่และโรงงานอุตสาหกรรม

### 2-5.4 วิธีการอนุรักษ์พลังงานของปั๊มทำได้อย่างไรบ้าง ?

- (1) การเลือกปั๊มที่เหมาะสมในการใช้งาน
- (2) การเปลี่ยนใบพัดและการลดขนาดใบพัด
- (3) ควบคุมการเปิดวาล์วด้านดูดและวาล์วด้านจ่าย
- (4) การควบคุมความเร็วรอบของปั๊มการควบคุมความเร็วของปั๊ม
- (5) เลือกเดินปั๊มประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก
- (6) การออกแบบโดยคุณลักษณะที่เหมาะสม
- (7) การออกแบบท่อ และอุปกรณ์อื่นที่สัมพันธ์กันอย่างเหมาะสม
- (8) การลดการ by-pass ในระบบ
- (9) การปรับตั้งแนวการขับ (Aliment)

### 2-5.5 การตรวจ วินิจฉัย และการบำรุงรักษาปั๊มน้ำ เพื่อการอนุรักษ์พลังงานทำอย่างไร?

- (1) การตรวจ วินิจฉัย ระบบปั๊มน้ำ เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน
- (2) การบำรุงรักษาปั๊มน้ำอย่างถูกต้องและเหมาะสม

ปั๊มหรือเครื่องสูบ ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของไหลเพื่อทำให้ของไหลเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งที่อยู่สูงกว่าหรือในระยะทางที่ไกลออกไป โดยพลังงานที่ให้กำลังแก่ปั๊มมาจาก เครื่องยนต์ มอเตอร์ แรงลม แรงคน หรือแหล่งพลังงานอื่นๆ โดยถ้าของไหลที่สูบเป็นน้ำหรือของเหลวจะเรียกว่าปั๊มหรือเครื่องสูบ ถ้าของไหลที่สูบเป็นอากาศจะเรียกว่าเครื่องสูบอากาศหรือเครื่องอัดอากาศ(Compressor) ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะปั๊มของเหลว ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยจัดส่งน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค เกษตร อุตสาหกรรม ตลอดจนการบำบัดน้ำเสีย

กฎความสัมพันธ์ของปั๊ม จะใช้บอกความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ของปั๊ม โดยสมการที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2-5.1) \quad \text{หรือ} \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \times \left(\frac{N_1}{N_2}\right) \quad (2-5.4)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad (2-5.2) \quad \text{หรือ} \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \times \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad (2-5.5)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \quad (2-5.3) \quad \text{หรือ} \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^4 \times \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \quad (2-5.6)$$

Q คืออัตราการไหลของของไหล

H คือเฮด

N คือความเร็วรอบของปั๊ม

P คือกำลังของปั๊ม

D คือเส้นผ่านศูนย์กลาง ใบพัดของปั๊ม

ตารางแสดงกฎความสัมพันธ์ของปั๊ม

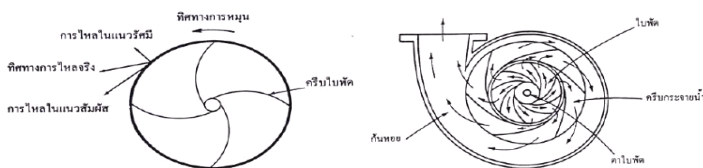
<p>อัตราไหลของไหล (Q) 0 100 % ความเร็วรอบของปั๊ม (N)</p>	<p>เฮด (H) 0 100 % ความเร็วรอบของปั๊ม (N)</p>	<p>กำลังของปั๊ม (P) 0 100 % ความเร็วรอบของปั๊ม (N)</p>
$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$	$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$	$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$

### 2-5.1 ชนิดและประเภทของปั๊ม

#### (1) แยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว หรือการไหลของของเหลวในปั๊ม

##### 1. ปั๊มแรงเหวี่ยง (Centrifugal)

เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลาง บางครั้งเรียกว่าแบบ Roto-dynamic นิยมใช้ในการสูบน้ำ สารละลายอินทรีย์ เป็นต้น มีประสิทธิภาพในการสูบถึง 90% สามารถออกแบบเพื่อการทำงานที่ระดับความดันสูงได้ ชิ้นส่วนที่หมุนอยู่ในเรือนปั๊มจะทำให้เกิดการขับเคลื่อนของไหลเรียกว่าโรเตอร์ หรือใบพัด (Impeller) ตัวแพร่กระจายน้ำ (Diffuser) จะเป็นส่วนที่อยู่กับที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนเฮดความเร็ว (Velocity head) ให้อยู่ในรูปความดันสถิต ของไหลที่ถูกสูบจะไหลผ่านเข้าสู่ช่องทางเข้าซึ่งขนานกับพื้นระนาบและถูกผลักดันออกไปตามแนวรัศมีของใบพัดหรือโรเตอร์ กลไกการส่งผ่านพลังงานจะเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของของไหล ก่อให้เกิดความแตกต่างความดันภายในระบบเกิดการขับเคลื่อนของไหลให้เกิดการไหลในแนวเส้นรอบวงทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) เกิดการไหลจากจุดศูนย์กลางของใบพัดออกไปสู่แนวเส้นรอบวงทุกทิศทางออกไปทางท่อส่ง ดังนั้นของไหลที่ถูกขับเคลื่อนออกมาจะมีทิศทางการไหลที่เกิดจากผลรวมของแรงทั้งสอง ดังรูป



รูปที่ 2-5.1 ทิศทางการไหลและลักษณะทั่วไปของ Centrifugal pump

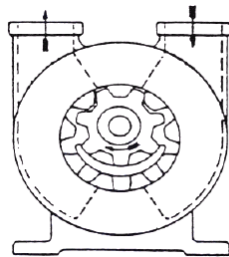
ปั๊มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง สามารถแบ่งได้หลายแบบ ดังนี้

1. แบบ Volute เป็นปั๊มประเภทแรงดันต่ำให้ความดันดันปล่อยน้อยกว่า 30 เมตรของน้ำ
2. แบบ Diffuser เป็นปั๊มแรงดันปานกลาง มีลักษณะเหมือนปั๊มแบบ Volute แต่มีแผ่นกระจายของไหล (Guide vane) ติดอยู่รอบๆเรือนของปั๊มและยังทำหน้าที่ควบคุมทิศทางของไหลของของไหล เพื่อที่จะทำให้เกิดความดันที่สูงขึ้น
3. แบบ Regenerative turbine เป็นปั๊มประเภทแรงดันสูง ภายในมีชุดใบพัดหลายใบติดอยู่บนเพลาดียวกัน ใบพัด 1 ชุดเรียกว่า 1 สเตจ ของไหลที่ถูกสูบเมื่อไหลออกมาจากสเตจที่หนึ่งก็จะถูกส่งไปยังสเตจต่อไป
4. แบบ Axial flow ปั๊มแบบนี้ของไหลจะไหลในแนวแกนเพลาชัก สามารถใช้ได้กับของไหลที่มีสารแขวนลอย นิยมใช้มากในโรงงานที่ต้องการเสดความดันต่ำ แต่มีอัตราการไหลสูง
5. แบบ Mixed flow ปั๊มแบบนี้จะทำให้การไหลทั้งในแนวแกนและแนวรัศมีของใบพัด ทำให้เกิดแรงในแนวรัศมีและแรงในแนวแกนขึ้น ซึ่งจะช่วยในการขับเคลื่อนของไหล นิยมใช้กับงานที่ต้องการเสดความดันต่ำๆ แต่มีอัตราการไหลสูง

## 2. ปั๊มโรตารี (Rotary)

ปั๊มโรตารีเพิ่มพลังงานโดยอาศัยการหมุนของฟันเฟืองรอบแกนกลาง ของเหลวถูกดูดเข้าและอัดปล่อยออก โดยการหมุนรอบจุดศูนย์กลางของเครื่องมือกล ซึ่งมีช่องว่างให้ของเหลวไหลเข้าทางด้านดูดและเก็บอยู่ระหว่างผนังของห้องสูบกับชิ้นส่วนที่หมุนหรือโรเตอร์จนกว่าจะถึงด้านจ่าย การหมุนของโรเตอร์ทำให้เกิดการแทนที่เป็นการเพิ่มปริมาตรของของเหลว (Positive Displacement) ให้ทางด้านจ่าย

1. ปั๊มโรตารีชนิดเฟือง (Gear Pump) เป็นชนิดที่นิยมใช้กันมากที่สุด ประกอบด้วยฟันเฟืองหรือเกียร์สองตัวหมุนขบกันในห้องสูบ ของเหลวทางด้านดูดจะไหลเข้าไปอยู่ในร่องฟันซึ่งจะหมุนและพาของเหลวเข้าไปสู่ทางด้านจ่าย



รูปที่ 2-5.2 ปั๊มโรตารีชนิดเฟือง

2. ชนิดครีป (Vane Pump) ปั๊มแบบนี้มีห้องสูบเป็นรูปทรงกระบอกและมีโรเตอร์ซึ่งเป็นทรงกระบอกเหมือนกัน วางเยื้องศูนย์กลางให้ผิวนอกของโรเตอร์สัมผัสกับผนังของห้องสูบที่กึ่งกลางทางดูดกับทางด้านจ่าย รอบๆโรเตอร์จะมีครีปซึ่งเลื่อนได้ในแนวเข้าออกจากจุดศูนย์กลางมาชนกับผนังของห้องสูบ เมื่อโรเตอร์หมุนครีปเหล่านี้ก็จะกวาดเอาของเหลวซึ่งอยู่ระหว่างโรเตอร์กับห้องสูบไปสู่ทางด้านจ่าย มีข้อดีกว่าชนิดเฟืองคือการสึกหรอของผนังห้องสูบหรือหลายครีปจะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานมาก เพราะครีปสามารถเลื่อนออกมาชนกับผนังของห้องสูบได้สนิท

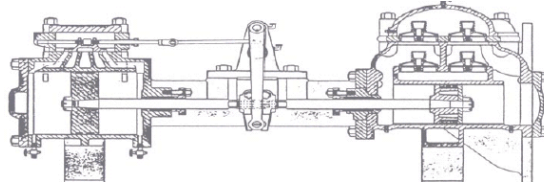
3. ชนิดลอน (Lobe Pump) มีลักษณะเหมือนชนิดเฟือง แต่โรเตอร์มีลักษณะเป็นลอนหรือพู สองถึงสี่ลอน ช่องว่างระหว่างลอนมีลักษณะแบนและกว้าง อัตราการสูบจึงสูงกว่า แต่การถ่ายเทกำลังหมุนของชนิดลอนมีประสิทธิภาพต่ำมาก จึงจำเป็นต้องมีเฟืองนอกห้องสูบอีกชุดหนึ่งเพื่อช่วยให้จังหวะการหมุนของโรเตอร์ อาจมีได้ตั้งแต่หนึ่งถึงสามตัว

4. ปั๊มโรตารีชนิดสว่าน (Screw Pump) ปั๊มชนิดนี้เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยโรเตอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นสว่านที่หมุน ในลักษณะขับเคลื่อนให้ของเหลวเคลื่อนที่ไประหว่างร่องเกลียวสว่านกับผนังของห้องสูบจากทางดูดไปสู่ทางด้านจ่าย จำนวนสว่านหรือโรเตอร์อาจมีได้ตั้งแต่หนึ่งถึงสามตัว

### 3. ปั๊มแบบเลื่อนชักหรือลูกสูบชัก (Reciprocating)

เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการอัดโดยตรงในกระบอกสูบ มีลักษณะการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาโดยมีลูกสูบทำหน้าที่ในการอัดของไหลภายในกระบอกสูบให้มีความดันสูงขึ้น เหมาะสำหรับสูบของไหลในปริมาณที่ไม่มากนักแต่ต้องการเฮดในระบบที่สูง ของเหลวที่สูบจะต้องมีความสะอาด ไม่ทำให้ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ภายในกระบอกสูบเกิดการสึกหรอ การอัดตัวของของไหลแต่ละครั้งจะไม่ต่อเนื่องทำให้การไหลของของไหลมีลักษณะเป็นห้วง ๆ (pulsation)

1. แบบขับเคลื่อนโดยตรง ใช้น้ำมันไฮดรอลิกหรือไอน้ำเป็นตัวเพิ่มพลังงานให้แก่ลูกสูบเคลื่อนที่อัดของไหลให้มีความดันสูงขึ้น มีทั้งแบบลูกสูบเดี่ยว (Simplex) และแบบ Duplex ดังรูป ด้านซ้ายของภาพเป็นส่วนที่ไอน้ำเข้า และด้านขวาเป็นส่วนที่ของไหลออก



รูปที่ 2-5.3 ปั๊มเลื่อนชักแบบขับเคลื่อนโดยตรง

2. แบบกำลัง (Power) พลังงานจากเครื่องยนต์หรือมอเตอร์เป็นเครื่องต้นกำลัง ถ่ายทอดกำลังโดยสายพานหรือเพลาคี่ความเร็วคงที่ ปั๊มแบบนี้จะสูบของไหลได้ในอัตราที่เกือบคงที่ ให้แรงดันขับที่สูง ดังนั้นจะต้องติดตั้งลิ้นระบายความดัน เพื่อช่วยป้องกันระบบท่อส่งและตัวปั๊มไม่ได้รับความเสียหาย เนื่องจากแรงดันที่สูงเกินไป

3. แบบไดอะแฟรม ปั๊มแบบนี้จะมีแผ่นไดอะแฟรมทำด้วยโลหะ ซึ่งมีความหยุ่นตัวและแข็งแรงจะทำหน้าที่ในการดูดและอัดของไหลให้มีความดันสูงขึ้น แผ่นไดอะแฟรมจะถูกยึดติดอยู่กับที่ นิยมใช้กับงานที่อัตราการสูบไม่มากนัก และของไหลมีสารแขวนลอยปะปนมาด้วย

### 4. ปั๊มแบบพิเศษ (Specialized pumps)

เป็นปั๊มที่มีลักษณะพิเศษนอกเหนือไปจากปั๊มแบบต่างๆ ที่กล่าว ปัจจุบันปั๊มแบบพิเศษมีใช้อย่างแพร่หลายดังนี้

1. แบบ Canned มีคุณสมบัติพิเศษกว่าแบบต่างๆ คือสามารถป้องกันการรั่วไหลของของไหลได้อย่างสมบูรณ์ ภายในเรือนปั๊มจะมี Imprinter rotor หมุนขับเคลื่อนของไหล โดยได้รับกำลังงานจากมอเตอร์

2. แบบ Intermediate Temperature ใช้ในการขับเคลื่อนของไหลที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 300°C ชิ้นส่วนภายในปั๊มถูกออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อสามารถทำให้ทนทานต่อความร้อนจากที่ไหลจากของไหลที่จะใช้สูบได้

3. แบบ Turbo จะเป็นการรวมเอากังหันไอน้ำ มาใช้ในการขับเคลื่อนปั๊มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง นิยมใช้กับงานที่ต้องการความดันดันปล่อยสูง มีทั้งแบบหนึ่งสเตจหรือสองสเตจ

4. แบบ Cantilever จะติดตั้งในแนวตั้งใช้กับงานที่ไม่ต้องการให้ชุดแบริ่งหรือชิ้นส่วนภายในสัมผัสกับของไหลที่ใช้ในการสูบ เนื่องจากปั๊มแบบนี้ได้ออกแบบให้ชุดใบพัดยึดติดกับเพลาลูกสูบโดยไม่มีแบริ่งในตัวปั๊ม

5. แบบ Vertical turbine จะใช้กับงานสูบน้ำบาดาลที่มีความลึกมากๆ จึงมีหลายสเตจในเพลาลูกสูบเดียวกัน เพื่อเพิ่มความดันของของไหลให้มีความสูงขึ้นไปแต่ละสเตจ ทำให้สามารถสูบน้ำจากก้นบ่อที่มีความลึกมาสูบน้ำออกได้

#### (2) แยกตามลักษณะการขับเคลื่อนของเหลวในปั๊ม

1. ประเภททำงานโดยไม่อาศัยหลักการแทนที่ของเหลว (Dynamic) ซึ่งปั๊มประเภทอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและแบบพิเศษจัดอยู่ในกลุ่มนี้

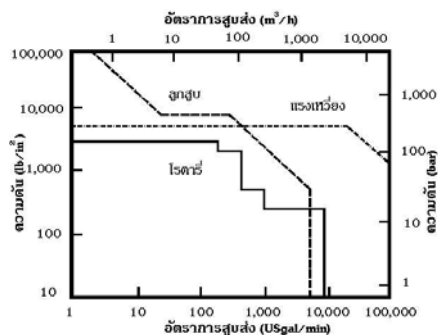
2. ประเภททำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่ของเหลว (Positive Displacement) คือ การเคลื่อนที่โดยชิ้นส่วนของเครื่องสูบ ปั๊มประเภทนี้รวมแบบโรตารีและแบบลูกสูบชักเข้าอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

นอกจากการแบ่งเป็นสองแบบตามที่กล่าวข้างต้นแล้ว ยังอาจแบ่งแยกปั๊มตามวัตถุประสงค์การใช้งานของแต่ละชนิดด้วย เช่น ปั๊มดับเพลิง ปั๊มลม ปั๊มสุญญากาศ ปั๊มน้ำบาดาล เป็นต้น

### (3) เปรียบเทียบปั๊มแต่ละชนิด

ชนิดปั๊ม	ข้อดี	ข้อเสีย
ปั๊มแรงเหวี่ยง	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. การไหลของของไหลเป็นแบบต่อเนื่องและราบเรียบ</li> <li>2. ทำงานได้ที่อัตราการความเร็วรอบสูง</li> <li>3. ขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา</li> <li>4. ราคาและค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงต่ำ</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ใช้งานกับของเหลวที่มีของแข็งเจือปนไม่ได้</li> <li>2. ประสิทธิภาพต่ำหากการทำงานจริงต่างไปจากการทำงานที่กำหนดมากๆ</li> <li>3. ต้องมีระบบไล่ลมออกจากเครื่องสูบลมตอนเริ่มทำงาน</li> </ol>
ปั๊มโรตารี	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. สูบจ่ายในลักษณะต่อเนื่องในภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงหัวน้ำ</li> <li>2. การทำงานมีประสิทธิภาพ</li> <li>3. มีการทำงานในลักษณะของ Positive Action</li> <li>4. ใช้ได้ดีในของเหลวที่มีความหนืดสูง</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. เกิดการเสียหายได้ง่ายหากของไหลมีสิ่งสกปรกเจือปน</li> <li>2. การสึกหรอของเฟืองทำให้ประสิทธิภาพลดลง</li> <li>3. ที่ความเร็วต่ำประสิทธิภาพจะต่ำ</li> </ol>
ปั๊มลูกสูบชัก	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ใช้ได้ในงานที่มีอัตราการไหลต่ำหัวน้ำสูงๆ</li> <li>2. ใช้ได้ในกรณีที่มีของไหลมีสิ่งสกปรกเจือปน</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ราคาสูงและค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาสูง</li> <li>2. การไหลของของไหลไม่ราบเรียบ</li> <li>3. มีการสั่นสะเทือนและเสียงจากการทำงานสูง</li> </ol>
ปั๊มพิเศษ	<p>ใช้สำหรับงานที่มีการออกแบบเฉพาะ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- แบบ Canned มีคุณสมบัติ คือ สามารถป้องกันการรั่วไหลของของไหลได้อย่างสมบูรณ์</li> <li>- แบบ Intermediate temperature ใช้ในการขับเคลื่อนของไหลที่มีอุณหภูมิสูง 300 °C</li> <li>- แบบ Turbo ใช้กับงานที่ต้องการความดันด้านปล่อยสูง</li> <li>- แบบ Cantilever จะติดตั้งในแนวตั้งใช้กับงานที่ไม่ต้องการให้ชุดแบริ่งหรือชิ้นส่วนภายในสัมผัสกับของไหลที่ใช้ในการสูบ</li> <li>- แบบ Vertical turbine ใช้กับงานสูบน้ำบาดาลที่มีความลึกมากๆ</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ไม่เหมาะนำไปใช้งานอื่น</li> </ol>

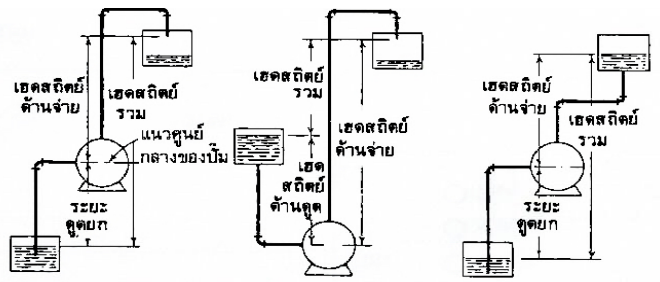
### (4) อัตราการสูบและความดันของปั๊มแต่ละชนิด



รูปที่ 2-5.4 อัตราการสูบและความดันของปั๊มแต่ละชนิด

## 2-5.2 ระบบการทำงานของปั๊มประกอบด้วยอะไรบ้าง?

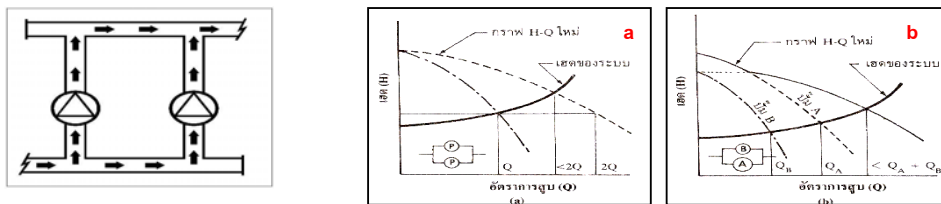
### (1) การติดตั้งปั๊มในลักษณะต่าง ๆ



รูปที่ 2-5.5 การติดตั้งปั๊มในลักษณะต่าง ๆ

### (2) การต่อร่วมแบบขนาน

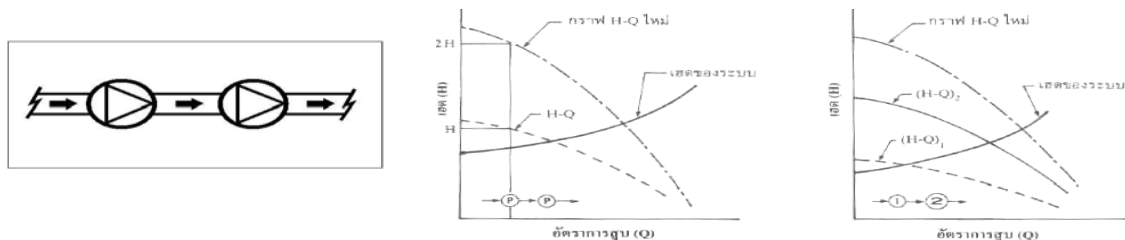
ในกรณีที่ต้องการอัตราการไหลโดยไม่ต้องเพิ่มเสดดำเนินการได้โดยการเพิ่มจำนวนปั๊มเข้าในระบบเดิมโดยการต่อต่อร่วมแบบขนานดังรูป รูป (a) ปั๊มทั้งสองทำงานร่วมกันแบบขนานเป็นปั๊มขนาดเดียวกันและมีลักษณะเหมือนกัน จึงได้กราฟ H-Q เส้นเดียวกัน อัตราการสูบของระบบจะเพิ่มเป็นสองเท่าในขณะที่เฮดเท่าเดิม ในความเป็นจริงจะไม่ใช่เช่นนั้น เมื่ออัตราการไหลเพิ่มขึ้นการสูญเสียจากการไหลก็จะเพิ่มขึ้น รูป (b) ปั๊มทั้งสองมีคุณสมบัติต่างกัน ปั๊มที่มีอัตราการสูบเป็นศูนย์จะไม่สามารถให้การไหลได้จนกว่าเฮดปั๊มของตัวใหญ่จะลดลงต่ำกว่าเฮดของปั๊มตัวเล็ก



รูปที่ 2-5.6 การต่อปั๊มทำงานร่วมกันแบบขนาน

### (3) การต่อร่วมแบบอนุกรม

ในกรณีที่ต้องการเพิ่มเฮดโดยไม่ต้องเพิ่มอัตราการไหล ทำได้โดยการเพิ่มจำนวนปั๊มและต่อต่อร่วมแบบอนุกรมดังรูป 2-5.7 ซึ่งทำได้โดยต่อปั๊มตัวแรกเข้ากับทางดูดของปั๊มตัวที่สอง จะเห็นว่าอัตราการไหลผ่านปั๊มแต่ละตัวจะมีค่าเท่ากัน แต่เฮดจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าที่อัตราค่าอัตราการไหลที่ค่าเดียวกันในกรณีที่ปั๊มทั้งสองตัวมีคุณสมบัติเดียวกัน ในทางปฏิบัติเฮดที่ได้จะไม่เป็นสองเท่าของปั๊มโดยเฮดที่ได้จริงจะขึ้นอยู่กับเฮดของระบบดังรูป



รูปที่ 2-5.7 การต่อปั๊มทำงานร่วมกันแบบอนุกรม

#### (4) สมรรถภาพในการดูดของเครื่องสูบลม (NPSH)

การเกิดฟองอากาศและการกลายเป็นไอ เกิดขึ้นเมื่อความดันสถิตยของของเหลวมีค่าต่ำกว่าความดันไอของของเหลว นั้น สาเหตุคือ เมื่อของเหลวเร่งตัวขึ้นในวาล์วควบคุมหรือรอบๆใบพัด การกลายเป็นไอจะไม่ทำให้เกิดความเสียหายใดๆ แต่เมื่ออัตราเร็วลดลงและมีแรงดันเพิ่มขึ้นไอระเหยจะระเหยและยุบตัว ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบ คือ 1) เกิดการกัดกร่อนที่พื้นผิวของใบกังหัน โดยเฉพาะเมื่อสูบลมของเหลวที่เป็นน้ำ 2) เกิดเสียงดังและการสั่นสะเทือนมากขึ้น ทำให้ซีลและลูกปืนมีอายุการใช้งานสั้นลง 3) เกิดการติดขัดในการดูดซึ่งจะลดสมรรถภาพและเกิดการสูญเสียของเฮดรวม

ค่าเฮดบวกสุทธิในการดูด(NPSH<sub>A</sub>) จะเป็นตัวบ่งบอกว่าการดูดของเครื่องสูบลม ว่ามากเกินไปกว่าความดันไอของของเหลวอยู่เท่าไร และเป็นคุณลักษณะเฉพาะของการออกแบบระบบ ค่า NPSH ที่ต้องการ (NPSH<sub>R</sub>) จะเป็นค่าการดูดของเครื่องสูบลมที่ต้องการใช้เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดฟองอากาศ และเป็นคุณลักษณะเฉพาะของการออกแบบเครื่องสูบลม

#### (5) คาวิเตชัน(Cavitation)

เป็นการกัดกร่อนเนื้อโลหะของใบพัดหรือห้องสูบลม มีสาเหตุจากการที่ NPSH ที่มีอยู่จริงมีค่าต่ำกว่า NPSH ที่ต้องการ การป้องกันการเกิดคาวิเตชันสำหรับปั๊มแบบเซนตริฟูกอลทำได้โดย 1) ให้ปั๊มทำงานที่เฮดใกล้เคียงกับเฮดที่ประสิทธิภาพสูงสุด 2) ไม่เดินใช้งานปั๊มที่อัตราการสูบลมสูงกว่าอัตราการสูบลมที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด 3) ไม่เดินปั๊มที่ระยะการดูดมากกว่าระยะการดูดของปั๊ม 4) ไม่ควรใช้ปั๊มกับของไหลที่มีอุณหภูมิสูงกว่าความสามารถปั๊มที่ออกแบบไว้ 5) การเปลี่ยนใช้ใบพัดที่มีความเร็วของใบพัดสูงกว่าที่ผู้ผลิตกำหนดไว้

#### (6) ผลของความต้านทานในท่อเปลี่ยน

เมื่อมีการใช้งานระยะหนึ่งระบบท่อจะเกิดความต้านทานเพิ่มขึ้นจากสนิมภายในท่อ ตะกรัน หรือมีการต่อท่อและอุปกรณ์ในระบบเพิ่มเติม ส่งผลให้ Head ในระบบสูงขึ้นและทำให้อัตราการไหลลดลงและมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้อัตราการไหลและ Head ตามที่ต้องการ เช่นการเพิ่มจำนวนของปั๊มเข้าในระบบ การเปลี่ยนขนาดของปั๊มใหม่

#### (7) การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบการหมุนของปั๊ม

กำลังงานที่เพลลาของปั๊มจะลดลงจากการเปลี่ยนจำนวนรอบที่หมุนไป ตามความต้องการปริมาตรของน้ำและความดัน ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบที่หมุนกับการจ่าย เฮดของปั๊มและกำลังงานที่เพลลา จะเป็นดังนี้

$$\frac{P_1}{P_2} = \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^3 \quad P \text{ คือ กำลังของปั๊ม (kW) } \quad N \text{ คือ ความเร็วรอบของปั๊ม (rpm)}$$

#### (8) การเปลี่ยนแปลงขนาดใบพัดของปั๊ม

ถ้าอัตราการไหลของน้ำที่จ่ายและเฮดรวมของปั๊มในขณะทำงานมากกว่าค่าที่ประเมินจากการออกแบบมากเกินไปหรือความต้องการอัตราการไหลของน้ำและความดันเปลี่ยนแปลงไปกำลังที่เพลลาจะสูญเสียไปในกรณีการลดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของใบพัดของปั๊มและการปรับแต่งปั๊มให้สอดคล้องกับปริมาณน้ำและความดันที่ต้องการ จะทำให้ลดกำลังไฟฟ้า โดยทั่วไปเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของใบพัดลดลงการทำงานของปั๊มจะสอดคล้องกับสมการต่อไปนี้

$$\frac{P_1}{P_2} = \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^4 \times \left( \frac{N_1}{N_2} \right)^3$$

P คือ กำลังของปั๊ม (kW)  
N คือ ความเร็วรอบของปั๊ม (rpm)  
D คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)

## 2-5.3 การเลือกใช้ปั๊มอย่างไรให้เหมาะสมกับการใช้งาน ?

### (1) การเลือกเครื่องปั๊มน้ำสำหรับบ้านพักอาศัย

ส่วนใหญ่จะเป็นชนิดสำเร็จรูป ประกอบด้วยตัวปั๊มและถังความดัน เช่น แบบอัตโนมัติตัวปั๊มจะควบคุมการทำงานด้วยสวิทช์ความดัน (Pressure Switch) ซึ่งจะทำงานอัตโนมัติเมื่อมีการเปิดใช้น้ำในบ้าน

### (2) การเลือกเครื่องปั๊มน้ำสำหรับอาคารขนาดใหญ่และโรงงาน

ในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการเลือกและนำไปใช้งานเฉพาะปั๊มแบบแรงเหวี่ยงเท่านั้น เนื่องจากปั๊มแบบนี้ได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน การเลือกปั๊มประเภทนี้ควรทราบข้อมูล ดังต่อไปนี้

- ชนิดของของเหลว ที่ต้องการสูบ อุณหภูมิ ความหนืด ความหนาแน่น
- อัตราการสูบ หรือ Flow rate ที่ต้องการ
- ความดัน หรือความสูงที่ต้องยกน้ำนั้น ๆ ขึ้นไป หรือที่เรียกกันว่า HEAD
- ค่า NPSH หรือสภาวะทางด้านดูดของเครื่องปั๊มน้ำนั่นเอง
- ลักษณะของระบบท่อ
- การเปลี่ยนแปลงของสภาพของการทำงานและข้อจำกัดของพื้นที่และการจัดวาง
- ค่าใช้จ่ายในการซื้อ ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและอายุการใช้งาน
- ข้อมูลจากผู้แทนจำหน่ายเครื่องปั๊มน้ำ ได้แก่ Pump curve

เฮดที่สูญเสียเนื่องจากการไหลในระบบท่อแบ่งเป็น การสูญเสียหลักในท่อตรงและสูญเสียรองในอุปกรณ์วาล์วและข้อต่อ เฮดรวมของเครื่องปั๊มน้ำ เพื่อส่งน้ำจากตำแหน่งหนึ่งไปสู่อีกตำแหน่งหนึ่ง หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$h_p = Z_d + Z_s + h_f$$

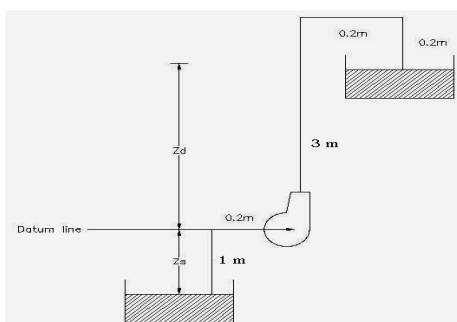
$h_p$  = เฮดรวมของเครื่องปั๊มน้ำ

$Z_d$  = ระดับความสูงจากระดับอ้างอิงทางด้านจ่ายของปั๊ม

$Z_s$  = ระดับความสูงจากระดับอ้างอิงทางด้านดูดของปั๊ม

$h_f$  = เฮดที่สูญเสียเนื่องจากการไหลในระบบท่อ

ตัวอย่างวิธีการคำนวณหาเฮดรวมในระบบเครื่องสูบน้ำ มีอุปกรณ์ต่างๆ ประกอบด้วยท่อน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว, ข้อต่อ 90 องศา 3 ตัว, Gate valve 2 ตัว, Swing check valve 1 ตัว, อัตราการไหล 10 Usgpm มีการเดินระบบท่อและการติดตั้งปั๊มดังรูป



จากตารางที่ 2

การสูญเสียหลักในท่อตรงขนาด 1 นิ้ว = 6.8 เมตรต่อความยาวท่อ 100 เมตร

ความยาวของท่อในระบบทั้งหมด = 1 + 0.2 + 3 + 0.2 + 0.2 = 4.6 m.

จากสมการ  $h_p = Z_d + Z_s + h_f$

$$Z_d = 3 \text{ m.}$$

$$Z_s = 1 \text{ m.}$$

$h_f$  = เฮดที่สูญเสียเนื่องจากการไหลในระบบท่อ

$$\text{ดังนั้นเฮดสูญเสียในท่อ} = \left( \frac{6.8}{100} \right) \times 4.6 = 0.312 \text{ m.}$$











จากตารางที่ 1 การสูญเสียรองในอุปกรณ์วาล์วเทียบเท่าความยาวท่อ

ข้อต่อข้องอ 90 องศา 3 ตัว	=	1.58 X 3 =	4.74 m.
Gate valve 2 ตัว	=	0.26 X 2 =	0.52 m.
Swing check valve 1 ตัว	=	3.35	m.
การสูญเสียอุปกรณ์วาล์วและข้องอรวม	=	8.61	m.
ดังนั้นเฮดสูญเสียรอง	=	$\left( \frac{6.8}{100} \right) \times 8.61$	= 0.58 m.

ดังนั้นเฮดที่สูญเสียเนื่องจากการไหลในระบบท่อ ( $h_f$ ) = 0.312 + 0.58 = 0.892 m.

ดังนั้นเฮดรวมที่เครื่องปั๊มน้ำต้องการ ( $h_p$ ) = 4 + 1 + 0.892 = 5.892 m.

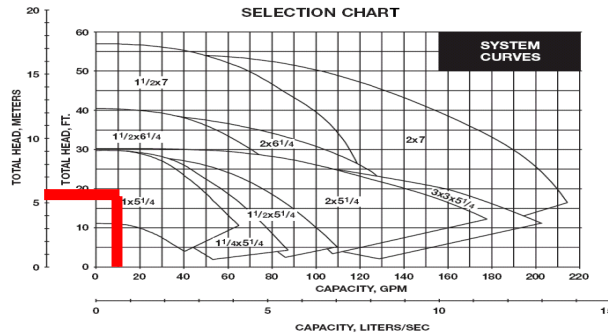
ตารางที่ 1 การสูญเสียเฮดในอุปกรณ์ของระบบท่อเทียบเป็นความยาวของท่อตรง หน่วยเป็นเมตร (m.)

ชนิด	ขนาด(นิ้ว)	1	2	3	4	5	6	8	10	12
Regula 90° 	แบบเกลียว	1.58	2.59	3.35	3.96					
	แบบหน้าแปลน	0.49	0.94	1.34	1.8	2.22	2.71	3.66	4.27	5.18
Long Radius 90° 	แบบเกลียว	0.82	1.1	1.22	1.4					
	แบบหน้าแปลน	0.49	0.82	1.04	1.28	1.52	1.74	2.13	2.44	2.74
Regula 45° 	แบบเกลียว	0.4	0.82	1.22	1.68					
	แบบหน้าแปลน	0.25	0.52	0.79	0.88	1.37	1.71	2.35	2.74	3.35
Tee Line Flow 	แบบเกลียว	0.98	2.35	3.66	5.18					
	แบบหน้าแปลน	0.3	0.55	0.67	0.85	1.01	1.16	1.43	1.58	1.83
Tee branch Flow 	แบบเกลียว	2.01	3.66	5.18	6.4					
	แบบหน้าแปลน	1.01	2.01	2.86	3.66	4.57	5.49	7.31	9.14	10.36
Globe Valve 	แบบเกลียว	8.84	16.46	24.08	33.53					
	แบบหน้าแปลน	13.72	21.33	28.65	36.57	45.72	57.91	79.24	94.48	118.87
Gate Valve 	แบบเกลียว	0.26	0.46	0.58	0.76					
	แบบหน้าแปลน	0	0.79	0.85	0.88	0.94	0.98	0.98	0.98	0.98
Angle Valve 	แบบเกลียว	5.18	5.49	5.49	5.49					
	แบบหน้าแปลน	5.18	6.4	8.53	11.58	15.24	19.2	27.43	36.57	42.67
Swing Check Valve 	แบบเกลียว	3.35	5.79	8.23	11.58					
	แบบหน้าแปลน	2.19	5.18	8.23	11.58	15.24	19.2	27.43	36.57	42.67
Coupling or Union 	แบบเกลียว	0.09	0.14	0.16	0.2					

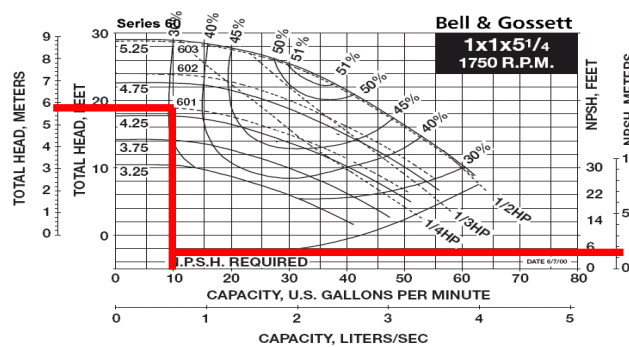
ตาราง 2 การสูญเสียเฮดในการไหลของน้ำผ่านท่อเหล็ก(หน่วยเมตรต่อความยาวท่อ 100 เมตร )

ท่อขนาด 1 "		ท่อขนาด 2 "		ท่อขนาด 3 "		ท่อขนาด 4 "		ท่อขนาด 5 "		ท่อขนาด 6 "		ท่อขนาด 8 "		ท่อขนาด 10 "		ท่อขนาด 12 "	
Usgpm	$h_f$	Usgpm	$h_f$	Usgpm	$h_f$	Usgpm	$h_f$	Usgpm	$h_f$	Usgpm	$h_f$	Usgpm	$h_f$	Usgpm	$h_f$	Usgpm	$h_f$
6	2.68	24	1.2	50	0.66	90	0.52	140	0.38	200	0.3	400	0.279	600	0.19	800	0.14
8	4.54	25	1.29	60	0.92	100	0.62	160	0.487	220	0.357	450	0.348	650	0.224	850	0.154
10	6.86	30	1.82	70	1.22	120	0.88	180	0.606	240	0.419	500	0.424	700	0.256	900	0.173
12	9.62	35	2.42	80	1.57	140	1.17	200	0.736	260	0.487	600	0.597	750	0.291	950	0.191
14	12.8	40	3.1	90	1.96	160	1.49	220	0.879	280	0.56	650	0.694	800	0.328	1000	0.21
16	16.5	45	3.85	100	2.39	180	1.86	240	1.035	300	0.637	700	0.797	850	0.366	1100	0.251
18	20.6	50	4.67	120	3.37	200	2.27	260	1.2	350	0.851	750	0.911	900	0.41	1200	0.296
20	25.1	55	5.51	140	4.51	220	2.72	280	1.38	400	1.09	800	1.02	950	0.455	1300	0.344
22	30.2	60	6.59	160	5.81	240	3.21	300	1.58	450	1.36	850	1.13	1000	0.5	1400	0.395
		65	7.7	180	7.28	260	3.74	350	2.11	500	1.66	900	1.27	1100	0.6	1500	0.45
		70	8.86			280	4.3	400	2.72	600	2.34	950	1.42	1200	0.703	1600	0.509
		75	10.15			300	4.89	450	3.41	650	2.72	1000	1.56	1300	0.818	1700	0.572
		80	11.4			350	6.55	500	4.16	700	3.13	1100	1.87	1400	0.94	1800	0.636
								550	4.94	750	3.59	1200	2.2	1500	1.07	1900	0.704
												1300	2.56	1600	1.21	2000	0.776
														1700	1.36	2100	0.853
														1800	1.52	2200	0.936
														1900	1.68	2500	1.187
														2000	1.86		

การเลือกขนาดปั๊ม เมื่อทราบข้อมูลเบื้องต้นซึ่งประกอบด้วย 1) ชนิดของของเหลวที่ต้องการสูบ คือ น้ำ 2) อัตราการสูบ หรืออัตราการไหลที่ต้องการ 10 แกลลอนต่อนาที 3) ความดัน หรือเฮดรวมที่เครื่องปั๊มน้ำต้องการ  $h_p = 5.892$  เมตร 3) ความเร็วรอบของเครื่องปั๊มน้ำที่เป็นไปได้ (ได้จากคุณสมบัติของปั๊มจากผู้จำหน่าย) 4) ค่า NPSH หรือสภาวะทางด้านดูดของเครื่องปั๊มน้ำ (ได้จากคุณสมบัติของปั๊มจากผู้จำหน่าย) 5) ข้อมูลจากผู้จำหน่าย เครื่องปั๊มน้ำ ได้แก่ Pump curve (ได้จากคุณสมบัติของปั๊มจากผู้จำหน่าย) สามารถเลือกขนาดของเครื่องสูบโดยเลือกจากกราฟ System curves



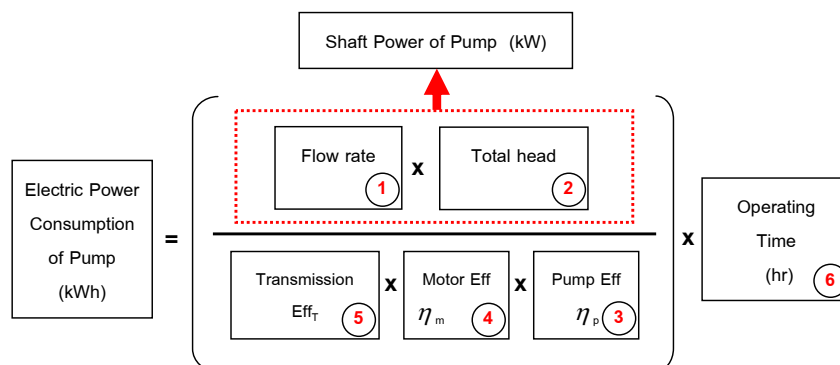
จาก System curves จะได้เครื่องสูบ 1X1X5<sup>1/4</sup> ดังนั้นจึงนำรุ่นของเครื่องสูบลูกค้ามาอ่านค่าในกราฟ Pump performance curves



จาก Pump performance curves จะได้เครื่องสูบ 602 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทางดูดและทางจ่าย 1 นิ้ว อัตราการหมุนของเพลาเครื่องสูบ 1,750 รอบต่อนาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด 4.75 นิ้ว ขนาดของมอเตอร์ 1/3 HP เฮด 6.8 เมตร ค่าการดูดของเครื่องสูบ NSPH ประมาณ 1.5 เมตร ประสิทธิภาพของเครื่องสูบ 30%

### 2-5.4 วิธีการอนุรักษ์พลังงานของปั๊มทำได้อย่างไรบ้าง ?

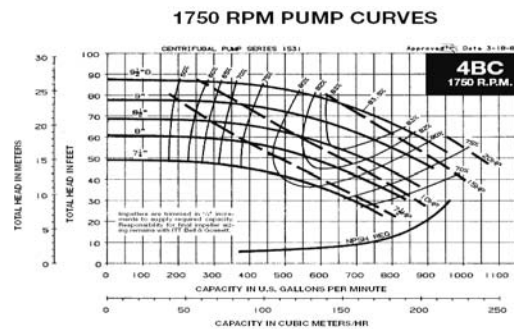
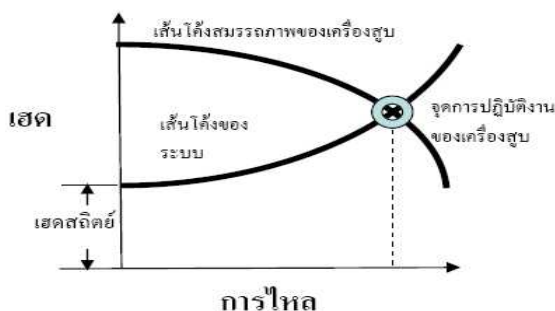
การใช้พลังงานของปั๊มนั้นขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและแรงดันที่ปั๊มต้องสร้าง ซึ่งถ้าสูงจะต้องใช้พลังงานจำนวนมาก ถ้ามีค่าต่ำจะต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานและมาตรการปรับปรุงได้ดังสมการและตัวแปรและตารางข้างล่าง



หมายเลข	แนวทางในการประหยัดพลังงาน	มาตรการที่ดำเนินการ
1	ลดอัตราการไหลให้มีค่าเทียบเท่าอัตราการไหลที่ต้องการ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• การเลือกปั๊มที่เหมาะสมในการใช้งาน</li> <li>• การเปลี่ยนใบพัดและการลดขนาดใบพัด</li> <li>• ควบคุมการเปิดวาล์วด้านดูดและวาล์วด้านจ่าย</li> <li>• การควบคุมความเร็วรอบของปั๊ม</li> <li>• การลดการ by-pass ในระบบ</li> <li>• การป้องกันไม่ให้อัตราการไหลมากเกินไปจนเกิดความจำเป็น</li> <li>• การลดการสูญเสียของน้ำ</li> </ul>
2	ลดความดันที่ปั๊มต้องสร้างให้ต่ำสุด	<ul style="list-style-type: none"> <li>• การออกแบบโดยคุณลักษณะที่เหมาะสม</li> <li>• การออกแบบท่อและอุปกรณ์ที่สัมพันธ์กันอย่างเหมาะสม</li> <li>• การลดการ by-pass ในระบบ</li> <li>• การลดความดันใช้งาน</li> <li>• การลดความดันสูญเสียต่าง ๆ ในระบบท่อ หรือวาล์ว</li> </ul>
1,2	ลดอัตราการไหลและความดันทั้งคู่	<ul style="list-style-type: none"> <li>• การเปลี่ยนใบพัดและการลดขนาดใบพัด</li> <li>• ควบคุมการเปิดวาล์วด้านดูดและวาล์วด้านจ่าย</li> <li>• การควบคุมความเร็วรอบของปั๊ม</li> <li>• การลดการ by-pass ในระบบ</li> <li>• การเปลี่ยนไปใช้ปั๊มนขนาดเล็ก หรือที่มีความดันสูญเสียต่ำ</li> </ul>
3	ปรับปรุงประสิทธิภาพปั๊ม	<ul style="list-style-type: none"> <li>• เปลี่ยนเป็นปั๊มที่มีประสิทธิภาพสูง</li> </ul>
4	ปรับปรุงประสิทธิภาพมอเตอร์	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง</li> </ul>
5	ปรับปรุงประสิทธิภาพการส่งกำลัง	<ul style="list-style-type: none"> <li>• การปรับตั้งแนวการขับ(Aliment)</li> </ul>
6	ชั่วโมงการทำงานลดให้มีค่าต่ำลง	<ul style="list-style-type: none"> <li>• เลือกเดินปั๊มประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก</li> </ul>

### (1) การเลือกปั๊มที่เหมาะสมในการใช้งาน

จุดการปฏิบัติงานของเครื่องสูบลจะเป็นจุดที่เส้นโค้งของเครื่องสูบลและเส้นความต้านทานของระบบมาตัดกัน อย่างไรก็ตามเป็นไปได้ที่จะให้จุดปฏิบัติงานหนึ่งจุดตอบสนองกับความต้องการในการทำงานต่าง ๆ ได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเลือกขนาดของปั๊มให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง เนื่องจากเมื่อนำปั๊มที่มีขนาดเล็กหรือใหญ่เกินไปมาใช้งานจะทำให้ประสิทธิภาพลดลงและเกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน



รูปที่2-5.8 การใช้ pump curves ประกอบการเลือกใช้ปั๊ม

## (2) การเปลี่ยนใบพัดและการลดขนาดใบพัด

การเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดเป็นวิธีที่ควบคุมอัตราการไหลในบ่มีได้อย่างมีประสิทธิภาพด้านพลังงาน อย่างไรก็ตาม ควรพิจารณาถึงสิ่งต่อไปนี้

- ไม่ควรตัดแต่งใบพัดเกินกว่า 25% ของขนาดใบพัดเดิม มิฉะนั้น จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนเนื่องจากการเกิดฟองอากาศ ซึ่งจะเป็นการลดประสิทธิภาพของเครื่องสูบ
- ควรรักษาระดับความสมดุลของบ่มีไว้ให้ได้ นั่นคือควรจะต้องตัดแต่งใบพัดให้เท่าๆ กันทุกด้าน
- การเปลี่ยนใบพัดเป็นวิธีที่ดีกว่าการตัดแต่งใบพัดแต่มีราคาแพง จึงควรพิจารณาว่าการลดขนาดโดยวิธีการใดจึงจะให้ประโยชน์ในการใช้งานสูงสุด

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \times \left(\frac{N_1}{N_2}\right)$$

Q คือ อัตราการไหล (USgpm)      N คือ ความเร็วรอบของบ่มี (rpm)  
P คือ กำลังของบ่มี (kW)      D คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)

ตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

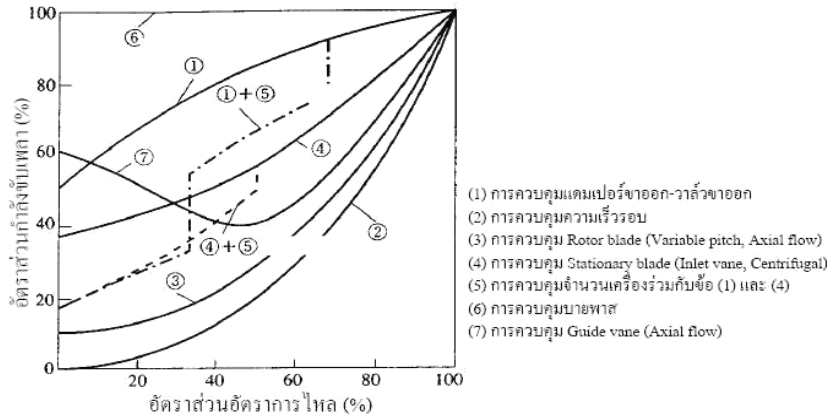
โรงงาน ECON ติดตั้งบ่มีจ่ายน้ำ 1 ตัว ขนาด 15 HP (11 กิโลวัตต์) เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด 9.5 นิ้ว ความเร็วรอบของบ่มี 1,750 รอบต่อนาที อัตราการไหล 400 แกลลอนต่อนาที เสด 25 เมตร มีการใช้งาน 24 ชั่วโมง ต่อวัน 350 วันต่อปี อัตราค่าไฟฟ้า 2.75 บาทต่อหน่วย ถ้าต้องการลดอัตราการไหลเหลือ 300 แกลลอนต่อนาที โดยวิธีการลดขนาดใบพัดทำได้อย่างไร [การวิเคราะห์ข้อมูล 1) รวบรวมข้อมูลลงในช่องข้อมูลของหัวข้อ 1 2) ทำการคำนวณตามหัวข้อ 2]

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
<b>1. ข้อมูลเบื้องต้น</b>				
1.1 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	EC	B/kWh	2.75	จากใบแจ้งหนี้ค่าไฟ
1.2 ชั่วโมงการใช้งานต่อปี	hr	hr/y	8,400.00	จากการใช้งานจริง
1.3 อัตราการไหลของของไหลก่อน	Q1	USgpm	400.00	จากการตรวจวัด
1.4 อัตราการไหลของของไหลหลัง	Q2	USgpm	350.00	ความต้องการใช้จริง
1.5 เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดก่อน	D1	in.	9.50	ข้อมูลของบ่มี
1.6 ความเร็วรอบของบ่มีก่อน	N1	rpm	1,750.00	ข้อมูลของบ่มี
1.7 ความเร็วรอบของบ่มีหลัง	N2	rpm	1,750.00	ข้อมูลของบ่มี
1.8 เสดของบ่มีก่อน	H1	m	25.00	ข้อมูลของบ่มี
1.9 พลังไฟฟ้าของบ่มีก่อน	P1	kW	11.00	จากการตรวจวัด
<b>2. การวิเคราะห์ข้อมูล</b>				
2.1 เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดหลัง $D_2 = \sqrt{D_1^2 \times \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)}$	D2	in.	8.89	
2.2 เสดของบ่มีหลังลดขนาดใบพัด $H_2 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \times H_1$	H2	m	21.89	
2.3 พลังไฟฟ้าหลังลดขนาดใบพัด $P_2 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4 \times P_1$	P2	kW	8.44	
2.4 พลังงานไฟฟ้าลดลงต่อปี $ES = (P_1 - P_2) \times \text{hr}$	ES	kWh/y	21,504.00	
2.5 ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง $SC = (ES \times EC)$	SC	B/y	59,136.00	

หมายเหตุ : ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณในเบื้องต้นอาจคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงตั้งนั้นในทางปฏิบัติควรนำค่าพลังไฟฟ้าจากการตรวจวัดก่อนและหลังการดำเนินการมาคำนวณเพื่อหาผลประหยัดจริง

### (3) ควบคุมการเปิดวาล์วด้านดูดและวาล์วด้านจ่าย

วิธีหนึ่งที่จะลดปริมาณการไหลของของเหลวในระบบโดยเมื่อมีการควบคุมการเปิดวาล์ว ทำอัตราการไหลและความเร็วของของไหลในระบบลดลง ส่งผลให้เฮดลดลงและให้กำลังของปั๊มลดลงด้วย แต่การควบคุมวิธีนี้ควรพิจารณา Curves Pump ด้วยเพื่อป้องกันการเกิด Cavitation



รูปที่ 2-5.9 การใช้ pump curves ประกอบการเลือกใช้ปั๊ม

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$H_2 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \times H_1 \quad Q \text{ คือ อัตราการไหล (Usgpm)} \quad H \text{ คือ เฮดของปั๊ม (m.)}$$

ตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ติดตั้งปั๊มส่งจ่ายน้ำ 1 ตัว ขนาด 15 HP (11 กิโลวัตต์) อัตราการไหล 400 แกลลอนต่อนาที เฮด 25 เมตร มีการใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน 350 วันต่อปี อัตราค่าไฟฟ้า 2.75 บาทต่อหน่วย ถ้าต้องการลดอัตราการไหลเหลือ 300 แกลลอนต่อนาที โดยควบคุมการเปิดวาล์ว ดูดและวาล์วจ่าย สามารถคำนวณหาเฮด และพลังงานไฟฟ้าของปั๊มที่ลดลงได้จากสมการกฎความสัมพันธ์ของปั๊ม [การวิเคราะห์ข้อมูล 1) กรอกข้อมูลลงในช่องข้อมูล ของหัวข้อ 1 ให้ครบถ้วน 2) ทำการคำนวณตามหัวข้อ 2]

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
<b>1. ข้อมูลเบื้องต้น</b>				
1.1 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	EC	B/kWh	2.75	จากใบแจ้งหนี้ค่าไฟ
1.2 ชั่วโมงการใช้งานต่อปี	hr	hr/y	8,400.00	จากการใช้งานจริง
1.3 อัตราการไหลของของไหลก่อน	Q1	USgpm	400.00	จากการตรวจวัด
1.4 อัตราการไหลของของไหลหลัง	Q2	USgpm	350.00	ความต้องการใช้จริง
1.5 เฮดของปั๊มก่อน	H1	m	25.00	ข้อมูลของปั๊ม
1.6 พลังไฟฟ้าของปั๊มก่อนปรับวาล์ว	P1	kW	11.00	จากการตรวจวัด
1.7 พลังไฟฟ้าของปั๊มหลังปรับวาล์ว	P2	kW	10.50	จากการตรวจวัด
<b>2. การวิเคราะห์ข้อมูล</b>				
2.1 เฮดของปั๊มหลังปรับวาล์ว $H_2 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \times H_1$	H2	m	19.14	
2.2 พลังงานไฟฟ้าลดลงต่อปี $ES = (P1-P2) \times \text{hr}$	ES	kWh/y	4,200.00	
2.3 ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง $SC = (ES \times EC)$	SC	B/y	11,550.00	

#### (4) การควบคุมความเร็วรอบของปั๊มการควบคุมความเร็วของปั๊ม

เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการควบคุมการไหลเพราะเมื่อความเร็วของเครื่องสูบลดลงจะใช้พลังงานน้อยลงด้วย วิธีที่ใช้มากที่สุดในการลดความเร็ว คือ การใช้ตัวขับเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงความเร็วได้ (VSD) อินเวอร์เตอร์

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$N_2 = \left( \frac{Q_2}{Q_1} \right) \times N_1$$

Q คือ อัตราการไหล (USgpm)

$$H_2 = \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 \times H_1$$

P คือ กำลังของปั๊ม (kW)

$$P_2 = \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^3 \times P_1$$

N คือ ความเร็วรอบของปั๊ม (rpm)

H คือ เฮดของปั๊ม (m.)

ตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ติดตั้งปั๊มส่งจ่ายน้ำ 1 ตัว ขนาด 15 HP (11 กิโลวัตต์) เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด 9.5 นิ้ว ความเร็วรอบ 1,750 รอบต่อนาที อัตราการไหล 400 แกลลอนต่อนาที เฮด 25 เมตร ใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน 350 วันต่อปี อัตราค่าไฟฟ้า 2.75 บาทต่อหน่วย ถ้าต้องการลดอัตราการไหลลงเหลือ 300 แกลลอนต่อนาที โดยวิธีการควบคุมความเร็วรอบของปั๊ม สามารถคำนวณหาความเร็วรอบ เฮด และพลังไฟฟ้าที่ลดลงได้ [การวิเคราะห์ข้อมูล 1)กรอกข้อมูลลงไปช่องข้อมูล ของหัวข้อ 1 ให้ครบถ้วน 2) ทำการคำนวณตามหัวข้อ 2]

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
<b>1. ข้อมูลเบื้องต้น</b>				
1.1 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	EC	B/kWh	2.75	จากใบแจ้งหนี้ค่าไฟ
1.2 ชั่วโมงการใช้งานต่อปี	hr	hr/y	8,400.00	จากการใช้งานจริง
1.3 อัตราการไหลของของไหลก่อน	Q1	USgpm	400.00	จากการตรวจวัด
1.4 อัตราการไหลของของไหลหลัง	Q2	USgpm	350.00	ความต้องการใช้จริง
1.5 เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดก่อน	D1	in.	9.50	ข้อมูลของปั๊ม
1.6 ความเร็วรอบของปั๊มก่อน	N1	rpm	1,750.00	ข้อมูลของปั๊ม
1.7 เฮดของปั๊มก่อน	H1	m	25.00	ข้อมูลของปั๊ม
1.8 พลังไฟฟ้าของปั๊มก่อน	P1	kW	11.00	จากการตรวจวัด
<b>2. การวิเคราะห์ข้อมูล</b>				
2.1 ความเร็วรอบหลัง $N_2 = \left( \frac{Q_2}{Q_1} \right) \times N_1$	N2	rpm	1,531.25	
2.2 เฮดของปั๊มหลังลดความเร็วรอบ $H_2 = \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 \times H_1$	H2	m	19.14	
2.3 พลังไฟฟ้าของปั๊มหลังลดความเร็วรอบ $P_2 = \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^3 \times P_1$	P2	kW	7.37	
2.4 พลังงานไฟฟ้าลดลงต่อปี ES = ( P1-P2 ) x hr	ES	kWh/y	30,492.00	
2.5 ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง SC= ( ES x EC )	SC	B/y	83,853.00	

หมายเหตุ : ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณในเบื้องต้นอาจคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงดังนั้นในทางปฏิบัติควรนำค่าพลังไฟฟ้าจากการตรวจวัดก่อนและหลังการดำเนินการมาคำนวณเพื่อหาผลประหยัดจริง

**(5) เลือกเดินปั๊มประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก**

เป็นวิธีการลดการใช้พลังงานอีกทางหนึ่ง เช่น มีปั๊ม 3 ชุด เดินใช้งาน 2 ชุด สำรอง 1 ชุด ประสิทธิภาพของปั๊มแต่ละตัวก็จะแตกต่างกันดังนั้นจึงควรเลือกเดินปั๊มชุดที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก

สมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$\eta_n = \frac{P_n}{Q_n}$$

$\eta_n$  คือ ประสิทธิภาพของปั๊ม

$Q_n$  คือ อัตราการไหล (USgpm)

$P_n$  คือ กำลังของปั๊ม (kW)

ตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

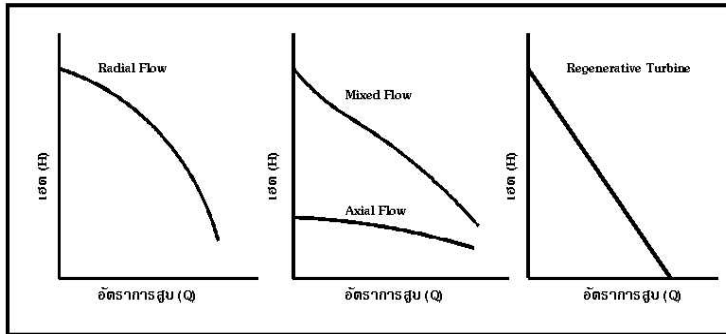
โรงงานมีการติดตั้งปั๊มน้ำระบายความร้อนให้แก่เครื่องจักร 3 ตัว เดินใช้งานจริง 1 ตัว เดินใช้งานเฉลี่ยตัวละ 33.33% มีการปรับอัตราการไหลของปั๊มแต่ละตัวให้มีค่า 100 แกลลอนต่ออนาที มีการใช้งาน 24 ชั่วโมงต่อวัน 350 วันต่อปี อัตราค่าไฟฟ้า 2.75 บาทต่อหน่วย สามารถหาประสิทธิภาพในการสูบน้ำของปั๊มแต่ละตัวและเลือกเดินตัวที่มีประสิทธิภาพสูงได้ดังนี้ [การวิเคราะห์ข้อมูล 1) กรอกข้อมูลลงไปในห้องข้อมูลของหัวข้อ 1 2) ทำการคำนวณตามหัวข้อ 2]

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ข้อมูล	แหล่งที่มาของข้อมูล
<b>1. ข้อมูลเบื้องต้น</b>				
1.1 ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	EC	B/kWh	2.75	จากใบแจ้งหนี้ค่าไฟ
1.2 อัตราการไหลของปั๊มชุดที่ 1	Q1	USgpm	103.00	จากการตรวจวัด
1.3 อัตราการไหลของปั๊มชุดที่ 2	Q2	USgpm	101.00	จากการตรวจวัด
1.4 อัตราการไหลของปั๊มชุดที่ 3	Q3	USgpm	98.00	จากการตรวจวัด
1.5 พลังไฟฟ้าของปั๊มตัวที่ 1	P1	kW	15.30	จากการตรวจวัด
1.6 พลังไฟฟ้าของปั๊มตัวที่ 2	P2	kW	14.90	จากการตรวจวัด
1.7 พลังไฟฟ้าของปั๊มตัวที่ 3	P3	kW	15.60	จากการตรวจวัด
<b>2. การวิเคราะห์ข้อมูล</b>				
2.1 ประสิทธิภาพในการสูบน้ำของปั๊ม 1 $\eta_1 = P_1/Q_1$	$\eta_1$	kW/ USgpm	0.15	
2.2 ประสิทธิภาพในการสูบน้ำของปั๊ม 2 $\eta_2 = P_2/Q_2$	$\eta_2$	kW/ USgpm	0.15	
2.3 ประสิทธิภาพในการสูบน้ำของปั๊ม 3 $\eta_3 = P_3/Q_3$	$\eta_3$	kW/ USgpm	0.16	
2.4 พลังไฟฟ้าที่ใช้ก่อน $P_B = [(P_1 + P_2 + P_3) \times (350 \times 24 \times 0.3333)]$	PB	kWh/y	128,240.00	
2.5 พลังไฟฟ้าที่ใช้หลัง $P_A = [(P_1 + P_2) \times (350 \times 24 \times 0.4) + (P_3 \times (350 \times 24 \times 0.2))]$	PA	kWh/y	127,680.00	
2.6 พลังงานไฟฟ้าลดลงต่อปี $ES = (P_B - P_A) \times \text{hr}$	ES	kWh/y	560.00	
2.7 ค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง $SC = (ES \times EC)$	SC	B/y	1,540.00	

หมายเหตุ : จากการคำนวณจะเห็นว่าปั๊มชุดที่ 1 และ 2 มีประสิทธิภาพสูงกว่าชุดที่ 3 จึงควรทำการเดินปั๊มชุดที่ 1 และ 2 เป็นหลัก คือ 40% และลดการเดินปั๊มชุดที่ 3 เหลือ 20% ควรมีการตรวจวัดประสิทธิภาพของปั๊มเป็นระยะเนื่องจากอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้เมื่อมีการใช้งานติดต่อกันเป็นระยะเวลานานๆ

**(6) การออกแบบโดยคุณลักษณะที่เหมาะสม**

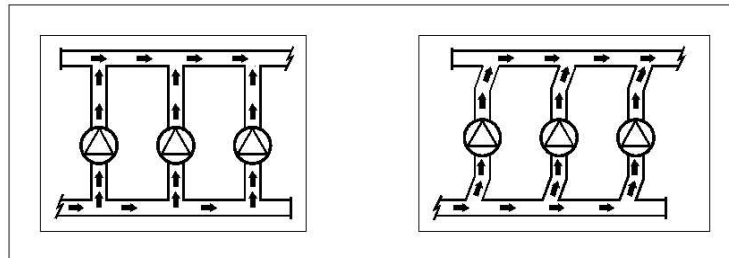
ในการเลือกปั๊มจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งานโดยจะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของปั๊มแต่ละชนิด อัตราการไหลที่ต้องการ ชนิดของของเหลว อุณหภูมิของของเหลว เนื่องจากการใช้ปั๊มที่ผิดประเภทหรือปั๊มที่มีขนาดใหญ่เกินไป จะทำให้เกิดการเสียหายของปั๊ม การทำงานไม่มีประสิทธิภาพซึ่งก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน



รูปที่ 2-5.10 กราฟความสัมพันธ์ H-Q ของปั๊มแบบ Centrifugal ชนิดต่างๆ

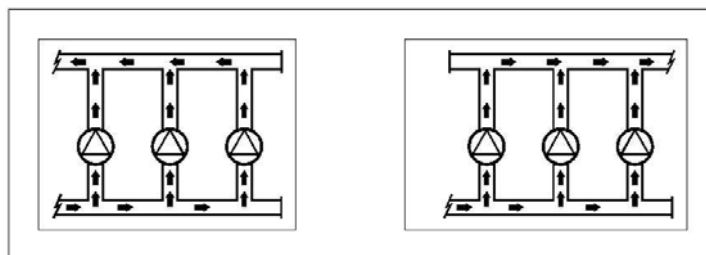
**(7) การออกแบบท่อและอุปกรณ์อื่นที่สัมพันธ์กันอย่างเหมาะสม**

การออกแบบท่อและอุปกรณ์ต่างๆมีผลกับเฮดของระบบ จึงควรเลือกระบบท่อ วาล์ว ข้อต่อ และ อุปกรณ์ส่งถ่ายกำลังระหว่างมอเตอร์กับปั๊มให้เหมาะสมซึ่งจะช่วยลดภาระของปั๊ม เช่น ในการต่อท่อแบบ ตัว T จะเกิดการสูญเสียในระบบมากกว่าการต่อท่อแบบตัว Y และการปรับตั้งแนวการขับ (Aliment) ลักษณะการต่อท่อแบบต่างๆ แสดงดังรูป



รูปที่ 2-5.11 การต่อท่อแบบตัว T และการต่อท่อแบบตัว Y

การต่อท่อแบบตัว T ในระบบที่มีการเดินปั๊มแบบขนานซึ่งต้องการเพิ่มอัตราการไหลในการใช้งานจริง อัตราการไหลจะไม่เท่ากับอัตราการไหลของปั๊มสองตัวรวมกันเนื่องจากเกิดการสูญเสียในระบบการต่อท่อและ ปั๊มจะต้องใช้กำลังไฟฟ้ามากส่วน ระบบที่มีการเดินปั๊มแบบขนานและมีการต่อท่อแบบตัว Y จะช่วยลดการสูญเสียในระบบท่อลงได้และยังส่งผลให้ภาระของปั๊มลดลงทำให้กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลงด้วย



รูปที่ 2-5.12 การต่อปั๊มแบบน้ำเข้าก่อนและออกก่อนและรูปการต่อปั๊มแบบน้ำเข้าก่อนและออกหลัง

ลักษณะการต่อปั๊มแบบน้ำเข้าก่อนและออกก่อนจะทำให้ประสิทธิภาพของปั๊มต่างกันเนื่องจากปั๊มตัวแรกจะมีอัตราการสูบน้ำสูงกว่าปั๊มตัวถัดมาและปั๊มตัวสุดท้ายจะมีอัตราการสูบน้ำน้อยและปั๊มยังกินพลังไฟฟ้าสูง เนื่องจากจะต้องสร้างแรงดันให้ชนะปั๊มตัวแรก ส่วนการต่อแบบน้ำเข้าก่อนและออกหลังประสิทธิภาพของปั๊มจะไม่แตกต่างกันมากนัก

### (8) การลดการ bypass ในระบบ

ระบบปั๊มบางระบบจะต้องติดตั้งระบบ bypass เพื่อป้องกันความเสียหายและความปลอดภัย เช่น ในระบบ hi pressure ระบบทำน้ำเย็นในอาคารสูงที่ต้องติดตั้งปั๊มแบบ Primary และ Secondary และในระบบบำบัดน้ำเสีย ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงาน แต่ในบางระบบการ bypass จะช่วยลดการสูญเสียพลังงาน เช่น ในระบบน้ำเย็นจะช่วยลดโหลดของเครื่องทำน้ำเย็น ดังนั้นในการปรับลดการ by-pass ควรต้องคำนึงถึงผลดีและผลเสียก่อนทำการปรับตั้ง

### (9) การปรับตั้งแนวการขับ(Aliment)

การปรับตั้งแนวการขับจะช่วยยืดอายุการใช้งานของปั๊มและมอเตอร์และเพิ่มประสิทธิภาพ โดยเมื่อมีการเยื้องศูนย์กลางจะเกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ เช่น คับปลั๊ก แบร้ง ลูกปืน เฟลาส่งกำลัง และยังส่งผลให้ภาระของมอเตอร์เพิ่มขึ้น

## 2-5.5 การตรวจ วินิจฉัย และการบำรุงรักษาปั๊มน้ำ เพื่อการอนุรักษ์พลังงานอย่างไร

### (1) การตรวจ วินิจฉัย ระบบปั๊มน้ำ เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน

แนวทางการตรวจ		แนวทางการวินิจฉัย
รายการตรวจ	ผลการตรวจ	
1.ทำความสะอาดเสตนเนอร์หรือไม่	<input type="checkbox"/> ทำทุกๆ..... <input type="checkbox"/> ไม่เคยทำ	เมื่อเสตนเนอร์ตันจะส่งผลให้ปั๊มดูดของเหลวได้ยากขึ้น อัตราการไหลที่ได้จะลดลง ประสิทธิภาพลดลง
2.ปั๊มมีเสียงดังผิดปกติหรือไม่	<input type="checkbox"/> ดังผิดปกติ <input type="checkbox"/> ไม่ดัง	เสียงที่ดังผิดปกติจากที่เคยเป็นแสดงว่าในระบบปั๊มมีปัญหา เช่น ไบพัตแตกหัก ลูกปืนชำรุด เสตนเนอร์ตัน ปริมาณน้ำที่ดูดน้อยเกินไป หรือเกิดอากาศในตัวปั๊ม
3.ปั๊มน้ำมันผิดปกติหรือไม่	<input type="checkbox"/> สั่นผิดปกติ <input type="checkbox"/> ไม่สั่น	อาจเกิดจากน็อตยึดหลวม การเสียดสีของไบพัต ลูกปืนชำรุด หรือระบบส่งกำลังไม่ได้ศูนย์
4.ตำแหน่งติดตั้งปั๊มน้ำ	<input type="checkbox"/> เหมาะสม <input type="checkbox"/> ไม่เหมาะสม	ระบบท่อดูดและระบบท่อส่ง ควรสั้นที่สุดเพื่อลดการสูญเสียความดันในระบบ
5.ขนาดท่อและจำนวนข้อต่อข้องอ	<input type="checkbox"/> เหมาะสม <input type="checkbox"/> ไม่เหมาะสม	ขนาดท่อที่เล็กเกินไปจะทำให้ความเสียดทานในการไหลสูงขึ้น และถ้ามีข้อต่อข้องอมากจะต้านทานการไหลมากขึ้น
6.การเชื่อมต่อระบบท่อของปั๊ม	<input type="checkbox"/> ถูกต้อง <input type="checkbox"/> ไม่ถูกต้อง	กรณีปั๊มต่อขนานกับท่อที่ต่อรวมกันที่ท่อร่วม (Header) ควรต่อแบบตัววาย จะทำให้สูญเสียความดันน้อยกว่าการต่อแบบตัวที นอกจากนั้นท่อร่วมควรมีขนาดใหญ่พอเพื่อไม่ให้เกิดการอันขณะปั๊มทำงานพร้อมกัน และปั๊มที่อยู่ในตำแหน่งดูดจาก Header ก่อนปั๊มชุดอื่นควรจะส่งน้ำเข้า Header หลังปั๊มชุดอื่น เพื่อให้ความดันตก คล่อมที่ตัวปั๊มแต่ละชุดเท่ากัน

แนวทางการตรวจ		แนวทางการวินิจฉัย
รายการตรวจ	ผลการตรวจ	
7. ใช้ความดันน้ำหลายระดับหรือไม่	<input type="checkbox"/> ส่วนใหญ่ใช้ความดันสูง <input type="checkbox"/> ส่วนใหญ่ใช้ความดันต่ำ <input type="checkbox"/> ระดับเดียว	กรณีที่ส่วนใหญ่ใช้ความดันต่ำโรงงานควรลดความดันน้ำที่ระบบรวมให้ต่ำลง แล้วใช้ปั๊มชุดเล็กเพิ่มความดันเพื่อจ่ายไปยังจุดที่ใช้ความดันสูง(Booster Pump)
8. ความดันน้ำที่จุดใช้งานไกลสุดสูงเกินความต้องการมากหรือไม่	<input type="checkbox"/> สูงเกินมาก <input type="checkbox"/> เหมาะสม	จุดใช้งานที่ไกลสุดควรมีความดันสูงกว่าความต้องการไม่เกิน 0.5 Bar <sub>g</sub> ดังนั้นถ้าสูงกว่ามากควรลดความดันที่ปั๊มน้ำลง จะส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น
9. มีการเดินกลุ่มปั๊มมากกว่า 1 ชุดพร้อมกันโดยสลับกันไปมาหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี พร้อมกัน.....ชุด <input type="checkbox"/> เดินครั้งละ 1 ชุด	การต่อปั๊มน้ำแบบขนานกันเมื่อเดินปั๊มน้ำมากกว่า 1 ชุด พร้อมกันจะทำให้อัตราการไหลของน้ำโดยรวมลดต่ำลงเรื่อยๆ เนื่องจากความไม่สมดุลกันในการติดตั้งและประสิทธิภาพของปั๊มแต่ละชุดไม่เท่ากัน จึงควรหลีกเลี่ยง ถ้าจำเป็นต้องเดินควรวัดประสิทธิภาพของปั๊มแต่ละกลุ่ม โดยวัดอัตราการไหลรวมและพลังไฟฟารวมเพื่อหา GPM/kW ถ้ากลุ่มใดมีค่า GPM/kW สูงที่สุด ควรนำมาใช้งานมากกว่ากลุ่มอื่นๆ
10. มีการเดินปั๊มน้ำสลับกันไปมาหรือไม่	<input type="checkbox"/> สลับไปมา <input type="checkbox"/> เดินชุดเดียวตลอด	ปั๊มแต่ละชุดจะมีประสิทธิภาพไม่เท่ากัน เพราะมีการสึกหรอและการเชื่อมต่อที่ท่อที่แตกต่างกัน จึงควรหาค่า GPM/kW และเลือกเดินชุดที่มีค่าสูงที่สุดเป็นหลัก
11. มีการเปิดน้ำทิ้งไว้หรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	ควรณรงค์ให้ทุกคนช่วยกันปิดน้ำทุกครั้งเมื่อไม่ใช้งาน
12. มีการรั่วของน้ำในระบบหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	ควรทดสอบทุกเดือนโดยการหยุดใช้งานทั้งหมด แล้ววัดความดันของน้ำ ถ้าวัดลงแสดงว่ามีกรรั่วไหล
13. ล้างพื้นโรงงานใช้เครื่องฉีดความดันสูงหรือไม่	<input type="checkbox"/> ใช้ <input type="checkbox"/> ไม่ใช้	เครื่องฉีดน้ำความดันสูงจะทำให้ประหยัดน้ำในการล้างพื้นมากกว่าใช้ความดันน้ำปกติ
14. ใช้ก๊อกน้ำแบบประหยัดน้ำหรือไม่	<input type="checkbox"/> ใช้ <input type="checkbox"/> ไม่ใช้	ก๊อกประหยัดน้ำจะลดการใช้น้ำลงประมาณ 80%
15. ใช้หัวฉีดประหยัดน้ำแทนการใช้สายยางเปล่าหรือไม่	<input type="checkbox"/> ใช้ <input type="checkbox"/> ไม่ใช้	หัวฉีดประหยัดน้ำจะช่วยลดการใช้น้ำลงไปได้ประมาณ 50%
16. มีปั๊มชุดที่ผ่านการซ่อมบำรุงมาใหม่ๆ หรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	ปั๊มที่ผ่านการซ่อมบำรุงจะอยู่ในสภาพที่ดีกว่าปั๊มอื่น ในกรณีที่มีการใช้งานแบบสลับไปมาควรให้ปั๊มชุดที่ผ่านการซ่อมบำรุงมาใหม่ๆ เดินมากกว่าชุดอื่นๆ
17. อุณหภูมิผิวมอเตอร์สูงหรือไม่	<input type="checkbox"/> สูง <input type="checkbox"/> ไม่สูง	มอเตอร์ที่อุณหภูมิผิวสูงแสดงว่าประสิทธิภาพต่ำ โดยเฉพาะมอเตอร์ที่เคยใหม่อุณหภูมิผิวจะสูงกว่ามอเตอร์ที่ไม่เคยใหม่ ดังนั้นควรนำมาใช้ให้น้อยลง
18. มีมอเตอร์ปั๊มน้ำใช้กระแสไฟฟ้าสูงกว่าชุดอื่นหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> เท่ากัน	ที่ภาระเดียวกันถ้ามอเตอร์ปั๊มน้ำชุดใดใช้กระแสสูงกว่าชุดอื่นแสดงว่าผิดปกติ ควรลดการใช้งานและตรวจสอบแก้ไข
19. มีปั๊มน้ำชุดใดที่ความดันตกคล่อมสูงกว่าชุดอื่น	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> เท่ากัน	ปั๊มน้ำชุดที่ความดันตกคล่อมสูงกว่าชุดอื่น แสดงว่าส่งน้ำได้น้อยกว่าชุดอื่น ดังนั้นควรทำการตรวจสอบแก้ไข

แนวทางการตรวจ		แนวทางการวินิจฉัย
รายการตรวจ	ผลการตรวจ	
20.มอเตอร์เคยไหม้หรือไม่	<input type="checkbox"/> เคย.....ครั้ง <input type="checkbox"/> ไม่เคย	มอเตอร์ไหม้แต่ละครั้งจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง 4% สำหรับมอเตอร์ขนาดเล็กควรเปลี่ยนใหม่ถ้าเกิดการไหม้ถ้าเป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่ไม่ควรไหม้เกิน 3 ครั้ง หรือควรรนำมอเตอร์ที่ไหม้สลับไปใช้ในจุดที่มีการใช้งานน้อย
21.ขนาดของปั้ม	<input type="checkbox"/> ใหญ่เกินไป <input type="checkbox"/> เหมาะสม	การใช้ปั้มน้ำขนาดใหญ่แล้วทำการหรี่น้ำโดยวิธีต่างๆ จะทำให้ประสิทธิภาพลดลง ดังนั้นควรเลือกขนาดให้เหมาะสมกับการใช้งานหรือทำการลดรอบการเดินของมอเตอร์
22.ขนาดของมอเตอร์	<input type="checkbox"/> ใหญ่เกินไป <input type="checkbox"/> เหมาะสม	มอเตอร์ควรใช้พลังไฟฟ้าไม่ต่ำกว่า 80% ของพิกัดเพราะทุกๆ 10% ของภาระที่ต่ำลง จะส่งผลให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ลดลง 1% ดังนั้นควรสลับมอเตอร์ หรือเปลี่ยนขนาดมอเตอร์ใหม่
23.ใช้อุปกรณ์ปรับลดรอบมอเตอร์ได้หรือไม่	<input type="checkbox"/> ใช้ได้ <input type="checkbox"/> ใช้ไม่ได้เพราะ.....	การลดรอบมอเตอร์จะส่งผลให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นกำลังสามของรอบที่ลดลงสำหรับปั้มแบบแรงเหวี่ยง แต่ไม่ควรลดต่ำกว่า40% เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ลดต่ำลงมาก และมอเตอร์จะระบายความร้อนได้น้อยทำให้เกิดความเสียหาย
24.ใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงได้หรือไม่	<input type="checkbox"/> ได้ <input type="checkbox"/> ใช้ไม่ได้เพราะ.....	เมื่อต้องการเปลี่ยนมอเตอร์ ควรพิจารณาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

## (2) การบำรุงรักษาปั้มน้ำอย่างถูกต้องและเหมาะสม

รายละเอียดการดำเนินงาน	ระยะเวลาที่เหมาะสม
1. ทำความสะอาดชุดกรองสารแขวนลอย	ทุก 3 เดือน
2. ทำความสะอาดใบพัดและปั้มส่วนต่างๆ	ทุก 6 เดือน
3. อัดจารบีหรือสารหล่อลื่น	ทุก 3 เดือน
4. ตรวจสอบและซ่อมรอยรั่วของระบบท่อ	ทุก 6 เดือน
5. ตรวจสอบเสียงและการสั่นเทือน	ทุกวัน
6. ตรวจวัดและบันทึกอุณหภูมิผิวมอเตอร์	ทุกเดือน
7. ตรวจวัดและบันทึกกระแสไฟฟ้าหรือพลังไฟฟ้า	ทุกสัปดาห์
8. ตรวจวัดและบันทึกความดันของเหลวที่เข้าและออก	ทุกวัน
9. ตรวจวัดประสิทธิภาพ	ทุกปี
10. เปลี่ยนอุปกรณ์รองลื่น	ตามอายุการใช้งาน
11. ปรับตั้งแนวการขับ (Aliment)	ทุกปี