# บทที่ 6
# เครื่องสูบน้ำ

เครื่องสูบน้ำหรือปั้มน้ำ คือ เครื่องจักกลชลศาสตร์ชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกล ให้เป็นพลังงานชลศาสตร์ ซึ่งสามารถยกน้ำให้มีระดับสูงขึ้น หรือสามารถเร่งน้ำให้ไหลในท่อได้เร็วยิ่งขึ้น การคำนวณหาเฮดของปั้มน้ำ สามารถคำนวณจากสมการพลังงาน ดังนี้

$$\frac{P_1}{\gamma}+\frac{v_1^2}{2g}+z_1+h_A=\frac{P_2}{\gamma}+\frac{v_2^2}{2g}+z_2+h_L$$

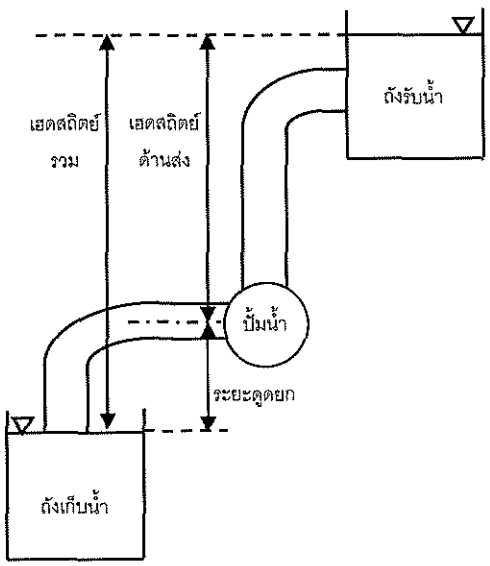
เมื่อ $\frac{P}{\gamma}$ คือ ความสูงของน้ำที่มีผลมาจากความดันที่เกิดขึ้น มาจากปั้มน้ำโดยตรง หรือถังความดัน

$\frac{v^2}{2g}$ คือ ความสูงของน้ำที่มีผลมาจากการไหลของน้ำ ที่มีความเร็วเท่ากับ v

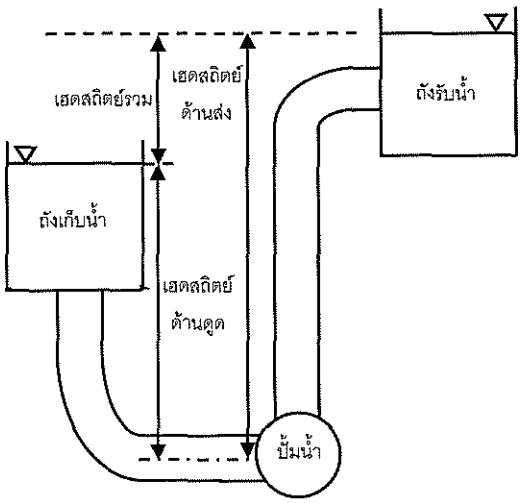
$h_L$ คือ ความสูงของน้ำที่สูญเสียไป เนื่องจากการไหลของน้ำผ่านท่อ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับขนาดท่อ อัตราการไหลของน้ำ และคุณลักษณะของน้ำ

$h_A$ คือ พลังงานหรือเฮดทั้งหมดที่ได้จากปั้มน้ำ

ในการติดตั้งปั้มน้ำสามารถติดตั้งได้ 2 แบบ คือ ปั้มน้ำติดตั้งไว้สูงกว่าระดับน้ำในถัง และปั้มน้ำติดตั้งไว้ต่ำกว่าระดับน้ำในถัง ดังภาพที่ 6.1 และภาพที่ 6.2 โดยคำจำกัดความที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งปั้มน้ำมีดังต่อไปนี้




**ภาพที่** 6.1 ปั้มน้ำติดตั้งไว้สูงกว่าระดับน้ำในถังเก็บกักน้ำ




**ภาพที่** 6.2 ปั้มน้ำติดตั้งไว้ต่ำกว่าระดับน้ำในถังรับน้ำ

ระยะดูดยก (Static suction lift) คือ ความสูงในแนวดิ่ง ระหว่างผิวน้ำในถังเก็บกักน้ำกับปั๊มน้ำ เมื่อปั๊มน้ำติดตั้งไว้สูงกว่าระดับน้ำในถังเก็บกักน้ำ

เฮดสถิตย์ด้านดูด (Static suction head) คือ ความสูงในแนวดิ่ง ระหว่างผิวน้ำในถังเก็บกักน้ำกับปั๊มน้ำ เมื่อปั๊มน้ำติดตั้งไว้ต่ำกว่าระดับน้ำในถังเก็บกักน้ำ

เฮดสถิตด้านจ่าย (Static discharge head) คือ ความสูงในแนวดิ่ง ระหว่างปั๊มน้ำกับผิวน้ำในถังรับน้ำ

เฮดรวมสถิตย์ (Total static head) คือ ความสูงในแนวดิ่งระหว่างผิวน้ำในถังเก็บน้ำทั้งสอง

ระยะยกรวมจากปั๊มด้านดูด(Total dynamic suction lift) คือ ผลรวมระหว่างค่าระยะดูดยกกับเฮดความเร็วของท่อดูด เมื่อปั๊มน้ำติดตั้งไว้สูงกว่าระดับน้ำในถังเก็บกักน้ำ

เฮดรวมจากปั๊มด้านดูด(Total dynamic suction head) คือ ผลรวมระหว่างค่าเฮดสถิตย์ด้านดูดกับเฮดความเร็วท่อดูด เมื่อปั๊มน้ำติดตั้งไว้ต่ำกว่าระดับน้ำในถังเก็บกักน้ำ

เฮดรวมจากปั๊มด้านจ่าย (Total dynamic discharge head) คือ ผลรวมของเฮดสถิตย์ด้านจ่ายกับค่าเฮดความเร็ว และค่าการสูญเสียเฮดของท่อจ่าย

เฮดจากปั๊ม (Total dynamic head; TDH) คือ ผลรวมระหว่างค่าเฮดจากปั๊มด้านจ่าย (Dynamic discharge head) และค่าระยะยกรวมจากปั๊มด้านดูด สำหรับปั๊มน้ำที่ติดตั้งไว้สูงกว่าระดับน้ำในถังเก็บกักน้ำ และคือค่าผลต่างระหว่างเฮดรวมจากปั๊มด้านจ่าย กับค่าเฮดรวมจากปั๊มด้านดูด สำหรับปั๊มน้ำที่ติดตั้งไว้ต่ำกว่าระดับน้ำในถังเก็บกักน้ำ

กำลังงาน (Power) ที่ปั๊มให้แก่ของเหลว หาได้จากสมการ ดังนี้

$$P_A = h_A \gamma Q \qquad (6.1)$$

แต่อย่างไรก็ตาม การทำงานของปั๊มจะมีการสูญเสียพลังงานอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นภายในเครื่องจักรหรือปั๊ม และจากการเคลื่อนที่ของของเหลว ดังนั้น กำลังงานที่ต้องให้แก่ปั๊มจึงมีค่าสูงกว่ากำลังงานที่ปั๊มให้แก่ของเหลวดังสมการ ต่อไปนี้

$$P_1 = \frac{P_A}{e_m} \qquad (6.2)$$

เมื่อ $P_1$ คือ กำลังงานที่ต้องให้แก่ปั๊ม

$e_M$ คือ ประสิทธิภาพของปั๊ม

## 6.1 ปัจจัยในการเลือกปั้ม

โดยทั่ว ๆ ไปการพิจารณาเลือกปั้ม จะคำนึงถึงขนาดและประเภทของปั้มที่เหมาะสมกับการใช้งาน เพื่อก่อให้เกิดประสิทธิภาพของเครื่องสูงสุด และมีค่าดำเนินการต่ำสุด ทั้งนี้ ต้องเลือกปั้มเพื่อการใช้งานในด้านต่าง ๆ ปัจจัยดังต่อไปนี้ ควรที่จะต้องนำมาพิจารณา

1. คุณสมบัติของของเหลว
2. อัตราการสูบ
3. พลังงานหรือเฮดทั้งหมดที่ได้จากปั้ม
4. ชนิดของระบบท่อที่ปั้มจะต้องเข้าต่อ
5. ข้อจำกัดทางด้านท่อดูด ท่อส่ง ขนาดพื้นที่ติดตั้ง น้ำหนักปั้ม และตำแหน่งติดตั้ง
6. ชนิดของแหล่งพลังงานที่จะให้แก่ปั้ม
7. ราคาของปั้ม ค่าติดตั้ง และค่าการบำรุงรักษา
8. เงื่อนไขทางด้านสิ่งแวดล้อม

## 6.2 ชนิดของปั้มน้ำ

ปั้มน้ำแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ Positive displacement pump และ Kinetic pump

### 6.2.1 ปั้มแบบ Positive displacement

ปั้มแบบ Positive displacement คือ ปั้มที่มีหลักการทำงานโดยการแทนที่ปริมาตรของไหลตามกลไกการเคลื่อนที่ภายในปั้ม ปั้มชนิดนี้ที่นิยมนำมาใช้สูบน้ำภายในที่อยู่อาศัย คือ ปั้มแบบหมุน (Rotary pump) ซึ่งเป็นปั้มที่สร้างง่าย ราคาถูก และบำรุงรักษาง่าย เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความดันต่ำ อัตราการไหล ประมาณ 500 gpm

### 6.2.2 ปั้มแบบ Kinetic

ปั้มแบบ Kinetic คือ ปั้มที่มีหลักการทำงานโดยของไหลจะถูกทำให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วอย่างต่อเนื่อง ซึ่งความเร็วนี้เกิดจากการเหวี่ยงของใบพัดภายในปั้ม ตัวอย่างของปั้มชนิดนี้ ดังนี้

1) ปั้มน้ำชนิดแรงเหวี่ยง (Radial flow หรือ Centrifugal)

ปั้มชนิดแรงเหวี่ยงนี้มีลักษณะการทำงานคือ น้ำจะไหลเข้าในแนวตั้งฉากกับใบพัดของปั้ม เมื่อใบพัดหมุนก็จะเกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ทำให้น้ำไหลออกจากใบพัดไปตามแนวรัศมีของใบพัด ซึ่งจะทำให้เกิดพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น จากนั้น น้ำจะไหลผ่านช่องว่างระหว่างใบพัด กับเรือนปั้มน้ำ (Casing) ที่มีการขยายออกอย่างช้า ๆ ความเร็วการไหลลดลง และพลังงานจลน์จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความดัน เพื่อยกน้ำให้สูงขึ้นได้ ซึ่งปั้มน้ำชนิดแรงเหวี่ยงที่นิยม

นำมาใช้กับระบบจ่ายน้ำประปาและระบบระบายน้ำทิ้ง สามารถสูบน้ำที่มีความดันได้ตั้งแต่ 80 m จนถึง 3000 m และสามารถสูบน้ำได้ในปริมาณมาก ๆ อาจสูบได้สูงถึง 200 $m^3$/min นอกจากนี้ สามารถนำมาใช้กับของเหลวที่มีความหนืด และมีความสกปรกได้

2) ปั๊มน้ำชนิดไหลตามแกน (Axial flow หรือ Propeller)

ปั๊มชนิดไหลตามแกนเป็นปั๊มที่มีใบพัดเพียง 2-4 ใบ และสามารถปรับหมุนใบพัดได้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสูบได้ ปั๊มชนิดนี้มีอยู่ 2 ประเภทย่อย คือ ปั๊มน้ำชนิดไหลตามแกนหมุนที่มีเพลสาติดตั้งแนวนอน (Horizontal axial flow pump) และปั๊มน้ำชนิดไหลตามแนวแกนหมุนที่มีเพลาติดตั้งแนวดิ่ง (Vertical axial flow pump) ข้อดีของปั๊มชนิดนี้คือ สามารถสูบน้ำด้วยอัตราสูง แต่มีเฮดน้ำไม่มาก ซึ่งปั๊มน้ำชนิดไหลตามแกนนิยมนำมาใช้ในงานระบายน้ำและงานด้านการชลประทาน

3) ปั๊มน้ำชนิดไหลผสม (Mixed flow)

ปั๊มน้ำชนิดไหลผสม มีระบบการทำงานอยู่ระหว่างปั๊มน้ำชนิดแรงเหวี่ยงกับปั๊มน้ำชนิดไหลตามแนวแกน โดยลักษณะการไหลของน้ำจะออกจากใบพัดในแนวทแยงเป็นมุม 45° – 80 ° กับแกนเพลาของใบพัด ซึ่งจะอาศัยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลาง และแรงดันน้ำของใบพัดในแนวขนานกับเพลาของใบพัด เนื่องจากข้อดีของปั๊มน้ำชนิดแรงเหวี่ยงกับปั๊มน้ำชนิดไหลตามแนวแกนมารวมไว้ที่เครื่องสูบน้ำแบบนี้ ดังนั้น ปั๊มชนิดนี้จึงเหมาะสำหรับสูบน้ำที่มีอัตราการไหลและเฮดน้ำปานกลาง ทั้งนี้สามารถแบ่งปั๊มน้ำแบบไหลผสมออกเป็น 2 ประเภทย่อย ดังนี้

3.1) ปั๊มน้ำชนิดไหลผสมที่มีเพลาติดตั้งแนวนอน (Horizontal mixed flow pump) เหมาะสำหรับการสูบน้ำที่มีปริมาณมาก และมีระยะสูบขึ้นถึง 12 เมตร ปั๊มชนิดนี้นิยมใช้ในงานชลประทาน และการระบายน้ำประเภทต่าง ๆ ทั้งนี้ สามารถใช้ได้กับน้ำเสียที่มีตะกอนมาก

3.2) ปั๊มน้ำชนิดไหลผสมที่มีเพลาติดตั้งแนวดิ่ง (Vertical mixed flow pump) มีการใช้งานและลักษณะการทำงานของปั๊มที่คล้ายคลึงกับปั๊มน้ำชนิดไหลผสมที่มีเพลาติดตั้งแนวนอน แต่สามารถสูบน้ำขึ้นได้ถึง 20 เมตร

## 6.3 กฎความคล้ายคลึงของปั๊มน้ำชนิดแรงเหวี่ยง

โดยทั่วไป ณ ความเร็วที่แตกต่างกันปั๊มน้ำชนิดแรงเหวี่ยงจะมีสมรรถนะของปั๊มที่แตกต่างกัน ดังนั้น จากกฎความคล้ายคลึงที่กล่าวว่า เมื่อความเร็วหรือเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดเปลี่ยนแปลง เฮด สมรรถนะ และกำลังของปั๊มจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

เมื่อความเร็วของใบพัดผันแปร

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับ ความเร็วรอบ (N)

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \tag{6.3}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างเฮด (Head capacity; $h_a$) กับความเร็วรอบ (N)

$$\frac{h_{a1}}{h_{a2}} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \tag{6.4}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของปั๊มน้ำ (P) กับความเร็วรอบ (N)

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \tag{6.5}$$

เมื่อขนาดของใบพัดผันแปร

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด (D)

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2} \tag{6.6}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน (หรือ Head; H) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด (D)

$$\frac{h_{a1}}{h_{a2}} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \tag{6.7}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของปั๊มน้ำ (P) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด (D)

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3 \tag{6.8}$$

**ตัวอย่าง 6.1** โรงผลิตน้ำประปาแห่งหนึ่งใช้ปั๊มน้ำส่งน้ำ 3000 L/min และความดันน้ำทั้งหมด (Total head) เท่ากับ 62.0 m ปั๊มน้ำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัด 25 cm ความเร็วรอบ 1750 rpm กำลังงานที่มอเตอร์ให้แก่เครื่องสูบน้ำ 54 แรงม้า (ระบบเมตริก) แต่เมื่อนำไปใช้งานจริง ปรากฏว่าในโรงผลิตน้ำประปาดังกล่าวต้องการความดันนั้นทั้งหมดเพียง 50 เมตร โดยที่อัตราการสูบน้ำคงเดิม วิศวกรประจำโรงผลิตน้ำประปาจึงตัดสินใจปรับเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดใหม่ เพื่อให้เหมาะกับความต้องการ

(ก) จงคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดที่ปรับเปลี่ยน และกำลังงานที่มอเตอร์ให้แก่ปั๊มน้ำดังกล่าว

(ข) อัตราการสูบของปั๊มน้ำเครื่องใหม่ที่นำมาใช้ในระบบเพื่อให้เป็นไปตามความต้องการของโรงผลิตน้ำประปา

**วิธีทำ**

(ก) จาก $\frac{h_{a1}}{h_{a2}} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$

$$D_2 = D_1\left(\frac{h_{a2}}{h_{a1}}\right)^{0.5} = (0.25\,\text{m})\left(\frac{50\,\text{m}}{62\,\text{m}}\right)^{0.5} = 0.225\,\text{m}$$ ตอบ

จาก $\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3$

$$P_2 = P_1\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3 = (54\,\text{hp})\left(\frac{0.225\,\text{m}}{0.25\,\text{m}}\right)^3 = 39.37\,\text{hp}$$ ตอบ

(ข) จาก $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2}$

$$Q_2 = Q_1\left(\frac{D_2}{D_1}\right) = \left(3{,}000\frac{\text{L}}{\text{min}}\right)\left(\frac{0.225\,\text{m}}{0.25\,\text{m}}\right) = 2{,}700\,\text{L/min}$$

ผลจากการเปลี่ยนใบพัดทำให้ Q ลดลง แต่โรงผลิตน้ำประปาแห่งนี้ยังคงต้องการใช้ปั๊มส่งน้ำ 3,000 L/min ดังนั้น จึงต้องเพิ่มปั๊มด้วยการนำมาต่อขนานที่อัตราการสูบเท่ากัน

$$Q_{add} = Q_1 - Q_2 = 3{,}000 - 2694 = 306\,\text{L/min}$$ ตอบ

**ตัวอย่าง 6.2** ปั๊มน้ำชนิดแรงเหวี่ยงที่สมรรถนะ 1400 gal/min ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัด 12 in เมื่อปั๊มทำงานด้วยความเร็วรอบ 1550 rpm จงคำนวณหาเฮดรวม และกำลังที่ปั๊มต้องการ จากนั้นให้คำนวณหาการทำงานของปั๊มที่ด้วยความเร็วรอบ 1150 rpm

กำหนดให้ ปั๊มน้ำที่สมรรถนะ 1,400 gal/min มีกำลังเท่ากับ 52 hp Head capacity เท่ากับ 144 ft

**วิธีทำ**

เมื่อเปลี่ยนความเร็วรอบ N = 1150 rpm

จาก $\frac{h_{a1}}{h_{a2}} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$

$$h_{a2} = h_{a1}\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 = (144\,\text{ft})\left(\frac{1150\,\text{rpm}}{1550\,\text{rpm}}\right)^2 = 79.27\,\text{ft}$$ ตอบ

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

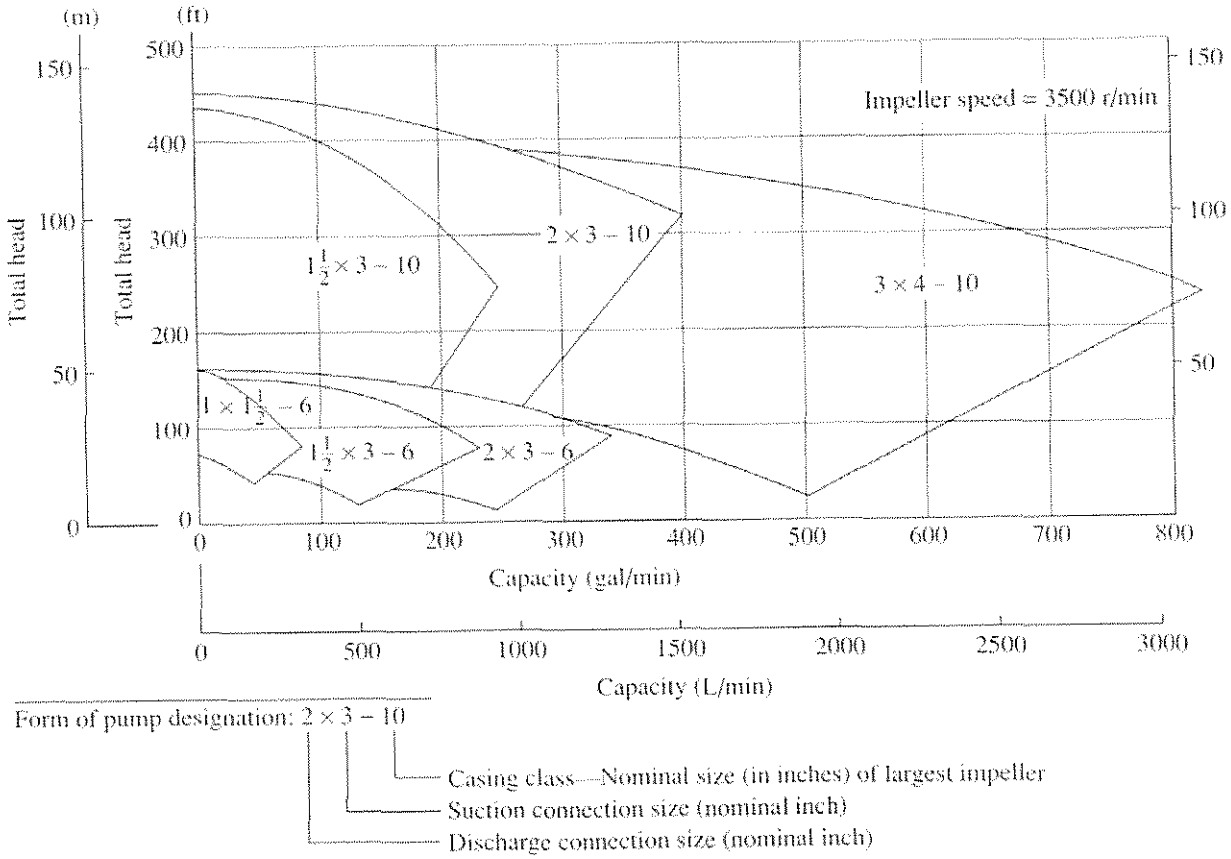
$$P_2 = P_1\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3 = (52)\left(\frac{1150\,\text{rpm}}{1550\,\text{rpm}}\right)^3 = 21.24\,\text{hp}$$ ตอบ

จาก $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$

$$Q_2 = Q_1\left(\frac{N_2}{N_1}\right) = \left(1{,}400\,\frac{\text{gal}}{\text{min}}\right)\left(\frac{1150\,\text{rpm}}{1550\,\text{rpm}}\right) = 1{,}038.71\,\text{gal/min}$$ ตอบ

## 6.4 ข้อมูลสำหรับปั๊มน้ำชนิดแรงเหวี่ยง

บริษัทผู้ผลิตปั๊มน้ำชนิดแรงเหวี่ยงจำเป็นที่จะต้องสร้างปั๊มน้ำที่ครอบคลุมสมรรถนะและเฮดที่ต้องการไว้อย่างกว้างไว้หลายขนาด เพื่อที่ว่าปั๊มที่ผลิตมานั้นสามารถที่จะใช้ใบพัดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความเร็วรอบที่แตกต่างกันได้ ดังนั้น ข้อมูลจากผู้ผลิตสำหรับปั๊มน้ำชนิดแรงเหวี่ยง จึงประกอบด้วยข้อมูลดังตัวอย่างต่อไปนี้

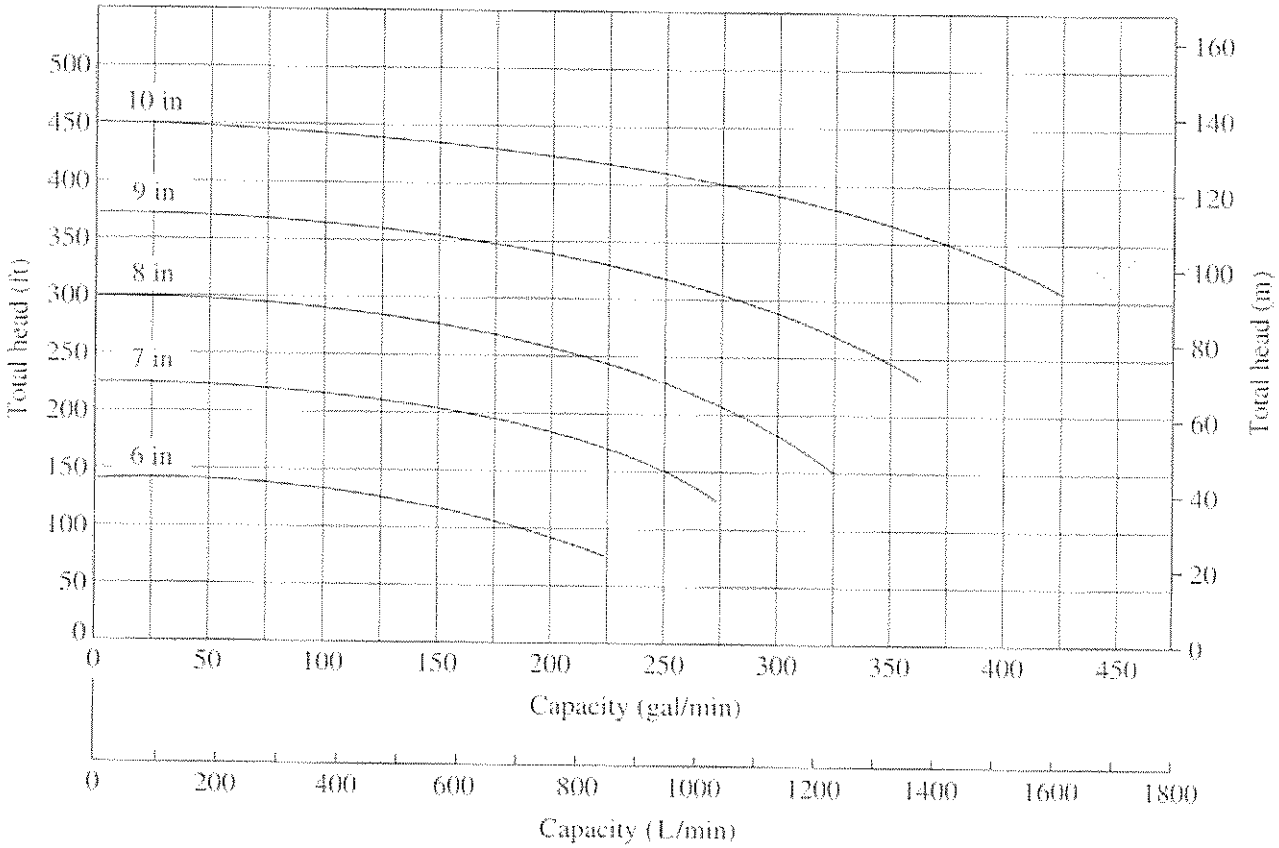



**ภาพที่** 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะกับความสูง สำหรับปั๊มแรงเหวี่ยงขนาดต่าง ๆ

(ที่มา: Robert L. Mott. 2006. Applied Fluid Mechanics 6th. Singapore: Pearson Prentice Hall. p 401)

ภาพที่ 6.3 แสดงขนาดของปั้มไว้หลาย ๆ ขนาด เพื่อให้ผู้ที่จะนำไปใช้สามารถเลือกใช้ขนาดของปั้มได้ตามที่ต้องการ

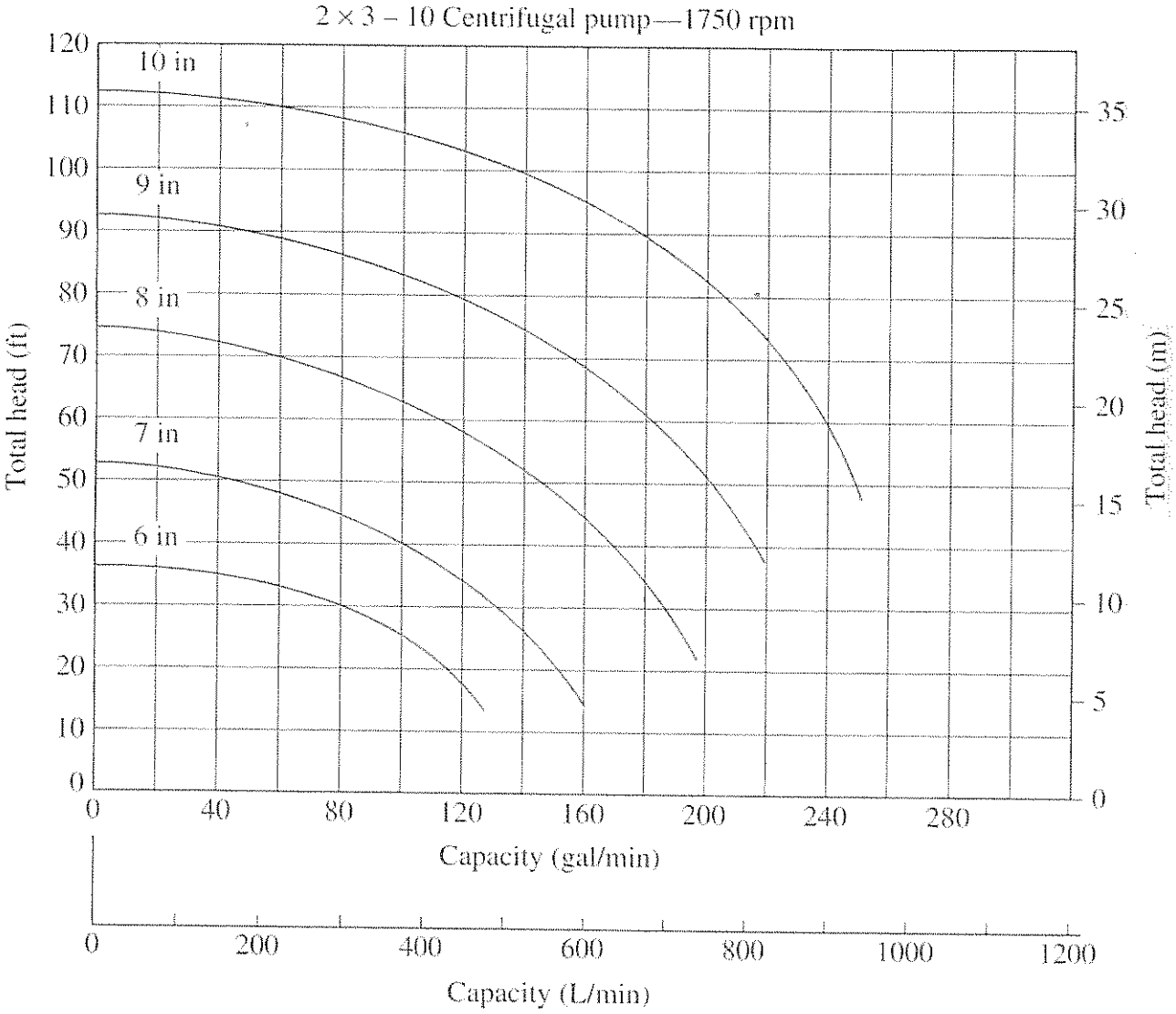
ภาพที่ 6.4 แสดงข้อมูลคุณสมบัติการทำงานของปั้ม เมื่อทราบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัด หรือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของใบพัด ทั้งนี้ โดยทั่วไปกราฟนี้จะมีอยู่หลายกราฟขึ้นอยู่กับขนาดของใบพัด ในที่นี้ สำหรับปั้มที่มีขนาด 2 x 3 – 10 ความเร็วรอบ 3500 rpm กล่าวคือ ปั้มน้ำชนิดแรงเหวี่ยงที่มีขนาดท่อจ่ายขนาด 2 in ท่อดูดขนาด 3 in และใช้ได้กับใบพัดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากที่สุด 10 in




**ภาพที่** 6.4 คุณสมบัติของปั้มที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบพัดที่แตกต่างกัน สำหรับปั้มแรงเหวี่ยง ในที่นี้สำหรับ 2 x 3 – 10 ณ 3500 rpm

(ที่มา: Robert L. Mott. 2006. Applied Fluid Mechanics 6th. Singapore: Pearson Prentice Hall. p 402)

ภาพภาพที่ 6.5 แสดงข้อมูลคุณสมบัติการทำงานของปั้ม สำหรับปั้มที่มีขนาด 2 x 3 – 10 ความเร็วรอบ 1750 rpm




**ภาพที่** 6.5 คุณสมบัติของปั้มแรงเหวี่ยง สำหรับ 2 x 3 – 10 ณ 1750 rpm

(ที่มา: Robert L. Mott. 2006. Applied Fluid Mechanics 6th. Singapore: Pearson Prentice Hall. p 402)

## 6.5 ปรากฏการณ์การเกิดโพรงไอ (Cavitations) และแรงดันไอ (Vapour pressure)

### 6.6.1 ปรากฏการณ์การเกิดโพรงไอ (Cavitations)

ปรากฏการณ์การเกิดโพรงไอ คือ ปรากฏการณ์ที่น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ และมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากการขยายตัวและยุบตัวลงในภายหลัง

สำหรับการเกิดปรากฏการณ์การเกิดโพรงไอในปั๊ม เกิดขึ้นเมื่อน้ำไหลผ่านส่วนต่าง ๆ ของปั๊มนั้น น้ำมีการเปลี่ยนความเร็วในการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดที่เปลี่ยนแปลง รูปร่างลักษณะของปั๊ม และสถานการณ์อื่น ๆ ที่ส่งผลให้แรงดันของน้ำเพิ่มขึ้นและลดลงอยู่ตลอดเวลา โดยลำดับขั้นตอนในการเกิดโพรงไอ มีดังนี้

1. แรงดันของน้ำในปั๊มลดลง เนื่องจากการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงผ่านจุดที่มีพื้นที่เล็กด้วยอัตราการไหลของน้ำที่คงที่ หรือน้ำที่เคลื่อนที่อยู่บริเวณปลายใบพัดของปั๊ม ทำให้แรงดันตรงจุดนั้นของน้ำลดต่ำลงกว่าแรงดันไอของน้ำ จึงทำให้น้ำเกิดการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ หรือฟองไอที่มีแรงดันต่ำกว่าแรงดันไอ การระเหยกลายเป็นฟองไอของน้ำที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงดังกล่าวนั้น ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นจากเดิมถึงสูงสุดประมาณ 1,700 เท่า โดยมีลักษณะเป็นฟองสีขาวเคลื่อนที่อยู่ในน้ำที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และฟองไอขนาดเล็กที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า

2. เมื่อฟองไอที่เกิดขึ้นเคลื่อนที่ต่อไปและเข้าสู่ในจุดที่มีแรงดันในน้ำสูง เช่น ผ่านจุดที่มีพื้นที่หน้าตัดใหญ่ขึ้น ก็จะมีความเร็วในการเคลื่อนที่ลดลง ดังนั้น แรงดัน ณ จุดดังกล่าวจึงสูงขึ้นและไปบีบ หรือกดให้ฟองไอดังกล่าวเกิดการยุบตัว แล้วการยุบตัวนี้เกิดขึ้นอย่างรุนแรงและรวดเร็ว อัตราส่วนปริมาตรในการยุบตัวของฟองไอจากแรงกดเนื่องจากแรงดันที่เพิ่มจะกดให้ฟองไอยุบตัวกลับภายในเสี้ยววินาที

### 6.5.2 แรงดันไอ (Vapour pressure)

เมื่อโมเลกุลของน้ำได้รับพลังงานอย่างเพียงพอ โมเลกุลเหล่านั้นก็จะเกิดการเคลื่อนที่ จากนั้น โมเลกุลเหล่านั้นจะวิ่งไปชนกันเองหรือวิ่งชนผนังของภาชนะปิดก็จะเกิดแรงขึ้น ซึ่งเมื่อแรงเหล่านี้ที่กระทำต่อพื้นที่ผนัง เรียกแรงนี้ว่า แรงดัน

สำหรับในน้ำหรือของเหลวที่อุณหภูมิต่าง ๆ แรงดันดังกล่าว ณ อุณหภูมินั้น ๆ เรียกว่า แรงดันไออิ่มตัว เช่น แรงดันไออิ่มตัวของน้ำ ณ อุณหภูมิ100 °C จะเท่ากับ 1.013 bar หรือแรงดันไออิ่มตัวที่แรงดันบรรยากาศนั่นเอง ดังนั้น ที่แรงดันบรรยากาศน้ำจะเดือดหรือเริ่มระเหยตัวที่ 100 °C นั่นเอง ทั้งนี้ ของเหลวทุกชนิดจะเดือดหรือกลายเป็นไอได้นั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบคือน้ำหนักจำเพาะ ความหนาแน่น อุณหภูมิ และแรงดัน

**6.6 เฮดความดันด้านดูดสุทธิ** (Net Positive Suction Head: NPSH)

ในการทำงานของปั๊ม หากความดันทางด้านดูดมีค่าต่ำกว่าความดันของการกลายเป็นไอของของเหลวที่ปั๊มต้องดูด จะทำให้ของเหลวนั้นกลายเป็นไอและเกิดโพรงไอขึ้นภายในตัวปั๊ม แล้วจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ปั๊มได้ ดังนั้น ก่อนที่จะมีการติดตั้งปั๊มน้ำจึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาความดันด้านดูดให้มีความเหมาะสมที่ปั๊มแต่ละตัวต้องการ หรือเรียกว่า เฮดความดันด้านดูดสุทธิ (NPSH) ทั้งนี้ NPSH ของปั๊มมีอยู่ 2 ประเภท ดังนี้

1. NPSH ที่ปั๊มต้องการ (Net Positive Suction Head Required: $NPSH_R$) คือ ค่าที่ได้จากการทดสอบของบริษัทผู้ผลิต เพื่อแสดงว่าปั๊มมีสมรรถนะเท่าใด และทำให้ทราบว่าปั๊มในแต่ละรุ่นมี NPSH ที่ปั๊มต้องการเท่าใด

2. NPSH ที่มีอยู่จริง (Available Net Positive Suction Head: $NPSH_A$) คือ ค่าเฮดด้านดูดที่มีอยู่จริงตามสภาพพื้นที่สำหรับการติดตั้งปั๊มแต่ละตัว เนื่องจากปั๊มจะทำงานได้ตามที่ต้องการนั้น ค่า $NPSH_A$ จะต้องมีค่าสูงกว่าค่า $NPSH_R$ ดังนั้น ค่า $NPSH_A$ จึงเป็นค่าเฮดที่มีความสำคัญมาก

American National Standards Institute (ANSI) และ Hydraulic Institute (HI) ได้กำหนดมาตรฐานไว้ว่า $NPSH_A$ ควรที่จะมากกว่า $NPSH_R$ อยู่ 10% ($NPSH_A > 1.10\ NPSH_R$)

ค่า NPSH ขึ้นอยู่กับความดันไปของของเหลวที่เริ่มถูกปั๊ม, พลังงานที่สูญเสียไปในท่อดูด ตำแหน่งของอ่างเก็บน้ำหรือแหล่งน้ำหรือแหล่งของเหลว, และความดันที่กระทำต่อของเหลวในอ่างนั้น ดังสมการต่อไปนี้

$$NPSH_A = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp} \qquad (6.9)$$

เมื่อ $h_{SP}$ คือ เฮดความดันสัมบูรณ์สถิต (Absolute static pressure head) เหนือของเหลวในอ่าง

$$= \frac{P_{SP}}{\gamma}$$

$P_{SP}$ คือ ความดันสัมบูรณ์สถิต (Absolute static pressure) เหนือของเหลวในอ่าง

$h_S$ คือ ความแตกต่างของระดับความสูงระหว่างของเหลวในอ่างกับแนวศูนย์กลางของทางเข้าท่อดูดปั๊ม มีหน่วยเป็น m หรือ ft

ถ้าปั๊มอยู่ต่ำกว่าถังเก็บกักน้ำหรืออ่าง $h_s$ เป็น +

ถ้าปั๊มอยู่สูงกว่าถังเก็บกักน้ำหรืออ่าง $h_s$ เป็น –

$h_f$ คือ พลังงานที่สูญเสียไปในท่อดูดเนื่องจากแรงเสียดทาน (การสูญเสียหลัก) และการสูญเสียเนื่องจากอุปกรณ์ต่าง ๆ (การสูญเสียรอง) มีหน่วยเป็น m หรือ ft

$h_{VP}$ คือ เฮดความดันไอสัมบูรณ์ (Absolute vapor pressure) ของของเหลว ณ อุณหภูมิของปั๊ม มีหน่วยเป็น m หรือ ft

$$= \frac{P_{VP}}{\gamma}$$

$P_{VP}$ คือ ความดันไอสัมบูรณ์ (Absolute vapor pressure) ของของเหลว ณ อุณหภูมิของปั๊ม

### 6.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (N) ของปั๊มกับค่า NPSH

เมื่อค่า NPSH ที่ได้มาจากบริษัทผู้ผลิตเป็นข้อมูลเฉพาะที่ความเร็วรอบค่าใดค่าหนึ่ง หากนำปั๊มดังกล่าวไปใช้งานที่ความเร็วรอบที่แตกต่างจากข้อมูลที่มีนั้น จะต้องมีการปรับค่า NPSH ด้วยสมการดังต่อไปนี้

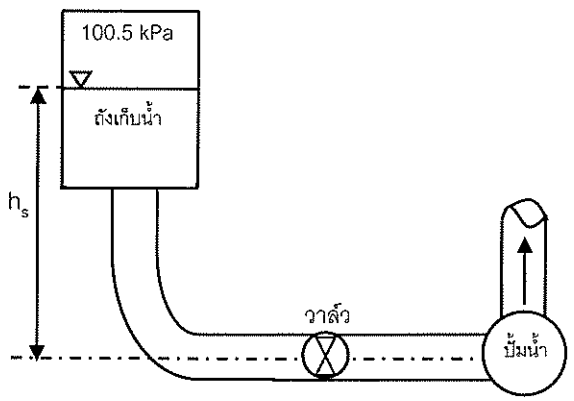
$$(NPSH)_2 = (NPSH)_1 \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \qquad (6.10)$$

เมื่อ ตัวห้อย "1" คือ สภาวะในข้อมูลที่ได้มา

ตัวห้อย "2" คือ เงื่อนไขใหม่ที่จะนำไปใช้

N มีหน่วยเป็น rpm

**ตัวอย่าง** 6.3 จงคำนวณหา $NPSH_A$ และ $NPSH_R$ เมื่อความดันเหนือน้ำ (ที่ 70°C) ในถังน้ำเท่ากับ -20 kPa ความดันบรรยากาศเท่ากับ 100.5 kPa ระดับผิวน้ำในถังอยู่สูงกว่าทางเข้าปั๊ม 2.5 m ท่อมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.0409 m (พื้นที่หน้าตัดการไหล = $1.314\ 10^{-2}$ $m^2$) ยาว 12.0 m, $\varepsilon$ = $4.6 \times 10^{-5}$ m และค่า K สำหรับข้องอ วาล์ว และทางเข้า คือ 0.63, 7.14 และ 1.0 ตามลำดับ เมื่อน้ำไหลด้วยอัตราการไหล 95 L/min น้ำหนักจำเพาะเท่ากับ 9.59 $kN/m^3$ ความหนืดจลน์เท่ากับ $4.11 \times 10^{-7}$ $m^2/s$ และ $h_{vp}$ = 3.25 m



**วิธีทำ**

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{gage}$$

$$P_{abs} = 100.5\,kPa - 20\,kPa = 80.5\,kPa$$

$$h_{sp} = \frac{P_{abs}}{\gamma} = \frac{80.5\times10^{3}\ \frac{N}{m^{2}}}{9.59\times10^{3}\ \frac{N}{m^{3}}} = 8.39\,m$$

$$h_s = 2.5\,m$$

พิจารณาหาค่า $h_f$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{95\ \frac{L}{min}}{1.314\times10^{-3}\ m^{2}} \times \frac{1\ \frac{m^{3}}{s}}{60{,}000\ \frac{L}{min}} = 1.21 m/s$$

$$Re = \frac{vD}{\upsilon} = \frac{\left(1.21\ \frac{m}{s}\right)(0.0409\,m)}{4.11\times10^{-7}\ \frac{m^{2}}{s}} = 1.20\times10^{5}$$

$$\frac{D}{\varepsilon} = \frac{0.0409\,m}{4.6\times10^{-5}\,m} = 889$$

จาก Moody Diagram จะได้ $f = 0.0225$

$$\frac{v^{2}}{2g} = \frac{\left(1.21\ \frac{m}{s}\right)^{2}}{2\times9.81\ \frac{m}{s^{2}}} = 0.0746\,m$$

$$h_f = \left(f\cdot\frac{L}{D}\cdot\frac{v^{2}}{2g}\right) + \left(K\frac{v^{2}}{2g}\right)_{\text{ข้องอ}} + \left(K\frac{v^{2}}{2g}\right)_{\text{วาล์ว}} + \left(K\frac{v^{2}}{2g}\right)_{\text{ทางเข้า}}$$

$$h_f = \left(0.0225\times\frac{12\,m}{0.0409\,m}\times0.0746\,m\right) + (0.63\times0.0746\,m) + (7.14\times0.0746\,m)$$

$$+ (1.0\times0.0746\,m)$$

$$= 1.15\ m$$

เมื่อ $h_{vp} = 3.25\ m$

ดังนั้น $NPSH_A = 8.39\ m + 2.5\ m - 1.15\ m - 3.25\ m = 6.49\ m$ ตอบ

$\therefore\ NPSH_A \rangle 1.10 NPSH_R$

$$NPSH_R < \frac{NPSH_A}{1.10}$$

$$NPSH_R < \frac{6.49\,m}{1.10} = 5.90\,m$$ ตอบ

## 6.7 การเลือกปั๊มและความเร็วจำเพาะของปั๊ม

หลักการสำหรับการเลือกตัดสินใจใช้ปั๊มที่มีความเหมาะสมกับการทำงาน โดยพิจารณาลักษณะของปั๊ม เฮด และอัตราการไหลแล้ว นอกจากนี้ ยังควรที่จะนำเงื่อนไขอื่น ๆ มาประกอบการพิจารณาด้วย เช่น ราคา ลักษณะรูปร่าง การดูด และชนิดของของเหลวที่จะต้องสูบส่ง เป็นต้น นอกจากนี้ รายละเอียดทั่วไปที่จะใช้เป็นแนวทางในการเลือกปั๊ม ดังนี้

1. ปั๊มชนิดลูกสูบ เหมาะที่จะใช้งานที่อัตราการไหลสูงสุดไม่เกิน 1900 L/min หรือ 115 $m^3$/hr หรือ 500 gal/min และเฮดที่ต่ำมาก ๆ จนถึงเฮดที่สูงมาก ๆ (15,000 m หรือ 50,000 ft)

2. ปั๊มชนิดแรงเหวี่ยง สามารถใช้งานได้ในเงื่อนไขที่กว้าง โดยส่วนมากจะใช้งานที่มีความต้องการสมรรถนะที่สูง แค่มีเฮดใช้งานพอประมาณ

3. ปั๊มชนิดแรงเหวี่ยงแบบชั้นเดียวที่ทำงานด้วยความเร็วรอบ 3,500 rpm จะประหยัดเมื่อนำไปใช้งานกับสภาวะที่มีอัตราการไหลต่ำ และเฮดพอประมาณ

4. ปั๊มชนิดแรงเหวี่ยงแบบหลายชั้น เหมาะที่จะนำไปใช้งานกับเฮดสูง ๆ

5. ปั๊มชนิดหมุน เช่น แบบเวนและแบบเฟือง เหมาะกับงานที่ต้องการสมรรถนะพอประมาณและเฮดสูง และสามารถใช้กับของไหลที่มีความหนืดสูง

6. ปั๊มชนิดแรงเหวี่ยงที่มีความเร็วรอบสูง (สูงกว่า 3,500 rpm ตามมาตรฐานของมอเตอร์ไฟฟ้า) จะเหมาะกับสภาวะที่ต้องการเฮดสูงและสมรรถนะพอประมาณ

7. ปั๊มชนิดไหลผสม และปั๊มชนิดไหลตามแนวแกน เหมาะกับสภาวะที่ต้องการอัตราการไหลสูงมาก ๆ แต่มีเฮดต่ำ ๆ

นอกจาก ปัจจัยต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้นเกี่ยวกับการเลือกปั๊ม ยังมีอีกปัจจัยหนึ่งที่ควรจะพิจารณา คือ ความเร็วจำเพาะ ($N_s$) ดังสมการต่อไปนี้

ระบบอังกฤษ $$N_s = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \qquad (6.11)$$

เมื่อ N คือ ความเร็วของใบพัด (rpm)

Q คือ อัตราการไหล (gpm)

H คือ เฮดทั้งหมด (ft)

ระบบ SI $$N_s = 51.64\frac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \qquad (6.12)$$

เมื่อ N คือ ความเร็วของใบพัด (rpm)

Q คือ อัตราการไหล ($m^3/s$)

H คือ เฮดทั้งหมด (m)

ภาพที่ 6.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วจำเพาะและขนาดจำเพาะ (Specific diameter: $D_s$) ซึ่งพบว่า

ถ้าความเร็วจำเพาะมีค่า 400 – 4,000 ควรใช้ปั้มชนิดแรงเหวี่ยง

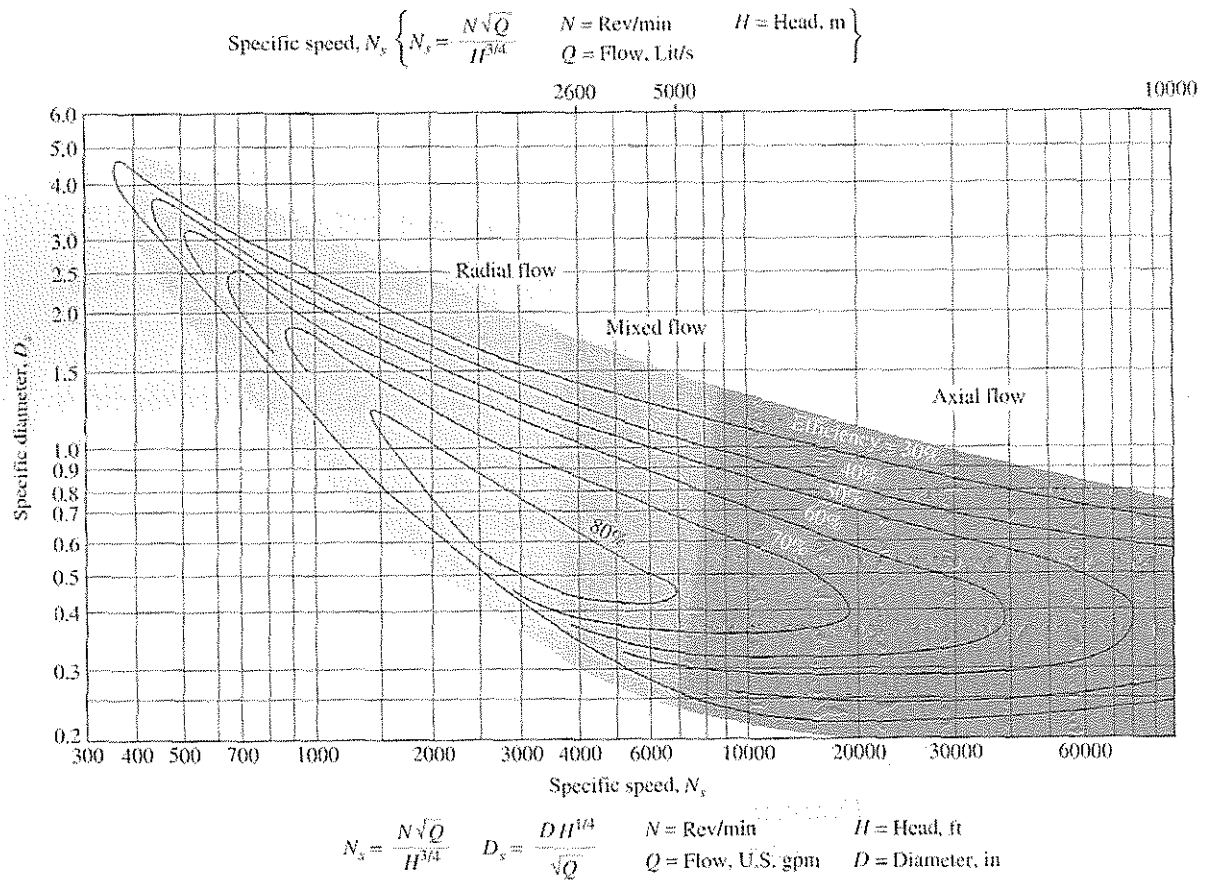
ถ้าความเร็วจำเพาะมีค่า 4,000 – 7,000 ควรใช้ปั้มชนิดไหลผสม

ถ้าความเร็วจำเพาะมีค่า 7,000 – 60,000 ควรใช้ปั้มชนิดไหลตามแกน

โดยขนาดจำเพาะ ($D_s$) สามารถหาค่าได้จากสมการต่อไปนี้

$$D_s = \frac{DH^{1/4}}{\sqrt{Q}} \tag{6.13}$$

เมื่อ D คือ ขนาดของใบพัด มีหน่วยเป็น in (Impeller diameter)




**ภาพที่** 6.6 ความเร็วจำเพาะกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจำเพาะสำหรับปั้มแรงเหวี่ยง

(ที่มา: Robert L. Mott. 2006. Applied Fluid Mechanics 6th. Singapore: Pearson Prentice Hall. p 431)

## 6.8 การต่อปั๊มแบบขนานและแบบอนุกรม

ในบางกรณี มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ปั๊มหลายตัวเพื่อเพิ่มอัตราการไหลหรือเพิ่มระดับความสูงที่ต้องการจะยกน้ำให้สูงขึ้น เนื่องจากหากใช้ปั๊มเพียงตัวเดียวจะไม่สามารถสูบหรือยกน้ำให้สูงได้ตามที่ต้องการ โดยทั่วไป หากมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ปั๊มปั๊มหลายตัว ระบบในการติดตั้งปั๊มมีอยู่ 2 แบบ คือ

### 6.8.1 การต่อปั๊มแบบขนาน

การต่อปั๊มแบบขนานใช้ในกรณีที่ต้องการทำให้ได้อัตราการไหลที่เพิ่มมากขึ้น แต่จะไม่ทำให้ความดันเพิ่มขึ้น (ระดับความสูงที่จะยกขึ้นคงที่) เช่น ถ้าต่อขนานสามตัว อัตราการไหลจะเพิ่มขึ้นเป็นสามเท่าในขณะที่ความดันยังคงที่

### 6.8.2 การต่อปั๊มแบบอนุกรม

การต่อปั๊มแบบอนุกรมใช้ในกรณีที่ต้องการทำให้ได้ความดันที่เพิ่มมากขึ้น (ระดับความสูงที่จะยกขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้น) แต่จะไม่ทำให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้น เช่น ถ้าต่ออนุกรมสามตัว ความดันจะเพิ่มขึ้นเป็นสามเท่าในขณะที่อัตราการไหลยังคงที่

**ตัวอย่าง** 6.4 ในการใช้ปั๊มน้ำ 1 ตัว จะสามารถสูบน้ำได้ในอัตรา 1600 gpm ที่เฮด 900 ft กำหนดให้ ความเร็วจำเพาะของปั๊มเท่ากับ 500 จงคำนวณหา

(ก) ความเร็วรอบต่ำสุดที่ต้องใช้

(ข) จำนวนปั๊มที่จะต้องใช้และลักษณะการต่อปั๊ม เมื่อความเร็วรอบ 600 rpm

**วิธีทำ**

(ก) จาก $N_s = \dfrac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$

$$N = \frac{N_s H^{3/4}}{\sqrt{Q}} = \frac{500 \times (900\ \text{ft})^{3/4}}{\sqrt{1{,}600\text{gpm}}} = 2{,}054\text{rpm}$$ ตอบ

(ข) จาก $H^{3/4} = \dfrac{N\sqrt{Q}}{N_s}$

$$H^{3/4} = \frac{600\sqrt{1{,}600\text{rpm}}}{500} = 48$$

$H = 175$ ft

ดังนั้น ต้องต่ออนุกรม โดยมีจำนวนชั้น $= \dfrac{900\ \text{ft}}{175\ \text{ft}} = 5.14$

เลือกใช้ปั๊มที่ต่ออนุกรมกัน 6 ตัว ตอบ

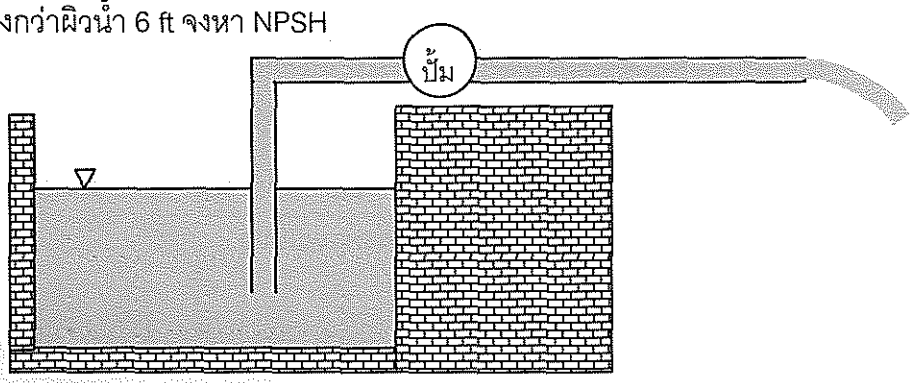
**แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 6**

1. ปั๊มถูกสร้างขึ้นมาเพื่อลำเลียงน้ำที่ระดับความสูง 120 m มีขนาดใบพัด 1.8 m และมีอัตราการไหล 5.7 $m^3/s$ ณ ความเร็ว 200 rpm ในการทดสอบปั๊มจึงได้จำลองแบบปั๊มขึ้นมาด้วยอัตราการไหล 0.57 $m^3/s$ จงคำนวณหาความเร็วรอบ (rpm) และเฮด (m) ของปั๊มแบบจำลอง เมื่อทั้งปั๊มของจริงและที่จำลองมามีประสิทธิภาพที่เท่ากัน

2. ปั๊มแรงเหวี่ยง มีอัตราการไหล 0.02 $m^3/s$ เฮด 16.8 m ณ ความเร็ว 1,500 rpm มีขนาดใบพัด 0.32 m และกำลังงาน 4.5 kW เมื่อจำลองแบบปั๊มดังกล่าวนี้ด้วยขนาดใบพัด 0.38 m ณ ความเร็ว 1,750 rpm เมื่อประสิทธิภาพเท่ากัน จงคำนวณหาเฮดที่ผลิตได้ อัตราการไหล และกำลังงาน ที่ได้

3. ปั๊มสามารถลำเลียงน้ำได้ด้วยอัตรา 6 $ft^3/m$ ณ 2000 rpm ใบพัดของปั๊มมีขนาด 5 in จงคำนวณอัตราการไหล เมื่อใบพัดของปั๊มมีขนาด 4 in ณ 2200 rpm

4. จากภาพ ปั๊มสูบน้ำที่อุณหภูมิ 80°F ด้วยอัตรา 2 cfs ท่อด้านเข้ามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 in และปั๊มอยู่สูงกว่าผิวน้ำ 6 ft จงหา NPSH



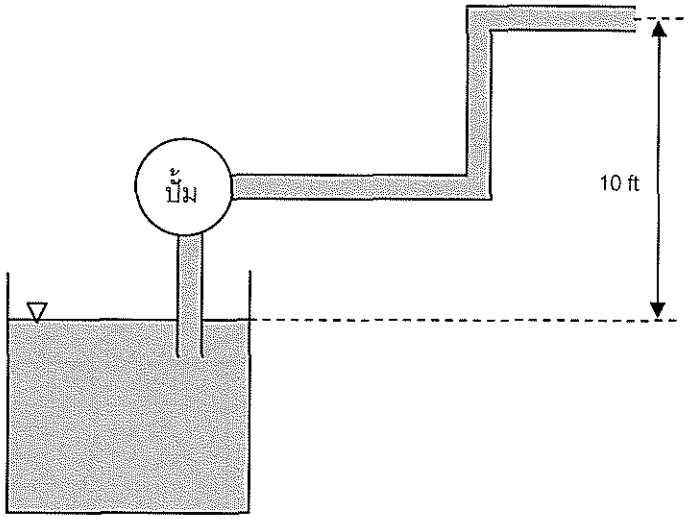

5. ปั๊มสามารถลำเลียงน้ำที่ระดับความสูง 120 m มีขนาดใบพัด 1.8 m และมีอัตราการไหล 5.7 $m^3/s$ ณ ความเร็ว 200 rpm จงคำนวณหาความเร็วจำเพาะ

6. ปั๊มที่ถูกออกแบบมาที่ 1800 rpm ด้วยประสิทธิภาพ 87% และลำเลียงน้ำด้วยอัตรา 250 L/s (4,000 gpm) ซึ่งจะใช้กำลังงาน 141 kW (189.5 hp) จงคำนวณหาความเร็วจำเพาะ

7. ปั๊มที่ถูกออกแบบมาที่ 690 rpm ด้วยประสิทธิภาพ 78% ลำเลียงน้ำด้วยอัตรา 285 L/s (4,500 gpm) ซึ่งจะใช้กำลังงาน 5.2 kW (7 hp) ภายใต้เฮด 1.5 m (5 ft) จงคำนวณหาความเร็วจำเพาะ

8. ปั๊มที่ถูกออกแบบมาที่ 1200 rpm สูบน้ำด้วยอัตรา 500 L/s ที่เฮด 10 m ถ้าปั๊มนี้มีความเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 1500 rpm จงคำนวณหาอัตราการสูบ เมื่อมีเฮดเท่ากัน และจงคำนวณหาค่าความเร็วจำเพาะของปั๊มนี้

9. จากภาพ เมื่อท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 in ยาว 1000 ft ($f = 0.0205$) ถูกใช้เพื่อลำเลียงน้ำด้วยอัตรา 1000 gpm ขึ้นสูง 10 ft และความดันที่ออกจากปลายท่อนี้ต้องมีความดัน 10 psi จงคำนวณหาเฮดที่ปั๊มจะต้องให้กับระบบนี้

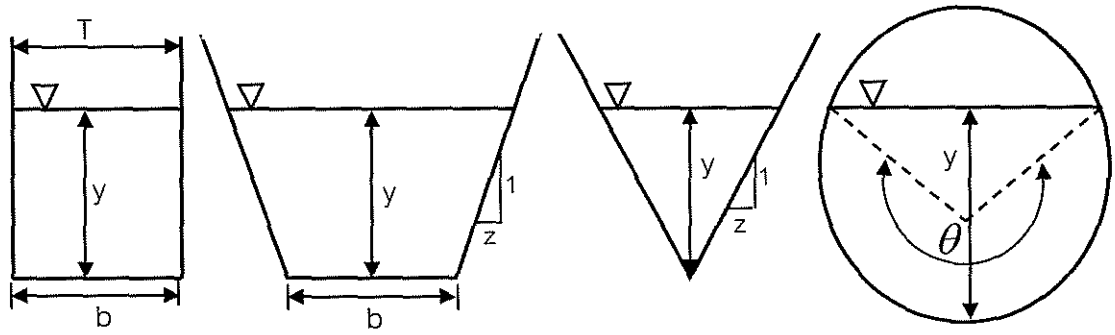



10. เมื่อต้องการสูบน้ำด้วยอัตรา 0.02 $m^3/s$ ที่เฮด 129 m ณ 3600 rpm กำหนดให้ประสิทธิภาพของปั๊มที่ยอมรับได้ เมื่อความเร็วจำเพาะอยู่ในช่วง 20 - 80 จงคำนวณหาจำนวนปั๊มที่จะต้องใช้และลักษณะการต่อปั๊ม

# บทที่ 7
# การไหลในทางน้ำเปิด

การไหลในทางน้ำเปิด คือ การไหลที่ผิวของเหลวนั้นเปิดสู่บรรยากาศ เช่น การไหลในแม่น้ำ ลำคลอง หรือการไหลในท่อแบบไม่เต็มท่อ เป็นต้น

ทั้งนี้ หากพิจารณาการไหลในทางน้ำที่มีหน้าตัดคงที่ ลักษณะทางเรขาคณิตของทางน้ำสามารถหาค่าได้จากภาพที่ 7.1 และตารางที่ 7.1




**ภาพที่** 7.1 หน้าตัดการไหลแบบต่าง ๆ

## 7.1 การจำแนกประเภทของการไหล

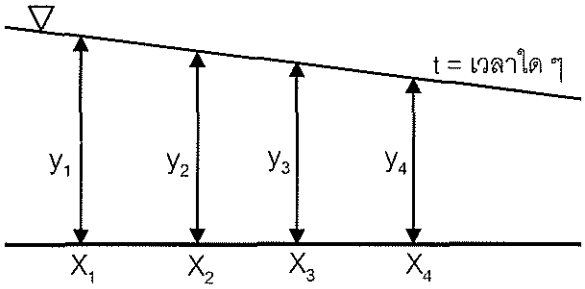
การจำแนกประเภทของการไหล สามารถพิจารณาได้ 2 เกณฑ์ คือ

### 7.1.1 เกณฑ์ของเวลา

การพิจารณาด้วยเกณฑ์ของเวลานั้นจะพิจารณาว่า ณ เวลาต่าง ๆ ของการไหลมีความเร็วของการไหลเปลี่ยนแปลงหรือไม่ โดยรูปแบบของการไหลมี 2 แบบ คือ การไหลคงตัว และการไหลไม่คงตัว ดังนี้

การไหลคงตัว (Steady flow) คือ การไหลที่มีความเร็วของการไหลไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ($\frac{dv}{dt} = 0$) นั่นคือ การไหลของน้ำนิ่ง ซึ่งทำให้ความลึกการไหล (y) ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

ณ เวลา $t_1$ มีความลึกการไหล $y_1$, $y_2$, $y_3$, $y_4$ และ ณ เวลา $t_2$ ก็มีความลึกการไหล $y_1$, $y_2$, $y_3$, $y_4$ เช่นกัน ซึ่ง $y_1 = y_2 = y_3 = y_4$ หรือ $y_1 \neq y_2 \neq y_3 \neq y_4$ ก็ได้ ดังภาพที่ 7.2




**ภาพที่** 7.2 ตัวอย่างความลึกการไหลแบบการไหลคงตัว

**ตารางที่** 7.1 ลักษณะทางเรขาคณิตของทางน้ำ

| หน้าตัด | สัญลักษณ์ | สี่เหลี่ยม | สี่เหลี่ยมคางหมู | สามเหลี่ยม | วงกลม |
|---|---|---|---|---|---|
| พื้นที่หน้าตัด | A | $by$ | $(b+zy)y$ | $zy^2$ | $\frac{1}{8}(\theta-\sin\theta)D^2$ |
| เส้นขอบเปียก | P | $b+2y$ | $b+2y\sqrt{1+z^2}$ | $2y\sqrt{1+z^2}$ | $\frac{1}{2}\theta D$ |
| รัศมีชลศาสตร์ | R | $\frac{by}{b+2y}$ | $\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$ | $\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$ | $\frac{1}{4}\left(1-\frac{\sin\theta}{\theta}\right)D$ |
| ความกว้างของหน้าตัดการไหล | T | b | $b+2zy$ | $2zy$ | $D\sin\frac{\theta}{2}$ |
| ความลึกชลศาสตร์ | D | y | $\frac{(b+zy)y}{(b+2zy)}$ | $\frac{y}{2}$ | $\left(\frac{\theta-\sin\theta}{\sin\frac{\theta}{2}}\right)\frac{D}{8}$ |

การไหลไม่คงตัว (Unsteady flow) คือ การไหลที่มีความเร็วของการไหลเปลี่ยนแปลงตามเวลา ($\frac{dv}{dt}\neq 0$) นั่นคือ ความลึกการไหลจะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

ณ เวลา $t_1$ มีความลึกการไหล $y_1$, $y_2$, $y_3$, $y_4$ และ ณ เวลา $t_2$ ก็มีความลึกการไหล $y_1', y_2', y_3', y_4'$ ซึ่ง $y_1 \neq y_1', y_2 \neq y_2', y_3 \neq y_3', y_4 \neq y_4'$ นอกจากนี้ $y_1 = y_2 = y_3 = y_4$ ก็ได้