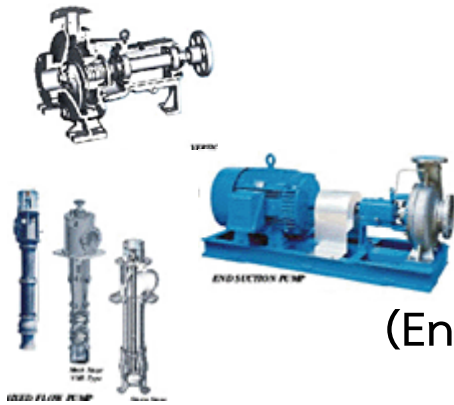




บทที่ 5

การอนุรักษ์พลังงานสำหรับเครื่องสูบน้ำ

(Energy conservation of water pump)

ความสำคัญ

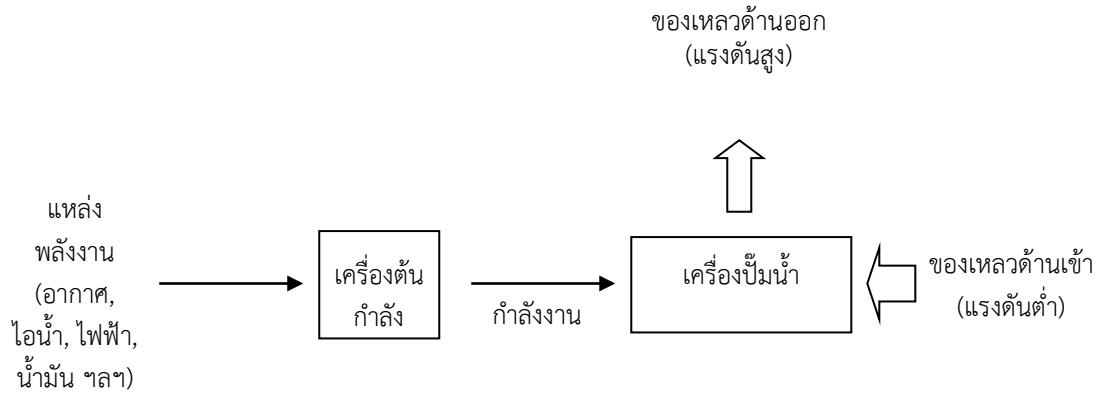
เครื่องสูบน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยสูบน้ำหรือทำให้น้ำเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง ปัจจุบันเครื่องสูบน้ำเป็นอุปกรณ์ที่มีความจำเป็นสำหรับบ้านพักอาศัยโดยเฉพาะอาคารชุดหรืออาคารที่มีความสูงหลายชั้น เครื่องสูบน้ำทำงานโดยใช้พลังงานไฟฟ้า ความรู้ และความเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องสูบน้ำ จะช่วยให้ทราบถึงแนวทางในการใช้งาน และบำรุงรักษาเครื่องสูบน้ำอย่างถูกวิธีจะทำให้ประหยัดน้ำและไฟฟ้า

วัตถุประสงค์

1. ทราบชนิด และหลักการทำงานของเครื่องสูบน้ำ
2. ทราบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องสูบน้ำ
3. ทราบวิธีการสำรวจ และประเมินประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องสูบน้ำ
4. สามารถประเมินประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องสูบน้ำจากตัวอย่างข้อมูลการสำรวจ
5. ทราบแนวทางการอนุรักษ์พลังงานของเครื่องสูบน้ำ

5.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องสูบน้ำ

เครื่องสูบน้ำหรือ ปั๊มน้ำ เป็นอุปกรณ์สำหรับขับเคลื่อนของเหลวหรือก๊าซผ่านทางระบบท่อนปิด (Pipe) ไปสู่จุดหมายการใช้งานที่ต้องการโดยการเพิ่มความดัน และเพิ่มพลังงานให้แก่ของไหลนั้นๆ เป็นผลให้ของไหลนั้นเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง หรือจากระดับหนึ่งไปยังอีกระดับหนึ่ง แต่กลไกที่ใช้ในการเพิ่มพลังงานให้ของเหลวไม่ได้จำกัดอยู่เฉพาะใบพัด อาจเป็นได้ทั้งใบพัด (Impeller) เกลียว (Screw) ลูกสูบ (Piston) ไดอะแฟรม (Diaphragm) เฟือง (Gear) และกลไกอื่น ๆ ซึ่งสามารถที่จะถ่ายทอดพลังงานให้กับของเหลวได้ ซึ่งเครื่องแต่ละแบบมีความเหมาะสมในการใช้งานต่าง ๆ แตกต่างกันไป การเลือกใช้จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องอีกมากมายหลายอย่าง ดังรูปที่ 5-1



รูปที่ 5-1 การเปลี่ยนแปลงพลังงานในการเพิ่มแรงดันให้แก่ของไหล

5.2 ประเภทของเครื่องสูบน้ำ

ปั๊มน้ำสามารถจัดแบ่งประเภทได้หลายรูปแบบ และมีการเรียกชื่อแตกต่างกันออกไปมากมาย ซึ่งแต่นิยามแบ่งมีอยู่ 2 แบบด้วยกัน คือ

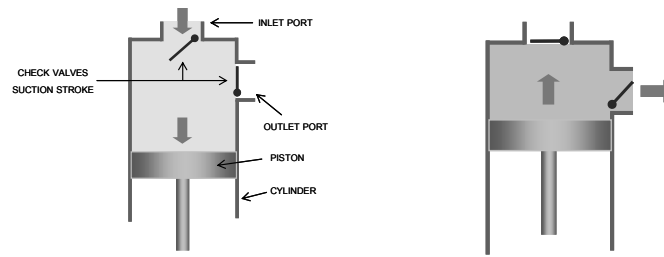
5.2.1 แยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลว หรือการไหลของของเหลวในปั๊ม ซึ่งได้แก่

- **ประเภทแบบปั๊มแรงเหวี่ยง (Centrifugal Pump)** เป็นปั๊มที่มีการทำงานโดยการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ปั๊มแบบนี้บางครั้งเรียกว่าเป็นแบบ Roto - dynamic
- **ประเภทโรตารี (Rotary Pump)** เป็นปั๊มที่มีการทำงานโดยการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยการหมุนของฟันเฟืองรอบแกนกลาง
- **ประเภทลูกสูบ (Reciprocating Pump)** เป็นปั๊มที่มีการทำงานโดยการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยการอัดโดยตรงในกระบอกสูบ
- **ประเภทพิเศษ (Special Pump)** เป็นปั๊มที่มีลักษณะพิเศษไม่สามารถจัดให้อยู่ในสามประเภทข้างต้นได้

5.2.2 แยกตามลักษณะการขับเคลื่อนของเหลวในปั๊ม ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ

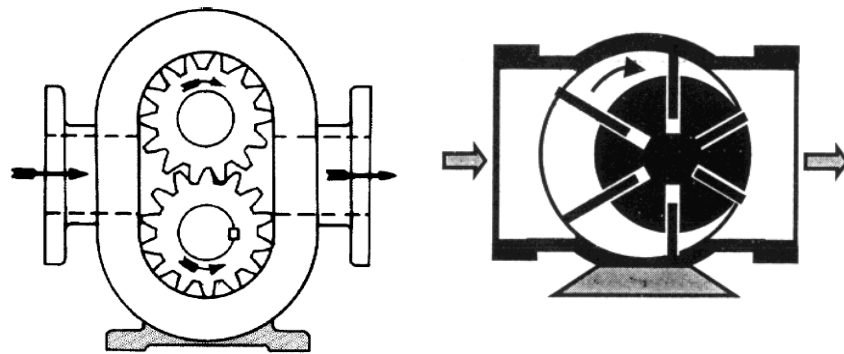
- **ปริมาตรแทนที่เชิงบวก หรือแทนที่โดยตรง (Positive Displacement)**
ปั๊มน้ำประเภทปริมาตรแทนที่เชิงบวก หรือแทนที่โดยตรง เป็นปั๊มชนิดที่มีการถ่ายเทพลังงานให้แก่ของไหลแบบไม่ต่อเนื่อง โดยการดูดของไหลเข้าไปในห้องปิดแล้วลดปริมาตรของห้องนั้นให้เล็กลงเพื่อให้ความดันเพิ่มขึ้น โดยปั๊มที่จัดอยู่ในประเภทนี้ คือ ปั๊มลูกสูบ (Reciprocating Pump) และปั๊มโรตารี (Rotary Pump) ปั๊มชนิดนี้จะจ่ายของไหลด้วยปริมาตรที่แน่นอนค่าหนึ่งต่อการหมุนรอบหนึ่งของเพลลา และสามารถรับความดันที่สูงขึ้นในระบบได้ดี ปั๊มประเภทนี้เหมาะสำหรับสูบของไหลในปริมาณที่ไม่มากนัก แต่ต้องการเสถียรในระบบที่สูง

ปั๊มแบบลูกสูบจะมีลักษณะการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา โดยมีลูกสูบทำหน้าที่ในการอัดของไหลภายในกระบอกสูบให้มีความดันสูงขึ้น ของเหลวที่ใช้ปั๊มประเภทนี้จะต้องมีความสะอาดเพียงพอที่ไม่ทำให้ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ภายในกระบอกสูบเกิดการสึกหรอที่เร็วขึ้น การอัดตัวของของไหลแต่ละครั้งจะเป็นจังหวะตามการเคลื่อนที่กลับไปมาของลูกสูบ ไม่มีการต่อเนื่องกันจึงทำให้การไหลของของไหลมีลักษณะเป็นห้วง ๆ (Pulsation)



รูปที่ 5-2 ลักษณะการทำงานของปั๊มลูกสูบในจังหวะดูด (ซ้าย) และจังหวะจ่าย (ขวา)

ปั๊มโรตารีทำงานโดยเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยการหมุนของชิ้นส่วนที่ เรียกว่า โรเตอร์รอบแกนกลาง ซึ่งหมุนเพื่อทำให้เกิดความแตกต่างของความดันภายในระบบของเหลวจะถูกดูดเข้า และอัดให้เกิดแรงดันสูงขึ้นแล้วปล่อยออกมาทางด้านปล่อย การหมุนของโรเตอร์ จะก่อให้เกิดการแทนที่ของ ของเหลวขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ของไหลที่ไหลผ่านปั๊มมีอัตราการไหลอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ปั๊มแบบนี้จะมี อัตราการสูบต่ำกว่าปั๊มประเภทอื่น ๆ เนื่องจากอัตราการแทนที่ของเหลวมีค่าต่ำ

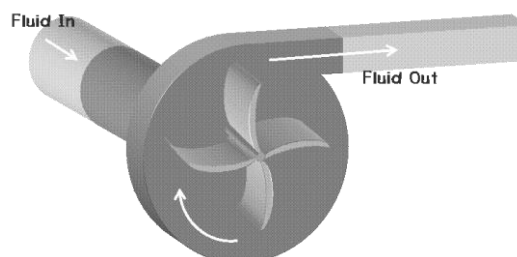


รูปที่ 5-3 ปั๊มโรตารีชนิดปั๊มเฟือง (ซ้าย) และปั๊มแบบแผ่นกวาด (ขวา)

- ไคเนติกส์ (Kinetic) หรือปริมาตรแทนที่ไม่เชิงบวก (Non-positive Displacement)

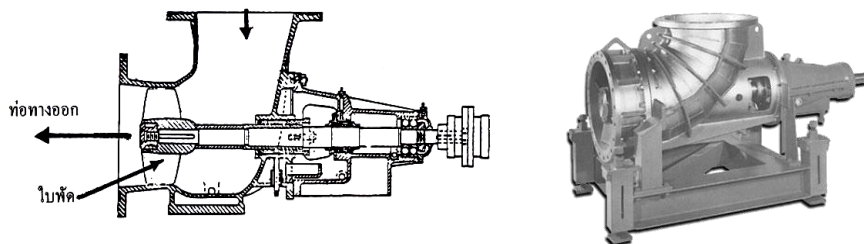
ปั๊มน้ำประเภทไคเนติกส์ เป็นปั๊มชนิดที่มีการถ่ายเทพลังงานอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มความเร็ว ให้แก่ของไหล โดยการใช้ใบพัดที่หมุนด้วยความเร็วสูงส่งถ่ายพลังงานเข้าสู่ของไหลโดยตรง ไม่มีการกักไว้ใน ช่วงขณะใดเลย โดยปั๊มที่จัดอยู่ในประเภทนี้ได้แก่ ปั๊มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Pump) ปั๊มแบบ ไหลตามแกน (Axial Flow Pump) และปั๊มแบบไหลผสม (Mixed Flow Pump)

ปั๊มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง นิยมใช้อย่างแพร่หลาย ชิ้นส่วนที่หมุนอยู่ในเรือนปั๊มจะทำให้ เกิดการขับเคลื่อนของไหล ของไหลที่ถูกสูบจะไหลผ่านเข้าสู่ช่องทางเข้าซึ่งขนานกับพื้นระนาบ และถูกผลักดัน ออกไปตามแนวรัศมีของใบพัด ตั้งฉากกับเพลลา ดังรูปที่ 5-4



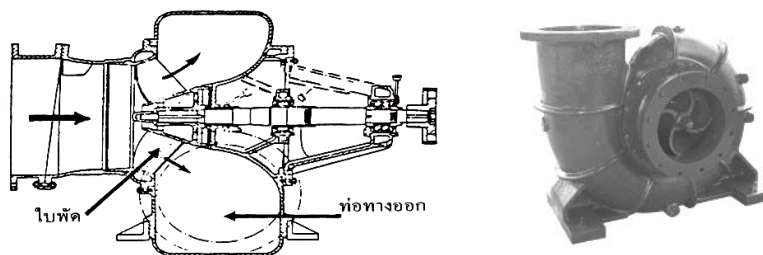
รูปที่ 5-4 ลักษณะการทำงานของ Centrifugal Pump

ปั๊มแบบไหลตามแกนทำงานโดยให้ของเหลวไหลเข้าและออกขนานกับเพลลา สามารถใช้ได้กับของไหลที่มีสารแขวนลอยปะปนมาด้วย นิยมใช้มากในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งต้องการความดันต่ำ ๆ แต่มีอัตราการไหลสูง ดังรูปที่ 5-5



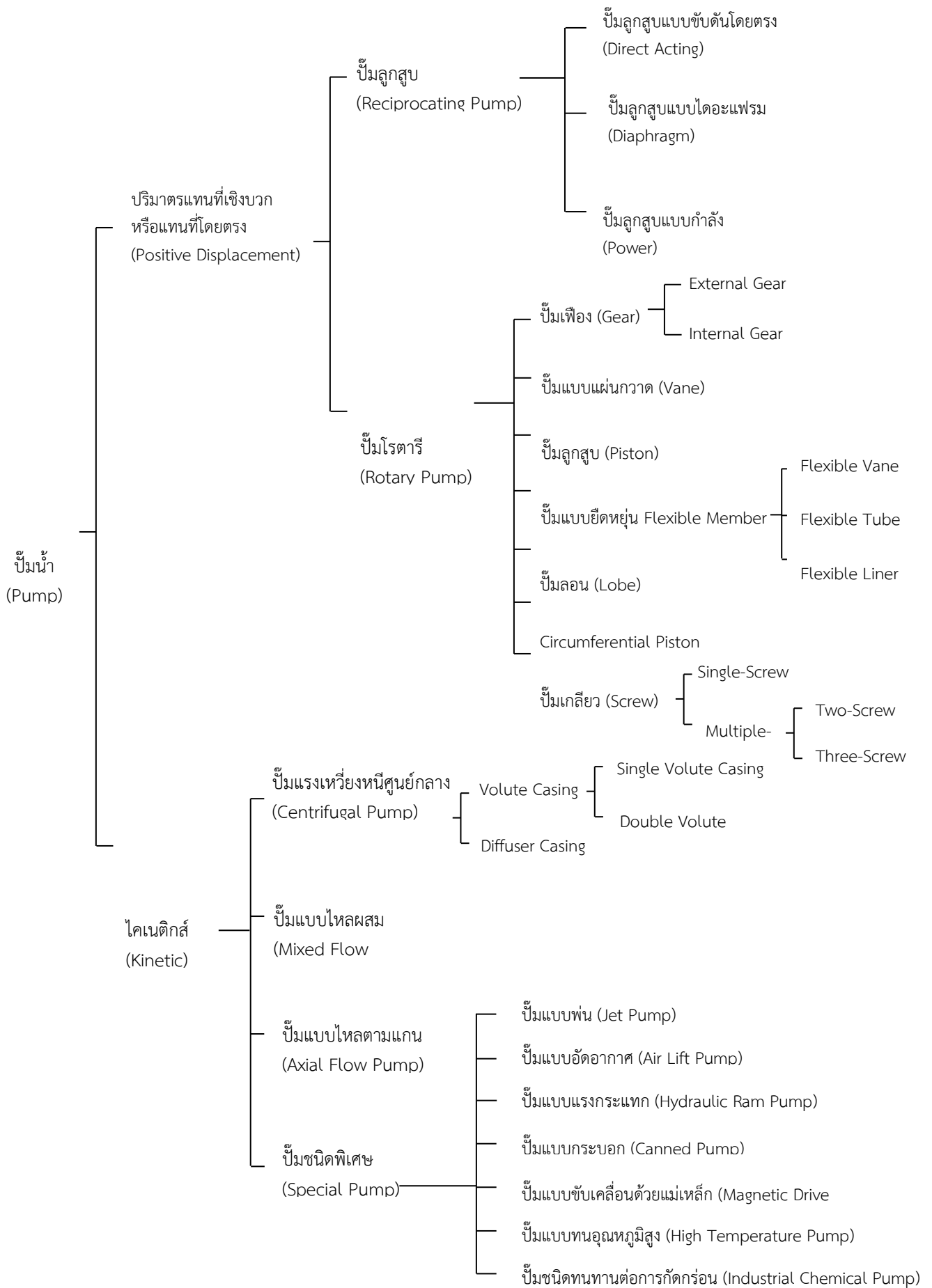
รูปที่ 5-5 ปั๊มแบบไหลตามแกน Axial Flow Pump

ปั๊มแบบไหลผสมจะขับเคลื่อนของเหลวที่ไหลเข้ามาในทิศทางขนานกับเพลลา ให้ไหลออกจากปั๊มโดยทำมุมกับเพลลาตั้งแต่ 45 – 80 องศา การไหลทั้งในแนวแกน และในแนวรัศมีของใบพัดจะทำให้เกิดแรงในแนวรัศมี และแรงในแนวแกนขึ้น ช่วยในการขับเคลื่อนของไหล นิยมใช้กับงานที่ต้องการความดันต่ำ ๆ แต่มีอัตราการไหลสูง ดังรูปที่ 5-6



รูปที่ 5-6 ปั๊มแบบผสม Mixed Flow Pump

จากวิธีจำแนกประเภทของปั๊มน้ำที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปเป็นแผนภูมิการจำแนกประเภทปั๊มน้ำตามวิธีข้างต้นได้ดังรูปที่ 5-7



รูปที่ 5-7 การจำแนกประเภทของปั๊มน้ำ

5.3 เฮด (Head)

การเข้าใจถึงพลังงานของของไหลเป็นสิ่งจำเป็นในการวิเคราะห์การทำงาน และการกำหนดขนาดของปั๊ม พลังงานของของไหลประกอบด้วยพลังงานสามส่วนคือ พลังงานเนื่องจากความดันของของไหล พลังงานจลน์เนื่องจากความเร็วของของไหล และพลังงานศักย์เนื่องจากความสูง พลังงานทั้งสามส่วนนี้จะมีหน่วยในการคำนวณเป็นหน่วย จูล (J)

เมื่อนำพลังงานของไหลมาคำนวณเทียบกับน้ำหนักของของไหล จะมีหน่วยเป็นความสูงของของไหล และเรียกว่าเฮด มีหน่วยเป็นเมตร (m) ในระบบ SI หรือ นิ้ว (in) ในระบบอังกฤษ เฮดทั้งหมดที่ใช้ในการวิเคราะห์ในระบบปั๊มน้ำหรือ Total Dynamic Head (TDH) ประกอบด้วยพลังงานสามส่วนของของไหลของไหลที่กล่าวมาข้างต้นและพลังงานที่สูญเสียไปในระหว่างการไหล กล่าวคือ เฮดความดัน เฮดความเร็ว เฮดความสูง และเฮดการสูญเสียรวม

5.3.1 เฮดความดัน (Pressure Head, H_p)

ค่าความดันนอกจากจะบอกเป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เช่น นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) หรือ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) แล้ว ถ้าเป็นความดันของของเหลวก็มักจะนิยมบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวที่จะก่อให้เกิดความดันที่กำหนดบนผิวหน้าซึ่งรองรับแท่งของเหลวนั้น ความดันซึ่งบอกเป็นแท่งความสูงของของเหลวนี้นี้เรียกว่า เฮดความดัน (Pressure Head) โดยความสัมพันธ์ระหว่างความดัน P และเฮดความดัน H_p คือ

$$H_p = \frac{P}{\gamma} = \frac{P}{\rho g} \quad (5-1)$$

เมื่อ γ คือ น้ำหนักจำเพาะ มีหน่วยเป็น N/m^3

ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว มีหน่วยเป็น kg/m^3

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก มีหน่วยเป็น m/s^2

5.3.2 เฮดความเร็ว (Velocity Head, H_v)

ของเหลวที่ไหลในท่อหรือทางน้ำเปิดด้วยความเร็วใด ๆ นั้นมีพลังงานจลน์อยู่ พลังงานส่วนนี้เมื่อบอกในรูปของเฮดความเร็ว คือ

$$H_v = \frac{V^2}{2g} \quad (5-2)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วของการไหล มีหน่วยเป็น m/s

เฮดความเร็วอาจให้คำจำกัดความอีกอย่างหนึ่งว่า เป็นความสูงที่ของเหลวตกลงมาด้วยแรงดึงดูดของโลก จนได้ความเร็วเท่ากับความเร็วในการไหลของของเหลวนั้น

5.3.3 เฮดสถิตย (Potential Head, Z)

เฮดสถิตย คือระยะทางตามแนวตั้งของของเหลวที่ไหลผ่านท่อหรือทางน้ำเปิดซึ่งมีพลังงานศักย์อยู่ภายใน พลังงานศักย์ส่วนนี้ สามารถเขียนในรูปเฮดความสูงได้เป็น

$$\text{เฮดความสูง} = Z \quad (5-3)$$

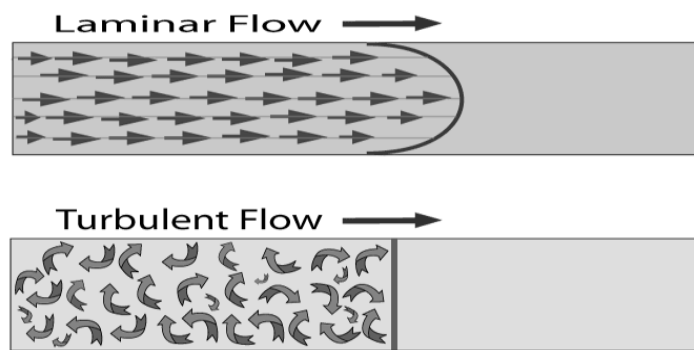
5.3.4 เฮดการสูญเสียรวม (Total Head Loss, H_L)

Osborne Reynolds วิศวกรชาวฝรั่งเศสได้ทำการทดลองเพื่อแบ่งรูปแบบการไหลของของไหล โดยกำหนดตามอัตราส่วนของแรงเฉื่อย ต่อแรงหนืด (หรือแรงที่เกิดเนื่องจากความฝืดของของไหล) และเรียกอัตราส่วนของแรงเฉื่อยกับแรงหนืดนี้ว่า ค่าเรย์โนลด์ (Re) คำนวณได้จากสมการ

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} = \frac{VD}{\nu} \quad (5-4)$$

เมื่อ V = ความเร็วการไหลในท่อ (m/s)
 D = ขนาดวัดผ่านศูนย์กลางท่อ (m)
 ρ = ความหนาแน่นของไหล (kg/m³)
 μ = ความหนืดสมบูรณ์ (N.s/m²)
 ν = ความหนืดจลน์ (m²/s)

ถ้าค่า $Re \leq 2000$ ถือว่าเป็นการไหลแบบราบเรียบ
 $Re \geq 4000$ ถือว่าเป็นการไหลแบบปั่นป่วน
 $2000 \leq Re \leq 4000$ ถือว่าเป็นการไหลที่อยู่ในช่วงการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 5-8 ลักษณะการไหลแบบราบเรียบ (บน) และแบบปั่นป่วน (ล่าง)

ในขณะที่ของเหลวไหลผ่านระบบท่อทั้งทางด้านดูด และด้านจ่าย พลังงานหรือเฮดในการไหลส่วนหนึ่ง จะสูญเสียไปเนื่องจากความฝืดระหว่างของเหลวกับผนังภายในของท่อ และพลังงานหรือเฮดในการไหลอีกส่วน หนึ่งจะสูญเสียไปเนื่องจากการสูญเสียพลังงานจลน์เมื่อไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ผลรวมของการสูญเสียพลังงาน หรือเฮดทั้งสองส่วนนี้รวมเรียกว่าเฮดการสูญเสียรวม

การเสียเฮดความฝืดหรือการสูญเสียหลัก

เมื่อของเหลวไหลภายในท่อจะเกิดแรงเสียดทานระหว่างผนังท่อกับของเหลว ซึ่งแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น จะทำให้เกิดความดันสูญเสียของของเหลวภายในท่อ การสูญเสียพลังงานในลักษณะนี้เรียกว่าการเสียเฮดความ ฝืดหรือการสูญเสียหลัก (Major Losses) โดยสามารถคำนวณได้จากวิธีคำนวณของ Darcy – Weisbach

$$H_{Lf} = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (5-5)$$

เมื่อ H_{Lf} = เฮดของการสูญเสียเนื่องจากความฝืด หรือเฮดการสูญเสียหลัก (m)
 f = ตัวประกอบความเสียดทาน

L = ความยาวท่อ (m)

D = ขนาดวัดผ่านศูนย์กลางท่อ (m)

V = ความเร็วของการไหล (m/s)

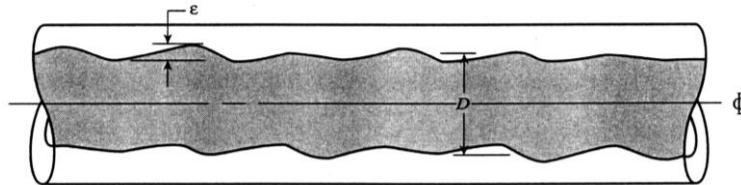
ค่าตัวประกอบความเสียดทาน f ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของท่อ ลักษณะการไหลว่าเป็นแบบราบเรียบหรือแบบปั่นป่วน และความขรุขระของผนังท่อ (ϵ)

ในกรณีที่การไหลเป็นแบบราบเรียบ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสามารถหาได้จากสมการ

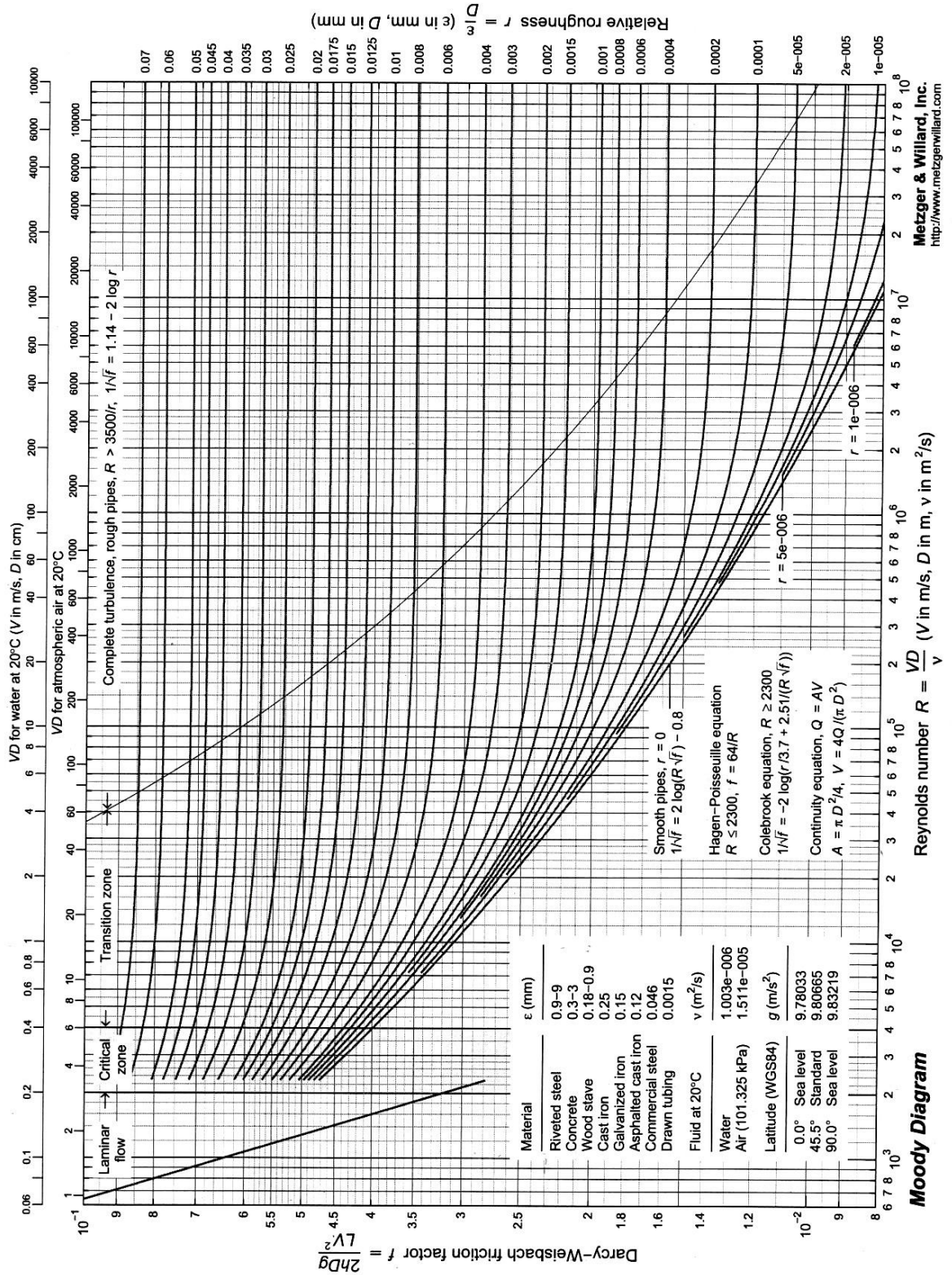
$$f = \frac{64}{Re} \quad (\text{Laminar Flow, } Re \leq 2,000) \quad (5-6)$$

สำหรับการไหลเป็นแบบปั่นป่วนที่มีค่าเรย์โนลด์มีค่ามากกว่าประมาณ 4,000 นั้น ค่าตัวประกอบความเสียดทาน f ก็จะขึ้นอยู่กับทั้ง Re และอัตราส่วนระหว่างความขรุขระของผนังท่อต่อความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (ϵ/D) ค่าความขรุขระของผนังท่อ (ϵ) ขึ้นอยู่กับชนิดของท่อดังตารางที่ 5-1 และการหาค่าตัวประกอบความเสียดทาน f นั้นสามารถหาได้จากแผนภาพมูดี (Moody Diagram) ดังแสดงในรูป 5-9

ตารางที่ 5-1 ค่าความขรุขระของผนังท่อ



Pipe Material	Absolute Roughness (ϵ)	
	Feet	Millimeters
Glass or plastic	0.0 (smooth)	0.0 (smooth)
Drawn tubing	0.000005	0.0015
Commercial steel or wrought iron	0.00015	0.045
Galvanized iron	0.0005	0.15
Cast iron	0.00085	0.26
Wood stave	0.0006–0.003	0.18–0.90
Concrete	0.001–0.01	0.3–3.0
Riveted steel	0.003–0.03	0.9–9.0



รูปที่ 5-9 แผนภาพมูดี้ (Moody Diagram)

ตัวอย่างที่ 5-1 ท่อเหล็กหล่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. ยาว 400 ม. ใช้ส่งน้ำที่อุณหภูมิ 20 °C ด้วยอัตราการไหล 74.2 ลิตร/วินาที จงหาค่าเฮดการสูญเสียหลักในท่อ

วิธีทำ จากตารางที่ 2-1 ท่อเหล็กหล่อมีค่า $\epsilon = 0.26 \text{ mm}$
ความขรุขระสัมพัทธ์ $\epsilon/D = 0.26/150 = 0.0017$
จากตารางน้ำที่อุณหภูมิ 20 °C มีค่า $\square = 1.007 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
ความเร็วการไหลในท่อ $V = Q/A$
 $= (74.2 \times 10^{-3}) / ((\pi/4)(0.15^2)) \text{ m}^3/\text{s}$
 $= 4.22 \text{ m/s}$
ค่าเรโนลด์นัมเบอร์ $Re = VD/\square$
 $= (4.22 \times 0.15) / (1.007 \times 10^{-6}) = 6.29 \times 10^5$
ค่า Re มากกว่า 4000 แสดงว่าเป็นการไหลแบบปั่นป่วน
นำค่า Re และค่า ϵ/D ไปหาค่า f จากแผนภาพมูดี ได้ค่า $f = 0.0226$
คำนวณเฮดการสูญเสียหลัก $H_f = f \frac{L V^2}{D 2g}$
 $= 0.0226 \times (400/0.15) \times (4.22^2 / (2 \times 9.81))$
 $= 54.70 \text{ m}$ **ตอบ**

การเสียเฮดเนื่องจากการไหลผ่านอุปกรณ์หรือการสูญเสียรอง

ในระบบท่อ จำเป็นต้องมีส่วนประกอบจำพวก ข้อต่อ ข้อลด ข้อขยาย และวาล์วชนิดต่าง ๆ การไหลของของเหลวผ่านอุปกรณ์ดังกล่าว จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานจลน์ในการไหล การสูญเสียเนื่องจากการไหลผ่านอุปกรณ์ในระบบท่อดังกล่าวเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า การสูญเสียรอง (Minor Losses) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

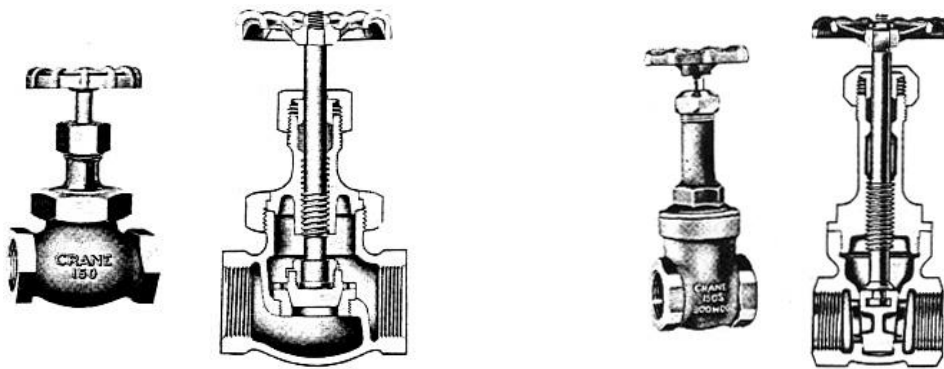
$$H_{Le} = K \frac{V^2}{2g} \quad (5-7)$$

เมื่อ H_{Le} = การเสียเฮดเนื่องจากอุปกรณ์หรือการสูญเสียรอง (m)
 K = สัมประสิทธิ์ความต้านทานการไหลซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของอุปกรณ์
ไม่มีหน่วย
 V = ความเร็วของการไหล (m/s)

ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียรอง K สามารถหาได้จากตารางหรือจากกราฟของอุปกรณ์ประกอบท่อแต่ละชนิดเช่นวาล์ว ข้อต่อ และข้อต่าง ๆ **ตารางที่ 5-2** แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียรองของอุปกรณ์แต่ละชนิด **รูปที่ 5-10 ถึง 5-14** แสดงตัวอย่างอุปกรณ์ประกอบท่อ

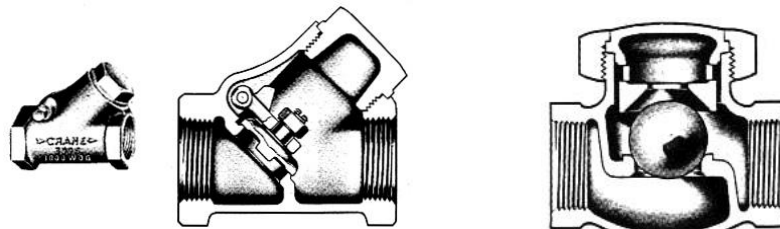
ตารางที่ 5-2 แสดงค่า Loss coefficients (K_L) ของวาล์ว และข้อต่อต่าง ๆ

Valve or Fitting	Loss Coefficient K_L
1. Globe valve	
Fully open	10.0
$\frac{1}{2}$ open	12.5
2. Gate valve	
Fully open	0.19
$\frac{1}{2}$ open	0.90
$\frac{1}{4}$ open	4.5
$\frac{1}{8}$ open	24.0
3. Swing check valve	
Through flow	2.0
Blocked flow	∞
4. Tee	
Line flow	0.40
Branch flow	1.5
5. Elbow	
45°	0.40
90°	0.75
6. Return bend	2.2



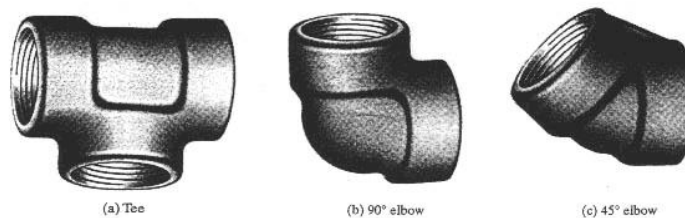
รูปที่ 5-10 ลักษณะโครงสร้างของโกลบวาล์ว

รูปที่ 5-11 ลักษณะโครงสร้างของเกตวาล์ว



รูปที่ 5-12 Swing Check Valve

รูปที่ 5-13 Ball Check Valve



รูปที่ 5-14 ข้อต่อตัว T และข้องอ 90 และ 45 องศา

การสูญเสียพลังงานทั้งหมดในการไหลของไหลประกอบด้วย การสูญเสียเนื่องจากความฝืดหรือการสูญเสียหลัก และการสูญเสียเนื่องจากการไหลผ่านอุปกรณ์หรือการสูญเสียรอง ดังแสดงในสมการ

$$H_L = H_{Lf} + H_{Le} \quad (5-8)$$

5.3.5 กราฟเฮดของระบบ (System Head Curve)

กราฟเฮดของระบบ คือ กราฟซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลผ่านระบบกับเฮดรวม ของระบบซึ่งเฮด รวมก็คือพลังงานที่ปั๊มจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลวเพื่อก่อให้เกิดการไหลนั้น โดยพลังงานที่ปั๊ม จะต้องให้ (บอกเป็นความสูงของแท่งของเหลวหรือเฮด) มีค่าเท่ากับผลรวมของพลังงานสองอย่างด้วยกัน คือ

1. ความต่างระดับของของเหลวที่ปลายของท่อดูดหรือท่อจ่ายหรือเฮดสถิตย์
2. พลังงานที่สูญเสียเนื่องจากความฝืดในท่อ และจากการไหลผ่านอุปกรณ์ประกอบระบบท่อ

กราฟเฮดของระบบเป็นสิ่งสำคัญในการพิจารณานำมาใช้ในการออกแบบระบบปั๊ม โดยการเขียนกราฟ เฮดของระบบอาจจะแยกเขียนพลังงานที่ปั๊มจะต้องเพิ่มให้แก่ของเหลวตามข้อ 1 และ 2 ข้างต้น ในกรณีที่ความ ต่างระดับของของเหลวมีค่าคงที่ กราฟของพลังงานส่วนนี้จะเป็นเส้นราบขนานไปกับแกนนอน ซึ่งเป็นแกนของ อัตราการไหล สำหรับการสูญเสียพลังงานหรือเฮดในข้อ 2 นั้น จะเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของอัตราการไหล ดังนั้นลักษณะของกราฟจะเป็นเส้นโค้งพาราโบลา เมื่อมีการเขียนแยกกัน กราฟของข้อ 1 เรียกว่า กราฟเฮด สถิตย์ (Static Head Curve) และ กราฟของข้อ 2 เรียกว่า กราฟเฮดความฝืด (Friction Head Curve หรือ Dynamic Head Curve) เมื่อรวมทั้งสองกราฟเข้าด้วยกันก็จะได้เป็น **กราฟเฮดของระบบ (System Head Curve หรือ Total Dynamic Head -TDH- Curve)**

เฮดของระบบ = เฮดความดัน + เฮดสถิตย์ + เฮดการสูญเสียรวม

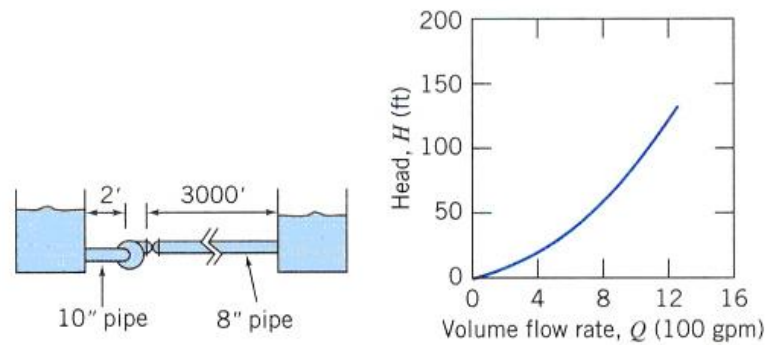
$$TDH = \left(\frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma} \right) + (Z_2 - Z_1) + H_L \quad (5-9)$$

ในกรณีที่ความแตกต่างของความดันของของเหลวที่จุด 1 และที่จุด 2 มีค่าใกล้เคียงกัน สมการ (5-10) ลดรูปเป็น

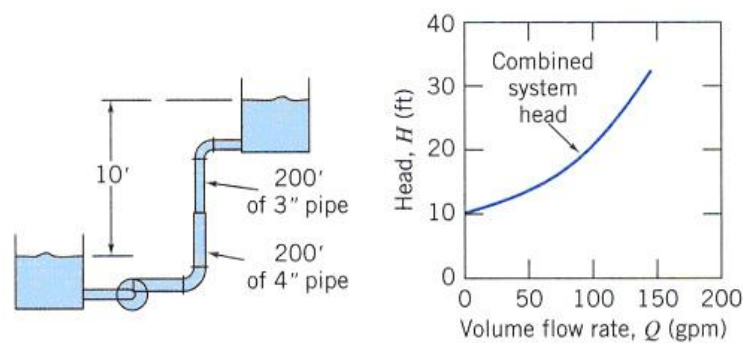
$$\begin{aligned} TDH &= (Z_2 - Z_1) + H_L \\ &= (Z_2 - Z_1) + CQ^2 \end{aligned} \quad (5-10)$$

$$\text{เมื่อ} \quad C = \left(f \times \frac{L}{D} \times \frac{1}{2gA^2} + \frac{K}{2gA^2} \right)$$

รูปที่ 5-15 และ 5-16 แสดงตัวอย่างกราฟเฮดของระบบท่อเมื่อไม่มีเปลี่ยนแปลงความสูง กราฟเฮด ของระบบท่อเมื่อมีเปลี่ยนแปลงความสูง ตามลำดับ



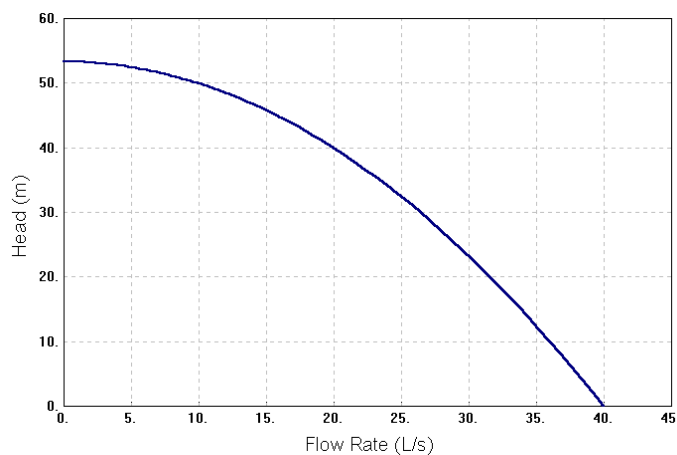
รูปที่ 5-15 กราฟเฮดของระบบท่อเมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงความสูง



รูปที่ 5-16 กราฟเฮดของระบบท่อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสูง

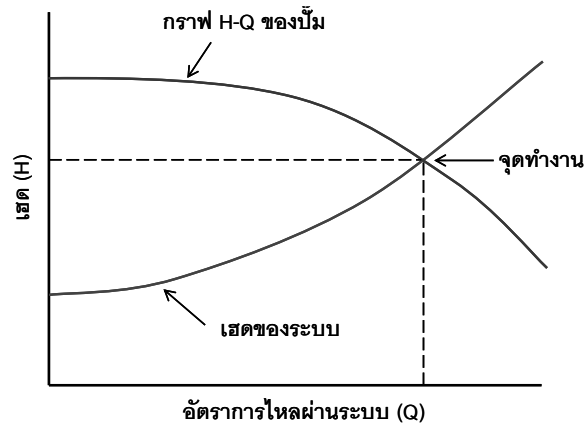
5.3.6 กราฟเฮดของปั๊ม

ในการเลือกปั๊มให้เหมาะกับสภาพการใช้งานจริง นอกจากพิจารณาถึงเฮดของระบบแล้ว ยังต้องพิจารณากราฟเฮด (หรือกราฟ H-Q) ของปั๊มด้วย กราฟเฮดของปั๊มเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูบของปั๊มหรืออัตราการไหลกับเฮด ตั้งแต่อัตราการไหลศูนย์ถึงอัตราการไหลสูงสุดของปั๊ม กราฟเฮดของปั๊มสามารถหาได้จากบริษัทผู้ผลิตปั๊ม กราฟเฮดยังสามารถหาได้จากการทดลอง โดยการนำอัตราการไหลของปั๊มมาเขียนกราฟเปรียบเทียบกับผลต่างเฮดความดันตรงทางออก และตรงทางเข้าของปั๊มที่ค่าต่าง ๆ



รูปที่ 5-17 กราฟคุณลักษณะ (กราฟเฮดหรือกราฟ H-Q) ของปั๊ม

เมื่อนำกราฟเฮดของระบบและกราฟเฮดของปั๊มมาเขียนร่วมกันดังรูปที่ 5-18 พบว่าเส้นกราฟทั้งสองตัดกันที่จุดทำงาน (Operation Point) ของปั๊ม

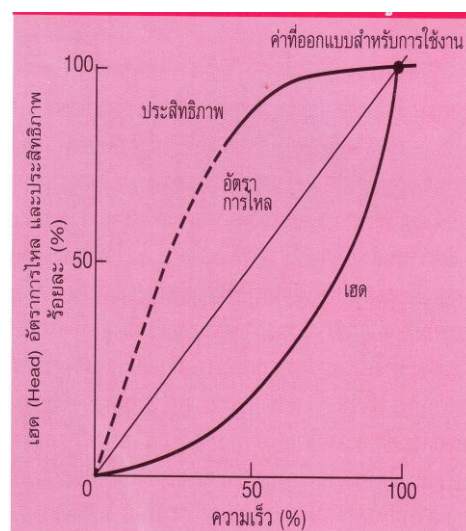
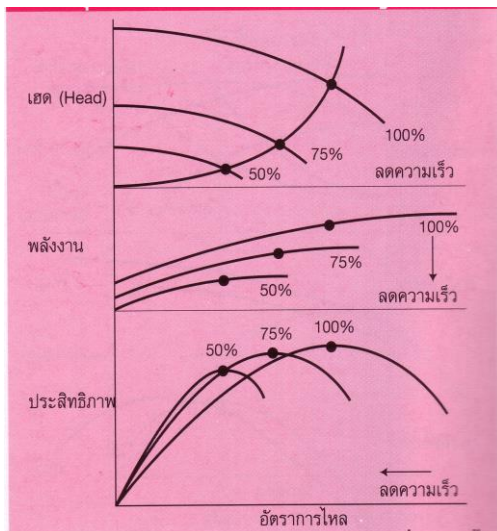


รูปที่ 5-18 จุดทำงานของปั๊มคือจุดตัดของกราฟเฮดของระบบและกราฟเฮดของปั๊ม

5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพพลังงานของปั๊มน้ำ

ประสิทธิภาพพลังงานของปั๊มน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ นับตั้งแต่ ประเภท และคุณภาพของปั๊มน้ำ การออกแบบ และการติดตั้ง สภาวะการใช้งาน ตลอดจนการบำรุงรักษา

สภาวะการใช้งานปั๊มน้ำมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพของปั๊ม โดยทางทฤษฎีแล้ว ประสิทธิภาพของปั๊มจะขึ้นอยู่กับตัวแปรสำคัญได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราการไหล และเฮด (Head) หรือ ระดับความสูงของการปั๊ม ตัวอย่างลักษณะของความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 5-19



รูปที่ 5-19 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของปั๊มกับความเร็วรอบ อัตราการไหล และเฮด

5.5 การตรวจสอบการทำงานและประสิทธิภาพพลังงานของปั๊มน้ำ

การใช้ปั๊มน้ำภายหลังการออกแบบ และติดตั้ง จำเป็นต้องมีการตรวจสอบ และบำรุงรักษาอยู่อย่างต่อเนื่องเป็นประจำเพื่อให้ปั๊มน้ำทำงานอย่างปกติและมีประสิทธิภาพ

5.5.1 ข้อมูลที่สำคัญที่ควรตรวจวัด

สำหรับข้อมูลในระบบปั๊มน้ำที่ต้องตรวจวัด จะประกอบด้วยข้อมูลเบื้องต้น และข้อมูลการใช้งานจริง โดยข้อมูลที่สำคัญมีดังนี้

1. สํารวจข้อมูลเบื้องต้นของปั๊มน้ำ
2. สํารวจระบบสูบน้ำ และการเปิดใช้งานจริง
3. ตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า
4. ตรวจวัดค่าอัตราการไหล
5. ตรวจวัดค่าเฮด

5.5.1.1 การสำรวจข้อมูลเบื้องต้นของปั๊มน้ำ

ขั้นตอนแรกในการรวบรวมข้อมูล คือการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นของปั๊มน้ำ เพื่อให้ทราบถึง Spec ของเครื่องที่มีการใช้งาน และข้อมูลประสิทธิภาพจากผู้ผลิต ซึ่งควรมีรายละเอียดในเรื่องของ

- ชนิดของปั๊มน้ำที่ใช้งาน ว่าเป็นแบบ Centrifugal หรือ Rotary เป็นต้น พร้อมทั้งควรระบุจำนวนชั้น (Stage) หรือจำนวนลูกสูบด้วย
- ขนาดของปั๊มน้ำ เช่น พิกัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ปั๊มน้ำ พิกัดอัตราการไหลของน้ำที่พิกัดพิกัดกำลัง (เฮด) ของปั๊มน้ำ ความเร็วรอบของปั๊มน้ำ
- ลักษณะของตัวปั๊มน้ำ ว่าเป็นแบบเปลวตั้ง เปลวนอน ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำใบพัด และเรือนปั๊มน้ำอุปกรณ์หรือส่วนประกอบต่าง ๆ รวมถึงสภาพการบำรุงรักษา
- จำนวน และยี่ห้อของปั๊มน้ำที่ใช้งาน

5.5.1.2 การสำรวจระบบสูบน้ำและการเปิดใช้งานจริง

เพื่อให้ทราบสภาพ และลักษณะการใช้งาน และการเดินในแต่ละเครื่องปั๊มน้ำควรมีรายละเอียดในเรื่องของ

- แผนผังการจัดวางปั๊มน้ำ และระยะเวลาการใช้งานแต่ละเครื่อง
- เวลาการเปิด - ปิด ปั๊มน้ำ (ชั่วโมงการทำงาน/วัน)
- ชนิดและคุณสมบัติของของเหลวที่ปั๊มน้ำทำการสูบ
- อุณหภูมิที่ตัวเครื่อง

5.5.1.3 การตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้า

เพื่อให้ทราบค่ากำลังไฟฟ้าที่ปั๊มน้ำใช้งาน ซึ่งควรมีรายละเอียดในเรื่องของ

- แรงดันไฟฟ้า (Volt)
- กระแสไฟฟ้า (Amps)
- Power Factor
- กำลังไฟฟ้า (kW)

5.5.1.4 การตรวจวัดค่าอัตราการไหล

เพื่อให้ทราบอัตราการไหลของปั๊มน้ำ ควรมีรายละเอียดในเรื่องของ

- อัตราการไหล (m^3/s)

5.5.1.5 การตรวจวัดค่าเฮด

เพื่อหาค่าเฮดของเครื่องปั๊มน้ำที่จุดใช้งาน และเปรียบเทียบกับค่าที่ออกแบบ ควรมีรายละเอียดในเรื่องของ

- ความดันก่อน และหลังเข้าเครื่องสูบน้ำ (bar)
- ความสูงของระดับน้ำที่ทางท่อดูดถึงเครื่องสูบน้ำ (m)

5.5.2 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการตรวจวัด

ในแต่ละอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรม ควรมีระบบเครื่องมือวัดค่าการใช้พลังงาน เช่น มาตรวัดค่าเชิงปริมาณต่าง ๆ ไว้จำนวนหนึ่ง เช่น ด้านระบบไฟฟ้า ได้แก่ ค่ากระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ หรือบางอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรมอาจมีระบบติดตามตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้า (Monitoring System) และด้านระบบ และอุปกรณ์ด้านเครื่องกล ได้แก่ มาตรวัดอุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานใช้ในการกำกับ ควบคุมดูแลการใช้ และติดตาม ตรวจสอบสภาพการทำงานของอุปกรณ์ ซึ่งทางสถานประกอบการควรตรวจสอบเครื่องมือวัดที่ติดตั้งอยู่เหล่านี้ว่ามีจำนวนเพียงพอหรือไม่ และมีความถูกต้องในการอ่านค่าเพียงใด หากมีจำนวนไม่เพียงพอ อาจเป็นอุปสรรคให้ไม่สามารถที่จะดำเนินการตรวจวัด และอนุรักษ์พลังงานให้บรรลุผลสำเร็จได้ ดังนั้นสิ่งแรกที่ต้องดำเนินการคือ ตรวจสอบดูว่าเครื่องมือวัดที่มีอยู่สามารถให้ข้อมูลมากเพียงพอหรือไม่

การตรวจวัดเป็นขั้นตอนสำคัญในการตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้งานของอุปกรณ์ ดังนั้นการใช้เครื่องมือวัดอย่างถูกต้องและเหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องรู้ รวมถึงข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ประเภท ชนิดของเครื่องมือ วัดที่ใช้ หลักการทำงานของเครื่องมือวัดแต่ละประเภท หลักการเลือกเครื่องมือวัดที่เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน ตลอดจนข้อระมัดระวังในการใช้งานเครื่องมือวัด

5.5.2.1 ประเภทและชนิดเครื่องมือวัดที่ใช้

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีด้านการตรวจวัดขึ้นมา เครื่องมือวัดจึงมีความหลากหลายมากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม สำหรับงานตรวจวัดพื้นฐาน ประเภทและชนิดของเครื่องมือวัดที่ใช้เป็นประจำอาจสรุปได้ดังนี้

5.5.2.1.1 ประเภทเครื่องมือวัดด้านไฟฟ้าทั่วไป ได้แก่

- ก) เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์มิเตอร์



ข) เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าหรือแอมป์มิเตอร์



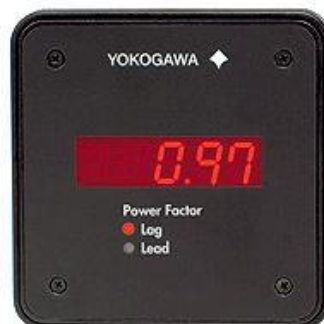
ค) เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าหรือวัตต์มิเตอร์



ง) เครื่องมือตรวจวัดและบันทึกพลังงานไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง



จ) เครื่องวัดตัวประกอบกำลังไฟฟ้าหรือเพาเวอร์แฟคเตอร์มิเตอร์ (P.F. meter) สำหรับทั้งระบบกระแสตรง (DC) และกระแสสลับ (AC)



เครื่องมือวัดเหล่านี้ ควรเป็นแบบพกพาได้ (Portable) และใช้งานง่าย เช่น เป็นประเภทหนีบหรือคล้องกับสายไฟ ซึ่งในปัจจุบันเครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบพกพาจะสามารถวัดได้ทั้งแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในเครื่องเดียวกัน

5.5.2.1.2 ประเภทเครื่องมือวัดด้านความร้อน ได้แก่

ก) เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิบรรยากาศ อุณหภูมิผิวแบบสัมผัส



ข) เครื่องวัดความชื้นบรรยากาศ



ค) เครื่องวัดความเร็วและอัตราการไหลของก๊าซและของเหลว



ง) เครื่องมือวัดความดัน

ในอุตสาหกรรมที่นิยมใช้มากที่สุดคือเกจวัดความดันแบบติดตั้งอยู่กับที่ เพราะเป็นแบบที่มีโครงสร้างง่าย ราคาถูก วัดความดันได้ถึงย่านสูง ๆ ความเที่ยงตรงดีเมื่อเทียบกับราคา



จ) เครื่องวัดสภาพความเป็นกรดหรือด่างของน้ำ



ฉ) เครื่องมือวัดสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำ (เพื่อทราบปริมาณสารละลายในน้ำ)



รายละเอียดการดำเนินการสำรวจตรวจวัดค่าต่าง ๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5-3 สำหรับตารางที่ 5-4 เป็นตัวอย่างแสดงการบันทึกข้อมูลจากการตรวจวัดเครื่องปั้มน้ำ

ตารางที่ 5-3 สรุปข้อมูลที่ควรดำเนินการสำรวจ

ลำดับ	การตรวจวัด/ วิธีการตรวจวัด	จุดประสงค์การ ตรวจวัด	ค่าที่บันทึก	จุดตรวจวัด	เครื่องมือที่ใช้	ระยะเวลาการ บันทึก
1	สำรวจ ชนิด ขนาด จำนวน ยี่ห้อและ รุ่น	เพื่อทราบ Spec ของ เครื่องที่มีการใช้งาน และข้อมูล ประสิทธิภาพจาก ผู้ผลิต	- พิกัดกำลังไฟฟ้าของ มอเตอร์เครื่องสูบน้ำ - พิกัดอัตราการไหลของ น้ำที่พิกัด - พิกัดกำลัง(เฮต)ของ เครื่องสูบน้ำ - ความเร็วรอบของเครื่อง สูบน้ำ - สภาพการบำรุงรักษา	- Name Plate - Performance Curve ของ เครื่องสูบน้ำ	-	-
2	สำรวจระบบสูบ จ่ายน้ำและการเปิด ใช้งานจริง	เพื่อทราบสภาพและ ลักษณะการใช้งาน และการเดินในแต่ละ เครื่อง	- จัดทำแผนผังการจัดวาง เครื่องและระยะเวลา การใช้งานแต่ละ เครื่อง - เวลาการเปิด ปิด เครื่อง (ชั่วโมงการทำงาน/ วัน)	บริเวณที่ติดตั้ง เครื่องสูบน้ำ และ ระบบท่อส่งจ่ายน้ำ	-	-
3	ตรวจวัดค่า กำลังไฟฟ้า	หาค่ากำลังไฟฟ้า	- แรงดันไฟฟ้า (Volt) - กระแสไฟฟ้า (Amps) - Power Factor - กำลังไฟฟ้า (kW)	ตู้ควบคุม	- Power Meter	บันทึกต่อเนื่อง อย่างน้อย 1 วัน
4	ค่าอัตราการไหล	เพื่อทราบอัตราการ ไหลของเครื่องสูบน้ำ	- อัตราการไหล (m^3/s)	- ท่อส่งทางออก	- Flow Meter	-

ตอนที่ 2 บทที่ 5 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับเครื่องสูบน้ำ

ลำดับ	การตรวจวัด/ วิธีการตรวจวัด	จุดประสงค์การ ตรวจวัด	ค่าที่บันทึก	จุดตรวจวัด	เครื่องมือที่ใช้	ระยะเวลาการ บันทึก
5	ตรวจวัดค่าเฮด	เพื่อหาค่าเฮดของ เครื่องสูบน้ำที่จุดใช้ งานและเปรียบเทียบกับ ค่าที่ออกแบบ	- ความดันก่อนและหลัง เข้าเครื่องสูบน้ำ (bar) - ความสูงของระดับน้ำที่ ทางท่อดูดถึงเครื่องสูบน้ำ (m)	- อ่านจากค่าที่เกจ วัดความดัน - วัดความสูง	- เกจวัดความดัน ที่ติดตั้งที่ทางดูด และทางส่ง - ตลับเมตร	บันทึกช่วงขณะ

ตารางที่ 5-4 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลจากการตรวจวัดเครื่องปั้มน้ำ

รายการตรวจสอบ	การตรวจวัดครั้งที่		
	1	2	3
ข้อมูลสำรวจเบื้องต้น	เครื่องสูบน้ำ เครื่องที่ 1		
ปี พ.ศ.	2540		
รุ่น	Centrifugal TYPE 125-400		
หมายเลขเครื่อง	Pump 001		
อัตราการไหล (m ³ /hr)	84 -330		
เฮด (m)	40 - 60		
ความเร็วรอบ (rpm)	1450		
ฟิักตมอเตอรื			
ค่ากำลังไฟฟ้า (kW), Pm	55		
แรงดันไฟฟ้า (Volt)	380 – 416		
กระแสไฟฟ้า (Amps)	-		
Power Factor	0.9		
ข้อมูลตรวจวัด			
ค่ากำลังไฟฟ้า (kW)	50.9	51.2	50.5
แรงดันไฟฟ้า (Volt)	382.00	380	381
กระแสไฟฟ้า (Amps)	91.6	90.5	90
Power Factor	0.84	0.86	0.85
ความดัน			
ความดันด้านจ่าย (bar)	5.5	5.5	5.5
ความดันด้านดูด (bar)	-	-	-
ความสูงจากระดับน้ำในถังเก็บถึงเส้นผ่านศูนย์กลางเครื่องสูบน้ำ (m)	2.0	2.0	2.0
อัตราการไหล (m ³ /hr)	190		
หมายเหตุ	1. มีการหรีวาล์วเพื่อลดอัตราการไหล 2. มีการตรวจสอบและบำรุงรักษาดี		

หาค่าเฉลี่ย

นำค่าไปหาค่าเฮดรวมของระบบ

5.6 การวิเคราะห์การใช้พลังงานระบบปั๊มน้ำ

การวิเคราะห์การใช้พลังงานในระบบปั๊มน้ำนั้น เป็นขั้นตอนสำคัญในการหาประสิทธิภาพของปั๊มน้ำ เพื่อประเมินแนวทางในการเดินเครื่องจักรอุปกรณ์ รวมถึงการอนุรักษ์พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพได้

5.6.1 กำลังไฮดรอลิก

กำลังไฮดรอลิก (Hydraulic Power, P_H) หมายถึงกำลังที่ปั๊มจ่ายให้ของเหลวโดยผ่านใบพัดที่หมุน มีหน่วยเป็น kW ในหน่วยเมตริก สามารถคำนวณได้จากสมการข้างล่าง

$$P_H = \frac{\gamma \times Q \times TDH}{1000} \quad (5-11)$$

เมื่อ γ = น้ำหนักจำเพาะของเหลว (N/m^3) [$\gamma = \rho \times g$]
 Q = อัตราการสูบของปั๊ม (m^3/s)
 TDH = เหนือรวมของปั๊มหรือ Total Dynamic Head (m)

เนื่องจากกำลังขนาด 1 แรงม้า มีค่าเทียบเท่ากับ 0.746 kW กำลังม้าไฮดรอลิก (Hydraulic Horsepower) ในหน่วยแรงม้า (HHP) จึงสามารถคำนวณได้จาก

$$HHP = \frac{P_H}{0.746} \quad (5-12)$$

ในหน่วยอังกฤษ กำลังม้าไฮดรอลิกสามารถคำนวณได้จาก

$$HHP = \frac{\gamma \times Q \times TDH}{550} \quad (5-13)$$

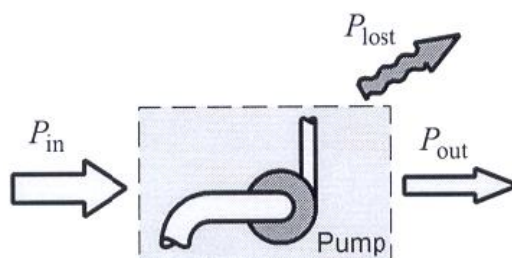
เมื่อ γ = น้ำหนักจำเพาะของเหลว (lb/ft^3)
 Q = อัตราการสูบของปั๊ม (ft^3/s)
 TDH = เหนือรวมของปั๊ม (ft)

ในกรณีที่อัตราการสูบมีหน่วยเป็นอเมริกันแกลลอนต่อนาที (gpm) และ TDH มีหน่วยเป็นฟุต กำลังม้าไฮดรอลิกสามารถคำนวณได้จาก

$$HP = \frac{\text{gpm} \times TDH}{3960} \quad (5-14)$$

5.6.2 ประสิทธิภาพของปั๊ม

ประสิทธิภาพของปั๊ม หมายถึง ร้อยละของกำลังที่ปั๊มผลิตได้ซึ่งหมายถึงกำลังไฮดรอลิกเทียบกับกำลังขับปั๊ม ซึ่งเป็นกำลังที่ปั๊มรับมาจากต้นกำลังผ่านเพลาคับ



รูปที่ 5-20 การคำนวณหาค่า ประสิทธิภาพของปั๊ม

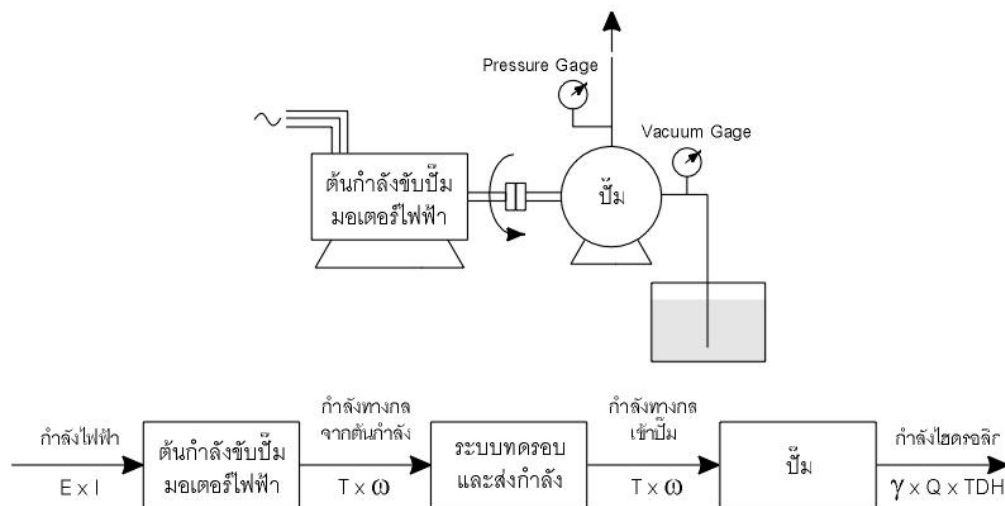
$$\eta_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (5-15)$$

เมื่อ P_{out} = กำลังที่ปั๊มผลิตได้ซึ่งหมายถึงกำลังไฮดรอลิก (kW หรือแรงม้า)
 P_{in} = กำลังขับที่เพลารองปั๊ม (kW หรือแรงม้า)

โดยปกติผู้ผลิตปั๊มจะแสดงประสิทธิภาพของปั๊มในกราฟสมรรถนะของปั๊ม ดังแสดงตัวอย่างในหัวข้อถัดไป ในรูปที่ 5-22 และ 5-23 ดังนั้นในการออกแบบระบบปั๊มน้ำ หากผู้ออกแบบเลือกขนาดของปั๊มที่เหมาะสมกับงาน และสามารถกำหนดจุดทำงานของปั๊มให้ใกล้เคียงกับ ตำแหน่งที่ปั๊มมีประสิทธิภาพสูงสุด จะสามารถทำให้การใช้งานปั๊มมีประสิทธิภาพ ใช้พลังงานได้อย่างคุ้มค่า

5.6.3 การคำนวณขนาดต้นกำลังขับปั๊ม

การทำงานของระบบปั๊มจริง ๆ แล้วเป็นการเปลี่ยนรูปแบบของพลังงาน (รูปที่ 5-21) ในกรณีที่ต้นกำลังขับปั๊มเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่ต้นกำลังรับเข้ามาจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานกลเพื่อไปขับปั๊ม และปั๊มจะเปลี่ยนพลังงานทางกลที่รับเข้ามาให้เป็นกำลังไฮดรอลิก ในการคำนวณขนาดของต้นกำลังขับปั๊มนั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของต้นกำลังด้วย



รูปที่ 5-21 การเปลี่ยนรูปของพลังงานของระบบปั๊ม

ประสิทธิภาพของปั๊มคำนวณได้จาก

$$\eta_p = \frac{\text{กำลังไฮดรอลิก}}{\text{กำลังทางกลเข้าปั๊ม}} \quad (5-16)$$

ประสิทธิภาพของระบบทดรอบและส่งกำลังคำนวณได้จาก

$$\eta_T = \frac{\text{กำลังทางกลเข้าปั๊ม}}{\text{กำลังทางกลจากต้นกำลัง}} \quad (5-17)$$

ประสิทธิภาพของระบบท่รอบ และส่งกำลังมีค่าประมาณดังนี้

1. ส่งกำลังโดยตรง (ขับตรง) มีค่า 100 %
2. ระบบส่งกำลังแบบเฟืองทดมีค่าประมาณ 98 % สำหรับการท่รอบแต่ละครั้ง
3. ระบบส่งกำลังด้วยสายพานแบบมีค่าประมาณ 97 %
4. ระบบส่งกำลังด้วยสายพานรูปตัว V มีค่าประมาณ 95 %

ประสิทธิภาพของต้นกำลังขับปั้มน้ำคำนวณได้จาก

$$\eta_{\text{ต้นกำลัง}} = \frac{\text{กำลังทางกลจากต้นกำลัง}}{\text{กำลังที่ต้องให้กับต้นกำลัง}} \quad (5-18)$$

นำสมการ (5-16) คูณกับสมการ (5-17) และ (5-18) เพื่อคำนวณหา กำลังที่ต้องให้กับต้นกำลังขับปั้มน้ำ

$$\begin{aligned} \eta_P \times \eta_T \times \eta_{\text{ต้นกำลัง}} &= \frac{\text{กำลังไฮดรอลิก}}{\text{กำลังที่ต้องให้กับต้นกำลัง}} \\ \text{กำลังที่ต้องให้กับต้นกำลัง} &= \frac{\text{กำลังไฮดรอลิก}}{\eta_P \times \eta_T \times \eta_{\text{ต้นกำลัง}}} \end{aligned} \quad (5-19)$$

ตัวอย่างที่ 5-2 ปั้มน้ำอัตราการไหล $Q=0.01 \text{ m}^3/\text{s}$ และเฮดรวม 26.73 เมตร จงหาขนาดกำลังของมอเตอร์ต้นกำลังขับปั้มน้ำที่ขับปั้มน้ำโดยตรง ถ้ากำหนดให้ประสิทธิภาพของปั้มน้ำและมอเตอร์ต้นกำลังขับปั้มน้ำมีค่าเท่ากับ 75 % และ 78 % ตามลำดับ จงหาขนาดกำลังของมอเตอร์ต้นกำลังขับปั้มน้ำ

วิธีทำ กำลังไฮดรอลิกของปั้มน้ำคำนวณได้จาก

$$P_H = \frac{\gamma \times Q \times TDH}{1000}$$

แทนค่า $Q=0.01 \text{ m}^3/\text{s}$ $TDH=26.73 \text{ m}$ และน้ำหนักจำเพาะของน้ำ $\gamma = 9810 \text{ N/m}^3$

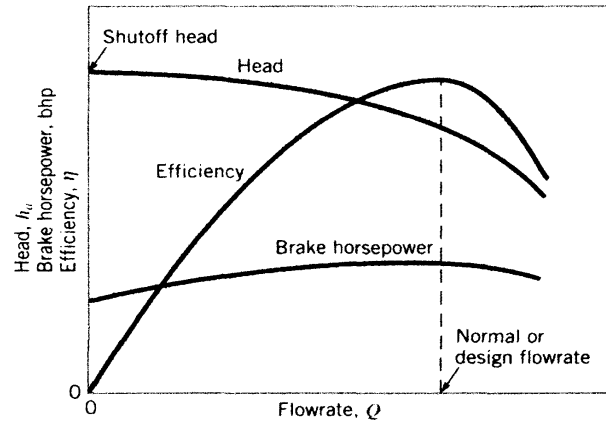
$$P_H = \frac{9810 \times 0.01 \times 26.73}{1000} = 2.62 \text{ kW}$$

ขนาดกำลังของมอเตอร์ต้นกำลังขับปั้มน้ำคำนวณได้จาก

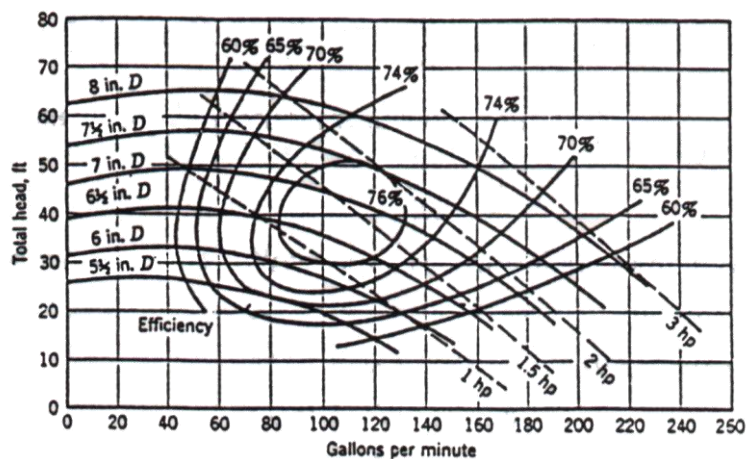
$$\begin{aligned} \text{กำลังของมอเตอร์ต้นกำลังขับปั้มน้ำ} &= \frac{\text{กำลังไฮดรอลิก}}{\eta_P \times \eta_{\text{ต้นกำลัง}}} \\ &= \frac{2.62}{0.75 \times 0.78} = 4.48 \text{ kW} \\ &= \frac{4.48}{0.746} = 6 \text{ แรงม้า} \end{aligned} \quad \text{ตอบ}$$

5.6.4 สมรรถนะการทำงานของปั๊ม

บริษัทผู้ผลิตปั๊มจะทำการทดสอบสมรรถนะของปั๊มที่ผลิต แล้วเขียนเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฮด ประสิทธิภาพ และกำลังขับปั๊ม เทียบกับอัตราการไหล ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 5-22 จากรูปจะเห็นว่าเมื่ออัตราการไหลเริ่มจากศูนย์ประสิทธิภาพก็จะเริ่มจากศูนย์จนกระทั่งถึงค่าสูงสุดแล้วจะลดลง จุดที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดเรียกว่า Best efficiency Point (BEP) อัตราการไหล ณ จุดนี้เรียกว่าอัตราการไหลออกแบบ (Design flow rate) ในการเลือกปั๊มมาใช้งานจะต้องเลือกที่อัตราไหล และประสิทธิภาพสูงสุดหรือใกล้เคียงสมรรถนะของปั๊มที่มีขนาดใบพัดต่าง ๆ กัน อาจแสดงได้ดังรูปที่ 5-23



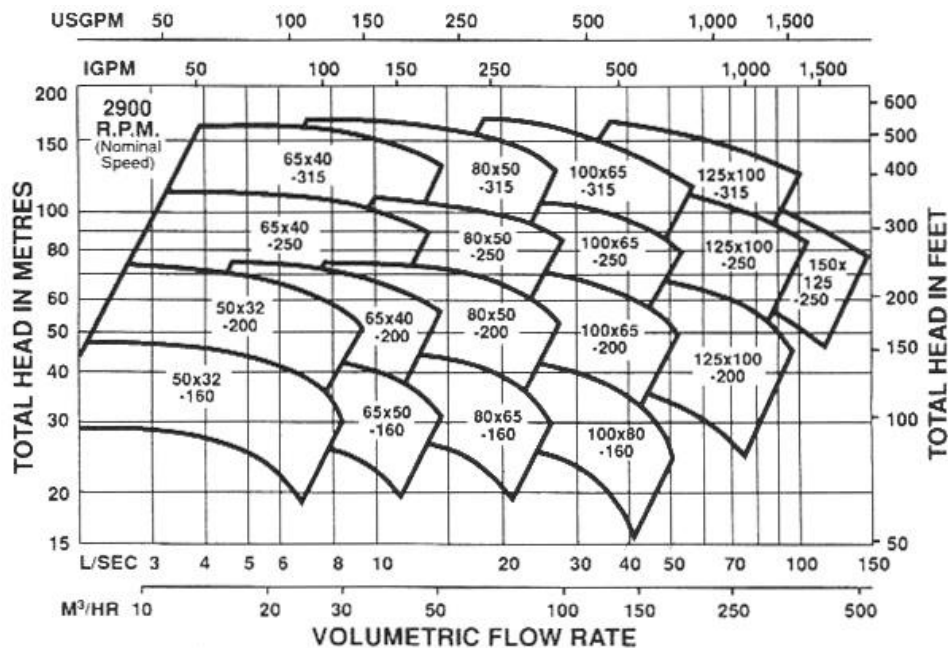
รูปที่ 5-22 ตัวอย่างกราฟแสดงสมรรถนะของปั๊ม



รูปที่ 5-23 ตัวอย่างสมรรถนะของปั๊มแบบหมุนเหวี่ยงใบพัดมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 5 ถึง 8 นิ้ว

ปั๊มในแต่ละรุ่นนั้นจะถูกผลิตออกมาหลายขนาด โดยปกติผู้ผลิตปั๊มมักจะแสดงสมรรถนะ ประสิทธิภาพ และขอบเขตการทำงานที่เหมาะสมของปั๊มแต่ละขนาดรวมกันในกราฟแผ่นเดียว กราฟแสดงสมรรถนะดังกล่าวนี้เรียกว่า Composite Rating Chart ดังแสดงในรูปที่ 5-24

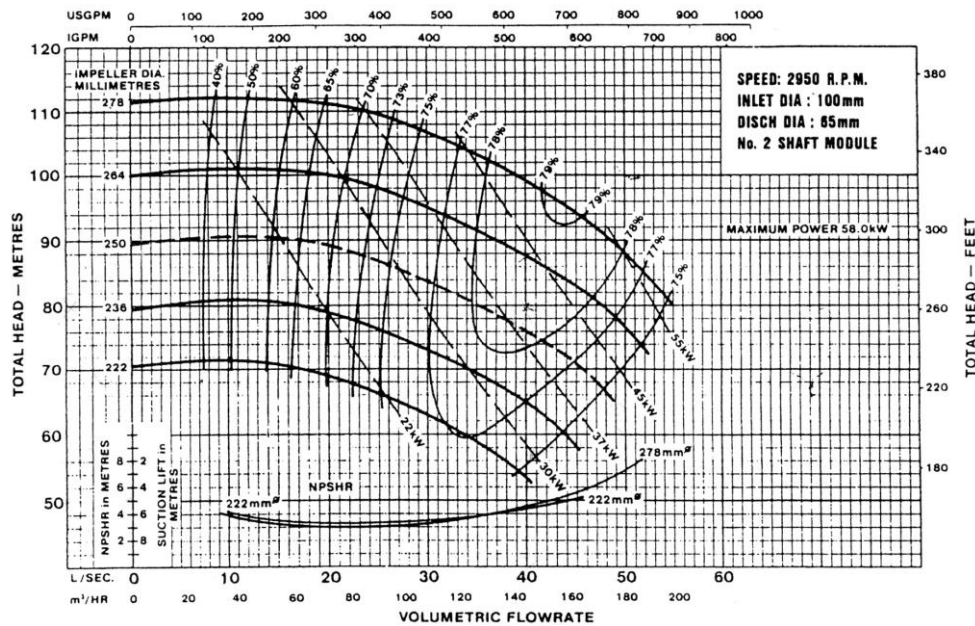
ตัวอย่างที่ 5-3 ต้องการสูบน้ำด้วยอัตราไหล 40 ลิตรต่อวินาที ที่เฮด 80 เมตร จงเลือกโมเดลของปั๊มจาก Composite Rating Chart ซึ่งแสดงในรูปที่ 5-26 และให้บอกรายละเอียดของปั๊มที่เลือกจากชาร์ทที่ให้



รูปที่ 5-24 กราฟสมรรถนะของปั๊มแบบหมุนเหวี่ยงหลายขนาดรวมกัน (Composite Rating Chart)

วิธีทำ รายละเอียดของปั๊มซึ่งได้จากการอ่านชาร์ทข้างบนสำหรับอัตราการสูบ 40 ลบ.เมตร/ชั่วโมง และเฮด 80 เมตร คือ

1. ปั๊มที่จะใช้งานนี้ได้เหมาะสมคือ โมเดล 100 x 65 - 250 ในที่นี้ 100 หมายถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อดูดเป็น มม. 65 หมายถึงขนาดหน้างานของท่อส่งเป็น มม. และ 250 เป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดคือ 250 มม.
2. ความเร็วรอบของใบพัดที่ใช้ในชาร์ทดังแสดงไว้ในกรอบด้านบนซ้ายมือคือ 2950 รอบต่อนาที เมื่อเลือกรุ่นของปั๊มจากชาร์ทรวมได้แล้ว จะต้องไปดูรายละเอียดที่จำเป็นต้องใช้งานจาก Performance Curves ของปั๊มนรุ่นที่เลือก ดังแสดงในรูปที่ 5-25



รูปที่ 5-25 ตัวอย่างกราฟแสดงสมรรถนะของปั๊มเฉพาะรุ่น 100 x 65 - 250

จากกราฟแสดงสมรรถนะสำหรับปั๊มรุ่น 100 x 65 - 250 ที่แสดงข้างต้น เราสามารถบอกรายละเอียดเกี่ยวกับปั๊มดังกล่าวได้ดังนี้

1. ปั๊มรุ่นนี้ใช้ใบพัดขนาด 250 มม. เป็นขนาดมาตรฐาน แต่สามารถใช้ได้กับใบพัดขนาดตั้งแต่ 222 ถึง 278 มิลลิเมตร
2. สำหรับอัตราการสูบและเฮดที่ต้องการ คือ 40 ลิตรต่อวินาที และเฮดที่ 80 เมตร ขนาดใบพัดที่เหมาะสมคือ 250 มิลลิเมตร และประสิทธิภาพของปั๊มที่ได้คือ 78.3 %

5.6.5 กฎความคล้ายของปั๊ม

กฎความคล้ายของปั๊ม (Affinity Laws) แสดงค่าอัตราการสูบ เฮดรวมของปั๊ม และกำลังขับปั๊ม ที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าของรอบความเร็วใบพัด หรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด ที่มีค่าเปลี่ยนไป การแก้ปัญหาเมื่อลักษณะการทำงานของปั๊มแตกต่างไปจากกราฟ $H-Q$ ที่บริษัทผู้ผลิตทดลองไว้ ทำได้โดยใช้กฎเกณฑ์ที่เรียกว่ากฎความคล้ายของปั๊ม

ก. รอบความเร็วของใบพัดเปลี่ยนไป

ข้อแตกต่างนี้เกิดขึ้นอยู่เสมอเมื่อใช้เครื่องยนต์เป็นต้นกำลัง ทั้งนี้เพราะตลอดช่วงเวลาการทำงานของเครื่องยนต์นั้น รอบความเร็วอาจแตกต่างกันได้มาก การเปลี่ยนแปลงชนิดของมอเตอร์หรือการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ก็สามารถทำให้รอบความเร็วเปลี่ยนไปได้เช่นเดียวกัน

ข. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดเปลี่ยนไป

เนื่องจากช่วงการทำงานของปั๊มแบบ Centrifugal นั้นกว้างขวางมาก บริษัทผู้ผลิตไม่สามารถผลิตใบพัดให้พอเหมาะกับความต้องการใช้งานทุกขนาดได้ ดังนั้นสำหรับเรือนปั๊ม (Casing) ขนาดหนึ่ง ผู้ผลิตจะออกแบบให้ใช้ได้กับใบพัดหลาย ๆ ขนาด เช่น ใช้ได้กับใบพัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 ถึง 12 นิ้ว เป็นต้น และถ้าการทำงานของใบพัดที่มีไม่เหมาะสมกับความต้องการ เช่น ที่อัตราการสูบขนาดหนึ่ง ใบพัดขนาด 10 นิ้วจะให้เฮดมากเกินไป แต่ถ้าใช้ใบพัดขนาด 9 นิ้ว ก็จะได้เฮดน้อยเกินไป ในกรณีนี้ก็ต้องคำนวณหาขนาดที่เหมาะสมแล้วเจียร (Trim) ใบพัดขนาด 10 นิ้วลงมาให้พอดีกับความต้องการ เป็นต้น

5.6.5.1 เมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดมีค่าคงที่แต่มีการเปลี่ยนแปลงรอบความเร็ว

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (5-20)$$

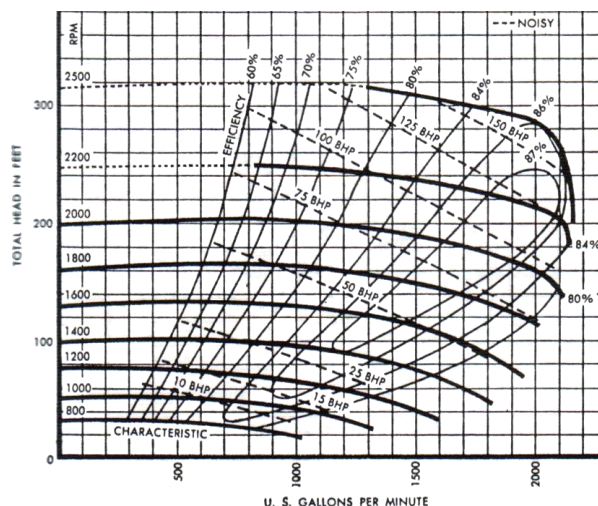
$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \quad (5-21)$$

$$\frac{Bhp_1}{Bhp_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^3 \quad (5-22)$$

เมื่อ Q_1 , H_1 และ Bhp_1 เป็นอัตราการสูบ เฮด และกำลังขับที่ปั๊มต้องการ (Brake Horsepower) เมื่อใบพัดหมุนด้วยอัตราเร็ว N_1 ตามลำดับ และ Q_2 , H_2 และ Bhp_2 เป็นอัตราการสูบ เฮด และกำลังขับที่ปั๊มต้องการ เมื่อความเร็วการหมุนของใบพัดเปลี่ยนไปเป็น N_2

ความสัมพันธ์ทั้ง 3 สมการข้างบนนี้ ถือว่าประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มจะไม่เปลี่ยนไปตามรอบความเร็วที่เปลี่ยนไป ข้อสมมุติดังกล่าวนี้จะใกล้เคียงกับความเป็นจริงถ้าหากรอบความเร็วเปลี่ยนไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ของรอบความเร็วที่ได้ออกแบบไว้ สมการทั้งสามข้างบนนี้ใช้ได้กับปั๊มแบบ Centrifugal ทุกประเภท ไม่ว่าใบพัดจะเป็นแบบ Radial Flow, Mixed Flow, Axial Flow หรือ Regenerative Turbine

เมื่อรอบการหมุนของใบพัดเปลี่ยนแปลง กราฟ $H-Q$ จะยังคงรักษารูปร่างลักษณะของเส้นคงเดิมแต่เฮดจะเลื่อนสูงขึ้นหรือเลื่อนต่ำลง ดังตัวอย่างที่แสดงดังรูปที่ 5-26 ในกรณีที่มีข้อมูลเช่นรูปนี้อยู่ การหาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความเร็วของใบพัดจะทำได้ถูกต้องดีกว่าการใช้สมการด้านบน



รูปที่ 5-26 ตัวอย่างสมรรถนะของปั๊มเมื่อความเร็วการหมุนของใบพัดเปลี่ยนไป

5.6.5.2 เมื่อรอบความเร็วมีค่าคงที่ แต่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดเปลี่ยนไป

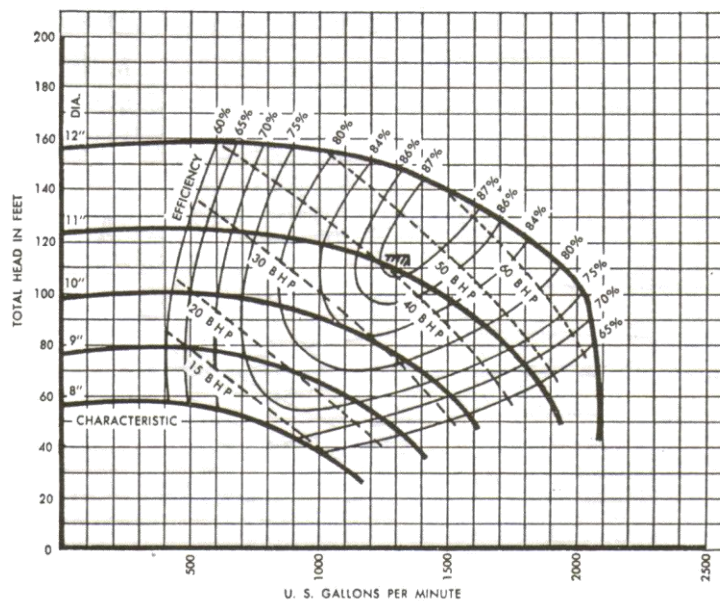
$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2} \quad (5-23)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \quad (5-24)$$

$$\frac{\text{Bhp}_1}{\text{Bhp}_2} = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^3 \quad (5-25)$$

เมื่อ Q_1 , H_1 และ Bhp_1 เป็นอัตราการสูบ เฮด และกำลังขับที่ปั๊มต้องการเมื่อใบพัดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง D_1 ตามลำดับ และ Q_2 , H_2 และ Bhp_2 เป็นอัตราการสูบ เฮด และกำลังขับที่ปั๊มต้องการ เมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดเปลี่ยนไปเป็น D_2 ตามลำดับ สมการทั้ง 3 นี้ใช้ได้กับปั๊ม Centrifugal ประเภท Radial Flow เท่านั้น

ลักษณะการทำงานของปั๊มเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดก็เช่นเดียวกันกับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ตัวอย่างกราฟ $H-Q$ สำหรับปั๊มซึ่งมีใบพัดเหมือนกันแต่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 8 นิ้ว ถึง 12 นิ้ว แสดงดังรูปที่ 5-27



รูปที่ 5-27 ตัวอย่างสมรรถนะของปั๊มซึ่งหมุนด้วยอัตรา 1750 รอบต่อนาที ขนาดของใบพัด 8-12 นิ้ว

ตัวอย่างที่ 5-4 ปัมป์สูบน้ำได้ 1,700 แกลลอนต่อนาที ที่เฮด 180 ฟุต และกำลังขับที่ปัมป์ต้องการ เท่ากับ 84 แรงม้า เมื่อใบพัดหมุนด้วยความเร็ว 2,000 รอบต่อนาที จงหาอัตราการสูบ เฮด และกำลังขับที่ปัมป์ต้องการ เมื่อรอบความเร็วเปลี่ยนไปเป็น 1,600 รอบต่อนาที

วิธีทำ	จากสมการ	$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$ $Q_1 = \frac{1,600}{2,000} \times 1,700$ $= 1,360 \text{ แกลลอนต่อนาที}$	ตอบ
	จากสมการ	$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2$ $H_1 = \left(\frac{1,600}{2,000} \right)^2 \times 180$ $= 115.2 \text{ ฟุต}$	ตอบ
	จากสมการ	$\frac{Bhp_1}{Bhp_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^3$ $Bhp_1 = \left(\frac{1,600}{2,000} \right)^3 \times 84$ $= 43 \text{ แรงม้า}$	ตอบ

5.7 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในระบบปั๊มน้ำ

5.7.1 การปรับความเร็วรอบของปั๊มน้ำ

การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของปั๊มน้ำ จะมีผลต่อประสิทธิภาพของปั๊มน้ำซึ่งจะยังคงสูงอยู่เมื่อมีอัตราการไหลระหว่าง 60-100 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการไหลที่ออกแบบไว้ และเมื่ออัตราการไหลลดต่ำลงประสิทธิภาพจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งการลดลงนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องสูบน้ำ เมื่อปั๊มน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้นอัตราการไหลและประสิทธิภาพก็จะลดลงเช่นกัน

การเปลี่ยนแปลงการทำงานของปั๊มน้ำเนื่องจากการปรับความเร็วรอบจะอธิบายได้โดยกฎของพัดลมและปั๊มน้ำ (Affinity Laws) ซึ่งกล่าวไว้ดังนี้ :

อัตราการไหลจะผันแปรตามความเร็ว (Flow $\propto$ Speed)

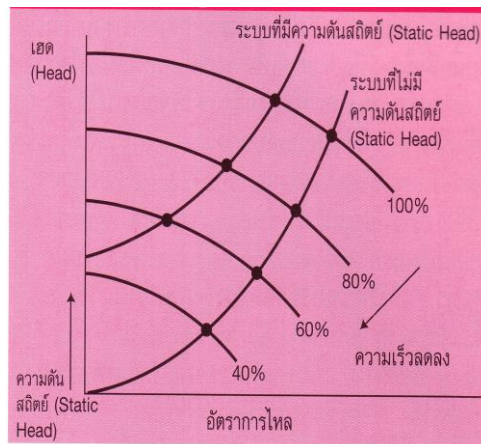
เฮดจะผันแปรตามความเร็วยกกำลังสอง (Head $\propto$ Speed²)

กำลังขับเคลื่อนที่ใช้ผันแปรตามความเร็วยกกำลังสาม (Power Absorbed $\propto$ Speed³)

ดังนั้น ถ้าปั๊มน้ำมีความเร็วรอบ 50 เปอร์เซ็นต์จะทำให้เฮด (Head) เท่ากับ 25 % และจะใช้กำลังขับเพียง 12.5 % สำหรับระบบที่ไม่มีความดันสถิต (Static Head) ซึ่งสามารถนำความสัมพันธ์ดังกล่าวมาใช้ประเมินผลประหยัดจากการลดความเร็วรอบได้โดยตรง

อย่างไรก็ตามระบบจริงจะมีความดันสถิตรวมอยู่ด้วยเสมอ จึงต้องมีการปรับปรุงสูตรความสัมพันธ์ให้นำไปใช้คำนวณได้ถูกต้อง จากตัวอย่างที่แสดงไว้ในรูปที่ 5-28 ในระบบที่ไม่มีความดันสถิตที่

ความเร็วรอบ 40 % อัตราการไหลมีค่า 40 % แต่เมื่อระบบมีความดันสถิต อยู่ด้วยที่ความเร็วรอบ 40 % อัตราการไหลลดลงเป็นศูนย์



รูปที่ 5-28 ผลของความดันสถิต ต่อปั๊มน้ำที่ลดความเร็วลง

ประโยชน์ที่ได้รับจากการควบคุมความเร็วรอบของปั๊มน้ำคือ

- ทำให้การใช้ปั๊มน้ำสอดคล้องกับอัตราการไหลที่ต้องการตลอดเวลา
- สามารถควบคุมอัตราการไหลของปั๊มน้ำอย่างได้ผล
- ลดพลังงานสูญเสียจากการหรีวาล์วของปั๊มน้ำ
- เริ่มเดินเครื่อง ได้อย่างนุ่มนวล

อินเวอร์เตอร์แบบ PWM (Pulse Width Modulated) เป็นอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบที่ใช้กับระบบปั๊มน้ำที่พบมากที่สุด แม้จะมีอินเวอร์เตอร์แบบอื่น ๆ ด้วย อินเวอร์เตอร์แบบ PWM มีประสิทธิภาพและกำลังสูญเสียในอุปกรณ์ต่ำ และกรณีที่ปั๊มน้ำขับเคลื่อนด้วยความเร็วคงที่ (กรณีนั้นอาจไม่จำเป็นต้องใช้อินเวอร์เตอร์) ศักยภาพของการประหยัดจากการใช้อินเวอร์เตอร์จะสูงเมื่อการขับเคลื่อนที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่มีประสิทธิภาพ

การควบคุม VSD อาจทำได้โดยปรับด้วยคนหรือแบบอัตโนมัติขึ้นอยู่กับสัญญาณควบคุมอุปกรณ์เครื่องวัดในระบบ เช่น อุปกรณ์วัดอัตราการไหล อุปกรณ์วัดความดัน และบางกรณีอาจจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณ (Interfacing) ถ้าสัญญาณที่ส่งมาไม่ได้มาตรฐาน

ในระบบที่มีปั๊มน้ำหลายเครื่องทำงานขนานกัน เครื่องสูบน้ำมักจะทำงาน ที่ความเร็วรอบเท่ากันเพื่อให้มีจุดทำงานเดียวกัน ในกรณีนี้สามารถใช้อินเวอร์เตอร์แยกสำหรับปั๊มน้ำแต่ละเครื่องและใช้สัญญาณควบคุมเดียวกันหรือใช้กับปั๊มน้ำบางเครื่อง ในขณะที่เครื่องที่เหลือทำงานที่ความเร็วคงที่ แม้ว่าช่วงของการควบคุมความเร็วจะจำกัดก็ตาม (ขึ้นอยู่กับความต้านทานของระบบ)

VSD จะมีราคาค่อนข้างสูงแต่ก็มีการปรับราคาลดลงมาบ้างแล้ว ยิ่งไปกว่านั้นผลที่ได้จากการประหยัดค่าใช้จ่ายจะให้ผลตอบแทนกลับมาในระยะสั้น

การใช้ปั๊มน้ำที่ปรับความเร็วรอบเพื่อให้เกิดการประหยัดมากที่สุด จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขดังต่อไปนี้

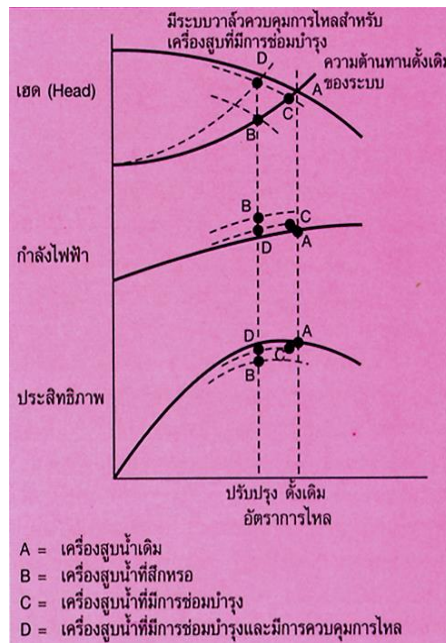
- ความต้องการใช้น้ำมีการเปลี่ยนแปลงและทำงานต่ำกว่าอัตราการไหลสูงสุดเป็นระยะเวลานาน

- กรณีที่ความเสียหายของระบบส่วนใหญ่เกิดจากความเสียหายความดันสถิตต่ำผลที่ตามมาทำให้ปั๊มน้ำทำงานที่ระดับความเร็วต่ำลง (ดูรูปที่ 5-28)

เป็นที่น่าสังเกตว่าถ้าปั๊มน้ำเดินเครื่องด้วยอัตราการไหลที่น้อยกว่า 100 เปอร์เซ็นต์อยู่เสมอ แสดงว่าปั๊มน้ำมีขนาดใหญ่เกินไป ดังนั้นการเลือกเครื่องสูบน้ำที่มีขนาดเล็กลงหรือปรับแต่งใบพัดให้มีขนาดเล็กลง อาจจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่าการใช้ VSD โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีความต้องการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

จากการตรวจสอบระบบสูบน้ำและวิเคราะห์จุดที่มีปัญหาประกอบกับแนวทางการแก้ไขที่เกิดขึ้นสามารถนำมาจัดกลุ่มได้ดังนี้

- การบำรุงรักษา
- การดัดแปลงแก้ไขอุปกรณ์หรือการเดินเครื่อง
- การจัดการตรวจสอบ

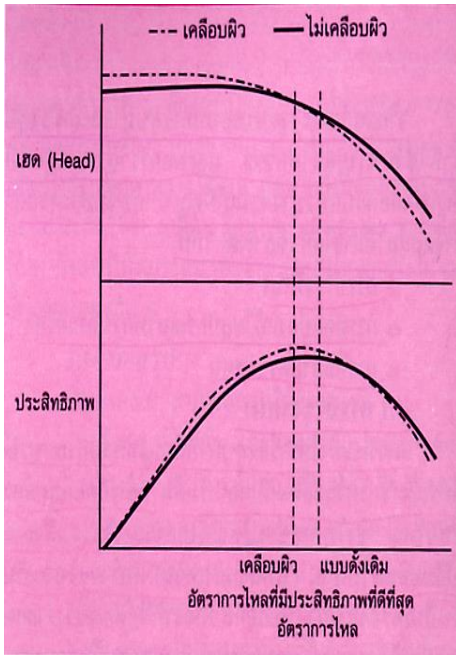


รูปที่ 5-29 การซ่อมบำรุงที่มีผลต่อคุณลักษณะสมบัติ

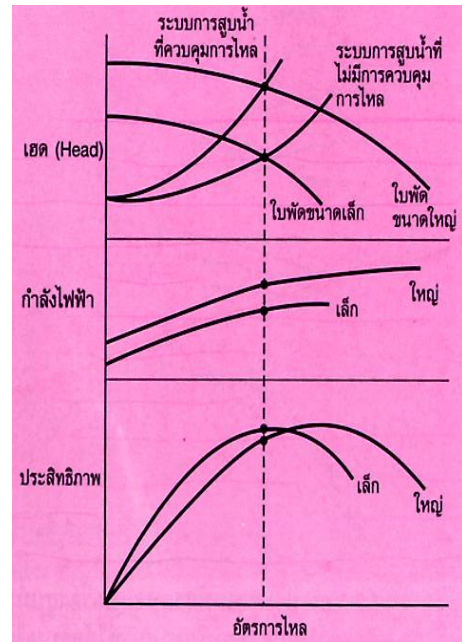
5.7.2 การบำรุงรักษา

การที่จะทำให้ปั๊มที่สึกหรอกลับมาสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับตอนเริ่มต้นอย่างน้อยที่สุด ต้องซ่อมใหญ่ อาจรวมถึงการเปลี่ยนชิ้นส่วนหมุน (ใบพัดและแวน) แบริง และประเก็น อย่างไรก็ตาม ภายหลังการซ่อมใหญ่ระยะช่องว่างต่าง ๆ ภายในโครงสร้างของปั๊มจะไม่เหมือนช่วงติดตั้งใหม่

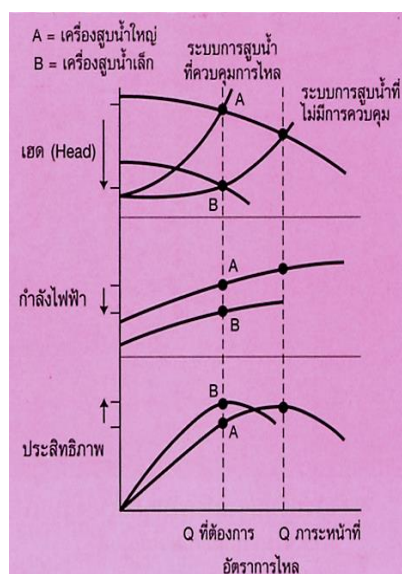
ดังนั้น ประสิทธิภาพปั๊มจะลดลงจากช่วงที่ติดตั้งใหม่ ประโยชน์ที่ได้จากการซ่อมใหญ่ ควรพิจารณาเป็นกรณี ๆ ไป ค่าใช้จ่ายของปั๊มน้ำส่วนใหญ่แล้วเป็นค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องโดยรวมตลอดการใช้งาน ดังนั้นการที่ประสิทธิภาพสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยก็ถือว่า คุ่มค่าในการปรับปรุง และมีข้อสังเกตว่า ปั๊มน้ำที่สึกหรอ อัตราการไหลจะลดลง ถ้าทำการซ่อมบำรุงใหญ่ควรปรับอัตราการไหลให้ต่ำลงมาจากจุดทำงานเดิม เพื่อให้ได้ผลประหยัดมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 5-29



รูปที่ 5-30 การเคลือบผิวที่มีผลต่อคุณลักษณะสมบัติของปั๊มน้ำ



รูปที่ 5-31 ผลจากการใช้ปั๊มน้ำที่มีขนาดเล็กลง



รูปที่ 5-32 ผลการลดขนาดของใบพัดต่อคุณลักษณะสมบัติปั๊มน้ำ

การบำรุงรักษาที่ช่วยส่งเสริมการประหยัด

- การทำความสะอาดตัวกรองที่บริเวณท่อทางเข้าของปั๊มอย่างสม่ำเสมอ
- การตรวจสอบวาล์วกันการไหลย้อนกลับ (Check Valve) อย่างสม่ำเสมอ
- การซ่อมแซมรอยรั่วต่าง ๆ

5.7.3 การปรับปรุงอุปกรณ์

(1) การเคลือบผิวภายใน

ได้มีการพัฒนาของกลุ่มของวัสดุที่ใช้สำหรับเคลือบผิวเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของพื้นผิวของวัสดุเดิมเพื่อลดการกัดกร่อน/การกัดเซาะ วัสดุเคลือบผิวประเภทนี้เหมาะสำหรับปั๊มน้ำที่เสียหายรุนแรงอันเนื่องมาจากการใช้งานกับของเหลวที่มีฤทธิ์กัดกร่อน วัสดุเคลือบผิวจะช่วยเคลือบป้องกันไม่ให้พื้นผิวถูกกัดกร่อนและไม่ทำให้ระยะช่องว่างต่าง ๆ ภายในปั๊มน้ำเปลี่ยนแปลง

การเคลือบผิวเพื่อลดการเสียดทาน

การเคลือบผิวเพื่อลดการเสียดทานแม้ว่าจะมี ประสิทธิภาพในการลดการกัดกร่อนไม่เท่าสารเคลือบผิวเพื่อลดการกัดกร่อน และการกัดเซาะ แต่ก็ยังเป็นวิธีที่สามารถนำมาใช้เพื่อป้องกันการกัดกร่อนได้ดี จุดประสงค์หลักของวิธีนี้ก็คือเพื่อปรับพื้นผิวให้มีความเรียบมากที่สุด (เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิววัสดุเดิม) และเกิดการเสียดทานน้อยที่สุดขณะที่อัตราการความเร็วของน้ำสูง ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ปั๊มน้ำมีความดัน และอัตราการไหลสูงขึ้น ดังนั้นการเคลือบผิวด้วยวิธีนี้จะทำให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

การเคลือบผิวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพปั๊มน้ำมักจะเคลือบเฉพาะโครงปั๊มน้ำและด้านนอกของใบพัดเพื่อลดความสูญเสียจากการเสียดทานหลัก ซึ่งก็คือ ความสูญเสียที่ผิวของโครงปั๊มน้ำ และความสูญเสียจากการเสียดทานที่ใบหมุน ดังรูปที่ 5-30

สรุปประโยชน์ที่ได้รับเพิ่มอย่างมีประสิทธิภาพจากการเคลือบผิว ได้แก่

- ปรับปรุงประสิทธิภาพของปั๊มน้ำทำให้ต้นทุนของการเดินเครื่องลดลง
- มีความคงทนต่อการกัดกร่อนบนชิ้นส่วนที่ได้เคลือบพื้นผิวไว้
- ยืดอายุการทำงานให้มีประสิทธิภาพสูงและทำให้อายุการใช้งานยาวขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปั๊มน้ำที่ไม่ได้เคลือบพื้นผิว

(2) การเปลี่ยนขนาดของใบพัด

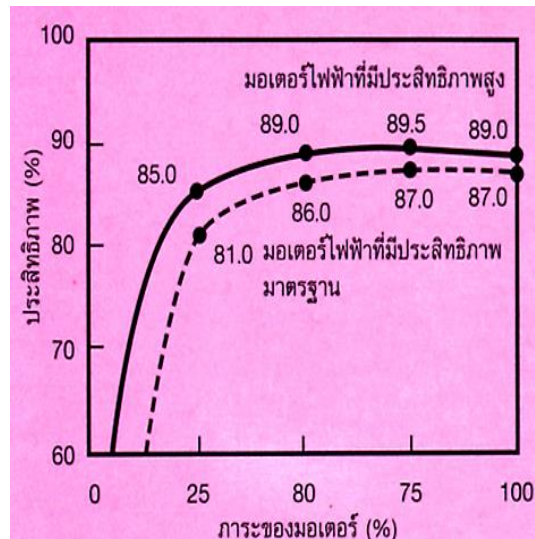
ปั๊มน้ำที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในอุตสาหกรรมใช้กับใบพัดได้หลายขนาด โดยใบพัดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดจะทำให้การใช้งานมีประสิทธิภาพสูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 5-31

การเปลี่ยนขนาดของใบพัดจะช่วยประหยัดพลังงานจากการสูบน้ำได้ เช่น ถ้าปั๊มน้ำหรือวาล์วควบคุมการไหลอยู่เสมอ จะทำให้ไม่สามารถทำงานได้ที่ประสิทธิภาพสูงสุด จึงอาจนำใบพัดขนาดเล็กมาใช้เพื่อให้มีอัตราการไหลเท่าเดิมในระดับของความดันต่ำ ทำให้มีการใช้พลังงานลดลง

(3) การใช้ปั๊มน้ำที่มีขนาดเล็กลง

การใช้ปั๊มน้ำที่มีขนาดเล็กลงจะคุ้มค่า ถ้า

- ปั๊มมีขนาดใหญ่เกินกว่าภาระสูงสุดของปั๊มน้ำมาก
- ปั๊มน้ำมีประสิทธิภาพน้อยกว่า 80% ณ ระดับของภาระโหลดสูงสุด
- มีการใช้พลังงานสูง นั่นคือ เมื่อปั๊มน้ำขนาดใหญ่เดินเครื่องเป็นระยะเวลานาน เช่น ถ้าปั๊มน้ำที่ติดตั้งวาล์วควบคุมการไหลเพื่อควบคุมอัตราการไหลให้ได้ตามความต้องการ อาจใช้ปั๊มน้ำที่มีขนาดเล็กกว่าที่ออกแบบเพื่อให้ส่งจ่ายน้ำด้วยอัตราการไหลเท่าเดิมแต่ด้วยประสิทธิภาพที่สูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5-32



รูปที่ 5-33 การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของมอเตอร์มาตรฐานและมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ขนาด 7.5 kW

(4) มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง

ปกติการขับเคลื่อนของมอเตอร์ไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าปั๊มน้ำที่มอเตอร์นั้นขับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง (Higher Efficiency Motor : HEMS) ซึ่ง HEMS จะมีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ามาตรฐานทั่ว ๆ ไปประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้มอเตอร์ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงยังปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง (PF) ให้สูงขึ้น ดังรูปที่ 5-33

5.7.4 การจัดการตรวจสอบ

- การตรวจวัดประสิทธิภาพของปั๊มน้ำเป็นเรื่องที่มีความยุ่งยากและข้อจำกัดมากมาย ทำให้โอกาสในการประเมินประสิทธิภาพของปั๊มน้ำมีไม่มากนัก จึงมีการพัฒนาเทคนิคทางเทอร์โมไดนามิกส์มาคำนวณหาประสิทธิภาพได้โดยตรงเพียงวัดอุณหภูมิ และความดันตกคร่อมปั๊มน้ำ ผลที่ได้สามารถนำไปเปรียบเทียบกับคุณสมบัติปั๊มน้ำตามที่ถูกผลิตให้รายละเอียดไว้

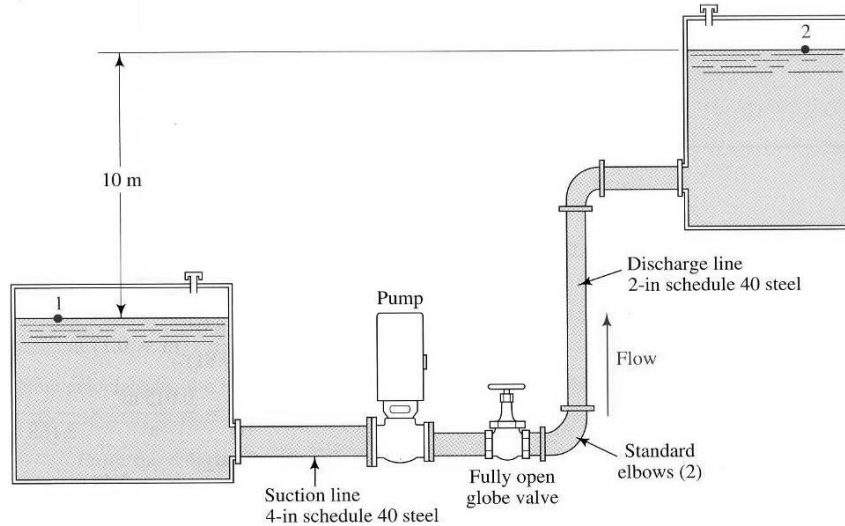
- การติดตามตรวจวัดการทำงานของปั๊มน้ำ จะเป็นประโยชน์อย่างมากถ้าติดตั้งมาตรวัด ความดันที่ท่อดูด และท่อส่งของปั๊มน้ำทุกเครื่องและติดตั้งแอมป์มิเตอร์สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อให้แน่ใจว่าท่อดูดไม่อุดตันความสามารถในการทำงานของปั๊มน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับคุณลักษณะสมบัติของปั๊มน้ำการคำนวณค่าใช้จ่ายในการเดินปั๊มน้ำ

- การติดตามตรวจวัดการทำงานของระบบสำหรับปั๊มน้ำขนาดใหญ่จะมีความคุ้มค่าที่จะใช้ระบบติดตามบันทึกค่าการใช้งานด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการควบคุมการเดินปั๊มน้ำได้อีกด้วย ทำให้เห็นศักยภาพในการ ปรับการเดินปั๊มน้ำให้สอดคล้องกับความต้องการการใช้น้ำการสูบน้ำเกินความต้องการการรั่วของน้ำ

5.8 กรณีศึกษา

5.8.1 กรณีศึกษาตัวอย่างการใช้งานปั้มน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ

ระบบท่อส่งของไหลเมทิลแอลกอฮอล์ ออกแบบมาดังรูปที่ 5-34 โดยอัตราการสูบของไหลในระบบมีค่า 54.0 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (m^3/hr) จงหาค่าพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนปั้มน้ำหรือค่าพลังงานที่ต้นกำลังต้องให้กับปั้มน้ำ ถ้ากำหนดให้ปั้มน้ำมีประสิทธิภาพเท่ากับ 76 เปอร์เซ็นต์



กำหนดให้ ที่จุดหมายเลข 1 และ 2 ของไหลมีค่าความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ และความเร็วของของไหล (การลดระดับลงของน้ำที่จุด 1 และการเพิ่มระดับของน้ำที่จุด 2) มีค่าน้อยมากหรือประมาณเท่ากับศูนย์ ความยาวท่อโดยรวมเท่ากับ 15 เมตร ขนาด 4 นิ้ว Schedule 40 steel pipe ส่วนความยาวท่อส่งรวมเท่ากับ 200 เมตร ขนาด 2 นิ้ว Schedule 40 steel pipe ค่าสัมประสิทธิ์ K ที่ช่องการไหลจากถัง 1 เข้าสู่ท่อคือมีค่าเท่ากับ 0.5 (เป็นแบบ a squared-edged inlet) และค่าสัมประสิทธิ์ K ที่ช่องการไหลจากท่อส่งเข้าสู่ถัง 2 มีค่าเท่ากับ 1.0 คุณสมบัติของของไหลมีดังนี้

ค่าความหนาแน่นเท่ากับ	$\rho = 789 \text{ kg/m}^3$
ความหนืดไดนามิก (Dynamic viscosity)	$\mu = 5.6 \times 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$
ค่าความโน้มถ่วง	$g = 9.81 \text{ m/s}^2$

วิธีการวิเคราะห์ เขียนสมการพลังงานโดยใช้สมการของเบอร์นูลลี จากจุด 1 ไปยังจุด 2 ได้

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \text{TDH} - H_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (1)$$

เมื่อ

TDH = พลังงานต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของของไหลที่ปั้มน้ำต้องให้กับของไหล (หน่วยเป็นเมตร)

H_L = พลังงานสูญเสีย (เฮด) จากความฝืดรวมต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของของไหล (หน่วยเป็นเมตร) โดย

$$H_L = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6 \quad (2)$$

ตอนที่ 2 บทที่ 5 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับเครื่องสูบน้ำ

H_1 = เฮดสูญเสียจากการไหลจากถัง 1 เข้าท่อดูด

H_2 = เฮดความฝืดจากการไหลในท่อดูด

H_3 = เฮดสูญเสียจากการไหลผ่านโกลบวาล์ว

H_4 = เฮดสูญเสียจากการไหลผ่านข้องอ 90° สองตัวในระบบท่อ

H_5 = เฮดความฝืดจากการไหลในท่อส่ง

H_6 = เฮดสูญเสียจากการไหลจากท่อส่งเข้าถัง 2

เนื่องจากระดับน้ำลดลงอย่างช้า ๆ ดังนั้น $V_1 = V_2 \approx 0$

จากอัตราการสูบที่กำหนดให้ $Q = 54.0 \text{ m}^3/\text{hr} = \frac{54.0 \text{ m}^3}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ s}} = 0.015 \text{ m}^3/\text{s}$

$$V_s = \frac{Q}{A_s} = \frac{0.015 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \times \left(\frac{0.1023}{2} \right)^2 \text{ m}^2} = 1.83 \text{ m/s} \text{ (ความเร็วในท่อดูด)}$$

$$\frac{V_s^2}{2g} = \frac{(1.83)^2}{2 \times 9.81} = 0.17 \text{ m}$$

$$V_d = \frac{Q}{A_d} = \frac{0.015 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \times \left(\frac{0.0525}{2} \right)^2 \text{ m}^2} = 6.92 \text{ m/s} \text{ (ความเร็วในท่อส่ง)}$$

$$\frac{V_d^2}{2g} = \frac{(6.92)^2}{2 \times 9.81} = 2.44 \text{ m}$$

จากนั้นคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความฝืดจาก Moody Diagram

สำหรับท่อดูด (ตัวห้อย s หมายถึงท่อดูด)

$$Re_s = \frac{V_s D \rho}{\mu} = \frac{(1.83)(0.1023)(789)}{5.60 \times 10^{-4}} = 2.64 \times 10^5$$

สำหรับท่อเหล็กกล้า (Steel), $\epsilon = 4.6 \times 10^{-5}$

$$\frac{D}{\epsilon} = \frac{0.1023}{4.6 \times 10^{-5}} = 2224$$

จากค่าทั้งสองข้างบนนำไปใช้หาค่า f_s จาก Moody Diagram ได้เท่ากับ 0.018

สำหรับท่อส่ง (ตัวห้อย d หมายถึงท่อดูด)

$$Re_d = \frac{V_d D \rho}{\mu} = \frac{(6.92)(0.1023)(789)}{5.60 \times 10^{-4}} = 5.12 \times 10^5$$

สำหรับท่อเหล็กกล้า (Steel), $\epsilon = 4.6 \times 10^{-5}$

$$\frac{D}{\epsilon} = \frac{0.0525}{4.6 \times 10^{-5}} = 1141$$

จากค่าทั้งสองข้างบนนำไปใช้หาค่า f_d จาก Moody Diagram ได้เท่ากับ 0.019

ต่อไปเราจะทำการคำนวณเฮดความฝืดในแต่ละค่าในสมการที่ (2)

$$H_1 = K \frac{V_s^2}{2g} = (0.5) (0.17 \text{ m}) = 0.09 \text{ m}$$

$$H_2 = f_s \times \frac{L}{D} \times \frac{V_s^2}{2g} = (0.018) \left(\frac{15}{0.1023} \right) (0.17 \text{ m}) = 0.45 \text{ m}$$

$$H_3 = f_d \times \frac{L_e}{D} \times \frac{V_d^2}{2g} = (0.019) (340) (2.44 \text{ m}) = 15.76 \text{ m}$$

โดยค่า $\frac{L_e}{D}$ ของโกลบวาล์วที่เปิดเต็มที่ที่มีค่าเท่ากับ 340 ซึ่งค่า L_e คือค่าความยาวท่อเทียบเท่าของโกลบวาล์ว

$$H_4 = 2 f_d \times \frac{L_e}{D} \times \frac{V_d^2}{2g} = 2 (0.019) (30) (2.44 \text{ m}) = 2.78 \text{ m}$$

โดยค่า $\frac{L_e}{D}$ ของข้องอ 90° มีค่าเท่ากับ 30

$$H_5 = f_d \times \frac{L}{D} \times \frac{V_d^2}{2g} = (0.019) \left(\frac{200}{0.0525} \right) (2.44 \text{ m}) = 185.9 \text{ m}$$

$$H_6 = K \frac{V_d^2}{2g} = (1) (2.44 \text{ m}) = 2.44 \text{ m}$$

นำค่าเฮดความฝืดไปแทนในสมการที่ 2 จะได้

$$\begin{aligned} H_L &= H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6 \\ &= 0.09 + 0.45 + 15.67 + 2.78 + 185.9 + 2.44 \\ &= 207.4 \text{ m} \end{aligned}$$

จากนั้นนำค่า H_L ไปแทนในสมการที่ 1 และจาก $P_1 = P_2 = 0$, $V_1 = V_2 = 0$, $Z_1 = 0$ และ $Z_2 = 10 \text{ m}$ จะได้

$$TDH = 10 + 207.4 = 217.4 \text{ m}$$

ตอนที่ 2 บทที่ 5 การอนุรักษ์พลังงานสำหรับเครื่องสูบน้ำ

กำลังที่ใช้ในการขับปั๊ม, P_A

$$P_A = \frac{TDH \cdot \gamma Q}{\eta_{\text{pump}} \times 1000} = \frac{(217.4\text{m})(7.74 \times 10^3 \text{ N/m}^3)(0.015 \text{ m}^3/\text{s})}{0.76 \times 1000} = 33.2 \text{ kW}$$

ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงระบบดังนี้

1. ลดความยาวของท่อดูดลงจาก 15 เมตรเป็น 1.5 เมตร โดยให้ถึงหมายเลข 1 อยู่เท่าเดิม ดังนั้น ท่อส่งจะยาวขึ้นเท่ากับ 213.5 เมตร
2. เพิ่มเกทวาล์ว(Gate valve)แบบเปิดเต็มที่ ที่ท่อดูด
3. เพิ่มขนาดของท่อส่งจาก 2 นิ้วไปเป็น 3 นิ้ว ดังนั้นจะทำให้เราคำนวณใหม่ได้ $V_d = 3.15 \text{ m/s}$ และ
เฮดความเร็ว $\frac{V_d^2}{2g} = 0.504 \text{ m}$ (จากค่าเดิม 2.44 m)
4. เปลี่ยนโกลบวาล์วที่ท่อส่งไปเป็นเกทวาล์วแบบเปิดเต็มที่

เมื่อทำการคำนวณใหม่เช่นเดียวกับวิธีข้างบน เราจะได้ค่า $TDH = 37.9$ เมตรหรือคิดเป็นกำลังที่ใช้ในการขับปั๊มใหม่ เป็น **5.8 kW** ซึ่งมีค่าประมาณได้เป็น **1 ใน 6** ของกำลังไฟฟ้าค่าเดิม

5.8.2 มาตรการซ่อมแซมการรั่วไหลน้ำหล่อเย็น

มาตรการอนุรักษ์พลังงานปั๊มน้ำที่อยู่ในระบบทำน้ำเย็นของสถานประกอบการแห่งหนึ่ง เป็นมาตรการทางด้านการบำรุงรักษาเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน มีรายละเอียดแนวทางการดำเนินการดังนี้

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งานของปั๊ม

ที่หอระบายความร้อน (Cooling Tower) ของสถานประกอบการ มีปั๊มน้ำระบายความร้อน (Cooling Water Pump) จำนวน 4 ตัว มีขนาด 37 kW/ตัว มีอัตราการไหลของน้ำ $340 \text{ m}^3/\text{hr}$ จำนวน 1 เครื่อง และ $420 \text{ m}^3/\text{hr}$ จำนวน 3 เครื่อง โดยปั๊มน้ำนี้จะทำงาน 24 ชม./วัน และ 330 วัน/ปี



สภาพปั๊มน้ำหล่อเย็นก่อนปรับปรุง



ก่อนปรับปรุงมีการรั่วไหลของน้ำ

ปัญหาของอุปกรณ์ / ระบบก่อนปรับปรุง

เนื่องจากปั๊มน้ำมีอายุการใช้งานเกินกว่าห้าปี มีสภาพค่อนข้างเก่าและซีลปั๊มชำรุดเสื่อมสภาพ ทำให้เกิดการรั่วไหลของน้ำหล่อเย็น ที่ปั๊มน้ำ No.1, 3 และ No.4 ปริมาณ 1.538 m³/h หรือ 36.912 m³/วัน ซึ่งเป็นการสูญเสียค่าน้ำประปา

ปั๊มน้ำ	พิกัด kW	พิกัดอัตรา การไหล m ³ /hr	กำลังไฟฟ้า วัดได้ kW	อัตราการรั่วไหล m ³ /h	ค่ากำลังไฟฟ้า จำเพาะ kW/m ³ /hr
No.1	37	340	40.8	0.072	0.12
No.3	37	420	37.8	1.25	0.09
No.4	37	420	37.8	0.216	0.09
รวม	111	1180	116.4	1.538	0.094

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

1. ตรวจสอบปริมาณน้ำที่รั่วไหลของปั๊มน้ำแต่ละตัว
2. ตรวจสอบกำลังไฟฟ้าของปั๊มน้ำแต่ละตัว
3. ทำการซ่อมปั๊มหอยโข่ง โดยรื้อปั๊มออก และเปลี่ยนซีล เปลี่ยนลูกปืน และซ่อมสปีใหม่

สภาพหลังปรับปรุง

สามารถลดการสูญเสียของน้ำหล่อเย็นและค่าน้ำประปาได้ 244,837 บาท/ปี และอีกทั้งลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าได้ 1,112.96 kWh/ปี

หลังการปรับปรุง

ระยะเวลาดำเนินการ	1	เดือน
เงินลงทุน	23,400	บาท
ผลประโยชน์ที่ได้ทั้งค่าน้ำประปาและค่าไฟ	248,287	บาท/ปี หรือ 0.095 toe/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.09	ปี

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ปั๊มตัวที่ 1

- กำลังไฟฟ้า = 40.8 kW.
- อัตราการไหลของน้ำผ่านปั๊มตัวนี้ = 340 m³/ hr
- Specific power consumption = (40.8 kW/340 m³/hr) = 0.12 kW/m³/hr
- อัตราการรั่วของน้ำ (Q_ร) = 60 x 1.2 x 10⁻³ m³ = 0.072 m³/hr
- กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วไหล = 0.072 m³/hr x 0.12 kW/m³/hr
= 8.64 x 10⁻³ kW
- พลังงานไฟฟ้าสูญเสียต่อปี = 8.64 x 10⁻³ x 24 x 330 = 68 kWh/ปี
- ปริมาณน้ำรั่วตลอดทั้งปี = 72 x 10⁻³ m³/hr x 24 hr x 330 วัน
= 570.24 m³/ ปี

ปั๊มตัวที่ 3

- กำลังไฟฟ้า = 37.8 kW.
- อัตราการไหลของน้ำผ่านปั๊มตัวนี้ = 420 m³/ hr
- Specific power consumption = (37.8 kW/420 m³/hr) = 0.09 kW/m³/hr
- อัตราการรั่วของน้ำ (Q_ร) = 30 m³/ 24 hr = 1.25 m³/hr
- กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วไหล = 1.25 m³/hr x 0.09 kW/m³/hr = 0.1125 kW
- พลังงานไฟฟ้าสูญเสียต่อปี = 0.1125 kW x 24 x 330 = 891 kWh/ปี
- ปริมาณน้ำรั่วตลอดทั้งปี = 1.25 m³/hr x 24 hr x 330 วัน = 9,900 m³/ ปี

ปั๊มตัวที่ 4

- กำลังไฟฟ้า = 37.8 kW.
- อัตราการไหลของน้ำผ่านปั๊มตัวนี้ = 420 m³/ hr
- Specific power consumption = (37.8 kW/420 m³/hr) = 0.09 kW/m³/hr
- อัตราการรั่วของน้ำ (Q_ร) = (900/15 x 60/1000 x 60) = 0.216m³/hr
- กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วไหล = 0.216 m³/hr x 0.09 kW/m³/hr
= 0.01944 kW
- พลังงานไฟฟ้าสูญเสียต่อปี = 0.01944 kW x 24 x 330
= 153.96 kWh/ปี
- ปริมาณน้ำรั่วตลอดทั้งปี = 0.216 m³/hr x 24 hr x 330 วัน = 1710.72m³/ปี

ดังนั้นหลังจากทำการซ่อมระบบปั๊มน้ำทั้งหมดพร้อมรอยรั่วจะประหยัดได้พลังงานไฟฟ้าได้

$$= 68 + 891 + 153.96 = 1,112.96 \text{ kWh / ปี}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าไฟฟ้าประหยัดได้} &= 1,112.96 \text{ kWh/ปี} \times 3.10 \text{ บาท/kWh} \\ &= 3,450 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าน้ำประปาที่ประหยัดได้} &= 570.24 + 9,900 + 1710.72 \text{ m}^3/\text{ปี} \times 20.10 \text{ บาท/m}^3 \\ &= 244,837 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าน้ำประปาและค่าไฟฟ้าประหยัดรวม} &= 3,450 + 244,837 \text{ บาท/ปี} \\ &= 248,287 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

5.8.3 มาตรการปรับปรุงระบบปั้มน้ำ

มาตรการอนุรักษ์พลังงานปั้มน้ำที่อยู่ในบ่อของสถานประกอบการแห่งหนึ่ง เป็นมาตรการทางด้านการจัดการการใช้งานอุปกรณ์ เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน มีรายละเอียดแนวทางการดำเนินการดังนี้

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งานของปั้ม

ในส่วนของระบบกรองน้ำเพื่อจ่ายให้กับกระบวนการผลิตมีระบบปั้มน้ำดิบเพื่อสูบน้ำจากแหล่งน้ำเข้าสู่ระบบการกรองน้ำ โดยใช้ปั้มน้ำขนาด 15 kW จำนวน 2 ตัว เพื่อจ่ายน้ำดิบ 130 ลูกบาศก์เมตร/ชม. ทางทีมงานอนุรักษ์พลังงานเห็นควรให้มีปรับปรุงระบบปั้มน้ำดิบเพื่อลดจำนวนปั้มน้ำจาก 2 ตัวให้เหลือเพียง 1 ตัว แต่ยังสามารถจ่ายน้ำดิบ 130 ลูกบาศก์เมตร/ชม. ได้เหมือนเดิม เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินงาน

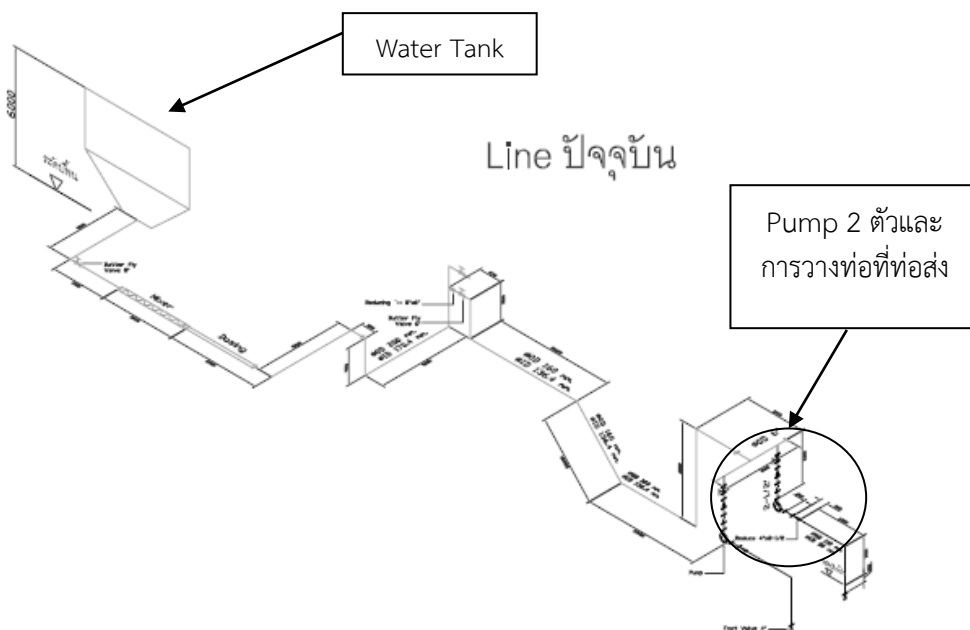
ทำการสำรวจการใช้งานระบบปั้มน้ำเพื่อหาแนวทางลดการใช้พลังงาน จากการตรวจสอบพบว่าที่บ่อ 6 ซึ่งเป็นบ่อจ่ายน้ำดิบให้กับโรงกรองน้ำมีการใช้ปั้มน้ำสองตัวในการสูบน้ำ ทางทีมงานอนุรักษ์เห็นว่าท่อที่ใช้ในทางคูมีขนาด 4 นิ้ว และจากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Piping Fluid Flow System ทางทีมงานได้ทำการออกแบบระบบท่อใหม่ สามารถลดการใช้ปั้มให้เหลือตัวเดียวได้และได้เพิ่มขนาดท่อให้ใหญ่ขึ้นเป็น 8 นิ้วที่ท่อทางคูเพื่อลดการสูญเสียภายในท่อ โดยค่าที่ใช้ในการตรวจมีดังนี้

- แรงดันไฟฟ้า (Voltage)
- กระแสไฟฟ้า (Current)
- กำลังไฟฟ้า (Power)

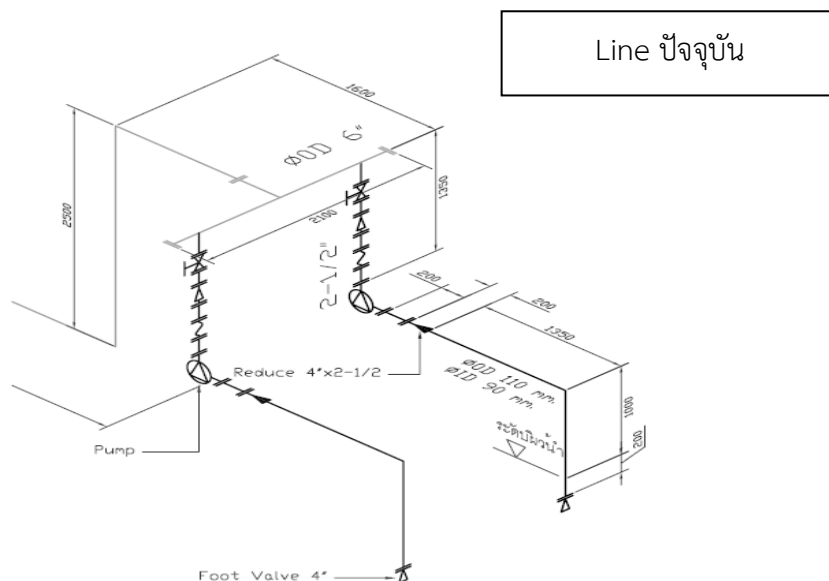
ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการสูบน้ำก่อน และหลังทำการปรับปรุงจะถูกนำมาเทียบกัน

ก่อนทำการปรับปรุง

ภาพแสดง Single line diagram ของระบบท่อที่ใช้ในการคำนวณในโปรแกรม Piping Fluid Flow System

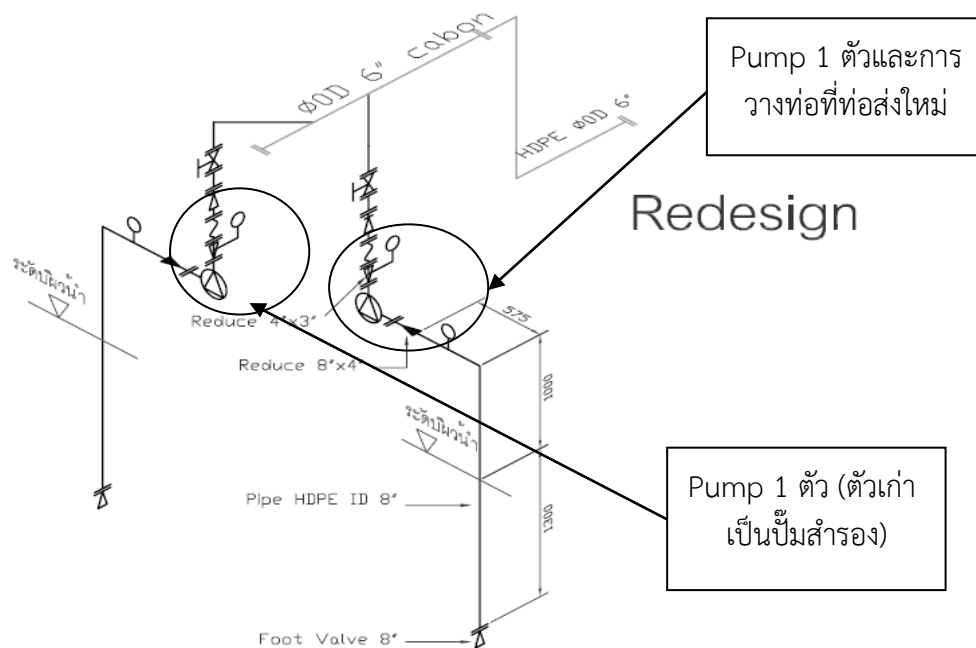


ภาพแสดงรายละเอียดการวางท่อขนาด 4 นิ้วก่อนการปรับปรุง



หลังทำการปรับปรุง

ภาพแสดง Single line diagram ของระบบท่อที่ออกแบบใหม่ และใช้ในการคำนวณในโปรแกรม Piping Fluid Flow System



ระยะเวลาดำเนินการ	2	เดือน		
เงินลงทุน	153,000	บาท		
ผลประโยชน์ที่ได้	48,307	บาท/ปี	1.33	toe/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	3.2	ปี		

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

จากการออกแบบด้วยโปรแกรมพบว่าจะสามารถลดกำลังที่ใช้ในการสูบน้ำได้ลดลง 1.93 kW

$$\begin{aligned}
 \text{ผลประหยัด (kWh/ปี)} &= \text{กำลังไฟของปั๊มลดลง} \times \text{จำนวนชม.ที่ใช้ต่อวัน} \times \text{จำนวนวันทำงานใน 1 ปี} \\
 &= 1.93 \times 24 \times 336 \\
 &= 15,583 \quad \text{kWh/ปี} \\
 \text{คิดเป็น} &= 15,583 \times 85.21 \times 10^{-6} \\
 &= 1.33 \quad \text{toe/ปี} \\
 \text{หรือคิดเป็น} &= 15,583 \text{ kWh/ปี} \times 3.6 \quad \text{MJ/kWh} \\
 &= 56,098.8 \quad \text{MJ/ปี} \\
 \text{ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย} &= 3.10 \quad \text{บาท/kWh} \\
 \text{คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้} &= 15,583 \text{ kWh/ปี} \times 3.10 \quad \text{บาท/kWh} \\
 &= 48,307 \quad \text{บาท/ปี}
 \end{aligned}$$

การลงทุน

$$\begin{aligned}
 \text{การลงทุนราคาค่าปั๊มและการติดตั้ง} &= 153,000 \quad \text{บาท} \\
 \text{คิดเป็นระยะเวลาในการคืนทุน} &= \text{เงินลงทุน/ผลประหยัด} \\
 &= 153,000 \text{ บาท} / 48,307 \quad \text{บาท/ปี} \\
 &= 3.2 \quad \text{ปี}
 \end{aligned}$$

5.8.4 มาตรการเปลี่ยนท่อเหล็กของปั๊มน้ำ

มาตรการอนุรักษ์พลังงานปั๊มน้ำที่อยู่ในสถานประกอบการแห่งหนึ่งเป็นมาตรการทางด้านการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน มีรายละเอียดแนวทางการดำเนินการดังนี้

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งานปั๊ม

เนื่องจากการใช้ปั๊มน้ำที่บ่อน้ำดิบ 4 ตัว ขนาดของปั๊มแต่ละ 30 kW เดินเครื่อง 24 ชั่วโมงต่อวัน, 150 วันต่อปี จากการสำรวจพบว่าท่อเหล็กมีสภาพชำรุด ซึ่งจากการสอบถามทางโรงงานพบว่ามักมีการชำรุดอยู่เสมอ ทั้งนี้การติดตั้งตำแหน่งของท่อเหล็กไม่เหมาะสมจึงทำให้ชำรุดเร็วกว่าปกติ เมื่อชำรุดแล้วจะทำให้หน้าที่ท่อทางดูดถูกดูดเข้าได้ไม่เต็มที่ จึงเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานโดยใช้เหตุ

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

ท่อเหล็กของปั๊มหนึ่งตัวมีการชำรุด สังเกตได้จากเสียงที่ดังมากและท่อยุบตัวลงไป ดังนั้นต้องมีการแก้ไขโดยด่วน



รูปแสดงปั๊มน้ำและท่อเหล็กที่ชำรุด

สภาพหลังการปรับปรุง

ทำการเปลี่ยนท่อเหล็กใหม่เป็นที่เรียบร้อยแล้ว



วิธีการคำนวณผลประหยัด

- ผลประหยัด

จากการตรวจวัดกำลังไฟฟ้า = 26.7 kW (พิกัด 30 kW)

จากการที่ท่อเหล็กดิบลง น้ำที่สามารถดูดได้ลดลงไป 5 % ดังนั้นเมื่อเปลี่ยนเหล็กใหม่จะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้น้อย 5 %

พลังงานไฟฟ้าลดได้	=	$26.7 \text{ kW} \times 0.05$	=	1.335	kW
พลังงานไฟฟ้าลดได้ต่อปี	=	$1.335 \text{ kW} \times 24 \text{ h/day} \times 150$			day/ปี
	=	4,806			kWh/ปี

คิดเป็น toe	=	$4,806.8 \text{ kWh/ปี} \times 85.21 \times 10^{-6}$			
	=	0.41			toe/ปี

คิดเป็นค่าไฟฟ้า	=	$4,806 \text{ kWh/ปี} \times 2.79$			บาท/kWh
	=	13,408.7			บาท/ปี

การลงทุน และผลตอบแทนการลงทุน

- เงินลงทุน 2,000 บาท
- ระยะเวลาคืนทุน 0.12 ปี

5.8.5 มาตรการการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์ปั๊ม

มาตรการอนุรักษ์พลังงานปั๊มน้ำโดยการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์ปั๊มที่อยู่ในสถานประกอบการแห่งหนึ่ง เป็นมาตรการทางด้านการเพิ่มอุปกรณ์ควบคุมการใช้งาน เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน มีรายละเอียดแนวทางการดำเนินการดังนี้

หลักการ และเหตุผลของมาตรการ

เนื่องจากการใช้ปั๊มน้ำกาก และปั๊มเสียใช้งานไม่เต็มประสิทธิภาพเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานเพราะปัจจุบันใช้หรีเวลาซึ่งหากใช้ VSD เพื่อลดอัตราการสูบแทน จะทำให้ช่วยประหยัดไฟฟ้าได้

การรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น

ถึงกักมันสำปะหลังมีการใช้ปั๊มเพื่อที่จะปั๊มน้ำกากไปสู่อุปกรณ์สะบัดน้ำแบ่ง และในส่วนของปั๊มน้ำเสียก็จะปั๊มน้ำเสียจากขบวนการผลิตไปสู่อบوابำบัดน้ำเสีย

เนื่องจาก ที่ถึงกักมันสำปะหลังมีการใช้ปั๊มอยู่ ซึ่งปัจจุบันมีการหริวาล์ว ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานเนื่องจากใช้งานไม่เต็มประสิทธิภาพ และในส่วนของปั๊มน้ำเสียก็มีลักษณะเช่นเดียวกับปั๊มน้ำกาก



ภาพก่อนปรับปรุงของมอเตอร์ปั๊มน้ำกากของเสีย



ภาพหลังปรับปรุงของมอเตอร์ปั๊มน้ำกากของเสีย

การสำรวจตรวจวัด

ในกระบวนการผลิตของโรงงาน มีการใช้ปั๊มน้ำกากขนาด 11 W วัดกำลังไฟฟ้าได้ 7.37 kW อัตราสูบน้ำ 100 % ของอัตราการไหลที่พิกัด ความเร็วรอบเครื่องสูบน้ำ 1,460 รอบต่อนาที จากการศึกษาคพบว่าสามารถลดอัตราการสูบลงได้เหลือ 60 % ของอัตราการไหลที่พิกัด ปกติมีการเปิดใช้ปั๊มน้ำวันละ 22 ชั่วโมง ปีละ 300 วัน ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 2.70 บาทต่อหน่วย

มอเตอร์ปั๊มน้ำ No.1-7 มีขนาดพิกัด	11.0	kW	มีจำนวน 7 ตัว
มอเตอร์ปั๊มน้ำเสีย มีขนาดพิกัด	55.0	kW	มีจำนวน 1 ตัว
ชั่วโมงการทำงาน	22	ชั่วโมงต่อวัน	300 วันต่อปี หรือ 6,600 ชั่วโมงต่อปี
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	2.70	บาท/kWh	
ความเร็วรอบเครื่องสูบน้ำก่อนปรับปรุง :	n_1	=	1460 รอบต่อนาที
ความเร็วรอบเครื่องสูบน้ำหลังปรับปรุง :	n_2	=	- รอบต่อนาที

การวิเคราะห์ทางเทคนิค

จากสมการ

$$\left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^3 = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3 = \left(\frac{KW_2}{KW_1} \right)$$

Q_1	คือ	อัตราสูบก่อนปรับปรุง (100%)
Q_2	คือ	อัตราสูบหลังปรับปรุง (60%)
N_1	คือ	ความเร็วรอบเครื่องสูบน้ำก่อนปรับปรุง (1460 รอบต่อนาที)
KW_1	คือ	กำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง (7.37 กิโลวัตต์)

1. สำหรับมอเตอร์ปั๊มกาก No.1-7

ความเร็วรอบหลังปรับปรุง (N_2)	=	$(60 / 100) \times 1460$	รอบต่อนาที
	=	876	รอบต่อนาที
กำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง (KW_2)	=	$7.37 \times (60 / 100)^3$	กิโลวัตต์
	=	1.59	กิโลวัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	$(7.37-1.59) \times 22 \text{ ชม./วัน} \times 300 \text{ วัน/ปี}$	
	=	38,148	kWh/ปี

2. สำหรับมอเตอร์ปั๊มน้ำเสีย

ความเร็วรอบหลังปรับปรุง (N_2)	=	$(60 / 100) \times 1460$	รอบต่อนาที
	=	876	รอบต่อนาที
กำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง (KW_2)	=	$41.86 \times (60 / 100)^3$	กิโลวัตต์
	=	9.04	กิโลวัตต์
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	$(41.86-9.04) \times 22 \text{ ชม./วัน} \times 300 \text{ วัน/ปี}$	
	=	216,612	kWh/ปี

ตารางผลการปรับปรุงติดตั้งอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์

ชื่ออุปกรณ์ มอเตอร์	กำลังไฟฟ้า (kW)			การใช้งาน(%)		การใช้งาน (ชม./ปี)	กำลังไฟฟ้า ลดลง(kW)
	พิกัด	หรีวาล์ว	ใช้ VSD	เปิดวาล์ว	หรีวาล์ว		
1.ปั๊มกาก No.1	11	7.37	1.59	100	60	6,600	5.78
2.ปั๊มกาก No.2	11	7.37	1.59	100	60	6,600	5.78
3.ปั๊มกาก No.3	11	7.37	1.59	100	60	6,600	5.78
4.ปั๊มกาก No.4	11	7.37	1.59	100	60	6,600	5.78
5.ปั๊มกาก No.5	11	7.37	1.59	100	60	6,600	5.78
6.ปั๊มกาก No.6	11	7.37	1.59	100	60	6,600	5.78
7.ปั๊มกาก No.7	11	7.37	1.59	100	60	6,600	5.78
8.ปั๊มน้ำเสีย	55	41.86	9.04	100	60	6,600	32.82
รวม	132	93.46	20.19	-	-	-	73.27

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้รวม	=	$(38,148 \times 7) + 216,612$	kWh/ปี
	=	483,648	kWh/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	$483,648 \times 2.70$	บาท/ปี
	=	1,305,850	บาท/ปี

การวิเคราะห์การลงทุน

1. ค่าอินเวอร์เตอร์ ขนาด 11 kW ราคารวมค่าติดตั้ง 63,804 บาท/ชุด
รวม 7 ชุด = 446,628 บาท
2. ค่าอินเวอร์เตอร์ ขนาด 55 kW ราคารวมค่าติดตั้ง 253,260 บาท/ชุด = 253,260 บาท
คิดเป็นเงินลงทุนรวม ค่าติดตั้ง = 699,880 บาท
เมื่อเปรียบเทียบกับเงินที่ประหยัดที่ได้ = 1,305,850 บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน = 0.54 ปี

เมื่อพิจารณาเงินลงทุนเปรียบเทียบกับผลที่ประหยัดได้จะทำให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนสูงที่สุด เนื่องจากเงินลงทุนไม่มาก ซึ่งเป็นเหตุจูงใจให้ผู้บริหารง่ายต่อการตัดสินใจในการปรับปรุง

5.8.6 มาตรการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดปั้มน้ำ ขนาด 19.8 ซม. เป็น 18.5

มาตรการอนุรักษ์พลังงานปั้มน้ำโดยการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดปั้มน้ำที่อยู่ในสถานประกอบการ แห่งหนึ่ง เป็นมาตรการทางด้านการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน มีรายละเอียดแนวทางการดำเนินการดังนี้

หลักการ และเหตุผลของมาตรการ

เนื่องจากมีการใช้น้ำระบายความร้อนอุปกรณ์การกลั่นสุรา จึงใช้ปั้มน้ำจากหอผึ่งน้ำขึ้นระบบหอกลั่น และไหลวนกลับสู่หอผึ่งน้ำเพื่อลดความร้อนของน้ำที่กลับมา โดยการแลกเปลี่ยนความร้อนกับลมซึ่งถูกดูดด้วย ปั้มน้ำเข้าทางด้านข้างหอผึ่งน้ำ ผ่านน้ำแล้วออกทางด้านบนหอผึ่งน้ำ และน้ำถูกดูดด้วยปั้มน้ำขึ้นหอกลั่นต่อไป

การรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น

ปั้มน้ำยี่ห้อ KSB รุ่น ETA NORM G 100 – 200 G 1 Q 300 m³/hr H 40 m 2900 RPM มอเตอร์ ยี่ห้อ ABB 55 kW ปั้มน้ำที่ใช้สูบน้ำขึ้นหอกลั่น มีขนาดโตเกินไป และปริมาณน้ำที่สูบได้มีจำนวนมากเกินความต้องการ จึงต้องปรับวาล์วทางส่งเพื่อลดปริมาณอัตราการไหลของน้ำลง



รูปแสดงมอเตอร์ปั้มน้ำขนาด 55 kW

การสำรวจตรวจวัด

ชั่วโมงการทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน 365 วันต่อปี หรือ 8,760 ชั่วโมงต่อปี

ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 2.77 บาท/kWh

มอเตอร์ปั๊ม ขนาด 55 kW ปั๊มน้ำยี่ห้อ KSB รุ่น ETA NORM G 100 – 200 G 1

อัตราการไหล : Q 300 m³/hr , ความสูงน้ำ : H 40 m., ความเร็วรอบ 2900 rpm.

ในการใช้งานของปั๊มน้ำภายในประกอบด้วยใบพัดสูบน้ำ ก่อนปรับปรุงมี ขนาด ϕ 19.8 ซม. และ
หลังปรับปรุงเป็น ϕ 18.5 ซม.

ก่อนปรับปรุง มีค่าทางไฟฟ้า

ตรวจวัด มอเตอร์ปั๊ม กระแส 80A, แรงดัน 380V, PF 0.85 = 44.8 kW

หลังปรับปรุง มีค่าทางไฟฟ้า

ตรวจวัด มอเตอร์ปั๊ม กระแส 66A, แรงดัน 380V, PF 0.85 = 36.9 kW

การวิเคราะห์ทางเทคนิค

I_{p1} คือ กระแสไฟฟ้ามอเตอร์ปั๊มเทอร์ไบน์ ก่อนปรับปรุง = 80.0 (A)

I_{p2} คือ กระแสไฟฟ้ามอเตอร์ปั๊มเทอร์ไบน์ หลังปรับปรุง = 66.0 (A)

V คือ แรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ปั๊มเทอร์ไบน์ ที่ใช้งาน = 380 (V)

PF คือ เพาเวอร์แฟคเตอร์ของมอเตอร์ปั๊มเทอร์ไบน์ ที่ใช้งาน = 0.85

h คือ จำนวนชั่วโมงทำงาน = 24 (ชั่วโมงต่อวัน)

d คือ จำนวนวันทำงานต่อปี = 365 (วันต่อปี)

พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง = (กำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง – กำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง) x h x d kWh/ปี

$$\text{กำลังไฟฟ้าก่อนปรับปรุง} = \frac{\sqrt{3} \times V \times I_{p1} \times PF}{1000} \quad \text{kW}$$

$$= \frac{\sqrt{3} \times 380 \times 80 \times 0.85}{1000} \quad \text{kW}$$

$$= 44.8 \quad \text{kW}$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าหลังปรับปรุง} = \frac{\sqrt{3} \times V \times I_{p2} \times PF}{1000} \quad \text{kW}$$

$$= \frac{\sqrt{3} \times 380 \times 60 \times 0.85}{1000} \quad \text{kW}$$

$$= 36.9 \quad \text{kW}$$

$$\text{พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง} = (44.8 - 36.9) \times 24 \times 365 \quad \text{kWh/ปี}$$

$$= 49,204 \quad \text{kWh/ปี}$$

$$\text{คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้} = 49,204 \times 2.77 \quad \text{บาท/ปี}$$

$$= 191,695 \quad \text{บาท/ปี}$$

การวิเคราะห์การลงทุน

เป็นการปรับลดขนาดใบพัดปั๊มที่เดิมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 19.8 ซม. เป็น 18.5 ซม. โดยใช้มอเตอร์ปั๊มเดิม ขนาด 55 kW ที่ดำเนินปรับปรุงได้เอง ทำให้ไม่มีค่าใช้จ่าย

คิดเป็นเงินลงทุนรวม	=	-	บาท
เมื่อเปรียบเทียบกับเงินที่ประหยัดที่ได้	=	191,695	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	=	-	ปี

เมื่อพิจารณาเงินลงทุนเปรียบเทียบกับผลที่ประหยัดที่ได้ เนื่องจากไม่มีค่าใช้จ่าย ซึ่งเป็นเหตุจูงใจให้ผู้บริหารง่ายต่อการตัดสินใจในการปรับปรุง

การดำเนินการปรับปรุง

1. เก็บข้อมูลการใช้งานก่อนและหลังปรับ
2. วิเคราะห์ และประเมินผลประหยัด และการลงทุน
3. จัดวางการปรับปรุงความแตกต่างของมอเตอร์ชุดใหม่และเก่า
4. วิเคราะห์ผลประหยัดพลังงานที่ได้

จากการตรวจสอบ พบว่า มอเตอร์ปั๊มน้ำเดิมที่มีขนาด 55 kW ปรับลดขนาดของใบพัดปั๊มน้ำแล้วทำให้ปั๊มน้ำปั๊มน้ำในอัตราการไหลลดลง และมีการใช้ไฟฟ้าลดลง



รูปแสดงปั๊มน้ำหลังการปรับปรุง

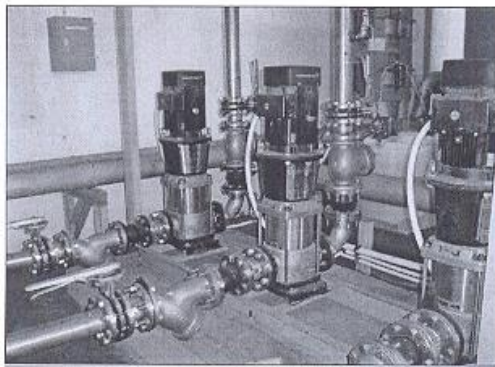
5.8.7 มาตรการติดตั้งระบบ VSD ให้ปั๊มจ่ายน้ำอ่อนและปั๊มจ่ายน้ำ RO

สภาพก่อนการปรับปรุง**ระบบปั๊มจ่ายน้ำอ่อน**

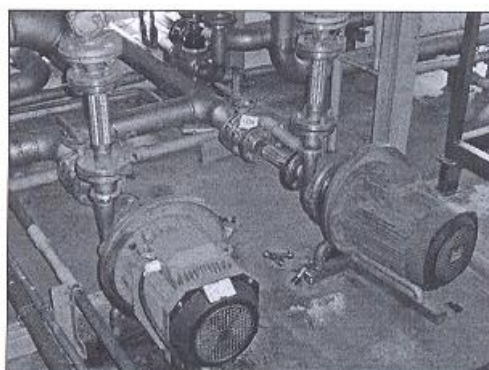
ประกอบด้วยปั๊มน้ำ ขนาด 7.5 kW จำนวน 3 ตัว โดยจะเปิดใช้งานพร้อมกันทั้ง 3 ตัว ทำงาน 24 ชม./วัน 300 วัน/ปี น้ำอ่อนจะนำไปผสมกับน้ำนม และใช้ในกระบวนการล้างทำความสะอาดเครื่องผสม ซึ่งความต้องการในการใช้น้ำอ่อนจะไม่คงที่

ระบบปั๊มจ่ายน้ำ RO

ประกอบด้วยปั๊ม ขนาด 5.5 kW จำนวน 2 ตัว โดยเปิดใช้งานพร้อมกันทั้ง 2 ตัว จำนวน 24 ชม./วัน 300 วัน/ปี น้ำ RO จะนำไปผสมกับน้ำนม ซึ่งความต้องการในการใช้น้ำ RO จะไม่คงที่



รูปแสดงปั้มน้ำที่ใช้ในการส่งจ่ายระบบน้ำอ่อนให้กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิต



รูปแสดงปั้มน้ำที่ใช้ในการส่งจ่ายระบบน้ำ RO ให้กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิต

แนวคิด และขั้นตอนการดำเนินงาน

หลักการตรวจวัด สำหรับมาตรการติดตั้งระบบ VSD ให้ปั้มน้ำจ่ายน้ำอ่อนและปั้มน้ำจ่ายน้ำ RO จะทำการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าของปั้มน้ำจ่ายน้ำอ่อนและปั้มน้ำจ่ายน้ำ RO ที่ทำการปรับปรุงรวมทั้งปริมาณน้ำ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับระหว่างก่อน และหลังปรับปรุงตามสภาพการใช้งานจริง

ในการดำเนินการตรวจวัดปั้มน้ำจ่ายน้ำอ่อน และปั้มน้ำจ่ายน้ำ RO การตรวจวัดจะดำเนินการจดบันทึกโดยดูจากมิเตอร์ไฟฟ้าของปั้มน้ำจ่ายน้ำอ่อน และปั้มน้ำจ่ายน้ำ RO พร้อมกับจดบันทึกมิเตอร์น้ำ ซึ่งทางโรงงานได้มีการจดบันทึกข้อมูลไว้บ้างแล้ว ทางที่ปรึกษาจึงเลือกข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ กรณีละ 7 วัน ได้แก่ ระบบน้ำอ่อน ก่อนปรับปรุง 7 วัน หลังปรับปรุง 7 วัน และระบบน้ำ RO ก่อนปรับปรุง 7 วัน หลังปรับปรุง 7 วัน

สภาพหลังการปรับปรุง

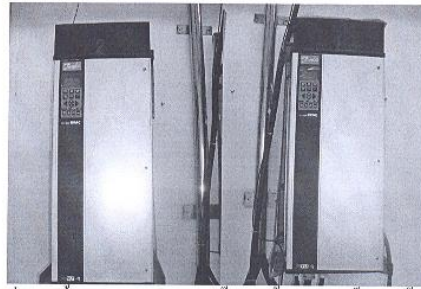
ผู้ประกอบการต้องการปรับปรุงระบบปั้มน้ำจ่ายน้ำอ่อน และน้ำ RO ให้ที่ความเหมาะสมกับสถานะการใช้งานจริง โดยการปรับความเร็วของมอเตอร์ ด้วยการใช้ระบบ VSD เพื่อลดการใช้พลังงาน ซึ่งจะควบคุมการทำงานของ VSD ด้วย Pressure Sensor การปรับปรุงมีรายละเอียดเป็นดังนี้

ระบบปั้มน้ำจ่ายน้ำอ่อน

ปรับปรุงโดยติดตั้ง VSD 1 ตัว ควบคุมการทำงานของปั้ม 2 ตัว โดยมี Pressure Transmitter ตรวจจับแรงดันน้ำ และส่งสัญญาณ 4-20 mA มาที่ VSD เพื่อให้มีการควบคุมปั้มน้ำได้ตามความต้องการของโหลด ส่วนปั้มน้ำอีกตัวจะเปิดใช้งานเต็มพิกัดของปั้มน้ำ

ระบบปั๊มจ่ายน้ำ RO

ปรับปรุงโดยติดตั้ง VSD 1 ตัว ควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำ 2 ตัว โดยมี Pressure Transmitter ตรวจจับแรงดันน้ำ และส่งสัญญาณ 4-20 mA มาที่ VSD เพื่อให้มีการควบคุมปั๊มน้ำให้จ่ายน้ำได้ตามความต้องการของโหลด



รูปแสดงการติดตั้ง VSD ควบคุมระบบปั๊มจ่ายน้ำอ่อนและปั๊มจ่ายน้ำ RO

มาตรการติดตั้งระบบ VSD ให้ปั๊มจ่ายน้ำอ่อน

เงินลงทุน	69,015	บาท		
ผลประหยัดที่ได้	129,684.34	kWh/ปี	355,335.10	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	0.19	ปี		

มาตรการติดตั้ง VSD ให้ปั๊มจ่ายน้ำ RO

เงินลงทุน	62,595	บาท		
ผลประหยัดที่ได้	16,240.98	kWh/ปี	62,559.00	บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	1.41	ปี		

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน**ก่อนการปรับปรุง**

การตรวจวัดการใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง มาตรการติดตั้งระบบ VSD ให้ปั๊มจ่ายน้ำอ่อน และปั๊มจ่ายน้ำ RO มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางรายละเอียดผลการบันทึกการใช้พลังงานจากมิเตอร์ไฟฟ้าและมิเตอร์ปั๊มน้ำอ่อน

Date	ไฟฟ้าที่ใช้ kWh/day	ปริมาณน้ำอ่อน M ³ /day	kWh/m ³
24/4/2006	650	2,177	0.299
25/4/2006	668	2,261	0.295
26/4/2006	717	2,416	0.297
27/4/2006	714	2,135	0.334
28/4/2006	774	2,219	0.349
29/4/2006	553	2,151	0.257
30/4/2006	685	1,802	0.380
ค่าเฉลี่ย	680.14	2,165.86	0.314

ตารางแสดงรายละเอียดผลการบันทึกการใช้พลังงานจากมิเตอร์ไฟฟ้าและมิเตอร์ปั้มน้ำ RO

Date	ไฟฟ้าที่ใช้ kWh/day	ปริมาณน้ำอ่อน M ³ /day	kWh/m ³
24/4/2006	82	169	0.485
25/4/2006	83	164	0.508
26/4/2006	90	199	0.452
27/4/2006	78	151	0.516
28/4/2006	81	205	0.395
29/4/2006	79	102	0.775
30/4/2006	81	136	0.696
ค่าเฉลี่ย	82.00	160.78	0.510

หลังการปรับปรุง

การตรวจวัดการใช้พลังงานหลังการปรับปรุง มาตรการติดตั้งระบบ VSD ปั้มน้ำจ่ายน้ำอ่อน และปั้มน้ำจ่ายน้ำ RO มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางแสดงรายละเอียดผลการบันทึกการใช้พลังงานจากมิเตอร์ไฟฟ้า และมิเตอร์ปั้มน้ำอ่อน

Date	ไฟฟ้าที่ใช้ kWh/day	ปริมาณน้ำอ่อน M ³ /day	kWh/m ³
28/8/2006	152	2,110	0.072
29/8/2006	192	2,251	0.085
30/8/2006	271	2,277	0.119
31/8/2006	150	2,163	0.069
1/8/2006	210	2,292	0.092
2/8/2006	181	2,109	0.086
3/8/2006	162	984	0.165
ค่าเฉลี่ย	188.29	2,026.46	0.093

ตารางแสดงรายละเอียดผลการบันทึกการใช้พลังงานจากมิเตอร์ไฟฟ้า และมิเตอร์ปั้มน้ำ RO

Date	ไฟฟ้าที่ใช้ kWh/day	ปริมาณน้ำอ่อน M ³ /day	kWh/m ³
14/8/2006	30	116	0.259
15/8/2006	31	160	0.194
16/8/2006	31	234	0.132
17/8/2006	30	203	0.148
18/8/2006	33	226	0.146
19/8/2006	28	192	0.146
20/8/2006	29	138	0.210
ค่าเฉลี่ย	30.28	181.26	0.167

การวิเคราะห์ผลประหยัด

มาตรการติดตั้งระบบ VSD ให้ปั๊มจ่ายน้ำอ่อน

ปริมาณน้ำที่ใช้เฉลี่ยก่อนการปรับปรุงในเดือน พ.ค. 2006 เท่ากับ 1,955 m³/วัน

ระบบทำงาน 300 วันต่อปี

ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อปี ; kWh_{save}

$$\begin{aligned} \text{kWh}_{\text{save}} &= (\text{kWh/m}^3_{\text{PRE}} - \text{kWh/m}^3_{\text{POST}}) \times \text{ปริมาณน้ำเฉลี่ยต่อวัน} \times \text{วันทำงานทั้งปี} \\ &= (0.314 - 0.093) \times 1,955 \times 300 \\ &= 129,684.34 \quad \text{kWh/ปี} \end{aligned}$$

ผลประหยัดทางการเงินที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} \text{เงินที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)} &= \text{ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า} \times \text{ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/kWh)} \\ &= 129,684.34 \times 2.74 \\ &= 355,335.10 \quad \text{บาท/ปี} \\ &= 69,051 \quad \text{บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= 69,051 / 355,335.10 \\ &= 0.19 \quad \text{ปี} \end{aligned}$$

มาตรการติดตั้งระบบ VSD ให้ปั๊มจ่ายน้ำ RO

ปริมาณน้ำที่ใช้เฉลี่ยก่อนการปรับปรุงในเดือน พ.ค. 2006 เท่ากับ 158 m³/วัน

ระบบทำงาน 300 วันต่อปี

ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อปี ; kWh_{save}

$$\begin{aligned} \text{kWh}_{\text{save}} &= (\text{kWh/m}^3_{\text{PRE}} - \text{kWh/m}^3_{\text{POST}}) \times \text{ปริมาณน้ำเฉลี่ยต่อวัน} \times \text{วันทำงานทั้งปี} \\ &= (0.510 - 0.167) \times 158 \times 300 \\ &= 16,240.98 \quad \text{kWh/ปี} \end{aligned}$$

ผลประหยัดทางการเงินที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} \text{เงินที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)} &= \text{ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า} \times \text{ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/kWh)} \\ &= 16,240.98 \times 2.74 \\ &= 44,500.30 \quad \text{บาท/ปี} \\ &= 62,559 \quad \text{บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= 62,559 / 44,500.30 \\ &= 1.41 \quad \text{ปี} \end{aligned}$$

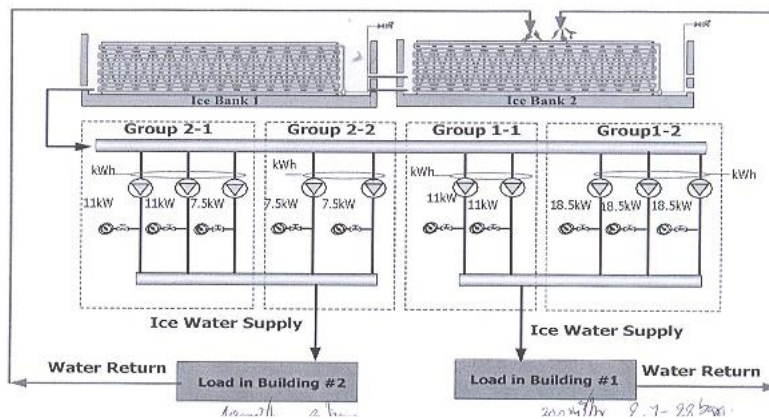
5.8.8 มาตรการติดตั้งระบบ Step Control ให้ปั๊มจ่ายน้ำให้กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิต

สภาพก่อนการปรับปรุง

สถานประกอบการมีระบบจ่ายน้ำเย็นของโรงงานมีปั๊มจ่ายน้ำเย็นให้เครื่องจักรในกระบวนการผลิตจำนวน 10 ตัว มีการแบ่งจ่ายน้ำเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 มีปั๊มน้ำทั้งหมด 5 ตัว ขนาด ขนาด 11 kW จำนวน 2 ตัวและขนาด 7.5 kW จำนวน 3 ตัวจ่ายน้ำให้เครื่องจักรที่อยู่ภายในอาคารที่ 1

ส่วนที่ 2 มีปั๊มน้ำทั้งหมด 5 ตัว ขนาด 11 kW จำนวน 2 ตัวและขนาด 18.5 kW จำนวน 3 ตัวจ่ายน้ำให้เครื่องจักรที่อยู่ภายในอาคารที่ 2 โหลดของน้ำเย็น แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ระบบปรับอากาศแบบ AHU โดยการนำน้ำเย็นไปผ่านคอยล์เย็น เพื่อปรับอากาศให้แผ่นกต่าง ๆ ในอาคาร อีกส่วนคือ กระบวนการผลิตมี Plate Cooling water ใช้น้ำเย็นแลกเปลี่ยนกับนม เพื่อรักษาสภาพของนมไม่ให้เสีย ซึ่งลักษณะของโหลดในระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดในการควบคุมจะใช้คนในการเปิด ปิด ปั๊มให้เหมาะสมกับความต้องการใช้น้ำ ซึ่งบางครั้งจำเป็นต้องมีการเดินปั๊มทั้งหมดรองรับโหลดไว้ตลอดเวลาทำให้ต้องสูญเสียพลังงานไฟฟ้า



รูปแสดงการตรวจวัดก่อนการปรับปรุงปั๊มจ่ายน้ำให้กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิต

แนวคิด และขั้นตอนการดำเนินงาน

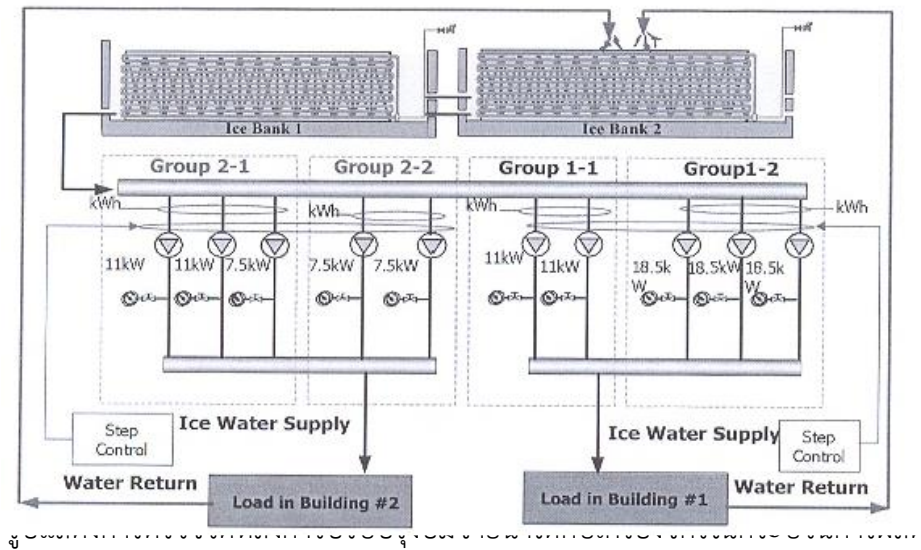
หลักการตรวจวัด สำหรับมาตรการติดตั้งระบบ Step Control ให้ปั๊มจ่ายน้ำให้กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิตจะทำการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า ระบบปั๊มจ่ายน้ำให้กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิตที่ทำการปรับปรุงเปรียบเทียบกับระหว่างก่อน และหลังการปรับปรุงตามสภาพการใช้งานจริง

ในการดำเนินการตรวจวัดระบบปั๊มจ่ายน้ำให้กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิต จะทำการติดตั้งเครื่องบันทึกค่าทางไฟฟ้า ติดตั้งที่ตำแหน่ง Main Circuit Breaker ที่ควบคุมปั๊มทั้ง 5 ตัว ของส่วนที่ 1 และที่ Main Circuit Breaker ที่ควบคุมปั๊มทั้ง 5 ตัว ของส่วนที่ 2 ค่าที่ทำการตรวจวัด มีดังนี้

- แรงดันไฟฟ้า (Voltage)
- กระแสไฟฟ้า (Current)
- กำลังไฟฟ้า (kW)
- ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor)

สภาพหลังการปรับปรุง

ผู้ประกอบการต้องการเปลี่ยนมาติดตั้งระบบควบคุมการเปิด-ปิด ปั๊มแทนการใช้คนในการเปิด-ปิด



เงินลงทุน	40,000	บาท	
ผลประหยัดที่ได้	25,184.39	kWh/ปี	68,501.55 บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	5.84	ปี	

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ก่อนการปรับปรุง

ทำการวัดการใช้พลังงานของ ปั๊มจ่ายน้ำให้กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิตได้ดังนี้

ตารางสรุปข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยก่อนการปรับปรุง

วัน/เดือน/ปี	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW)
10/2/2006	1,613.57	67.23
11/2/2006	1,022.68	42.61
เฉลี่ย	1,318.13	54.92

หลังการปรับปรุง

ทำการวัดการใช้พลังงานของปั๊มจ่ายน้ำให้กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิตได้ดังนี้

ตารางสรุปข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยหลังการปรับปรุง

วัน/เดือน/ปี	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (kW)
4/3/2006	1,456.51	60.69
5/3/2006	1,011.85	42.16
เฉลี่ย	1,234.18	51.42

การวิเคราะห์ผลประหยัด

ระบบทำงาน 300 วันต่อปี

ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าต่อปี ; kWh_{save}

$$\begin{aligned} \text{kWh}_{\text{save}} &= (\text{kWh/day}_{\text{PRE}} - \text{kWh/day}_{\text{POST}}) \times \text{วันทำงานทั้งปี} \\ &= (1,318.13 - 1,234.18) \times 300 \\ &= 25,184.39 \quad \text{kWh/ปี} \end{aligned}$$

ผลประหยัดทางการเงินที่เกิดขึ้น

$$\begin{aligned} \text{เงินที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)} &= \text{ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า} \times \text{ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/kWh)} \\ &= 25,184.39 \times 2.74 \\ &= 69,005.24 \quad \text{บาท/ปี} \\ \text{เงินลงทุน} &= 400,000 \quad \text{บาท} \\ \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= 400,000/69,005.24 \\ &= 5.80 \quad \text{ปี} \end{aligned}$$

เอกสารอ้างอิง

1. Michael Volk, P.E., “Pump Characteristics and Applications”, Taylor & Francis Group, 2nd edition, New York, 2005.
2. Paul N. Garay, “Pump Application Desk Book”, Fairmont Press, 3rd edition, 1996.
3. Frank P. Bleier, “Fan handbook : selection, application, and design”,
4. Hydraulic Institute, www.pumps.org
5. Food and Agriculture Organization of the United Nations, www.fao.org
6. Lifewater Canada, www.lifewater.ca
7. Metzger & Willard, Inc., www.metzgerwillard.com
8. เอกสารเผยแพร่ชุด ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เรื่อง เครื่องปั๊มน้ำ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เผยแพร่โดย สำนักกำกับและอนุรักษ์พลังงาน, กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน
9. คู่มือการเดินเครื่องจักร การตรวจวัด และการบำรุงรักษาระบบอากาศอัด, กองฝึกอบรม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน
10. ตำราฝึกอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (ผชพ) เล่ม 2, PREs อาวุโส ด้านไฟฟ้า, กองฝึกอบรม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน
11. อ.มโน สุวรรณคำ, วิศวกรรมการแปรรูปผลิตผลเกษตร, คณะวิศวกรรมเทคโนโลยีการเกษตร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
12. พงศ์ศักดิ์ ชลธนสวัสดิ์, “อุปกรณ์การให้น้ำพืชสมัยใหม่” ภาควิชาเกษตรกลวิธาน, คณะเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
13. โคคิจิ โอนิชิ, “คู่มือการใช้งานปั๊มชนิดทันทวนต่อการกัดกร่อน”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2542.
14. รศ.ดร.วิบูลย์ บุญยธโรกุล, “ปั๊มและระบบสูบน้ำ”
15. คู่มือฝึกอบรมการอนุรักษ์พลังงานภาคปฏิบัติด้านไฟฟ้า (Mini Plant), โครงการทดลองจัดระบบการสอบและการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรม PRE, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
16. คู่มือการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงาน, กองฝึกอบรม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน
17. รศ.กীরติ ลีวัจนกุล, วิศวกรรมศาสตร, สำนักพิมพ์ SPEC, กรุงเทพฯ, 2537
18. ผศ.ดร.สุธรรม นิยมวาส และบัญญัติ นิยมวาส, เครื่องจักรกลของไหล, สำนักพิมพ์ วิทยพัฒน์ จำกัด, กรุงเทพฯ, 2549
19. ดร.เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, การออกแบบระบบท่ออาคารและสิ่งแวดล้อมอาคาร, มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ, 2537