บทที่ 2

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทฤษฎีและหลักการของเครื่องสูบน้ำมือโยก

2.1 คำนำ

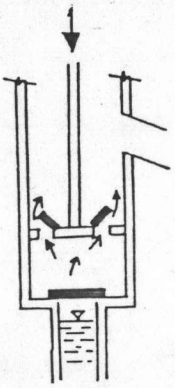
เครื่องสูบน้ำ (Pump) เป็นเครื่องมือกลชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกล (Mechanical Energy) เป็นพลังงานศักย์(Potential Energy) ก่อให้เกิดความดันและการไหลตามธรรมชาติของของไหล ซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ในการส่งผ่านของเหลวจากที่ต่ำไปยังที่สูงหรือการเพิ่มพลังงานศักย์แก่ของเหลว ลักษณะการทำงานโดยทั่วไป คือการก่อให้เกิดการลดความดันภายในตัวเครื่องสูบน้ำ เพื่อให้ของเหลวไหลจากแหล่งกักเก็บที่มีความดันสูงกว่าเข้าไปภายในเครื่อง แล้วเพิ่มความดันแก่ของเหลวนั้นให้สูงขึ้นทีหนึ่ง เพื่อให้ของเหลวไหลออกไปยังทางออก (Discharge) ของเครื่องสูบได้ เครื่องสูบน้ำสามารถแบ่งออกตามลักษณะของการเคลื่อนที่ขณะทำงานได้เป็น ๒ ชนิดใหญ่ ๆ ดังนี้

2.1.1 Roto-Dynamic Pump ของเหลวจะถูกเร่งให้เกิดความเร็วสูงขึ้นโดยการหมุนของใบพัด จากนั้นความเร็วจะเปลี่ยนไปเป็นรูปความดัน เครื่องสูบน้ำชนิดนี้ได้แก่ เครื่องสูบน้ำชนิดหอยโข่ง (Centrifugal Pump) เป็นต้น

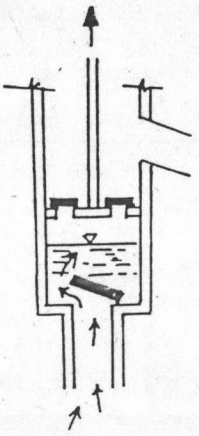
2.1.2 Displacement Pump ของเหลวจะไหลเข้าสู่ตัวเครื่องสูบน้ำในจังหวะที่เกิดความดันต่ำภายในตัวเครื่องสูบ แล้วหลังจากนั้นจะถูกแรงดันจากลูกสูบ(Piston) หรือโรเตอร์ (Rotor) ภายในตัวเครื่องสูบอัดออกจากเครื่องสูบอีกทางหนึ่ง เครื่องสูบน้ำชนิดนี้ยังแบ่งออกได้เป็นเครื่องสูบน้ำชนิดลูกสูบ (Reciprocating Pump) และเครื่องสูบน้ำโรเตอรี่ (Rotary Pump)

2.2 หลักการทำงานของเครื่องสูบน้ำมือโยก

เครื่องสูบน้ำมือโยก (Hand pump) เป็นชนิดหนึ่งของเครื่องสูบน้ำชนิดลูกสูบ (Reciprocating Pump) ที่เรียกว่าสูบยก(Lift Pump)มีหลักการทำงานตามรูปที่ 2-1 ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 4 จังหวะ ดังนี้ คือ จังหวะลดความดันด้วยการไล่อากาศ (Air Exhaust), จังหวะน้ำไหลเข้า (Water inlet), จังหวะการส่งผ่านน้ำ (Water transfer), และจังหวะปล่อยน้ำออก (Water Discharge)

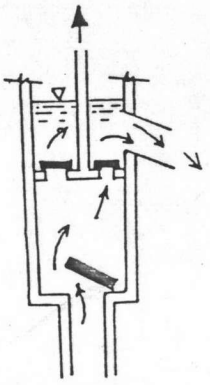


1. จังหวะความดันไล่อากาศ



2. จังหวะน้ำเข้า

3. จังหวะการส่งผ่านน้ำ



4. จังหวะการปล่อยน้ำ

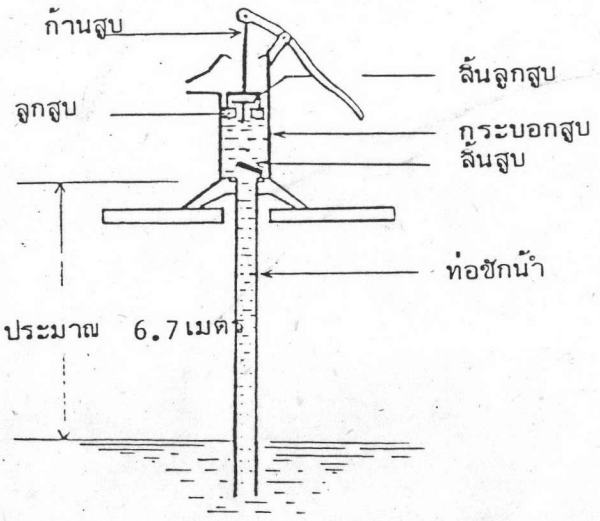
รูปที่ 2-1 จังหวะการทำงานของเครื่องสูบน้ำมือโยก

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

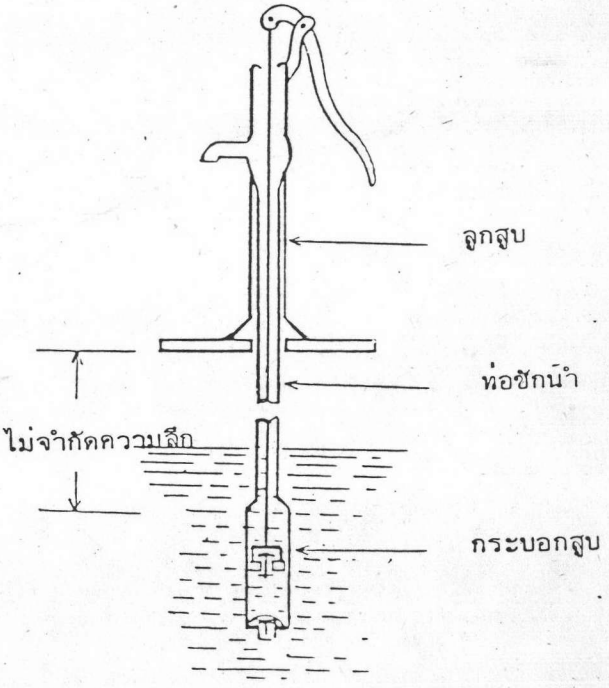
2.3 ชนิดของเครื่องสูบน้ำมือโยก

เครื่องสูบน้ำมือโยกอาจแบ่งออกตามลักษณะของการใช้งานได้เป็น 2 ประเภท โดยขึ้นอยู่กับความลึกของระดับน้ำที่จะสูบขึ้น (รูปที่ 2 - 2) ดังต่อไปนี้

2.3.1 เครื่องสูบน้ำมือโยกที่ใช้กับบ่อตื้น (Shallow well hand Pump) เครื่องสูบน้ำชนิดนี้ประกอบด้วยลูกสูบ (Plunger assembly or piston) ซึ่งจะเคลื่อนที่ขึ้นลงภายในกระบอกสูบ (Pump Cylinder) น้ำจะถูกดันขึ้นโดยแรงดันของบรรยากาศที่ผิวน้ำผ่านท่อชักน้ำ (Suction Pipe) เข้าไปยังกระบอกสูบซึ่งมีความดันต่ำกว่า เพราะการลดความดันจากการเคลื่อนที่ของลูกสูบ เครื่องสูบน้ำมือโยกประเภทนี้โดยทั่ว ๆ ไปสามารถสูบน้ำได้ประมาณ 6.7 เมตร (22 ฟุต) แต่ถ้าหากเกิดการสูญเสีย เนื่องจากความผิดของท่อชักน้ำหรือกระบอกสูบเพิ่มขึ้น ระดับความลึกของการสูบน้ำจะลดลงตามลำดับ



1. สูบน้ำมือโยกชนิดบ่อตื้น



2. สูบน้ำมือโยกชนิดบ่อลึก

รูปที่ 2-2 เครื่องสูบน้ำมือโยกแบ่งตามลักษณะการใช้งาน

2.3.2 เครื่องสูบน้ำมือโยกที่ใช้กับบ่อลึก (Deep well hand pump) ส่วนประกอบและหลักการทำงานคล้ายกันกับเครื่องสูบน้ำมือโยกชนิดที่ใช้กับบ่อตื้น เพียงแต่กระบอกสูบจะจุ่มอยู่ใต้ระดับน้ำเพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากการรั่วภายในกระบอกสูบ (Priming loss) เครื่องสูบน้ำมือโยกประเภทนี้สามารถสูบน้ำได้ลึกกว่า 6.7 เมตร และอาจถึง 180 เมตร

การเลือกใช้เครื่องสูบน้ำทั้งสองประเภทขึ้นอยู่กับความลึกของระดับน้ำที่จะทำการสูบโดยไม่คำนึงถึงขนาดของบ่อหรือ Casing ของบ่อแต่อย่างใด

2.4 ชิ้นส่วนประกอบสำคัญของเครื่องสูบน้ำมือโยก

เครื่องสูบน้ำมือโยกประกอบด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ ตามลักษณะการใช้งาน 3 ส่วน (รูปที่2-3) ที่สำคัญ ๆ คือ

2.4.1 ส่วนแท่นเครื่อง (Pump Stand Assembly) เป็นส่วนที่โผล่ให้เห็นอยู่ที่ปากบ่อทำหน้าที่ถ่ายแรงจากแรงคนผ่านคันโยก (Handle) ไปยังก้านสูบ (Pump Rod) ชิ้นส่วนประกอบในส่วนนี้ได้แก่ คันโยก, จุดหมุนคันโยก (Linkage) ตัวสูบโยก (Pump Stand) แท่นเครื่อง (Pump Base) ฝาปิด (Cap Ring) และพวยส่งน้ำ (Spout)

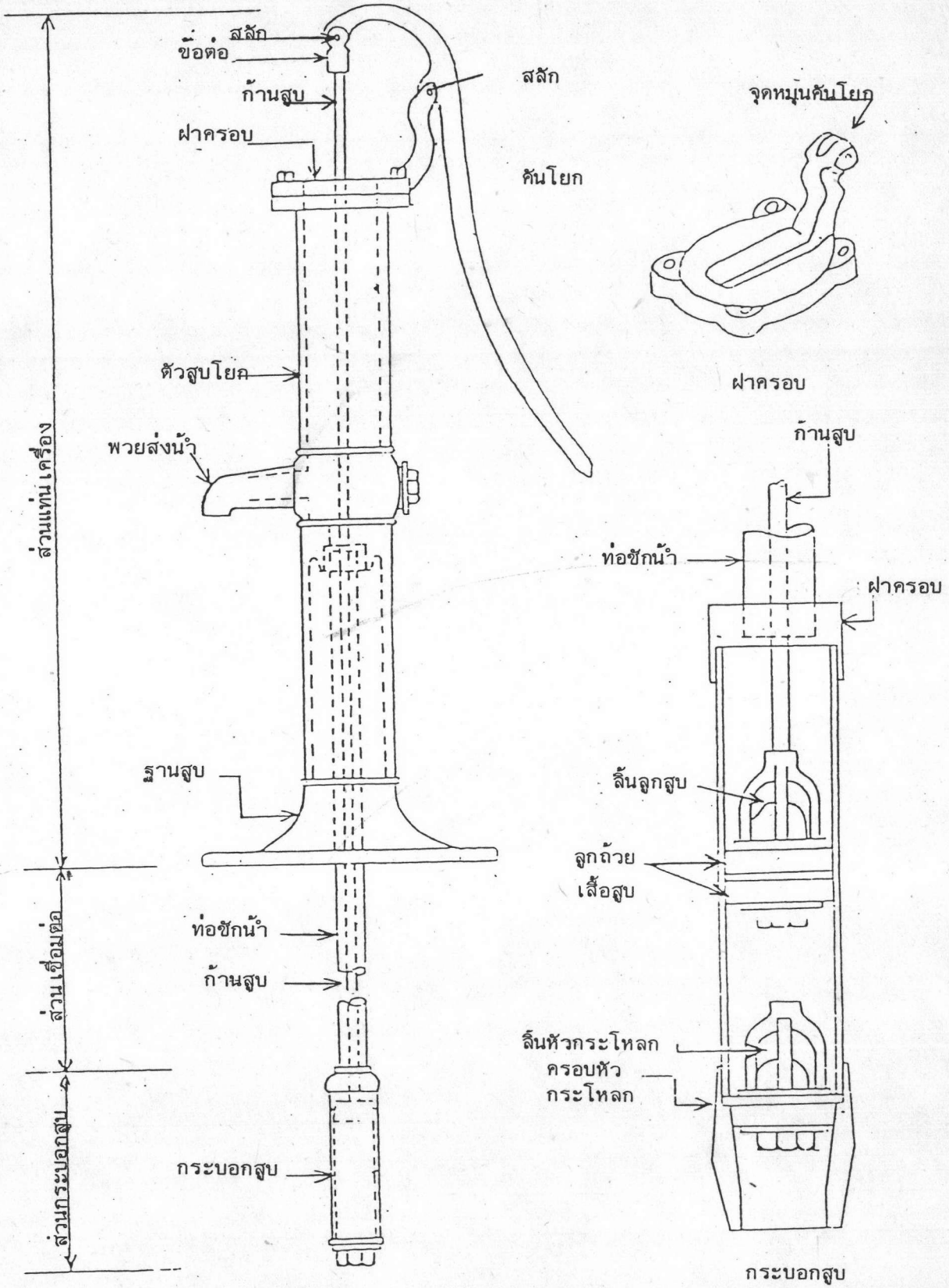
2.4.2 ส่วนกระบอกสูบ (Cylinder Assembly) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการสูบน้ำที่แท้จริง ประกอบด้วยลูกสูบ (Plunger Assembly or Piston) เสื้อสูบ (Cup Seals) วาล์วดูดน้ำ (Suction Check Valve) วาล์วปล่อยน้ำ (Discharge Check Valve) และท่อดูดน้ำ (Suction Pipe)

2.4.3 ส่วนเชื่อมต่อ (Connection Assembly) เป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างส่วนแท่นเครื่องและส่วนกระบอกสูบประกอบด้วยก้านสูบ (Pump Rod) และท่อหย่อน (Drop Pipe)

2.5 พารามิเตอร์พื้นฐานเกี่ยวกับเครื่องสูบน้ำมือโยก

2.5.1 อัตราสูบของไหล (Discharge)

Discharge ของเครื่องสูบน้ำมือโยกชนิดลูกสูบ (Reciprocating Hand Pump) ขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบ ความยาวของช่วงชัก (S) และจำนวนรอบของการชักต่อหน่วยเวลา (N) ดังนั้น



รูปที่ 2-3 ส่วนประกอบเครื่องสูบน้ำมือโยก (McJunkin, 1977)

$$Q = ASN$$

หรือ $$Q = \frac{\pi D^2}{4} \times S \times N \qquad (2\text{-}1)$$

ในเมื่อ Q คือ Discharge อัตราการไหลต่อหน่วยเวลา

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของกระบอกสูบ

S คือ ความยาวของช่วงชักของลูกสูบ

N คือ จำนวนรอบของการชักต่อหน่วยเวลา

2.5.2 Slip

Slip เป็นอัตราส่วนของผลต่างระหว่างDischarge ตามทฤษฎีและ Discharge จากการสูบจริง ๆ กับ Discharge ตามทฤษฎี, Q จากสมการที่ (2 - 1) ที่คำนวณได้จะเป็น Discharge ตามทฤษฎี ส่วน Discharge ที่ได้จากการวัดขณะเครื่องสูบน้ำใช้งานจะเป็น Discharge ที่แท้จริง ค่าของ Slip มักใช้หน่วยเป็นเปอร์เซนต์อาจหาได้ดังนี้

$$\text{Slip} = \frac{Qt - Qa}{Qt} \times 100 \qquad (2\text{-}2)$$

ในเมื่อ Qt คือ Discharge ตามทฤษฎีได้จากการคำนวณตามสมการ (2-1) หรือจากรูปที่ 2 - 4

Qa คือ Discharge ตามที่วัดได้จริงจากการทำงานของเครื่องสูบน้ำ

โดยทั่ว ๆ ไปแล้วเครื่องสูบน้ำมือโยกที่ออกแบบอย่างดีและมีการบำรุงรักษาที่ดี ค่าของ Slip ไม่ควรจะเกิน 15 เปอร์เซนต์

2.5.3 ประสิทธิภาพ (Efficiency)

ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำเป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่จะวัดการทำงานของเครื่องสูบน้ำว่าดีหรือไม่ดีแค่ไหน เป็นอัตราส่วนของงานที่ได้ออกมาจากการใช้เครื่องสูบน้ำต่องานที่ได้รับ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 อย่าง ดังนี้

2.5.3.1 ประสิทธิภาพเชิงกล (Mechanical Efficiency) สามารถเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$Em = \frac{Wo}{Wi} \times 100 \qquad (2\text{-}3)$$

ในเมื่อ Em คือ ประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องสูบน้ำมือโยก มีหน่วยเป็นเปอร์เซนต์

Wo คือ งานที่ได้รับออกมาจากการใช้เครื่องสูบน้ำ

Wi คือ งานที่ใช้ไปในการสูบน้ำมีหน่วยเช่นเดียวกับ Wo

ประสิทธิภาพเชิงกลของเครื่องสูบน้ำมือโยกเครื่องหนึ่ง ๆ สามารถคำนวณได้ในแต่ละค่าความลึกของระดับน้ำที่สูบ

2.5.3.2 ประสิทธิภาพเชิงปริมาณ (Volumetric Efficiency) เมื่อประสิทธิภาพที่คำนวณได้จาก Discharge ที่เครื่องสูบน้ำมือโยกสูบได้จริง (Qa) กับ Discharge ที่คำนวณได้ตามทฤษฎี (Qt) เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$Ev = \frac{Qa}{Qt} \times 100 \qquad (2\text{-}4)$$

ในเมื่อ Ev คือ ประสิทธิภาพเชิงปริมาณ มีหน่วยเป็นเปอร์เซนต์

Qa คือ Discharge จากการสูบน้ำจริง

Qt คือ Discharge จากการคำนวณตามทฤษฎีดังในสมการ (2-1) หรือจากรูป 2-4

004093

2.5.4 หัวความดัน (Head)

หัวความดัน (Head) ในภาษาชลศาสตร์หมายถึง ความดันของของเหลวที่กระทำต่อพื้นระนาบในเทอมของความสูงของของเหลวที่ระนาบนั้น ๆ โดยไม่เกี่ยวกับพื้นที่หน้าตัดของระนาบ ดังนั้น จึงมีหน่วยเป็นความสูงซึ่งอาจเป็นฟุต, เมตร หรือหน่วยความยาวใด ๆ ความดันที่แท้จริงของ ๆ เหลวที่กระทำต่อระนาบใด ๆ ที่ Head เท่ากันจะมากน้อยขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของของเหลวนั้น เช่น ความดันเป็น 1 เมตร ของน้ำ หมายถึงความดันเท่ากับน้ำหนักของน้ำลึก 1 เมตร ต่อหน่วยของพื้นที่ ซึ่งมีความสัมพันธ์กัน ดังนี้

$$P = \gamma H \qquad (2\text{-}5)$$

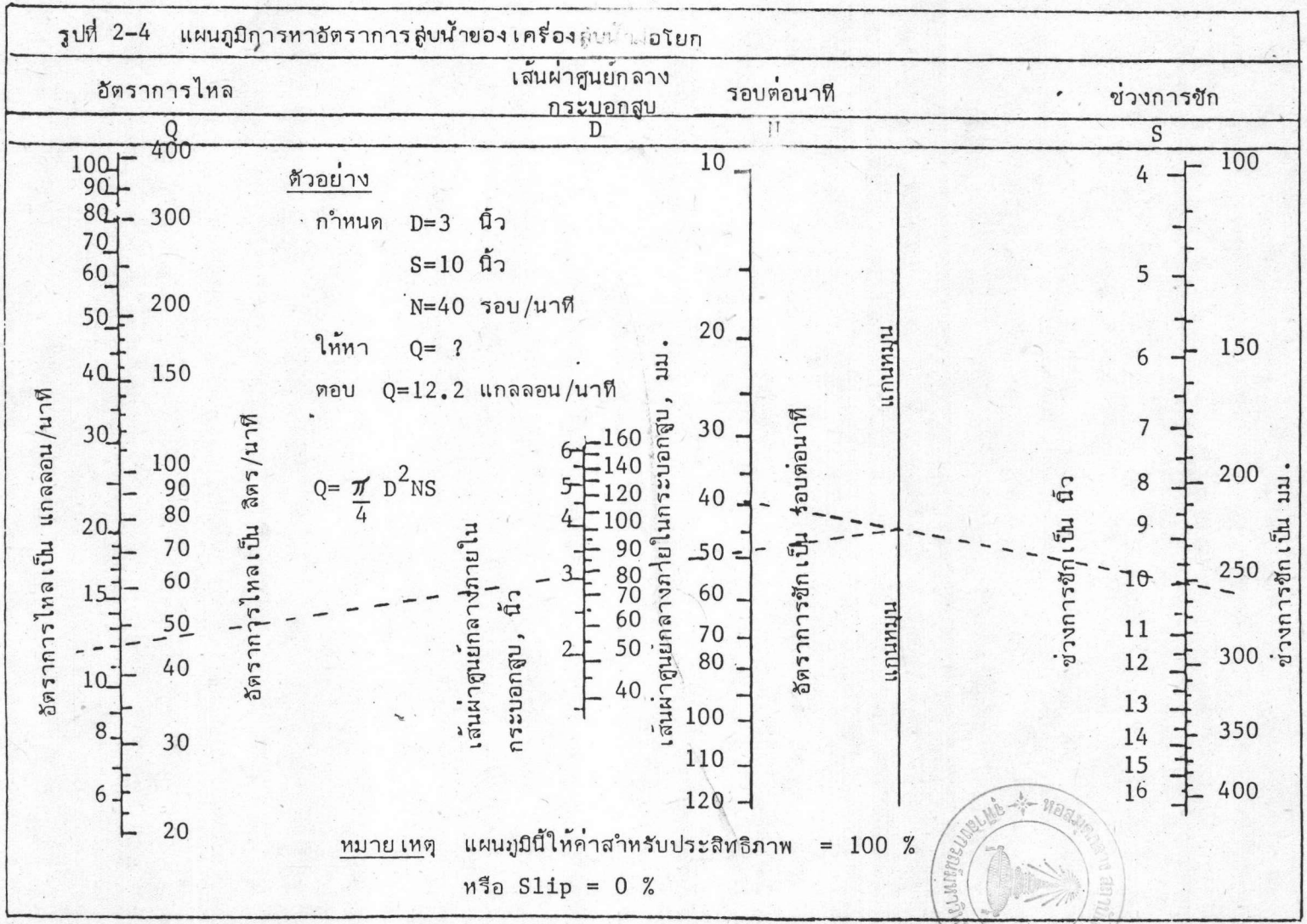
ในเมื่อ P คือ ความดัน หน่วยเป็นน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่

γ คือ น้ำหนักจำเพาะ (Specific Weight) มีหน่วยเป็นน้ำหนักต่อปริมาตรของของเหลว

H คือ หัวความดันมีหน่วยเป็นความสูง

i 17558736

รูปที่ 2-4 แผนภูมิการหาอัตราการสูบน้ำของเครื่องสูบน้ำชนิดลูกสูบแบบชักโยก



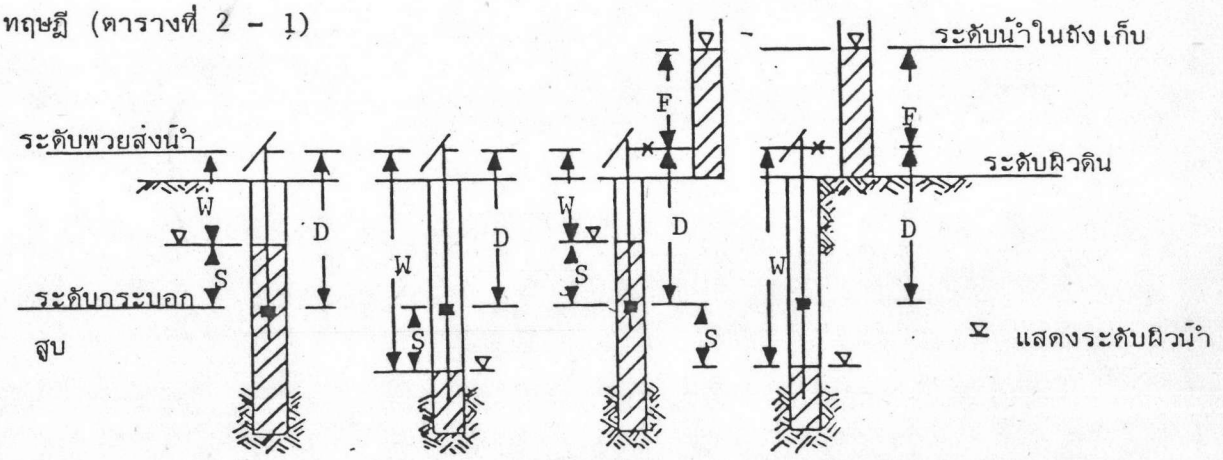
ที่มา; McJunkin, 1977

หัวความดันที่เกี่ยวข้องกับเครื่องสูบน้ำมือโยกมีแตกต่างออกไปหลายอย่างดังนี้

2.5.4.1 Static Head หรือหัวความดันสถิตย์ คือระดับแตกต่างระหว่างระดับน้ำในบ่อซึ่งอยู่ต่ำกว่าเครื่องสูบน้ำกับระดับน้ำที่อยู่เหนือเครื่องสูบโดยไม่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของท่อดูดแต่อย่างใด (รูปที่ 2-5)

2.5.4.2 Friction Head หมายถึงการสูญเสียหัวความดันเนื่องจากความฝืดภายในท่อรวมถึงการสูญเสียจากวาล์วต่าง ๆ, การเปลี่ยนขนาดท่อ, การหักงอของท่อ ตลอดจนรอยต่อต่าง ๆ ภายในท่อ สำหรับเครื่องสูบน้ำมือโยกชนิดที่ใช้กับบ่อลึกถือว่าไม่มีการสูญเสียเนื่องจากความฝืดเมื่อขนาดของท่อชักน้ำ (Suction Pipe) เท่ากันกับท่อปล่อยน้ำ (Discharge Pipe)

2.5.4.3 Suction Head หมายถึงความแตกต่างระดับระหว่างน้ำในบ่อกับกระบอกสูบ ดังนั้น สำหรับเครื่องสูบน้ำมือโยกชนิดที่ใช้กับบ่อลึกซึ่งกระบอกสูบจุ่มอยู่ในน้ำถึงถือว่า Suction Head มีค่าเป็นศูนย์หรือติดลบ ตามทฤษฎีแล้วค่าของ Suction Head ที่สูงที่สุดของน้ำคือ 10.36 เมตร (34ฟุต) ณ ระดับน้ำทะเลปานกลางที่อุณหภูมิของน้ำเป็น 60° ฟ. ค่านี้จะลดลงเรื่อย ๆ ประมาณ 3 เปอร์เซนต์ทุก ๆ ความสูง 1,000 ฟุต (300เมตร) จากระดับน้ำทะเลปานกลางในทางปฏิบัติแล้วค่า Suction Head สูงสุดจะมีค่าประมาณสองในสามของค่าสูงสุดตามทฤษฎี (ตารางที่ 2 - 1)



กรณีที่	1	2	3	4
หัวความดันสถิตย์	W หรือ D-S	W หรือ D+S	W+F หรือ D-S+F	W+F หรือ D+S+F

รูปที่ 2-5 หัวความดันสถิตย์ของเครื่องสูบน้ำมือโยก

ตารางที่2-1 หัวความดันสูงสุดของเครื่องสูบน้ำมือโยก ณ ระดับความสูงต่างๆ ที่อุณหภูมิของน้ำ 60° F หรือ 15.6° C

ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง		ความดันบรรยากาศเทียบหัวความดันของน้ำ			หัวความดันในทางปฏิบัติ	
ฟุต	เมตร	ปอนด์/ตร.น.	ฟุต	เมตร	ฟุต	เมตร
0	0	14.7	34.0	10.36	22.6	6.91
1,000	305	14.2	32.8	10.00	21.9	6.67
2,000	610	13.7	31.5	9.60	21.0	6.40
3,000	914	13.2	30.4	9.27	20.3	6.18
4,000	1,219	12.7	29.2	8.96	19.5	5.93
6,000	1,829	11.8	27.2	8.29	18.1	5.53
8,000	2,438	10.9	25.2	7.68	16.8	5.12
10,000	3,048	10.1	23.4	7.13	15.6	4.75

ที่มา; Mcjunkin, 1977

2.5.5 กำลัง (Power)

กำลัง หมายถึงงานที่กระทำต่อหน่วยเวลา ในเครื่องกลใดๆก็ตามงานที่ได้รับมักจะน้อยกว่างานที่ใส่เข้าไปเสมอ โดยทั่วไปกำลังจะมีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) หรือกำลังม้า (Horse Power) ซึ่งหนึ่งกำลังม้ามีค่าเท่ากับ 550 ฟุต-ปอนด์/วินาที หรือ 746 วัตต์ สูตรการหากำลังของเครื่องสูบน้ำมือโยกมีดังนี้

$$P = \frac{9800QH}{\eta} \qquad (2\text{-}6)$$

เมื่อ P คือ กำลัง มีหน่วยเป็น วัตต์

Q คือ อัตราการไหลของน้ำที่สูบ มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที

H คือ หัวความดัน มีหน่วยเป็น เมตร

η คือ ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ เป็นอัตราส่วนร้อย

กำลังที่ใช้กับเครื่องสูบน้ำมือโยกซึ่งใช้แรงคนยังไม่มีตัวเลขที่แน่นอนว่าเป็นเท่าใดจึงจะเหมาะสม Mcjunkin(Mcjunkin,1977) ได้แนะนำว่าควรเป็นประมาณ1/10แรงม้า หรือประมาณ 75วัตต์ และประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำมือโยกมีค่าประมาณ 60เปอร์เซ็นต์