เขียน/เรียบเรียง:
นางสาวอัมพวรรณ วันดี

ปฏิบัติการ Pump system

วัตถุประสงค์

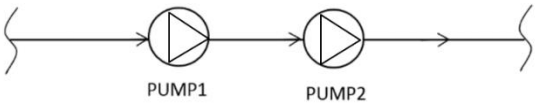
เพื่อศึกษาค่า pump head และอัตราการไหลของระบบเครื่องสูบที่ติดตั้งแบบอนุกรมและขนาน

หลักการและทฤษฎี

ในบางกรณีมีความจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องสูบหลายตัวเพื่อเพิ่มอัตราการไหลหรือเพิ่มระดับความสูงที่ต้องการยกน้ำให้สูงขึ้น เนื่องจากหากใช้เครื่องสูบเพียงตัวเดียวจะไม่สามารถสูบหรือยกน้ำให้สูงได้ตามที่ต้องการ จึงมีการติดตั้งเครื่องสูบหลายตัว โดยการติดตั้งมีอยู่ 2 แบบ คือ

1. การติดตั้งเครื่องสูบแบบอนุกรม (series connection)

การติดตั้งเครื่องสูบแบบอนุกรมมีลักษณะดังรูปที่ 1 ใช้ในกรณีที่ต้องการทำให้ได้ความดันรวมที่เพิ่มมากขึ้น (ระดับความสูงที่จะยกขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้น) แต่จะไม่ทำให้อัตราการไหลรวมเพิ่มขึ้น เช่น ถ้าติดตั้งเครื่องสูบแบบอนุกรมสองตัว ความดันจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ในขณะที่อัตราการไหลรวมยังคงที่เป็นดังสมการที่ 1 และ 2 โดยพฤติกรรมของเครื่องสูบแสดงได้ดัง performance curve รูปที่ 2

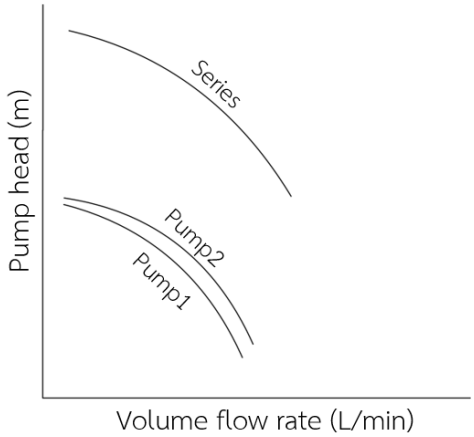


รูปที่ 1 ลักษณะการติดตั้งระบบเครื่องสูบแบบอนุกรม

$$Q_T = Q_1 = Q_2 \quad (1)$$

$$H_T = H_1 + H_2 \quad (2)$$

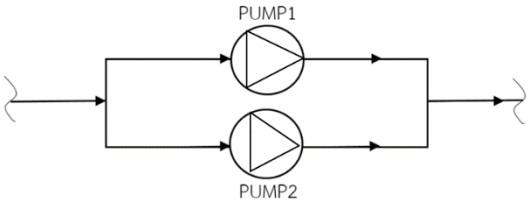
ในทางปฏิบัติเฮดทั้งหมดที่ได้รวมกันจะมีค่าน้อยกว่า $H_1 + H_2$ เนื่องจากการสูญเสีย (loss) ในระบบสูบน้ำเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2 Performance curves ของระบบเครื่องสูบที่ติดตั้งแบบอนุกรม

2. การติดตั้งเครื่องสูบแบบขนาน (parallel connection)

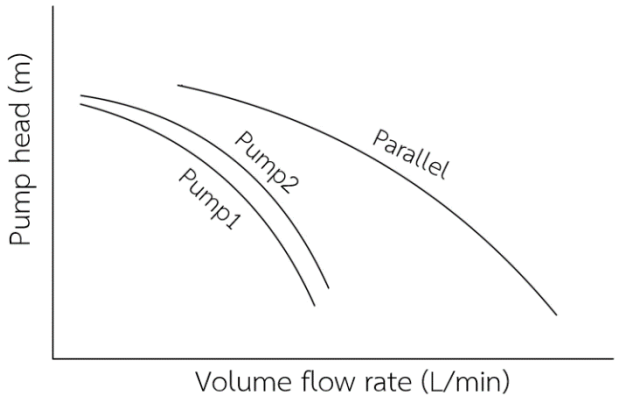
การติดตั้งเครื่องสูบแบบขนานมีลักษณะดังรูปที่ 3 ใช้ในกรณีที่ต้องการทำให้ได้อัตราการไหลรวมที่เพิ่มมากขึ้น แต่จะไม่ทำให้ความดันรวมเพิ่มมากขึ้น (ระดับความสูงที่จะยกขึ้นมีค่าคงที่) เช่น ถ้าติดตั้งเครื่องสูบแบบขนานกันสองตัว อัตราการไหลรวมจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า ในขณะที่ความดันรวมยังคงที่ เป็นดังสมการที่ 3 และ 4 โดยพฤติกรรมของเครื่องสูบแสดงได้ดัง performance curve รูปที่ 4



รูปที่ 3 ลักษณะการติดตั้งระบบเครื่องสูบแบบขนาน

$$Q_T = Q_1 + Q_2 \quad (3)$$

$$H_T = H_1 = H_2 \quad (4)$$



รูปที่ 4 Performance curves ของระบบเครื่องสูบที่ติดตั้งแบบขนาน

อัตราการไหลของเครื่องสูบ (Pump Capacity, Q)

อัตราการไหลของของเหลว หมายถึง ปริมาณของเหลวที่เครื่องสูบสูบส่งได้ในหนึ่งหน่วยเวลา คำนวณจากสมการที่ 5

$$Q = \frac{\forall}{t} \quad (5)$$

โดยที่ Q = อัตราการไหล (liter/min)
$\forall$ = ปริมาตรของน้ำ (liter)
t = เวลา (min)

เขียน/เรียบเรียง:
นางสาวอัมพวรรณ วันดี

เฮดรวมที่เครื่องสูบให้ (Total Dynamic Head, H_{TD})

ในกรณีของเครื่องสูบเราอาจกำหนดให้จุดที่ 1 อยู่ท่อทางดูดน้ำของเครื่องสูบ (suction) และจุดที่ 2 อยู่ที่ช่องจ่ายน้ำของเครื่องสูบ (discharge) ค่าความแตกต่างระหว่างเฮดรวมของจุดที่ 1 และ 2 โดยที่ไม่มีการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานเรียกว่า เฮดรวมที่เครื่องสูบน้ำให้ ซึ่งหมายถึงค่าของพลังงานที่ถูกเพิ่มเข้าไปในของไหลต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของของไหลเป็นดังสมการที่ 6

$$H_{TD} = (Z_2 - Z_1) + \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma}\right) + \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}\right) \qquad (6)$$

โดยที่ $(Z_2 - Z_1)$ = การเปลี่ยนแปลงระดับความสูงจากระดับ (static/potential/elevation head)

$\left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma}\right)$ = การเปลี่ยนแปลงเฮดความดัน (pressure head) >>> ได้จากการทดลอง

$\left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}\right)$ = การเปลี่ยนแปลงเฮดความเร็ว (velocity head) >>> ได้จากการคำนวณตามสมการ $V = Q/A$, เมื่อ A คือพื้นที่หน้าตัดของท่อ)

หมายเหตุ : สำหรับการทดลองชุดนี้

(a) เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางดูด, D_1 เท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางส่ง, D_2 ดังนั้น $V_1 = V_2$

(b) $Z_1 = Z_2$ โดยประมาณ

ดังนั้น เฮดรวมที่เครื่องสูบให้หรือเฮดของเครื่องสูบ หาได้จากสมการที่ 7

$$H_{TD} = \left(\frac{P_2 - P_1}{\gamma}\right) \qquad (7)$$

โดยที่ H_{TD} = เฮดรวมที่เครื่องสูบให้ หรือ เฮดของเครื่องสูบ (m)

$P_2 - P_1$ = ค่าความแตกต่างของความดันระหว่างจุดที่ 1 และ 2 (N/m^2)

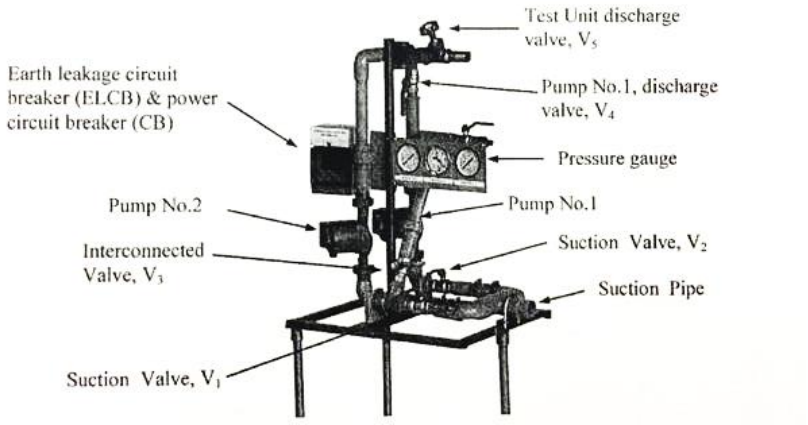
γ = น้ำหนักจำเพาะของของเหลว (N/m^3)

เขียน/เรียบเรียง:
นางสาวอัมพวรรณ วันดี

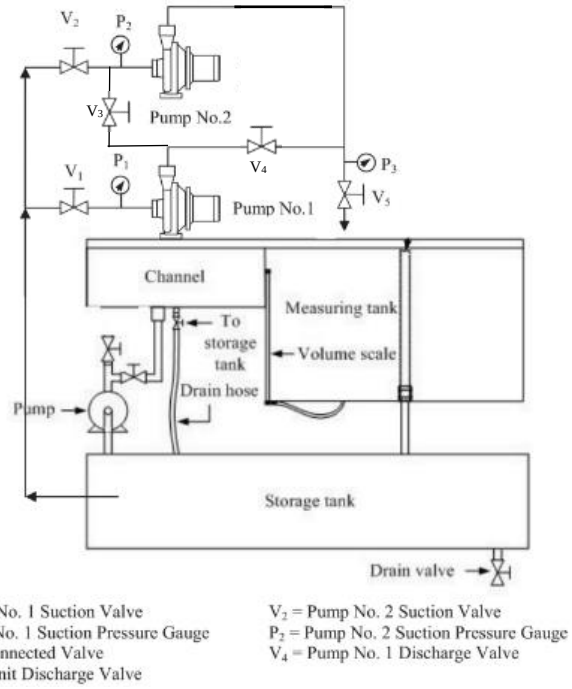
วิธีดำเนินการทดลอง

❖ **เครื่องมือการทดลอง**

1. ชุด HB 030M series and parallel pump, multi speed ปรับความเร็วรอบได้ 3 ระดับ คือ 1000, 1600 และ 2450 rpm โดยที่ maximum power = 180 watt, maximum flow = 80 lpm และ maximum head = 7 m ดังแสดงในรูปที่ 5 และผังการเดินท่อแสดงในรูปที่ 6
2. Hydraulic bench (โต๊ะชลศาสตร์)
3. นาฬิกาจับเวลา



รูปที่ 5 ชุด HB 030M series and parallel pump, multi speed



รูปที่ 6 แผนภาพโครงร่าง (schematic diagram) ของ HB 030M series and parallel pump, multi speed

เขียน/เรียบเรียง:
นางสาวอัมพวรรณ วันดี

❖ ขั้นตอนการทดลอง

➢ <u>การติดตั้งอุปกรณ์</u>

1. ติดตั้งชุดเครื่องสูบน้ำ HB 030M GRUNDFOS Model UPS 25-80 ทางด้านซ้ายของ hydraulic bench (โต๊ะชลศาสตร์)
2. ใส่ท่อดูดของเครื่องสูบเพื่อดูดน้ำจากถังเก็บน้ำของ hydraulic bench และท่อส่งน้ำลงในถังวัดอัตราการไหลของ hydraulic bench ตาม diagram (แผนภาพ) ในรูปที่ 6
3. เติมน้ำลงในถังเก็บน้ำของ hydraulic bench จนเกือบเต็ม (มีระยะ 5-10 cm จากฝาปิด) ควรผสมน้ำยากันสนิมเหมือนกับการเติมในหม้อน้ำรถยนต์
4. การล่อน้ำ (priming) ให้เครื่องสูบ โดยเติมน้ำลงใน centrifugal pump ผ่านทางช่องเติมน้ำแล้วจึงปิดฝาให้สนิท (ระบายอากาศออกจากเครื่องสูบ)
5. ตรวจสอบเกจความดันทั้งด้านท่อดูดและท่อส่ง ควรอ่านได้ “0” ถ้ายังไม่เชื่อมต่อท่อความดัน (ท่อพลาสติกสีขาว) ที่ข้างใดข้างหนึ่งเพื่อลดความดัน ให้เชื่อมต่อท่อใหม่

➢ <u>การอ่านค่าความดันจากชุดการทดลอง</u> ในชุดการทดลองนี้มีเครื่องมือวัดความดัน 3 แบบ ได้แก่

- Vacuum gauge ใช้สำหรับวัดความดันที่มีค่าติดลบเท่านั้น ติดตั้งอยู่ที่ทางเข้าเครื่องสูบ No.1
- Pressure gauge ใช้สำหรับวัดความดันที่มีค่าเป็นบวกและลบได้ ติดตั้งอยู่ที่ทางเข้าเครื่องสูบ No.2
- Compound gauge ใช้สำหรับวัดความดันที่มีค่าเป็นบวกเท่านั้น ติดตั้งอยู่ที่ทางออกของเครื่องสูบ

รูปที่ 7 เกจวัดความดันแบบต่าง ๆ ในการชุดการทดลอง

➢ **<u>ตอนที่ 1</u>** <u>การทดสอบความสามารถ Pump No.1</u>

6. ปิดประตูน้ำ V_2 และ V_3 เปิดประตูน้ำ V_1, V_4 และ V_5 ให้สุด
7. เปิด Pump No.1 ปรับความเร็วรอบสูงสุด ลดความเร็วเริ่มต้นที่ 1000 rpm
8. กำหนดความดันท่อส่ง P_3 เท่ากับ 0.4 kg/cm^2 บันทึกข้อมูลความดันท่อดูด P_1 ปริมาตรน้ำและเวลา
9. ค่อย ๆ เปิดประตูน้ำ V_5 เพื่อให้ความดันท่อส่ง P_3 เท่ากับ 0.3 kg/cm^2 แล้วทำซ้ำในข้อที่ 8
10. ทำซ้ำข้อที่ 9 โดยเปลี่ยนความดันท่อส่ง P_3 เท่ากับ 0.2 และ 0.1 kg/cm^2 ตามลำดับ

เขียน/เรียบเรียง:
นางสาวอัมพวรรณ วันดี

➢ **ตอนที่ 2** การทดสอบความสามารถ Pump No.2

11. ปิดประตูน้ำ V_1, V_3 และ V_4 เปิดประตูน้ำ V_2 และ V_5 ให้สุด
12. เปิด Pump No.2 ปรับความเร็วรอบสูงสุด ลดความเร็วเริ่มต้นที่ 1000 rpm
13. กำหนดความดันท่อส่ง P_3 เท่ากับ 0.4 kg/cm^2 บันทึกข้อมูลความดันท่อดูด P_2 ปริมาตรน้ำและเวลา
14. ค่อย ๆ เปิดประตูน้ำ V_5 เพื่อให้ความดันท่อส่ง P_3 เท่ากับ 0.3 kg/cm^2 แล้วทำซ้ำในข้อที่ 13
15. ทำซ้ำข้อที่ 14 โดยเปลี่ยนความดันท่อส่ง P_3 เท่ากับ 0.2 และ 0.1 kg/cm^2 ตามลำดับ

➢ **ตอนที่ 3** การทดสอบความสามารถ Pump No.1 และ No.2 ที่ติดตั้งแบบอนุกรม

(ออกแบบให้เครื่องสูบ No.1 ส่งน้ำให้เครื่องสูบ No.2 โดยการปรับปิด-เปิดประตูน้ำ)

16. ปิดประตูน้ำ V_2 และ V_4 เปิดประตูน้ำ V_1, V_3 และ V_5 ให้สุด
17. เปิดเครื่องสูบทั้งสองตัว ปรับความเร็วรอบสูงสุด ลดความเร็วเริ่มต้นที่ 1000 rpm
18. กำหนดความดันท่อส่ง P_3 เท่ากับ 0.9 kg/cm^2 บันทึกข้อมูลความดัน P_1, P_2 ปริมาตรน้ำและเวลา
19. ค่อย ๆ เปิดประตูน้ำ V_5 เพื่อให้ความดันท่อส่ง P_3 เท่ากับ 0.7 kg/cm^2 แล้วทำซ้ำในข้อที่ 18
20. ทำซ้ำข้อที่ 19 โดยเปลี่ยนความดันท่อส่ง P_3 เท่ากับ 0.5 และ 0.3 kg/cm^2 ตามลำดับ

(ความดันท่อส่งเครื่องสูบ no.1 เท่ากับความดันท่อดูดของเครื่องสูบ no.2)

➢ **ตอนที่ 4** การทดสอบความสามารถ Pump No.1 และ No.2 ที่ติดตั้งแบบขนาน

21. ปิดประตูน้ำ V_3 เปิดประตูน้ำ V_1, V_2, V_4 และ V_5 ให้สุด
22. เปิดเครื่องสูบทั้งสองตัว ปรับความเร็วรอบสูงสุด ลดความเร็วเริ่มต้นที่ 1000 rpm
23. กำหนดความดันท่อส่ง P_3 เท่ากับ 0.4 kg/cm^2 บันทึกข้อมูลความดัน P_1, P_2 ปริมาตรน้ำและเวลา
24. ค่อย ๆ เปิดประตูน้ำ V_5 เพื่อให้ความดันท่อส่ง P_3 เท่ากับ 0.3 kg/cm^2 แล้วทำซ้ำในข้อที่ 23
25. ทำซ้ำข้อที่ 19 โดยเปลี่ยนความดันท่อส่ง P_3 เท่ากับ 0.2 และ 0.1 kg/cm^2 ตามลำดับ
26. ทำซ้ำข้อที่ 22-25 สำหรับความเร็วรอบระดับอื่น ๆ เช่น 1600 และ 2450 rpm
27. หลังจากเสร็จการทดลอง ให้ปิด switch ควรระบายน้ำออกจากเครื่องสูบ ให้หมดโดยคลาย plug ที่ก้นของฐานเครื่องสูบ หากไม่ได้ใช้เป็นเวลานาน

เอกสารอ้างอิง

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล. (2559). *ปฏิบัติการ pump system*. 525442 ปฏิบัติการด้านความร้อนและของไหล ภาคการศึกษา 3/2559. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

Assignment

- สร้าง performance curve ของเครื่องสูบจากการทดลองทั้ง 4 ตอน
- อภิปรายความสัมพันธ์ของอัตราการไหลกับ pump head
- เปรียบเทียบและอภิปรายผลของการติดตั้งเครื่องสูบเพียงตัวเดียวกับการติดตั้งเครื่องสูบแบบอนุกรม
- เปรียบเทียบและอภิปรายผลของการติดตั้งเครื่องสูบเพียงตัวเดียวกับการติดตั้งเครื่องสูบแบบขนาน
- บอกความไม่แน่นอน (uncertainty) ที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

เขียน/เรียบเรียง:
นางสาวอัมพวรรณ วันดี

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ความเร็วรอบ ..... RPM ทดสอบเมื่อวันที่.....

ความหนาแน่นของน้ำ ..... kg/m^3

ตอนที่ 1 Pump No.1

No.	Pressure		Time (t) (s/18L)	Flow rate (Q) (L/min)	Pump head (H) (m)
	P_3 (kg/cm^2)	P_1 (kg/cm^2)			
1	0.4				
2	0.3				
3	0.2				
4	0.1				

ตอนที่ 2 Pump No.2

No.	Pressure		Time (t) (s/18L)	Flow rate (Q) (L/min)	Pump head (H) (m)
	P_3 (kg/cm^2)	P_2 (kg/cm^2)			
1	0.4				
2	0.3				
3	0.2				
4	0.1				

ตอนที่ 3 Pump No.1 and No.2 in series connection

No.	Pressure			Time (t) (s/18L)	Flow rate (Q) (L/min)	Pump head (H) (m)
	P_3 (kg/cm^2)	P_1 (kg/cm^2)	P_2 (kg/cm^2)			
1	0.9					
2	0.7					
3	0.5					
4	0.3					

ตอนที่ 4 Pump No.1 and No.2 in parallel connection

No.	Pressure			Time (t) (s/18L)	Flow rate (Q) (L/min)	Pump head (H) (m)
	P_3 (kg/cm^2)	P_1 (kg/cm^2)	P_2 (kg/cm^2)			
1	0.4					
2	0.3					
3	0.2					
4	0.1					