

การวัดอัตราการไหลของของเหลว

Flow rate measurement

วัตถุประสงค์

ศึกษาเทคนิคการวัดอัตราการไหลของของเหลวด้วยเครื่องมือวัดแบบต่างๆ

ทฤษฎี

อัตราการไหล (Volume flowrate, Q) คือปริมาตรของของไหลซึ่งไหลผ่านท่อหรือช่องการไหลใดๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา หรืออีกนัยหนึ่งก็คือของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัดในแนวตั้งฉาก (A) ด้วยความเร็วค่าหนึ่ง (V) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Q = VA \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

อัตราการมวลไหล (Mass flowrate) คือมวลของของไหลซึ่งไหลผ่านท่อหรือช่องการไหลใดๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา

$$\dot{m} = \rho Q = \rho VA \quad [\text{kg/s}]$$

เครื่องมือวัดอัตราการไหล

(1) **Rotameter** คือเครื่องมือวัดอัตราการไหลของของเหลวหรือก๊าซโดยอาศัยการไหลผ่านท่อปิดซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดไม่สม่ำเสมอ (Tapered Tube) ซึ่งผ่านในท่อดังกล่าวจะบรรจุฟลูต (Float) ไว้ภายในดัง รูปที่ 1

หลักการทำงาน อาศัยความสมดุลของแรงที่กระทำต่อฟลูตเมื่อมีของไหลไหลผ่านท่อ กล่าวคือ แรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity, F_G) แรงลอยตัว (Buoyancy, F_B) และแรงต้านการไหล (Drag, F_D) ซึ่งสามารถแสดงดังสมการ

$$\sum F_y = 0$$

$$F_D + F_B - F_G = 0$$

หรือ

$$C_d \frac{\rho_{fluid} V^2 A_f}{2} + \rho_{fluid} V g - \rho_{float} V g = 0$$

ดังนั้น

$$Q = A_a(y) \sqrt{\frac{2(\rho_{float} - \rho_{fluid})Vg}{\rho_{fluid}C_dA_f}} = K_R \cdot A_a(y)$$

จากสมการข้างต้นจะได้ สมการแสดงอัตราการไหลของของไหลเมื่อไหลผ่านท่อซึ่งมีความสัมพันธ์กับพื้นที่หน้าตัดของวงแหวนระหว่างท่อและทุ่น ซึ่งจะแปรผันตามระดับความสูงของทุ่นเมื่ออัตราการไหลเปลี่ยนไป

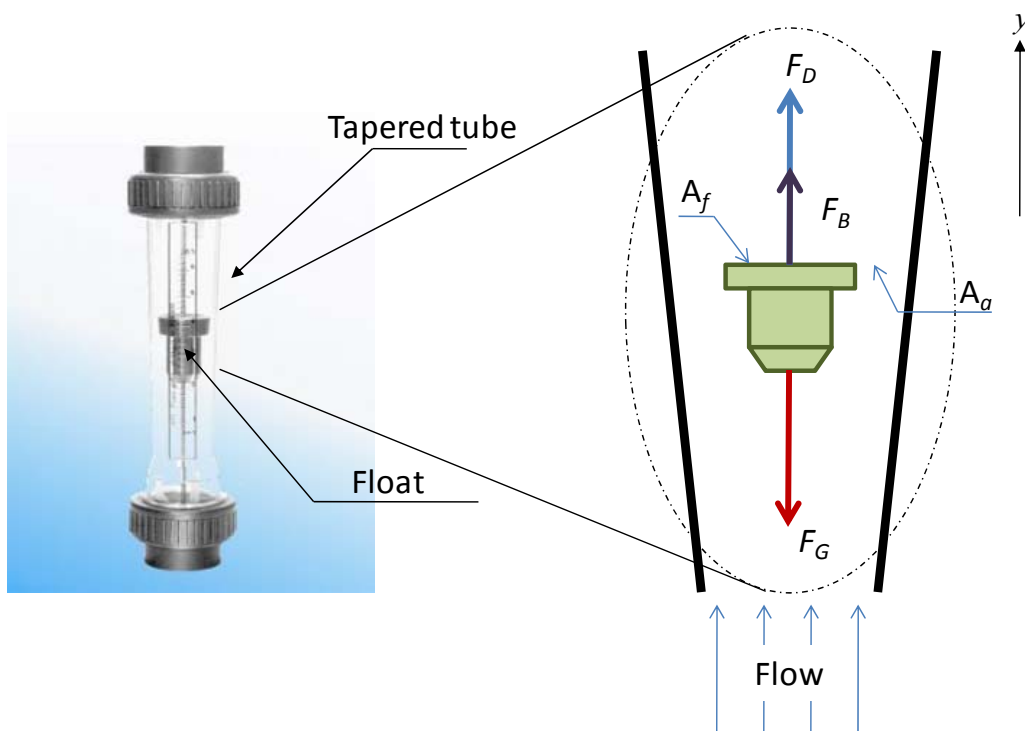
โดยที่ C_d คือค่า drag coefficient

A_f คือพื้นที่หน้าตัดของทุ่น

$A_a(y)$ คือพื้นที่หน้าตัดของวงแหวนระหว่างท่อและทุ่นซึ่งแปรผันตามระดับความสูง y

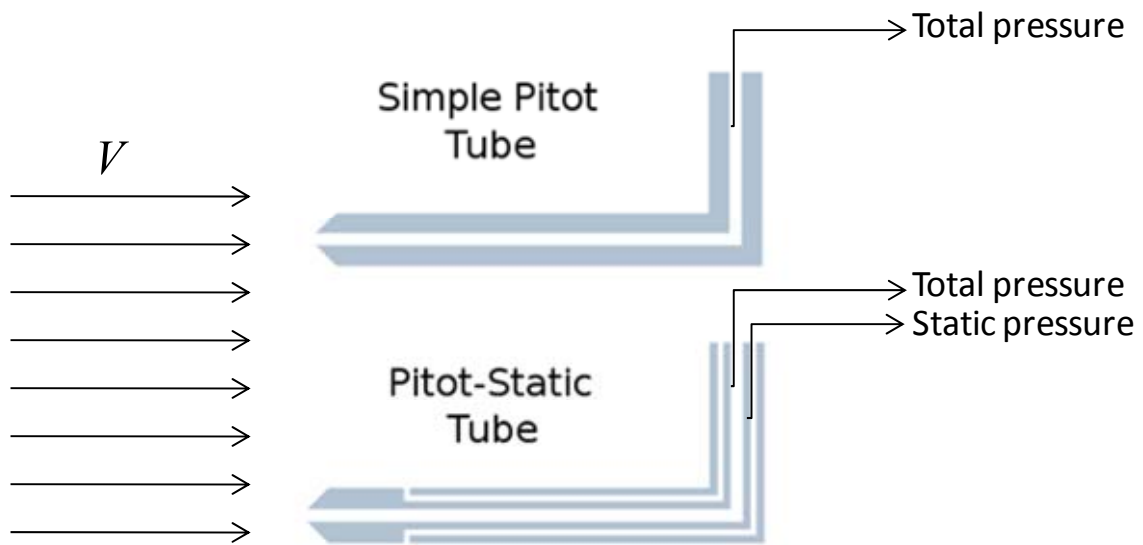
V คือปริมาตรของทุ่น

K_R คือค่าคงที่ของมิเตอร์



รูปที่ 1 Rotameter

(2) **Pitot tube** คือเครื่องมือวัดความเร็วของของไหลโดยอาศัยผลต่างของความดันที่เกิดขึ้นเมื่อมีของไหลไหลผ่านท่อดังกล่าว ท่อพิโทต์มีลักษณะแสดงดังรูป



รูปที่ 2 Pitot Tube

หลักการทำงาน อาศัยการตรวจวัดผลต่างความดันของของไหล ระหว่างค่าความดันรวม (Total Pressure, p_t) และค่าความดันสถิต (Static Pressure, p_s) ทำให้ได้ผลลัพธ์ในรูปของความดันไดนามิก (Dynamic Pressure, p_d) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความเร็วการไหลของของไหลดังสมการ

$$V = \sqrt{\frac{2(p_t - p_s)}{\rho_f}} \quad [\text{m/s}]$$

กรณีใช้मानอมิเตอร์วัดผลต่างความดันของของไหล

$$V = \sqrt{\frac{2\gamma_m \Delta h}{\rho_f}} = K_p \sqrt{\Delta h} \quad [\text{m/s}]$$

โดยที่ γ_m คือค่าน้ำหนักจำเพาะของของเหลวในमानอมิเตอร์

Δh คือระดับความสูงของแท่งน้ำในमानอมิเตอร์

K_p คือค่าคงที่ของท่อพิโทต์

สำหรับการวัดอัตราการไหลของของไหลภายในท่อกลม โดยท่อพิโทต์นั้นสามารถทำได้โดยการวัดค่าความเร็วที่ตำแหน่งกึ่งกลางท่อและสามารถคำนวณหาอัตราการไหลได้จากสมการ

$$Q = A \cdot 0.84 V_{CL} \quad [m^3/s]$$

โดยที่ A คือพื้นที่หน้าตัดของท่อ

V_{CL} คือความเร็วที่กึ่งกลางท่อ

(3) **Orifice/ Venturi** คือเครื่องมือวัดอัตราการไหลของของไหลโดยอาศัยการตรวจวัดความดันสูญเสียเมื่อของไหลไหลผ่านสิ่งกีดขวาง

หลักการทำงาน อาศัยการไหลของของไหล เมื่อไหลผ่านสิ่งกีดขวาง (การลดพื้นที่หน้าตัดหรือช่องการไหล) จะก่อให้เกิดความดันสูญเสียเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทิศทางและความเร็วของการไหล ดังนั้นหากตรวจวัดผลต่างความดันที่เกิดขึ้นได้ ก็จะสามารถนำไปคำนวณหาอัตราการไหลซึ่งมีสัมพันธ์กับความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นดังสมการ

$$Q = C_d \frac{\pi}{4} d_2^2 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho_f (1 - R^4)}} \quad [m^3/s]$$

กรณีใช้มานอมิเตอร์วัดผลต่างความดันของของไหล

$$Q = C_d \frac{\pi}{4} d_2^2 \sqrt{\frac{2\gamma_m \Delta h}{\rho_f (1 - R^4)}} = K_D \sqrt{\Delta h} \quad [m^3/s]$$

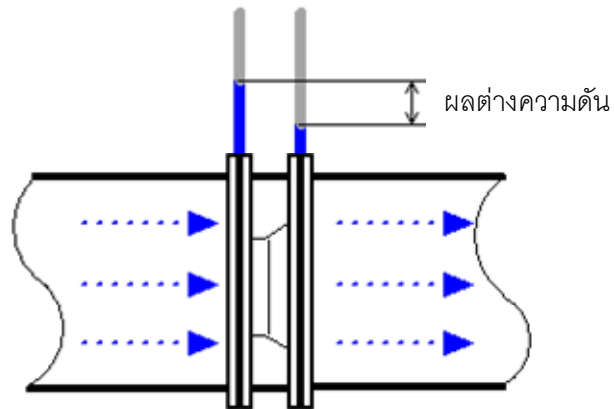
โดยที่ C_d คือค่า Discharge Coefficient

p_1, p_2 คือค่าความดันก่อนและหลังผ่านสิ่งกีดขวาง (Orifice/Venturi)

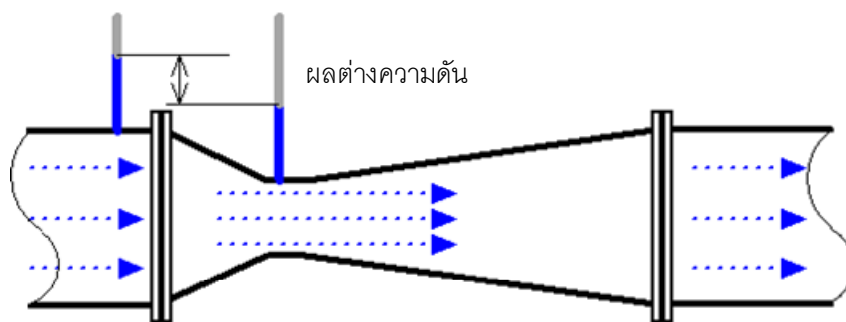
d_2 คือเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดของสิ่งกีดขวาง

R คืออัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางคอคอดกับเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ

K_D คือค่าคงที่ของ Orifice หรือ Venturi



(n)



รูปที่ 3 Venturi Meter

(4) **Turbine flow meter** คือเครื่องมือวัดอัตราการไหลของของไหลโดยอาศัยการตรวจวัดรอบการหมุนของใบพัดภายในมิเตอร์



รูปที่ 4 Turbine flow meter

หลักการทํางาน อาศัยการจับสัญญาณความเร็วรอบการหมุนของใบพัด (Impellor) ซึ่งถูกติดตั้งไว้ในตัวเรือนของมิเตอร์ ลำเจ็ต (Jet) ของของไหลจะถ่ายเทโมเมนตัมเชิงมุม เป็นผลทำให้ใบพัดหมุนไปตามกระแสของลำเจ็ต ดังนั้นความเร็วรอบการหมุนของใบพัดและอัตราการไหลจะมีความสัมพันธ์กับตามสมการ

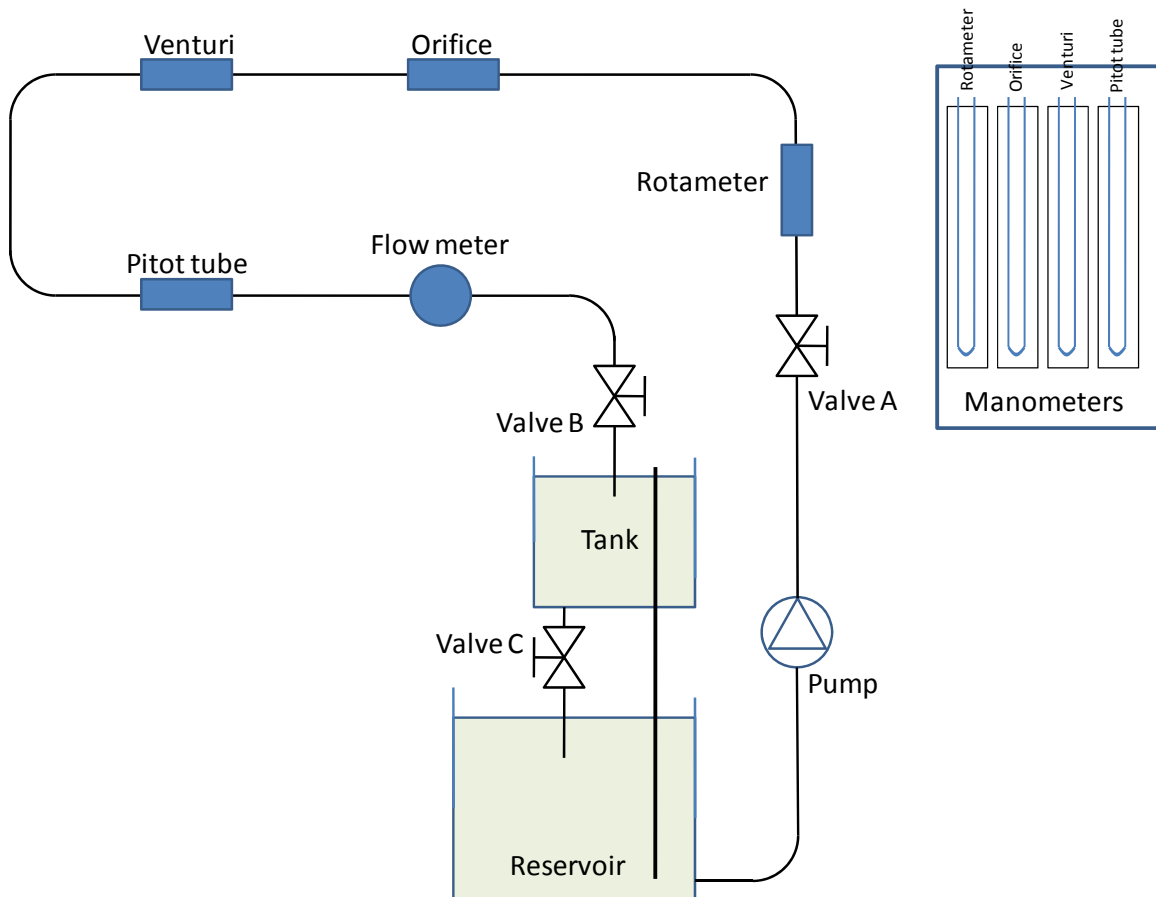
$$Q = K\omega \quad [m^3/s]$$

โดยที่ K คือค่าคงที่ของมิเตอร์

ω คือค่าความเร็วเชิงมุมของใบพัด (ความเร็วรอบการหมุน)

อุปกรณ์การทดลอง

1. ชุดทดลองวัดอัตราการไหล (ดังรูปที่ 6) ประกอบด้วย
 - 1.1 Rotameter
 - 1.2 Orifice
 - 1.3 Venturi
 - 1.4 Pitot tube
 - 1.5 Turbine flow meter
 - 1.6 มานอมิเตอร์
2. นาฬิกาจับเวลา
3. ที่สูบลม



รูปที่ 6 Schematic diagram ของอุปกรณ์ชุดทดลองวัดอัตราการไหล

ขั้นตอนการทดลอง

1. ใช้ที่สูบลมไล่อากาศในมานอมิเตอร์ให้ระดับความสูงของแขนน้ำทั้งหมดอยู่ในระดับเดียวกัน
2. ตรวจสอบระดับน้ำในถังพัก (Reservoir)
3. เปิดวาล์ว A และ วาล์ว B เต็มที่จากนั้นเปิดสวิตช์ให้ปั๊มทำงาน
4. ระบายน้ำในถังวัดปริมาตร (Tank) โดยเปิดวาล์ว C จนหมด แล้วทำการปิดวาล์ว C
5. ปล่อยให้ระบบเข้าสู่สมดุล เริ่มบันทึกที่ระดับน้ำในถังวัดปริมาตรพร้อมทั้งเริ่มจับเวลา
6. บันทึกผลต่างของระดับความสูงของแขนน้ำในมานอมิเตอร์ (Orifice Venturi และ Pitot Tube)
7. บันทึกค่าอัตราการไหลจาก Rotameter และ Turbine Flow Meter
8. หยุดเวลา แล้วทำการบันทึกที่ระดับน้ำในถังวัดปริมาตรที่เพิ่มขึ้นพร้อมทั้งเวลาที่ใช้
9. หรีวาล์ว B เพื่อเปลี่ยนอัตราการไหลใหม่ และทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 4-8
10. ทำขั้นตอนที่ 9 จนครบ 5 อัตราการไหล
11. เปิดวาล์ว A วาล์ว B และวาล์ว C แล้วทำการปิดสวิตช์เพื่อหยุดการทำงานของปั๊ม

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ขนาดพื้นที่หน้าตัดของ Tank _____ ตารางเมตร

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ _____ เซนติเมตร

No	Methods							
	Tank			Rotameter	Turbine meter	Orifice	Venturi	Pitot tube
	h_1 [cm]	h_2 [cm]	t [sec]	[]	[]	[cm]	[cm]	[cm]
1								
2								
3								
4								
5								

คำถาม

1) Pitot Tube เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร็วของของไหลหากนำมาใช้วัดอัตราการไหลภายในท่อจะต้องมีเทคนิคและวิธีการวัดอย่างไรเพื่อให้ค่าอัตราการไหลที่วัดได้มีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ

2) อะไรคือข้อดี ข้อด้อยของอุปกรณ์แต่ละประเภทที่ได้ใช้ในการทดลองนี้ อธิบายและให้เหตุผลประกอบ