

บทที่ 8 การวัดการไหล

8.1 ปัจจัยที่ควรพิจารณาสำหรับการเลือกวิธีการวัดการไหล

1. ช่วงของข้อมูลที่วัดได้จากเครื่องมือและที่เหมาะสมกับงานที่จะวัดการไหล
2. ความถูกต้องที่ยอมรับได้
3. การสูญเสียความดัน
4. ชนิดของข้อมูลที่ต้องการวัด
5. ชนิดของของไหลที่ต้องการวัด
6. การตรวจสอบเครื่องมือและผลการวัด
7. อื่น ๆ

8.2 เครื่องมือวัดการไหลด้วยค่า “เฮด”

8.2.1 เวนจูรี (Venturi tube)



(ที่มา: <http://gekgasifier.pbworks.com/T...2520Page>)

เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล “C” เป็นอัตราส่วนระหว่างความเร็วที่ขึ้นจริงกับความเร็วที่คำนวณได้ตามทฤษฎี สำหรับการไหลในเวนจูรี ดังนั้น ค่า C นี้จึงมีค่าน้อยกว่า 1.0 นอกจากนี้ สำหรับการไหลในท่อสายหลัก ค่า C ยังขึ้นกับค่า Reynolds number ถ้าค่า Reynolds number มากกว่า 2×10^5 จะได้ค่า C ประมาณ 0.984 โดยทั่วไปแล้วค่านี้ได้ถูกนำไปใช้กับเวนจูรีตามลักษณะดังภาพข้างบน ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อตั้งแต่ 100 mm ถึง 1200 mm (4.0 in ถึง 48.0 in) และตรงคอของท่อ ค่า $\frac{d}{D}$ ควรมีค่าตั้งแต่ 0.30 ถึง 0.75

สมการการไหลสำหรับมานอมิเตอร์ที่ใช้วัดความแตกต่างของความดัน

มานอมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ได้รับความนิยมในการนำมาใช้วัดความแตกต่างของความดันระหว่างส่วนท่อและส่วนคอของเวนจูรี จากรูปข้างบน เมื่อกำหนดให้

$$\begin{aligned}\gamma_f &= \text{น้ำหนักจำเพาะของของไหลในท่อ} \\ \gamma_m &= \text{น้ำหนักจำเพาะของของไหลในมานอมิเตอร์} \\ y &= \text{ระยะในแนวดิ่งจากแนวเส้นกลางของท่อ (centerline) จนถึงผิวบน} \\ &\quad \text{ของของเหลวในมานอมิเตอร์}\end{aligned}$$

สมการสำหรับมานอมิเตอร์ คือ

ขั้นตอนการคำนวณอัตราการไหลของของเหลวในเวนจูรี (Venturi) หัวฉีด (Nozzle) หรือ ช่องเปิดขอบคม (Orifice)

1. รวบรวมข้อมูลดังนี้ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ, ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่คอ, น้ำหนักจำเพาะ (γ_f) และความหนืด (ν) ของของเหลวที่อยู่ในท่อ, และค่าความแตกต่างของความดัน

2. กำหนดค่า C สำหรับเครื่องวัดการไหลแต่ละชนิด

3. คำนวณหาความเร็วของการไหลจาก

$$v_1 = C \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2) / \gamma}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}} \quad \text{หรือ} \quad v_1 = C \sqrt{\frac{2gh \left[\frac{\gamma_m}{\gamma_f} - 1 \right]}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}}$$

4. คำนวณหาค่า Reynolds number ของการไหลท่อ

5. พิจารณาค่า C จากค่า Reynolds number ที่คำนวณได้

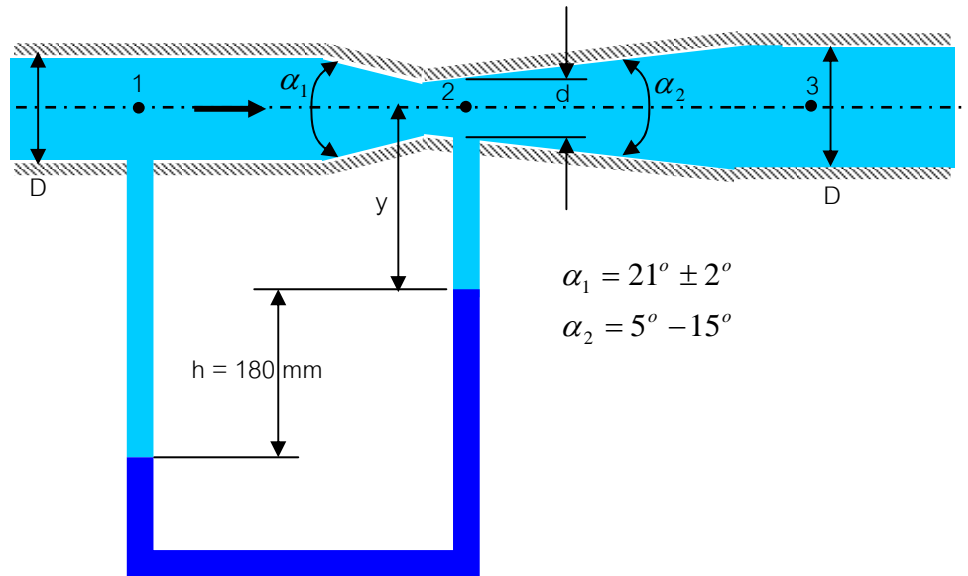
6. ถ้าค่า C จากขั้นตอนที่ 2 และ 5 มีความแตกต่างกัน ให้ทำขั้นตอนที่ 3 ถึง 5 ซ้ำจนกว่าจะได้ค่า C ที่ใกล้เคียงกัน

7. คำนวณหาค่าอัตราการไหลจาก $Q = vA$

ตัวอย่าง 8.1 จากรูป จงคำนวณหาอัตราการไหล เมื่อ

ในท่อ: น้ำที่ 60°C , $\gamma = 9.65 \text{ kN/m}^3$, $\nu = 4.67 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, $D = 128 \text{ mm}$, $A = 1.291 \times 10^{-7} \text{ m}^2$, $\varepsilon = 0.438$, $C = 0.984$

मानमीटर: प्ररुत ($S = 13.54$) ส่วนคอมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 56 mm ($A = 0.0025 \text{ m}^2$)

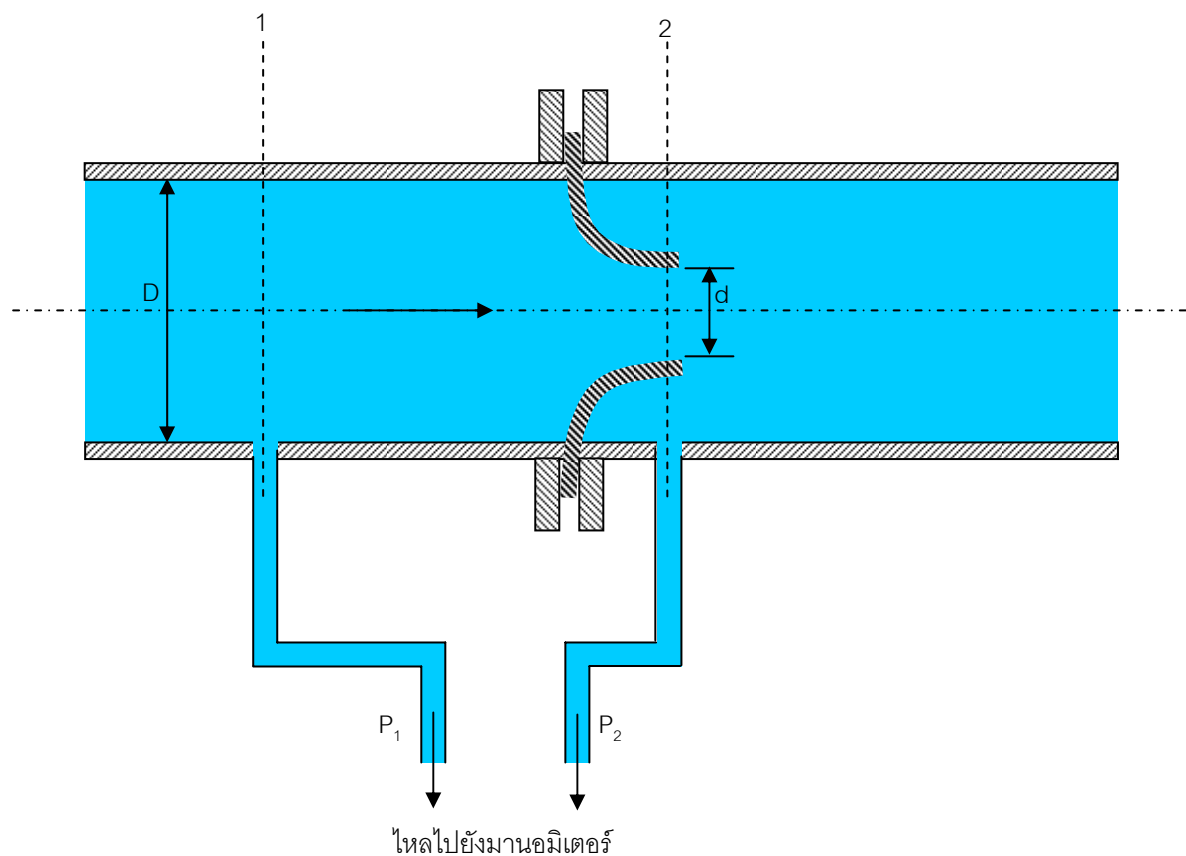


8.2.2 หัวฉีด (Flow Nozzle)

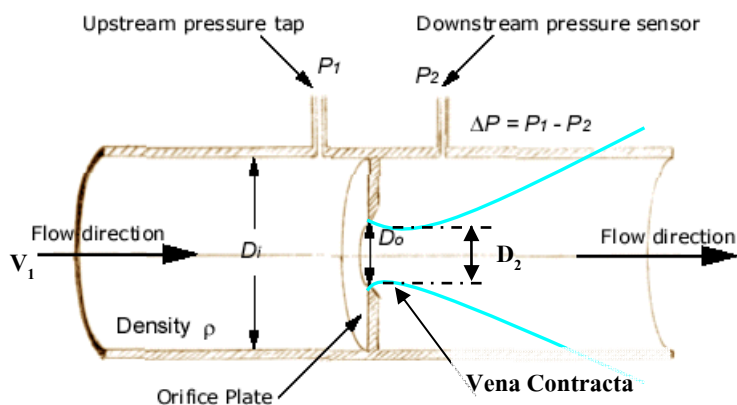
สำหรับการไหลผ่านหัวฉีดสามารถใช้สมการได้เช่นเดียวกับการไหลในมานอมิเตอร์

คือ

สำหรับค่า C ที่นิยมใช้สามารถหาค่าได้จากสมการ (เมื่อ $\varepsilon = 0.50$) ดังนี้



8.2.3 ช่องเปิดขอบคม (Orifice)



(ที่มา <http://saba.kntu.ac.ir/eeed/Ecou...fice.htm>)

จาก Bernoulli's Equation จากหน้าตัดที่ (1) ไปยัง (2) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ลการไหลหดตัวมากที่สุด จะได้ $\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$

จากสมการสภาพต่อเนื่อง และ $C_o = A_2 / A_o$ จะได้

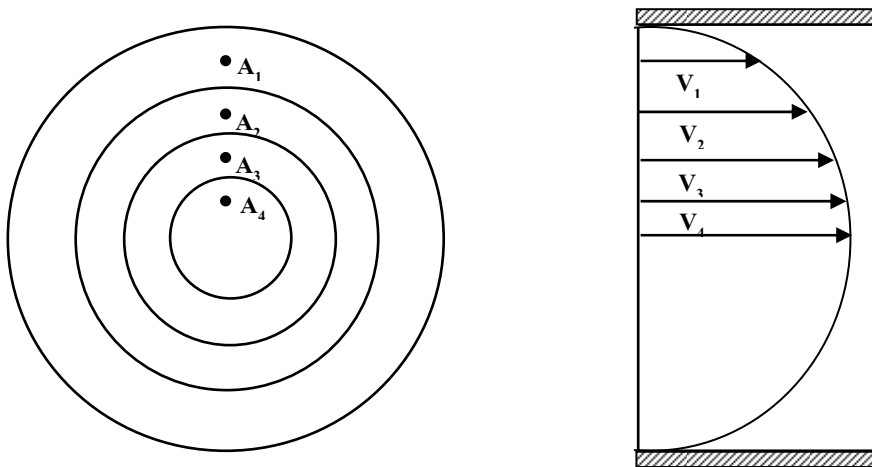
$$V_1 \frac{\pi}{4} D_1^2 = V_2 \frac{\pi}{4} D_2^2 = V_2 C_c \frac{\pi}{4} D_o^2 \quad \therefore V_2 = \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)/\gamma}{1 - C_c^2 (D_o/D_1)^4}}$$

ความเร็วจริงตรงตำแหน่งที่ 2 คือ $V_{2a} = C_v \cdot V_2$

$$\text{อัตราการไหล คือ } Q = V_{2a} \cdot C_c \cdot A_o = C_d \cdot A_o \cdot \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)/\gamma}{1 - C_c^2 (D_o/D_1)^4}}$$

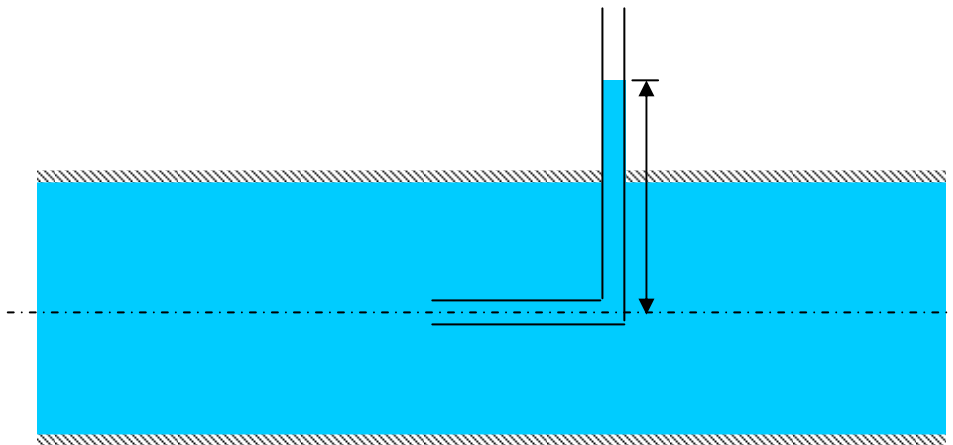
8.3 การวัดอัตราการไหล (Discharge Measurement)

การวัดอัตราการไหลในท่อขนาดใหญ่; $Q = \sum V_i A_i = V_1 A_1 + V_2 A_2 + \dots$



8.4 หลอดปีโตร (Pitot Tube)

เมื่อของไหลที่ไหลมาต้องหยุดเพราะมีสิ่งมาขัดขวาง จะทำให้มีความดันที่เพิ่มขึ้น ซึ่งความดันที่เพิ่มขึ้นนี้มีความสัมพันธ์กันกับความเร็ว โดยหลักการดังกล่าวนี้ได้ถูกนำมาใช้กับหลอดปีโตร



จากสมการพลังงาน จากจุดที่ 1 ไปยังจุด S

เมื่อ P_1 = ความดันสถิตภายในท่อหลัก

$$\frac{P_1}{\gamma} = \text{เฮดความดันสถิต (Static pressure head)}$$

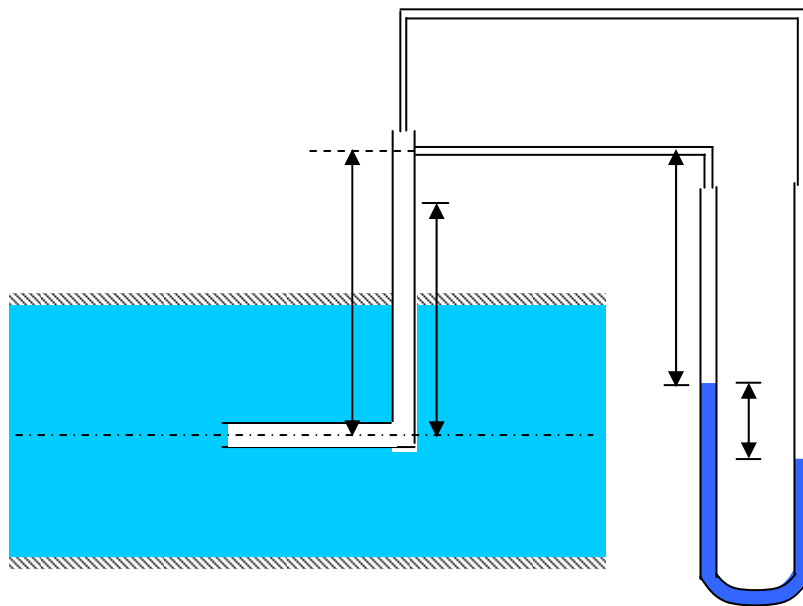
P_s = Stagnation pressure หรือ ความดันทั้งหมด

$$\frac{P_s}{\gamma} = \text{เฮดความดันทั้งหมด (Total pressure head)}$$

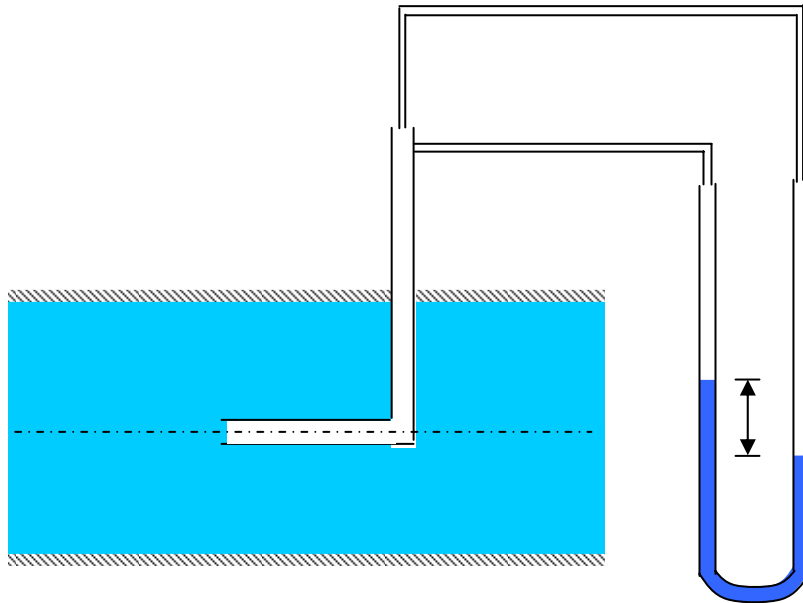
$$\frac{V_1^2}{2g} = \text{เฮดความเร็ว}$$

จะได้ว่า

จากสมการดังกล่าวข้างบน พบว่า ค่า $P_1 - P_s$ เป็นค่าที่จะต้องทราบเพื่อที่จะได้หาค่าความเร็ว ดังนั้น จึงได้นำมานอมิเตอร์มาต่อเข้ากับท่อปีโตร ดังภาพต่อไปนี้

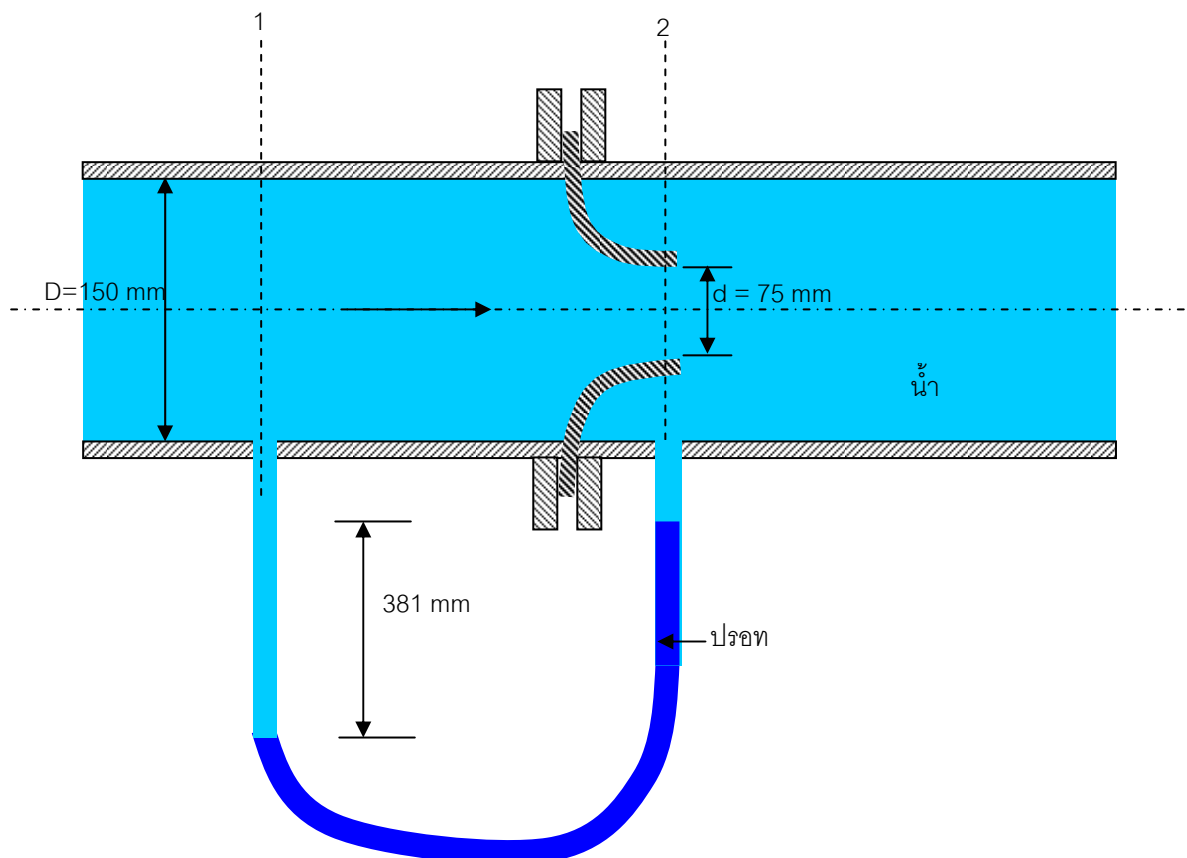


ตัวอย่าง 8.2 จากรูป ในท่อสายหลักบรรจุน้ำที่อุณหภูมิ 60°C และของเหลวในมานอมิเตอร์เป็นปรอทที่มีความถ่วงจำเพาะ 13.54 จงคำนวณความเร็วของน้ำ กำหนดให้ น้ำที่อุณหภูมิ 60°C มีน้ำหนักจำเพาะ 9.65 kN/m^3

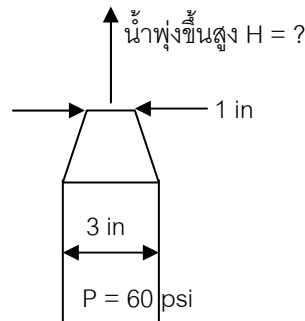


แบบฝึกหัดท้ายบท

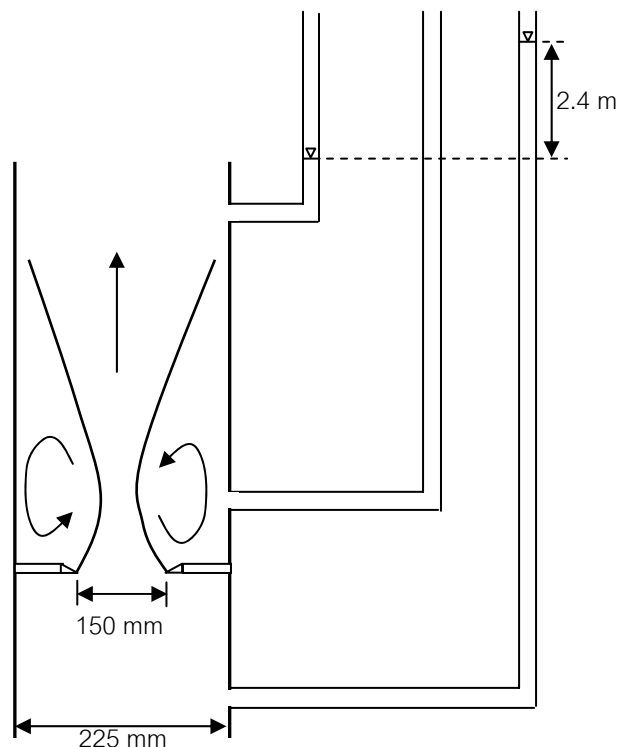
1. น้ำที่ 68°F ไหลผ่านเครื่องวัดเวนจูรีที่วางในแนวระดับ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (D_1) และส่วนคอ (d_2) เท่ากับ 12 in และ 6 in ตามลำดับ เมื่อความดันที่วัดได้ในท่อ (P_1) และในส่วนคอ (P_2) เท่ากับ 30 psi และ 20 psi ตามลำดับ และ $C = 0.985$ จงคำนวณหาอัตราการไหลและพลังงานที่สูญเสียไป
2. น้ำมันที่มีความถ่วงจำเพาะ 0.86 ไหลผ่านเครื่องวัดเวนจูรีที่วางในแนวระดับ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (D) และส่วนคอ (d) เท่ากับ 150 mm และ 75 mm ตามลำดับ ด้วยอัตราการไหล 7.6 L/s จงคำนวณหาเฮดความดัน (Pressure head) และการสูญเสียพลังงาน เมื่อมีอุณหภูมิ 27°C ($C = 0.96$) และ 49°C ($C = 0.97$)
3. อัตราการไหลสูงสุดผ่านท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (D_1) 250 mm มีค่า 142 L/s จงคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของส่วนคอ (d_2) เมื่อ $\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} = 11.44$ m และ $C = 0.98$
4. น้ำที่อุณหภูมิ 20°C ไหลผ่านหัวฉีดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 75 mm ซึ่งต่อเข้ากับท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 mm และต่อเข้ากับมอโนมิเตอร์ที่บรรจุปรอทและน้ำ ดังรูป จงคำนวณหาอัตราการไหลผ่านหัวฉีดและพลังงานสูญเสียเนื่องจากหัวฉีด ($C = 0.99$)



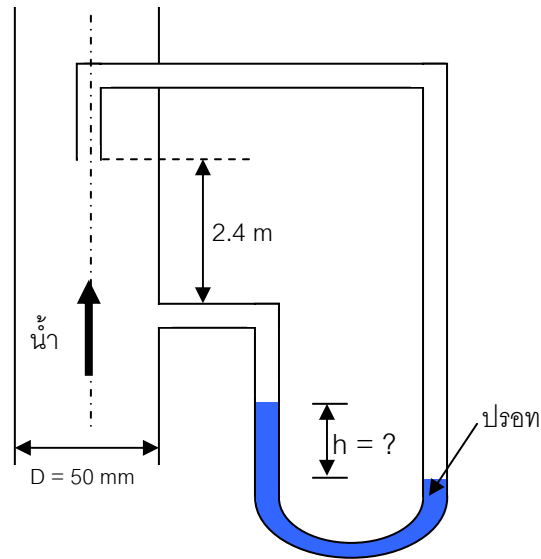
5. หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 in ($C = 0.98$) ต่อเข้ากับท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 in จงคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำ ความเร็วของน้ำที่หัวฉีด พลังงานที่สูญเสียที่หัวฉีด และความสูงมากที่สูดที่น้ำจะขึ้นไปได้ เมื่อท่อนี้มีความดัน 60 psi และไม่คิดการสูญเสียเนื่องจากอากาศ



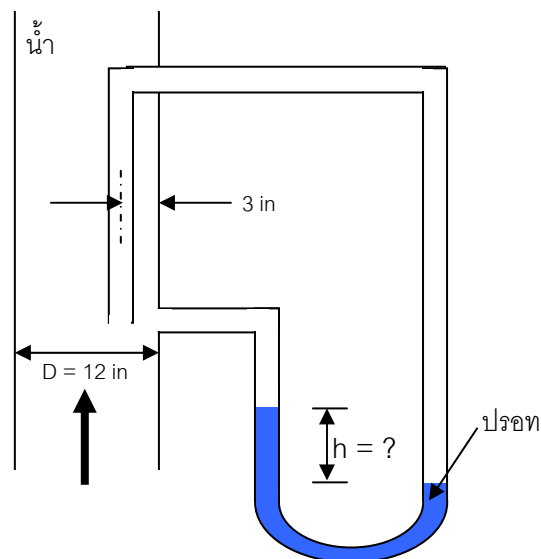
6. น้ำไหลผ่านช่องเปิดขอบคมต่อเข้ากับท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 300 mm ด้วยอัตราการไหล $0.28 \text{ m}^3/\text{s}$ พลังงานความสูญเสียสูงสุดที่ยอมให้ได้เท่ากับ 7.6 m จงคำนวณพื้นที่หน้าตัดของช่องเปิดขอบคม เมื่อ $C_v = 1$
7. น้ำไหลผ่านช่องเปิดขอบคมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 in ต่อเข้ากับท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 in ด้วยอัตราการไหล 5.30 cfs ความดันเกจที่วัดได้จากท่อด้านหน้าเท่ากับ 58.0 psi และความดันที่วัดได้ ณ จุด Vena contracta เท่ากับ 60.0 psi จงคำนวณหา C_c และ C_v
8. จากรูป จงทำนายตำแหน่งของน้ำในหลอดไพโซมิเตอร์หลอดกลาง เมื่อ $C_c = 0.668$ และ $C_v = 0.97$



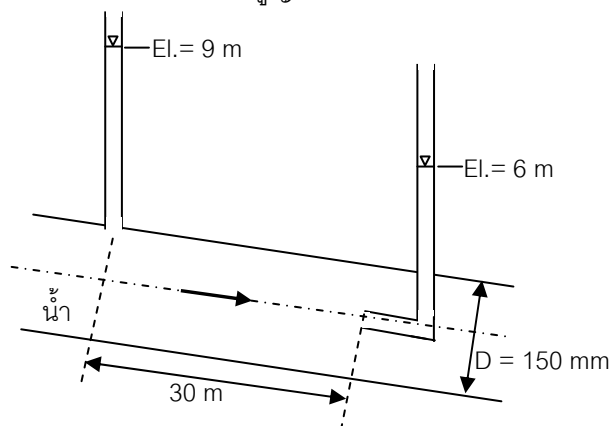
9. จากรูป เมื่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (f) = 0.025 และความเร็วของน้ำเท่ากับ 3 m/s จงคำนวณความแตกต่างของความสูงของปรอทในมานอมิเตอร์ (h = ?)



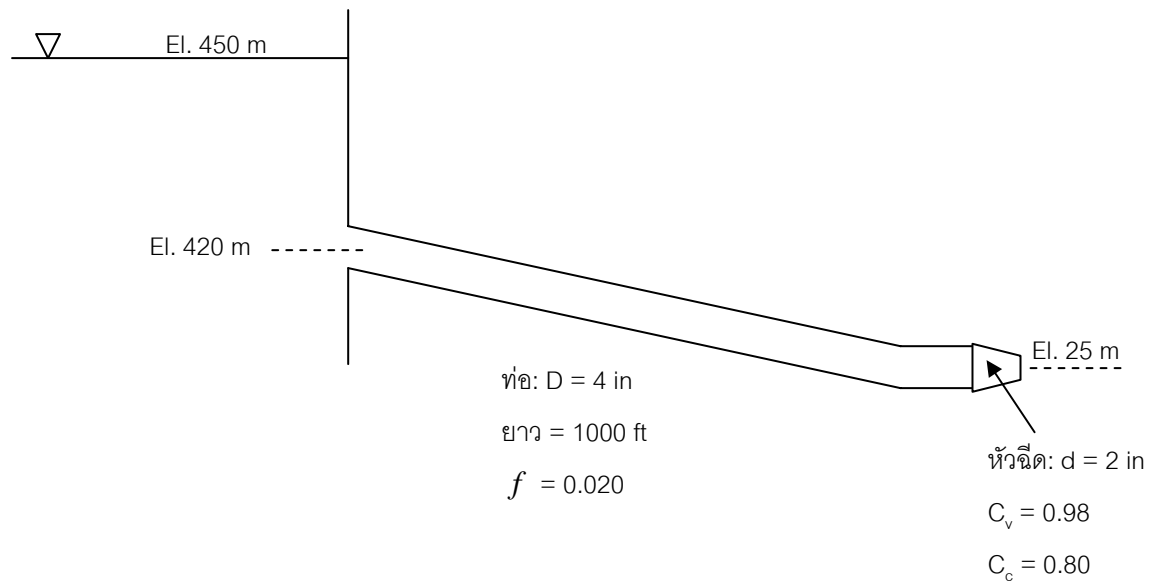
10. เมื่อของไหลที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.80 และความหนืด (ν) $0.00401 \text{ ft}^2/\text{s}$ ไหลด้วยความเร็วเฉลี่ย 8.02 ft/s จงคำนวณความแตกต่างของความสูงของปรอทในมานอมิเตอร์ (h = ?)



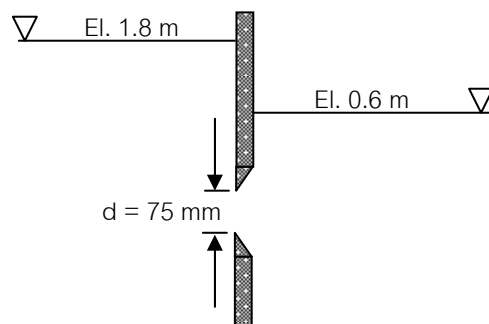
11. จากรูป จงคำนวณหาพลังงานที่สูญเสียไปต่อความยาว 30 m เมื่อ f = 0.022



12. จากรูปและข้อมูลที่ให้มา จงคำนวณหา (ก) อัตราการไหลในท่อและหัวฉีด (ข) กำลังม้าของของไหลจากหัวฉีด และ (ค) กำลังม้าที่สูญเสียไปในท่อและหัวฉีด



13. น้ำไหลจากถังเก็บน้ำหนึ่งไปยังอีกถังเก็บน้ำหนึ่ง โดยผ่านช่องเปิดขอบคมที่อยู่ระหว่างสองถังนี้ เมื่อ $C_v = 0.95$ และ $C_c = 0.62$ จงคำนวณหาอัตราการไหล



14. ช่องเปิดขอบคมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 in ติดตั้งอยู่ที่ปลายของท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 in โดยที่ภายในท่อมีความดัน 10 psi วัดอัตราการไหลของน้ำที่พุ่งออกจากช่องเปิดได้ $0.60 \text{ ft}^3/\text{s}$ และความเร็วของลำการไหลที่วัดโดยหลอดปีโตรมีค่า 39.2 ft/s จงคำนวณหา C_v , C_c , C_d และการสูญเสียเฮดในช่วงการไหลผ่านช่องเปิด
15. หัวฉีดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 in ติดตั้งเข้ากับท่อส่งน้ำขนาด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 in น้ำมีอุณหภูมิ 80°F ถ้ามาตรวัดน้ำ-อากาศ อ่านค่าความแตกต่างระดับได้ 2 in จงคำนวณหาอัตราการไหลในท่อและค่า C

คำตอบ

1. อัตราการไหล = 7.70 ft³/s และพลังงานที่สูญเสียไป = 0.70 ft
2. T 27°C: Pressure head = 1.29 kPa และการสูญเสียพลังงาน = 0.009 m
T 49°C: Pressure head = 1.01 kPa และการสูญเสียพลังงาน = 0.007 m
3. $d_2 = 110$ mm
4. อัตราการไหลผ่านหัวฉีด = 0.044 m³/s และพลังงานสูญเสียเนื่องจากหัวฉีด = 2.91 m
5. อัตราการไหลของน้ำ = 0.509 ft³/s
ความเร็วของน้ำที่หัวฉีด = 93.2 ft/s
พลังงานที่สูญเสียที่หัวฉีด = 5.35 ft
ความสูงมากที่สุดที่น้ำจะขึ้นไปได้ = 135 ft
6. $A_2 = 0.017$ m²
7. $C_c = 0.642$ และ $C_v = 0.975$
8. อยู่ต่ำลงมา 4.19 m จากหลอดที่ระดับน้ำต่ำสุด
9. $h = 11.14$ mm
10. $h = 0.14$ ft = 1.69 in
11. $h_L = 4.51$ m
12. อัตราการไหลในท่อและหัวฉีด = 1.56 ft³/s
กำลังม้าของของไหลจากหัวฉีด = 21.7 hp
กำลังม้าที่สูญเสียไปในท่อและหัวฉีด = 53.3 hp
13. อัตราการไหล = 0.013 m³/s
14. $C_v = 0.97$
 $C_c = 0.70$
 $C_d = 0.68$
การสูญเสียเฮดในช่วงการไหลผ่านช่องเปิด = 1.24 ft
15. อัตราการไหลในท่อ = 0.0743 cfs
ค่า C = 1.04