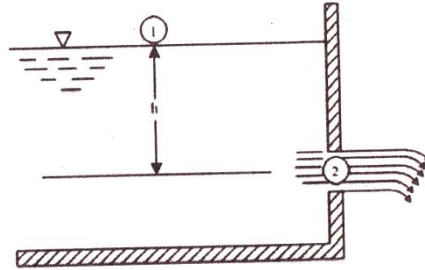


	แผนการสอน	หน่วยที่ 9
	ชื่อวิชา กลศาสตร์ของไหล รหัสวิชา 3100 – 0103	สอนครั้งที่ 18
	ชื่อหน่วย การวัดอัตราการไหล	จำนวน 3 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง/ชื่องาน การไหลผ่านรูระบาย, มาตรฐานแบบรูระบาย		
หัวข้อเรื่องและงาน 10.3 การไหลผ่านรูระบาย 10.4 มาตรฐานแบบรูระบาย สาระสำคัญ 10.3 การไหลผ่านรูระบาย คือ เป็นเครื่องมือสำหรับวัดอัตราการไหลโดยอาศัยการไหลตามแรงโน้มถ่วงของโลก 10.4 มาตรฐานแบบรูระบาย คือ มาตรฐานแบบนี้ประกอบด้วยแผ่นโลหะบาง ๆ เจาะรูกลม กั้นขวางการไหล โดยจุดศูนย์กลางรูกลมทับจุดศูนย์กลางของท่อ สมรรถนะที่พึงประสงค์ (ความรู้ ทักษะ คุณธรรม จริยธรรม จรรยาบรรณวิชาชีพ) - อธิบายลักษณะการเกิดวินาคอนแทร์กตาเมื่อของไหลผ่านรูระบาย ได้อย่างถูกต้อง - คำนวณหาอัตราการไหลผ่านมาตรฐานแบบรูระบาย ได้อย่างถูกต้อง เนื้อหาสาระ		

10.3 การไหลผ่านรูระบาย (Orifices)

รูระบาย (Orifices) เป็นเครื่องมือสำหรับวัดอัตราการไหลโดยอาศัยการไหลตามแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งรูระบายอาจจะบริเวณผนัง หรือฐานของภาชนะที่บรรจุของเหลวก็ได้



รูปที่ 10.5 การไหลผ่านรูระบาย

จากรูปที่ 10.5 พิจารณาการไหลของของเหลวผ่านรูระบาย โดยการประยุกต์ สมการ

พลังงานเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและความสูงของของเหลว (h) จะได้

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2$$

เมื่อ $P_1 = P_2$ เพราะเป็นความดันบรรยากาศ และเมื่อควบคุมให้ระดับน้ำในถังคงที่ ความเร็วที่ผิวหน้า คือ v_1 จึงถือว่ามีค่าเป็นศูนย์ ($v_1 = 0$) และการสูญเสียพลังงานจากจุด 1 ถึงจุด 2 น้อยมาก ตัดทิ้งได้นั้นคือ $h_L = 0$

ดังนั้น
$$v_2 = \sqrt{2g(Z_1 - Z_2)}$$

$$v_2 = \sqrt{2gh} \quad \dots\dots\dots(10.6)$$

ความเร็ว v_2 ที่คำนวณได้จากสมการ 10.5 นั้นเป็นความเร็วทางทฤษฎี เนื่องจากไม่คิดการสูญเสียจากจุด 1 ถึง 2 แต่ในทางปฏิบัติจะมีการสูญเสีย ทำให้ความเร็วที่แท้จริง (v_a) น้อยลงกว่าความเร็วทางทฤษฎี (v_t)

ซึ่งอัตราส่วนระหว่างความเร็วที่แท้จริง (v_a) เรียกว่า “สัมประสิทธิ์ความเร็ว (Velocity coefficient) ใช้สัญลักษณ์ C_v ”

$$C_v = v_a / v_t \quad \dots\dots\dots(10.7)$$

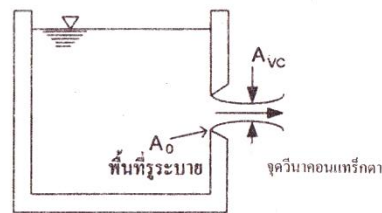
ดังนั้น ความเร็วที่แท้จริง (V_{2a}) จากสมการ 10.6 คือ

$$V_{2a} = C_v \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad \dots\dots\dots(10.8)$$

เมื่อ V_{2a} คือ ความเร็วที่แท้จริงของของไหลที่ผ่านรูระบาย (m/s)

C_v คือ สัมประสิทธิ์ความเร็ว

จากปรากฏการณ์ตามธรรมชาติ เมื่อของเหลวไหลออกมาจากรูระบายสัมผัสกับบรรยากาศลำ
ของเหลวที่พุ่งออกมาจะหดตัวลงแล้วจึงขยายใหญ่ขึ้น ตรงตำแหน่งที่ลำของเหลวหดตัวมากที่สุด
เรียกว่า วินา คอนแทร็กตา (Vena contracta) ดังแสดงในรูปที่ 10.6



รูปที่ 10.6 การไหลผ่านรูระบายแบบสันสันแหลม

เมื่อ A_0 คือ พื้นที่รูระบาย และ A_{vc} คือ พื้นที่หน้าตัดของลำของเหลวจุกคอคอด ซึ่งจากรูปจะพบว่า A_{vc} จะมีค่าน้อยกว่า A_0 และอัตราส่วนของ A_{vc} ต่อ A_0 จะมีค่าคงที่ สำหรับรูระบายแต่ละรู ค่าคงที่นี้เรียกว่า “สัมประสิทธิ์การหดตัว (Coefficient of contraction) ใช้สัญลักษณ์ C_c “

โดยที่

$$C_c = A_{vc} / A_0 \quad \dots\dots\dots(10.9)$$

ดังนั้น อัตราการไหลจริงผ่านรูระบาย คือ

$$Q_a = V_{1a} \cdot C_c \cdot A_0$$

หรือ

$$Q_a = C_c \cdot C_v \cdot A_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad \dots\dots\dots(10.10)$$

โดยทั่ว ๆ ไปจะรวมผลคูณของ C_c และ C_v เป็นสัมประสิทธิ์ตัวเดียว เรียกว่า

สัมประสิทธิ์

อัตราการไหล (discharge coefficient : C_d)

นั่นคือ

$$C_d = C_c \cdot C_v$$

.....(10.11)

ดังนั้น

$$Q_a = C_d \cdot A_0$$

.....(10.12)

เมื่อ Q_a คือ อัตราการไหลจริงผ่านรูระบาย m^3/s

C_d คือ สัมประสิทธิ์อัตราการไหล

A_0 คือ พื้นที่หน้าตัดรูระบาย (m^2)

ตัวอย่างที่ 10.4 น้ำในถังใหญ่ไหลผ่านรูระบายที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 mm วัดความสูงจากผิวน้ำถึงรูระบายได้ 3 m ถ้าสัมประสิทธิ์ความเร็วเท่ากับ 0.98 และสัมประสิทธิ์การหดตัวเท่ากับ 0.85 จงคำนวณหาอัตราการไหลผ่านรูระบาย

วิธีทำ พื้นที่หน้าตัดรูระบาย $A_0 = \frac{\pi}{4} (0.025)^2 = 4.909 \times 10^{-4}$

จากโจทย์สัมประสิทธิ์ความเร็ว $C_v = 0.98$

สัมประสิทธิ์การหดตัว $C_c = 0.85$

หาสัมประสิทธิ์อัตราการไหล $C_d = C_v \cdot C_c$

$$C_d = 0.98 \times 0.85 = 0.833$$

หาอัตราการไหลผ่านรูระบาย

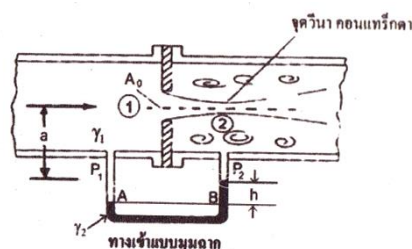
$$Q_a = C_d \cdot A_0 \sqrt{2gh}$$
$$= 0.833 \times 4.909 \times 10^{-4} \times \sqrt{2 \times 9.81 \times 3}$$

$$Q_a = 3.14 \times 10^{-4} m^3/s$$

ตอบ

10.4 มาตรวัดแบบรูระบาย (Orifice meter)

มาตรวัดแบบนี้ประกอบด้วยแผ่นโลหะบาง ๆ เจาะรูกลม กั้นขวางการไหล โดยจุดศูนย์กลางรูกลมทับจุดศูนย์กลางของท่อ ดังรูปที่ 10.7 การคำนวณหาอัตราการไหลในท่อ อาศัยความแตกต่างของเหลวในमानमीटर (h) แล้วใช้สมการพลังงานระหว่างจุด 1 และจุด 2 ซึ่งเป็นจุดอยู่ในแนวศูนย์กลางของท่อ ดังนี้



รูปที่ 10.7 มาตรฐานแบบบูรณาการ โดยวิธีวัดผลต่างของระดับของไหล

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2$$

เนื่องจากท่อวางอยู่ในแนวระดับ นั่นคือ $Z_1 = Z_2$

$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$$

จากสมการความต่อเนื่อง $v_1 A_1 = v_2 A_2$

แต่เนื่องจาก $A_2 < A_0$ หรือ $A_2 = C_c \cdot A_0$

เมื่อ C_c คือ สัมประสิทธิ์การหดตัว

$$\text{ดังนั้น} \quad v_1 = \frac{A_2 - A_1}{A_1} = \frac{C_c A_0 v_2}{A_1}$$

$$\text{และ} \quad \frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \left[1 - \left(C_c \frac{A_0}{A_1} \right)^2 \right] \frac{v_2^2}{2g}$$

พิจารณามานอมิเตอร์ ความดันที่จุด A = ความดันจุด B

$$P_A = P_B$$

$$P_1 + \gamma_1 (a + h) = P_2 + \gamma_1 + \gamma_2 h$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \left[\frac{\gamma_2}{\gamma_1} - 1 \right] h$$

$$\text{ดังนั้น} \quad \frac{v_2^2}{2g} \left[1 - \left(C_c \frac{A_0}{A_1} \right)^2 \right] = \left[\frac{\gamma_2}{\gamma_1} - 1 \right] h$$

$$V_2 = \frac{\sqrt{2g \left[\frac{\gamma_2}{\gamma_1} - 1 \right] h}}{\sqrt{1 - \left(C_c \frac{A_0}{A_1} \right)^2}} \quad \text{.....(ตามทฤษฎี)}$$

แต่ในสภาพความเป็นจริง จะมีการสูญเสียพลังงานในขณะที่มีการไหลผ่านมาตรฐานแบบบูรณาการ

ระบาย ซึ่งความเร็วจริงจะมีความเร็วน้อยกว่าความเร็วทางทฤษฎี คือ

$$V_{2a} = C_v \cdot v_2$$

$$\text{ดังนั้น } V_{2a} = \frac{C_v \sqrt{2g \left[\frac{\gamma_2}{\gamma_1} - 1 \right] \cdot h}}{\sqrt{1 - \left(C_c \frac{A_0}{A_1} \right)^2}} \quad \dots\dots\dots(\text{ตามความจริง})$$

และอัตราการไหลของไหลผ่านรูระบายตามความจริง

$$Q = \frac{C_c \cdot C_v \cdot A_0 \sqrt{2g \left[\frac{\gamma_2}{\gamma_1} - 1 \right] \cdot h}}{\sqrt{1 - \left(C_c \frac{A_0}{A_1} \right)^2}} \quad \dots\dots\dots(10.13)$$

แต่เนื่องจาก $C_d = C_c \cdot C_v$

$$Q = \frac{C_d \cdot A_0 \sqrt{2g \left[\frac{\gamma_2}{\gamma_1} - 1 \right] \cdot h}}{\sqrt{1 - \left(C_c \frac{A_0}{A_1} \right)^2}} \quad \dots\dots\dots(10.14)$$

เนื่องจากสมการ 10.14 ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (C_d) และสัมประสิทธิ์การหดตัว (C_c) เป็นค่าที่หาได้ยาก ดังนั้น จึงรวมสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน จะหาอัตราการไหลสะดวกขึ้น คือ

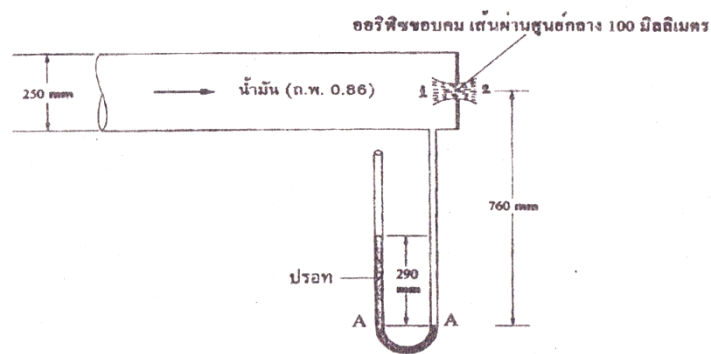
$$Q = C \cdot A_0 \sqrt{2g \left[\frac{\gamma_2}{\gamma_1} - 1 \right] \cdot h} \quad \dots\dots\dots(10.15)$$

โดยที่ $C = \frac{C_d}{\sqrt{1 - \left(C_c \frac{A_0}{A_1} \right)^2}}$ คือสัมประสิทธิ์มาตรวัดแบบรูระบาย

ในกรณีที่มาตรวัดแบบรูระบายติดตั้งมาตรวัดความดันแทนமானอมิเตอร์ อัตราการไหลก็สามารถได้จากสมการ

$$Q = C \cdot A_0 \sqrt{2g \left[\frac{P_1 - P_2}{\gamma_1} \right]} \quad \dots\dots\dots(10.16)$$

ตัวอย่างที่ 10.5 น้ำมันมีความถ่วงจำเพาะ 0.86 ไหลออกจากท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 250 mm ผ่านรูระบายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 mm อ่านผลต่างของระดับปรอทในมานอมิเตอร์ได้ 290 mm สัมประสิทธิ์ของความเร็วเท่ากับ 0.98 และสัมประสิทธิ์การหดตัวเท่ากับ 0.63 จงคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำมัน



วิธีทำ พื้นที่หน้าตัดท่อ $A_1 = \frac{\pi}{4} (0.25)^2 = 0.0491 \text{ m}^2$

พื้นที่หน้าตัดรูระบาย $A_0 = \frac{\pi}{4} (0.1)^2 = 0.00785 \text{ m}^2$

จากสมการ $Q = C \cdot A_0 \sqrt{2g \left[\frac{P_1 - P_2}{\gamma} \right]}$ (1)

เมื่อ $C = \frac{C_c \cdot C_v}{\sqrt{1 - \left(C_c \frac{A_0}{A_1} \right)^2}}$

$$= \frac{0.63 \times 0.98}{\sqrt{1 - \left(0.63 \times \frac{0.00785}{0.0491}\right)^2}}$$

$$C = 0.6206$$

พิจารณาความดันที่จุด A และ A

$$P_1 + (0.86 \times 9.81 \times 0.76) = (13.6 \times 9.81 \times 0.29)$$

$$P_1 = 32.278 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{P_1}{\gamma} = \frac{32.276}{(0.96 \times 9.81)} = 3.826 \text{ m}$$

และจากรูป $P_2 = 0$ (ความดันบรรยากาศ)

ดังนั้น $\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = 3.826 \text{ m}$

แทนค่าในสมการหาค่าอัตราการไหล (1)

$$Q = 0.6206 \times 0.00785 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times 3.826}$$

$$Q = 0.0422 \text{ m}^3/\text{s}$$

ตอบ

สรุปท้ายบท

การวัดอัตราการไหลที่ถูกต้องที่สุด คือ การวัดปริมาตร และชั่งน้ำหนักของของไหล โดยการปล่อยให้ของไหลไหลเข้าสู่ภาชนะรองรับที่รู้ปริมาตรที่แน่นอนแล้วจับเวลา ซึ่งการวัดอัตราการไหลวิธีนี้จะสามารถหาได้โดยนำปริมาตรของไหลหารด้วยเวลา แต่วิธีการดังกล่าวมีข้อจำกัด เนื่องจากหากของไหลมีปริมาตรมากจะไม่สะดวก หรือไม่สมารถนำภาชนะมารองรับของไหลได้

การวัดอัตราการไหลวิธีการที่นิยมประกอบด้วย มาตรฐานรูระบาย (orifice) และมาตรเวนจูรี ซึ่งมาตรวัดแบบรูระบายเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดอัตราการไหลได้ทั้งจากถังเก็บน้ำและภายในท่อโดยเมื่อของเหลวไหลผ่านมาตรวัดแบบรูระบาย ลำของเหลวจะหดตัว ซึ่งตรงที่ตำแหน่งที่ลำของเหลวหดตัวมากที่สุด เรียกว่า วินา คอนแทร็กตา (vena contracta) และมาตรวัดเวนจูรีใช้สำหรับวัดอัตราการไหลในท่อ มีลักษณะเป็นท่อที่มีคอคอด (throat) ตรงกลาง ซึ่งคอคอดจะทำให้ความเร็วในการไหลผ่านของของไหลสูงขึ้น (ความดันลดลง)

การวัดอัตราการไหลด้วยมาตรวัดแบบต่าง ๆ จะมีการสูญเสียเนื่องจากความฝืด ทำให้ความเร็วจริงมีค่าต่ำกว่าความเร็วทางทฤษฎีเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อต้องการค่าอัตราการไหลที่แท้จริงจึงต้องนำสัมประสิทธิ์อัตราการไหลมาใช้ประกอบการคำนวณด้วย

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน
ขั้นตอนการสอนหรือกิจกรรมของครู

ขั้นนำ

1. กล่าวทักทายนักศึกษาแล้วอธิบายเรื่องของการวัดอัตราการไหลแล้วเปิดโอกาสถามให้

นักศึกษาถาม

ขั้นสอน

1. แจ้างจุดประสงค์รายวิชา หัวข้อที่จะต้องเรียน การวัดการประเมิณผล ข้อตกลงต่าง ๆ แก่

นักศึกษา

2. บรรยายเนื้อหาประกอบแผ่นใสในหน่วยที่ 9
3. สาธิตหลักการคำนวณประกอบแผ่นใสตัวอย่างที่ 10.4 และ 10.5
4. ให้ทำแบบฝึกหัดและเปิดโอกาสให้นักศึกษาถาม

ขั้นสรุป

1. ผู้สอนสรุปเนื้อหาให้นักศึกษาฟัง และถามนักศึกษาในเรื่องที่เรียน

งานที่มอบหมายหรือกิจกรรม

1. ให้นักศึกษาไปศึกษาเนื้อหาตัวอย่างที่ 10.4 และ 10.5 เพื่อทำการทดสอบ

สื่อการเรียนรู้การสอน

1. เอกสารประกอบการสอนหน่วยที่ 9
2. แผ่นใสหน่วยที่ 9 ตัวอย่างที่ 10.4 และ 10.5

การวัดผลและประเมินผล

1. สังเกตความสนใจผู้เรียน
2. ความรับผิดชอบต่องานที่มอบหมาย
3. การให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรมระหว่างเรียน
4. ให้ทำแบบทดสอบ

แบบฝึกหัดท้ายบท

1. รูออริฟิซขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm (ไม่มาตรฐาน) ที่อยู่ปลายท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 cm ฉีดน้ำออกสู่บรรยากาศในอัตรา 16.98 ลิตร/วินาที เมื่อความดันในท่อเป็น 68,950 Pa ความเร็วของเจ็ตที่วัดจากท่อปีโตต์เท่ากับ 12 m/s จงหาค่า C_v C_c C_d และเฮดที่สูญเสียจากปากทางเข้าถึงคอคอดของเจ็ต
 2. นอซเซิลวัดอัตราการไหลแบบ ISA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ติดตั้งอยู่ในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว น้ำในท่อมืดอุณหภูมิ 72°F ถ้ามีโนมิเตอร์ที่ใช้น้ำลมเป็นตัววัดความดันอ่านค่าได้ 2 นิ้วแล้ว จงหาอัตราการไหลของน้ำในท่
วิธีทำ โจทย์แบบนี้จะต้องแก้โดยวิธีลองผิดลองถูก ในตอนแรกจะต้องสมมุติว่า K ที่มีเหตุมีผลขึ้นจะเห็น ว่าในช่วงที่เส้นกราฟ
 3. จงหาอัตราการไหลโดยน้ำหนัก เมื่อลมที่มีอุณหภูมิ 20°C ความดันสมบูรณ์ 700 kN/m² ไหลผ่านเวนจูรีมิเตอร์ ถ้าความดันสมบูรณ์ที่คอคอดของเวนจูรีมิเตอร์เท่ากับ 400 kN/m² และเส้นผ่านศูนย์กลางที่ทางเข้าและที่คอคอดเท่ากับ 25 และ 12.5 cm ตามลำดับ โดยสมมุติว่า $C = 0.985$
วิธีทำ $P_2/P_1 = 400/700 = 0.57$ และ $D_2/D_1 = 12.5/25 = 0.5$ ก็จะได้ค่า Y ประมาณเท่ากับ 0.72 ดังนั้นจากสมการ (9.24) ก็จะได้อัตราการไหลจริงเป็น
 4. น้ำในร่องน้ำเปิดที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าไหลด้วยความเร็ว 1 m/s ในระดับความลึก 0.3 m ถ้าหากไม่มีผลกระทบจากความเร็วน้ำทางด้านต้นน้ำของฝายแล้วจงใช้สมการ (9.13) คำนวณหาความสูงของ (สัน) ฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ใช้ติดตั้งในร่องน้ำ เพื่อใช้เพิ่มระดับน้ำทางด้านต้นน้ำให้มีระดับน้ำสูงถึง 1.2 m
- ต้องการวัดปริมาตรการไหลของน้ำ ($\rho = 1,000 \text{ kg/m}^3$ $\nu = 1.02 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) ที่ไหลผ่านท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 mm ที่ความเร็วเฉลี่ยของการไหล 2.0 m/s ถ้ามาตรวัดความดันสามารถวัดความแตกต่างของความดันได้อย่างแม่นยำในช่วง $P_1 - P_2 = 50,000 \text{ Pa}$ จงเลือกว่าจะใช้มาตรฐานใด (ก) ช่องแผ่นบาง (thin – plate orifice) ที่มีการเจาะแบบ 2 (ข) ท่อหัวฉีด (nozzle) ที่มีรัศมียาว (long-radius) (ค) ท่อเวนทูรี พร้อมทั้งให้หาความสูญเสียไม่สามารถนำกลับคืนมาได้ (nono- recoverable loss) สำหรับแต่ละการออกแบบ

เฉลยแบบฝึกหัด

5. รูออริฟิชนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm (ไม่มาตรฐาน) ที่อยู่ปลายท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 cm ฉีดน้ำออกสู่บรรยากาศในอัตรา 16.98 ลิตร/วินาที เมื่อความดันในท่อเป็น 68,950 Pa ความเร็วของเจ็ตที่วัดจากท่อปีโตที่เท่ากับ 12 m/s จงหาค่า C_v C_c C_d และเฮดที่สูญเสียจากปากทางเข้าถึงคอคอดของเจ็ต

$$\begin{aligned}\text{วิธีทำ} \quad \frac{P_1}{\gamma} &= \frac{68,950}{1,000 \times 9.81} \\ &= 7.03 \text{ m} \\ V_1 &= \frac{Q}{A_1} \\ &= \frac{16.98 \times 10^{-3}}{\frac{\pi}{4} (75 \times 10^{-2})^2} \\ &= 5.84 \text{ m/s}\end{aligned}$$

ใช้สมการเบอร์นูลลีระหว่างหน้าตัด 1 และ 2 เพื่อหาความเร็วของของไหลในจินตนาการ

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

เนื่องจาก $P_2 = 0$, $Z_1 = Z_2$

$$\begin{aligned}\therefore \quad \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} &= \frac{V_2^2}{2g} \\ \frac{5.84^2}{2g} &= \frac{V_2^2}{2g}\end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } (V_2)_{\text{ideal}} = 12.36 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned}C_v &= \frac{V}{V_i} = \frac{12}{12.36} \\ &= 0.97\end{aligned}$$

$$\therefore \text{พื้นที่หน้าตัดของเจ็ต, } A_2 = \frac{Q}{V_2} = \frac{16.98 \times 10^{-3}}{12} = 1.415 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\therefore \quad C_c = \frac{A_2}{A_0} = \frac{1.415 \times 10^{-3}}{\frac{\pi}{4} (5 \times 10^{-2})^2} = 0.72$$

$$C_d = C_c C_A = 0.72 \times 0.97 = \mathbf{0.70}$$

จากสมการ (9.15) จะหาเฮดที่สูญเสียได้เป็น :

$$H_{L1-2} = \left[\frac{1}{C_v^2} - 1 \right] \left[1 - \left[\frac{A^2}{A_1} \right] \frac{V_2^2}{2g} \right]$$

$$H_{L1-2} = \left[\frac{1}{0.97^2} - 1 \right] \left[1 - \left[\frac{5}{7.5} \right]^4 \frac{12^2}{2g} \right]$$

$$= 0.37 \text{ m}$$

เพื่อเป็นการตรวจสอบ ให้หาความเร็วจริงโดยใช้สมการพลังงานระหว่าง 1 และ 2

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - H_{L1-2} = \frac{V_2^2}{2g}$$

$$7.03 + \frac{3.84^2}{2g} - 0.37 = \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\therefore (V_2)_{\text{actual}} = 12 \text{ m/s}$$

จะเห็นว่าตรงกับความเร็วของเจ็ตที่วัดได้จากปีโตทิมิเตอร์พอดี

ตอบ

6. นอซเซิลวัดอัตราการไหลแบบ ISA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ติดตั้งอยู่ในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว น้ำในท่อมืดอุณหภูมิ 72°F ถ้ามีโนมิเตอร์ที่ใช้น้ำลมนเป็นตัววัดความดันอ่านค่าได้ 2 นิ้วแล้ว จงหาอัตราการไหลของน้ำในท่อ

วิธีทำ โจทย์แบบนี้จะต้องแก้โดยวิธีลองผิดลองถูก ในตอนแรกจะต้องสมมุติว่า K ที่มีเหตุมีผลขึ้นจะเห็น ว่าในช่วงที่เส้นกราฟ

$$D_2/D_1 = 2/3 = 0.67 \text{ เป็นเส้นตรงนี้มีค่า}$$

K = 1.06 ดังนั้นจากสมการ (9.19) ก็จะได้อัตราการไหลเป็น:

$$Q = K A_2 \sqrt{2g \left[\left(\frac{P_1}{\gamma} + z_1 \right) - \left(\frac{P_2}{\gamma} + z_2 \right) \right]}$$

$$\text{เมื่อ : } A_2 = \frac{\pi}{4} \times \frac{2^2}{144} = 0.0218 \text{ ft}^2$$

$$\text{และ } \Delta \left(\frac{P}{\gamma} + Z \right) = \frac{2}{12} = 0.167 \text{ ft}$$

$$\text{ดังนั้น } Q = 1.06 \times 0.0218 \times \sqrt{2 \times 32.2 (0.167)} \\ = 0.0757 \text{ cfs}$$

$$\text{จากค่า } Q \text{ นี้จะได้ } V_1 = \frac{Q}{A} = \frac{0.0757}{0.0492} = 1.57 \text{ fps}$$

$$\text{ดังนั้น } D_1 V_1 = 3 \times 1.54 = 4.62$$

จากรูปที่ 9.26 ที่ $D_1 V_1 = 4.62$ จะได้ค่า K = 1.04

$$\therefore Q = \frac{1.04}{1.06} \times 0.0757 = 0.743 \text{ cfs}$$

จะเห็นว่า Q ที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าเดิมมาก ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องหา Q ใหม่ นั่นก็คืออัตราการไหลของน้ำในท่อมืดเท่ากับ 0.0743 cfs

ตอบ

7. จงหาอัตราการไหลโดยน้ำหนัก เมื่อลมที่มีอุณหภูมิ 20°C ความดันสมบูรณ์ 700 kN/m^2 ไหลผ่าน เวนจูริมิเตอร์ ถ้าความดันสมบูรณ์ที่คอคอของเวนจูริมิเตอร์เท่ากับ 400 kN/m^2 และเส้นผ่านศูนย์กลางที่ทางเข้าและที่คอคอเท่ากับ 25 และ 12.5 cm ตามลำดับ โดยสมมุติว่า $C = 0.985$ วิธีทำ $P_2/P_1 = 400/700 = 0.57$ และ $D_2/D_1 = 12.5/25 = 0.5$ ก็จะได้ค่า Y ประมาณเท่ากับ 0.72 ดังนั้นจากสมการ (9.24) ก็จะได้อัตราการไหลจริงเป็น:

$$G = C Y A_2 \sqrt{2g\gamma_1 \frac{P_1 - P_2}{1 - (D_2/D_1)^4}}$$

$$G = 0.985 \times 0.72 \times \frac{\pi(0.125)^2}{4} \sqrt{2 \times 9.81 \gamma_1 \frac{700 - 400}{1 - (0.5)^4}}$$

หาค่า γ_1 จาก $p_v = RT$ หรือ $\gamma = pg/RT$

$$\therefore \gamma_1 = \frac{(700 \text{ kN/m}^2)(9.81 \text{ m/s}^2)}{287 \text{ m}^2/\text{s}^2 \text{ K}(273 + 20) \text{ K}}$$

$$= 0.0815 \text{ kN/m}^3$$

แทนค่า γ_1 ในสมการข้างบน ก็จะได้ค่า :

$$G = 425 \text{ N/s}$$

ตอบ 4.

8. น้ำในร่อนน้ำเปิดที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าไหลด้วยความเร็ว 1 m/s ในระดับความลึก 0.3 m ถ้าหากไม่มีผลกระทบจากความเร็วน้ำทางด้านต้นน้ำของฝายแล้วจงใช้สมการ (9.13) คำนวณหาความสูงของ (สัน) ฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ใช้ติดตั้งในร่อนน้ำ เพื่อใช้เพิ่มระดับน้ำทางด้านต้นน้ำให้มีระดับน้ำสูงถึง 1.2 m

วิธีทำ ในกรณี $L =$ ความยาวของสันฝาย = ความกว้างของร่อนน้ำ

$$\therefore \text{อัตราการไหลในร่อนน้ำ } Q = AV = LyV = L(0.3)(1) \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{แต่อัตราของน้ำที่ไหลผ่านฝาย } Q = 1.84 LH^{3/2}$$

$$\therefore \text{อัตราการไหลในร่อนน้ำ} = \text{อัตราของน้ำที่ไหลผ่านฝาย}$$

$$L(0.3)(1) = 1.84 LH^{3/2}$$

$$H = 0.298 \text{ m}$$

$$\therefore \text{สันฝายจะต้องสูง } P = 1.2 - 0.298$$

$$= 0.902 \text{ m}$$

ตอบ

9. ต้องการวัดปริมาตรการไหลของน้ำ ($\rho = 1,000 \text{ kg/m}^3$ $\nu = 1.02 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) ที่ไหลผ่านท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 mm ที่ความเร็วเฉลี่ยของการไหล 2.0 m/s ถ้ามาตรฐานวัดความดันสามารถวัดความแตกต่างของความดันได้อย่างแม่นยำในช่วง $P_1 - P_2 = 50,000 \text{ Pa}$ จงเลือกจะใช้มาตรฐานใด (ก) ช่องแผ่นบาง (thin-plate orifice) ที่มีการเจาะแบบ 2 (ข) ท่อหัวฉีด (nozzle) ที่มีรัศมียาว (long-radius) (ค) ท่อเวนทูรี พร้อมทั้งให้หาความสูญเสียไม่สามารถนำกลับคืนมาได้ (nono-recoverable loss) สำหรับแต่ละการออกแบบ

วิธีทำ สิ่งที่ต้องการหาคือ β ของมิเตอร์ ซึ่งมีตัวแปรนี้อยู่ในสมการ

$$\frac{V_1}{\beta^2} = V_2 = C_d \left[\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(1 - \beta^4)} \right]$$

ซึ่งมีเพียงค่าประสิทธิ์อัตราไหล (C_d) เท่านั้นที่ไม่ทราบค่า และเราทราบว่าค่านี้เป็นฟังก์ชันของ β และ Re เท่านั้นซึ่ง Re นั้นเป็นค่าที่คำนวณหาได้จากสิ่งที่โจทย์กำหนด ดังนั้นจึงได้ระบบสมการที่ปิดและสามารถหาคำตอบได้ เพียงแต่ว่าระบบสมการมีความซ่อนเร้น (implicit) จึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช่วิธีทำซ้ำ (iteration) ในขั้นแรกอาจลองคำนวณหาค่าเลขเรโนลด์ของท่อคือ

$$Re_D = \frac{V_1 D}{\nu} = \frac{(0.2)(0.2)}{1.0210^{-6}} = 392,000$$

สำหรับทั้งสามกรณี (ก ถึง ค) ใช้สมการหลักเดียวกัน ดังนี้

$$V_1 = V_2 = \frac{V_1}{\beta^2} = a \left[\frac{2(50,000)}{1000} \right]^{1/2}$$

$$a = \frac{C_d}{(1 - \beta^4)^{1/2}}$$

เมื่อแทนและทอนค่าตัวแปร จะให้ความสัมพันธ์ระหว่าง β และ a ออกมาดังนี้

$$\beta^2 = \frac{0.2}{a}$$

ตัวแปรที่ยังไม่ทราบค่า คือ a (หรือ C_d) โดย $C_d = f^n(Re_D, \beta)$ เมื่อแทนค่าฟังก์ชันเข้าไปในสมการ (2) สามารถทำซ้ำไปเพื่อหาค่าให้กับ β ได้

ส่วน (ก) สำหรับ thin-plate orifice ที่มีการเจาะ $D = \frac{1}{2} D$ ใช้สมการ

$$C_d = f(\beta) + 91.71\beta^{2.5} Re_D^{-0.75} + \frac{0.09\beta^4}{1 - \beta^4} F_1 - 0.0337\beta^3 F_2$$

ลำดับของการทำซ้ำ คือ

$$\beta_1 \approx .5, D_{d1} \approx 0.604, \alpha_1 \approx 0.624, \beta_2 \approx 0.566, C_{d2} \approx 0.606, \alpha_2 \approx 0.640, \beta_3 = 0.559$$

เราทำให้ค่าที่ได้ลู่เข้าจนถึงทศนิยมตำแหน่งที่สาม ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ orifice ที่แท้จริงคือ $D = \beta D = 112 \text{ mm}$ ตอบ

ส่วน (ข) สำหรับหัวฉีดที่มีรัศมียาว ใช้สมการ

$$C_d \approx 0.9965 - 0.00653 \beta^{1/2} \left[\frac{10^6}{Re_D} \right]^{1/2} = 0.9965 - 0.00653 \left[\frac{10^6}{Re_D} \right]^{1/2}$$

ลำดับของการทำซ้ำคือ

$$\beta_1 \approx 0.5, D_{d1} \approx 0.9891, \alpha_1 \approx 1.022, \beta_2 \approx 0.442, C_{d2} \approx 0.9896, \alpha_2 \approx 1.000, \beta_3 = 0.445$$

เราทำให้ค่าที่ได้ลู่เข้าจนถึงทศนิยมตำแหน่งที่สาม ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวฉีดที่แท้จริงคือ $D = \beta D = 89 \text{ mm}$ ตอบ

ส่วน (ค) สำหรับหัวฉีดเวนทูรีใช้สมการ

$$C_d \approx 0.9858 - 0.196 \beta^{4.5}$$

ลำดับของการทำซ้ำคือ

$$\beta_1 \approx 0.5, D_{d1} \approx 0.977, \alpha_1 \approx 1.009, \beta_2 \approx 0.445, C_{d2} \approx 0.9807, \alpha_2 \approx 1.0004, \beta_3 = 0.447$$

เราทำให้ค่าที่ได้ลู่อเข้าจนถึงทศนิยมตำแหน่งที่สาม ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเวนทูรีที่แท้จริงคือ

$$D = \beta D = 89 \text{ mm}$$

ตอบ

บันทึกหลังการสอน

ผลการใช้แผนการสอน.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผลการเรียนของนักเรียน.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผลการสอนของครู.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....
