

	แผนการสอน	หน่วยที่ 9
	ชื่อวิชา กลศาสตร์ของไหล รหัสวิชา 3100 – 0103	สอนครั้งที่ 17
	ชื่อหน่วย การวัดอัตราการไหล	
ชื่อเรื่อง/ชื่องาน การวัดอัตราการไหลโดยปริมาตรและชั่งน้ำหนักโดยตรง, มาตรวัดอัตราการไหลแบบเวนจูรี		จำนวน 3 ชั่วโมง
หัวข้อเรื่องและงาน 10.1 การวัดอัตราการไหลโดยปริมาตรและชั่งน้ำหนักโดยตรง 10.2 มาตรวัดอัตราการไหลแบบเวนจูรี สาระสำคัญ 1. การวัดอัตราการไหลโดยปริมาตรและชั่งน้ำหนักโดยตรง คือ การวัดปริมาตรหรือชั่งน้ำหนักโดยตรง 2. มาตรวัดอัตราการไหลแบบเวนจูรี คือ เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งจะวัดอัตราการไหลแล้วพื้นที่หน้าตัด สมรรถนะที่พึงประสงค์ (ความรู้ ทักษะ คุณธรรม จริยธรรม จรรยาบรรณวิชาชีพ) 1. อธิบายวิธีการวัดอัตราการไหลโดยใช้มาตรวัดแบบต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง 2. คำนวณหาอัตราการไหลโดยวิธีวัดปริมาตรและชั่งน้ำหนักได้อย่างถูกต้อง 3. คำนวณหาอัตราการไหลด้วยมาตรวัดเวนจูรีได้อย่างถูกต้อง		

เนื้อหาสาระ

วิธีวัดอัตราการไหล สามารถจำแนกออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การวัดโดยตรงและการวัดโดยอ้อม วิธีการวัดโดยตรงเป็นการวัดจากปริมาณของไหลจริง ซึ่งอาจอยู่ในรูปของปริมาตรหรือมวล ในช่วงเวลาที่กำหนด ส่วนการวัดโดยอ้อมเป็นการวัดจากการเปลี่ยนแปลงความดัน ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการไหล มาตรวัดอัตราการไหลที่นิยมใช้และรู้จักกันทั่วไป ได้แก่ มาตรวัดอัตราการไหลแบบเวนจูรี (Venturi meter) มาตรวัดการไหลแบบออริฟิซ (Orifice meter) และมาตรวัดอัตราการไหลแบบหัวฉีด (Nozzle meter) ซึ่งล้วนแต่เป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลโดยทางอ้อม

10.1 การอัตราการไหลโดยวัดปริมาตรหรือชั่งน้ำหนักโดยตรง

ในทางปฏิบัติการวัดอัตราการไหลที่ถูกต้องที่สุดวิธีหนึ่ง คือ การวัดปริมาตรหรือชั่งน้ำหนักโดยตรงซึ่งทำได้ง่ายโดยการปล่อยให้ของไหลไหลเข้าสู่ภาชนะที่รู้ปริมาตรที่แน่นอนแล้วจับเวลาอัตราการไหลที่แท้จริงก็หาได้โดยการนำปริมาตรหรือน้ำหนักหารด้วยระยะเวลาการวัดโดยวิธีนี้สามารถกระทำได้ทั้งการไหลในท่อและการไหลในทางน้ำเปิด แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้เป็นไปไม่ได้ในหลายกรณี เนื่องจากหากของไหลมีปริมาณมากจะมีความยุ่งยากในการหาภาชนะมารองรับ



รูปที่ 10.1 แสดงการวัดอัตราการไหลโดยตรง

ตัวอย่างที่ 10.1 น้ำถูกปล่อยผ่านท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm เข้าถึงขนาด 0.5 m³ ถ้าใช้เวลาในการจับเวลาที่จะทำให้น้ำเต็มถึงเท่ากับ 1 นาที 17.6 วินาที จงคำนวณหาอัตราการไหลและความเร็วของไหลของน้ำในท่อ

วิธีทำ หาขนาดพื้นที่หน้าตัดท่อ
เวลาที่น้ำเต็มถึง

อัตราการไหล

$$A = \frac{\pi}{4}(0.03)^2 = 7.07 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$T = (1 \times 60) + 17.6 = 77.6 \text{ s}$$

$$= \frac{\text{ปริมาตร}}{\text{เวลา}} = \frac{V}{t} = \frac{0.5 \text{ m}^3}{77.6 \text{ s}}$$

$$Q = 6.44 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

หาความเร็วในการไหล

$$V = Q/A$$

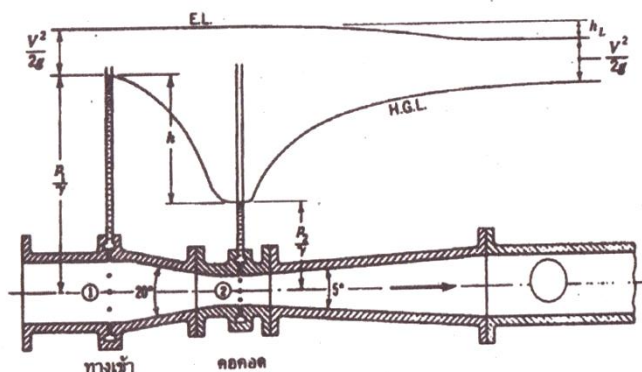
$$V = \frac{6.44 \times 10^{-3}}{7.04 \times 10^{-4}}$$

$$V = 9.11 \text{ m/s}$$

ตอบ

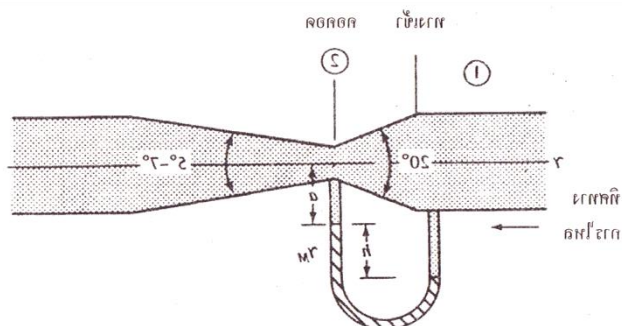
10.2 มาตรวัดอัตราการไหลแบบเวนจูรี (Venturi meter)

มาตรวัดอัตราการไหลแบบเวนจูรี เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งมีลักษณะแสดงดังรูปที่ 10.2 คือ เป็นท่อที่มีคอคอดตรงกลางส่วนตอนต้นมีขนาดเดียวกับท่อที่จะวัดอัตราการไหลแล้วพื้นที่หน้าตัดค่อย ๆ ลดลงเข้ามาจนถึงคอคอด (Throat) ทำมุม 20° โดยที่คอคอดจะทำให้ความเร็วในการไหลสูงขึ้น (ซึ่งความดันลดลง) และเมื่อผ่านคอคอดพื้นที่หน้าตัดค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเป็นมุม 5° ถึง 7° ทั้งนี้พื้นเป็นการลดการสูญเสียให้น้อยลงซึ่งการค่อย ๆ เพิ่มพื้นที่หน้าตัดจะทำให้ความเร็วที่ผ่านคอคอดค่อย ๆ ลดลงจนเท่ากับความเร็วปกติของไหลในท่อตรงตำแหน่งที่มาตรนี้บรรจบกับท่อ



รูปที่ 10.2 มาตรวัดอัตราการไหลแบบเวนจูรี

การคำนวณอัตราการไหลในท่อสามารถทำได้โดยอาศัยความแตกต่างของระดับของเหลวในमानอมิเตอร์ ตามรูปที่ 10.3



รูปที่ 10.3 มาตรวัดเวนจูรี ประกอบด้วยमानอมิเตอร์

พิจารณารูปที่ 10.3 จะได้สมการพลังงานระหว่างภาคตัด 1 และภาคตัด 2

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2$$

$$\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + z_2 - z_1 \quad \dots\dots\dots(10.1)$$

จากสมการความต่อเนื่อง $A_1 v_1 = A_2 v_2$ (ของไหลแบบอัดตัวไม่ได้)

$$\frac{v_1^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g}$$

และมาตรเวนอนุรักษ์อยู่ในแนวระดับ ($z_1 = z_2$) แทนค่าลงในสมการ 10.1 จะได้

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right]$$

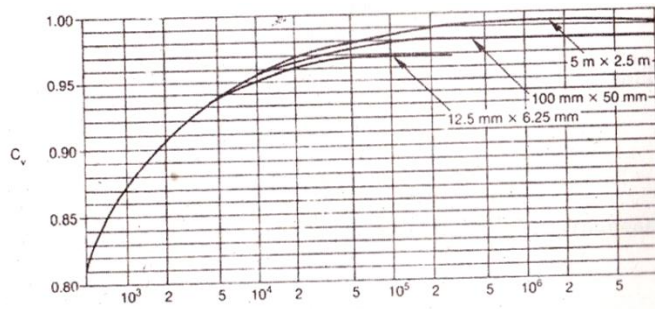
$$v_2 = \frac{\sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\gamma}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2}} \quad \dots\dots\dots(10.2)$$

อัตราการไหลทางทฤษฎี

$$Q = Av = A_2 v_2 = \left[\frac{A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2}} \right] \cdot \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\gamma}} \quad \dots\dots\dots(10.3)$$

ในการไหลผ่านมาตรเวนอนุรักษ์จะมีการสูญเสีย เนื่องจากความฝืดทำให้ความเร็วจริงมีค่าต่ำกว่าความเร็วตามทฤษฎีเล็กน้อย ดังนั้นเมื่อต้องการหาอัตราการไหล จึงจำเป็นต้องนำสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล

(C_v) ซึ่งมีค่าไม่เกิน 1 มาใช้ดังรูปที่ 10.4 สัมประสิทธิ์ความเร็ว (C_v) สามารถหาได้จากรูปที่ 10.4



รูปที่ 10.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_v กับเรย์โนลด์เบอร์ของมาตรเวนจูรี

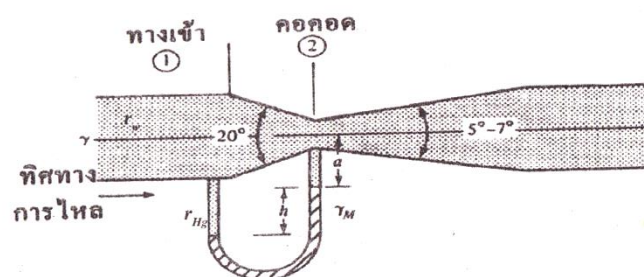
อัตราการไหลจริง

$$Q = \frac{c_v - A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \cdot \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\gamma}} \quad \dots\dots\dots(10.4)$$

การหาอัตราการไหลจริงในท่อมของมานอมิเตอร์ ดังรูปที่ 10.3

$$Q = \frac{c_v - A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \cdot \sqrt{2gh \cdot \left(\frac{\gamma_M}{\gamma}\right)} \quad \dots\dots\dots(10.5)$$

ตัวอย่างที่ 10.2 น้ำไหลผ่านมาตรวัดเวนจูรีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อทางเข้า 125 mm และคอคอดขนาด 50 mm ถ้าความสูง (h) ของปรอทในมานอมิเตอร์ดังรูป 250 mmHg (ความถ่วงจำเพาะปรอท = 13.6) จงคำนวณหาอัตราการไหล ถ้าสัมประสิทธิ์ความเร็วเท่ากับ 1.0



วิธีทำ หาพื้นที่หน้าตัดท่อทางเข้า $A_1 = \frac{\pi}{4} (0.125)^2 = 1.227 \times 10^{-2} \text{ m}^2$
 พื้นที่หน้าตัดคอคอด $A_2 = \frac{\pi}{4} (0.05)^2 = 1.963 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

$$\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 = \frac{1.963 \times 10^{-3}}{1.227 \times 10^{-2}} = 0.026$$

พิจารณามานอมิเตอร์ $P_1 + \gamma_w (a + h) = P_2 + \gamma_w \cdot a + \gamma_{Hg} \cdot h$
 $P_1 + \gamma_w \cdot a + \gamma_{Hg} \cdot h = P_2 + \gamma_w \cdot a + \gamma_{Hg} \cdot h$
 $P_1 - P_2 = h (\gamma_{Hg} - \gamma_w)$

น้ำ γ_w หาดลอดสมการจะได้ $\frac{P_1 - P_2}{\gamma_w} = h \left(\frac{\gamma_{Hg}}{\gamma_w} - 1 \right)$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma_w} = 0.25 \left(\frac{13.6 \times 9.81}{9.81} - 1 \right) = 3.15 \text{ m น้ำ}$$

หาอัตราการไหลแทนค่าลงในสมการ 10.4

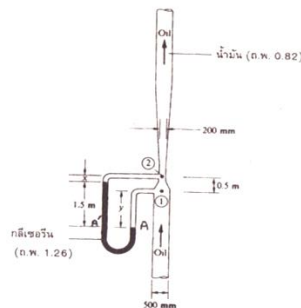
$$Q = \frac{c_v - A_2}{\sqrt{1 - (A_2 - A_1)^2}} \cdot \sqrt{2gh \cdot \left(\frac{\gamma \cdot M}{\gamma} \right)}$$

$$= \frac{1 \times 1.963 \times 10^{-3}}{\sqrt{1 - 0.026}} \cdot \sqrt{2 \times 9.81 \times 3.15}$$

$$Q = 0.0156 \text{ m}^3/\text{s}$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 10.3 น้ำมันความถ่วงจำเพาะ 0.82 ไหลในทึศทางขึ้นผ่านมาตรเวนจูร์ดังรูปจงคำนวณหาอัตราการไหล กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วเท่ากับ 0.984



วิธีทำ

พื้นที่หน้าตัดช่วงคอขวด $A_2 = \frac{\pi}{4} (0.2)^2 = 0.314 \text{ m}^2$

พื้นที่หน้าตัดท่อทางเข้า $A_1 = \frac{\pi}{4} (0.5)^2 = 0.1963 \text{ m}^2$

$$(A_2 / A_1) = (0.314 / 0.1963)^2 = 0.0256$$

พิจารณาความดันที่จุด A กับ A

$$P_1 + (S_{oil} \gamma_{น้ำ} y) = P_2 + (S_{oi} \gamma_{น้ำ} x) + [(S. \gamma_{น้ำ}) \times 1.5] \text{ m}^2 \quad \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ $x + 1.5 = y + 0.5$

$$X = y - 1$$

แทนค่าในสมการ (1)

$$P_1 - P_2 = [0.82 \times 9.81 \times (y-1)] + (1.26 \times 9.81 \times 1.5) - (0.82 \times 9.81 \times y)$$

$$= (8.0441) y - 8.0442 + 18.5409 - (8.0442) y$$

$$P_1 - P_2 = 10.4967 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma_{oil}} = \frac{10.4967}{0.82 \times 9.81} = 1.3049 \text{ m น้ำมัน}$$

หาอัตราการไหล

$$Q = \frac{c_v - A_2}{\sqrt{1 - (A_2 - A_1)^2}} \cdot \sqrt{2gh \cdot \left(\frac{\gamma \cdot M}{\gamma} \right)}$$

$$= \frac{0.984 \times 0.0314}{\sqrt{1 - 0.0256}} \cdot \sqrt{2 \times 9.81 \times 1.3049}$$

$$Q = 0.158 \text{ m}^3/\text{s}$$

ตอบ

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน
ขั้นตอนการสอนหรือกิจกรรมของครู

ขั้นนำ

1. กล่าวทักทายนักศึกษาแล้วอธิบายเรื่องของการวัดอัตราการไหลแล้วเปิดโอกาสถามให้นักศึกษาถาม

ขั้นสอน

1. แจ้งจุดประสงค์รายวิชา หัวข้อที่จะต้องเรียน การวัดการประเมนผล ข้อตกลงต่าง ๆ แก่นักศึกษา
2. บรรยายเนื้อหาประกอบแผ่นใสในหน่วยที่ 9
3. สาธิตหลักการคำนวณประกอบแผ่นใสตัวอย่างที่ 10.1 และ 10.2
4. ให้ทำแบบฝึกหัดและเปิดโอกาสให้นักศึกษาถาม

ขั้นสรุป

1. ผู้สอนสรุปเนื้อหาให้นักศึกษาฟัง และถามนักศึกษาในเรื่องที่เรียน

งานที่มอบหมายหรือกิจกรรม

1. ให้นักศึกษาไปศึกษาเนื้อหาตัวอย่างที่ 10.1 และ 10.2 เพื่อทำแบบทดสอบทำบท

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอนหน่วยที่ 9
2. แผ่นใสหน่วยที่ 9 ตัวอย่างที่ 10.1 และ 10.2

การวัดผลและประเมินผล

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

แบบฝึกหัดท้ายบท

1. รูอริฟิชนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 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 น้ำในท่อมียุณหภูมิ 72°F ถ้ามีโนมิเตอร์ที่ใช้น้ำลมเป็นตัววัดความดันอ่านค่าได้ 2 นิ้วแล้ว จงหาอัตราการไหลของน้ำในท่อ

เฉลยแบบฝึกหัด

1. รูออริฟขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 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

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

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 $P_2 = 0$, $Z_1 = Z_2$

$$\begin{aligned} \therefore \quad \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} &= \frac{v_2^2}{2g} \\ \frac{5.84^2}{2g} &= \frac{v_2^2}{2g} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} C_v &= \frac{V}{V_1} = \frac{12}{12.36} \\ &= 0.97 \end{aligned}$$

$$\therefore \text{พื้นที่หน้าตัดของเจ็ต, } A_2 = \frac{Q}{V_1} = \frac{16.98 \times 10^{-3}}{12} = 1.415 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

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

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

จากสมการ (9.15) จะหาเฮดที่สูญเสียได้เป็น :

$$\begin{aligned} H_{L1-2} &= \left[\frac{1}{C_v^4} - 1 \right] \left[1 - \left[\frac{A^2}{A_1^4} \right] \frac{v_2^2}{2g} \right] \\ H_{L1-2} &= \left[\frac{1}{0.97^4} - 1 \right] \left[1 - \left[\frac{5}{7.5} \right]^4 \frac{12^2}{2g} \right] \\ &= 0.37 \text{ m} \end{aligned}$$

เพื่อเป็นการตรวจสอบ ให้หาความเร็วจริงโดยใช้สมการพลังงานระหว่าง 1 และ 2

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} - H_{L1-2} = \frac{v_2^2}{2g}$$

$$7.03 + \frac{3.84^2}{2g} - 0.37 = \frac{v_1^2}{2g}$$

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

จะเห็นได้ว่าตรงกับความเร็วของเจ็ตที่วัดได้จากปิโตมิเตอร์พอดิ

ตอบ

2. นอซเซิลวัดอัตราการไหลแบบ ISA มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ติดตั้งอยู่ในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว น้ำในท่อมืดอุณหภูมิ 72°F ถ้ามีโนมิเตอร์ที่ใช้น้ำลมเป็นตัววัดความดันอ่านค่าได้ 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:

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

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

$$\text{และ } \Delta \frac{P}{\gamma} + z = \frac{2}{12} = 0.167 \text{ ft}$$

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

$$= 0.0757 \text{ cfs}$$

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

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

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

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

จะเห็นได้ว่า Q ที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าเดิมมาก ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องหา Q

ใหม่นั้นก็คืออัตราการไหลของน้ำในท่อมืดค่าเท่ากับ 0.0743 cfs

ตอบ

บันทึกหลังการสอน

ผลการใช้แผนการสอน.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผลการเรียนของนักเรียน.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผลการสอนของครู.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....