

	แผนการสอน	หน่วยที่ 8
	ชื่อวิชา กลศาสตร์ของไหล รหัสวิชา 3100 – 0103	สอนครั้งที่ 16
	ชื่อหน่วย การไหลในท่อ	จำนวน 3 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง/ชื่องาน การสูญเสียหลัก,วิธีการแก้ปัญหการไหลในท่อ		
หัวข้อเรื่องและงาน 8.3 การสูญเสียหลัก 8.4 วิธีการแก้ปัญหการไหลในท่อ สาระสำคัญ 8.3 การสูญเสียหลักมีสาเหตุมากแรงเสียดทาน เนื่องจากความหนืดของของไหลและแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างของไหลกับผนังท่อ ซึ่งถ้าของไหลไหลผ่านผิวขรุขระ ความยาวของท่อมกและ ความเร็วในการไหลสูง การสูญเสียพลังงานจะสูงตามไปด้วย แต่การสูญเสียพลังงานจะลดลงเมื่อท่อ มีขนาดโตขึ้น การสูญเสียหลักไม่ว่าการไหลนั้นจะเป็นแบบราบเรียบหรือแบบปั่นป่วน สามารถคำนวณได้จากสูตรของ Darcy – weisbach 8.4 วิธีการแก้ปัญหการไหลในท่อ การแก้ปัญหการไหลในท่อ จะพิจารณาเฉพาะการสูญเสียพลังงาน เนื่องจากแรงเสียดทานของท่อเท่านั้น ซึ่งสามารถแบ่งโจทย์ปัญหาได้ 3 กรณี คือ หาค่า h_L, Q, D สมรรถนะที่พึงประสงค์ (ความรู้ ทักษะ คุณธรรม จริยธรรม จรรยาบรรณวิชาชีพ) 1. คำนวณหาการสูญเสียหลักเนื่องจากแรงเสียดทาน สำหรับการไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วนได้อย่างถูกต้อง 2. คำนวณหาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทานของการไหลแบบปั่นป่วน จากแผนภาพ Moody Diagram ได้อย่างถูกต้อง 3. เขียนขั้นตอนวิธีการแก้ไขปัญหการไหลในท่อ ได้อย่างถูกต้อง เนื้อสาระ การสูญเสียหลักมีสาเหตุมากแรงเสียดทาน เนื่องจากความหนืดของของไหลและแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างของไหลกับผนังท่อ ซึ่งถ้าของไหลไหลผ่านผิวขรุขระ ความยาวของท่อมกและ ความเร็วในการไหลสูง การสูญเสียพลังงานจะสูงตามไปด้วย แต่การสูญเสียพลังงานจะลดลงเมื่อท่อ มี		

ขนาดโตขึ้น

การสูญเสียหลักไม่ว่าการไหลนั้นจะเป็นแบบราบเรียบหรือแบบปั่นป่วน สามารถคำนวณได้จากสูตรของ Darcy – weisbach

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \dots\dots\dots(8.2)$$

เมื่อ

h_L คือ การสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทาน บอกเป็นความสูงของของเหลว (m)

f คือ แฟกเตอร์ความเสียดทาน(Friction Factor)ไม่มีหน่วย

L คือ ความยาวของท่อช่วงที่พิจารณา (m)

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (m)

v คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหลในท่อ (m/s)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (9.81 m/s²)

8.3.1 การสูญเสียพลังงานในการไหลแบบราบเรียบ

ในการไหลแบบราบเรียบแฟกเตอร์ความเสียดทาน (f) สามารถหาได้จาก

$$f = \frac{64}{N_R} \quad \dots\dots\dots(8.3)$$

เมื่อนำค่า (f) แทนลงในสมการ 8.2 จะได้สมการของการสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทานสำหรับการไหลแบบราบเรียบ คือ

$$h_L = \frac{32 \cdot \mu \cdot L \cdot v}{\gamma \cdot D^2} \quad \dots\dots\dots(8.4)$$

ในการแก้ปัญหการไหลแบบราบเรียบ มักจะพบปัญหาอยู่ 3 กรณี ดังแสดงในตารางที่ 8.2

ตารางที่ 8.2

กรณีที่	ตัวแปรที่โจทย์กำหนด	สมการที่ใช้ในการหาค่าที่ต้องการ
1	Q, D, L, ν	$h_L = \frac{128 \cdot \nu \cdot L \cdot Q}{g \cdot \pi \cdot D^4}$
2	D, L, ν, h_L	$Q = \frac{g \cdot \pi \cdot D^4 \cdot h_L}{128 \cdot \nu \cdot L}$
3	Q, L, ν, h_L	$D = \left[\frac{128 \cdot \nu \cdot L \cdot Q}{g \cdot \pi \cdot h_L} \right]^{1/4}$

ตัวอย่างที่ 8.3 ก๊าซอินความหนาแน่น 1,258 kg/m³ ความหนืด 9.60 × 10⁻¹ Pa.s ไหลผ่านท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 mm ยาว 30 m และความเร็วเฉลี่ยในการไหล 4 m/s จงคำนวณหาค่าการ

สูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทาน

วิธีทำ ขั้นแรกต้องตรวจสอบว่าเป็นการไหลแบบราบเรียบหรือปั่นป่วน โดยการหาค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์

$$N_R = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu} = \frac{4 \times 0.15 \times 1,258}{9.60 \times 10^{-1}} = 786.3$$

นั่นคือ N_R ที่คำนวณได้ $786.3 < 2,000$ จึงเป็นการไหลแบบราบเรียบ

ขั้นที่ 2 หาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน (f)

$$f = \frac{64}{N_R} = \frac{64}{786.3} = 0.081$$

ขั้นที่ 3 หาค่าการสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทาน จากสูตร

$$\begin{aligned} h_L &= f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \\ &= 0.081 \times \frac{30}{0.15} \times \frac{(4)^2}{2 \times 9.81} \\ h_L &= 13.21 \text{ m} \end{aligned}$$

สรุป การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหลของกลีเซอรินในท่อยาว 30 m เท่ากับ 13.2 m ตอบ

ตัวอย่างที่ 8.4 น้ำมันความถ่วงจำเพาะ 0.85 มีความหนืด 0.1 Pa.s ไหลผ่านท่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 305 mm ยาว 3,048 m ด้วยอัตราการไหล $44.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ จงคำนวณหาการสูญเสียพลังงานภายในท่อ

วิธีทำ หาความหนาแน่นของน้ำมัน

$$\rho = S \cdot \rho_{\text{น้ำ}}$$

$$\rho = 0.85 \times 1,000 = 850 \text{ kg/m}^3$$

หาพื้นที่หน้าตัดของท่อ

$$A = \frac{\pi}{4} (0.305)^2 = 0.0731 \text{ m}^2$$

หาความเร็วเฉลี่ยของน้ำมัน

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{44.4 \times 10^{-3}}{0.0731} = 0.607 \text{ m/s}$$

หาค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์

$$N_R = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

$$N_R = \frac{0.607 \times 0.305 \times 850}{0.1} = 1,574$$

นั่นคือ N_R ที่คำนวณได้ $1,574 < 2,000$ จึงเป็นการไหลแบบราบเรียบหาแฟกเตอร์ความเสียดทาน (f)

$$f = \frac{64}{N_R} = \frac{64}{1,574} = 0.041$$

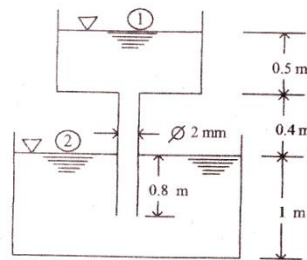
$$Z_1 = 0 \quad \text{และ} \quad Z_2 = 3.5 \text{ m}$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = 0 + 3.5 + \frac{0.03 \times 7 \times (0.469)^2}{0.05252 \times 2 \times 9.81}$$

$$P_1 - P_2 = 3.545 \times 9.81$$

$$P_1 - P_2 = 34.78 \text{ kN/m}^2 \quad \text{ตอบ}$$

ตัวอย่างที่ 8.6 เอธานอลความถ่วงจำเพาะ 0.788 ความหนืด 0.0012 kg/m.s บรรจุอยู่ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm. ลงสู่ถังใบใหญ่ จงคำนวณหาอัตราการไหล



วิธีทำ

$$\text{หาขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อ} \quad A = \frac{\pi}{4}(0.002)^2 = 3.141 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$\text{หาความหนาแน่นของเอธานอล} \quad \rho = S. \rho_{\text{น้ำ}} = 0.788 \times 1,000 = 788 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{หาค่าความหนืดจลน์} \quad \nu = \mu / \rho = 0.0012 / 1,000 = 1.523 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{หาน้ำหนักจำเพาะของเอธานอล} \quad \gamma = s. \rho_{\text{น้ำ}} = 0.788 \times 9.81 = 7.73 \text{ kN/m}^3$$

พิจารณาจุด 1 และจุด 2 จะได้

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + h_L \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{ที่จุด 1} \quad P_1 = 0 \quad (\text{บรรยากาศ}) \quad \text{และ} \quad (\text{ผิวบนของเอธานอล}), \quad Z_1 = 1 \text{ m.}$$

$$\text{ที่จุด 2} \quad P_2 = 0, \quad v_2 = 0, \quad Z_2 = 0$$

แทนค่าในสมการ 1

$$0 + 0 + 0.9 = 0 + 0 + 0 + h_L$$

$$\therefore h_L = 0.9 \text{ m}$$

หาอัตราการไหล (ตั้งสมมติฐานว่าเป็นการไหลแบบราบเรียบ)

$$Q = \frac{g \pi D^4 h_L}{128 \nu L} = \frac{9.81 \times \pi \times 0.002^4 \times 0.9}{128 \times 1.523 \times 10^{-6} \times (0.8 + 0.4)}$$

$$Q = 1.90 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

หาความเร็วในท่อ

$$\begin{aligned}v &= Q/A \\&= (1.90 \times 10^{-6}) / (3.141 \times 10^{-6}) \\&= 0.605 \text{ m/s}\end{aligned}$$

ตรวจสอบว่าเป็นการไหลแบบราบเรียบจริงหรือไม่

$$\begin{aligned}N_R &= \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu} \\&= (0.605 \times 0.002 \times 788) / (0.0012) \\N_R &= 794.57 \\N_R &= 794.57 < 2,000\end{aligned}$$

ดังนั้นการตั้งสมมติฐานในการหาอัตราการไหลจึงใช้สมการของการไหลแบบราบเรียบได้

8.3.2 การสูญเสียพลังงานในการไหลแบบปั่นป่วน

การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการเสียดทาน ซึ่งเกิดจากการไหลแบบปั่นป่วนภายในท่อ ค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน (f) ไม่สามารถหาได้จากการใช้สูตรคำนวณของการไหลแบบราบเรียบ ทั้งนี้เพราะการไหลแบบปั่นป่วน ทำให้อนุภาคของของไหลเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบ ความเร็วของอนุภาคแตกต่างกัน ทั้งขนาดและทิศทาง ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการหาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน (f) ของการไหลแบบปั่นป่วน จึงนิยมหาค่าจากแผนภาพของ Moody (Moody Diagram) ดังแสดงในรูปที่ 8.2

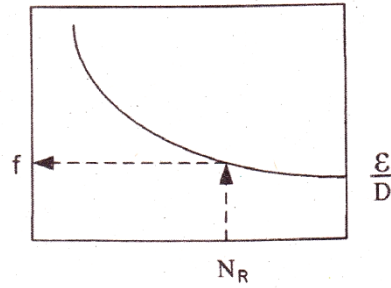
แผนภาพของ Moody ประกอบไปด้วย ตัวเลขแสดงค่าบนแกน 3 แกน คือ

1. แกนนอน เป็นค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (N_R)
2. แกนตั้งด้านซ้าย แสดงค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน (f)
3. แกนตั้งด้านขวา แสดงค่าความขรุขระสัมพัทธ์ ($\mathcal{E} / D$)

หมายเหตุ $\mathcal{E}$ คือ ค่าความขรุขระของท่อ (roughness pipe)

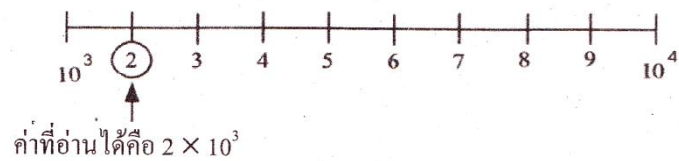
วิธีการหาค่า f จาก Moody diagram

1. คำนวณหาค่า N_R
2. คำนวณหาค่าความขรุขระสัมพัทธ์ ($\mathcal{E} / D$)
3. ลากเส้นตรงจากค่า N_R ขึ้นไปตัดกับเส้น ($\mathcal{E} / D$) ที่คำนวณได้ แล้วลากเส้นตรงจากจุดตัดทั้ง 2 ค่าในแนวระดับไปตัดที่แกนด้านซ้าย (f)

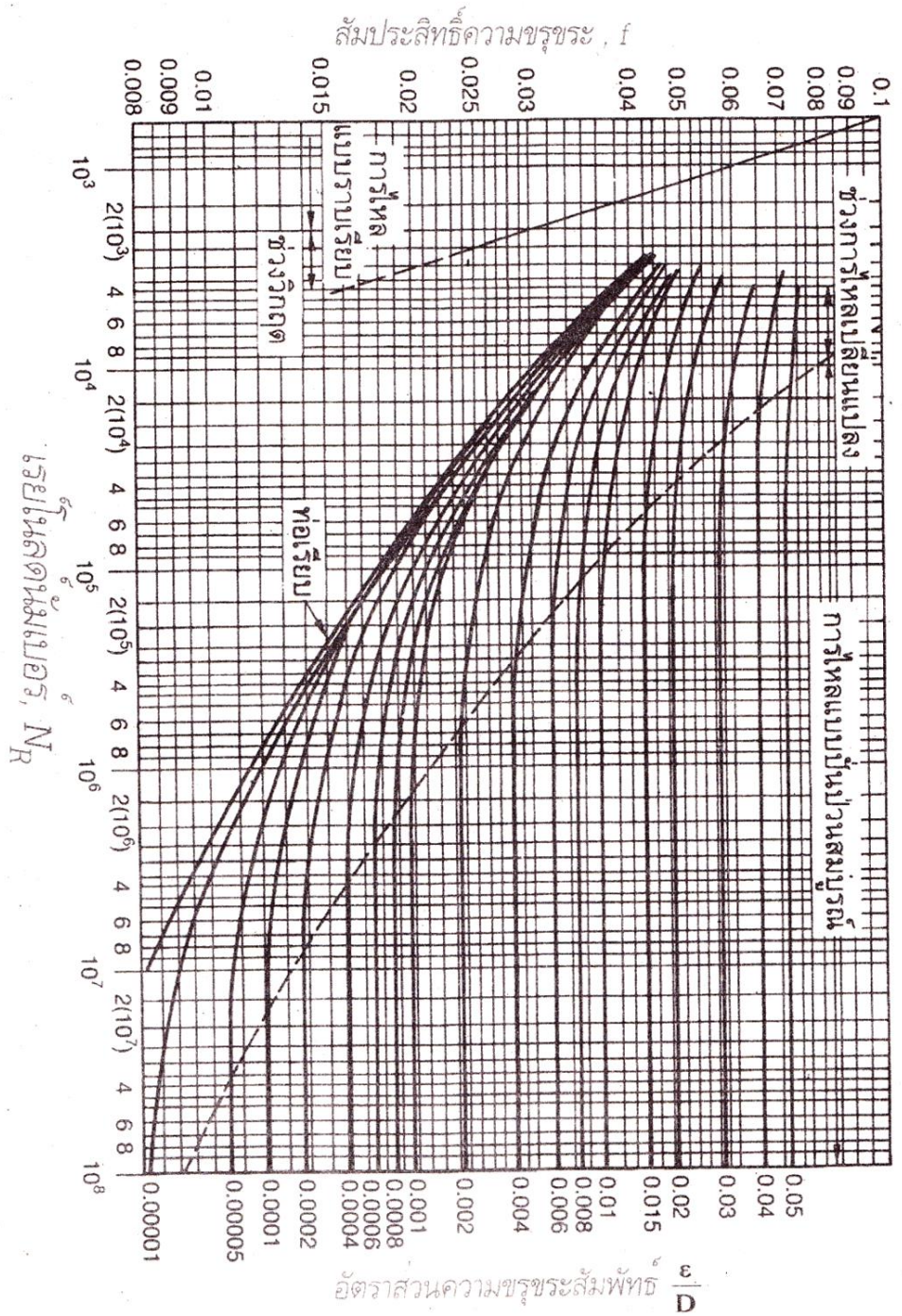


รูปที่ 8.5 แสดงวิธีการหาค่า f จาก Moody Diagram

ข้อสังเกต การอ่านค่า N_R จาก Moody Diagram



ในการใช้แผนภาพ Moody Diagram จำเป็นต้องคำนวณหาความขรุขระสัมพัทธ์ (ϵ/D) ซึ่งค่าความขรุขระของผิวท่อแต่ละชนิดสามารถหาได้จากตารางที่ 8.1 ทั้งนี้เนื่องจาก (ϵ/D) ไม่มีมิติ ดังนั้นทั้งความขรุขระของผิวท่อและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อจะต้องอยู่ในหน่วยเดียวกัน



รูปที่ 8.2 แผนภาพ Moody

ตารางที่ 8.3 ค่าความขรุขระของผิวท่อชนิดต่างๆ

ชนิดของท่อ (ท่อใหม่)	ความขรุขระ (ε)	
	ft	m
ท่อเหล็กหมุดย้ำ	0.003 – 0.03	0.0009 – 0.009
ท่อคอนกรีต	0.001 – 0.01	0.0003 – 0.003
ท่อไม้จั่นรูปเป็นผิวโค้ง	0.0006 – 0.003	0.0002 – 0.0009
ท่อเหล็กหล่อ	0.00085	0.00026
ท่อเหล็กอาบสังกะสี	0.0005	0.00015
ท่อเหล็กหล่ออาบยางมะตอย	0.0004	0.0001
ท่อเหล็กตลอดหรือท่อเหล็กเหนียว	0.00015	0.000046
ท่อทองเหลืองหรือท่อทองแดง	0.000005	0.0000015
ท่อแก้วหรือท่อพลาสติก	ผิวเรียบ (Smooth)	ผิวเรียบ (Smooth)

ข้อพึงสังเกต คือ ค่าของ ε ในตารางเป็นค่าที่ได้จากท่อชนิดต่างๆ ที่อยู่สภาพใหม่และสะอาด แต่เมื่อท่อเก่าลงค่า ε จะสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งท่อที่มีขนาดเล็ก เพราะจะสนิมและตะกอนเกาะอยู่ที่ผนังด้านในของท่อ ทำให้พื้นที่หน้าตัดของท่อที่มีขนาดเล็ก ในทางปฏิบัติ ค่า f อาจคลาดเคลื่อน 5 % สำหรับท่อเรียบ และ 10 % สำหรับท่อขรุขระที่เป็นท่อใหม่ ดังนั้นหากเป็นท่อเก่าจำเป็นต้องมีการปรับค่า ε เพื่อให้ค่า f ที่เหมาะสม

8.4 วิธีการแก้ปัญหาค่าไหลในท่อ

การแก้ปัญหาค่าไหลในท่อ จะพิจารณาเฉพาะการสูญเสียพลังงาน เนื่องจากแรงเสียดทานของท่อเท่านั้น ซึ่งสามารถแบ่งโจทย์ปัญหาได้ 3 กรณี คือ

ตารางที่ 8.4

กรณี	ตัวแปรที่โจทย์กำหนด	สิ่งที่ต้องการ
1	$Q, L, D, \nu, \varepsilon$	h_f
2	$h_f, L, D, \nu, \varepsilon$	Q
3	$h_f, Q, L, \nu, \varepsilon$	D

การแก้ปัญหาค่าไหลในแต่ละกรณีต้องอาศัยสมการของ Darcy – Weisbach สมการความต่อเนื่อง และแผนภาพ Moody ประกอบการคำนวณ

การแก้ปัญหาค่ากรณี 1 หาค่า h_L มีขั้นตอนดังนี้

- 1) หาค่า v จากค่า Q และ D ที่โจทย์ให้มา
- 2) คำนวณค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (N_R) และ $\mathcal{E}/D$
- 3) หาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน (f) จากแผนภาพ Moody
- 4) หาค่า h_L โดยใช้สมการ $h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$

การแก้ปัญหาคำถามที่ 2 หาค่า Q

ซึ่งโดยทั่วไปจะไม่ทราบค่า v และ f ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial & Error) โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) สมมติค่า f_1 จากค่า $\mathcal{E}/D$ โดยให้อยู่ในช่วงพิสัยการไหลแบบปั่นป่วนสมบูรณ์ในแผนภาพ Moody (ค่า f ที่สมมติโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 0.01 – 0.07)
- 2) คำนวณค่า v จาก $h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$
- 3) หาค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ (N_R)
- 4) หาค่า f_2 จากแผนภาพ Moody โดยใช้ค่า $\mathcal{E}/D$ และ N_R จากขั้นตอนที่ 3
- 5) ตรวจสอบค่า $f_2 = f_1$ หรือไม่ หากเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากแสดงว่า ผลการคำนวณคือคำตอบ แต่ถ้า $f_2 \neq f_1$ ให้ใช้ค่า f_2 ในการคำนวณครั้งต่อไป ตามขั้นตอนที่ 2 ถึง 5 จนกว่าจะได้คำตอบที่ถูกต้องของ v และ Q
- 6) คำนวณหาสิ่งที่โจทย์ต้องการต่อไป

การแก้ปัญหาคำถามที่ 3 หาค่า D

จะมีตัวแปรไม่ทราบค่าอยู่ 3 ตัว คือ f , v , และ D ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

- 1) คำนวณหาค่าคงที่ c_1 และ c_2 โดยที่

$$c_1 = \frac{8 \cdot L \cdot Q^2}{h_L \cdot g \cdot \pi^2}, c_2 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}$$

- 2) สมมติค่า f_1
- 3) คำนวณหาค่า D จาก $D^5 = C_1 f_1$
- 4) คำนวณหาค่า N_R จาก $N_R = C_2/D$
- 5) หาค่า $\mathcal{E}/D$
- 6) หาค่า f_2 จากแผนภาพ Moody โดยใช้ค่า N_R และ $\mathcal{E}/D$ จากขั้นตอนที่ 4 และ 5
- 7) ตรวจสอบว่า $f_2 = f_1$ หรือไม่ หากเท่ากันหรือใกล้เคียงกันในพิสัยของเลขที่มีนัยสำคัญ 2

ตำแหน่ง ก็ถือว่าค่าที่ได้ขึ้นคือคำตอบ หาก $f_2 \neq f_1$ ให้ใช้ค่า f_2 ในการคำนวณครั้งต่อไป ตามขั้นตอนที่ 3 ถึง 7

8) คำนวณหาสิ่งที่โจทย์ต้องการต่อไป

ตัวอย่างที่ 8.7 เอทิลแอลกอฮอล์ ความหนาแน่น 787 kg/m^3 ความหนืด $1 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$ ไหลผ่านท่อ เหล็กเหนียวเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.03 m ด้วยความเร็ว 5.3 m/s จงคำนวณหาค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน วิธีทำ ตรวจสอบค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์

$$\begin{aligned} N_R &= \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu} \\ &= (5.3 \times 0.0381 \times 787) / (1 \times 10^{-3}) \\ N_R &= 1.59 \times 10^5 \end{aligned}$$

N_R ที่คำนวณได้ ($1.59 \times 10^5 > 4,000$) เป็นการไหลแบบปั่นป่วน

จากตารางที่ 8.3 ค่าความขรุขระผิวท่อเหล็กเหนียว ($\mathcal{E} = 0.000046$)

$$\text{ค่าความขรุขระสัมพัทธ์} \quad \frac{\mathcal{E}}{D} = \frac{0.000046 \text{ m}}{0.0381 \text{ m}} = 0.0012$$

นำค่า N_R และ $\mathcal{E}/D$ เปิดแผนภาพ Moody

$$F = 0.0225$$

ข้อสังเกต การอ่านค่า f และ Moody แต่ละคนอาจจะได้ค่าที่แตกต่างกันบ้าง แต่ไม่ควรแตกต่างกันมาก ดังนั้นจึงควรขยายแผนภาพให้ใหญ่ เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการอ่าน

ตัวอย่างที่ 8.8 น้ำมันความหนาแน่น 900 kg/m^3 มีค่าความหนืดจลน์ $0.00001 \text{ m}^2/\text{s}$ ไหลในท่อ เหล็กหล่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 mm ยาว 500 m วางเอียง 10 องศา จากแนวระดับด้วยอัตราการไหลของน้ำมัน $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$

ก) การสูญเสียพลังงาน (h_L)

ข) การสูญเสียความดัน (pressure drop)

วิธีทำ หาพื้นที่หน้าตัดของท่อ

$$A = \frac{\pi}{4} (0.2)^2 = 0.0314 \text{ m}^2$$

หาความเร็วของน้ำมันที่ไหลในท่อ

$$v = Q/A$$

$$v = 0.2 / 0.0314 = 6.37 \text{ m/s}$$

หาความสูงในแนวระดับ (Z) ที่จุด 1

$$Z = 500 \sin 10 = 86.82 \text{ m}$$

หาค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์

$$N_R = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

$$N_R = (6.37 \times 0.2) / (0.00001) = 127,400$$

ค่า N_R ที่คำนวณ (127,400 > 4,000) จึงเป็นการไหลแบบปั่นป่วน

ก) หาการเสียดสี

จากตารางที่ 8.3 ค่าความขรุขระผิวเหล็กหล่อ ($\mathcal{E} = 0.00026 \text{ m}$)

$$\text{ความขรุขระสัมพัทธ์ } \mathcal{E} / D = 0.00026 / 0.2 = 0.0013$$

นำค่า N_R และ $\mathcal{E} / D$ เปิดแผนภาพ Moody ได้ค่า $f = 0.0225$

$$\begin{aligned} h_L &= f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \\ &= \frac{0.0225 \times 500 \times (6.37)^2}{0.2 \times 2 \times 9.81} \end{aligned}$$

$$h_L = 116.3 \text{ m}$$

ข) การสูญเสียความดัน

$$\text{จากสมการความต่อเนื่อง } Q = A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$\therefore v_1 = v_2 \text{ เนื่องจาก } (A_1 = A_2)$$

$$\text{หาน้ำหนักจำเพาะของน้ำมัน } \gamma = \rho \cdot g = 900 \times 9.81 = 8,829 \text{ N} = 8.829 \text{ kN}$$

จากสมการเบอร์นูลลี

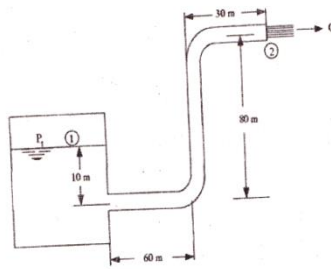
$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + h_L$$

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

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = 0 + (0 - 86.82) + 116.3$$

$$P_1 - P_2 = \Delta P = 29.48 \times 8.829 = 260.30 \text{ kPa} \quad \text{ตอบ}$$

ตัวอย่างที่ 8.9 จงคำนวณหาความดันในถัง (P_1) ที่ดันให้น้ำไหลด้วยอัตรา $50 \text{ m}^3/\text{h}$ ผ่านท่อผิวเรียบ (smooth) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm กำหนดให้ความหนืดของน้ำ 0.001 Pa.s



วิธีทำ

หาพื้นที่หน้าตัดท่อ $A = \frac{\pi}{4} (0.05)^2 = 1.96 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

อัตราการไหล $Q = 50 / 3,600 = 0.0139 \text{ m}^3/\text{s}$

ความเร็วในการไหลในท่อ $v = Q/A$
 $= (0.0139) / (1.96 \times 10^{-3})$

$v = 7.09 \text{ m/s}$

ความยาวท่อทั้งหมด $L = 60 + 80 + 30 = 170 \text{ m}$

หาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ $N_R = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu}$
 $= (7.09 \times 0.05 \times 1,000) / 0.001$
 $N_R = 354,500 = 3.55 \times 10^5$

ท่อผิวเรียบ (smooth) ดังนั้น $\mathcal{E} = 0$

ดังนั้น ค่าความขรุขระสัมพัทธ์ $\mathcal{E} / D = 0$

หาค่า f จากแผนภาพ Moody $f = 0.0137$

หาค่าการสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทาน

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$= \frac{0.0137 \times 170 \times (7.09)^2}{0.05 \times 2 \times 9.81}$$

$h_L = 119.3 \text{ m}$

หาความดันที่จุด 1 (P_1) จากสมการเบอร์นูลลี (พิจารณาจุดที่ 1 และจุดที่ 2)

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + Z_2 + h_L \quad \dots\dots\dots(1)$$

จุดที่ 1 $v_1 = 0, Z_1 = 0$

จุดที่ 2 $P_2 = 0, v_2 = 7.09, Z_2 = 70$

แทนค่าในสมการ (1)

$$\frac{P_1}{9.81} + 0 + 0 = 0 + \frac{(7.09)^2}{2 \times 9.81} + 70 + 119.3$$

$$P_1 = 1,882 \text{ kPa} \quad (\text{ความดันเกจ}) \quad \text{ตอบ}$$

สรุปท้ายบท

ท่อเป็นอุปกรณ์ที่นิยมนำมาใช้ในการส่งของไหลออกจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่งเพราะมีความสะดวกในการใช้งาน ลดพื้นที่การใช้สอยตลอดจนป้องกันการปนเปื้อนสิ่งสกปรกจากภายนอกได้เป็นอย่างดีการไหลของของเหลวภายในท่อทึ่กล่าวในกรณีเป็นแบบไหลเต็มท่อ และมีความดันภายในท่อด้วย ซึ่งจะพิจารณาแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างของเหลวกับผิวภายในท่อ โดยจำเป็นต้องใช้สมการของ Darcy, Moody Diagram และสมการของเบอร์นูลลีมาพิจารณาร่วมกัน

ลักษณะการไหลภายในท่อแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การไหลแบบราบเรียบซึ่งมีค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ น้อยกว่า 2,000 และการไหลแบบปั่นป่วนซึ่งมีค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ น้อยกว่า 2,000 และการไหลแบบปั่นป่วนซึ่งมีค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ มากกว่า 4,000

การสูญเสียหลัก (Major losses) มีสาเหตุมาจากแรงเสียดทาน เนื่องความหนืดของของไหลและแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างของไหลกับผิวภายในท่อ ดังนั้นการสูญเสียหลักจึงขึ้นอยู่กับความขรุขระภายในท่อ ความเร็วในการไหล และความยาวของท่อ

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

ขั้นตอนการสอนหรือกิจกรรมของครู

ขั้นนำ

1. กล่าวทักทายนักศึกษาแล้วนำภาพของรูปร่างต่าง ๆ มาให้นักศึกษาดูแล้วถามว่าแต่ละรูปเป็นรูปอะไร

ขั้นสอน

1. แจกจุดประสงค์รายวิชา หัวข้อที่จะต้องเรียน การวัดการประเมินผล ข้อตกลงต่าง ๆ แก่นักศึกษา
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

สื่อการเรียนการสอน

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

การวัดผลและประเมินผล

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

แบบฝึกหัดท้ายบท

1. น้ำที่อุณหภูมิ 10°C ไหลในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 mm ด้วยความเร็ว 5.5 m/s^2 จงหาว่าไหลเป็นแบบราบเรียบหรืออลวน
2. ค่าเรย์โนลด์ส์นับเบอร์สำหรับการไหลเปลี่ยนแปลงของการไหลผ่านทรงกลมผิวเรียบเท่ากับ $250,000$ จงหาความเร็วการไหลของอากาศที่อุณหภูมิ 20°C ผ่านทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm
3. แก้ปัญหาโจทย์ 9.3 ถ้าของไหลคือ (ก) น้ำที่อุณหภูมิ 20°C และ (ข) ก๊าซไฮโดรเจนที่อุณหภูมิ 20°C ($v = 1.08 \times 10^{-4}\text{ m/s}$)
4. จงหาค่าเรย์โนลด์ส์นับเบอร์ของน้ำมัน (ถ.พ. 0.9 , $\mu = 0.00020\text{ lbf}\cdot\text{s}/\text{ft}^2$) ซึ่งไหลในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 in ด้วยอัตราการไหล $10\text{ ft}^3/\text{s}$ และหาว่าการไหลเป็นแบบราบเรียบหรืออลวน
5. ก๊าซไพลินที่อุณหภูมิ 20°C ไหลด้วยอัตรา 2 L/s ผ่านท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 60 mm จงหาเรย์โนลด์ส์นับเบอร์
6. จงหาความเร็วสูงสุดสำหรับสภาพการไหลแบบราบเรียบ ในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 in เมื่อของไหลคือ (ก) น้ำมันเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ 60°F ($v = 4.75 \times 10^{-5}\text{ ft}^2/\text{s}$) และ (ข) น้ำที่อุณหภูมิ 60°F
7. จงหาประเภทของการไหลในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 in ด้วยความเร็ว 3.50 ft/s เมื่อของไหลคือ (ก) น้ำที่อุณหภูมิ 60°F และ (ข) น้ำมันเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ 60°F ($v = 221 \times 10^{-5}\text{ ft}^2/\text{s}$)
8. น้ำมัน (ถ.พ. 0.85 , $v = 1.8 \times 10^{-5}\text{ ft}^2/\text{s}$) ซึ่งไหลในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 450 mm ด้วยอัตราการไหล $0.4\text{ m}^3/\text{s}$

เจตยแบบฝึกหัด

1. อุณหภูมิ 10°C ไหลในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 mm ด้วยความเร็ว 5.5 m/s^2
จงหาว่าไหลเป็นแบบราบเรียบหรืออลวน

วิธีทำ จากสูตร $N_R = dV/v$

$$= (0.150)(5.5)(1.30 \times 10^{-6})$$
$$= 634,615$$

เนื่องจาก $N_R > 4,000$ ดังนั้น การไหลเป็นแบบอลวน ตอบ

2. ค่าเรย์โนลด์ส์นับเบอร์สำหรับการไหลเปลี่ยนแปลงของการไหลผ่านทรงกลมผิวเรียบเท่ากับ 250,000 จงหาความเร็วการไหลของอากาศที่อุณหภูมิ 20°C ผ่านทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm

วิธีทำ จากสูตร $N_R = dU/v$

$$250,000 = (0.10)(U)(1.51 \times 10^{-6})$$
$$U = 37.8 \text{ m/s}$$

3. แก้ปัญหาโจทย์ 9.3 ถ้าของไหลคือ (ก) น้ำที่อุณหภูมิ 20°C และ (ข) ก๊าซไฮโดรเจนที่อุณหภูมิ 20°C ($v = 1.08 \times 10^{-4} \text{ m/s}$)

(ก) วิธีทำ จากสูตร $N_R = dU/v$

$$250,000 = (0.10)(U)(1.02 \times 10^{-6})$$
$$U = 2.55 \text{ m/s} \quad \text{ตอบ}$$

(๖) วิธีทำ จากสูตร $N_R = dU/v$

$250,000 = (0.10)(v)(1.08 \times 10^{-6})$

$v = 270 \text{ m/s}$ ตอบ

4. จงหาค่าเรย์โนลด์ส์นับเบอร์ของน้ำมัน(ถ.พ. 0.9, $\mu = 0.00020 \text{ lbf}\cdot\text{s}/\text{ft}^2$) ซึ่งไหลในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 in ด้วยอัตราการไหล 10 ft^3/s และหาว่าการไหลเป็นแบบราบเรียบหรืออลวน

วิธีทำ จากสูตร $V = Q/A$

$$= 10 / \left[(\pi) \left(\frac{6}{12} \right)^2 / 4 \right]$$

$$= 50.9 \text{ ft/s}$$

$$N_R = \rho d U / \mu = [(0.8)(1.94)] \left(\frac{6}{12} \right) (50.9) / 0.0020 = 19,749 \text{ (การไหลแบบบอลลวน) } \text{ตอบ}$$

5. ก๊าซไพลินที่อุณหภูมิ 20°C ไหลด้วยอัตรา 2 L/s ผ่านท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 60 mm จงหาเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์

วิธีทำ จากสูตร $U = Q/A$

$$= (2 \times 10^{-3}) / [(\pi)(0.060)^2 / 4]$$

$$= 0.707 \text{ m/s}$$

$$N_R = \rho d U / \mu = (719)(0.060)(0.707) (2.92 \times 10^{-4}) = 104,452 \quad \text{ตอบ}$$

6. จงหาความเร็วสูงสุดสำหรับสภาพการไหลแบบราบเรียบ ในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 in เมื่อของไหลคือ (ก) น้ำมันเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ 60°F ($\nu = 4.75 \times 10^{-5} \text{ ft}^2/\text{s}$) และ (ข) น้ำที่อุณหภูมิ 60°F สำหรับการไหลแบบราบเรียบ สมมติ $N_R < 2,000$ $N_R = dU/\nu$

(ก) วิธีทำ จากสูตร $2,000 = (6/12) (U)(4.75 \times 10^{-5})$

$$U = 0.190 \text{ m/s} \quad \text{ตอบ}$$

(ข) วิธีทำ จากสูตร $2,000 = (6/12) (U)(1.21 \times 10^{-5})$

$$U = 0.0484 \text{ m/s} \quad \text{ตอบ}$$

7. จงหาประเภทของการไหลในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 in ด้วยความเร็ว 3.50 ft/s เมื่อของไหลคือ (ก) น้ำที่อุณหภูมิ 60°F และ (ข) น้ำมันเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ 60°F

($\nu = 221 \times 10^{-5} \text{ ft}^2/\text{s}$) $N_R = dU/\nu$

(ก) วิธีทำ จากสูตร $N_R = (12/12)(3.50)/(1.21 \times 10^{-5})$

$$= 289,256 \text{ (การไหลแบบบอลลวน) } \quad \text{ตอบ}$$

(ข) วิธีทำ จากสูตร $N_R = (12/12)(3.50)/(221 \times 10^{-5})$

$$= 1,584 \text{ (การไหลแบบราบเรียบ) } \quad \text{ตอบ}$$

8. น้ำมัน (ถ.พ. 0.85 , $\nu = 1.8 \times 10^{-5}$ $\nu = 0.025 \text{ Pa/s}$) ซึ่งไหลในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 450 mm ด้วยอัตราการไหล $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$

วิธีทำ จากสูตร $U = Q/A$

$$= (0.50)(1,000) / \left[(\pi) \left(\frac{10}{100} \right)^2 / 4 \right]$$

$$= 0.06366 \text{ m/s}$$

$$N_R = dU/\nu$$

$$= \left(\frac{10}{100} \right) (0.06366) / (1.8 \times 10^{-5})$$

$$= 354 \text{ (การไหลแบบราบเรียบ)}$$

ตอบ

บันทึกหลังการสอน

ผลการใช้แผนการสอน.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผลการเรียนของนักเรียน.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผลการสอนของครู.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....