

	แผนการสอน	หน่วยที่ 8
	ชื่อวิชา กลศาสตร์ของไหล รหัสวิชา 3100 – 0103	สอนครั้งที่ 15
	ชื่อหน่วย การไหลในท่อ	จำนวน 3 ชั่วโมง
ชื่อเรื่อง/ชื่องาน ลักษณะการไหลภายในท่อ,เรย์โนลด์์นัมเบอร์		
หัวข้อเรื่องและงาน 8.1 ลักษณะการไหลภายในท่อ 8.2 เรย์โนลด์์นัมเบอร์ 3 สาระสำคัญ 1. ลักษณะการไหลภายในท่อ แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) และ การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) 2. ค่าเรย์โนลด์์นัมเบอร์ เป็นการบอกลักษณะของการไหล 4 ตัว คือ ความหนาแน่นของของไหล , ความหนืด ,ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ , และความเร็วเฉลี่ยในการไหล สมรรถนะที่พึงประสงค์ (ความรู้ ทักษะ คุณธรรม จริยธรรม จรรยาบรรณวิชาชีพ) 1. กำหนดหาแรงของของไหลที่กระทำกับแผ่นผิวโค้งซึ่งเคลื่อนที่ได้ถูกต้อง 2. กำหนดหาแรงที่กระทำต่อของไหลในท่อได้อย่างถูกต้อง 3. กำหนดหาแรงที่กระทำต่อของไหลในท่อโค้งงอได้อย่างถูกต้อง		

เนื้อหาสาระ

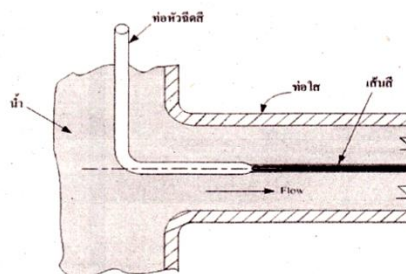
ในบทนี้เป็นการไหลของของไหลในภาชนะปิด ซึ่งในที่นี้หมายถึง ท่อที่ใช้เป็นอุปกรณ์ในการส่งของเหลวจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง และการไหลภายในท่อมักจะมีลักษณะเต็มพื้นที่หน้าตัดของท่อภายใต้ความดัน ซึ่งการนำท่อมาใช้ส่งของไหลมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ ลดปัญหาการซึมหรือการระเหยที่เกิดขึ้นจากการส่งน้ำในระบบเปิดลดปัญหาเกี่ยวกับการปนเปื้อนของสิ่งสกปรกจากภายนอกได้เป็นอย่างดี ดีตลอดจนสามารถประหยัดพื้นที่ใช้สอยเพราะสามารถวางท่อบนดินใต้ดินหรือภายในอาคารบ้านโดยไม่สิ้นเปลืองเนื้อที่มาก

8.1 ลักษณะการไหลภายในท่อ

การไหลของของไหลภายในท่อ มีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะ คือ

8.1.1 การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow)

ซึ่งการไหลแบบนี้ของเหลวจะแยกเป็นชั้นไม่ปนกันการเคลื่อนที่เป็นไปตามกฎของความหนืดของนิวตันดังสมการ $\tau = \frac{du}{dy}$ เมื่อ μ เป็นค่าความหนืดของของไหลอยู่ในท่อนั้นและเป็นตัวสำคัญในการบอกลักษณะของของไหล กล่าวคือ ของไหลที่มีความหนืดสูง หรือ ของไหลที่ไหลด้วยอัตราเร็วต่ำจะมีลักษณะการไหลแบบราบเรียบ พิจารณารูปที่ 8.1

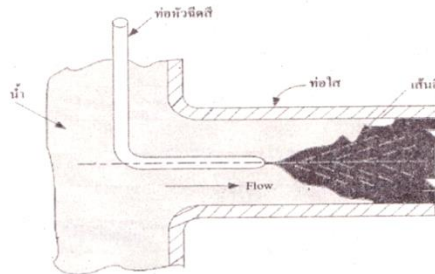


รูปที่ 8.1 ลักษณะการไหลแบบราบเรียบ

จากรูปที่ 8.1 เมื่อน้ำในท่อใสมีความเร็วต่ำ แล้วปล่อยสีที่มีน้ำหนักจำเพาะเท่ากับน้ำพอดีจากท่อเล็กเข้าไปตรงกลางท่อใส จะเห็นสีไหลเป็นเส้นที่วิ่งต่อกันเป็นสายไม่ขาดตอนซึ่งการไหลในลักษณะนี้ เป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow)

8.2.1 การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

การไหลแบบนี้อนุภาคของของไหลจะเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบ ความเร็วของอนุภาคแตกต่างกันทั้งขนาดและทิศทาง พิจารณารูปที่ 8.2



รูปที่ 8.2 ลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน

จากรูปที่ 8.2 เมื่อน้ำในท่อไอมีความเร็วสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่าหนึ่ง จะพบว่าสายสีเริ่มแตกและเมื่อเพิ่มความเร็วของน้ำในท่อขึ้นอีกสายสีจะแตกมากขึ้น และปะปนกันไม่เป็นระเบียบ แสดงว่าเข้าสู่ย่านการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

8.2 เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynold Number)

ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ เป็นตัวสำคัญในการที่จะบอกลักษณะของการไหลว่าเป็นการไหลแบบราบเรียบหรือการไหลปั่นป่วน ซึ่งจากการทดลอง พบว่า ลักษณะการไหลในท่อกลมขึ้นอยู่กับการแปร 4 ตัว ความหนาแน่นของของไหล ρ ความหนืด μ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ D และความเร็วเฉลี่ยในการไหล v ซึ่งสัมพัทธ์ของตัวแปรดังกล่าวนำมาเขียนสมการได้ดังนี้

$$N_R = \frac{vD\rho}{\mu} = \frac{vD}{\nu} \dots\dots\dots(8.1)$$

เมื่อ N_R คือ เรย์โนลด์นัมเบอร์

V คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหลในท่อ(m/s)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ(m)

ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m^3)

μ คือ ความหนืดของของไหล(N.s/m^2)

ν คือ ความหนืดจลน์ของของไหล (m^2/s)

หมายเหตุ เรย์โนลด์นัมเบอร์เป็นค่าที่ไม่มีหน่วยวัด เพราะ

$$N_R = v \times D \times \rho \times \frac{1}{\mu}$$

$$N_R = \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \text{m} \times \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{m.s}}{\text{kg}}$$

โดยทั่วไป จะจำแนกเรย์โนลด์นัมเบอร์ ตามตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 แสดงค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์และลักษณะของการไหล

ค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์	ลักษณะของการไหล
$N_R \leq 2,000$	การไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow)
N_R อยู่ระหว่าง 2,000 - 4,000	เป็นช่วงการเปลี่ยนแปลงการไหล (Transition) จากการไหลราบเรียบเป็นการไหลแบบปั่นป่วน
$N_R > 4,000$	การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow)

ตัวอย่างที่ 8.1 กลีเซอรินความหนาแน่น $1,258 \text{ kg/m}^3$ ไหลผ่านท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 150 mm ด้วยความเร็วเฉลี่ย 3.6 m/s ความหนืดของกลีเซอรินมีค่า $9.60 \times 10^{-1} \text{ Pa.s}$ จงคำนวณหาว่าลักษณะการไหลของกลีเซอรินเป็นแบบราบเรียบหรือแบบปั่นป่วน

วิธีทำ หาค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์จากสูตร

$$N_R = \frac{vD\rho}{\mu}$$

$$= \frac{3.6 \times 0.15 \times 1,258}{9.60 \times 10^{-1}}$$

$$N_R = 707.63 < 2,000$$

ค่า N_R ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า 2,000 ดังนั้นจึงเป็นการไหลแบบราบเรียบ **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 8.2 น้ำไหลผ่านท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.27 mm ด้วยอัตราการไหล 285 L/min ความหนืดจลน์ของน้ำเท่ากับ $4.11 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ จงคำนวณลักษณะการไหลของน้ำเป็นแบบราบเรียบหรือแบบปั่นป่วน

วิธีทำ อัตราการไหลของน้ำ

$$Q = 285 \text{ L/min} \times \frac{1 \text{ m}^3/\text{s}}{60,000 \text{ L/min}}$$

$$Q = 4.75 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

หาพื้นที่หน้าตัดของท่อ

$$A = \frac{\pi}{4} (0.02527)^2 = 5.015 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

หาความเร็วเฉลี่ยของน้ำ

$$v = Q/A$$

$$v = \frac{4.75 \times 10^{-3}}{5.015 \times 10^{-4}}$$

$$v = 9.47 \text{ m/s}$$

หาค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์

$$N_R = \frac{vD\rho}{\mu}$$

$$N_R = \frac{9.47 \times 0.02527}{4.11 \times 10^{-7}}$$

$$N_R = 582,255 = 5.82 \times 10^5 > 4,000$$

ค่า N_R ที่คำนวณได้มากกว่า 4,000 ดังนั้นจึงเป็นการไหลแบบปั่นป่วน

ตอบ

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน
ขั้นตอนการสอนหรือกิจกรรมของครู

ขั้นนำ

1. กล่าวทักทายนักศึกษาแล้วนำภาพของรูปร่างต่าง ๆ มาให้นักศึกษาดูแล้วถามว่าแต่ละรูปเป็นรูปอะไร

ขั้นสอน

1. แจกจุดประสงค์รายวิชา หัวข้อที่จะต้องเรียน การวัดการประเมินผล ข้อตกลงต่าง ๆ แก่นักศึกษา
2. บรรยายเนื้อหาประกอบแผ่นใสในหน่วยที่ 8
3. สาธิตหลักการคำนวณประกอบแผ่นใสตัวอย่างที่ 8.1 และ 8.2
4. ให้ทำแบบฝึกหัดและเปิดโอกาสให้นักศึกษาลงมือ

ขั้นสรุป

1. ผู้สอนสรุปเนื้อหาให้นักศึกษาฟัง และถามนักศึกษาในเรื่องที่เรียน

งานที่มอบหมายหรือกิจกรรม

1. ให้นักศึกษาไปศึกษาเนื้อหาตัวอย่างที่ 8.1 และ 8.2 เพื่อทำแบบทดสอบท้ายบท

สื่อการเรียนรู้การสอน

1. เอกสารประกอบการสอนหน่วยที่ 8
2. แผ่นใสหน่วยที่ 8 ตัวอย่างที่ 8.1 และ 8.2

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. ค่าเรย์โนลด์ส์นับเบอร์สำหรับการไหลเปลี่ยนแปลงของการไหลผ่านทรงกลมผิวเรียบ เท่ากับ $250,000$ จงหาความเร็วการ ไหลของอากาศที่อุณหภูมิ 20°C ผ่านทรงกลมขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm
3. แก้ปัญหาโจทย์ 9.3 ถ้าของไหลคือ (ก) น้ำที่อุณหภูมิ 20°C และ (ข) ก๊าซไฮโดรเจน ที่อุณหภูมิ 20°C ($\nu = 1.08 \times 10^{-4}\text{ m/s}$)
4. จงหาค่าเรย์โนลด์ส์นับเบอร์ของน้ำมัน(ถ.พ. 0.9 , $\mu = 0.00020\text{ lbf.s/ft}^2$) ซึ่งไหลในท่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 in ด้วยอัตราการไหล $10\text{ ft}^3/\text{s}$ และหาว่าการไหลเป็นแบบ ราบเรียบหรืออลวน
5. ก๊าซโวลินที่อุณหภูมิ 20°C ไหลด้วยอัตรา 2 L/s ผ่านท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายใน 60 mm จงหาเรย์โนลด์ส์นับเบอร์
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
7. จงหาประเภทของการไหลในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 in ด้วยความเร็ว 3.50 ft/s เมื่อของไหลคือ (ก) น้ำที่อุณหภูมิ 60°F และ (ข) น้ำมันเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิ 60°F ($\nu = 221 \times 10^{-5}\text{ ft}^2/\text{s}$)
8. น้ำมัน (ถ.พ. 0.85 , $\nu = 1.8 \times 10^{-5}\text{ m}^2/\text{s}$ $\mu = 0.025\text{ Pa.s}$) ซึ่งไหลในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 450 mm ด้วยอัตราการไหล 0.4 m/s

เฉลยแบบฝึกหัด

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

วิธีทำ จากสูตร $N_R = d v / \nu$
$$= (0.150)(5.5)(1.30 \times 10^{-6})$$
$$= 634,615$$

เนื่องจาก $N_R > 4,000$ ดังนั้น การไหลเป็นแบบอลวน **ตอบ**

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

วิธีทำ จากสูตร $N_R = d v / \nu$
$$250,000 = (0.10)(v)(1.51 \times 10^{-6})$$
$$v = 37.8 \text{ m/s}$$

ตอบ

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

(ก) วิธีทำ จากสูตร $N_R = d v / \nu$
$$250,000 = (0.10)(v)(1.02 \times 10^{-6})$$
$$v = 2.55 \text{ m/s}$$

ตอบ

(ข) วิธีทำ จากสูตร $N_R = d v / \nu$
$$250,000 = (0.10)(v)(1.08 \times 10^{-6})$$
$$v = 270 \text{ m/s}$$

ตอบ

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

วิธีทำ จากสูตร $v = Q/A$
$$= 10 / \left[(\pi) \left(\frac{6}{12} \right)^2 / 4 \right]$$
$$= 50.9 \text{ ft/s}$$

$$N_R = \rho d v / \mu = [(0.8)(1.94)] \left(\frac{6}{12} \right) (50.9) / 0.00020 = 19,749 \text{ (การไหลแบบอลวน) } \text{ตอบ}$$

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

วิธีทำ จากสูตร $v = Q/A$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(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 , $v = 1.8 \times 10^{-5}$ $v = 0.025\text{ Pa/s}$) ซึ่งไหลในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 450 mm ด้วยอัตราการไหล $0.4\text{ m}^3/\text{s}$

วิธีทำ จากสูตร $v = Q/A$

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

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

$$N_R = d v / v$$

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

$$= 354 \text{ (การไหลแบบราบเรียบ)} \quad \text{ตอบ}$$

บันทึกหลังการสอน

ผลการใช้แผนการสอน.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผลการเรียนของนักเรียน.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ผลการสอนของครู.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....