



เอกสารประกอบการสอน

วิชา กลศาสตร์ของไหล รหัสวิชา 3100-0102

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พุทธศักราช 2557

ประเภทวิชาช่างอุตสาหกรรม

เรียบเรียงโดย

นายสมจิตร สุวรรณโน

ครูชำนาญการ

ภาควิชาเครื่องกล วิทยาลัยเทคนิคยะลา

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

กระทรวงศึกษาธิการ

คำนำ

เอกสารประกอบการสอนฉบับนี้ จัดทำขึ้นมาเพื่อใช้เป็นเอกสารประกอบการเรียนการสอนนักศึกษาที่เรียนในรายวิชา กลศาสตร์ของไหล รหัส 3100-0102 ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) พุทธศักราช 2557 ประเภทวิชาช่างอุตสาหกรรม สาขาวิชาเทคนิคเครื่องกล โดยเนื้อหาภายในเอกสารประกอบการสอนประกอบด้วย 9 หน่วยการสอน ดังนี้คือ หลักการพื้นฐานและคุณสมบัติของไหล ของไหลสถิต แรงกระทำของของไหลบนพื้นผิวราบ แรงกระทำของของไหลบนพื้นผิวโค้ง แรงลอยตัวและเสถียรภาพการลอยตัว ของไหลเคลื่อนที่ แรงและโมเมนต์ของการไหลกรไหลในท่อ การวัดอัตราการไหล

ข้าพเจ้าหวังอย่างยิ่งว่าเอกสารประกอบการสอนฉบับนี้คงจะเป็นประโยชน์สำหรับครูผู้สอนที่สอนในรายวิชาดังกล่าว หรือผู้ที่มีความสนใจ ได้นำไปใช้เป็นคู่มือหรือแนวทางในการประกอบการเรียนการสอนให้ตรงตามวัตถุประสงค์ของหลักสูตรที่กำหนดไว้ในลำดับต่อไป และข้าพเจ้าขอขอบคุณผู้แต่งหนังสือต่าง ๆ ตลอดจนบุคลากรของวิทยาลัยเทคนิคยะลาทุกท่านที่ให้คำแนะนำในเรื่องต่าง ๆ จนทำให้เอกสารประกอบการสอนฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

สมจิตร สุวรรณโน

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
สารบัญ	ข
สารบัญรูปภาพ	ค
สารบัญตาราง	ง
รายละเอียดรายวิชา	จ
หน่วยการเรียนรู้	ฉ
แผนการจัดการเรียนรู้รายหน่วย	ช
แบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 1	ซ
หน่วยที่ 1 หลักการพื้นฐานและคุณสมบัติของของไหล	1
แบบฝึกหัดที่ 1.1	22
แบบฝึกหัดที่ 1.2	24
แบบฝึกหัดที่ 1.3	26
แบบฝึกหัดที่ 1.4	28
เฉลยแบบฝึกหัดที่ 1.1	32
เฉลยแบบฝึกหัดที่ 1.2	34
เฉลยแบบฝึกหัดที่ 1.3	37
เฉลยแบบฝึกหัดที่ 1.4	40
แบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 1	44
เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน/หลังเรียนหน่วยที่ 1	46
บรรณานุกรม	47

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แสดงความแตกต่างระหว่างของเหลวและก๊าซ ตามลักษณะของภาชนะที่บรรจุ	2
1.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเร็วของของไหล	13
1.3 แสดงการสมดุลของแรงในหยดของของเหลว	17
1.4 การเกิดการเกิดคาปิลลารีตีในของของเหลว	19

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงหน่วยของมิติของมิติปฐมภูมิของระบบ SI	3
1.2 แสดงหน่วยมิติทุติยภูมิของระบบ SI	4
1.3 แสดงคำนำหน้าหน่วย (Prefixes)	5
1.4 แสดงคุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ	11
1.5 แสดงค่าความดันไออิ่มตัวของของเหลวที่อุณหภูมิ 20 °C	21

รายละเอียดรายวิชา

วิชา กลศาสตร์ของไหล รหัสวิชา 3100 - 0102

ระดับชั้น ปวส. สาขา/กลุ่มวิชา/แผนกวิชา เครื่องกล หน่วยกิต 3 หน่วยกิต 3 คาบ/สัปดาห์

จำนวนคาบรวม 54 คาบ

จุดประสงค์รายวิชา

1. เพื่อให้เข้าใจหลักสถิตศาสตร์และหลักของพลังงานของไหล
2. เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้หลักของพลังงานของไหลในงานอาชีพ
3. เพื่อให้มีเจตคติที่ดีในการสืบเสาะหาความรู้ และใช้เหตุผลของกลศาสตร์ในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับของไหล มีความตระหนักถึงประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน

สมรรถนะรายวิชา

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับหลักการสถิตศาสตร์และพลังงานของไหล
2. ประยุกต์ใช้หลักการของพลังงานของไหลในงานอาชีพ

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาเกี่ยวกับ คุณสมบัติของของไหล ความหนืด ความสมดุลของของไหลที่อยู่นิ่ง การหาแรงกระทำกับวัตถุที่จม แรงพยุง และแรงลอยตัว สมการโมเมนต์และพลังงาน สมการการไหลต่อเนื่อง สมการการไหลสม่ำเสมอ การไหลในท่อ การไหลในท่อโค้ง และการวัดอัตราการไหล

หน่วยการเรียนรู้

วิชากลศาสตร์ของไหล

รหัสวิชา 3100-0102

หน่วยที่	รายการสอน	จำนวนคาบ
1	หลักการพื้นฐานและคุณสมบัติของของไหล	12
2	ของไหลสถิต	3
3	แรงกระทำของของไหลบนพื้นผิวเรียบ	3
4	แรงกระทำของของไหลบนพื้นผิวโค้ง	3
5	แรงลอยตัวและเสถียรภาพการลอยตัว	6
6	ของไหลเคลื่อนที่	9
7	แรงและโมเมนต์ในการไหล	9
8	การไหลในท่อ	6
9	การวัดอัตราการไหล	3
รวม		54

แผนการจัดการเรียนรู้รายหน่วย

วิชา กลศาสตร์ของไหล รหัสวิชา 3100 - 0102

ระดับชั้น ปวส. สาขา/กลุ่มวิชา/แผนกวิชา เครื่องกล หน่วยกิต 3 หน่วยกิต 3 คาบ/สัปดาห์

จำนวนคาบรวม 54 คาบ

หน่วยที่	ชื่อหน่วย/หัวข้อเรื่อง	เวลาเรียน (ชั่วโมง)	รวม (ชั่วโมง)	
1	หลักการพื้นฐานและคุณสมบัติของของไหล			
	1.1 ความหมายของของไหล 1.2 มิติ 1.3 หน่วย	3	12	
	1.4 คุณสมบัติพื้นฐานของของไหล	3		
	1.5 สมการสถานะของก๊าซอุดมคติ 1.6 ความสามารถอัดตัวได้ของของไหล	3		
	1.7 ความหนืด 1.8 ความตึงผิว 1.9 ความดันไอ	3		
	2 ของไหลสถิต			
	2.1 ความดัน 2.2 อุปกรณ์วัดความดัน	3		3
3	แรงกระทำของของไหลบนพื้นผิวเรียบ			
	3.1 การหาขนาดของแรงที่กระทำกับวัตถุผิวเรียบ 3.2 การหาค่าแรงของแรงที่กระทำกับวัตถุผิวเรียบ	3	3	
4	แรงกระทำของของไหลบนพื้นผิวโค้ง			
	4.1 การหาขนาดของแรงลัพธ์ที่กระทำกับวัตถุผิวโค้ง 4.2 การหาทิศทางของแรงลัพธ์ที่กระทำกับวัตถุผิวโค้ง	3	3	

แผนการจัดการเรียนรู้รายหน่วย

วิชา กลศาสตร์ของไหล รหัสวิชา 3100 - 0102

ระดับชั้น ปวส. สาขา/กลุ่มวิชา/แผนกวิชา เครื่องกล หน่วยกิจ 3 หน่วยกิต 3 คาบ/สัปดาห์

จำนวนคาบรวม 54 คาบ

หน่วยที่	ชื่อหน่วย/หัวข้อเรื่อง	เวลาเรียน (ชั่วโมง)	รวม (ชั่วโมง)
5	แรงลอยตัวและเสถียรภาพการลอยตัว		
	5.1 แรงลอยตัว	3	6
	5.2 เสถียรภาพการลอยตัว	3	
6	ของไหลเคลื่อนที่		
	6.1 รูปแบบการไหลของของไหล 6.2 การจำแนกประเภทของการไหล 6.3 อัตราการไหล 6.4 สมการการไหลต่อเนื่อง	3	9
	6.5 พลังงานในการไหล 6.6 สมการพลังงานของการไหล 6.7 เหน็ดพลังงาน	3	
	6.8 เส้นระดับพลังงานและเส้นระดับชลศาสตร์	3	
7	แรงและโมเมนต์ในการไหล		
	7.1 หลักการของการอิมพัลส์-โมเมนต์	3	9
	7.2 แรงกระทำบนท่อที่มีความดัน		
	7.3 แรงที่ลำของไหลกระทำบนพื้นผิวเรียบ	3	
	7.4 แรงที่ลำของไหลกระทำบนพื้นผิวโค้งเรียบ	3	

แผนการจัดการเรียนรู้รายหน่วย

วิชา กลศาสตร์ของไหล รหัสวิชา 3100 - 0102

ระดับชั้น ปวส. สาขา/กลุ่มวิชา/แผนกวิชา เครื่องกล หน่วยกิจ 3 หน่วยกิต 3 คาบ/สัปดาห์

จำนวนคาบรวม 54 คาบ

หน่วยที่	ชื่อหน่วย/หัวข้อเรื่อง	เวลาเรียน (ชั่วโมง)	รวม (ชั่วโมง)
8	การไหลในท่อ		
	8.1 ชนิดของการไหล	3	6
	8.2 เรย์โนลด์ นัมเบอร์		
	8.3 การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหล	3	
9	การวัดอัตราการไหล		
	9.1 มาตรฐานวัดอัตราการไหลแบบคอคอด	3	3
	9.2 มาตรฐานวัดอัตราการไหลแบบรู		
	9.3 มาตรฐานวัดอัตราการไหลแบบคอคอด		
รวม			54

แบบทดสอบก่อนเรียนหน่วยที่ 1
หลักการพื้นฐานและคุณสมบัติของของไหล

คำสั่ง จงทำเครื่องหมายกากบาท (X) ทับลงบนตัวเลือกที่เห็นว่าถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. ความหมายของของไหลข้อใดกล่าวถูกต้องที่สุด
 - ก. สสารที่สามารถไหลได้และมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงตามภาชนะที่บรรจุ
 - ข. สสารที่ไม่สามารถไหลและมีสถานะเป็นก๊าซเพียงอย่างเดียว
 - ค. สสารที่สามารถไหลได้และมีรูปร่างที่แน่นอน
 - ง. สสารที่สามารถไหลและมีสถานะเป็นของเหลวเพียงอย่างเดียว
2. ข้อใดเป็นมิติหลัก
 - ก. แรง
 - ข. น้ำหนัก
 - มวลค.
 - ง. ความดัน
3. 15×10^6 N มีค่าเท่ากับเท่าไร
 - ก. 15 N
 - ข. 15 MN
 - ค. 15 kN
 - ง. 15 μ N
4. น้ำมันมีปริมาตร 0.4 m^3 และมีมวล 340 kg ความหนาแน่นของน้ำมันมีค่าเท่าไร
 - ก. 136 kg/m^3
 - ข. 340.40 kg/m^3
 - ค. 339.60 kg/m^3
 - ง. 850 kg/m^3
5. จากข้อ 4 ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันมีค่าเท่าไร
 - ก. 0.136
 - ข. 0.339
 - ค. 0.850
 - ง. 0.340
6. ของไหลมีปริมาตร 2 m^3 และหนัก 520 N น้ำหนักจำเพาะของของไหลมีค่าเท่าไร
 - ก. 260 N/m^3
 - ข. 0.008 N/m^3
 - ค. 522 N/m^3
 - ง. $1,040 \text{ N/m}^3$
7. อากาศมีความหนาแน่นเท่ากับ 1.26 kg/m^3 และมีอุณหภูมิ 27°C ความดันของอากาศมีค่าเท่าไร
 - ก. 97.60 Pa
 - ข. 108.50 Pa
 - ค. 10.85 Pa
 - ง. 9.76 Pa

15. ของไหลที่มีพฤติกรรมเป็นไปตามสมการความหนืดของนิวตัน เรียกว่าอะไร

ก. ของไหลหยุดนิ่ง

ข. ของไหลนิวโทเนียน

ค. ของไหลนอนนิวโทเนียน

ง. ของไหลเคลื่อนที่

หน่วยที่ 1

หลักการพื้นฐานและคุณสมบัติของของไหล

สาระสำคัญ

วิชากลศาสตร์ของไหล (Fluid mechanics) เป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของของไหลในสถานะที่ของไหลหยุดนิ่งและของไหลเคลื่อนที่ การศึกษาพฤติกรรมของของไหลที่หยุดนิ่งเรียกว่า สถิตศาสตร์ของของไหล (Fluid Statics) และพฤติกรรมของของไหลที่กำลังเคลื่อนที่เรียกว่า พลศาสตร์ของของไหล (Fluid Dynamics) การศึกษาวิชากลศาสตร์ของไหล การทำความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการพื้นฐานและคุณสมบัติของของไหลถือเป็นรากฐานที่สำคัญที่ผู้เรียนจะต้องทำความเข้าใจให้ถ่องแท้เสียก่อนไม่ว่าของไหลจะอยู่ในสถานะของเหลวหรือก๊าซ

สาระการเรียนรู้

- | | |
|------------------------------|----------------------------------|
| 1.1 ความหมายของของไหล | 1.2 มิติ |
| 1.3 ระบบหน่วย | 1.4 คุณสมบัติพื้นฐานของของไหล |
| 1.5 สมการสถานะของก๊าซอุดมคติ | 1.6 ความสามารถอัดตัวได้ของของไหล |
| 1.7 ความหนืด | 1.8 ความตึงผิว |
| 1.9 ความดันไอ | |

จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

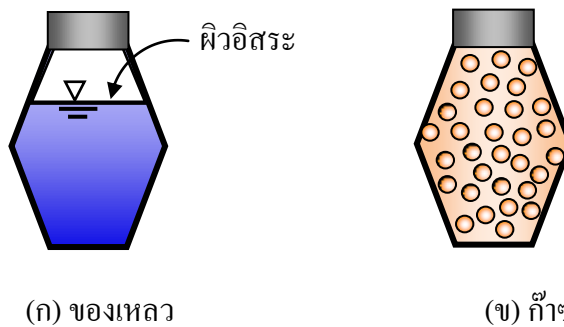
- อธิบายความหมายของของไหลได้
- เขียนมิติของปริมาณต่าง ๆ ได้
- บอกหน่วยวัดของปริมาณต่าง ๆ ได้
- เปลี่ยนหน่วยวัดของปริมาณต่าง ๆ ได้
- อธิบายความหมายของนิยามต่าง ๆ ได้
- คำนวณหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของของไหลได้

1.1 ความหมายของของไหล (Definition of a Fluid)

ของไหล (Fluid) หมายถึง สารที่สามารถไหลได้และเปลี่ยนรูปร่างได้อย่างต่อเนื่องตามลักษณะภาชนะที่บรรจุ ในสถานะของไหลไม่มีการเคลื่อนที่ (สถานะสมดุล) ของไหลไม่สามารถรับแรงสัมผัสหรือแรงเฉือนได้ หากมีแรงเฉือนมากระทำแม้เพียงเล็กน้อยของไหลจะไหลและเสียรูปร่างอย่างต่อเนื่อง ของไหลสามารถคงรูปอยู่ได้ใน 2 สถานะ คือ

1.1.1 ของเหลว (Liquid) มีระยะห่างระหว่างโมเลกุลค่อนข้างน้อย มีรูปร่างไม่แน่นอนเปลี่ยนแปลงได้ตามลักษณะภาชนะที่บรรจุ แต่จะมีขอบเขตระหว่างตัวมันเองและของไหลชนิดอื่นอย่างชัดเจน เรียกว่า “ผิวอิสระ” (Free Surface) ของเหลวจัดเป็นของไหลที่ยุบตัวไม่ได้ เมื่อมีความดันมากระทำปริมาตรของของเหลวจะเปลี่ยนแปลงน้อยมากหรือสรุปว่าไม่เปลี่ยนแปลง

1.1.2 ก๊าซ (Gas) มีระยะห่างระหว่างโมเลกุลมากและการจัดรูปของโมเลกุลไม่เป็นระเบียบโมเลกุลของก๊าซเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา มีรูปร่างไม่แน่นอนเปลี่ยนแปลงได้ตามลักษณะภาชนะที่บรรจุ โดยมีลักษณะแพร่กระจายไปทั่วภาชนะที่บรรจุ ไม่มีผิวอิสระ ก๊าซจัดเป็นของไหลที่ยุบตัวได้เมื่อมีความดันมากระทำปริมาตรของก๊าซจะเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 1.1 ความแตกต่างระหว่างของเหลวและก๊าซตามลักษณะภาชนะที่บรรจุ

1.2 มิติ (Dimensions)

มิติ (Dimensions) หมายถึง คุณสมบัติทางกายภาพของสาร ที่สามารถระบุได้ในเชิงปริมาณ เช่น มวล ความยาว น้ำหนัก เป็นต้น มิติสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1.2.1 มิติปฐมภูมิ (Primary Dimension) หมายถึง มิติของตัวแปรพื้นฐานที่ไม่สามารถแยกเป็นมิติอื่นได้อีกและไม่ขึ้นอยู่กับมิติอื่น ๆ ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณที่สสารแสดงออกมาโดยตรง ในวิชากลศาสตร์ของไหลมิติปฐมภูมิมิมี 4 ตัว คือ

ความยาว (Length)	สัญลักษณ์ที่ใช้แทนมิติ คือ L
มวล (Mass)	สัญลักษณ์ที่ใช้แทนมิติ คือ M
เวลา (Time)	สัญลักษณ์ที่ใช้แทนมิติ คือ T
อุณหภูมิ (Temperature)	สัญลักษณ์ที่ใช้แทนมิติ คือ θ

1.2.2 มิติทุติยภูมิ (Secondary Dimension) เป็นมิติที่ประกอบกันขึ้นมาจากมิติปฐมภูมิมากกว่า 1 ตัว ซึ่งตัวแปรจะแสดงค่ามิติตามที่ถูกกำหนดขึ้นจากนิยามหรือทฤษฎี เช่น ความเร็ว คือ ระยะทางที่เปลี่ยนไป (L) ต่อหนึ่งหน่วยเวลา (T) ดังนั้น ความเร็ว จึงมีมิติเป็น $\frac{L}{T}$ หรือ LT^{-1} หรือ แรง จากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน $F=ma$ เมื่อ m คือ มวล มีมิติเป็น M และ a คือ ความเร่ง มีมิติเป็น LT^{-2} ดังนั้น แรง จึงมีมิติเป็น MLT^{-2} จะเห็นได้ว่า แรง (F) เป็นมิติรอง แต่ในบางครั้งเราอาจวิเคราะห์โดยกำหนดให้แรงเป็นมิติหลักก็ได้ ตัวอย่างมิติทุติยภูมิดังตารางที่ 1.2

1.3 ระบบหน่วย (Unit System)

หน่วย เป็นวิธีการเฉพาะในการระบุถึงปริมาณของมิติที่แสดงออกมา ระบบหน่วยมีอยู่ด้วยกันหลายระบบ แต่ระบบหน่วยสากลที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบันมี 2 ระบบ คือ System International Unites หรือที่เรียกว่า ระบบ SI และ British Gravitation System หรือที่เรียกว่า ระบบอังกฤษ ในที่นี้จะใช้หน่วยในระบบ SI ซึ่งหน่วยของมิติปฐมภูมิและมิติทุติยภูมิ ดังตารางที่ 1.1 และ ตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.1 หน่วยของมิติปฐมภูมิของระบบ SI

ปริมาณ	มิติ	หน่วย SI	สัญลักษณ์
ความยาว (Length)	L	เมตร (Meter)	m
มวล (Mass)	M	กิโลกรัม (Kilogram)	kg
เวลา (Time)	T	วินาที (Second)	sec
อุณหภูมิ (Temperature)	θ	เคลวิน (Kelvin)	K
แรง (Force)	F	นิวตัน (Newton)	N

ตารางที่ 1.2 หน่วยของมิติฟิสิกส์ของระบบ SI

ปริมาณ	มิติ	หน่วย SI	สัญลักษณ์
พื้นที่ (Area)	L^2	ตารางเมตร	m^2
ปริมาตร (Volume)	L^3	ลูกบาศก์เมตร	m^3
ความเร่ง (Accelerating)	LT^{-2}	เมตร/วินาที ²	m/s^2
ความเร็ว (Velocity)	LT^{-1}	เมตร/วินาที	m/s
น้ำหนัก	MLT^{-2}	นิวตัน	N
ความหนาแน่น (Density)	ML^{-2}	กก./ลบ.ม.	kg/m^3
ความดัน (Pressure)	$ML^{-1}T^{-2}$ หรือ FL^{-2}	ปาสคาล	$Pa, N/m^2$
น้ำหนักจำเพาะ (Specific weight)	$ML^{-2}T^{-2}$ หรือ FL^{-3}	นิวตัน/ลบ.ม.	N/m^3
ความหนืด (Viscosity)	$ML^{-1}T^{-1}$ หรือ FTL^{-2}	กก./เมตร/วินาที	$Pa \cdot s, N \cdot s/m^2$
อัตราการไหล (Flow rate)	L^3T^{-1}	ลบ.ม./วินาที	m^3/s
กำลังงาน (Power)	ML^2T^{-3} หรือ FLT^{-1}	วัตต์	$W, N \cdot m/s$

ตัวอย่างที่ 1.1 จงเขียนมิติของความดัน (P)

วิธีทำ จากกฎของปาสคาล

$$P = \frac{F}{A}$$

$$= \frac{MLT^{-2}}{L^2}$$

∴ ความดัน (P) จึงมีมิติเป็น $ML^{-1}T^{-2}$

ตอบ

ตัวอย่าง 1.2 จงหาหน่วยของแรง

วิธีทำ จากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

$$F = ma$$

เมื่อ m คือ มวล มีหน่วยเป็น kg

a คือ ความเร่ง มีหน่วยเป็น m/s^2

$$F = kg \cdot m/s^2$$

∴ 1N = $1kg \cdot m/s^2$

ตอบ

1.3.1 คำนำหน้าหน่วย (Prefixes)

คำนำหน้าหน่วย เป็นคำที่ใช้แทนตัวคูณเพิ่มและตัวคูณลด เพื่อให้หน่วยของระบบ SI มีขนาดใหญ่ขึ้นหรือเล็กลง พอเหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้ ดังตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 คำนำหน้าหน่วยในระบบ SI

คำนำหน้า	ตัวคูณ	อักษรย่อ
เทรา (tera)	10^{12}	T
จิกะ (giga)	10^9	G
เมกกะ (mega)	10^6	M
กิโล (kilo)	10^3	k
เฮกโต (hecto)	10^2	h
เดคา (deka)	10	da
เดซี (deci)	10^{-1}	d
เซนติ (centi)	10^{-2}	c
มิลลิ (milli)	10^{-3}	m
ไมโคร (micro)	10^{-6}	μ
นาโน (nano)	10^{-9}	n
พิโก (pico)	10^{-12}	p

ตัวอย่าง 1.3 จากเลขสิบยกกำลัง 10^{-9} และ 10^6 จงแทนด้วยสัญลักษณ์ที่ถูกต้อง

วิธีทำ

10^{-9} สัญลักษณ์ คือ n

10^6 สัญลักษณ์ คือ M

ตอบ

ตัวอย่าง 1.4 จากสัญลักษณ์ μ และ G จงแทนด้วยเลขสิบยกกำลังให้ถูกต้อง

วิธีทำ

สัญลักษณ์ μ เลขสิบยกกำลัง คือ 10^{-6}

สัญลักษณ์ G เลขสิบยกกำลัง คือ 10^9

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.5 จงเปลี่ยนหน่วยโดยการแทนค่าคำอุปสรรค ของความยาว 50cm จะมีค่าเท่ากับกี่เมตร

วิธีทำ $50\text{cm} = 50 \times 10^{-3} \text{ m} = 0.05 \text{ m}$ ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.6 วัตถุมวล 5 kg เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร่งคงที่ 10m/s^2 จงหาแรงที่กระทำกับวัตถุ

วิธีทำ จากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน

$$\begin{aligned} F &= ma \\ \text{แทนค่า} \quad F &= 5\text{kg} \times 10\text{m/s}^2 \\ &= 50\text{kg} \cdot \text{m/s}^2 \\ &= 50\text{N} \end{aligned}$$

\therefore แรงที่กระทำกับวัตถุ เท่ากับ 50 N ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.7 วัตถุหนัก 9,810N ตกสู่พื้นด้วยค่าความโน้มถ่วงของโลกจงหามวลของวัตถุ

วิธีทำ จากกฎความโน้มถ่วงของนิวตัน

$$\begin{aligned} W &= mg \\ m &= \frac{W}{g} \\ \text{แทนค่า} \quad m &= \frac{9,810\text{N}}{9.81\text{m/s}^2} \\ &= \frac{9,810\text{kg} \cdot \text{m/s}^2}{9.81\text{m/s}^2} \\ &= 1,000\text{kg} \end{aligned}$$

\therefore มวลของวัตถุ เท่ากับ 1,000 kg ตอบ

1.4 คุณสมบัติพื้นฐานของของไหล

ในการศึกษาวิชากลศาสตร์ของไหล คุณสมบัติพื้นฐานต่าง ๆ ของของไหลนั้นมักไม่เป็นอิสระจากกัน คุณสมบัติบางค่ามีนิยามอยู่ในรูปคุณสมบัติตัวอื่น ดังนั้นเราจะต้องทราบคุณสมบัติพื้นฐานเหล่านี้ เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านกลศาสตร์ของไหล

1.4.1 ความหนาแน่น (Density) หมายถึง มวลของของไหลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ใช้สัญลักษณ์ “ ρ ” เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1.1)$$

เมื่อ m คือ มวล มีหน่วยเป็น kg

V คือ ปริมาตร มีหน่วยเป็น m^3

สำหรับน้ำที่ความดันบรรยากาศมาตรฐานและอุณหภูมิ 4°C มีความหนาแน่น เท่ากับ $1,000 \text{ kg/m}^3$

1.4.2 ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume) หมายถึง ปริมาตรของของไหลต่อมวลหนึ่งหน่วย ซึ่งก็คือส่วนกลับของความหนาแน่นนั่นเอง ใช้สัญลักษณ์ “ v ” เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \quad (\text{m}^3/\text{kg}) \quad (1.2)$$

1.4.3 น้ำหนักจำเพาะ (Specific Weight) หมายถึง น้ำหนักของของไหลที่เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่มีปริมาตรหนึ่งหน่วย ใช้สัญลักษณ์ “ γ ” เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g \quad (\text{N/m}^3) \quad (1.3)$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักของของไหล มีหน่วยเป็น N

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก มีค่าเท่ากับ 9.81 m/s^2

1.4.4 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) หรือความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density) หมายถึง อัตราส่วนของความหนาแน่นของของไหลต่อความหนาแน่นของของไหลมาตรฐาน ใช้สัญลักษณ์ “ S ” เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$S = \frac{\rho}{\rho_w} \quad (\text{ไม่มีหน่วย}) \quad (1.4)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล

ρ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำที่ 4°C มีค่าเท่ากับ $1,000 \text{ kg/m}^3$

จากสมการที่ 1.4 เมื่อเอาค่าความโน้มถ่วงของโลก (g) คูณทั้งเศษและส่วน จะได้ค่านิยามใหม่ของความถ่วงจำเพาะของสาร ดังนี้

$$S = \frac{\rho g}{\rho_w g}$$

จะได้

$$S = \frac{\gamma}{\gamma_w} \quad (1.5)$$

เมื่อ γ_w คือ น้ำหนักจำเพาะของน้ำ ที่อุณหภูมิ 4°C มีค่าเท่ากับ $9,810 \text{ N/m}^3$ และจากสมการที่ 1.4 และ 1.5 สามารถเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\rho = S\rho_w \quad (1.6)$$

$$\text{และ} \quad \gamma = S\gamma_w \quad (1.7)$$

ตัวอย่างที่ 1.8 น้ำมันก๊าซโซลีน ที่อุณหภูมิ 20°C มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.719 จงหา

(ก) น้ำหนักจำเพาะของก๊าซโซลีน (ข) ความหนาแน่นของก๊าซโซลีน

วิธีทำ

(ก) น้ำหนักจำเพาะของก๊าซโซลีน จากสมการที่ 1.7

$$\gamma = S\gamma_w$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} \gamma &= 0.719 \times 9,810 \text{ N/m}^3 \\ &= 7,053.39 \text{ N/m}^3 \\ &= 7.05 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

\therefore น้ำหนักจำเพาะของก๊าซโซลีน เท่ากับ 7.05 kN/m^3 ตอบ

(ข) ความหนาแน่นของก๊าซโซลีน จากสมการที่ 1.6

$$\rho = S\rho_w$$

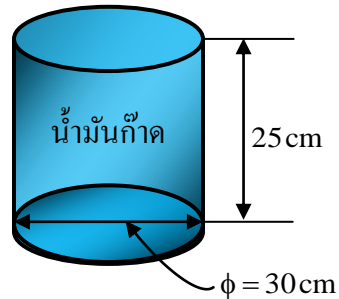
แทนค่า

$$\begin{aligned} \rho &= 0.719 \times 1,000 \text{ kg/m}^3 \\ &= 719 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

\therefore น้ำหนักจำเพาะของก๊าซโซลีน เท่ากับ 719 kg/m^3 ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.9 ถังใบหนึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30cm บรรจุน้ำมันก๊าดที่อุณหภูมิ 20 °C มีความหนาแน่นเท่ากับ 819kg/m³ เต็มถึงพอดี จงคำนวณหา

- (ก) ปริมาตรของน้ำมันก๊าด
- (ข) มวลของน้ำมันก๊าด
- (ค) น้ำหนักจำเพาะของน้ำมันก๊าด



วิธีทำ

- (ก) ปริมาตรของน้ำมันก๊าด

จาก $V = Ah$
 $= \frac{\pi}{4} d^2 \cdot h$
 แทนค่า $V = \frac{\pi}{4} (0.30\text{m})^2 \times 0.25\text{m}$
 $= 0.018\text{m}^3$

∴ ปริมาตรของน้ำมันก๊าดเท่ากับ 0.018m³ **ตอบ**

- (ข) มวลของน้ำมันก๊าด จากสมการที่ 1.1

จาก $\rho = \frac{m}{V}$
 $m = \rho V$
 แทนค่า $m = 819\text{kg/m}^3 \times 0.018\text{m}^3$
 $= 14.74\text{kg}$

∴ มวลของน้ำมันก๊าดเท่ากับ 14.74kg **ตอบ**

- (ค) น้ำหนักจำเพาะของน้ำมันก๊าด จากสมการที่ 1.3

จาก $\gamma = \rho g$
 แทนค่า $\gamma = 819\text{kg/m}^3 \times 9.81\text{m/s}^2$
 $= 8,034.39\text{N/m}^3$

∴ น้ำหนักจำเพาะของน้ำมันก๊าด 8,034.39N/m³ **ตอบ**

1.5 สมการสถานะของก๊าซอุดมคติ (The Ideal-Gas Equation of State)

ก๊าซ หมายถึง สสารที่อยู่ในสถานะไอเมื่ออุณหภูมิของก๊าซนั้นอยู่เหนืออุณหภูมิจุดวิกฤติ ในการหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพของก๊าซไม่อาจทดลองวัดค่าต่าง ๆ ได้เหมือนของเหลว ดังนั้นจึงมัก ต้องใช้การคำนวณประกอบกันไป ตัวอย่างของก๊าซอุดมคติได้แก่ อากาศ ออกซิเจน ไนโตรเจน ฯลฯ

สมการที่บอกความสัมพันธ์ระหว่างความดัน อุณหภูมิและปริมาตรของสสารมีชื่อเรียกว่า สมการสถานะ (Equation of State) สมการดังกล่าวสามารถมีได้หลายสมการ แต่สมการที่ง่ายและใช้มากที่สุดได้แก่สมการสถานะสำหรับก๊าซอุดมคติ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$PV = mRT \quad (1.10)$$

หรือ
$$P = \rho RT \quad (\text{N/m}^2) \quad (1.11)$$

เมื่อ R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ (Gas constant) ซึ่งก๊าซแต่ละชนิดจะมีค่าแตกต่างกัน

$$\text{สำหรับอากาศ } R = 0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของก๊าซ มีหน่วยเป็น เคลวิน (K)

โดยที่
$$T(\text{K}) = T^\circ\text{C} + 273$$

ตัวอย่างที่ 1.10 ห้องขนาดความจุ 288 m^3 โดยอากาศในห้องนี้มีมวลเท่ากับ 340 kg และอุณหภูมิ 27°C จงหาความดันและความหนาแน่นของอากาศภายในห้อง

วิธีทำ จากสมการที่ 1.10

$$\begin{aligned} PV &= mRT \\ P &= \frac{mRT}{V} \\ &= \frac{(340 \text{ kg})(0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(300 \text{ K})}{288 \text{ m}^3} \\ &= 101.65 \text{ kPa} \end{aligned}$$

\therefore ความดันของอากาศภายในห้องเท่ากับ 101.65 kPa ตอบ

และจาก
$$\begin{aligned} P &= \rho RT \\ \rho &= \frac{P}{RT} \\ &= \frac{101.65 \text{ kPa}}{(0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(300 \text{ K})} \\ &= 1.18 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

\therefore ความหนาแน่นของอากาศภายในห้องเท่ากับ 1.18 kg/m^3 ตอบ

1.6 ความสามารถอัดตัวได้ (Compressibility)

ของเหลวจัดเป็นของไหลที่ยุบตัวไม่ได้ แต่ภายใต้สภาวะที่ความดันกระทำต่อของเหลว และเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดหรือเปลี่ยนแปลงอย่างมาก ปริมาตรของของเหลวจะเปลี่ยนแปลงไปและส่งผลให้ความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงนี้เรียกว่าความสามารถในการอัดตัวได้ของของเหลว ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของของเหลวแต่ละชนิด

ความสามารถอัดตัวได้ของของเหลว จะอยู่ในรูปของค่าบัพคัล โมดูลัส (Bulk Modulus) ใช้สัญลักษณ์ “K” ค่า Bulk Modulus จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไป ต่อปริมาตรเดิมของของเหลว สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Bulk Modulus} = \frac{\text{ความดันที่เปลี่ยนแปลง}}{(\text{ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลง/ปริมาตรเดิม})}$$

$$K = -\frac{dP}{dV/V} = -V \frac{dP}{dV} \quad (\text{N/m}^2) \quad (1.12)$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของของไหล มีหน่วยเป็น m^3
 dP คือ ความดันของของไหลที่เปลี่ยนแปลง มีหน่วยเป็น N
 dV คือ ปริมาตรของของไหลที่เปลี่ยนแปลง มีหน่วยเป็น m^3

ตารางที่ 1.4 คุณสมบัติของน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ

Temp (°C)	Density ρ ; (kg/m ³)	Specific weight γ ; (N/m ³)	Specific Gravity 4°C reference	Dynamic Viscosity μ ; (x10 ⁻³ N-s/m ²)	Kinematic Viscosity ν ; (x10 ⁻⁶ m ² /s)	Surface Tension σ ; (x10 ⁻² N/m)	Vapor Pressure P_v ; (m)	Bulk Modulus k ; (x10 ⁷ N/m ²)
0 (liquid)	999.9	9805	0.999	1.792	1.792	7.62	0.06	204
10	999.7	9803	0.999	1.308	1.308	7.48	0.12	211
20	998.2	9789	0.998	1.005	1.007	7.36	0.25	220
25	997.1	9779	0.997	0.894	0.897	7.26	0.33	222
30	995.7	9767	0.996	0.801	0.804	7.18	0.44	223
40	992.2	9737	0.993	0.656	0.661	7.01	0.76	227
50	988.1	9697	0.988	0.549	0.556	6.82	1.26	230
60	983.2	9658	0.985	0.469	0.477	6.68	2.03	228
70	977.8	9600	0.979	0.406	0.415	6.50	3.20	225
80	971.8	9557	0.974	0.357	0.367	6.30	4.86	221
90	965.3	9499	0.968	0.317	0.328	6.12	7.18	216
100	958.4	9438	0.962	0.284	0.296	5.94	10.33	207

ตัวอย่างที่ 1.11 ของเหลวชนิดหนึ่งมีปริมาตร 0.125m^3 ความดัน 1.5MPa ถูกกดอัดจนมีปริมาตรลดลงเหลือ 0.120m^3 และความดันเพิ่มขึ้นเป็น 2MPa จงคำนวณหาค่า Bulk Modulus

วิธีทำ จากสมการที่ (1.12)

$$K = -V \frac{dP}{dV}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad K &= -(0.125\text{m}^3) \left(\frac{(2-1.5)\text{MPa}}{(0.120-0.125)\text{m}^3} \right) \\ &= 12.5\text{MPa} \end{aligned}$$

\therefore Bulk Modulus เท่ากับ 12.5MPa

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.8 น้ำที่อุณหภูมิ 27°C มีปริมาตร 1m^3 มีค่า Bulk Modulus เท่ากับ 2.24GPa ถ้าความดันเพิ่มขึ้นเป็น 2MPa ปริมาตรของน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปเท่าใด

วิธีทำ จากสมการที่ (1.12)

$$\text{จาก} \quad K = -V \frac{dP}{dV}$$

$$dV = -\frac{VdP}{K}$$

$$\text{แทนค่า} \quad dV = -\frac{(1\text{m}^3)(2)\text{MPa}}{2.24 \times 10^3\text{MPa}}$$

$$dV = -0.00089\text{m}^3$$

\therefore ปริมาตรของน้ำเปลี่ยนแปลงไปเท่ากับ -0.00089m^3

ตอบ

1.7 ความหนืด (viscosity)

ความหนืดของของไหล คือ ค่าความต้านการเฉือนหรือการต้านต่อการเสียรูปเชิงมุม ซึ่งเกิดจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในของของไหลที่กำลังไหลอันเนื่องมาจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลและการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมระหว่างโมเลกุลของของไหล

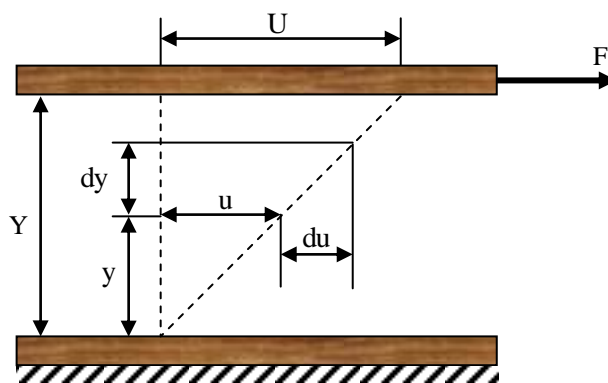
พิจารณาแผ่นราบ (Plate) สองแผ่นวางขนานกัน ดังรูปที่ 1.2 โดยแผ่นราบมีขนาดใหญ่มากจนไม่ต้องคำนึงถึงความหนาของขอบ แผ่นราบทั้งสองวางห่างกันเป็นระยะ Y ระหว่างแผ่นราบทั้งสองมีของไหลบรรจุอยู่ แผ่นราบด้านล่างอยู่กับที่ส่วนแผ่นราบด้านบนมีพื้นที่ผิว A และเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว U เนื่องจากแรง F ในแนวราบ

เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของแผ่นราบและของของไหล ทำให้ของไหลที่ติดอยู่กับแผ่นราบเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว U ด้วย และเนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลในแต่ละชั้นของของไหลเอง ทำให้ของไหลชั้นล่างเคลื่อนที่ด้วย ส่วนของไหลที่เกาะติดอยู่กับแผ่นราบล่างจะอยู่นิ่ง ความเร็วของของไหลจึงเป็นศูนย์ จากการทดลองเมื่อออกแรงดึงพบว่าแรงดึงจะแปรผันตรงกับพื้นที่ผิวและความเร็วและจะแปรผกผันกับระยะห่างระหว่างแผ่นราบทั้งสอง จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$F \propto \frac{AU}{Y}$$

หรือ

$$\frac{F}{A} \propto \frac{U}{Y}$$



รูปที่ 1.2 การเปลี่ยนแปลงความเร็วของของไหล

จากสามเหลี่ยมคล้ายในรูปที่ 1.2 จะเห็นว่า U/Y สามารถแทนได้ด้วย du/dy
 ถ้ากำหนดให้ความเค้นเฉือน $\tau = \frac{F}{A}$ และให้ μ (mu) เป็นค่าคงที่ของสัดส่วน จะได้ว่า

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{U}{Y} \quad (1.13)$$

สมการที่ (1.13) เรียกว่า สมการความหนืดของนิวตัน (Newton's Equation of Viscosity) ค่าคงที่ของสัดส่วน μ มีชื่อเรียกว่า สัมประสิทธิ์ความหนืด (Coefficient of Viscosity) หรือความหนืดพลวัต (Dynamic Viscosity) หรือความหนืดสัมบูรณ์ (Absolute Viscosity) หรือเรียกอย่างง่าย ๆ ว่า ความหนืด (Viscosity) ของของไหล

สำหรับของไหลที่มีพฤติกรรมเป็นไปตามสมการความหนืดของนิวตันหรือของไหลที่มีความหนืดคงที่เมื่อไม่ว่า du/dy จะเปลี่ยนแปลงไปเท่าไร ของไหลชนิดนั้นเรียกว่า ของไหลนิวโทเนียน (Newtonian Fluid) ส่วนของไหลที่มีพฤติกรรมไม่เป็นไปตามสมการความหนืดของนิวตันหรือของไหลที่มีความหนืดไม่คงที่เมื่อ du/dy เปลี่ยนแปลงไปนั้น เราจะเรียกของไหลชนิดนั้นว่า ของไหลนอนนิวโทเนียน (Non-Newtonian Fluid)

หน่วยของความหนืดสัมบูรณ์ หาได้โดยการพิจารณาจากสมการ 1.13 ซึ่งพบว่าเป็นหน่วยของความเค้นเฉือนหารด้วยหน่วยของ du/dy นั่นคือ

$$\mu = \frac{N/m^2}{m/s} = \frac{N \cdot s}{m^2} = Pa \cdot s$$

ปัญหาเกี่ยวกับความหนืดนี้ ยังมีความหนืดอีกชนิดหนึ่งกล่าวคือ หากมีการนำเอาความหนืดสัมบูรณ์ของของไหลหารด้วยความหนาแน่นของของไหล ค่าที่ได้นี้เรียกว่า ความหนืดคิเนมาติก (Kinematics Viscosity) ใช้สัญลักษณ์ ν เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (m^2/s) \quad (1.14)$$

ตัวอย่างที่ 1.9 แผ่นราบแผ่นหนึ่งวางห่างจากแผ่นราบที่อยู่กับที่เป็นระยะ 0.25 mm และเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 0.5 m/s ภายใต้การกระทำของแรงเฉือน $3 N/m^2$ จากการเคลื่อนที่ จงหาค่าความหนืดของน้ำมันที่อยู่ระหว่างแผ่นราบทั้งสอง

วิธีทำ จากสมการที่ (1.13)

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

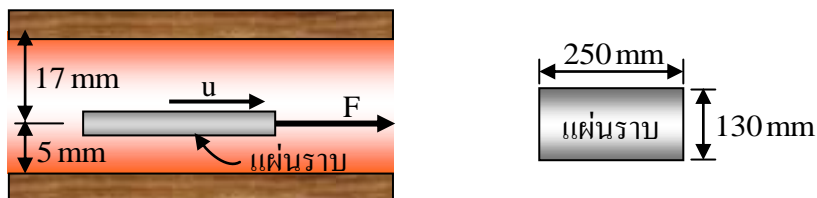
$$\mu = \frac{\tau dy}{du}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{(3 \text{ N/m}^2)(0.25 \times 10^{-3} \text{ m})}{0.5 \text{ m/s}} \\
&= 1.5 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s/m}^2 \\
&= 1.5 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}
\end{aligned}$$

∴ ความหนืดของน้ำมันเท่ากับ $1.5 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$

ตอบ

ตัวอย่าง 1.10 แผ่นราบเคลื่อนที่อยู่ในรางที่บรรจุของไหลที่มีค่าความหนืด $0.7 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ดังรูป จงหาขนาดของแรงดึงที่ทำให้แผ่นราบเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 150 mm/s



วิธีทำ แรงที่ของไหลกระทำต่อแผ่นราบมี 2 แรง คือ แรงที่กระทำด้านบน (F_1) และแรงที่กระทำด้านล่าง (F_2) ของแผ่นราบ ดังนั้น

$$F = F_1 + F_2$$

จากสมการที่ (1.13)

$$\begin{aligned}
F_1 &= A\tau_1 \\
&= A\mu \frac{du}{dy_1} \\
&= (0.13 \text{ m} \times 0.25 \text{ m})(0.7 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2) \left(\frac{0.15 \text{ m/s}}{0.017 \text{ m}} \right)
\end{aligned}$$

ได้ $F_1 = 0.021 \text{ N}$

และ

$$\begin{aligned}
F_2 &= A\tau_2 \\
&= A\mu \frac{du}{dy_2} \\
&= (0.13 \text{ m} \times 0.25 \text{ m})(0.7 \text{ N} \cdot \text{s/m}^2) \left(\frac{0.15 \text{ m/s}}{0.005 \text{ m}} \right)
\end{aligned}$$

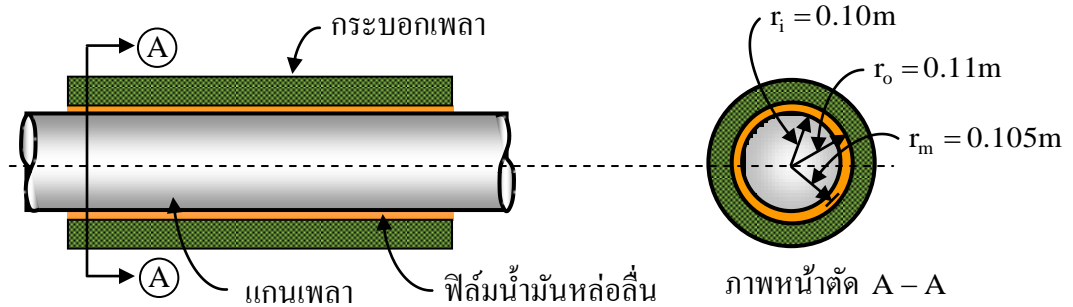
ได้ $F_2 = 0.683 \text{ N}$

ดังนั้น $F = 0.021 \text{ N} + 0.683 \text{ N} = 0.704 \text{ N}$

∴ แรงดึงแผ่นราบเท่ากับ 0.704 N

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.11 ทรงกระบอกตันรัศมี 0.10m หมุนอยู่ในทรงกระบอกกลางอันหนึ่งซึ่งยึดอยู่กับที่และมีรัศมีภายในเท่ากับ 0.11m ทรงกระบอกทั้งสองยาว 0.4 m ถ้าต้องใช้แรงบิด 1.20 N·m ในการหมุนทรงกระบอกตันให้มีความเร็วเชิงมุม 3π rad/s (สมมติให้การกระจายตัวของความเร็วมีลักษณะเป็นเส้นตรง) กำหนดให้ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเท่ากับ 0.89 จงคำนวณหา (ก) ค่าความหนืดสัมบูรณ์ (ข) ความหนืดคินเนมาติก (ค) กำลังที่ต้องการหมุนเพล



วิธีทำ (ก) หาค่าความหนืดสัมบูรณ์ของน้ำมัน

แรงบิดที่เพลาทรงกระบอกตันจะถ่ายเทผ่านชั้นของของไหลไปสู่ทรงกระบอกกลาง คือ

$$T = Fr_m$$

และจากสมการที่ (1.13)

$$F = \mu \frac{U}{Y} A$$

ดังนั้น
$$T = \mu \frac{U}{Y} A r_m$$

$$U = r_i \omega = (0.10\text{m})(3\pi \text{ rad/s}) = 0.942\text{m/s}$$

$$\frac{U}{Y} = \frac{0.942\text{m/s}}{(0.11-0.10)\text{m}} = 94.25\text{s}^{-1}$$

$$r_m = \frac{r_o + r_i}{2} = \frac{0.11\text{m} + 0.10\text{m}}{2} = 0.105\text{m}$$

แทนค่า $1.20\text{ N}\cdot\text{m} = \mu(94.25\text{s}^{-1})(0.26\text{m}^2)(0.105\text{m})$

ทำให้สำเร็จได้ $\mu = 0.466\text{ N}\cdot\text{s/m}^2$

\therefore ความหนืดสัมบูรณ์ของน้ำมันเท่ากับ $0.466\text{ N}\cdot\text{s/m}^2$

ตอบ

(ข) หาค่าความหนืดคินเนมาติกของน้ำมัน จากสมการ (1.14)

$$v = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0.466\text{ N}\cdot\text{s/m}^2}{(0.89)(1,000\text{ kg/m}^3)}$$

$$v = 5.24 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

\therefore ความหนืดคินเนมาติกของน้ำมัน เท่ากับ $5.24 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$

ตอบ

(ค) กำลังที่ต้องการหมุนเพลลา

$$\begin{aligned} \text{จาก } P &= \omega T = 3\pi \text{ rad/s} \times 1.20 \text{ N} \cdot \text{m} \\ &= 11.31 \text{ Watt} \end{aligned}$$

∴ กำลังที่ต้องการหมุนเพลลาเท่ากับ 11.31 Watt

ตอบ

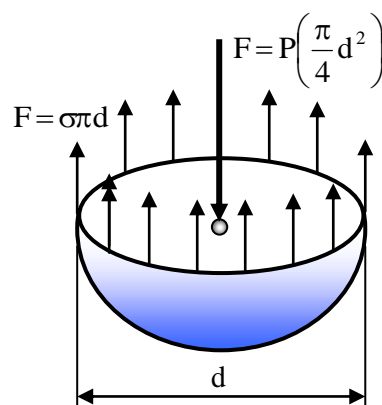
1.8 ความตึงผิว (Surface Tension)

ความตึงผิว คือ ความสามารถที่ของเหลวสามารถต้านแรงดึงหรือความเค้นดึง (Tensile Stress) และความสามารถเกาะติดผิวภาชนะ อันเนื่องมาจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลว ซึ่งมี 2 แรง คือ แรงยึดติด (Adhesive Force) คือ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของสสารต่างชนิดกัน เช่น แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำกับผนังภาชนะ เป็นต้น และแรงเชื่อมแน่น (Cohesive Force) คือแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของสสารชนิดเดียวกัน เช่น แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยกัน เป็นต้น ความตึงผิวจะเกิดกับของไหลที่อยู่ในสถานะของเหลวนั้น โดยมีคุณสมบัติคือ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นความตึงผิวจะลดลงและความตึงผิวมีค่าคงที่ขึ้นอยู่กับชนิดของของเหลวและจะมีค่าเปลี่ยนไปเมื่อของของเหลวนั้นมีสารอื่นเจือปน

ความตึงผิวเป็นแรงตึงผิวต่อความยาวเส้นขอบผิวอิสระ จึงมีหน่วยเป็น แรงต่อ ความยาว เช่น N/m ใช้สัญลักษณ์ " σ " ความตึงผิวมีความสำคัญในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการเกิดหยดและการเกิดฟองของของเหลว

1.9.1 ความตึงผิวในหยดของของเหลว

พิจารณาหยดของเหลวเล็ก ๆ เส้นผ่านศูนย์กลาง d ความดัน P ภายในหยดของของเหลว ดังรูปที่ 1.3 แรงเนื่องจากความตึงผิวสมดุลกับแรงเนื่องจากความดัน



รูปที่ 1.3 การสมดุลของแรงในหยดของของเหลว

จากการสมดุลของแรงในแนวตั้ง

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ \sigma \pi d &= P \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \\ \sigma &= P \left(\frac{d}{4} \right) \quad (\text{N/m}) \quad (1.15)\end{aligned}$$

เมื่อ P คือ ความดันในหยดของเหลว มีหน่วยเป็น (N/m^2)

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของหยดของเหลว มีหน่วยเป็น m

ตัวอย่างที่ 1.12 จงหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำที่อุณหภูมิ 20°C โดยที่ความดันภายในหยดน้ำสูงกว่าความดันบรรยากาศเท่ากับ 485 N/m^2

วิธีทำ จากตารางที่ 1.4 น้ำที่อุณหภูมิ 20°C มีค่า $\sigma = 0.0736 \text{ N/m}$

จากสมการที่ (1.15)

$$\begin{aligned}\sigma &= P \left(\frac{d}{4} \right) \\ d &= \frac{4\sigma}{P} \\ \text{แทนค่า} \quad d &= \frac{4(0.0736 \text{ N/m})}{485 \text{ N/m}^2} = 6.07 \times 10^{-4} \text{ m} \\ d &= 0.000607 \text{ m} = 0.607 \text{ mm}\end{aligned}$$

\therefore เส้นผ่านศูนย์กลางของหยดน้ำเท่ากับ 0.607 mm

ตอบ

1.9.2 คาпилลาริตี (Capillarity)

คาпилลาริตี คือ ปรากฏการณ์ที่ของเหลวซึ่งบรรจุอยู่ในหลอดคาпилลารี (Capillarity Tube) ยกตัวสูงขึ้น (Capillarity Rise) หรือลดต่ำลง (Capillarity Depression) กว่าระดับของของเหลวในภาชนะอื่นเนื่องมาจากความตึงผิวของของเหลว

พิจารณาของของเหลวในหลอดคาпилลารีอยู่ในสภาพสมดุลของแรงในแนวตั้ง แรงเนื่องจากความตึงผิวของของเหลวกับน้ำหนักของของเหลวในหลอดคาпилลารี จะได้ว่า

$$\begin{aligned}\text{แรงดึงขึ้นที่เนื่องจากความตึงผิว} &= \pi d (\sigma \cos \theta) \\ \text{น้ำหนักของของเหลวที่สูงขึ้น} &= \gamma \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) h\end{aligned}$$

จากการสมดุลของแรงในแนวตั้ง

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ \pi d(\sigma \cos \theta) &= \gamma \left(\frac{\pi}{4} d^2 \right) h \\ h &= \frac{4\sigma \cos \theta}{\gamma d} \quad (\text{m}) \end{aligned} \quad (1.16)$$

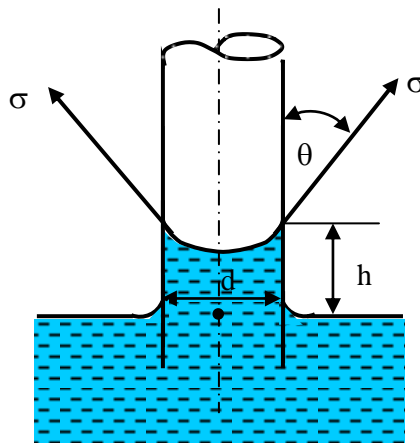
เมื่อ h คือ ระยะความสูงของของเหลวที่ปรากฏ มีหน่วยเป็น m

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดคาปิลารี มีหน่วยเป็น m

σ คือ ความตึงผิว มีหน่วยเป็น N/m

γ คือ น้ำหนักจำเพาะของของเหลว มีหน่วยเป็น N/m^3

θ คือ มุมที่ของเหลวสัมผัสกับหลอดคาปิลารี



รูปที่ 1.4 การเกิดคาปิลารีตีในของของเหลว

ข้อควรทราบ

1. พิจารณาค่า h จากสมการที่ (1.16)

ถ้ามุม $\theta < 90^\circ$ ของเหลวจะเปียกหลอดคาปิลารี และของเหลวในหลอดคาปิลารีจะมีระดับสูงกว่าของเหลวด้านนอก เช่น น้ำ เนื่องจากน้ำมีแรงยึดติดมากกว่าแรงเชื่อมแน่น

ถ้ามุม $\theta > 90^\circ$ ของเหลวจะเปียกหลอดคาปิลารี และของเหลวในหลอดคาปิลารี จะมีระดับต่ำกว่าของเหลวด้านนอก เช่น ปรอท เนื่องจากปรอทมีแรงเชื่อมแน่นมากกว่าแรงยึดติด

2. ถ้าหลอดคาปิลารีเป็นหลอดที่สะอาด เมื่อของเหลวเป็นน้ำ $\theta = 0^\circ$ และเมื่อของเหลวเป็นปรอท $\theta = 140^\circ$

ตัวอย่างที่ 1.13 น้ำมีอุณหภูมิ 20°C บรรจุอยู่ในหลอดคาปิลารีที่สะอาดและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm จงหาระดับความสูงของน้ำในหลอดคาปิลารี

วิธีทำ เมื่อหลอดคาปิลารีสะอาดและบรรจุน้ำ $\theta = 0^{\circ}$ จากตารางที่ 1.4 ได้ค่า $\sigma = 0.0736\text{ N/m}$ และค่า $\gamma = 9,789\text{ N/m}^3$

จากสมการที่ 1.16

$$h = \frac{4\sigma \cos \theta}{\gamma d}$$

แทนค่า $h = \frac{4(0.0736\text{ N/m})(\cos 0^{\circ})}{(9,789\text{ N/m}^3)(1 \times 10^{-3}\text{ m})}$

$$h = 0.03\text{ m} = 30\text{ mm}$$

\therefore ระดับความสูงของน้ำในหลอดคาปิลารี เท่ากับ 30 mm

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.14 หลอดคาปิลารีสะอาด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm จงหา (ก) Capillarity Rise เมื่อภายในหลอดคาปิลารีบรรจุน้ำ มีค่าความตึงผิวเท่ากับ 0.0728 N/m (ข) Capillarity Depression เมื่อภายในหลอดคาปิลารีบรรจุปรอท มีค่าความตึงผิวเท่ากับ 0.4640 N/m

วิธีทำ (ก) เมื่อหลอดคาปิลารีสะอาดและบรรจุน้ำ $\theta = 0^{\circ}$ จากสมการที่ (1.16)

$$h = \frac{4\sigma \cos \theta}{\gamma d}$$

แทนค่า $h = \frac{4(0.0728\text{ N/m})(\cos 0^{\circ})}{(9810\text{ N/m}^3)(1 \times 10^{-3}\text{ m})}$

$$h = 29.68 \times 10^{-3}\text{ m} = 29.68\text{ mm}$$

\therefore Capillarity Rise เท่ากับ 29.68 mm

ตอบ

(ข) เมื่อหลอดคาปิลารีสะอาดและบรรจุปรอท $\theta = 140^{\circ}$ จากสมการที่ (1.11)

$$h = \frac{4\sigma \cos \theta}{\gamma d}$$

แทนค่า $h = \frac{4(0.4640\text{ N/m})(\cos 140^{\circ})}{(13.6 \times 9810\text{ N/m}^3)(1 \times 10^{-3}\text{ m})}$

$$h = -10.66 \times 10^{-3}\text{ m} = -10.66\text{ mm}$$

\therefore Capillarity Depression เท่ากับ -10.66 mm

ตอบ

1.10 ความดันไอ (Vapor Pressure)

ของเหลวเมื่อได้รับความร้อนจะเดือดและกลายเป็นไอ โมเลกุลของเหลวที่กลายเป็นไอจะเคลื่อนที่ออกจากผิวอิสระของของเหลว ถ้าของเหลวอยู่ในภาชนะปิดจะมีผลทำให้ความดันเหนือผิวของของเหลวสูงขึ้นเรียกว่า ความดันไอ เมื่อผ่านไประยะเวลาหนึ่งจำนวนโมเลกุลของไอจะกลับตัวกลับมาเป็นของเหลวซึ่งจะเท่ากับจำนวนโมเลกุลของของเหลวที่กลายเป็นไอภายใต้สภาวะการสมดุลนี้ความดันไอของของเหลวเรียกว่าความดันอิ่มตัว (Saturation Pressure)

ตารางที่ 1.5 ค่าความดันไออิ่มตัวของของเหลวที่อุณหภูมิ 20° C

ของเหลว	ความดันไอ (Pa, abs.)
น้ำ	2,340
น้ำมันก๊าด	3,200
น้ำมันเบนซิน	55,000
ปรอท	0.17

แบบฝึกหัดหน่วยที่ 1.1

1. ของไหล หมายถึง
.....
2. ของไหลคงรูปอยู่ได้ในสถานะ คือ
 - 2.1
 - 2.2
 - 2.3
3. มิติ หมายถึง
4. จงแสดงวิธีหามิติของแรง
.....
.....
.....
5. จากเลขสิบยกกำลังที่กำหนดให้ จงแทนด้วยสัญลักษณ์
 - 5.1 10^9 สัญลักษณ์ คือ
 - 5.2 10^3 สัญลักษณ์ คือ
 - 5.3 10^6 สัญลักษณ์ คือ
 - 5.4 10^{-3} สัญลักษณ์ คือ
 - 5.5 10^{-6} สัญลักษณ์ คือ
6. จากสัญลักษณ์ที่กำหนดให้ จงแทนด้วยเลขสิบยกกำลัง
 - 6.1 G เลขสิบยกกำลัง คือ
 - 6.2 μ เลขสิบยกกำลัง คือ
 - 6.3 M เลขสิบยกกำลัง คือ
 - 6.4 c เลขสิบยกกำลัง คือ
 - 6.5 k เลขสิบยกกำลัง คือ

7. จงแสดงวิธีหาหน่วยของความดัน เมื่อความดัน $P = \frac{F}{A}$

.....
.....
.....
.....

8. จงเปลี่ยนหน่วยโดยการแทนค่าอุปสรรคที่นำหน้าหน่วย

ก. 25 cm = m

ข. 35 kPa = Pa

ค. 500 g = kg

ง. 3,500 N = kN

จ. 150 mm = m

9. วัตถุมวล 25 kg ตกสู่พื้นอย่างอิสระด้วยค่าความโน้มถ่วงของโลกจงหาน้ำหนักของวัตถุ

.....
.....
.....
.....

10. วัตถุมวล 25 kg กำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร่ง 22 m/s^2 จงหาแรงที่กระทำกับวัตถุ

.....
.....
.....
.....

11. ลูกธนูมีมวล 20 kg ถูกยิงด้วยแรง 500 N จงหาอัตราเร่งของลูกธนู

.....
.....
.....
.....

แบบฝึกหัดหน่วยที่ 1.2

1. ความหนาแน่น หมายถึง
2. ปริมาตรจำเพาะ หมายถึง
3. น้ำหนักจำเพาะ หมายถึง
4. ความถ่วงจำเพาะ หมายถึง
5. ถังใบหนึ่งบรรจุน้ำมีมวล 350kg จงหาน้ำหนักของน้ำในถังใบนี้

.....

.....

.....

6. หินก้อนหนึ่งมีปริมาตร 0.015m^3 และความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.60 จงหาน้ำหนักของก้อนหิน

.....

.....

.....

7. น้ำหนักจำเพาะของสารชนิดหนึ่งมีค่าเท่ากับ 850N/m^3 ความหนาแน่นของสารชนิดนี้มีค่าเท่าไร

.....

.....

.....

8. แอมโมเนีย ที่อุณหภูมิ 20°C มีปริมาตร 0.015m^3 และความถ่วงจำเพาะ 0.829 จงหาน้ำหนักของแอมโมเนีย

.....

.....

.....

10. ความยืดหยุ่น หมายถึง

11. ค่าความยืดหยุ่นของของไหลจะอยู่ในรูปของค่าอะไร

12. ค่า บัคค์ โมดูลัส จะ เป็นความสัมพันธ์อยู่ระหว่างค่าของอะไรบ้าง

13. จงเขียนสูตรการหาค่า บัคค์ โมดูลัส

14. น้ำมันไฮดรอลิกส์บรรจุอยู่ในกระบอกสูบที่มีปริมาตร 0.25 m^3 ถูกกดอัดด้วยลูกสูบทำให้ความดันเพิ่มขึ้น 50 kPa และปริมาตรลดลง 0.05 m^3 จงหาค่า บัคค์ โมดูลัส

15. น้ำถูกกดอัดในถังทรงกระบอกที่มีปริมาตร 0.1 m^3 ความดัน 100 kPa ทำให้ปริมาตรลดลงเหลือ 0.065 m^3 จงหาค่า บัคค์ โมดูลัส

16. จงหาความดันที่ต้องเพิ่มให้กับน้ำ เมื่อน้ำถูกกดอัดจนปริมาตรเปลี่ยนไป 0.6% โดยค่าบัคค์ โมดูลัส ของน้ำเท่ากับ $2.2 \times 10^6 \text{ kPa}$

เฉลยแบบฝึกหัดหน่วยที่ 1.1

1. ของไหล หมายถึง สสารที่สามารถไหลได้และเปลี่ยนรูปร่างได้อย่างต่อเนื่องตามลักษณะภาชนะที่บรรจุ

2. ของไหลคงรูปอยู่ได้ใน 2 สถานะ คือ

2.1 ของเหลว 2.2 ก๊าซ

3. มิติน หมายถึง สิ่งบอกลักษณะทางกายภาพของตัวแปรหนึ่ง ๆ ซึ่งสามารถระบุได้ในเชิงปริมาณ เช่น มวล ความยาว แรง เป็นต้น

4. จงแสดงวิธีหามิติของแรง

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad F &= ma \\ &= M \frac{L}{T^2} \end{aligned}$$

∴ มิติของแรง คือ MLT^{-2}

ตอบ

5. จากเลขสิบยกกำลังที่กำหนดให้ จงแทนด้วยสัญลักษณ์

5.1 10^9 สัญลักษณ์ คือ G

5.2 10^3 สัญลักษณ์ คือ k

5.3 10^6 สัญลักษณ์ คือ M

5.4 10^{-3} สัญลักษณ์ คือ m

5.5 10^{-6} สัญลักษณ์ คือ μ

6. จากสัญลักษณ์ที่กำหนดให้ จงแทนด้วยเลขสิบยกกำลัง

6.1 G เลขสิบยกกำลัง คือ 10^9

6.2 μ เลขสิบยกกำลัง คือ 10^{-6}

6.3 M เลขสิบยกกำลัง คือ 10^6

6.4 c เลขสิบยกกำลัง คือ 10^{-2}

6.5 k เลขสิบยกกำลัง คือ 10^3

7. จงแสดงวิธีหาหน่วยของความดัน เมื่อความดัน $P = \frac{F}{A}$

$$\text{จาก} \quad P = \frac{F}{A} = \frac{N}{m^2}$$

\therefore หน่วยของความดัน คือ N/m^2

ตอบ

8. จงเปลี่ยนหน่วยโดยการแทนค่าคำอุปสรรคที่นำหน้าหน่วย

ก. $2.5 \text{ km} = 2.5 \times 10^3 \text{ m}$

ข. $35 \text{ kPa} = 35 \times 10^3 \text{ Pa}$

ค. $500 \text{ g} = 500 \times 10^{-3} \text{ kg}$

ง. $3,500 \text{ N} = 3,500 \times 10^{-3} \text{ kN}$

จ. $150 \text{ mm} = 150 \times 10^{-3} \text{ m}$

9. วัตถุมวล 25 kg ตกสู่พื้นอย่างอิสระด้วยค่าความโน้มถ่วงของโลกจงหาน้ำหนักของวัตถุ

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad W &= mg \\ &= 25 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \\ &= 245.25 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 \end{aligned}$$

$$\therefore W = 245.25 \text{ N}$$

ตอบ

10. วัตถุมวล 25 kg กำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร่ง 22 m/s^2 จงหาแรงที่กระทำกับวัตถุ

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad F &= ma \\ &= 25 \text{ kg} \times 22 \text{ m/s}^2 \\ &= 550 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 \end{aligned}$$

$$\therefore F = 550 \text{ N}$$

ตอบ

11. ลูกธนูมีมวล 20 kg ถูกยิงด้วยแรง 500 N จงหาอัตราเร่งของลูกธนู

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad F &= ma \\ a &= \frac{F}{m} \\ &= \frac{500 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2}{20 \text{ kg}} \end{aligned}$$

$$\therefore a = 25 \text{ m/s}^2$$

ตอบ

เฉลยแบบฝึกหัดหน่วยที่ 1.2

1. ความหนาแน่น หมายถึง มวลของของไหลต่อหน่วยปริมาตร
2. ปริมาตรจำเพาะ หมายถึง ปริมาตรของของไหลต่อมวลหนึ่งหน่วย
3. น้ำหนักจำเพาะ หมายถึง น้ำหนักของของไหลที่เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่มีปริมาตรหนึ่งหน่วย
4. ความถ่วงจำเพาะ หมายถึง อัตราส่วนของความหนาแน่นของของไหลต่อความหนาแน่นของของไหลมาตรฐาน

5. ถังใบหนึ่งบรรจุน้ำมีมวล 350kg จงหาน้ำหนักของน้ำในถังใบนี้

$$\begin{aligned}\text{จาก} \quad W &= mg \\ &= 350\text{kg} \times 9.81\text{m/s}^2 \\ &= 3,433.50\text{kg} \cdot \text{m/s}^2 \\ \therefore W &= 3,433.50\text{N} \qquad \text{ตอบ}\end{aligned}$$

6. หินก้อนหนึ่งมีปริมาตร 0.015m^3 และความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.60 จงหาน้ำหนักของก้อนหิน

$$\begin{aligned}\text{จาก} \quad W &= mg \\ m &= \rho V = (\rho_s)(\rho_{\text{H}_2\text{O}})(V) \\ &= (2.60)(1,000\text{kg/m}^3)(0.015\text{m}^3) \\ &= 39\text{kg} \\ \text{แทนค่า} \quad W &= 39\text{kg} \times 9.81\text{m/s}^2 \\ &= 382.59\text{N} \\ \therefore W &= 382.59\text{N} \qquad \text{ตอบ}\end{aligned}$$

7. น้ำหนักจำเพาะของสารชนิดหนึ่งมีค่าเท่ากับ 850N/m^3 ความหนาแน่นของสารชนิดนี้มีค่าเท่าไร

$$\begin{aligned}\text{จาก} \quad \gamma &= \rho g \\ \rho &= \frac{\gamma}{g} \\ &= \frac{850\text{N/m}^3}{9.81\text{m/s}^2} \\ \therefore \rho &= 86.65\text{kg/m}^3 \qquad \text{ตอบ}\end{aligned}$$

8. แอมโมเนีย ที่อุณหภูมิ 20 °C มีปริมาตร 0.015m³ และความถ่วงจำเพาะ 0.829 จงหาน้ำหนักของแอมโมเนีย

$$\text{จาก} \quad W = \gamma V$$

$$= S\gamma_w V$$

$$\text{แทนค่า} \quad W = 0.829 \times 9,810 \text{N/m}^3 \times 0.015 \text{m}^3$$

$$= 121.99 \text{N}$$

$$\therefore W = 121.99 \text{N}$$

ตอบ

9. ถังใบหนึ่งบรรจุน้ำมันที่มีมวล 1,200kg และมีปริมาตร 1.41m³ จงหา

(ก) น้ำหนักของน้ำมัน (ข) ความหนาแน่นของน้ำมัน (ค) ปริมาตรจำเพาะของน้ำมัน

(ง) น้ำหนักจำเพาะของน้ำมัน (จ) ความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน

(ก) น้ำหนักของน้ำมัน

$$W = mg$$

$$= 1,200 \text{kg} \times 9.81 \text{m/s}^2$$

$$= 11,772 \text{N}$$

$$\therefore W = 121.99 \text{N}$$

ตอบ

(ข) ความหนาแน่นของน้ำมัน

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$= \frac{1,200 \text{kg}}{1.41 \text{m}^3}$$

$$= 851.06 \text{kg/m}^3$$

$$\therefore \rho = 851.06 \text{kg/m}^3$$

ตอบ

(ค) ปริมาตรจำเพาะของน้ำมัน

$$v = \frac{V}{m}$$

$$= \frac{1.41 \text{m}^3}{1,200 \text{kg}}$$

$$= 0.00166 \text{m}^3/\text{kg}$$

$$\therefore v = 0.00166 \text{m}^3/\text{kg}$$

ตอบ

(ง) น้ำหนักจำเพาะของน้ำมัน

$$\begin{aligned}\gamma &= \rho g \\ &= 851.06\text{kg/m}^3 \times 9.81\text{m/s}^2 \\ &= 8,348.90\text{N/m}^3 \\ \therefore \gamma &= 8,348.90\text{N/m}^3\end{aligned}$$

ตอบ

(จ) ความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน

$$\begin{aligned}S &= \frac{\rho}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} \\ &= \frac{851.06\text{kg/m}^3}{1,000\text{kg/m}^3} \\ &= 0.851 \\ \therefore S &= 0.851\end{aligned}$$

ตอบ

เฉลยแบบฝึกหัดหน่วยที่ 1.3

1. ก๊าซ หมายถึง สสารที่อยู่ในสถานะไอเมื่ออุณหภูมิของก๊าซนั้นอยู่เหนืออุณหภูมิจุดวิกฤติ
2. ลักษณะที่สำคัญของก๊าซ คือ มีอิสระในการเคลื่อนไหว โมเลกุลของก๊าซไม่มีปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน ไม่อยู่ภายใต้แรงดึงดูดระหว่างกันและการชนกันของโมเลกุลเป็นแบบยืดหยุ่น
3. จงยกตัวอย่างของก๊าซอุดมคติมา 4 ชนิด
 1. ออกซิเจน
 2. ไนโตรเจน
 3. คาร์บอนไดออกไซด์
 4. ฮีเลียม
4. สมการสถานะของก๊าซอุดมคติ เป็นสมการที่บอกความสัมพันธ์ของอะไรบ้าง
 1. ความดัน
 2. ปริมาตร
 3. อุณหภูมิ
5. จงเขียนสมการสถานะของก๊าซอุดมคติ
$$PV = nRT$$
6. ค่าคงที่ (R) ของอากาศ มีค่าเท่ากับ $0.287 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$
7. ภายใต้สภาวะใดที่การสมมติว่าก๊าซมีพฤติกรรมเป็นก๊าซอุดมคติเมื่ออุณหภูมิของก๊าซนั้นอยู่เหนืออุณหภูมิจุดวิกฤติ
8. อุณหภูมิปกติของร่างกายมนุษย์เท่ากับ 37°C ถ้ากล่าวในหน่วยเคลวิน จะได้เท่าใด

$$T(\text{K}) = T^\circ\text{C} + 273 = 37^\circ\text{C} + 273 = 310\text{K}$$

9. ห้องขนาด $3.5\text{ m} \times 3.5\text{ m} \times 4\text{ m}$ บรรจุอากาศที่มีความดัน 101.3 kPa และอุณหภูมิ 27°C จงหา

(ก) มวลของอากาศภายในห้อง (ข) ความหนาแน่นของอากาศภายในห้อง

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad PV &= mRT \\ m &= \frac{PV}{RT} = \frac{(101.3\text{ kPa})(3.5\text{ m} \times 3.5\text{ m} \times 4\text{ m})}{(0.287\text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(27 + 273\text{ K})} \\ \therefore m &= 57.65\text{ kg} \end{aligned}$$

(ข) ความหนาแน่นของอากาศภายในห้อง

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad P &= \rho RT \\ \rho &= \frac{P}{RT} = \frac{(101.3\text{ kPa})}{(0.287\text{ kJ/kg} \cdot \text{K})(300\text{ K})} \\ \therefore \rho &= 1.18\text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

10. ความยืดหยุ่น หมายถึง ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของของไหลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดัน

11. ค่าความยืดหยุ่นของของไหลจะอยู่ในรูปของค่า Bulk Modulus

12. ค่า บัคค์ โมดูลัส จะ เป็น ความสัมพันธ์อยู่ระหว่างค่าของอะไรบ้าง
ค่า บัคค์ โมดูลัส จะ เป็น ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปของของไหล

13. จงเขียนสูตรการหาค่า บัคค์ โมดูลัส

$$K = -\frac{dP}{dV/V} = -V \frac{dP}{dV}$$

14. น้ำมันไฮดรอลิกส์บรรจุอยู่ในกระบอกสูบที่มีปริมาตร 0.25 m^3 ถูกกดอัดด้วยลูกสูบทำให้ความดันเพิ่มขึ้น 50 kPa และปริมาตรลดลง 0.05 m^3 จงหาค่า บัคค์ โมดูลัส

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad K &= -\frac{dP}{dV/V} \\ &= -(0.25\text{ m}^3) \frac{50\text{ kPa}}{-0.05\text{ m}^3} \\ &= 250\text{ kPa} \\ \therefore K &= 250\text{ kPa} \end{aligned}$$

ตอบ

15. น้ำถูกกดอัดในถังทรงกระบอกที่มีปริมาตร 0.1m^3 ความดัน 100kPa ทำให้ปริมาตรลดลงเหลือ 0.065m^3 จงหาค่า บัคส์ โมดูลัส

$$\text{จาก} \quad K = -\frac{dP}{dV/V}$$

$$K = -(0.1\text{m}^3) \frac{100\text{kPa}}{-0.065\text{m}^3}$$

$$= 153.85\text{kPa}$$

$$\therefore K = 250\text{kPa}$$

ตอบ

16. จงหาความดันที่ต้องเพิ่มให้กับน้ำ เมื่อน้ำถูกกดอัดจนปริมาตรเปลี่ยนไป 0.6% ถ้าค่าบัคส์ โมดูลัส ของน้ำเท่ากับ $2.2 \times 10^6 \text{ kPa}$

$$\text{จาก} \quad K = -V \frac{dP}{dV}$$

$$\frac{dV}{V} = \frac{-0.6}{100}$$

$$= -0.006$$

$$dP = -K \frac{dV}{V}$$

$$\text{แทนค่า} \quad = -(2.2 \times 10^6 \text{ kPa})(-0.006)$$

$$= 13.26\text{MPa}$$

$$\therefore dP = 13.26\text{MPa}$$

ตอบ

เฉลยแบบฝึกหัดหน่วยที่ 1.4

1. ความหนืดของของไหล คือ ความสามารถต่อการต้านการเฉือนหรือการต้านต่อการเสียรูปเชิงมุม
2. ของไหลนิวโตเนียน คือ ของไหลที่มีพฤติกรรมเป็นไปตามสมการความหนืดของนิวตัน
3. ของไหลนอนนิวโตเนียน คือ ของไหลที่มีพฤติกรรมไม่เป็นไปตามสมการความหนืดของนิวตัน
4. จงเขียนสมการความหนืดของนิวตัน

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{U}{Y}$$

5. ความหนืดสัมบูรณ์ของของไหลหาด้วยความหนาแน่นของของไหล ค่าที่ได้เรียกว่าค่าอะไร
เรียกว่า ค่าความหนืดคิเนมาติก (Kinematics Viscosity)

6. น้ำมันหล่อลื่น SAE 10 มีความหนืดสัมบูรณ์เท่ากับ $8.14 \times 10^{-2} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ อยู่ระหว่างแผ่นราบบาง 2 แผ่นที่วางขนานกันและอยู่ห่างกัน 2 cm โดยแผ่นล่างยึดติดกับที่และแผ่นบนเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1.5 m/s จงหาความเค้นเฉือนในน้ำมัน

จาก $\tau = \mu \frac{du}{dy}$

แทนค่า $\tau = (8.14 \times 10^{-2} \text{ Pa}\cdot\text{s}) \left(\frac{1.5 \text{ m/s}}{2 \times 10^{-2} \text{ m}} \right)$

$$= 6.11 \text{ Pa}$$

$$\therefore \tau = 6.11 \text{ Pa}$$

ตอบ

7. วัตถุแท่งหนึ่งหนัก 500 N มีขนาดหน้าตัดเท่ากับ $250 \text{ mm} \times 250 \text{ mm}$ เลื่อนลงมาตามพื้นเอียงมุม 25° กับแนวระดับบนฟิล์มน้ำมันที่มีความหนืด $0.44 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ และหนา 10 mm จงหาความเร็วของแท่งวัตถุที่เลื่อนลงมาตามพื้นเอียง

จาก $\frac{F}{A} = \mu \frac{U}{Y}$

$$F = \mu A \frac{U}{Y}$$

แทนค่า $F = (0.44 \text{ Pa}\cdot\text{s})(0.25 \times 0.25 \text{ m}) \left(\frac{U}{0.01 \text{ m}} \right)$

$$= 2.75U \text{ N}$$

แต่ $F = 500 \text{ N} \sin 25 = 211.31 \text{ N}$

แทนค่าได้ $U = 76.84 \text{ m/s}$

ตอบ

8. เพลานาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 cm หมุนภายในแบร์ริงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.02 cm และยาว 30 cm ด้วยความเร็ว $0.25 \text{ m}^2/\text{s}$ ระยะห่างระหว่างเพลาทิ้งสองเดิมน้ำมันหล่อลื่นที่มีความถ่วงจำเพาะ 0.890 และมีความหนืดจลนศาสตร์ $0.005 \text{ m}^2/\text{s}$ ถ้าเพลาหมุนด้วยความเร็ว 1,800 rpm จงหา (ก) แรงต้านเนื่องจากความหนืดของน้ำมัน (ข) แรงบิดต้านที่กระทำโดยน้ำมัน (ค) กำลังที่ต้องการหมุนเพลา

(ก) แรงต้านเนื่องจากความหนืดของน้ำมัน

$$\text{จาก } \tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} = \mu \frac{U}{Y}$$

$$F = A\mu \frac{U}{Y}$$

$$\begin{aligned} \mu &= (\rho_s)(\rho_{\text{H}_2\text{O}})(\nu) = (0.890)(1000 \text{ kg/m}^3)(0.005 \text{ m}^2/\text{s}) \\ &= 4.45 \text{ kg/m}\cdot\text{s} \end{aligned}$$

$$\text{แทนค่า } F = (\pi \times 0.08 \text{ m} \times 0.30 \text{ m})(4.45 \text{ kg/m}\cdot\text{s}) \left(\frac{0.25 \text{ m/s}}{0.0001 \text{ m}} \right)$$

$$\therefore F = 838.81 \text{ N}$$

ตอบ

(ข) แรงบิดต้านที่กระทำโดยน้ำมัน

$$\text{จาก } \omega = (1,800 \text{ r/min}) \left(\frac{2\pi}{60} \right) = 60\pi \text{ rad/s}$$

$$U = \omega r = 60\pi \text{ rad/s} \times 0.04 \text{ m} = 7.54 \text{ m/s}$$

$$\text{จาก } T = \tau Ar = \mu Ar \left(\frac{U}{Y} \right)$$

$$= (4.45 \text{ kg/m}\cdot\text{s})(\pi \times 0.08 \text{ m} \times 0.30 \text{ m} \times 0.04 \text{ m}) \left(\frac{7.54 \text{ m/s}}{0.0001 \text{ m}} \right)$$

$$= 1,011.93 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$\therefore T = 1,011.93 \text{ N}\cdot\text{m}$$

ตอบ

(ค) กำลังที่ต้องการหมุนเพลา

$$\text{จาก } P = \omega T$$

$$= 60\pi \text{ rad/s} \times 1,011.93 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$= 190.38 \text{ kW}$$

$$\therefore P = 190.38 \text{ kW}$$

ตอบ

9. ความตึงผิว คือ ความสามารถที่ของเหลวสามารถต้านแรงดึงหรือความเค้นดึง (Tensile Stress) และสามารถเกาะติดผิวภาชนะ อันเนื่องมาจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลว
10. แรงยึดติด คือ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของสสารต่างชนิดกัน
11. แรงเชื่อมแน่น คือ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของสสารชนิดเดียวกัน
12. คาпилลารีตี คือ คือ ปรากฏการณ์ที่ของเหลวซึ่งบรรจุอยู่ในหลอดคาปิลลารียกตัวสูงขึ้น หรือลดต่ำลง กว่าระดับของของเหลวในภาชนะอันเนื่องมาจากความตึงผิวของของเหลว
13. ความดันไอ คือ ความดันเหนือผิวของของเหลวที่กลายเป็นไอและกระจายตัวอยู่ตามที่ว่างภายในภาชนะปิด
14. ความดันไออิ่มตัวของน้ำที่อุณหภูมิ 20°C มีค่าเท่ากับ $2,340\text{Pa}$
15. หยดน้ำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.025mm สัมผัสกับอากาศ โดยความดันของหยดน้ำสูงกว่าความดันบรรยากาศ 500Pa จงหาค่าความตึงผิวของหยดน้ำ

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \sigma &= P\left(\frac{d}{4}\right) \\ \text{แทนค่า} \quad \sigma &= 500\text{Pa}\left(\frac{0.025 \times 10^{-3} \text{ m}}{4}\right) \\ &= 0.003125\text{N/m} \\ \therefore \sigma &= 0.003125\text{N/m} \qquad \text{ตอบ} \end{aligned}$$

16. จงหาขนาดของหลอดคาปิลลารีเมื่อต้องการให้ความสูงของน้ำในหลอดคาปิลลารีน้อยกว่า 1.5 mm เมื่ออุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 20°C

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad h &= \frac{4\sigma \cos \theta}{\gamma d} \\ d &= \frac{4\sigma \cos \theta}{\gamma h} \\ \text{แทนค่า} \quad d &= \frac{4(0.0701\text{N/m})(\cos 0^{\circ})}{(9,737\text{N/m}^3)(1.5 \times 10^{-3} \text{ m})} \\ d &= 0.019\text{m} \\ &= 19.20\text{mm} \\ \therefore d &= 19.20\text{mm} \qquad \text{ตอบ} \end{aligned}$$

17. แรงตึงผิวของน้ำและปรอทเท่ากับ 0.0736N/m และ 0.514N/m ตามลำดับบรรจุอยู่ในหลอดแก้ว

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2mm จงหาความสูงของของไหลทั้งสองเมื่อสัมผัสกับอากาศ (ก) น้ำมีมุมสัมผัส 0° และน้ำหนักจำเพาะเท่ากับ $9,789\text{N/m}^3$ (ข) ปรอทมีมุมสัมผัส 130° และน้ำหนักจำเพาะเท่ากับ $132,350\text{N/m}^3$

(ก) เมื่อหลอดคาปิลารีสะอาดและบรรจุน้ำ $\theta = 0^\circ$ จากสมการที่ (1.11)

$$h = \frac{4\sigma \cos \theta}{\gamma d}$$

แทนค่า $h = \frac{4(0.0736\text{N/m})(\cos 0^\circ)}{(9,789\text{N/m}^3)(2 \times 10^{-3}\text{m})}$

$$h = 0.0150\text{m} = 15.00\text{mm}$$

$$\therefore h = 27.70\text{mm}$$

ตอบ

(ข) เมื่อหลอดคาปิลารีสะอาดและบรรจุปรอท $\theta = 130^\circ$ จากสมการที่ (1.11)

$$h = \frac{4\sigma \cos \theta}{\gamma d}$$

แทนค่า $h = \frac{4(0.514\text{N/m})(\cos 130^\circ)}{(132,350\text{N/m}^3)(2 \times 10^{-3}\text{m})}$

$$h = -4.993 \times 10^{-3}\text{m} = -4.99\text{mm}$$

$$\therefore h = -4.99\text{mm}$$

ตอบ

แบบทดสอบหลังเรียนหน่วยที่ 1
หลักการพื้นฐานและคุณสมบัติของของไหล

คำสั่ง จงทำเครื่องหมายกากบาท (X) ทับลงบนตัวเลือกที่เห็นว่าถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

1. ความหมายของของไหลข้อใดกล่าวถูกต้องที่สุด
 - ก. สสารที่สามารถไหลและมีสถานะเป็นของเหลวเพียงอย่างเดียว
 - ข. สสารที่ไม่สามารถไหลและมีสถานะเป็นก๊าซเพียงอย่างเดียว
 - ค. สสารที่สามารถไหลได้และมีรูปร่างที่แน่นอน
 - ง. สสารที่สามารถไหลได้และมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงตามภาชนะที่บรรจุ
2. ข้อใดเป็นมิติหลัก
 - ก. แรง
 - ข. มวล
 - ค. น้ำหนัก
 - ง. ความดัน
3. 15×10^6 N มีค่าเท่ากับเท่าไร
 - ก. 15 N
 - ข. 15 kN
 - ค. 15 MN
 - ง. 15 μ N
4. น้ำมันมีปริมาตร 0.4 m^3 และมีมวล 340 kg ความหนาแน่นของน้ำมันมีค่าเท่าไร
 - ก. 850 kg/m^3
 - ข. 340.40 kg/m^3
 - ค. 339.60 kg/m^3
 - ง. 136 kg/m^3
5. จากข้อ 4 ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันมีค่าเท่าไร
 - ก. 0.136
 - ข. 0.339
 - ค. 0.340
 - ง. 0.850
6. ของไหลมีปริมาตร 2 m^3 และหนัก 520 N น้ำหนักจำเพาะของของไหลมีค่าเท่าไร
 - ก. 0.008 N/m^3
 - ข. 260 N/m^3
 - ค. 522 N/m^3
 - ง. $1,040 \text{ N/m}^3$
7. อากาศมีความหนาแน่นเท่ากับ 1.26 kg/m^3 และมีอุณหภูมิ 27°C ความดันของอากาศมีค่าเท่าไร
 - ก. 108.50 Pa
 - ข. 97.60 Pa
 - ค. 10.85 Pa
 - ง. 9.76 Pa

เฉลยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
หน่วยที่ 1 เรื่อง หลักการพื้นฐานและคุณสมบัติของของไหล

ก่อนเรียน	
ข้อที่	เฉลย
1	ก
2	ค
3	ข
4	ง
5	ค
6	ก
7	ข
8	ง
9	ก
10	ข
11	ง
12	ข
13	ค
14	ก
15	ข

หลังเรียน	
ข้อที่	เฉลย
1	ง
2	ข
3	ค
4	ก
5	ง
6	ข
7	ก
8	ค
9	ง
10	ค
11	ข
12	ก
13	ก
14	ข
15	ง

บรรณานุกรม

- จักรี ต้นเชื้อ. **กลศาสตร์ของไหล**. กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ, 2550.
- ชาญ ถนัดงาน. **กลศาสตร์ของไหล**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตพระนครเหนือ, 2523.
- ชัยคร ออภาเวลา. **เอกสารประกอบการสอน วิชากลศาสตร์ของไหล**. นครปฐม : ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, 2553. (อัดสำเนา)
- นิตยา หวังวงษ์โรจน์. **กลศาสตร์ของไหลและชลศาสตร์ เล่ม 1**. กรุงเทพฯ : แมคกรอ-ฮิล, 2539.
- มนต์ชัย กาทอง. **เทอร์โมไดนามิกส์ เล่ม 1**. สมุทรปราการ : กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลเรือ ฝ่ายศึกษาโรงเรียนนายเรือ, 2538. (อัดสำเนา)
- สมบูรณ์ พรพิเนตพงศ์. **กลศาสตร์ของไหล**. สงขลา : เทคโนโลยีการศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2555.
- สายสุนีย์ พุทธาคณเจริณ. **ชลศาสตร์**. กรุงเทพฯ : ไลบารี นาย, 2540.
- สุรวุฒิ ประดิษฐานนท์. **พิมพ์ครั้งที่ 2. กลศาสตร์ของไหลเบื้องต้น**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2529.
- Frank M. White. **Fluid Mechanics**. New York : McGraw-Hill Book, 1994.
- John F. Douglas. **Solution of Problems in Fluid Mechanics**. Pitman Publishing, 1975.
- Ranald V. Giles. **Theory and Problems of Fluid Mechanics and Hydraulics**. Singapore : McGraw-Hill Book, 1997.