

# หลักการเบื้องต้นและ คุณสมบัติของของไหล

บทที่



## วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral Objective)

หลังจากศึกษาจบบทเรียนนี้แล้ว นักศึกษาจะมีความสามารถ ดังนี้

(After studying this chapter , you will be able to)

1. บอก(Describe)คำจำกัดความของกลศาสตร์ของไหล
2. อธิบาย(Explain)ลักษณะงานที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของไหล
3. จำแนก(Distinguish)สมการพื้นฐานทางกลศาสตร์ของไหล
4. ระบุ(Identify)ลักษณะการพิจารณาแบบอย่างการไหล
5. อธิบาย(Explain)การเปลี่ยนหน่วยวัด
6. ศึกษา(Study)ความหมายของหน่วยวัดอนุพันธ์
7. บอก(Describe)มิติของหน่วยการวัด
8. บอก(Describe)คำจำกัดความของความหนาแน่น
9. บอก(Describe)คำจำกัดความของน้ำหนักจำเพาะ
10. บอก()คำจำกัดความของความถ่วงจำเพาะ
11. บอก(Describe)คำจำกัดความของปริมาตรจำเพาะ
12. ระบุ(Identify)ความสัมพันธ์คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของไหล
13. วิเคราะห์(Analyze)คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของไหล
14. จำแนก(Distinguish)ประเภทของความหนืด
15. บอก(Describe)ความสัมพันธ์ของความหนืดต่าง ๆ
16. วิเคราะห์(Analyze)ค่าความหนืดต่าง ๆ
17. อธิบาย(Explain)แรงดึงและการเกาะติด
18. อธิบาย(Explain)การเกิดแคปิลลารี(Capillary)
19. บอก(Describe)วิธีการหาค่าความตึงผิว
20. คำนวณ()ค่าความตึงผิว

# บทที่ 1

## หลักการเบื้องต้นและคุณสมบัติของของไหล (Fluid Property)



## แผนการจัดการเรียนรู้ประจำบทที่ 1

ชื่อวิชา กลศาสตร์ของไหล

รหัสวิชา 3100-0103

ชื่อหน่วยการเรียนรู้ หลักการเบื้องต้นและคุณสมบัติของของไหล (Fluid Property)

ตอนที่

- 1.1 หลักการเบื้องต้นของกลศาสตร์ของไหล
- 1.2 ระบบหน่วยการวัด
- 1.3 คุณสมบัติพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของไหล
- 1.4 ความหนืด
- 1.5 ความตึงผิว

แนวคิด

1. กลศาสตร์ของของไหล ( Fluid Mechanics ) เป็นวิชาศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของของไหลทั้งอยู่กับที่และเครื่องที่ กล่าวคือเมื่อแรงภายนอกที่กระทำต่อของไหลสมดุลเรียกว่า “ของไหลสถิต ” การศึกษาการเคลื่อนที่ของของไหลที่ไม่คิดแรงที่มากกระทำเรียกว่า “ ของไหลจลนศาสตร์ ” และถ้าคิดแรงที่มากกระทำเรียกว่า “ ของไหลพลศาสตร์ ”

2. หน่วยของการวัดทางวิศวกรรมปริมาณทางกายภาพใดๆ สามารถแยกแยะได้โดยการบอกมิติ (Dimensions) ค่าตัวเลขที่กำหนดขึ้นสำหรับมิติต่างๆ นั้นเราเรียกว่า หน่วย (units) มิติพื้นฐานบางตัว เช่น มวลความยาว เวลา และอุณหภูมิ ถือเป็นมิติหลัก (primary dimensions) หรือมิติพื้นฐาน (fundamental dimensions) มิติอื่นๆ เช่น ความเร็วพลังงาน หรือแรง เราเรียกว่ามิติรอง (secondary dimensions) ซึ่งมิติรองนี้เราสามารถเขียนในรูปของมิติหลักได้ ซึ่งบางครั้งเราเรียกว่าเป็นมิติที่สร้างขึ้น (derived dimensions)

3. ความหนืด(Viscosity,  $\mu$ ) บางครั้งเรียกว่า ความหนืดสัมบูรณ์ (Absolute) หรือ ความหนืดไดนามิกส์ (dynamic viscosity) คือ ความต้านทานแรงเฉือนของของไหล ความหนืดเป็นคุณสมบัติของของไหลที่ได้จากปริมาณความต้านทานนี้ ความหนืดของของเหลวจะเป็นส่วนกลับของอุณหภูมิ คือความหนืดของของเหลวจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เพราะว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นของของเหลวจะมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลน้อยลง

4. ความตึงผิว (Surface tension,  $\sigma$ ) คือ คุณสมบัติ ในการต้านทานแรงดึงของผิวของไหลเมื่อผิวของไหลสัมผัสกับของแข็งหรือของไหลชนิดอื่น แรงตึงผิวเกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ประกอบด้วยแรงเกาะติดและ แรงยึดติด (Adhesion and Cohesion) ของโมเลกุลของไหล แรงตึงผิวเป็นแรงในผิวของของเหลวที่ตั้งฉากกับเส้นที่ลากในผิวนั้นมีหน่วย N/m

### วัตถุประสงค์

1. บอกหลักการเบื้องต้นของกลศาสตร์ของไหลได้
2. อธิบายระบบหน่วยการวัดได้
3. อธิบายคุณสมบัติพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของไหลได้
4. คำนวณหาค่าความหนืดได้
5. บอกค่าความตึงผิวได้

### กิจกรรมการเรียนรู้

1. ชี้นำเข้าสู่บทเรียนด้วยการ ถาม-ตอบ ใช้สื่อประกอบ
2. ชื่นสนใจปัญหา
3. ชื่นศึกษาข้อมูล
4. ชื่นพยายาม
5. ชื่นสำเร็จผล
6. ชื่นประเมินผลหลังการเรียนรู้

### สื่อการสอน

1. เอกสารการสอน
2. สื่อแผ่นใส
3. แบบฝึกหัด

### การประเมินผล

1. ประเมินผลจากแบบทดสอบก่อนและหลังเรียน
2. ประเมินผลจากกิจกรรมและแนวตอบท้ายหน่วยการเรียนรู้
3. ประเมินผลจากการทดสอบตามสภาพจริง

## ตอนที่ 1.1

# หลักการเบื้องต้นของกลศาสตร์ของไหล

### หัวเรื่อง

- 1.1.1 ความหมายของกลศาสตร์ของไหล
- 1.1.2 ลักษณะงานที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของไหล
- 1.1.3 สมการพื้นฐานทางกลศาสตร์ของไหล
- 1.1.4 ลักษณะการพิจารณาแบบอย่างการไหล

### แนวคิด

1. ของไหลคือสสารที่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้อย่างต่อเนื่องกันไปภายใต้การของความเค้นเฉือนหนึ่งๆ ทั้งนี้ไม่ว่าความเค้นเฉือนนั้นจะมีค่าน้อยเท่าใดก็ตาม

2. การศึกษา คำนวณ และวิจัยทางด้านชลศาสตร์ ต้องการมากขึ้นในปลายศตวรรษที่ 20 เนื่องมาจากการขยายตัวด้านอุตสาหกรรมการค้นคว้านอกโลก , ได้มหาสมุทร ทำให้ต้องการข้อมูลเกี่ยวกับการไหลของของไหลอีกนานนอกจากนี้ ซึ่งทำให้เกิดวิชาการใหม่ๆ ทางด้านกลศาสตร์ของไหลอีกมากลำดับ

3. ในสภาพเป็นจริงของของไหลเช่นน้ำหรือก๊าซประกอบด้วยโมเลกุลที่อยู่ติดกันหนาแน่นน้อยกว่าของแข็ง ดังนั้นระหว่างโมเลกุลจึงมีช่องว่างในการวิเคราะห์การไหลค่าของความเร็วและความดันที่จุดหนึ่งจึงคิดเป็นค่าเฉลี่ยโดยถือว่าไม่มีช่องว่างระหว่างโมเลกุล ดังนั้นของไหลจึงถือว่าเป็นสารที่ต่อเนื่องกัน (Continuum)

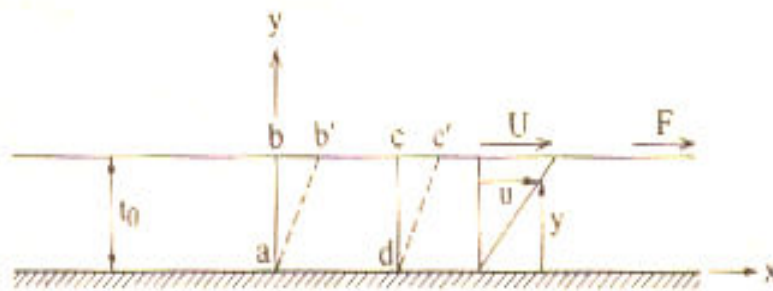
### วัตถุประสงค์

- เมื่อศึกษาตอนที่ 1.1 จบแล้ว ผู้เรียนสามารถ
- 1. บอกคำจำกัดความของกลศาสตร์ของไหลได้
  - 2. อธิบายลักษณะงานที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของไหลได้
  - 3. จำแนกสมการพื้นฐานทางกลศาสตร์ของไหลได้
  - 4. บอกลักษณะการพิจารณาแบบอย่างการไหลได้

### 1.1.1 ความหมายของกลศาสตร์ของไหล

#### คำจำกัดความกลศาสตร์ของไหล

ของไหลคือสสารที่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้อย่างต่อเนื่องกันไปภายใต้การของความเค้นเฉือนหนึ่งๆ ทั้งนี้ไม่ว่าความเค้นเฉือนนั้นจะมีค่าน้อยเท่าใดก็ตาม



รูปที่ 1.1 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของของไหลเมื่อมีแรง F มากกระทำ

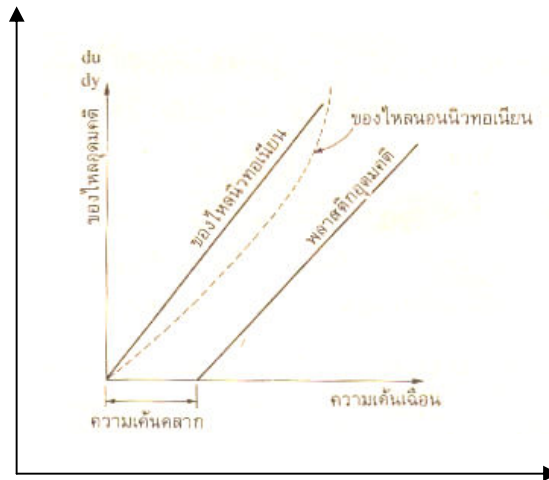
$$F = \mu \frac{AU}{Y}$$

โดยที่  $\mu$  คือแฟกเตอร์สัดส่วน (proportionality factor) ดังนั้นความเค้นเฉือนคือ

$$\tau = F/A = \mu (U)/Y \quad \dots\dots\dots(1.1)$$

อัตราส่วน  $U/Y$  คือความเร็วเชิงมุม (angular velocity) ของเส้น ab หรืออัตราของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเชิงมุมของของไหลซึ่งเราสามารถเขียนให้อยู่ในรูปเทอมของ  $du / dy$  แทน  $U/Y$  ได้คือ

$$\tau = \mu$$



รูปที่ 1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราของการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

สสารมีลักษณะแยกได้เป็น 2 สถานะ (state) คือ ของแข็ง (solid) และของไหล (fluid) ในสถานะของของไหลนั้นก็จะถูกแบ่งได้เป็นของเหลว (liquid) และก๊าซ (gas) สสารนั้นจะมีปฏิกริยาที่แตกต่างกันออกไปดังนี้

1. ของแข็ง จะมีระยะห่างระหว่างโมเลกุลคงที่และอยู่ใกล้ชิดกันมากที่สุดทำให้แรงยึดเกาะระหว่างโมเลกุลมากที่สุดจึงเป็นผลทำให้ของแข็งสามารถรักษารูปร่างของมันไว้ได้ ง่ายรูปที่แน่นอน ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในของแข็งเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำไม่ว่าจะกระทำในรูปแบบของแรงดึง (tension) แรงกด (compression) หรือแรงเฉือน (shear) ถ้ายังไม่เกินจุดที่เรียกว่าขีดจำกัดความยืดหยุ่นของมันแล้ว ของแข็งนั้นจะมีแรงปฏิกริยาต่อแรงที่กระทำในลักษณะที่เรียกว่า อีลาสติคิตีฟอร์มชัน (Elastic deformation) คือ การคืนรูปสู่สภาวะเดิมได้ถ้าเอาแรงที่กระทำออกไปแต่ถ้าขนาดของแรงที่มากระทำมีมากจนเกินกว่าจุดขีดจำกัดความยืดหยุ่น ของแข็งนั้นก็จะเกิดการเปลี่ยนรูปไปได้

2. ของเหลว มีระยะห่างระหว่างโมเลกุลมากกว่าของแข็งแต่น้อยกว่าก๊าซ และโมเลกุลแต่ละตัวจะอยู่ไม่คงที่ จะเคลื่อนที่ไปมาได้ มีแรงยึดเกาะระหว่างโมเลกุลน้อย ของเหลวจึงมีรูปร่างเป็นไปตามภาชนะที่บรรจุ ของเหลวจัดเป็นของไหลชนิดที่อัดตัวไม่ได้หรืออัดตัวได้ยาก (Incompressible fluid) เมื่อมีความดันเปลี่ยนแปลง ปริมาตรจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปน้อยมากจึงถือได้ว่ามีปริมาตรและความหนาแน่นคงที่ เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำในรูปแบบของแรงดึงหรือแรงอัดไม่ว่าจะมากหรือน้อย ของไหลจะมีปฏิกริยาต่อแรงที่มากระทำในลักษณะอีลาสติคิตีฟอร์มชันเท่านั้น แต่ถ้ามีแรงเฉือนมากมากระทำเพียงเล็กน้อยต่อของไหลนั้นไม่ว่าจะมีความข้นใสมากน้อยเพียงใดมันก็จะเปลี่ยนรูปไปในทันทีและจะไม่คืนสู่รูปร่างเดิมถึงแม้ว่าความเค้นเฉือนนั้นจะหมดไปแล้ว

3. ก๊าซ มีระยะห่างระหว่างโมเลกุลมากที่สุด มีแรงยึดเกาะระหว่างโมเลกุลน้อยมาก การเคลื่อนไหวของโมเลกุลจึงมีมากทำให้ก๊าซเกิดการฟุ้งกระจายเต็มภาชนะที่บรรจุ ก๊าซเป็นของไหลชนิดที่อัดตัวได้ง่าย (Compressible fluid) ไม่มีผิวอิสระเป็นขอบเขตของตัวเองเหมือนของเหลวเมื่อมีความดันเปลี่ยนแปลงทั้งปริมาตรและความหนาแน่นจะเปลี่ยนแปลงไปมาก

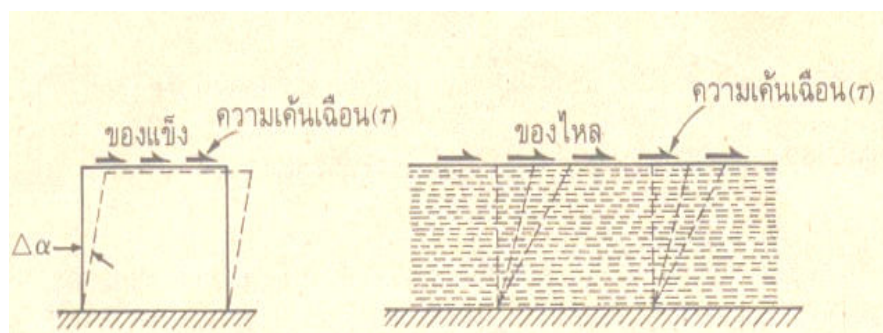
4. ไอ (vapor) เป็นก๊าซที่มีอุณหภูมิและความดันใกล้เคียงกับอุณหภูมิและความดันที่มีสถานะเกือบเป็นของเหลวแต่ไม่ใช่ ดังนั้นไอน้ำจึงถือว่าเป็นไอเพราะว่าสถานะของไอน้ำนั้นห่างไกลจากน้ำซึ่งเป็นของเหลวมากเมื่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดันมีผลกระทบต่อปริมาตรของก๊าซ และก็จะส่งผลกับไอเป็นอย่างมากเช่นกัน ดังนั้นในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับก๊าซหรือไอก็จะต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและอุณหภูมิด้วย

นอกจากนี้ของไหลยังสามารถแบ่งแยกออกตามแนวคิดวิเคราะห์ได้อีก 2 แบบคือ ของไหลสมมุติหรือที่เรียกว่าของไหลในจินตนาการ (ideal fluids) และของไหลจริง (real fluids for practical fluids)

5. ของไหลสมมุติ เป็นของไหลที่ไม่มีน้ำหนัก ไม่มีคามตึงผิว และอัดตัวไม่ได้ เลยจึงไม่มีแรงเสียดทานเกิดขึ้นขณะเคลื่อนที่ ดังนั้น ความดันของของไหลในขณะเคลื่อนที่ที่จะกระทำในทิศทางตั้งฉากกับภาชนะเสมอแม้ว่าของไหลจะเคลื่อนที่อยู่ก็ตามอย่างไรก็ตามในความเป็นจริงไม่เป็นเช่นนั้นเพราะของไหลที่จินตนาการขึ้นเท่านั้น โดยนักวิทยาศาสตร์ เพื่อการวิเคราะห์ของไหลในขณะเคลื่อนที่ได้ง่าย ๆ ด้วยวิธีการคณิตศาสตร์ เช่น การวิเคราะห์ของไหลที่มีความหนืดต่ำ ๆ คือ อากาศหรือน้ำเป็นต้นซึ่งค่าที่ได้ก็อาจเกิดการคลาดเคลื่อนไปได้มาก

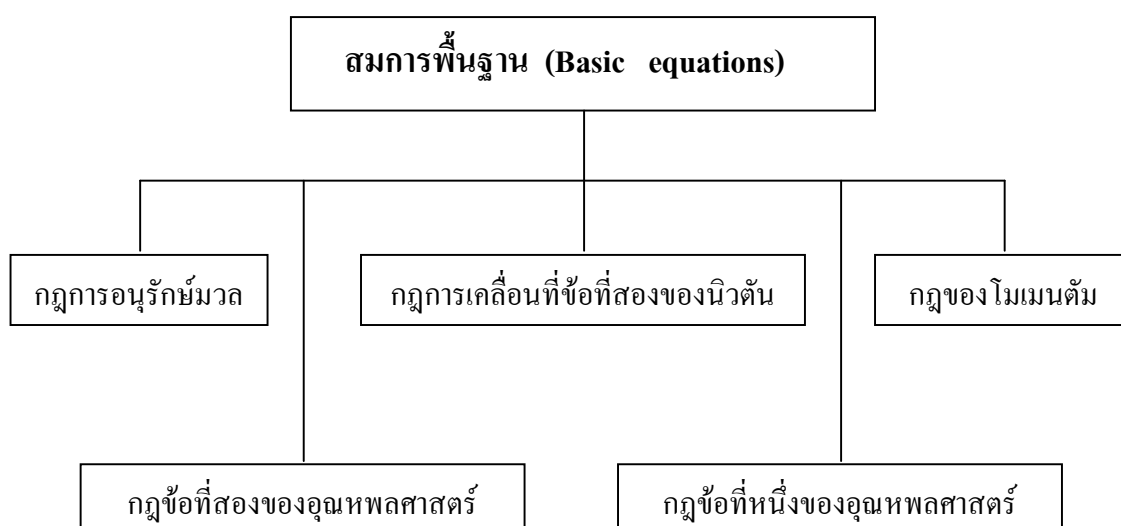
6. ของไหลจริง เป็นของไหลที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ ตามธรรมชาติที่มีอยู่ในตัวมันและเกิดขึ้นจริงขณะนำไปใช้งาน เช่น คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับความหนืดความตึงผิวและความสามารถอัดตัวได้ไม่ว่าจะเป็นของเหลวหรือก๊าซ และถ้าของไหลจริงมีการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นแล้วจะมีแรงเฉื่อยเกิดขึ้นด้วยแรงเหล่านี้จะมีทิศทางสวนกับการเคลื่อนที่ จึงทำให้เกิดแรงต้านทานหรือแรงเสียดทานขึ้นระหว่างของไหลกับกำลังไหลจึงมีการวิเคราะห์แรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นโดยไม่ใช้การวิเคราะห์เฉพาะแรงที่เกิดขึ้นจากความดันเพียงอย่างเดียวเหมือนกับของไหลสมมุติทั้ง ๆ ที่ของไหลนั้นกำลังเคลื่อนที่จากรูปที่ 1.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงรูปเมื่อของแข็งได้รับความเค้นเฉือนและสามารถบำรุงรักษาตัวของมันไว้ได้และถ้าความเค้นเฉือนที่กระทำไม่มากเกินไปกว่ากำหนดก็สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ส่วนของไหลเมื่อได้รับความเค้นเฉือนเพียงเล็กน้อยก็จะเปลี่ยนรูปในทันที คือเกิดการไหลและไม่สามารถกลับคืนสู่รูปเดิมได้

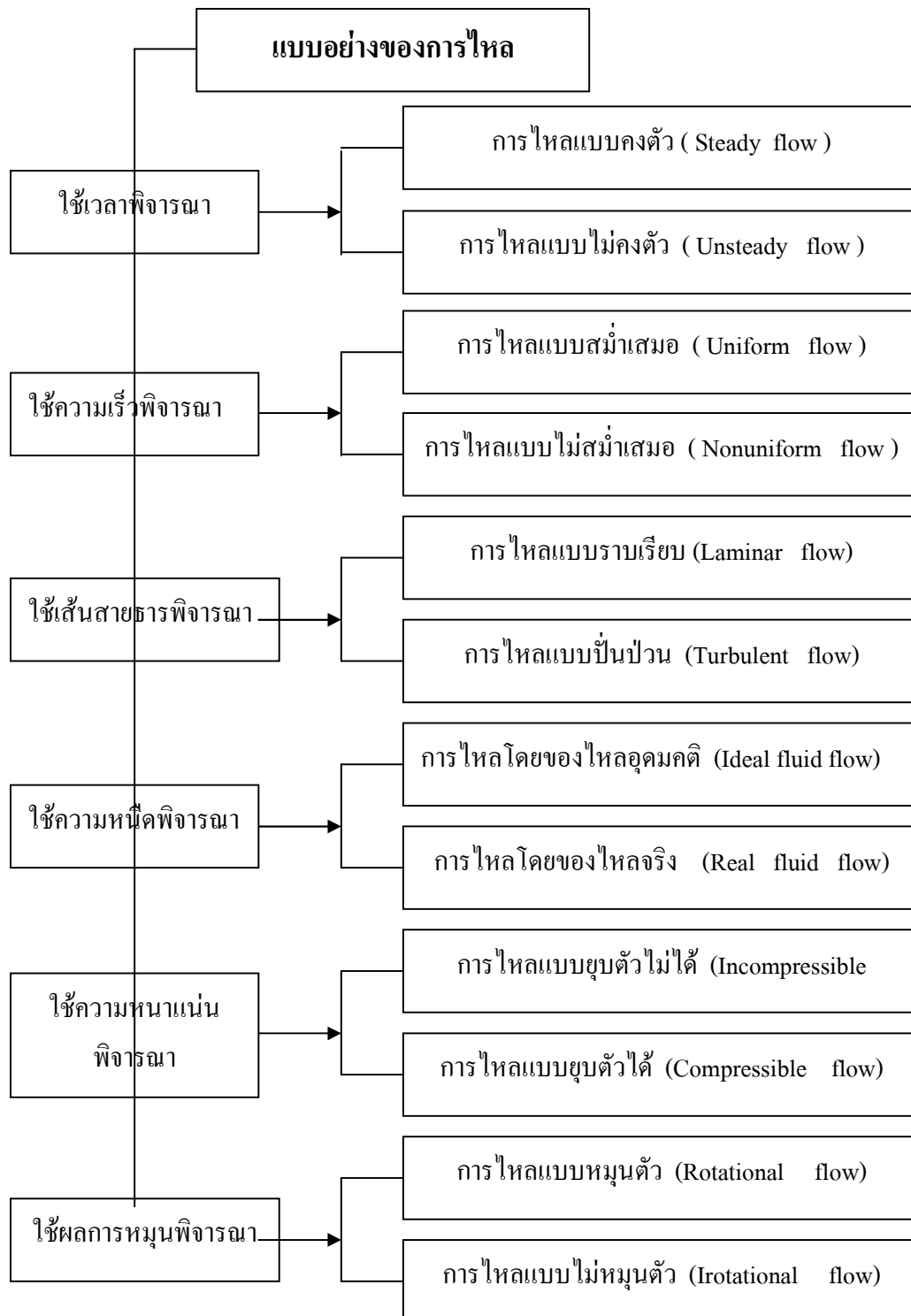




รูปที่ 1.3 ความเค้นเฉือนที่กระทำบนของแข็งและบนของไหล

### 1.1.2 ลักษณะงานที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของไหล





## ตอนที่ 1.2

### ระบบหน่วยการวัด

#### หัวเรื่อง

- 1.2.1 การเปลี่ยนหน่วยวัด
- 1.2.2 ความหมายของหน่วยวัดอนุพันธ์
- 1.2.3 มิติของหน่วยการวัด

#### แนวคิด

1. ระบบของหน่วยที่ใช้กันในโลกมีมากมายหลายระบบซึ่งขึ้นอยู่กับแต่ละประเทศ ในช่วงไม่กี่ปีมานี้ได้มีความพยายามที่จะให้ใช้ระบบของหน่วยเพียงระบบเดียวเป็นมาตรฐาน ทั่วโลก อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันก็ยังคงมีระบบของหน่วยสองระบบที่ยังนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ระบบ ยู เอส ซี (United States Customary System ; USC) ซึ่งมีพื้นฐานมาจากระบบอังกฤษ และระบบ เอส ไอ (Le system international d' unites ; SI) หรือระบบสากล (International System

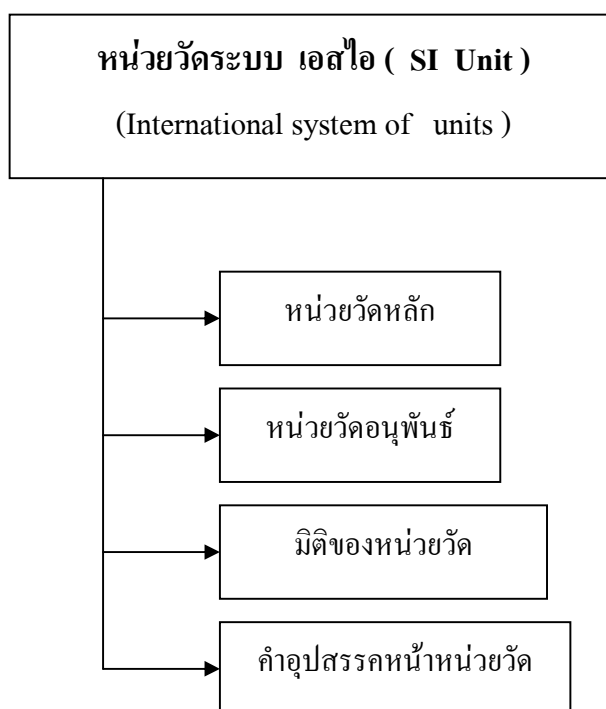
2. มวลสารของวัตถุจะมีค่าคงเดิมเสมอไม่ว่าวัตถุจะอยู่ ณ ตำแหน่งใดในจักรวาล แต่น้ำหนักจะเปลี่ยนไปตามค่าความเร่งของแรงโน้มถ่วง เช่น วัตถุเมื่อซึ่งบนยอดเขาจะมีน้ำหนักต่ำกว่าเมื่ออยู่ตีนเขา ทั้งนี้เพราะค่า  $g$  มีค่าลดลงตามความสูง หรือนักบินอวกาศเมื่ออยู่บนดวงจันทร์จะมี น้ำหนักน้อยกว่าเมื่ออยู่บนผิวโลกหกเท่า

3. สมการต่างๆ ที่ใช้ในทางวิศวกรรมนั้น ทุกเทอมจะต้องมีมิติเดียวกัน กล่าวคือ สมการจะต้องมีความเป็นเอกพันธุ์ทางมิติ (dimensionally homogeneous) ดังนั้น การแทนค่าหน่วยไปในสมการจะช่วยเราตรวจสอบได้ว่าเรามีความผิดพลาดที่ใดหรือไม่ อย่างไรก็ดีในบางครั้งอาจบอกว่าสมการสำเร็จรูปที่ใช้ในงานบางประเภทไม่มีความเป็นเอกพันธุ์ทางมิติ คือแต่ละเทอมมีหน่วยไม่ตรงกัน ที่เป็นเช่นนี้เพราะได้มีการแทนค่าคงที่ลงในสมการ ซึ่งแต่เดิมมีความเป็นเอกพันธุ์ทางมิติ

#### วัตถุประสงค์

- 2.1 อธิบายการเปลี่ยนหน่วยวัดได้
- 2.2 บอกความหมายของหน่วยวัดอนุพันธ์ได้
- 2.3 บอกมิติของหน่วยการวัดได้

### 1.2.1 การเปลี่ยนหน่วยวัด



มวล	กิโลกรัม	<b>kg</b>
ความยาว	เมตร	<b>m</b>
เวลา	วินาที	<b>s</b>
อุณหภูมิ	เคลวิน	<b>K</b>
ปริมาณสาร	โมล	<b>mol</b>
กระแสไฟฟ้า	แอมแปร์	<b>A</b>
ความเข้มแสงสว่าง	แคนเดลา	<b>cd</b>
มุมระนาบ	เรเดียน	<b>rad</b>
มุมตัน	สเตอเรเดียน	<b>sr</b>

ตารางที่ 1.1 หน่วยวัดหลักทางกลศาสตร์ของโลก

## การเปลี่ยนหน่วย

ตัวแปร	ระบบหน่วยอังกฤษเป็นระบบ SI	ระบบหน่วย SI เป็นระบบ อังกฤษ
ความยาว	1 in = 0.0254 m 1 ft = 0.3048 m	1 m = 39.37 in 1 m = 3.281 ft
มวล	1 slug = 14.59 kg	1 kg = 0.06854 slug
แรง	1 lb = 4.448 N	1 N = 0.2248 lb
น้ำหนักจำเพาะ (หรือหนึ่งหน่วย)	1 lb/ft <sup>3</sup> = 157.1 N/m <sup>2</sup>	1 N/m <sup>2</sup> = 0.006366 lb/ft <sup>3</sup>
ความหนาแน่นเชิง – มวล	1 slug/ft <sup>3</sup> = 515.2 kg/m <sup>3</sup>	1 kg/m <sup>3</sup> = 0.001941 slug/ft <sup>3</sup>
ความถ่วงจำเพาะ	ไม่มีหน่วย	ไม่มีหน่วย
ความหนืดไดนามิกส์	1 lb-sec/ft <sup>2</sup> = 47.88 N.s/m <sup>2</sup>	1 N.s/m <sup>2</sup> = 0.02089 lb-sec/ft <sup>2</sup>
ความหนืดจลน์		
ความดัน	1 ft <sup>2</sup> /sec = 0.09290 m <sup>2</sup> /s 1 lb/ft <sup>2</sup> = 47.88 Pa	1 m <sup>2</sup> /s = 10.76 ft <sup>2</sup> /sec 1 Pa = 0.02089 lb/ft <sup>2</sup>
ความตึงผิว	1 lb/in <sup>2</sup> = 6.985 Pa 1 lb/in <sup>2</sup> = 6.985 kPa 1 lb/ft = 14.59 N/m	1 kPa = 0.06853 lb/ft 1 kPa = 0.1450 lb/in <sup>2</sup> 1 N/m = 0.06853 lb/ft

ตารางที่ 1.2 การเปลี่ยนหน่วยวัดระหว่างหน่วยวัดอังกฤษกับหน่วยวัด SI

### 1.2.2 หน่วยวัดอนุพันธ์

หน่วยอนุพันธ์เป็นหน่วยซึ่งเกิดจากการนำหน่วยมูลฐานมาเกี่ยวเนื่องกัน โดยที่ชื่อหน่วย และสัญลักษณ์จะตั้งขึ้นตามข้อกำหนดของ

CGPA (The General Conference of Weights and Measurement)

ปริมาณ	สัญลักษณ์	ระบบ SI	ระบบอังกฤษ
พื้นที่	A	m <sup>2</sup>	ft <sup>2</sup>
ปริมาตร	V	m <sup>3</sup>	ft <sup>3</sup>
ความเร็ว	U,v,w	m/s	ft/s
ความหนาแน่น	$\rho$	Kg/m <sup>3</sup>	Slug/ft <sup>3</sup>
ปริมาตรจำเพาะ	-	-	-
แรง	F	N	Ib
พลังงาน	E	N.m	ft-lb
ความดัน	p	Pa	psi
ความเร่ง	a	m/s <sup>2</sup>	ft/s <sup>2</sup>
น้ำหนักจำเพาะ	$\gamma$	N/m <sup>3</sup>	Ib/ft <sup>3</sup>
ความหนืดจลน์	$\nu$	m <sup>2</sup> /s	ft <sup>2</sup> /s
อัตราการไหล	Q	m <sup>3</sup> /s	cfs
ความหนืด	$\mu$	N.S/m <sup>2</sup>	lb-s/ft <sup>2</sup>
อุณหภูมิ	T	K	R

ตารางที่ 1.3 หน่วยวัดอนุพันธ์

### 1.2.3 มิติของหน่วยทั่วไป

มิติของหน่วยของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับปัญหา มิติของสามารถจัดกลุ่มได้ระบบแรง ความยาวและเวลา (FLT) หรือระบบ มวล ความยาวและเวลา (MLT) โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างแรงและมวล ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน ที่ว่า  $F = ma$  คือ  $F = MLT^{-2}$  ดังนั้นระบบ FLT และ MLT จึงสามารถเปลี่ยนกลับกันตามความสัมพันธ์ข้างต้น

ตัวแปร (หน่วย SI)	สัญลักษณ์	มิติ
พื้นที่	A	$L^2$
ความเร่ง	a	$LT^{-2}$
พลังงาน	E	FL
แรง	F	$MLT^{-2}$
กำลังงาน	P	$FLT^{-2}$
ความดัน	p	$FL^{-2}$
อัตราการไหล	Q	$L^3T^{-1}$
อุณหภูมิ	T	-
ความถี่	-	$T^{-1}$
ความเร็ว	u,v,w	$LT^{-1}$
ปริมาตร	V	$L^3$
ความหนาแน่น	$\sigma$	$ML^{-3}$
ความหนืด	$\mu$	$FTL^{-2}$
ความหนืดจลน์	$\nu$	$L^2T^{-1}$
ความหนืดจำเพาะ	$\gamma$	$FL^{-3}$

ตารางที่ 1.4 มิติของหน่วยทั่วไป

### คำอุปสรรคหน้าหน่วยในระบบ SI

ตัวคูณ	คำอุปสรรค	
	ชื่อเรียก	สัญลักษณ์
$10^{18}$	Exa	E
$10^{15}$	Peta	P
$10^{12}$	Tera	T
$10^9$	Giga	G
$10^6$	Mega	M
$10^3$	Kilo	k
$10^2$	Hecto	h
10	Deca	da
$10^{-1}$	Deci	d
$10^{-2}$	Centi	c
$10^{-3}$	Milli	m
$10^{-6}$	Micro	$\mu$
$10^{-9}$	Nano	n
$10^{-12}$	Pico	p
$10^{-15}$	Femto	f
$10^{-18}$	Atto	a

ตารางที่ 1.5 คำอุปสรรคหน้าหน่วยในระบบ เอส. ไอ.



## ตอนที่ 1.3

# คุณสมบัติพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของไหลได้

### หัวเรื่อง

- 1.3.1 ความหนาแน่น
- 1.3.2 น้ำหนักจำเพาะ
- 1.3.3 ความถ่วงจำเพาะ
- 1.3.4 ปริมาตรจำเพาะ
- 1.3.5 ความสัมพันธ์คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของไหล
- 1.3.6 การคำนวณคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของไหล

### แนวคิด

1. ความหนาแน่น (อังกฤษ: density, สัญลักษณ์:  $\rho$  อักษร โรในภาษากรีก) เป็นการวัดมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ยิ่งวัตถุมีความหนาแน่นมากขึ้น มวลต่อหน่วยปริมาตรก็ยิ่งมากขึ้น กล่าวอีกนัยหนึ่งคือวัตถุที่มีความหนาแน่นสูง (เช่น เหล็ก) จะมีปริมาตรน้อยกว่าวัตถุความหนาแน่นต่ำ (เช่น น้ำ) ที่มีมวลเท่ากัน

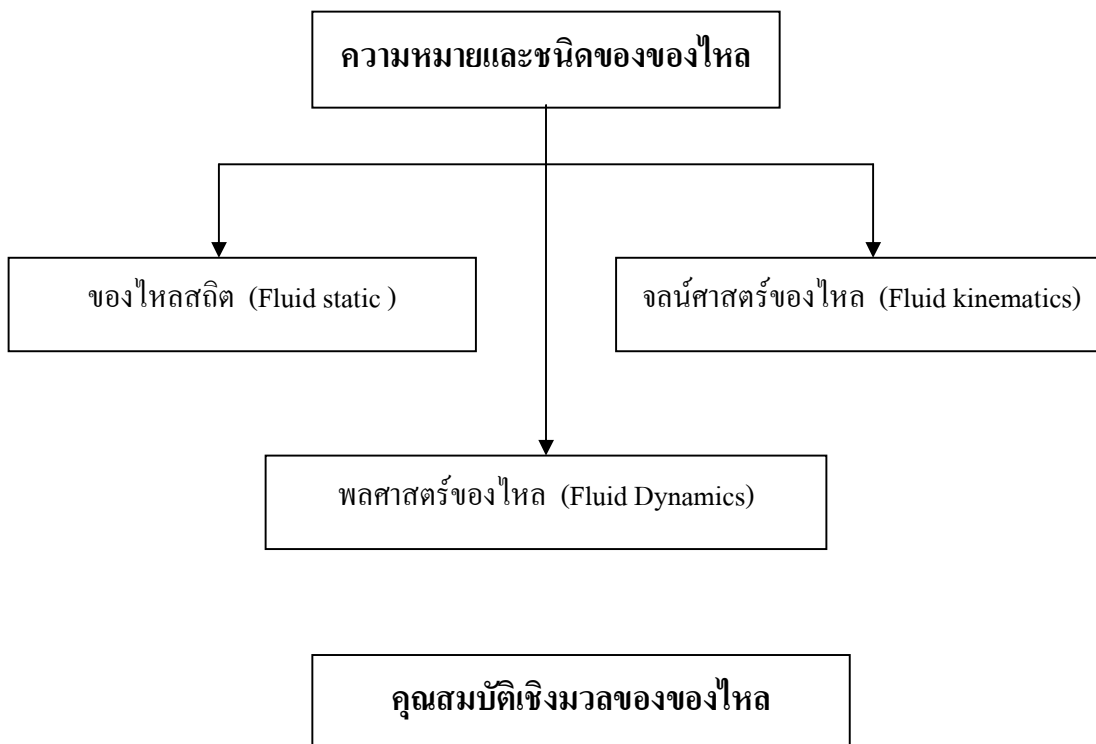
2. ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity, Sp.gr, S.g, S, ถ.พ) คือ อัตราส่วนของน้ำหนักของสสารต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน หรืออัตราส่วนของน้ำหนักจำเพาะ หรือความหนาแน่นของสสารต่อน้ำหนักจำเพาะหรือความหนาแน่นของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน ถ.พ จะเป็นตัวบอกลให้ทราบว่าสสารนั้นหนักหรือเบากว่าน้ำ

3. น้ำหนักจำเพาะและปริมาตรจำเพาะ ต่างก็เป็นคุณสมบัติเชิงมวลที่มีความสัมพันธ์กันทั้งหมด

### วัตถุประสงค์

- 1. บอกคำจำกัดความของความหนาแน่นได้
- 2. บอกคำจำกัดความของน้ำหนักจำเพาะได้
- 3. บอกคำจำกัดความของความถ่วงจำเพาะได้
- 4. บอกคำจำกัดความของปริมาตรจำเพาะได้
- 5. บอกความสัมพันธ์คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของไหลได้
- 6. คำนวณคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของไหลได้

1.3.1 ความหนาแน่น



น้ำหนักจำเพาะ (Specific weight, $\gamma$ )	$\gamma = \rho g$
ความหนาแน่น (Density, $\rho$ )	$\rho = \frac{m}{V}$
ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity, Sp.gr, S.g, S, ถ.พ)	$S.g = \frac{m_{สาร}}{m_{น้ำ}}$
ปริมาตรจำเพาะ (Specific voluen $V_s$ )	$V_s = \frac{1}{\rho}, \rho = \frac{1}{V_s}$

ตัวอย่างที่ 1.1 ถังใบหนึ่งบรรจุกลีเซอรินมวล 1,200 kg มีปริมาตร  $0.952 \text{ m}^3$  ให้คำนวณหา

1. น้ำหนักของกลีเซอริน ( $W, F$ )
2. ความหนาแน่นของกลีเซอริน ( $\rho$ )
3. น้ำหนักจำเพาะของกลีเซอริน ( $\gamma$ )
4. ความถ่วงจำเพาะของกลีเซอริน ( $S.g$ )

วิธีทำ 1. จากกฎของนิวตัน  $W = mg$

$$W = \text{น้ำหนัก}$$

$$m = \text{มวลกลีเซอริน} = 1,200 \text{ kg}$$

$$g = \text{ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก} = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\begin{aligned} \therefore W &= 1200 \times 9.81 \text{ kg} - \frac{m}{s^2} \\ &= 11,770 \text{ N.} \end{aligned} \quad \Rightarrow$$

$$\begin{aligned} 2. \quad \rho &= \frac{m}{V} \\ &= \frac{1200 \text{ kg}}{0.952 \text{ m}^3} = 1261 \text{ kg/m}^3 \end{aligned} \quad \Rightarrow$$

$$\begin{aligned} 3. \quad \gamma &= \rho g \\ &= 1261 \times 9.81 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - \frac{m}{s^2} \\ &= 12370.41 \frac{N}{\text{m}^3} \end{aligned} \quad \Rightarrow$$

$$\begin{aligned} 4. \quad S.g &= \frac{\rho_{\text{สาร}}}{\rho_{\text{น้ำ}}} \\ &= \frac{1261}{1000} = 1.261 \end{aligned} \quad \Rightarrow$$

## ตอนที่ 1.4

### ความหนืด

#### หัวข้อ

- 1.4.1 ความหนืด
- 1.4.2 ความสัมพันธ์ของความหนืดต่าง ๆ
- 1.4.3 การคำนวณค่าความหนืดต่าง ๆ

#### แนวคิด

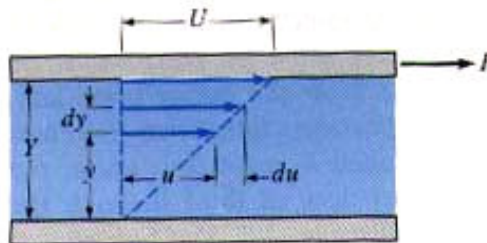
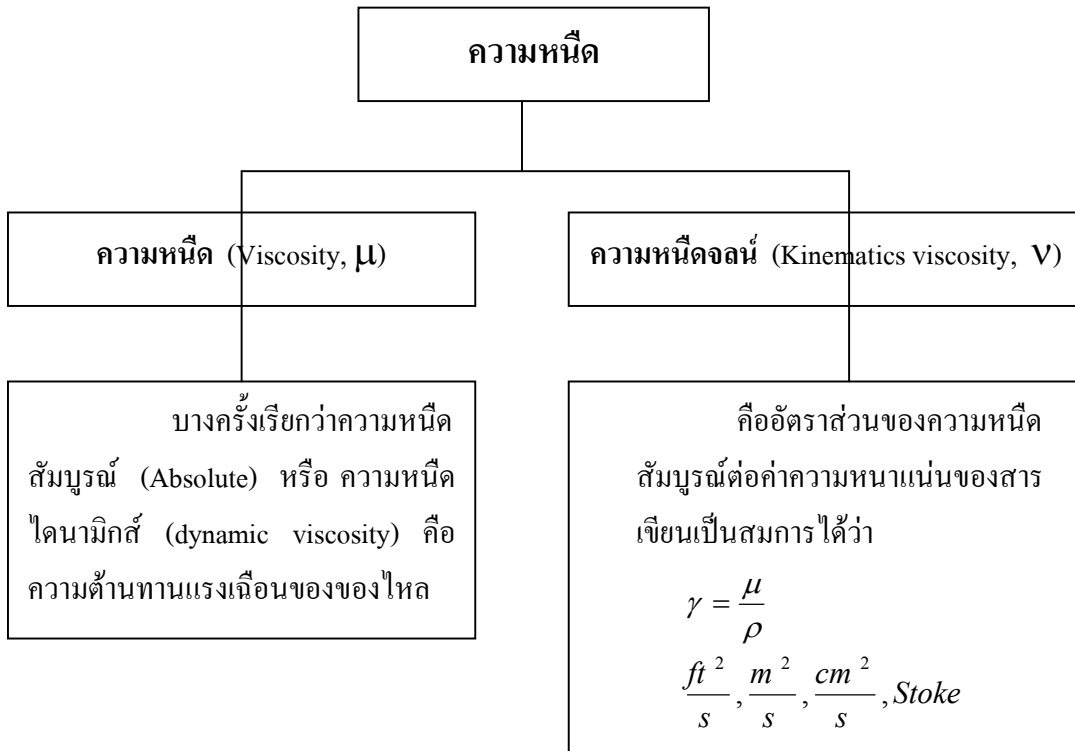
1. ความหนืดสูง ทำให้ต้านทานการไหลมาก ทำให้การทำงานออกตัวช้า เพิ่มการใช้กำลัง เนื่องจากสูญเสียจากแรงเสียดทาน ความดันตกผ่านท่อและสิ้นเปลืองเพิ่มขึ้น อุณหภูมิสูงเนื่องจากแรงเสียดทาน ความหนืดต่ำ ทำให้การรั่วซึมผ่านผนังเพิ่มขึ้น สึกหรอมากเนื่องจากฟิล์มน้ำมันระหว่างชิ้นส่วน เคลื่อนไหวแตกตัว

2. การคำนวณหาค่าความหนืด พิจารณาแผ่นระนาบวางซ้อนกันสองแผ่น โดยมีของไหลอยู่ระหว่างกลาง มีระยะห่างระหว่างแผ่นเท่ากับ  $x$  เมื่อแผ่นล่างถูกดึงด้วยแรง  $F$  ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ขณะที่แผ่นล่างอยู่นิ่ง ของไหลที่อยู่ติดกับระนาบแผ่นบนจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับแผ่นระนาบ ในขณะที่ของเหลวที่อยู่ติดกับระนาบแผ่นล่างไม่เกิดการเคลื่อนที่ ถ้าให้ความหนาของแต่ละชั้น (Layer) ของของเหลวเท่ากับ  $dx$  ชั้นล่างเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $v$  ส่วนชั้นบนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $v + dv$  จะเกิดความฝืดขึ้นระหว่างชั้น ซึ่งก็คือความเค้นเฉือน (2) ถ้าสมมติว่าความเค้นเฉือนเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็ว

#### วัตถุประสงค์

- 4.1 จำแนกประเภทของความหนืดได้
- 4.2 บอกความสัมพันธ์ของความหนืดต่าง ๆ ได้
- 4.3 คำนวณค่าความหนืดต่าง ๆ ได้

1.4.1 ความหนืด



รูปที่ 1.4 การเคลื่อนที่เมื่อมีความหนืด

$$\begin{aligned} \text{อัตราการผลิตการเปลี่ยนแปลงความเร็ว} &= \frac{(v + dv) - v}{dx} \\ &= \frac{dv}{dx} \end{aligned}$$

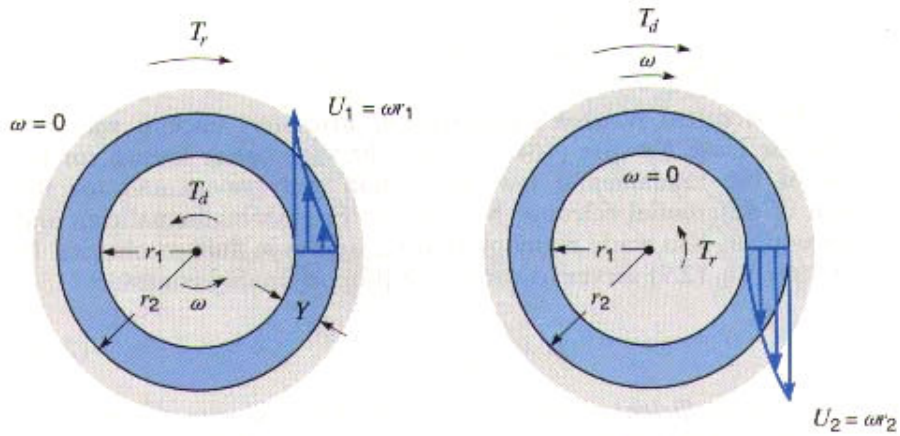
$$\mu = \frac{L}{dv/dx} = \frac{N-S}{m^2}, \frac{lb-S}{ft^2}$$

..... 1.1

$$\mu = \frac{F/A}{dv/dx}$$

..... 1.2

\*\*\*  $1 \frac{N-S}{m^2} = 10 \text{ poise}$  (g/cm.s)



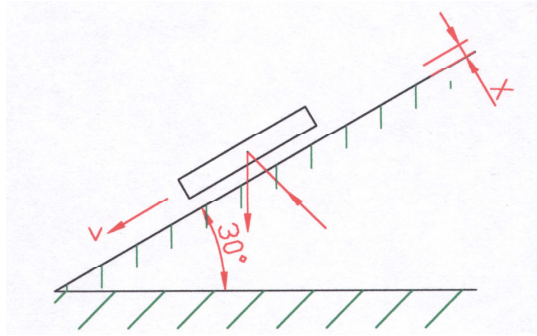
รูปที่ 1.5

ก. ทรงกระบอกในเป็นตัวหมุน

ข. ทรงกระบอกนอกเป็นตัวหมุน

\*  $1 \frac{m^2}{s} = 10^4 \text{ Stoke}$

ตัวอย่างที่ 1.2 วัตถุมวล 45 kg ผิวเรียบมีพื้นที่  $0.15 \text{ m}^2$  ลื่นไหลลงมาตามพื้นเอียงด้วยความเร็วคงที่  $1 \text{ m/s}$  โดยมีของเหลวที่มีความหนืด  $0.1 \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$  เป็นตัวหล่อลื่น ให้คำนวณหาความหนาของชั้น ของของเหลวที่ใช้หล่อลื่น ( $x$ )



รูปที่ 1.6 พื้นเอียง

วิธีทำ

$$\text{จากสูตร } \tau = \frac{F}{A} = \mu \times \frac{dv}{dx}$$

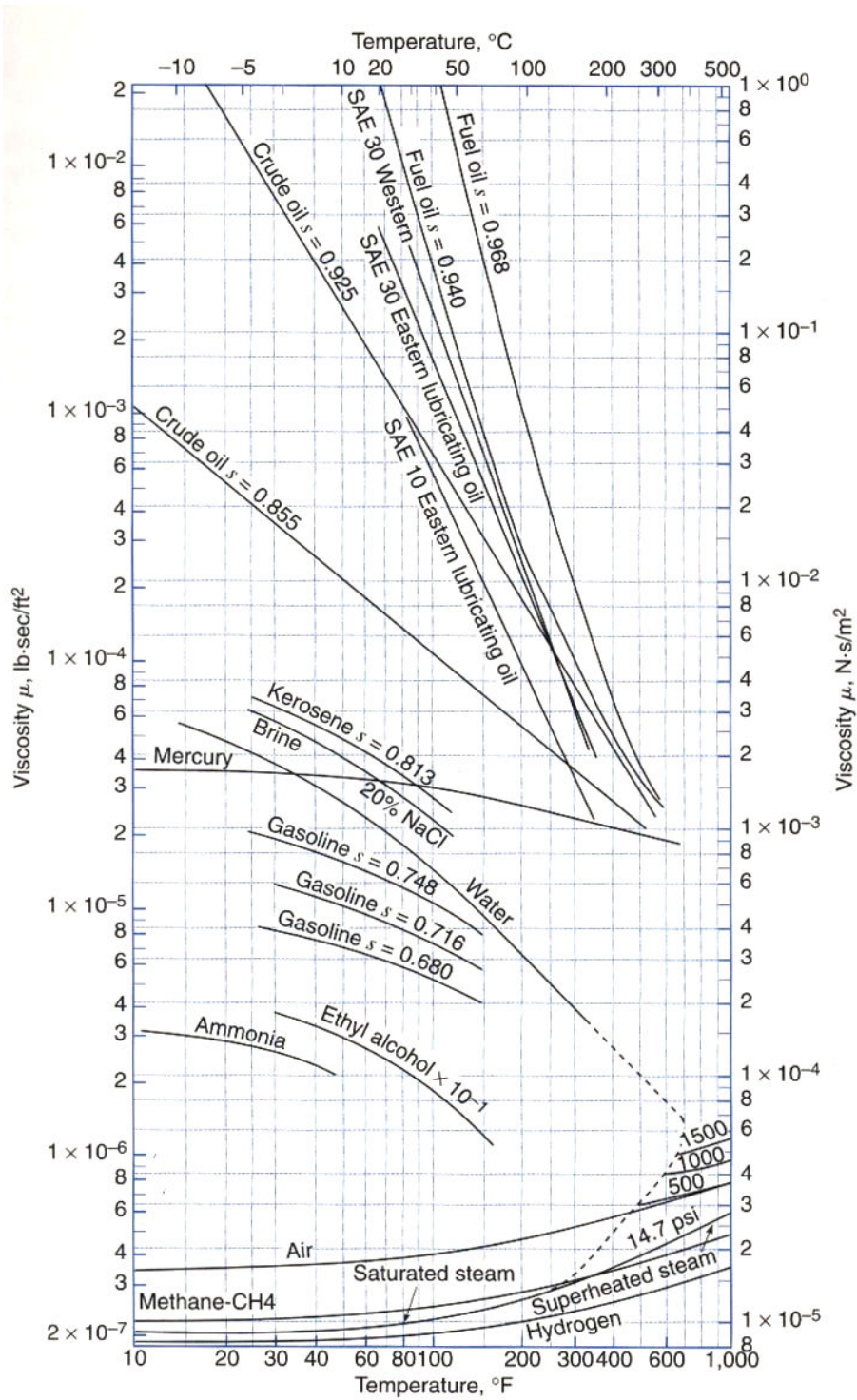
$$\therefore \frac{F}{A} = \mu \times \frac{v}{x}$$

$$x = \frac{\mu \times v \times A}{F}$$

$$= \frac{\mu \times v \times A}{W \times \sin 30^\circ}$$

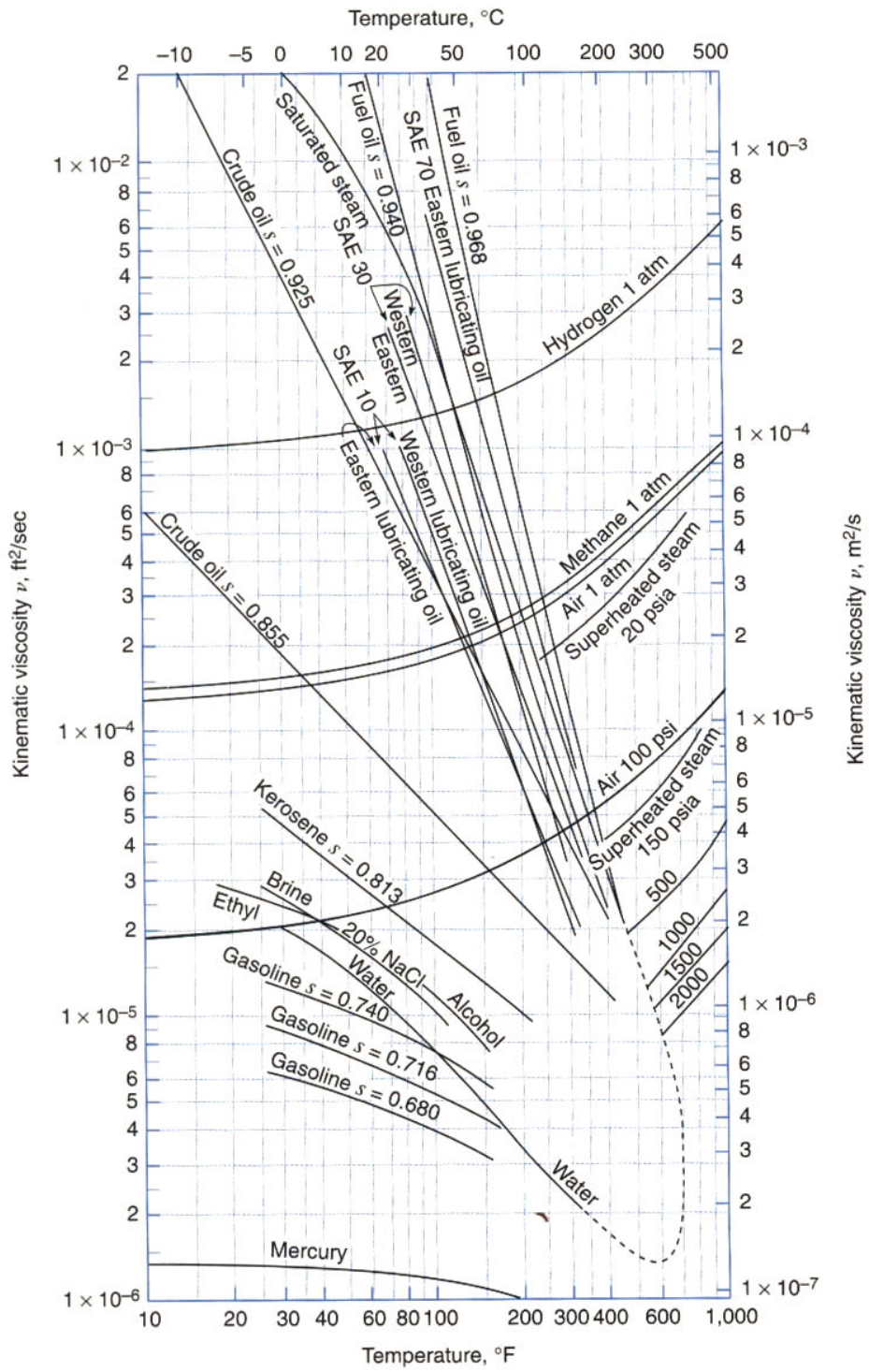
$$= \frac{0.1 \times 1 \times 0.15}{45 \times 9.81 \text{ N} \times 0.5} \quad (\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2) \times \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \times (\text{m}^2)$$

$$= 0.068 \text{ mm} \quad \Rightarrow$$



รูปที่ 1.6 กราฟความหนืดของของเหลวและก๊าซบางชนิดที่ความดันบรรยากาศ





รูปที่ 1.6 กราฟความหนืดจลน์ของของเหลวและก๊าซบางชนิดที่ความดันบรรยากาศ

## ตอนที่ 1.5

### ความตึงผิว

#### หัวเรื่อง

- 1.5.1 แรงดึงและการเกาะติด
- 1.5.2 แคมพิลลารี
- 1.5.3 การคำนวณค่าความตึงผิว

#### แนวคิด

1. เมื่อของไหลสองชนิดมาสัมผัสกันย่อมเกิดแรงตึงผิวที่รอยต่อเสมอ (เช่น น้ำกับอากาศ) ทั้งนี้เพราะแรงระหว่างโมเลกุล (intermolecular force) ของของไหลไม่เท่ากันหากโมเลกุลของน้ำที่อยู่ลึกลงไปจากผิวรอยต่อต้องการจะเดินทางไปยังผิวรอยต่อก็จะถูกโมเลกุลช่วงล่างดึงเอาไว้มากกว่าที่จะถูกโมเลกุลของอากาศดึงขึ้นไปข้างบน

2. แรงยกตัว (capillarity) เกิดจากส่วนของผิวของ ของเหลว ที่สัมผัสกับ ของแข็ง ซึ่งอาจทำให้เกิดแรงยกตัวขึ้นข้างบน (เช่น น้ำ) หรือแรงกดลงล่าง (เช่นปรอท) ต่อผิวหน้าของของเหลว เช่นนี้เป็นลักษณะเฉพาะของพฤติกรรมใน หลอดแคปิลลารี (capillary tube) ที่วางตั้งฉากกับผิวของของเหลว แรงที่กระทำภายในหลอดแคปิลลารี คือ โคฮีชัน, แอดฮีชัน (adhesion) และ แรงตึงผิว (surface tension)

3. หยดน้ำฝนที่ตกลงแต่ละหยดมีรูปร่างเกือบเป็นวงกลม ทั้งนี้เนื่องจากแรงตึงผิวระหว่างของเหลวกับอากาศ ดังนั้นความดันภายในหยดน้ำมากกว่าความดันของอากาศรอบนอก ถ้าต้องการทำให้หยดน้ำใหญ่กว่าเดิมจะต้องเพิ่มความดันเพื่อทำให้ผิวน้ำขยายออกซึ่งต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น งานที่เพิ่มขึ้นเรียกว่า Energy Surface ซึ่งวัดเป็น งานต่อหน่วยพื้นที่ เรียกว่า แรงตึงผิว (Surface Tension) แทนด้วย  $\sigma$  (ซิกม่า) ซึ่งมีหน่วยเป็นแรงต่อความยาว

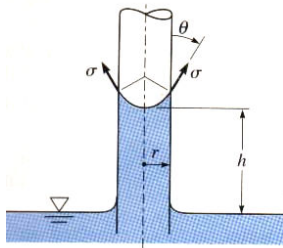
#### วัตถุประสงค์

1. อธิบายแรงดึงและการเกาะติดได้
2. อธิบายการเกิดแคมพิลลารีได้
3. บอกวิธีการหาค่าความตึงผิวได้
4. คำนวณหาค่าความตึงผิวได้

### 1.5.1 ความตึงผิว (Surface tension, $\sigma$ )

คุณสมบัติ ในการต้านทานแรงดึงของผิวของไหลเมื่อผิวของไหลสัมผัสกับของแข็งหรือของไหลชนิดอื่น แรงตึงผิวเกิดจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ประกอบด้วยแรงเกาะติดและ แรงยึดติด (Adhesion and Cohesion) ของโมเลกุลของไหล แรงตึงผิวเป็นแรงในผิวของของเหลวที่ตั้งฉากกับเส้นที่ลากในผิวนั้นมีหน่วย N/m

พิจารณาหลอดแก้วตามรูป 2.7 จุ่มลงในของเหลวที่มีน้ำหนักจำเพาะ  $\gamma$  ของเหลวจะไหลขึ้นในหลอดสูงกว่าระดับผิวปกติ ( $h$ ) ถ้าให้  $\sigma$  คือแรงตึงผิวต่อหน่วยความยาวเส้นรอบวงของหลอด



รูปที่ 1.6 Capillary

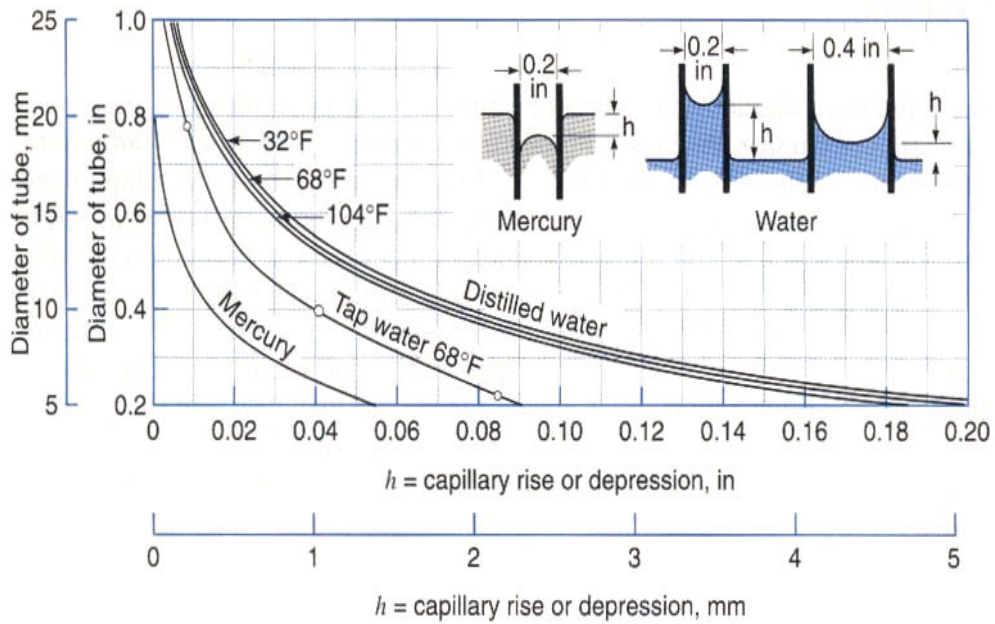
ที่สภาวะสมดุลจะได้ว่า

$$2\pi r \cdot \sigma \cdot \cos \theta = \pi r^2 \cdot h \cdot \gamma$$

$$h = \frac{2\sigma \cdot \cos \theta}{\gamma \cdot r} \quad \dots\dots\dots 1.3$$

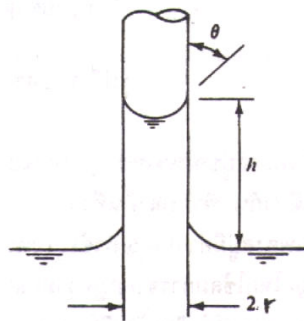
$\theta$  = มุมสัมผัส (Contact angle)

สมการที่ 2.3 จะนำไปใช้คำนวณหาความสูง โดยประมาณ ในกรณีที่หลอดแก้วสะอาดมุมสัมผัสของน้ำเท่ากับ  $0^\circ$  ของปรอทเท่ากับ  $140^\circ$  แต่ถ้าหลอดมีเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 0.5 นิ้ว (11 mm.) จะไม่มีผลของ Capillary



รูปที่ 1.7 ความสูง Capillary ในหลอดแก้วกลม

ตัวอย่างที่ 1.3 ให้คำนวณหาความสูงแคปิลลารีของน้ำในหลอดแก้วรัศมี 1 mm. ตามรูปที่ 1.9 ถ้ามุมสัมผัสระหว่างน้ำและอากาศ  $10^\circ$  น้ำมีอุณหภูมิ  $20^\circ\text{C}$



รูปที่ 1.7 Capillary ของน้ำในหลอดแก้ว

วิธีทำ จากสูตร

$$\begin{aligned}h &= \frac{2\delta \cos \theta}{\gamma \cdot r} \\&= \frac{2 \times 0.0728 \times \cos \theta}{\rho g \cdot r} \\&= \frac{2 \times 0.0728 \times 1}{1000 \times 9.81 \times \frac{1}{1000}} \\&= 0.0149 \text{ m} \\&= 14.8 \text{ mm} \quad \Rightarrow\end{aligned}$$

## คำถามท้ายบทที่ 1

### คำถามข้อที่ 1.1

อากาศมีความดัน 1.35 bar ที่อุณหภูมิ  $32^{\circ}\text{C}$  [อากาศมีค่าคงที่  $R = 0.287 \text{ kJ/kg.K}$ ]  
จงหาความหนาแน่น, น้ำหนักจำเพาะ และ คามถ่วงจำเพาะ

### คำถามข้อที่ 1.2

จงหาค่าความหนาแน่น, น้ำหนักจำเพาะและความถ่วงจำเพาะ เมื่อ ก๊าซชนิดหนึ่งมีความดัน 2.123 bar ที่อุณหภูมิ  $18^{\circ}\text{C}$  ปริมาตร 13 ลิตร [ก๊าซมีค่าคงที่  $R = 0.156 \text{ kJ/kg.K}$ ]

### คำถามข้อที่ 1.3

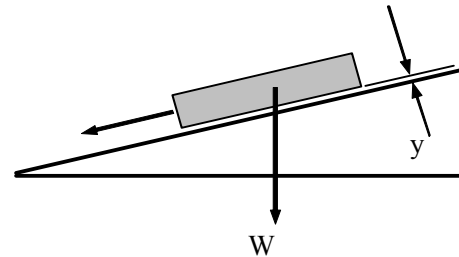
ไนโตรเจนที่อุณหภูมิ  $22^{\circ}\text{C}$  ความดัน 1.5 bar จงหาความหนาแน่น, น้ำหนักจำเพาะ และ ปริมาตรจำเพาะ [ไนโตรเจนมีค่าคงที่  $R = 0.297 \text{ kJ/kg.K}$ ]

### คำถามข้อที่ 1.4

กำหนดให้แผ่นเรียบ 2 แผ่น วางอยู่ห่างกัน 0.22 mm. ภายในช่องว่างบรรจุน้ำมันมีความหนืด  $0.654 \text{ Pa.s}$  แผ่นบนมีพื้นที่สัมผัสกับของเหลว  $0.321 \text{ m}^2$  ถูกดึงให้เคลื่อนที่ ด้วยความเร็ว  $0.123 \text{ m/s}$  จงหาแรงที่ใช้ในการดึง [F]

### คำถามข้อที่ 1.5

วัตถุมีมวล 42 kg เลื่อนลงตามพื้นเอียงทำมุม  $20^{\circ}$  ด้วยความเร็ว  $0.234 \text{ m/s}$  วัตถุมีขนาดสัมผัสของเหลว  $0.11 \times 0.22 \text{ m}$  มีช่องว่างของพื้นเอียงกับวัตถุ  $0.14 \text{ mm}$ . จงหา ความหนืดจลน์ และ ความหนืดสมบูรณ์ของน้ำมันในช่องว่าง



### คำถามข้อที่ 1.6

Hydraulic ram ขนาด  $\phi 400 \text{ mm}$ . ยาว 0.2 m. เคลื่อนที่ภายในกระบอก  $\phi 400.4 \text{ mm}$  ในช่องว่างบรรจุน้ำมัน ถ.พ. 0.89 และ มีความหนืดจลน์  $850 \text{ mm}^2/\text{s}$  มีความเร็ว  $150 \text{ mm/s}$  จงหาแรงต้านทานการเคลื่อนที่ [F]

## แบบเฉลยคำถามท้ายบทที่ 1

### คำถามข้อที่ 1.1

1. อากาศมีความดัน 1.35 bar ที่อุณหภูมิ 32 °C [อากาศมีค่าคงที่  $R = 0.287 \text{ kJ/kg.K}$ ]

จงหาความหนาแน่น, น้ำหนักจำเพาะ และ คามถ่วงจำเพาะ

จากโจทย์

$$P_1 = 1.35 \text{ bar} = 135 \text{ kN/m}^2$$

$$T_1 = 32 \text{ C} = 305 \text{ K}$$

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

ก. หาความหนาแน่น $[\rho]$

$$PV = mRT$$

$$P = \frac{m}{V}RT$$

$$\rho = \frac{P}{RT}$$

$$= \frac{135}{0.287 \times (32 + 273)}$$

$$= \frac{135}{87.535}$$

ได้ค่าความหนาแน่น $[\rho] = 1.54224 \text{ kg/m}^2$

ข. น้ำหนักจำเพาะ  $[\gamma]$

$$\gamma = \frac{\rho g}{1000}$$

$$= \frac{1.54224 \times 9.81}{1000}$$

ได้ค่าน้ำหนักจำเพาะ  $[\gamma] = 0.01513 \text{ kN/m}^3$

ค. คามถ่วงจำเพาะ $[\text{Sp.gr}]$

$$\text{sp.gr} = \frac{\gamma_{\text{สาร}}}{\gamma_{\text{น้ำ}}}$$

$$= \frac{0.01513}{9.81}$$

$$= 0.00154$$

ได้ค่าคามถ่วงจำเพาะ $[\text{Sp.gr}] = 0.00154$

### คำถามข้อที่ 1.2

จงหาค่าความหนาแน่น, น้ำหนักจำเพาะและความถ่วงจำเพาะ เมื่อ ก๊าซชนิดหนึ่งมีความดัน 2.123 bar ที่อุณหภูมิ 18° C ปริมาตร 13 ลิตร [ก๊าซมีค่าคงที่ R = 0.156 kJ/kg.K]

$$\begin{aligned} \text{จากโจทย์} \quad P_1 &= 2.123 \text{ bar} = 212.3 \text{ kN/m}^2 \\ T_1 &= 18 \text{ C} = 291 \text{ K} \\ V_1 &= 13 \text{ ลิตร} \\ R &= 0.156 \text{ kJ/kg.K} \end{aligned}$$

ก. หาค่าความหนาแน่น[ρ]

$$\begin{aligned} PV &= mRT \\ P &= \frac{m}{V}RT \\ \rho &= \frac{P}{RT} \\ &= \frac{212.3}{0.156 \times (18 + 273)} \\ &= \frac{212.3}{45.396} \end{aligned}$$

$$\text{ได้ค่าความหนาแน่น}[\rho] = 4.67662 \text{ kg/m}^2$$

ข. น้ำหนักจำเพาะ [γ]

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{\rho g}{1000} \\ &= \frac{4.67662 \times 9.81}{1000} \\ &= 0.04588 \end{aligned}$$

$$\text{ได้ค่าน้ำหนักจำเพาะ} [\gamma] = 0.04588 \text{ kN/m}^3$$

ค. คามถ่วงจำเพาะ[Sp.gr]

$$\begin{aligned} \text{sp.gr} &= \frac{\gamma_{\text{gas}}}{\gamma_{\text{น้ำ}}} \\ &= \frac{0.04588}{9.81} \\ &= 0.00468 \end{aligned}$$

$$\text{ได้ค่าคามถ่วงจำเพาะ} [\text{Sp.gr}] = 0.00468$$



### คำถามข้อที่ 1.3

ไนโตรเจนที่อุณหภูมิ  $22^{\circ}\text{C}$  ความดัน 1.5 bar จงหาความหนาแน่น, น้ำหนักจำเพาะ และ ปริมาตรจำเพาะ [ไนโตรเจนมีค่าคงที่  $R = 0.297 \text{ kJ/kg.K}$ ]

$$\begin{array}{lcl} \text{จากโจทย์} & P_1 & = & 1.5 \text{ bar} & = & 150 \text{ kN/m}^2 \\ & T_1 & = & 22 \text{ C} & = & 295 \text{ K} \\ & R & = & 0.297 & & \text{kJ/kg.K} \end{array}$$

ก. หาความหนาแน่น [ $\rho$ ]

$$\begin{aligned} PV &= mRT \\ P &= \frac{m}{V}RT \\ \rho &= \frac{P}{RT} \\ &= \frac{150}{0.297 \times (22 + 273)} \\ &= \frac{150}{87.615} \\ \text{ได้ค่าความหนาแน่น}[\rho] &= 1.71204 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

ข. น้ำหนักจำเพาะ [ $\gamma$ ]

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{\rho g}{1000} \\ &= \frac{1.71204 \times 9.81}{1000} \\ &= 0.0168 \\ \text{ได้ค่าน้ำหนักจำเพาะ}[\gamma] &= 0.0168 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

ค. ปริมาตรจำเพาะ [ ]

$$\begin{aligned} v &= \frac{1}{\rho} \\ &= \frac{1}{1.71204} \\ &= 0.5841 \\ \text{ได้ค่าปริมาตรจำเพาะ} [ ] &= 0.5841 \text{ m}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

คำถามข้อที่ 1.4

กำหนดให้แผ่นเรียบ 2 แผ่น วางอยู่ห่างกัน 0.22 mm. ภายในช่องว่างบรรจุน้ำมันมีความหนืด 0.654 Pa.s แผ่นบนมีพื้นที่สัมผัสกับของเหลว 0.321 m<sup>2</sup> ถูกดึงให้เคลื่อนที่ ด้วยความเร็ว 0.123 m/s จงหาแรงที่ใช้ในการดึง [F]

$$\begin{aligned} \text{จากโจทย์} \quad y &= 0.22 \text{ mm} = 0.00022 \text{ m} \\ \mu &= 0.654 \text{ Pa.s} = 0.654 \text{ N.s/m}^2 \\ A &= 0.321 \text{ m}^2 \\ v &= 0.123 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ก. หาค่าแรงที่ใช้ในการดึง[F]

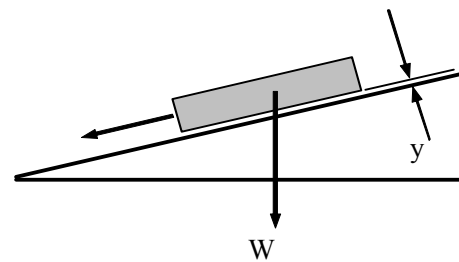
$$\begin{aligned} F &= \mu A \frac{v}{y} \\ &= 0.654 \times 0.321 \frac{0.123}{0.00022} \\ &= 117.3722 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\text{ได้ค่าแรงที่ใช้ในการดึง[F]} = 117.3722 \text{ N}$$

คำถามข้อที่ 1.5

วัตถุมีมวล 42 kg เลื่อนลงตามพื้นเอียงทำมุม 20° ด้วยความเร็ว 0.235 m/s วัตถุมีขนาดสัมผัสของเหลว 0.11 × 0.22 m มีช่องว่างของพื้นเอียงกับวัตถุ 0.14 mm. จงหา ความหนืดจลน์

และความหนืดสมบูรณ์ของน้ำมันในช่องว่างเมื่อน้ำมันมีความหนาแน่น 680 kg/ m<sup>2</sup>



จากโจทย์	m	=	42	kg	
	y	=	0.14	mm	= 0.0014 m
	A	=	0.11×0.22	m <sup>2</sup>	
	∇	=	0.235	m/s	
	α	=	20	องศา	

ก. หาค่าแรงที่วัตถุกระทำกับพื้นเอียง [F]

$$\begin{aligned}
 F &= mg \sin \alpha \\
 &= 42 \times 9.81 \sin 20 \\
 &= 140.91914
 \end{aligned}$$

ได้ค่าแรงที่วัตถุกระทำกับพื้นเอียง [F] = 140.91914 N

ข. หาค่าพื้นที่วัตถุสัมผัสของเหลว [A]

$$\begin{aligned}
 A &= 0.11 \times 0.22 \\
 &= 0.0242
 \end{aligned}$$

ได้ค่าพื้นที่วัตถุสัมผัสของเหลว [A] = 0.0242 m<sup>2</sup>

ค. หาค่าความหนืดสมบูรณ์ [μ]

$$\begin{aligned}
 F &= \mu A \frac{\nabla}{y} \\
 \mu &= \frac{F y}{A \nabla} \\
 &= \frac{140.91914}{0.0242} \times \frac{0.00014}{0.235} \\
 &= 3.46908
 \end{aligned}$$

ได้ค่าความหนืดสมบูรณ์ [μ] = 3.46908 Pa.s

ง. หาค่าความหนืดจลน์ [V ]

$$\begin{aligned} V &= \frac{\mu}{\rho} \\ &= \frac{3.46908}{680} \\ &= 0.0051 \end{aligned}$$

$$\text{ได้ค่าความหนืดจลน์ [V ]} = 0.0051 \quad \text{m}^2/\text{s}$$

### คำถามข้อที่ 1.6

Hydraulic ram ขนาด  $\phi$  400 mm. ยาว 0.2 m. เคลื่อนที่ภายในกระบอกลูกสูบ  $\phi$  400.4 mm ในช่องว่างบรรจุน้ำมัน ถ.พ. 0.89 และ มีความหนืดจลน์  $850 \text{ mm}^2/\text{s}$  มีความเร็ว 150 mm/s จงหาแรงต้านทานการเคลื่อนที่ [F]

จากโจทย์	$\phi_{\text{ram}}$	=	400	mm.	=	0.4	m
	$\phi_{\text{Cy}}$	=	400.4	mm.	=	0.004	m
	ถ.พ.	=	0.89				
	V	=	850	$\text{mm}^2/\text{s}$	=	0.00085	$\text{m}^2/\text{s}$
	y	=	0.4/2	mm	=	0.0002	m
	$\nabla$	=	0.15	m/s			

ก. หาค่าพื้นที่สัมผัสของเหลว [A]

$$\begin{aligned} A &= \pi D L \\ &= \pi \times \frac{400}{1000} \times 0.2 \\ &= 0.25113 \end{aligned}$$

$$\text{ได้ค่าพื้นที่สัมผัสของเหลว [A]} = 0.25113 \quad \text{m}^2$$

ข. หาค่าน้ำหนักจำเพาะของน้ำมัน [ $\gamma$ ]

$$\begin{aligned} \text{sp.gr} &= \frac{\gamma_{\text{สาร}}}{\gamma_{\text{น้ำ}}} \\ \gamma_{\text{สาร}} &= \gamma_{\text{น้ำ}} \times \text{sp.gr} \\ &= 0.89 \times 9.81 \\ &= 8.7309 \end{aligned}$$

ได้น้ำหนักจำเพาะของน้ำมัน [ $\gamma$ ] = 8.7309 kN/m<sup>3</sup>

ค. หาค่าความหนืดสมบูรณ์ [ $\mu$ ]

$$\begin{aligned} \mu &= \nu \times \rho \\ &= 0.00085 \times 890 \\ &= 0.7565 \end{aligned}$$

ได้ค่าความหนืดสมบูรณ์ [ $\mu$ ] = 0.7565 Pa.s

ง. หาค่าแรงที่ต้านทานการเคลื่อนที่ [F]

$$\begin{aligned} F &= \mu A \frac{v}{y} \\ &= 0.7565 \times 0.25133 \times \frac{0.15}{0.0002} \\ &= 142.5984 \end{aligned}$$

ได้ค่าแรงที่ต้านทานการเคลื่อนที่ [F] = 142.5984 N