

## หน่วยที่ 7 กลศาสตร์ของไหล

### คุณสมบัติของของไหล

กลศาสตร์ของไหล (fluid mechanic) เป็นสาขาหนึ่งของกลศาสตร์ประยุกต์ที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของของเหลวและก๊าซ สาขาวิชานี้สามารถแบ่งออกได้เป็น สถิติศาสตร์ของไหล (ของไหลอยู่กับที่) และพลศาสตร์ของไหล (ของไหลที่มีการเคลื่อนที่) การศึกษาทางด้านนี้สามารถประยุกต์ใช้ในการออกแบบ และแก้ไขปัญหาต่างๆ เช่น การไหลของน้ำดีและน้ำเสีย การไหลของน้ำในระบบท่อดับเพลิง การระบายอากาศ การดูดควันหรือสารเคมีอันตรายออกจากพื้นที่ทำงาน เป็นต้น

**1. ความหมายของของไหล** ของไหลคืออะไร ความแตกต่างระหว่างของแข็งและของไหล พิจารณาที่โครงสร้างโมเลกุล คือ ของแข็ง เช่น โลหะคอนกรีต มีโมเลกุลที่อยู่ชิดติดกัน มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลสูง ซึ่งทำให้ของแข็งสามารถคงรูปร่าง และไม่เปลี่ยนรูปร่างง่าย ๆ ธรรมชาติของเหลวเช่น น้ำ น้ำมัน มีระยะห่างระหว่างโมเลกุลมากกว่า มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลต่ำกว่า โมเลกุลมีอิสระในการเคลื่อนที่มากกว่า จึงสามารถเปลี่ยนรูปร่างได้ง่าย สามารถไหลในภาชนะบรรจุได้ หรือบังคับให้ไหลไปในท่อหรือรางได้กรณีก๊าซ เช่น อากาศ ออกซิเจน ยังมีระยะห่างระหว่างโมเลกุล และแรงยึดเหนี่ยวที่น้อยกว่าของเหลว จึงสามารถเปลี่ยนรูปร่างและถูกกดดันได้ง่าย

แรงเฉือน คือ แรงในแนวสัมผัสกับพื้นผิว โลหะหรือคอนกรีตถ้าได้รับแรงเฉือนวัตถุนั้นจะไม่เปลี่ยนรูป ในกรณีของไหลถ้าได้รับแรงเฉือนจะมีการเปลี่ยนรูปและไหลไปสู่ที่อื่น แต่ถ้ามีความหนืดมากจะไม่ไหล

**2. คุณสมบัติของของไหล** ก๊าซมีความเบาและกดอัดได้ ของเหลวหนักและกดอัดไม่ได้ น้ำเชื่อมไหลช้าจากภาชนะบรรจุแต่น้ำไหลอย่างรวดเร็ว เพราะคุณสมบัติเหล่านี้ ได้แก่ ความหนาแน่น ค่าปริมาตรจำเพาะ ค่าน้ำหนักจำเพาะ และค่าความถ่วงจำเพาะ

**2.1 ความหนาแน่นของของไหล (density)** นิยามโดยใช้สัญลักษณ์  $\rho$  หมายถึง มวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

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

เมื่อ  $\rho$  = ความหนาแน่นของของไหล หน่วยเป็น  $\text{kg/m}^3$

$m$  = มวลของของไหล หน่วยเป็น  $\text{kg}$

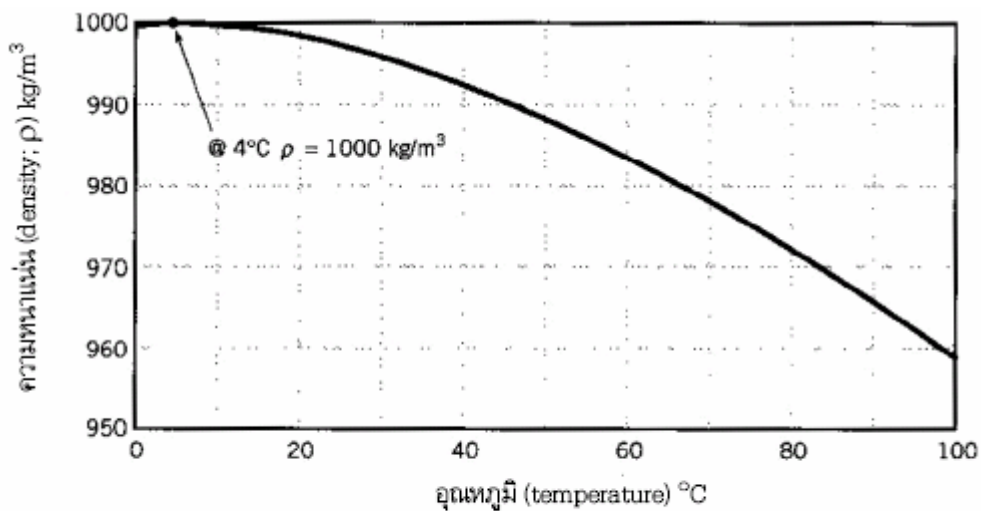
$V$  = ปริมาตรของของไหล หน่วยเป็น  $\text{m}^3$

**2.2 ค่าปริมาตรจำเพาะ (specific volume:  $V_s$ )** คือค่าปริมาตรต่อหน่วยมวล ดังนั้นค่านี้นิ่งเท่ากับส่วนกลับของความหนาแน่น

$$V_s = \frac{1}{\rho}$$

เมื่อ  $V_s$  = ปริมาตรจำเพาะของของไหล หน่วยเป็น  $\text{m}^3/\text{kg}$

$\rho$  = ความหนาแน่นของของไหล หน่วยเป็น  $\text{kg/m}^3$



ภาพที่ 7.1 ความหนาแน่นของน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ

ที่มา: Munson B.R., Young D.F., and Okishi T.H., *Fundamentals of Fluid Mechanics*. 2002. p.12.

2.3 ค่าน้ำหนักจำเพาะ (*specific weight*) นิยามโดยใช้สัญลักษณ์  $\gamma$  หมายถึง น้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

$$\gamma = \rho g$$

เมื่อ  $\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของของไหล หน่วยเป็น  $N/m^3$

$\rho$  = ความหนาแน่นของของไหล หน่วยเป็น  $kg/m^3$

$g$  = ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีค่าเท่ากับ  $32.174 \text{ ft/s}^2$  ในระบบอังกฤษ และมีค่าเท่ากับ  $9.81 \text{ m/s}^2$  ในระบบเมตริก

2.4 ค่าความถ่วงจำเพาะ (*specific gravity: SG*) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของของไหลต่อความหนาแน่นของน้ำ ณ อุณหภูมิเดียวกัน และเนื่องจากเป็นอัตราส่วน ค่าของ SG จึงไม่ขึ้นกับระบบหน่วยที่ใช้

$$SG = \frac{\rho}{\rho_w}$$

เมื่อ SG = ค่าความถ่วงจำเพาะ ไม่มีหน่วย

$\rho$  = ความหนาแน่นของของไหล หน่วยเป็น  $kg/m^3$

$\rho_w$  = ความหนาแน่นของน้ำ หน่วยเป็น  $kg/m^3$

=  $1,000 \text{ kg/m}^3$  (ตารางที่ 7.2)

### กิจกรรม 7.1.1

1. ให้อธิบายความแตกต่างระหว่างของเหลวและก๊าซ
2. ของไหลชนิดหนึ่งมีความหนาแน่น  $2,940 \text{ kg/m}^3$  จงวิเคราะห์หา
  - ก. ความถ่วงจำเพาะ
  - ข. ปริมาตรจำเพาะ
  - ค. น้ำหนักจำเพาะ

---

### แนวตอบกิจกรรม 7.1.1

1. ของเหลวมีคุณสมบัติอัดตัวได้ยาก (incompressible) ของเหลวจำนวนหนึ่งจะมีปริมาตรคงที่เสมอไม่ว่าบรรจุอยู่ในภาชนะรูปร่างอย่างไร ในขณะที่ก๊าซมีคุณสมบัติอัดตัวได้ง่าย (compressible) ก๊าซจะขยายตัวเต็มภาชนะที่บรรจุ

2. ค่าความถ่วงจำเพาะ ปริมาตรจำเพาะ และน้ำหนักจำเพาะของของไหล สามารถคำนวณได้ดังนี้
- ก. ความถ่วงจำเพาะ

$$SG = \frac{\rho}{\rho_w} = \frac{2,940}{1,000} = 2.94$$

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = 2.94$$

- ข. ปริมาตรจำเพาะ

$$V_s = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{2,940} = 340.14 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\text{ปริมาตรจำเพาะ} = 340.14 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{kg}$$

- ค. น้ำหนักจำเพาะ

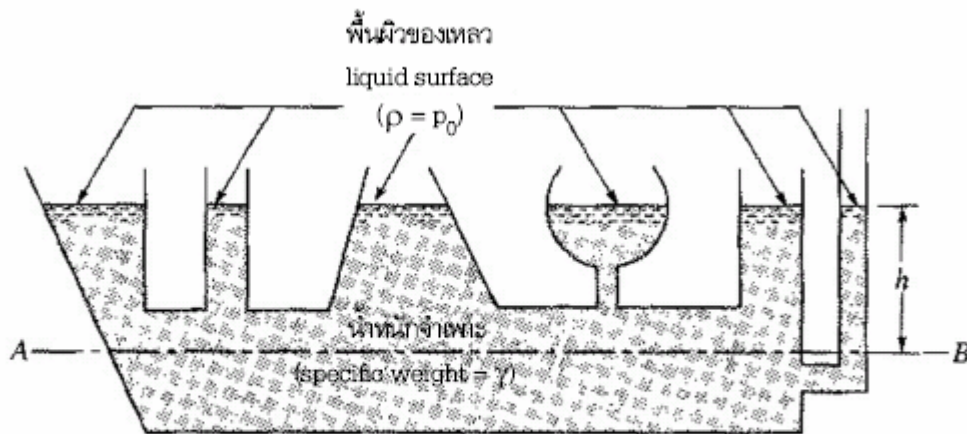
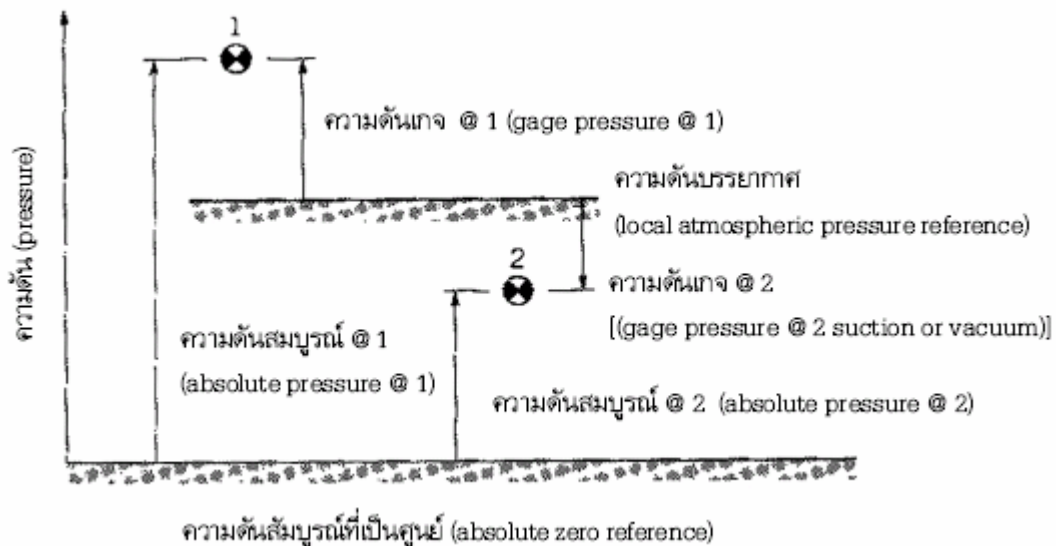
$$\gamma = \rho g = 2,940 \times 9.81 = 28.84 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$\text{น้ำหนักจำเพาะ} = 28.84 \text{ kN/m}^3$$

## สถิติศาสตร์ของของไหล

ของไหลที่อยู่หนึ่งไม่มีความเค้นเฉือน มีแต่แรงที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวเนื่องมาจากความดันในแนวตั้งฉาก หน่วยของความดันในระบบเมตริกใช้เป็น ปาสคาล (Pascal) หรือ PA หรือนิวตันต่อตารางเมตร หน่วยของความดันในระบบอังกฤษใช้เป็น ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi หรือ pound per square inch)

ความดันเป็นข้อมูลที่สำคัญอันหนึ่งของๆไหล อุปกรณ์เทคนิคหลายๆ อย่างจึง ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการวัดค่าความดัน โดยทั่วไปจะใช้ค่าความดันบรรยากาศ (atmospheric pressure) และความดันสัมบูรณ์ที่เป็นศูนย์ (absolute zero pressure) เป็นค่าความดันอ้างอิง ค่าความดันที่วัดเทียบกับความดันบรรยากาศเรียกว่า ความดันเกจ (gage pressure) ส่วนความดันที่วัดเทียบกับความดันสัมบูรณ์ที่เป็นศูนย์เรียกว่าความดันสัมบูรณ์ (absolute zero pressure) ความดันเกจที่เป็นศูนย์จะเท่ากับความดันบรรยากาศ



ภาพที่ 7.4 ของไหลที่บรรจุอยู่ในภาชนะรูปทรงที่แตกต่างกัน

ที่มา: Munson B.R., Young D.F., and Okishi T.H., *Fundamentals of Fluid Mechanics*. 2002. p.46.

กฎของก๊าซอุดมคติ ก๊าซเป็นของไหลที่กดกันได้ เมื่อเปรียบเทียบกับของเหลว การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นของก๊าซมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงความดันและอุณหภูมิ ตามกฎเกณฑ์ของก๊าซ

$$p = \rho RT$$

เมื่อ  $p$  = ความดันสัมบูรณ์ของก๊าซ หน่วยเป็น  $N/m^2$

$\rho$  = ความหนาแน่นของก๊าซ หน่วยเป็น  $kg/m^3$

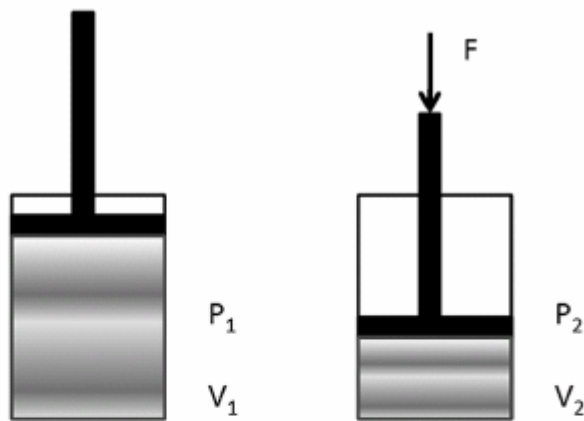
$R$  = ค่าคงที่ของก๊าซ

$T$  = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของก๊าซ หน่วยเป็น Kelvin

= อุณหภูมิ ( $^{\circ}C$ ) + 273

สมการนี้เรียกว่า กฎของก๊าซในอุดมคติ (ideal gas law)

กฎของบอยล์ กฎนี้กล่าวไว้ว่า ณ ที่อุณหภูมิคงที่ ปริมาตรก๊าซจะเปลี่ยนแปลงเป็นอัตราส่วนผกผันกับความดันก๊าซนั้น



ภาพที่ 7.5 ปริมาตรและความดันตามกฎของบอยล์

จะได้

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 = \text{ค่าคงที่ (constant)}$$

โดยที่  $p_1$  = ความดันสัมบูรณ์เริ่มต้น หน่วยเป็น  $N/m^2$

$p_2$  = ความดันสัมบูรณ์สุดท้าย หน่วยเป็น  $N/m^2$

$V_1$  = ปริมาตรเริ่มต้น หน่วยเป็น  $m^3$

$V_2$  = ปริมาตรสุดท้าย หน่วยเป็น  $m^3$

กฎของเกย์ลูสแซก ถ้าปริมาตรคงที่ในขณะที่ก๊าซหรืออากาศจำนวนหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงสภาพ ความดันจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ เขียนสมการ ได้ดังนี้

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

ถ้านำเอากฎของบอยล์และกฎของเกย์ลูสแซกรวมเข้าด้วยกันจะได้ว่า

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \text{ค่าคงที่ (constant)}$$

หรือ

$$Pv = mRT$$

เมื่อ  $p$  = ความดันสัมบูรณ์ของก๊าซ หน่วยเป็น  $N/m^2$

$V$  = ปริมาตรของก๊าซ หน่วยเป็น  $m^3$

$m$  = มวลของก๊าซ หน่วยเป็น  $kg$

$R$  = ค่าคงที่ของก๊าซ

$T$  = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของก๊าซ หน่วยเป็น Kelvin

ซึ่งมีความสอดคล้องกับกฎของก๊าซในอุดมคตินั่นเอง

### กิจกรรม 7.1.3

- อธิบายความแตกต่างระหว่างความดันเกจ และความดันสัมบูรณ์
- บอลูนบรรจุด้วยก๊าซฮีเลียม ปริมาตร 90,000 ลูกบาศก์เมตร ภายใต้ความดันบรรยากาศ 101 กิโล-ปาสกาล (abs) อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส จงวิเคราะห์หาความหนาแน่นและน้ำหนักทั้งหมดของก๊าซฮีเลียม (ค่า R ของก๊าซฮีเลียม =  $2.077 \times 10^3$  J/kg.K)

#### แนวตอบกิจกรรม 7.1.3

1. ความดันสัมบูรณ์ (absolute pressure) วัดเทียบจากค่าความดันสัมบูรณ์ที่เป็นศูนย์ (สูญญากาศโดยสมบูรณ์) ส่วนความดันเกจ (gage pressure) วัดเทียบจากความดันบรรยากาศ หรือเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\text{ความดันสัมบูรณ์} = \text{ความดันเกจ} + \text{ความดันบรรยากาศ}$$

2. ความหนาแน่นและน้ำหนักของก๊าซฮีเลียมในบอลูน

จากกฎของก๊าซอุดมคติ

$$p = \rho RT$$

หรือ

$$\rho = \frac{p}{RT} = \frac{(101 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}^2})}{(2,077 \frac{\text{J}}{\text{kg.K}})(15^\circ\text{C} + 273)\text{K}} = 0.169 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Weight} = \rho g \times \text{Volume}$$

$$= (0.169 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})(9 \times 10^4 \text{m}^3) = 1.49 \times 10^5 \text{N}$$

### กิจกรรม 7.1.4

จงอธิบายความหมายของความหนืดของของไหล และมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของของไหลอย่างไร

#### แนวตอบกิจกรรม 7.1.4

ความหนืดเป็นคุณสมบัติของของไหล ซึ่งใช้ต้านทานต่อแรงเฉือนระหว่างชั้นของไหล ความต้านทานต่อแรงเฉือนของของไหล ขึ้นอยู่กับแรงยึดเหนี่ยวและอัตราการถ่ายเทโมเมนตัมของของไหลนั้น ความหนืดของของไหลที่ความดันหนึ่งๆ จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ โดยที่ความหนืดของก๊าซจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และความหนืดของของเหลวจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

สมการของของไหล สมการที่มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์ การเคลื่อนที่ของของไหลมี 2 สมการ ซึ่งประกอบด้วย

- สมการความต่อเนื่อง (continuity equation) และสมการเบอร์นูลลี (Bernoulli equation)

#### 1. สมการความต่อเนื่อง

#### 2. สมการเบอร์นูลลี

หลักการของการไหลของของไหลภายในท่อ ในการวิเคราะห์จะใช้ท่อที่มีหน้าตัดกลมเป็นหลัก สำหรับการไหลในท่อกลมจะถือว่า ของไหลอยู่เต็มภายในท่อ การไหลแบบไม่เต็มท่อเรียกว่าการไหลแบบช่องเปิด (open channel) โดยมีแรงโน้มถ่วงเพียงอย่างเดียวเป็นตัวขับเคลื่อนในการไหล กรณีการไหลแบบเต็มท่อแรงขับเคลื่อนจะมาจากความดันที่แตกต่างกันระบบปั๊ม หรือพัดลมเป็นหลัก

การไหลแบบราบเรียบ (laminar flow) หรือ ปั่นป่วน (turbulent flow) นักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ ออสบอนด์ เรย์โนลด์ เป็นผู้ค้นพบ ค.ศ. 1842-1912 นคิดเชื่อมโยงลงไปในการสังเกตการไหลของสี ความเร็วของไหลต่ำ สีจะเป็นเส้นตรง อย่างมี

ระเบียบ เรียกว่าการไหลแบบราบเรียบ ถ้าความเร็วของไหลสูงจนถึงจุดหนึ่งเส้นการไหลจะไม่เป็นเส้นตรง ไม่มีระเบียบ เรียกการไหลแบบนี้ว่าการไหลแบบปั่นป่วน

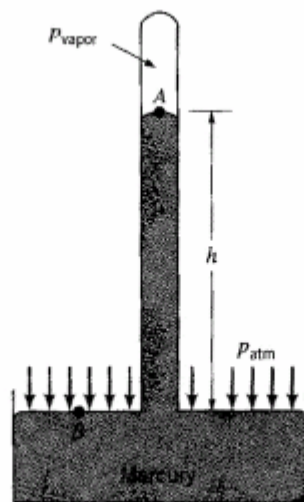
### การวิเคราะห์ค่าความดันสูญเสีย

1. ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันสูญเสีย หรือความดันตกคร่อมและความหนืด
2. เหนือความดัน
3. ความดันสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน ภายในท่อ สูญเสียจากข้อต่อและอื่นๆ สูญเสียที่วาล์ว ทางเข้าท่อ ทางออกท่อ ที่ท่อลด ที่ท่อขยาย

### การตรวจวัดการไหล

หลักการและเครื่องมือวัดความดัน ความดันเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากอันหนึ่งของของไหล จึงมีอุปกรณ์หลายอย่างถูกออกแบบและพัฒนามาเพื่อทำหน้าที่ในการตรวจวัดความดัน เช่น บาร์โรมิเตอร์ พิโซมิเตอร์ ทิวูทิว มาโนมิเตอร์ มาโนมิเตอร์แบบท่อเอียง และเกจวัดความดันแบบบุดอง

1. บาร์โรมิเตอร์ (barometer) รูปแบบประกอบด้วยหลอดแก้ว ปลายด้านหนึ่งปิด ปลายอีกด้านหนึ่งเปิด ปลายด้านเปิดจะถูกจุ่มลงในภาชนะที่บรรจุปรอทไว้



ภาพที่ 7.25 บาร์โรมิเตอร์ (barometer)

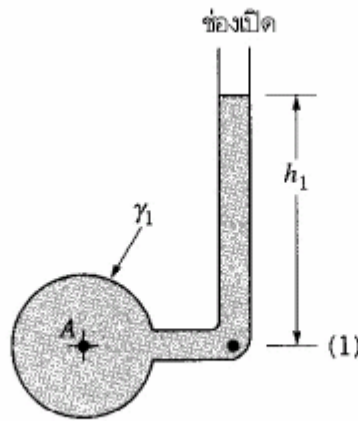
ที่มา: Munsun B.R., Young D.F., and Okishi T.H., *Fundamentals of Fluid Mechanics*. 2002. p.53.

เริ่มต้นหลอดแก้วจะถูกเติมไว้ด้วยปรอท จากนั้นจะถูกคว่ำปลายเปิดลงในภาชนะที่บรรจุปรอท ความสูงของปรอทในหลอดแก้วจะเลื่อนต่ำลงมาจนถึงจุดสมดุล ที่ซึ่งน้ำหนักของปรอทรวมกับแรงเนื่องมาจากความดันไอซึ่งเกิดขึ้นในช่องสุญญากาศภายในหลอดแก้วด้านบน สมดุลกับความดันบรรยากาศ

$$P_{atm} = \gamma h + P_{vapor}$$

เมื่อ  $\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของปรอท

2. พิโซมิเตอร์ ทิว (piezometer tube) เป็นเทคนิควัดค่าความดันเกจโดยใช้แท่งของเหลวที่ตั้งไว้ในแนวตั้ง ปลายเปิดติดเข้ากับภาชนะบรรจุของเหลว A ที่ต้องการวัดค่าความดัน



ภาพที่ 7.26 พิโซมิเตอร์ ทิว (piezometer tube)

ที่มา: Munsun B.R., Young D.F., and Okishi T.H., *Fundamentals of Fluid Mechanics*. 2002. p.54.

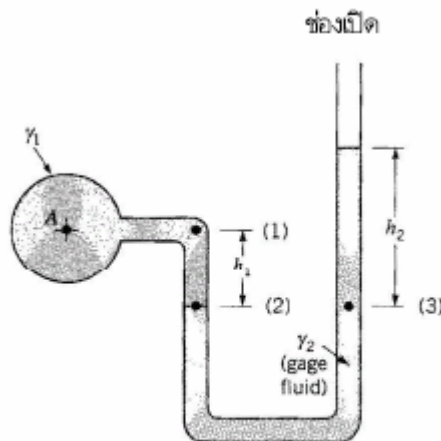
เนื่องจากการวัดความดันนี้จะใช้แนวคิดสถิตยศาสตร์ของของไหลดังนั้น สมการที่ใช้ในการอธิบายเครื่องมือนี้คือ

$$p_A = \gamma_1 h_1$$

- เมื่อ  $p_A$  = ความดันแกจ ณ ตำแหน่ง A หน่วยเป็น  $N/m^2$   
 $\gamma_1$  = น้ำหนักจำเพาะของของไหลที่ทำการวัด หน่วยเป็น  $N/m^3$   
 $h_1$  = ความสูงของของไหลจากตำแหน่งอ้างอิง หน่วยเป็น m

ความดันในภาชนะบรรจุบรรจุต้องมากกว่าความดันบรรยากาศ

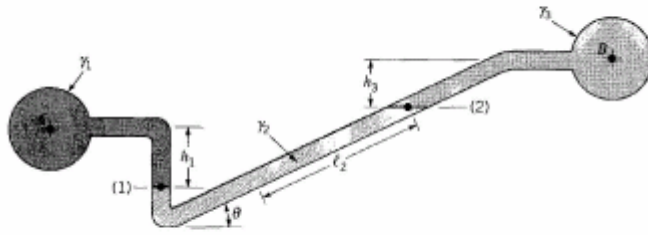
3. ยู ทิว มาโนมิเตอร์ (U Tube manometer) เพื่อเอาชนะข้อจำกัดของพิโซมิเตอร์ รูปแบบของมาโนมิเตอร์แบบตัวยู จึงได้ถูกพัฒนาออกมา ของไหลที่อยู่ในมาโนมิเตอร์เรียกว่าของไหลแกจ (gage fluid)



ภาพที่ 7.27 ยู ทิว มาโนมิเตอร์ (U Tube manometer)

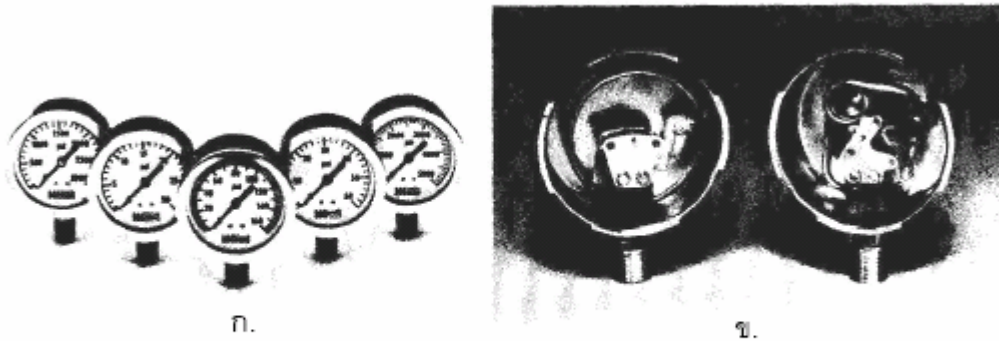
4. มาโนมิเตอร์แบบท่อเอียง (inclined – tube- manometer) ในการวัดเปลี่ยนแปลงความดันน้อยๆ ขาด้านหนึ่งของมาโนมิเตอร์อาจถูกจัดให้มีมุมเอียง





ภาพที่ 7.29 มาโนมิเตอร์แบบท่อเอียง (inclined-tube manometer)

5. เกจวัดความดันแบบบูดอง (bourdon pressure gage) มาโนมิเตอร์ทั้ง 4 ประเภท มีข้อจำกัดคือไม่สามารถวัดความดันสูงมากๆ ได้ หรือความดันมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอย่างรวดเร็ว เกจวัดความดันแบบบูดองได้ถูกพัฒนาจากท่อกลวงที่มีความอ่อนตัว นำมาจัดให้มีความโค้ง เมื่อต่อของไหลให้ไหลเข้าไปในท่อกลวงนี้ หากมีการเปลี่ยนแปลงความดัน ความดันของของไหลเพิ่มขึ้น ท่อจะดึงออกเป็นเส้นตรงแล้วไปขับฟันเฟืองหมุนขั้วเข็มชี้ไปตามสเกล

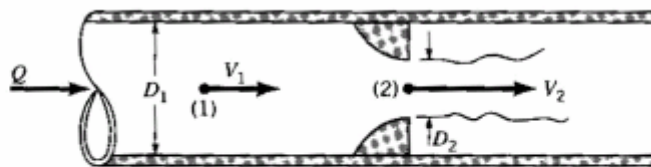


ภาพที่ 7.30 เกจวัดความดันแบบบูดอง (bourdon pressure gage)

ที่มา: Munson B.R., Young D.F., and Okishi T.H., *Fundamentals of Fluid Mechanics*. 2002. p.59.

### หลักการและเครื่องมือวัดอัตราการไหล

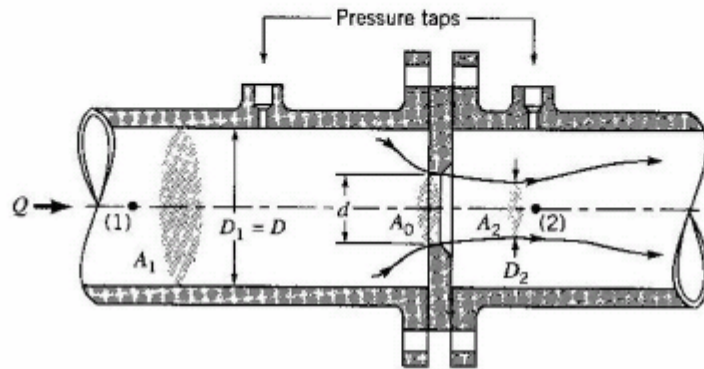
1. มิเตอร์วัดอัตราการไหล 3 ประเภทคือ ออร์ิฟิซ (orifice) หัวฉีด (nozzle) และแบบเวนทูรี (venture) มิเตอร์ทั้ง 3 แบบทำงานโดยใช้หลักการลดพื้นที่หน้าตัดของการไหลทำให้ความเร็วของการไหลสูงขึ้นพร้อมกับความดันที่ลดลง ความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ลดลงและความเร็วที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดเป็นแนวคิดหลักของของการวัดอัตราการไหล



ภาพที่ 7.31 หลักการวัดของเครื่องมือวัดอัตราการไหล

ที่มา: Munson B.R., Young D.F., and Okishi T.H., *Fundamentals of Fluid Mechanics*. 2002. p.529.

1.1 ออริฟิซมิเตอร์ (orifice meter) สร้างขึ้นจากการแทรกแผ่นเรียบที่มีรูเจาะตรงกลาง เข้าไปในระหว่างสองหน้าแปลนของท่อ ดังแสดงในภาพที่ 7.32



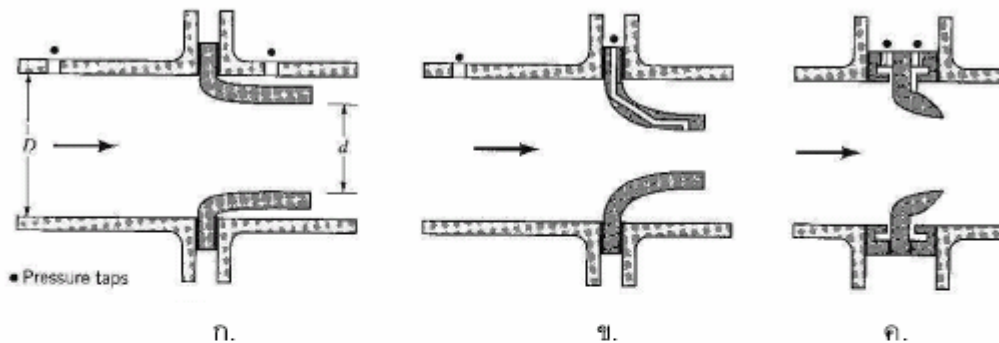
ภาพที่ 7.32 ออริฟิซมิเตอร์ (orifice meter)

ที่มา: Munson B.R., Young D.F., and Okishi T.H., *Fundamentals of Fluid Mechanics*. 2002. p.530.

สมการที่ใช้ในการคำนวณอัตราการไหลคือ

$$Q = C_o Q_{ideal} = C_o A_o \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(1 - \beta^4)}}$$

1.2 มิเตอร์แบบหัวฉีด (nozzle meter) มิเตอร์แบบหัวฉีดใช้หลักการเดียวกับออริฟิซมิเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 7.34



ภาพที่ 7.34 มิเตอร์แบบหัวฉีด (nozzle meter)

ที่มา: Munson B.R., Young D.F., and Okishi T.H., *Fundamentals of Fluid Mechanics*. 2002. p.530.

สมการที่ใช้ในการคำนวณอัตราการไหลคือ

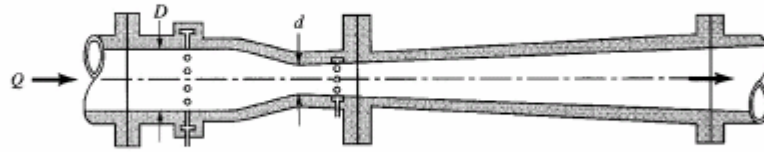
$$Q = C_n Q_{ideal} = C_n A_n \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(1 - \beta^4)}}$$

เมื่อ  $C_n$  = ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านหัวฉีด หาได้จากภาพที่ 7.35

$$A_n = \pi \frac{d^2}{4}$$

$$\beta = \frac{d}{D} \text{ อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลาง}$$

1.3 เวนจูรีมิเตอร์ (venturi meter) เป็นแบบที่แพงที่สุดในสามประเภท แต่ก็ให้ความแม่นยำในการวัดที่สูงที่สุดในสามประเภทเช่นเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 7.36



ภาพที่ 7.36 เวนจูรีมิเตอร์ (venturi meter)

ที่มา: Munson B.R., Young D.F., and Okishi T.H., *Fundamentals of Fluid Mechanics*. 2002. p.531.

หลักการพื้นฐานเหมือนกันแต่เวนจูรีมิเตอร์ถูกออกแบบมาเพื่อลดการเกิดความดันสูญเสียให้ต่ำที่สุด สมการที่ใช้ในการคำนวณอัตราการไหลคือ

$$Q = C_v Q_{ideal} = C_v A_T \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(1 - \beta^4)}}$$

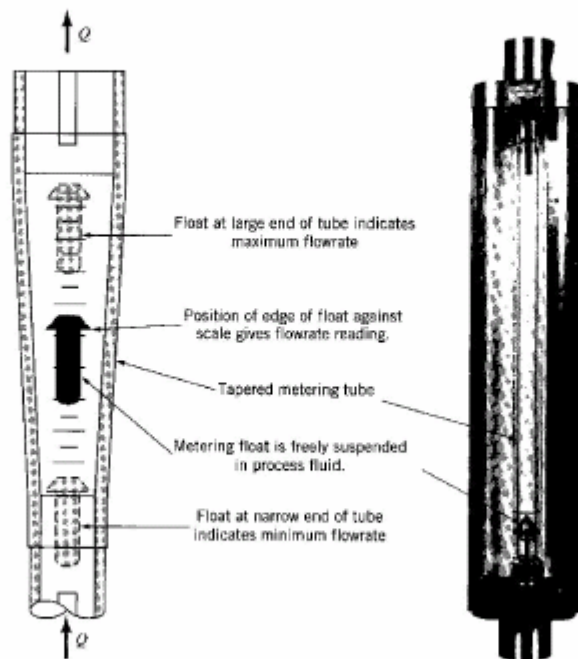
เมื่อ  $C_v$  = ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลผ่านเวนจูรี หาได้จากภาพที่ 7.37

$$A_T = \pi \frac{d^2}{4} = \text{throat area}$$

$$\beta = \frac{d}{D} = \text{อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลาง}$$

## 2. โรตานิเตอร์ (rota meter)

ใช้หลักการลอยตัวของลูกลอย ซึ่งลอยตัวอยู่ในท่อโปร่งใส ตั้งอยู่ในแนวตั้งขณะที่ของไหลเคลื่อนที่ผ่าน จากด้านล่างขึ้นไปตามแนวตั้ง ลูกลอยจะลอยตัวขึ้นและไปหยุด ณ ตำแหน่งสมดุลกับแรงกระทำจากการไหลของของไหล ดังแสดงในภาพที่ 7.38

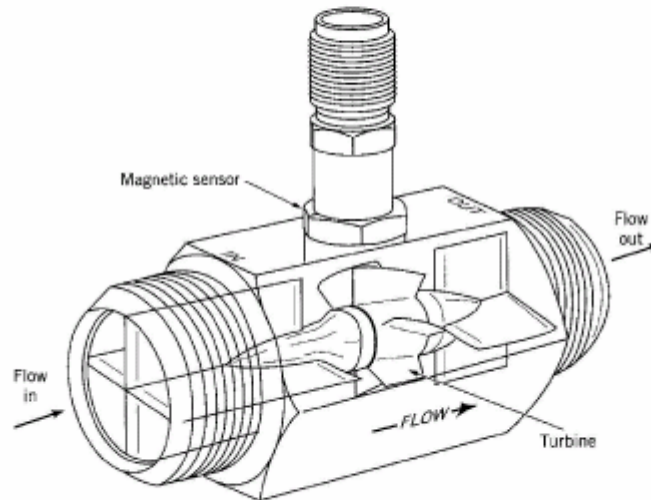


ภาพที่ 7.38 โรตานิเตอร์ (rota meter)

ที่มา: Munson B.R., Young D.F., and Okishi T.H., *Fundamentals of Fluid Mechanics*. 2002. p.533.

### 3. เทอร์ไบน์มิเตอร์ (turbine meter)

ใช้หลักการหมุนของใบพัด ความเร็วของการหมุนจะเป็นฟังก์ชันของความเร็วของของไหลโดยเฉลี่ยที่เคลื่อนที่อยู่ภายในท่อ ค่าความเร็วเชิงมุมนี้สามารถแปลงเป็นสัญญาณทางแม่เหล็กไฟฟ้า และทำให้เกิดสัญญาณต่อการวัดอัตราการไหล ดังแสดงในภาพที่ 7.39



ภาพที่ 7.39 เทอร์ไบน์มิเตอร์ (turbine meter)

ที่มา: Munsun B.R., Young D.P., and Okishi T.H., *Fundamentals of Fluid Mechanics*. 2002. p.534.

#### กิจกรรม 7.3.2

เหตุใดสมการที่ใช้ในการวัดอัตราการไหลจึงต้องมีค่าสัมประสิทธิ์ของการวัดอัตราการไหลประกอบอยู่ด้วย

---

#### แนวตอบกิจกรรม 7.3.2

สมการอัตราการไหลนี้เป็นสมการในอุดมคติ ยังไม่ได้คำนึงถึงค่าความดันสูญเสีย ทำให้ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยสมการนี้ยังคงมีความคลาดเคลื่อนอยู่มาก จึงได้มีการทดลองเพื่อหาค่าปรับแก้ให้กับสมการนี้ เรียกว่าสัมประสิทธิ์ของการวัดอัตราการไหล