

# บทที่ 6

## กลศาสตร์ของไหล

ของไหล หมายถึงของเหลว และแก๊ส แก๊สสามารถถูกอัดให้มีปริมาตรเล็กลงได้ง่าย ของเหลวถูกอัดให้มีปริมาตรน้อยลงได้บ้างเหมือนกันแต่น้อยมาก ในบทนี้จะไม่คำนึงถึงปริมาตรของของเหลวที่หายไปเนื่องจากการอัดตัว เพราะถือว่ามันมีค่าน้อยมากจนสามารถตัดทิ้งได้ กลศาสตร์ของไหลแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ สถิตศาสตร์ของไหล เป็นการศึกษาของไหลที่อยู่นิ่ง ซึ่งอยู่ในสภาวะสมดุล เป็นไปตามกฎข้อที่ 1 ของนิวตัน พลศาสตร์ของไหล เป็นการศึกษาของไหลที่เคลื่อนที่

### 6.1 ความหนาแน่น

ความหนาแน่นเป็นสมบัติเฉพาะตัวของสสาร หมายถึง มวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ดังนั้นความหนาแน่นมีหน่วยเป็น  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$  แทนด้วยสัญลักษณ์กรีก  $\rho$  (อ่านว่า rho, โร)

กำหนดให้มวล  $m$  มีปริมาตร  $V$  จะได้

$$\text{ความหนาแน่น} \quad \rho = \frac{m}{V} \quad (6.1)$$

ตารางที่ 6.1 แสดงความหนาแน่นของวัสดุชนิดต่าง ๆ

วัสดุ	ความหนาแน่น $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	วัสดุ	ความหนาแน่น $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
อะลูมิเนียม	2.7	เงิน	10.5
ทองเหลือง	8.6	เหล็กกล้า	7.8
ทองแดง	8.9	ปรอท	13.6
ทอง	19.3	เอทิลแอลกอฮอล์	0.81
น้ำแข็ง	0.92	เบนซิน	0.90
เหล็ก	7.8	กลีเซอริน	1.26
ตะกั่ว	11.3	น้ำ	1.00
ทองคำขาว	21.4	น้ำทะเล	1.03

วัสดุที่มีความหนาแน่นมากที่สุดในโลกเป็นโลหะ ชื่อ ออสเมียม (osmium) มีค่าประมาณ  $22.5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  ( $1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3} = 1,000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) ความหนาแน่นของอากาศมีค่าประมาณ  $0.0012 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  ความหนาแน่นของดาวแคระขาว (White dwarf star) ประมาณ  $10^6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$

ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (เดิมเรียกว่าความถ่วงจำเพาะ) คือ ความหนาแน่นของวัสดุนั้นเทียบกับความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้เป็นมาตรฐาน ว่ามีค่าเป็นกี่เท่าของความหนาแน่นของวัสดุมาตรฐาน โดยทั่วไปถ้าเป็นของแข็งหรือของเหลวเราจะให้น้ำเป็นวัสดุมาตรฐาน แต่ถ้าเป็นแก๊สนิยมใช้ออกซิเจนเป็นวัสดุมาตรฐาน

$$\begin{aligned}
 \text{ความหนาแน่นสัมพัทธ์} &= \frac{\text{ความหนาแน่นวัสดุ}}{\text{ความหนาแน่นของน้ำ}} \\
 &= \frac{\text{มวลของวัสดุ}}{\text{มวลของน้ำที่ปริมาตรเท่ากัน}} \\
 &= \frac{\text{น้ำหนักของวัสดุ}}{\text{น้ำหนักของน้ำที่ปริมาตรเท่ากัน}}
 \end{aligned}$$

ความหนาแน่นสัมพัทธ์เป็นสัดส่วนของปริมาณเดียวกันจึงเป็นตัวเลขที่ไม่มีหน่วย เนื่องจากเทียบกับน้ำ ดังนั้น ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของน้ำจึงเท่ากับ 1 เพราะเทียบกับตัวมันเอง ถ้าต้องการทราบความหนาแน่นของวัสดุใดก็ให้นำเอา  $10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^3$  คูณกับค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ของวัสดุนั้น ตัวอย่างเช่นถ้าความหนาแน่นสัมพัทธ์ของเหล็ก = 7.8 จะได้ความหนาแน่นของเหล็ก  $7.8 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^3$  เป็นต้น

**ตัวอย่างที่ 6.1** นักสำรวจเดินทางด้วยบอลูนบรรจุแก๊ส ก่อนออกเดินทาง เขาบรรจุแก๊สฮีเลียมที่มีปริมาตร 400 ลูกบาศก์เมตร และมวล 65 กิโลกรัม ขณะนั้นแก๊สฮีเลียมในบอลูนมีความหนาแน่นเท่าใด

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

แทนค่าจะได้  $= \frac{65}{400} = 0.16 \text{ kg} / \text{m}^3$

คำตอบ ความหนาแน่นของแก๊สฮีเลียมเท่ากับ 0.16 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

## 6.2 ความดันในของไหล

ในหัวข้อ 6.1 ได้นิยามความดันของของไหลสถิต ดังสมการ (6.1) จะเห็นว่าความดันที่กระทำ ณ ส่วนใด ๆ ของของไหลมีค่าเท่ากันทุกจุด โดยที่ยังไม่ได้คติน้ำหนักของของไหล ในความเป็นจริงจะเห็นว่า ความดันอากาศที่ระดับน้ำทะเลจะมีค่ามากกว่าบนภูเขา และความดันของน้ำใต้ท้องทะเลลึกจะสูงกว่าที่ระดับน้ำทะเล ความดันของน้ำทะเลเพิ่มขึ้นตามความลึก ยิ่งลึกมากความดันก็ยิ่งมาก เป็นเพราะว่าของไหลมีน้ำหนักนั่นเอง จากนิยามของความดัน ถ้าพื้นที่ A เป็นพื้นที่ราบ ความดันจะเท่ากันตลอด

$$\begin{aligned}
 p &= \frac{F}{A} \\
 F &= pA
 \end{aligned}$$

หน่วยมาตรฐานของความดันคือ นิวตันต่อตารางเมตร ( $1 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$ ) เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ปาสคาล เขียนด้วยอักษรย่อ Pa

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$$

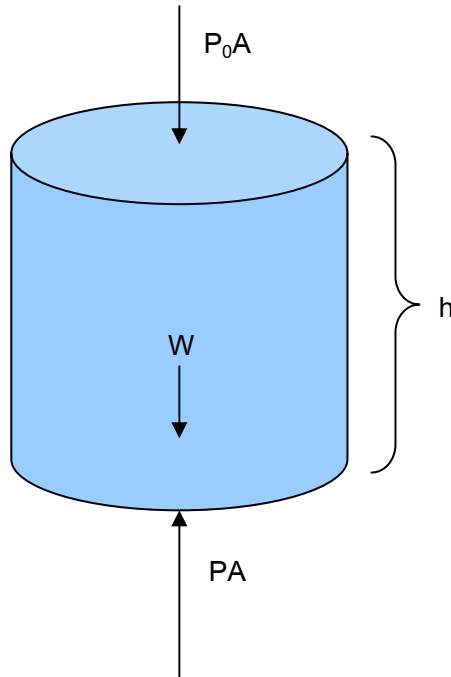
หน่วยวัดความดันอื่น ๆ ที่นิยมใช้

$$1 \text{ bar ( dyne / cm}^2 \text{ )} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ ทอร์ (Tor, Toricelli)} = 1 \text{ mmHg}$$

ความดันบรรยากาศมาตรฐานหรือความดันอากาศปกติ = 1 atm =  $1.01325 \times 10^5$  Pa

พิจารณาของเหลวที่มีความหนาแน่น  $\rho$  และอยู่ในภาชนะเปิด ให้คิดว่าของเหลวมีรูปทรงเป็นทรงกระบอกที่มีความสูง  $h$  และมีพื้นที่หน้าตัด  $A$  ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 แรงต่างที่กระทำของเหลวรูปทรงกระบอก

ให้  $W$  เป็นน้ำหนักของของเหลวบนพื้นที่  $A$  ดังนั้น

$$W = mg = \rho Vg = \rho Ahg$$

ให้  $P_0$  เป็นความดันบรรยากาศ ดังนั้นแรงที่อากาศกระทำพื้นที่  $A$  ด้านบนคือ  $P_0 A$  มีทิศลง

$P$  เป็นความดันเนื่องจากน้ำหนักของของเหลวที่มีความลึก  $h$  บนพื้นที่  $A$  ดังนั้นแรงที่ของเหลวกระทำต่อพื้นที่  $A$  คือ  $PA$  มีทิศขึ้น

เนื่องจากของเหลวอยู่ในสมดุล แรงลัพธ์ที่กระทำในแนวตั้งมีค่าเป็นศูนย์

$$\text{ดังนั้น } PA = P_0 A + \rho Ahg$$

$$\text{จะได้ } P = P_0 + \rho gh \quad (6.2)$$

จึงกล่าวได้ว่า ความดันในของเหลวที่มีความหนาแน่น  $\rho$  ที่ระดับความลึก  $h$  จากผิวของเหลวที่บรรจุในภาชนะเปิดสู่บรรยากาศเท่ากับผลรวมของความดันบรรยากาศ  $P_0$  กับปริมาณ  $\rho gh$

ปริมาณ  $\rho gh$  เป็นความดันในของเหลวที่ระดับความลึก  $h$  ซึ่งเกิดจากน้ำหนักของเหลวเพียงอย่างเดียว ความดันนี้เรียกว่า ความดันเกจ

**ตัวอย่างที่ 6.2** เรือดำน้ำลำหนึ่งอยู่ที่ระดับความลึก 100 เมตร จงหาความดันเกจและความดันสมบูรณ์ ที่ตัวเรือดำน้ำ ถ้าน้ำทะเลมีความหนาแน่น  $1.024 \times 10^3$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความดันบรรยากาศที่น้ำทะเลเท่ากับ  $1.013 \times 10^5$  ปาสคาล

**วิธีทำ** หาความดันเกจจาก

$$P_g = \rho gh$$

$$= (1.024 \times 10^3)(9.8)(100)$$

$$= 1.004 \times 10^6 \text{ Pa}$$

หาความดันสมบูรณ์จาก

$$P = P_0 + P_g$$

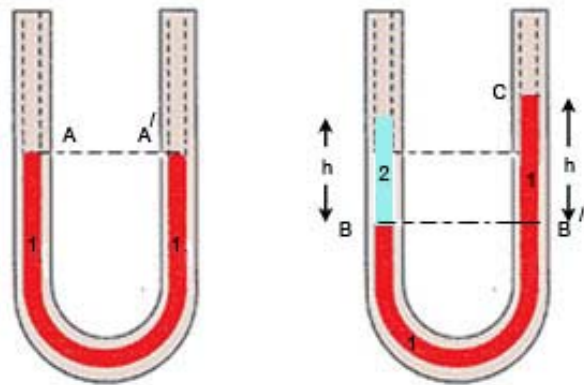
$$= (1.013 \times 10^5)(1.004 \times 10^6)$$

$$= 1.11 \times 10^6 \text{ Pa}$$

**คำตอบ** ความดันเกจและความดันสมบูรณ์ที่ตัวเรือดำน้ำเท่ากับ  $1.004 \times 10^6 \text{ Pa}$  และ  $1.11 \times 10^6 \text{ Pa}$  ตามลำดับ

### 6.2.1 หลอดแก้วรูปตัวยู

เมื่อใส่ของเหลวลงในหลอดแก้วรูปตัวยู ระดับของของเหลวในแขนของหลอดแก้วทั้งสองจะอยู่ที่ระดับเดียวกัน ไม่ว่าพื้นที่หน้าตัดของหลอดทั้งสองจะเท่ากันหรือไม่ก็ตาม ( แต่ถ้าหลอดแก้วมีขนาดเล็กมาก ๆ แรงตึงผิวของของเหลวจะทำให้ระดับของของเหลวเปลี่ยนไปเล็กน้อย)



รูปที่ 6.2 (ซ้ายมือ) ของเหลว 1. สมดุลอยู่ในหลอดแก้วรูปตัวยู (ขวามือ) เมื่อใส่ของเหลว 2. ลงไปในหลอดแก้ว

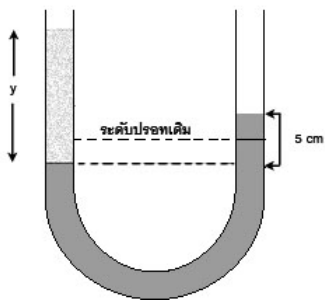
เมื่อนำของเหลว 2. ซึ่งไม่ผสมกับของเหลว 1. ใส่ลงไปในหลอดแก้ว พบว่าจะทำให้ของเหลว 1. สูงขึ้นไปอยู่ที่ระดับ C และระดับของของเหลว 1. ในแขนด้านซ้ายมือลดลงมาอยู่ที่ระดับ B เมื่อของเหลวสมดุลแสดงว่าความดันที่ B เท่ากับความดันที่ B' ( จะเห็นว่าเราพิจารณาตรงระดับที่เป็นรอยต่อระหว่างของเหลวทั้งสองชนิด)

$$\begin{aligned}
 p_B &= p_a + \rho_1 g h_1 \\
 p_B &= p_a + \rho_2 g h_2 \\
 \text{จะได้ } \rho_1 h_1 &= \rho_2 h_2 \tag{6.3}
 \end{aligned}$$

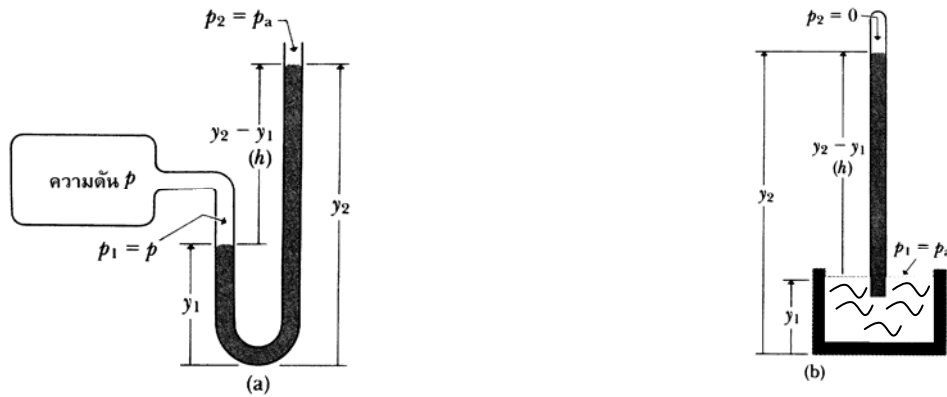
**ตัวอย่างที่ 6.3** หลอดแก้วรูปตัวยู มีพื้นที่หน้าตัดสม่ำเสมอ ใส่ปรอทที่มีความหนาแน่น  $13.6 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ต้องเติมน้ำลงในหลอดข้างหนึ่งให้สูงเท่าใด จึงจะทำให้ระดับปรอทในแขนอีกข้างหนึ่งสูงขึ้นจากเดิม 2.5 cm. ให้ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ  $10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

**วิธีทำ**

เพราะว่า  $\rho_{\text{น้ำ}} y = \rho_2 h$

$$\begin{aligned}
 y &= \frac{(13.6 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3})(5 \times 10^{-2} \text{ m})}{10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}} \\
 &= 0.68 \text{ m} \\
 &= 68 \text{ cm.}
 \end{aligned}$$


**6.2.2 มานอมิเตอร์**



รูปที่ 6.3 (a) มานอมิเตอร์ (b) บารอมิเตอร์แบบปรอท

มานอมิเตอร์แบบปลายเปิด รูปที่ 6.3 (a) ใช้เป็นเครื่องมือวัดความดันแบบง่ายที่สุด ประกอบด้วยหลอดแก้วรูปตัวยู ปลายหนึ่งเปิด ความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ ปลายอีกข้างหนึ่ง(ด้านซ้ายมือ) มีความดัน p ซึ่งเป็นความดันที่ต้องการวัด

ความดันที่กั้นหลอดด้านซ้าย =  $p_a + \rho g y_1$  และความดันที่กั้นหลอดด้านขวา =  $p_a + \rho g y_2$  เมื่อ  $\rho$  คือความหนาแน่นของของเหลวในหลอด เนื่องจากความดันที่ระดับเดียวกันย่อมเท่ากัน ดังนั้น

$$p + \rho g y_1 = p_a + \rho g y_2$$

$$p - p_a = \rho g (y_2 - y_1) = \rho g h \quad (6.4)$$

ความดัน  $p$  นี้เรียกว่า ความดันสัมบูรณ์ ผลต่างของความดันสัมบูรณ์กับความดันบรรยากาศ เรียกว่า ความดันเกจ (Gauge pressure)

เครื่องมือวัดความดันอีกแบบหนึ่ง คือ บารอมิเตอร์ เป็นหลอดแก้วยาวปลายข้างหนึ่งปิดมีปรอทบรรจุอยู่เต็ม แล้วจับหลอดนี้คว่ำลงในอ่างปรอท ดังแสดงในรูป 5.5 (b) ที่ว่างเหนือปรอทมีแต่ไอปรอท ซึ่งความดันไอปรอท ณ อุณหภูมิห้องมีค่าน้อยมาก ประมาณว่าเป็นศูนย์ เพราะฉะนั้น

$$p_a = \rho g (y_2 - y_1)$$

$$= \rho g h$$

ความดันของบรรยากาศ แปรผันตรงกับความสูงของปรอท เราจึงมีหน่วยวัดความดันเป็นความสูงของปรอท ความดัน 1 บรรยากาศ เท่ากับความสูงของปรอท 760 มม.

$$p_a = \rho g h = (13.6 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3})(9.8 \text{ m.s}^{-2})(0.76 \text{ m})$$

$$= 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

ความดัน 1 มิลลิเมตรของปรอท มีค่าเท่ากับ 1 ทอร์ โดยตั้งชื่อหน่วยเป็นเกียรติแก่นักฟิสิกส์ชาวอิตาลีชื่อว่าทอริเซลลี Toricelli (1608-1647) ซึ่งเป็นคนแรกที่ได้ศึกษาลำปรอทในบารอมิเตอร์

**ตัวอย่างที่ 6.4** จากรูปที่ 6.3 (a) ด้านซ้ายมือของมานอมิเตอร์ต่อกับถังแก๊ส ปรอททางด้านขวามือสูงกว่าด้านซ้ายอยู่ 39 ซม. บารอมิเตอร์ที่อยู่ใกล้ ๆ อ่านค่าได้ 75 ซม.ของปรอท จงหาความดันสมบูรณ์ของแก๊สในถัง

**วิธีทำ** ความดันของแก๊สในถัง = ความดันของอากาศ + ความดันของปรอทที่สูงกว่าอยู่ 39 ซม.

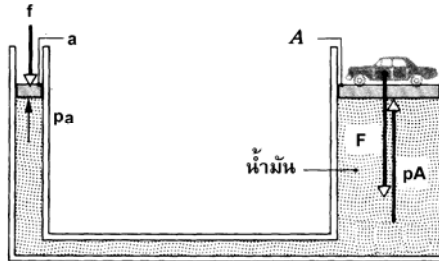
$$= 75 \text{ cm} + 39 \text{ cm}$$

$$= 114 \text{ cm Hg} = 114 \text{ cmHg} / 76 \text{ cm.Hg}$$

$$= 1.5 \text{ เท่าของความดันบรรยากาศ}$$

### 5.2.3 กฎของปาสคาล

มีใจความว่า ความดันที่กระทำต่อส่วนหนึ่งส่วนใดของของไหลในภาชนะปิด จะส่งผ่านไปยังทุก ๆ ส่วนของของไหล รวมทั้งผนังภาชนะที่บรรจุของไหลด้วยขนาดเท่ากันตลอด



รูปที่ 6.4 เครื่องอัดไฮดรอลิก

เครื่องอัดไฮดรอลิก เป็นตัวอย่างการนำกฎของปาสคาลไปประยุกต์ ดังรูป 6.4 เมื่อออกแรง  $f$  กดลงบนลูกสูบตัวเล็กพื้นที่หน้าตัด  $a$  ความดัน  $= f/a$  จะถูกส่งผ่านไปยังทุก ๆ ส่วนของของไหล รวมถึงลูกสูบใหญ่ที่มีพื้นที่หน้าตัด  $A$  จากกฎของปาสคาล จะได้

$$p = \frac{f}{a} = \frac{F}{A} \quad \text{หรือ} \quad F = \frac{A}{a} f$$

เพราะฉะนั้นเครื่องอัดไฮดรอลิกจะได้แรงยกทางฝั่งของลูกสูบใหญ่มากกว่าแรงที่ให้ทางฝั่งของลูกสูบเล็ก เครื่องมือหลายชนิดอาศัยหลักการนี้ช่วยผ่อนแรง เช่น แม่แรงยกรถ ห้ามล้อ และเครื่องกดไฮดรอลิก แก้อื้อข้างตัดผม แก้อื้อทันตแพทย์ เป็นต้น

**ตัวอย่างที่ 6.5** เครื่องอัดไฮดรอลิกเครื่องหนึ่ง กำหนดให้ลูกสูบเล็กมีเส้นผ่าศูนย์กลางยาว 1 cm ออกแรงกดขนาด 50 N ทำให้ลูกสูบเล็กเคลื่อนที่ลง 7 cm ถ้าลูกสูบใหญ่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 cm จงคำนวณหา

- ก) แรงดันบนลูกสูบใหญ่
- ข) ความดันบนลูกสูบใหญ่
- ค) ถ้าต้องการให้ลูกสูบใหญ่เคลื่อนที่ขึ้นสูง 10 cm จะต้องออกแรงกดที่ลูกสูบเล็กกี่ครั้ง

**วิธีทำ**

- ก) ให้แรงดันที่ลูกสูบเล็ก  $= F_1$  , ความดัน  $p_1$  และพื้นที่หน้าตัด  $= A_1$   
แรงดันที่ลูกสูบใหญ่  $= F_2$  , ความดัน  $p_2$  และพื้นที่หน้าตัด  $= A_2$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad p_1 &= p_2 \\ \frac{F_1}{A_1} &= \frac{F_2}{A_2} \end{aligned}$$

$$\text{แทนค่า} \quad \frac{50}{\pi \left(\frac{1}{2} \times 10^{-2}\right)^2} = \frac{F_2}{\pi \left(\frac{20}{2} \times 10^{-2}\right)^2}$$

แรงดันบนลูกสูบใหญ่

$$F_2 = 50 \times (20)^2$$

$$= 2 \times 10^4 \text{ N}$$

ข.) ความดันบนลูกสูบใหญ่

$$p_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

$$= \frac{2 \times 10^4}{\pi \left(\frac{20}{2} \times 10^{-2}\right)^2} \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$$

$$= 63.7 \times 10^4 \text{ N}\cdot\text{m}^{-2}$$

ค.) ถ้ากดลูกสูบเล็กลงเป็นปริมาตร V ลูกสูบใหญ่จะถูกยกขึ้นด้วยปริมาตร V เช่นเดียวกัน ดังนั้น

$$A_1 h_1 = A_2 h_2$$

ถ้า  $h_1 = 7 \times 10^{-2} \text{ m}$  จะได้

$$\pi \left(\frac{1}{2} \times 10^{-2}\right)^2 \times 7 \times 10^{-2} = \pi \left(\frac{1}{2} \times 20 \times 10^{-2}\right)^2 h_2$$

$$h_2 = \frac{7 \times 10^{-2}}{20 \times 20} \text{ m}$$

$$= 1.75 \times 10^{-4} \text{ m}$$

นั่นคือ กดลูกสูบเล็ก 1 ครั้ง ลูกสูบใหญ่ยกขึ้น  $1.75 \times 10^{-4} \text{ m}$  หรือ  $= 1.75 \times 10^{-2} \text{ cm}$

ถ้าต้องการให้ลูกสูบใหญ่เคลื่อนที่ขึ้น 10 cm

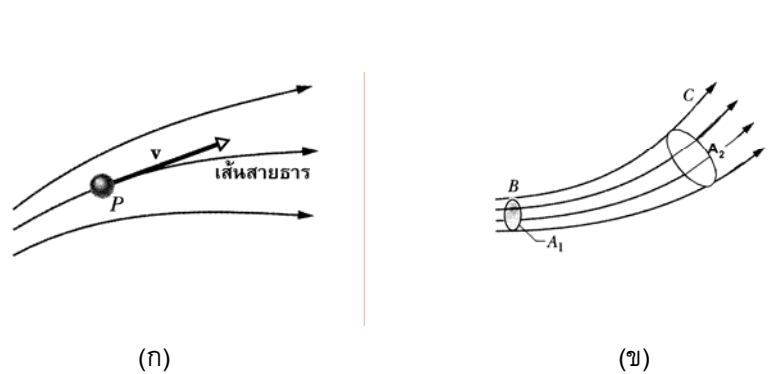
$$\text{จะต้องกดลูกสูบเล็กลง} = \frac{10}{1.75 \times 10^{-2}}$$

$$= 0.571 \times 10^3 = 571 \text{ ครั้ง}$$



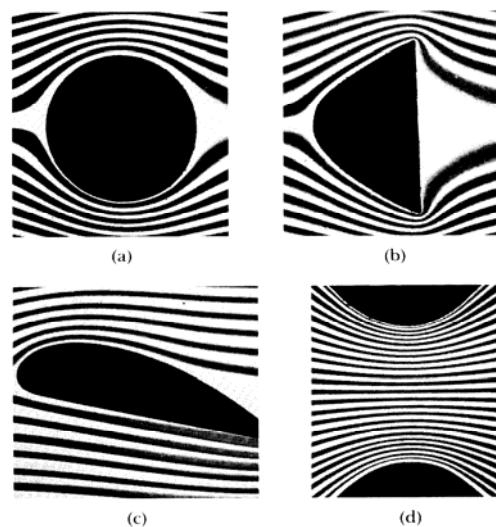
### 6.3 สมการความต่อเนื่อง

เส้นสายธารของการไหล (stream line) หรือฟลักซ์ของการไหล คือเส้นที่ลากสัมผัสกับทิศทางของการไหลที่ทุก ๆ จุด ในสนามการไหลในขณะใดขณะหนึ่ง



รูปที่ 6.5 ก) เส้นที่ลากสัมผัสกับทิศทางของการไหลที่ทุก ๆ จุด คือเส้นสายธาร  
ข) แสดงหลอดของการไหล อัตราการไหลจะเท่ากันที่ภาคตัดขวางใดๆ

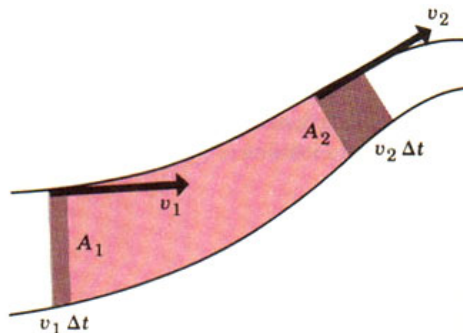
ของไหลที่มีการไหลแบบสม่ำเสมอสามารถสร้างเป็นเส้นสายธารจำนวนหนึ่ง หรือมัดหนึ่งซึ่งประกอบกันเป็นท่อหรือหลอด เราเรียกส่วนที่มีรูปร่างเป็นท่อนี้ว่า หลอดของการไหล (tube of flow)



รูปที่ 6.6 (a) , (b) และ (c) แสดงเส้นสายธารที่ไหลผ่านสิ่งกีดขวางรูปทรงต่าง ๆ  
ส่วน (d) ไหลในช่องทางที่มีพื้นที่ภาคตัดขวางแคบลง

พิจารณาหลอดของการไหล ซึ่งของไหลไหลเข้าผ่านพื้นที่หน้าตัด  $A_1$  ด้วยความเร็ว  $v_1$  และไหลออกผ่านพื้นที่หน้าตัด  $A_2$  ด้วยความเร็ว  $v_2$  ดังรูปที่ 6.7 ปริมาตรของไหลที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด  $A_1$  ในช่วงเวลา  $dt$  คือ

$A_1 v_1 dt$  ถ้าให้ความหนาแน่นของของไหลคือ  $\rho$  มวลของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่  $A_1$  ในเวลา  $dt$  คือ  $\rho A_1 v_1 dt$  ในทำนองเดียวกัน มวลของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่  $A_2$  ในช่วงเวลาเดียวกันคือ  $\rho A_2 v_2 dt$  ถ้าเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ มวลที่ไหลเข้าจะเท่ากับมวลที่ไหลออก



รูปที่ 6.7 แสดงการไหลเข้าและออกภายในหลอดของการไหล

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } \rho A_1 v_1 dt &= \rho A_2 v_2 dt \\ A_1 v_1 &= A_2 v_2 \end{aligned} \quad (6.5)$$

เรียกว่า สมการของความต่อเนื่อง (equation of continuity) แสดงให้เห็นว่า ความเร็วของของไหลในท่อแปรผกผันกับขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อ ผลคูณของพื้นที่หน้าตัดกับความเร็ว ( $Av$ ) คือ อัตราการไหล แทนด้วย  $Q$

**ตัวอย่างที่ 6.6** น้ำประปาไหลผ่านท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ซม. เข้าไปในบ้านชั้นล่าง ด้วยความดันสมบูรณ์  $4 \times 10^5$  ปาสคาล (ประมาณ 4 atm.) ความเร็วของน้ำ 4 เมตร / วินาที ท่อถูกต่อไปที่ห้องน้ำชั้นสองซึ่ง ท่อในห้องน้ำมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ซม. จงหาความเร็วของน้ำในห้องน้ำ

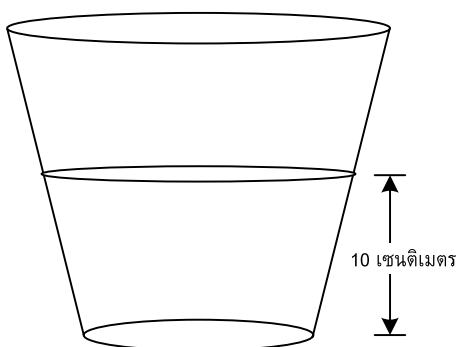
**วิธีทำ** ให้จุด 1 เป็นตำแหน่งของท่อชั้นล่าง จุด 2 อยู่ที่ห้องน้ำชั้น 2  $v_2$  เป็นความเร็วของน้ำในห้องน้ำ ซึ่งหาได้จากสมการความต่อเนื่อง

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 = \frac{\pi(1.0\text{cm})^2}{\pi(0.5\text{cm})^2} (4\text{m}\cdot\text{s}^{-1}) = 16 \text{ m/s}$$

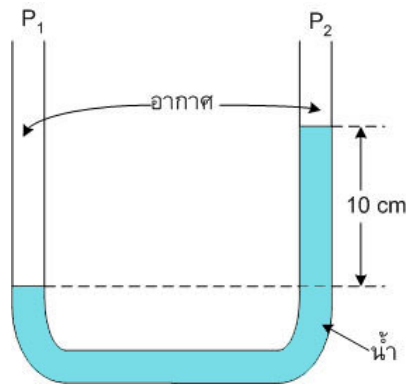
**คำตอบ** ความเร็วของน้ำในห้องน้ำเท่ากับ 16 เมตรต่อวินาที

## แบบฝึกหัดบทที่ 6

1. น้ำมีความหนาแน่น 1000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หมายความว่าอย่างไร
2. ไม้บัลซามีปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร และมีความหนาแน่นสัมพัทธ์ 0.15 จะมีน้ำหนักเท่าไร
3. ถังรูปลูกบาศก์มีความยาวด้านละ 1 เมตร บรรจุน้ำเกลือที่มีความหนาแน่น  $1.03 \times 10^3$  กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
  - ก. แรงเนื่องจากความดันสัมบูรณ์ที่น้ำเกลือกระทำที่ก้นถัง
  - ข. แรงเฉื่อยเนื่องจากความดันสัมบูรณ์ที่น้ำเกลือกระทำที่ด้านข้างของถังหนึ่งด้าน
4. ลูกสูบใหญ่ของแม่แรงยกรถยนต์คันหนึ่งเครื่องหนึ่งมีพื้นที่เป็น 100 เท่าของลูกสูบเล็ก ถ้าต้องการยกรถมวล 1200 กิโลกรัม จะต้องออกแรงกดที่ลูกสูบเล็กเท่าไร
5. น้ำไหลด้วยอัตราเร็ว 10 เซนติเมตรต่อวินาที ในท่อรัศมี 3 เซนติเมตร ไปสู่ท่อรัศมี 2 เซนติเมตรอัตราเร็วของน้ำในท่อเล็กเป็นเท่าไร
6. ภาชนะตั้งรูปมีพื้นที่ก้นภาชนะ 0.050 ตารางเมตร มีของเหลวบรรจุอยู่ 10 เซนติเมตร ถ้าของเหลวมีปริมาตร 0.0060 ลูกบาศก์เมตร และมีมวล 5.4 กิโลกรัม ความดันที่ของเหลวกระทำต่อก้นภาชนะเป็นกี่นิวตันต่อตารางเมตร



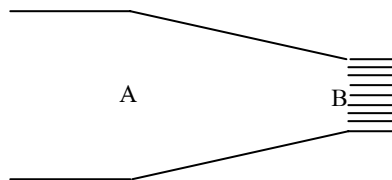
7. หลอดแก้วรูปตัวยูบรรจุน้ำ ใส่น้ำมันชนิดหนึ่งซึ่งไม่ละลายน้ำและมีความหนาแน่น 0.8 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ด้านขวาสูง 10 เซนติเมตร ระดับผิวของน้ำด้านซ้ายมือจะต่ำกว่าระดับผิวบนของน้ำมันด้านขวามือเท่าใด
8. มานอมิเตอร์หลอดแก้วอันหนึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ถ้าหลอดแก้วถูกบรรจุไว้ด้วยน้ำซึ่งมีความหนาแน่น 1000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและระดับน้ำทะเลสูงแตกต่างกันอยู่ 10 เซนติเมตร จงหาความแตกต่างระหว่างอากาศที่  $P_1$  และ  $P_2$



รูปสำหรับข้อ 8

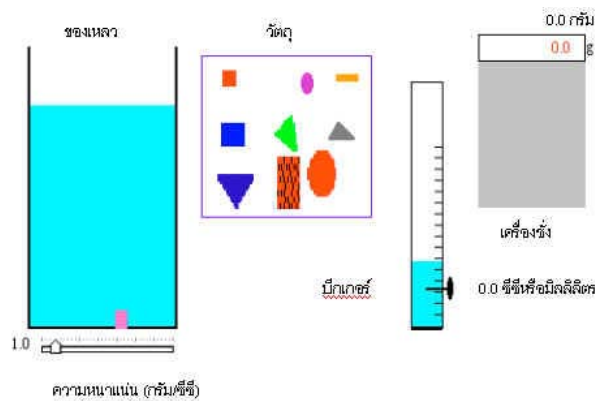
9. เครื่องอัดไฮดรอลิกเครื่องหนึ่งมีลูกสูบอัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร และลูกสูบต้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร อยากทราบว่า แรงอัด 1 นิวตันจะก่อให้เกิดแรงยกกี่นิวตัน

10. ท่อน้ำดับเพลิงดังแสดงดังรูป จงหาความเร็วของน้ำที่พุ่งออกจากปลายท่อที่ B เมื่อความเร็วของน้ำที่ A เท่ากับ 5 วินาที กำหนดให้ เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ A แล B เท่ากับ 8 เซนติเมตร และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ



11. ให้นักศึกษาทำการทดลองเสมือนจริงที่

<http://www.rmutphysics.com/charud/virtualexperiment/explorescience/density/density.htm>



[www.rit.ac.th/homepage-sc/physics](http://www.rit.ac.th/homepage-sc/physics)



ให้บันทึกค่าความหนาแน่นของวัตถุรูปทรงต่างๆ และทดลองดูว่ามันจมหรือลอยเมื่อนำไปไว้ในของเหลว

หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(	ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(	แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุ(ไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(	คดีปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต</b> 	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต</b> 	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป ผ่านทางอินเทอร์เน็ต</b> 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

