

# โรงเรียนดีดี



ที่พึ่งทางการศึกษา ช่วยไขปัญหาให้ทุกคน [SchoolDD.com](http://SchoolDD.com)

บทที่ 9 ของ ไหล





## บทที่ 9 ของไหล

สสารมีสามสถานะ คือ

ของแข็ง มีรูปร่าง และปริมาตรคงตัว

ของเหลว มีปริมาตรคงตัว แต่รูปร่างไม่คงตัว

แก๊ส มีรูปร่าง และปริมาตรไม่คงตัว ปริมาตรขึ้นอยู่กับภาชนะที่บรรจุ

เรียกของเหลว และแก๊สว่า **ของไหล** เนื่องจากมีรูปร่างไม่คงตัว และสามารถไหลจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งได้

### 9.1 ความหนาแน่น

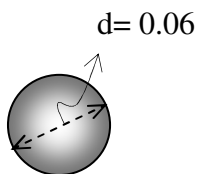
ความหนาแน่น “ $\rho$ ” หมายถึง มวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร เป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม ต่อลูกบาศก์เมตร ( $\text{kg/m}^3$ )

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

- เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นจะลดลงเนื่องจากโมเลกุลของสารมีพลังงานจลน์สูงขึ้นทำให้เกิดการขยายตัวและมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ขณะที่มวลยังคงเดิม
- ความหนาแน่นสัมพัทธ์ เป็นการบอกความหนาแน่นของสาร เป็นจำนวนเท่าของความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ  $4^\circ \text{C}$  ซึ่งเท่ากับ  $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

### ตัวอย่างที่ 1

โลหะรูปทรงกลมมวล 2 กิโลกรัม มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 เซนติเมตร จะมีความหนาแน่นเท่าไร



หาปริมาตรทรงกลมจาก  $V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi \times 0.03^3$   
 $V = 1.13 \times 10^{-4} \text{ m}^3$

จากความหนาแน่น  $\rho = \frac{m}{v} = \frac{2}{1.13 \times 10^{-4}}$

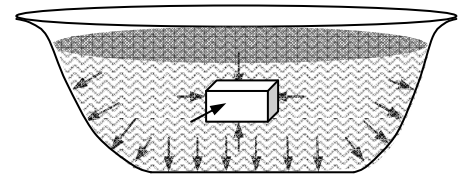
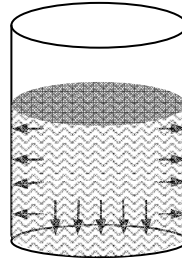
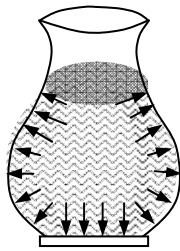
$\therefore \rho = 1.77 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$  **Ans**



## 9.2 ความดันในของเหลว

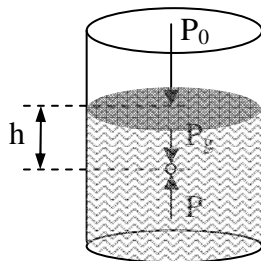
ความดัน “P” หมายถึง แรงดันต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (โดยแรงดันกระทำในทิศทางตั้งฉากกับพื้นที่) เป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร หรือพาสคัล (Pa)

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



รูปแสดงทิศของแรงดันของเหลวกระทำต่อผนังภาชนะ และวัตถุที่จมในของเหลวในทิศทางตั้งฉากกับผนังภาชนะหรือวัตถุเสมอ

### 9.2.1 ความดันเกจ และความดันสัมบูรณ์



$$P_g = \rho gh$$

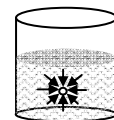
$$P = P_0 + \rho gh$$

ความดันเกจ “ $P_g$ ” เป็นความดันเนื่องจากน้ำหนักของของเหลวที่มีความลึก  $h$  เพียงอย่างเดียว มีขนาดเท่ากับ  $\rho gh$

ความดันสัมบูรณ์ “ $P$ ” เป็นความดันเนื่องจากผลรวมของความดันเกจ ( $P_g$ ) กับความดันบรรยากาศ ( $P_0$ )

### สรุปหลักการเรื่องความดันในของเหลว

1. ณ จุดใดๆ ในของเหลวจะมีแรงดันของของเหลวกระทำในทิศทาง

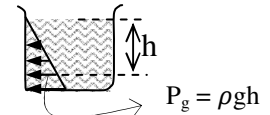


2. แรงที่ของเหลวกระทำต่อผิวผนังภาชนะหรือผิววัตถุที่จมในของเหลว กระทำในทิศตั้งฉากกับผนังภาชนะหรือผิววัตถุเสมอ

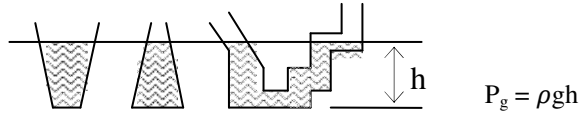




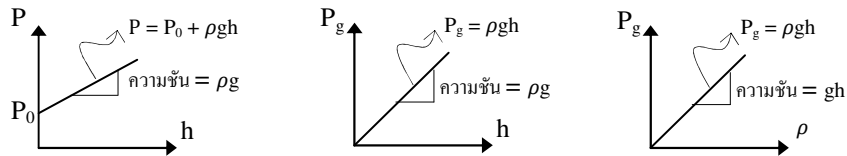
3. สำหรับของเหลวที่อยู่นิ่ง ความดันของของเหลวจะแปรผันตรงกับ ความลึกและความหนาแน่นของเหลวชนิดเดียวกันที่ระดับความลึกเท่ากัน จะมีความดันเท่ากับ



4. ความดันในของเหลวชนิดหนึ่งๆ จะไม่ขึ้นอยู่กับปริมาตรและรูปร่างของภาชนะที่บรรจุ แต่จะขึ้นอยู่กับความลึกเพียงอย่างเดียว

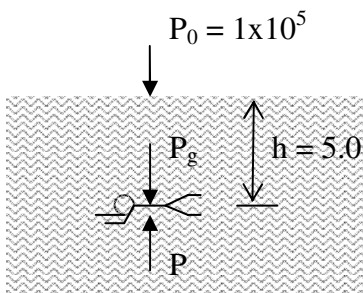


5. กราฟระหว่างความดันของของเหลวกับความลึกเป็นกราฟเส้นตรง



### ตัวอย่างที่ 2

ถ้านักเรียนดำน้ำดูปะการังโดยลงไปในทะเลที่ความลึก 5 เมตร จากผิวน้ำ อยากทราบว่า ความดันเกจและความดันสัมบูรณ์ ที่กระทำกับตัวนักเรียนจะเป็นอย่างไร (ให้ความหนาแน่นของน้ำทะเลเท่ากับ  $1.02 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ), ความดันบรรยากาศเท่ากับ  $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$  และ  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ )



“วาดรูป ใส่ปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องลงไป”

$$\begin{aligned} \text{หาความดันเกจจาก } P_g &= \rho gh \\ &= 1.02 \times 10^3 \times 9.8 \times 5.0 \end{aligned}$$

$$\therefore P_g = 5.0 \times 10^4 \text{ Pa} \quad \underline{\text{Ans}}$$

$$\begin{aligned} \text{หาความดันสัมบูรณ์จาก } P &= P_0 + P_g \\ &= 1.0 \times 10^5 + 5.0 \times 10^4 \end{aligned}$$

$$\therefore P = 1.5 \times 10^5 \text{ Pa} \quad \underline{\text{Ans}}$$

### ตัวอย่างที่ 3

จากตัวอย่างที่ 2 ถ้าความดันสูงสุดที่แก้วหูทนได้เป็น  $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$  นักเรียนจะดำน้ำได้ปลอดภัยลึกที่สุดกี่เมตร

$$\text{จาก } P = P_0 + P_g = P_0 + \rho gh$$

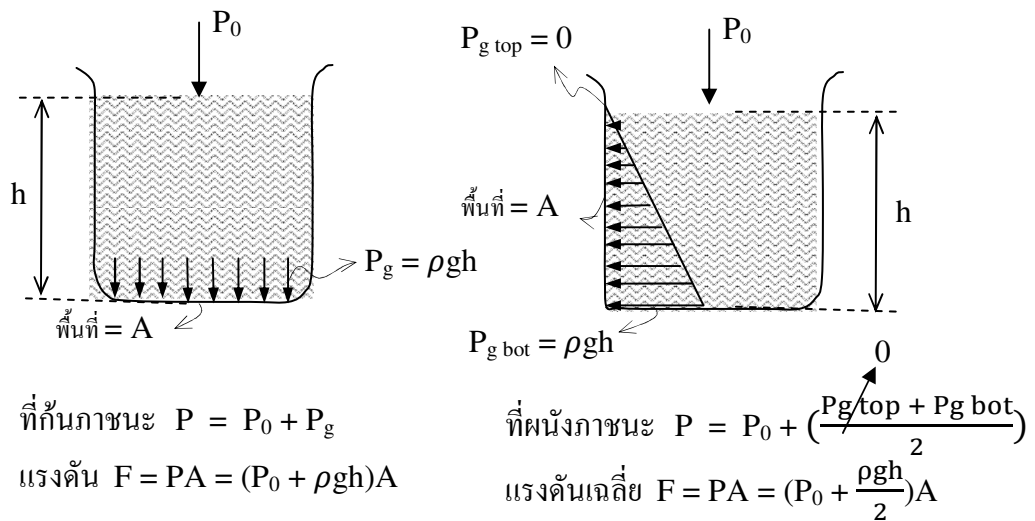


แทนค่า  $P = 2 \times 10^5$  จะได้  $2 \times 10^5 = 1.0 \times 10^5 + 1.02 \times 10^3 \times 9.8 \times h$

$\therefore h = 10.0 \text{ m}$  **Ans**

**9.3 แรงที่ของเหลวกระทำต่อผนังภาชนะ**

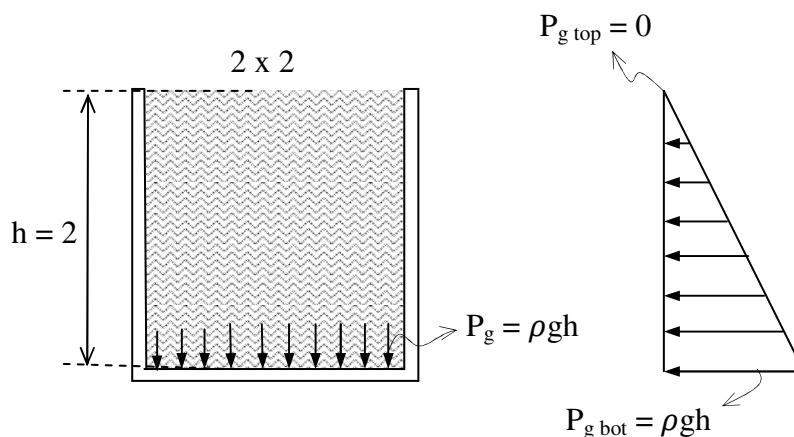
ภาชนะที่บรรจุของเหลว จะมีแรงดันจากของเหลว กระทำในทิศตั้งฉากกับพื้นที่ผิวภาชนะที่ของเหลวสัมผัส โดยขนาดของแรงดันหาได้จาก ความดันของของเหลว คูณกับพื้นที่ที่ของเหลวสัมผัส  $F = PA$  แต่เนื่องจากความดันเกจของของเหลว ขึ้นอยู่กับความลึก ดังนั้นความดันเกจที่กระทำกับผนังภาชนะจะเป็นความดันเฉลี่ย ระหว่างจุดสูงสุด และจุดต่ำสุดของของเหลว



- ในกรณีโจทย์ให้หาแรงดันน้ำ ที่กระทำต่อผนังหรือกับภาชนะ จะหมายถึงแรงดันเนื่องจากความดันเกจ ไม่คิดผลของแรงดันบรรยากาศ ( $P_0 = 0$ ) ถ้าโจทย์ระบุหาแรงดัน เนื่องจากความดันสัมบูรณ์ให้คิดรวมความดันบรรยากาศด้วย

**ตัวอย่างที่ 4**

บ่อซีเมนต์รูปกล่องสี่เหลี่ยมด้านบนเปิด ความยาววัดจากด้านในบ่อยาวด้านละ 2 เมตร บรรจุน้ำไว้เต็ม บ่อ จงหาแรงดันน้ำ ที่ก้นบ่อและผนังบ่อ ( $\rho_{\text{น้ำ}} = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ )





ที่ก้นบ่อ  $P = P_g = \rho gh$

$$= 1 \times 10^3 \times 9.8 \times 2$$

$$P = 1.96 \times 10^4 \text{ Pa}$$

แรงดัน  $F = PA = 1.96 \times 10^4 \times (2 \times 2)$

$$\therefore F = 7.84 \times 10^4 \text{ N} \quad \underline{\text{Ans}}$$

ที่ผิบบ่อ  $P = \left( \frac{P_{g \text{ top}} + P_{g \text{ bot}}}{2} \right) = \frac{\rho gh}{2}$

$$= \frac{1 \times 10^3 \times 9.8 \times 2}{2}$$

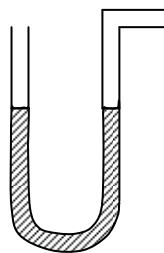
$$P = 9.8 \times 10^3 \text{ Pa}$$

แรงดัน  $F = PA = 9.8 \times 10^3 \times (2 \times 2)$

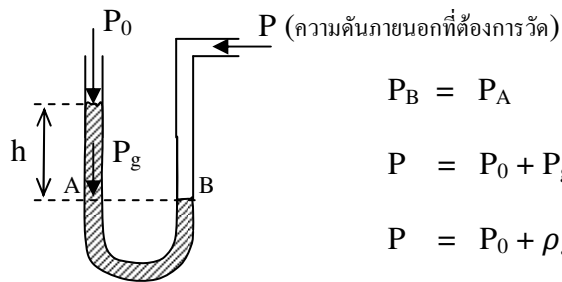
$$\therefore F = 3.92 \times 10^4 \text{ N} \quad \underline{\text{Ans}}$$

## 9.4 เครื่องมือวัดความดัน

### 1. แมนอมิเตอร์



ก่อนวัด



ขณะวัด

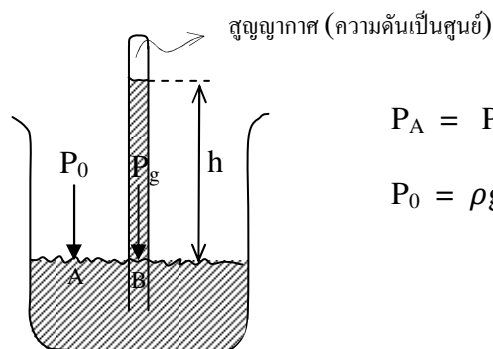
$$P_B = P_A$$

$$P = P_0 + P_g$$

$$P = P_0 + \rho gh$$

ใช้หลักการ “ของเหลวชนิดเดียวกัน ที่อยู่หนึ่ง ณ ระดับเดียวกัน ย่อมมีความดันเท่ากัน”

### 2. บารอมิเตอร์



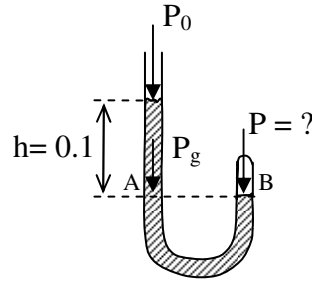
$$P_A = P_B$$

$$P_0 = \rho gh$$



### ตัวอย่างที่ 5

จงหาความดันของอากาศเหนือปรอท ด้านปลายปิด ดังรูป ( $P_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ ,  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ,  $\rho_{\text{ปรอท}} = 13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ )



จากรูป

$$P_A = P_B$$

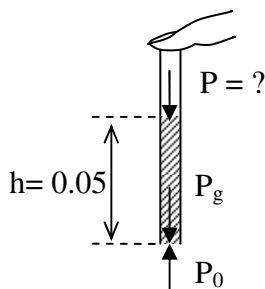
$$P_0 + \rho_{\text{ปรอท}} gh = P$$

$$1.0 \times 10^5 + 13.6 \times 10^3 \times 9.8 \times 0.1 = P$$

$$\therefore P = 1.31 \times 10^5 \text{ Pa} \quad \text{Ans}$$

### ตัวอย่างที่ 6

จุ่มหลอดดูดลงไปใต้น้ำ แล้วเอานิ้วอุดปลายบนไว้ ยกออกมาให้พื้นน้ำในแนวตั้งดังรูป จงหาความดันของอากาศที่ค้างภายในหลอด



จากรูปที่ระดับปลายล่างหลอด

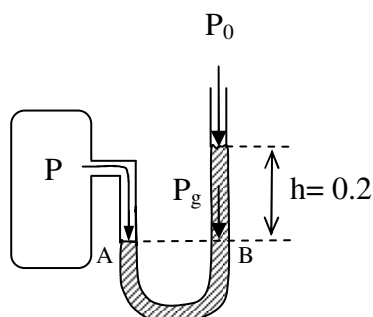
$$P_0 = P + P_g$$

$$P = P_0 - P_g = P_0 - \rho gh$$
$$= 1.0 \times 10^5 - 1.0 \times 10^3 \times 9.8 \times 0.05$$

$$\therefore P = 9.95 \times 10^4 \text{ Pa} \quad \text{Ans}$$

### ตัวอย่างที่ 7

ต่อถังแก๊สเข้ากับแมนอมิเตอร์ ซึ่งบรรจุปรอทเพื่อวัดความดัน ดังรูป อยากรทราบ ความดันเกจ และความดันสัมบูรณ์ของแก๊สในถัง





จากรูปหา  $P_g$  จาก  $P_A = P_B$

$$P_g = \rho_{\text{ปรอท}} gh$$

$$= 13.6 \times 10^3 \times 9.8 \times 0.2$$

$$\therefore P_g = 2.66 \times 10^4 \text{ Pa} \quad \underline{\text{Ans}}$$

หา  $P_{\text{สัมบูรณ์}}$  จาก  $P_A = P_B$

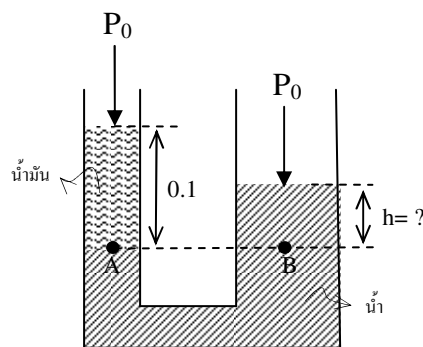
$$P_{\text{สัมบูรณ์}} = P_g + P_0$$

$$= 2.66 \times 10^4 + 1 \times 10^5$$

$$\therefore P_{\text{สัมบูรณ์}} = 1.266 \times 10^5 \text{ Pa} \quad \underline{\text{Ans}}$$

### ตัวอย่างที่ 8

หลอดแก้วรูปตัวยู ขนาดหลอดทั้งสองข้างไม่เท่ากัน โดยข้างหนึ่งมีพื้นที่หน้าตัดเป็น 2 เท่าของอีกข้างหนึ่ง เติมน้ำความหนาแน่น  $10^3 \text{ kg/m}^3$  ลงไป แล้วเติมน้ำมัน ความหนาแน่น  $700 \text{ kg/m}^3$  ลงไปทางปลายหลอดเล็กสูง 10 เซนติเมตร อยากทราบว่าปลายของหลอดทั้งสองต่างระดับกันเท่าไร



ของเหลวชนิดเดียวกันที่ระดับเดียวกัน ความดันจะเท่ากัน ไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของภาชนะ

จากรูปหา  $h$  จาก  $P_A = P_B$

$$P_{g \text{ น้ำมัน}} + P_0 = P_{g \text{ น้ำ}} + P_0$$

$$(\rho gh)_{\text{น้ำมัน}} = (\rho gh)_{\text{น้ำ}}$$

$$700 \times 9.8 \times 0.1 = 10^3 \times 9.8 \times h$$

$$\therefore h = 0.07 \text{ m}$$

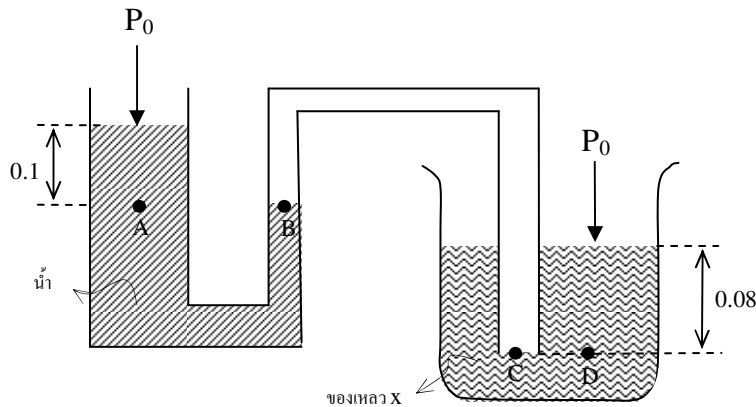
$$\therefore \text{ระดับปลายของหลอดต่างกันเท่ากับ } 0.10 - 0.07 = 0.03 \text{ m} \quad \underline{\text{Ans}}$$





### ตัวอย่างที่ 9

จากรูป จงหาความหนาแน่นของของเหลว x ถ้าความหนาแน่นของน้ำเป็น  $1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$



จากรูป  $P_A = P_B$  เพราะของเหลวชนิดเดียวกันที่ระดับเดียวกัน  
 และ  $P_B = P_C$  เพราะเป็นความดันอากาศ ภายในท่อเดียวกัน  
 $P_C = P_D$  เพราะของเหลวชนิดเดียวกันที่ระดับเดียวกัน  
 $\therefore P_A = P_D$

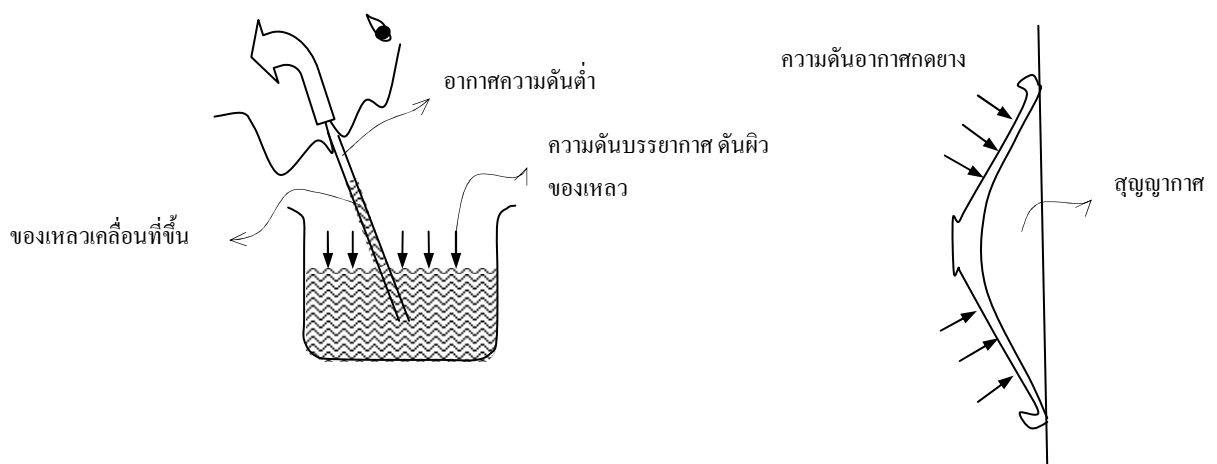
$$P_0 + P_{g \text{ น้ำ}} = P_0 + P_{g \text{ x}}$$

$$(\rho g h)_{\text{น้ำ}} = (\rho g h)_{\text{x}}$$

$$1 \times 10^3 \times 9.8 \times 0.1 = \rho_{\text{x}} \times 9.8 \times 0.08$$

$$\therefore \rho_{\text{x}} = 10/8 \times 10^3 = 1.25 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \quad \text{Ans}$$

### 9.5 ความดันบรรยากาศกับชีวิตประจำวัน

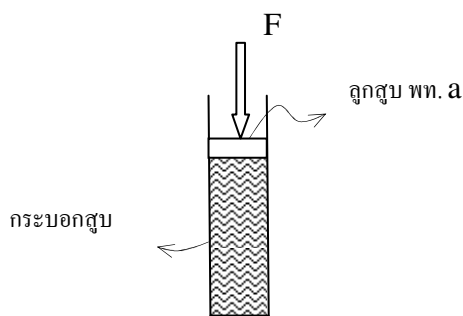




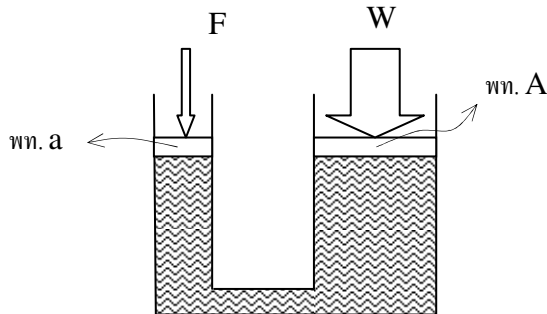
- หลอดดูดเครื่องดื่ม เมื่อใช้หลอดดูดเครื่องดื่มอากาศในหลอดจะลดน้อยลง ทำให้ความดันอากาศในหลอดลดลงด้วย ความดันอากาศภายนอกซึ่งมากกว่าจะดันของเหลวขึ้นไปแทนที่อากาศในหลอดดูด จนของเหลวไหลเข้าปาก หลักการนี้เหมือนกันกับการทำงานของกระบอกเข็มฉีดยา
- แผ่นยางติดผนัง เมื่อกแรงกดแผ่นยางติดผนังบนพื้นผิวเรียบเช่น แผ่นกระจก อากาศที่อยู่ระหว่างแผ่นยางกับกระจกจะถูกไล่ออกไป ทำให้เกิดสุญญากาศ อากาศภายนอกซึ่งมีความดันมากกว่าจะกดแผ่นยางให้แนบติดกับกระจก

## 9.6 กฎของพาสคัล

กล่าวว่า “เมื่อเพิ่มความดันในของเหลวที่อยู่หนึ่งในภาชนะปิด ความดันที่เพิ่มจะถูกถ่ายทอดไปยังทุกๆ ตำแหน่งในของเหลว รวมทั้งที่ผนังของภาชนะนั้นด้วย”



ความดันที่เพิ่มขึ้น ( $P=F/a$  จะถูกถ่ายทอดไปทุกๆ จุดรวมทั้งที่ผนังกระบอกสูบ)



จากกฎของพาสคัล

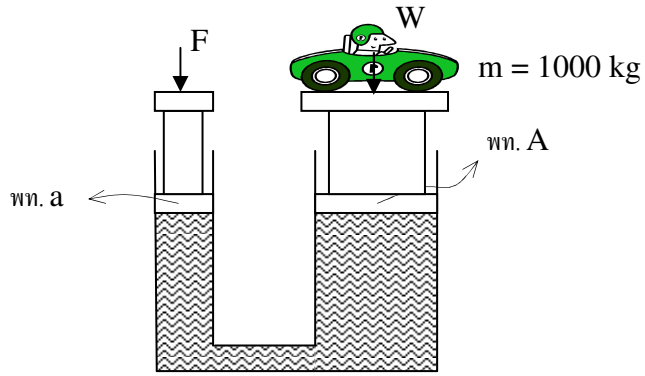
ความดันที่เพิ่มเข้าไปที่ลูกสูบเล็ก = ความดันที่เพิ่มที่ลูกสูบใหญ่

หลักการทำงานของเครื่องอัดไฮดรอลิก

$$\frac{F}{a} = \frac{W}{A}$$

### ตัวอย่างที่ 10

เครื่องอัดไฮดรอลิกเครื่องหนึ่ง ลูกสูบเล็กและใหญ่มีพื้นที่หน้าตัด  $10\text{cm}^2$  และ  $100\text{cm}^2$  ต้องการยกถดมวล  $1000\text{ kg}$  ขึ้นทางลูกสูบใหญ่ จะต้องออกแรงกดที่ลูกสูบเล็กอย่างน้อยเท่าไรจึงจะยกขึ้น



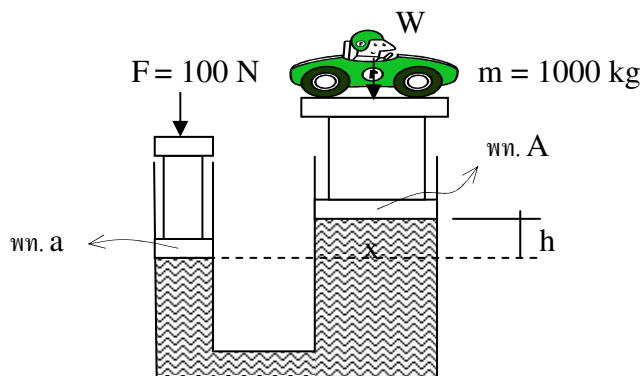
จากกฎของพาสคัล  $\frac{F}{a} = \frac{W}{A}$

$$\frac{F}{10 \times 10^{-4}} = \frac{1000 \times 9.8}{1000 \times 10^{-4}}$$

$$\therefore F = 98 \text{ N } \underline{\text{Ans}}$$

### ตัวอย่างที่ 11

จากตัวอย่างที่ 10 ถ้าเพิ่มแรงกดที่ลูกสูบเล็กเป็น 100 N รถจะถูกยกให้สูงเพิ่มขึ้นไปอีกเท่าไรจึงจะหยุดนิ่ง ( $\rho_{\text{น้ำมัน}} = 800 \text{ kg/m}^3$ )



จากหลักของความดันมือของเหลวหยุดนิ่ง และอยู่ในสมดุล

ที่ตำแหน่ง x จะได้  $\frac{F}{a} = \frac{W}{A} + \rho gh$

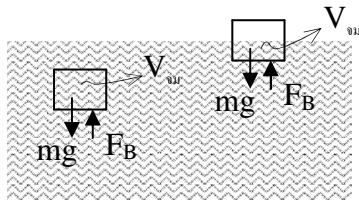
$$\frac{100}{10 \times 10^{-4}} = \frac{1000 \times 9.8}{1000 \times 10^{-4}} + 800 \times 9.8 \times h$$

$$\therefore h = 0.25 \text{ m } \underline{\text{Ans}}$$



### 9.7 แรงลอยตัวและหลักของอาร์คิมิดีส

แรงลอยตัว “ $F_B$ ” หมายถึง แรงลัพธ์ของแรงที่ของเหลวกระทำกับวัตถุส่วนที่จมอยู่ในของเหลว มีขนาดเท่ากับ น้ำหนักของของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับวัตถุส่วนที่จม

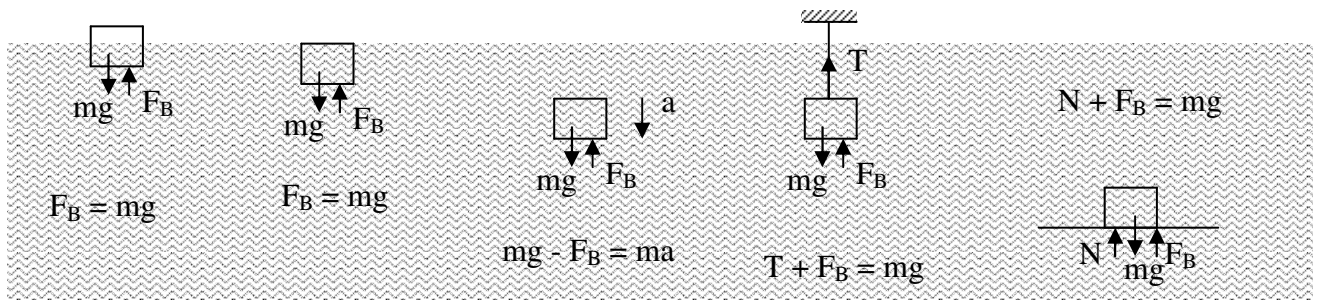


$$F_B = \rho_{\text{ของเหลว}} V_{\text{จม}} g$$

$$F_B = m_{\text{ของเหลว}} g = \rho_{\text{ของเหลว}} V_{\text{จม}} g$$

$F_B$  มีทิศขึ้น ↑ เสมอ

- วัตถุลอย แสดงว่า  $F_B = mg$
- วัตถุจม แสดงว่า  $mg > F_B$

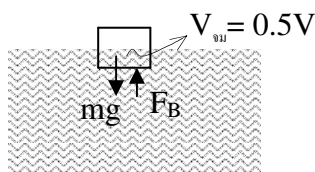


#### ตัวอย่างที่ 12

จงหาแรงลอยตัวของวัตถุ รูปลูกบาศก์ที่มีความยาวด้านละ 1 เมตรในน้ำ ( $\rho_{\text{น้ำ}} = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ )

- วัตถุ A ลอยน้ำโดยมีส่วนจม 50% ของปริมาตรทั้งหมด
- วัตถุ B ลอยน้ำโดยส่วนบนจมมิดผิวน้ำพอดี

ก.



$$\begin{aligned} \text{จากแรงลอยตัว } F_B &= m_{\text{ของเหลว}} g = \rho_{\text{ของเหลว}} V_{\text{จม}} g \\ &= \rho_{\text{น้ำ}} (0.5V) g \\ &= 1 \times 10^3 (0.5 \times 1 \times 1 \times 1) \times 9.8 \\ \therefore F_B &= 4900 \text{ N} \quad \text{Ans} \end{aligned}$$

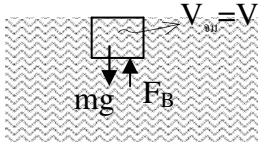
จากรูป วัตถุมีน้ำหนัก  $mg = F_B = 4900 \text{ N}$

$$\text{มีมวล } m = \frac{F_B}{g} = \frac{4900}{9.8} = 500 \text{ kg}$$

$$\text{มีความหนาแน่น } \rho = \frac{m}{V} = 500 \text{ kg/m}^3$$



ข.



$$\begin{aligned} \text{จากแรงลอยตัว } F_B &= m_{\text{ของเหลว}} g = \rho_{\text{ของเหลว}} V_{\text{จม}} g \\ &= \rho_{\text{น้ำ}} (V) g \\ &= 1 \times 10^3 (1 \times 1 \times 1) \times 9.8 \\ \therefore F_B &= 9800 \text{ N } \quad \underline{\text{Ans}} \end{aligned}$$

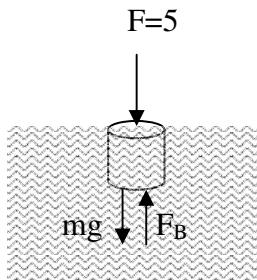
จากรูป วัตถุมีน้ำหนัก  $mg = F_B = 9800 \text{ N}$

$$\text{มีมวล } m = \frac{F_B}{g} = \frac{9800}{9.8} = 1000 \text{ kg}$$

$$\text{มีความหนาแน่น } \rho = \frac{m}{V} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

### ตัวอย่างที่ 13

กระป๋องน้ำอัดลมทรงกระบอกกลวงฝาปิดสนิท มวล 100 กรัม เมื่อนำไปลอยในน้ำ ต้องออกแรงกด 5 นิวตันที่ฝาด้านบน จึงจะจมมีดผิวน้ำพอดี จงหาปริมาตรภายในกระป๋อง ถ้าความหนาแน่นของโลหะที่ใช้ทำกระป๋องเป็น  $1.2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  และความหนาแน่นน้ำเป็น  $10^3 \text{ kg/m}^3$



จากรูป สมดุลของแรงในแนวดิ่ง  $\sum F_y = 0$

$$\begin{aligned} F_B &= F + mg \\ \rho_{\text{น้ำ}} V_{\text{จม}} g &= F + mg \\ 1 \times 10^3 \times V \times 9.8 &= 5 + 0.1 \times 10 \\ V &= \frac{6}{9.8 \times 10^3} = 6.12 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

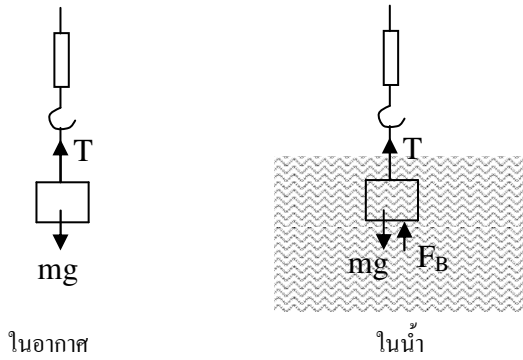
หาปริมาตรของเนื้อโลหะ จาก  $\rho = \frac{m}{V}$

$$V_{\text{โลหะ}} = \frac{m}{\rho} = \frac{0.1}{1.2 \times 10^3} = 0.83 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\therefore \text{ปริมาตรภายในกระป๋อง} = 6.12 \times 10^{-4} - 0.83 \times 10^{-4} = 5.29 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \quad \underline{\text{Ans}}$$

### ตัวอย่างที่ 14

ชั่งน้ำหนักวัตถุก้อนหนึ่งในอากาศได้ 60 N แต่เมื่อนำไปชั่งในน้ำได้ 50 N วัตถุมีความหนาแน่นเท่าใด ( $\rho_{\text{น้ำ}} = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )



หั่งในอากาศ  $T = mg$   
 $60 = m(10)$   
 $m = 6 \text{ kg}$

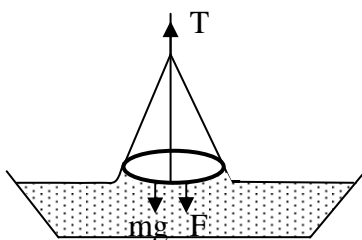
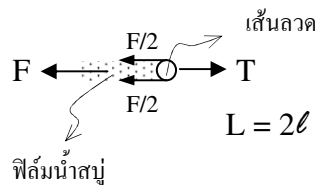
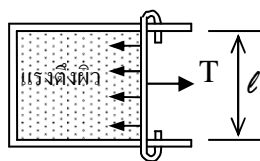
หั่งในน้ำ  $T + F_B = mg$   
 $T + \rho_{\text{น้ำ}} V_{\text{มก}} g = mg$   
 $50 + 10^3 \times V \times 10 = 60$   
 $V = 10^{-3} \text{ m}^3$   
 หาความหนาแน่น จาก  $\rho = \frac{m}{V} = \frac{6}{10^{-3}}$

$\therefore \rho = 6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  **Ans**

- เรือเดินสมุทรบรรทุกสินค้า แล่นจากอ่าวไทยเข้ามาในแม่น้ำเจ้าพระยา ขนาดของแรงลอยตัวและการจมของเรือจะเป็นอย่างไร

**9.8 ความตึงผิวและแรงตึงผิว**

แรงตึงผิว “F” เป็นแรงพยายามยึดผิวของของเหลวไว้ไม่ให้ขาดจากกัน  
 แรงตึงผิวมีทิศขนานกับผิวของของเหลว และตั้งฉากกับเส้นขอบที่ของเหลวสัมผัส



$L = 2(2\pi r)$



ความตึงผิว “ $\gamma$  (แกมมา)” หมายถึง แรงตึงผิวต่อหนึ่งหน่วยความยาวเส้นขอบสัมผัส มีหน่วยเป็นนิวตันต่อเมตร (N/m)

$$\gamma = \frac{F}{L}$$

- ความยาว L

เข็มหมุด  $\underline{\quad \ell \quad}$   $L = 2\ell$

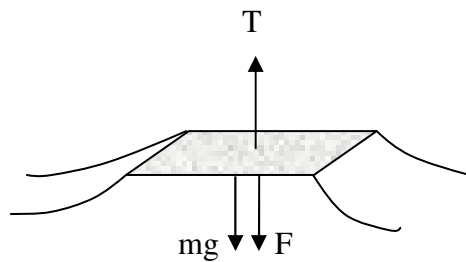
วงเส้นลวด  $\bigcirc$   $L = 2(2\pi r)$

แผ่นกลม  $\bigcirc$   $L = 2\pi r$

- ความตึงผิวจะลดลงเมื่อของเหลวมีสารเจือปน หรือมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

**ตัวอย่างที่ 15**

นำไม้โปรขนาดกว้าง 5 cm ยาว 15 cm มวล 10 กรัมมาลอยบนผิวน้ำที่มีค่าความตึงผิว 0.1 (N/m) อยากทราบว่าต้องออกแรงเท่าใดในการดึงไม้โปรขึ้นจากน้ำตรงๆในแนวตั้ง



จากรูป สมดุลของแรงในแนวตั้ง  $\sum F_y = 0$

$$T = F + mg$$

$$= \gamma L + mg$$

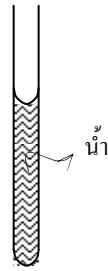
$$= 0.1(0.05+0.15)2 + 0.01 \times 10$$

$$\therefore T = 0.104 \text{ N } \underline{\text{Ans}}$$

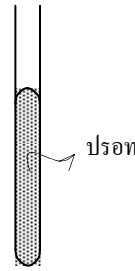


### 9.8.1 การโค้งงอของผิวของเหลว

- แรงเชื่อมแน่น (cohesive force) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลของของเหลวด้วยกันเอง
- แรงยึดติด (adhesive force) เป็นแรงระหว่างโมเลกุลของของเหลว กับ โมเลกุลของภาชนะที่บรรจุ



แรงยึดติด > แรงเชื่อมแน่น

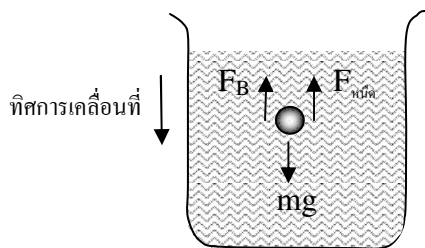


แรงเชื่อมแน่น > แรงยึดติด

- หยดของเหลวมีรูปร่างเป็นทรงกลมเพราะมีแรงความดันของของเหลวน้อย แรงตึงผิวจึงพยายามยึดของเหลวให้มีพื้นที่น้อยที่สุด
- ปรากฏการณ์การซึมตามรูเล็ก เช่น การซึมเข้าไปในเนื้อผ้า การส่งน้ำจากรากพืชขึ้นไปตามลำต้น เกิดจากภายในรูเล็ก น้ำมีแรงยึดติดกับผิวหลอดรูเล็กมากกว่าแรงเชื่อมแน่นและมากพอที่จะดึงน้ำขึ้นไปได้สูงปริมาณหนึ่ง

### 9.9 ความหนืดและแรงหนืด

แรงหนืด “ $F_{\text{หนืด}}$ ” เป็นแรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลวอันเนื่องมาจากความหนืดของของเหลว



$$F_{\text{หนืด}} = 6\pi\eta r v$$

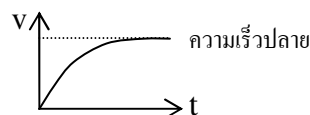
กฎของสโตกส์

เมื่อ  $\eta$  (เอตา) = ความหนืดของของเหลว (Ns/m<sup>2</sup>)

$r$  = รัศมีทรงกลม (m)

$v$  = ความเร็วของวัตถุทรงกลม (m/s)

- จากสมการแรงหนืดขึ้นอยู่กับความหนืด และความเร็วของวัตถุ
- ความเร็วของวัตถุ เริ่มต้นปล่อยเป็นศูนย์แล้วเพิ่มขึ้นจนคงที่เรียกว่าความเร็วปลาย และแรงหนืดจะเพิ่มขึ้นจากศูนย์ จนกระทั่งคงที่เช่นเดียวกัน



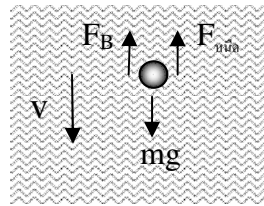




- ความหนืดจะลดลงเมื่อของเหลวมีอุณหภูมิสูงขึ้น
- วัตถุชนิดเดียวกันเคลื่อนที่ในของเหลวที่มีความหนืดมาก จะมีความเร็วปลายน้อยกว่าเคลื่อนที่ในของเหลวที่มีความหนืดน้อยกว่า

### ตัวอย่างที่ 16

ปล่อยลูกเหล็กทรงกลมรัศมี 2 มิลลิเมตร ลงในน้ำมัน อยากทราบว่า แรงหนืดสูงสุดที่กระทำกับลูกเหล็กเป็นเท่าไร และลูกเหล็กมีความเร็วปลายเท่าไร ( $\rho_{\text{เหล็ก}} = 7.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,  $\rho_{\text{น้ำมัน}} = 0.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,  $\eta = 2.0 \text{ Pas}$ ,  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )



จากรูป แรงหนืดสูงสุดเกิดขึ้นเมื่อ  $v$  คงที่ ( $a = 0$ )

$$\text{จากรูป } \sum F = ma = 0$$

$$F_{\text{หนืด}} + F_B = mg$$

$$F_{\text{หนืด}} + \rho_{\text{น้ำมัน}} V g = \rho_{\text{เหล็ก}} V g$$

$$F_{\text{หนืด}} = (\rho_{\text{เหล็ก}} - \rho_{\text{น้ำมัน}}) V g$$

$$= (7.8 - 0.8) \times 10^3 \times \left(\frac{4}{3} \pi (2 \times 10^{-3})^3\right) \times 10$$

$$\therefore F_{\text{หนืด}} = 2.34 \times 10^{-3} \text{ N } \underline{\text{Ans}}$$

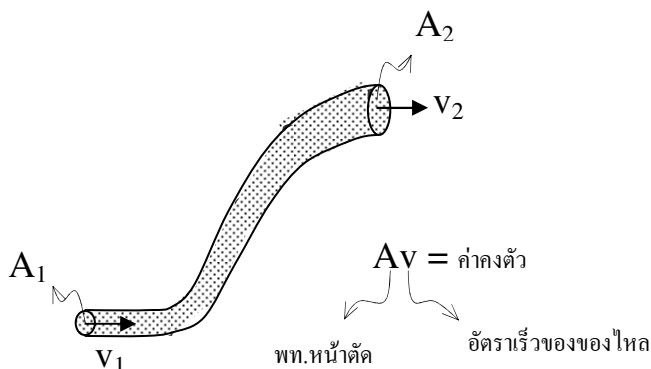
หาความเร็วปลายของลูกเหล็ก จาก  $F_{\text{หนืด}} = 6\pi\eta r v$

$$2.34 \times 10^{-3} = 6\pi(2.0)(2 \times 10^{-3}) v$$

$$\therefore v = 6.22 \times 10^{-2} \text{ m/s } \underline{\text{Ans}}$$

### 9.10 พลศาสตร์ของของไหล

“อัตราการไหล ( $A v$ ) ของของไหล ณ ตำแหน่งใดๆ ในหลอดการไหล จะมีค่าคงตัวเสมอ”



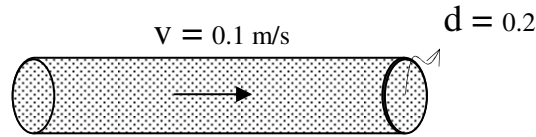
$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

สมการความต่อเนื่อง



### ตัวอย่างที่ 17

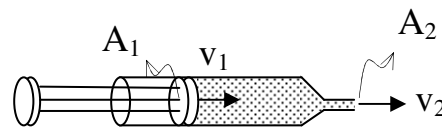
จงหาอัตราการไหลของน้ำในท่อประปา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 cm ซึ่งมีน้ำไหลเต็มท่อด้วยอัตราเร็ว 0.10 m/s



$$\begin{aligned} \text{จากอัตราการไหล} &= Av \\ &= \frac{\pi}{4}(0.2)^2(0.1) \\ \therefore \text{อัตราการไหล} &= 3.14 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{Ans} \end{aligned}$$

### ตัวอย่างที่ 18

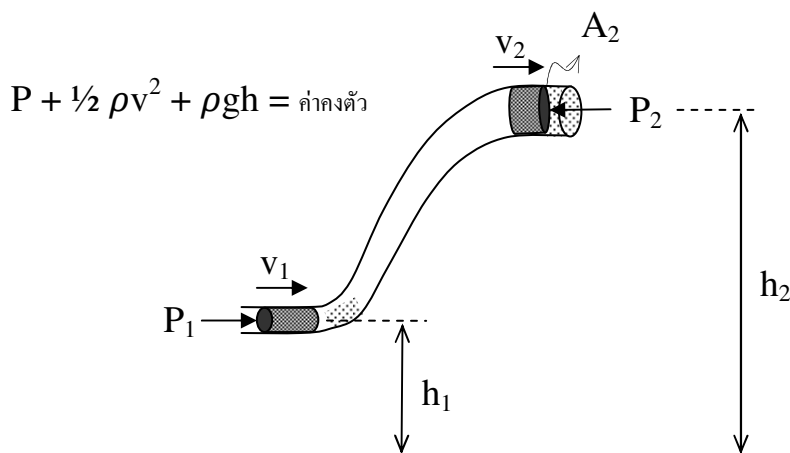
หลอดเข็มฉีดยาอันหนึ่ง บรรจุน้ำเต็มหลอด มีพื้นที่น้ำตัดกระบอกฉีดยาเป็น 100 เท่าของส่วนปลายเข็ม ถ้ากดก้านสูบให้เลื่อนด้วยอัตรา 0.1 cm/s น้ำจะพุ่งออกที่ปลายเข็มด้วยอัตราเร็วเท่าใด



$$\begin{aligned} \text{จากสมการความต่อเนื่อง} \quad A_1 v_1 &= A_2 v_2 \\ 100 \times 0.1 \times 10^{-2} &= 1 \times v_2 \\ \therefore v_2 &= 0.1 \text{ m/s} = 10 \text{ cm/s} \quad \text{Ans} \end{aligned}$$

### 9.10.1 สมการของแบร์นูลลี

“ผลรวมของความดัน พลังงานจลน์ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร และพลังงานศักย์โน้มถ่วงต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ทุกๆจุดภายในท่อที่ของไหลไหลผ่าน มีค่าคงตัวเสมอ”





$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

สมการแบร์นูลลี

ถ้าของไหลไหลในแนวระดับเดียวกัน  $h_1 = h_2$

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

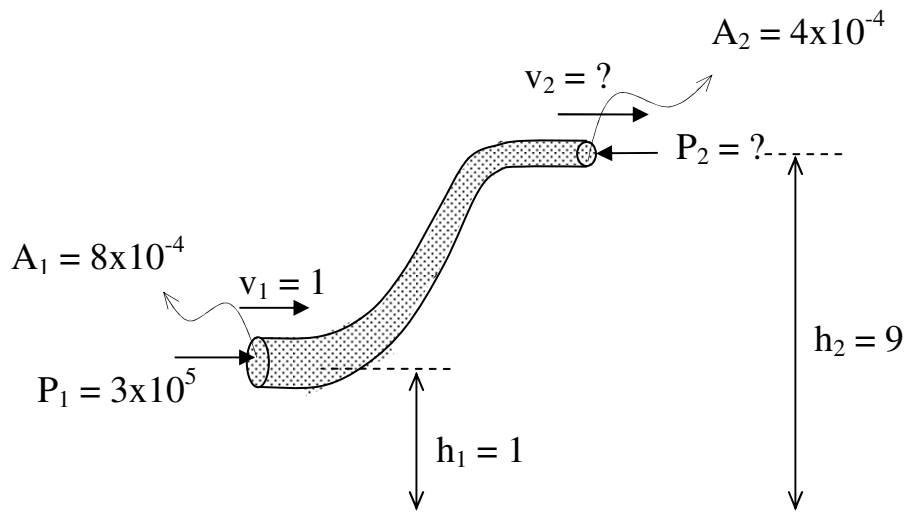
สรุปว่ากรณี  $h$  เท่ากัน ถ้า  $v$  มาก  $\Rightarrow P$  น้อย

$v$  น้อย  $\Rightarrow P$  มาก

**ตัวอย่างที่ 19**

น้ำไหลในท่อไม่สม่ำเสมอที่หนึ่ง ท่อตอนล่างที่มีพื้นที่หน้าตัด  $8 \text{ cm}^2$  อยู่สูง 1 เมตรจากพื้น น้ำไหลด้วยอัตราเร็ว  $1 \text{ m/s}$  ไปยังท่อตอนบน ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด  $4 \text{ cm}^2$  และอยู่สูงจากพื้นที่ 9 เมตร ถ้าน้ำในท่อตอนล่างมีความดัน  $3.0 \times 10^5 \text{ Pa}$  จงหา

- ก. อัตราเร็วของน้ำในท่อตอนบน
- ข. ความดันของน้ำในท่อตอนบน



ก.  $v_2 = ?$

หา  $v_2$  ได้จากสมการความต่อเนื่อง  $A_1 v_1 = A_2 v_2$

$$8 \times 10^{-4} \times 1 = 4 \times 10^{-4} \times v_2$$

$$\therefore v_2 = 2 \text{ m/s} \quad \text{Ans}$$

ข.  $P_2 = ?$

หา  $P_2$  ได้จากสมการแบร์นูลลี  $P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$

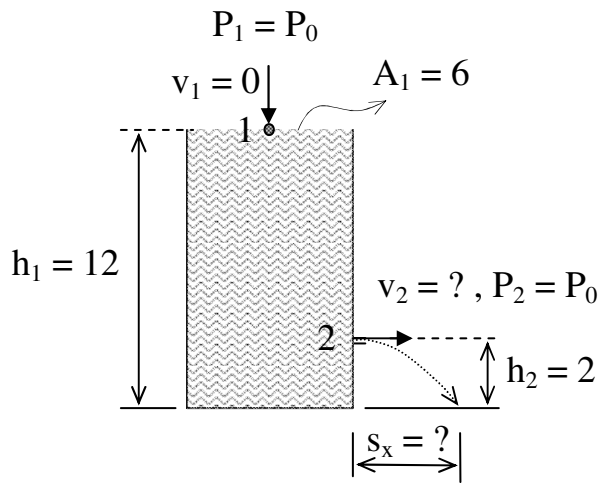
$$3 \times 10^5 + \frac{1}{2} \times 10^3 \times 1^2 + 10^3 \times 10 \times 1 = P_2 + \frac{1}{2} \times 10^3 \times 2^2 + 10^3 \times 10 \times 9$$

$$\therefore P_2 = 2.18 \times 10^5 \text{ Pa} \quad \text{Ans}$$



### ตัวอย่างที่ 20

ถังน้ำสูง 12 m มีพื้นที่หน้าตัด  $6 \text{ m}^2$  มีน้ำเต็มถึง เกิดรูรั่วเล็กๆที่ระดับ 2.0 m จากพื้น น้ำจะพุ่งออกมาด้วยอัตราเร็วเท่าใด และพุ่งไปไกลห่างจากขอบถังเท่าใด



เนื่องจาก  $A_2 \ll A_1$  ระดับของเหลวจะเปลี่ยนน้อยมาก  
อาจถือได้ว่าผิวของเหลวอยู่นิ่ง  
ดังนั้น  $v_1 = 0$

หา  $v_2$  ได้จากสมการแบร์นูลลี  $P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$

แต่  $P_1 = P_2 = P_0$  และ  $v_1 = 0$  จะได้  $\frac{1}{2} \rho v_2^2 = \rho g (h_1 - h_2)$   
 $v_2^2 = 2 g (h_1 - h_2)$   
 $= 2 \times 10 (12 - 2)$   
 $= 200$

$\therefore v_2 = 14.14 \text{ m/s}$  **Ans**

หา  $s_x$  ได้จากการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ของน้ำที่พุ่งออกจากรูรั่ว  $s_x = u_x t = v_2 t$

หา t จาก  $s_y = u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2$   
 $2 = 0 + \frac{1}{2} (10) t^2$   
 $t^2 = 0.4$   
 $t = 0.63 \text{ s}$

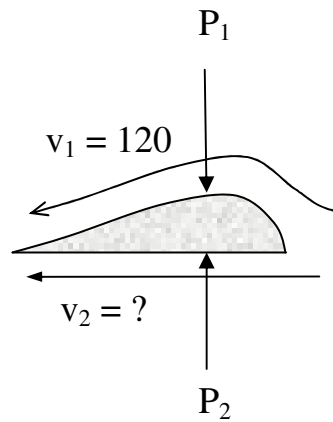
จะได้  $s_x = v_2 t$   
 $= 14.14 \times 0.63$

$\therefore s_x = 8.94 \text{ m}$  **Ans**



### ตัวอย่างที่ 21

ในการออกแบบปีกเครื่องบิน ต้องการแรงยกได้ปีก  $1050 \text{ N/m}^2$  ถ้าอัตราเร็วของอากาศพัดด้านบนปีก  $110 \text{ m/s}$  จงหาความเร็วของอากาศใต้ปีก ถ้าความหนาแน่นของอากาศ  $1.0 \text{ kg/m}^3$



โจทย์กำหนดแรงยก  $1050 \text{ N/m}^2$  ซึ่งก็คือแรงลัพธ์ของแรงใต้ปีกและบนปีก

ดังนั้น  $\Delta P = P_2 - P_1 = 1050$

หา  $v_2$  ได้จากสมการแบร์นูลลี

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

เพราะว่าปีกเครื่องบินบางมาก  $h_1 = h_2$  จะได้

$$\frac{1}{2} \rho (v_1^2 - v_2^2) = (P_2 - P_1)$$

$$\frac{1}{2} 1.0 (110^2 - v_2^2) = 1050$$

$$v_2^2 = 10000$$

$$\therefore v_2 = 100 \text{ m/s} \quad \text{Ans}$$