

# กลศาสตร์ของไหล

- กลศาสตร์ของไหลสถิต
  - การศึกษาสมบัติของไหลที่อยู่นิ่ง
- กลศาสตร์ของไหลจลน์
  - การศึกษาสมบัติของไหลที่เคลื่อนที่

# กลศาสตร์ของไหลสถิต

## ■ ของไหล

- สารที่มีรูปร่างไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับภาชนะที่บรรจุ

## ■ ความหนาแน่นของสาร, $\rho$

- อัตราส่วนของมวลสาร ( $m$ ) ต่อปริมาตรของสารนั้น ( $V$ )

- $\rho = m/V$  หน่วย  $\text{kg/m}^3$

- น้ำมีความหนาแน่นของน้ำ =  $10^3 \text{ kg/m}^3$

- น้ำมีความหนาแน่นของปรอท =  $13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

## ■ ความถ่วงจำเพาะ

- อัตราส่วนของความหนาแน่นของสารต่อความหนาแน่นของน้ำ

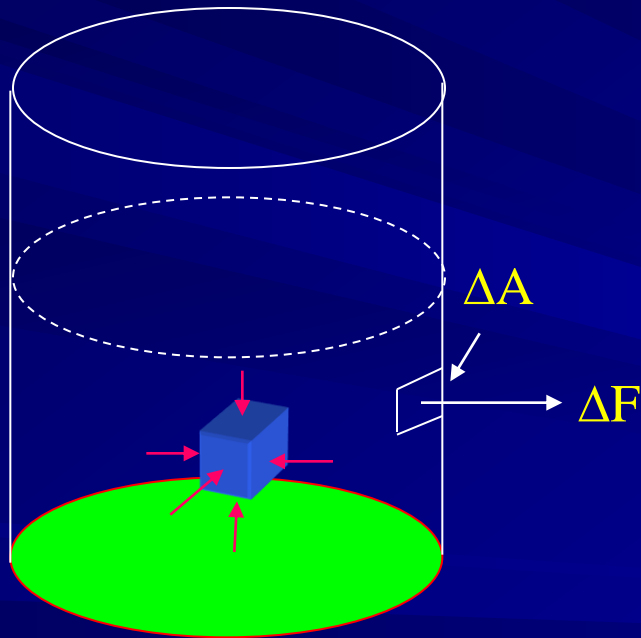
- ไม่มีหน่วย

# ความดัน (P)

- อัตราส่วนของขนาดแรงดัน (F) ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ตั้งฉากกับแนวแรง (A)
  - หน่วย  $\text{N/m}^2$  หรือ Pascal (Pa)

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

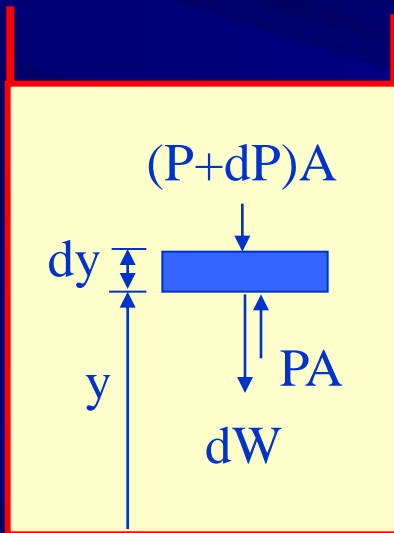
# ความดันที่ตำแหน่งใดๆ



$$P = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} = \frac{dF}{dA}$$

# ความดันที่ระดับความลึกต่างๆ

- ทุกๆจุดที่ระดับความลึกเดียวกัน ความดันจะเท่ากัน
- เมื่อของเหลวอยู่นิ่ง จะอยู่ในสภาพสมดุล  $\sum F_y = 0$



แต่

$$dW + (P + dP)A = PA$$

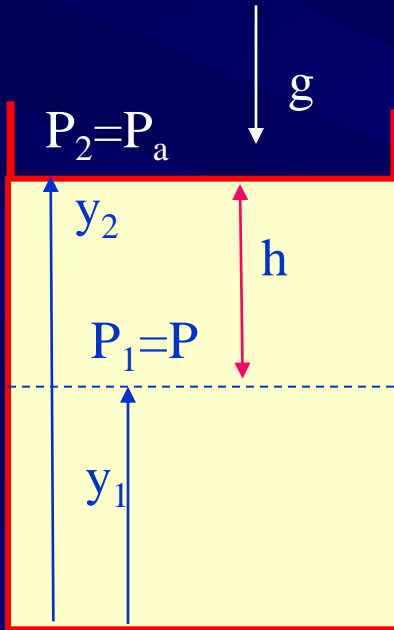
$$dW = \rho g dV = \rho g A dy$$

$$\rho g A dy + PA + AdP = PA$$

$$dP = -\rho g dy$$

dy : เป็นบวก (ของไหลตื้น) ความดันจะลดลง  
: เป็นลบ (ของไหลลึก) ความดันจะเพิ่มขึ้น

# ความดันที่ระดับความลึกต่างๆ



$$\int_{P_1}^{P_2} dP = -\rho g \int_{y_1}^{y_2} dy$$

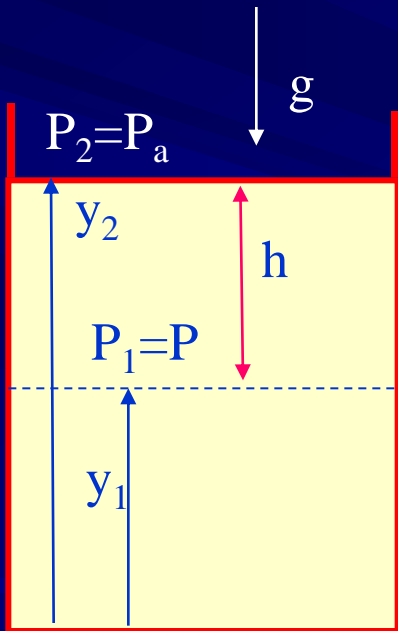
$$\int_P^{P_a} dP = -\rho g \int_{y_1}^{y_2} dy$$

$$\Rightarrow P_a - P = -\rho g(y_2 - y_1) = -\rho gh$$

$P_a$  คือ ความดันบรรยากาศที่ผิวของเหลว  
=  $1.01 \times 10^5$  Pa

$$P = P_a + \rho gh$$

# ความดันที่ระดับความลึกต่างๆ



$$P = P_a + \rho gh$$

$P$  : ความดันสัมบูรณ์ที่ระดับความลึก  $h$  จากผิว  
 $\rho gh$  : ความดันเกจ

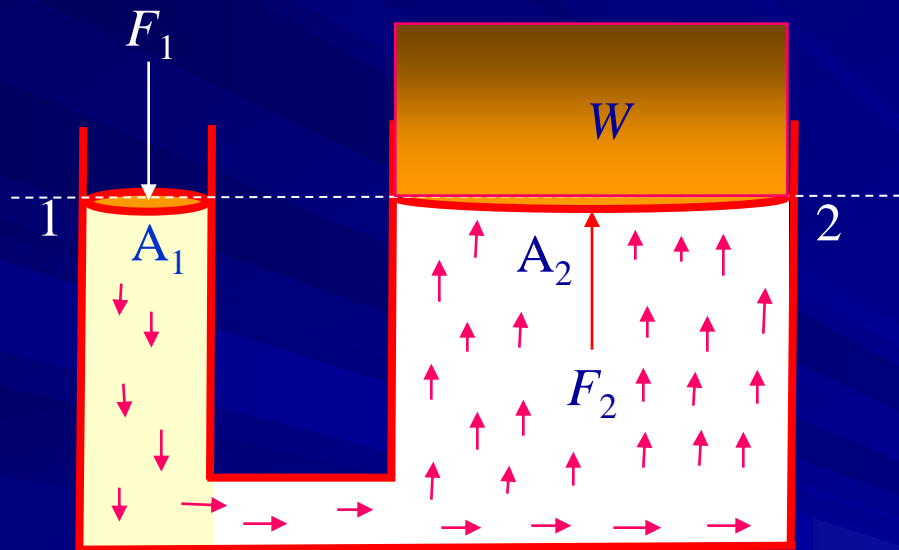
# ความดันและแรงดัน

- แรงที่ของเหลวกระทำต่อผนังภาชนะหรือผิววัตถุ จะอยู่ในทิศตั้งฉากกับผนังภาชนะหรือผิวของวัตถุที่ของเหลวสัมผัสอยู่
- ความดันในของเหลวไม่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของภาชนะ แต่ขึ้นกับชนิดของของเหลวและระดับความลึกจากผิวของของเหลว
- ในของเหลวที่อยู่นิ่งความดันที่ระดับความลึกเดียวกันย่อมมีค่าเท่ากัน

# กฎของพาสคัล

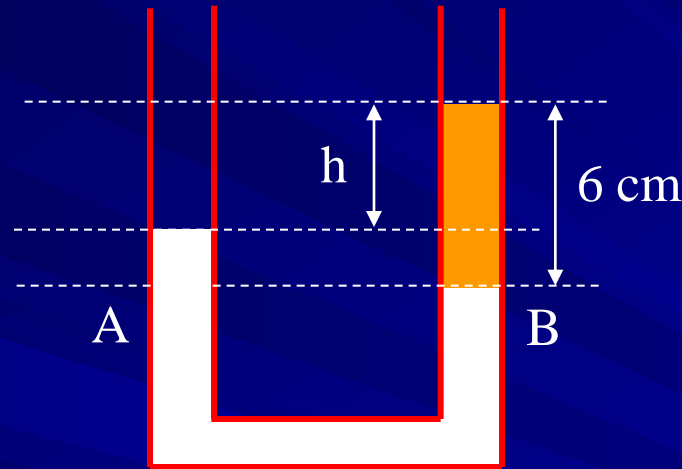
- เมื่อเพิ่มความดันให้กับของเหลวที่อยู่หนึ่งในภาชนะปิด ณ ตำแหน่งใดๆก็ตาม ความดันที่เพิ่มขึ้นนี้จะถูกส่งไปยังทุกๆส่วนของของเหลวและผนังภาชนะ

# กฎของพาสคัล



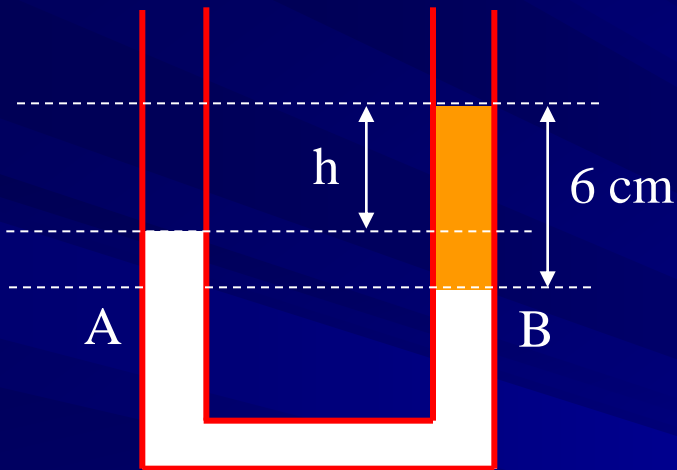
$$P_1 = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} = P_2 = \frac{W}{A_2}$$

# ตัวอย่าง



- หลอดแก้วรูปตัว U ดังรูป ตอนแรกเติมน้ำลงไป ต่อมาเติมของเหลวที่มีความหนาแน่น  $0.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  ลงไปทางด้านหนึ่งทำให้ระดับน้ำเปลี่ยนไป จงหาค่า  $h$

# เฉลย



$$P_a + \rho_w g(6-h) = P_a + \rho_l g6$$

$$h = 6 \frac{(\rho_w - \rho_l)}{\rho_w}$$

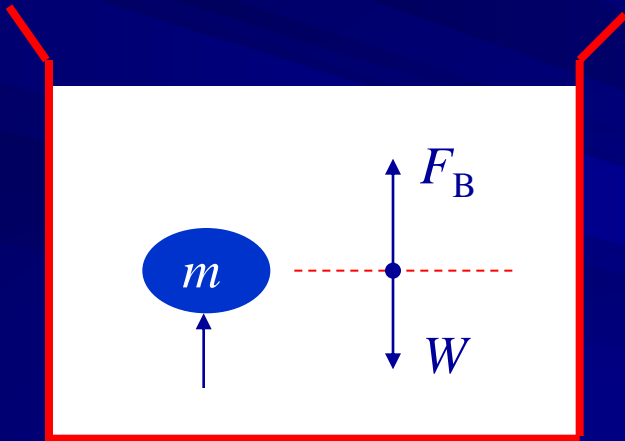
$$h = 6 \frac{(\rho_w - \rho_l)}{\rho_w} = 6 \frac{(1 \times 10^3 - 0.8 \times 10^3)}{1 \times 10^3} \text{ cm} = 1.2 \text{ cm}$$

# หลักของอาร์คิมิดีส

- เมื่อวัตถุจมอยู่ในของเหลวจะมีแรงพยุงวัตถุไว้ ซึ่งแรงนี้มีค่าเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับน้ำหนักของวัตถุส่วนที่จม

# แรงพยุง

- น้ำหนักของของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับน้ำหนักของวัตถุส่วนที่จม



$$\rho_f V g = m g = \rho_0 V g$$

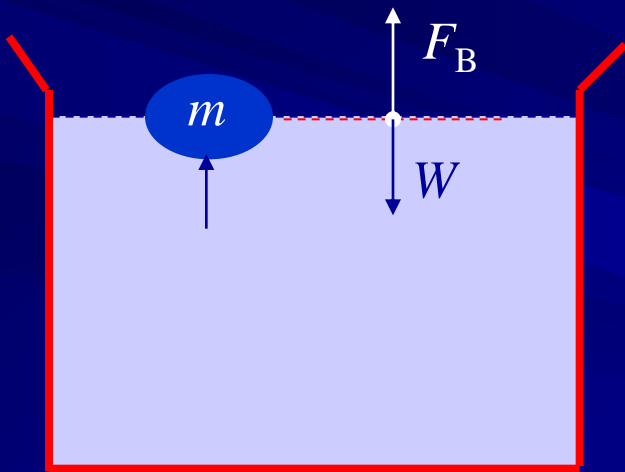


$$F_B = W$$

$$\rho_f = \rho_0$$

# แรงพยุง

## ■ วัตถุลอย



$$\rho_f V' g = mg = \rho_0 V g$$

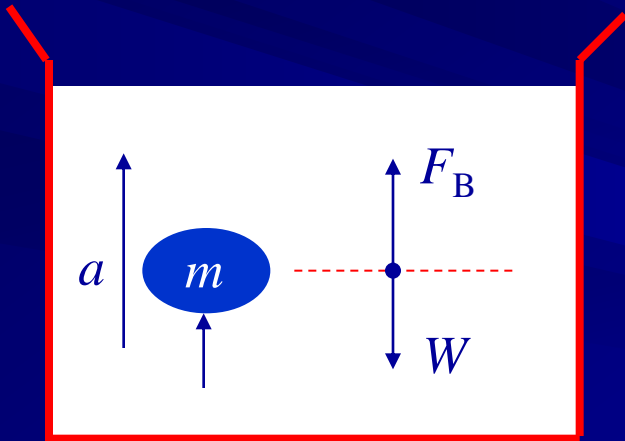


$$F_B = W$$

$$\rho_f V' = \rho_0 V$$

# แรงพยุง

- ถ้าวัตถุลอยขึ้นด้วยความเร่ง



$$F_B - W = ma$$

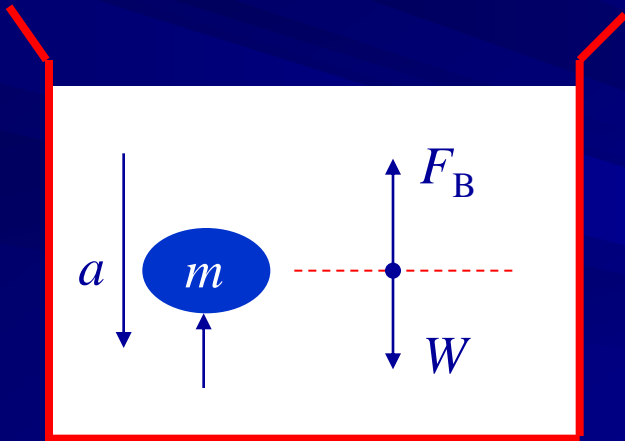
$$\rho_f Vg - \rho_0 Vg = ma$$



$$(\rho_f - \rho_0)Vg = ma$$

# แรงพยุง

- ถ้าวัตถุจมลงด้วยความเร่ง



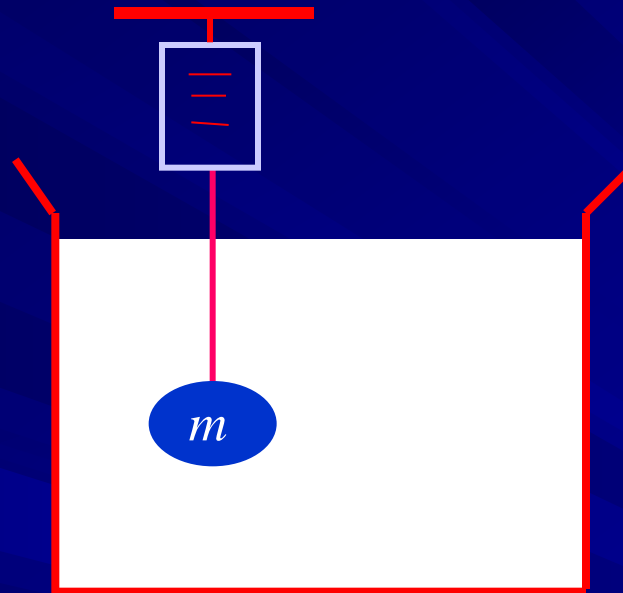
$$W - F_B = ma$$

$$\rho_0 Vg - \rho_f Vg = ma$$



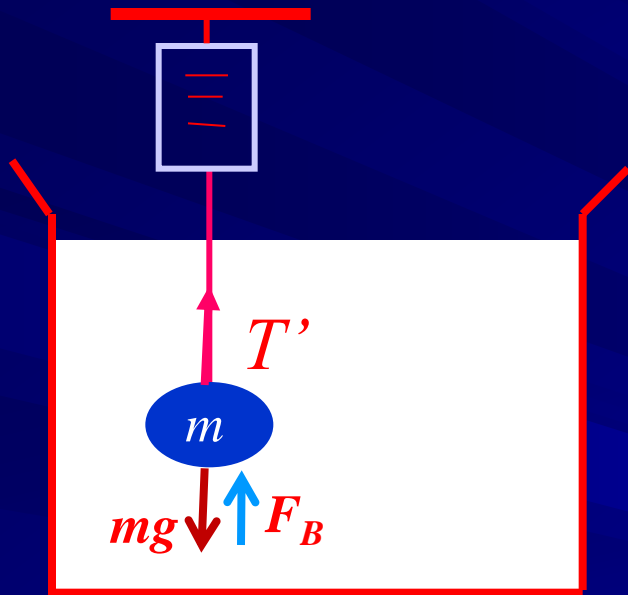
$$(\rho_0 - \rho_f) Vg = ma$$

# ตัวอย่าง



- ชั่งอะลูมิเนียมในน้ำได้ 8.5 N ดังรูป ถ้าอะลูมิเนียมมีความหนาแน่น  $2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  จงหาแรงตึงเชือกก่อนที่จะนำลงไปชั่งในของเหลวนี้ ( $g=10 \text{ m/s}^2$ )

# เฉลย

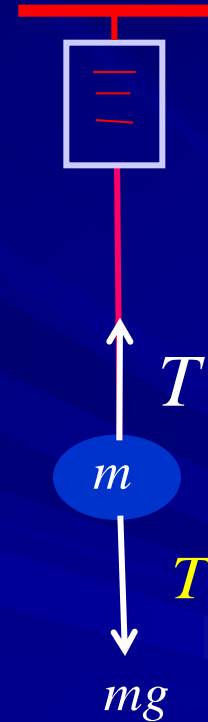


$$mg - F_B = T'$$

$$mg = F_B + T'$$

$$F_B = \rho_w V_o g$$

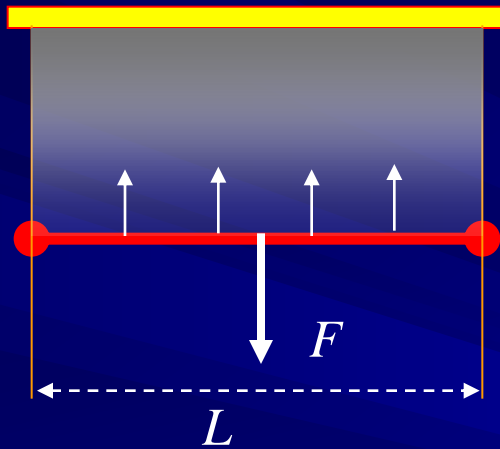
$$\rho_o V_o g = \rho_w V_o g + T'$$



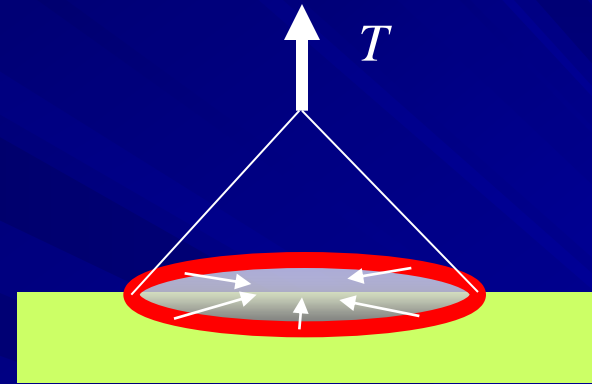
$$T = mg = \rho_a V_o g$$

$$V_o = \frac{T'}{(\rho_o - \rho_w)g} \implies T = \frac{\rho_o T'}{(\rho_o - \rho_w)} = \frac{2.7 \times 10^3 \times 8.5}{(2.7 \times 10^3 - 1.0 \times 10^3)} N = 13.5 \quad N$$

# ความตึงผิว



$$\gamma = \frac{F}{2L}$$



- อัตราส่วนของแรงตึงผิว ( $F$ ) ที่กระทำต่อวัตถุต่อความยาวของผิวของวัตถุ ( $d$ ) ที่สัมผัสกับของเหลว หน่วย N/m
- แทนด้วย  $\gamma = F/d$

# กลศาสตร์ของไหลจลน์

- ของไหลที่ไหลแบบคงที่ จะเกิดขึ้นเมื่อ
  - แต่ละอนุภาคของของไหลเคลื่อนที่อยู่ในแนวเดียวกันซึ่งไม่ตัดกันเลย นั่นคือมีอัตราการไหลที่จุดใด ๆ คงที่ เช่น
    - การไหลของกระแสน้ำผ่านเรือดำน้ำ
- ของไหลที่ไหลแบบไม่คงที่ จะเกิดขึ้นเมื่อ
  - อนุภาคของไหลมีการเปลี่ยนความเร็ว เรียกการไหลแบบนี้ว่า turbulent เช่น
    - น้ำที่ไหลไปชนสิ่งกีดขวาง
    - ควนไฟที่ปล่องออกมาจากปล่องไฟ

# กลศาสตร์ของไหลจลน์

## ■ ความหนืด

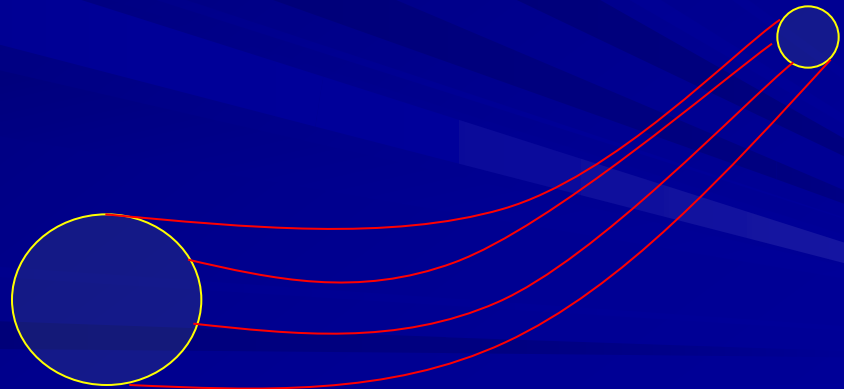
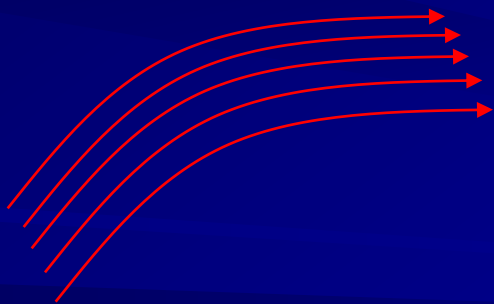
- เกิดจากแรงเสียดทานภายในของไหลเรียกว่าแรงหนืด ซึ่งเป็นแรงเสียดทานระหว่างชั้นของของไหลที่เคลื่อนที่ออกจากกัน
- มีค่าเท่ากับความเค้นเฉือนต่ออัตราความเครียดเฉือน

# ของไหลในอุดมคติ

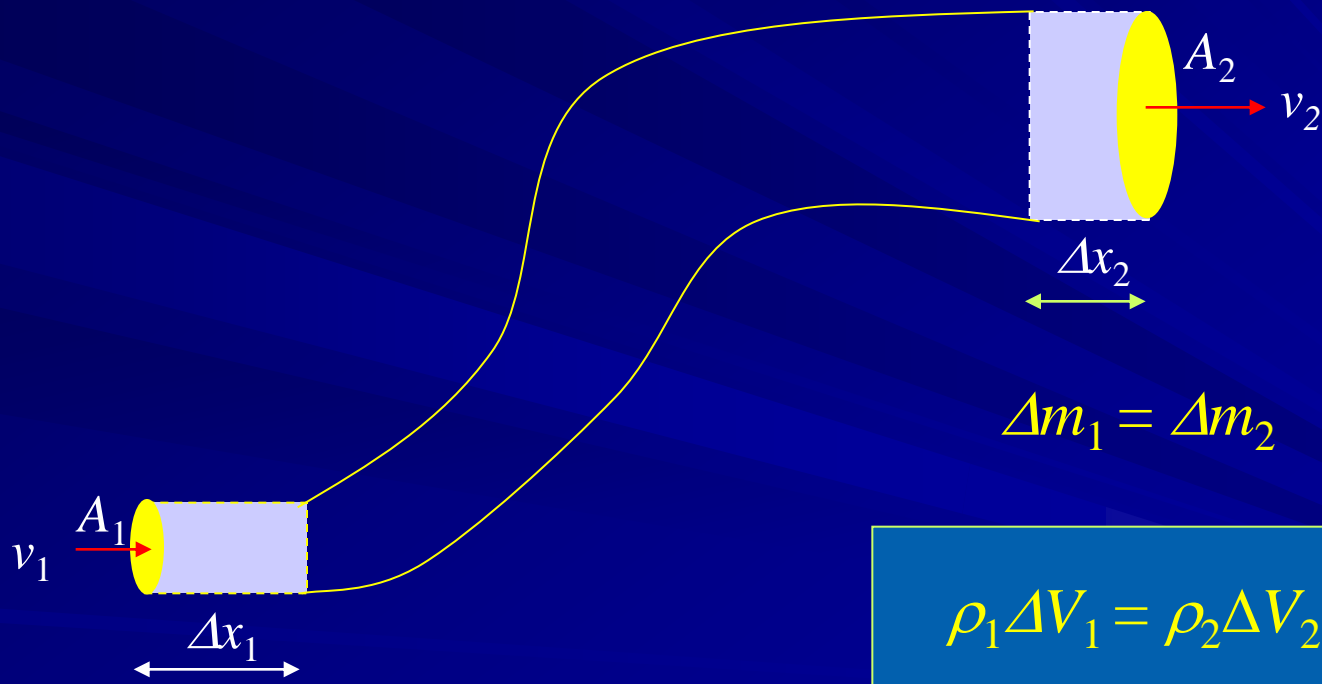
- ของไหลที่ไม่มีความหนืด
  - ไม่มีแรงเสียดทานภายใน จึงไม่มีแรงหนืดเข้ามาเกี่ยวข้อง
- ของไหลที่มีการไหลแบบคงที่
  - ความเร็วของอนุภาคขณะเวลาใดๆมีค่าคงที่
- ของไหลที่ไม่มีการอัดตัว
  - ความหนาแน่นของของไหลมีค่าคงที่
- ของไหลที่ไม่มีการหมุน
  - ไม่มีโมเมนตัมเชิงมุมรอบจุดใดๆในของไหล

# สมการแห่งความต่อเนื่อง

- สายกระแส (streamline)
  - แนวการเคลื่อนที่ของอนุภาคของไหลที่ไหลแบบคงที่
- หลอดการไหล (tube of flow)
  - ลักษณะของสายกระแสหลายๆเส้นผ่านพื้นที่ใดๆ



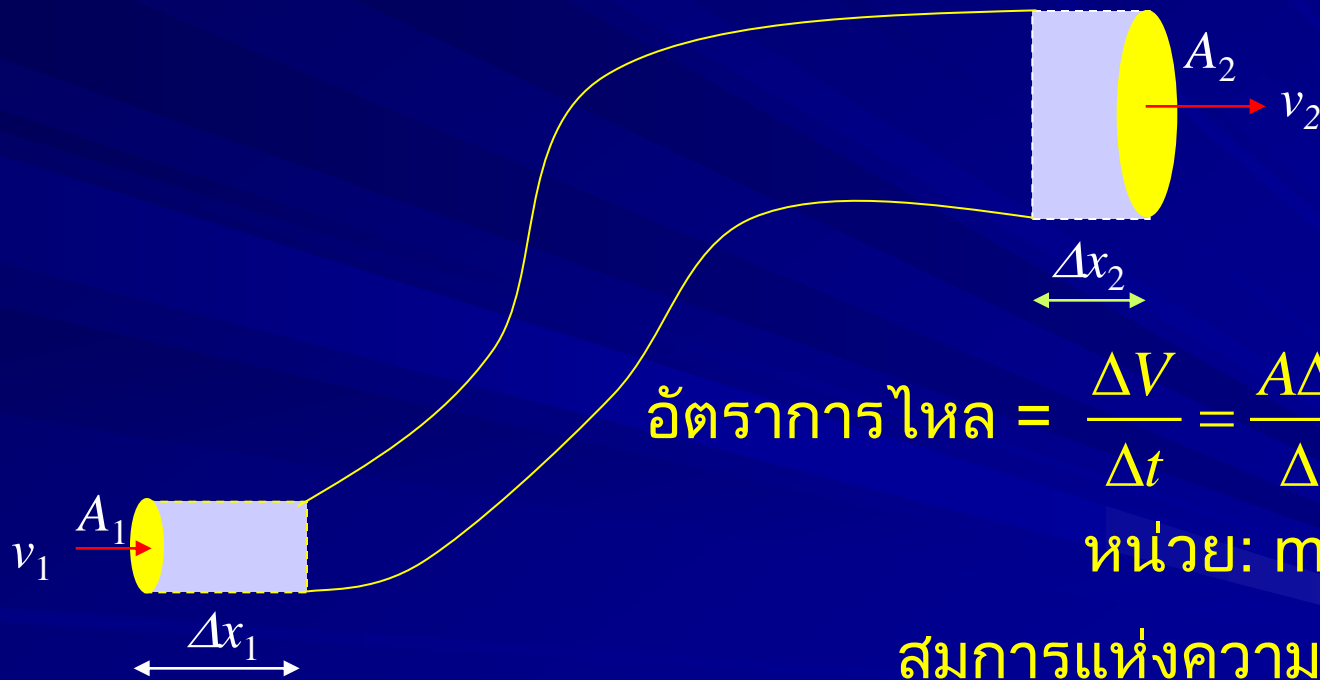
# สมการแห่งความต่อเนื่อง



$$\rho_1 \Delta V_1 = \rho_2 \Delta V_2$$

# สมการแห่งความต่อเนื่อง

$$\rho_1 = \rho_2 = \rho$$



$$\text{อัตราการไหล} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{A\Delta x}{\Delta t} = Av$$

หน่วย:  $\text{m}^3/\text{s}$

สมการแห่งความต่อเนื่อง

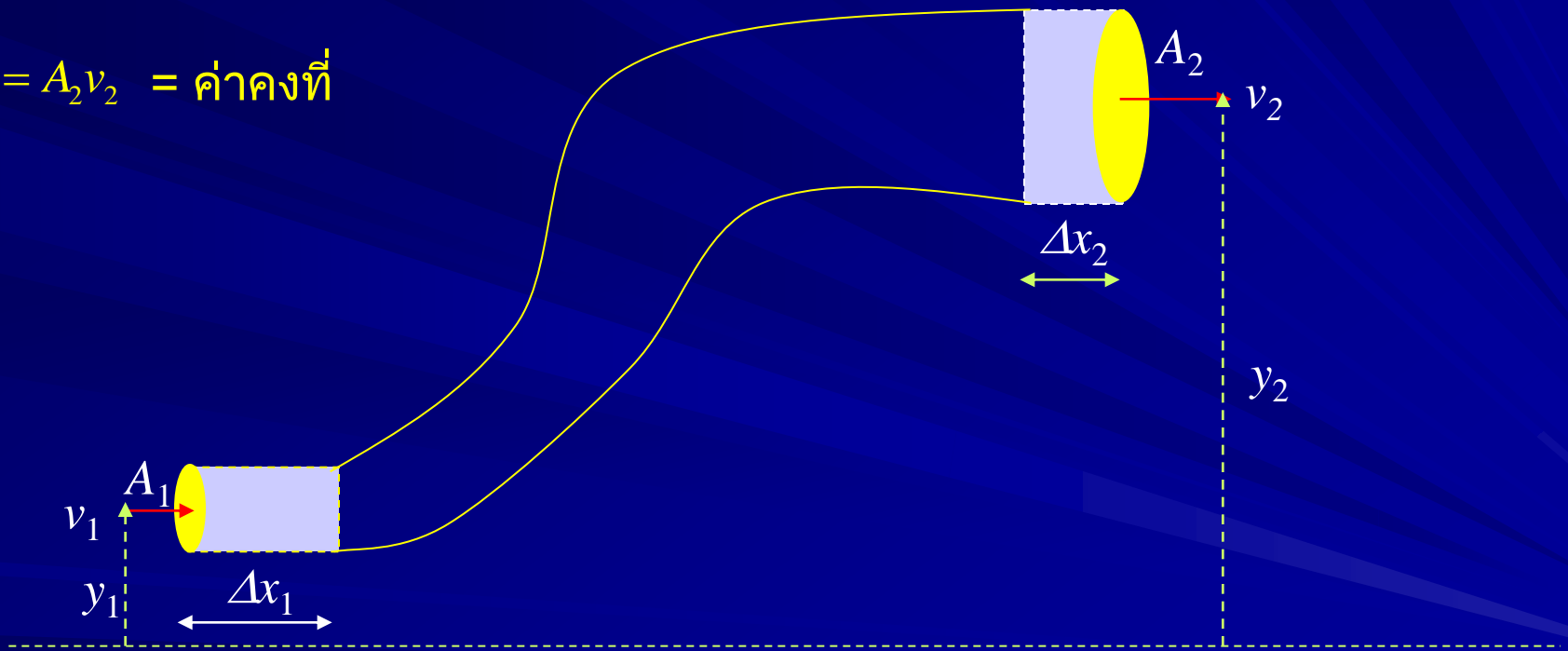
$$\frac{\Delta V_1}{\Delta t} = \frac{A_1 \Delta x_1}{\Delta t} = \frac{A_2 \Delta x_2}{\Delta t} = \frac{\Delta V_2}{\Delta t}$$



$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = \text{ค่าคงที่}$$

# สมการแบร์นูลลี

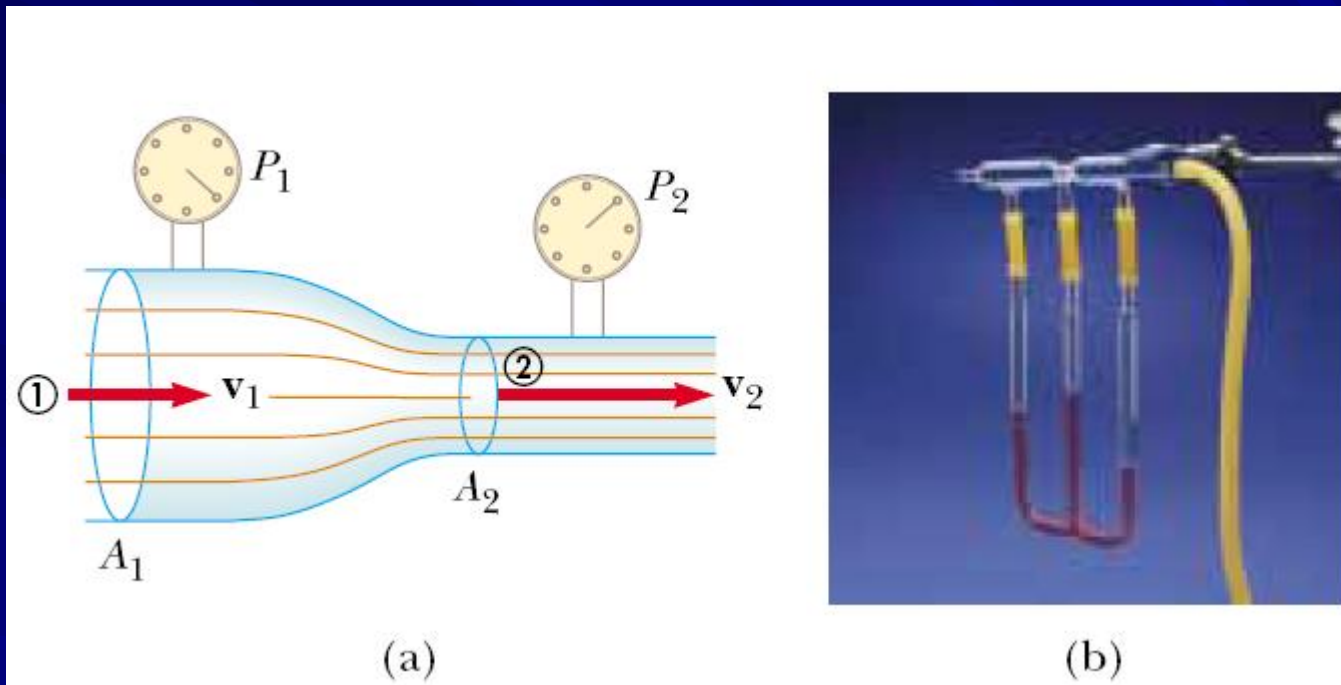
$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = \text{ค่าคงที่}$$



สมการแบร์นูลลี  $P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2 = \text{ค่าคงที่}$

# ตัวอย่าง

## The Venturi Tube



จงหาอัตราเร็ว  $v_2$

# เฉลย

**Bernoulli's equation**

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2$$

$$y_1 = y_2 \quad v_1 < v_2$$

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

**equation of continuity**

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$



$$v_1 = \frac{A_2}{A_1} v_2$$

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho \left( \frac{A_2}{A_1} \right)^2 v_2^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$



$$v_2 = A_1 \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}}$$