

บทที่ 17 ของแข็งและของไหล

17.1 ของแข็งและสภาพยืดหยุ่นของของแข็ง

สสารและสิ่งของต่างๆ ในสภาพปกติโดยทั่วไปมี 3 สถานะ ได้แก่ ของแข็ง ของเหลวและแก๊ส สสารที่มีสถานะเป็นของเหลวหรือแก๊สสามารถเรียกว่า ของไหล เนื่องจากของเหลวและแก๊สสามารถไหลได้

17.1.1 สภาพยืดหยุ่นของของแข็ง

สสารในสถานะของแข็งมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมากพอที่จะทำให้โมเลกุลของของแข็งอยู่ใกล้กันและรูปร่างของของแข็งไม่เปลี่ยนแปลงมาก ของแข็งจะมีรูปร่างและปริมาตรคงตัว สำหรับของแข็งที่ถูกแรงกระทำแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปจากเดิม และเมื่อหยุดแรงกระทำวัตถุสามารถกลับคืนสู่รูปร่างเดิมได้ เรียกว่ามีสภาพยืดหยุ่น (elasticity) ถ้าหยุดแรงกระทำแล้ววัตถุคงรูปร่างที่เปลี่ยนไป เรียกว่ามีสภาพพลาสติก (plasticity)

17.1.2 ความเค้นและความเครียดของของแข็ง

ความเค้นตามยาว (longitudinal stress) คือ แรงกระทำตั้งฉากต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดของวัตถุ แทนด้วยสัญลักษณ์ σ (อ่านว่า ซิกมา Sigma) เป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) หาได้จากสมการ

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \dots\dots\dots(17.1)$$

ความเครียด (Tensile strain) คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวที่เพิ่มขึ้น (ΔL) ต่อความยาวเดิม (L_0) แทนด้วยสัญลักษณ์ ϵ (อ่านว่า เอฟซิลอน Epsilon) เป็นปริมาณสเกลาร์ไม่มีหน่วย หาได้จากสมการ

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \dots\dots\dots(17.2)$$

17.1.3 มอดูลัสของยัง

มอดูลัสของยัง (Young's modulus) คือ อัตราส่วนระหว่างความเค้นตามยาวต่อความเครียดตามยาว หาได้จากสมการ

$$Y = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad \dots\dots\dots(17.3)$$

$$\text{หรือ } Y = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L_0}} \quad \text{หรือ } Y = \frac{F}{A} \frac{L_0}{\Delta L} \quad \dots\dots\dots(17.4)$$

17.1.4 การประยุกต์ใช้สภาพยืดหยุ่นในชีวิตประจำวัน

ความรู้เกี่ยวกับสภาพยืดหยุ่นของวัสดุมีประโยชน์ในด้านวิศวกรรมเป็นอย่างมาก เช่น การเลือกวัสดุ เพื่อใช้เป็นโครงสร้างอาคาร สะพาน หรือชิ้นส่วนของเครื่องจักรกล จะต้องเลือกวัสดุที่มีสภาพยืดหยุ่นเหมาะสมกับงานและต้องไม่ใช้งานที่เกินขีดจำกัดสภาพยืดหยุ่น

แบบฝึกหัด 17.1

1. ลวดเส้นหนึ่งถูกนิยัดด้วยแรง 500 นิวตัน และลวดนี้มีพื้นที่หน้าตัด 10 ตารางเซนติเมตร จงหาความเค้น
2. นำลวดทองแดงดึงด้วยแรง 314 นิวตัน และลวดนี้มีรัศมี 0.1 เมตร จงหาความเค้น
3. แดงมีลวดเงินเดิมยาว 5 เมตร เมื่อออกแรงดึงจนตอนหลังมีความยาว 6 เมตร จงหาความเครียด
4. ดำนนำลวดทองแดง เอาไปเผาไฟทำให้ยืดออก 0.2 เมตร ถ้าเดิมลวดทองแดงมีความยาว 4 เมตร จงหาความเครียด
5. ลวดทองแดงเส้นหนึ่งยาว 4 เมตร มีพื้นที่ภาคตัดขวาง 1×10^{-8} ตารางเซนติเมตร มีค่าโมดูลัสของยังเป็น 1.1×10^{11} นิวตัน/ตารางเมตร จะต้องออกแรงดึงเท่าใดจึงจะทำให้ลวดเส้นนี้ยืดออกอีก 1 มิลลิเมตร
6. แขนงมวล 400 กิโลกรัม กับเส้นลวดโลหะชนิดหนึ่งยาว 10 เมตร มีพื้นที่หน้าตัด 2×10^4 เส้นลวดนี้จะยืดออกเป็นระยะเท่าใด ถ้ากำหนดให้ค่ายังโมดูลัสของเส้นลวดนี้เป็น 2×10^{11} นิวตัน/ตารางเมตร
7. ลวดเส้นหนึ่งยาวเท่ากับ L มีพื้นที่ภาคตัดขวางเป็น A และมีค่าโมดูลัสของยังเป็น Y ถ้าต้องการยืดออก 1% จะต้องใช้แรงดึงเท่าใด

17.2 ความตึงผิวและความหนืดของของเหลว

17.2.1 ความตึงผิว(Surface tension) หมายถึง อัตราส่วนของแรงที่กระทำไปตามผิวของเหลวต่อความยาวของผิวที่ถูกรบกวนแรงกระทำ ความยาวนี้ต้องตั้งฉากกับแรงด้วย มีหน่วยเป็น นิวตันต่อเมตร

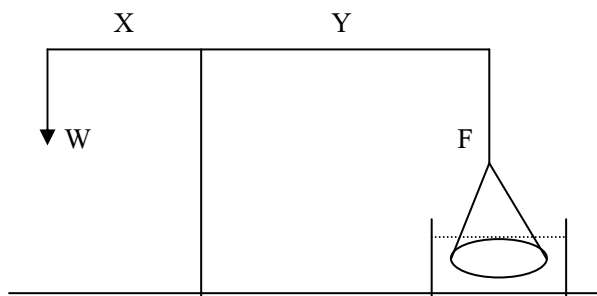
แรงตึงผิวของของเหลว หมายถึง แรงชนิดหนึ่งที่พยายามยืดผิวของเหลวไว้ แรงตึงผิวของของเหลวจะมีทิศขนานกับผิวของของเหลวและตั้งฉากกับเส้นขอบที่ของเหลวสัมผัส

ให้ F แทน ขนาดของแรงตึงผิว γ แทน แรงตึงผิวของของเหลว
 l แทน ความยาวของเส้นผิวที่ขาด

$$\gamma = \frac{F}{l} \dots\dots\dots(17.5)$$

- เพิ่มเติม
1. ค่าความตึงผิวของของเหลวแต่ละชนิดจะมีค่าไม่เท่ากัน
 2. ค่าความตึงผิวจะลดลงเมื่ออุณหภูมิของของเหลวเพิ่มขึ้น
 3. สำหรับของเหลวชนิดเดียวกันค่าความตึงผิวจะเปลี่ยนไป เมื่อมีสารมาเจือปน เช่น น้ำสบู่ น้ำเกลือ จะมีความตึงผิวน้อยกว่าความตึงผิวของน้ำ

การหาค่าความตึงผิว

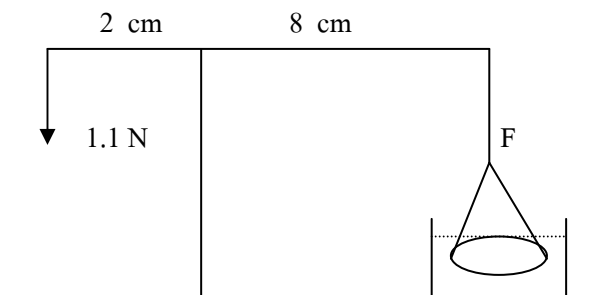


$$\gamma = \frac{F}{2l} = \frac{F}{2(2\pi r)} \dots\dots\dots(17.6)$$

หา F จาก $F.Y = W.X$

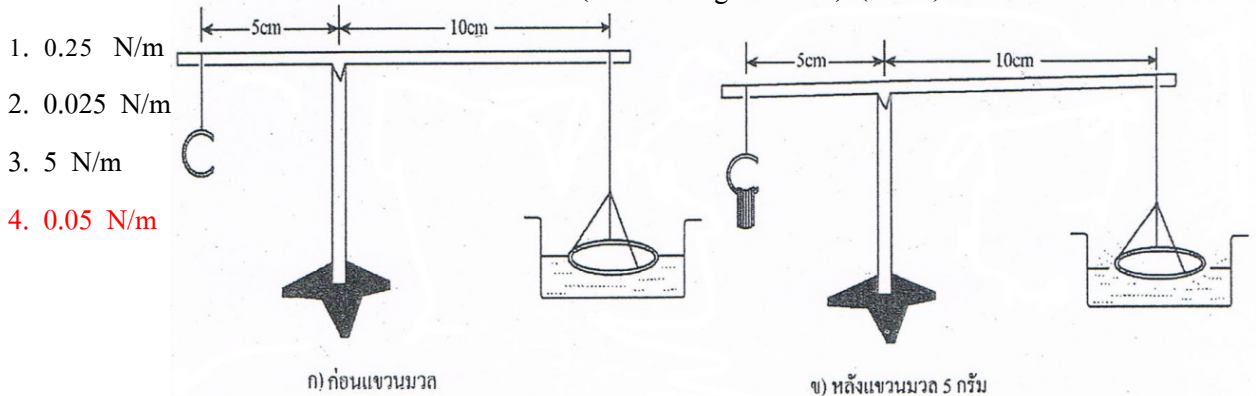
แบบฝึกหัด 17.2.1

1. ถ้าวัดได้ของห่วงเท่ากับ 14 cm และห่วงหลุดจากผิวปรอทพอดีความตึงผิวของปรอทเป็นเท่าใด



2. ลวดโลหะรูปวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 10 เซนติเมตร และผิวน้ำพอดี จงหาแรงที่ดึงลวดโลหะนี้ให้หลุดจากผิวน้ำพอดี เมื่อลวดโลหะมีมวล 25 กรัม กำหนดให้ความตึงผิวของน้ำเท่ากับ 7.0×10^{-2} นิวตันต่อเมตร (0.289 N)

3. ตอนแรกคานอยู่ในภาวะสมดุลและห้วงลวดแต่ละฟิวของเหลวพอดีดังรูป ก) เมื่อค่อยๆ เพิ่มมวลบนตะขอทางซ้ายมือปรากฏว่าเมื่อมวลมากกว่า 5×10^{-3} kg ห้วงจะเริ่มหลุดจากฟิวของเหลวถ้าเส้นรอบวงของห้วงยาว 25 cm จงคำนวณหาค่าความตึงผิวจากการทดลองนี้ (กำหนดให้ $g = 10 \text{ m/s}^2$) (มข.57)



17.2.2 ความหนืด (Viscosity)

แรงหนืด คือ แรงเสียดทานภายในของไหล หรือแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของวัตถุที่เกิดภายในของไหลนั้น ซึ่งจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็ว พื้นที่ผิวของของไหล และเป็นปฏิภาคกลับความหนาแน่นของของไหล

ความหนืด (η) คือ คุณสมบัติของของไหลในการต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุในของไหลนั้น มีหน่วยเป็น นิวตัน-วินาทีต่อตารางเมตร ($\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$)

ความหนืดในของเหลวเกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล ซึ่งจะมีค่าลดลงเมื่อของเหลวมีอุณหภูมิสูงขึ้น

ความหนืดในอากาศ ซึ่งโมเลกุลของมันอยู่ห่างกันมาก เกิดการถ่ายทอดโมเมนตัม ซึ่งจะมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น

ของไหลที่มีความหนืดสูงจะเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าของไหลที่มีความหนืดต่ำ ในเครื่องกลชนิดต่าง ๆ เราใช้น้ำมันหล่อลื่นชนิดต่าง ๆ กัน ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นมีหน่วยเป็น SAE ย่อมาจาก The Society of Automotive Engineering

การพิจารณาแรงหนืดและความหนืด

ถ้าของเหลวสองชั้นมีพื้นที่ A เท่ากัน กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสัมพัทธ์ v โดยมีระยะระหว่างชั้นมีค่าเป็น d

$$\eta = \frac{Fd}{Av} \dots\dots\dots(17.7)$$

เพิ่มเติม บางกรณีความหนืดใช้หน่วยเป็น Poise (ปอยส์) ซึ่งย่อมาจาก Poiseville

$$1 \text{ Poise} = 10^{-1} \text{ N-S/m}^2$$

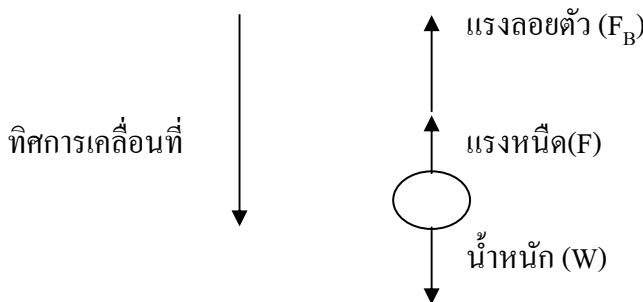
กฎของสโตกส์ (Stokes Law)

สำหรับของไหลอุดมคติ(ไม่มีความหนืด) ไหลผ่านลูกทรงกลม หรือลูกทรงกลมเคลื่อนที่ผ่านของไหลที่อยู่นิ่ง ความดันของกระแสครึ่งบนเท่ากับความดันกระแสครึ่งล่าง ทำให้แรงลัพธ์เป็นศูนย์ ถ้าของไหลมีความหนืด ก็จะมีแรงเนื่องจากความหนืดมาจุดให้เคลื่อนที่ช้าลง

สำหรับทรงกลมรัศมี r ซึ่งเคลื่อนที่ผ่านของไหลที่มีสัมประสิทธิ์แห่งความหนืด η และ v เป็นความเร็วของทรงกลมสัมพัทธ์กับของไหล แรงต้านการเคลื่อนที่ F คือ

$$F = 6\pi\eta vr \dots\dots\dots(17.8)$$

แรงที่กระทำกับวัตถุที่เคลื่อนที่ในของไหล



เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่

$$F_B + F = mg$$

$$\rho Vg + 6\pi\eta vr = mg$$

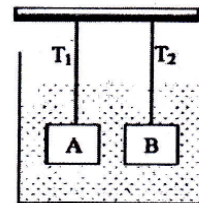
$$\eta = \frac{mg - \rho \frac{4}{3} \pi r^3 g}{6\pi vr} \dots\dots\dots(17.9)$$

แบบฝึกหัด 17.2.2.2

1. ลูกกลมเหล็กรัศมี 1 มิลลิเมตร ตกในน้ำเชื่อม ความเร็วสุดท้ายของลูกกลมเหล็กมีค่าเท่าใด กำหนดให้ ลูกกลมเหล็กและน้ำเชื่อมมีความหนาแน่น 7800 และ 1600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และ น้ำเชื่อมมีความหนืด 100 มิลลิพาสคัล วินาที (0.135 m/s)

2. (มข.55)แขวนวัตถุ A และ B ด้วยเชือกเบา ปลายอีกข้างผูกติดกับเพดาน เมื่อนำวัตถุทั้งสองไปจุ่มลงในน้ำ ข้อความใดกล่าวได้ถูกต้องกำหนดให้วัตถุทั้งสองมีปริมาตรเท่ากันและความหนาแน่น $\rho_A > \rho_B > \rho_{\text{water}}$

1. แรงพยุง (buoyant force) ที่กระทำต่อ A น้อยกว่า B และ $T_1 > T_2$
2. แรงพยุง (buoyant force) ที่กระทำต่อ A เท่ากับ B และ $T_1 > T_2$
3. แรงพยุง (buoyant force) ที่กระทำต่อ A มากกว่า B และ $T_1 < T_2$
4. แรงพยุง (buoyant force) ที่กระทำต่อ A มากกว่า B และ $T_1 > T_2$

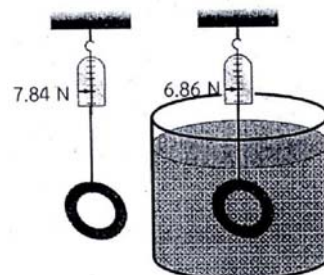


3. เมื่อปล่อยลูกเหล็กรัศมี 2 mm ลงในหลอดที่ยาวมากและบรรจุลิเธอรอลเกือบเต็ม ข้อใดไม่ถูกต้อง(มข.57)

1. ความเร็วต้นเป็นศูนย์
2. ที่ลึกมากๆ ความเร่งเป็นศูนย์
3. แรงพยุงเปลี่ยนตามขนาดลูกเหล็ก
4. แรงหนืดลดลงเมื่อความเร็วเพิ่ม

4. จากรูป จงหาความหนาแน่นของวงแหวนที่ทำมาจากทองคำ เมื่อชั่งน้ำหนักในอากาศอ่านได้ 7.84 นิวตัน และชั่งในน้ำอ่านได้ 6.86 นิวตัน (น้ำมีความหนาแน่น 10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) (มข.58)

1. 6×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
2. 7×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
3. 8×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
4. 9×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



17.3 ของไหลสถิต

17.3.1 ความดันในของเหลว

แรงดัน (Force , F) ผลคูณระหว่างความดันกับพื้นที่ ๆ ถูกแรงกระทำ แรงดันเป็นปริมาณเวกเตอร์ มีหน่วยเป็นนิวตัน

ความดัน (Pressure , P) คืออัตราส่วนระหว่างแรงที่กระทำต่อพื้นที่ ๆ ถูกแรงกระทำโดยพื้นที่นั้น ต้องตั้งฉากกับแรงกระทำด้วยความดันเป็นปริมาณสเกลาร์ มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตรหรือพาสคัล(Pa)

ให้ F แทน แรงที่กระทำ (N)

A แทน พื้นที่ที่ถูกแรงกระทำและตั้งฉากกับ F (m²)

P แทน ความดัน (N / m²)

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(17.10)$$

เพิ่มเติม 1. ในทางอุณหภูมิตามนิยามวิชาใช้หน่วยเป็น Bar เมื่อ 1 Bar = 10⁵ พาสคัล (Pa)

2. ในบางครั้งความดันอ่านเป็นบรรยากาศ โดยที่ 1 บรรยากาศ = 1.013 × 10⁵ N / m²

3. 1 บรรยากาศ (atm) = 760 มิลลิเมตรปรอท (torr) = 14.7 lb/in²

ความดันในของเหลวขึ้นกับความลึก

สรุปหลักการสำคัญเกี่ยวกับความดันในของเหลวในสถานะอยู่นิ่งได้ดังนี้

1. ณ จุดใด ๆ ในของเหลวจะมีแรงกระทำของของเหลวไปในทุกทิศทาง
2. แรงที่ของเหลวกระทำต่อผนังภาชนะหรือผิววัตถุที่อยู่ในของเหลวจะอยู่ในทิศตั้งฉากกับผนัง

ภาชนะหรือผิวของวัตถุที่ของเหลวสัมผัส

3. ความดัน ณ จุดใด ๆ ในของเหลวที่อยู่นิ่งแปรผันตรงกับความลึกและความหนาแน่นของของเหลวเมื่ออุณหภูมิคงตัว

4. ความดันในของเหลวชนิดหนึ่ง ๆ ไม่ขึ้นอยู่กับปริมาตรและรูปร่างของภาชนะที่บรรจุของเหลว และที่ความลึกเท่ากันของเหลวชนิดเดียวกันความดันจะเท่ากันเสมอ

การจำแนกชนิดของความดัน

1. **ความดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure , Pa)** เป็นความดันที่เกิดจากบรรยากาศที่ทับถมอยู่เหนือจุดที่พิจารณามีค่าเท่ากับน้ำหนักของอากาศในชั้นบรรยากาศที่ทับถมอยู่เหนือพื้นที่ 1 ตารางหน่วย ซึ่งคำนวณแล้วได้ 1.013 × 10⁵ N/m² เมื่อภาวะปกติ

2. ความดันเกจ (Gauge Pressure , P_g) หมายถึง ความดันของของเหลวเนื่องจากน้ำหนักของของเหลว

ให้ P_g แทน ความดันเกจหรือความดันของของเหลวเนื่องจากน้ำหนักของของเหลว

ρ แทน ความหนาแน่นของของเหลว

h แทน ความสูงหรือความลึกของของเหลวจากผิวของของเหลว

$$P_g = \rho gh \dots\dots\dots(17.11)$$

3. ความดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure , P) หมายถึง ความดันของของเหลวเนื่องจากน้ำหนักของของเหลวรวมกับความดันบรรยากาศ จะได้ว่า

$$P = P_a + P_g \dots\dots\dots(17.12)$$

$$P = P_a + \rho gh \dots\dots\dots(17.13)$$

แรงดันน้ำที่กระทำต่อเขื่อน

ให้ F แทน แรงดันที่น้ำกระทำต่อประตูเขื่อนหรือเขื่อน

ρ แทน ความหนาแน่นของน้ำ l แทน ความยาวของประตูเขื่อน

g แทน ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก h แทน ความสูงของระดับน้ำ

$$F = \frac{1}{2} \rho l g h^2 \dots\dots\dots(17.14)$$

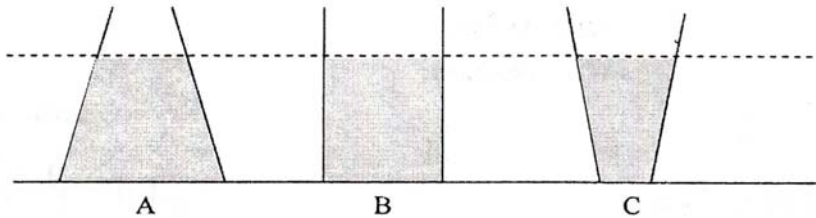
แบบฝึกหัด 17.2.1

1. เรือดำน้ำลำหนึ่งได้รับการออกแบบให้ทนความดันภายนอกได้สูงสุดขนาด $4.1 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ จะสามารถนำเรือดำลงไปใต้น้ำทะเล ซึ่งมีความหนาแน่น $1.025 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ได้อย่างมากที่สุดเท่าไร (400 เมตร)
2. เขื่อนแห่งหนึ่งกว้าง 80 เมตร ถ้าระดับน้ำสูง 50 เมตร แรงดันของน้ำเหนือเขื่อนมีค่าเท่าใด (10^9 N)
3. ประตูเขื่อนแห่งหนึ่งกว้าง 60 เมตร ระดับน้ำข้างหนึ่งอยู่สูง 40 เมตร อีกข้างหนึ่งอยู่สูง 30 เมตร จงหาแรงดันที่กระทำกับประตูเขื่อน (2.1×10^8 นิวตัน)

4. (มข.50) แก้วใบหนึ่งบรรจุไว้น้ำกับน้ำแข็ง ข้อความใดต่อไปนี้สรุปได้ถูกต้องเมื่อมีน้ำแข็งบางส่วนเริ่มละลาย

1. ระดับน้ำในแก้วจะต่ำกว่าระดับเดิม
2. ระดับน้ำในแก้วจะสูงกว่าระดับเดิม
3. ระดับน้ำในแก้วยังคงเหมือนเดิม
4. สรุปไม่ได้เนื่องจากข้อมูลที่ให้มาไม่เพียงพอ

5. (มข.51) จากรูป ภาชนะทั้ง สามบรรจุของเหลวชนิดเดียวกันและอยู่ในระดับเดียวกัน ข้อความต่อไปนี้ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับความดันและแรงดัน



1. ความดันและแรงดันที่ก้นภาชนะ $A > B > C$
2. ความดันและแรงดันที่ก้นภาชนะ $C > B > A$
3. ความดันที่ก้นภาชนะทั้งสามเท่ากันแต่แรงดันที่ก้นภาชนะ $A > B > C$
4. แรงดันที่ก้นภาชนะทั้งสามเท่ากันแต่ความดันที่ก้นภาชนะ $A > B > C$

6. (มข.53) ที่ความลึก 10 เมตรในน้ำจะมีความดันสัมบูรณ์ที่ปราศจาก เมื่อกำหนดให้ ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1.000×10^3 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร และความดันบรรยากาศเท่ากับ 1.013×10^5 ปาสคาล

1. 1.000×10^5 ปาสคาล
2. 2.013×10^5 ปาสคาล
3. 1.013×10^7 ปาสคาล
4. 1.013×10^9 ปาสคาล

7. (มข.54) จากรูป ภาชนะทั้งสามใบบรรจุของเหลวชนิดเดียวกันที่ระดับความสูง h เท่ากันและพื้นที่ของก้นภาชนะมีขนาดเท่ากัน ข้อความต่อไปนี้ข้อใดถูกต้อง

- ก. ความดันเกจที่ก้นภาชนะทุกใบเท่ากัน
- ข. ความดันสัมบูรณ์ที่ก้นภาชนะทุกใบเท่ากัน
- ค. แรงดันของเหลวกระทำต่อก้นภาชนะทุกใบเท่ากัน



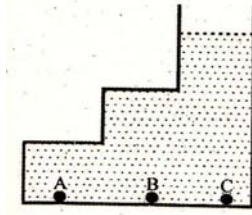
1. ข้อ ก และ ข้อ ข ถูก
2. ข้อ ก และ ข้อ ค ถูก
3. ข้อ ข และ ข้อ ค ถูก
4. ถูกทุกข้อ

8. (มข.55) ถังฝาเปิดรูปทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm สูง 60 cm บรรจุน้ำจนเต็ม จงคำนวณหาความดันสัมบูรณ์ที่ก้นภาชนะ กำหนดให้ $g = 10 \text{ m/s}^2$, $\rho_{\text{water}} = 10^3 \text{ kg/m}^3$, $P_a = 10^5 \text{ N/m}^2$

1. $6 \times 10^3 \text{ N/m}^2$
2. $0.94 \times 10^5 \text{ N/m}^2$
3. 1.03×10^5
4. $1.06 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

9. (มข.56) ภาชนะเปิดบรรจุของเหลวตั้งรูป ความดันที่จุด A, B และ C มีค่าตามข้อใด

1. $A = B = C$
2. $A > B > C$
3. $A < B < C$
4. $B > A > C$



10. (มข.56) ประตูกั้นน้ำตั้งอยู่ในแนวตั้งกว้าง 20 เมตร ระดับน้ำสูง 12 เมตร แรงลัพธ์ที่กระทำต่อประตุน้ำ เป็นกิโลตัน เมื่ออีกด้านหนึ่งของประตูกั้นน้ำเป็นอากาศ (กำหนดให้ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง $g = 10 \text{ m/s}^2$ ความหนาแน่นของน้ำ $= 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)

1. 72×10^5
2. 96×10^5
3. 144×10^5
4. 288×10^5

12. เกี่ยวกับความดัน ข้อใดถูกต้อง (มข.57)

1. ถังน้ำไม่มีฝาสูง h มีรูรั่วหลายรูที่ความสูงต่างๆกัน รูที่อยู่สูงน้ำจะพุ่งไปได้ไกลกว่ารูที่อยู่ต่ำ
2. ท่อใหญ่ต่อเข้ากับท่อเล็กทั้งคู่วางตัวอยู่ในแนวระดับเมื่อมีน้ำไหลตามท่อความดันน้ำในท่อใหญ่มากกว่าท่อเล็ก
3. ถังน้ำไม่มีฝาสูง h มีน้ำเต็ม ที่ปากถังมีความดันน้ำมากกว่าก้นถัง
4. ท่อใหญ่ต่อเข้ากับท่อเล็กเมื่อมีน้ำไหลตามท่ออัตราเร็วของน้ำในท่อใหญ่จะมากกว่าในท่อเล็ก

17.3.2 เครื่องมือวัดความดัน

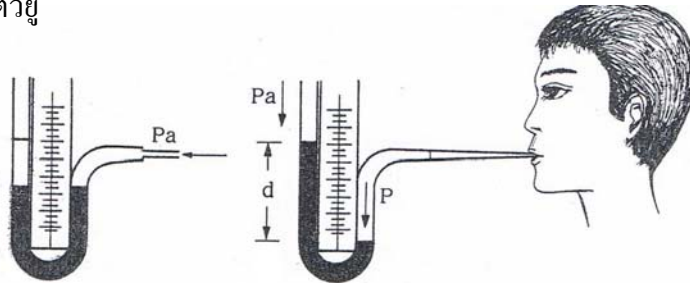
ความดันของแก๊สหุงต้มในถังแก๊ส ความดันของบรรยากาศขณะเวลาต่าง ๆ ความดันของแก๊สในยางรถยนต์ หรือความดันของน้ำประปา ล้วนเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของทุกคน ความดันของของไหลเหล่านี้ วัดค่าได้อย่างไร เครื่องวัดเหล่านี้มีหลายรูปแบบ เช่น แมนอมิเตอร์ แปรอมิเตอร์ และเครื่องวัดบูร์ดอน จะกล่าวถึงเพียงสังเขปดังนี้

แปรอมิเตอร์ปรอท สร้างตามหลักของ ทอร์ลิเชลลี โดยนำหลอดแก้วปลายเปิดข้างหนึ่ง ปลายปิดข้างหนึ่ง ทำให้เป็นสุญญากาศแล้วคว่ำด้านปลายเปิดของหลอดแก้วลงไปใต้อ่างปรอท เมื่อหลอดแก้วอยู่ในแนวตั้งอากาศภายนอกจะดันปรอทให้เข้าสู่หลอดแก้วเป็นลำปรอทยาว 760 มิลลิเมตร ที่ระดับน้ำทะเล ฉะนั้นที่ระดับน้ำทะเลอากาศจะมีความดันเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอทเสมอ

แปรอมิเตอร์แอนิรอยด์ ถ้าต้องการวัดความดันอากาศในที่สูง ๆ เช่น บนภูเขา หรือบนเครื่องบิน ซึ่งทำจากโลหะที่บางมากและยืดหยุ่นได้ เมื่อความดันอากาศเพิ่มขึ้นตลับลูกฟูกก็จะถูกบีบให้แฟบลงแต่เมื่อความดันอากาศลดลง ตลับลูกฟูกก็จะพองขึ้น แล้วจะมีผลต่อแขนบส่งผลไปยังเข็มชี้ ซึ่งติดสเกลบอกบนหน้าปัดไว้เรียบร้อยแล้ว สำหรับหน้าปัดแปรอมิเตอร์แอนิรอยด์ นั้นสามารถดัดแปลงเป็นความสูงจากระดับ

น้ำทะเลได้ เพราะว่าความดันอากาศจะลดลงตามความสูงในอัตราประมาณ 1 มิลลิเมตรของปรอทต่อความสูงที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 11 เมตร เรียกเครื่องมือที่วัดค่านี้ว่า มาตรวัดความสูง หรือแอลติมิเตอร์ ซึ่งใช้ติดตั้งหรือติดในเครื่องบินเพื่อทราบระดับความสูงของเครื่องบิน

แมนอมิเตอร์ (Manometer) เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดความแตกต่างของความดันในของไหล โดยปกติใช้บอกความแตกต่างของความดันในรูปความแตกต่างของระดับความสูงของลำของเหลวทั้งสองข้างในหลอดแก้วรูปตัวยู



- ให้ **P** แทน ความดันสัมบูรณ์ของอากาศในสายยางที่นักเรียนเป่า
Pa แทน ความดันของบรรยากาศขณะนั้น
P_g แทน ความดันเนื่องจากลำของเหลวที่สูง d

ถ้าของเหลวอยู่ในสภาพสมดุล จะได้ว่า

$$P = Pa + P_g$$

ความดันของอากาศในสายยางที่เพิ่มขึ้น

$$P - Pa = P_g = \rho g d \dots\dots\dots(17.15)$$

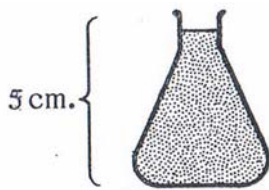
จะเห็นว่า ผลต่างของระดับของเหลวในหลอดแก้วรูปตัวยู หรือระยะ d จะแปรผันตรงกับความดันที่เพิ่มของอากาศในสายยาง

แสดงว่าเราสามารถใช้ระยะ d เป็นตัวแสดงความดันที่เพิ่มขึ้นที่ปลายข้างหนึ่ง ความดันที่วัดได้จากเครื่องมือวัดนี้ เรียกว่า ความดันเกจนั่นเอง

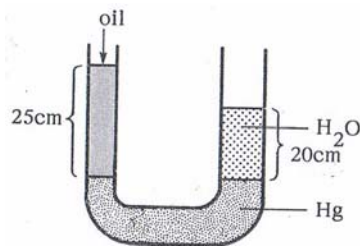
แบบฝึกหัด 17.3.2 (ครั้งที่ 1)

1. ถ้าของเหลวที่บรรจุในหลอดแก้วรูปตัวยู ของแมนอมิเตอร์ คือ น้ำ ซึ่งมีความหนาแน่นเท่ากับ 1000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อของเหลวในหลอดแก้วรูปตัวยูต่างระดับกัน 2 เซนติเมตร ความดันเกจที่อ่านได้จะเป็นเท่าไร (200 นิวตันต่อตารางเมตร)

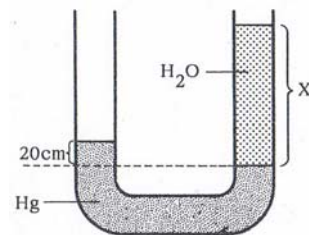
- น้ำจืดลึก 0.6 เมตร ให้ความดันเท่ากับน้ำทะเลลึก 0.4 เมตร จงหาความหนาแน่นของน้ำทะเล กำหนด ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 10^3 kg/m^3 ($1.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)
- ที่ก้นบ่อแร่แห่งหนึ่งบารอมิเตอร์ปรอทอ่านได้ 77.4 cm จงหาว่า บารอมิเตอร์น้ำมันที่วางไว้ข้างกัน จะอ่านได้เท่าไร กำหนดความหนาแน่นของปรอทและน้ำมันเท่ากับ $13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ และ $0.9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ตามลำดับ (11.7 m)



รูปข้อ 4



รูปข้อ 5



รูปข้อ 6

- ขวดใส่ของเหลวคังรูปส่วนสูงของของเหลว 5 cm ก้นขวดมีพื้นที่ 100 cm^2 ถ้าของเหลวมีความหนาแน่น $13.6 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$ ความดันเกจที่ก้นขวดมีค่าเท่าไร ($6.8 \times 10^4 \text{ N/m}^2$)
- จากรูปความหนาแน่นของน้ำมันมีค่าเป็นกี่เท่าของน้ำ (0.8 เท่าของน้ำ)
- จากรูป ถ้าปรอทมีความหนาแน่นเป็น 13.6 เท่าของน้ำ X จะมีค่าเท่าไร (2.72 เมตร)

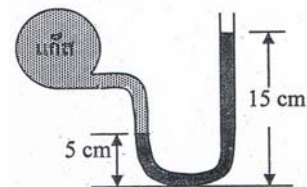
7. (มข.52) ระดับปกติของความดันโลหิต (blood pressure) ของคนทั่วไปคือความดันตัวบน 120 มิลลิเมตรของปรอทและความดันตัวล่าง 80 มิลลิเมตรของปรอท จงหาค่าความดันตัวบนนี้ในหน่วยมาตรฐาน
1. 0.16 atm 2. 1.6 atm 3. $1.6 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ 4. $1.6 \times 10^4 \text{ pascal}$

8. (มข.53) เราทราบว่าบรรยากาศที่ผิวโลกมีความดันประมาณ 760 มิลลิเมตรปรอท โลหิตในร่างกายของคนเราก็ดีกี่มีความดันเช่นกัน ข้อใดต่อไปนี้เป็นข้อความที่ถูกต้อง

1. ความดันโลหิตมีค่ามากกว่าความดันบรรยากาศเสมอ
2. ความดันโลหิตมีค่าน้อยกว่าความดันบรรยากาศเสมอ
3. ความดันโลหิตมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศเสมอ
4. ไม่แน่นอน อาจมากกว่าหรือน้อยกว่าก็ได้

9. (มข.54) ขาข้างหนึ่งของแอนอมิเตอร์ถูกต่อเข้ากับภาชนะที่บรรจุแก๊สชนิดหนึ่งปรากฏว่าระดับปรอทในขาทั้งสองข้างสูง 5 เซนติเมตร และ 15 เซนติเมตร ดังรูป ถ้าความดันของอากาศภายนอกขณะนั้นเท่ากับ 10^5 พาสคัล แก๊สในภาชนะมีความดันเท่าใด(กำหนดให้ ความหนาแน่นปรอทเท่ากับ 13.6×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความเร่งโน้มถ่วงของโลก เท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที²)

1. 0.136×10^5 พาสคัล 2. 1.36×10^5 พาสคัล
3. 1.136×10^5 พาสคัล 4. 2.36×10^5 พาสคัล

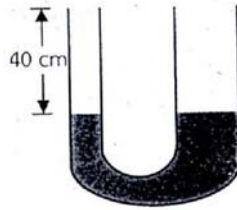


10. (มข.56) (กำหนดความดันบรรยากาศเป็น 760 มิลลิเมตรปรอท) ในการวัดความดันโลหิต ถ้าวัดได้ 130 มิลลิเมตรปรอท แสดงว่าในเส้นเลือดมีความดันสัมบูรณ์เป็นกี่มิลลิเมตรปรอท

1. 130 2. 630 3. 890 4. 1.00143×10^5

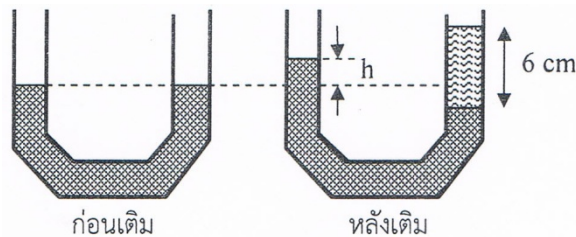
11. จากรูป หลอดแก้วรูปตัวยูมีพื้นที่หน้าตัดของขาเล็กเป็นครึ่งหนึ่งของขาใหญ่ เริ่มต้นบรรจุของเหลว ความหนาแน่น 3 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร อยากทราบว่าจะสามารถเทของเหลวความหนาแน่น 6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จึงจะไม่มีของเหลวล้นออกมา(มข.58)

1. 10
2. 20
3. 30
4. 40



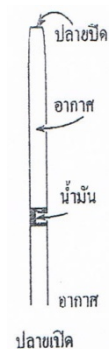
12. น้ำความหนาแน่น 1000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อยู่ในท่อรูปตัวยู ขนาดเท่ากันตลอดท่อ ดังรูป เมื่อเติมน้ำมันที่มีความหนาแน่น 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ลงในท่อทางด้านขวา มีความสูง 6 เซนติเมตร จงหาว่าน้ำจะสูงขึ้นกว่าเดิม (h) เท่าไรเมื่อเทียบกับก่อนการเติมน้ำมัน (มข.59)

1. 2.4 เซนติเมตร
2. 3.6 เซนติเมตร
3. 3.75 เซนติเมตร
4. 4.8 เซนติเมตร



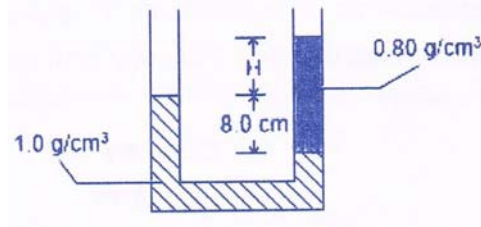
13. เมื่อนำหลอดแก้วเล็กที่มีปลายปิดข้างหนึ่งไปลงไฟ แล้วนำปลายนี้ไปจุ่มลงในน้ำมัน ซ้อใดไม่ถูกต้อง (มข.59)

1. ในขณะที่หลอดเย็นลงน้ำมันถูกดูดเข้าไปในหลอด
2. เมื่อหลอดเย็นลงปริมาตรแก๊สที่อยู่ระหว่างน้ำมันและปลายปิดลดลง
3. เมื่อหลอดเย็นลงจำนวนโมเลกุลแก๊สที่อยู่ระหว่างน้ำมันและปลายปิดลดลง
4. ในขณะที่หลอดเย็นลงความดันแก๊สในหลอดคงที่



14. เติมน้ำในท่อปลายเปิดสองข้างรูปตัว U จากนั้นเติมน้ำมันลงในท่อด้านขวา หลังจากระบบอยู่ในสมดุลระดับของเหลวในท่อมีลักษณะดังรูป จงคำนวณหาผลต่าง H ของระดับน้ำในท่อด้านซ้ายและน้ำมันในท่อด้านขวามีค่าต่างกันกี่เซนติเมตร กำหนดให้น้ำมีความหนาแน่น 1.0 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร น้ำมันมีความหนาแน่น 0.8 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (มข.60)

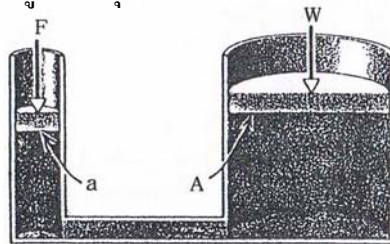
1. 1.0
2. 2.0
3. 4.0
4. 6.0



กฎของพาสคัล

กฎของพาสคัล ซึ่งกล่าวว่า เมื่อความดัน ณ ตำแหน่งใด ๆ ในของเหลวที่อยู่นิ่งในภาชนะปิดความดันที่เพิ่มขึ้นจะถ่ายทอดไปทุก ๆ จุดในของเหลวนั้น

กฎของพาสคัลสามารถอธิบายการทำงานของเครื่องกลผ่อนแรงที่รู้จักกันทั่วไปคือเครื่องอัดไฮดรอลิก ซึ่งประกอบด้วยกระบอกสูบ และลูกสูบสองชุดมีขนาดต่างกัน มีท่อต่อเชื่อมกันและมีของเหลวบรรจุอยู่ภายใน



รูปการทำงานของเครื่องอัดไฮดรอลิก

ให้ A และ a แทน พื้นที่หน้าตัดของลูกสูบใหญ่และลูกสูบเล็ก

F แทน แรงกดลูกสูบด้านพื้นที่หน้าตัด

W แทน น้ำหนักที่ต้องการจะยก

จากกฎของพาสคัลจะได้ว่า

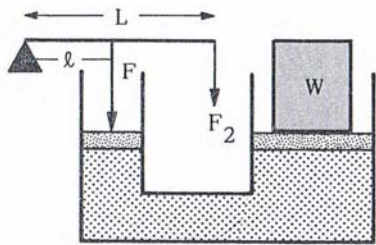
$$P_1 = P_2$$

$$\frac{F}{a} = \frac{W}{A} \dots\dots\dots(17.16)$$

การได้เปรียบเชิงกล $MA = \frac{W}{F} = \frac{A}{a} = \left(\frac{R}{r}\right)^2 = \left(\frac{D}{d}\right)^2 = \frac{h}{H} \dots\dots\dots(17.17)$

สูตรเครื่องอัดไฮดรอลิก หรือเครื่องอัดบาร์มาห์ ที่ไม่มีระบบคานโยกมาเกี่ยวข้อง สูตรนี้ใช้เมื่อเครื่องอัดมีประสิทธิภาพ 100 % ได้ $\frac{W}{F_2}$ เรียกว่าได้เปรียบเชิงกลตามปฏิบัติ (A.M.A.) ส่วน $\frac{A}{a}$ เรียกว่าได้เปรียบเชิงกลตามทฤษฎี (I.M.A.)

ถ้าเอาระบบคานโยกเข้ามาใส่ในเครื่องนี้ ดังรูป



$\frac{W}{F_2}$ แทน การได้เปรียบเชิงกลตามปฏิบัติของเครื่องทั้งหมด

$\frac{A}{a}$ แทน การได้เปรียบเชิงกลตามทฤษฎีของลูกสูบ

$\frac{L}{l}$ แทน การได้เปรียบเชิงกลตามทฤษฎีของคานโยก

$\frac{A}{a} \times \frac{L}{l}$ แทน การได้เปรียบเชิงกลตามทฤษฎีของเครื่องทั้งหมด

จะได้ว่า $\frac{W}{F_2} = \frac{A}{a} \times \frac{L}{l}$ (17.18) (ใช้เมื่อเครื่องมีประสิทธิภาพ 100 %)

ถ้าเครื่องมีประสิทธิภาพไม่ถึง 100 % ให้ใช้สูตรดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพ (Eff)} = \left[\frac{\frac{W}{F_2}}{\frac{A}{a} \times \frac{L}{l}} \right] \times 100 \text{(17.19)}$$

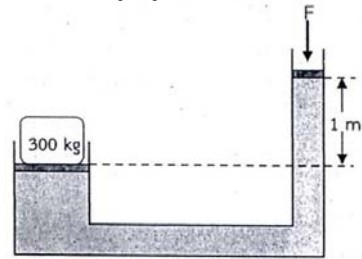
แบบฝึกหัด 17.3.2 (ครั้งที่ 2)

- แม่แรงยกรถยนต์เครื่องหนึ่ง ลูกสูบใหญ่มีพื้นที่เป็น 200 เท่าของลูกสูบเล็ก ถ้าต้องการให้ แม่แรงยกรถมวล 1000 กิโลกรัม จะต้องออกแรงกดที่ลูกสูบเล็กเท่าไร (50 นิวตัน)
- เครื่องยกไฮดรอลิกเครื่องหนึ่ง มีรัศมีลูกสูบใหญ่เป็น 5 เท่าของลูกสูบเล็ก จะต้องออกแรงกดที่ลูกสูบเล็กอย่างน้อยเท่าใดจึงจะสามารถยกมวล 1000 กิโลกรัมขึ้นได้ (400 นิวตัน)
- เครื่องอัดบาร์มาห์ ลูกสูบใหญ่มีพื้นที่ 20 cm^2 พื้นที่สูบลัด 2.5 cm^2 คานโยกยาว 28 cm ระยะจากจุดพลิกคร้มถึงคานสูบลัด 2 cm ถ้าออกแรงกระทำที่ปลายคาน 20 นิวตัน จะสามารถยกน้ำหนักได้เท่าใด (2240 นิวตัน)

4. เครื่องอัดไฮดรอลิกเครื่องหนึ่งให้ยกน้ำหนัก 2,240 นิวตัน โดยผู้ใช้ออกแรงกดเท่ากับน้ำหนัก 5 นิวตัน ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบใหญ่เป็น 8 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบเล็ก จงหาอัตราส่วนของแขนคานงัดที่ใช้กลูกสูบ (7 : 1)

5. เครื่องอัดไฮดรอลิกเครื่องหนึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางสูบอัดและลูกสูบกเป็น 1 cm และ 10 cm ตามลำดับ ที่ก้านสูบอัดมีคานอีกอันหนึ่งที่มีแขนคานเป็นอัตราส่วน 15 : 1 ถ้าออกแรงที่ปลายคาน 10 N จะสามารถยกน้ำหนักได้ 12,000 N จงหาประสิทธิภาพของเครื่องอัดนี้เป็นกี่ เปอร์เซ็นต์ (80%)

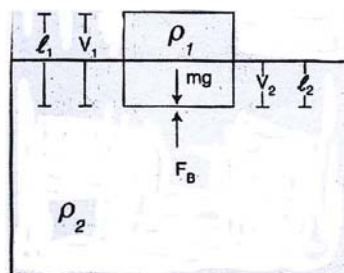
6. จากรูปด้านล่าง จะต้องออกแรง F กี่นิวตัน ที่ลูกสูบเล็ก จึงจะสามารถยกวัตถุมวล 300 กิโลกรัม เมื่อไฮดรอลิก บรรจุน้ำความหนาแน่น 10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขนาดลูกสูบเล็ก 10^{-3} ตารางเมตร และ ขนาดลูกสูบใหญ่ 0.1 ตารางเมตร (มข.58)
 1. 10 นิวตัน
 2. 20 นิวตัน
 3. 30 นิวตัน
 4. 40 นิวตัน



17.3.3 แรงลอยตัวและหลักของอาร์คิมิดีส

ถ้าหากเราชั่งน้ำหนักวัตถุในขณะที่จมอยู่ในของเหลว จะพบว่าน้ำหนักวัตถุขณะนั้นจะน้อยกว่าน้ำหนักวัตถุที่ชั่งในอากาศ ทั้งนี้เพราะของเหลวออกแรงพยุงวัตถุไว้ใ้ในทิศขึ้นข้างบน เรียกแรงนี้ว่าแรงลอยตัวของของเหลว (Buoyant Force , F_B)

หลักของอาร์คิมิดีส กล่าวว่า วัตถุใด ๆ ที่จมอยู่ในของเหลวทั้งก้อนหรือจมอยู่เพียงบางส่วน จะถูกแรงลอยตัวกระทำและขนาดของแรงลอยตัวนั้นจะเท่ากับขนาดของน้ำหนักของของเหลวที่ถูกวัตถุแทนที่
แรงลอยตัว คือ แรงที่ของเหลวพยายามยกตัววัตถุขึ้นมา



หลักสมมูล แรงรวมลง = แรงรวมขึ้น

$$mg = F_B$$

$$\rho_1 V_1 g = \rho_2 V_2 g$$

$$\rho_1 V_1 = \rho_2 V_2 \dots\dots\dots(17.20)$$

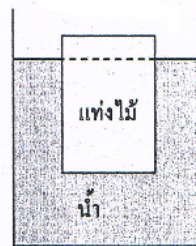
$$\rho_1 l_1 = \rho_2 l_2 \dots\dots\dots(17.21)$$

กำหนดให้ F_B แทน แรงลอยตัว ρ_1 แทน ความหนาแน่นวัตถุ ρ_2 แทน ความหนาแน่นของเหลว
 V_1 แทน ปริมาตรทั้งหมด V_2 แทน ปริมาตรที่จม l_1 แทน ความยาวทั้งหมด
 l_2 แทน ความยาวที่จม g แทน ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

แบบฝึกหัด 17.3.3

- (มข.51) วัตถุรูปลูกบาศก์ยาวด้านละ 10 เซนติเมตร ความหนาแน่น 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ลอยอยู่ในน้ำที่บรรจุในภาชนะหนึ่ง ถ้าผิวบนของวัตถุอยู่ในแนวระดับ จงหาว่าผิวบนของวัตถุนี้จะอยู่สูงกว่าผิวน้ำเท่าใด กำหนดให้ ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
 1. 8 เซนติเมตร
 2. 6 เซนติเมตร
 3. 4 เซนติเมตร
 4. 2 เซนติเมตร

- (มข.53) แท่งไม้ลอยในน้ำที่มีความหนาแน่น 1.0×10^3 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร พบว่าแท่งไม้ลอยเหนือน้ำร้อยละ 20 จงหา ความหนาแน่นของแท่งไม้
 1. 80×10^3 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
 2. 20×10^3 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
 3. 0.8×10^3 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
 4. 0.2×10^3 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร



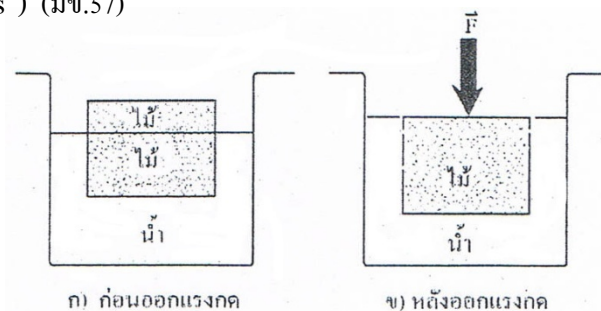
- (มข.54) นำไม้รูปลูกบาศก์มีความยาวด้านละ 0.5 เมตร มีความหนาแน่น 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ไปลอยน้ำที่มีความหนาแน่น 1000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะต้องใช้แรงเท่าใดกดที่แท่งไม้ เพื่อให้แท่งไม้จมมิดน้ำพอดี(กำหนดให้ ความเร่งโน้มถ่วงของโลก เท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที²)
 1. 125 นิวตัน
 2. 250 นิวตัน
 3. 375 นิวตัน
 3. 500 นิวตัน

4. (มข.56) แท่งไม้ลอยนิ่งอยู่ในน้ำ พบว่า ปริมาตรที่ลอยเหนือน้ำเป็นร้อยละ 20 ของปริมาตรทั้งหมด เมื่อความหนาแน่นของน้ำเป็น $1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ความหนาแน่นของไม้จะเป็นกี่ kg/m^3

1. 0.2×10^5
2. 0.8×10^3
3. 20×10^3
4. 80×10^3

5. นำแท่งไม้รูปทรงกระบอกไปลอยน้ำปรากฏว่า $\frac{2}{3}$ ของปริมาตรทั้งหมดจมอยู่ใต้น้ำถ้าไม้มีปริมาตร $3 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ และน้ำมีความหนาแน่น $1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ จะออกแรงกดไม้อย่างน้อยเท่าไรไม้จึงจะจมน้ำหมดพอดี (กำหนดให้ $g = 10 \text{ m/s}^2$) (มข.57)

1. 10 N
2. 20 N
3. 30 N
4. 40 N



6. แท่งไม้ความหนาแน่น 810 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรลอยอยู่ในของเหลวชนิดหนึ่ง มีส่วนที่ลอยอยู่เหนือของเหลวมีปริมาตร 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรทั้งหมด จงหาความหนาแน่นของของเหลว (มข.59)

1. 607.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
2. 1000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
3. 1080 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
4. 3240 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

7. เติมของเหลวชนิดหนึ่งให้เต็มภาชนะพอดีจากนั้นนำวัตถุทรงลูกบาศก์ปริมาตร $V = 2.0 \times 10^{-4}$ ลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่น 8.0×10^3 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร จุ่มลงไปลงในของเหลวนั้น ปรากฏว่าของเหลวที่ล้นออกมาปริมาณหนึ่ง เมื่อนำของเหลวที่ล้นออกไปชั่งน้ำหนัก ได้น้ำหนักของเหลวส่วนที่ล้นเท่ากับ 2.4 นิวตัน แรงลอยตัวของเหลวกระทำกับวัตถุเท่ากับกี่นิวตัน (มข.60)

1. 1.6 นิวตัน
2. 2.4 นิวตัน
3. 2.0 นิวตัน
4. 16 นิวตัน

17.4 พลศาสตร์ของของไหล

เราได้ศึกษาสมบัติบางประการของของไหล เช่น ความดัน แรงลอยตัว เป็นต้น ซึ่งเป็นการศึกษาของไหลที่อยู่นิ่ง สำหรับของไหลที่มีการเคลื่อนที่ เช่น พัดลม การไหลของน้ำในท่อ ความดันของของไหลเหล่านั้นจะเปลี่ยนอย่างไรหรือไม่ จะได้ศึกษาต่อไปนี้

17.4.1 ของไหลอุดมคติ

การเคลื่อนที่ของของไหลเป็นการเคลื่อนที่ที่ซับซ้อน เพื่อให้การศึกษากการเคลื่อนที่ของของไหลไม่ยุ่งยาก เราจะพิจารณา **ของไหลอุดมคติ(ideal fluid)** ซึ่งมีสมบัติดังนี้

1. **มีการไหลอย่างสม่ำเสมอ (steady flow)** หมายถึงความเร็วของอนุภาค ณ ตำแหน่งต่างๆ ในการไหลมีค่าคงตัวโดยความเร็วของอนุภาคของของไหลเมื่อไหลผ่านจุดต่าง ๆ กันจะเท่ากันหรือต่างกันก็ได้

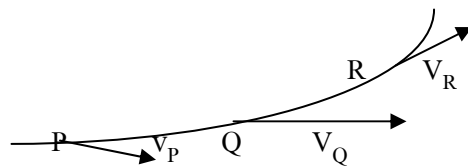
2. **มีการไหลโดยไม่หมุน (irrotational flow)** กล่าวคือในบริเวณโดยรอบจุดหนึ่ง ๆ ในของไหลจะไม่มีอนุภาคของของไหลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเชิงมุมรอบจุดนั้น ๆ เลย

3. **มีการไหลโดยไม่มีแรงต้านเนื่องจากความหนืด (nonviscous flow)** หมายความว่า ไม่มีแรงต้านใด ๆ ภายในเนื้อของของไหลมากระทำต่ออนุภาคของของไหล

4. **ไม่สามารถอัดได้ (incompressible flow)** หมายความว่า ของไหลมีปริมาตรคงตัวโดยปริมาตรของของไหลแต่ละส่วนไม่ว่าจะไหลผ่านบริเวณใดก็ยังคงมีความหนาแน่นเท่าเดิม

การไหลของของไหลอุดมคติ

พิจารณาการไหลของของไหลในอุดมคติ



จากรูป แสดงเส้นทางของอนุภาคของของไหลเมื่อมีการเคลื่อนที่ผ่านจุด P, Q, R เส้นทางเดินนี้เรียกว่า **สายกระแส**

- สายกระแสนานกับความเร็วของอนุภาคของของไหลที่แต่ละตำแหน่ง
- สายกระแสจะไม่ตัดกัน
- สายกระแสจำนวนหนึ่งประกอบกันเป็นมัดเราเรียกว่า **หลอดการไหล**

17.4.2 สมการความต่อเนื่อง

ให้ v_1 แทน ความเร็วของอนุภาคของของไหลที่จุดที่ 1

v_2 แทน ความเร็วของอนุภาคของของไหลที่จุดที่ 2

A_1 แทน พื้นที่หน้าตัดของหลอดที่ตั้งฉากกับสายกระแสที่จุดที่ 1

A_2 แทน พื้นที่หน้าตัดของหลอดที่ตั้งฉากกับสายกระแสที่จุดที่ 2

ρ_1 แทน ความหนาแน่นของของไหลที่จุดที่ 1

ρ_2 แทน ความหนาแน่นของของไหลที่จุดที่ 2

R_1 แทน รัศมีของท่อที่จุดที่ 1

R_2 แทน รัศมีของท่อที่จุดที่ 2

D_1 แทน เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อที่จุดที่ 1

D_2 แทน เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อที่จุดที่ 2

Q แทน อัตราการไหล

จาก $\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 \dots\dots\dots(17.22)$

$\rho AV = \text{ค่าคงตัว} \dots\dots\dots(17.23)$

แต่ $\rho_1 = \rho_2$

จะได้ $A_1 V_1 = A_2 V_2 \dots\dots\dots(17.24)$

$R_1^2 v_1 = R_2^2 v_2 \dots\dots\dots(17.25)$

$D_1^2 v_1 = D_2^2 v_2 \dots\dots\dots(17.26)$

จาก (17.24) จะได้ว่า

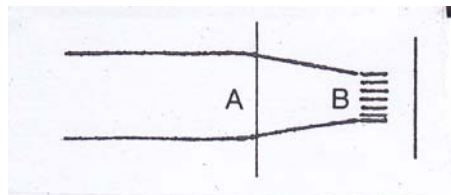
$AV = \text{ค่าคงตัว} = Q \dots\dots\dots(17.27)$

ผลคูณของ AV เรียกว่า อัตราการไหล มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร / วินาที

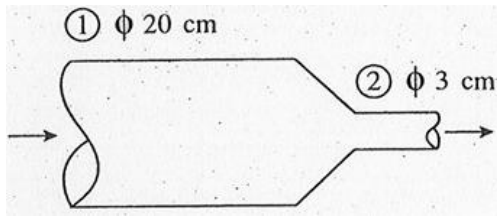
แบบฝึกหัด 17.4.2

1. (ข้อสอบพื้นฐานวิวะ) ท่อน้ำดับเพลิงแสดงดังรูป จงหาความเร็วของน้ำที่พุ่งออกจากปลายท่อที่ B เมื่อความเร็วของน้ำที่ A เท่ากับ 5 เมตรต่อวินาที กำหนดให้เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ A และ B เท่ากับ 8 เซนติเมตร และ 4 เซนติเมตร ตามลำดับ

1. 10 เมตรต่อวินาที
2. 15 เมตรต่อวินาที
3. 20 เมตรต่อวินาที
4. 25 เมตรต่อวินาที



2. (Ent) น้ำไหลเข้าท่อด้วยอัตราการที่ 50 kg/s จงหาผลต่างของความเร็วเฉลี่ยที่จุดที่ 1 และจุดที่ 2 ดังรูป เมื่อความหนาแน่นของน้ำมีค่าเท่ากับ 1000 kg/m^3



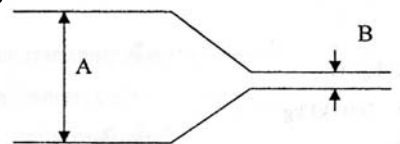
1. 1.6 m/s
2. 10.9 m/s
3. 50.8 m/s
4. 69.1 m/s

3. (มข.50) น้ำไหลลงมาตามสายยางที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลมขนาด 1.0 cm^2 ด้วยอัตราเร็ว 4.0 m/s จงหาอัตราเร็วของน้ำในสายยางดังกล่าวถ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายยางลดลงเป็น $\frac{1}{2}$ เท่าของค่าเดิม

1. 1.0 m/s
2. 4.0 m/s
3. 8.0 m/s
4. 16 m/s

4. (มข.51) จากรูป หลอดการไหลหนึ่งของพื้นที่ภาคตัดขวางที่ A เป็น 10 เท่าของพื้นที่ภาคตัดขวางที่ B ข้อความต่อไปนี้ข้อใดกล่าวถูกต้อง

1. ความหนาแน่นของของไหลที่จุด A มีค่าเป็น 10 เท่าของที่จุด B
2. ความหนาแน่นของของไหลที่จุด A และที่จุด B เท่ากัน
3. อัตราการไหลของของไหลที่จุด B มีค่าเป็น 10 เท่าของที่จุด A
4. อัตราเร็วของของไหลที่จุด A และที่จุด B เท่ากัน



5. (มข.53) ท่อน้ำที่จุด A มีรัศมีเป็น 2 เท่าของจุด B ถ้าอัตราเร็วของน้ำที่จุด A เป็น 5 เมตร/วินาที อัตราเร็วที่จุด B จะเป็นกี่เมตร/วินาที

1. 10
2. 20
3. 25
4. 50



6. (มข.54) ถ้าน้ำในท่อประปาที่ไหลผ่านมาตรวัดเข้าบ้าน มีอัตราการไหล 60 ลิตรต่อนาที จงหาอัตราเร็วของน้ำในท่อประปาเมื่อไหลผ่านท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร

1. $\frac{10}{\pi}$ เมตรต่อวินาที

2. $\frac{15}{\pi}$ เมตรต่อวินาที

3. $\frac{20}{\pi}$ เมตรต่อวินาที

4. $\frac{25}{\pi}$ เมตรต่อวินาที

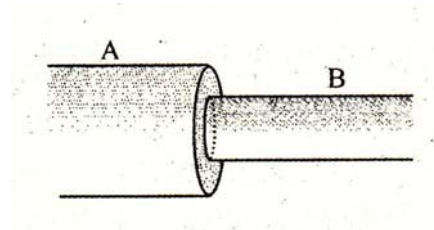
7. (มข.56) ท่อ A มีรัศมี 2 เท่าของท่อ B ถ้าน้ำไหลออกจากท่อ B ด้วยอัตราเร็ว 20 m/s แล้วตรงท่อ A น้ำจะมีอัตราเร็วเท่ากับเท่าไร

1. 5 m/s

2. 10 m/s

3. 40 m/s

4. 80 m/s



8. น้ำไหลผ่านสายน้ำดับเพลิงที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.0 เซนติเมตร ด้วยอัตรา 0.02 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ปลายสายฉีดดับเพลิงมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 เซนติเมตร จงหาอัตราเร็วที่น้ำไหลออกจากปลายดับเพลิง (มข.59)

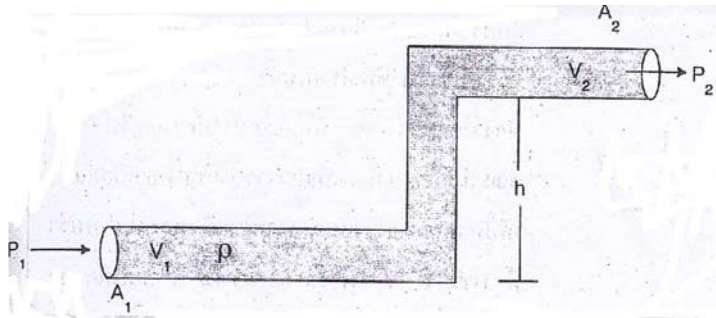
1. 0.06 เมตรต่อวินาที

2. 0.18 เมตรต่อวินาที

3. $66.7/\pi$ เมตรต่อวินาที

4. $200/\pi$ เมตรต่อวินาที

17.4.3 สมการของแบร์นูลี

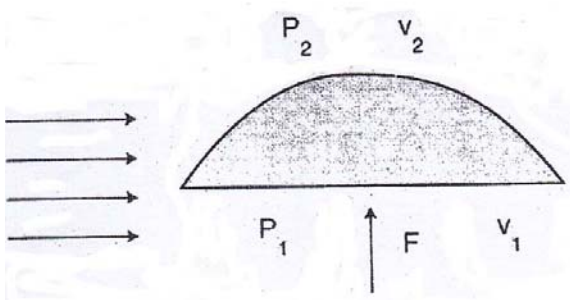


กำหนดให้

- P แทน ความดัน
- ρ แทน ความหนาแน่น
- v แทน อัตราเร็ว
- h แทน ความสูง

สูตร
$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \dots\dots\dots(17.28)$$

แรงยกของปีกเครื่องบิน



กำหนดให้

- F แทน แรงยกปีก
- v แทน ความเร็วลม
- ρ แทน ความหนาแน่นอากาศ
- A แทน พื้นที่ปีก

สูตร
$$F = \Delta P A$$

$$F = (P_1 - P_2) A$$

$$F = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) A \dots\dots\dots(17.29)$$

ที่ด้านบน v มาก P น้อย ที่ด้านล่าง v น้อย P มาก

การประยุกต์สมการแบร์นูลี

สมการของแบร์นูลีสามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของของไหลได้หลายเรื่อง เช่น การหาอัตราเร็วของของเหลวที่พุ่งออกจากรูเล็ก ๆ การทำงานของเครื่องพ่นสี และการออกแบบปีกเครื่องบิน เป็นต้น

อัตราการไหลที่ปากท่อมีค่าเดียวกันกับอัตราเร็วของเทหวัดตุ เมื่อปล่อยให้ตกอย่างเสรีจากที่สูง ทฤษฎีนี้เรียกว่า ทฤษฎีของทอริเชลลี ไม่จำกัดว่ารูรั่วหรือท่อจะต้องเปิดที่ก้นแท่งค์ อาจให้รูรั่วที่ข้าง ๆ แท่งค์ก็ได้ แต่ให้รูรั่วอยู่ที่ผิวของไหล h

$$v = \sqrt{2gh} \dots\dots\dots(17.30)$$

แบบฝึกหัด 17.4.3

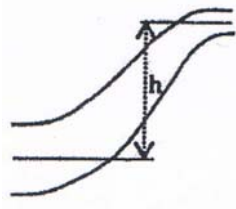
- ในการออกแบบเครื่องบินให้มีแรงยกขึ้น 900 นิวตันต่อตารางเมตรของพื้นที่ปีกโดยถือว่าลมที่พัดผ่านสมำเสมอถ้าลมที่พัดใต้ปีกมีอัตราเร็ว 100 เมตรต่อวินาทีจงหาความเร็วของลมเหนือปีกเครื่องบินเพื่อให้ได้แรงยกตามต้องการ กำหนดให้อากาศมีความหนาแน่น 1.3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
 - 100.6 m/s
 - 105.6 m/s
 - 1106.6 m/s
 - 106.7 m/s
- อัตราเร็วของลมพายุที่พัดเหนือหลังคาบ้านหลังหนึ่งเป็น 30 เมตรต่อวินาทีถ้าหลังคาบ้านมีพื้นที่ 175 ตารางเมตรแรงยกที่กระทำกับหลังคาบ้านเท่าใด กำหนดให้ความหนาแน่นของอากาศขณะนั้นเท่ากับ 0.3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและ $g = 10 \text{ m/s}^2$
 - 26,352 นิวตัน
 - 25,632 นิวตัน
 - 23,625 นิวตัน
 - 23,652 นิวตัน
- พายุไซโคลนพัดผ่านบ้านหลังหนึ่งโดยมีอัตราเร็วลมเหนือหลังคาบ้านเป็น 40 เมตรต่อวินาทีโดยพื้นที่ของหลังคาบ้านเป็น 200 ตารางเมตรและความหนาแน่นอากาศเป็น 0.3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรจงหาแรงยกที่กระทำต่อหลังคาบ้าน
 - 24,000 นิวตัน
 - 40,000 นิวตัน
 - 48,000 นิวตัน
 - 55,000 นิวตัน
- เครื่องบินลำหนึ่งขณะที่กำลังบินความเร็วอากาศที่พัดผ่านส่วนบนของปีกเท่ากับ 110 เมตรต่อวินาทีผ่านส่วนล่างของปีก 100 เมตรต่อวินาทีจะทำให้แรงยกขึ้นมีขนาดกี่นิวตันต่อตารางเมตรกำหนดให้ความหนาแน่นของอากาศขณะนั้นเท่ากับ 1.3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
 - 1235.0
 - 133.25
 - 1365.0
 - 2665.0

9. (มข..54) ถังน้ำมันขนาดใหญ่มีรูรั่วที่ระยะลึก 10 เมตร จากผิวน้ำมัน ถ้ำถังน้ำมันปิดสนิทและความดันที่ผิวน้ำมันเท่ากับ 3×10^5 พาสคัล และความดันบรรยากาศเท่ากับ 1.0×10^5 พาสคัลจงหาอัตราเร็วของน้ำมันที่พุ่งออกจากถัง(กำหนดให้ ความหนาแน่นของน้ำมันเท่ากับ 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความเร่งโน้มถ่วงของโลก เท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที²)

- | | |
|-------------------------------|--------------------------------|
| 1. 10 เมตรต่อวินาที | 2. $10\sqrt{10}$ เมตรต่อวินาที |
| 3. $10\sqrt{5}$ เมตรต่อวินาที | 4. $10\sqrt{2}$ เมตรต่อวินาที |

10. (มข.55) น้ำในท่อไหลด้วยอัตรา $6 \text{ m}^3/\text{min}$ พื้นที่หน้าตัดของท่อล่างและท่อบนมีขนาด 0.05 และ 0.0125 m^2 ตามลำดับ ท่อบนสูงกว่าท่อล่างเป็นระยะ $h = 200 \text{ cm}$ ถ้าท่อล่างมีความดัน 10^5 N/m^2 จงหาความดันที่ท่อบนกำหนดให้ $\rho_{\text{water}} = 10^3 \text{ kg/m}^3, g = 10 \text{ m/s}^2$

1. $5 \times 10^4 \text{ N/m}^2$
2. $11 \times 10^4 \text{ N/m}^2$
3. $15 \times 10^4 \text{ N/m}^2$
4. $195 \times 10^4 \text{ N/m}^2$

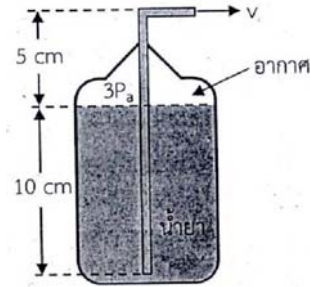


11. (มข.56) ถังน้ำฝาเปิดขนาดใหญ่มีระดับสูง 15 เมตร มีรูเล็กๆที่ระดับสูง 10 จงหาความเร็วของน้ำที่ไหลออกจากรูรั่วเป็นกี่ m/s (กำหนดให้ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง $g = 10 \text{ m/s}^2$)

- | | |
|--------|-----------------|
| 1. 10 | 2. $\sqrt{200}$ |
| 3. 100 | 4. 200 |

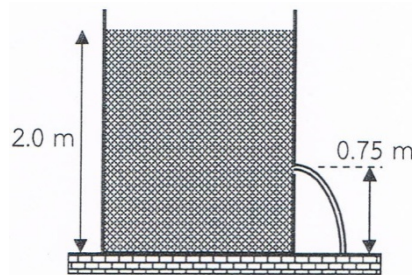
12. จากรูป กระจ็องอัดน้ำซึ่งมีความหนาแน่น 4×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ด้วยความดัน 3 เท่าของความดันบรรยากาศ จงคำนวณว่าความเร็วของน้ำที่พุ่งออกมาทางด้านบนซึ่งต่อท่อลงไปที่เกือบถึงกัน กระจ็องมีค่าที่เมตรต่อวินาที (กำหนดให้ ความดันบรรยากาศ $P_a = 10^5$ นิวตันต่อตารางเมตร)(มข.58)

1. 8 เมตรต่อวินาที
2. 10 เมตรต่อวินาที
3. 12 เมตรต่อวินาที
4. 14 เมตรต่อวินาที



13. ถังน้ำใบหนึ่งบรรจุน้ำไว้สูงจากก้นถึง 2.0 เมตร มีรูรั่วสูงจากก้นถึง 0.75 เมตร ดังรูป น้ำพุ่งออก ด้วยอัตราเร็วเท่าไร (มข.59)

1. 5.00 เมตรต่อวินาที
2. 3.87 เมตรต่อวินาที
3. 3.54 เมตรต่อวินาที
4. 6.32 เมตรต่อวินาที



14. เครื่องบินมีน้ำหนัก $W = 1.2 \times 10^4$ นิวตัน มีพื้นที่ปีกทั้งสองข้างรวมแล้วเท่ากับ $A = 9.0$ ตารางเมตร อัตราเร็วลมสัมพัทธ์กับผิวปีกด้านล่างเท่ากับ 50 เมตร/วินาที อัตราเร็วลมสัมพัทธ์กับผิวปีกด้านบน ควรมีค่าอย่างน้อยกี่เมตร/วินาที จึงจะทำให้เครื่องบินลอยขึ้นสู่อากาศได้ กำหนดให้อากาศมีความหนาแน่น $\rho = 1.2$ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร (มข.60)

1. 55
2. 59
3. 69
4. 75

