



บทที่ 8

กลศาสตร์ของไหล

ผู้สอน

อาจารย์ ดร.ณัฐกฤตา จันทิมา

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



Nakhon Pathom Rajabhat University

หัวข้อเนื้อหาประจำบท

- สมบัติพื้นฐานของของไหล
- สถิติศาสตร์ของไหล
- พลศาสตร์ของไหล



นิยามของของไหล



ของไหล (Fluids) หมายถึง สสารที่สามารถไหลได้โดยมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปตามภาชนะที่บรรจุ เมื่ออยู่ในสภาวะสมดุล ของไหลจะไม่สามารถรับแรงเฉือนได้และของไหลทุกชนิดจะยุบตัวตามความกดดันได้เล็กน้อย



ความหนาแน่น



ความหนาแน่น (Density, ρ) หมายถึง มวลสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ความหนาแน่นเป็นลักษณะหนึ่งซึ่งแสดงถึงคุณสมบัติเชิงกายภาพของสสาร ในการศึกษากลศาสตร์ของไหลเบื้องต้น (ที่ของไหลมีความเร็วต่ำกว่าความเร็วเสียงมาก) สามารถกำหนดให้ความหนาแน่นของของไหลเป็นค่าคงตัวได้

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (8-1)$$

เมื่อ	ρ	คือ ความหนาแน่น (kg/m^3)
	m	คือ มวล (kg)
	v	คือ ปริมาตร (m^3)

ความถ่วงจำเพาะ



ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity, S.G.) หมายถึงอัตราส่วนของความหนาแน่นของสารต่อความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ หรืออาจกล่าวได้ว่า ความถ่วงจำเพาะคือตัวเลขที่แสดงว่าสารชนิดนั้นๆ มีน้ำหนักเบาหรือน้ำหนักกว่าน้ำเป็นกี่เท่า เมื่อมีปริมาตรเท่ากัน

$$S.G._x = \frac{\rho_x}{\rho_w} \quad (8-2)$$

เมื่อ $S.G._x$ คือ ความถ่วงจำเพาะของสาร x ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่มีหน่วย
 ρ_x, ρ_w คือ ความหนาแน่นของสาร x และน้ำ ตามลำดับ

ตัวอย่างที่ 8.1 น้ำกรดที่ใช้บรรจุแบตเตอรี่ มีความถ่วงจำเพาะ = 1.165 ปรากฏว่าเมื่อชั่งน้ำกรด ปริมาณหนึ่งได้หนัก 3.895 N ปริมาตรของน้ำกรดควรเป็นเท่าใด

วิธีทำ

$$S.G._{acid} = \frac{\rho_{acid}}{\rho_w}$$

จาก $\rho_w = 1000 \frac{kg}{m^3}$

จะได้ $\rho_{acid} = 1165 \frac{kg}{m^3}$

จากสมการ (8.1)

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

$$\rho = \frac{w}{vg}; \quad w = mg$$

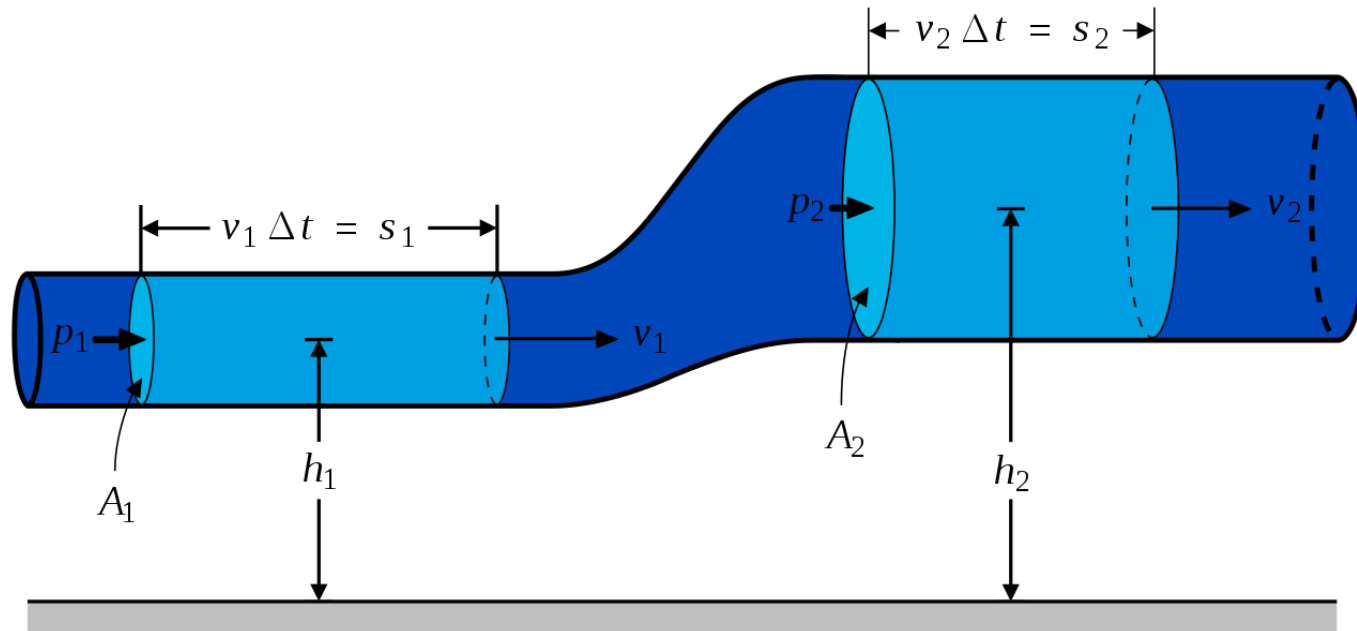
$$v = \frac{m}{\rho g} = \frac{3.895}{(1165)(9.8)}$$

$$\therefore v = 3.41 \times 10^{-4} m^3$$



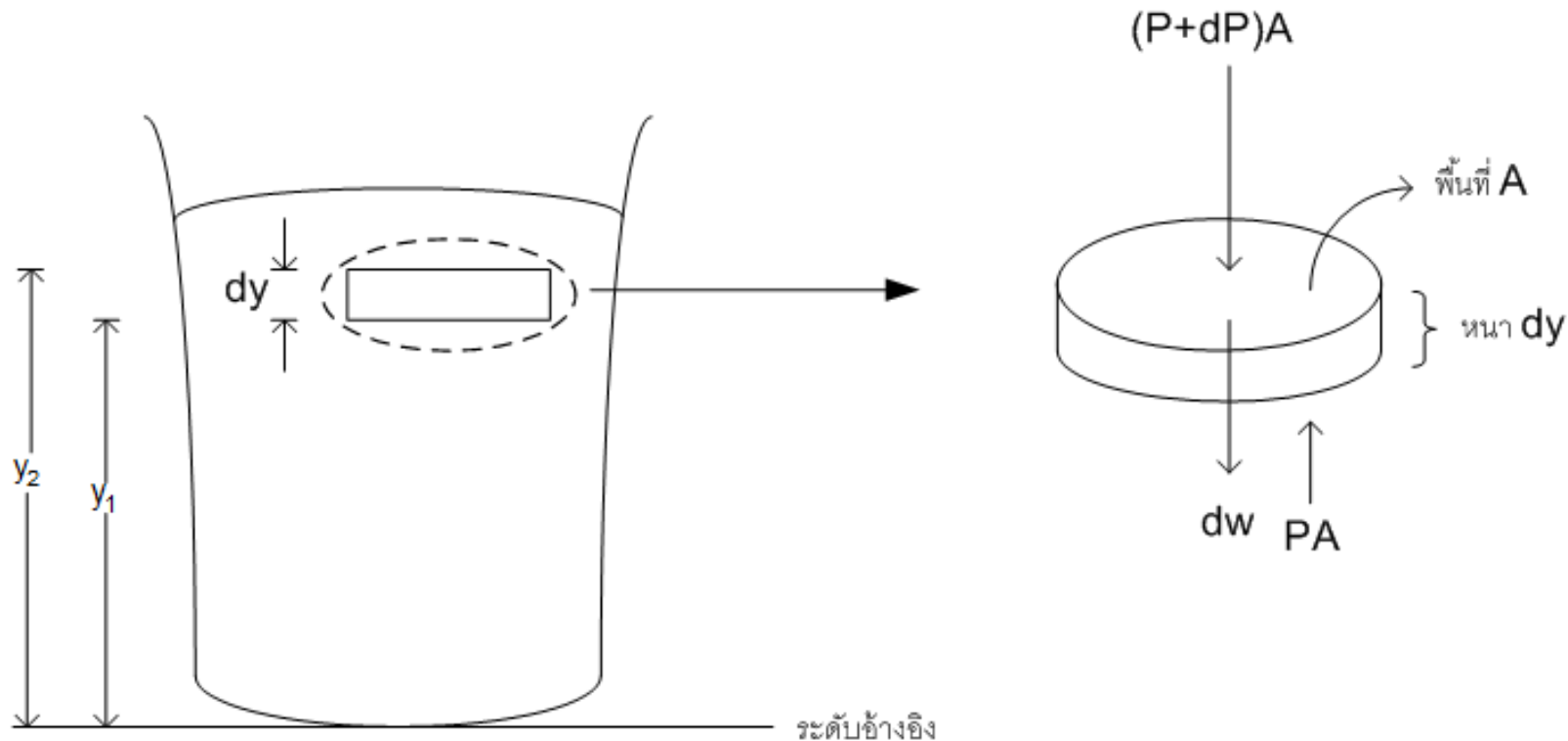
สถิตศาสตร์ของไหล

สถิตยศาสตร์ของไหล คือการศึกษาสมบัติของของไหลที่ไม่มีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างส่วนเล็กๆ ของเนื้อของไหลเกิดขึ้น เมื่อไม่คำนึงถึงการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ดังกล่าว ผลที่ตามมาคือ จะไม่เกิดความเค้นเฉือนระหว่างเนื้อของของไหล ดังนั้นสำหรับของไหลที่อยู่นิ่งจะมีแรงกระทำตั้งฉากต่อผิวของของไหลเท่านั้น



ความดัน

ความดัน (Pressure, P) คือแรงต่อหน่วยพื้นที่ในเนื้อของไหลที่กระทำในแนวตั้งฉากกับพื้นที่ที่พิจารณา โดยปกติแล้วความดันของของไหลขึ้นกับระดับความสูง อาจหาความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่จุดใดๆ ในของไหลเทียบกับระดับความสูง โดยพิจารณาส่วนของของไหลในปริมาณน้อยๆ ที่มีรูปร่างเป็นแผ่นกลมแบน ดังภาพที่ 8.1

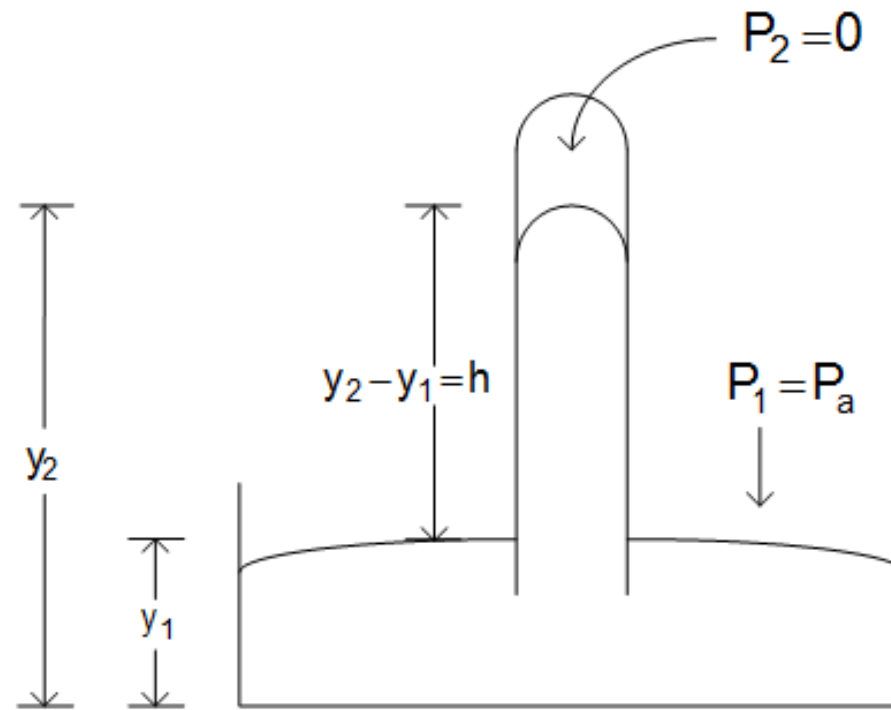


ภาพที่ 8.1 ความดันที่เกิดขึ้นบนชั้นของไหล



ความดันคือ แรงต่อหน่วยพื้นที่ซึ่งมีหน่วยเป็น N/m^2 ในระบบ SI และสำหรับหน่วยนี้สามารถเรียกได้อีกชื่อว่า Pascal (Pa)

สำหรับการวัดความดันบรรยากาศ (P_a) สามารถวัดได้โดยใช้บารอมิเตอร์ (barometer) เช่น บารอมิเตอร์ปรอทซึ่งประกอบด้วยหลอดแก้วขนาดเล็กแต่ยาว บรรจุปรอทเต็มแล้วคว่ำลงในอ่างปรอท ดังแสดงในภาพที่ 8.2



ภาพที่ 8.2 บารอมิเตอร์อย่างง่าย



พิจารณาเมื่อปรอทในอ่างและหลอดแก้วอยู่นิ่ง ความดันที่ผิวน้ำปรอทในอ่าง (P_1) มีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ (P_a) และความดันที่ผิวปรอทในหลอดแก้ว (P_2) เป็นศูนย์ (ถือว่าที่ว่างเหนือลำปรอทในหลอดแก้วมีแต่ไอปรอทซึ่งมีความดันน้อยมาก) พบว่าลำปรอทในหลอดแก้วมีความสูง 76 เซนติเมตร จะได้

$$P_a = P_2 + \rho gh \quad ; \quad P_2 = 0$$

ดังนั้น

$$P_a = \rho gh$$

ที่อุณหภูมิห้อง

$$\rho_{Hg} = 13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

จะได้

$$\begin{aligned} P_a &= (13.6 \times 10^3) \times (9.8) \times (76 \times 10^{-2}) \\ &= 1.031 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

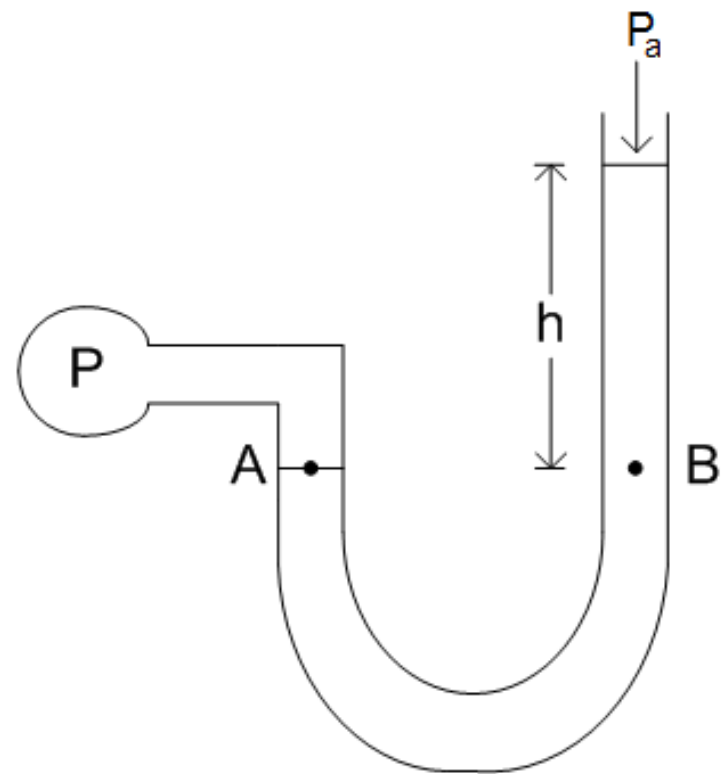
ซึ่งในที่นี้สามารถใช้หน่วยอื่นๆ ในการบอกค่าความดันบรรยากาศได้โดยความดันที่ระดับน้ำทะเลจะมีค่า

$$P_a = 1.031 \times 10^5 \text{ N/m}^2 = 1.031 \times 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

เมื่อ 1 atm คือ ความดัน 1 บรรยากาศ

760 mmHg คือ ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท

สำหรับการวัดค่าความดันเกจ ใช้เครื่องมือซึ่งเรียกว่า มานอมิเตอร์ (manometer) ซึ่งประกอบด้วยหลอดรูปตัวยูบรรจุของเหลวความหนาแน่น ρ และปลายข้างหนึ่งต่อกับความดันที่ต้องการจะวัด ดังภาพที่ 8.3



จากรูป ตำแหน่ง A และ B อยู่ในระดับเดียวกันแสดงว่ามีความดันเท่ากัน ดังนั้น

$$P_A = P_B$$

$$P = P_a + \rho gh$$

นั่นคือ ถ้าทราบค่า ρ และ P_a ก็จะสามารถหาค่าความดันที่ต้องการ (P) ได้

ภาพที่ 8.3 มานอมิเตอร์แบบปลายเปิด



ตัวอย่างที่ 8.2 เชื้อนเก็บน้ำแห่งหนึ่งมีความกว้างของสันเชื้อน w และน้ำหลังเชื้อนสูง H จงหาแรง
ลัพธ์ที่น้ำกระทำต่อผนังเชื้อน

วิธีทำ จากรูปจะได้ความดันของน้ำที่ระดับความลึก h เป็น

$$P = \rho gh = \rho g(H - y)$$

จากสมการ (8-3) จะได้

$$dF = PdA = \rho h(H - y)w dy$$

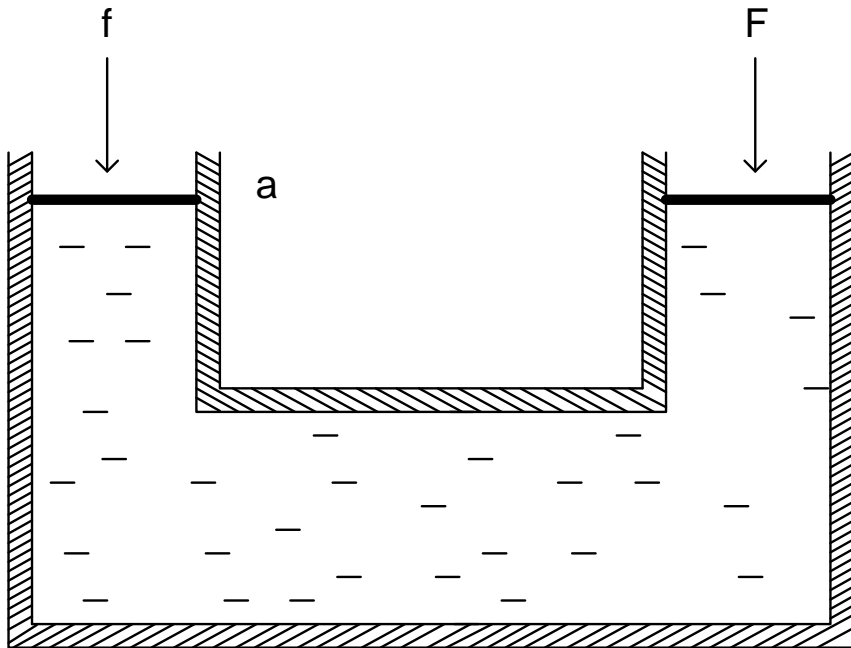
ดังนั้น

$$\begin{aligned} F &= \int PdA = \int_0^H \rho g(H - y)w dy \\ &= \frac{1}{2} \rho gwH^2 \end{aligned}$$

เนื่องจากความดันแปรผันตามความลึก ดังนั้นแรงกระทำจึงเพิ่มตามความลึกเช่นกัน การออกแบบเชื้อน
จึงต้องออกแบบให้มีความหนามากขึ้นเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น

กฎของปาสคาล

กฎของปาสคาลกล่าวว่า “ถ้าให้ความดันแก่ของเหลวที่อยู่ในภาชนะปิดใดๆ ความดันนั้นจะส่งไปทั่วทุกๆ ส่วนของของเหลว และที่ผนังของภาชนะซึ่งบรรจุของเหลวนั้น” กฎของปาสคาลแสดงให้เห็นได้โดยเครื่องอัดไฮดรอลิก (hydraulic press) ดังภาพที่ 8.4



ให้แรง f กดลงบนลูกสูบเล็กซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด a อัดของเหลวที่บรรจุอยู่ภายใน ความดันที่ของเหลวได้รับ $P = \frac{f}{a}$ จะส่งต่อไปทั่วทุกส่วนของของเหลวจนถึงลูกสูบใหญ่ที่มีพื้นที่ A ดังนั้นแรงที่กระทำที่ลูกสูบใหญ่ (F) มีขนาด

$$F = PA = \frac{f}{a} A$$

ดังนั้น

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

(8-8)

ภาพที่ 8.4 เครื่องอัดไฮดรอลิกอย่างง่าย

หลักของอาร์คิมิดีส



ปรากฏการณ์หลายอย่างที่แสดงว่าของเหลวมีแรงลอยตัว (buoyant force, B) เช่น ถ้าชั่งวัตถุในน้ำ จะได้น้ำหนักน้อยกว่าเมื่อชั่งในอากาศ คล้ายกับว่ามีแรงพยุงขึ้นจากข้างล่าง และหากวัตถุมีน้ำหนักเบากว่าของไหลที่มีปริมาตรเท่ากันกับวัตถุ แรงลอยตัวนี้ก็จะมีความสูงกว่าน้ำหนักของวัตถุ ทำให้วัตถุลอยตัวอยู่ได้ในของไหลนั้น โดยอาจจะจมลงไปเพียงบางส่วน

อาร์คิมิดีส (Archimedes) ได้กล่าวถึงหลักเกี่ยวกับแรงลอยตัวว่า “เมื่อวัตถุทั้งก้อนหรือเพียงบางส่วนจมลงในของเหลว ของเหลวจะออกแรงในทิศขึ้นกระทำต่อวัตถุมีขนาดเท่ากับขนาดน้ำหนักของของเหลวซึ่งถูกแทนที่และแรงนี้คือแรงลอยตัวของของเหลวนั่นเอง”



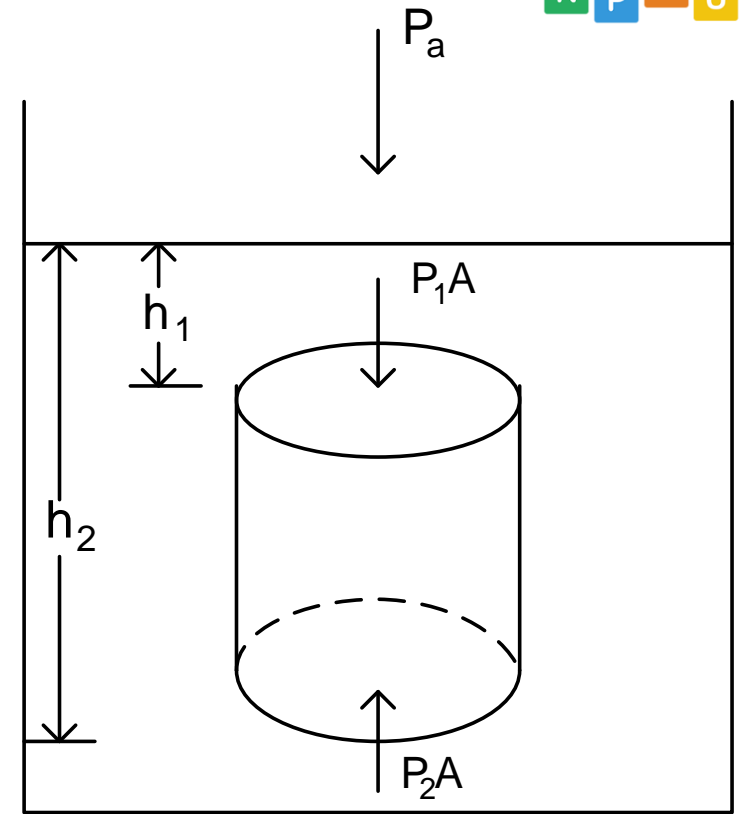
พิจารณาวัตถุรูปทรงกระบอกซึ่งลอยตัวอยู่ในของเหลวเป็นระยะ h_1 ดังภาพที่ 8.5 ถ้าวัตถุดังกล่าวมีพื้นที่หน้าตัด A สามารถหาแรงลอยตัวได้จาก

$$\begin{aligned} B &= F_2 - F_1 \\ &= P_2A - P_1A \\ &= (P_a + \rho gh_2)A - (P_a + \rho gh_1)A \\ &= \rho hA(h_2 - h_1) \end{aligned}$$

$A(h_2 - h_1)$ คือปริมาตรของวัตถุ (V) ซึ่งมีค่าเท่ากับปริมาตรของของเหลวซึ่งถูกแทนที่จะได้

$$B = \rho gV = mg \tag{8-9}$$

เมื่อ $m = \rho V$ คือ มวลของของเหลวซึ่งถูกวัตถุแทนที่ ดังนั้นแรงลอยตัวจึงมีค่าเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่ด้วยวัตถุ

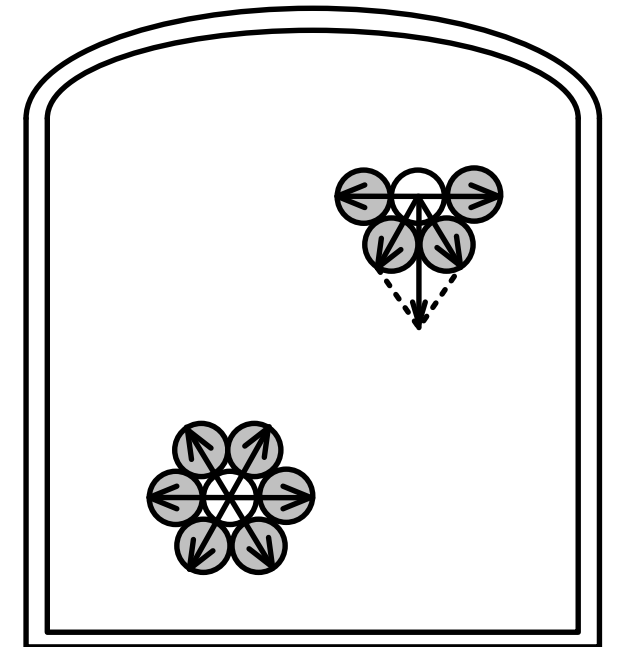


ภาพที่ 8.5 วัตถุที่ลอยตัวอยู่ในของเหลว

ความตึงผิว



ความตึงผิว (Surface Tension) คือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นที่ผิวของของเหลวที่สัมผัสกับของแข็งหรือของไหลชนิดอื่น การที่วัตถุบางชนิดสามารถลอยอยู่บนผิวน้ำได้ หรือแมลงบางชนิดก็สามารถเดินบนผิวน้ำได้ โดยขาของแมลงทำให้เกิดรอยยวบลงแต่ไม่ทะลุผิวน้ำ หรือการที่หยดน้ำมีรูปร่างเป็นทรงกลม ซึ่งเป็นรูปร่างที่มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับรูปร่างแบบอื่นๆ ที่มีปริมาตรเท่ากัน ปรากฏการณ์ดังกล่าวก็เป็นตัวอย่างที่แสดงว่าน้ำมีความตึงผิว



ภาพที่ 8.6 ความตึงผิว

พลศาสตร์ของไหล

พลศาสตร์ของไหลเป็นวิชาที่ว่าด้วยการเคลื่อนที่ของของไหล ในปัจจุบันได้แบ่งการไหลของไหลออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ การไหลแบบราบเรียบ (laminar flow) และ การไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) การไหลแบบราบเรียบ เป็นการเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบ โดยชั้นของไหลที่อยู่ติดกันจะเลื่อนผ่านกันอย่างราบเรียบไม่ปะปนกัน และเส้นทางการไหลของแต่ละอนุภาคจะไม่ตัดกัน แต่หากของไหลมีความเร็วมากจนถึงค่าหนึ่ง การเคลื่อนที่ของของไหลจะเปลี่ยนเป็น *การไหลแบบปั่นป่วน* ซึ่งมีลักษณะยุ่งเหยิงไม่เป็นระเบียบและมีรูปแบบที่ซับซ้อน



ของไหลอุดมคติ



การศึกษาการเคลื่อนที่ของของไหลจะถูกจำกัดไว้ที่การเคลื่อนที่ของ ของไหลอุดมคติ (ideal fluid) ซึ่งของไหลอุดมคติจะต้องมีสมบัติเกี่ยวกับการไหล 4 ข้อ ดังนี้

1. การไหลแบบคงตัว (steady flow)
2. การไหลแบบไม่หมุน (irrotational flow)
3. การไหลแบบอัดตัวไม่ได้ (incompressible flow)
4. การไหลแบบไม่มีความหนืด (nonviscous flow)

อธิบายพฤติกรรมของการไหลให้เข้าใจได้ง่ายด้วย เส้นกระแส สมการการต่อเนื่อง (equation of continuity) และสมการแบร์นูลลี (Bernoulli's equation)



- เส้นกระแส เป็นการสร้างเส้นที่เรียกว่าสายกระแส (stream line) โดยบอกทั้งขนาดและทิศทางของความเร็วที่ทุกๆ จุดในลำของเหลวที่เคลื่อนที่
- สมการการต่อเนื่อง (equation of continuity)

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \text{ หรือ } \rho A v = \text{คงที่}$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

เมื่อ ρ คือ การไหล
 $A v$ คือ อัตราของการไหล (rate of flow)



N P R U

- สมการแบร์นูลลี (Bernoulli's equation)

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2$$

หรือ

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g y = \text{คงที่}$$

เมื่อ

p คือ ความดัน

v คือ ความเร็ว

g คือ ค่าความโน้มถ่วงของโลก

y คือ ความสูงของการไหล



ของไหลมีความเสียดทานภายในเสมอ ซึ่งไม่จำเป็นจะต้องเป็นการไหลแบบปั่นป่วนแม้เป็นการไหลแบบราบเรียบของไหลก็มีความเสียดทานได้ ความเสียดทานภายในของไหลนี้เรียกว่า ความหนืด (viscosity)

$$\eta = \frac{F / A}{v / l} = \frac{Fl}{Av}$$

เมื่อ	η	คือ ความหนืดของของไหล
	$\frac{F}{A}$	คือ ความเค้นเฉือน (shear stress)
	$\frac{v}{l}$	คือ อัตราการเกิดความเครียดเฉือนในของไหล

บทที่ 8

จบแล้วค่ะ

นักศึกษาทำแบบฝึกหัดท้ายบทมาส่งด้วยนะคะ

