บทที่ 1
บทนำ

ชลศาสตร์ (Hydraulics) คือ แขนงวิชาหนึ่งของวิศวกรรมศาสตร์ที่ว่าด้วยคุณสมบัติและคุณลักษณะของของเหลว ที่ประยุกต์แนวคิด หลักการ และกฎต่าง ๆ เช่น กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน หลักการอนุรักษ์มวลสาร กฎของความร้อนพลศาสตร์ กฎความหนืดของนิวตัน และหลักการเกี่ยวกับชั้นขอบเขตของของไหล เป็นต้น

คุณสมบัติทางกายภาพของของเหลวในคำจำกัดความเชิงกล สามารถพิจารณาได้จากปฏิกิริยาพื้นฐานของสสารที่เกิดจากแรงตึง (Tension) และแรงเฉือน (Shear force) กล่าวคือ

- ของเหลวสามารถรับแรงตึงได้เพียงเล็กน้อย เนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยว (Cohesion) ระหว่างโมเลกุล ที่มีค่าต่ำมาก จนสามารถตั้งสมมุติฐานได้ว่าไม่สามารถรับแรงตึงได้
- ของเหลวไม่สามารถรับแรงเฉือน (Shear force) ได้ไม่ว่าจะมีขนาดเท่าใด เนื่องจากเมื่อของเหลวได้รับแรงเฉือน ของเหลวจะเกิดการเปลี่ยนรูป หรือเกิดการไหล (Flow)

ของเหลวจัดว่าเป็นของไหล ที่กดอัดไม่ได้ (Incompressible fluid) คือ เมื่อความดันเปลี่ยนแปลง ของเหลวจะมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรน้อยมาก ซึ่งสามารถไม่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรได้

1.1 ระบบหน่วย

โดยทั่วไป ระบบหน่วยใหญ่ ๆ มีอยู่ 2 ระบบ คือ ระบบหน่วยสากล (International system, SI) และ ระบบหน่วยอังกฤษ (English system) ทั้งสองระบบนี้มีหน่วยพื้นฐานที่สำคัญ คือ

	ระบบหน่วย SI	ระบบหน่วยอังกฤษ
- ความยาว (Length)	เมตร (m)	ฟุต (ft)
- เวลา (Time)	วินาที (s)	วินาที (s)
- มวล (Mass)	กิโลกรัม (kg)	ปอนด์ (lb)
- แรง (Force)	นิวตัน (N)	สลัก (Slug หรือ lb s^2/ft)

สำหรับการนำหน่วยพื้นฐานมาคูณหรือหารกัน เรียกว่า หน่วยอนุพันธ์ (Derived unit) ดังตารางที่ 1.1 และเพื่อความสะดวกในการเขียนเลขจำนวนมาก ๆ หรือน้อย ๆ ในทางวิศวกรรมได้ใช้อักษรนำหน้าหน่วย (Prefix) สำหรับระบบ SI ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.1 หน่วยอนุพันธ์

ปริมาณ	สัญลักษณ์	ระบบหน่วย SI	ระบบหน่วยอังกฤษ
พื้นที่	A	m^2	ft^2
ความเร่ง	a	m/s^2	ft/s^2
พลังงาน	E	$N \cdot m$	$ft \cdot lb$
แรง	F	N	lb
กำลังงาน	P_A	$N \cdot m/s$	$ft \cdot lb/s$
ความดัน	P	N/m^2 (Pa)	psi
อัตราการไหล	Q	m^3/s	cfs
อุณหภูมิ	T	Kelvin (^oK)	Rankine (^oR)
ความถี่	f	Hz	Cycle/s
ความเร็ว	v	m/s	Ft/s
ปริมาตร	V	m^3	ft^3
ความหนาแน่น	ρ	kg/m^3	$slug/ft^3$
ความหนืด	μ	$N \cdot s/m$	$lb \cdot s/ft^2$
ความหนืดจลน์	υ	m^2/s	ft^2/s
น้ำหนักจำเพาะ	γ	N/m^3	lb/ ft^3

ตารางที่ 1.2 อักษรนำหน้าหน่วย

ทศดัชนี	คำนำหน้า	อักษรย่อ	ทศดัชนี	คำนำหน้า	อักษรย่อ
10^{18}	exa	E	10^{-1}	deci	d
10^{15}	peta	P	10^{-2}	centi	c
10^{12}	tera	T	10^{-3}	milli	m
10^{9}	giga	G	10^{-6}	micro	μ
10^{6}	mega	M	10^{-9}	nano	n
10^{3}	kilo	k	10^{-12}	pico	p
10^{2}	hector	h	10^{-15}	femto	f
10	deca	da	10^{-18}	atto	a

นอกจาก หน่วยพื้นฐาน หน่วยอนุพันธ์ และอักษรนำหน้าหน่วยแล้ว การแปลงหน่วยจากระบบหนึ่งไปยังอีกระบบหนึ่ง หรือจากหน่วยหนึ่งไปอีกหน่วยหนึ่ง ก็มีความสำคัญเช่นกัน ตัวอย่างเช่น

- วัตถุชิ้นหนึ่งมีมวล (m) เท่ากับ 10.0 kg สามารถหาค่าน้ำหนัก (W) ของวัตถุชิ้นนี้ได้จากกฎของนิวตัน ($\sum F = ma$) เมื่อ a คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (g = 9.81 m/s^2 = 32.2 ft/s^2) ดังนั้น

$$W = mg = 10.0\,kg \times 9.81 \frac{m}{s^2} = 9.81\ N$$

หรือ มวล 10.0 kg เท่ากับ 10.0 kg x 2.21 lb / kg = 22.1 lb

จะได้ $$W = 22.1lb \times 32.2 \frac{ft}{s^2} = 712\ \frac{lb \cdot ft}{s^2}$$

- น้ำที่อุณหภูมิ 20 °C สามารถแปลงจากหน่วย °C เป็น °F ได้ดังนี้

$$T(^oF) = 1.8T(^oC) + 32 \quad \text{หรือ} \quad T(^oC) = \frac{T(^oF) - 32}{1.8}$$

ดังนั้น $$T(^oF) = 1.8(20) + 32 = 68\ ^oF$$

หรือสามารถเปลี่ยนจากหน่วย °C เป็น °K ได้ดังนี้

$$T(^oK) = T(^oC) + 273.15$$

ดังนั้น $$T(^oK) = 20\ ^oC + 273.15 = 293.15\ ^oK$$

หรือสามารถเปลี่ยนจากหน่วย °F เป็น °K ได้ดังนี้

$$T(^oK) = \frac{T(^oF) + 459.67}{1.8}$$

$$T(^oK) = \frac{68\ ^oF + 459.67}{1.8} = 293.15\ ^oK$$

น้ำจะแข็งตัวเมื่อ 0 °C (32 °F) และเดือดเมื่อ 100 °C (212 °F)

ตัวอย่างที่ 1.1 จงแปลงหน่วย ดังต่อไปนี้

1,725	mm	=	1.725	m
9.33	in	=	237	mm
30.0	ft	=	9.15	m
1.50	mile	=	2,414	m
1500	mm^2	=	0.0015	m^2
8490	cm^2	=	0.849	m^2
7.89	m^2	=	7.89×10^6	mm^2
2.65×10^2	mm^3	=	2.65×10^{-7}	m^3
7.89	m^3	=	7.89×10^9	mm^3
500.0	ft^3	=	14.16	m^3
90	km/hr	=	9.0×10^4	m/hr
33	ft^3/s	=	0.93	m^3/s
300	liter	=	0.300	m^3
44.0	gallons	=	0.167	m^3

1.2 คุณสมบัติของของเหลว

คุณสมบัติของของเหลวที่จะกล่าวถึงในหัวข้อนี้ ประกอบด้วย ความหนาแน่น น้ำหนักจำเพาะ ปริมาตรจำเพาะ และความถ่วงจำเพาะ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.2.1 ความหนาแน่น (Density; ρ)

คือ ปริมาณมวลของสสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของสสาร ดังนั้น หน่วยของความหนาแน่นจึงเป็นหน่วยของมวลต่อปริมาตร

ความหนาแน่น = มวลสาร / ปริมาตร หรือ $\rho = \frac{m}{V}$

เนื่องจาก $m = \frac{W}{g}$

ดังนั้น $$\rho = \frac{m}{V} = \frac{W}{gV} \qquad (1.1)$$

เมื่อ g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

= 9.81 m/s^2 = 32.2 ft/s^2

ρ ของน้ำ (ที่ 4 $^{\circ}C$) = 1000 kg/m^3 = 1 g/cm^3 = 1.937 $slug/ft^3$

1.2.2 **น้ำหนักจำเพาะ** (Specific weight; γ) คือ น้ำหนักของสสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของสสารนั้น ดังนั้น หน่วยน้ำหนักจำเพาะจึงเป็นหน่วยของน้ำหนักต่อปริมาตร

น้ำหนักจำเพาะ = น้ำหนัก / ปริมาตร หรือ $\gamma = \frac{W}{V}$

เนื่องจาก $W = mg$ และ $\rho = \frac{m}{V}$

ดังนั้น $\gamma = \frac{W}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g$ (1.2)

γ ของน้ำ (ที่ 4 $^{\circ}$C) = 9.81 kN/m^3 = 62.4 lb/ft^3

1.2.3 **ปริมาตรจำเพาะ** (Special volume; V_s) คือ ปริมาตรของสสารต่อหนึ่งหน่วยมวลของสสาร หรือปริมาตรจำเพาะ คือส่วนกลับของความหนาแน่น นั่นคือ

$$V_s = \frac{V}{m} = \frac{gV}{W} = \frac{1}{\rho} \quad (1.3)$$

1.2.4 **ความถ่วงจำเพาะ** (Specific gravity; S) คือ อัตราส่วนระหว่างมวลสสารต่อมวลของน้ำ หรืออัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นสสารต่อความหนาแน่นของน้ำ หรืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักจำเพาะของสสารต่อน้ำหนักจำเพาะของน้ำ เมื่อมีปริมาตรที่เท่ากัน ความถ่วงจำเพาะเป็นตัวเลขที่ไม่มีหน่วย

S = m สสาร / m น้ำ (เมื่อมีปริมาตรเท่ากัน)

เนื่องจาก $\rho = \frac{m}{V} = \frac{\gamma}{g}$

ดังนั้น S = ρ ของสสาร / ρ ของน้ำ = γ ของสสาร / γ ของน้ำ (1.4)

S ของน้ำ (ที่ 4 $^{\circ}$C) = 1

ตัวอย่างที่ 1.2 ของเหลวชนิดหนึ่งมีปริมาตร 7 m^3 หนัก 3500 kg จงคำนวณหาน้ำหนักจำเพาะ ความหนาแน่น ปริมาตรจำเพาะ และความถ่วงจำเพาะ ของของเหลวชนิดนี้

วิธีทำ

น้ำหนักจำเพาะ; $\gamma = \frac{W}{V} = \frac{3{,}500\,kg \times 9.81 \frac{m}{s^2}}{7\,m^3} = 4{,}905\,N/m^3$ ตอบ

ความหนาแน่น; $\rho = \frac{\gamma}{g} = \frac{4{,}905 \frac{N}{m^3}}{9.81 \frac{m}{s^2}} = 500\,N \cdot s^2/m^4 = 500\,kg/m^3$ ตอบ

ปริมาตรจำเพาะ; $V_s = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{500 \frac{kg}{m^3}} = 0.002\,m^3/kg$ ตอบ

ความถ่วงจำเพาะ; $S = \frac{\rho}{\rho_w} = \frac{500 \frac{kg}{m^3}}{1000 \frac{kg}{m^3}} = 0.2$ ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.3 น้ำมันชนิดหนึ่งมีความถ่วงจำเพาะ 0.90 และหนัก 5 N จงคำนวณหาปริมาตรของน้ำมันชนิดนี้

วิธีทำ

จาก $S = \frac{\gamma}{\gamma_w}$

ดังนั้น $\gamma = S \cdot \gamma_w = 0.90 \times 9.81 kN/m^3 = 8.829\,kN/m^3$

จาก $\gamma = \frac{W}{V}$

จะได้ $V = \frac{W}{\gamma} = \frac{5\,N}{8.829 \frac{kN}{m^3}} = 0.566 \times 10^{-3}\,m^3$ ตอบ

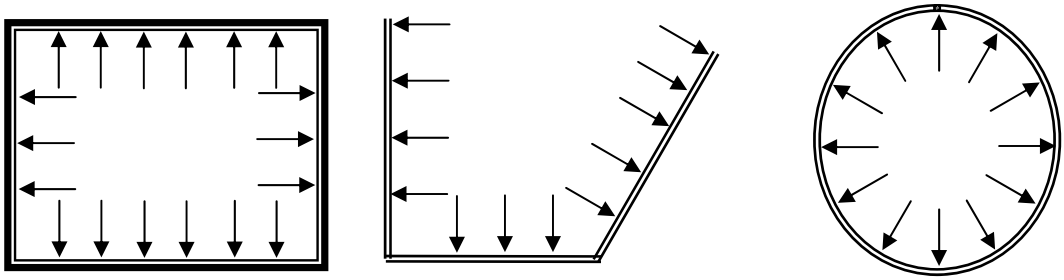
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.3 ความดัน (Pressure; P)

ความดัน คือ ปริมาณแรงดันที่กระทำตั้งฉากต่อพื้นที่ หน่วยของความดัน คือ พาสคัล (Pascal; Pa) โดย 1 Pa เท่ากับ แรง (F) 1 N กระทำบนพื้นที่ (A) 1 m^2 ดังสมการต่อไปนี้

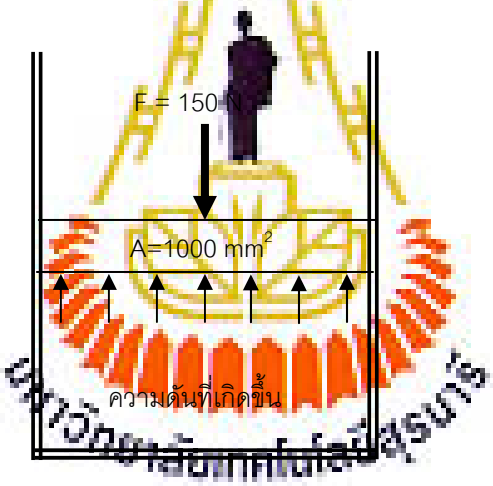
$$P = \frac{F}{A} \qquad (1.5)$$

โดยการกระจายความดันของของเหลวจะกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ผิวที่กระทำอย่างสม่ำเสมอ ดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 การกระจายความดัน ณ รูปทรงวัตถุต่าง ๆ

ตัวอย่างที่ 1.4 ภายในลูกสูบบรรจุด้วยของเหลวชนิดหนึ่ง เมื่อมีแรงมากระทำที่ลูกสูบ 150 N และลูกสูบนี้มีพื้นที่หน้าตัด 1,000 mm^2 จงคำนวณหาความดันที่เกิดขึ้น



วิธีทำ

จาก $P = \frac{F}{A}$

ดังนั้น $P = \frac{150\,N}{1{,}000\,mm^2} = 0.150\,N/mm^2$ ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.5 จากภาพในตัวอย่างที่ 1.4 เมื่อ F = 1000 lb และ ลูกสูบมีพื้นที่หน้าตัด 1,200 in^2 จงคำนวณหาความดันที่เกิดขึ้น

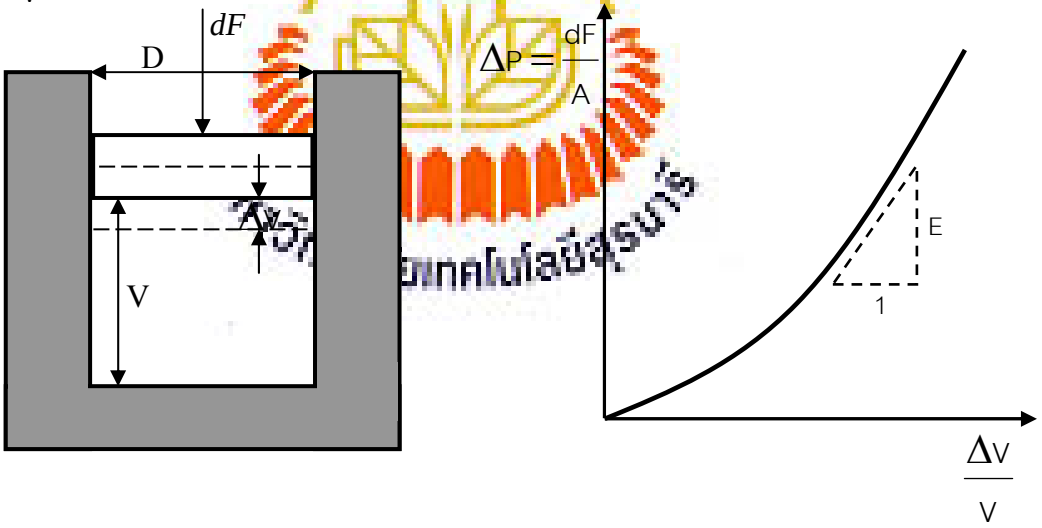
วิธีทำ

จาก $P = \frac{F}{A}$

ดังนั้น $P = \frac{1000\,lb}{1{,}200\,in^3} = 0.833\,lb/in^3$ ตอบ

1.4 การอัดตัวได้ของของไหล (Compressibility)

เมื่อของไหลทุกชนิดได้รับความดัน จะก่อให้เกิดพลังงานความยืดหยุ่น (Elastic energy) ภายในของไหลนั้น ๆ หากพิจารณาว่าไม่มีการสูญเสียพลังงานจากกระบวนการดังกล่าว เมื่อนำความดันที่มากระทำออกไป พบว่า ของไหลที่เกิดยุบตัวลงมาจะขยายตัวกลับไปในปริมาตรเท่าเดิม ลักษณะเช่นนี้แสดงให้เห็นว่าของไหลมีความยืดหยุ่น ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปจะถูกกำหนดด้วยโมดูลัสความยืดหยุ่นเชิงปริมาตร (Bulk modulus of elasticity) ดังภาพที่ 1.2 (ก) แสดงกระบอกลูกสูบที่มีปริมาตรภายใน V ได้รับแรง dF กระทำที่ก้านสูบ เป็นผลให้ปริมาตรของของไหลลดลง ΔV และเกิดความดัน ΔP เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดัน ΔP และสัดส่วนการยุบตัว $\frac{\Delta V}{V}$ ดังภาพที่ 1.2 (ข)



(ก) (ข)

ภาพที่ 1.2 การอัดตัวและโมดูลัสความยืดหยุ่น

สำหรับของไหล ณ จุดใด ๆ ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (E) สามารถหาค่าได้จากความลาดชันของกราฟในภาพที่ 1.2 (ข) ที่จุดสัมผัสกับจุดนั้น ๆ ดังสมการต่อไปนี้

$$E = \frac{-\Delta P}{\Delta V / V} \qquad (1.6)$$

ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของของไหลขึ้นอยู่กับความดันที่มากระทำและปริมาตรเริ่มต้น ดังนั้น ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นนี้จึงไม่ใช่ค่าคงที่ ดังตารางที่ 1.3 แสดงค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นสำหรับของเหลวชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 1.3 ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นสำหรับของเหลวชนิดต่าง ๆ ที่ความดันบรรยากาศและที่อุณหภูมิ 20 °C

ชนิดของเหลว	โมดูลัสความยืดหยุ่น (E)	
	(psi)	(MPa)
เอทิลแอลกอฮอล์	130,000	896
เบนซีน	154,000	1,062
น้ำมันสำหรับหยอด	189,000	1,303
เครื่องจักร	316,000	2,179
น้ำ	654,000	4,509
กลีเซอริน	3,590,000	24,750
ปรอท		

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตัวอย่างที่ 1.6 จงคำนวณหาความดันที่เปลี่ยนแปลงไป สำหรับน้ำที่ได้รับความดัน แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรไป 1% กำหนดให้ E = 2,179 MPa

วิธีทำ

จาก $E = \frac{-\Delta P}{\Delta V / V}$

ดังนั้น $-\Delta P = E \cdot \frac{\Delta V}{V} = (2{,}179\,\text{MPa})(\frac{1}{100}) = 21.79\,\text{MPa}$ ตอบ

1.5 **ความหนืดของไหล** (Viscosity)

1.5.1 **ความหนืดพลวัต** (Dynamic viscosity) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ความหนืดสัมบูรณ์ (Absolute viscosity) หมายถึง คุณสมบัติในการต้านแรงเฉือนของของไหล

จากภาพที่ 1.3 แสดงแผ่นระนาบสองแผ่นที่วางซ้อนกัน โดยมีระยะห่างระหว่างแผ่นระนาบนี้เท่ากับ Y ระหว่างแผ่นระนาบบรรจุด้วยของเหลว ที่มีความหนืด μ เมื่อแผ่นระนาบตัวบนถูกทำให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสัมพัทธ์คงที่ v ดังนั้น แนวเส้นความเร็ว (Velocity profile) ของของเหลวจึงแสดงการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของชั้นของเหลวที่อยู่ติดกัน ถ้าให้ความหนาแต่ละชั้นเท่ากับ Δz ชั้นล่างเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v ส่วนชั้นบนเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว $(v+\Delta v)$ และจะเกิดความฝืดระหว่างชั้น ซึ่งก็คือแรงเฉือนนั่นเอง ถ้าให้ τ เป็นความเฉือน จะได้ความสัมพันธ์ว่า τ จะเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนความเร็ว (Velocity gradient, $\frac{\Delta v}{\Delta z}$) และความหนืด μ จะเป็นค่าคงที่ของสัดส่วนดังกล่าว ดังสมการต่อไปนี้

$$\tau = \mu \cdot \frac{\Delta v}{\Delta z} \tag{1.7}$$

หน่วยของความหนืดในระบบเอสไอ คือ $N \cdot s/m^2$ หรือ $kg/m \cdot s$ แต่หน่วยที่ยังนิยมใช้กันอยู่คือ poise (p) ซึ่งมีหน่วยเป็น $g/cm \cdot s$ นั่นคือ $1\ N \cdot s/m^2 = 10$ poise

ภาพที่ 1.3 หลักการของความหนืดพลวัต

1.5.2 **ความหนืดจลน์** (Kinematics viscosity); υ คือ อัตราส่วนของความหนืดพลวัตต่อความหนาแน่นของของไหล ดังสมการต่อไปนี้

$$\upsilon = \frac{\mu}{\rho} \tag{1.8}$$

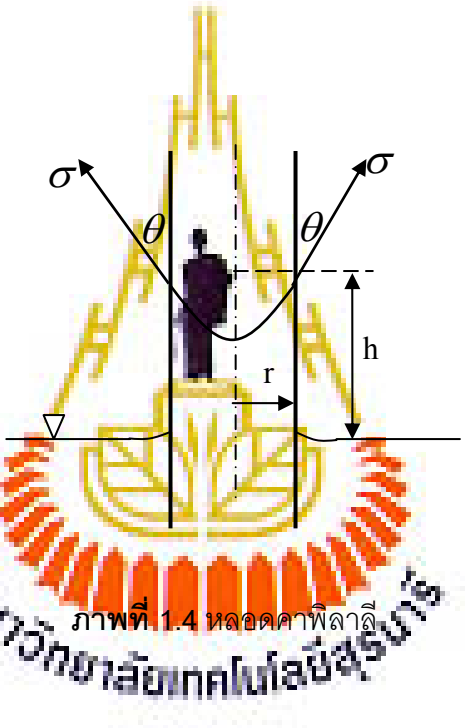
หน่วยของความหนืดจลน์ในระบบ SI สามารถหาค่าได้จากหน่วยของความหนืดพลวัตและความหนาแน่น ดังนี้

$$\upsilon = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}} \times \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

1.6 **ความตึงผิว** (Surface tension)

แรงตึงผิว เป็นคุณสมบัติของของไหลในการต้านแรงดึงของผิวของไหล ซึ่งแรงตึงผิว คือ แรงในผิวของเหลวที่ตั้งฉากกับเส้นที่ลากในผิวนั้น มีหน่วยเป็น N/m หลอดคาพิลาลีเป็นตัวอย่างที่ได้แสดงถึงแรงตึงผิวของของเหลว ซึ่งความสูงที่ของเหลวจะไหลขึ้นในหลอดคาพิลาลี พิจารณาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$h = \frac{2\sigma\cos\theta}{\gamma\cdot r} \qquad (1.9)$$



ภาพที่ 1.4 หลอดคาพิลาลี

เมื่อ r คือ รัศมีของหลอด

γ คือ น้ำหนักจำเพาะของของเหลวที่หลอดจุ่มลงไป

h คือ ความสูงที่ของเหลวจะไหลขึ้นในหลอด หรือเรียกว่า Capillary rise

σ คือ แรงตึงผิวต่อหน่วยความยาว

θ คือ มุมสัมผัส

1.7 การวัดความดันของไหล

1.7.1 ความดันสัมบูรณ์และความดันเกจ

ความดันสัมบูรณ์ (Absolute pressure) คือ ค่าที่แสดงว่า ณ จุดนั้น ๆ มีค่าความดันจริงเท่าใด โดยใช้ความดันสุญญากาศเป็นตัวอ้างอิง เช่น ความดันสัมบูรณ์ = 10.6 Pa abs

ความดันเกจ (Gage pressure) คือ ค่าที่แสดงว่า ณ จุดนั้น ๆ มีค่าความดันแตกต่างจากความดันบรรยากาศเท่าใด

ถ้าความดันเกจเป็นบวก

ความดันสัมบูรณ์ (P_{abs}) = ความดันบรรยากาศ (P_{atm}) + ความดันเกจ (P_{gage})

ถ้าความดันเกจเป็นลบ

ความดันสัมบูรณ์ (P_{abs}) = ความดันบรรยากาศ (P_{atm}) – ความดันสุญญากาศ (P_{vac})

โดยทั่ว ๆ ไป การบอกค่าความดันจะบอกเป็นความดันเกจ ซึ่งจะวัดความดันเกจโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เกจบอร์ดัน (Bourdon gage) เป็นต้น เว้นแต่ในบางกรณีที่ระบุว่าเป็นความดันสัมบูรณ์ เช่น 10.6 Pa (abs)

ตัวอย่าง 1.7 จงหาค่าความดันสัมบูรณ์ เมื่อความดันเกจเท่ากับ 155 kPa และความดันบรรยากาศในพื้นที่เดียวกันเท่ากับ 98 kPa (abs)

วิธีทำ

จาก $P_{abs} = P_{atm} + P_{gage}$

ดังนั้น P_{abs} = 98 kPa (abs) + 155 kPa (abs) = 253 kPa (abs) ตอบ

ตัวอย่าง 1.8 จงหาค่าความดันเกจ เมื่อความดันสัมบูรณ์เท่ากับ 225 kPa (abs) และความดันบรรยากาศในพื้นที่เดียวกันเท่ากับ 101 kPa (abs)

วิธีทำ

จาก $P_{abs} = P_{atm} + P_{gage}$

ดังนั้น $P_{gage} = -P_{atm} + P_{abs}$ = -101 kPa (abs) + 225 kPa (abs) = 124 kPa (gage) ตอบ

ตัวอย่าง 1.9 จงหาค่าความดันเกจ เมื่อความดันเท่ากับ 75.2 kPa (abs) และความดันบรรยากาศในพื้นที่เดียวกันเท่ากับ 103.4 kPa (abs)

วิธีทำ

จาก $P_{abs} = P_{atm} + P_{gage}$

ดังนั้น $P_{gage} = -P_{atm} + P_{abs}$ = 75.2 kPa (abs) – 103.4 kPa (abs)

= -28.2 kPa (gage) ตอบ

1.7.2 **ความดันไอ** (Vapor pressure) คือ กระบวนการที่ของเหลวกลายเป็นไอ เนื่องจากโมเลกุลหลุดไปจากผิวของของเหลว โมเลกุลของเหลวจะก่อให้เกิดความดันในช่องว่าง เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งโมเลกุลของไอจะกลั่นตัวเป็นของเหลวตามเดิม สำหรับกรณีที่ช่องว่างเหนือผิวของของเหลวมีปริมาตรที่จำกัด

ความดันไอจะแปรผันตามอุณหภูมิและความดัน ตัวอย่างเช่น การเดือดจะเกิดขึ้นเมื่อความดันสัมบูรณ์ภายนอกที่มากระทำต่อของเหลวเท่ากับหรือน้อยกว่าความดันไอของของเหลวนั้น ๆ นั้นคือ อุณหภูมิและความดันเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อจุดเดือดของเหลว เช่น การเดือดของน้ำ ณ อุณหภูมิปกติจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อจะต้องลดความดันลงมาจนเท่ากับหรือน้อยกว่าความดันไอของน้ำ

1.7.3 **ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับระดับความสูง** (Relationship between pressure and elevation) สำหรับของเหลวชนิดหนึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการต่อไปนี้

$$\Delta P = \gamma h \qquad (1.10)$$

เมื่อ ΔP คือ ความดันที่เปลี่ยนไป

γ คือ น้ำหนักจำเพาะ

h คือ ระดับความสูงที่เปลี่ยนไป

ตัวอย่าง 1.10 จงคำนวณหาความดันของน้ำที่ความลึกจากผิวน้ำลงมา 5 m

วิธีทำ

จาก $\Delta P = \gamma h$

เมื่อ $\gamma = 9.81\ kN/m^3$, $h = 5\ m$ และ $P_1 = 0\ kPa\ (gage)$

ดังนั้น $P_2 - P_1 = P_2 - 0 = 9.81 \frac{kN}{m^3} \times 5\ m = 49.05\ kN/m^2$ ตอบ

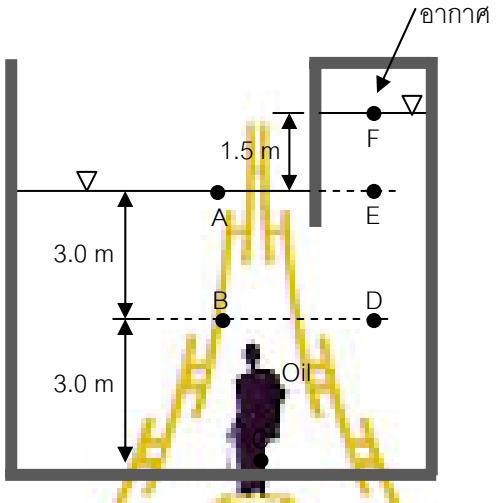
ตัวอย่าง 1.11 จงคำนวณหาความดันของน้ำที่ความลึกจากผิวน้ำลงมา 3.05 m

วิธีทำ

จาก $\Delta P = \gamma h$

ดังนั้น $P_2 - P_1 = P_2 - 0 = 9.81\frac{kN}{m^3} \times 3.05m = 29.9\ kN/m^2$ ตอบ

ตัวอย่าง 1.12 จากภาพ เมื่อถังถูกบรรจุด้วยน้ำมันที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.90 จงคำนวณหาความดันเกจที่จุด A, B, C, D, E และ F



วิธีทำ

จุด A; ผิวของเหลวได้เปิดสู่ชั้นบรรยากาศ ดังนั้น P_A = 0 Pa (gage) ตอบ

จุด B; จาก $\Delta P = \gamma h$ เมื่อ $\gamma = S \cdot \gamma_w = 0.90 \times 9.81\frac{kN}{m^3} = 8.83\frac{kN}{m^3}$

$P_B - P_A = \left(8.83\frac{kN}{m^3}\right)(3.0m) = 26.49\ kPa\ (gage)$ ตอบ

จุด C; จาก $\Delta P = \gamma h$

$P_c - P_A = \left(8.83\frac{kN}{m^3}\right)(6.0\,m) = 52.98\,kPa\,(gage)$ ตอบ

จุด D; เนื่องจากจุด B และจุด D อยู่ในระดับเดียวกัน ดังนั้น ทั้งสองจุดนี้จึงมีความดันที่เท่ากัน

$P_D = P_B = 26.5\,kPa\,(gage)$ ตอบ

จุด E; เนื่องจากจุด E และจุด A อยู่ในระดับเดียวกัน ดังนั้น ทั้งสองจุดนี้จึงมีความดันที่เท่ากัน

$P_E = P_A = 0\,kPa\,(gage)$ ตอบ

จุด F; เนื่องด้วยจุด F อยู่สูงกว่าจุด A = 1.5 m

จาก $\Delta P = \gamma h$

$$P_F - P_A = -\left(8.83\frac{kN}{m^3}\right)(1.5\,m)$$

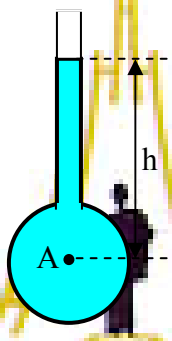
$$P_F = -13.25\frac{kN}{m^2} = -13.2\,kPa\,(gage)$$

หรือ $P_F = 13.25$ kPa (gage) ต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ตอบ

1.8 มาโนมิเตอร์ (Manometer)

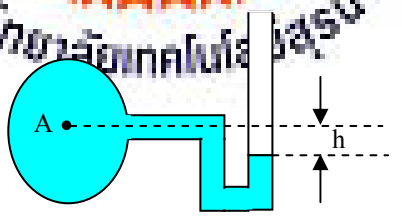
มานอมิเตอร์ คือ เครื่องมือที่ใช้วัดความแตกต่างของความดันระหว่างสองจุดในรูปความสูงของของเหลว ซึ่งมานอมิเตอร์แบบที่ง่ายที่สุดเรียกว่า ไพโซมิเตอร์

ในกรณีที่ต้องการวัดค่าความดันเกจที่สูงกว่าความดันบรรยากาศ จะได้ความดันเกจที่จุด A เท่ากับ $h\cdot\gamma$ ($P_A = h\cdot\gamma$) หรือ $h_A = h\cdot S$ (หน่วยความสูงของน้ำ) เมื่อ S = ความถ่วงจำเพาะ



ในกรณีที่ต้องการวัดค่าความดันเกจต่ำ ๆ ทั้งที่เป็นค่าบวกและค่าลบ (ค่าความดันที่สูงกว่าและต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ตามลำดับ) ซึ่งความดันเกจที่จุด A มีค่าดังต่อไปนี้

$P_A = -h\cdot\gamma$ หรือ $h_A = -h\cdot S$ (หน่วยความสูงของน้ำ)

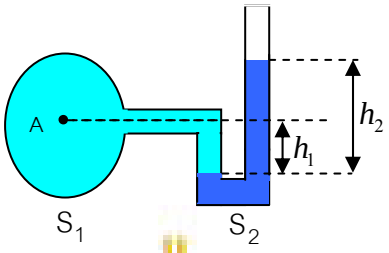


ในกรณีที่ต้องการวัดค่าความดันเกจสูง ๆ ทั้งที่เป็นค่าบวกและค่าลบ ซึ่งความดันเกจที่จุด A มีค่าดังต่อไปนี้

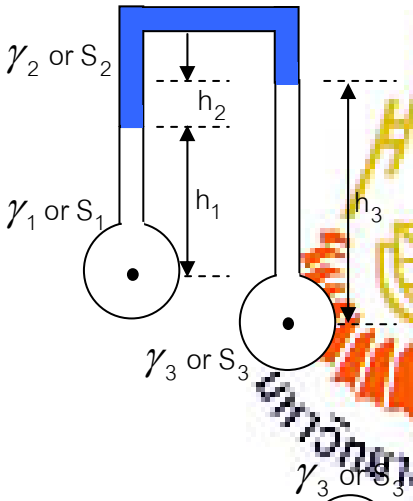
$$P_A = -h_1\gamma_1 + h_2\gamma_2$$

$$h_A = -h_1 \cdot S_1 + h_2 \cdot S_2$$

หรือ $h_A + h_1 \cdot S_1 - h_2 \cdot S_2 = 0$



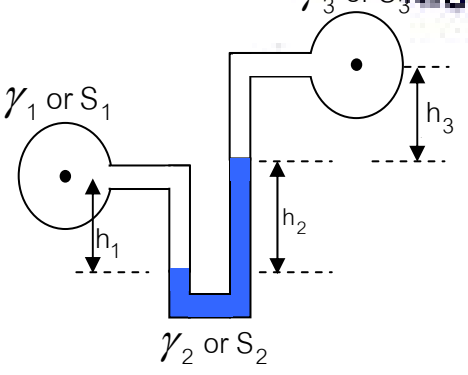
มานอมิเตอร์แบบความแตกต่าง (Differential manometer) คือ มานอมิเตอร์ที่ใช้วัดค่าความแตกต่างความดันระหว่างสองจุด



$$P_A = h_1\gamma_1 + h_2\gamma_2 - h_3\gamma_3 + P_B$$

$$P_A - P_B = h_1\gamma_1 + h_2\gamma_2 - h_3\gamma_3$$

$$h_A - h_B = h_1S_1 + h_2S_2 - h_3S_3$$

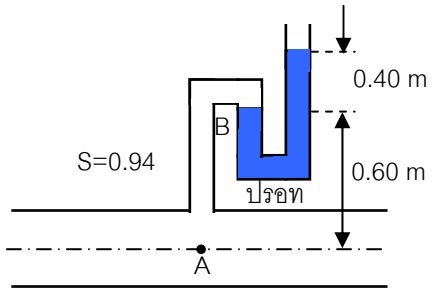


$$P_A = -h_1\gamma_1 + h_2\gamma_2 + h_3\gamma_3 + P_B$$

$$P_A - P_B = -h_1\gamma_1 + h_2\gamma_2 + h_3\gamma_3$$

$$h_A - h_B = -h_1S_1 + h_2S_2 + h_3S_3$$

ตัวอย่าง 1.13 ในการวัดความดันของน้ำมัน (S = 0.94) ภายในท่ออันหนึ่ง โดยใช้มานอมิเตอร์ที่บรรจุด้วยปรอท ดังแสดงในภาพ จงคำนวณหาความดันเกจที่จุด A ในหน่วยความสูงของน้ำ



วิธีทำ

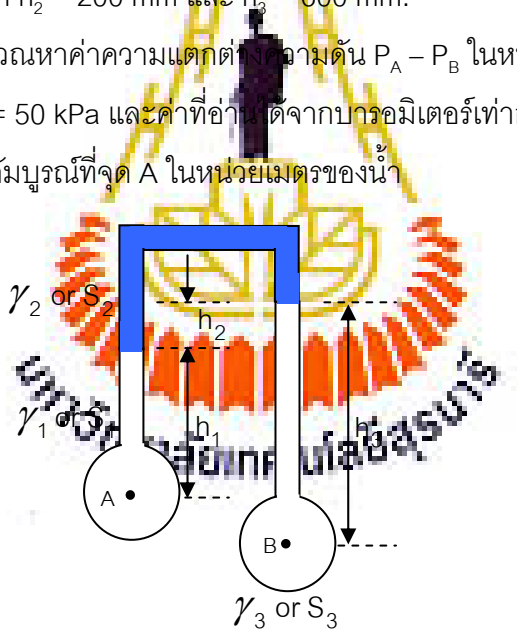
จาก $h_A = (0.6\,m)(0.94) - (0.4\,m)(13.6)$

$h_A = 0.564\,m + 5.44\,m = 6.004\,m$ ของน้ำ ตอบ

ตัวอย่าง 1.14 จากภาพ ของเหลว A และ B เป็นน้ำ ของเหลวในหลอดเป็นน้ำมัน ($S_2 = 0.80$) กำหนดให้ $h_1 = 300$ mm $h_2 = 200$ mm และ $h_3 = 600$ mm.

(ก) จงคำนวณหาค่าความแตกต่างของความดัน $P_A - P_B$ ในหน่วย Pascal

(ข) ถ้า $P_B = 50$ kPa และค่าที่อ่านได้จากบารอมิเตอร์เท่ากับ 730 mm ปรอท จงคำนวณหาค่าความดันสัมบูรณ์ที่จุด A ในหน่วยเมตรของน้ำ



วิธีทำ

(ก) จาก $P_A = h_1\gamma_1 + h_2\gamma_2 - h_3\gamma_3 + P_B$

$P_A - P_B = h_1\gamma_1 + h_2\gamma_2 - h_3\gamma_3$

$P_A - P_B = (0.3\,m)(9810\frac{N}{m^3}) + (0.2\,m)(0.80 \times 9810\frac{N}{m^3}) - (0.6)(9810\frac{N}{m^3})$

$P_A - P_B = -1{,}373.4\,Pa$ ตอบ

หรือ $h_A = h_1S_1 + h_2S_2 - h_3S_3 + h_B$ (m ของน้ำ)

$h_A = (0.3\,m)(1) + (0.2\,m)(0.8) - (0.6\,m)(1) + h_B$

$$h_A - h_B = -0.14\,\text{m ของน้ำ}$$

และ $$P_A - P_B = \gamma(h_A - h_B) = (9810\frac{N}{m^3})(-0.14\,m) = \text{-1,373.4 Pa}$$

(ข) จาก $$h_B = \frac{P_B}{\gamma} = \frac{50\times10^3\ Pa}{9810\frac{N}{m^3}} = 5.10\,m\ \text{ของน้ำ}$$

h_B (m ของน้ำที่ abs) = h_B (m ของน้ำที่ gage) + h_{atm}

h_B (m ของน้ำที่ abs) = (5.10 m ของน้ำ) + (0.730 m)(13.6)

h_B (m ของน้ำที่ abs) = 15.03 m ของน้ำที่ abs

จากข้อ (ก) $h_A - h_B$ = -0.14 m ของน้ำ

$\therefore h_A$ = -0.14 m ของน้ำ + 15.03 m ของน้ำ

h_A = 14.89 m ของน้ำที่ abs ตอบ

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1

1. น้ำมันชนิดหนึ่งมีน้ำหนัก 2 kN และปริมาตร 0.189 m^3 จงคำนวณหาน้ำหนักจำเพาะ ความหนาแน่น และความถ่วงจำเพาะ

2. จงคำนวณหาน้ำหนักจำเพาะ ความถ่วงจำเพาะ และปริมาตรจำเพาะของแอลกอฮอล์ เมื่อมีความหนาแน่น 1.53 $slug/ft^3$

3. จงคำนวณหาปริมาตรจำเพาะ และความถ่วงจำเพาะ ของของเหลวชนิดหนึ่งที่มีความหนาแน่น 824.6 kg/m^3

4. จงคำนวณหาน้ำหนักจำเพาะ ความหนาแน่น ปริมาตรจำเพาะ และความถ่วงจำเพาะของของเหลวชนิดหนึ่งที่มีปริมาตร 5 m^3 และหนัก 3700 kg

5. จงคำนวณหาโมดูลัสความยืดหยุ่น ของเหลวชนิดหนึ่งได้รับความดันที่ 550 kPa ทำให้ปริมาตรลดลง 0.030%

6. จงคำนวณหาความดันที่จะต้องใช้เพื่อทำให้น้ำมีปริมาตรลดลง 1% (E = 2.17 GPa)

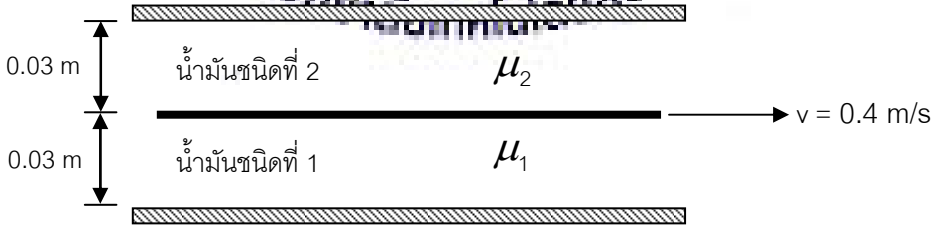
7. จงคำนวณหาโมดูลัสความยืดหยุ่น สำหรับแอลกอฮอล์มีปริมาตร 1.0212 ft^3 ได้รับความดัน 7500 psi ทำให้มีปริมาตรเท่ากับ 0.922 ft^3

8. จงคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างความหนืดสัมบูรณ์ของอากาศและของน้ำ เมื่อ

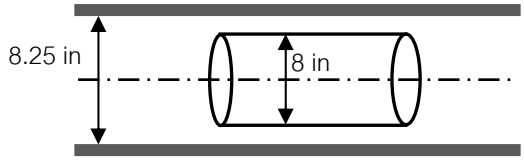
อากาศ μ_{air} = 0.018 x 10^{-3} Pa·s และ ρ_{air} = 1.225 kg/m^3

น้ำ μ_{water} = 1.4 x 10^{-3} Pa·s และ ρ_{water} = 999.7 kg/m^3

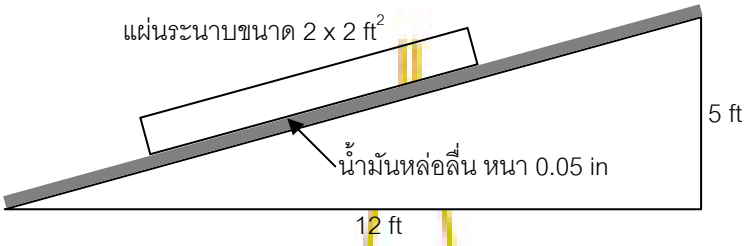
9. แผ่นระนาบบางวางอยู่ระหว่างชั้นของน้ำมันสองชนิด ดังภาพข้างล่าง และแผ่นระนาบนี้ถูกดึงด้วยความเร็ว 0.4 m/s และเกิดแรงเฉือน 30 N จงคำนวณหาความหนืดพลวัตของน้ำมันทั้งสองชนิดนี้ เมื่อความหนืดพลวัตของน้ำมันชนิดที่หนึ่งเป็นสองเท่าของความหนืดพลวัตของน้ำมันชนิดที่สอง



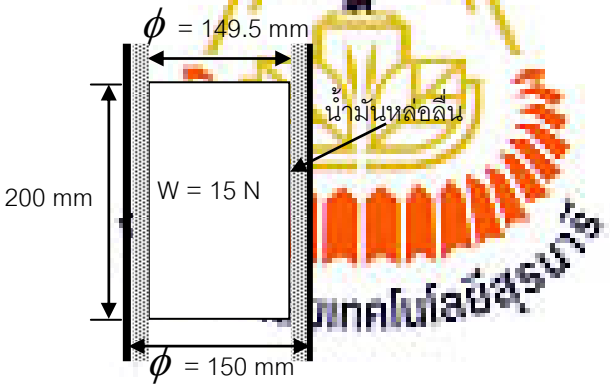
10. ท่อนทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 in ยาว 3 ft ถูกวางไว้ในตามแนวเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อที่มีขนาด 8.25 in ดังภาพข้างล่าง จงคำนวณหาแรงดึงที่จะต้องใช้เพื่อให้ท่อนทรงกระบอกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 3 ft/s และระหว่างท่อนทรงกระบอกกับท่อถูกบรรจุด้วยน้ำมันชนิดหนึ่งที่มีความหนืดจลน์ 0.006 ft^2/s และความถ่วงจำเพาะ 0.92



11. จากภาพ จงคำนวณหาความเร็วที่เกิดขึ้น เมื่อความหนืดพลวัตเท่ากับ 0.0167 $lb \cdot s/ft^2$



12. จากภาพ เมื่อก้อนน้ำหนักตกลงมา จงคำนวณความเร็วที่เกิดขึ้น เมื่อความหนืดพลวัตของน้ำมันหล่อลื่น เท่ากับ 0.0794 $Pa \cdot s$

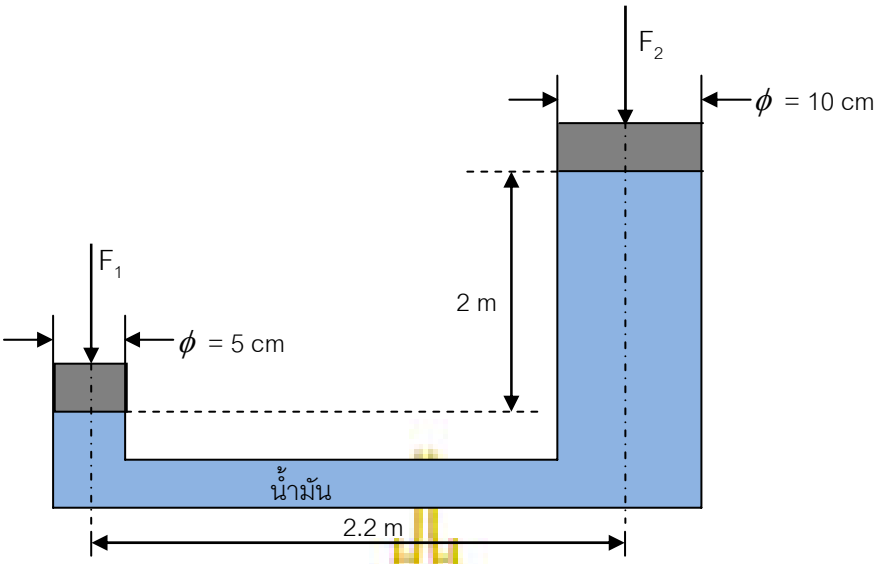


13. วัตถุชิ้นหนึ่งหนัก 45 kg มีผิวเรียบพื้นที่ 0.15 m^2 และวางอยู่บนระนาบเอียงทำมุม 30° กับแนวระดับ เลื่อนไถลลงมาตามระนาบเอียงด้วยความเร็วคงที่ 1 m/s โดยระหว่างผิวของวัตถุกับระนาบเอียงมีน้ำมันหล่อลื่นที่มีความหนืดพลวัต 1 poise จงคำนวณหาความหนาของน้ำมันหล่อลื่น

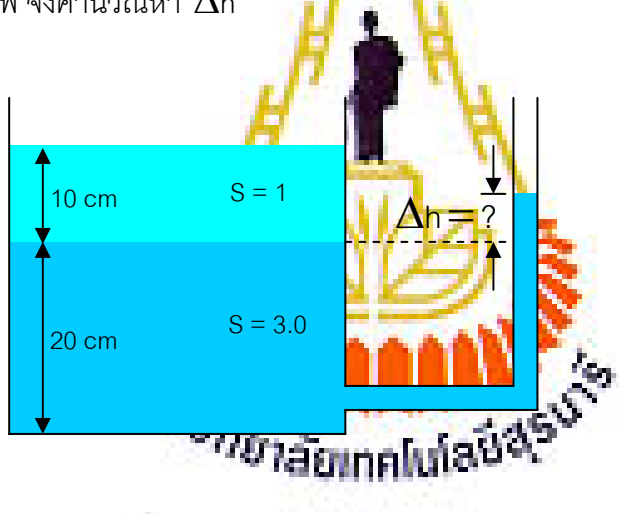
14. จงคำนวณหาความสูงของน้ำสูงสุดในหลอดรูเล็กขนาด 0.5 mm เมื่อน้ำมีความหนาแน่น 998.2 kg/m^3 และมีแรงตึง 0.728 N/m

15. จงคำนวณหาแรงเพื่อดึงวงแหวนบาง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 mm ออกจากผิวน้ำ เมื่อน้ำมีแรงตึงผิว 0.073 N/m

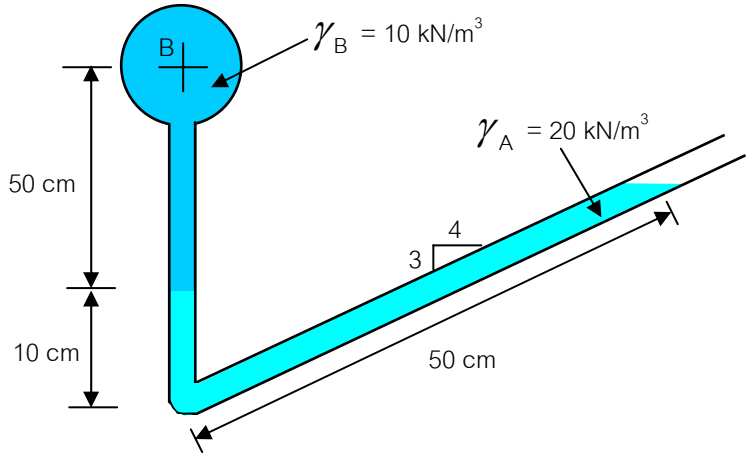
16. จากภาพ ลูกสูบ (Piston) ถูกแรง F_1= 200 N กระทำ จงหาขนาดของแรง F_2 เพื่อทำให้ระบบอยู่ในสภาวะสมดุล เมื่อน้ำมันที่มีความถ่วงจำเพาะ S = 0.85



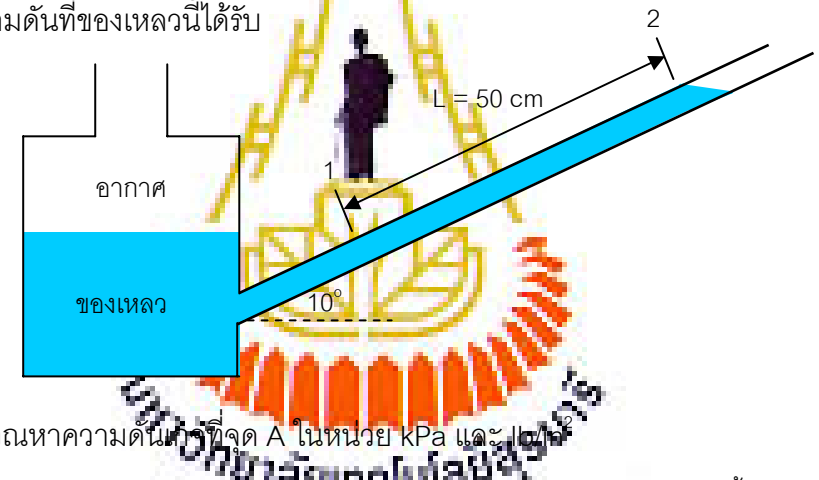
17. จากภาพ จงคำนวณหา Δh



18. จงคำนวณหาความดันที่จุด B



19. จากภาพ อัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่างถังกับท่อ เท่ากับ 8 และถังบรรจุของเหลวชนิดหนึ่งที่มีความหนาแน่น 800 kg/m^3 โดยเมื่อผิวของเหลวสัมผัสกับอากาศ ของเหลวในท่อจะอยู่ที่ตำแหน่ง 1 เมื่ออากาศได้รับความดันเข้าไปทำให้ของเหลวเคลื่อนที่ขึ้นไปที่ตำแหน่ง 2 จงคำนวณหาความดันที่ของเหลวนี้ได้รับ



20. จงคำนวณหาความดันที่จุด A ในหน่วย kPa และ kg/cm^2