

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 แต่มีค่าต่ำมาก จนสามารถตั้งสมมุติฐานได้ว่าไม่สามารถรับแรงตึงได้
- ของเหลวไม่สามารถรับแรงเฉือน (Shear force) ได้ไม่ว่าจะมีขนาดเท่าใด เนื่องจากเมื่อของเหลวได้รับแรงเฉือน ของเหลวจะเกิดการเปลี่ยนรูปหรือเกิดการไหล (Flow)

ของเหลวจัดว่าเป็นของไหล (ประกอบด้วย ของเหลวและก๊าซ) ที่กดอัดไม่ได้ (Incompressible Fluid) คือ เมื่อความดันเปลี่ยนแปลงของเหลวจะมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรน้อยมาก ซึ่งสามารถไม่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรได้

1.1 ระบบหน่วย

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

ระบบหน่วย SI

ระบบหน่วยอังกฤษ

- ความยาว (Length):

- เวลา (Time):

- มวล (Mass):

- แรง (Force):

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	มิติ	ระบบหน่วย SI	ระบบหน่วยอังกฤษ
พื้นที่	A	L^2	m^2	ft^2
ความเร่ง	a	LT^{-2}	m/s^2	ft/s^2
พลังงาน	E	F.L	N.m	ft.lb
แรง	F	MLT^{-2}	N	lb
กำลังงาน	P	$F LT^{-1}$	N.m/s	ft.lb/s
ความดัน	P	$F L^{-2}$	N/m^2 (Pa)	psi
อัตราการไหล	Q	$L^3 T^{-1}$	m^3/s	cfs
อุณหภูมิ	T	-	Kelvin ($^{\circ}K$)	Rankine ($^{\circ}R$)
ความถี่	f	T^{-1}	Hz	Cycle/s
ความเร็ว	u,v,w	$L T^{-1}$	m/s	Ft/s
ปริมาตร	V	L^3	m^3	ft^3
ความหนาแน่น	ρ	$M L^{-3}$	kg/m^3	slug/ ft^3
ความหนืด	μ	$FT L^{-2}$	N.s/m	lb.s ft^2
ความหนืดจลน์	ν	$L^2 T^{-1}$	m^2/s	ft^2/s
นน. จำเพาะ	γ	$F L^{-3}$	N/m^3	lb/ ft^3

หมายเหตุ : $1^{\circ}K = 273 + 1^{\circ}C$ และ $1^{\circ}R = 460 + 1^{\circ}F$

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	hecto	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) ของวัตถุชิ้นนี้ได้ จากกฎของนิวตัน ($F = ma$ เมื่อ a คือ ความเร่ง) โดยค่าความเร่ง a คือค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก $g = 9.81 \text{ m/s}^2 = 32.2 \text{ ft/s}^2$ ดังนั้น

หรือ มวล 10.0 kg จะเท่ากับ $10.0 \text{ kg} \times 2.21 \text{ lb / kg} = 22.1 \text{ lb}$

จะได้

- น้ำที่อุณหภูมิ 20°C สามารถแปลงจากหน่วย $^\circ\text{C}$ (องศาเซลเซียส) เป็น $^\circ\text{F}$ ได้ดังนี้

$$T(^{\circ}\text{F}) = 1.8T(^{\circ}\text{C}) + 32 \quad \text{หรือ} \quad T(^{\circ}\text{C}) = \frac{T(^{\circ}\text{F}) - 32}{1.8}$$

ดังนั้น

หรือสามารถเปลี่ยนจากหน่วย $^\circ\text{C}$ (องศาเซลเซียส) เป็น $^\circ\text{K}$ ได้ดังนี้

$$T(^{\circ}\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15$$

ดังนั้น

หรือสามารถเปลี่ยนจากหน่วย $^\circ\text{F}$ (องศาเซลเซียส) เป็น $^\circ\text{K}$ ได้ดังนี้

$$T(^{\circ}\text{K}) = \frac{T(^{\circ}\text{F}) + 459.67}{1.8}$$

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

ตัวอย่างที่ 1.1 จงแปลงหน่วย ดังต่อไปนี้

- จาก 1,725	mm	=	m
- จาก 1500	mm ²	=	m ²
- จาก 2.65x10 ²	mm ³	=	m ³
- จาก 7.89	m ²	=	mm ²
- จาก 7.89	m ³	=	mm ³
- จาก 44.0	gallons	=	m ³
- จาก 90	km/hr	=	m/hr
- จาก 30.0	ft	=	m
- จาก 1.50	mile	=	m
- จาก 9.33	in	=	mm
- จาก 500.0	ft ³	=	m ³
- จาก 8490	cm ²	=	m ²
- จาก 300	liter	=	m ³
- จาก 33	ft ³ /s	=	m ³ /s

1.2 คุณสมบัติของของเหลว

คุณสมบัติของของเหลวที่จะกล่าวถึงในหัวข้อนี้ ประกอบด้วย ความหนาแน่น น้ำหนักจำเพาะ ปริมาตรจำเพาะ และความถ่วงจำเพาะ ดังรายละเอียด ต่อไปนี้

1.2.1 ความหนาแน่น (Density; ρ) คือ ปริมาณมวลสารของสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ดังนั้น หน่วยของความหนาแน่นจึงเป็นหน่วยของมวลสารต่อปริมาตร

$$\text{ความหนาแน่น} = \text{มวลสาร} / \text{ปริมาตร} \text{ หรือ}$$

เนื่องจาก

$$\text{ดังนั้น} \quad (1.1)$$

$$\begin{aligned} \text{โดยที่} \quad g &= \text{ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก} \\ &= 9.81 \text{ m/s}^2 = 32.2 \text{ ft/s}^2 \end{aligned}$$

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

1.2.2 น้ำหนักจำเพาะ (Specific weight; γ) คือ น้ำหนักของสสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร
หน่วยน้ำหนักจำเพาะจึงเป็นหน่วยของน้ำหนักต่อปริมาตร

$$\text{น้ำหนักจำเพาะ} = \text{น้ำหนัก} / \text{ปริมาตร} \text{ หรือ}$$

เนื่องจาก

$$\text{ดังนั้น} \quad (1.2)$$

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

1.2.3 ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume; V_s) คือ ปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยมวลสาร หรือ
ปริมาตรจำเพาะคือส่วนกลับของความหนาแน่น นั่นคือ

$$(1.3)$$

1.2.4 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity; S)

คือ อัตราส่วนของน้ำหนักของสสารต่อน้ำหนักของน้ำที่ปริมาตรเท่ากัน หรือ
อัตราส่วนของน้ำหนักจำเพาะหรือความหนาแน่นของสสารเมื่อเทียบกับน้ำ ความถ่วงจำเพาะเป็น
ตัวเลขที่ไม่มีมิติ

$$S = m \text{ สสาร} / m \text{ น้ำ (เมื่อมีปริมาตรเท่ากัน)} \quad (1.4)$$

เนื่องจาก

$$\text{ดังนั้น} \quad (1.5)$$

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

ตัวอย่างที่ 1.3 น้ำมันชนิดหนึ่งมีความถ่วงจำเพาะ 0.90 และหนัก 5 N จงคำนวณหาปริมาณของ
น้ำมันชนิดนี้
วิธีทำ

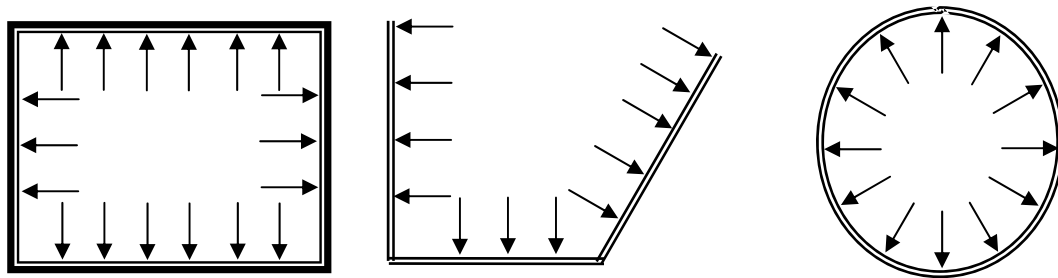
1.3 ความดัน (Pressure; P)

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

(1.6)

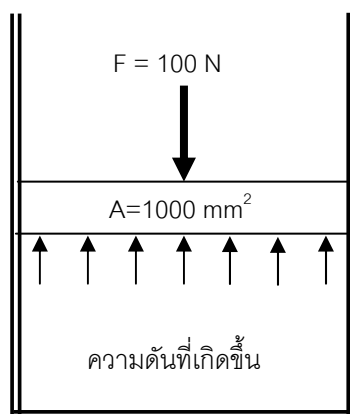
สำหรับของเหลวความดันจะกระทำตั้งฉากกับพื้นที่ผิวที่กระทำอย่างสม่ำเสมอ ดังภาพที่

1.1



ภาพที่ 1.1 การกระจายความดัน ณ รูปทรงวัตถุต่าง ๆ

ตัวอย่างที่ 1.4 ภายในลูกสูบบรรจุด้วยของเหลวชนิดหนึ่ง เมื่อมีแรงมากระทำที่ลูกสูบ 100 N ดังภาพข้างล่างนี้ และลูกสูบนี้มีพื้นที่หน้าตัด $1,000 \text{ mm}^2$ จงคำนวณหาความดันที่เกิดขึ้น



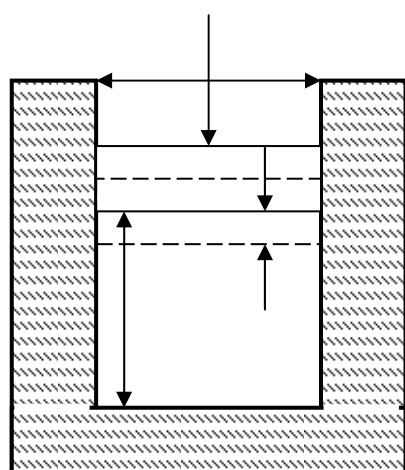
วิธีทำ

ตัวอย่างที่ 1.5 จากภาพในตัวอย่างที่ 1.4 เมื่อ $F = 400 \text{ lb}$ และ ลูกสูบมีพื้นที่หน้าตัด $1,200 \text{ in}^2$ จงคำนวณหาความดันที่เกิดขึ้น

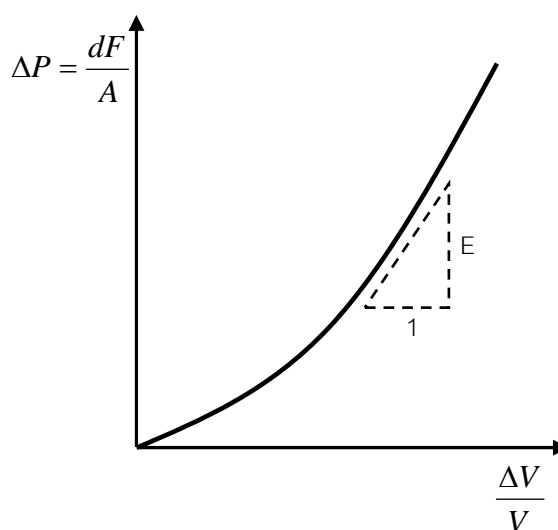
วิธีทำ

1.4 การอัดตัวได้ของของไหล (Compressibility)

เมื่อของไหลทุกชนิดได้รับความดัน จะก่อให้เกิดพลังงานความยืดหยุ่น (Elastic energy) ภายในของไหลนั้น ๆ หากพิจารณาว่าไม่มีการสูญเสียพลังงานจากกระบวนการดังกล่าว เมื่อนำความดันที่มากกระทำออกไป 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

(1.7)

ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของของไหลขึ้นอยู่กับความดันที่มากกระทำและปริมาตรเริ่มต้น ดังนั้น ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นนี้จึงไม่ใช่ค่าคงที่ ตารางที่ 1.3 แสดงค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นสำหรับของเหลวชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 1.3 แสดงค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นสำหรับของเหลวชนิดต่าง ๆ ที่ความดันบรรยากาศและที่อุณหภูมิ 20 °C

ของเหลว	โมดูลัสความยืดหยุ่น	
	(psi)	(MPa)
Ethyl alcohol	130,000	896
Benzene	154,000	1,062
Machine oil	189,000	1,303
Water	316,000	2,179
Glycerin	654,000	4,509
Mercury	3,590,000	24,750

ตัวอย่างที่ 1.6 จงคำนวณหาความดันที่เปลี่ยนแปลงไป สำหรับน้ำที่ได้รับความดันและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรไป 2%

วิธีทำ

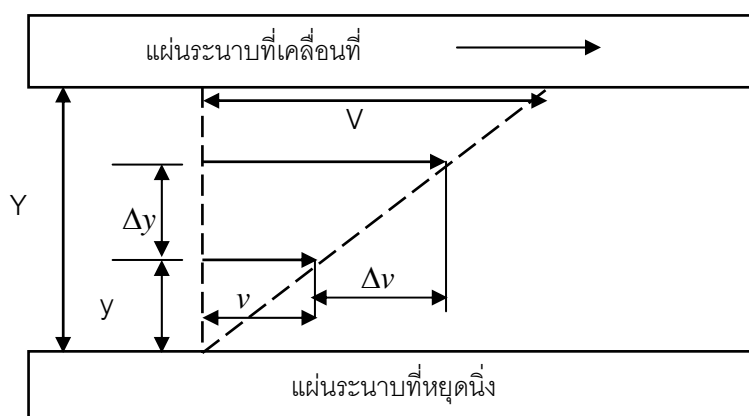
1.5 ความหนืดของไหล (Viscosity)

1.5.1 ความหนืดพลวัต (Dynamic Viscosity) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ความหนืดสัมบูรณ์ (Absolute Viscosity) หมายถึง คุณสมบัติในการต้านแรงเฉือนของของไหล

จากภาพที่ 1.3 แสดงแผ่นระนาบสองแผ่นที่วางซ้อนกัน โดยมีระยะห่างระหว่างแผ่นระนาบนี้เท่ากับ Y ระหว่างแผ่นระนาบบรรจุด้วยของเหลว ที่มีความหนืด μ เมื่อแผ่นระนาบด้านบนถูกทำให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสัมพัทธ์คงที่ V ดังนั้น โปรไฟล์ความเร็ว (Velocity profile) ของของเหลวจึงแสดงการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของชั้นของเหลวที่อยู่ติดกัน ถ้าให้ความหนาแต่ละชั้นเท่ากับ Δy ชั้นล่างเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v ส่วนชั้นบนเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว $(v + \Delta v)$ และจะเกิดความฝืดระหว่างชั้นซึ่งก็คือแรงเฉือนนั่นเอง ถ้าให้ τ เป็นความเค้น จะได้ความสัมพันธ์ว่า τ จะเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนความเร็ว (Velocity gradient, $\frac{\Delta v}{\Delta y}$) และความหนืด μ จะเป็นค่าคงที่ของสัดส่วนดังกล่าว ดังสมการต่อไปนี้

(1.8)

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



ภาพที่ 1.3 หลักการของความหนืดพลวัต

1.5.2 ความหนืดจลน์ (Kinematics viscosity); ν

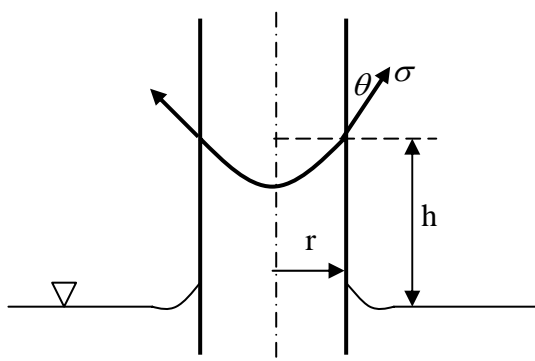
(1.9)

หน่วยของความหนืด

1.6 ความตึงผิว (Surface tension)

แรงตึงผิว เป็นคุณสมบัติของของไหลในการต้านแรงตึงของผิวของไหล ซึ่งแรงตึงผิว คือ แรงในผิวของเหลวที่ตั้งฉากกับเส้นที่ลากในผิวนั้น มีหน่วยเป็น N/m

พิจารณาหลอด Capillary



(1.10)

เมื่อ r = รัศมีของหลอด γ = น้ำหนักจำเพาะของของเหลวที่หลอดจุ่มลงไป h = ความสูงที่ของเหลวจะไหลขึ้นในหลอด

หรือเรียกว่า Capillary rise

 σ = แรงตึงผิวต่อหน่วยความยาว θ = 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

ถ้าความดันเกจเป็นลบ

โดยทั่วไป การบอกค่าความดันจะบอกเป็นความดันเกจ ซึ่งจะวัดความดันเกจโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เกจบอร์ตัน (Bourdon gage) เป็นต้น

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

วิธีทำ

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

วิธีทำ

ตัวอย่าง 1.9 จงหาค่าความดันเกจ เมื่อความดันเท่ากับ 75.2 kPa และความดันบรรยากาศในพื้นที่เดียวกันเท่ากับ 103.4 kPa

วิธีทำ

1.7.2 ความดันไอ (Vapor pressure) คือ กระบวนการที่ของเหลวกลายเป็นไอ เนื่องจากโมเลกุลหลุดพื้นผิวของของเหลว โมเลกุลของเหลวที่จะก่อให้เกิดความดันในช่องว่าง เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งโมเลกุลของไอนี้จะกลั่นตัวเป็นของเหลวตามเดิม สำหรับกรณีที่ช่องว่างเหนือผิวของของเหลวมีปริมาตรที่จำกัด

ความดันไอจะแปรผันตามอุณหภูมิและความดัน ตัวอย่างเช่น การเดือดจะเกิดขึ้นเมื่อความดันสัมบูรณ์ภายนอกที่มากระทำต่อของเหลวเท่ากับหรือน้อยกว่าความดันไอของของเหลว นั้น ๆ นั่นคือ ความดันและอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อจุดเดือดของเหลว เช่น การเดือดของน้ำ ณ อุณหภูมิปกติจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อจะต้องลดความดันลงมาจนเท่ากับหรือน้อยกว่าความดันไอน้ำ

1.7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับระดับความสูง (Relationship between pressure and elevation) สำหรับของเหลวชนิดหนึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการต่อไปนี้

(1.11)

เมื่อ Δp = ความดันที่เปลี่ยนไป
 = น้ำหนักจำเพาะ
 = ระดับความสูงที่เปลี่ยนไป

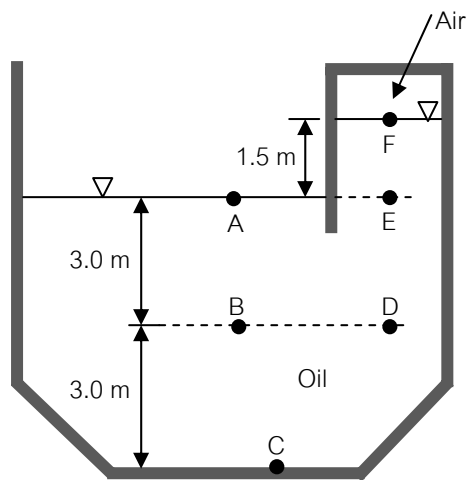
ตัวอย่าง 1.10 จงคำนวณหาความดันของน้ำที่ความลึกจากผิวน้ำลงมา 5 m

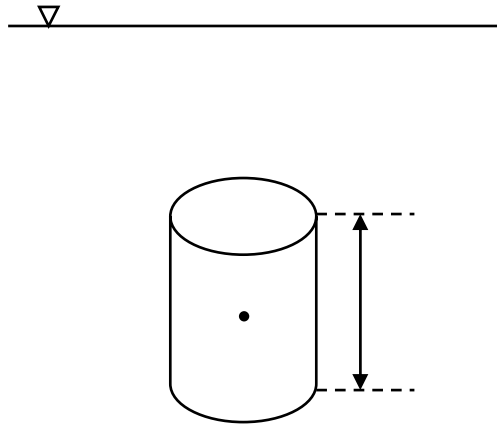
วิธีทำ

ตัวอย่าง 1.11 จงคำนวณหาความดันของน้ำที่ความลึกจากผิวน้ำลงมา 3.05 m

วิธีทำ

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

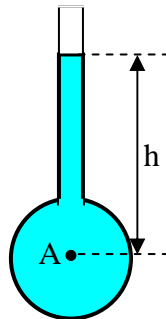




1.8 มาโนมิเตอร์ (Manometer)

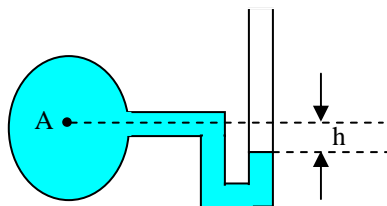
มาโนมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความแตกต่างของความดันระหว่างสองจุดในรูปความสูงของของเหลว ซึ่งมาโนมิเตอร์แบบที่ง่ายที่สุดเรียกว่า ไพโซมิเตอร์

จากรูป ใช้วัดค่าความดันเกจ ว่า ณ จุดนั้น ๆ มีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศเท่าใด โดยความดันเกจที่จุด $A = hs$ (หน่วยความสูงของน้ำ) เมื่อ s = ความถ่วงจำเพาะ



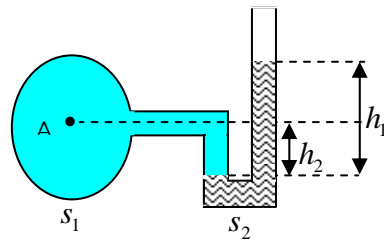
ในกรณีที่ต้องการวัดค่าความดันเกจต่ำ ๆ ทั้งที่เป็นค่าบวกและค่าลบ (ค่าความดันที่สูงกว่าและต่ำกว่าความดันบรรยากาศ ตามลำดับ) ซึ่งความดันเกจที่จุด A มีค่าดังต่อไปนี้

$$h_A = -h \cdot s \text{ (หน่วยความสูงของน้ำ)}$$

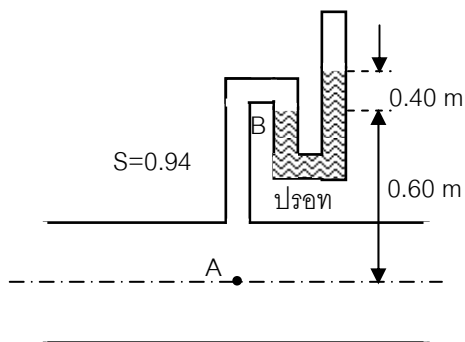


ในกรณีที่ต้องการวัดค่าความดันเกจทั้งค่าบวกและค่าลบที่มีค่าสูง

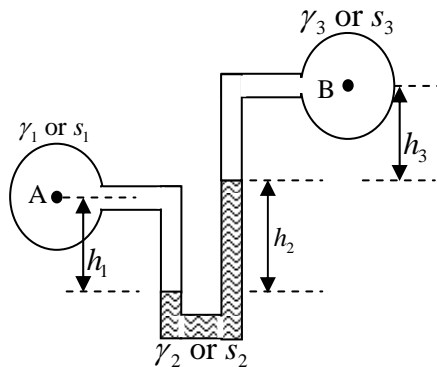
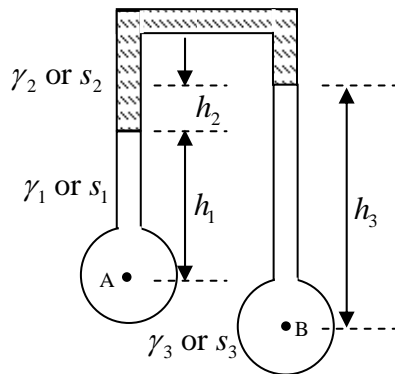
$$h_A + h_2 \cdot s_1 - h_1 \cdot s_2 = 0$$



ตัวอย่าง 1.13 ในการวัดความดันของน้ำมัน (ความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 0.94) ภายในท่ออันหนึ่ง โดยใช้मानมิเตอร์ที่บรรจุด้วยปรอท ดังแสดงในรูป จงคำนวณหาความดันที่จุด A



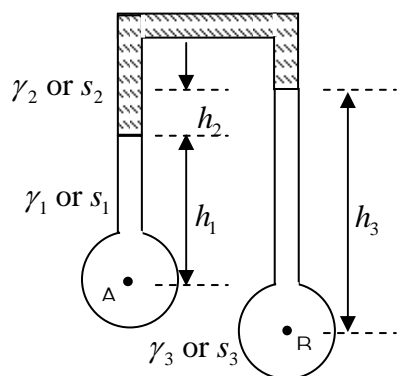
मानमीटरแบบความแตกต่าง (Differential manometer) คือ मानमीटरที่ใช้วัดค่าความแตกต่างความดันระหว่างสองจุด



ตัวอย่าง 1.14 จากรูปข้างล่าง ของเหลว A B เป็นน้ำ ของเหลวในหลอดเป็นน้ำมัน $s = 0.80$ กำหนดให้ $h_1 = 300 \text{ mm.}$, $h_2 = 200 \text{ mm.}$, และ $h_3 = 600 \text{ mm.}$

ก) จงคำนวณหาความแตกต่างความดัน $P_A - P_B$ ในหน่วย Pascal

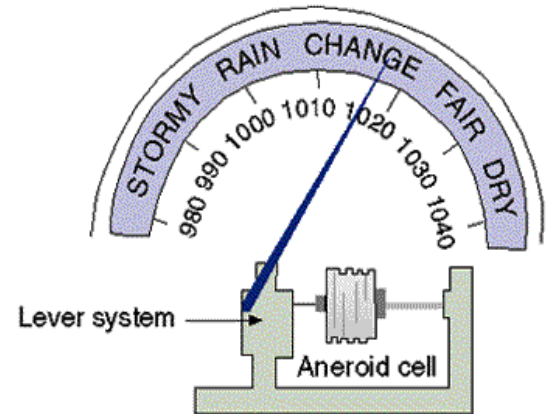
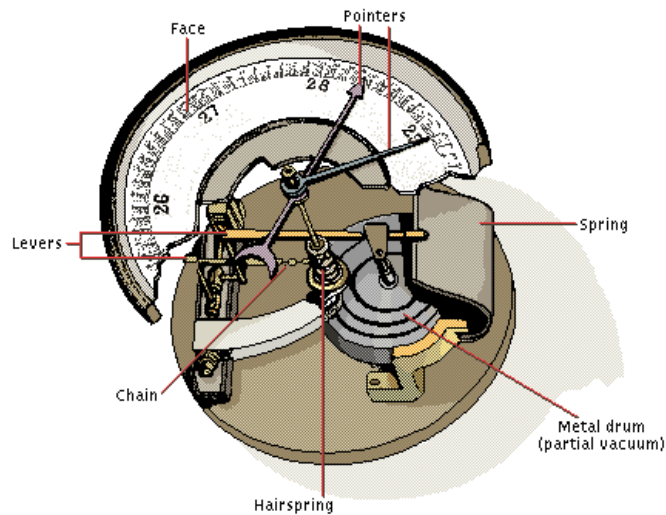
ข) ถ้า $P_B = 50 \text{ kPa}$ และค่าที่อ่านได้จากบาร์โอมิเตอร์เท่ากับ 730 mm ปรอท จงคำนวณหาความดันสัมบูรณ์ที่จุด A ในหน่วยเมตรของน้ำ



1.9 บารอมิเตอร์ (Barometers)

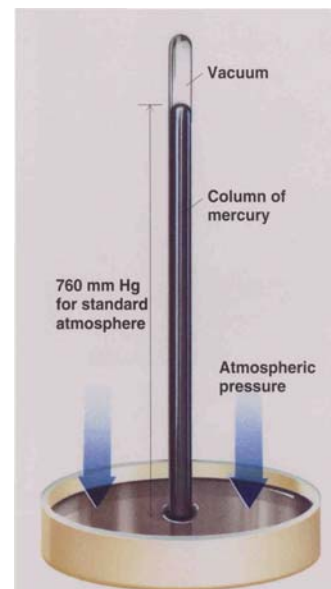
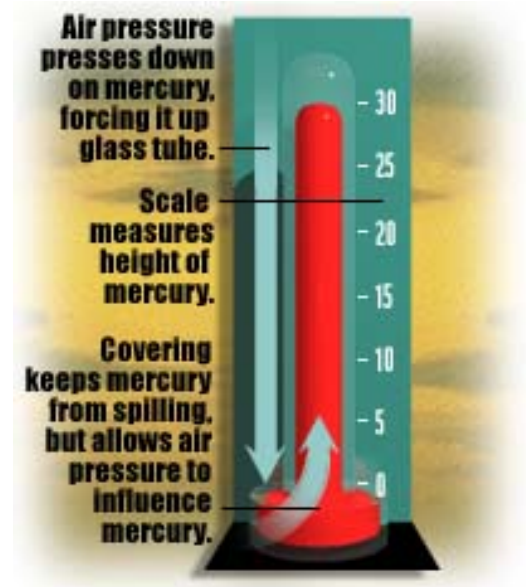
บารอมิเตอร์ คือ เครื่องมือวัดความดันสัมบูรณ์ของบรรยากาศ ซึ่งนิยมใช้อยู่ 2 ประเภท คือ (1) บารอมิเตอร์แอนเนรอยด์ (Aneroid barometer) และ (2) บารอมิเตอร์ปรอท (Mercury barometer)

บารอมิเตอร์แอนเนรอยด์



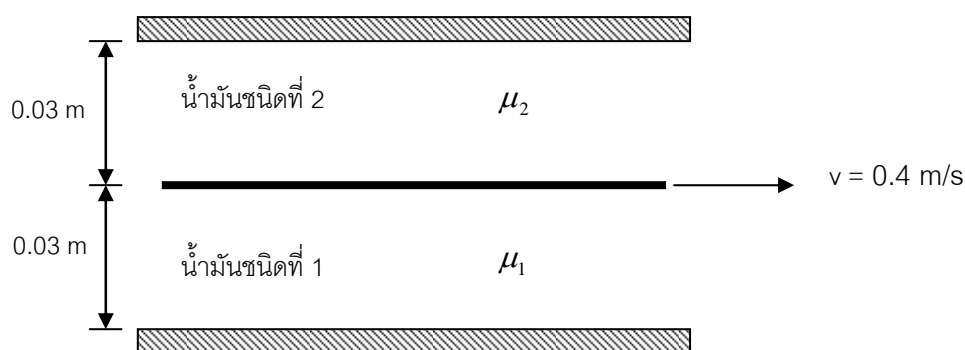
© 1998 Wadsworth Publishing Company/ITP

บารอมิเตอร์ปรอท

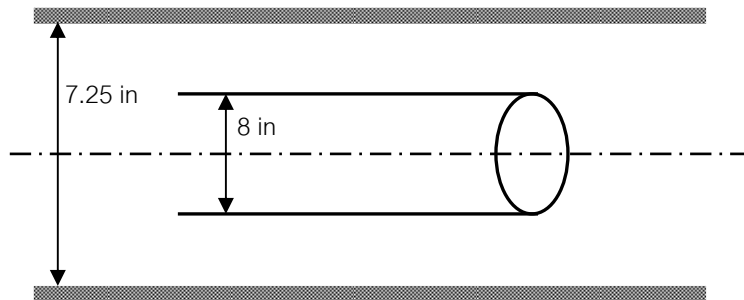


แบบฝึกหัดท้ายบท

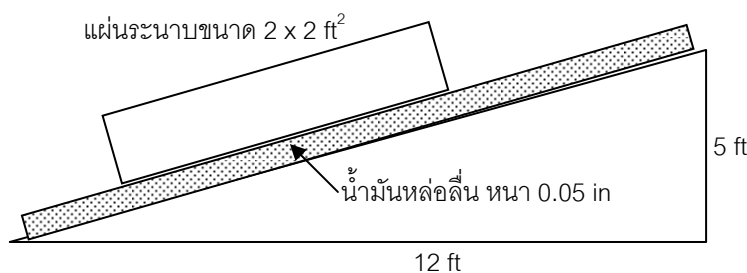
1. น้ำมันชนิดหนึ่งมีน้ำหนัก 2 kN และปริมาตร 0.189 m^3 จงคำนวณหาน้ำหนักจำเพาะ ความหนาแน่น และความถ่วงจำเพาะ
2. จงคำนวณหาน้ำหนักจำเพาะ ความถ่วงจำเพาะ และปริมาตรจำเพาะของแอลกอฮอล์ เมื่อมีความหนาแน่น 1.53 slug/ft^3
3. จงคำนวณหาปริมาตรจำเพาะ และความถ่วงจำเพาะ ของของเหลวชนิดหนึ่งที่มีความหนาแน่น 824.6 kg/m^3
4. จงคำนวณหาน้ำหนักจำเพาะ ความหนาแน่น ปริมาตรจำเพาะและความถ่วงจำเพาะของของเหลวชนิดหนึ่งที่มีปริมาตร 5 m^3 และหนัก 3700 kg
5. จงคำนวณหาโมดูลัสความยืดหยุ่น ของเหลวชนิดหนึ่งได้รับความดันที่ 550 kPa ทำให้ปริมาตรลดลง 0.030%
6. จงหาความดันที่จะต้องใช้เพื่อทำให้น้ำมีปริมาตรลดลง 1% ($E = 2.17 \text{ GPa}$)
7. จงคำนวณหาโมดูลัสความยืดหยุ่นสำหรับแอลกอฮอล์มีปริมาตร 1.0212 ft^3 ได้รับความดัน 7500 psi ทำให้มีปริมาตรเท่ากับ 0.922 ft^3
8. จงคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างความหนืดจลน์ของอากาศและของน้ำ เมื่อ
สำหรับอากาศ $\mu_{air} = 0.018 \times 10^{-3} \text{ Pa s}$ และ $\rho_{air} = 1.225 \text{ kg/m}^3$
สำหรับน้ำ $\mu_{water} = 1.4 \times 10^{-3} \text{ Pa s}$ และ $\rho_{water} = 999.7 \text{ kg/m}^3$
9. แผ่นระนาบบางวางอยู่ระหว่างชั้นของน้ำมันสองชนิดดังภาพข้างล่าง และแผ่นระนาบนี้ถูกดึงด้วยความเร็ว 0.4 m/s และเกิดแรงเฉือน 30 N จงคำนวณหาความหนืดพลวัตของน้ำมันทั้งสองชนิดนี้ เมื่อความหนืดพลวัตของน้ำมันชนิดที่หนึ่งเป็นสองเท่าของความหนืดพลวัตของน้ำมันชนิดที่สอง



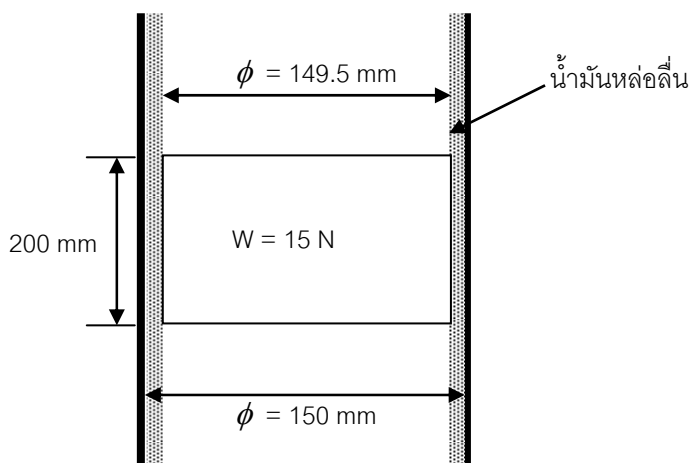
10. ท่อนทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 in ยาว 3 ft ถูกวางไว้ในตามแนวเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อที่มีขนาด 8.25 in ดังภาพข้างล่าง จงคำนวณหาแรงดึงที่จะต้องใช้เพื่อให้ท่อนทรงกระบอกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 3 ft/s และระหว่างท่อนทรงกระบอกกับท่อถูกรบรจุด้วยน้ำมันชนิดหนึ่งที่มีความหนืดจลน์ $0.006 \text{ ft}^2/\text{s}$ และความถ่วงจำเพาะ 0.92



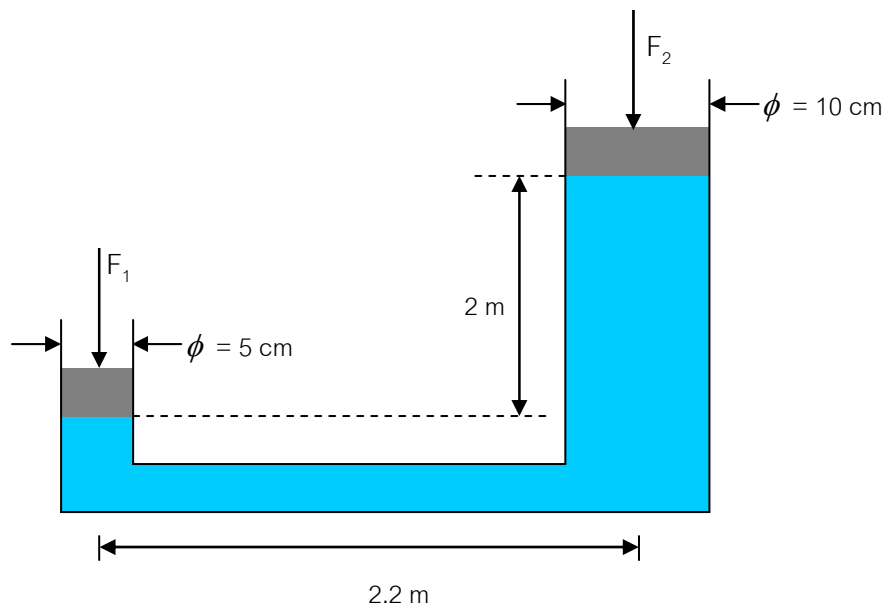
11. จากภาพข้างล่าง จงคำนวณความเร็วที่เกิดขึ้นเมื่อความหนืดพลวัตเท่ากับ 0.0167 lb s/ft^2



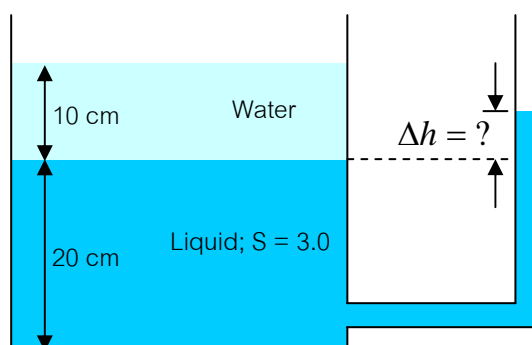
12. จากภาพข้างล่างเมื่อก้อนน้ำหนักตกลงมา จงคำนวณความเร็วที่เกิดขึ้น เมื่อความหนืดพลวัตของน้ำมันหล่อลื่นเท่ากับ 0.0794 Pa s



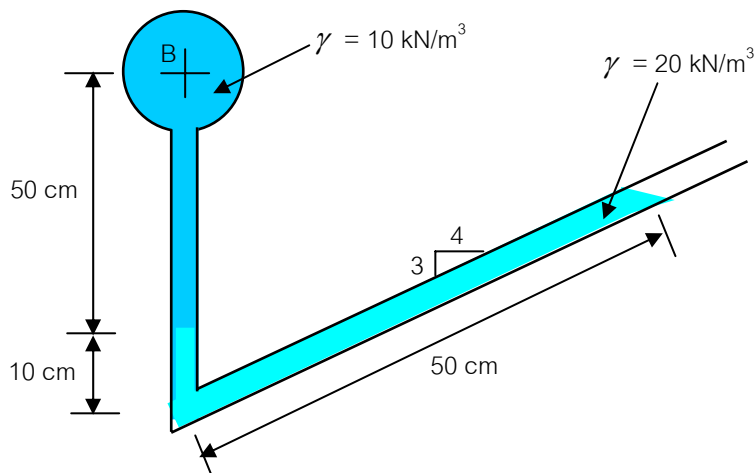
13. วัตถุชิ้นหนึ่งหนัก 45 kg มีผิวเรียบพื้นที่ 0.15 m^2 และวางอยู่บนระนาบเอียงทำมุม 30° กับแนวระดับ เลื่อนไถลลงมาตามระนาบเอียงด้วยความเร็วคงที่ 1 m/s โดยระหว่างผิวของวัตถุกับระนาบเอียงมีน้ำมันหล่อลื่นที่มีความหนืดพลวัต 1 poise จงคำนวณหาความหนาของน้ำมันหล่อลื่น
14. จงคำนวณหาความสูงของน้ำสูงสุดในหลอดรูเล็กขนาด 0.5 mm เมื่อน้ำมีความหนาแน่น 998.2 kg/m^3 และมีแรงตึง 0.728 N/m
15. จงคำนวณหาแรง เพื่อดึงวงแหวนบาง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 mm ออกจากผิวน้ำ เมื่อน้ำมีแรงตึงผิว 0.073 N/m
16. จากรูป ลูกสูบ (Piston) ถูกแรง $F_1 = 200 \text{ N}$ กระทำ จงหาขนาดของแรง F_2 เพื่อให้ระบบอยู่ในสภาวะสมดุล เมื่อน้ำมันที่มีความถ่วงจำเพาะ $S = 0.85$



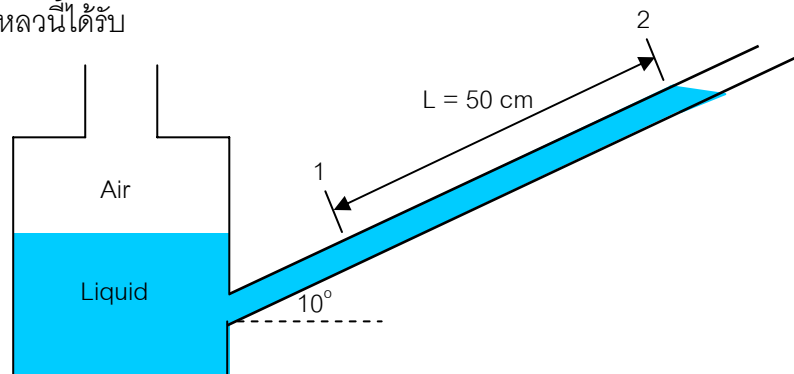
17. จากรูป จงหา $\Delta h = ?$



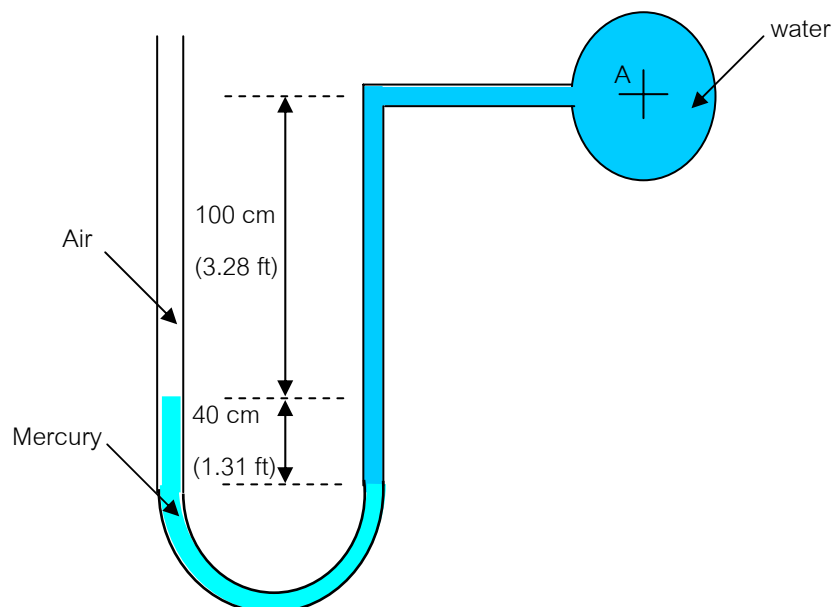
18. จงหาความดันที่จุด B



19. จากรูป อัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่างถังและท่อเท่ากับ 8 และถึงบรรจุของเหลวชนิดหนึ่งที่มีความหนาแน่น 800 kg/m^3 โดยเมื่อผิวของเหลวสัมผัสกับอากาศ ของเหลวในท่อจะอยู่ที่ตำแหน่ง 1 เมื่ออากาศได้รับความดันเข้าไปทำให้ของเหลวเคลื่อนที่ขึ้นไปตำแหน่ง 2 จงหาความดันที่ของเหลวนี้ได้รับ



20. จงหาความดันเกจที่จุด A ในหน่วย lb/in^2 และ kPa



คำตอบ

1. น้ำหนักจำเพาะ = 10 kN/m^3 ความหนาแน่น = 1019.36 kg/m^3 และความถ่วงจำเพาะ = 1.02
2. น้ำหนักจำเพาะ = 49.3 lb/ft^3 ความถ่วงจำเพาะ = 0.79 และปริมาตรจำเพาะ = $0.65 \text{ ft}^3/\text{slug}$
3. ปริมาตรจำเพาะ = $1.21 \text{ m}^3/\text{kg}$ และความถ่วงจำเพาะ = 0.826
4. น้ำหนักจำเพาะ = 7.26 kN/m^3 , ความหนาแน่น = 740 kg/m^3 , ปริมาตรจำเพาะ = $0.0014 \text{ m}^3/\text{kg}$ และความถ่วงจำเพาะ = 0.74
5. โมดูลัสความยืดหยุ่น = $1.83 \times 10^6 \text{ kPa}$
6. $P = 21700 \text{ kPa}$
7. โมดูลัสความยืดหยุ่น = $77,208.15 \text{ psi}$
8. อัตราส่วนระหว่างความหนืดจลน์ของอากาศและของน้ำ = 10.49
9. $\mu_1 = 0.967 \text{ Pa-s}$ และ $\mu_2 = 1.93 \text{ Pa-s}$
10. แรงตึง = 19.3 lb
11. ความเร็ว = 0.6 ft/s
12. ความเร็ว = 50 mm/s
13. ความหนาของน้ำมันหล่อลื่น = 0.068 mm
14. $h = 0.06 \text{ m}$
15. $F = 0.0092 \text{ N}$
16. $F_2 = 669 \text{ N}$
17. $\Delta h = 3.33 \text{ cm}$
18. ความดันที่เจาะ B = -1 KPa
19. $P = 743 \text{ kPa}$
20. ความดันเกจที่เจาะ A = 5.72 psi
ความดันเกจที่เจาะ A = 39.5 kPa