

บทเรียนที่

8

สมบัติของ ของไหลเบื้องต้น

วิชา กลศาสตร์เครื่องกล



1 ความหมายของของไหล

ของไหล (Fluid) หมายถึง สสารที่สามารถไหลจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่งได้ มีรูปร่างไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับภาชนะที่บรรจุของไหลอยู่ ของไหลไม่สามารถทนต่อแรงเฉือนได้ ไม่ว่าแรงเฉือนนั้นจะมีค่าเท่าใดก็ตาม ของไหลในที่นี้ก็คือ ของเหลว และแก๊ส



1.1 ของไหลอยู่ในสถานะของเหลว (Liquid)

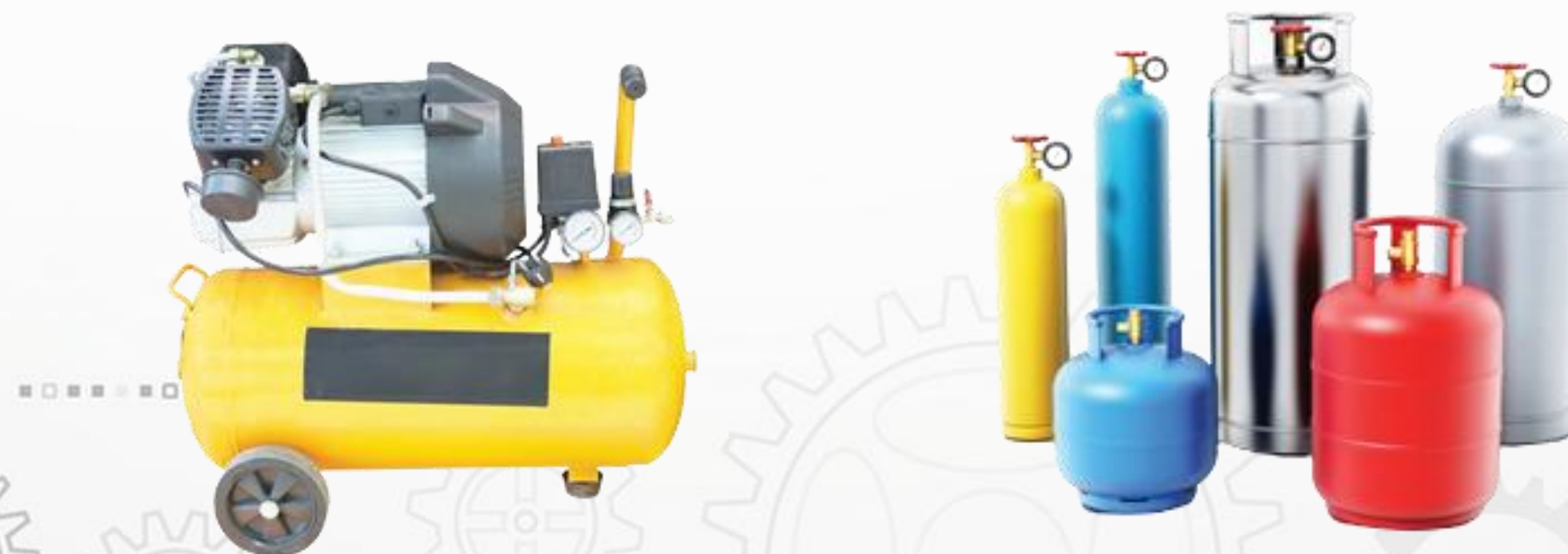
ของไหลที่อยู่ในสถานะของเหลวคือสสารที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคน้อยกว่าของแข็ง ทำให้มีปริมาตรคงที่แต่รูปร่างไม่แน่นอน เปลี่ยนแปลงไปตามภาชนะที่บรรจุ โดยมี "ผิวอิสระ" (Free Surface) กั้นแบ่งระหว่างของเหลวกับของไหลอื่น ซึ่งจะวางตัวในแนวราบเสมอ ของเหลวยังมีคุณสมบัติที่บีบอัดได้ยาก เนื่องจากโมเลกุลอยู่ใกล้กันมาก ตัวอย่างเช่น น้ำและน้ำมัน



1.2

ของไหลอยู่ในสถานะแก๊ส (Gas)

สสารที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคน้อยมาก จะทำให้อนุภาคฟุ้งกระจายเต็มภาชนะที่บรรจุตลอดเวลา แก๊สจึงมีปริมาตรและรูปร่างไม่แน่นอน เปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของภาชนะที่บรรจุ นอกจากนี้ แก๊สไม่มีผิวอิสระเหมือนของเหลว และสามารถถูกบีบอัดได้ง่ายกว่าของเหลวมาก เนื่องจากมีระยะห่างระหว่างโมเลกุลมากกว่า ตัวอย่างแก๊สที่เราพบเห็นบ่อย ๆ เช่น อากาศในปั๊มลม และแก๊สหุงต้มในถัง





สมบัติของของไหล

สมบัติของของไหล (Properties of Fluid) เป็นปัจจัยหลักที่ต้องทราบเพื่อที่จะศึกษาวิชากลศาสตร์ โดยของไหลมีสมบัติหลายอย่างที่ควรทราบ ในบทเรียนนี้จะเน้นถึงสมบัติที่สำคัญ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณ หรือวิเคราะห์ปัญหาทางด้านกลศาสตร์ ได้แก่

2.1

ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่น คือ มวลของสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร สามารถเขียนแทนค่าของความหนาแน่น โดยใช้สัญลักษณ์ ρ ความหนาแน่นเป็นปริมาณสเกลาร์ ความหนาแน่นแบ่งได้ 2 ประเภท คือ ความหนาแน่นสัมบูรณ์และความหนาแน่นสัมพัทธ์



1 **ความหนาแน่นสัมบูรณ์** คือ ความหนาแน่นที่แท้จริงของวัตถุนั้น หน่วยของความหนาแน่นในระบบ SI คือ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) ในระบบ cgs (centimeter, gram และ second) กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) โดยที่ $1 \text{ g/cm}^3 = 1,000 \text{ kg/m}^3$
สมการของความหนาแน่นมีดังนี้

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

โดย ρ คือ ความหนาแน่น (kg/m^3)

m คือ มวลของสาร (kg)

V คือ ปริมาตรของสาร (m^3)



ตารางแสดงความหนาแน่นของอากาศที่ระดับความสูงจากน้ำทะเลในระดับต่าง ๆ

ความสูง จากระดับน้ำทะเล กิโลเมตร (km)	ความหนาแน่นของอากาศ เป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm ³)	ความหนาแน่นของอากาศ เป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m ³)
0	0.001292	1.292
2	0.001007	1.007
4	0.000819	0.819
6	0.000660	0.660
8	0.000526	0.526
10	0.000414	0.414

ความหนาแน่นของน้ำในมหาสมุทรจะเพิ่มขึ้นตามความลึก
โดยทั่วไปแล้ว ความหนาแน่นเฉลี่ยของสารจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และ ความดัน

ตารางแสดงความหนาแน่นของสารชนิดต่าง ๆ

สาร	ความหนาแน่น (kg/m ³)	สาร	ความหนาแน่น (kg/m ³)
เบนซิน	0.86×10^3	เหล็ก	7.86×10^3
เอทานอล	0.81×10^3	ทองแดง	8.90×10^3
น้ำทะเล	1.024×10^3	เงิน	10.50×10^3
น้ำแข็ง	0.917×10^3	ตะกั่ว	11.35×10^3
น้ำ (4°C)	1.00×10^3	ปรอท	13.60×10^3
ออกซิเจน	1.429	ทอง	19.30×10^3
อากาศ	1.292	ทองเหลือง	8.6×10^3
ไนโตรเจน	1.251	อะลูมิเนียม	2.70×10^3
ไฮโดรเจน	0.090	ออสเมียม	22.59×10^3

แก๊ส มีความหนาแน่นที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและความดันได้ง่ายกว่าของเหลวมาก เนื่องจากโมเลกุลของแก๊สอยู่ห่างกันและมีพื้นที่ว่างมาก

ของเหลว มีความหนาแน่นมากกว่าแก๊ส เพราะโมเลกุลอยู่ใกล้ชิดกันมากกว่า

สารสองชนิดที่มีปริมาตรเท่ากันแต่มีมวลต่างกัน จะมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน



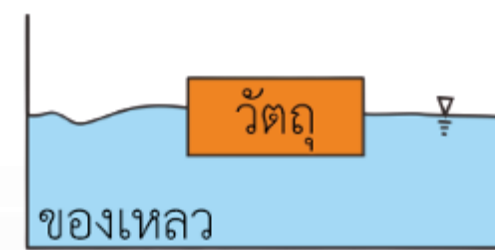
2 ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของสาร (Relative Density)

คือ อัตราส่วนความหนาแน่นของสารนั้นเทียบกับความหนาแน่นของน้ำบริสุทธิ์ที่ 4 องศาเซลเซียส สมการของความหนาแน่นสัมพัทธ์มีดังนี้

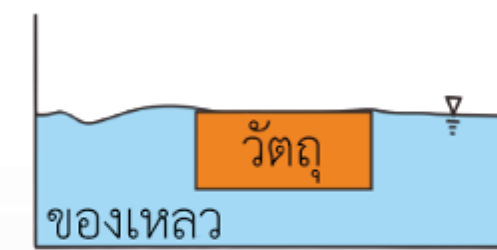
$$\rho_{\text{สัมพัทธ์}} = \frac{\rho_{\text{วัตถุ}}}{\rho_{\text{น้ำ}}}$$

3 ความหนาแน่นของสารกับแรงลอยตัว

ถ้าวัตถุจมอยู่ที่เดียวแต่มีความหนาแน่นต่างกัน สามารถอธิบายได้ดังรูป



$$\rho_{\text{วัตถุ}} < \rho_{\text{ของเหลว}}$$



$$\rho_{\text{วัตถุ}} = \rho_{\text{ของเหลว}}$$

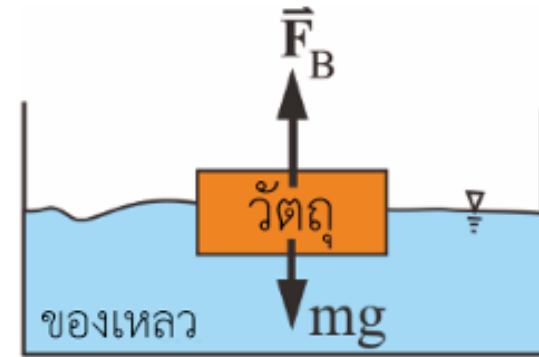


$$\rho_{\text{วัตถุ}} > \rho_{\text{ของเหลว}}$$

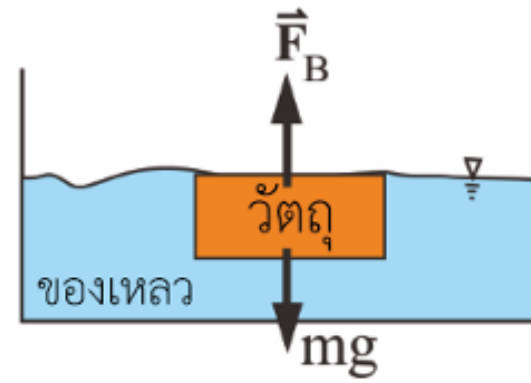
จากรูปเมื่อนำหลักของอาร์คิมิดีส ที่กล่าวว่า วัตถุใด ๆ ที่จมอยู่ในของไหลทั้งก้อน

หรือจมเพียงบางส่วนจะถูกแรงลอยตัวกระทำและขนาดของแรงลอยตัวนั้น

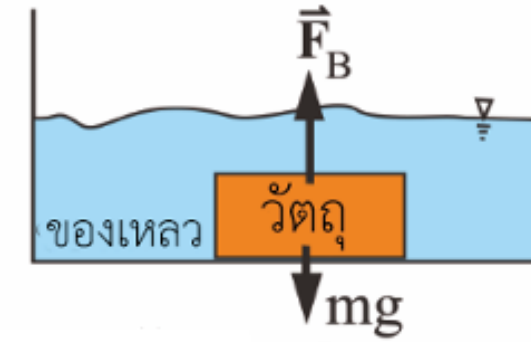
- จะมีค่าเท่ากับน้ำหนักของของไหลที่ถูกวัตถุแทนที่พิจารณารูปต่อไปนี้



$$\rho_{\text{วัตถุ}} < \rho_{\text{ของเหลว}}$$



$$\rho_{\text{วัตถุ}} = \rho_{\text{ของเหลว}}$$



$$\rho_{\text{วัตถุ}} > \rho_{\text{ของเหลว}}$$

ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\vec{F}_B = mg$$

โดย \vec{F}_B คือ แรงลอยตัว (Buoyant Force) (N)
 m คือ มวลของวัตถุ (kg)
 g คือ ความเร่งโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)

ดังนั้นแรงลอยตัวจะขึ้นกับความหนาแน่นของของไหลนั้น และปริมาตรของวัตถุส่วนที่จม จะได้สมการแรงลอยตัว คือ

$$m = \rho V$$

$$\vec{F}_B = \rho V g$$

2.2

ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume)

ปริมาตรของไหลต่อหนึ่งหน่วยมวล แทนด้วยสัญลักษณ์เป็นภาษากรีก “ ν ” เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\nu = \frac{V}{m}$$

โดย ν คือ ปริมาตรจำเพาะ (m^3/kg)
 m คือ มวลของสาร (kg)
 V คือ ปริมาตรของสาร (m^3)

เมื่อพิจารณาสมการของปริมาตรจำเพาะ
ก็คือส่วนกลับของค่าความหนาแน่นของสาร
เขียนสมการได้คือ

$$\nu = \frac{1}{\rho}$$

2.3 น้ำหนักจำเพาะ (Specific Weight)

น้ำหนักของของไหลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร แทนด้วยสัญลักษณ์เป็นภาษากรีก “ γ ” เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\gamma &= \frac{W}{V} \\ &= \frac{mg}{V}\end{aligned}$$

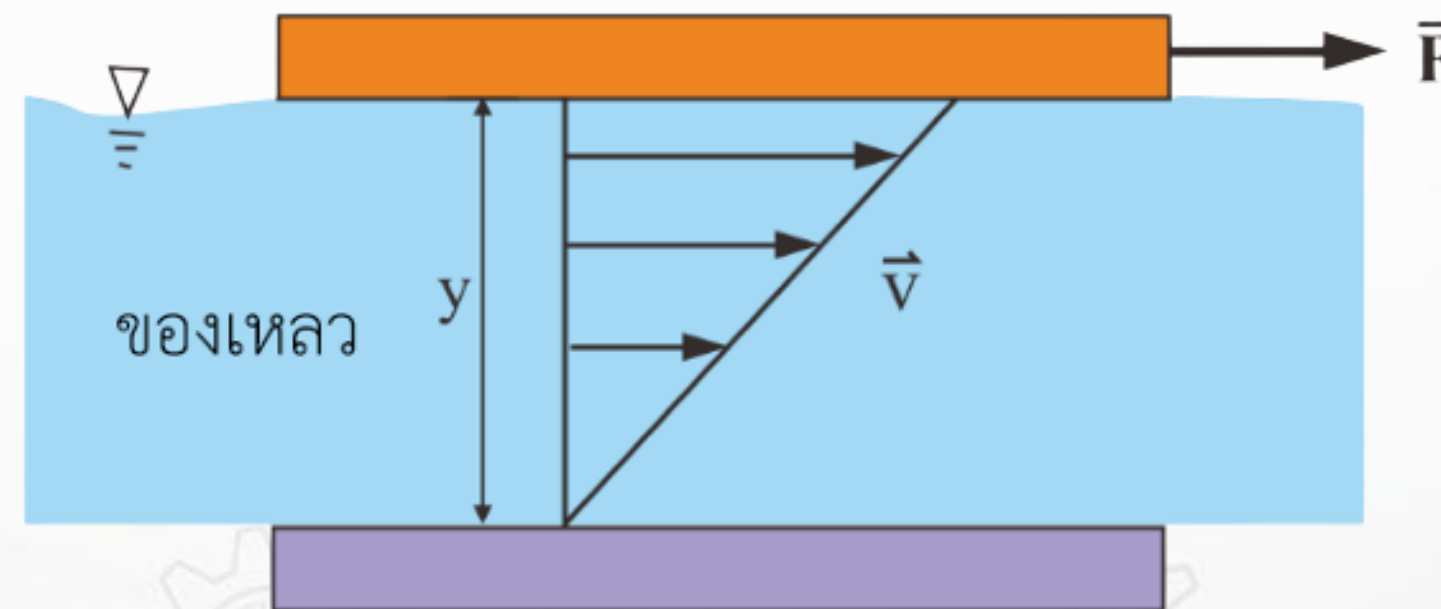
$$\gamma = \rho g$$

โดย γ คือ น้ำหนักจำเพาะ (N/m^3)
 W คือ น้ำหนักของของไหล (N)
 V คือ ปริมาตรของสาร (m^3)

น้ำหนักจำเพาะของน้ำมีค่าเท่ากับ 9,810 นิวตันต่อลูกบาศก์เมตร
โดยวัดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และที่ความดันบรรยากาศ ($1 \text{ atm} = 101,325 \text{ Pa}$)

2.4 ความหนืด (Viscosity)

เมื่อของไหลถูกกระทำด้วยแรงเฉือน จะเกิดแรงต้านทานการไหลที่เรียกว่า ความหนืด ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ " μ " ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือการหยดของน้ำมันเครื่องที่ช้ากว่าน้ำภายใต้อุณหภูมิและความดันเดียวกัน ดังนั้นน้ำมันเครื่องมีความหนืดสูงกว่าน้ำ คุณสมบัตินี้บ่งชี้ถึงความสามารถของของไหลในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากการเฉือน โดยของไหลที่มีความหนืดสูงจะไหลช้ากว่าของไหลที่มีความหนืดต่ำ นอกจากนี้ อุณหภูมิก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความหนืด โดยความหนืดของของเหลวจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



จากข้อมูลข้างต้น ความหนืด (Viscosity) คือ อัตราส่วนระหว่างความเค้นเฉือน (F/A) ต่อการไต่ระดับความเร็วในของไหล โดยความเค้นเฉือนนี้มีสัญลักษณ์เป็น τ (เทา) ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและแรงต้านการเฉือนที่เกิดขึ้นเมื่อของไหลถูกแรงเฉือนกระทำที่ผิว จะได้สมการดังนี้

$$\tau = \frac{\mu v}{y}$$

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

$$\frac{F}{A} = \frac{\mu v}{y}$$

$$F = \frac{\mu v A}{y}$$

โดย	τ	คือ	ความเค้นเฉือนของของไหล (N/m^2)
	F	คือ	แรงดิ่งที่กระทำกับแผ่นราบแผ่นบน (N)
	μ	คือ	ความหนืดสัมบูรณ์ ($N.s/m^2 = Pa.s$)
	A	คือ	พื้นที่ส่วนสัมผัสกับของเหลวของแผ่นราบแผ่นบน (m^2)
	v	คือ	ความเร็วของการเคลื่อนที่ของแผ่นบน (m/s)
	y	คือ	ระยะห่างระหว่างผิวของแผ่นงานทั้งสอง (m)

หน่วยความหนืดตามมาตรฐาน SI
 ความหนืด คือ พาสคัลวินาที [Pa.s]
 ในความเป็นจริงหน่วยพาสคัลวินาที
 แทบจะไม่เคยใช้ในทางวิทยาศาสตร์และทางเทคนิค
 ในปัจจุบัน หน่วยความหนืดที่พบบ่อยที่สุด
 คือ มิลลิพาสคัลวินาที [mPa.s]
 ซึ่งมีค่าเท่ากับเซนติพอยซ์ [cP]
 (หน่วยที่นิยมใช้ในสหรัฐอเมริกา)

$$1 \text{ mPa.s} = 1 \text{ cP}$$

$$1 \text{ Poise (P)} = 0.1 \text{ N.s/m}^2 = 0.1 \text{ Pa.s}$$

$$1 \text{ Centipoise (cP)} = 0.01 \text{ Poise} = 0.001 \text{ Pa.s}$$

ค่าความหนืดสัมบูรณ์ของน้ำและอากาศ

อุณหภูมิ (°C)	น้ำ	อากาศ
	$\mu \times 10^5$	$\mu \times 10^5$
0	179.2	1.727
10	130.7	1.773
20	100.2	1.822
30	79.7	1.869
40	65.3	1.915



2.5 ความตึงผิว (Surface Tension)

ความตึงผิวที่มีอยู่ในธรรมชาติ ได้แก่ น้ำกลิ้งบนใบบัว แผลงบนผิวน้ำ ลวดในแก้วน้ำ อธิบายได้ดังรูป



สมการที่ใช้หาค่าความตึงผิวได้ดังนี้

$$\gamma = \frac{F}{l}$$

โดย

γ

คือ

ความตึงผิวของของไหล (N/m)

F

คือ

แรงตึงผิว (N)

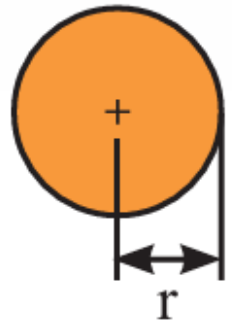
l

คือ

ความยาวของผิวที่วัตถุแทนที่ของเหลว (m)

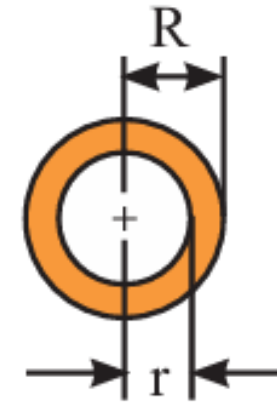
การพิจารณาความยาวของผิวที่วัตถุแทนที่ของเหลว (l) พิจารณาดังนี้

กรณี 1 วัตถุเป็นแผ่นกลมอยู่บนผิวของเหลว



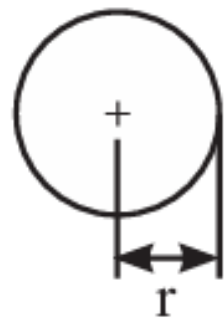
$$l = \text{เส้นรอบวง } (2\pi r)$$

กรณี 2 วัตถุเป็นแผ่นวงแหวนอยู่บนผิวของเหลว



$$l = \text{เส้นรอบวงนอก} + \text{เส้นรอบวงใน} \\ (2\pi R + 2\pi r)$$

กรณี 3 วัตถุเป็นห่วงวงกลมบางอยู่บนผิวของเหลว



$$l = \text{สองเท่าเส้นรอบวง } (2 \times 2\pi r)$$

กรณี 4 วัตถุเป็นรูปเหลี่ยมอยู่บนผิวของเหลว

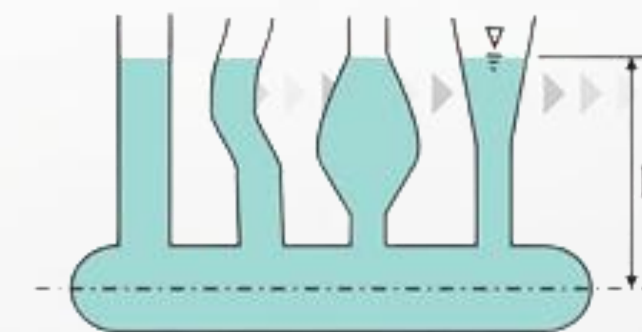
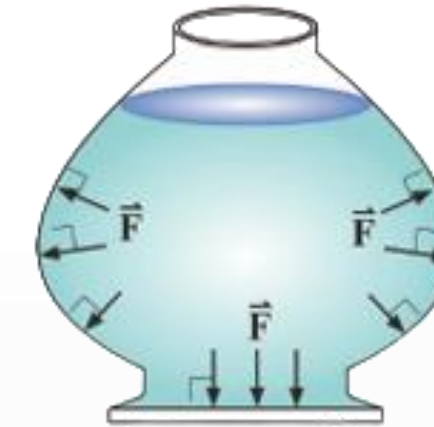
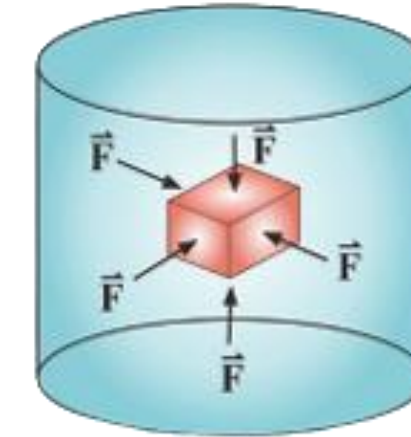


$$l = \text{ความยาวเส้นรอบวง}$$

2.6 ความดัน (Pressure)

1 หลักการความดันในของเหลว

- 1.แรงกระทำรอบทิศทาง: ณ จุดใด ๆ ในของเหลวที่อยู่หนึ่ง แรงกระทำจากของเหลวจะเกิดขึ้นในทุกทิศทุกทาง
- 2.แรงกระทำตั้งฉาก: แรงที่ของเหลวกระทำต่อผนังภาชนะหรือพื้นผิวของวัตถุที่อยู่ในของเหลวจะตั้งฉากกับพื้นผิวนั้นเสมอ
- 3.ความดันไม่ขึ้นกับรูปร่างภาชนะ: ความดันในของเหลวชนิดเดียวกันที่ความลึกเท่ากันจะมีค่าเท่ากันเสมอ โดยไม่ขึ้นอยู่กับปริมาตรหรือรูปร่างของภาชนะที่บรรจุของเหลว
- 4.ความดันเพิ่มตามความลึก: ความดันของของเหลวที่อยู่หนึ่งจะเพิ่มขึ้นตามความลึกที่มากขึ้นจากผิวหน้าของของเหลว



2 การจำแนกชนิดของความดัน

1) **ความดันบรรยากาศ** เรียกว่า Standard Atmosphere เขียนย่อว่า atm ความดัน 1 atm คือ ความดันบรรยากาศโดยเฉลี่ยบนผิวโลก วัดที่ระดับน้ำทะเล มีค่าเท่ากับ 760 mmHg หรือ 101.325 kPa ใช้สัญลักษณ์ P_{atm}

2) **ความดันเกจ (Gauge Pressure)** คือ ความดันของเหลวเนื่องจากน้ำหนักของเหลว ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย P_g มีสมการดังนี้

$$P_g = \rho gh$$

โดย P_g คือ ความดันเกจหรือความดันของเหลวเนื่องจากน้ำหนักของเหลว
 ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว
 h คือ ความสูงหรือความลึกของของเหลวจากผิวของเหลว

3 ความดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure)

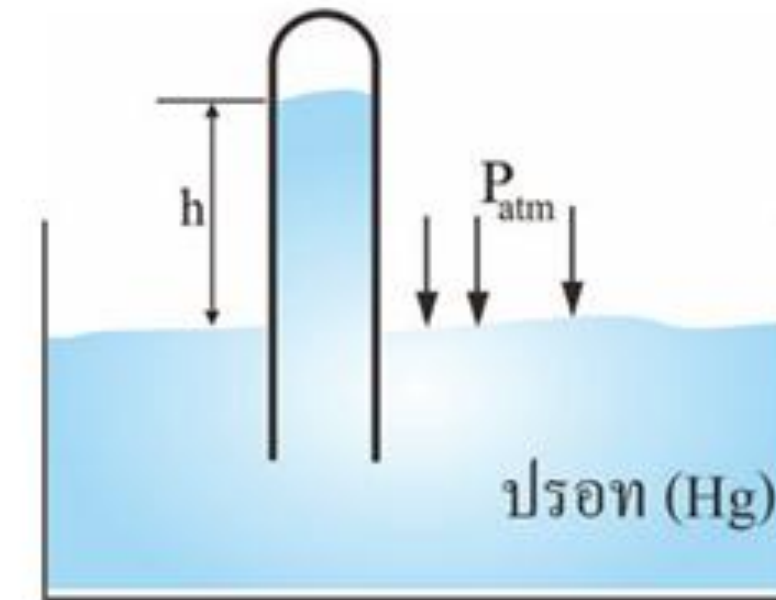
คือ ความดันทั้งหมดที่เกิดจากของไหล รวมทั้งความดันบรรยากาศและความดันที่เกิดจากของไหลเอง วัดโดยเทียบกับความดันเป็นศูนย์สัมบูรณ์ ซึ่งเป็นจุดอ้างอิงทางทฤษฎีเมื่อไม่มีความดันทั้งหมด โดยทั่วไปความดันสัมบูรณ์จะแสดงเป็นหน่วย เช่น พาสคัล (Pa) ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) ใช้สัญลักษณ์แทนด้วย P_{abs} มีสมการดังนี้

$$P_{abs} = P_{atm} + P_g$$

โดย	P_{abs}	คือ	ความดันสัมบูรณ์
	P_{atm}	คือ	ความดันบรรยากาศ
	P_g	คือ	ความดันเกจ

4 เครื่องมือวัดความดัน

บารอมิเตอร์ (Barometer) เป็นเครื่องมือวัดความดันบรรยากาศ ประกอบด้วยหลอดแก้ว สูญญากาศ ความสูงในอ่างปรอท หรือของเหลวอื่น ๆ ดังรูป



ความดันบรรยากาศจะวัดออกมาเป็นความสูงของของไหลในหลอดแก้ว มีค่าเป็น h มีสมการดังนี้

$$P_{\text{atm}} = \rho gh$$

$$= \gamma h$$

