บทที่ 6
กลศาสตร์ของไหล

ของไหล คือ สสารที่สามารถเปลี่ยนรูปร่างไปตามภาชนะ หรือบริเวณ ของไหลจึงหมายถึงของเหลวหรือก๊าซ

ความหนาแน่นและความดัน

ความหนาแน่น คือ มวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร

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

ในระบบ SI ความหนาแน่นมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) และบางครั้งจะใช้กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3)

สาร	อุณหภูมิ (°C)	ความหนาแน่น (kg/m^3)
อากาศที่ความดัน 1 บรรยากาศ	0	1.29
อากาศที่ความดัน 1 บรรยากาศ	20	1.20
ก๊าซฮีเลียมที่ความดัน 1 บรรยากาศ	0	0.179
น้ำ	4	1.00×10^3
น้ำ	20	0.998×10^3
น้ำทะเล	20	1.025×10^3
ปรอท	0	13.6×10^3
อลูมิเนียม	20	2.70×10^3
ทองเหลือง	20	8.7×10^3
ทองแดง	20	8.89×10^3
เหล็ก	20	7.86×10^3
ตะกั่ว	20	11.3×10^3

ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) หรือ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (relative density) ของสารใดคืออัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของสารนั้นต่อความหนาแน่นของน้ำ ดังนั้น ความถ่วงจำเพาะจึงไม่มีหน่วย

ตัวอย่างที่ 6.1 ทองเหลืองทรงลูกบาศก์แท่งหนึ่ง มีความยาวของแต่ละด้านเท่ากับ 10.00 cm จงหา

(ก) มวลของทองเหลือง

(ข) ขนาดของน้ำแข็งทรงลูกบาศก์ที่มีมวลเท่ากับทองเหลืองแท่งดังกล่าว

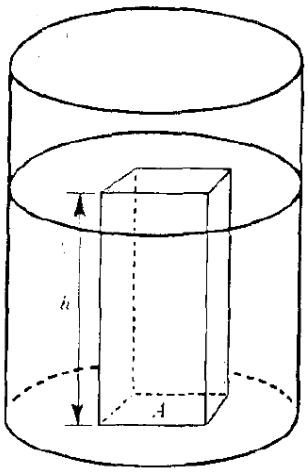
ความดัน (pressure) นิยามว่า แรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

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

ดังนั้นความดันจึงมีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร ($N.m^{-2}$)

ความดันบรรยากาศ มีค่าเท่ากับ 1.01325×10^5 $N.m^{-2}$ หรือ 760 มิลลิเมตรปรอท

ความดันเนื่องจากของไหล สามารถพิจารณาได้จากรูปต่อไปนี้



$$P_G = \frac{W}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{Ah\rho g}{A} = \rho gh$$

จะเห็นได้ว่า ความดันขึ้นกับความลึกหรือความสูง (h) และขึ้นกับชนิดของของไหล (ρ)

ความดันสมบูรณ์ (absolute pressure) คือ ความดันของของเหลวที่จุดใดๆ ที่รวมกับกับความดันบรรยากาศ

$$P = P_G + P_a$$

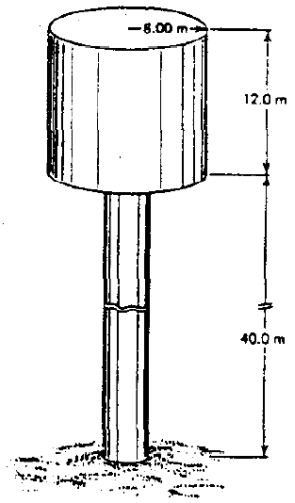
ตัวอย่างที่ 6.2 แท้งค์น้ำหมู่บ้านจัดสรรแห่งหนึ่งเป็นรูปทรงกระบอกมีรัศมี 8.0 เมตร ความสูง 12.0 เมตร ใส่น้ำเต็มแท้งค์ และตั้งสูงจากพื้นดิน 40 เมตร ดังรูปจงหา

ก.แรงทั้งหมดที่ก้นแท้งค์

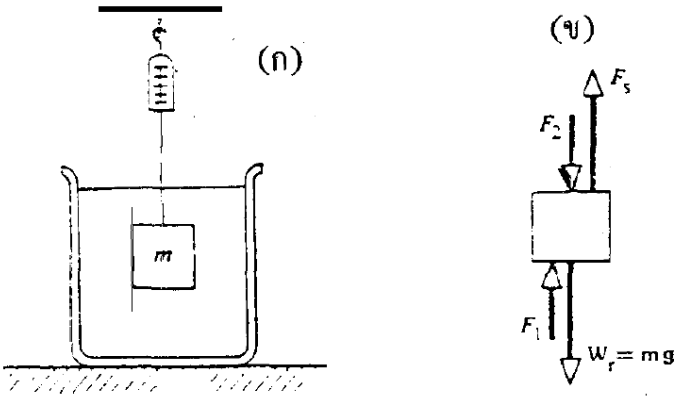
ข.แรงทั้งหมดที่ดันข้างแท้งค์

ค.ความดันที่ก้นแทงค์

ง.ความดันที่ระดับพื้นดิน



หลักของอาร์คิมีดีส (Archimedes Principle) กล่าวว่า เมื่อส่วนหนึ่งส่วนใดของวัตถุหรือวัตถุทั้งก้อนจมในของเหลว จะมีแรงลอยตัวกระทำต่อวัตถุนั้นเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่



$$B = \rho_{\text{เหลว}} V_{\text{วัตถุส่วนที่จม}} g$$

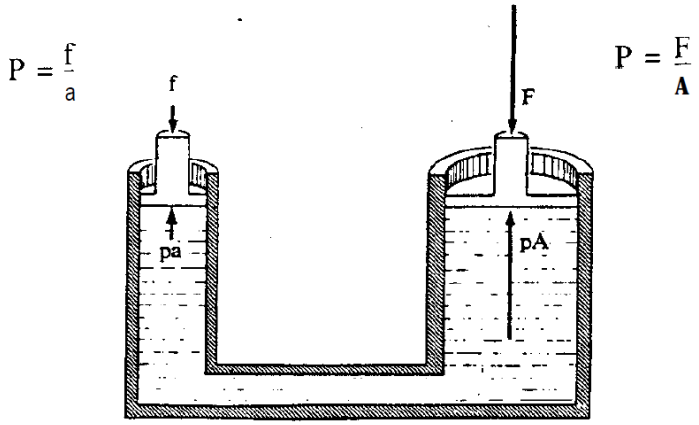
พิจารณาวัตถุลอยอยู่ในของเหลว แรงเนื่องจากความโน้มถ่วงกระทำต่อวัตถุ เท่ากับ $F = mg$ แรงพยุงที่กระทะต่อวัตถุเท่ากั $B = \rho Vg$ บ ดังนั้นแรงลัพธ์มีค่าเท่ากับ

$$\Sigma F = F - B = mg - \rho Vg$$

หากว่าน้ำหนักที่กระทำต่อวัตถุมีค่ามากกว่าแรงพยุง จะทำให้วัตถุจมลงไปในของเหลวนั้น หรือหากว่าแรงพยุงมีค่ามากกว่าน้ำหนัก จะทำให้วัตถุลอยขึ้นบนผิวน้ำ

ตัวอย่างที่ 6.3 ลูกลอยทรงกลมที่ใช้ในเครื่องสุขภัณฑ์ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 cm ขณะที่ลอยอยู่มีปริมาตรส่วนที่จมน้ำเพียงครึ่งหนึ่งของทรงกลม จงหาน้ำหนักของลูกลอย ถ้ามีน้ำรั่วเข้าไปภายใน น้ำจะรั่วเข้าไปเท่าใดจึงจะทำให้ลูกลอยจมมิดน้ำพอดี ให้ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 10^3 kg.m^{-3}

หลักของปาสคาล (Pascal's principles) กล่าวว่า ถ้าให้ความดันแก่ของเหลวที่อยู่ในภาชนะปิดใดๆ ความดันนั้นจะส่งไปทั่วทุกๆ ส่วนของของเหลวนั้น และที่ผนังของภาชนะซึ่งบรรจุของเหลวนั้นด้วยขนาดเท่ากันตลอด



พิจารณาความดันที่ลูกสูบเล็ก

$$p = \frac{f}{a}$$

พิจารณาความดันที่ลูกสูบใหญ่

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

จากหลักของปาสคาลจะได้

$$P = p$$

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

ตัวอย่างที่ 6.4 เครื่องอัดไฮดรอลิกเครื่องหนึ่ง กำหนดให้ลูกสูบเล็กมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm ออกแรงกดขนาด 50 N ทำให้ลูกสูบเล็กเคลื่อนที่ลง 7 cm ถ้าลูกสูบใหญ่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm จงคำนวณหา

ก. แรงดันบนลูกสูบใหญ่

ข. ความดันบนลูกสูบใหญ่

ค. ถ้าต้องการให้ลูกสูบใหญ่เคลื่อนที่ขึ้นสูง 10 cm จะต้องออกแรงกดที่ลูกสูบเล็กกี่ครั้ง

ความตึงผิว

แรงเชื่อมแน่นและแรงยึดติด ขณะที่โมเลกุลของของเหลวอยู่ติดกันจะมีแรง 2 แรงกระทำคือ

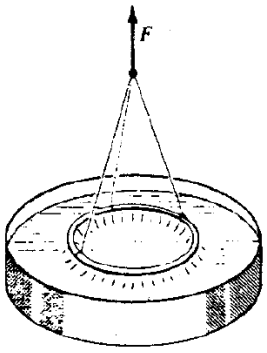
1. แรงเชื่อมแน่น คือแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของสารเดียวกัน เช่นโมเลกุลของน้ำกับโมเลกุลของน้ำ เป็นต้น
2. แรงยึดติด คือแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของสารต่างชนิดกัน เช่นโมเลกุลของกาวกับโมเลกุลของไม้ โมเลกุลของน้ำกับโมเลกุลของแก้ว เป็นต้น

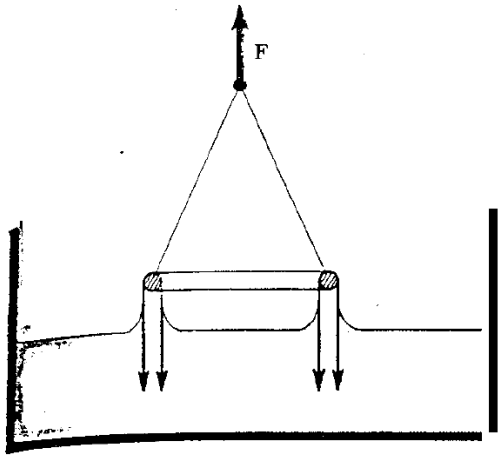
ความตึงผิว เป็นปรากฏการณ์ที่วัตถุซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าของเหลวแต่สามารถลอยอยู่เหนือของเหลวได้ โดยเป็นผลมาจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลวช่วยยึดให้โมเลกุลอยู่ใกล้กัน

ถ้าให้ γ (แกมมา) คือความตึงผิว ซึ่งมีหน่วยเป็นนิวตันต่อเมตร ($N.m^{-1}$) จึงมีนิยามว่า ความตึงผิวคืออัตราส่วนของแรงที่กระทำไปตามผิวของของเหลวต่อความยาวของผิวที่ถูกกระทำ ความยาวนี้ต้องตั้งฉากกับแรงด้วย เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

ตัวอย่างที่ 6.5 ในการหาความตึงผิวของน้ำมันดิบ โดยแขวนลวดวงแหวนผูกห้อยเป็นสาแหรกดังรูปข้างล่างนี้ ลวดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร เมื่อวงแหวนแตะน้ำมันแล้วปรากฏว่าต้องใช้แรง 8.62×10^{-3} N ดึงขึ้นจากผิวน้ำมัน จงหาความตึงผิวของน้ำมันดิบ



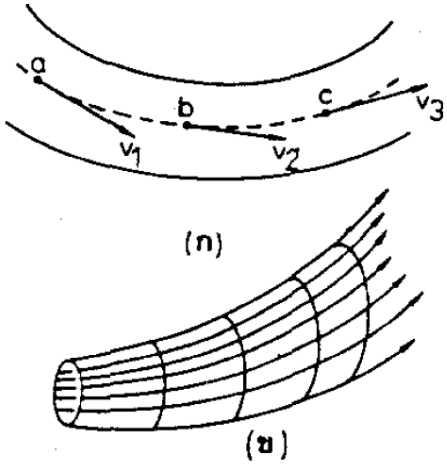


พลศาสตร์ของไหล

เป็นการศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุผ่านของไหลหรือการเคลื่อนของของไหลผ่านวัตถุ โดยในกรณีนี้ทำการศึกษาของไหลแบบอุดมคติ (Ideal fluid) โดยมีเงื่อนไขดังนี้

1. ไม่มีแรงเสียดทานภายในระหว่างชั้นของของไหล หรือไม่มีความหนืด
2. ความหนาแน่นของของไหล ณ จุดต่างๆ มีค่าคงตัว
3. การไหลของของไหลเป็นการไหลแบบคงตัว
4. การไหลต้องเป็นการไหลแบบไม่หมุน

สายกระแส (stream line) คือเส้นโค้งซึ่งสัมผัส ณ จุดใดๆ ของเส้นโค้ง จะอยู่ในทิศของความเร็วของการไหล



สมการแห่งการต่อเนื่อง (equation of continuity) พิจารณาการไหลของของไหลจากพื้นที่หน้าตัด A_1 ด้วยความเร็ว v_1 และไหลออกผ่านพื้นที่หน้าตัด A_2 ด้วยความเร็ว v_2 จะได้สมการแห่งการต่อเนื่องดังนี้

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

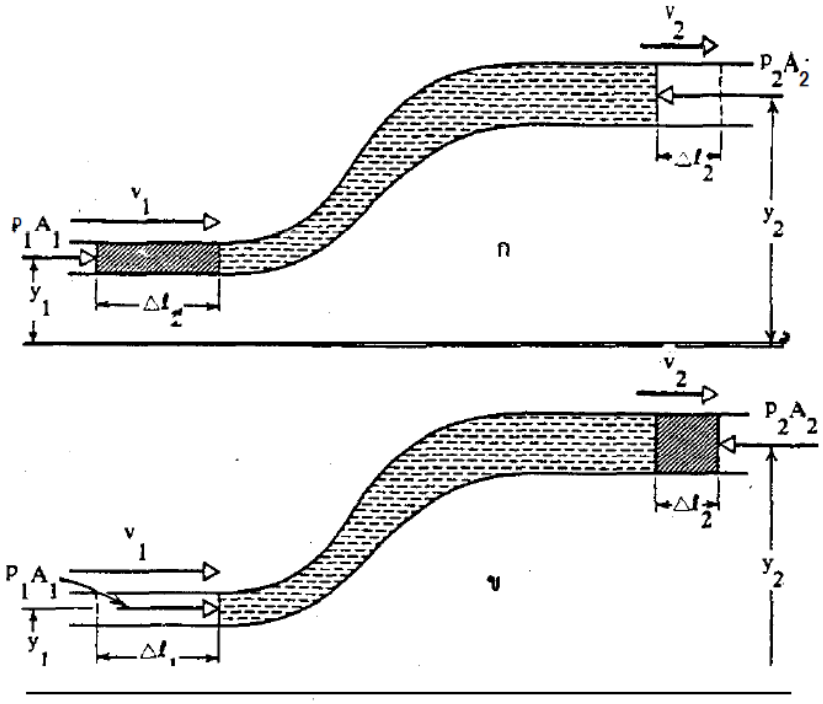
เรียกสมการนี้ว่า สมการแห่งการต่อเนื่อง และ เรียกผลคูณของ Av ว่าอัตราการไหล ซึ่งมีค่าคงตัว

ตัวอย่างที่ 6.6 ความเร็วของน้ำในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 mm เท่ากับ 1.5 m/s ท่อนี้ต่อกับท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 mm สมมติว่าน้ำไหลเต็มทั้งสองท่อจงหา

ก. อัตราการไหล

ข. ความเร็วของท่อน้ำในท่อที่สอง

สมการของแบร์นูลลี (Bernoulli's Equation) เป็นสมการที่หาได้จากทฤษฎีบทของงานและพลังงาน นั้นคือผลรวมของความดันและความหนาแน่นพลังงาน (พลังงานจลน์ + พลังงานศักย์) ของของไหลผ่านท่อ มีค่าคงตัวเสมอ



$$P_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

จะเห็นได้ว่า

$$P + \rho g y + \frac{1}{2}\rho v = \text{ค่าคงที่}$$

ตัวอย่างที่ 6.7 จากรูป ถ้ามีน้ำไหลในท่อด้วยอัตราเร็ว 8 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อล่างและท่อบนมีขนาด 15 และ 30 เซนติเมตรตามลำดับ ท่อบนสูงกว่าท่อล่าง 60 เซนติเมตร ถ้าท่อบนมีความดัน 10^5 นิวตันต่อตารางเมตร จงหาความดันที่ท่อล่าง

ความหนืด (Viscosity) คือค่าความเสียดทานภายในของของไหลซึ่งความเสียดทานระหว่างโมเลกุลของของไหลไป หรือระหว่างวัตถุอื่นกับของไหลขณะเคลื่อนที่ไปในของเหลวนั้น

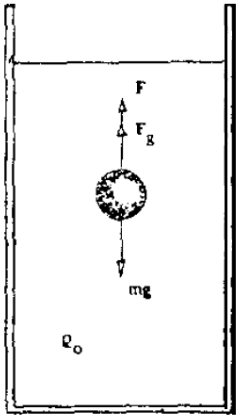
สัมประสิทธิ์แห่งความหนืดของของไหล (coefficient of viscosity) เรียกสั้นๆ ว่า ความหนืด η (eta) มีนิยามว่า อัตราส่วนระหว่างความเค้นเฉือนต่ออัตราการเปลี่ยนของความเครียดเฉือน

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

หน่วยของความหนืด คือ นิวตัน-วินาทีต่อตารางเมตร หรือ ปัวส์ (poise)

กฎของสโตกส์ (stoke's Law) เมื่อวัตถุทรงกลมตันเคลื่อนที่ในของไหลที่มีความหนืดแรงต้านเนื่องจากความหนืด กระทำต่อวัตถุทรงกลมนั้นเป็นปฏิภาคโดยตรงกับอัตราเร็ว ของทรงกลมเทียบกับการไหล สโตกส์ ได้พิสูจน์และตั้งเป็นกฎเรียกว่า กฎของสโตก นั้นคือ

$$F = 6\pi\eta rv$$



พิจารณาทรงกลมที่ถูกปล่อยด้วยความเร็วต้นเป็นศูนย์ ทรงกลมจะเคลื่อนด้วยความเร่งและมีความเร็วเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในขณะเดียวดันแรงต้านเพิ่มขึ้น จนในที่สุดแรงลัพธ์ที่กระทำต่อทรงกลมเป็นศูนย์ ทรงกลมจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ ความเร็วคงที่นี้เรียกว่า ความเร็วสุดท้าย V_T (terminal velocity)

ความเร็วคงที่นี้แสดงว่าทรงกลมสมดุล เพราะฉะนั้น

แรงต้าน + แรงพยุง – น้ำหนักของทรงกลม = 0

$$6\pi\eta r v_T + \frac{4}{3}\pi r^3 \rho' g - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g = 0$$

$$v_T = \frac{2r^2}{9\eta}(\rho - \rho')$$

เมื่อ ρ แทนความหนาแน่นของลูกทรงกลม

ρ' แทนความหนาแน่นของของไหล

$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$ แทนน้ำหนักของลูกกลม

$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho' g$ แทนแรงลอยตัว

ตัวอย่างที่ 6.8 จงหาความเร็วสุดท้ายของทรงกลมเหล็กรัศมี 2.0 mm ในกลีเซอรีน กำให้ความหนาแน่นของเหล็กเท่ากับ 7.9×10^{3} $kg.m^{-3}$ ของกลีเซอรีน เท่ากับ 1.3×10^{3} $kg.m^{-3}$ และความหนืดของกลีเซอรีนเท่ากับ 0.833 $N.s.m^{-2}$

แบบฝึกหัด

1. ลูกสูบของแม่แรงไฮดรอลิก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 cm จงหาความกดดันเป็นนิวตันต่อตารางเมตรเพื่อใช้ยกรถยนต์มวล 2,000 kg
2. กล่องทองเหลืองมวล 0.5 kg มีความหนาแน่น 8.0×10^{3} $kg.m^{-3}$ แขวนด้วยเชือกและหย่อนลงไปในน้ำจนท่วมกล่องทั้งหมด จงหาความตึงของเส้นเชือก
3. ลูกสูบของแม่แรงไฮดรอลิกมีรัศมี 5 cm และ 30 cm
   ก. จะต้องออกแรงที่ลูกสูบเล็กเท่าใด จึงจะได้แรงที่ลูกสูบใหญ่ 5,000 N
   ข. ความดันที่ลูกสูบใหญ่เท่ากับเท่าใด
   ค. ความดันที่ลูกสูบเล็กเท่ากับเท่าใด
4. อัตราการไหลของน้ำในสายกระแสเท่ากับ 5 m/s ผ่านท่อช่วงแรกซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด 480 mm^2 จากนั้นท่อลดระดับลงมา 10 m และมีพื้นที่หน้าตัด 960 mm^2 ถ้าให้ความกดดันในท่อช่วงแรกเท่ากับ 180 kPa จงหาอัตราเร็วของของไหลและความกดดันในท่อช่วงที่สอง
5. วางลวดเล็กเส้นรอบวงยาว 160 mm หย่อนให้แตะแอลกอฮอล์ ปรากฏว่าต้องออกแรงดึง (อันเนื่องจากแรงตึงผิว) 7.72×10^{-3} N จึงจะดึงวงลวดออกจากของเหลวได้ จงหาความตึงผิวของแอลกอฮอล์
6. ท่อนไม้ลอยในน้ำที่มีความหนาแน่น 1000 kg/m^3 พบว่ามีส่วนลอยน้ำ 1 ส่วน และจมน้ำ 4 ส่วน โดยปริมาตร ความหนาแน่นของท่อนไม้นั้นเท่าใด