

บทที่ 5 กลศาสตร์ภาคของไหล

ในบทที่ 1 เราได้กล่าวถึงสสารและสถานะของสสาร ซึ่งเราพอจะสรุปเกี่ยวกับสถานะของสสารได้ดังนี้ ของแข็ง คือ สสารที่มีปริมาตรและรูปร่างแน่นอน ส่วนของเหลวเป็นสสารที่มีปริมาตรแน่นอน แต่รูปร่างไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับภาชนะที่ใส่ ก๊าซเป็นสสารที่มีปริมาตรและรูปร่างไม่แน่นอน จะเห็นได้ว่าทั้งของเหลวและก๊าซมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน ดังนั้นมันจึงมีคุณสมบัติที่จะไหลได้ เพราะคุณสมบัติข้อนี้เองของเหลวและก๊าซบางที่เรียกรวม ๆ กันว่า "ของไหล"

ความหนาแน่นและความดัน

เมื่อตอนเป็นเด็กเรามักได้ยินคำถามเล่น ๆ ว่า นุ่นหนึ่งกิโลกรัมกับเหล็กหนึ่งกิโลกรัม อันไหนหนักเท่ากัน หรือนุ่นหนึ่งกระสอบกับเหล็กหนึ่งกระสอบ อันไหนหนักกว่ากัน ในกรณีหลังก็คือเหล็กเพราะเป็นการเปรียบเทียบน้ำหนักของสิ่งที่มีปริมาตรเท่ากัน ของซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่าย่อมหนักกว่า สำหรับของไหลลองนำปรอทไปซึ่งเปรียบเทียบกับน้ำ จะพบว่าปรอทหนักกว่าน้ำสิบเท่าเท่า ๆ ทั้งนี้เพราะว่าปรอทมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ 13.6 เท่า ความหนาแน่น (ρ) คือมวล (M) ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (V) ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$P = MV \quad ; \quad (\rho = m/v) \quad (5.1)$$

ความหนาแน่นของสสารที่คุ้นเคยทั้งของแข็งของเหลวและก๊าซ ได้ให้ไว้ในตารางที่ 5.1 สสารไม่ว่าจะเป็นของแข็งหรือของเหลวที่มีความหนาแน่นกว่าของเหลวชนิดใด ก็จะลอยตัวในของเหลวชนิดนั้น เช่น เหล็กลอยในปรอทเพราะว่าปรอทมีความหนาแน่นมากกว่าเหล็ก น้ำแข็งลอยในน้ำหรือน้ำมันลอยในน้ำ เพราะว่าทั้งน้ำแข็งและน้ำมันต่างก็มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำนั่นเอง นักศึกษาต้องแยกเรื่องเข็มเย็บผ้าลอยน้ำออกจากเรื่องนี้ เพราะว่าการที่เข็มเย็บผ้าสามารถลอยบนน้ำได้ทั้ง ๆ ที่เข็มเย็บผ้ามีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ แต่ทั้งนี้เนื่องจากความตึงผิว

ตาราง 5.1

ความหนาแน่นของวัตถุ ในหน่วยกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 0 เซลเซียส และความดัน 1 บรรยากาศ

ของแข็ง	อะลูมิเนียม.....	2.7
	ทองเหลือง.....	8.5
	ทองแดง.....	8.9
	ทอง.....	19.3
	เหล็ก.....	7.6
	ตะกั่ว.....	11.3
	ทองขาว.....	21.4
	เงิน.....	10.5
	สังกะสี.....	7.1
	ไม้คอร์ก.....	0.24
	ไม้.....	0.42-0.57
	น้ำแข็ง.....	0.92
	ของเหลว	น้ำจืด.....
น้ำทะเล.....		1.03
ปรอท.....		13.60
แอลกอฮอล์.....		0.81
อีเทอร์.....		0.72
น้ำมันมะกอก.....		0.92
ก๊าซ		อากาศ.....
	คาร์บอนไดออกไซด์.....	1.977×10^{-3}
	ไฮโดรเจน.....	0.0899×10^{-3}
	ออกซิเจน.....	1.429×10^{-3}
	ไนโตรเจน.....	1.251×10^{-3}

การทดลองว่าของแข็งซึ่งความหนาแน่นน้อยกว่าจะลอยในของเหลวที่มีความหนาแน่นมากกว่าอาจทำได้ง่าย ๆ ดังนี้ หาไซมาฟองหนึ่งเลือกไซที่มีความสด แล้วนำไปใส่ลงในแก้วที่มีน้ำอยู่ เราจะเห็นว่าไซจมน้ำ ถ้าต้องการให้ไซลอยก็ทำได้โดยค่อย ๆ เติมน้ำเกลือเข้าไป ถ้าความหนาแน่น

ของน้ำเกลือเท่ากับหรือมากกว่าความหนาแน่นของไขทั้งฟอง ไขจะลอยขึ้นมาที่ผิวน้ำ ความจริงข้อนี้พวกแม่ค้าไขเค็มทราบดี เพราะได้พบบ่อย ๆ คือ เมื่อตอนล้างไขสดในน้ำธรรมดาจะเห็นว่าไขจมน้ำ แต่พอนำไขไปแช่น้ำเกลือปรากฏว่าไขลอยน้ำ

ถ้าเราต้องการหาความหนาแน่นของของเหลวใด ๆ ก็ทำได้ง่าย ๆ โดยการเอาของเหลวนั้นใส่กระบอกตวงแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก ซึ่งจะช่วยให้ทราบค่าปริมาตรและค่ามวล เมื่อแทนค่าในสมการ (5.1) เราก็ทราบความหนาแน่นของของเหลวนั้น

ในการอธิบายฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับของแข็งซึ่งมีรูปร่างแน่นอนจะเป็นของแข็งที่อยู่นิ่งหรือของแข็งที่กำลังเคลื่อนที่ก็ตาม ปริมาณทางฟิสิกส์ที่มีประโยชน์มากในการอธิบายคือ แรง แต่ถ้าเป็นการอธิบายของไหลซึ่งมีรูปร่างไม่แน่นอน จะเป็นการสะดวกมากกว่าถ้าเราอธิบายในเทอมของความดัน (pressure) ซึ่งมีค่าจำกัดความทางฟิสิกส์ดังนี้ 'ความดัน' คือ แรงในแนวตั้งฉากกับพื้นที่ต่อหน่วยพื้นที่นั้น เขียนเป็นสมการได้ว่า

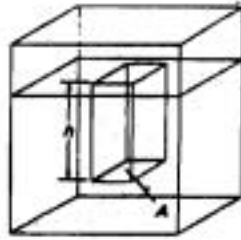
$$P = F/A \quad (5.2)$$

P คือความดัน F คือแรงในแนวตั้งฉาก A คือพื้นที่

ความดันในของไหลขึ้นอยู่กับความลึกและความสูง คือ ถ้าลึกมากความดันก็มาก ถ้าสูงมากความดันก็น้อย เราไม่สามารถดำน้ำได้ลึก ๆ ถ้าไม่มีสิ่งป้องกัน เพราะในที่ลึกมากพอความดันของน้ำอาจทำให้แก้วหูมนุษย์ทนไม่ได้ หรือการที่เราหุ้อือเมื่อเดินทางขึ้นเขาหรือลงเขานั่งเครื่องบิน ขึ้นลิฟท์ เป็นสาเหตุจากการปรับความดันของอากาศภายในช่องศีรษะเราให้เท่ากับความดันรอบ ๆ ตัวในขณะนั้น

ความดันในของไหลนิ่ง

โลกเรามีบรรยากาศห่อหุ้มอยู่ ตัวเราเหมือนอยู่ในทะเลอากาศ ดังนั้นความดันที่จุดใดบนพื้นโลกก็คือ น้ำหนักของล่ำอากาศเหนือพื้นที่หารด้วยพื้นที่นั้น ดังได้กล่าวแล้วว่าบรรยากาศนั้นไม่สามารถกำหนดขอบเขตข้างบนได้ ในทางปฏิบัติเราหาความดันของบรรยากาศโดยเปรียบเทียบกับความสูงของล่ำปรอท ซึ่งจะกล่าวถึงภายหลัง สำหรับความดันในของไหลประเภทของเหลว อาจหาได้ดังนี้ พิจารณารูป 5.1 ความดันที่ความลึก h



รูป 5.1 ของเหลวที่มีพื้นที่ A ความสูง h

ก็คือน้ำหนักของของเหลวในแท่งของของเหลวที่มีพื้นที่ A สูง h ทหารด้วยพื้นที่ A หาได้ดังนี้

$$P = F/A = W/A = Ah\rho g/A$$

$$P = \rho gh \quad (5.3)$$

ตัวอย่างที่ 5.1 จงหาความดันของน้ำที่ความลึก 30 เมตร กำหนดให้ความหนาแน่นของน้ำมีค่าเท่ากับ 1000 กิโลกรัม 1 ลูกบาศก์เมตร

วิธีทำ จากสมการ (5.3) ความดันมีค่าเท่ากับ

$$P = \rho gh$$

$$\text{แทนค่า} = 1000 \times 9.8 \times 30$$

$$= 2.9 \times 10^5 \text{ นิวตัน/ตารางเมตร}$$

ความดันในสมการ 5.3 และ ตัวอย่างที่ 5.1 นั้น เป็นความดันที่คิดจากของเหลวเพียงอย่างเดียว ถ้าเราคิดว่าของเหลวนั้นอยู่ภายใต้ความดันของบรรยากาศด้วย โดยสมมติให้ P_0 เป็นความดันบรรยากาศขณะนั้น ดังนั้น สมการ (5.3) อาจเขียนได้ใหม่ว่า

$$P = P_0 + \rho gh \quad (5.4)$$

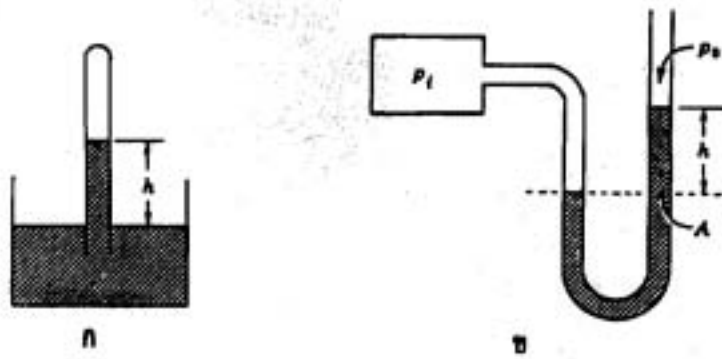
หรือถ้าเราพิจารณาในรูปของผลต่างของความดัน เราจะเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\Delta P = \rho gh \quad (5.5)$$

บารอมิเตอร์ (Barometer)

ดังได้กล่าวไว้ตอนที่แล้วว่า การวัดความดันของบรรยากาศนั้นสามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบกับความสูงของลำปรอท นักวิทยาศาสตร์ที่คิดเครื่องมือสำหรับวัดความดันบรรยากาศขึ้นเป็นคนแรก คือ ทอริเชลลี (Torricelli) ซึ่งเรียกเครื่องมือวัดความดันว่า บารอมิเตอร์ (Barometer)

บารอมิเตอร์ ประกอบด้วยหลอดแก้วปลายปิดข้างหนึ่ง บรรจุปรอทจนเต็มแล้วคว่ำในอ่างปรอท ดังรูป 5.2 ก หรืออาจจะทำเป็นหลอดแก้วรูปตัวยู ดังรูป 5.2 ข ก็ได้ ซึ่งมีชื่อเรียกว่า มาโนมิเตอร์ (manometer)

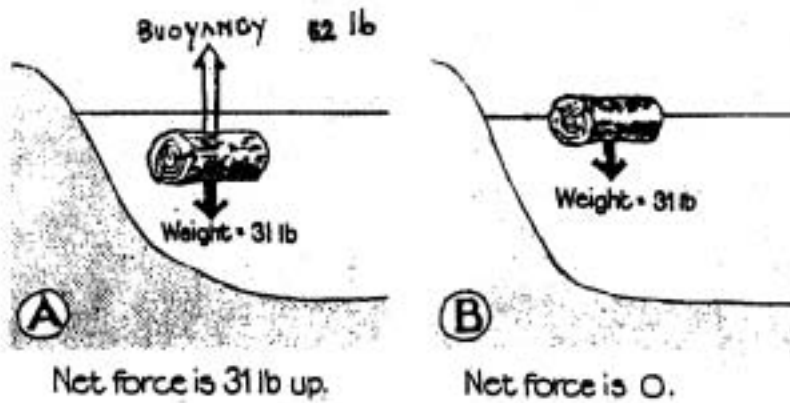


รูป 5.2 บารอมิเตอร์และมาโนมิเตอร์

กฎของอาร์คิมิดีส (Archimedes's Principle)

อาร์คิมิดีส เป็นผู้ให้กฎเกณฑ์เกี่ยวกับแรงพยุงหรือบางทีเรียกทับศัพท์ว่า บิวแองซี (Buoyancy) แรงพยุงเกิดขึ้นเมื่อมีการแทนที่โมของไหล สิ่งที่เป็นประสบการณ์ตรงกับเราทุกคนก็คือ การยกก้อนหินในน้ำจะเบากว่าเมื่อยกบนพื้นดิน กฎของอาร์คิมิดีสมีใจความว่า "แรงพยุงจะมีค่าเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่" ซึ่งเราจะแยกพิจารณาออกเป็นสองกรณี

ในกรณีที่วัตถุลอยในของเหลว แรงพยุงจะมีค่าเท่ากับน้ำหนักของวัตถุนั้น ซึ่งจะเท่ากับ ปริมาตรส่วนที่จมในของเหลวคูณความหนาแน่นของของเหลวและ g ซึ่งก็คือ น้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่ ดูรูป 5.3 ประกอบ



รูป 5.3 แรงพยุงของวัตถุจมน้ำและลอยน้ำ

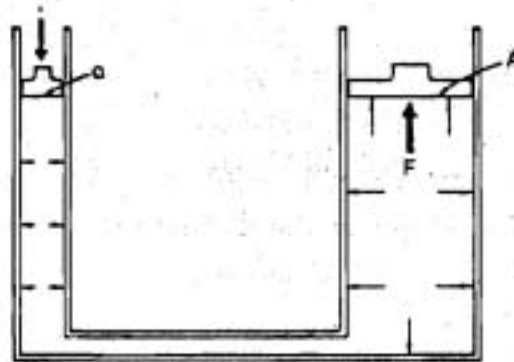
ในกรณีที่วัตถุจมน้ำ (รูป 5.3 ก) แรงพยุงจะช่วยให้น้ำหนักปรากฏเมื่อวัตถุอยู่ในของเหลวมีค่าน้อยลงกว่าน้ำหนักจริงของมัน ค่าแรงพยุงมีค่าเท่ากับปริมาตรของวัตถุที่จมน้ำ (V) คูณความหนาแน่นของของเหลว (ρ) คูณ g ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$W \text{ ปรากฏ} = W \text{ จริง} - B ; B \text{ คือแรงพยุง}$$

$$\text{ซึ่ง } B = \rho v g \quad (5.7)$$

กฎของพาสคาล (Pascal's Principle)

พาสคาล เป็นผู้ให้กฎเกี่ยวกับการส่งถ่ายความดันผ่านเนื้อของของไหลที่อยู่นิ่ง กฎของพาสคาลมีใจความว่า 'ความดันที่เราให้แก่ของไหลในระบบปิดจะถูกส่งถ่ายไปในของไหลนั้นและจะไปปรากฏที่ผิวสัมผัสอื่นทุกทิศทุกทางด้วยความดันที่เท่ากัน'

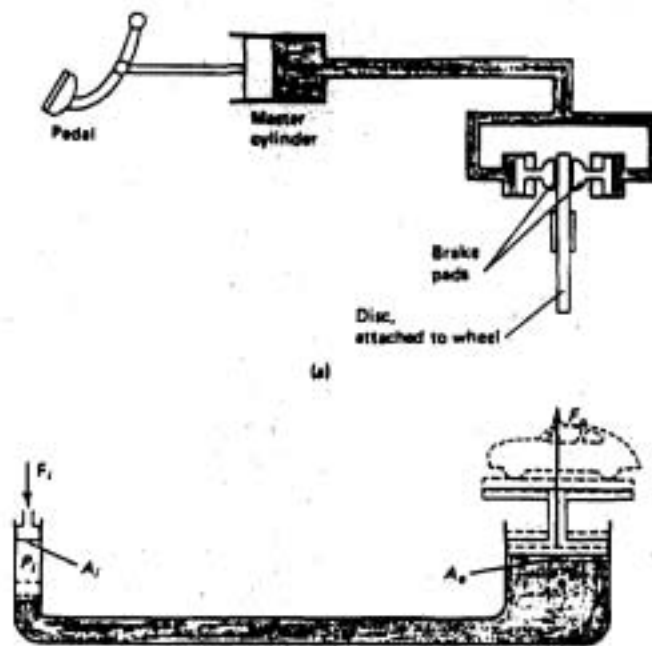


รูป 5.4 เครื่องวัดไฮดรอลิก

จากรูป 5.4 ถ้าเราให้แรง f ที่พื้นที่ด้านเล็ก a ซึ่งหมายถึงเราให้ความดันเท่ากับ f/a ทางหลอดด้านเล็ก ความดันขนาดเดียวกันนี้จะไปปรากฏที่หลอดใหญ่ ซึ่งคิดเป็นแรง F เท่ากับ $F = f/a \times A$

กฎของพาสคาลนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ในเบรครถยนต์ใช้ทำเป็นเครื่องยกน้ำหนัก ดังรูป 5.5

ทั้งกฎของอาร์คิมิดีสและกฎของพาสคาล เป็นกฎที่ใช้กับของไหลที่อยู่นิ่งสำหรับของไหลที่เคลื่อนที่จะอธิบายด้วยกฎของเบอร์นูลลี



รูป 5.5 การประยุกต์กฎของพาสคาล

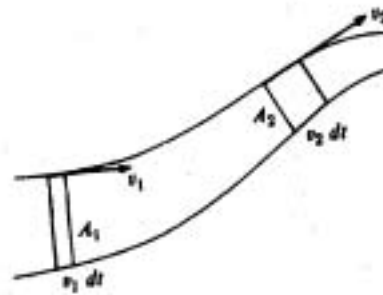
กฎของเบอร์นูลลี (Bernoulli's Principle)

ในชีวิตประจำวันที่เราพบเห็นรถยนต์ หรือสัตว์บก สัตว์น้ำ และสัตว์ปีก เมื่อเห็นเพียงรูปร่างเราก็บอกได้ว่า รถยนต์แบบไหน สัตว์รูปร่างอย่างไร จึงจะมีความสามารถเคลื่อนที่ได้เร็ว ทั้งนี้เพราะเราได้รับความรู้ทางฟิสิกส์อย่างน้อยก็ทางคุณภาพได้โดยไม่รู้ตัว ของซึ่งมีรูปร่างเพรียวลมหรือเพรียวน้ำ มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ได้เร็ว

นักวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับของไหลที่เคลื่อนที่ คือ เบอร์นูลลี สมการของเบอร์นูลลีที่สำคัญมี 2 สมการ คือ

$$1. \quad av = \text{คงที่} \quad (5.8)$$

เมื่อ a คือพื้นที่หน้าตัดของท่อ และ v คือความเร็วของของไหล กฎนี้อธิบายได้ง่าย ๆ ดังนี้ ถ้าของไหลไหลผ่านท่อได้ปริมาณเท่ากับโดยใช้เวลาเท่ากัน การไหลชนิดนี้เรียกว่า การไหลอย่างต่อเนื่อง (steady flow) จะเห็นว่าความเร็วในท่อเล็กจะมากกว่าความเร็วในท่อใหญ่ โดยดูรูป 5.6 ประกอบ และสมการ (5.8) สมการแห่งการต่อเนื่อง



รูป 5.6 แสดงการไหลของท่อไหล

$$2. P + 1/2\rho v^2 + \rho gh = \text{คงที่} \quad (5.9)$$

เมื่อ P = ความดันของไหล

ρ = ความหนาแน่นของของไหล

v = ความเร็วของของไหล

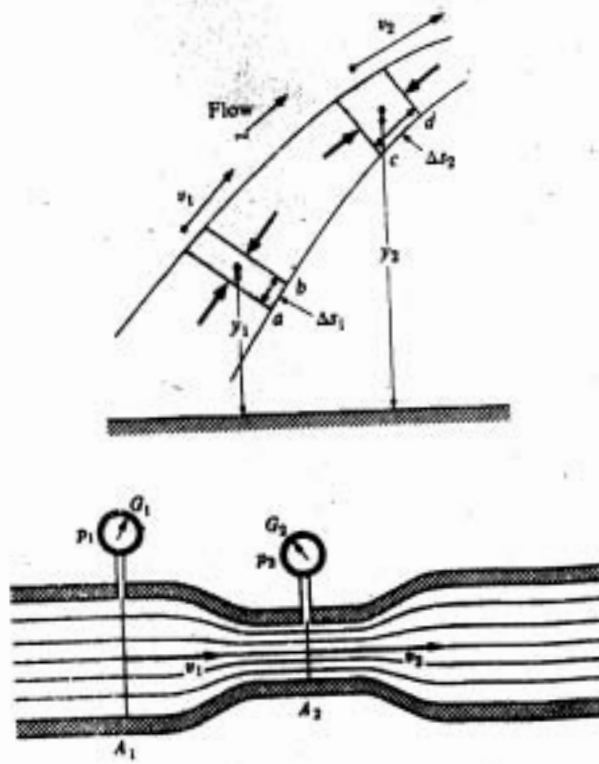
g = ความเร่งแห่งความโน้มถ่วงของโลก

h = ระดับความสูงของท่อไหล

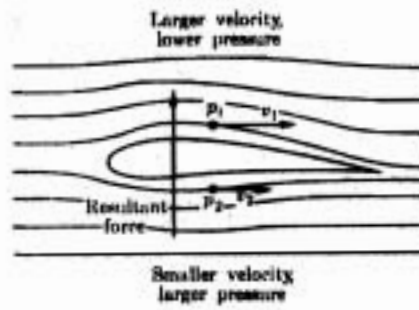
ความหมายของสมการ (5.9) คือ ในการไหลแบบต่อเนื่อง ผลรวมของความหนาแน่น พลังงานจลน์ พลังงานศักย์ และความดันของไหล ที่จุดต่าง ๆ ในของไหล จะมีค่าคงที่ ถ้าเราพิจารณาของไหลที่ระดับความสูงเท่า ๆ กัน สมการ (5.9) เขียนได้ใหม่ว่า

$$P + 1/2 \rho v^2 = \text{คงที่} \quad (5.10)$$

สมการ (5.9) และ (5.10) สามารถอธิบายได้ด้วยรูป 5.7 ก และ 5.7 ข ตามลำดับ เราจะเห็นว่า ในบริเวณที่มีความเร็วสูงกว่าจะมีความดันต่ำกว่า จากผลถึงความจริงในข้อนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับชีวิตประจำวันได้หลายอย่าง เช่น สร้างปีกเครื่องบินเพื่อช่วยให้เครื่องบินยกตัวขึ้นได้ ดังรูป 5.8



รูป 5.7 แสดงการไหลตามสมการ (5.9) และ (5.10)



รูป 5.8 แสดงการยกตัวของเครื่องบิน

แบบฝึกหัด

- 5.1 ของไหล (fluids) หมายถึงอะไร และของไหลแตกต่างกับของแข็งอย่างไร
- 5.2 วิชาอุทกสถิตศาสตร์กับวิชาอุทกพลศาสตร์เป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับอะไร และมีความแตกต่างกันอย่างไร
- 5.3 ความหนาแน่น (Density) มีนิยามว่าอย่างไร และเขียนเป็นสมการในการคำนวณอย่างไร
- 5.4 จงให้คำจำกัดความของความดัน (pressure) และโดยปกติแล้วความดันจะขึ้นอยู่กับอะไร
- 5.5 บารอมิเตอร์ (Barometer) คืออะไร มีประโยชน์อย่างไร
- 5.6 กฎของพาสคาล (Pascal's law) กล่าวอย่างไร และนำไปใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง
- 5.7 จงกล่าวถึงหลักของอาร์คิมิดีส (Archimedes's principle) พร้อมทั้งอธิบายให้เข้าใจ
- 5.8 การไหลของของไหลแบบคงตัว (Steady flow) เป็นอย่างไร
- 5.9 สมการของแบร์นูลลี (Bernoulli's equation) มีเงื่อนไขอย่างไร และนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง
- 5.10 จงอธิบายสมการแห่งการต่อเนื่อง