

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ฟิสิกส์

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เล่ม 2

เวลา 60 ชั่วโมง จำนวน 1.5 หน่วยกิต

ศึกษาเกี่ยวกับความหนาแน่นและความดันของไหล กฎของพาสคาล แรงพุ่งและหลักของอาร์คิมิดีส ความตึงผิว และความหนืด พลศาสตร์ของของไหล แก๊สอุดมคติ ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส พลังงานภายในระบบ ทฤษฎีจลน์ของแก๊สกับชีวิตประจำวัน แบบจำลองอะตอม สเปกตรัมของอะตอม ทฤษฎีอะตอมของโบร์ ทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค กลศาสตร์ควอนตัม สัญลักษณ์นิวเคลียร์ กัมมันตภาพรังสี การสลายของธาตุกัมมันตรังสี แรงนิวเคลียร์ ปฏิกริยานิวเคลียร์ ประโยชน์ของกัมมันตภาพรังสี และพลังงานนิวเคลียร์

โดยจัดการเรียนการสอนให้นักเรียนได้ศึกษา ค้นคว้า นำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันควบคู่ไปกับคุณธรรม และจริยธรรม และมีคุณลักษณะอันพึงประสงค์ ได้แก่ การใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้และการแก้ปัญหา มีความรอบคอบ มีความรับผิดชอบ พร้อมทั้งตระหนักว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

ผลการเรียนรู้

1. อธิบาย และคำนวณความดันเกจ ความดันสัมบูรณ์ และความดันบรรยากาศ รวมทั้งอธิบายหลักการทำงานของแมนอมิเตอร์ บารอมิเตอร์ และเครื่องอัดไฮดรอลิก
2. ทดลอง อธิบาย และคำนวณขนาดแรงพุ่งจากของไหล
3. ทดลอง อธิบาย และคำนวณความตึงผิวของของเหลว รวมทั้งสังเกตและอธิบายแรงหนืดของของเหลว
4. อธิบายสมบัติของของไหลอุดมคติ สมการความต่อเนื่อง และสมการแบร์นูลลี รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และนำความรู้เกี่ยวกับสมการความต่อเนื่องและสมการแบร์นูลลีไปอธิบายหลักการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ
5. อธิบายกฎของแก๊สอุดมคติและคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
6. อธิบายแบบจำลองของแก๊สอุดมคติ ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส และอัตราเร็วอาร์เอ็มเอสของโมเลกุลของแก๊ส รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
7. อธิบาย และคำนวณงานที่ทำโดยแก๊สในภาชนะปิดโดยความดันคงตัว และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความร้อน พลังงานภายในระบบ และงานรวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและนำความรู้เรื่องพลังงานภายในระบบไปอธิบายหลักการทำงานของเครื่องใช้ในชีวิตประจำวัน
8. อธิบายสมมติฐานของพลังค์ ทฤษฎีอะตอมของโบร์ และการเกิดเส้นสเปกตรัมของอะตอมไฮโดรเจน รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
9. อธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกและคำนวณพลังงานโฟตอน พลังงานจลน์ของโฟโตอิเล็กตรอนและฟังก์ชันงานของโลหะ
10. อธิบายทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค รวมทั้งอธิบาย และคำนวณความยาวคลื่นเดอบรอยล์
11. อธิบายกัมมันตภาพรังสีและความแตกต่างของรังสีแอลฟา บีตา และแกมมา
12. อธิบาย และคำนวณกัมมันตภาพของนิวเคลียสกัมมันตรังสี รวมทั้งทดลอง อธิบายและคำนวณจำนวนนิวเคลียสกัมมันตภาพรังสีที่เหลือจากการสลาย และครึ่งชีวิต
13. อธิบายแรงนิวเคลียร์ เสถียรภาพของนิวเคลียสและพลังงานยึดเหนี่ยว รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
14. อธิบายปฏิกริยานิวเคลียร์ ฟิชชันและฟิวชัน รวมทั้งคำนวณพลังงานนิวเคลียร์
15. อธิบายประโยชน์ของพลังงานนิวเคลียร์ และรังสี รวมทั้งอันตรายและการป้องกันรังสีในด้านต่าง ๆ
16. อธิบายการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาคแบบจำลองมาตรฐาน และการใช้ประโยชน์จากการค้นคว้าวิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาคในด้านต่าง ๆ

รวมทั้งหมด 16 ผลการเรียนรู้

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ฟิสิกส์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เล่ม 2

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียง

ทัศนียา อ้อยอารีย์
กุลวดี ท่อทรัพย์

ผู้ตรวจ

ศศ.มาลี สุทธิโอภาส
รศ.มานัส มงคลสุข
ศศ.ปริดา เพชรมีศรี

บรรณาธิการ

ศ. ดร.พิเชษฐ ลิ่มสุวรรณ

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ฟิสิกส์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เล่ม 2

ตามผลการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียง	ทัศนียา อ้อยอารีย์ กุลวดี ท่อทรัพย์
ผู้ตรวจ	ศ.มาลี สุทธิโอภาส รศ.มานัส มงคลสุข ศ.ปริดา เพชรมีศรี
บรรณาธิการ	ศ. ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

ทัศนียา อ้อยอารีย์.

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เล่ม 2.-กรุงเทพฯ : แม็คเอ็ดดูเคชั่น,
2563.

176 หน้า.

1. ฟิสิกส์--การศึกษาและการสอน (มัธยมศึกษา). I. กุลวดี
ท่อทรัพย์. ผู้แต่งร่วม. II. ชื่อเรื่อง.

530.07

ISBN 978-616-345-185-9

พิมพ์ครั้งที่ 1

จำนวน 8,000 เล่ม

สงวนลิขสิทธิ์ : มกราคม 2563

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย ห้ามลอกเลียน ไม่ว่าจะเป็นส่วนหนึ่งส่วนใด
ของหนังสือเล่มนี้ นอกจากนี้จะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร

จัดทำโดย

MAC EDUCATION

สงวนลิขสิทธิ์จ่าย ไปรษณีย์ลาดพร้าว

ในนาม บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด

9/99 อาคารแม็ค ซอยลาดพร้าว 38 ถนนลาดพร้าว

แขวงจันทน์เกษม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทร. 0-2512-0661, 0-2938-2022-7 แฟกซ์ 0-2938-2028

www.MACeducation.com

พิมพ์ที่ : บริษัท พี.เอ็น.เค แอนด์ สกายพริ้นติ้ง จำกัด

คำชี้แจง

ตามที่กระทรวงศึกษาธิการโดยสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานได้ดำเนินการ
ทบทวนหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 โดยในระยะแรกให้ปรับปรุงมาตรฐาน
การเรียนรู้และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสาระภูมิศาสตร์
ในกลุ่มสาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม สำหรับใช้ในปีการศึกษา 2561 ในชั้น
ประถมศึกษาปีที่ 1 และ 4 และชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 และ 4 ปีการศึกษา 2562 ให้ใช้ในชั้นประถมศึกษา
ปีที่ 1, 2, 4 และ 5 และชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1, 2, 4 และ 5 และตั้งแต่ปีการศึกษา 2563 เป็นต้นไปให้ใช้
ในทุกชั้นเรียน ซึ่งการปรับหลักสูตรครั้งนี้มีเป้าหมายสำคัญเพื่อให้โรงเรียนสามารถจัดการกระบวนการเรียนรู้
ที่จะช่วยให้ผู้เรียนมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างรอบคอบ
สามารถใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการบูรณาการกับความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์
เพื่อแก้ปัญหาหรือพัฒนาด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่นำไปสู่การคิดค้นสิ่งประดิษฐ์
หรือสร้างนวัตกรรมขึ้น นอกจากนี้ยังให้เกิดการเรียนรู้เรื่องภูมิศาสตร์ (Geo-literacy) ทั้งด้าน
ความสามารถทางภูมิศาสตร์ กระบวนการทางภูมิศาสตร์ และทักษะทางภูมิศาสตร์ เพื่อให้มีความรู้
ความเข้าใจได้อย่างถูกต้องและนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการดำเนินชีวิต

ด้วยตระหนักถึงความสำคัญของการปรับเปลี่ยนหลักสูตรข้างต้น บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด
จึงได้มอบหมายให้ผู้เชี่ยวชาญด้านหลักสูตร ด้านการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ และด้านกาวัดและประเมินผล
ได้ปรับปรุงพัฒนานหนังสือเรียนให้สอดคล้องมาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัด ของหลักสูตรในกลุ่มสาระ
การเรียนรู้ที่มีการเปลี่ยนแปลง และให้สอดคล้องกับการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ที่กำหนดไว้ในแผนพัฒนา
เศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579 และยุทธศาสตร์ชาติ
20 ปี

โดยหนังสือเรียนแต่ละหน่วยการเรียนรู้จะให้ผู้ใช้หนังสือเรียนได้ทราบเป้าหมายการเรียนรู้
ในตอนต้นหน่วยการเรียนรู้ จากสาระการเรียนรู้และตัวชี้วัดชั้นปี และทุกหัวข้อหลักจะนำเสนอแนวคิด
สำคัญเพื่อให้ทราบถึงสิ่งที่เป็ความรู้ ความคิดที่เป็นแกนสำคัญที่ต้องเรียนรู้ให้ลึกซึ้ง และการเรียนรู้ที่ดี
ผู้เรียนควรได้ตรวจสอบความรู้ความเข้าใจเป็นระยะ ๆ ก่อนเรียนเรื่องใหม่ ดังนั้น ในหนังสือเรียนจะมีการ
สอดแทรกกิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่สัมพันธ์กับเรื่องที่ได้เรียนผ่านมา เพื่อให้ผู้เรียนได้ตรวจสอบ

ตนเอง หรือบางหัวข้ออาจเป็นการฝึกทักษะให้ชำนาญก่อน สิ่ง queเพิ่มเติมในหนังสือเรียนเล่มนี้ คือ กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ เพื่อให้ผู้เรียนเกิดทักษะการคิดสร้างสรรค์ การคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา นำไปสู่การสร้างผลิตภัณฑ์หรือนวัตกรรม ซึ่งผู้สอนสามารถนำไปประยุกต์หรือดัดแปลงให้ เหมาะสมกับบริบทของโรงเรียนและผู้เรียน การศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมโดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารและ สารสนเทศ (ICT) เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องค้นคว้าเพิ่มเติม ดังนั้นในหนังสือเรียนเล่มนี้จึงได้มีการเสริมเนื้อหา เพิ่มเติมที่ได้ผ่านการคัดกรองมาแล้วว่าเหมาะสมกับการเรียนรู้ แทรกไว้ในเนื้อหาบางหน่วย โดยใช้สัญลักษณ์  ผู้เรียนสามารถใช้สโมรติโฟนสแกน QR Code หรือเปิดเว็บไซต์ MAC education.com เพื่อเข้าเมนู การศึกษาพื้นฐาน >>> MAC Link และเลือกเปิดดูส่วนเสริมของ บทเรียนในหนังสือแต่ละเล่มได้ ท้ายหน่วยการเรียนรู้ทุกหน่วยจะมีการสรุปบทเรียนสำหรับผู้เรียน ได้ใช้เป็นข้อมูลสำคัญในการตรวจสอบองค์ความรู้ที่ควรได้รับการพัฒนาหลังจากเสร็จสิ้นการเรียนรู้ หรือ เป็นสาระสำคัญที่ควรจดจำและทำความเข้าใจให้ถ่องแท้ ซึ่งนับว่าเป็นส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งในการปรับปรุง หนังสือเรียนครั้งนี้ที่พัฒนาให้ชัดเจนยิ่งขึ้น

บริษัท แม็คเอดูเคชัน จำกัด หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนเล่มนี้จะมีคุณค่า มีประโยชน์ และช่วยส่งเสริมการปฏิรูปการศึกษา เพื่อเป็นรากฐานสำคัญที่จะช่วยให้ประเทศไทยก้าวสู่ประเทศ ที่มีการพัฒนาอย่างยั่งยืนด้วยการมีพลเมืองที่มีคุณภาพ มีความคิดสร้างสรรค์ ตามเจตนารมณ์ของ การปรับปรุงหลักสูตรครั้งนี้ และนโยบายประเทศไทย 4.0

บริษัท แม็คเอดูเคชัน จำกัด

คำนำ

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ได้พัฒนาและปรับปรุงเนื้อหา กิจกรรมการทดลอง ภาพประกอบ กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ กิจกรรม เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ และคำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้ให้ตรงตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระ การเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษา ขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

คณะผู้เรียบเรียงได้ศึกษาผลการเรียนรู้ กระบวนการจัดการเรียนรู้ และแนวทางในการวัด และประเมินผล นำมาจัดทำโครงสร้างสำหรับหลักสูตรชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยเลือกเนื้อหา กระบวนการเรียนการสอน การทำกิจกรรม ทักษะการคิด การวัดผลและประเมินผล ผ่านการนำเสนอ ด้วยการเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติ (Active Learning) ที่เหมาะสมกับผู้เรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เพื่อพัฒนาผู้เรียนให้เกิดการเรียนรู้ เข้าใจหลักการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ วิธีการสำรวจตรวจสอบข้อมูล การคิดแก้ปัญหา ตลอดจนการเสริมสร้างจิตวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ ยังมุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนและพัฒนาให้เกิดทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ที่สำคัญ ด้วยกิจกรรมเพื่อส่งเสริม ความคิดสร้างสรรค์ ที่ช่วยให้ผู้เรียนมีทักษะในการแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง การคิดสร้างสรรค์ การคิด วิเคราะห์ การแก้ปัญหา การทำงานร่วมกัน นำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือนวัตกรรมที่ก่อให้เกิด ประโยชน์ต่อการศึกษาและนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน ซึ่งเป็นคำตอบของการศึกษาวิชาชีพวิทยาศาสตร์

หนังสือเรียนเล่มนี้ประกอบด้วย 4 หน่วยการเรียนรู้ แต่ละหน่วยการเรียนรู้ได้สรุปสาระการเรียนรู้ ะบุผลการเรียนรู้ ภาพและคำถามเข้าสู่บทเรียน แนวคิดสำคัญของแต่ละเรื่อง กิจกรรมตรวจสอบ การเรียนรู้ กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ เนื้อหา และคำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้เพื่อเป็น การวัดและประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน

หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเล่มนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการเรียนการสอนตามแนวปฏิรูป การศึกษา และมีคุณภาพตรงตามผลการเรียนรู้ หากมีข้อบกพร่องประการใด คณะผู้เรียบเรียงขอน้อมรับ คำแนะนำด้วยความขอบคุณยิ่ง

ทัศนียา อ๋อยอารีย์
กุลวดี ท่อทรัพย์

สารบัญ

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 ของไหล 1

1. ความหนาแน่นและความดันของของไหล	3
2. กฎของพาสคาล	15
3. แรงพยุงและหลักของอาร์คิมิดีส	20
4. ความตึงผิวและความหนืด	25
6. พลศาสตร์ของของไหล	31
คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้	41

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส 43

1. แก๊สอุดมคติ	45
2. ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส	55
3. พลังงานภายในระบบ	61
4. ทฤษฎีจลน์ของแก๊สกับชีวิตประจำวัน	68
คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้	75

หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 ฟิสิกส์อะตอม 76

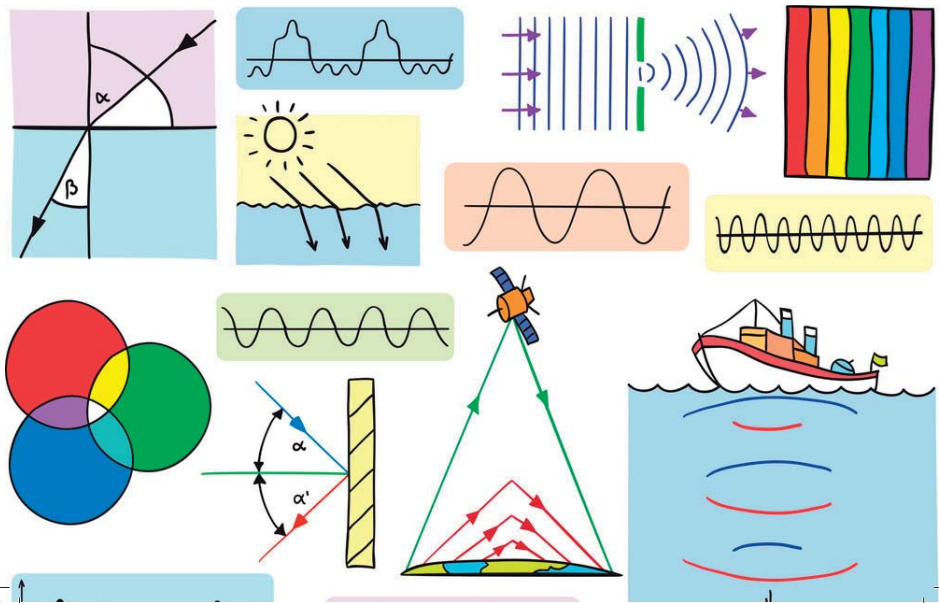
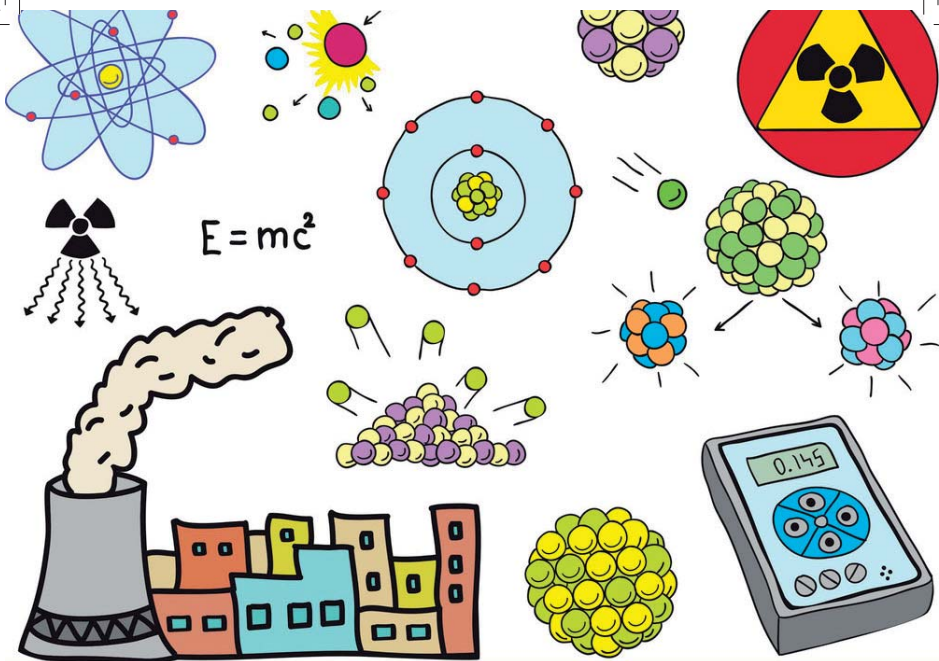
1. แบบจำลองอะตอม	78
2. ทฤษฎีอะตอมของโบร์	85
3. ทวิภาวะของคลื่นและอนุภาค	98
4. กลศาสตร์ควอนตัม	106
คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้	112

หน่วยการเรียนรู้ที่ 4 ฟิสิกส์นิวเคลียร์ 114

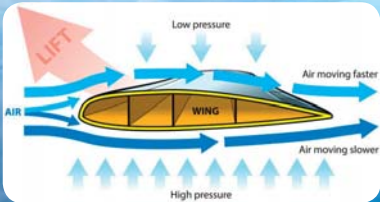
1. สัญลักษณนิวเคลียร์	116
2. กัมมันตภาพรังสี	121
3. การสลายของธาตุกัมมันตรังสี	124
4. แรงแวนเดอวาล์ว	139
5. ปฏิกิริยานิวเคลียร์	143
6. ประโยชน์ของกัมมันตภาพรังสีและพลังงานนิวเคลียร์	152
7. ฟิสิกส์อนุภาค	157
คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้	163

บรรณานุกรม 165

อภิธานศัพท์ 166







หน่วยการเรียนรู้ที่

1

ของไทย

สาระการเรียนรู้

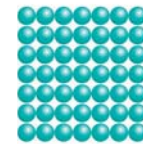
- 1 ความหนาแน่นและความดันของไหล
- 2 กฎของพาสคาล
- 3 แรงพุงและหลักของอาร์คิมิดีส
- 4 ความตึงผิวและความหนืด
- 5 พลศาสตร์ของของไหล

ผลการเรียนรู้

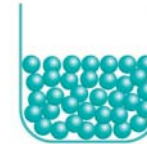
1. อธิบาย และคำนวณความดัน ความตึงผิว และ ความดันบรรยากาศ รวมทั้งอธิบายหลักการทำงานของแมกนีโตร์ บารอมิเตอร์ และเครื่องวัดไฮดรอลิก
2. ทดลอง อธิบาย และคำนวณขนาดแรงพุงจากของไหล
3. ทดลอง อธิบาย และคำนวณความตึงผิวของเหลว รวมทั้งสังเกตและอธิบายแรงหนืดของของเหลว
4. อธิบายสมบัติของไหลอุดมคติ สมการความต่อเนื่อง และการแปรมวล รวมทั้งคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และนำความรู้เกี่ยวกับสมการความต่อเนื่องและการแปรมวลไปอธิบายหลักการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ

โดยทั่วไปสสารจะแบ่งออกเป็น 3 สถานะ ได้แก่ ของแข็ง (solid) ของเหลว (liquid) และแก๊ส (gas) ซึ่งของแข็งจะมีรูปร่างแน่นอน ไม่ขึ้นกับรูปร่างภาชนะที่บรรจุ มีปริมาตรคงที่ และไม่เกิดการแพร่ ของเหลวมีรูปร่างไม่แน่นอน เปลี่ยนแปลงตามภาชนะที่บรรจุ มีปริมาตรคงที่ และเกิดการแพร่ได้ส่วนแก๊สมีรูปร่างและปริมาตรไม่แน่นอน ขึ้นกับภาชนะที่บรรจุ เกิดการแพร่และฟุ้งกระจายได้

สถานะที่ 4 ของสสาร คือ พลาสมา (plasma) เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงมาก ๆ ซึ่งอิเล็กตรอนจะเกิดการไอออไนซ์หรือหลุดออกจากอะตอม



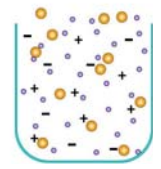
ของแข็ง



ของเหลว



แก๊ส



พลาสมา

รูปที่ 1.1 สถานะของสสาร

ทั้งของเหลวและแก๊สต่างก็มีรูปร่างที่ไม่แน่นอน และสามารถเกิดการไหลจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้เมื่อมีความแตกต่างของสภาวะบางอย่าง จึงเรียกของเหลวและแก๊สว่า ของไหล (fluid)

1. ความหนาแน่นและความดันของของไหล



แนวคิดสำคัญ

ความหนาแน่น คือ อัตราส่วนของมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร หาได้จากสมการ $\rho = \frac{m}{V}$

ความดัน คือ แรงที่กระทำในแนวตั้งฉากต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ หาได้จากสมการ $P = \frac{F}{A}$

ความดันสัมบูรณ์จะมีค่าเท่ากับผลรวมของความดันบรรยากาศและความดันเกจ ดังสมการ $P = P_a + p_{hg}$



ฟองสบู่เป็นฟิล์มบาง ๆ ของน้ำสบู่ ที่ห่อหุ้มอากาศไว้เป็นรูปทรงกลม การเกิดฟองสบู่เกี่ยวข้องกับความตึงผิวอย่างไร

สมบัติสำคัญอย่างหนึ่งของไหลที่สามารถอธิบายลักษณะหรือปรากฏการณ์บางอย่างที่เกี่ยวข้องกับของไหลได้ คือ ความหนาแน่นและความดัน มีรายละเอียดดังนี้

1.1 ความหนาแน่น

ความหนาแน่น (density : ρ) เป็นอัตราส่วนของมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งวัตถุมีความหนาแน่นมากมวลต่อหน่วยปริมาตรก็ยิ่งมีค่ามากด้วย หรือกล่าวได้ว่าถ้าวัตถุมีปริมาตรเท่ากัน วัตถุที่มีมวลมากกว่า ก็จะมีความหนาแน่นมากกว่า ความหนาแน่นของวัตถุหาได้จากสมการ

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1.1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของวัตถุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

m คือ มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)

V คือ ปริมาตรของวัตถุ มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร (m^3)

บางครั้งอาจใช้ความหนาแน่นในหน่วยกรัม
ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) ก็ได้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน



จากสมการที่ 1.1 จะสามารถหาความหนาแน่นของวัตถุจากน้ำหนักของวัตถุได้ดังนี้
จัดรูปสมการใหม่ จะได้

$$W = mg = \rho Vg \quad (1.2)$$

ตารางที่ 1.1 ความหนาแน่นของสสารบางชนิด

สสาร	ความหนาแน่น (kg/m^3)	สสาร	ความหนาแน่น (kg/m^3)
อีริเดียม	22,650	เหล็ก	7,870
ออสเมียม	22,610	ดีบุก	7,310
แพลทินัม	21,450	ไทเทเนียม	4,507
ทองคำ	19,300	เพชร	3,500
ทังสเตน	19,250	อะลูมิเนียม	2,700
ยูเรเนียม	19,050	แมกนีเซียม	1,740
ปรอท	13,580	น้ำทะเล	1,025
แพลเลเดียม	12,023	น้ำ	1,000
ตะกั่ว	11,340	น้ำแข็ง	917
เงิน	10,490	เอทิลแอลกอฮอล์	790
ทองแดง	8,960	น้ำมันเบนซิน	730

ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (relative density) คือ อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของวัตถุที่สนใจต่อความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นสัมพัทธ์เป็นปริมาณที่ไม่มีหน่วย เนื่องจากการเปรียบเทียบความหนาแน่นของวัตถุกับความหนาแน่นของน้ำ บางครั้งเรียกว่า **ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)** เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$\text{ความหนาแน่นสัมพัทธ์} = \frac{\text{ความหนาแน่นของวัตถุ}}{\text{ความหนาแน่นของน้ำ } 4^\circ\text{C}} \quad (1.3)$$

ตัวอย่างที่ 1.1 ทองคำแท่งหนึ่งมีมวล 0.5 กิโลกรัม มีปริมาตร 2.59×10^{-5} ลูกบาศก์เมตร จะมีความหนาแน่นเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $m = 0.5 \text{ kg}$ และ $V = 2.59 \times 10^{-5} \text{ m}^3$

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

$$= \frac{0.5}{2.59 \times 10^{-5}}$$

$$= 19,305 \text{ kg/m}^3$$

ดังนั้น ทองคำจะมีความหนาแน่น 19,305 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.2 เหล็กรูปลูกบาศก์มีความยาวด้านละ 10 cm ถ้าเหล็กมีความหนาแน่น 7,900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะมีน้ำหนักและความหนาแน่นสัมพัทธ์เท่าไร ถ้าความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความเร่งโน้มถ่วงมีค่าเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที²

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $V = 0.1^3 = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, $\rho = 7,900 \text{ kg/m}^3$ และ $g = 10 \text{ m/s}^2$

จาก $W = \rho Vg$

$$= (7,900)(1 \times 10^{-3})(10)$$

$$= 79 \text{ N}$$

จาก ความหนาแน่นสัมพัทธ์ = $\frac{\text{ความหนาแน่นของวัตถุ}}{\text{ความหนาแน่นของน้ำ } 4^\circ\text{C}}$

$$= \frac{7900}{1000} = 7.9$$

ดังนั้น เหล็กจะมีน้ำหนัก 79 นิวตัน และมีความหนาแน่นสัมพัทธ์ 7.9

ตอบ

1.2 ความดัน

ความดัน (pressure) คือ แรงที่กระทำบนพื้นที่หนึ่งต่อหน่วยในแนวตั้งฉากกับพื้นที่นั้น หรือแรงดันต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$P = \frac{F}{A} \quad (1.4)$$

เมื่อ P คือ ความดัน มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)

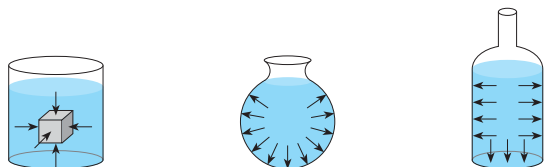
F คือ แรงดัน มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

A คือ พื้นที่ที่ถูกแรงดันกระทำ มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m^2)

สำหรับของเหลวและแก๊สจะระบุค่าความดันในหน่วยอื่นๆ ได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} 1 \text{ พาสคัล (Pa)} &= 1 \text{ นิวตันต่อตารางเมตร} \\ 1 \text{ บาร์ (bar)} &= 1 \times 10^5 \text{ นิวตันต่อตารางเมตร (นิยมใช้ในทางอุตุนิยมวิทยา)} \\ 1 \text{ บรรยากาศ (atm)} &= 1.013 \times 10^5 \text{ นิวตันต่อตารางเมตร} \\ &= 760 \text{ มิลลิเมตรของปรอท (mmHg)} \\ 1 \text{ ทอร์ (torr)} &= 1 \text{ มิลลิเมตรของปรอท} \end{aligned}$$

เมื่อพิจารณาความดันของของเหลวในภาชนะใดๆ พบว่า แรงดันของของเหลวจะมีได้ทุกทิศทางและจะตั้งฉากกับผนังภาชนะและมวลของของเหลวเองที่จุดใดๆ จะตั้งฉากกับจุดที่พิจารณาเสมอ ดังรูปที่ 1.2

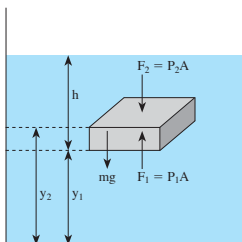


รูปที่ 1.2 แรงดันของเหลวที่กระทำกับวัตถุและผนังภาชนะ

ดังนั้น ถ้านำขวดพลาสติกมาใส่ น้ำ แล้วเจาะรูที่ผนังขวด น้ำจะพุ่งออกมาในทิศทางตั้งฉากกับผนังของขวด เนื่องจากแรงดันของน้ำมีทิศทางตั้งฉากกับผนังภาชนะทุกตำแหน่ง ความดันในของเหลว ณ ตำแหน่งใดๆ สามารถสรุปได้ ดังนี้

1. ของเหลวที่บรรจุอยู่ในภาชนะจะออกแรงดันต่อผนังภาชนะที่สัมผัสกับของเหลวในทุกทิศทาง โดยจะตั้งฉากกับผนังภาชนะเสมอ
2. ทุกๆ จุดในของเหลวจะมีแรงดันกระทำต่อจุดนั้นทุกทิศทาง
3. สำหรับของเหลวชนิดเดียวกัน ความดันของของเหลวจะเพิ่มขึ้นตามความลึก และที่ระดับความลึกเท่ากัน ความดันของเหลวจะเท่ากัน
4. ของเหลวต่างชนิดกันที่ความดันของเหลวจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของของเหลว

เมื่อพิจารณาวัตถุมีมวล m และมีพื้นที่ A อยู่ในของเหลว ชนิดหนึ่งที่มีความหนาแน่น ρ ที่ระดับความลึกใดๆ จะมีแรงดันกระทำกับวัตถุ ดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 แรงดันที่กระทำต่อวัตถุในของเหลว

จากรูปที่ 1.3 ผิวบนของวัตถุอยู่สูงจากก้นภาชนะ y_2 ผิวล่างของวัตถุสูงจากก้นภาชนะ y_1 วัตถุจะมีความหนาแน่น $y_2 - y_1$ ดังนั้น วัตถุจะมีปริมาตรเป็น $A(y_2 - y_1)$ แรงดันที่กระทำต่อผิวล่างและผิวบนของวัตถุ คือ F_1 และ F_2 เมื่อวัตถุอยู่ในสภาวะสมดุล จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \Sigma F &= 0 \\ F_1 &= F_2 + mg \\ F_1 - F_2 &= mg \\ P_1 A - P_2 A &= \rho V g \\ (P_1 - P_2) A &= \rho A(y_2 - y_1) g \\ P_1 - P_2 &= \rho(y_2 - y_1) g \end{aligned}$$

ถ้าเคลื่อนวัตถุขึ้นไปที่ยกระดับของเหลว ค่า P_2 จะเท่ากับค่าความดันบรรยากาศ P_a และถ้ากำหนดให้ $P_1 = P$ และ $h = y_2 - y_1$ จะเขียนสมการได้เป็น

$$P - P_a = \rho h g$$

จัดรูปสมการใหม่จะได้

$$P = P_a + \rho h g \quad (1.5)$$

เมื่อ P คือ ความดันสัมบูรณ์ มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)

P_a คือ ความดันบรรยากาศ มีค่าเท่ากับ 1.013×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร

h คือ ความลึกจากผิวของเหลว มีหน่วยเป็น เมตร (m)

จากสมการที่ 1.5 ค่า P คือ **ความดันสัมบูรณ์ (absolute pressure)** เป็นความดันรวมทั้งหมดที่ความลึกใดๆ และค่า $\rho h g$ คือ ความดันเนื่องจากน้ำหนักของของเหลว เรียกว่า **ความดันเกจ (guage pressure : P_g)** เป็นค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดความดัน ความดันเกจจะขึ้นอยู่กับความลึก เนื่องจากตำแหน่งที่มีความลึกจากผิวของเหลวมากๆ ก็จะมีน้ำหนักของเหลวกดทับลงบนพื้นที่นั้นมากด้วย ความดันเกจมีสมการดังนี้

$$P_g = \rho h g \quad (1.6)$$

ตัวอย่างที่ 1.3 น้ำที่ระดับความลึก 2 เมตร จากผิวหน้า ความดันเกจและความดันสัมบูรณ์จะมีค่าเท่าไร เมื่อความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความดันบรรยากาศเท่ากับ 1.013×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร และความเร่งโน้มถ่วงมีค่าเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที²

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $h = 2 \text{ m}$, $\rho = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $P_a = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ และ $g = 10 \text{ m/s}^2$

$$\begin{aligned} \text{หาความดันเกจจาก} \quad P_g &= \rho h g \\ &= (1 \times 10^3)(10)(2) \\ &= 2 \times 10^4 \text{ N/m}^2 \\ \text{หาความดันสัมบูรณ์จาก} \quad P &= \rho h g + P_a \\ &= (2 \times 10^4) + (1.013 \times 10^5) \\ &= 1.213 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้น ความดันเกจและความดันสัมบูรณ์จะมีค่าเท่ากับ 2×10^4 และ 1.213×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร **ตอบ**

ตัวอย่างที่ 1.4 เรือดำน้ำลำหนึ่งออกแบบมาให้ทนแรงดันสูงสุดได้ 2×10^6 นิวตันต่อตารางเมตร เรือดำน้ำนี้จะดำได้ลึกมากที่สุดเท่าไร ถ้าน้ำทะเลมีความหนาแน่น 1.1×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความดันของบรรยากาศเท่ากับ 1.013×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร และความเร่งโน้มถ่วงมีค่าเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที²

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $P = 2 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, $\rho = 1.1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $P_a = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ และ $g = 10 \text{ m/s}^2$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad P &= \rho gh + P_a \\ 2 \times 10^6 &= (1.1 \times 10^3)h(10) + (1.013 \times 10^5) \\ (1.1 \times 10^4)h &= (20 \times 10^5) - (1.013 \times 10^5) \\ (1.1 \times 10^4)h &= 18.987 \times 10^5 \\ h &= 172.6 \text{ m} \end{aligned}$$

ดังนั้น เรือดำน้ำนี้จะดำได้ลึกมากที่สุด 172.6 เมตร

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.5 ภาชนะปิตรูปลูกบาศก์มีความยาวด้านละ 0.5 เมตร เมื่อบรรจุน้ำเต็มภาชนะ ความดันน้ำที่ก้นภาชนะจะมีค่าเท่าไร กำหนดให้ ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความเร่งโน้มถ่วงมีค่าเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที²

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $h = 0.5 \text{ m}$, $\rho = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ และ $g = 10 \text{ m/s}^2$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad P &= \rho gh \\ &= (1 \times 10^3)(10)(0.5) \\ &= 5 \times 10^3 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้น ความดันน้ำที่ก้นภาชนะจะมีค่าเท่ากับ 5×10^3 นิวตันต่อตารางเมตร

ตอบ

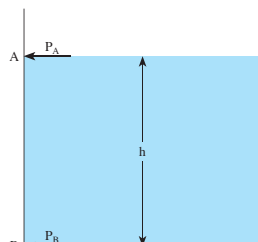
ความดันและแรงดันเฉลี่ย

การหาความดันของเหลวที่กระทำต่อผนังด้านข้างนั้น จะหาได้จากค่าเฉลี่ยของความดันที่จุดบนสุดกับจุดล่างสุดของของเหลว ดังรูปที่ 1.4

จากรูปที่ 1.4 ที่จุด A จะมีความดันเป็นศูนย์ ($P_A = 0$) เนื่องจากไม่มีน้ำหนักของของเหลวกระทำต่อผนังภาชนะ และที่จุด B จะมีความดันเท่ากับ $P_B = \rho gh$ จะหาความดันเฉลี่ยได้จาก

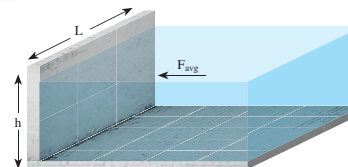
$$\begin{aligned} P_{\text{avg}} &= \frac{P_A + P_B}{2} = \frac{0 + \rho gh}{2} \\ P_{\text{avg}} &= \frac{\rho gh}{2} \end{aligned} \quad (1.7)$$

ความดันเฉลี่ยนั้นสามารถนำไปหาค่าแรงดันเฉลี่ยได้ โดยนำไปใช้สำหรับการคำนวณหาแรงดันที่กระทำต่อผนังภาชนะหรือสันเขื่อน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กรณี ดังนี้



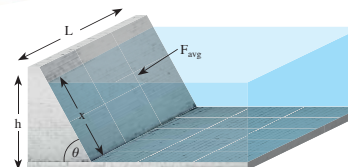
รูปที่ 1.4 ความดันที่กระทำต่อผนังด้านข้าง

ผนังเขื่อนแบบตรง



$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad P &= \frac{F}{A} \\ P_{\text{avg}} &= \frac{F_{\text{avg}}}{A} \\ F_{\text{avg}} &= P_{\text{avg}} A \\ F_{\text{avg}} &= \left(\frac{\rho gh}{2} \right) (hL) \\ F_{\text{avg}} &= \frac{\rho gh^2 L}{2} \end{aligned} \quad (1.8)$$

ผนังเขื่อนแบบเอียง



$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad x &= \frac{h}{\sin \theta} \\ F_{\text{avg}} &= P_{\text{avg}} A \\ F_{\text{avg}} &= \left(\frac{\rho gh}{2} \right) (xL) \\ F_{\text{avg}} &= \left(\frac{\rho gh}{2} \right) \left(\frac{hL}{\sin \theta} \right) \\ F_{\text{avg}} &= \frac{\rho gh^2 L}{2 \sin \theta} \end{aligned} \quad (1.9)$$

ตัวอย่างที่ 1.6 เขื่อนแห่งหนึ่งมีสันเขื่อนยาว 200 เมตร ถ้าเขื่อนแห่งนี้รับแรงดันน้ำได้สูงสุด 2.5×10^8 นิวตัน จะรับระดับน้ำได้สูงที่สุดเท่าไรจึงจะไม่ทำให้เขื่อนพัง กำหนดให้ ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความเร่งโน้มถ่วงมีค่าเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที²

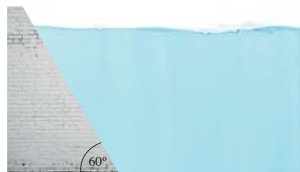
วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $L = 200 \text{ m}$, $F_{\text{avg}} = 2.5 \times 10^8 \text{ N}$, $\rho = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ และ $g = 10 \text{ m/s}^2$

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad F_{\text{avg}} &= \frac{\rho gh^2 L}{2} \\ 2.5 \times 10^8 &= \frac{(1 \times 10^3)(10)h^2(200)}{2} \\ 2.5 \times 10^8 &= 10^5 h^2 \\ h^2 &= 2.5 \times 10^3 \\ h &= 50 \text{ m} \end{aligned}$$

ดังนั้น เขื่อนจะรับระดับน้ำได้สูงที่สุด 50 เมตร จึงจะไม่ทำให้เขื่อนพัง

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.7 เชือกยาว $50\sqrt{3}$ เมตร ผูกติดด้านที่รับน้ำเอียง 60 องศา กับแนวราบ ดังรูป ในขณะที่มีน้ำสูง 20 เมตร แรงดันของน้ำที่กระทำต่อเชือกมีค่าเท่าไร กำหนดให้ ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความเร่งโน้มถ่วงมีค่าเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที²



วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $L = 50\sqrt{3}$ m, $\theta = 60^\circ$, $h = 20$ m, $\rho = 1 \times 10^3$ kg/m³ และ $g = 10$ m/s²

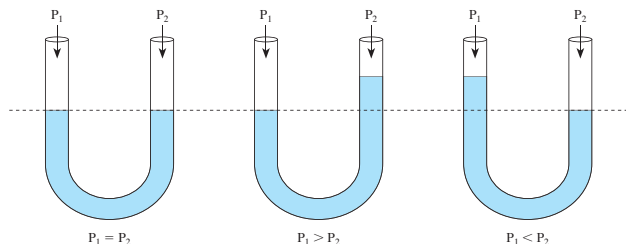
$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad F_{\text{avg}} &= \frac{\rho g h^2 L}{2 \sin \theta} \\ &= \frac{(1 \times 10^3)(10)(20^2)(50\sqrt{3})}{2 \sin 60^\circ} \\ &= \frac{(1 \times 10^3)(10)(20^2)(50\sqrt{3})}{2 \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)} \\ &= 2 \times 10^8 \text{ N} \end{aligned}$$

ดังนั้น แรงดันของน้ำที่กระทำต่อเชือกมีค่าเท่ากับ 2×10^8 นิวตัน

ตอบ

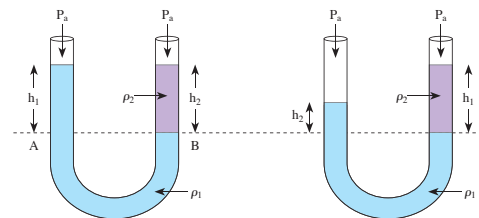
1.3 หลอดแก้วรูปตัวยู

หลอดแก้วรูปตัวยู (U-tube) คือ หลอดแก้วที่มีลักษณะโค้งเป็นรูปตัวยู พื้นที่หน้าตัดของหลอดแก้วทั้ง 2 ด้าน อาจเท่าหรือไม่เท่ากันก็ได้ เมื่อใส่ของเหลวลงในหลอดแก้วรูปตัวยู ระดับของเหลวในหลอดแก้วทั้งสองจะอยู่ที่ระดับเดียวกัน แต่ถ้าความดันภายในหลอดแก้ว 2 ด้านไม่เท่ากัน จะทำให้ระดับของเหลวในหลอดแก้วทั้งสองไม่เท่ากัน ดังรูปที่ 1.5 ถ้าหลอดแก้วมีขนาดเล็กมากๆ แรงตึงผิวของของเหลวจะทำให้ระดับของเหลวภายในหลอดแก้วเปลี่ยนไปเล็กน้อย



รูปที่ 1.5 ระดับของเหลวในหลอดแก้วรูปตัวยู

แรงดันที่ไม่เท่ากันทั้ง 2 ด้านของหลอดแก้ว อาจเกิดจากความดันแก๊สหรือของเหลวอีกชนิดหนึ่งที่มีความหนาแน่นแตกต่างจากของเหลวที่อยู่ในหลอดแก้วตอนแรก ซึ่งเมื่อใส่ของเหลวชนิดที่ 2 ลงไปในหลอดแก้ว จะมีแรงกดหรือน้ำหนักของของเหลวชนิดที่ 2 ที่กระทำต่อของเหลวชนิดแรก ทำให้ระดับของของเหลวชนิดแรกเปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 1.6 โดยถ้าระดับของเหลวด้านซ้ายขยับลงเป็นระยะ x ของเหลวด้านขวาก็จะขยับขึ้นเป็นระยะ x เช่นกัน ซึ่งระดับของเหลวชนิดแรกจะเปลี่ยนแปลงไปมากหรือน้อยนั้นจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเหลวชนิดที่ 2



รูปที่ 1.6 ระดับของเหลว 2 ชนิดในหลอดแก้วรูปตัวยู

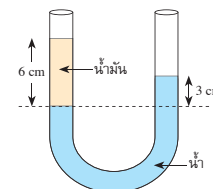
เนื่องจากความดันของของเหลวหนึ่งเกิดจากน้ำหนักของของเหลวที่กดทับลงมา จากรูปที่ 1.6 ถ้ากำหนดให้ระดับล่างสุดของของเหลวชนิดที่สองเป็นระดับอ้างอิง ดังนั้น ความลึกที่ระดับเดียวกันทั้งด้านซ้าย (A) และด้านขวา (B) ของหลอดแก้วจะมีความดันเท่ากัน เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} P_A &= P_B \\ P_a + \rho_1 g h_1 &= P_a + \rho_2 g h_2 \end{aligned}$$

เนื่องจากความดันบรรยากาศทั้ง 2 ด้านของหลอดแก้วมีค่าเท่ากัน จึงหักล้างกันหมด จะได้ว่า

$$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2 \quad (1.10)$$

ตัวอย่างที่ 1.8 น้ำและน้ำมันชนิดหนึ่งบรรจุในหลอดแก้วรูปตัวยู มีระดับน้ำและน้ำมัน ดังรูป ถ้าน้ำและน้ำมันอยู่ในภาวะสมดุลสถิต ความหนาแน่นของน้ำมันชนิดนี้มีค่าเท่าไร ถ้าความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $\rho_{\text{น้ำ}} = 1 \times 10^3$ kg/m³, $h_{\text{น้ำ}} = 3$ cm = 0.03 m และ $h_{\text{น้ำมัน}} = 5$ cm = 0.05 m

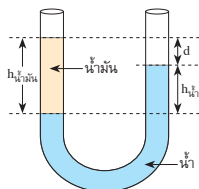
$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad P_A &= P_B \\ \rho_{\text{น้ำมัน}} g h_{\text{น้ำมัน}} &= \rho_{\text{น้ำ}} g h_{\text{น้ำ}} \\ \rho_{\text{น้ำมัน}} (0.06) &= (1 \times 10^3)(0.03) \\ \rho_{\text{น้ำมัน}} &= 500 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

ดังนั้น ความหนาแน่นของน้ำมันชนิดนี้มีค่าเท่ากับ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.9 ท่อรูปตัวยูบรรจุของเหลว 2 ชนิด ที่อยู่ในสภาวะสมดุลสถิต ดังรูป ถ้าให้ของเหลวชนิดหนึ่งเป็นน้ำซึ่งมีความหนาแน่นเท่ากับ 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และของเหลวอีกชนิดหนึ่งเป็นน้ำมันซึ่งมีความหนาแน่น 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ถ้าระดับน้ำมันสูงกว่าระดับน้ำ 0.15 เมตร ระดับน้ำและระดับน้ำมันจะสูงกว่าระดับอ้างอิงเท่าไร

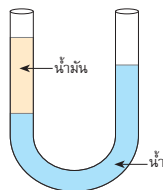
วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $\rho_{\text{น้ำ}} = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{\text{น้ำมัน}} = 800 \text{ kg/m}^3$ และ $d = 0.15 \text{ m}$ วาดภาพประกอบได้ดังนี้



$$\begin{aligned}
 \text{จาก} \quad P_A &= P_B \\
 \rho_{\text{น้ำมัน}} g h_{\text{น้ำมัน}} &= \rho_{\text{น้ำ}} g h_{\text{น้ำ}} \\
 \rho_{\text{น้ำมัน}} (h_{\text{น้ำ}} + d) &= \rho_{\text{น้ำ}} h_{\text{น้ำ}} \\
 (800)(h_{\text{น้ำ}} + 0.15) &= (1 \times 10^3) h_{\text{น้ำ}} \\
 800 h_{\text{น้ำ}} + 120 &= 1,000 h_{\text{น้ำ}} \\
 200 h_{\text{น้ำ}} &= 120 \\
 h_{\text{น้ำ}} &= 0.60 \text{ m} \\
 \text{ระดับความสูงของน้ำมัน} \quad h_{\text{น้ำมัน}} &= h_{\text{น้ำ}} + d \\
 &= 0.60 + 0.15 = 0.75 \text{ m}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ระดับน้ำและระดับน้ำมันจะสูงกว่าระดับอ้างอิง 0.60 และ 0.75 เมตร ตามลำดับ

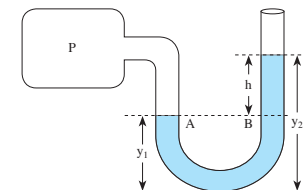
ตอบ



1.4 เครื่องวัดความดัน

จากหลักการที่เกี่ยวข้องกับความดันของของไหลและหลอดแก้วรูปตัวยู สามารถนำไปใช้สร้างเครื่องวัดความดันชนิดต่างๆ ได้ ดังนี้

1. แมนอมิเตอร์ (manometer) เป็นเครื่องมือวัดความดันชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยหลอดแก้วรูปตัวยู ที่บรรจุของเหลวไว้ภายใน ปลายหลอดด้านหนึ่งเปิด จะมีความดันเท่ากับความดันของบรรยากาศ ปลายอีกด้านหนึ่งต่อกับระบบที่ต้องการวัดความดัน เมื่ออ่านค่าความแตกต่างของระดับของเหลวในหลอดแต่ละข้างแล้วนำมาคำนวณ จะสามารถหาค่าความดันของระบบที่วัดได้



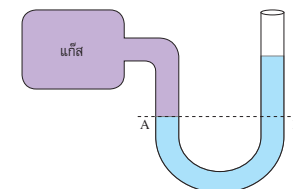
รูปที่ 1.7 การวัดความดันแก๊สด้วยแมนอมิเตอร์

จากรูปที่ 1.7 การวัดความดันแก๊สภายในถังที่มีความดันเป็น P สามารถหาค่าความดันของแก๊สได้โดยกำหนดให้กันหลอดแก้วรูปตัวยูเป็นระดับอ้างอิง จะได้ว่า ความดันที่กันหลอดด้านซ้ายมีค่าเท่ากับความดันที่กันหลอดด้านขวามือ ดังนี้

$$\begin{aligned}
 P + \rho g y_1 &= P_a + \rho g y_2 \\
 P &= P_a + \rho g y_2 - \rho g y_1 \\
 P &= P_a + \rho g (y_2 - y_1) \\
 y_2 - y_1 &= h \\
 P &= P_a + \rho g h
 \end{aligned}$$

จะเห็นได้ว่า การคำนวณหาค่าความดันของแมนอมิเตอร์จะมีวิธีคำนวณเช่นเดียวกับหลอดแก้วรูปตัวยู โดยให้พิจารณาตำแหน่ง A และ B เป็นระดับอ้างอิง

ตัวอย่างที่ 1.10 เมื่อใช้แมนอมิเตอร์วัดความดันของถังที่บรรจุแก๊สชนิดหนึ่ง ระดับปรอทด้านซ้ายและขวาภายในแมนอมิเตอร์ต่างกัน 80 เซนติเมตร ดังรูป ความดันภายในถังแก๊สมีค่าเท่าไร เมื่อความดันบรรยากาศเป็น 1.013×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร ความหนาแน่นปรอทเท่ากับ 13.6×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความเร่งโน้มถ่วงมีค่าเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที²



วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $h = 80 \text{ cm} = 0.8 \text{ m}$, $P_a = 1.013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, $\rho_{\text{Hg}} = 13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ และ $g = 10 \text{ m/s}^2$

$$\begin{aligned}
 \text{จาก} \quad P &= P_a + \rho g h \\
 &= (1.013 \times 10^5) + (13.6 \times 10^3)(10)(0.8) \\
 &= 2.101 \times 10^5 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

ดังนั้น ความดันภายในถังแก๊สมีค่าเท่ากับ 2.101×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร

ตอบ

2. บารอมิเตอร์ (barometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความดันของอากาศ เนื่องจากอากาศมีน้ำหนัก จึงเกิดความกดอากาศลงมายังพื้นโลกได้ โดยที่พื้นผิวโลก จะมีความกดอากาศสูงกว่าตำแหน่งที่สูงจากพื้นผิวโลกขึ้นไป

บารอมิเตอร์มีลักษณะเป็นหลอดแก้วยาว ปลายข้างหนึ่งปิด มีปรอทบรรจุ อยู่ภายในหลอดแก้วจนเต็ม และคว่ำลงไปในอ่างปรอท ดังรูปที่ 1.8 ปรอทจะไม่ไหล ออกจากหลอดจนหมด แต่จะหยุดอยู่ที่ระดับความสูง 760 มิลลิเมตร เนื่องจาก ความกดอากาศภายนอกดันพื้นผิวที่หน้าตัดของอ่างปรอทไว้

จากรูปที่ 1.8 ถ้ากำหนดให้กันอ่างเป็นตำแหน่งอ้างอิง จะได้ว่า ความดัน ที่กันอ่างเนื่องจากปรอทในอ่างมีค่าเท่ากับความดันที่กันอ่างเนื่องจากปรอท ในหลอดแก้ว ดังนี้

$$P_a + \rho g y_1 = \rho g y_2$$

$$P_a = \rho g y_2 - \rho g y_1$$

$$P_a = \rho g (y_2 - y_1)$$

เนื่องจาก

$$y_2 - y_1 = h$$

จะได้

$$P_a = \rho g h$$

ดังนั้น ความกดอากาศจึงสามารถพิจารณาได้จากความสูงของปรอท โดยหน่วยของความกดอากาศหรือ ความดันบรรยากาศจะเป็นหน่วยความสูงของปรอท เรียกว่า **มิลลิเมตรปรอท (mmHg)** นอกจากนี้ยังมีหน่วยเป็น นิ้วปรอท และบาร์ (bar) โดยความดัน 1 มิลลิบาร์ เท่ากับ 100 นิวตันต่อตารางเมตร และความกดอากาศบริเวณผิวโลก ที่ระดับน้ำทะเลปานกลางมีค่าเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท หรือ 1.013.25 มิลลิบาร์

ตัวอย่างที่ 1.11 เมื่อใช้บารอมิเตอร์วัดความดันบรรยากาศที่ยอดเขาแห่งหนึ่ง ปรากฏว่า ปรอทในบารอมิเตอร์ขึ้นไปได้สูง 720 มิลลิเมตรปรอท ถ้าปรอทมีความหนาแน่น 13.6×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความเร่งโน้มถ่วง มีค่าเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที² บนยอดเขาที่มีความดันบรรยากาศเท่าไร

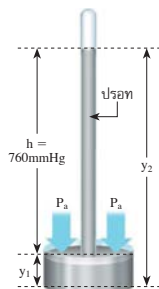
วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $h = 720 \text{ mm} = 720 \times 10^{-3} \text{ m}$, $\rho_{Hg} = 13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ และ $g = 10 \text{ m/s}^2$

จาก

$$\begin{aligned} P_a &= \rho g h \\ &= (13.6 \times 10^3)(10)(720 \times 10^{-3}) \\ &= 0.979 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้น บนยอดเขาที่มีความดันบรรยากาศเท่ากับ 0.979×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร

ตอบ



รูปที่ 1.8 บารอมิเตอร์



กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.1

จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. ของเหลวชนิดหนึ่งเมื่อมีปริมาตรเท่ากับ 0.5 ลูกบาศก์เมตร จะมีความหนาแน่น 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นของเหลวนี้มีความหนาแน่นมากหรือน้อยกว่าน้ำเท่าไร
2. ถ้าเก็บน้ำฝนบรรจุอยู่เต็มถัง ถังสูง 5 เมตร ความดันและความดันสัมบูรณ์ที่ก้นถังมีค่าเท่าไร
3. เมื่อเทน้ำและของเหลวชนิดหนึ่งที่ไม่วางกับน้ำลงไปข้างหนึ่งของหลอดรูปตัวยูที่มีขาโดเท่ากัน เมื่อพิจารณาที่รอยต่อของเหลวทั้งสอง พบว่า ระดับของเหลวสูงจากระดับ 10 เซนติเมตร และระดับน้ำอยู่สูงกว่าระดับของเหลว 2 เซนติเมตร ความหนาแน่นของของเหลวมีค่าเท่าไร
4. เมื่อใช้แมนอมิเตอร์ที่ภายในบรรจุน้ำที่มีความหนาแน่น 103 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร วัดความดันแก๊สในถัง พบว่า ระดับน้ำด้านขวาต่ำกว่าระดับน้ำด้านซ้าย 20 เซนติเมตร ความดันของแก๊สในถังมีค่ากี่มิลลิเมตรปรอท
5. ถ้าบรรจุของเหลวภายในบารอมิเตอร์ด้วยน้ำแทนปรอท ความสูงน้ำจะมีค่าเท่าไร ถ้าความดันบรรยากาศมีค่าเท่ากับ 1.013×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร

2. กฎของพาสคัล



แนวคิดสำคัญ

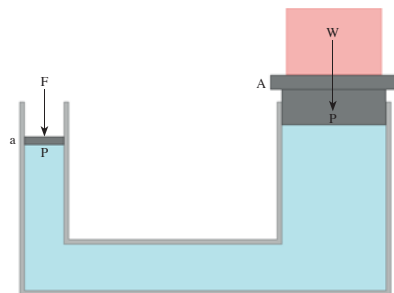
กฎของพาสคัลมีใจความว่า “ความดันที่กระทำต่อส่วนหนึ่งส่วนใดของของไหลที่บรรจุอยู่ในระบบปิด จะถูกส่งผ่านไปยังทุกส่วนของของไหลรวมทั้งผิวด้านของภาชนะด้วยขนาดที่เท่ากันตลอด” หลักการนี้นำไปสร้างเครื่องอัดไฮดรอลิก ซึ่งคำนวณการได้เปรียบเชิงกลได้จากสมการ

$$MA = \frac{W}{A} = \frac{A}{a} = \frac{R^2}{r^2} = \frac{D^2}{d^2}$$



ในชั้นบรรยากาศของโลกมีน้ำหนักของอากาศที่ทำให้เกิดความดันบรรยากาศ และความดันนี้สามารถส่งไปถึงของไหลบริเวณอื่นๆ ได้เช่น ที่ระดับความลึก 100 เมตร จากผิวน้ำทะเลมีความดันประมาณ 10.7 บรรยากาศ ซึ่งมีความดันสัมบูรณ์ที่รวมความดันของบรรยากาศและความดันเนื่องจากน้ำหนักของน้ำทะเล

แบลส์ ปาสกาล (Blaise Pascal) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ได้ศึกษาเกี่ยวกับของไหลและได้เสนอ **กฎของพาสคัล (Pascal's law)** ซึ่งมีใจความว่า “ความดันที่กระทำต่อส่วนหนึ่งส่วนใดของของไหลที่บรรจุอยู่ในระบบปิด จะถูกส่งผ่านไปยังทุกส่วนของของไหลรวมทั้งผิวด้านของภาชนะด้วยขนาดที่เท่ากันตลอด” จากหลักการนี้สามารถนำไปสร้างเครื่องอัดไฮดรอลิก (hydraulic) ซึ่งเป็นเครื่องกลที่ช่วยผ่อนแรงชนิดหนึ่ง ดังรูปที่ 1.9



รูปที่ 1.9 เครื่องอัดไฮดรอลิก

จากรูปที่ 1.9 เมื่อออกแรงกดขนาด F ที่ลูกสูบเล็กพื้นที่หน้าตัด a จะเกิดความดัน P ที่ส่งผ่านไปยังทุกส่วนของของไหลต่อเนื่องไปจนถึงลูกสูบใหญ่ ซึ่งทำให้เกิดแรงกระทำที่ลูกสูบใหญ่พื้นที่หน้าตัด A ซึ่งสามารถยกวัตถุที่มีน้ำหนัก W ได้ ดังนั้น ความดันที่ลูกสูบเล็กจะมีค่าเท่ากับความดันที่ลูกสูบใหญ่ ดังนี้

ความดันที่ลูกสูบเล็ก = ความดันที่ลูกสูบใหญ่

$$\frac{F}{a} = \frac{W}{A} \quad (1.11)$$

จากสมการที่ 1.11 ถ้าพื้นที่หน้าตัดลูกสูบเป็นวงกลม โดยลูกสูบเล็กมีรัศมี r และเส้นผ่านศูนย์กลาง d ส่วนลูกสูบใหญ่มีรัศมี R และเส้นผ่านศูนย์กลาง D จะได้

$$\frac{F}{\pi r^2} = \frac{W}{\pi R^2}$$

$$\frac{F}{r^2} = \frac{W}{R^2} \quad (1.12)$$

$$\left(\frac{F}{d^2}\right) = \left(\frac{W}{D^2}\right)$$

$$\frac{F}{d^2} = \frac{W}{D^2} \quad (1.13)$$

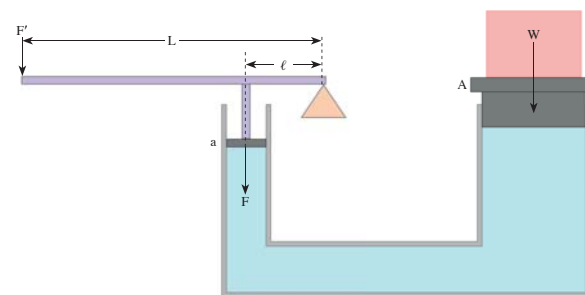
และเมื่อจัดรูปสมการที่ 1.11 ใหม่ ดังนี้

$$\frac{W}{F} = \frac{A}{a} \quad (1.14)$$

ปริมาณ $\frac{W}{F}$ คือ **การได้เปรียบเชิงกล (mechanical advantage : MA)** ซึ่งจากสมการที่ 1.12–1.14 การได้เปรียบเชิงกลทางทฤษฎีจะมีความดังนี้

$$MA = \frac{W}{F} = \frac{A}{a} = \frac{R^2}{r^2} = \frac{D^2}{d^2} \quad (1.15)$$

นอกจากนี้ การติดตั้งโยกที่ลูกสูบเล็กของเครื่องอัดไฮดรอลิก จะช่วยให้ช่วยผ่อนแรงได้มากยิ่งขึ้น โดยใช้หลักการของโมเมนต์และคาน ดังรูปที่ 1.10



รูปที่ 1.10 เครื่องอัดไฮดรอลิกแบบมีคานโยก

จากรูปที่ 1.10 เมื่อออกแรงขนาด F' ที่คานโยก จะทำให้เกิดแรงขนาด F ที่ลูกสูบเล็ก จะสามารถหาการได้เปรียบเชิงกลได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad M_{\text{ทวน}} &= M_{\text{ตาม}} \\ F\ell &= F'L \\ F &= \frac{F'L}{\ell} \end{aligned}$$

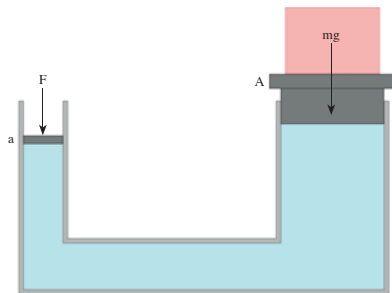
เมื่อแทนค่า F ลงในสมการที่ 1.14 จะได้

$$\frac{W\ell}{F'L} = \frac{A}{a}$$

$$\frac{W}{F'} = \frac{A}{a} \left(\frac{L}{\ell} \right) \quad (1.16)$$

ตัวอย่างที่ 1.12 เครื่องอัดไฮดรอลิกมีขนาดพื้นที่หน้าตัดของกระบอกลูกสูบใหญ่ 100 ตารางเซนติเมตร และขนาดของพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบเล็ก 10 ตารางเซนติเมตร ถ้าต้องการยกวัตถุมวล 1,000 กิโลกรัม จะต้องออกแรงที่ลูกสูบเล็กกี่นิวตัน

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $A = 100 \text{ cm}^2 = 100$, $a = 10 \text{ cm}^2$ และ $m = 1,000 \text{ kg}$
วาดภาพประกอบได้ดังนี้



สามารถคำนวณโดยใช้ค่า a และ A ในหน่วย cm^2 ได้เลย ไม่ต้องแปลงเป็น m^2 เพราะสุดท้ายจะตัดกันหมด



$$\begin{aligned}\frac{F}{a} &= \frac{W}{A} \\ \frac{F}{a} &= \frac{mg}{A} \\ \frac{F}{10} &= \frac{(1000)(10)}{100} \\ F &= 1,000 \text{ N}\end{aligned}$$

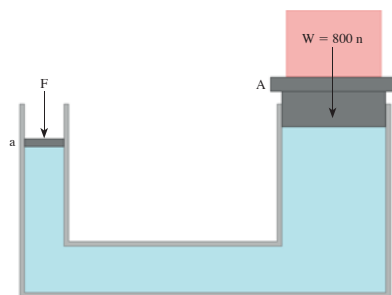
ดังนั้น จะต้องออกแรงที่ลูกสูบเล็ก 1,000 นิวตัน

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.13 เครื่องอัดไฮดรอลิกมีพื้นที่ลูกสูบใหญ่และพื้นที่ลูกสูบเล็กเป็น 10 : 1 จะต้องใช้แรงกดที่ลูกสูบเล็กขนาดกี่นิวตัน จึงจะสามารถยกก้อนน้ำหนักขนาด 800 นิวตันได้พอดี

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $\frac{A}{a} = \frac{10}{1}$ และ $W = 800 \text{ N}$

วาดภาพประกอบได้ดังนี้



$$\begin{aligned}\text{จาก} \quad \frac{F}{a} &= \frac{W}{A} \\ \text{จัดรูปสมการใหม่} \quad \frac{A}{a} &= \frac{W}{F} \\ \frac{10}{1} &= \frac{800}{F} \\ F &= 80 \text{ N}\end{aligned}$$

ดังนั้น จะต้องใช้แรงกดที่ลูกสูบเล็กขนาด 80 นิวตัน

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.14 เครื่องอัดไฮดรอลิกเครื่องหนึ่ง ลูกสูบใหญ่มีรัศมี 0.5 เมตร และลูกสูบเล็กมีรัศมี 0.05 เมตร ถ้าออกแรงกดลูกสูบเล็ก 100 นิวตัน จะสามารถยกวัตถุที่มีมวลสูงสุดได้เท่าไร

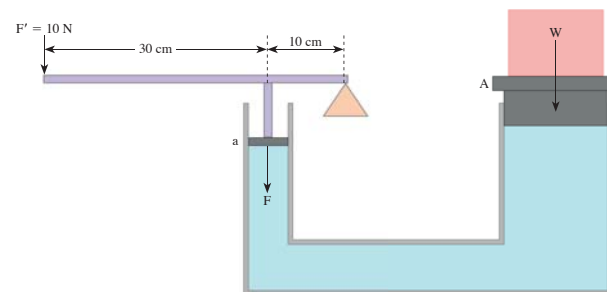
วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $R = 0.5 \text{ m} = 100$, $r = 0.05 \text{ m}$ และ $F = 100 \text{ N}$

$$\begin{aligned}\text{จาก} \quad \frac{F^2}{r^2} &= \frac{W}{R^2} \\ \frac{100}{(0.05)^2} &= \frac{mg}{(0.5)^2} \\ \frac{100}{0.25 \times 10^{-2}} &= \frac{m(10)}{0.25} \\ m &= 1,000 \text{ kg}\end{aligned}$$

ดังนั้น จะสามารถยกวัตถุที่มีมวลสูงสุดได้ 1,000 กิโลกรัม

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.15 เครื่องอัดไฮดรอลิกแบบมีคานโยกมีขนาดลูกสูบเล็ก 4 ตารางเซนติเมตร มีขนาดลูกสูบใหญ่ 48 ตารางเซนติเมตร ถ้าออกแรงกดปลายคาน 10 นิวตัน ดังรูป จะสามารถยกน้ำหนักได้เท่าไร



วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $a = 4 \text{ cm}^2$, $A = 48 \text{ cm}^2$ และ $F' = 10 \text{ N}$

$$\begin{aligned}\text{จาก} \quad \frac{W}{F'} &= \frac{A}{a} \left(\frac{L}{\ell} \right) \\ \frac{W}{10} &= \frac{48}{4} \left(\frac{10+30}{10} \right) \\ \frac{W}{10} &= 48 \\ W &= 480 \text{ N}\end{aligned}$$

ดังนั้น จะสามารถยกน้ำหนักได้ 480 นิวตัน

ตอบ



กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.2

จงตอบคำถามต่อไปนี้

- ลูกสูบของเครื่องอัดไฮดรอลิกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร ใช้ยกโลหะมวล 2,000 กิโลกรัม ความดันที่ลูกสูบเล็กและลูกสูบใหญ่จะมีค่าเท่าไร
- เครื่องอัดไฮดรอลิกเครื่องหนึ่งมีประสิทธิภาพ 80 เปอร์เซ็นต์ ถ้าต้องการยกมวล 1,000 กิโลกรัม จะต้องออกแรงกดที่ลูกสูบเท่าไร ถ้าลูกสูบใหญ่มีพื้นที่เป็น 10 เท่าของลูกสูบเล็ก
- ทันตแพทย์ใช้แก๊สไฮดรอลิกยกคนไข้โดยออกแรงเหยียบลงบนลูกสูบเล็กที่มีรัศมี 1 เซนติเมตร เพื่อคนไข้และแก๊สที่มีมวลรวมกัน 120 กิโลกรัม ทันตแพทย์ต้องออกแรงเหยียบเท่าไร เมื่อรัศมีของกระบอกลูกสูบใหญ่เป็น 5 เซนติเมตร

3. การสลายของธาตุกัมมันตรังสี



แนวคิดสำคัญ

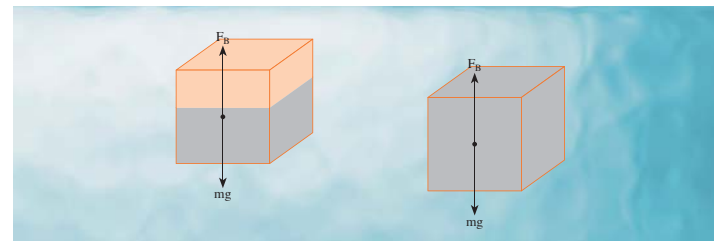
หลักของอาร์คิมิดีสมีความว่า "เมื่อวัตถุจมในของเหลวทั้งก่อนหรือเพียงบางส่วนจะมีแรงพยุงกระทำต่อวัตถุ โดยขนาดของแรงพยุงมีค่าเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกวัตถุนั้นแทนที่" โดยแรงพยุงจะมีค่าเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกวัตถุนั้นแทนที่และเท่ากับน้ำหนักของวัตถุ

”

หากนักเรียนเคยทดลองยกวัตถุหนัก ๆ ในน้ำ จะรู้สึกได้ว่าวัตถุนั้นเบากว่าปกติ หรือถ้าสังเกตวัตถุชนิดต่าง ๆ ในน้ำ จะพบว่า วัตถุบางชนิดจมน้ำ และวัตถุบางชนิดสามารถลอยน้ำได้ ที่เป็นเช่นนั้นเพราะเมื่อวัตถุอยู่ในน้ำ ความดันน้ำจะทำให้เกิดแรงดันน้ำกระทำต่อวัตถุในทุกทิศทาง แต่แรงดันลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุจะมีทิศขึ้น ซึ่งเป็นทิศตรงข้ามกับน้ำหนักของวัตถุ แรงนี้จึงคอยพยุงวัตถุไว้ให้ลอยน้ำได้ หรือมีน้ำหนักที่เบาลง เรียกแรงนี้ว่า **แรงพยุง (buoyant force : F_B)**

“

เมื่อพิจารณาวัตถุที่ลอยอยู่ในของเหลว จะมีแรงที่เกี่ยวข้อง คือ น้ำหนักของวัตถุและแรงพยุง ซึ่งวัตถุนั้นอาจจะจมอยู่ในของเหลวเพียงบางส่วนหรืออาจจะจมน้ำทั้งหมด วัตถุจะอยู่ในสภาวะสมดุล โดยแรงพยุงจะมีค่าเท่ากับน้ำหนักของวัตถุ ดังรูปที่ 1.11 และการหาค่าแรงพยุงที่กระทำต่อวัตถุที่อยู่ในของเหลวมีวิธีการอย่างไร ให้นักเรียนศึกษาจากกิจกรรมที่ 1.1



รูปที่ 1.11 วัตถุที่ลอยอยู่หนึ่งในของเหลวจะมีแรงพยุงที่มีค่าเท่ากับน้ำหนักของวัตถุ



กิจกรรมการทดลอง

กิจกรรมที่ 1.1 แรงพยุง

จุดประสงค์

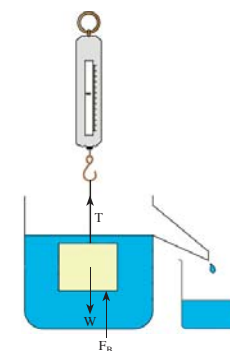
เพื่อศึกษาการหาค่าแรงพยุงที่กระทำต่อวัตถุที่อยู่ในของเหลว

วัสดุอุปกรณ์

- ถ้วยเรก้าหรือบีกเกอร์ขนาดใหญ่ 1 ใบ
- บีกเกอร์หรือกระบอกตวง 1 ใบ
- เครื่องชั่งสปริง 1 อัน
- วัตถุตัวอย่างที่หาปริมาตรได้ง่าย 1 ชิ้น

วิธีปฏิบัติ

- นำวัตถุตัวอย่างผูกกับเชือกเส้นเล็ก ๆ แล้วแขวนกับเครื่องชั่งสปริง อ่านค่าน้ำหนักของวัตถุ แล้วบันทึกผลเป็นค่า W
- บรรจุน้ำลงในถ้วยเรก้าหรือบีกเกอร์ขนาดใหญ่จนเต็ม แล้วนำวัตถุที่แขวนกับเครื่องชั่งสปริงค่อย ๆ หย่อนลงในถ้วยเรก้า โดยวางบีกเกอร์หรือกระบอกตวงไว้รองรับน้ำที่ล้นออกมาจากถ้วยเรก้า ดังรูป
- เมื่อวัตถุจมอยู่ในของเหลวทั้งหมดให้อ่านค่าน้ำหนักของวัตถุบนเครื่องชั่งสปริง แล้วบันทึกผลเป็นค่า T
- คำนวณหาค่าแรงพยุง F_B โดยใช้สมการ $T + F_B = W$
- คำนวณหาปริมาตรของวัตถุตัวอย่าง แล้วเปรียบเทียบกับปริมาตรของวัตถุกับปริมาตรของน้ำในบีกเกอร์
- หาน้ำหนักของน้ำด้วยการชั่งหรือคำนวณจากปริมาตรของน้ำในบีกเกอร์ แล้วเปรียบเทียบค่าของแรงพยุงกับน้ำหนักของน้ำที่ล้นออกมา



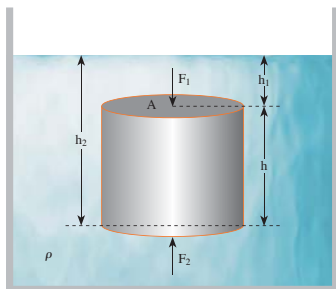
คำถามท้ายกิจกรรม

1. ค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งสปริงเมื่อชั่งวัตถุในอากาศและในน้ำมีค่าเท่ากันหรือไม่อย่างไร
2. ปริมาตรของวัตถุตัวอย่างมีค่าเท่ากับปริมาตรของน้ำในบีกเกอร์หรือไม่อย่างไร
3. ค่าของแรงพยุกับน้ำหนักของน้ำที่ล้นออกมามีค่าเท่ากันหรือไม่ อย่างไร

จากกิจกรรมที่ 1.1 เมื่อหย่อนวัตถุที่แขวนอยู่กับเครื่องชั่งสปริงลงในน้ำ พบว่า น้ำจะค่อยๆ ล้นออกจากถ้วยเรากลงมาในบีกเกอร์โดยปริมาตรของน้ำในบีกเกอร์มีค่าเท่ากับปริมาตรของวัตถุตัวอย่าง ค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งสปริงจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่อ่านได้ขณะชั่งวัตถุในอากาศเนื่องจากมีแรงพยุคอยพยุงวัตถุไว้ ซึ่งค่าของแรงพยุจะมีค่าเท่ากับน้ำหนักของน้ำที่ล้นออกมา

เนื่องจากแรงพยุในของเหลวเกิดขึ้นจากความดันที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึก เมื่อวัตถุจมอยู่ในของเหลว ความดันที่ตำแหน่งด้านล่างของวัตถุจะมีค่ามากกว่าความดันที่ตำแหน่งด้านบนของวัตถุ ทำให้แรงดันที่ตำแหน่งด้านล่างของวัตถุซึ่งมีทิศขึ้นมีค่ามากกว่าแรงดันที่ตำแหน่งด้านบนของวัตถุซึ่งมีทิศลง ดังนั้น แรงดันลัพธ์หรือแรงพยุที่กระทำต่อวัตถุจึงมีทิศขึ้นด้านบน

พิจารณาวัตถุรูปทรงกระบอกที่มีความสูง h มีพื้นที่หน้าตัด A จมอยู่ในของเหลวที่มีความหนาแน่น ρ ดังรูป 1.12



รูปที่ 1.12 แรงดันที่กระทำต่อวัตถุในของเหลว

จากรูปที่ 1.12 ที่ตำแหน่งพื้นที่ผิวด้านบนของวัตถุ จะมีความดัน P_1 และมีแรงดัน F_1 กระทำในแนวตั้งฉากกับพื้นที่ A จะได้ว่า

$$\begin{aligned} F_1 &= P_1 A \\ F_1 &= \rho g h_1 A \end{aligned}$$

และที่ตำแหน่งพื้นที่ผิวด้านล่างของวัตถุ จะมีความดัน P_2 และมีแรงดัน F_2 กระทำในแนวตั้งฉากกับพื้นที่ A จะได้ว่า

$$\begin{aligned} F_2 &= P_2 A \\ F_2 &= \rho g h_2 A \end{aligned}$$

เนื่องจากตำแหน่งพื้นที่ผิวด้านล่างของวัตถุมีค่ามากกว่าด้านบน แสดงว่า $F_2 > F_1$ จะหาขนาดของแรงพยุได้จาก

$$\begin{aligned} F_B &= F_2 - F_1 \\ F_B &= (\rho g h_2 A) - (\rho g h_1 A) \\ F_B &= \rho g A (h_2 - h_1) = \rho g A h \end{aligned}$$

เนื่องจากปริมาตรของทรงกระบอกมีค่าเท่ากับ $V = Ah$

$$\text{ดังนั้น} \quad F_B = \rho V g \quad (1.16)$$

เมื่อ F_B คือ ขนาดของแรงพยุ
 ρ คือ ความหนาแน่นของของเหลว
 V คือ ปริมาตรของวัตถุส่วนที่จมในของเหลว

เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ 1.17 กับสมการที่ 1.2 จะทำให้ทราบว่า ขนาดของแรงพยุ (F_B) มีค่าเท่ากับน้ำหนักของของเหลว ($mg = \rho V g$) ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับวัตถุที่จมลงในของเหลว โดยสามารถใช้ได้กับวัตถุที่มีรูปทรงอื่น ๆ นอกจากทรงกระบอกได้ทุกรูปทรง

อาร์คิมิดีส (Archimedes) นักวิทยาศาสตร์ชาวกรีก เป็นผู้ค้นพบหลักการนี้และได้เสนอ **หลักของอาร์คิมิดีส (Archimedes's principle)** ซึ่งมีใจความว่า “เมื่อวัตถุจมในของเหลวทั้งก้อนหรือเพียงบางส่วนจะมีแรงพยุกระทำต่อวัตถุ โดยขนาดของแรงพยุมีค่าเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกวัตถุนั้นแทนที่” โดยน้ำหนักของของเหลวที่ถูกแทนที่จะเท่ากับปริมาตรของวัตถุส่วนที่จมนั่นเอง

ตัวอย่างที่ 1.16 กระบองน้ำอัดลมมีปริมาตร 325 ลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้ากระบองนี้จมอยู่ในน้ำทั้งหมด แรงพยุจะมีขนาดเท่าไร เมื่อความหนาแน่นของน้ำมีค่าเท่ากับ 1×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความเร่งโน้มถ่วงมีค่าเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที 2

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $V = 325 \text{ cm}^3 = 325 \times 10^{-6} \text{ m}^3$, $\rho = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ และ $g = 10 \text{ m/s}^2$

จาก

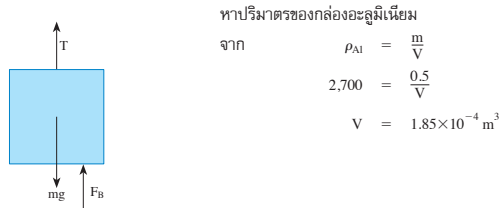
$$\begin{aligned} F_B &= \rho V g \\ &= (1 \times 10^3)(325 \times 10^{-6})(10) \\ &= 3.25 \text{ N} \end{aligned}$$

ดังนั้น แรงพยุจะมีขนาดเท่ากับ 3.25 นิวตัน

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.17 ก้อนอะลูมิเนียมมวล 0.5 กิโลกรัม มีความหนาแน่น 2,700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อแขวนด้วยเชือกและหย่อนลงในน้ำจนท่วมก้อนทั้งหมด แรงตึงในเส้นเชือกมีขนาดเท่าไร กำหนดให้ ความหนาแน่นของน้ำมีค่าเท่ากับ 1×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความเร่งโน้มถ่วงมีค่าเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที 2

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $m = 0.5 \text{ kg}$, $\rho_{\text{Al}} = 2,700 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{\text{น้ำ}} = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ และ $g = 10 \text{ m/s}^2$
วาดภาพประกอบได้ดังนี้



จากรูป

$$T + F_b = mg$$

$$T + \rho_{\text{น้ำ}} V g = mg$$

$$T + (1 \times 10^3)(1.85 \times 10^{-4})(10) = (0.5)(10)$$

$$T + 1.85 = 5$$

$$T = 3.15 \text{ N}$$

ดังนั้น แรงตึงในเส้นเชือกมีขนาดเท่ากับ 3.15 นิวตัน

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.18 ท่อนไม้ลอยในน้ำมีความหนาแน่น 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่า มีส่วนลอยน้ำ 1 ส่วน และจมน้ำ 4 ส่วนโดยปริมาตร ความหนาแน่นของท่อนไม้มีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $\rho_{\text{น้ำ}} = 1,000 \text{ kg/m}^3$ และท่อนไม้มีส่วนลอยน้ำ 1 ส่วน จมน้ำ 4 ส่วน แสดงว่า ปริมาตรส่วนที่จมน้ำของท่อนไม้เท่ากับ $V_{\text{จมน้ำ}} = \frac{4}{5}V$

จาก

$$F_b = mg$$

$$\rho_{\text{น้ำ}} V_{\text{จมน้ำ}} g = \rho_{\text{ไม้}} V g$$

$$(1,000)(\frac{4}{5}V) = \rho_{\text{ไม้}} V$$

$$\rho_{\text{ไม้}} = 800 \text{ kg/m}^3$$

ดังนั้น ความหนาแน่นของท่อนไม้มีค่าเท่ากับ 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตอบ



กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.3

จงตอบคำถามต่อไปนี้

1. แรงพยุงที่กระทำต่อวัตถุที่ลอยในน้ำเกิดขึ้นได้อย่างไร
2. ลูกบอลทรงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร เมื่อนำไปลอยน้ำ พบว่า ลูกบอลมีส่วนที่จมน้ำ 3 ใน 4 ส่วนของปริมาตรทั้งหมด แรงพยุงที่กระทำต่อลูกบอลมีค่าเท่าไร ถ้าน้ำมีความหนาแน่น 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
3. เมื่อชั่งน้ำหนักของกำไลด้วยเครื่องชั่งสปริงในอากาศอ่านค่าได้ 0.5 นิวตัน และเมื่อชั่งในน้ำอ่านค่าได้ 0.46 นิวตัน กำไลนี้มีปริมาตรเท่าไร
4. วัตถุมีความหนาแน่น 920 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จมลงในน้ำที่มีความหนาแน่น 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร วัตถุมีส่วนที่จมน้ำเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรทั้งหมด
5. วัตถุชิ้นหนึ่งลอยอยู่บนผิวน้ำที่มีความหนาแน่น 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีส่วนที่จมน้ำครึ่งหนึ่งของวัตถุ ความหนาแน่นของวัตถุมีค่าเท่าไร

4. ความตึงผิวและความหนืด



แนวคิดสำคัญ

ความตึงผิวทำให้วัตถุบางชนิดลอยอยู่บนผิวของเหลวได้เนื่องจากแรงตึงผิว ซึ่งเป็นแรงยึดเหนี่ยวที่ผิวของเหลว แรงตึงผิวหาได้จากสมการ $F = \gamma L$

ความหนืดของเหลวทำให้วัตถุที่เคลื่อนที่ในของเหลวเกิดแรงหนืด ซึ่งเป็นแรงที่ต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ แรงหนืดหาได้จากสมการ $F_v = 6\pi\eta r v$

ความตึงผิวและความหนืดเป็นสมบัติอย่างหนึ่งของของเหลว มีรายละเอียดดังนี้

4.1 ความตึงผิว

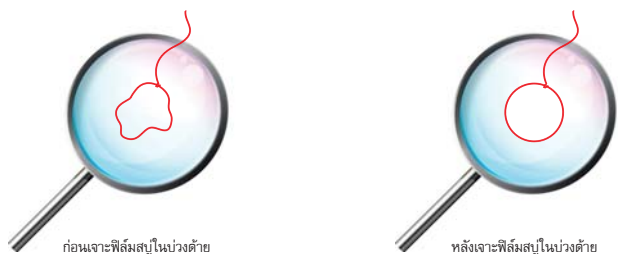
ความตึงผิว (surface tension : γ) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับผิวของของเหลวที่ต้านแรงจากภายนอก เช่น วัตถุบางชนิดที่มีความหนาแน่นมากกว่าของเหลวสามารถลอยอยู่บนผิวของของเหลวได้ ดังรูปที่ 1.13



รูปที่ 1.13 ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความตึงผิว

ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นเนื่องจากแรงระหว่างผิวของเหลวซึ่งมีค่ามากกว่าน้ำหนักของวัตถุ จึงทำให้วัตถุสามารถลอยอยู่บนผิวของเหลวได้ แรงนี้เรียกว่า **แรงตึงผิว (surface tension force)** เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ผิวของเหลว ทำให้ผิวของเหลวเรียบตึง ทำให้ของเหลวเกาะรวมกันเป็นหยด ของเหลวแต่ละชนิดจะมีแรงตึงผิวไม่เท่ากัน โดยแรงตึงผิวจะมีทิศทางกับผิวของเหลวและตั้งฉากกับขอบของภาชนะที่ของเหลวสัมผัส

เมื่อน้ำสวดมาดเป็นวงกลมแล้วจุ่มลงในน้ำสบู่อะไรสักอย่างในขวดสวด จากนั้นวางเส้นด้ายเล็กๆ ที่ผูกเป็นบ่วงไว้ตรงกลางฟิล์มสบู่ เมื่อเจาะให้ฟิล์มสบู่ภายในบ่วงด้ายขาด บ่วงด้ายจะขยายตัวออกเป็นรูปร่างกลม เนื่องจากแรงตึงผิวของฟิล์มสบู่ต้านนอกบ่วงด้ายดึงบ่วงด้ายออกในทุกทิศทาง ดังรูปที่ 1.14



ก่อนเจาะฟิล์มสบู่ในบ่วงด้าย

หลังเจาะฟิล์มสบู่ในบ่วงด้าย

รูปที่ 1.14 แรงตึงผิวของน้ำสบู่อำนาจให้บ่วงด้าย

การวัดแรงตึงผิวของของเหลวอย่างง่ายสามารถทำได้โดยใช้ดลวดวงกลม ผูกกับเชือก แล้วนำไปคล้องกับเครื่องชั่งสปริงชนิดละเอียด เมื่อวางดลวดนี้ลงบนผิวของเหลว แล้วค่อยๆ ยกเครื่องชั่งสปริงขึ้น ค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งสปริงขณะที่ดลวดหลุดออกจากผิวของเหลวพอดี จะมีค่าเท่ากับขนาดของแรงตึงผิว ดังรูปที่ 1.15

ความตึงผิวของของเหลวมีค่าเท่ากับขนาดของแรงตึงผิวต่อหนึ่งหน่วยความยาวดังสมการ

$$\gamma = \frac{F}{L} \quad (1.18)$$

ดังนั้น จะหาขนาดของแรงตึงผิวได้จากสมการ

$$F = \gamma L \quad (1.19)$$



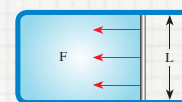
รูปที่ 1.15 การวัดแรงตึงผิว

เมื่อ F คือ ขนาดของแรงตึงผิว มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

γ คือ ความตึงผิว มีหน่วยเป็น นิวตันต่อเมตร (N/m)

L คือ ความยาวของวัตถุที่สัมผัสกับของเหลว มีหน่วยเป็น เมตร (m)

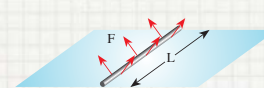
ความยาว L จะขึ้นอยู่กับรูปร่างของวัตถุ โดยจะพิจารณาเฉพาะความยาวบริเวณผิววัตถุที่สัมผัสกับของเหลวซึ่งแบ่งเป็นกรณีต่างๆ ดังนี้



ลวดตรงวางผาด

มีส่วนที่สัมผัสของเหลวด้านเดียว

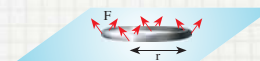
$$F = \gamma L$$



ลวดตรง

มีส่วนที่สัมผัสของเหลว 2 ด้าน

$$F = \gamma 2L$$

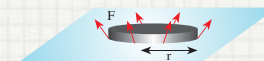


ลวดวงกลม

มีส่วนที่สัมผัสของเหลว 2 ด้าน

$$F = \gamma 2(2\pi r)$$

$$F = \gamma L$$



ลวดวงกลม (เหรียญ)

มีส่วนที่สัมผัสของเหลวด้านเดียว

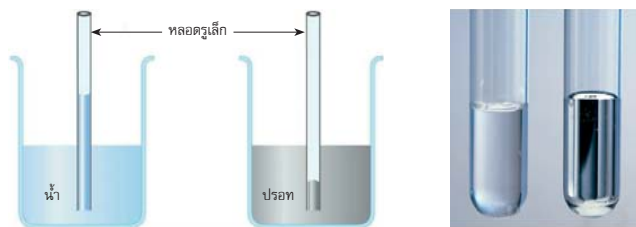
$$F = \gamma 2(2\pi r)$$

$$F = \gamma L$$

ปรากฏการณ์รูเล็ก

ปรากฏการณ์รูเล็ก (capillary effect) เกิดจากแรงดึงดูดผิวเมื่อจุ่มหลอดรูเล็ก (capillary tube) ลงในของเหลว โดยทั่วไป ของเหลวจะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของของเหลว ซึ่งทำให้ของเหลวเกาะกันเป็นหยดได้ เรียกว่า **แรงเชื่อมแน่น (cohesive force)** และมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของของเหลวกับโมเลกุลของวัตถุอื่น เช่น ผนังภาชนะ ขึ้นได้ ไปไม่ เรียกว่า **แรงยึดติด (adhesive force)**

เมื่อพิจารณาแรงเชื่อมแน่นและแรงยึดติดของน้ำและปรอท น้ำจะมีแรงเชื่อมแน่นมากกว่าแรงยึดติด ส่วนปรอทจะมีแรงยึดติดมากกว่าแรงเชื่อมแน่น ปรากฏการณ์รูเล็กของน้ำและปรอทจึงมีลักษณะดังรูปที่ 1.16



รูปที่ 1.16 ระดับของน้ำและปรอทในหลอดรูเล็ก

จากรูปที่ 1.16 จะเห็นได้ว่า ระดับน้ำในหลอดรูเล็กจะสูงกว่าระดับน้ำภายนอก เนื่องจากน้ำจะมีแรงเชื่อมแน่นมากกว่าแรงยึดติด จึงเกาะผิวภาชนะขึ้นไปได้ ส่วนระดับปรอทในหลอดรูเล็กจะต่ำกว่าระดับปรอทภายนอก เนื่องจากปรอทมีแรงยึดติดมากกว่าแรงเชื่อมแน่น จึงยึดเกาะกับผิวภาชนะได้น้อยกว่าน้ำ

ปรากฏการณ์รูเล็กที่พบได้ในชีวิตประจำวัน เช่น การส่งน้ำผ่านท่อลำเลียงน้ำของต้นพืช การเก็บตัวอย่างเลือด โดยใช้หลอดแก้วรูเล็ก การซึมของน้ำผ่านเส้นใยผ้าหรือกระดาษ

4.2 ความหนืด

โดยทั่วไป ของเหลวจะมีสมบัติหนึ่งเรียกว่า **ความหนืด (viscosity)** โดยเมื่อของเหลวมีส่วนที่เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วไม่เท่ากัน จะเกิดความเสียดทานระหว่างชั้นของเหลวที่ติดกัน หรือเมื่อของเหลวเคลื่อนที่ภายในท่อ ภาชนะ หรือเคลื่อนผ่านสิ่งกีดขวาง จะเกิดแรงเสียดทานระหว่างของเหลวกับวัตถุนั้น แรงต้านนี้เรียกว่า **แรงหนืด (viscous force)**

เซอร์จอร์จ สโตกส์ (Sir George Stokes) ได้ศึกษาแรงหนืดที่กระทำต่อวัตถุทรงกลมขณะเคลื่อนที่ในของไหล โดยปล่อยวัตถุทรงกลมขนาดเล็กให้เคลื่อนที่ผ่านของเหลวที่มีความหนืด และได้เสนอ **กฎของสโตกส์ (Stoke's law)** ซึ่งใจความว่า “เมื่อปล่อยวัตถุทรงกลมให้เคลื่อนที่ในของเหลว ความหนืดของของเหลวจะทำให้เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ” โดยแรงหนืดจะมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุและขนาดของแรงหนืดจะแปรผันตรงกับอัตราเร็วของวัตถุ ดังสมการ

$$F_v = 6\pi\eta r v \quad (1.20)$$

เมื่อ F_v คือ ขนาดของแรงหนืด มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

η คือ ความหนืด มีหน่วยเป็น นิวตัน-วินาทีต่อตารางเมตร (N-s/m²) หรือ พาสคัล-วินาที (Pa-s)

r คือ รัศมีของวัตถุที่ทรงกลม มีหน่วยเป็น เมตร (m)

v คือ อัตราเร็วของวัตถุ หน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

ความหนืดยังมีหน่วยอื่นอีก ได้แก่ ดายน์-วินาทีต่อเซนติเมตร² (dyne-s/cm²) และหน่วยปัวส์ (poise : P) ดังตาม ซอง ลุยส์ มาเรีย ปัวส์ยูยส์เล (Jean Louis Maria Poiseuille) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส โดย 1 N-s/m² = 1 Pa-s = 10 P



เมื่อทดลองปล่อยวัตถุทรงกลมขนาดเล็กให้เคลื่อนที่ผ่านของเหลวที่มีความหนืด แรงที่กระทำต่อวัตถุทรงกลมจะประกอบไปด้วยแรงต้านจากความหนืดซึ่งได้จากกฎของสโตกส์ แรงพยุงที่ของเหลวกระทำต่อวัตถุ และน้ำหนักของวัตถุ ดังรูปที่ 1.17

เมื่อปล่อยวัตถุ วัตถุจะมีความเร็วเริ่มต้นเป็นศูนย์และเคลื่อนที่ลงด้วยความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก แรงต้านจากความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วของวัตถุเพิ่มขึ้น จนในที่สุดวัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว เรียกว่า **ความเร็วปลาย (terminal velocity : v_t)** ซึ่งหมายความว่า แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเป็นศูนย์ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$F_B + F_v - W = 0$$

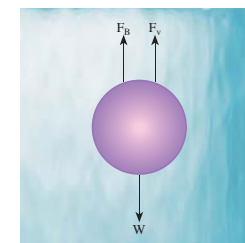
$$\rho_f V g + F_v = mg$$

$$\rho_f \left(\frac{4}{3} \pi r^3 \right) g + 6\pi \eta r v_t = \rho \left(\frac{4}{3} \pi r^3 \right) g$$

$$v_t = \frac{2r^2 g (\rho - \rho_f)}{9\eta} \quad (1.20)$$

เมื่อ ρ_f คือ ความหนาแน่นของของเหลว

ρ คือ ความหนาแน่นของวัตถุ



รูปที่ 1.17 แรงกระทำต่อวัตถุขณะเคลื่อนที่ในของเหลว

ตัวอย่างที่ 1.19 ก๊าซฮีโรนมีสัมประสิทธิ์ความหนืด 1.5 พาสคัล-วินาที เมื่อปล่อยลูกเหล็กทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 มิลลิเมตร ให้เคลื่อนที่ในก๊าซฮีโรนจนกระทั่งมีความเร็วปลาย 3 เมตรต่อวินาที แรงต้านเนื่องจากความหนืดของก๊าซฮีโรนมีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $\eta = 1.5 \text{ Pas}$, $r = 7 \text{ mm} = 7 \times 10^{-3} \text{ m}$ และ $v = 3 \text{ m/s}$

$$\begin{aligned} F_v &= 6\pi\eta rv \\ &= 6\pi(1.5)(7 \times 10^{-3})(3) \\ &= 0.594 = 0.6 \text{ N} \end{aligned}$$

ดังนั้น แรงต้านเนื่องจากความหนืดของก๊าซฮีโรนมีค่าเท่ากับ 0.6 นิวตัน

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.20 ปล่อยลูกเหล็กทรงกลมรัศมี 2 มิลลิเมตร ให้เคลื่อนที่ในก๊าซฮีโรน ความเร็วปลายของลูกเหล็กมีค่าเท่าไร เมื่อกำหนดให้ ความหนาแน่นของเหล็กเท่ากับ 7.8×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความหนาแน่นของก๊าซฮีโรนเท่ากับ 1.3×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความหนืดของก๊าซฮีโรนเท่ากับ 0.833 พาสคัล-วินาที

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $r = 2 \text{ mm} = 2 \times 10^{-3} \text{ m}$, $\rho = 7.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $\rho_c = 1.3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ และ $\eta = 0.833 \text{ Pas}$

$$\begin{aligned} v_t &= \frac{2r^2 g(\rho - \rho_c)}{9\eta} \\ &= \frac{2(2 \times 10^{-3})^2 (10)(7.8 \times 10^3 - 1.3 \times 10^3)}{9(0.833)} \\ &= 6.94 \times 10^{-2} \text{ m/s} \end{aligned}$$

ดังนั้น ความเร็วปลายของลูกเหล็กมีค่าเท่ากับ 6.94×10^{-2} เมตรต่อวินาที

ตอบ



กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.4

จงตอบคำถามต่อไปนี้

- เหตุใดวัตถุบางอย่างที่มีความหนาแน่นมากกว่าของเหลวจึงสามารถลอยอยู่บนของเหลวได้
- หากต้องการทราบค่าแรงตึงผิวของของเหลวชนิดหนึ่ง จะมีวิธีการวัดอย่างไร
- ถ้าวงเชือกเย็บผ้าที่มีความยาว 3 เซนติเมตร ลงบนผิวของเหลวชนิดหนึ่งที่มีความตึงผิวเท่ากับ 6.32×10^{-2} นิวตันต่อเมตร จะต้องออกแรงดึงเชือกเย็บผ้าเท่าไรจึงจะหลุดออกจากผิวของเหลวพอดี
- เมื่อวางเหรียญโลหะที่มีรัศมี 1.4 เซนติเมตร ลงบนผิวน้ำแล้วออกแรงตึงเหรียญ พบว่า เมื่อดึงเหรียญด้วยแรง 6.4×10^{-3} นิวตัน เหรียญจะหลุดออกจากผิวน้ำพอดี น้ำมีความตึงผิวเท่าไร
- ของเหลวชนิดหนึ่งมีความหนาแน่น 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อปล่อยลูกเหล็กทรงกลมที่มีความหนาแน่น 7.2×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร รัศมี 1 มิลลิเมตร ให้เคลื่อนที่ในของเหลว ถ้าวัดความเร็วปลายของลูกเหล็กได้ 0.05 เมตรต่อวินาที ของเหลวนี้มีความหนืดเท่าไร

5. พลศาสตร์ของไหล



แนวคิดสำคัญ

หลักของแบร์นูลลีหมายความว่า “เมื่อของไหลเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วที่มากขึ้น ความดันในของไหลจะลดลง และเมื่ออัตราเร็วลดลง ความดันในของไหลจะเพิ่มขึ้น” โดยสมการของแบร์นูลลีเป็นดังนี้

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

จากหัวข้อที่ผ่านมาเป็นการศึกษาสมบัติของของไหล เช่น ความดัน แรงพุง ความตึง ความหนืด ในสภาวะที่ของไหลอยู่นิ่งหรือไม่มีการเคลื่อนที่ สำหรับหัวข้อนี้จะศึกษาเกี่ยวกับ **พลศาสตร์ของของไหล (fluid dynamics)** หรือสภาวะที่ของไหลมีการเคลื่อนที่ เช่น การไหลของอากาศผ่านปีกเครื่องบิน การไหลของน้ำในท่อ

โดยปกติแล้วของไหลจะมีการเคลื่อนที่ที่ซับซ้อนและปั่นป่วนเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาค้นคว้าจึงพิจารณาเฉพาะกรณีของ **ของไหลอุดมคติ (ideal fluid)** ซึ่งมีสมบัติดังนี้

ของไหลอุดมคติ

มีการไหล
อย่างสม่ำเสมอ
(steady flow)

ทุกตำแหน่ง
ภายในของไหล
บนพื้นที่หน้าตัดหนึ่ง
จะมีความเร็วคงตัว

มีการไหล
โดยไม่หมุน
(irrotational flow)

บริเวณรอบจุดๆ หนึ่ง
ในของไหล จะไม่มี
อนุภาคของไหล
เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว
เชิงมุมรอบจุดๆ นั้น

ไม่สามารถอัดได้
(Incompressible flow)

ของไหลจะมีปริมาตร
และความหนาแน่น
คงตัว

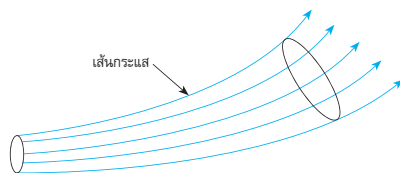
มีการไหล
โดยไม่มีความหนืด
เนื่องจากความหนืด
(nonviscous flow)

ไม่มีแรงหนืดภายใน
ชั้นของไหลกระทำต่อ
อนุภาคของของไหล

5.1 สมการความต่อเนื่อง

เมื่อพิจารณาอนุภาคของของไหลที่เคลื่อนที่ อนุภาคจะเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางเส้นหนึ่ง เรียกว่า **เส้นกระแส (streamline)** โดยของไหลอุดมคติจะมีการไหลแบบราบเรียบ (laminar flow) ลักษณะของเส้นกระแสจึงเรียงกันอย่างเป็นระเบียบและสม่ำเสมอ

เส้นกระแสของการไหลหรือฟลักซ์ของการไหลในทุกๆ จุดของของไหลขณะใดขณะหนึ่ง ของไหลจะมีการไหลสม่ำเสมอและคงตัว เมื่อให้เส้นกระแสจำนวนหนึ่งหรือมัดหนึ่งมาประกอบกันเป็นท่อหรือหลอด จะเรียกว่า **หลอดของการไหล (tube of flow)** ดังรูปที่ 1.18



รูปที่ 1.18 หลอดของการไหล

พิจารณาหลอดของการไหลที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่เท่ากัน โดยของไหลไหลผ่านพื้นที่หน้าตัด A_1 ด้วยอัตราเร็ว v_1 ไปยังพื้นที่หน้าตัด A_2 ด้วยอัตราเร็ว v_2 ดังรูปที่ 1.19



รูปที่ 1.19 หลอดของการไหลที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่เท่ากัน

จากรูปที่ 1.19 ของไหลที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด A_1 ในช่วงเวลา Δt จะมีปริมาตร (V_1) เท่ากับ $A_1 v_1 \Delta t$ และของไหลที่ผ่านพื้นที่หน้าตัด A_2 ในช่วงเวลา Δt จะมีปริมาตร (V_2) เท่ากับ $A_2 v_2 \Delta t$ ถ้าของไหลมีความหนาแน่นเท่ากับ ρ มวลของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัด A_1 จะเท่ากับมวลของของไหลที่ไหลผ่านพื้นที่หน้าตัด A_2 ในช่วงเวลาเดียวกัน ดังนี้

$$\begin{aligned} m_1 &= m_2 \\ \rho V_1 &= \rho V_2 \\ \rho A_1 v_1 \Delta t &= \rho A_2 v_2 \Delta t \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

(1.22)

สมการนี้เรียกว่า **สมการความต่อเนื่อง (equation of continuity)** แสดงให้เห็นว่า ความเร็วของของไหลในท่อแปรผกผันกับพื้นที่หน้าตัดของท่อ และผลคูณของพื้นที่หน้าตัดกับความเร็วมักค่าคงตัวเสมอ เรียกว่า **อัตราการไหล (volume flow rate : Q)** มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (m^3/s) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Q = Av \quad (1.23)$$

ตัวอย่างที่ 1.21 ท่อน้ำวางในแนวระดับ มีน้ำไหลอย่างสม่ำเสมอด้วยอัตราเร็ว 4 เมตรต่อวินาที ถ้าขนาดของท่อที่ต่ออยู่ด้วยกันเล็กลงเหลือ 1 ใน 4 ของพื้นที่หน้าตัดท่อแรก อัตราเร็วของน้ำขณะไหลผ่านท่อส่วนที่เล็กลงมีค่าเท่าไร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $v_1 = 4 \text{ m/s}$ และ $A_2 = A_1$

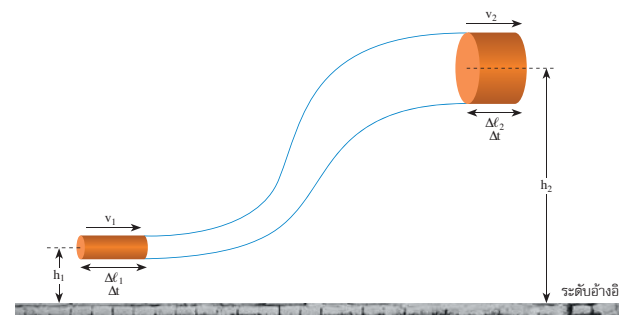
$$\begin{aligned} \text{จาก } A_1 v_1 &= A_2 v_2 \\ A_1 (4) &= \left(\frac{1}{4} A_1\right) v_2 \\ v_2 &= 16 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ดังนั้น อัตราเร็วของน้ำขณะไหลผ่านท่อส่วนที่เล็กลงมีค่าเท่ากับ 16 เมตรต่อวินาที

ตอบ

5.2 สมการแบร์นูลลี

ดาเนียล แบร์นูลลี (Daniel Bernoulli) นักคณิตศาสตร์ชาวสวิส ได้เสนอ **หลักของแบร์นูลลี (Bernoulli's Principle)** ที่มีความว่า “เมื่อของไหลเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วที่มีค่าเพิ่มขึ้น ความดันในของไหลจะลดลง และเมื่ออัตราเร็วลดลง ความดันในของไหลจะเพิ่มขึ้น” พิจารณาของไหลในท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่เท่ากันและอยู่สูงจากระดับอ้างอิงแตกต่างกัน ดังรูปที่ 1.20



รูปที่ 1.20 ของไหลในท่อที่มีพื้นที่หน้าตัดไม่เท่ากันและอยู่สูงจากระดับอ้างอิงแตกต่างกัน

จากรูปที่ 1.20 ขณะที่ของไหลกำลังไหลผ่านในท่อที่ตำแหน่ง A_1 และ A_2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดัน พลังงานจลน์ต่อปริมาตร และพลังงานศักย์โน้มถ่วงต่อปริมาตรของทุก ๆ จุดภายในท่อ จะเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 \quad (1.24)$$

เมื่อ P คือ ความดัน มีหน่วยเป็น ปาสคัล (Pa)

ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

h คือ ความสูงของของไหลจากระดับอ้างอิง มีหน่วยเป็น เมตร (m)

v คือ อัตราเร็วของของไหล มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที (m/s)

สมการนี้เรียกว่า **สมการของแบร์นูลลี (Bernoulli's Equation)** ซึ่งผลรวมของความดัน พลังงานจลน์ต่อปริมาตร และพลังงานศักย์โน้มถ่วงต่อปริมาตรทุก ๆ จุดภายในท่อของไหลจะมีค่าคงที่เสมอ

ตัวอย่างที่ 1.22 ท่อน้ำวางในแนวระดับ มีน้ำไหลอย่างสม่ำเสมอด้วยอัตราเร็ว 4 เมตรต่อวินาที เมื่อท่อคดลงพบว่า น้ำจะไหลด้วยอัตราเร็ว 16 เมตรต่อวินาที ถ้าความดันน้ำที่ไหลเข้ามีค่า 3×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร ความดันน้ำที่ไหลออกมีค่าเท่าไร เมื่อน้ำมีความหนาแน่นเท่ากับ 10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $v_1 = 4 \text{ m/s}$, $v_2 = 16 \text{ m/s}$, $P_1 = 3 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$ และท่อน้ำวางในแนวระดับ $h_1 = h_2$

$$\begin{aligned} P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 &= P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 \\ 3 \times 10^5 + \frac{1}{2}(10^3)(4)^2 &= P_2 + \frac{1}{2}(10^3)(16)^2 \\ P_2 &= 1.8 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้น ความดันน้ำที่ไหลออกมีค่าเท่ากับ 1.8×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร

ตอบ

5.3 สมการแบร์นูลลีกับชีวิตประจำวัน

สมการแบร์นูลลีสามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของของไหลได้หลายเรื่อง เช่น การหาอัตราเร็วของของเหลวที่พุ่งออกจากภาชนะผ่านรูเล็ก การทำงานของเครื่องพ่นสี และการออกแบบปีกเครื่องบิน

การหาอัตราเร็วของของเหลวที่พุ่งออกจากภาชนะผ่านรูเล็ก

พิจารณาถังบรรจุของเหลวที่มีความหนาแน่น ρ ถ้ามีรูเล็กที่ด้านข้างของถัง โดยรูอยู่ต่ำกว่าระดับผิวของเหลวในถังเป็นระยะ h กำหนดให้รูที่เจาะมีพื้นที่หน้าตัดน้อยกว่าเมื่อเทียบกับพื้นที่ของของเหลวในถัง

จากสถานการณ์ที่กำหนด เราจะพิจารณาของเหลวสองบริเวณคือ ผิวด้านบนซึ่งมีพื้นที่ A_1 และรูด้านข้างซึ่งมีพื้นที่ A_2

กำหนดให้ของเหลวที่ผิวด้านบนมีความดัน P_1 มีอัตราเร็ว v_1 และอยู่สูง h_1 ส่วนของของเหลวที่รูด้านข้างมีความดัน P_2 มีอัตราเร็ว v_2 และอยู่สูง h_2 เขียนแผนภาพได้ดังรูปที่ 1.21

จากสมการของแบร์นูลลี

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

เนื่องจาก $A_2 \ll A_1$ ระดับของเหลวจะเปลี่ยนน้อยมาก อาจถือว่าผิวของเหลวอยู่นิ่ง นั่นคือ $v_1 = 0$ และ

v_2 เป็นอัตราเร็วของของเหลวขณะพุ่งออก

จากรูที่ 1.21 จะเห็นว่า v และเนื่องจากรูอยู่ต่ำกว่าระดับผิวของของเหลวมีค่าเท่ากับ $h_1 - h_2 = h$ และรูกับระดับผิวของของเหลวเปิดสู่บรรยากาศ P_1 จึงเท่ากับความดันบรรยากาศ P_0 จะได้ว่า

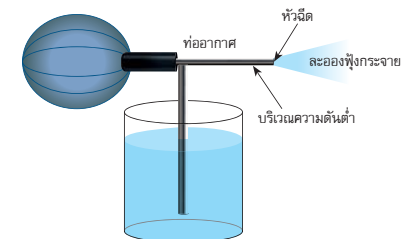
$$\begin{aligned} P_0 + 0 + \rho gh_1 &= P_0 + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh_2 \\ v^2 &= 2g(h_1 - h_2) \end{aligned}$$

$$v = \sqrt{2gh} \quad (1.25)$$

จากสมการที่ 1.25 อัตราเร็วของของเหลวที่พุ่งออกจากรูด้านข้างหลังถึงเท่ากับอัตราเร็วของวัตถุที่ตกแบบเสรีจากระดับสูง h และไม่ขึ้นกับชนิดของของเหลว ความสัมพันธ์นี้เรียกว่า **กฎของตอร์ริเชลลี (Torricelli's law)**

อุปกรณ์พ่นสี

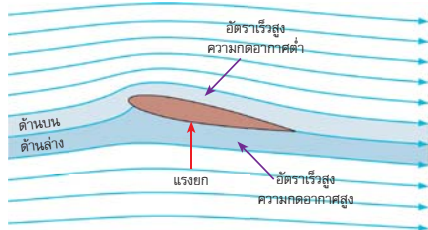
อุปกรณ์พ่นสีมีส่วนประกอบ ดังรูปที่ 1.22 เมื่ออากาศผ่านท่อไปยังหัวฉีด อัตราเร็วของอากาศที่ผ่านหัวฉีดจะสูงกว่าอัตราเร็วของอากาศที่ผ่านตามท่อเพราะหัวฉีดมีขนาดเล็กกว่าท่อนำ ดังนั้น ความดันของอากาศบริเวณหัวฉีดจึงลดลง สารละลายของสีที่อยู่ในกระป๋องซึ่งมีความดันสูงกว่าจึงเคลื่อนที่ผ่านตามท่อไปผสมกับอากาศที่บริเวณหัวฉีด ทำให้ทั้งอากาศและเม็ดสีถูกฉีดและกระจายออกทางหัวฉีดด้วยอัตราเร็วสูง การทำงานของคาร์บูเรเตอร์ของเครื่องยนต์แก๊สเบนซินหรือหัวฉีดสเปรย์น้ำหอมก็อาศัยหลักการเดียวกันนี้



รูปที่ 1.22 อุปกรณ์พ่นสี

การออกแบบปีกเครื่องบิน

การออกแบบปีกเครื่องบินอาศัยหลักของแบร์นูลลีที่ว่า “เมื่อของไหลเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วที่มีค่าเพิ่มขึ้น ความดันในของไหลจะลดลง และเมื่ออัตราเร็วลดลง ความดันในของไหลจะเพิ่มขึ้น” ลักษณะของปีกเครื่องบินด้านบนจึงมีความโค้งมากกว่าด้านล่าง ดังรูปที่ 1.23



รูปที่ 1.23 ลักษณะของปีกเครื่องบิน

จากรูปที่ 1.23 เนื่องจากปีกเครื่องบินด้านบนโค้งกว่าด้านล่าง เมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่านปีกเครื่องบินด้านบนจะต้องเคลื่อนที่ด้วยระยะทางที่มากกว่าด้านล่าง อัตราเร็วของอากาศด้านบนปีกเครื่องบินจึงมีค่ามากกว่าด้านล่าง ทำให้ความกดอากาศด้านล่างปีกเครื่องบินมากกว่าด้านบนและเกิดแรงยกปีกเครื่องบินให้บินขึ้นได้

ตัวอย่างที่ 1.23 เครื่องบินลำหนึ่งต้องใช้แรงยกที่ปีกเครื่องบิน 900 นิวตันต่อตารางเมตร จึงจะสามารถบินได้ ถ้าอัตราเร็วของอากาศที่พัดผ่านส่วนล่างของปีกเท่ากับ 100 เมตรต่อวินาที อัตราเร็วของอากาศที่พัดผ่านส่วนบนของปีกจะต้องมีค่าเท่าไร กำหนดให้ ความหนาแน่นของอากาศขณะนั้นเท่ากับ 1.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

วิธีทำ จากโจทย์ทราบ $P_1 - P_2 = 900 \text{ N/m}^2$, $v_1 = 100 \text{ m/s}$ และเนื่องจากความสูงจากพื้นดินถึงระดับเหนือปีกและใต้ปีกเครื่องบินถือว่าไม่แตกต่างกันมาก จึงถือว่า $h_1 = h_2$

$$\begin{aligned} P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 &= P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 \\ (P_1 - P_2) + \frac{1}{2}\rho v_1^2 &= \frac{1}{2}\rho v_2^2 \\ (900) + \frac{1}{2}(1.2)(100)^2 &= \frac{1}{2}(1.2)v_2^2 \\ v_2^2 &= 11,500 \text{ m/s} \\ v_2 &= 107.2 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ดังนั้น อัตราเร็วของอากาศที่พัดผ่านส่วนบนของปีกมีค่าเท่ากับ 107.2 เมตรต่อวินาที

ตอบ



กิจกรรมตรวจสอบการเรียนรู้ที่ 1.1

จดตอบคำถามต่อไปนี้

1. ถ้าของเหลวไหลผ่านท่อที่มีพื้นที่หน้าตัด 0.2 ตารางเมตร ด้วยอัตราเร็ว 4 เมตรต่อวินาที จะมีอัตราเร็วเท่าไร
2. ความเร็วของน้ำที่พุ่งออกจากปลายท่อดับเพลิงมีค่าเท่าไร เมื่อความเร็วของน้ำบริเวณท่อใหญ่เท่ากับ 6 เมตรต่อวินาที และพื้นที่หน้าตัดของท่อใหญ่เท่ากับ 3 เท่าของท่อเล็ก
3. ท่อน้ำที่ระดับพื้นดินมีพื้นที่หน้าตัด 0.4 ตารางเมตร อัตราการไหลของน้ำในท่อเท่ากับ 5 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ต่อเข้ากับท่อที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.2 ตารางเมตร โดยยกให้สูงจากท่อแรก 1 เมตร ความดันน้ำในท่อที่ระดับนี้เท่ากับ 1×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร ความดันน้ำในท่อที่ระดับพื้นดินมีค่าเท่าไร
4. จากรูป ถังน้ำสูง 1 เมตร บรรจุน้ำเต็มถึง ถ้าเจาะรูขนาดเล็กที่ด้านข้างถังให้น้ำพุ่งออกมา โดยรูอยู่สูงจากพื้น 20 เซนติเมตร อัตราเร็วของน้ำที่พุ่งออกจากรูมีค่าเท่าไร
5. สมมติเครื่องบินด้วยอัตราเร็ว 100 เมตรต่อวินาที สมมติปีกเครื่องบินจะต้องมีอัตราเร็วเท่าไร จึงจะเกิดแรงยกที่ปีกเครื่องบิน 800 นิวตันต่อตารางเมตร กำหนดให้ ความหนาแน่นของอากาศขณะนั้นเท่ากับ 1.6 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



กิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ “จรวดขวดน้ำ”

จุดประสงค์

1. ให้นักเรียนจัดกลุ่ม ๆ ละ 6 คน และตั้งชื่อกลุ่ม
2. ทำกิจกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์จากสถานการณ์ที่กำหนดให้
3. การทำกิจกรรมต้องระดมสมองในการสืบค้นความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และความรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้อื่นๆ โดยนำมาบูรณาการสร้างผลงาน อภิปรายเพื่อแสดงความคิดเห็นโดยใช้เหตุผลในการโต้แย้งจากประจักษ์พยานที่พบตลอดการทำกิจกรรมเพื่อให้ได้ผลงานที่มีคุณภาพ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ โดยคำนึงถึงประโยชน์ที่จะได้รับจากการทำกิจกรรม

ขั้นตอนการดำเนินกิจกรรม

นักเรียนได้รับมอบหมายให้ประดิษฐ์จรวดขวดน้ำเพื่อแข่งขันกับนักเรียนโรงเรียนอื่นในงานสัปดาห์วิทยาศาสตร์ โดยมีข้อกำหนดดังนี้

1. ออกแบบจรวดขวดน้ำโดยใช้หลักการเรื่องของไหล เช่น แรงดัน ความตึงผิว ความหนืด หลักของแบร์นูลลี และหลักการทางฟิสิกส์ในเรื่องอื่น ๆ เช่น แรง การเคลื่อนที่
2. ขวดน้ำที่ใช้ทำจรวดต้องเป็นขวดพลาสติก (polyethylene terephthalate : PET)
3. จรวดต้องมีความแข็งแรง ทนทานต่อแรงอัด และสวยงาม สามารถยิงได้ไกลตามระยะที่กำหนด และมีความแม่นยำ
4. ฐานยิงจรวดอาจทำจากไม้ เหล็ก หรือท่อพีวีซี และสามารถปรับมุมในการยิงจรวดได้
5. อาจประยุกต์การแข่งขันจรวดเพื่อใช้งานในด้านต่างๆ เช่น การส่งของหรือเชือกเพื่อใช้ในการกู้ภัย การถ่ายภาพมุมสูง การส่งจรวดข้ามสิ่งกีดขวาง



Knowledge

สรุปเรื่องของไหล

ความหนาแน่นและความดันของของไหล

- ความหนาแน่น คือ อัตราส่วนของมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร หาได้จากสมการ
$$\rho = \frac{m}{V}$$
- ความดัน คือ แรงที่กระทำในแนวตั้งฉากต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ หาได้จากสมการ
$$P = \frac{F}{A}$$
- ความดันสัมบูรณ์จะมีค่าเท่ากับผลรวมของความดันบรรยากาศและความดันเกจ ดังสมการ

$$P = P_a + \rho gh$$

- การคำนวณหาแรงดันที่กระทำต่อผนังภาชนะหรือสันเขื่อนจะหาจากแรงดันเฉลี่ย โดยผนังเขื่อนแบบตรงจะหาได้จากสมการ $F_{avg} = \frac{\rho gh^2 L}{2}$ ส่วนผนังเขื่อนแบบเอียงจะหาได้จากสมการ $F_{avg} = \frac{\rho gh^2 L}{2 \sin \theta}$
- สำหรับหลอดแก้วรูปตัวยู ความลึกที่ระดับเดียวกันทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของหลอดแก้วจะมีความดันเท่ากัน ดังสมการ

$$\rho_1 gh_1 = \rho_2 gh_2$$

กฎของพาสคาล

- กฎของพาสคาลมีใจความว่า “ความดันที่กระทำต่อส่วนหนึ่งส่วนของไหลที่บรรจุอยู่ในระบบปิด จะถูกส่งผ่านไปยังทุกส่วนของของไหลรวมทั้งผนังของภาชนะด้วยขนาดที่เท่ากันตลอด”
- กฎของพาสคาลนำไปสร้างเครื่องอัดไฮดรอลิกซึ่งเป็นเครื่องกลที่ช่วยผ่อนแรงชนิดหนึ่ง สามารถ คำนวณการได้เปรียบเชิงกลได้จากสมการ

$$MA = \frac{W}{F} = \frac{A}{a} = \frac{R^2}{r^2} = \frac{D^2}{d^2}$$

แรงพยุงและหลักของอาร์คิมิดีส

- แรงพยุง คือ แรงที่ของไหลกระทำต่อวัตถุในทิศตรงข้ามกับน้ำหนักของวัตถุ
- ขนาดของแรงพยุงมีค่าเท่ากับน้ำหนักของเหลว ซึ่งมีปริมาตรเท่ากับวัตถุที่จมลงในของเหลว ดังสมการ

$$F_B = \rho V g$$

- หลักของอาร์คิมิดีสมีใจความว่า “เมื่อวัตถุจมในของเหลวทั้งก้อนหรือเพียงบางส่วนจะมีแรงพยุงกระทำต่อวัตถุ โดยขนาดของแรงพยุงมีค่าเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกวัตถุแทนที่”

ความตึงผิวและความหนืด

- ความตึงผิวทำให้วัตถุบางชนิดลอยอยู่บนผิวของเหลวได้เนื่องจากแรงตึงผิว ซึ่งเป็นแรงยึดเหนี่ยวที่ผิวของเหลว
- แรงตึงผิวเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ผิวของเหลว มีทิศทางกับผิวของเหลวและตั้งฉากกับขอบของภาชนะที่ของเหลวสัมผัส ทำให้จากสมการ

$$F = \gamma L$$

- ปรากฏการณ์รูเล็กเกิดจากแรงตึงผิวเมื่อจุ่มหลอดเล็กลงในของเหลว โดยมีแรงเชื่อมแน่นทำให้ของเหลวเกาะกันเป็นหยด และแรงยึดติดเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของของเหลวกับโมเลกุลของวัตถุอื่น
- ความหนืดของของเหลวทำให้วัตถุที่เคลื่อนที่ในของเหลวเกิดแรงหนืด ซึ่งเป็นแรงที่ต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ
- กฎของสโตกส์มีใจความว่า “เมื่อปล่อยวัตถุทรงกลมให้เคลื่อนที่ในของเหลว ความหนืดของของเหลวจะทำให้เกิดแรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ” โดยแรงหนืดหาได้จากสมการ

$$F_v = 6\pi\eta r v$$

พลศาสตร์ของของไหล

- ของไหลอุดมคติมีสมบัติ 4 ประการ ได้แก่ มีการไหลอย่างสม่ำเสมอ มีการไหลโดยไม่หมุน ไม่สามารถอัดได้ และมีการไหลโดยไม่แรงต้านเนื่องจากความหนืด
- สมการความต่อเนื่องจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของของไหลในท่อกับพื้นที่หน้าตัดของท่อ โดยผลคูณของพื้นที่หน้าตัดกับความเร็วจะมีค่าคงตัว เรียกว่า อัตราการไหล
- หลักของแบร์นูลลีใจความว่า “เมื่อของไหลเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วที่มีค่าเพิ่มขึ้น ความดันในของไหลจะลดลง และเมื่ออัตราเร็วลดลง ความดันในของไหลจะเพิ่มขึ้น”
- สมการของแบร์นูลลีแสดงความสัมพันธ์ของความดัน พลังงานต่อปริมาตร และพลังงานศักย์โน้มถ่วงต่อปริมาตรทุก ๆ จุดภายในท่อ ซึ่งผลรวมของปริมาณดังกล่าวจะมีค่าคงที่เสมอ ดังสมการ

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Process

1. อธิบายและคำนวณความดันแก๊ส ความดันสัมบูรณ์ ความดันบรรยากาศ หลักการทำงานของแมนอมิเตอร์ บารอมิเตอร์ และเครื่องวัดไฮดรอลิก
2. ทดลอง อธิบาย และคำนวณขนาดแรงพยุงจากของไหล
3. ทดลอง อธิบาย และคำนวณความตึงผิวของของเหลวและแรงหนืดของของเหลว
4. อธิบายสมบัติของของไหลอุดมคติ คำนวณสมการความต่อเนื่องและสมการแบร์นูลลี
5. นำความรู้เกี่ยวกับสมการความต่อเนื่องและสมการแบร์นูลลีไปอธิบายหลักการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ

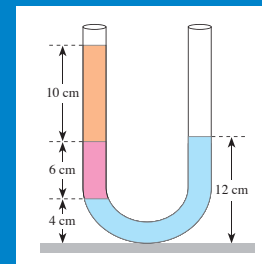
Attribute

1. มีวินัย
2. ใฝ่เรียนรู้
3. มุ่งมั่นในการทำงาน



คำถามท้ายหน่วยการเรียนรู้

1. ก่องสี่เหลี่ยมทำจากวัสดุชนิดหนึ่งมีเนื้อเดียวกันสม่ำเสมอตลอดทั้งก้อน มีขนาด $5 \times 15 \times 30$ เซนติเมตร และมีมวล 2.0 กิโลกรัม ความหนาแน่นของก่องที่ค่าเท่าไรและก่องนี้ลอยน้ำได้หรือไม่
2. เรือดำน้ำอยู่ใต้ผิวน้ำลึก 80 เมตร เมื่อความหนาแน่นของน้ำทะเลมีค่าเท่ากับ 1.03×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความดันสัมบูรณ์ของน้ำทะเลที่กระทำต่อเรือดำน้ำมีค่าเท่าไร
3. เรือดำน้ำถูกออกแบบเพื่อให้ทนความดันใต้ท้องทะเลลึกได้ไม่เกิน 600 เมตร กระฉกแก้วกลมที่เป็นช่องหน้าต่างของเรือดำน้ำมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ถ้าความดันภายในตัวเรือมีค่าเท่ากับ ความดันของบรรยากาศ
 - 3.1 ความดันแก๊สที่ระดับความลึกนี้มีค่าเท่าไร
 - 3.2 แรงที่กระทำกับกระฉกหน้าต่างแต่ละบานมีค่าเท่าไร
4. เครื่องวัดไฮดรอลิกใช้สำหรับชั่งมวล M ขึ้นสูง 5.0 มิลลิเมตร โดยใช้แรง 1×10^5 นิวตัน กดที่ลูกสูบเล็กให้เคลื่อนที่ไป 8.0 เซนติเมตร ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบใหญ่เท่ากับ 8.0 เซนติเมตร มวล M และความดันบนลูกสูบเล็กมีค่าเท่าไร
5. หลอดรูปตัวยูปลายเปิดทั้งสองข้างเติมน้ำไว้พอประมาณ หลังจากนั้นเติมกลีเซอรินที่ปลายข้างหนึ่ง ทำให้กลีเซอรินในหลอดสูง 6 เซนติเมตร กลีเซอรินสูงกว่าน้ำก็เซนติเมตร ถ้าความหนาแน่นของกลีเซอรินเท่ากับ 0.82×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



6. ของเหลว 3 ชนิดอยู่ในสภาวะสมดุลในหลอดแก้วรูปตัวยู ดังรูป ความหนาแน่นของของเหลวชนิดที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 4×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 3×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความหนาแน่นของของเหลวชนิดที่ 3 มีค่าเท่าไร
7. แมนอมิเตอร์ใช้ปรอทเป็นของเหลว ปลายด้านหนึ่งต่อกับถังแก๊สเพื่อวัดความดันในถังแก๊ส อีกปลายด้านหนึ่งเป็นปลายเปิด ถ้าความดันในถังดันให้ปรอทด้านปลายเปิดสูงกว่าด้านที่ต่ออยู่กับถังเท่ากับ 12 เซนติเมตร ความดันในถังแก๊สมีค่าเท่าไร ถ้าความดันของบรรยากาศขณะนั้นเท่ากับ 100 กิโลพาสคาล
8. ก้อนน้ำแข็งขนาดใหญ่ในน้ำทะเลแห่งหนึ่งบริเวณใกล้ขั้วโลกใต้มีความหนาแน่น 9.12×10^2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ถ้าบริเวณนั้นน้ำทะเลมีความหนาแน่น 1.028×10^3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ก้อนน้ำแข็งที่โผล่พ้นน้ำมีค่าเป็นกี่เปอร์เซ็นต์

9. กบอยู่ในกะลาครึ่งซีกที่ลอยอยู่ปริ่มน้ำพอดี ถ้าน้ำมีความหนาแน่น 1.35 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร กะลามีรัศมี 6 เซนติเมตร กบจะมีมวลเท่าไรถ้าถือว่ามวลของกะลาเบามาก
10. ของเหลวอยู่ในหลอดแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.04 มิลลิเมตร แรงดึงดูดของเหลวขึ้นไปถึง 50 เซนติเมตร ถ้าความหนาแน่นของของเหลวมีค่าเท่ากับ 0.8 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีมุมสัมผัสระหว่างของเหลวกับหลอดเท่ากับ 20 องศา ความตึงผิวของของเหลวมีค่าเท่าไร
11. หลอดแก้วเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ 3.5 เซนติเมตร และ 4.0 เซนติเมตร ตามลำดับ จุ่มอยู่ในน้ำโดยหลอดแก้วอยู่ในแนวตั้ง เมื่อดึงหลอดแก้วขึ้นจากน้ำ แรงตึงผิวที่กระทำต่อหลอดแก้วนี้มีค่าเท่าไร เมื่อกำหนดให้ความตึงผิวของน้ำเท่ากับ 0.074 นิวตันต่อเมตร
12. การไหลของน้ำในท่อประปาในหมู่บ้านแห่งหนึ่ง มีอัตราการไหลเท่ากับ 0.8 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
 - ก. ความเร็วของน้ำที่ปลายท่อด้านที่มีรัศมี 0.2 เมตร มีค่าเท่าไร
 - ข. ถ้าบ้านหลังนี้มีอัตราการไหลของการไหลของน้ำเท่ากับ 380 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที รัศมีของปลายท่อที่จุดนี้มีค่าเท่าไร
13. บ้านหลังหนึ่ง น้ำไหลเข้าในท่อด้านล่างด้วยอัตราเร็ว 10 เมตรต่อวินาที ท่อน้ำประปาต่อด้านล่างขึ้นด้านบน โดยเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อด้านล่างและท่อด้านบนมีค่าเท่ากับ 20 เซนติเมตร และ 35 เซนติเมตร ตามลำดับ ถ้าท่อด้านบนอยู่สูงกว่าท่อด้านล่าง 80 เซนติเมตร และความดันที่ตำแหน่งปลายท่อด้านบนเท่ากับ 2×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร ความดันที่ทางเข้าท่อด้านล่างมีค่าเท่าไร
14. น้ำไหลออกในท่อระดับขนาดพื้นที่หน้าตัด 0.001 ตารางเมตร ด้วยอัตราการไหล 0.004 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ณ จุดนี้วัดความดันได้ 1.2×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร เมื่อไหลผ่านจุดที่อยู่ห่างกันไม่กี่เมตร ความดันลดลงเป็น 1.0×10^5 นิวตันต่อตารางเมตร พื้นที่หน้าตัดของท่อที่ตำแหน่งนี้มีค่าเท่าไร
15. สมมติให้อากาศที่ไหลผ่านปีกด้านบนของเครื่องบินมีความเร็ว 40 เมตรต่อวินาที และด้านล่างมีความเร็ว 30 เมตรต่อวินาที ถ้าเครื่องบินมีมวล 300 กิโลกรัม และพื้นที่ปีกเท่ากับ 5 ตารางเมตร แรงยกที่กระทำต่อเครื่องบินเนื่องจากความดันอากาศมีค่าเท่าไร กำหนดให้ความหนาแน่นของอากาศเท่ากับ 1.3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร