



หนังสือเรียน

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์

เคมี

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

พิมพ์ครั้งที่ ๑

ISBN 978-616-362-806-0

จำนวน ๑๕๐,๐๐๐ เล่ม พ.ศ. ๒๕๖๒

จัดพิมพ์และจัดจำหน่ายโดย

ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ ๑๐๓๓๐

www.chulabook.com

ฝ่ายขายติดต่อ แผนกขายส่ง โทร. ๐-๒๓๗๔-๑๓๗๕-๖ โทรสาร ๐-๒๓๗๔-๑๓๗๔

พิมพ์ที่

สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โทร. ๐-๒๒๑๘-๓๕๕๑ โทรสาร ๐-๒๒๑๘-๓๕๕๐

www.cuprint.chula.ac.th

มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ



ประกาศสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน
เรื่อง อนุญาตให้ใช้สื่อการเรียนรู้ในสถานศึกษา

ด้วยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓ ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ได้พิจารณาแล้วอนุญาตให้ใช้ในสถานศึกษาได้

ประกาศ ณ วันที่ ๒๘ มกราคม พ.ศ. ๒๕๖๒

(นายบุญรักษ์ ยอดเพชร)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) มีอำนาจหน้าที่ในการพัฒนาหลักสูตรวิธีการเรียนรู้ การประเมินผล การจัดทำหนังสือเรียน แบบฝึกหัด และสื่อการเรียนรู้ทุกประเภทที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓ นี้ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) จัดทำขึ้นตามผลการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ เพื่อให้สถานศึกษาพิจารณาเทียบเคียงกับหลักสูตรของสถานศึกษา และพิจารณาเลือกใช้หนังสือนี้ประกอบการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับหลักสูตรสถานศึกษาของตนได้ตามความเหมาะสม

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเพิ่มเติม กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตลอดจนบุคคลและหน่วยงานอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้



(นายบุญรักษ์ ยอดเพชร)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้ออกสู่กระบวนการ ใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. จึงได้จัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓ นี้ มีผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่ครอบคลุมเนื้อหาบางส่วนที่ปรากฏตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๑ โดยเมื่อผู้เรียนเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี เล่ม ๑ - เล่ม ๖ ครบทุกชั้นปีในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ - ๖ แล้วจะสามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๑ ได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อยอดเนื้อหาจากรายวิชาพื้นฐานไปสู่เนื้อหาในรายวิชาเพิ่มเติมได้โดยไม่ต้องเสียเวลาเรียนซ้ำซ้อน ทั้งนี้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี เล่ม ๓ นี้มีเนื้อหาที่จำเป็นที่ต้องเรียนประกอบด้วยเรื่องแก๊สและสมบัติของแก๊ส อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และสมดุลเคมี ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์ หรือประกอบอาชีพในสาขาที่ใช้วิทยาศาสตร์เป็นฐาน เช่น แพทย์ ทันตแพทย์ สัตวแพทย์ เทคโนโลยีชีวภาพ เทคนิคการแพทย์ วิศวกรรม สถาปัตยกรรม วัสดุศาสตร์ อุตุนิยมวิทยา ธรณีวิทยา ฯลฯ โดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา เชื่อมโยงความรู้สู่การนำไปใช้ในชีวิตจริง ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญ รวมทั้งกิจกรรมที่ผู้เรียนสามารถคิดค้นและออกแบบการทดลองด้วยตนเอง มีแบบตรวจสอบความรู้ความเข้าใจก่อนเรียน มีแบบฝึกหัดเพื่อให้ตรวจทานความรู้หลังจากที่เรียนไปแล้ว รวมทั้งสรุปความรู้ในแต่ละบทด้วยในการจัดทำหนังสือเรียนเล่มนี้ ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบัน และสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี เล่ม ๓ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียน และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเรียนเล่มนี้ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง



(ศาสตราจารย์ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กระทรวงศึกษาธิการ

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

หนังสือเรียนเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ในการศึกษาเนื้อหาที่สำคัญ และเกิดทักษะที่จำเป็นที่สอดคล้องกับมาตรฐานและสาระการเรียนรู้ รวมทั้งยังมีสื่อที่ช่วยเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน โดยสามารถเชื่อมต่อไปยังหน้าเว็บไซต์รายการสื่อได้จาก QR code หรือ URL ที่อยู่ประจำแต่ละบท การทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน จะช่วยให้ผู้เรียนใช้หนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน มีดังนี้

คำถามสำคัญ



คำถามประจำบทที่นักเรียนต้องอาศัยความรู้ทั้งหมดในบทเรียนในการตอบคำถาม ซึ่งนักเรียนควรตอบได้หลังจากได้เรียนรู้ในบทนั้นแล้ว

จุดประสงค์การเรียนรู้



เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งนักเรียนควรศึกษาทำความเข้าใจก่อนเริ่มเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน



ชุดคำถามที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน ซึ่งนักเรียนควรตอบคำถามให้ถูกต้องทั้งหมด หากไม่ถูกต้องควรทบทวนเนื้อหา นั้นก่อนเริ่มการเรียนรู้เรื่องใหม่ในแต่ละบท

ชวนคิด



คำถามระหว่างเรียนที่เชื่อมโยงหรือต่อยอดความรู้เดิมที่ศึกษาแล้วกับความรู้ใหม่หรือความรู้ในศาสตร์อื่น เพื่อให้นักเรียนเห็นความสัมพันธ์หรือความต่อเนื่องของเนื้อหา

ตรวจสอบความเข้าใจ



คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยประเมินการเรียนรู้ ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบว่า ตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาแล้วหรือยัง

แบบฝึกหัด



คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยเสริมให้เกิดทักษะและความรู้ในบทเรียน ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบความเข้าใจของเนื้อหาและฝึกฝนตนเองให้มีทักษะที่จำเป็นตามจุดประสงค์การเรียนรู้ได้

ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

กิจกรรม



การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งนักเรียนควรลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง

ตัวอย่าง



การแสดงแนวทางการตอบคำถามหรือการแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งนักเรียนสามารถศึกษาเพื่อเพิ่มความเข้าใจในเนื้อหาบทเรียนมากขึ้น

ความรู้เพิ่มเติม



ความรู้ที่เพิ่มเติมจากเนื้อหาในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีการวัดและประเมินผล

รู้หรือไม่



ความรู้ที่เชื่อมโยงให้เห็นความสอดคล้องของเนื้อหาบทเรียนกับปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน



การสรุปเนื้อหาสำคัญภายในบทเรียน เพื่อช่วยให้เห็นภาพรวมของเนื้อหาทั้งหมด

แบบฝึกหัดท้ายบท



คำถามท้ายบทเรียนสำหรับให้นักเรียนตรวจสอบความเข้าใจหลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว ซึ่งนักเรียนสามารถใช้เป็นข้อมูลในการทบทวนเนื้อหาที่ยังไม่เข้าใจได้

7



แก๊สและสมบัติ
ของแก๊ส

บทที่ 7 แก๊สและสมบัติของแก๊ส	1
7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊ส	7
7.2 กฎแก๊สอุดมคติ และความดันย่อย	28
7.3 ทฤษฎีจลน์และการแพร่ของแก๊ส	38
7.4 การประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับแก๊ส และสมบัติของแก๊ส	46
แบบฝึกหัดท้ายบท	50

8



อัตราการเกิด
ปฏิกิริยาเคมี

บทที่ 8 อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี	54
8.1 ความหมายและการคำนวณอัตราการเกิด ปฏิกิริยาเคมี	57
8.2 แนวคิดเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี	73
8.3 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี	80
แบบฝึกหัดท้ายบท	91

9



สมดุลเคมี

บทที่ 9 สมดุลเคมี	94
9.1 สภาวะสมดุล	97
9.2 ค่าคงที่สมดุล	110
9.3 ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุล	127
9.4 สมดุลเคมีในสิ่งมีชีวิต สิ่งแวดล้อม และ อุตสาหกรรม	140
แบบฝึกหัดท้ายบท	146

ภาคผนวก

คำศัพท์ในหนังสือเรียน เคมี เล่ม 3	154
ชื่อธาตุ	155
บรรณานุกรม	158
ที่มาของรูป	159
คณะกรรมการจัดทำหนังสือเรียน	160

บทที่

7

| แก๊สและสมบัติของแก๊ส



ipst.me/8875



แก๊สขยายตัวเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ความหนาแน่นภายในคอมลอยน้อยลง และลอยสูงขึ้นไปในอากาศได้



คำถามสำคัญ

1. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊สเป็นอย่างไร
2. ความรู้เกี่ยวกับสมบัติของแก๊สนำไปใช้ประโยชน์อะไรได้บ้าง



จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของแก๊ส และคำนวณปริมาตรหรือความดัน โดยใช้ความสัมพันธ์ตามกฎของบอยล์
2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส และคำนวณปริมาตรหรืออุณหภูมิ โดยใช้ความสัมพันธ์ตามกฎของชาร์ล
3. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิของแก๊ส และคำนวณความดันหรืออุณหภูมิ โดยใช้ความสัมพันธ์ตามกฎของเกย์-ลูสแซก
4. คำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่าง ๆ ตามกฎรวมแก๊ส
5. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส และคำนวณปริมาตรหรือจำนวนโมลโดยใช้ความสัมพันธ์ตามกฎของอาโวกาโดร
6. คำนวณปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ จำนวนโมล หรือมวลของแก๊ส โดยใช้ความสัมพันธ์ตามกฎแก๊สอุดมคติ
7. คำนวณความดันย่อยหรือจำนวนโมลของแก๊สในแก๊สผสม
8. อธิบายกฎต่าง ๆ ของแก๊ส โดยใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส
9. อธิบายการแพร่ของแก๊สโดยใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส
10. อธิบายความสัมพันธ์ของอัตราการแพร่กับมวลต่อโมลของแก๊ส
11. คำนวณและเปรียบเทียบอัตราการแพร่ หรือมวลต่อโมลของแก๊ส โดยใช้กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม
12. สืบค้นข้อมูล อธิบายปรากฏการณ์ และยกตัวอย่างการนำความรู้เกี่ยวกับแก๊สและสมบัติของแก๊สไปใช้ประโยชน์



ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ใส่เครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ถูกต้อง และเครื่องหมาย ✗ หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง

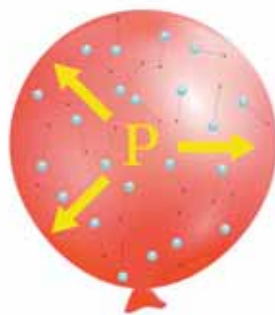
-1. แก๊สและของเหลวเปลี่ยนแปลงรูปร่างตามภาชนะที่บรรจุ แต่แตกต่างกันตรงที่ปริมาตรของแก๊สเปลี่ยนแปลงตามภาชนะที่บรรจุได้
-2. ความดันของอากาศที่ระดับน้ำทะเลมีค่าเท่ากับ 1 บรรยากาศ
-3. แก๊ส A 1.0 โมล ผสมกับแก๊ส B 4.0 โมล เศษส่วนโมลของแก๊ส A เท่ากับ 0.25
-4. ที่ STP แก๊สต่างชนิดกันมีปริมาตรเท่ากันเมื่อมีมวลเท่ากัน
-5. แก๊สฮีเลียม 2.00 กรัม มีจำนวนโมลเท่ากับแก๊สออกซิเจน 16.00 กรัม
-6. แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 44.01 กรัม มีปริมาตร 22.4 ลิตรที่ STP
-7. จากสมการ $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ แสดงว่า แก๊สไฮโดรเจน 10 มิลลิกรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับแก๊สออกซิเจน 5 มิลลิกรัม เกิดเป็นไอน้ำ 10 มิลลิกรัม
-8. จากสมการ $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ แสดงว่า ที่ความดันและอุณหภูมิคงที่ แก๊สไฮโดรเจน 10 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยาพอดีกับแก๊สออกซิเจน 5 มิลลิลิตร เกิดเป็นไอน้ำ 10 มิลลิลิตร

สารในสถานะแก๊สมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคน้อยมาก อนุภาคอยู่ห่างกัน และพุ่งกระจายเต็มภาชนะที่บรรจุ ดังนั้นปริมาตรของสารในสถานะแก๊สจึงเท่ากับปริมาตรของภาชนะที่บรรจุ เมื่อเปรียบเทียบปริมาตรของสารทั้ง 3 สถานะที่มีจำนวนโมลเท่ากัน พบว่า เมื่อสารอยู่ในสถานะแก๊สจะมีปริมาตรมากกว่าเมื่ออยู่ในสถานะของเหลวหรือของแข็ง ทำให้ความหนาแน่นของสารในสถานะแก๊สมีค่าน้อยกว่า นอกจากนี้ยังสามารถบีบอัดแก๊สให้มีปริมาตรลดลงได้เนื่องจากมีที่ว่างระหว่างอนุภาคอยู่มาก



รูป 7.1 การจัดเรียงอนุภาคของสารชนิดหนึ่งที่อยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลว และแก๊ส

เมื่ออนุภาคแก๊สเคลื่อนที่ชนผนังภาชนะจะทำให้เกิดแรงกระทำต่อพื้นผิวภายในของภาชนะที่บรรจุ ซึ่งผลรวมของแรงทั้งหมดที่อนุภาคแก๊สกระทำต่อพื้นที่เรียกว่า ความดัน (pressure) และหน่วยของความดันในระบบ SI คือ ปาสคัล (pascal; Pa)



รูป 7.2 ความดันของแก๊สที่เกิดขึ้นภายในลูกโป่ง

หน่วยของความดันของแก๊สที่นิยมใช้โดยทั่วไปคือ บรรยากาศ (atmosphere; atm) ซึ่งสัมพันธ์กับหน่วยปาสคัล และหน่วยอื่น ๆ ดังนี้

$$1 \text{ atm} = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg} = 760 \text{ torr} = 1 \text{ bar} = 14.7 \text{ psi}$$



รู้หรือไม่

หน่วยมิลลิเมตรปรอท (mmHg) เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ทอร์ (torr) ตามชื่อของ เอวันเจลิस्ता ตอร์รีเซลลี (Evangelista Torricelli) นักวิทยาศาสตร์ชาวอิตาลี ผู้ประดิษฐ์บารอมิเตอร์ปรอท



ความรู้เพิ่มเติม

ความดันของแก๊สสามารถวัดได้โดยใช้อุปกรณ์ เช่น บารอมิเตอร์ (barometer) แมนอมิเตอร์ (manometer)

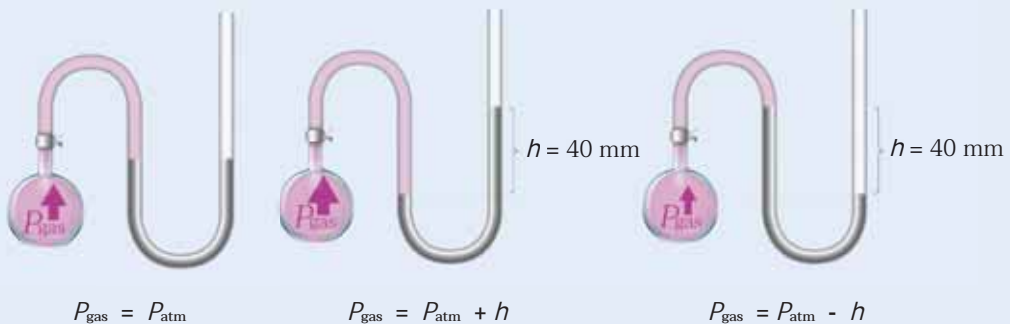
บารอมิเตอร์ (barometer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันบรรยากาศ บารอมิเตอร์อย่างง่ายประกอบด้วยหลอดแก้วยาวที่มีปลายปิดด้านหนึ่งซึ่งบรรจุปรอทไว้เต็มคว่ำอยู่ในภาชนะที่บรรจุปรอท ปรอทในหลอดแก้วบางส่วนจะไหลออกมาสู่ภาชนะ จึงทำให้ระดับของปรอทลดลงและเกิดสุญญากาศบริเวณด้านปลายปิดของหลอดแก้ว และปรอทจะหยุดไหลออกจากหลอดแก้วเมื่อความดันของปรอทในหลอดแก้วเท่ากับความดันของบรรยากาศที่กระทำต่อผิวหน้าของปรอทที่อยู่ในภาชนะ จึงใช้ความสูงของระดับปรอทในหลอดแก้วระบุความดันบรรยากาศในหน่วยมิลลิเมตรปรอท



แมนอมิเตอร์ (manometer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันของแก๊สอื่น ๆ นอกเหนือจากความดันบรรยากาศ มีลักษณะเป็นหลอดแก้วรูปตัวยูสำหรับบรรจุของเหลว โดยทั่วไปนิยมใช้ปรอท แมนอมิเตอร์อย่างง่ายมีปลายเปิดทั้งสองด้าน เมื่อเริ่มต้นระดับของของเหลวในหลอดแก้วรูปตัวยูทั้งสองด้านจะเท่ากัน เนื่องจากความดันอากาศที่กระทำต่อของเหลวทั้งสองด้านเท่ากัน เมื่อต่อแมนอมิเตอร์เข้ากับภาชนะบรรจุแก๊ส ระดับของของเหลวในหลอดแก้วรูปตัวยูจะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งผลต่างของระดับความสูงของปรอทระหว่างสองด้านสามารถใช้คำนวณความดันของแก๊ส (P_{gas}) โดยเปรียบเทียบกับความดันบรรยากาศ (P_{atm}) ดังนี้



แมนอมิเตอร์



ถ้า $P_{\text{atm}} = 760 \text{ mmHg}$

ดังนั้น $P_{\text{gas}} = 760 \text{ mmHg}$

$P_{\text{gas}} = 800 \text{ mmHg}$

$P_{\text{gas}} = 720 \text{ mmHg}$

นอกจากสมบัติของแก๊สที่แตกต่างจากของแข็งและของเหลวดังที่กล่าวมาแล้ว ยังมีสมบัติอื่นอีกหรือไม่

นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊สจนได้ความสัมพันธ์เป็นกฎต่าง ๆ ซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาต่อไป

7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊ส

7.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของแก๊ส

ความดันและปริมาตรของแก๊สมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ศึกษาได้จากกิจกรรมต่อไปนี้



กิจกรรม 7.1 การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรของอากาศ

จุดประสงค์การทดลอง

ทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรของอากาศ

วัสดุและอุปกรณ์

กระบอกฉีดยาพลาสติก ขนาด 20 mL

วิธีทดลอง

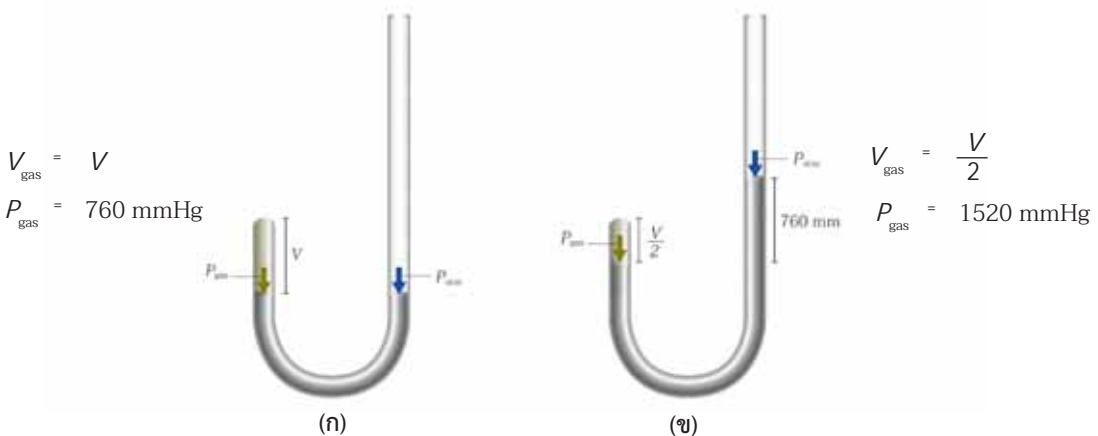
1. ดึงก้านกระบอกฉีดยาให้มีปริมาตรของอากาศเป็น 10.0 mL ใช้ปลายนิ้วอุดปลายกระบอกฉีดยาไว้ ดังรูป จากนั้นกดก้านกระบอกฉีดยาช้า ๆ จนกระทั่งมีปริมาตรของอากาศเป็น 5.0 mL ปล่อยมือที่กดก้านกระบอกฉีดยา และสังเกตการเปลี่ยนแปลง
2. ดึงก้านกระบอกฉีดยาให้มีปริมาตรของอากาศเป็น 10.0 mL ใช้ปลายนิ้วอุดปลายกระบอกฉีดยาไว้ เหมือนข้อ 1 จากนั้นดึงก้านกระบอกฉีดยาขึ้นอย่างช้า ๆ จนกระทั่งมีปริมาตรของอากาศเป็น 20.0 mL ปล่อยมือที่ดึงก้านกระบอกฉีดยา และสังเกตการเปลี่ยนแปลง



คำถามท้าทายการทดลอง

1. อุณหภูมิและจำนวนโมลของอากาศภายในกระบอกฉีดยา ก่อนและหลังการทดลองมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร
2. ความดันของอากาศในกระบอกฉีดยาเมื่อเริ่มทำการทดลองมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศภายนอกหรือไม่
3. เมื่อกดก้านกระบอกฉีดยาจนปริมาตรของอากาศเป็น 5.0 mL ความดันของอากาศภายในกระบอกฉีดยามากกว่าหรือน้อยกว่าความดันบรรยากาศ ทราบได้อย่างไร
4. เมื่อดึงก้านกระบอกฉีดยาจนปริมาตรของอากาศเป็น 20.0 mL ความดันของอากาศภายในกระบอกฉีดยามากกว่าหรือน้อยกว่าความดันบรรยากาศ ทราบได้อย่างไร

จากการทดลองจะเห็นว่า ปริมาตรของแก๊สมีความสัมพันธ์กับความดันของแก๊ส ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษชื่อ รอเบิร์ต บอยล์ (Robert Boyle) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของแก๊ส ที่อุณหภูมิและจำนวนโมลคงที่ โดยใช้หลอดแก้วรูปตัวเจ (J) ที่มีปลายเปิดอยู่ด้านบน โดยเมื่อเริ่มการทดลองได้เติมปรอทลงไปจนระดับของปรอทในหลอดแก้วทั้งสองด้านเท่ากัน ดังรูป 7.3 (ก) แสดงว่าแก๊สที่อยู่ในหลอดแก้วด้านปลายปิดในตอนเริ่มต้นนี้มีความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท หรือ 1 บรรยากาศ จากนั้นได้เติมปรอทลงในหลอดแก้วเพิ่มอีกจนระดับปรอทในหลอดแก้วด้านปลายเปิดสูงกว่าด้านปลายปิด 760 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้แก๊สที่อยู่ในหลอดแก้วด้านปลายปิดมีความดันเพิ่มขึ้นเป็น 2 บรรยากาศ หรือ 1520 มิลลิเมตรปรอท และพบว่าปริมาตรของแก๊สจะลดลงจากเดิมครึ่งหนึ่ง ดังรูป 7.3 (ข)

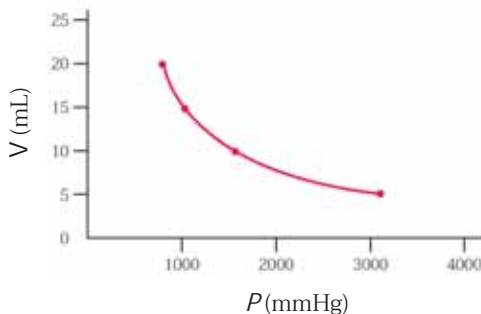


รูป 7.3 ระดับปรอทในหลอดแก้วรูปตัวเจ (ก) เมื่อเริ่มต้น (ข) เมื่อเติมปรอทเพิ่ม

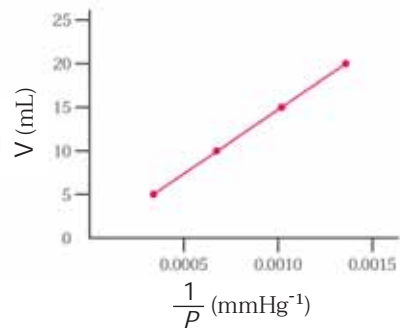
ร็อบเบิร์ต บอยล์ได้ทำการทดลองอีกหลายครั้งที่ระดับความสูงของปรอทต่าง ๆ กัน และได้ตัวอย่างผลการทดลองดังตาราง 7.1 ซึ่งพบว่า ผลคูณระหว่างความดันกับปริมาตรของแต่ละการทดลองมีค่าเกือบคงที่ และเมื่อนำข้อมูลในตาราง 7.1 มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับความดัน และปริมาตรกับส่วนกลับของความดัน ได้กราฟดังรูป 7.4

ตาราง 7.1 ข้อมูลความดัน ปริมาตร และการคำนวณจากการทดลองของร็อบเบิร์ต บอยล์

ความดัน (mmHg)	ปริมาตร (mL)	$\frac{1}{P}$ (mmHg ⁻¹)	PV (mmHg · mL)
780	20.00	0.00128	1.56×10^4
1038	15.00	0.000963	1.56×10^4
1560	10.00	0.000641	1.56×10^4
3112	5.00	0.000321	1.56×10^4



(ก)



(ข)

รูป 7.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง (ก) ปริมาตรกับความดัน (ข) ปริมาตรกับส่วนกลับของความดัน

จากผลการทดลองดังกล่าว ทำให้สามารถสรุปความสัมพันธ์ได้ว่า เมื่ออุณหภูมิและจำนวนโมลของแก๊สคงที่ ปริมาตร (V) จะแปรผกผันกับความดัน (P) ความสัมพันธ์นี้เรียกว่า **กฎของบอยล์** (Boyle's law) และสามารถเขียนแทนด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$V \propto \frac{1}{P}$$

$$V = \text{ค่าคงที่} \times \frac{1}{P}$$

$$PV = \text{ค่าคงที่}$$

ความสัมพันธ์ตามกฎของบอยล์ อาจเขียนอยู่ในรูปที่สามารถใช้คำนวณปริมาตรหรือความดันของแก๊สที่สองสถานะได้ดังนี้

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

เมื่อ P_1 และ P_2 คือ ความดันของแก๊สที่มีปริมาตร V_1 และ V_2 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิและจำนวนโมลคงที่



ตัวอย่าง 1

แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะขนาด 100.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ความดัน 1.0 บรรยากาศ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ถ้าแก๊สนี้บรรจุในภาชนะขนาด 200.0 ลูกบาศก์เซนติเมตร ณ อุณหภูมิเดิม แก๊สนี้จะมีความดันเท่าใด

วิธีทำ

จาก $P_1 V_1 = P_2 V_2$
แทนค่าจะได้ $(1.0 \text{ atm})(100.0 \text{ cm}^3) = P_2(200.0 \text{ cm}^3)$

$$P_2 = \frac{(1.0 \text{ atm})(100.0 \text{ cm}^3)}{200.0 \text{ cm}^3}$$

$$= 0.50 \text{ atm}$$

ดังนั้น แก๊สชนิดนี้จะมีความดัน 0.50 บรรยากาศ



ตัวอย่าง 2

แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในกระบอกสูบขนาด 2.0 ลิตร ที่ความดัน 1.5 บรรยากาศ เมื่ออัดกระบอกสูบให้มีความดันเพิ่มขึ้นเป็น 1520 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะเป็นเท่าใด

วิธีทำ

จาก

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

แทนค่าจะได้

$$(1.5 \text{ atm})(2.0 \text{ L}) = (1520 \text{ mmHg} \times \frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ mmHg}}) V_2$$

$$(1.5 \text{ atm})(2.0 \text{ L}) = (2.00 \text{ atm}) V_2$$

$$V_2 = \frac{(1.5 \text{ atm})(2.0 \text{ L})}{2.00 \text{ atm}}$$

$$= 1.5 \text{ L}$$

ดังนั้น แก๊สมีปริมาตร 1.5 ลิตร



ตรวจสอบความเข้าใจ

ในการทดลองวัดปริมาตรของอากาศในหลอดรูปตัวเจ (J) เมื่อเริ่มต้นอากาศในหลอดรูปตัวเจด้านปลายปิดมีปริมาตร 30 มิลลิลิตร และมีความดัน 1.0 บรรยากาศ เมื่อเติมปรอทลงในหลอดเพิ่มเติม พบว่า ความดันภายในหลอดเพิ่มเป็น 1.5 บรรยากาศ จงคำนวณปริมาตรของอากาศในหลอดรูปตัวเจหลังเติมปรอท ถ้ากำหนดให้อุณหภูมิที่ทำการทดลองคงที่

7.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส

ปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊สมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ศึกษาได้จากกิจกรรมต่อไปนี้



กิจกรรม 7.2 การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของอากาศ

จุดประสงค์การทดลอง

ทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของอากาศ

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

1. ขวดพลาสติกใสชนิดไม่ยุบตัวเมื่อถูกความร้อน ขนาด 500 mL
2. ปีกเกอร์ขนาด 500 mL
3. น้ำ
4. น้ำยาล้างจาน
5. น้ำร้อน (อุณหภูมิประมาณ 60 °C)
6. น้ำแข็ง

วิธีทดลอง

1. ผสมน้ำกับน้ำยาล้างจานในอัตราส่วน 2 : 1 ใส่ในปีกเกอร์ใบที่ 1
2. จุ่มปากขวดพลาสติกลงในปีกเกอร์ใบที่ 1 ดังรูป เพื่อให้เกิดแผ่นฟิล์มบาง ๆ ของน้ำยาล้างจานปิดที่ปากขวด สังเกตลักษณะของฟิล์มที่ปากขวด



3. เทน้ำร้อนใส่ปิกเกอร์ไบท์ 2 โดยให้น้ำร้อนมีระดับความสูงประมาณ 2 cm แล้ววางขวดพลาสติกที่เตรียมไว้ในข้อ 2 ลงในปิกเกอร์ โดยหงายปากขวดขึ้น ดังรูป สังเกตการเปลี่ยนแปลง และบันทึกผลโดยการวาดรูปประกอบ



4. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 2-3 แต่เปลี่ยนจากน้ำร้อนเป็นน้ำผสมน้ำแข็งแทน

คำถามท้ายการทดลอง

1. จำนวนโมลและความดันของอากาศในขวดพลาสติกก่อนทำการทดลองและหลังการทดลองเสร็จสิ้นมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร
2. เมื่อวางขวดพลาสติกลงในปิกเกอร์ที่มีน้ำร้อนและน้ำผสมน้ำแข็ง ปริมาตรและอุณหภูมิของอากาศในขวดพลาสติกเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร

จากการทดลองจะเห็นว่า ปริมาตรของแก๊สและอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้มีการศึกษาไว้แล้วโดย ชาก-อาแลกซองด์ร์-เซซา ชาร์ล (Jacques-Alexandre-César Charles) โดยทำการทดลองกับบอลูนและพบว่า ปริมาตรของแก๊สเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ซึ่งต่อมาได้รับการยืนยันโดยผลการทดลองของ โจเซฟ-ลุย เก-ลูซัค¹ (Joseph-Louis Gay-Lussac) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส ศึกษาได้จากกิจกรรมต่อไปนี้

¹ในปี พ.ศ. 2347 เก-ลูซัค นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ขึ้นไปบอลลูนที่ความสูง 23,000 ฟุตเพื่อศึกษาองค์ประกอบของอากาศ ทำให้ได้รับสมญานามว่า นักผจญภัย ผลการทดลองต่าง ๆ ของเขาเป็นที่มาของกฎต่าง ๆ ของแก๊ส



กิจกรรม 7.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส

จุดประสงค์ของกิจกรรม

เขียนกราฟและสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส

วัสดุและอุปกรณ์

กระดาษกราฟ

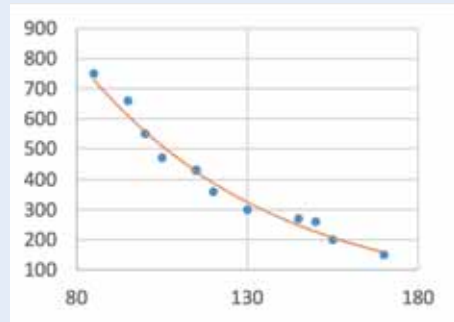
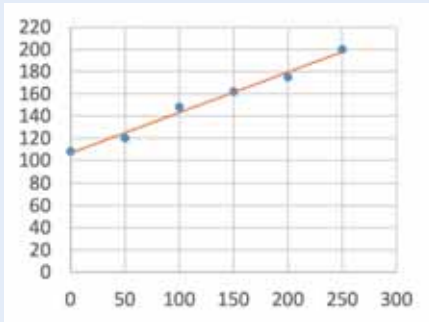
วิธีทำกิจกรรม

เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร (แกน y) และอุณหภูมิของแก๊ส (แกน x) จากข้อมูลการทดลองวัดปริมาตรของแก๊สชนิดหนึ่ง ณ อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ความดันและจำนวนโมลคงที่ต่อไปนี้

การทดลองครั้งที่	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาตร (mL)
1	-230	15
2	-170	41
3	-130	54
4	-70	80
5	20	113
6	120	152
7	230	198

ความรู้เพิ่มเติม

การลากเส้นกราฟแสดงแนวโน้มของข้อมูลทั้งหมด ทำได้โดยลากเส้นให้ใกล้เคียงกับจุดข้อมูลมากที่สุด ซึ่งไม่จำเป็นต้องผ่านจุดข้อมูลทุกจุด ดังตัวอย่าง



คำถามท้ายกิจกรรม

1. กราฟที่ได้มีลักษณะอย่างไร
2. สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊สเป็นอย่างไร
3. จุดตัดแกน x เป็นเท่าใด และที่จุดนี้แก๊สมีปริมาตรเท่าใด

จากกิจกรรมจะเห็นว่า สามารถหาอุณหภูมิที่แก๊สมีปริมาตรเป็นศูนย์ได้จากจุดที่เส้นกราฟตัดแกน x ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์ (absolute zero) หรือ 0 เคลวิน (K) ที่เสนอโดยวิลเลียม ทอมสัน (William Thomson) หรือลอร์ดเคลวิน (Lord Kelvin) และมีค่าเท่ากับ -273.15 องศาเซลเซียส ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียสและเคลวิน เป็นดังนี้

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

เพื่อความสะดวกในการคำนวณ หนังสือเล่มนี้จะใช้อุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์เท่ากับ -273 องศาเซลเซียส