



หนังสือเรียน

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เคมี

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

พิมพ์ครั้งที่ ๔

ISBN 978-616-576-360-8

จำนวน ๑๒๐,๐๐๐ เล่ม พ.ศ. ๒๕๖๖

จัดจำหน่ายโดย

องค์การค้าของ สกสค. พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว

๒๒๔๙ ถนนลาดพร้าว วังทองหลาง กรุงเทพมหานคร

❖ มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ



ประกาศสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน
เรื่อง อนุญาตให้ใช้สื่อการเรียนรู้ในสถานศึกษา

ด้วยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓ ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลาง การศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ได้พิจารณาแล้ว อนุญาตให้ใช้ในสถานศึกษาได้

ประกาศ ณ วันที่ ๕ มกราคม พ.ศ. ๒๕๖๗

ว่าที่ร้อยตรี

(ธนุ วงษ์จินดา)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) มีอำนาจหน้าที่ในการพัฒนาหลักสูตร วิธีการเรียนรู้ การประเมินผล การจัดทำหนังสือเรียน แบบฝึกหัด และสื่อการเรียนรู้ทุกประเภทที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของการจัดการศึกษาขั้นพื้นฐาน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓ นี้ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) จัดทำขึ้นตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ เพื่อให้สถานศึกษาพิจารณาเทียบเคียงกับหลักสูตรสถานศึกษา และพิจารณาเลือกใช้หนังสือนี้ประกอบการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับหลักสูตรสถานศึกษาของตนได้ตามความเหมาะสม

กระทรวงศึกษาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานการศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตลอดจนบุคคลและหน่วยงานอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้

ว่าที่ร้อยตรี 
(ธนุ วงษ์จินดา)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. จึงได้จัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓ มีผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่ครอบคลุมเนื้อหาบางส่วนที่ปรากฏตามตัวชี้วัดรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๑ โดยเมื่อผู้เรียนเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม ๑ – เล่ม ๖ ครบทุกชั้นปีในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ – ๖ แล้วก็สามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๑ ได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อยอดเนื้อหาจากรายวิชาพื้นฐานไปสู่เนื้อหาในรายวิชาเพิ่มเติมได้โดยไม่ต้องเสียเวลาเรียนซ้ำซ้อน ทั้งนี้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม ๓ นี้มีเนื้อหาที่จำเป็นที่ต้องเรียนประกอบด้วย เรื่อง แก๊สและสมบัติของแก๊ส อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และสมดุลเคมี ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์ หรือประกอบอาชีพในสาขาที่ใช้วิทยาศาสตร์เป็นฐาน เช่น แพทย์ ทันตแพทย์ สัตวแพทย์ เทคโนโลยีชีวภาพ เทคนิคการแพทย์ วิศวกรรม สถาปัตยกรรม วัสดุศาสตร์ อุตุนิยมวิทยา ธรณีวิทยา ฯลฯ โดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา เชื่อมโยงความรู้สู่การนำไปใช้ในชีวิตจริง ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญ รวมทั้งกิจกรรมที่ผู้เรียนสามารถคิดค้นและออกแบบการทดลองด้วยตนเอง มีแบบตรวจสอบความรู้ความเข้าใจก่อนเรียน มีแบบฝึกหัดเพื่อให้ตรวจทานความรู้หลังจากที่เรียนไปแล้ว รวมทั้งสรุปความรู้ในแต่ละบทด้วย ในการจัดทำหนังสือเรียนเล่มนี้ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบัน และสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม ๓ นี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียน และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเรียนเล่มนี้ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง

(รองศาสตราจารย์ธีระเดช เจียรสุขสกุล)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กระทรวงศึกษาธิการ

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

หนังสือเรียนเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ในการศึกษาเนื้อหาที่สำคัญและเกิดทักษะที่จำเป็นที่สอดคล้องกับมาตรฐานและสาระการเรียนรู้ 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

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

กิจกรรม



การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลองการสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งนักเรียนควรลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง

ตัวอย่าง



การแสดงแนวทางการตอบคำถามหรือการแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งนักเรียนสามารถศึกษาเพื่อเพิ่มความเข้าใจในเนื้อหาบทเรียนมากขึ้น

ความรู้เพิ่มเติม



ความรู้ที่เพิ่มเติมจากเนื้อหาในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีการวัดและประเมินผล

รู้หรือไม่



ความรู้ที่เชื่อมโยงให้เห็นความสอดคล้องของเนื้อหาบทเรียนกับปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน

สื่อ AR (Augmented Reality)



สื่อเสริมการเรียนรู้ที่ใช้เทคโนโลยี AR ผู้เรียนสามารถดาวน์โหลดเพื่อใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน "AR วิทย์ ม.ปลาย"

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน



การสรุปเนื้อหาสำคัญภายในบทเรียน เพื่อช่วยให้เห็นภาพรวมของเนื้อหาทั้งหมด

แบบฝึกหัดท้ายบท



คำถามท้ายบทเรียนสำหรับให้นักเรียนตรวจสอบความเข้าใจหลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว ซึ่งนักเรียนสามารถใช้เป็นข้อมูลในการทบทวนเนื้อหาที่ยังไม่เข้าใจได้

สารบัญ

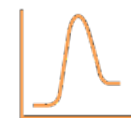
7



แก๊สและสมบัติของแก๊ส

บทที่ 7 แก๊สและสมบัติของแก๊ส	1
7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมล	7
7.2 กฎแก๊สอุดมคติ และความดันย่อย	28
7.3 ทฤษฎีจลน์และการแพร่ของแก๊ส	38
7.4 การประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับแก๊สและสมบัติของแก๊ส	46
แบบฝึกหัดท้ายบท	50

8



อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

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

สารบัญ

9



สมดุลเคมี

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

ภาคผนวก

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

บทที่

7

| แก๊สและสมบัติของแก๊ส



ipst.me/8875



แก๊สขยายตัวเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ความหนาแน่นภายในโคมลอยน้อยลง 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

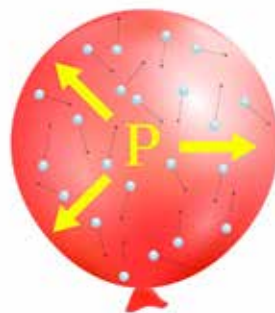
-1. แก๊สและของเหลวเปลี่ยนแปลงรูปร่างตามภาชนะที่บรรจุ แต่แตกต่างกันตรงที่ปริมาตรของแก๊สเปลี่ยนแปลงตามภาชนะที่บรรจุได้
-2. ความดันของอากาศที่ระดับน้ำทะเลมีค่าเท่ากับ 1 บรรยากาศ
-3. แก๊ส A 1.0 โมล ผสมกับแก๊ส B 4.0 โมล เศษส่วนโมลของแก๊ส A เท่ากับ 0.25
-4. ที่ STP แก๊สต่างชนิดกันมีปริมาตรเท่ากันเมื่อมีมวลเท่ากัน
-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 และฟุ้งกระจายเต็มภาชนะที่บรรจุ 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

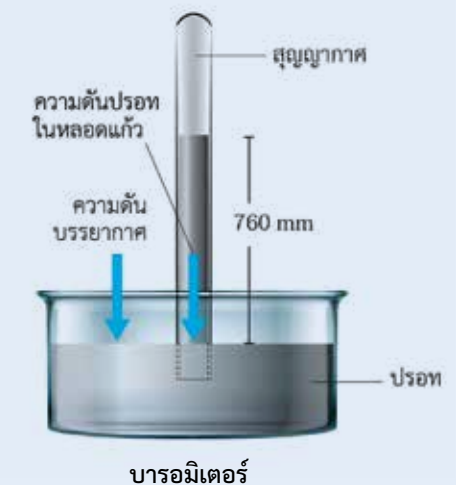
หน่วยมิลลิเมตรปรอท (mmHg) เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ทอร์ (torr) ตามชื่อของ เอวันเจลิस्ता ตอร์รีเซลลี (Evangelista Torricelli) นักวิทยาศาสตร์ชาวอิตาลี ผู้ประดิษฐ์บารอมิเตอร์ปรอท



ความรู้เพิ่มเติม

ความดันของแก๊สสามารถวัดได้โดยใช้อุปกรณ์ เช่น บารอมิเตอร์ (barometer) แมนอมิเตอร์ (manometer)

บารอมิเตอร์ (barometer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันบรรยากาศ บารอมิเตอร์อย่างง่ายประกอบด้วยหลอดแก้วยาวที่มีปลายปิดด้านหนึ่งซึ่งบรรจุปรอทไว้เต็มคว่ำอยู่ในภาชนะที่บรรจุปรอท ปรอทในหลอดแก้วบางส่วนจะไหลออกมาสู่ภาชนะ จึงทำให้ระดับของปรอทลดลงและเกิดสุญญากาศบริเวณด้านปลายปิดของหลอดแก้ว และปรอทจะหยุดไหลออกจากหลอดแก้วเมื่อความดันของปรอทในหลอดแก้วเท่ากับความดันของบรรยากาศที่กระทำต่อผิวหน้าของปรอทที่อยู่ในภาชนะ จึงใช้ความสูงของระดับปรอทในหลอดแก้วระบุความดันบรรยากาศในหน่วยมิลลิเมตรปรอท

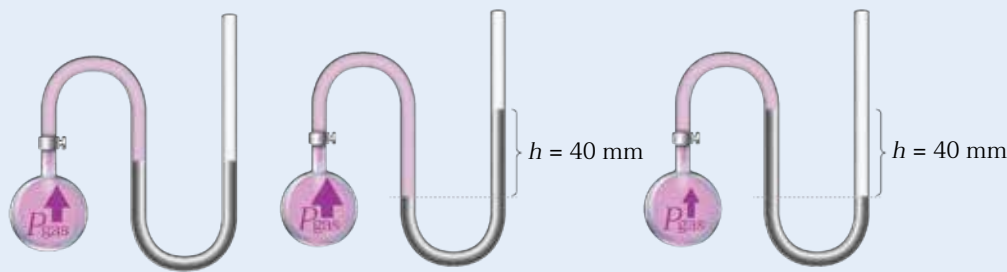


แมนอมิเตอร์ (manometer) เป็น

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



แมนอมิเตอร์



$$P_{\text{gas}} = P_{\text{atm}}$$

$$P_{\text{gas}} = P_{\text{atm}} + h$$

$$P_{\text{gas}} = P_{\text{atm}} - h$$

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

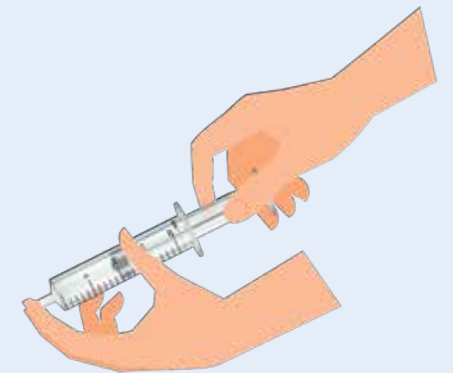
ทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรของอากาศ

วัสดุและอุปกรณ์

กระบอกฉีดยาพลาสติก ขนาด 20 mL

วิธีทดลอง

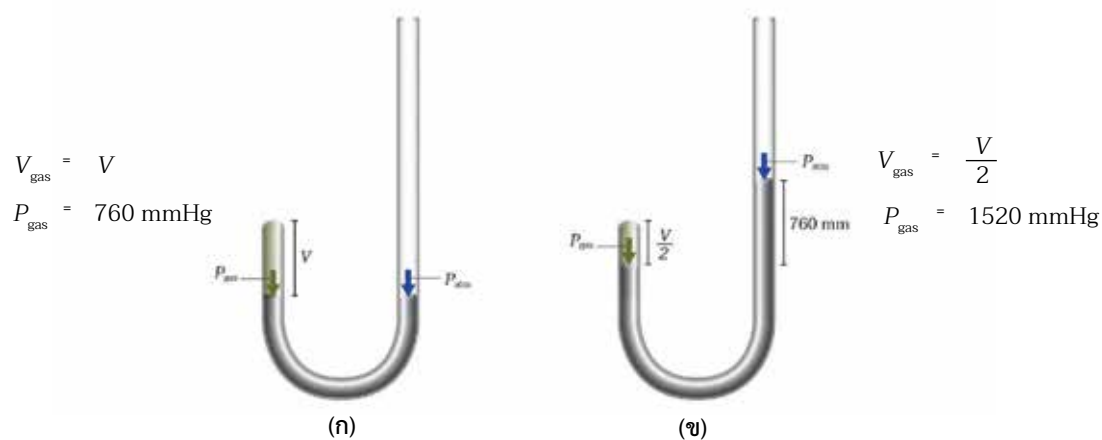
1. ดึงก้านกระบอกฉีดยาให้มีปริมาตรของอากาศเป็น 10.0 mL ใช้ปลายนิ้วอุดปลายกระบอกฉีดยาไว้ ดังรูป จากนั้นกดก้านกระบอกฉีดยาช้า ๆ จนกระทั่งมีปริมาตรของอากาศเป็น 5.0 mL ปล่อยมือที่กดก้านกระบอกฉีดยา และสังเกตการเปลี่ยนแปลง
2. ดึงก้านกระบอกฉีดยาให้มีปริมาตรของอากาศเป็น 10.0 mL ใช้ปลายนิ้วอุดปลายกระบอกฉีดยาไว้ 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)

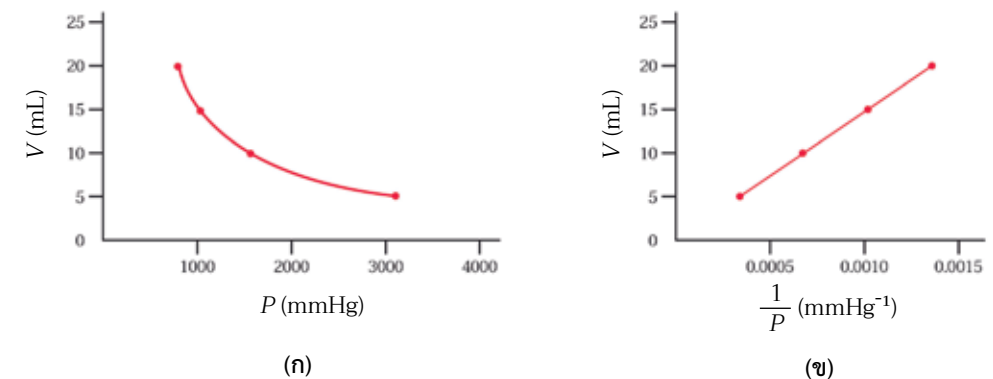


รูป 7.3 ระดับปรอทในหลอดแก้วรูปตัวเจ (ก) เมื่อเริ่มต้น (ข) เมื่อเติมปรอทเพิ่ม

รอเบิร์ต บอยล์ได้ทำการทดลองอีกหลายครั้งที่ระดับความสูงของปรอทต่าง ๆ กันและได้ตัวอย่างผลการทดลองดังตาราง 7.1 ซึ่งพบว่า ผลคูณระหว่างความดันกับปริมาตรของแต่ละการทดลองมีค่าเกือบคงที่ และเมื่อนำข้อมูลในตาราง 7.1 มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับความดันและปริมาตรกับส่วนกลับของความดัน ได้กราฟดังรูป 7.4

ตาราง 7.1 ข้อมูลความดัน ปริมาตร และการคำนวณจากการทดลองของรอเบิร์ต 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



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 อาจเขียนอยู่ในรูปที่สามารถใช้คำนวณปริมาตรหรือความดันของแก๊สทั้งสองสถานะได้ดังนี้

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

เมื่อ P_1 และ P_2 คือ ความดันของแก๊สที่มีปริมาตร V_1 และ V_2 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิและจำนวนโมลคงที่



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

วิธีทำ

จาก $P_1V_1 = P_2V_2$

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



แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในกระบอกสูบขนาด 2.0 ลิตร ที่ความดัน 1.5 บรรยากาศ เมื่ออัดกระบอกสูบให้มีความดันเพิ่มขึ้นเป็น 1520 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะเป็นเท่าใด

วิธีทำ

จาก $P_1V_1 = P_2V_2$

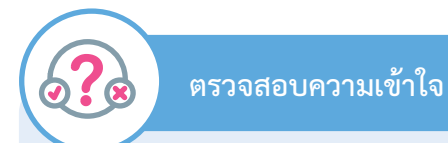
แทนค่าจะได้ $(1.5 \text{ atm})(2.0 \text{ L}) = (1520 \text{ mmHg} \times \frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ mmHg}})V_2$

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

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

$$= 1.5 \text{ L}$$

ดังนั้น แก๊สมีปริมาตร 1.5 ลิตร



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. เทน้ำร้อนใส่ปีกเกอร์ใบที่ 2 โดยให้น้ำร้อนมีระดับความสูงประมาณ 2 cm แล้ววางขวดพลาสติกที่เตรียมไว้ในข้อ 2 ลงในปีกเกอร์ โดยหงายปากขวดขึ้น ดังรูป สังเกตการเปลี่ยนแปลง และบันทึกผลโดยการวาดรูปประกอบ



4. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 2-3 แต่เปลี่ยนจากน้ำร้อนเป็นน้ำผสมน้ำแข็งแทน

คำถามท้ายการทดลอง

1. จำนวนโมลและความดันของอากาศในขวดพลาสติกก่อนทำการทดลองและหลังการทดลองเสร็จสิ้นมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร
2. เมื่อวางขวดพลาสติกลงในปีกเกอร์ที่มีน้ำร้อนและน้ำผสมน้ำแข็ง ปริมาตรและอุณหภูมิของอากาศในขวดพลาสติกเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร

จากการทดลองจะเห็นว่า ปริมาตรของแก๊สและอุณหภูมิมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้มีการศึกษาไว้แล้วโดย ซาก-อาแลกซองดร์-เซซา ชาร์ล (Jacques-Alexandre-César Charles) โดยทำการทดลองกับบอลูนและพบว่า ปริมาตรของแก๊สเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ซึ่งต่อมาได้รับการยืนยันโดยผลการทดลองของ โจเซฟ-ลุย เก-ลูซัก¹ (Joseph-Louis Gay-Lussac) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส ศึกษาได้จากกิจกรรมต่อไปนี

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



กิจกรรม 7.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส

จุดประสงค์ของกิจกรรม

เขียนกราฟและสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส

วัสดุและอุปกรณ์

กระดาษกราฟ

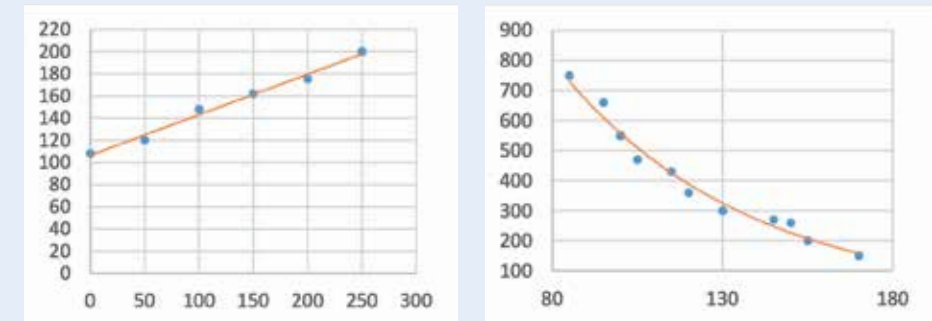
วิธีทำกิจกรรม

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

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

เพื่อความสะดวกในการคำนวณ หนังสือเล่มนี้จะใช้อุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์เท่ากับ -273 องศาเซลเซียส



ชวนคิด

จากตารางข้อมูลในกิจกรรม 7.3 นักเรียนคิดว่า อัตราส่วนระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊สในหน่วยองศาเซลเซียสหรือเคลวินแตกต่างกันอย่างไร

ถ้าเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับอุณหภูมิในหน่วยเคลวินจะได้จุดตัดแกน x ของกราฟที่ 0 เคลวิน และเมื่อหาอัตราส่วนระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊สในหน่วยเคลวินจะพบว่า ได้ค่าคงที่ ดังนั้น ปริมาตร (V) แปรผันตรงกับอุณหภูมิ (T) ในหน่วยเคลวิน ซึ่งความสัมพันธ์นี้ เรียกว่า กฎของชาร์ล (Charles' law) ซึ่งเขียนสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} V &\propto T \\ V &= \text{ค่าคงที่} \times T \\ \frac{V}{T} &= \text{ค่าคงที่} \end{aligned}$$

ความสัมพันธ์ตามกฎของชาร์ล อาจเขียนอยู่ในรูปที่สามารถใช้คำนวณปริมาตรหรืออุณหภูมิของแก๊สที่สองสภาวะได้ดังนี้

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

เมื่อ V_1 และ V_2 คือ ปริมาตรของแก๊สที่มีอุณหภูมิ T_1 และ T_2 ตามลำดับ ที่ความดันและจำนวนโมลคงที่



ตัวอย่าง 3

แก๊สไนโตรเจน (N_2) ในกระบอกสุญญากาศ ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 373 เคลวิน เมื่อทำให้อุณหภูมิลดลงเป็น 273 เคลวิน โดยความดันของแก๊สไม่เปลี่ยนแปลง ปริมาตรสุดท้ายของแก๊สเป็นเท่าใด

วิธีทำ

จาก
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าจะได้} \quad \frac{250 \text{ mL}}{373 \text{ K}} &= \frac{V_2}{273 \text{ K}} \\ V_2 &= \frac{(250 \text{ mL})(273 \text{ K})}{373 \text{ K}} \\ &= 183 \text{ mL} \end{aligned}$$

ดังนั้น แก๊สมีปริมาตร 183 มิลลิลิตร



ตัวอย่าง 4

แก๊สชนิดหนึ่งมีความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส บรรจุไว้ในภาชนะที่ยืดหยุ่นได้ เมื่อนำภาชนะบรรจุแก๊สนี้ไปจุ่มลงในของเหลวที่กำลังเดือด ที่ความดันคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะขยายตัวจาก 70.0 มิลลิลิตร เป็น 90.0 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิกี่องศาเซลเซียส

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \frac{V_1}{T_1} &= \frac{V_2}{T_2} \\ \text{แทนค่าจะได้} \quad \frac{70.0 \text{ mL}}{(2 + 273) \text{ K}} &= \frac{90.0 \text{ mL}}{T_2} \\ T_2 &= \frac{(90.0 \text{ mL})(273 \text{ K})}{70.0 \text{ mL}} \\ &= 354 \text{ K} \end{aligned}$$

เปลี่ยนหน่วยอุณหภูมิให้เป็นองศาเซลเซียสจะได้

$$\begin{aligned} T(^{\circ}\text{C}) &= 354 - 273^{\circ}\text{C} \\ &= 81^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

ดังนั้น แก๊สมีอุณหภูมิ 81 องศาเซลเซียส



ตรวจสอบความเข้าใจ

1. ถ้าต้องการให้แก๊สไฮโดรเจน (H_2) ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส มีปริมาตรลดลงครึ่งหนึ่งที่ความดันคงที่ ต้องทำให้อุณหภูมิของแก๊สเป็นกี่องศาเซลเซียส
2. ถ้าบรรจุแก๊สฮีเลียมในลูกโป่ง 10.0 ลิตร ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส แล้วนำลูกโป่งนี้ไปไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิ 57 องศาเซลเซียส ลูกโป่งจะมีขนาดเท่าใด ถ้ากำหนดให้ความดันภายในลูกโป่งคงที่

7.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิของแก๊ส

นอกจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับความดันของแก๊สตามกฎของบอยล์ และปริมาตรกับอุณหภูมิของแก๊สตามกฎของชาร์ลแล้ว ความดันกับอุณหภูมิของแก๊สยังมีความสัมพันธ์กันด้วย เช่น ข้อความที่ระบุบนกระป๋องสเปรย์ว่า ห้ามวางใกล้เปลวไฟหรือที่มีอุณหภูมิสูงเพราะอาจทำให้กระป๋องสเปรย์ระเบิดได้

นักเรียนคิดว่า ความดันภายในกระป๋องสเปรย์ก่อนการระเบิดเป็นอย่างไร



1. อ่านวิธีใช้ให้ละเอียดและปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด
2. หากใช้แล้วมีความผิดปกติใด ๆ เกิดขึ้นต้องหยุดใช้และปรึกษาแพทย์
3. หลีกเลี่ยงบริเวณรอบดวงตา
4. **ภาษาบนบรรจุภัณฑ์แก๊สซึ่งอาจระเบิดหากเกิดความร้อน เก็บให้พ้นจากความร้อน พื้นผิวที่มีความร้อน ประกายไฟ เปลวไฟ และจุดที่อาจติดไฟได้ ห้ามเจาะหรือเผากระป๋องแม้ใช้หมดแล้ว เก็บให้พ้นแสงแดด ห้ามทิ้งไว้ในที่มีอุณหภูมิเกิน 50 องศาเซลเซียส** ทิ้งเฉพาะกระป๋องเปล่าเพื่อรีไซเคิล ใช้ตามวิธีใช้ที่ระบุ เก็บให้พ้นมือเด็ก

รูป 7.5 ข้อห้ามการวางกระป๋องสเปรย์ใกล้เปลวไฟหรือที่มีอุณหภูมิสูง

หากนำกระป๋องสเปรย์ซึ่งมีแก๊สบรรจุอยู่วางไว้ใกล้เปลวไฟจะทำให้อุณหภูมิของแก๊สภายในกระป๋องสูงขึ้นซึ่งตามกฎของชาร์ลแก๊สควรมีปริมาตรเพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากผนังกระป๋องสเปรย์ไม่สามารถขยายตัวได้ ดังนั้น ความดันภายในกระป๋องจึงเพิ่มขึ้นจนอาจทำให้เกิดการระเบิดได้ เนื่องจากจำนวนโมลของแก๊สภายในกระป๋องคงที่ ดังนั้นความดันและอุณหภูมิของแก๊สจึงมีความสัมพันธ์กัน ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิของแก๊สชนิดหนึ่ง ที่ปริมาตรและจำนวนโมลคงที่ แสดงดังตาราง 7.2

ตาราง 7.2 ความดัน อุณหภูมิ และอัตราส่วนความดันต่ออุณหภูมิ เมื่อปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊สคงที่

ความดัน (P) mmHg	อุณหภูมิ (T)		$\frac{P}{T}$	
	(°C)	K	mmHg / °C	mmHg / K
703	0	273	-	2.57
753	20	293	38	2.57
805	40	313	20	2.57
856	60	333	14	2.57
908	80	353	11	2.57
959	100	373	9.6	2.57

จากตาราง 7.2 สรุปได้ว่า เมื่อปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊สคงที่ อัตราส่วนความดันต่ออุณหภูมิในหน่วยเคลวินเป็นค่าคงที่ ดังนั้น ความดัน (P) แปรผันตรงกับอุณหภูมิ (T) ในหน่วยเคลวิน ความสัมพันธ์นี้เรียกว่า **กฎของเกย์-ลุสแซก (Gay-Lussac's law)** ซึ่งเขียนแทนด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 P &\propto T \\
 P &= \text{ค่าคงที่} \times T \\
 \frac{P}{T} &= \text{ค่าคงที่}
 \end{aligned}$$

ความสัมพันธ์ตามกฎของเกย์-ลุสแซก อาจเขียนอยู่ในรูปที่สามารถใช้คำนวณหาความดันหรืออุณหภูมิของแก๊สที่สองสถานะได้ดังนี้

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$



ตัวอย่าง 5

กระป๋องสเปรย์ปรับอากาศซึ่งมีความดัน 103 กิโลปาสกาล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ถูกโยนใส่ในกองไฟจนมีอุณหภูมิ 928 องศาเซลเซียส ภายในกระป๋องจะมีความดันกี่กิโลปาสกาล

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \frac{P_1}{T_1} &= \frac{P_2}{T_2} \\ \text{แทนค่าจะได้} \quad \frac{103 \text{ kPa}}{(25 + 273) \text{ K}} &= \frac{P_2}{(928 + 273) \text{ K}} \\ P_2 &= \frac{(103 \text{ kPa})(1201 \text{ K})}{298 \text{ K}} \\ &= 415 \text{ kPa} \end{aligned}$$

ดังนั้น ภายในกระป๋องจะมีความดัน 415 กิโลปาสกาล



ตัวอย่าง 6

แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะเหล็กหนาทรงกระบอกขนาด 2.0 ลิตร ที่ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนได้ความดันเป็น 1500 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิสุดท้ายของแก๊สชนิดนี้เป็นกี่องศาเซลเซียส

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \frac{P_1}{T_1} &= \frac{P_2}{T_2} \\ \text{แทนค่าจะได้} \quad \frac{760 \text{ mmHg}}{(25 + 273) \text{ K}} &= \frac{1500 \text{ mmHg}}{T_2} \\ T_2 &= \frac{(1500 \text{ mmHg})(298 \text{ K})}{760 \text{ mmHg}} \\ &= 588 \text{ K} \end{aligned}$$

เปลี่ยนอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส

$$\begin{aligned} T_2 &= 588 - 273 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ &= 315 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

ดังนั้น อุณหภูมิสุดท้ายของแก๊สชนิดนี้เท่ากับ 315 องศาเซลเซียส



ตรวจสอบความเข้าใจ

หลอดไฟที่บรรจุแก๊สมีสฟลูออโรที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส มีความดันภายในหลอด 0.74 บรรยากาศ เมื่อหลอดไฟให้แสงสว่าง อุณหภูมิอาจสูงถึง 418 เคลวิน จงคำนวณความดันภายในหลอดไฟที่อุณหภูมิดังกล่าว

7.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊ส

เมื่อจำนวนโมล (n) ของแก๊สคงที่ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร (V) ความดัน (P) และอุณหภูมิ (T) ในหน่วยเคลวิน สามารถพิจารณาได้ดังนี้

จากกฎของบอยล์ $V \propto \frac{1}{P}$ เมื่อ T และ n คงที่

จากกฎของชาร์ล $V \propto T$ เมื่อ P และ n คงที่

จากกฎของเกย์-ลูสแซก $P \propto T$ เมื่อ V และ n คงที่

เมื่อรวมกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล และกฎของเกย์-ลูสแซก จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

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

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

$$\frac{PV}{T} = \text{ค่าคงที่}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน และอุณหภูมินี้ เรียกว่า **กฎรวมแก๊ส** (combined gas law) ซึ่งอาจเขียนอยู่ในรูปที่สามารถใช้คำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่สภาวะใดดังนี้

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$



ตัวอย่าง 7

ลูกโป่งบรรจุแก๊สฮีเลียมปริมาตร 30 ลิตร ที่ความดัน 1.5 บรรยากาศ ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ปริมาตรของลูกโป่งนี้จะเป็นเท่าใดที่ STP

วิธีทำ

จาก
$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

แทนค่าจะได้
$$\frac{(1.5 \text{ atm})(30 \text{ L})}{(40 + 273) \text{ K}} = \frac{(1.0 \text{ atm})(V_2)}{273 \text{ K}}$$

$$V_2 = \frac{(1.5 \text{ atm})(30 \text{ L})(273 \text{ K})}{(313 \text{ K})(1.0 \text{ atm})}$$

$$= 39 \text{ L}$$

ดังนั้น ลูกโป่งจะมีปริมาตร 39 ลิตร ที่ STP



ตัวอย่าง 8

แก๊สชนิดหนึ่งมีปริมาตร 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ความดัน 1.00 บรรยากาศ อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ถ้าแก๊สชนิดนี้มีปริมาตรและความดันเปลี่ยนเป็น 1150 ลูกบาศก์เซนติเมตร และ 900 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ จงหาอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในหน่วยองศาเซลเซียส

วิธีทำ

จาก
$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

แทนค่าจะได้

$$\frac{\left(1.00 \text{ atm} \times \frac{760 \text{ mmHg}}{1 \text{ atm}}\right)(1000 \text{ cm}^3)}{(0 + 273) \text{ K}} = \frac{(900 \text{ mmHg})(1150 \text{ cm}^3)}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{(900 \text{ mmHg})(1150 \text{ cm}^3)(273 \text{ K})}{(760 \text{ mmHg})(1000 \text{ cm}^3)}$$

$$= 372 \text{ K}$$

จาก
$$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = 372 - 273 = 99^{\circ}\text{C}$$

ดังนั้น อุณหภูมิของแก๊สเปลี่ยนแปลงไป 99 องศาเซลเซียส



ตรวจสอบความเข้าใจ

เมื่อปล่อยลูกโป่งที่มีปริมาตร 6.0 ลิตร ความดัน 1.0 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสขึ้นไปสู่บรรยากาศชั้นบนซึ่งมีความดัน 0.50 บรรยากาศ และอุณหภูมิ -23 องศาเซลเซียส ลูกโป่งจะมีปริมาตรเท่าใด

7.1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร และจำนวนโมลของแก๊ส

ปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊สมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ศึกษาได้จากกิจกรรมต่อไปนี้



กิจกรรม 7.4 การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส

จุดประสงค์การทดลอง

ทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

- โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO_3)
- สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.50 mol/L
- ลูกโป่ง ขนาด 10 นิ้ว
- ขวดรูปกรวยขนาด 125 mL
- กระดาษชั่งสาร
- กรวยกรอง
- ช้อนตักสาร
- บีกเกอร์ขนาด 250 mL
- กระบอกตวง ขนาด 50 mL
- หลอดหยด
- ปากกาเขียนป้าย

วิธีทดลอง

- นำลูกโป่งที่ตรวจสอบแล้วว่าไม่รั่วจำนวน 3 ลูก มาเขียนหมายเลขกำกับลูกโป่งแต่ละลูก (หมายเลข 1–3)
- ชั่ง NaHCO_3 บนกระดาษชั่งสารปริมาณตามที่กำหนดในตาราง

หมายเลขลูกโป่ง	1	2	3
มวล NaHCO_3 (g)	0.10	0.50	1.00

เท NaHCO_3 ใส่ลงในลูกโป่งแต่ละหมายเลขผ่านกรวยกรองจนหมด

- ใส่ HCl 0.50 mol/L ปริมาตร 50.0 mL ลงในขวดรูปกรวยแต่ละขวด
- ใส่อากาศในลูกโป่งที่เตรียมไว้ในข้อ 2 จากนั้นครอบปากลูกโป่งเข้ากับปากขวดรูปกรวย ในข้อ 3 แล้วเขย่าลูกโป่งให้ NaHCO_3 ทั้งหมดตกลงมาทำปฏิกิริยากับ HCl ในขวดรูปกรวย เขย่าขวดรูปกรวยเพื่อให้สารทำปฏิกิริยากันอย่างสมบูรณ์ สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น และเปรียบเทียบปริมาตรของลูกโป่งทั้ง 3 ลูก บันทึกผล

คำถามท้ายการทดลอง

- สมการเคมีของปฏิกิริยาระหว่าง NaHCO_3 และ HCl เป็นอย่างไร
- จำนวนโมลของแก๊สที่เกิดขึ้นในลูกโป่งแต่ละหมายเลขเท่ากันหรือไม่ ทราบได้อย่างไร
- ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊สเป็นอย่างไร

จากกิจกรรม 7.4 จะเห็นว่า จำนวนโมลกับปริมาตรของแก๊สมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้มีการศึกษาไว้แล้วโดย อมาเดโอ อาโวกาโดร (Amaedeo Avogadro) ซึ่งต่อมาได้ตั้งเป็นกฎเรียกว่า **กฎของอาโวกาโดร** (Avogadro's law) ซึ่งกล่าวว่า เมื่อความดันและอุณหภูมิของแก๊สคงที่ ปริมาตร (V) จะแปรผันตรงกับจำนวนโมล (n) ซึ่งเขียนแทนด้วยสมการคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} V &\propto n \\ V &= \text{ค่าคงที่} \times n \\ \frac{V}{n} &= \text{ค่าคงที่} \end{aligned}$$

ความสัมพันธ์ตามกฎของอาโวกาโดร อาจเขียนอยู่ในรูปที่สามารถใช้คำนวณหาปริมาตร หรือจำนวนโมลของแก๊สที่สองสถานะได้ดังนี้

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$$

เมื่อ V_1 และ V_2 คือ ปริมาตรของแก๊สที่มีจำนวนโมล n_1 และ n_2 ตามลำดับ ที่ความดันและอุณหภูมิคงที่



ตัวอย่าง 9

เมื่อบรรจุแก๊สฮีเลียม 2.0 โมล ในลูกโป่งจะทำให้ลูกโป่งมีปริมาตร 50 ลิตร ถ้าบรรจุแก๊สฮีเลียมลงไปลูกโป่งเรื่อย ๆ จนมีปริมาตร 150 ลิตร โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดัน ลูกโป่งนี้จะมีแก๊สฮีเลียมบรรจุอยู่กี่โมล

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \frac{V_1}{n_1} &= \frac{V_2}{n_2} \\ \text{แทนค่าจะได้} \quad \frac{50 \text{ L}}{2.0 \text{ mol}} &= \frac{150 \text{ L}}{n_2} \\ n_2 &= \frac{(150 \cancel{\text{L}})(2.0 \text{ mol})}{50 \cancel{\text{L}}} \\ &= 6.0 \text{ mol} \end{aligned}$$

ดังนั้น ลูกโป่งนี้จะมีแก๊สฮีเลียมบรรจุอยู่ 6.0 โมล



ตัวอย่าง 10

ห้วงยางปริมาตร 5.0 ลิตร มีแก๊สไนโตรเจน (N_2) บรรจุอยู่ 0.35 โมล เมื่อเติมแก๊สไนโตรเจนจนมีจำนวน 0.70 โมล ปริมาตรของแก๊สในห้วงยางเป็นเท่าใด

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad \frac{V_1}{n_1} &= \frac{V_2}{n_2} \\ \text{แทนค่าจะได้} \quad \frac{5.0 \text{ L}}{0.35 \text{ mol}} &= \frac{V_2}{0.70 \text{ mol}} \\ V_2 &= \frac{(5.0 \text{ L})(0.70 \cancel{\text{mol}})}{0.35 \cancel{\text{mol}}} \\ &= 10 \text{ L} \end{aligned}$$

ดังนั้น ห้วงยางมีปริมาตร 10 ลิตร



ตรวจสอบความเข้าใจ

เมื่อบรรจุแก๊สอาร์กอนจำนวน 2.0 โมลในกระบอกสูบที่มีก้านกระบอกสูบเคลื่อนที่ได้ จะมีปริมาตร 3.0 ลิตร ถ้าเติมแก๊สอาร์กอนเพิ่มไปอีก 1.0 โมล ปริมาตรของแก๊สในกระบอกสูบจะเป็นกี่ลิตร กำหนดให้อุณหภูมิและความดันของแก๊สไม่เปลี่ยนแปลง



แบบฝึกหัด 7.1

- แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในกระบอกสูบขนาด 1.5 ลิตร จะต้องเลื่อนก้านกระบอกสูบให้มีปริมาตรเป็นเท่าใด จึงจะทำให้แก๊สชนิดนี้มีความดันเพิ่มขึ้นเป็น 1.5 เท่า
- ปั๊มแก๊ส NGV มีแก๊สบรรจุอยู่ในถังขนาด 1.00×10^4 ลิตร ที่ความดัน 300 บาร์ จะสามารถเติมแก๊สให้กับรถยนต์ที่มีถังแก๊สขนาด 70.0 ลิตร ให้มีความดันเป็น 150 บาร์ ได้จำนวนกี่คัน โดยความดันสุดท้ายของแก๊สในถังที่ปั๊มแก๊สต้องไม่น้อยกว่าความดันในถังแก๊สของรถยนต์
- ขวดน้ำพลาสติกบรรจุน้ำร้อนครั้งหนึ่งแล้วปิดฝาให้สนิท เมื่อวางไว้จนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องพบว่า ขวดมีลักษณะบิดเบี้ยว นักเรียนคิดว่าเป็นเพราะเหตุใด
- แก๊สชนิดหนึ่งมีปริมาตร 22.4 ลิตร ที่ STP แก๊สนี้จะมีปริมาตรเท่าใดที่ 25 องศาเซลเซียส ถ้ากำหนดให้ความดันของแก๊สคงที่
- ภาชนะปิดปริมาตรคงที่ขนาด 20.00 ลิตร สามารถทนแรงดันได้สูงสุดเท่ากับ 1.52×10^4 มิลลิเมตรปรอท ถ้านำภาชนะนี้มาบรรจุแก๊สที่มีความดัน 10.00 บรรยากาศ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภาชนะนี้จะทนอุณหภูมิได้สูงสุดเท่าใดในหน่วยองศาเซลเซียส
- พิจารณาข้อมูลจากการทดลองวัดความดัน และอุณหภูมิของแก๊สชนิดหนึ่งที่บรรจุในกระบอกสูบซึ่งคงปริมาตรไว้ที่ 22.4 ลิตร ได้ผลการทดลองดังนี้

การทดลองที่	ความดัน (mmHg)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)
1	760	25
2	806	43
3	707	4

- 6.1 การทดลองนี้สอดคล้องกับกฎใด เพราะเหตุใด
- 6.2 ถ้าทำให้ก้านกระบอกสูบเคลื่อนที่จนแก๊สนี้มีความดัน 1.50 บรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แก๊สนี้จะมีปริมาตรเป็นเท่าใด
- 6.3 ถ้าตัดก้านกระบอกสูบให้มีปริมาตรลดลงครึ่งหนึ่งของปริมาตรเริ่มต้น ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส แก๊สนี้จะมีความดันเท่าใด
7. เรือเหาะลำหนึ่งจะลอยขึ้นสู่อากาศได้เมื่อมีแก๊สฮีเลียมบรรจุอยู่ 5500 ลิตร ถ้าแก๊สฮีเลียม 110 โมล มีปริมาตร 2620 ลิตร จะต้องเติมฮีเลียมอีกกี่โมลเพื่อให้เรือเหาะนี้ลอยได้ ถ้าอุณหภูมิและความดันขณะเติมคงที่

7.2 กฎแก๊สอุดมคติ และความดันย่อย

7.2.1 กฎแก๊สอุดมคติ

แก๊สที่มีสมบัติเป็นไปตามกฎรวมแก๊สและกฎของอาโวกาโดร สามารถพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร (V) ความดัน (P) อุณหภูมิ (T) ในหน่วยเคลวิน และจำนวนโมล (n) ของแก๊ส ได้ดังนี้

จากกฎรวมแก๊ส $V \propto \frac{T}{P}$ เมื่อ n คงที่

จากกฎของอาโวกาโดร $V \propto n$ เมื่อ T และ P คงที่

ดังนั้น

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

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

กำหนดให้ R เป็นค่าคงที่ของแก๊ส² ดังนั้น

$$V = R \times \frac{nT}{P}$$

โดยทั่วไปเขียนในรูปของสมการ ดังนี้

$$PV = nRT$$

²ค่าคงที่ของแก๊ส ใช้สัญลักษณ์ R เพื่อเป็นเกียรติให้แก่ อองรี วิกเตอร์ เรโนลต์ (Henri Victor Regnault) นักเคมีชาวฝรั่งเศส

แก๊สใด ๆ ที่มีสมบัติเป็นไปตามสมการข้างต้นจัดเป็น **แก๊สอุดมคติ** (ideal gas) และสมการดังกล่าว เรียกว่า **กฎแก๊สอุดมคติ** (ideal gas law)



ชวนคิด

จากความรู้เรื่องปริมาตรของแก๊สที่ STP จะคำนวณค่าคงที่ของแก๊สได้อย่างไร

ค่าคงที่ของแก๊สที่ใช้ในการคำนวณในบทนี้และบทอื่น ๆ ใช้ค่าเท่ากับ $0.0821 \text{ L}\cdot\text{atm}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ทั้งนี้หากตัวแปรที่เกี่ยวข้องใช้หน่วยอื่น ตัวเลขค่าคงที่ของแก๊สจะเปลี่ยนไปขึ้นกับหน่วยที่ใช้ เช่น ในหน่วยเอสไอมีค่า $8.314 \text{ m}^3\cdot\text{Pa}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ หรือ $8.314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$



ตัวอย่าง 11

บรรจุแก๊สออกซิเจน 0.885 กิโลกรัม ไว้ในถังเหล็กกล้าซึ่งมีปริมาตร 438 ลิตร จงคำนวณความดันของแก๊สออกซิเจนในถังนี้ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส

วิธีทำ

$$\text{จาก} \quad PV = nRT$$

$$P = \frac{nRT}{V}$$

แทนค่าจะได้

$$P = \frac{\left(0.885 \text{ kg} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ mol}}{32.00 \text{ g}}\right) \left(0.0821 \frac{\text{L}\cdot\text{atm}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\right) (21 + 273 \text{ K})}{438 \text{ L}}$$

$$= 1.52 \text{ atm}$$

ดังนั้น แก๊สออกซิเจนมีความดัน 1.52 บรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส



ตัวอย่าง 12

ถังแก๊สมีเทนปริมาตร 3.20×10^5 ลิตร บรรจุแก๊สที่ความดัน 150 บรรยากาศ อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ในถังแก๊สนี้มีแก๊สมีเทนอยู่กี่กิโลกรัม

วิธีทำ

จาก

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{PV}{RT}$$

แทนค่าจะได้

$$n = \frac{(150 \text{ atm})(3.20 \times 10^5 \text{ L})}{(0.0821 \text{ L}\cdot\text{atm}/\text{mol}\cdot\text{K})(45 + 273 \text{ K})}$$

$$= 1.84 \times 10^6 \text{ mol}$$

หามวล (m) ของ CH_4 ได้ดังนี้

$$m = 1.84 \times 10^6 \text{ mol} \times \frac{16.05 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$= 2.95 \times 10^4 \text{ kg}$$

ดังนั้น ในถังแก๊สนี้มีแก๊สมีเทนอยู่ 2.95×10^4 กิโลกรัม



ตัวอย่าง 13

แก๊สออกซิเจน 1.0 โมล ที่อุณหภูมิ 62 องศาเซลเซียส ความดัน 3.45 บรรยากาศ มีความหนาแน่นเท่าใด

วิธีทำ

จาก

$$PV = nRT$$

$$V = \frac{nRT}{P}$$

แทนค่าจะได้

$$V = \frac{(1.0 \text{ mol})(0.0821 \text{ L}\cdot\text{atm}/\text{mol}\cdot\text{K})(62 + 273 \text{ K})}{3.45 \text{ atm}}$$

$$= 8.0 \text{ L}$$

หาความหนาแน่น (d) ของแก๊ส O_2 ได้ดังนี้

$$d = \frac{32.00 \text{ g}}{8.0 \text{ L}}$$

$$= 4.0 \text{ g/L}$$

ดังนั้น แก๊สออกซิเจนมีความหนาแน่น 4.0 กรัมต่อลิตร



ตัวอย่าง 14

แก๊สชนิดหนึ่งมีมวล 1.50 กรัม บรรจุอยู่ในภาชนะ 0.250 ลิตร ที่ความดัน 1.61 บรรยากาศ อุณหภูมิ 300 เคลวิน แก๊สชนิดนี้มีมวลต่อโมลเท่าใด

วิธีทำ

จาก

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{PV}{RT}$$

แทนค่าจะได้

$$n = \frac{(1.61 \text{ atm})(0.250 \text{ L})}{(0.0821 \text{ L}\cdot\text{atm}/\text{mol}\cdot\text{K})(300 \text{ K})}$$

$$= 0.0163 \text{ mol}$$

หามวลต่อโมลของแก๊สได้ดังนี้

$$\text{มวลต่อโมล} = \frac{1.50 \text{ g}}{0.0163 \text{ mol}}$$

$$= 92.0 \text{ g/mol}$$

ดังนั้น มวลต่อโมลของแก๊สชนิดนี้เท่ากับ 92.0 กรัมต่อโมล



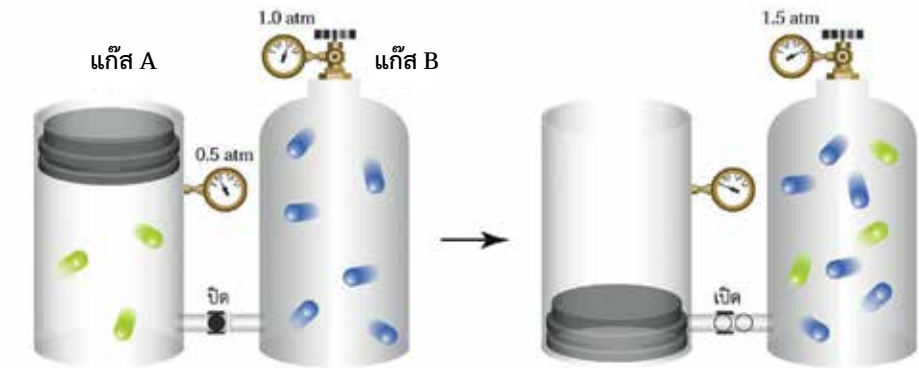
ตรวจสอบความเข้าใจ

1. การเติมแก๊สไนโตรเจนในยางรถยนต์ที่มีความจุ 12 ลิตร ให้มีความดัน 29.4 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ต้องใช้แก๊สไนโตรเจนกี่กรัม
2. ยางรถยนต์เส้นหนึ่งมีปริมาตร 10 ลิตร อากาศจมน้ำมีความดัน 32 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งพบว่า ความดันลดลงเหลือ 28 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิเดียวกัน จำนวนโมลของอากาศที่รั่วออกจากยางรถยนต์เป็นเท่าใด เมื่อกำหนดให้ยางรถยนต์มีปริมาตรคงที่
3. ภาชนะใบหนึ่งมีขนาด 5.0 ลิตร บรรจุแก๊สชนิดหนึ่งได้ 3.25 กรัม ที่ความดัน 1.0 บรรยากาศ อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส มวลต่อโมลของแก๊สชนิดนี้เป็นเท่าใด

7.2.2 ความดันย่อยของแก๊ส

ในธรรมชาติแก๊สส่วนใหญ่อยู่รวมกันเป็นแก๊สผสม เช่น อากาศ ประกอบด้วยแก๊สไนโตรเจนและแก๊สออกซิเจนเป็นหลัก นักเรียนคิดว่า ความดันของแก๊สไนโตรเจนและแก๊สออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศเท่ากับความดันบรรยากาศหรือไม่ อย่างไร

จอห์น ดอลตัน ได้ศึกษาความสัมพันธ์เกี่ยวกับความดันของแก๊สแต่ละชนิดในแก๊สผสม โดยทดลองเติมไอน้ำเข้าไปในอากาศแห้งในภาชนะปิดที่มีปริมาตรคงที่ พบว่า ความดันภายในภาชนะเท่ากับผลรวมของความดันของอากาศและความดันของไอน้ำที่เติมเข้าไป จึงได้สรุปว่า ความดันของแก๊สผสมที่ไม่ทำปฏิกิริยากันมีค่าเท่ากับผลรวมของความดันของแก๊สแต่ละชนิดที่เป็นองค์ประกอบ ซึ่งเรียกความสัมพันธ์นี้ว่า กฎความดันย่อยของดอลตัน (Dalton's law of partial pressures) แสดงได้ดังรูป 7.6



รูป 7.6 ความดันของแก๊สผสมที่เป็นไปตามกฎความดันย่อยของดอลตัน

ความสัมพันธ์ระหว่างความดันรวมของแก๊สผสม (P_{total}) และความดันของแก๊สแต่ละชนิด ซึ่งเรียกว่าความดันย่อย ($P_1, P_2, \dots, P_i$) ตามกฎความดันย่อยของดอลตัน เขียนสมการได้ดังนี้

$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2 + \dots + P_i$$

จากความสัมพันธ์ตามกฎแก๊สอุดมคติ จะได้ความดันรวมของแก๊สผสมกับจำนวนโมลของแก๊สดังสมการ

$$\begin{aligned} P_{\text{total}} &= \frac{n_1 RT}{V} + \frac{n_2 RT}{V} + \dots + \frac{n_i RT}{V} \\ &= \frac{(n_1 + n_2 + \dots + n_i) RT}{V} \\ &= \frac{n_{\text{total}} RT}{V} \end{aligned}$$

แสดงว่า เมื่ออุณหภูมิและปริมาตรคงที่ ความดันของแก๊สผสมจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนโมลของแก๊ส



ตัวอย่าง 15

ถ้าผสมแก๊สฮีเลียม 4.00 กรัม และแก๊สอาร์กอน 7.99 กรัม ในภาชนะขนาด 10.0 ลิตร ที่อุณหภูมิ 25.0 องศาเซลเซียส ความดันของแก๊สผสมเป็นกี่บรรยากาศ

วิธีทำ

คำนวณจำนวนโมลของแก๊สแต่ละชนิด

$$\text{จำนวนโมลของแก๊สฮีเลียม} = 4.00 \text{ g He} \times \frac{1 \text{ mol He}}{4.00 \text{ g He}} = 1.00 \text{ mol He}$$

$$\text{จำนวนโมลของแก๊สอาร์กอน} = 7.99 \text{ g Ar} \times \frac{1 \text{ mol Ar}}{39.95 \text{ g Ar}} = 0.200 \text{ mol Ar}$$

คำนวณความดันของแก๊สผสม

$$\begin{aligned} P_{\text{total}} &= \frac{n_{\text{total}} RT}{V} \\ &= \frac{(n_{\text{He}} + n_{\text{Ar}}) RT}{V} \\ &= \frac{(1.00 + 0.200 \text{ mol})(0.0821 \text{ atm}\cdot\text{mol/K})(25.0 + 273 \text{ K})}{10.0 \text{ L}} \\ &= 2.94 \text{ atm} \end{aligned}$$

ดังนั้น ความดันของแก๊สผสมเท่ากับ 2.94 บรรยากาศ

ในการวัดความดันของแก๊สผสมค่าที่วัดได้เป็นความดันรวม ในขณะที่ความดันของแก๊สแต่ละชนิดไม่สามารถวัดได้โดยตรง แต่สามารถคำนวณได้โดยอาศัยสมการ ดังต่อไปนี้

จาก

$$P_i = \frac{n_i RT}{V}$$

$$P_{\text{total}} = \frac{n_{\text{total}} RT}{V}$$

ได้อัตราส่วนความดันย่อยต่อความดันรวมดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{P_i}{P_{\text{total}}} &= \frac{n_i RT/V}{n_{\text{total}} RT/V} \\ &= \frac{n_i}{n_{\text{total}}} \\ P_i &= \frac{n_i}{n_{\text{total}}} P_{\text{total}} \\ P_i &= X_i P_{\text{total}} \end{aligned}$$

เมื่อ X_i คือ เศษส่วนโมล (mole fraction) ของแก๊สแต่ละชนิด มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 และผลรวมของเศษส่วนโมลของแก๊สทุกชนิดที่เป็นองค์ประกอบมีค่าเท่ากับ 1



ตัวอย่าง 16

ถ้าแก๊สผสมที่ประกอบด้วยแก๊สไฮโดรเจน 2.02 กรัม และแก๊สฮีเลียม 12.00 กรัม ที่อุณหภูมิ 25.0 องศาเซลเซียส มีความดันรวม 8.00 บรรยากาศ ความดันของแก๊สแต่ละชนิดเป็นเท่าใด

วิธีทำ

คำนวณจำนวนโมลของแก๊สแต่ละชนิด

$$\text{จำนวนโมลของแก๊สไฮโดรเจน} = 2.02 \text{ g H}_2 \times \frac{1 \text{ mol H}_2}{2.02 \text{ g H}_2} = 1.00 \text{ mol H}_2$$

$$\text{จำนวนโมลของแก๊สฮีเลียม} = 12.00 \text{ g He} \times \frac{1 \text{ mol He}}{4.00 \text{ g He}} = 3.00 \text{ mol He}$$

คำนวณเศษส่วนโมลของแก๊สแต่ละชนิด

เศษส่วนโมลของ H_2

$$X_{\text{H}_2} = \frac{1.00 \text{ mol H}_2}{1.00 \text{ mol H}_2 + 3.00 \text{ mol He}} = 0.250$$

เศษส่วนโมลของ He

$$X_{\text{He}} = \frac{3.00 \text{ mol He}}{1.00 \text{ mol H}_2 + 3.00 \text{ mol He}} = 0.750$$

หาความดันของแก๊สแต่ละชนิด

ความดันของแก๊สผสมภายในถัง = 8.00 atm

จาก

$$P_i = X_i P_{\text{total}}$$

$$P_{\text{H}_2} = 0.250 \times 8.00 \text{ atm} = 2.00 \text{ atm}$$

$$P_{\text{He}} = 0.750 \times 8.00 \text{ atm} = 6.00 \text{ atm}$$

ดังนั้น แก๊สไฮโดรเจนมีความดันเท่ากับ 2.00 บรรยากาศ และแก๊สฮีเลียมมีความดันเท่ากับ 6.00 บรรยากาศ



ตัวอย่าง 17

แก๊สผสมชนิดหนึ่งประกอบด้วยแก๊ส Y และแก๊ส Z โดยความดันของแก๊ส Y เท่ากับ 0.5 บรรยากาศ และความดันของแก๊ส Z เท่ากับ 1.0 บรรยากาศ ถ้ามีแก๊ส Y อยู่ 3 โมล จะมีแก๊ส Z อยู่กี่โมล

วิธีทำ

จาก

$$P_Y = X_Y P_{\text{total}}$$

$$= \frac{n_Y}{n_Y + n_Z} (P_Y + P_Z)$$

$$\frac{n_Y}{n_Y + n_Z} = \frac{P_Y}{P_Y + P_Z}$$

แทนค่าจะได้

$$\frac{3 \text{ mol}}{3 \text{ mol} + n_Z} = \frac{0.5 \text{ atm}}{0.5 \text{ atm} + 1.0 \text{ atm}}$$

$$n_Z = 6 \text{ mol}$$

ดังนั้น ในแก๊สผสมจะมีแก๊ส Z อยู่ 6 โมล



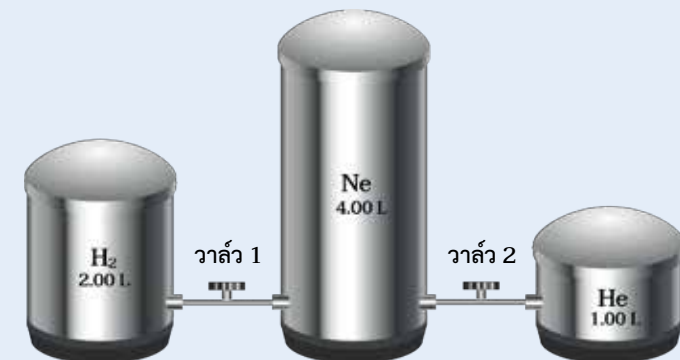
ตรวจสอบความเข้าใจ

1. ถ้าผสมแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 1.00 กรัม แก๊สฮีเลียม (He) 2.60 กรัม และแก๊สอาร์กอน (Ar) 11.19 กรัม ในภาชนะขนาด 10.0 ลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จงคำนวณความดันรวมของแก๊สผสม
2. ในถังอากาศดำน้ำจะอัดอากาศผสมที่เรียกว่า Enriched Air Nitrox (EANx) ซึ่งประกอบด้วยแก๊สออกซิเจนและแก๊สไนโตรเจนจนมีความดัน 200 บรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ถ้า Enriched Air Nitrox ถังหนึ่งมีขนาด 11.5 ลิตร และมีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 32 โดยปริมาตร ความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิดมีค่าเท่าใด



แบบฝึกหัด 7.2

1. แก๊สชนิดหนึ่งมีมวลต่อโมลเท่ากับ 48.0 กรัมต่อโมล แก๊สชนิดนี้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 1.0 บรรยากาศ มีความหนาแน่นเท่าใด
2. อากาศที่ระดับน้ำทะเลที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความดัน 1.00 บรรยากาศ มีความหนาแน่นประมาณ 1.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อากาศที่ระดับความสูง 10 กิโลเมตร ซึ่งมีอุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียสและความดัน 0.26 บรรยากาศ มีความหนาแน่นเท่าใด
3. ถังบรรจุแก๊สไฮโดรเจน นีออน และฮีเลียม ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส แสดงดังรูป

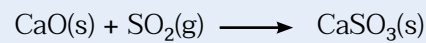


ก่อนเปิดวาล์ว แก๊สไฮโดรเจน แก๊สไนออน และแก๊สฮีเลียมมีปริมาตร 2.00 4.00 และ 1.00 ลิตร ตามลำดับ และมีมวล 2.02 30.39 และ 2.00 กรัม ตามลำดับ

3.1 ความดันของแก๊สแต่ละชนิดก่อนเปิดวาล์วเป็นเท่าใด

3.2 เมื่อเปิดวาล์ว 1 และ 2 ความดันของแก๊สผสมเป็นเท่าใด

4. แก๊สผสมซึ่งประกอบด้วยแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และแก๊สไนโตรเจน (N_2) ในภาชนะขนาด 0.50 ลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีความดันรวม 1.0 บรรยากาศ เมื่อผ่านแก๊สผสมนี้ไปบนผงแคลเซียมออกไซด์อุ่น จะทำให้แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทั้งหมดเกิดปฏิกิริยาดังสมการเคมี



เมื่อถ่ายเทแก๊สไนโตรเจนที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาไปสู่ลูกโป่ง ทำให้ลูกโป่งพองขึ้นจนมีปริมาตร 0.15 ลิตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และมีความดัน 1.2 บรรยากาศ ความดันย่อยของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแก๊สผสมเป็นเท่าใด

7.3 ทฤษฎีจลน์และการแพร่ของแก๊ส

7.3.1 ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส

จากที่นักเรียนได้ศึกษาและทราบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊สมาแล้ว ความสัมพันธ์เหล่านี้สามารถอธิบายได้โดยใช้ **ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส** (kinetic theory of gases) ซึ่งกล่าวไว้ดังนี้

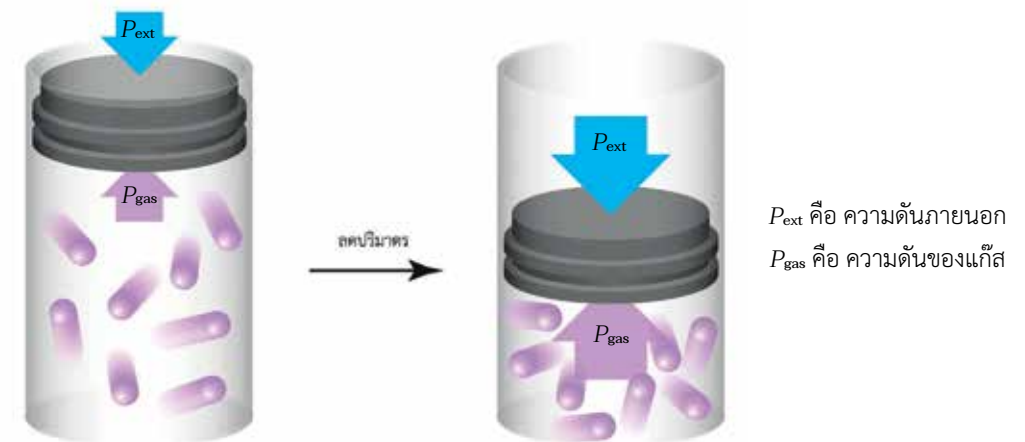
1. แก๊สประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กจำนวนมาก โดยปริมาตรของอนุภาคเหล่านั้นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาตรของภาชนะที่บรรจุ
2. อนุภาคแก๊สอยู่ห่างกันมาก และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคน้อยมากจนถือว่าไม่มีแรงกระทำต่อกัน
3. แก๊สแต่ละอนุภาคเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในทิศทางที่ไม่แน่นอนด้วยอัตราเร็วคงที่ที่แตกต่างกัน จึงมีพลังงานจลน์ไม่เท่ากัน เมื่อเกิดการชนกันจะมีการถ่ายเทพลังงานให้แก่กันโดยไม่มีการสูญเสียพลังงานจลน์รวม ทำให้พลังงานจลน์เฉลี่ยมีค่าคงที่
4. พลังงานจลน์เฉลี่ยของแก๊สขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเท่านั้น โดยไม่ขึ้นกับชนิดของแก๊ส ที่อุณหภูมิเดียวกัน แก๊สทุกชนิดมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากัน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้อนุภาคแก๊สเคลื่อนที่เร็วขึ้น จึงทำให้พลังงานจลน์เฉลี่ยของแก๊สเพิ่มขึ้น

แก๊สอุดมคติมีพฤติกรรมเป็นไปตามทฤษฎีจลน์ของแก๊สทุกประการ สำหรับแก๊สทั่วไปมีพฤติกรรมใกล้เคียงกับแก๊สอุดมคติเมื่อมีอุณหภูมิสูงและความดันต่ำ

ทฤษฎีจลน์ของแก๊สอธิบายกฎต่าง ๆ ของแก๊สได้อย่างไร

กฎของบอยล์ ($V \propto \frac{1}{P}$)

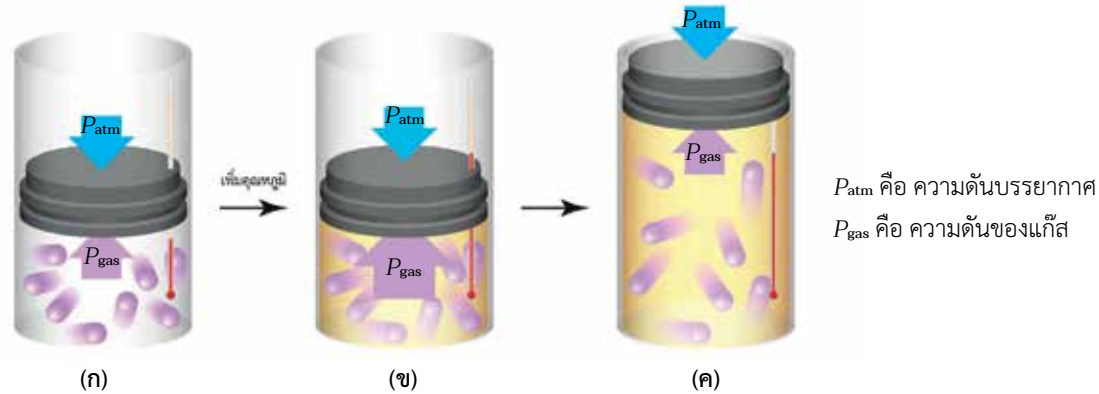
อนุภาคแก๊สมีขนาดเล็กมากและมีระยะห่างระหว่างอนุภาคมาก เมื่อลดปริมาตรภาชนะ เช่น การกดก้านกระบอกฉีดยา ในกิจกรรม 7.1 ทำให้ระยะห่างระหว่างอนุภาคแก๊สกับผนังภาชนะลดลง ความถี่ที่อนุภาคแก๊สชนกับผนังภาชนะจึงมากขึ้น ทำให้ความดันของแก๊สเพิ่มขึ้น ดังรูป 7.7 ในทางตรงกันข้าม การเพิ่มปริมาตรของภาชนะซึ่งทำให้ความดันของแก๊สลดลงสามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกัน



รูป 7.7 ความดันของแก๊สเมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาตร

กฎของเกย์-ลูสแซก ($P \propto T$) และ**กฎของชาร์ล** ($V \propto T$)

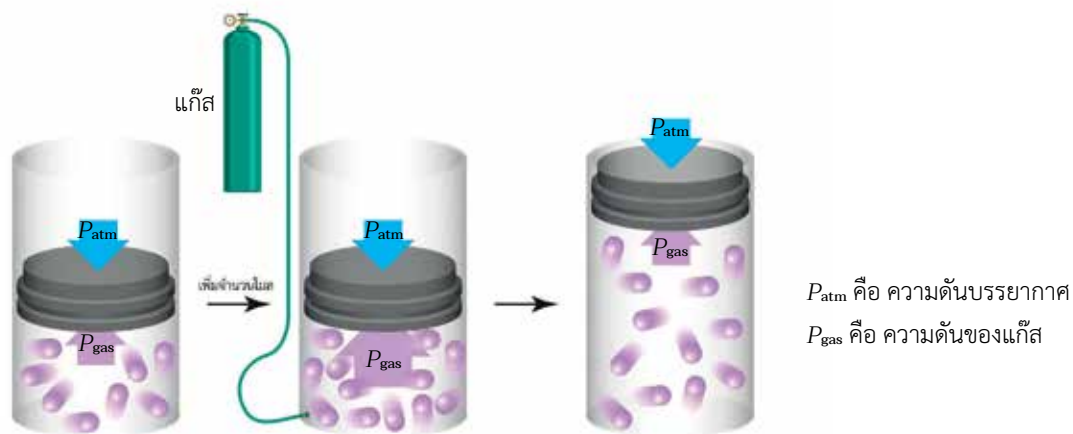
เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อนุภาคแก๊สเคลื่อนที่เร็วขึ้นและมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเพิ่มขึ้น ดังนั้นความถี่ที่อนุภาคแก๊สชนกับผนังภาชนะจึงมากขึ้น ทำให้ความดันของแก๊สเพิ่มขึ้น (กฎของเกย์-ลูสแซก) ดังรูป 7.8 (ข) แต่หากผนังภาชนะมีความยืดหยุ่น ความดันที่เกิดขึ้นจะทำให้ปริมาตรของภาชนะเพิ่มขึ้น เพื่อให้ความดันของแก๊สเท่ากับความดันเริ่มต้น (กฎของชาร์ล) ดังรูป 7.8 (ค)



รูป 7.8 ความดันและปริมาตรของแก๊สเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

กฎของอาวอกาโดร ($V \propto n$)

เมื่อจำนวนอนุภาคแก๊สในภาชนะเพิ่มขึ้น ความถี่ที่อนุภาคแก๊สชนกับผนังภาชนะจะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความดันของแก๊สเพิ่มขึ้น หากผนังภาชนะมีความยืดหยุ่น ความดันที่เกิดขึ้นจะทำให้ปริมาตรของภาชนะเพิ่มขึ้น เพื่อให้ความดันของแก๊สเท่ากับความดันเริ่มต้น ดังรูป 7.9



รูป 7.9 ความดันและปริมาตรของแก๊สเมื่อเปลี่ยนแปลงจำนวนโมล

7.3.2 การแพร่ของแก๊ส

การส่งกลิ่นหอมของดอกไม้หรือน้ำหอมเกิดจากสารมีกลิ่นที่อยู่ในสถานะแก๊สเคลื่อนที่หรือแพร่ออกมา ซึ่งการแพร่ของแก๊สจากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่งเกิดขึ้นได้เนื่องจากโมเลกุลของแก๊สมีพลังงานจลน์และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในทุกทิศทางตามทฤษฎีจลน์ของแก๊ส

แก๊สแต่ละชนิดแพร่ด้วยอัตราเร็วแตกต่างกันหรือไม่ ศึกษาได้จากการทดลองต่อไปนี้



กิจกรรม 7.5 การทดลองการแพร่ของแก๊สแอมโมเนียและแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์

จุดประสงค์การทดลอง

1. ทดลองเพื่อศึกษาการแพร่ของแก๊สแอมโมเนียกับแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์
2. เปรียบเทียบอัตราการแพร่ของแก๊สแอมโมเนียกับแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์
3. บอกความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ของแก๊สกับมวลต่อโมลของแก๊ส

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

1. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl)
2. สารละลายแอมโมเนียเข้มข้น (NH₃)
3. หลอดแก้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 cm ยาวประมาณ 30 cm
4. สำลีสที่พันกับไม้ที่เสียบอยู่กับจุกยางเบอร์ 1
5. ปีกเกอร์ขนาด 50 mL
6. กระดาษนาฬิกา
7. หลอดหยด
8. ที่ยึดหลอดแก้วหรือขาตั้งพร้อมที่จับ

วิธีทดลอง

1. นำหลอดแก้วที่แห้งและสะอาด ติดกับขาตั้งให้อยู่ในแนวระดับ
2. ชุบสำลีสที่พันกับไม้ที่เสียบอยู่กับจุกยางเบอร์ 1 จำนวน 2 อัน อันหนึ่งชุบ NH₃ และอีกอันหนึ่งชุบ HCl
3. นำสำลีสที่พันกับไม้ที่เสียบอยู่กับจุกยางเบอร์ 1 ที่เตรียมไว้จากข้อ 2 สอดเข้าไปในปลายหลอดแก้วด้านละอัน โดยสอดให้พร้อมกันทั้งสองด้าน ดังรูป



การจัดอุปกรณ์สำหรับการทดลองการแพร่ของแก๊ส

- สังเกตและทำเครื่องหมายตรงตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น
- วัดระยะทางจากปลายลำลีทั้งสองถึงตำแหน่งที่สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลง

คำถามท้ายการทดลอง

- เขียนสมการเคมีอธิบายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในหลอดแก้ว
- แก๊สใดแพร่ได้เร็วกว่า และมีความสัมพันธ์กับมวลต่อโมลของแก๊สอย่างไร

จากการทดลองจะเห็นว่า แก๊สที่มีมวลต่อโมลต่างกันจะมีอัตราเร็วในการแพร่แตกต่างกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาจากทฤษฎีจลน์ของแก๊สที่กล่าวว่า ที่อุณหภูมิเดียวกัน แก๊สทุกชนิดมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากัน และจากความสัมพันธ์ของพลังงานจลน์ (E_k) กับมวล (m) และอัตราเร็ว (v) ตามสมการ $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ จะเห็นว่า อนุภาคแก๊สที่มีมวลมาก จะมีอัตราเร็วในการแพร่น้อย

ทอมัส เกรแฮม (Thomas Graham) นักเคมีชาวสก็อตแลนด์ ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่และมวลต่อโมลของแก๊ส โดยให้แก๊สแพร่ผ่าน (effusion) รูเล็ก ๆ ไปยังบริเวณที่เป็นสุญญากาศ ซึ่งการทดลองโดยอาศัยการแพร่ผ่านนี้ ทำให้โมเลกุลแก๊สเคลื่อนที่ผ่านรูเล็ก ๆ โดยไม่เกิดการชนกันกับโมเลกุลข้างเคียงและการวัดอัตราการแพร่ผ่านสามารถทำได้แม่นยำกว่าการศึกษาการแพร่ซึ่งโมเลกุลแก๊สมีการชนกัน

จากการทดลอง เกรแฮม พบว่า ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน จำนวนโมเลกุลของแก๊สที่แพร่ผ่านต่อหนึ่งหน่วยเวลาหรืออัตราการแพร่ผ่านของแก๊ส (r) แปรผกผันกับรากที่สองของมวลต่อโมล (M) เรียกว่า กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม (Graham's law of effusion) ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$r \propto \frac{1}{\sqrt{M}}$$

ในกรณีที่ต้องการเปรียบเทียบอัตราการแพร่ผ่านของแก๊ส 2 ชนิด ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

ถึงแม้ว่า สมการดังกล่าวจะได้จากการศึกษาการแพร่ผ่านซึ่งอัตราการแพร่ผ่านมักมีหน่วยเป็นจำนวนอนุภาคที่แพร่ผ่านตำแหน่งที่กำหนดต่อเวลา แต่ก็สามารถใช้ในการประมาณอัตราการแพร่ของแก๊สโดยทั่วไปซึ่งมักวัดในหน่วยระยะทางต่อเวลาได้



ตัวอย่าง 18

แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ทำปฏิกิริยากับไอน้ำให้กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ถ้าปล่อยแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไอน้ำจากปลายแต่ละด้านของหลอดแก้วยาว 30 เซนติเมตร บริเวณที่แก๊สทั้งสองทำปฏิกิริยากันห่างจากปลายด้านที่ปล่อยไอน้ำกี่เซนติเมตร

วิธีทำ

คำนวณมวลต่อโมลของแก๊สแต่ละชนิด

$$\text{มวลต่อโมลของ } \text{H}_2\text{O} = (2 \times 1.01) + (1 \times 16.00) = 18.02 \text{ g/mol}$$

$$\text{มวลต่อโมลของ } \text{SO}_2 = (1 \times 32.06) + (2 \times 16.00) = 64.06 \text{ g/mol}$$

คำนวณบริเวณที่แก๊สทำปฏิกิริยากัน

$$\text{กำหนดให้ } \text{ระยะห่างจากปลายหลอดแก้วด้าน } \text{H}_2\text{O} = x \text{ cm}$$

$$\text{ระยะห่างจากปลายหลอดแก้วด้าน } \text{SO}_2 = 30 - x \text{ cm}$$

$$\text{จาก } \frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

$$\frac{r_{\text{H}_2\text{O}}}{r_{\text{SO}_2}} = \sqrt{\frac{M_{\text{SO}_2}}{M_{\text{H}_2\text{O}}}}$$

เนื่องจากใช้เวลาในการแพร่เท่ากัน ดังนั้น

$$\frac{r_{\text{H}_2\text{O}}}{r_{\text{SO}_3}} = \frac{x \text{ cm}}{(30 - x) \text{ cm}} = \sqrt{\frac{M_{\text{SO}_3}}{M_{\text{H}_2\text{O}}}}$$

แทนค่าจะได้

$$\begin{aligned} \frac{x \text{ cm}}{(30 - x) \text{ cm}} &= \sqrt{\frac{80.06 \text{ g/mol}}{18.02 \text{ g/mol}}} \\ \frac{x \text{ cm}}{(30 - x) \text{ cm}} &= 2.108 \\ x &= 63 - 2.108 x \text{ cm} \\ x &= 20 \text{ cm} \end{aligned}$$

ดังนั้นบริเวณที่แก๊สทั้งสองทำปฏิกิริยากันอยู่ห่างจากปลายหลอดแก้วด้านที่ปล่อยไอน้ำ 20 เซนติเมตร

สำหรับแก๊ส 2 ชนิดที่มีความหนาแน่น d_1 และ d_2 สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่และความหนาแน่นได้ โดยพิจารณาจากสมการกฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม ดังนี้

จาก
$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง M กับ d พิจารณาได้จากกฎแก๊สอุดมคติ ดังนี้

จาก
$$PV = nRT$$

และ
$$n = \frac{m}{M}$$

เมื่อ m คือ มวลของแก๊ส และ M คือ มวลต่อโมลของแก๊ส
แทนค่าจะได้

$$\begin{aligned} PV &= \frac{m}{M} RT \\ M &= \frac{mRT}{PV} \end{aligned}$$

และเนื่องจาก
$$\frac{m}{V} = d$$

เมื่อ d คือ ความหนาแน่นของแก๊ส
ดังนั้น

$$M = \frac{dRT}{P}$$

แทนค่า M ในรูปของ d ในสมการกฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม จะได้

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{d_2 RT_2 / P_2}{d_1 RT_1 / P_1}}$$

ที่ความดันและอุณหภูมิเดียวกัน จะได้อัตราส่วนของอัตราการแพร่และความหนาแน่นเป็นดังนี้

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}}$$

ดังนั้น การเปรียบเทียบอัตราการแพร่อาจใช้มวลต่อโมลหรือความหนาแน่นของแก๊สก็ได้



ตัวอย่าง 19

ถ้าแก๊ส A มีความหนาแน่นเป็น 2 เท่าของแก๊ส B จงคำนวณอัตราส่วนของอัตราการแพร่ของแก๊ส A ต่อแก๊ส B ที่สภาวะเดียวกัน

วิธีทำ

จากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่กับความหนาแน่นของแก๊สที่สภาวะเดียวกัน

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}}$$

ความหนาแน่นของแก๊ส A เป็น 2 เท่าของความหนาแน่นของแก๊ส B นั่นคือ $d_A = 2d_B$
แทนค่าจะได้

$$\begin{aligned} \frac{r_A}{r_B} &= \sqrt{\frac{d_B}{2d_B}} \\ &= 0.7 \end{aligned}$$

ดังนั้น อัตราส่วนของอัตราการแพร่ของแก๊ส A ต่อแก๊ส B ที่สภาวะเดียวกันเท่ากับ 0.7



แบบฝึกหัด 7.3

1. ทริเทียม (T) เป็นไอโซโทปหนึ่งของไฮโดรเจน อัตราการแพร่ของแก๊สไฮโดรเจน (H_2) เป็นที่เท่าของแก๊สทริเทียม (T_2) กำหนดให้ มวลต่อโมลของทริเทียมเท่ากับ 3.02 กรัมต่อโมล
2. การแยกแก๊สผสมระหว่างแก๊สฮีเลียมและแก๊สไนออน โดยการผ่านแก๊สผสมเข้าไปในท่อยาว 50 เซนติเมตร
 - 2.1 แก๊สชนิดใดจะผ่านท่อออกมาก่อน
 - 2.2 ถ้าแก๊สฮีเลียมผ่านท่อออกมาโดยใช้เวลา 15.00 วินาที แก๊สไนออนจะผ่านท่อออกมาโดยใช้เวลาเท่าใด
3. เตตระฟลูออโรเอทิลีน (C_2F_4) แพร่ผ่านแผ่นรูพรุนชนิดหนึ่งด้วยอัตรา 2.3×10^{-6} โมลต่อชั่วโมง ส่วนแก๊สตัวอย่างอีกชนิดหนึ่งประกอบด้วยโบรอน (B) กับไฮโดรเจน (H) มีอัตราการแพร่ผ่าน 4.37×10^{-6} โมลต่อชั่วโมง ภายใต้ภาวะเดียวกัน จงคำนวณมวลต่อโมลและเขียนสูตรโมเลกุลที่เป็นไปได้ของแก๊สตัวอย่าง
4. แก๊สชนิดหนึ่งแพร่ผ่านภาชนะออกมาจนหมดภายในเวลา 6.8 นาที ในขณะที่แก๊สไนโตรเจนที่อยู่ในสภาวะเดียวกันแพร่ผ่านโดยใช้เวลา 8.5 นาที จงหาความหนาแน่นของแก๊สชนิดนี้ที่ STP

7.4 การประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับแก๊สและสมบัติของแก๊ส

ความรู้เกี่ยวกับแก๊สและสมบัติของแก๊ส สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์หรือนำมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันหรือในอุตสาหกรรมได้ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับแก๊ส มีดังนี้

ขนาดเล็บบนฝ้ายกาแฟ

ขนาดเล็บบนฝ้ายกาแฟ ในรูป 7.10 ทำให้กาแฟไหลออกจากช่องสำหรับดื่มได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากทำให้อากาศสามารถเข้าไปแทนที่กาแฟได้ หากไม่มีรูบนฝา เมื่อกาแฟไหลออกจากช่องสำหรับดื่ม อากาศภายนอกไม่สามารถเข้ามาแทนที่ได้ จึงทำให้ความดันภายในถ้วยลดลง เมื่อความดันภายในถ้วยลดลงจนเท่ากับหรือน้อยกว่าความดันภายในปาก กาแฟจะหยุดไหล



รูป 7.10 รูขนาดเล็กบนฝ้ายกาแฟ

ป๊อปคอร์นจากเมล็ดข้าวโพด

เมื่อให้ความร้อนกับเมล็ดข้าวโพด น้ำในเมล็ดข้าวโพดจะกลายเป็นไอ ทำให้จำนวนโมเลกุลของแก๊สภายในช่องว่างของเมล็ดข้าวโพดเพิ่มขึ้น รวมทั้งความร้อนทำให้โมเลกุลของแก๊สมีพลังงานจลน์มากขึ้น ส่งผลให้ความดันเพิ่มขึ้นจนเปลือกเมล็ดข้าวโพดระเบิดออก นอกจากนี้ความร้อนยังอบแห้งที่อยู่ภายในเมล็ดข้าวโพดเกิดเป็นปุยสีขาวออกมา



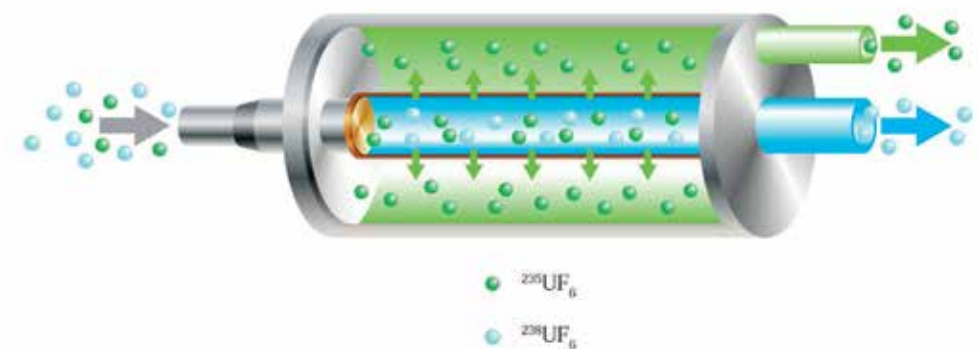
กระบวนการเช่นเดียวกันนี้เกิดขึ้นกับการคั่วเมล็ดข้าวเปลือกเพื่อทำเป็นข้าวตอก

รูป 7.11 ป๊อปคอร์นจากเมล็ดข้าวโพด

การแยกไอโซโทปยูเรเนียม

ยูเรเนียม-235 (^{235}U) เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ ไอโซโทปหลักของยูเรเนียมที่พบในธรรมชาติคือ ^{238}U ซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 99 ส่วน ^{235}U มีอยู่เพียงร้อยละ 0.720

การใช้หลักการแพร่ผ่านเพื่อแยก ^{235}U ออกจาก ^{238}U ทำได้โดยเปลี่ยนยูเรเนียมให้เป็นสารประกอบยูเรเนียมเฮกซะฟลูออไรด์ซึ่งอยู่ในสถานะแก๊ส สารประกอบที่เกิดขึ้นมีทั้ง $^{235}UF_6$ และ $^{238}UF_6$ ปนอยู่ด้วยกัน เมื่อให้แก๊สทั้งสองชนิดเคลื่อนที่ผ่านแผ่นกั้นที่มีรูพรุนซึ่งอยู่ในถังขนาดใหญ่ $^{235}UF_6$ มีอัตราการเคลื่อนที่มากกว่า $^{238}UF_6$ เล็กน้อย เนื่องจากมีมวลต่อโมลน้อยกว่า ดังนั้นอีกด้านหนึ่งของแผ่นกั้นจึงมีอัตราส่วนของ $^{235}UF_6 : ^{238}UF_6$ มากกว่าในตอนเริ่มต้น การแยกไอโซโทปทั้งสองออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์ต้องทำกระบวนการเช่นนี้ซ้ำนับพันครั้ง



รูป 7.12 การแยกไอโซโทปยูเรเนียม



กิจกรรม 7.6 สืบค้นข้อมูลการใช้ประโยชน์จากความรู้เรื่องแก๊สและสมบัติของแก๊ส

จุดประสงค์ของกิจกรรม

สืบค้นข้อมูลและนำเสนอข้อมูลการใช้ประโยชน์จากความรู้เรื่องแก๊สและสมบัติของแก๊ส

วิธีทำกิจกรรม

1. สืบค้นข้อมูลการใช้ประโยชน์จากความรู้เรื่องแก๊สและสมบัติของแก๊ส
2. นำเสนอข้อมูล และอภิปรายเพื่อแลกเปลี่ยนความรู้ในห้องเรียน



ตรวจสอบความเข้าใจ

จับคู่ความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับกฎของแก๊สให้ถูกต้อง

ความดันภายในยางรถยนต์
หลังวิ่งจะสูงกว่าปกติ

อาการหอบ
เมื่อขึ้นบันไดสูง

บอลบุนตรวจสภาพอากาศ
ขยายตัวเมื่อลอยสูงขึ้น

ถุงขนมพองตัว
เมื่ออยู่บนภูเขา

โคมลอยพองตัว
เมื่อจุดไฟ

ลูกโป่งมีขนาดใหญ่ขึ้น
เมื่อสูบลมเข้าไป

กฎของบอยล์ ($V \propto \frac{1}{P}$)

กฎของชาร์ล ($V \propto T$)

กฎของเกย์-ลูสแซก ($P \propto T$)

กฎของอาโวกาโดร ($V \propto n$)



สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊ส อธิบายได้ด้วยกฎของบอยล์ ($V \propto \frac{1}{P}$ เมื่อ T และ n คงที่) กฎของชาร์ล ($V \propto T$ เมื่อ P และ n คงที่) กฎของเกย์-ลูสแซก ($P \propto T$ เมื่อ V และ n คงที่) และกฎของอาโวกาโดร ($V \propto n$ เมื่อ P และ T คงที่) ความสัมพันธ์เหล่านี้นำไปสู่กฎแก๊สอุดมคติ ($PV = nRT$) และกฎต่าง ๆ ของแก๊สสามารถอธิบายในระดับอนุภาคได้ด้วยทฤษฎีจลน์ของแก๊ส

เมื่อนำแก๊สตั้งแต่ 2 ชนิดที่ไม่ทำปฏิกิริยากันมาผสมกัน ความดันของแก๊สผสมเท่ากับผลรวมของความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิดตามกฎความดันย่อยของดอลตัน โดยความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิดแปรผันตามเศษส่วนโมลของแก๊สที่มีอยู่ในแก๊สผสม

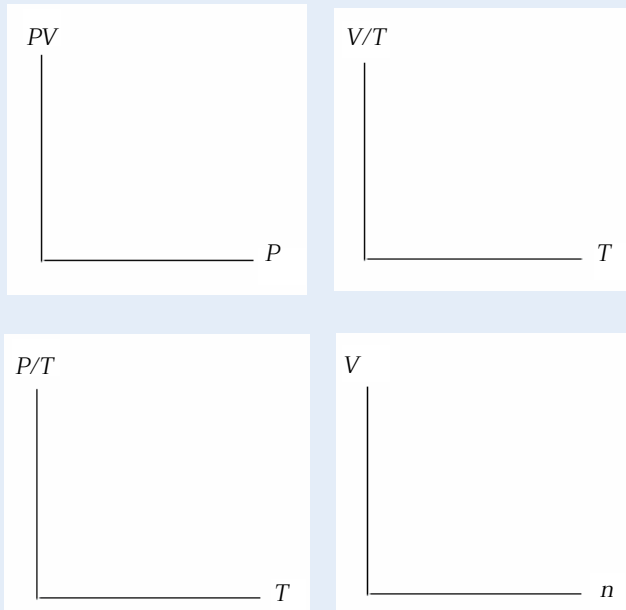
แก๊สสามารถแพร่จากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่งได้ เนื่องจากโมเลกุลของแก๊สมีพลังงานจลน์และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในทุกทิศทาง โดยอัตราการแพร่ของแก๊สแปรผกผันกับรากที่สองของมวลต่อโมลของแก๊ส ตามกฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม

กฎต่าง ๆ ของแก๊สสามารถนำไปใช้อธิบายสมบัติและปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับแก๊ส ตลอดจนประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันและในอุตสาหกรรม



แบบฝึกหัดท้ายบท

- เติมเครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ถูกต้อง และเครื่องหมาย ✗ หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง
 - เมื่อลดความดันของแก๊สลงครึ่งหนึ่ง ปริมาตรจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ที่อุณหภูมิและจำนวนโมลคงที่
 - ผลต่างของอุณหภูมิในหน่วยเคลวินเท่ากับผลต่างของอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียสเสมอ
 - เมื่อนำลูกโป่งที่บุบไปแช่ในตู้เย็น ลูกโป่งจะพองกลับขึ้นมาเหมือนเดิม
 - เมื่อหายใจเข้า ปริมาตรของทรวงอกจะเพิ่มขึ้นเพราะจำนวนโมเลกุลของอากาศภายในปอดเพิ่มขึ้น
 - เมื่อ P เป็นความดันของแก๊สในภาชนะปิดที่มีปริมาตรคงที่ และ x เป็นอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส จะได้ $\frac{P}{(x + 273)}$ เป็นค่าคงที่
- เขียนเส้นกราฟลงในแกนที่กำหนดเพื่อแสดงความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล กฎของเกย์-ลูสแซก และกฎของอาโวกาโดร (P คือ ความดัน V คือ ปริมาตร T คือ อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน และ n คือ จำนวนโมล)



- จากปฏิกิริยา $\text{Mg(s)} + 2\text{HCl(aq)} \longrightarrow \text{MgCl}_2\text{(aq)} + \text{H}_2\text{(g)}$
ถ้าใส่โลหะแมกนีเซียม (Mg) 5.83 กรัม และสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 12 โมลต่อลิตร ปริมาตร 10.0 มิลลิตร ในภาชนะปิดขนาด 5.0 ลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นสมบูรณ์ ความดันรวมภายในภาชนะนี้เป็นเท่าใด กำหนดให้ ของแข็งและของเหลวมีปริมาตรน้อยมากจนไม่รบกวนปริมาตรของแก๊สในภาชนะ และความดันของอากาศภายในภาชนะเริ่มต้นเท่ากับ 1.0 บรรยากาศ
- ภาชนะใบหนึ่งบรรจุอากาศ 1.0 ลิตร ความดัน 1.00 บรรยากาศ เมื่อเติมไฮดรอกไซด์ (Fe(OH)₂) และน้ำ ลงในภาชนะ จะทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจน (O₂) ในอากาศ ดังสมการเคมี

$$2\text{Fe(OH)}_2\text{(s)} + \text{O}_2\text{(g)} + \text{H}_2\text{O(l)} \longrightarrow 2\text{Fe(OH)}_3\text{(s)}$$
 เมื่อตั้งไว้จนแก๊สออกซิเจนในภาชนะทำปฏิกิริยาจนหมด ความดันภายในภาชนะเป็นเท่าใด กำหนดให้อากาศในภาชนะมีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 21 โดยปริมาตร และปริมาตรของแข็งและของเหลวน้อยมากจนไม่รบกวนปริมาตรของแก๊สในภาชนะ
- ภาชนะใบหนึ่งมีปริมาตร 1.0 ลิตร บรรจุแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่ความดัน 1.50 บรรยากาศ และอุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส เมื่อเติมสารละลายของลิเทียมไฮดรอกไซด์ (LiOH) ปริมาตรน้อยมากพบว่าลิเทียมคาร์บอเนต (Li₂CO₃) เกิดขึ้น 3.0 กรัม เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์บางส่วนทำปฏิกิริยากับลิเทียมไฮดรอกไซด์ ดังสมการเคมี

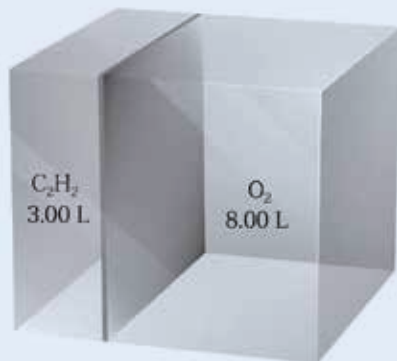
$$\text{CO}_2\text{(g)} + 2\text{LiOH(aq)} \longrightarrow \text{Li}_2\text{CO}_3\text{(aq)} + \text{H}_2\text{O(l)}$$
 ถ้าอุณหภูมิคงที่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลือมีความดันเท่าใด
- ปอดของคนมีความจุประมาณ 4.8 ลิตร ที่อุณหภูมิของร่างกาย 37 องศาเซลเซียส และความดันภายในปอด 1.0 บรรยากาศ ปอดจะมีอากาศบรรจุอยู่กี่กรัม กำหนดให้ อากาศมีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 21 โดยปริมาตร และที่เหลือเป็นแก๊สไนโตรเจน

7. ในการถลุงทองแดงจากแร่คาลโคไพไรต์ (CuFeS_2) มีปฏิกิริยาเกิดขึ้นหลายขั้นตอนดังนี้
- $$2\text{CuFeS}_2(\text{s}) + 4\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{Cu}_2\text{S}(\text{s}) + 2\text{FeO}(\text{s}) + 3\text{SO}_2(\text{g}) \quad \text{.....(1)}$$
- $$2\text{Cu}_2\text{S}(\text{s}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{Cu}_2\text{O}(\text{s}) + 2\text{SO}_2(\text{g}) \quad \text{.....(2)}$$
- $$2\text{Cu}_2\text{O}(\text{s}) + \text{Cu}_2\text{S}(\text{s}) \longrightarrow 6\text{Cu}(\text{s}) + \text{SO}_2(\text{g}) \quad \text{.....(3)}$$
- ซึ่งปฏิกิริยารวมเป็นดังสมการเคมี



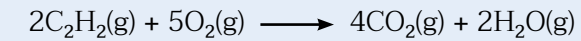
นำแร่คาลโคไพไรต์ 1.00 กิโลกรัม ใส่ในภาชนะขนาด 10.0 ลิตร จากนั้นอัดแก๊สออกซิเจน (O_2) ลงไป 448.0 กรัม ถ้านำภาชนะไปให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 2000 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ ภาชนะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต้องทนแรงดันของแก๊สได้อย่างน้อยกี่บรรยากาศ กำหนดให้ ของแข็งมีปริมาตรน้อยมากจนไม่รบกวนปริมาตรของแก๊สภายในภาชนะ

8. แก๊สไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่งมีสูตรอย่างง่ายคือ CH_2 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดัน 293.5 บรรยากาศ มีความหนาแน่น 0.505 กรัมต่อมิลลิลิตร จงหาสูตรโมเลกุลของแก๊สไฮโดรคาร์บอนชนิดนี้
9. แก๊สอะเซทิลีน (C_2H_2) และแก๊สออกซิเจน (O_2) บรรจุในภาชนะที่มีผนังกันดังรูป โดยแก๊สแต่ละชนิดมีความดัน 24.5 บรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



- 9.1 ถ้าแก๊สทั้งสองชนิดไม่ทำปฏิกิริยากัน เมื่อเปิดผนังกัน ความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิดและความดันรวมของแก๊สผสมเป็นเท่าใด

- 9.2 ถ้าแก๊สทั้งสองชนิดทำปฏิกิริยากันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ดังสมการเคมี



เมื่อปฏิกิริยาลิ้นสุด ความดันรวมของแก๊สผสมและความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิดที่เหลืออยู่ภายในถังเป็นเท่าใด

10. แก๊สผสมระหว่างคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ปริมาตร 10.0 ลิตร แพร่ผ่านผนังกันโดยใช้เวลา 2.00 นาที ซึ่งใช้เวลาเท่ากับที่แก๊สฮีเลียม (He) ปริมาตร 29.7 แพร่ผ่านผนังกันที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน ร้อยละโดยปริมาตรของแก๊สแต่ละชนิดในแก๊สผสมเป็นเท่าใด

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

เคมี เล่ม ๓ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เวลา ๖๐ ชั่วโมง จำนวน ๑.๕ หน่วยกิต

ศึกษาความสัมพันธ์และคำนวณปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ จำนวนโมล หรือมวลของแก๊ส โดยใช้กฎของบอยล์ กฎของชาร์ล กฎของเกย์-ลุสแซก กฎรวมแก๊ส กฎของอาโวกาโดร และกฎแก๊สอุดมคติ คำนวณความดันย่อยหรือจำนวนโมลของแก๊สในแก๊สผสมโดยใช้กฎความดันย่อยของดอลตัน ศึกษาทฤษฎีจลน์ของแก๊ส การแพร่และคำนวณอัตราการแพร่ของแก๊ส โดยใช้กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม ศึกษาปรากฏการณ์หรือการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันและในอุตสาหกรรมโดยใช้สมบัติและกฎต่าง ๆ ของแก๊ส

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารในปฏิกิริยาเคมี คำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ศึกษาทิศทางการชนกันของอนุภาคและพลังงานที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ผลของความเข้มข้น พื้นที่ผิวของสารตั้งต้น อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และการนำไปใช้ในชีวิตประจำวันหรืออุตสาหกรรม

ศึกษาความหมายของปฏิกิริยาผันกลับได้และภาวะสมดุล คำนวณค่าคงที่สมดุลและความเข้มข้นของสารที่ภาวะสมดุลของปฏิกิริยาที่มีขั้นตอนเดียวและหลายขั้นตอน ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสมดุลและค่าคงที่สมดุลตามหลักของเลอชาเตอลิเอ สมดุลเคมีของกระบวนการที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต ปรากฏการณ์ในธรรมชาติและกระบวนการในอุตสาหกรรม

โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นข้อมูล การสังเกต วิเคราะห์ เปรียบเทียบ อธิบาย อภิปราย และสรุป เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ มีความสามารถในการตัดสินใจ มีทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ในด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ด้านการคิดและการแก้ปัญหา ด้านการสื่อสาร สามารถสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตของตนเอง มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่เหมาะสม

ผลการเรียนรู้

๑. อธิบายความสัมพันธ์และคำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่าง ๆ ตามกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล กฎของเกย์-ลุสแซก
๒. คำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่าง ๆ ตามกฎรวมแก๊ส
๓. คำนวณปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ จำนวนโมล หรือมวลของแก๊ส จากความสัมพันธ์ตามกฎของอาโวกาโดร และกฎแก๊สอุดมคติ
๔. คำนวณความดันย่อยหรือจำนวนโมลของแก๊สในแก๊สผสม โดยใช้กฎความดันย่อยของดอลตัน
๕. อธิบายการแพร่ของแก๊สโดยใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส คำนวณและเปรียบเทียบอัตราการแพร่ของแก๊ส โดยใช้กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม
๖. สืบค้นข้อมูล นำเสนอตัวอย่าง และอธิบายการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับสมบัติและกฎต่าง ๆ ของแก๊สในการอธิบายปรากฏการณ์ หรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันและในอุตสาหกรรม
๗. ทดลองและเขียนกราฟการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสารที่ทำการวัดในปฏิกิริยา
๘. คำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และเขียนกราฟการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของสารที่ไม่ได้วัดในปฏิกิริยา
๙. เขียนแผนภาพและอธิบายทิศทางการชนกันของอนุภาคและพลังงานที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
๑๐. ทดลองและอธิบายผลของความเข้มข้น พื้นที่ผิวของสารตั้งต้น อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
๑๑. เปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น พื้นที่ผิวของสารตั้งต้น อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยา
๑๒. ยกตัวอย่างและอธิบายปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในชีวิตประจำวันหรืออุตสาหกรรม
๑๓. ทดสอบและอธิบายความหมายของปฏิกิริยาผันกลับได้และภาวะสมดุล
๑๔. อธิบายการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า และอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เมื่อเริ่มปฏิกิริยาจนกระทั่งระบบอยู่ในภาวะสมดุล
๑๕. คำนวณค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา
๑๖. คำนวณความเข้มข้นของสารที่ภาวะสมดุล
๑๗. คำนวณค่าคงที่สมดุลหรือความเข้มข้นของปฏิกิริยาหลายขั้นตอน
๑๘. ระบุปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสมดุลและค่าคงที่สมดุลของระบบ รวมทั้งคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อภาวะสมดุลของระบบถูกรบกวนโดยใช้หลักของเลอชาเตอลิเอ
๑๙. ยกตัวอย่างและอธิบายสมดุลเคมีของกระบวนการที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต ปรากฏการณ์ในธรรมชาติและกระบวนการในอุตสาหกรรม

รวมทั้งหมด ๑๙ ผลการเรียนรู้