



หนังสือเรียน

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เคมี

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๒

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

พิมพ์ครั้งที่ ๔

ISBN 978-616-576-359-2

จำนวน ๑๓๐,๐๐๐ เล่ม พ.ศ. ๒๕๖๖

จัดจำหน่ายโดย

องค์การค้าของ สกสค. พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว

๒๒๔๙ ถนนลาดพร้าว วังทองหลาง กรุงเทพมหานคร

❖ มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ



ประกาศสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน
เรื่อง อนุญาตให้ใช้สื่อการเรียนรู้ในสถานศึกษา

ด้วยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๒ 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.) มีอำนาจหน้าที่ในการพัฒนา หลักสูตร วิธีการเรียนรู้ การประเมินผล การจัดทำหนังสือเรียน แบบฝึกหัด และสื่อการเรียนรู้ทุกประเภท ที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของการจัดการศึกษาขั้นพื้นฐาน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๒ นี้ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) จัดทำขึ้นตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระ การเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษา ขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ เพื่อให้สถานศึกษาพิจารณาเทียบเคียงกับหลักสูตรสถานศึกษา และพิจารณาเลือกใช้หนังสือนี้ประกอบการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับหลักสูตรสถานศึกษาของตนได้ ตามความเหมาะสม

กระทรวงศึกษาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ ในรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐาน การศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ตลอดจนบุคคลและหน่วยงานอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้

ว่าที่ร้อยตรี

(ธนุ วงษ์จินดา)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำชี้แจง

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

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๒ มีผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่ครอบคลุมเนื้อหาบางส่วนที่ปรากฏตามตัวชี้วัดรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๑ โดยเมื่อผู้เรียนเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม ๑ – เล่ม ๖ ครบทุกชั้นปีในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ – ๖ แล้วก็สามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๑ ได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อยอดเนื้อหาจากรายวิชาพื้นฐานไปสู่เนื้อหาในรายวิชาเพิ่มเติมได้โดยไม่ต้องเสียเวลาเรียนซ้ำซ้อน ทั้งนี้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม ๒ นี้ มีเนื้อหาที่จำเป็นที่ต้องเรียนประกอบด้วยเรื่อง โมลและสูตรเคมี สารละลาย และปริมาณสัมพันธ์ ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญและสำหรับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์ หรือประกอบอาชีพในสาขาที่ใช้วิทยาศาสตร์เป็นฐาน เช่น แพทย์ ทันตแพทย์ สัตวแพทย์ เทคโนโลยีชีวภาพ เทคนิคการแพทย์ วิศวกรรม สถาปัตยกรรม วัสดุศาสตร์ อุตุนิยมวิทยา ธรณีวิทยา ฯลฯ โดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา เชื่อมโยงความรู้สู่การนำไปใช้ในชีวิตจริง ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญ รวมทั้งกิจกรรมที่ผู้เรียนสามารถคิดค้นและออกแบบการทดลองด้วยตนเอง มีแบบตรวจสอบความรู้ความเข้าใจก่อนเรียน มีแบบฝึกหัดเพื่อให้ตรวจทานความรู้หลังจากที่เรียนไปแล้ว รวมทั้งสรุปความรู้ในแต่ละบทด้วย ในการจัดทำหนังสือเรียนเล่มนี้ ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒินักวิชาการอิสระ คณาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบัน และสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม ๒ นี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียน และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเรียนเล่มนี้ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง

(รองศาสตราจารย์ธีระเดช เจียรสุขสกุล)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กระทรวงศึกษาธิการ

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

เคมี เล่ม ๒

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

เวลา ๖๐ ชั่วโมง จำนวน ๑.๕ หน่วยกิต

ศึกษาความหมายและคำนวณมวลอะตอม มวลอะตอมสัมพัทธ์ มวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ โมล มวลต่อโมล มวลโมเลกุล และมวลสูตร ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมล อนุภาค มวลและปริมาตรของแก๊สที่ STP ศึกษากฎสัดส่วนคงที่ คำนวณอัตราส่วนโดยมวล อัตราส่วนโดยโมล ร้อยละโดยมวล สูตรโมเลกุล และสูตรเอมพิริคัล

ศึกษาหน่วยความเข้มข้นและการคำนวณความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยร้อยละ ส่วนในล้านส่วน ส่วนในพันล้านส่วน โมลาริตี โมลลิตี และเศษส่วนโมล ศึกษาการเตรียมสารละลายจากสารบริสุทธิ์และจากการเจือจางสารละลายเข้มข้น เปรียบเทียบจุดเดือดและจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์และสารละลาย

ศึกษาการเขียนและดุลสมการเคมี อัตราส่วนโดยโมลของสารในปฏิกิริยาเคมี แปลความหมายสัญลักษณ์ในสมการเคมี คำนวณปริมาณของสารในปฏิกิริยาเคมีตามกฎทรงมวล ศึกษากฎการรวมปริมาตรแก๊สของเกย์-ลูสแซกและสมมติฐานของอาโวกาโดร คำนวณปริมาณของสารในปฏิกิริยาเคมีโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างโมล มวล ความเข้มข้น และปริมาตรแก๊ส คำนวณปริมาณสารในปฏิกิริยาเคมีหลายขั้นตอน ปริมาณสารเมื่อมีสารกำหนดปริมาณ และผลได้ร้อยละ

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

ผลการเรียนรู้

๑. บอกความหมายของมวลอะตอมของธาตุ และคำนวณมวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ มวลโมเลกุล และมวลสูตร
๒. อธิบายและคำนวณปริมาณใดปริมาณหนึ่งจากความสัมพันธ์ของโมล จำนวนอนุภาค มวล และปริมาตรของแก๊สที่ STP
๓. คำนวณอัตราส่วนโดยมวลของธาตุองค์ประกอบของสารประกอบตามกฎสัดส่วนคงที่
๔. คำนวณสูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุลของสาร
๕. คำนวณความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยต่าง ๆ
๖. อธิบายวิธีและการเตรียมสารละลายให้มีความเข้มข้นในหน่วยโมลาริตี และปริมาตรของสารละลายตามที่กำหนด
๗. เปรียบเทียบจุดเดือดและจุดเยือกแข็งของสารละลายกับสารบริสุทธิ์ รวมทั้งคำนวณจุดเดือดและจุดเยือกแข็งของสารละลาย
๘. แปลความหมายสัญลักษณ์ในสมการเคมี เขียนและดุลสมการเคมีของปฏิกิริยาเคมีบางชนิด
๙. คำนวณปริมาณของสารในปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับมวลสาร
๑๐. คำนวณปริมาณของสารในปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของสารละลาย
๑๑. คำนวณปริมาณของสารในปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับปริมาตรแก๊ส
๑๒. คำนวณปริมาณของสารในปฏิกิริยาเคมีหลายขั้นตอน
๑๓. ระบุสารกำหนดปริมาณ และคำนวณปริมาณสารต่าง ๆ ในปฏิกิริยาเคมี
๑๔. คำนวณผลได้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ในปฏิกิริยาเคมี

รวมทั้งหมด ๑๔ ผลการเรียนรู้

ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

หนังสือเรียนเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ในการศึกษาเนื้อหาที่สำคัญ และเกิดทักษะที่จำเป็นที่สอดคล้องกับมาตรฐานและสาระการเรียนรู้ รวมทั้งยังมีสื่อ AR ที่ช่วยเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนและสามารถเชื่อมโยงไปยังเว็บไซต์รายการสื่อเพิ่มเติมได้จาก QR code หรือ URL ที่อยู่ประจำแต่ละบท การทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียนจะช่วยให้ผู้เรียนใช้หนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียนมีดังนี้

คำถามสำคัญ



คำถามประจำบทที่นักเรียนต้องอาศัยความรู้ทั้งหมดในบทเรียนในการตอบคำถาม ซึ่งนักเรียนควรตอบได้หลังจากได้เรียนรู้ในบทนั้นแล้ว

จุดประสงค์การเรียนรู้



เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งนักเรียนควรศึกษาทำความเข้าใจก่อนเริ่มเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน



ชุดคำถามที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน ซึ่งนักเรียนควรตอบคำถามให้ถูกต้องทั้งหมด หากไม่ถูกต้องควรทบทวนเนื้อหา นั้นก่อนเริ่มการเรียนรู้เรื่องใหม่ในแต่ละบท

ชวนคิด



คำถามระหว่างเรียนที่เชื่อมโยงหรือต่อยอดความรู้เดิมที่ศึกษาแล้วกับความรู้ใหม่หรือความรู้ในศาสตร์อื่น เพื่อให้นักเรียนเห็นความสัมพันธ์หรือความต่อเนื่องของเนื้อหา

ตรวจสอบความเข้าใจ



คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยประเมินการเรียนรู้ ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบว่า ตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาแล้วหรือยัง

แบบฝึกหัด



คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยเสริมให้เกิดทักษะและความรู้ในบทเรียน ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบความเข้าใจของเนื้อหาและฝึกฝนตนเองให้มีทักษะที่จำเป็นตามจุดประสงค์การเรียนรู้ได้

ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

กิจกรรม



การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลองการสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งนักเรียนควรลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง

ตัวอย่าง



การแสดงแนวทางการตอบคำถามหรือการแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งนักเรียนสามารถศึกษาเพื่อเพิ่มความเข้าใจในเนื้อหาบทเรียนมากขึ้น

ความรู้เพิ่มเติม



ความรู้ที่เพิ่มเติมจากเนื้อหาในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีการวัดและประเมินผล

รู้หรือไม่



ความรู้ที่เชื่อมโยงให้เห็นความสอดคล้องของเนื้อหาบทเรียนกับปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน

สื่อ AR (Augmented Reality)



สื่อเสริมการเรียนรู้ที่ใช้เทคโนโลยี AR ผู้เรียนสามารถดาวน์โหลดเพื่อใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน "AR วิทย ม.ปลาย"

ศัพท์น่ารู้



ความหมายของคำศัพท์ต่าง ๆ ที่เพิ่มเติม และสอดคล้องกับเนื้อหาภายในบทเรียน

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน



การสรุปเนื้อหาสำคัญภายในบทเรียน เพื่อช่วยให้เห็นภาพรวมของเนื้อหาทั้งหมด

แบบฝึกหัดท้ายบท



คำถามท้ายบทเรียนสำหรับให้นักเรียนตรวจสอบความเข้าใจหลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว ซึ่งนักเรียนสามารถใช้เป็นข้อมูลในการทบทวนเนื้อหาที่ยังไม่เข้าใจได้

สารบัญ

4



โมลและ สูตรเคมี

บทที่ 4	โมลและสูตรเคมี	1
	4.1 มวลอะตอม	3
	4.2 โมล	9
	4.3 สูตรเคมี	25
	แบบฝึกหัดท้ายบท	42

5



สารละลาย

บทที่ 5	สารละลาย	44
	5.1 ความเข้มข้นของสารละลาย	47
	5.2 การเตรียมสารละลาย	64
	5.3 สมบัติบางประการของสารละลาย	74
	แบบฝึกหัดท้ายบท	85

สารบัญ

6



ปริมาณสัมพันธ์

บทที่ 6	ปริมาณสัมพันธ์	88
	6.1 ปฏิกิริยาเคมี	91
	6.2 สมการเคมี	93
	6.3 การคำนวณปริมาณสารในปฏิกิริยาเคมี	108
	6.4 สารกำหนดปริมาณ	139
	6.5 ผลได้ร้อยละ	147
	แบบฝึกหัดท้ายบท	153

ภาคผนวก

	คำศัพท์ในหนังสือเรียน เคมี เล่ม 2	161
	ชื่อธาตุ	164
	บรรณานุกรม	167
	ที่มาของรูป	167
	คณะกรรมการจัดทำหนังสือเรียน	168



ปริมาณของสารมีความสัมพันธ์กันระหว่างหน่วยของโมล มวล จำนวนอนุภาค และปริมาตรของแก๊สที่ STP



คำถามสำคัญ

ปริมาณของสารในหน่วยของโมล มวล จำนวนอนุภาค และปริมาตรของแก๊สที่ STP มีความสัมพันธ์กันอย่างไร



จุดประสงค์การเรียนรู้

1. บอกความหมายของมวลอะตอมของธาตุ มวลอะตอมสัมพัทธ์ และมวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ
2. คำนวณมวลอะตอมของธาตุและมวลอะตอมสัมพัทธ์
3. คำนวณมวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ

4. อธิบายความหมายของโมลและเลขอาโวกาโดร
5. คำนวณมวลโมเลกุลและมวลสูตร
6. อธิบายความสัมพันธ์ของโมล มวล จำนวนอนุภาค และปริมาตรของแก๊สที่ STP
7. คำนวณปริมาณสารจากความสัมพันธ์ของโมล มวล จำนวนอนุภาค และปริมาตรของแก๊สที่ STP
8. คำนวณอัตราส่วนโดยมวลของธาตุองค์ประกอบของสารประกอบตามกฎสัดส่วนคงที่
9. อธิบายความหมายของสูตรอย่างง่ายและสูตรโมเลกุลของสาร
10. คำนวณมวลเป็นร้อยละของธาตุองค์ประกอบ
11. คำนวณสูตรอย่างง่ายจากอัตราส่วนโดยโมลของธาตุองค์ประกอบ
12. คำนวณสูตรโมเลกุลของสารจากสูตรอย่างง่ายและมวลโมเลกุลของสาร



ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ใส่เครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ถูกต้อง และเครื่องหมาย ✗ หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง

- 1. อะตอมของธาตุประกอบด้วยอนุภาคที่สำคัญ 3 ชนิดคือ โปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน
- 2. อิเล็กตรอนมีมวลมากกว่าโปรตอนประมาณ 1800 เท่า
- 3. โปรตอนและนิวตรอนมีมวลใกล้เคียงกัน
- 4. ${}^4_2\text{He}$ เป็นสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุฮีเลียม
- 5. ไอโซโทป หมายถึง ธาตุชนิดเดียวกันที่มีจำนวนโปรตอนไม่เท่ากัน
- 6. เมทานอลมีสูตรเคมีเป็น CH_3OH เป็นสารประกอบไอออนิก
- 7. แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) เป็นสารโคเวเลนต์
- 8. เอทานอล ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) 1 โมเลกุลมีจำนวนธาตุองค์ประกอบเท่ากับไดเมทิลอีเทอร์ (CH_3OCH_3) 1 โมเลกุล
- 9. เอทานอลมีความหนาแน่น 0.789 กรัมต่อมิลลิลิตร ถ้าต้องการเปลี่ยนหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อลิตรต้องใช้แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย $\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}$ และ $\frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}}$
- 10. สารประกอบไอออนิกไม่มีสูตรโมเลกุล เนื่องจากมีโครงสร้างต่อเนื่องกันไปเป็นสามมิติ

การระบุปริมาณสารในทางเคมีต้องระบุหน่วย และหน่วยที่บอกปริมาณสารมีหลายหน่วยซึ่งแต่ละหน่วยมีความสัมพันธ์กัน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเรียนรู้เกี่ยวกับหน่วยที่ใช้ในทางเคมีและความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยต่าง ๆ เช่น โมล มวล จำนวนอนุภาค ปริมาตรของแก๊สที่ STP

การคำนวณปริมาณของสาร สามารถศึกษาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างโมล มวล จำนวนอนุภาค และปริมาตร ซึ่งการคำนวณปริมาณสารมีประโยชน์ต่อการคาดคะเนปริมาณของสารที่ต้องใช้เป็นสารตั้งต้นเพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ

4.1 มวลอะตอม

มวลอะตอม (atomic mass) เป็นมวลของธาตุ 1 อะตอมซึ่งเป็นผลรวมของมวลโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน แต่เนื่องจากโปรตอนและนิวตรอน มีมวลมากกว่าอิเล็กตรอนมาก (ประมาณ 1800 เท่า) ดังนั้นมวลอะตอมจึงมีค่าใกล้เคียงกับผลรวมของมวลโปรตอนและนิวตรอน ซึ่งมวลโปรตอนและนิวตรอนก็ยังถือว่าน้อยมาก (ประมาณ 1.66×10^{-24} กรัม) ซึ่งไม่สะดวกต่อการกล่าวถึงและใช้งาน จึงนิยมใช้**มวลอะตอมสัมพัทธ์** (relative atomic mass) ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบมวลอะตอมกับมวลอะตอมของธาตุมาตรฐาน จึงเป็นค่าที่ไม่มีหน่วย

ปัจจุบัน นักวิทยาศาสตร์ตกลงใช้ ${}^{12}\text{C}$ เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบมวล โดยกำหนดให้ ${}^{12}\text{C}$ จำนวน 1 อะตอมมีมวล 12 หน่วยมวลอะตอม (unified atomic mass unit, u¹) ดังนั้น 1 หน่วยมวลอะตอม จึงมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{12}$ มวลของ ${}^{12}\text{C}$ จำนวน 1 อะตอมซึ่งเท่ากับ 1.66×10^{-24} กรัม การเปรียบเทียบมวลอะตอมของธาตุเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้



ความรู้เพิ่มเติม

ในอดีตใช้ธาตุออกซิเจนเป็นธาตุมาตรฐานเนื่องจากทำปฏิกิริยากับธาตุอื่น ๆ ได้ง่ายและมีหลายไอโซโทปคือ ${}^{16}\text{O}$ ${}^{17}\text{O}$ และ ${}^{18}\text{O}$ แต่นักเคมีกับนักฟิสิกส์กำหนดมวลอะตอมของออกซิเจนไม่เหมือนกัน โดยนักเคมีใช้มวลอะตอมเฉลี่ยของออกซิเจนทั้งสามไอโซโทป แต่นักฟิสิกส์ใช้มวลอะตอมของ ${}^{16}\text{O}$ เท่านั้น

¹หน่วย u มีค่าเท่ากับหน่วย amu (atomic mass unit) ซึ่งนักเคมีนิยมใช้ในอดีต

$$\text{มวลอะตอมสัมพัทธ์} = \frac{\text{มวลอะตอมของธาตุ}}{\frac{1}{12} \text{ มวลของ } ^{12}\text{C} \text{ 1 อะตอม}}$$

ถ้าใช้มวลอะตอมในหน่วยกรัมจะมีความสัมพันธ์เป็น

$$\text{มวลอะตอมสัมพัทธ์} = \frac{\text{มวลอะตอมของธาตุ (g)}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ (g)}}$$



ตัวอย่าง 1

ธาตุแมกนีเซียม (Mg) มีมวลอะตอมสัมพัทธ์ 24.30 ธาตุแมกนีเซียมมีมวลอะตอมเท่าใด

วิธีทำ

$$\text{มวลอะตอมสัมพัทธ์ของ Mg} = \frac{\text{มวลอะตอมของ Mg (g)}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ (g)}}$$

$$\begin{aligned} \text{มวลอะตอมของ Mg (g)} &= 24.30 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ g} \\ &= 4.03 \times 10^{-23} \text{ g} \end{aligned}$$

ดังนั้น ธาตุแมกนีเซียมมีมวลอะตอม 4.03×10^{-23} กรัม



ตัวอย่าง 2

ธาตุโซเดียม (Na) 10 อะตอม มีมวล 3.82×10^{-22} กรัม มวลอะตอมสัมพัทธ์ของธาตุโซเดียมมีค่าเท่าใด

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 หามวลอะตอมของโซเดียมหรือมวลของโซเดียม 1 อะตอม

$$\begin{aligned} \text{มวลของ Na 1 อะตอม} &= \frac{3.82 \times 10^{-22} \text{ g}}{10 \text{ atom}} \\ &= 3.82 \times 10^{-23} \text{ g/atom} \end{aligned}$$

ขั้นที่ 2 หามวลอะตอมสัมพัทธ์ของโซเดียม

$$\begin{aligned} \text{มวลอะตอมสัมพัทธ์ของ Na} &= \frac{\text{มวลของ Na 1 อะตอม (g)}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ g}} \\ &= \frac{3.82 \times 10^{-23} \text{ g}}{1.66 \times 10^{-24} \text{ g}} \\ &= 23.0 \end{aligned}$$

ดังนั้น มวลอะตอมสัมพัทธ์ของธาตุโซเดียมมีค่าเท่ากับ 23.0

เนื่องจากสารเกิดจากการรวมตัวกันของอะตอมธาตุ ซึ่งในธรรมชาติธาตุแต่ละชนิดอาจมีหลายไอโซโทปในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังนั้นการคำนวณเกี่ยวกับมวลของสารจึงใช้มวลอะตอมที่ได้จากการเฉลี่ยจากค่าของมวลอะตอมของแต่ละไอโซโทปตามปริมาณที่อยู่ในธรรมชาติ ดังนี้

$$\text{มวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุ} = \frac{\text{ผลรวมของ } [(\% \text{ ไอโซโทป}) (\text{มวลอะตอมของไอโซโทป})]}{100}$$

มวลอะตอมเฉลี่ยที่คำนวณได้จากมวลอะตอมในหน่วย u หรือมวลอะตอมสัมพัทธ์ของไอโซโทปมีค่าเป็นตัวเลขเท่ากัน แต่มวลอะตอมเฉลี่ยที่คำนวณได้จากมวลอะตอมสัมพัทธ์จะไม่มีหน่วย

ตัวอย่างเช่น คาร์บอนมี 3 ไอโซโทป คือ ^{12}C ^{13}C และ ^{14}C ซึ่ง ^{12}C มีมวลอะตอม 12.0000 u มีปริมาณร้อยละ 98.930 ^{13}C มีมวลอะตอม 13.0034 u มีปริมาณร้อยละ 1.070 ส่วน ^{14}C เป็นไอโซโทปกัมมันตรังสีมีปริมาณน้อยมาก การคำนวณมวลอะตอมเฉลี่ยของคาร์บอนทำได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{มวลอะตอมเฉลี่ยของ C} &= \frac{(98.930 \times 12.0000 \text{ u}) + (1.070 \times 13.0034 \text{ u})}{100} \\ &= \frac{1187.2 \text{ u} + 13.91 \text{ u}}{100} \\ &= 12.011 \text{ u}\end{aligned}$$

ดังนั้น มวลอะตอมเฉลี่ยของคาร์บอนมีค่าเท่ากับ 12.011 u

มวลอะตอมเฉลี่ยของคาร์บอนที่คำนวณได้นี้จะสอดคล้องกับที่ปรากฏในตารางธาตุ และค่ามวลอะตอมของธาตุอื่น ๆ ในตารางธาตุก็เป็นมวลอะตอมเฉลี่ยเช่นกัน ซึ่งค่ามวลอะตอมนี้ใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับปริมาณสารที่จะได้ศึกษาต่อไป

ตัวอย่างมวลอะตอมของไอโซโทป ปริมาณร้อยละของแต่ละไอโซโทปที่มีอยู่ในธรรมชาติ และมวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุบางชนิด แสดงในตาราง 4.1

ตาราง 4.1 มวลอะตอมของไอโซโทป ปริมาณร้อยละของไอโซโทป และมวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุบางชนิด

ไอโซโทป	มวลอะตอมของไอโซโทป	ปริมาณร้อยละที่พบในธรรมชาติ	มวลอะตอมเฉลี่ย*
^{14}N ^{15}N	14.0031 15.0001	99.632 0.368	14.007
^{16}O ^{17}O ^{18}O	15.9949 16.9991 17.9992	99.757 0.038 0.205	15.999
^{20}Ne ^{21}Ne ^{22}Ne	19.9924 20.9938 21.9914	90.480 0.270 9.250	20.179
^{35}Cl ^{37}Cl	34.9689 36.9659	75.780 24.220	35.452

หมายเหตุ *มวลอะตอมเฉลี่ยนิยมเรียกสั้น ๆ ว่า มวลอะตอม



แบบฝึกหัด 4.1

1. มวลอะตอมสัมพัทธ์ของไฮโดรเจนเท่ากับ 1.01 ไฮโดรเจน 1 อะตอมมีมวลกี่กรัม
2. มวลอะตอมสัมพัทธ์ของโซเดียมเท่ากับ 22.99 โซเดียม 1 อะตอม มีมวลเป็นกี่เท่าของ $\frac{1}{12}$ มวลของคาร์บอน-12 1 อะตอม
3. จงหามวลอะตอมสัมพัทธ์ของ ^{32}S เมื่อ ^{32}S 1 อะตอมมีมวล 53.05×10^{-24} กรัม และค่าที่คำนวณได้มากกว่าหรือน้อยกว่าค่าที่ปรากฏในตารางธาตุอธิบาย ได้อย่างไร
4. ธาตุออกซิเจนมีมวลอะตอมสัมพัทธ์ 16.00 ธาตุ A 1 อะตอมมีมวลเป็น 4 เท่า ของมวลของออกซิเจน 2 อะตอม ธาตุ A จะมีมวลอะตอมสัมพัทธ์เท่าใด
5. จงหามวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุอิริเดียม (Ir) จากข้อมูลต่อไปนี้

ไอโซโทป	มวลอะตอมของไอโซโทป	ปริมาณร้อยละในธรรมชาติ
Ir-191	190.961	37.300
Ir-193	192.963	62.700

6. ธาตุซิลิคอน (Si) ที่พบในธรรมชาติมี 3 ไอโซโทป มีมวลอะตอมของแต่ละไอโซโทป เท่ากับ 27.98 28.98 และ 29.97 โดยมีปริมาณร้อยละเป็น 92.21 4.70 และ 3.09 ตามลำดับ จงหามวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุซิลิคอน
7. ธาตุเงิน (Ag) ที่พบในธรรมชาติมี 2 ไอโซโทปคือ ^{107}Ag มีมวลอะตอมเท่ากับ 106.91 และ ^{109}Ag พบในธรรมชาติร้อยละ 48.16 ถ้าธาตุเงินมีมวลอะตอมเฉลี่ย เท่ากับ 107.87 จงคำนวณมวลอะตอมของ ^{109}Ag
8. ธาตุยูโรเพียม (Eu) พบในธรรมชาติ 2 ไอโซโทปคือ ^{151}Eu มีมวลอะตอมเท่ากับ 150.92 และ ^{153}Eu มีมวลอะตอมเท่ากับ 152.92 ถ้ามวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุยูโรเพียมเท่ากับ 151.96 จงหาปริมาณร้อยละของธาตุยูโรเพียมแต่ละไอโซโทป

4.2 โมล

การบอกปริมาณสิ่งของในชีวิตประจำวัน อาจบอกเป็นหน่วยมวล เช่น กรัม กิโลกรัม หรือ หน่วยปริมาตร เช่น ลูกบาศก์เซนติเมตร ลิตร นอกจากนี้ถ้าสิ่งของที่เหมือน ๆ กันและสามารถนับจำนวนขึ้นได้ อาจบอกเป็นหน่วยโหล เช่น ดินสอ 1 โหล เท่ากับ 12 แท่ง

การบอกปริมาณสารเคมีก็เช่นเดียวกัน อาจบอกเป็นหน่วยมวล หน่วยปริมาตร หรือหน่วยแสดงจำนวนอนุภาคของสาร แต่เนื่องจากสารประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเล็กและมีจำนวนมาก เช่น น้ำตาลทราย 1 เกสัด (ประมาณ 0.0001 กรัม) มี $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 1.0×10^{17} โมเลกุล น้ำ 1 กรัม มี H_2O 3.3×10^{22} โมเลกุล จะเห็นได้ว่าการบอกปริมาณสารด้วยจำนวนอนุภาคต้องใช้เลขยกกำลังจำนวนมาก นักเคมีจึงกำหนดหน่วยแสดงจำนวนอนุภาคของสารเป็นหน่วยใหญ่ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณสารที่วัดได้ในชีวิตประจำวัน โดยให้ชื่อว่า **โมล (mole)**

หน่วยงาน International Union of Pure and Applied Chemistry หรือ IUPAC ได้กำหนดว่า สาร 1 โมล มีจำนวนอนุภาคเท่ากับ $6.02214076 \times 10^{23}$ อนุภาค และเรียกจำนวนอนุภาคนี้นว่า **เลขอาโวกาโดร (Avogadro's number)** หรือ **ค่าคงตัวอาโวกาโดร (Avogadro's constant)**

เพื่อความสะดวกในการคำนวณ ในหนังสือเล่มนี้จะใช้ตัวเลข 6.02×10^{23} อนุภาค แทนค่าคงตัวอาโวกาโดร โดยอนุภาคของสารอาจเป็นอะตอม โมเลกุล ไอออน หรืออื่น ๆ ขึ้นอยู่กับประเภทของสาร ดังตัวอย่างในตาราง 4.2

ตาราง 4.2 จำนวนอนุภาคของสารบางชนิดปริมาณ 1 โมล

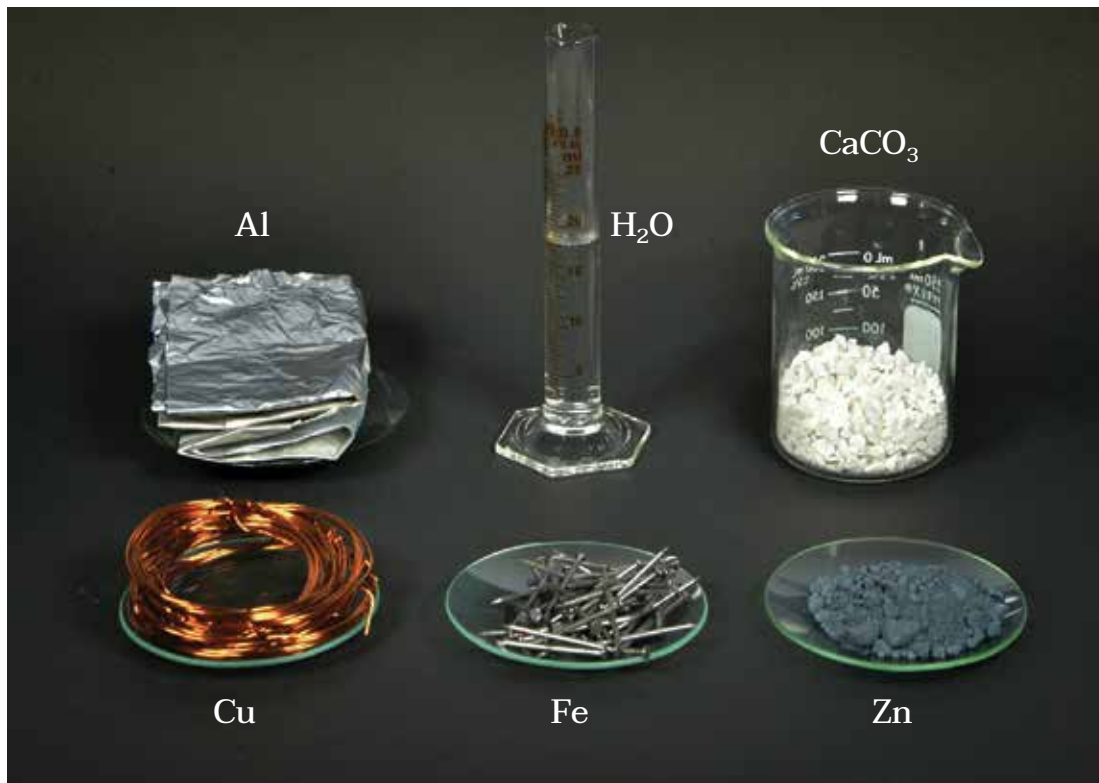
สาร	จำนวนอนุภาค
คริปทอน (Kr)	6.02×10^{23} อะตอม
น้ำ (H_2O)	H_2O 6.02×10^{23} โมเลกุล
	H $2 \times 6.02 \times 10^{23}$ อะตอม
	O 6.02×10^{23} อะตอม
โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4)	Na^+ $2 \times 6.02 \times 10^{23}$ ไอออน
	SO_4^{2-} 6.02×10^{23} ไอออน



ตรวจสอบความเข้าใจ

1. น้ำ (H_2O) 0.500 โมล ประกอบด้วยไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) อย่างละกี่โมล และคิดเป็นอย่างละกี่อะตอม
2. แคลเซียมฟอสเฟต ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) 2.00 โมล ประกอบด้วยแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และฟอสเฟตไอออน (PO_4^{3-}) อย่างละกี่ไอออน

เนื่องจากหน่วยโมล เป็นการบอกจำนวนอนุภาคของสาร ดังนั้นสาร 1 โมล จึงอาจมีมวลและปริมาตรไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับชนิดของสาร ดังรูป 4.1



รูป 4.1 ตัวอย่างสารบางชนิดปริมาณ 1 โมล



แบบฝึกหัด 4.2

1. จงคำนวณจำนวนโมลของสารต่อไปนี้
 - 1.1 ฮีเลียม 1.02×10^{22} อะตอม
 - 1.2 แก๊สแอมโมเนีย 3.01×10^{25} โมเลกุล
 - 1.3 เหล็ก 3.61×10^{20} อะตอม
 - 1.4 กำมะถัน 1 อะตอม
 - 1.5 โพแทสเซียมไอออน 100 ไอออน
2. จงคำนวณจำนวนอนุภาคของสารต่อไปนี้
 - 2.1 อาร์กอน 3.00 โมล
 - 2.2 เหล็ก 8.50 โมล
 - 2.3 โซเดียมไอออน 0.001 โมล
 - 2.4 น้ำ 5.00 โมล
 - 2.5 ไนเตรตไอออน 1.0×10^{-5} โมล
3. โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 0.1 โมล มีจำนวนโพแทสเซียมไอออน (K^+) และซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) อย่างละกี่โมล
4. อะลูมิเนียมซัลเฟต ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) กี่โมลที่สามารถให้ Al^{3+} 6.02×10^{22} ไอออน และในปริมาณสารดังกล่าวมีซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) กี่โมล

การบอกปริมาณสารเป็นโมลทำให้ทราบจำนวนอนุภาคของสารนั้นได้ นักเรียนคิดว่าปริมาณของสารในหน่วยโมลมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารในหน่วยอื่นหรือไม่ อย่างไร

4.2.1 มวลต่อโมล

จากที่ทราบแล้วว่า คาร์บอน-12 จำนวน 1 อะตอม มีมวล $12.00 \times 1.66 \times 10^{-24}$ กรัม นักเรียนคิดว่าคาร์บอน-12 จำนวน 1 โมล จะมีมวลในหน่วยกรัมเป็นเท่าใด

เนื่องจาก สาร 1 โมล มีจำนวน 6.02×10^{23} อนุภาค ดังนั้นมวลของคาร์บอน-12 ปริมาณ 1 โมล หาได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{คาร์บอน-12 ปริมาณ 1 โมล มีมวล} &= \frac{12.00 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ g } ^{12}\text{C} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ atom } ^{12}\text{C}}{1 \text{ atom } ^{12}\text{C}} \\ &= 12.00 \text{ g } ^{12}\text{C}\end{aligned}$$

ดังนั้น คาร์บอน-12 ปริมาณ 1 โมล มีมวลเท่ากับ 12.00 กรัม² ซึ่งเรียกค่ามวลในหน่วยกรัมต่อโมลว่า **มวลต่อโมล** (molar mass) สำหรับสารอื่น ๆ สามารถหาค่ามวลต่อโมลได้ดังตัวอย่างในตาราง 4.3

ตาราง 4.3 การคำนวณมวลต่อโมลของธาตุบางชนิด

ธาตุ	มวลอะตอม	มวลต่อโมล (g/mol)
ลิเทียม (Li)	6.94	$6.94 \times 1.66 \times 10^{-24} \times 6.02 \times 10^{23} = 6.94$
เหล็ก (Fe)	55.85	$55.85 \times 1.66 \times 10^{-24} \times 6.02 \times 10^{23} = 55.85$
ทองคำ (Au)	196.97	$196.97 \times 1.66 \times 10^{-24} \times 6.02 \times 10^{23} = 196.97$
โพแทสเซียม (K)	39.10	$39.10 \times 1.66 \times 10^{-24} \times 6.02 \times 10^{23} = 39.10$

จากข้อมูลในตาราง 4.3 จะเห็นว่า มวลของธาตุ 1 โมล ในหน่วยกรัม (หรือมวลต่อโมล) มีค่าเป็นตัวเลขเท่ากับมวลอะตอมของธาตุนั้น เช่น ออกซิเจนมีมวลอะตอมเท่ากับ 16.00 ดังนั้น ออกซิเจน 1 โมล จะมีมวล 16.00 กรัม หรือมวลต่อโมลของออกซิเจนเป็น 16.00 กรัมต่อโมล

จำนวนโมลหรือจำนวนอะตอมของธาตุสามารถคำนวณได้จากมวลของสารดังตัวอย่างต่อไปนี้



ตัวอย่าง 3

เหล็ก 10.0 กรัม มีจำนวนอะตอมเท่าใด

แนวคิด

โจทย์ให้หาจำนวนอะตอม โดยกำหนดมวลเป็นกรัมของเหล็กมาให้ ต้องเปลี่ยนมวลให้เป็นโมล แล้วเปลี่ยนโมลให้เป็นจำนวนอะตอม



²ในอดีต IUPAC เคยใช้จำนวนอนุภาคที่เท่ากับจำนวนอะตอมของคาร์บอน-12 ที่มีมวล 12.00 กรัม เป็นนิยามของหน่วยโมล จนกระทั่งถึงปี พ.ศ. 2561

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 เปลี่ยนมวล (กรัม) ให้เป็นโมล

สาร 1 โมล มีมวลเป็นกรัมเท่ากับมวลอะตอม ดังนั้น เหล็ก 1 โมล มีมวลเท่ากับ 55.85 กรัม

$$\text{ซึ่งเขียนแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยได้เป็น } \frac{1 \text{ mol Fe}}{55.85 \text{ g Fe}}$$

คำนวณจำนวนโมลของเหล็กได้ดังนี้

$$\text{จำนวนโมลของ Fe} = 10.0 \text{ g Fe} \times \frac{1 \text{ mol Fe}}{55.85 \text{ g Fe}} = 0.179 \text{ mol Fe}$$

ขั้นที่ 2 เปลี่ยนโมลให้เป็นจำนวนอะตอม

สาร 1 โมล มีจำนวน 6.02×10^{23} อนุภาค ดังนั้น เหล็ก 1 โมล มีจำนวน 6.02×10^{23} อะตอม

$$\text{ซึ่งเขียนแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยได้เป็น } \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ atom Fe}}{1 \text{ mol Fe}}$$

คำนวณจำนวนอะตอมของเหล็กได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{จำนวนอะตอมของ Fe} &= 0.179 \text{ mol Fe} \times \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ atom Fe}}{1 \text{ mol Fe}} \\ &= 1.08 \times 10^{23} \text{ atom Fe}\end{aligned}$$

ดังนั้น เหล็ก 10.0 กรัม มี 1.08×10^{23} อะตอม

การคำนวณอาจทำได้โดยนำขั้นที่ 1 และ 2 มารวมเป็นขั้นตอนเดียว ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{จำนวนอะตอมของ Fe} &= 10.0 \text{ g Fe} \times \frac{1 \text{ mol Fe}}{55.85 \text{ g Fe}} \times \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ atom Fe}}{1 \text{ mol Fe}} \\ &= 1.08 \times 10^{23} \text{ atom Fe}\end{aligned}$$

ดังนั้น เหล็ก 10.0 กรัม มี 1.08×10^{23} อะตอม

เมื่ออะตอมของธาตุรวมตัวกันเป็นโมเลกุล ผลรวมของมวลอะตอมของธาตุในสูตรเคมี เรียกว่า **มวลโมเลกุล** (molecular mass) เช่น มวลโมเลกุลของน้ำ (H_2O) มีค่าเท่ากับมวลอะตอมของไฮโดรเจน 2 อะตอม รวมกับมวลอะตอมของออกซิเจน 1 อะตอม นั่นคือ $(2 \times 1.01) + (1 \times 16.00) = 18.02$ ในทำนองเดียวกันกับอะตอม มวลต่อโมลของสารที่เป็นโมเลกุลมีค่าเป็นตัวเลขเท่ากับมวลโมเลกุลของสารนั้น ดังนั้นมวลต่อโมลของน้ำมีค่าเป็น 18.02 กรัมต่อโมล

สารที่ไม่อยู่ในรูปโมเลกุล เช่น สารประกอบไอออนิก โลหะ ผลรวมของมวลอะตอมของธาตุในสูตรเคมี เรียกว่า **มวลสูตร** (formula mass) เช่น มวลสูตรของเกลือแกง (NaCl) มีค่าเท่ากับมวลอะตอมของโซเดียมรวมกับมวลอะตอมของคลอรีน คือ $22.99 + 35.45 = 58.44$ และมวลต่อโมลของสารมีค่าเป็นตัวเลขเท่ากับมวลสูตรของสารนั้น ดังนั้นมวลต่อโมลของโซเดียมคลอไรด์มีค่าเป็น 58.44 กรัมต่อโมล



ตัวอย่าง 4

น้ำตาลทรายมีสูตรโมเลกุล $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ น้ำตาลทรายมีมวลต่อโมลเท่าใด

วิธีทำ

$$\begin{aligned}\text{มวลโมเลกุลของ } \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} &= (12 \times \text{มวลอะตอมของ C}) + (22 \times \text{มวลอะตอมของ H}) + \\ &\quad (11 \times \text{มวลอะตอมของ O}) \\ &= (12 \times 12.01) + (22 \times 1.01) + (11 \times 16.00) \\ &= 342.34\end{aligned}$$

น้ำตาลทรายมีมวลโมเลกุลเป็น 342.34 ดังนั้นจึงมีมวลต่อโมลเท่ากับ 342.34 กรัมต่อโมล



ตัวอย่าง 5

จงคำนวณมวลต่อโมลของแคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4)

วิธีทำ

$$\begin{aligned}\text{มวลสูตรของ } \text{CaSO}_4 &= (1 \times \text{มวลอะตอมของ Ca}) + (1 \times \text{มวลอะตอมของ S}) + \\ &\quad (4 \times \text{มวลอะตอมของ O}) \\ &= (1 \times 40.08) + (1 \times 32.06) + (4 \times 16.00) \\ &= 136.14\end{aligned}$$

แคลเซียมซัลเฟตมีมวลสูตรเป็น 136.14 ดังนั้นจึงมีมวลต่อโมลเท่ากับ 136.14 กรัมต่อโมล



ตรวจสอบความเข้าใจ

1. สารต่างชนิดกันที่มีจำนวนโมลเท่ากันจะมีมวลเท่ากันหรือไม่ เพราะเหตุใด
2. สารต่างชนิดกันที่มีจำนวนโมลเท่ากันจะมีจำนวนอนุภาคเท่ากันหรือไม่
3. สารต่างชนิดกันที่มีมวลเท่ากันจะมีจำนวนอนุภาคเท่ากันหรือไม่ เพราะเหตุใด



แบบฝึกหัด 4.3

1. จงหามวลโมเลกุลและมวลต่อโมลของสารต่อไปนี้ โดยใช้ค่ามวลอะตอมจากตารางธาตุในหนังสือเรียน
 - 1.1 แอสไพริน ($\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$)
 - 1.2 แอซีติก ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$)
 - 1.3 ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)
 - 1.4 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)
2. ฟอสฟอรัส 1 โมเลกุล มีสูตรโมเลกุลเป็น P_4 ถ้ามวลโมเลกุลของฟอสฟอรัสเท่ากับ 123.88 จงหามวลอะตอมของฟอสฟอรัส
3. ในปี พ.ศ.2528 นักวิทยาศาสตร์ค้นพบอัญรูปใหม่ของคาร์บอนที่เป็นโมเลกุลซึ่งมีมวลโมเลกุลประมาณ 720 และ 840 อัญรูปทั้งสองชนิดนี้มีสูตรโมเลกุลเป็นอย่างไร
4. สารประกอบ A 1 โมเลกุล มีมวล 2.56×10^{-22} กรัม จงคำนวณมวลต่อโมลของสารประกอบนี้

5. คำนวณจำนวนโมลของสารที่กำหนดให้ต่อไปนี้
 - 5.1 อะลูมิเนียม (Al) 2.70 กรัม
 - 5.2 ดีบุก (Sn) 17.5 กรัม
 - 5.3 น้ำ (H_2O) 0.36 กรัม
 - 5.4 เลด(II)ไนเตรต ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) 82.75 กรัม
6. สารต่อไปนี้จะมีจำนวนอนุภาคเท่าใด
 - 6.1 เฮกเซน (C_6H_{14}) 43.0 กรัม
 - 6.2 คาร์บอน (C) 4.0 กรัม
 - 6.3 แก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์ (NO) 30.0 กรัม
 - 6.4 ไนเตรตไอออนในเลด(II)ไนเตรต ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) 82.75 กรัม
7. จงคำนวณจำนวนโมลและมวลของสารต่อไปนี้
 - 7.1 ตะกั่ว 1 อะตอม
 - 7.2 ฟอสฟอรัส 6.02×10^{22} อะตอม
 - 7.3 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 1.81×10^{24} โมเลกุล
 - 7.4 เลด(II)ไนเตรต ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) ซึ่งมีไนเตรตไอออน 3.01×10^{23} ไอออน
8. แก๊สไข่เน่าหรือไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เป็นแก๊สพิษซึ่งมีข้อกำหนดว่าในอากาศ 1 ลิตร ไม่ควรมีแก๊สนี้เกิน 2.4×10^{-8} โมล จงหามวลของแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์และธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดในอากาศปริมาตร 1 ลิตร ตามข้อกำหนดนี้
9. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 9.8 กรัม แก๊สไฮโดรเจน (H_2) 2 กรัม และแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) 36.5 กรัม สารใดมีจำนวนโมเลกุลน้อยที่สุด
10. สารประกอบของธาตุไนโตรเจนและออกซิเจนมีหลายชนิด ซึ่งมีสูตรโมเลกุลแตกต่างกัน จงเสนอสูตรโมเลกุลของสารประกอบของธาตุไนโตรเจนและออกซิเจนที่มีมวลโมเลกุลเป็น 30.01 44.02 และ 46.0

4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างโมล มวล และปริมาตรของแก๊ส

เนื่องจากแก๊สมีมวลน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาตร ปริมาณสารในสถานะแก๊สส่วนใหญ่จึงนิยมบอกเป็นปริมาตร พร้อมระบุอุณหภูมิและความดัน เพราะปริมาตรของแก๊สเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและความดัน นักวิทยาศาสตร์กำหนดให้อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บรรยากาศ เป็นอุณหภูมิและความดันที่ภาวะมาตรฐานของแก๊ส (standard temperature and pressure เรียกว่า STP)

จากการทดลองหามวลของแก๊สบางชนิด ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เดซิเมตรหรือ 1 ลิตร ที่ STP ได้ข้อมูลดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 มวลของแก๊สบางชนิดปริมาตร 1 ลิตร ที่ STP

แก๊ส	มวลต่อโมล (g/mol)	มวลของแก๊ส 1 L (g)
ฮีเลียม (He)	4.00	0.179
มีเทน (CH_4)	16.05	0.716
ไอน้ำ (H_2O)	18.02	0.804
นีออน (Ne)	20.18	0.900
ไนโตรเจน (N_2)	28.02	1.251
ออกซิเจน (O_2)	32.00	1.430

นักเรียนคิดว่าจากข้อมูลในตาราง 4.4 แก๊สแต่ละชนิด 1 โมลมีปริมาตรเท่าใด

ถ้าใช้ข้อมูลของแก๊สฮีเลียมเป็นตัวอย่างในการคำนวณแก๊ส 1 โมลมีปริมาตรเท่าใดที่ STP นั้น ทำได้ดังนี้

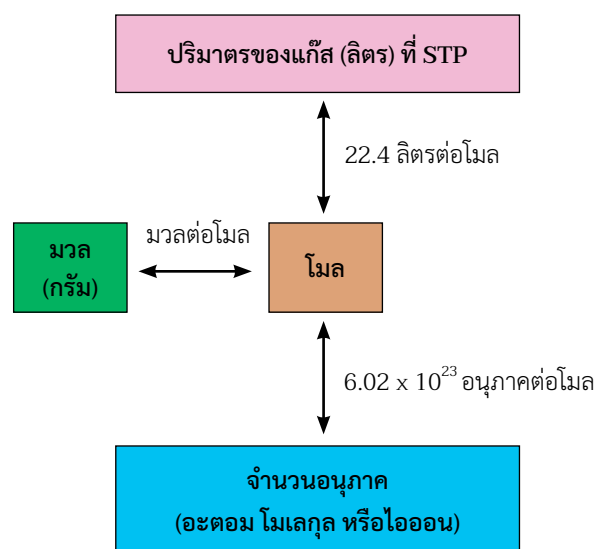
จากข้อมูลในตาราง 4.4 แก๊สฮีเลียมปริมาตร 1 ลิตร ที่ STP มีมวล 0.179 กรัม ซึ่งเขียนในรูปแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยได้เป็น $\frac{1 \text{ L He}}{0.179 \text{ g He}}$

ดังนั้นแก๊สฮีเลียม 1 โมล ซึ่งมีมวล 4.00 กรัม จะมีปริมาตรที่ STP เป็นดังนี้

$$\text{ปริมาตรของ He 1 mol ที่ STP} = 4.00 \text{ g He} \times \frac{1 \text{ L He}}{0.179 \text{ g He}} = 22.4 \text{ L He}$$

การคำนวณปริมาตรต่อโมลของแก๊สอื่น ๆ ที่ STP ในตาราง 4.4 ก็พบว่าได้ปริมาตรใกล้เคียงกับ 22.4 ลิตร จึงสรุปได้ว่า แก๊สใด ๆ ที่ STP มีปริมาตรต่อโมลเท่ากับ 22.4 ลิตรต่อโมล

จากการศึกษาที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าสาร 1 โมล มี 6.02×10^{23} อนุภาค ซึ่งมีมวลเป็นกรัมเท่ากับมวลต่อโมลของสารนั้น และถ้าเป็นแก๊สจะมีปริมาตรเท่ากับ 22.4 ลิตร ที่ STP ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างโมล มวล จำนวนอนุภาค และปริมาตรของสารที่ STP แสดงดังรูป 4.2



รูป 4.2 ความสัมพันธ์ของปริมาณสารในหน่วยต่าง ๆ

จากความสัมพันธ์ในรูป 4.2 สามารถใช้คำนวณเกี่ยวกับปริมาณสารในหน่วยต่าง ๆ ได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

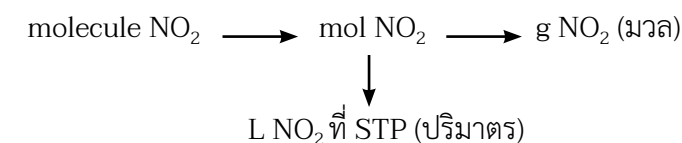


ตัวอย่าง 6

แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) จำนวน 1.51×10^{23} โมเลกุล มีมวลและปริมาตรที่ STP เท่าใด

แนวคิด

โจทย์กำหนดจำนวนโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ หามวลโดยเปลี่ยนจำนวนโมเลกุลเป็นโมล แล้วเปลี่ยนโมลให้เป็นมวล และหาปริมาตรโดยเปลี่ยนจำนวนโมเลกุลเป็นโมล แล้วเปลี่ยนโมลเป็นปริมาตร



วิธีทำ

การคำนวณมวลของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์

ขั้นที่ 1 เปลี่ยนจำนวนโมเลกุลเป็นจำนวนโมล

สาร 1 โมล มีจำนวน 6.02×10^{23} โมเลกุล ดังนั้น แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ 1 โมล มีจำนวน 6.02×10^{23} โมเลกุล จึงเขียนแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยที่จะนำไปใช้ในการคำนวณได้เป็น

$$\frac{1 \text{ mol NO}_2}{6.02 \times 10^{23} \text{ molecule NO}_2}$$

คำนวณจำนวนโมลของ NO_2 ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโมลของ NO}_2 &= 1.51 \times 10^{23} \text{ molecule NO}_2 \times \frac{1 \text{ mol NO}_2}{6.02 \times 10^{23} \text{ molecule NO}_2} \\ &= 0.251 \text{ mol NO}_2 \end{aligned}$$

ขั้นที่ 2 เปลี่ยนโมลเป็นมวล

สาร 1 โมล มีมวลเป็นกรัมเท่ากับมวลโมเลกุล ดังนั้น แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ 1 โมล มีมวล 46.01 กรัม

จึงเขียนแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยที่จะนำไปใช้ในการคำนวณได้เป็น $\frac{46.01 \text{ g NO}_2}{1 \text{ mol NO}_2}$

คำนวณมวลของ NO₂ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{มวลของ NO}_2 &= 0.251 \cancel{\text{ mol NO}_2} \times \frac{46.01 \text{ g NO}_2}{1 \cancel{\text{ mol NO}_2}} \\ &= 11.5 \text{ g NO}_2\end{aligned}$$

ดังนั้น แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ 1.51×10^{23} โมเลกุล มีมวล 11.5 กรัม

การคำนวณอาจทำได้โดยนำขั้นที่ 1 และ 2 มารวมเป็นขั้นตอนเดียว ได้ดังนี้

มวลของ NO₂

$$\begin{aligned}&= 1.51 \times 10^{23} \cancel{\text{ molecule NO}_2} \times \frac{1 \cancel{\text{ mol NO}_2}}{6.02 \times 10^{23} \cancel{\text{ molecule NO}_2}} \times \frac{46.01 \text{ g NO}_2}{1 \cancel{\text{ mol NO}_2}} \\ &= 11.5 \text{ g NO}_2\end{aligned}$$

ดังนั้น แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ 1.51×10^{23} โมเลกุล มีมวล 11.5 กรัม

การคำนวณปริมาตรของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ STP

เนื่องจากทราบโมลของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์แล้ว จึงเปลี่ยนโมลให้เป็นปริมาตรที่ STP โดยใช้ความสัมพันธ์คือแก๊ส 1 โมล มีปริมาตร 22.4 ลิตรที่ STP ดังนั้น แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ 1 โมล มีปริมาตร 22.4 ลิตรที่ STP

จึงเขียนแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยที่จะนำไปใช้ในการคำนวณได้เป็น $\frac{22.4 \text{ L NO}_2}{1 \text{ mol NO}_2}$

คำนวณปริมาตรของ NO₂ ที่ STP ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{ปริมาตรของ NO}_2 \text{ ที่ STP} &= 0.251 \cancel{\text{ mol NO}_2} \times \frac{22.4 \text{ L NO}_2}{1 \cancel{\text{ mol NO}_2}} \\ &= 5.62 \text{ L NO}_2\end{aligned}$$

ดังนั้น แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ 1.51×10^{23} โมเลกุล มีปริมาตร 5.62 ลิตรที่ STP

การคำนวณอาจรวมเป็นขั้นตอนเดียวเหมือนกับการคำนวณมวลได้ดังนี้

ปริมาตรของ NO₂ ที่ STP

$$\begin{aligned}&= 1.51 \times 10^{23} \cancel{\text{ molecule NO}_2} \times \frac{1 \cancel{\text{ mol NO}_2}}{6.02 \times 10^{23} \cancel{\text{ molecule NO}_2}} \times \frac{22.4 \text{ L NO}_2}{1 \cancel{\text{ mol NO}_2}} \\ &= 5.62 \text{ L NO}_2\end{aligned}$$

ดังนั้น แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ 1.51×10^{23} โมเลกุล มีปริมาตร 5.62 ลิตร ที่ STP

นักเรียนสามารถทบทวนความสัมพันธ์ระหว่างโมล มวล จำนวนอนุภาค และปริมาตรของแก๊สที่ STP ได้จากกิจกรรมต่อไปนี้



กิจกรรม 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโมล มวล จำนวนอนุภาค ความหนาแน่น และปริมาตรของแก๊สที่ STP

จุดประสงค์ของกิจกรรม

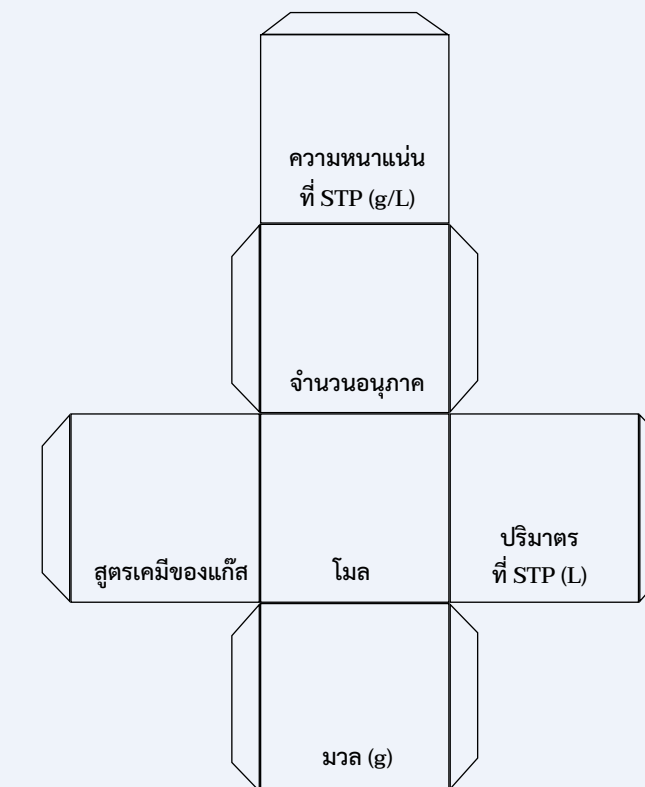
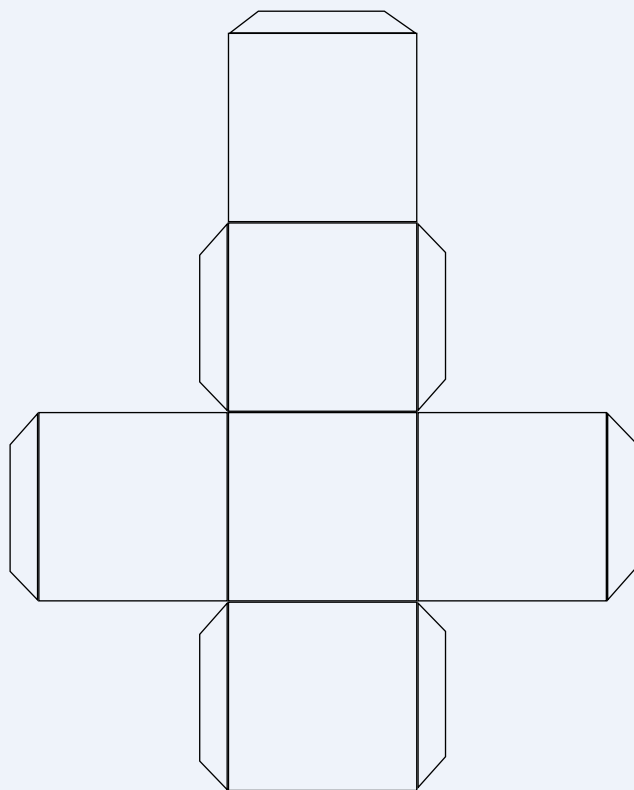
คำนวณปริมาณสารจากความสัมพันธ์ระหว่างโมล มวล จำนวนอนุภาค ความหนาแน่น และปริมาตรของแก๊สที่ STP

วัสดุและอุปกรณ์

1. กระดาษแข็ง
2. ปากกาเมจิก
3. กรรไกร
4. กาว

วิธีทำกิจกรรม

1. ทาบแบบลูกบาศก์ลงบนกระดาษแข็ง แล้วตัดกระดาษแข็งตามแบบ



2. เขียนข้อความของปริมาณสารในแต่ละหน้าของลูกบาศก์ดังนี้

3. ระบุสูตรเคมีของแก๊ส กำหนดจำนวนโมล แล้วใส่จำนวนอนุภาค มวล และปริมาตรที่ STP ที่ได้จากการคำนวณ โดยเว้นการเติมข้อมูลความหนาแน่นที่ STP (ทั้งนี้อาจเว้นข้อมูลจำนวนอนุภาค มวล หรือปริมาตรที่ STP เพิ่มเติมได้)
4. แลกลูกบาศก์กับเพื่อน เพื่อเติมข้อมูลความหนาแน่นที่ STP (ทั้งนี้อาจให้เติมข้อมูลจำนวนอนุภาค มวล หรือปริมาตรที่ STP ที่เว้นไว้ก็ได้) จากนั้นเฉลยคำตอบร่วมกัน



แบบฝึกหัด 4.4

1. เปรียบเทียบจำนวนโมลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) ที่มีปริมาตร 5.6 มิลลิลิตร ที่ STP
 2. คำนวณมวล โมล จำนวนอนุภาค และปริมาตรที่ STP ของสารต่อไปนี้
- | แก๊ส | มวล (g) | โมล (mol) | จำนวนอนุภาค (โมเลกุลหรืออะตอม) | ปริมาตรที่ STP (L) |
|--------------------------|---------|-----------|--------------------------------|--------------------|
| โอโซน (O_3) | 2.40 | | | |
| คลอรีน (Cl_2) | 2.40 | | | |
| มีเทน (CH_4) | | | | 1.12 |
| อาร์กอน (Ar) | | | 3.01×10^{22} | |
3. แก๊สออกซิเจน (O_2) 48.0 กรัม มีความหนาแน่นเท่าใดที่ STP
 4. ความหนาแน่นที่ STP ของแก๊สฮีเลียม (He) มากกว่าหรือน้อยกว่าอากาศ เพราะเหตุใด
 5. คำนวณมวลโมเลกุลของแก๊สชนิดหนึ่งซึ่งมีความหนาแน่นที่ STP เป็น 1.79 กรัมต่อลิตร
 6. คำนวณมวลโมเลกุลของแก๊สชนิดหนึ่งซึ่งมีมวล 0.74 กรัม และมีปริมาตร 340.0 มิลลิลิตร ที่ STP

4.3 สูตรเคมี

สูตรเคมีเป็นสัญลักษณ์ที่เขียนแทนธาตุและสารประกอบ โดยแสดงชนิดและอัตราส่วนของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นสารประกอบหนึ่ง ๆ จะมีอัตราส่วนโดยโมลของอะตอมธาตุคงที่ นักเรียนคิดว่านักวิทยาศาสตร์ทราบเกี่ยวกับอัตราส่วนโดยโมลของอะตอมธาตุได้อย่างไร

4.3.1 กฎสัดส่วนคงที่

จากที่ได้ศึกษามาแล้วว่ามวลของสารสัมพันธ์กับจำนวนโมลของสาร ดังนั้น การพิจารณาอัตราส่วนโดยมวลของธาตุที่รวมตัวกันเกิดเป็นสารประกอบหนึ่ง ๆ สามารถนำไปสู่การคำนวณหาอัตราส่วนโดยโมลของอะตอมธาตุได้ เช่น เมื่อพิจารณาข้อมูลการนำทองแดงมาเผาพร้อมกับกำมะถัน ดังตาราง 4.5 จะสามารถคำนวณหาอัตราส่วนโดยโมลของทองแดงกับกำมะถันในสารประกอบคอปเปอร์(II)ซัลไฟด์ได้

ตาราง 4.5 ปริมาณของทองแดงต่อกำมะถันที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน

การทดลองที่	มวลของสารที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน	
	มวลของทองแดง (g)	มวลของกำมะถัน (g)
1	1.0	0.5
2	1.9	1.0
3	2.9	1.5
4	4.0	2.0
5	4.9	2.5



ชวนคิด

1. ในการทดลองแต่ละครั้ง อัตราส่วนระหว่างมวลของทองแดงต่อมวลของกำมะถันมีค่าเท่าใด และมีค่าเฉลี่ยเท่าใด
2. อัตราส่วนโดยโมลของทองแดงต่อกำมะถันที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน เป็นสารประกอบคอปเปอร์(II)ซัลไฟด์ มีค่าเฉลี่ยเท่าใด

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลในตาราง 4.5 ทำให้ทราบว่าอัตราส่วนโดยมวลของทองแดงต่อกำมะถันที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันมีค่าเท่ากับ 2 : 1 นอกจากนี้ยังพบว่าคอปเปอร์(II)ซัลไฟด์ ที่สังเคราะห์จากสารละลายที่มีคอปเปอร์(II)ไอออนทำปฏิกิริยากับสารละลายที่มีซัลไฟด์ไอออน ก็ให้สารประกอบที่มีอัตราส่วนโดยมวลของทองแดงต่อกำมะถันเท่ากับ 2 : 1 เช่นเดียวกัน จึงสรุปได้ว่าสารประกอบคอปเปอร์(II)ซัลไฟด์ ที่เตรียมด้วยวิธีใดก็ตาม อัตราส่วนโดยมวลของทองแดงต่อกำมะถันในสารประกอบจะคงที่เสมอ ซึ่งเป็นไปตาม **กฎสัดส่วนคงที่** (law of definite proportions) ที่ค้นพบโดย โจเซฟ ลุย พรูสต์ (Joseph Louis Proust) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส

เมื่อหาอัตราส่วนโดยโมลของทองแดงต่อกำมะถันที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันเป็นสารประกอบคอปเปอร์(II)ซัลไฟด์ โดยหารอัตราส่วนโดยมวลด้วยมวลอะตอมของธาตุแต่ละชนิด จะได้ค่าประมาณ 1 : 1 และอัตราส่วนโดยโมลของสารประกอบหนึ่ง ๆ จะมีค่าคงที่เช่นเดียวกับอัตราส่วนโดยมวล ซึ่งการคำนวณอัตราส่วนโดยโมลนี้เป็นขั้นตอนสำคัญในการหาสูตรเคมีของสารประกอบ

การคำนวณปริมาณของสารตามกฎสัดส่วนคงที่ศึกษาได้จากตัวอย่างต่อไปนี้



ตัวอย่าง 7

เมื่อเผาโลหะแมกนีเซียม (Mg) 2.64 กรัม ในอากาศ ได้แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) เกิดขึ้น 4.40 กรัม และเมื่อนำโลหะแมกนีเซียม 2.42 กรัม มาเผากับแก๊สออกซิเจน (O₂) 1.61 กรัม จะเกิดเป็นแมกนีเซียมออกไซด์ทั้งหมด ผลการทดลองนี้เป็นไปตามกฎสัดส่วนคงที่หรือไม่ และอัตราส่วนโดยโมลเฉลี่ยของแมกนีเซียมต่อออกซิเจนที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันเป็นสารประกอบนี้มีค่าเท่าใด

วิธีทำ

คำนวณอัตราส่วนโดยมวล

การทดลองที่หนึ่ง

$$\begin{aligned}\text{มวลของออกซิเจนในแมกนีเซียมออกไซด์} &= \text{มวลของแมกนีเซียมออกไซด์} - \text{มวลของแมกนีเซียม} \\ &= 4.40 \text{ g} - 2.64 \text{ g} \\ &= 1.76 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{อัตราส่วนโดยมวลของแมกนีเซียม : ออกซิเจน} &= 2.64 : 1.76 \\ &= 1.50 : 1.00\end{aligned}$$

การทดลองที่สอง

$$\begin{aligned}\text{อัตราส่วนโดยมวลของแมกนีเซียม : ออกซิเจน} &= 2.42 : 1.61 \\ &= 1.50 : 1.00\end{aligned}$$

ดังนั้นผลการทดลองทั้งสองครั้งเป็นไปตามกฎสัดส่วนคงที่

คำนวณอัตราส่วนโดยโมลเฉลี่ย

อัตราส่วนโดยมวลเฉลี่ยของแมกนีเซียมต่อออกซิเจนที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันเป็นสารประกอบเท่ากับ 1.50 : 1.00

$$\begin{aligned}\text{อัตราส่วนโดยโมลเฉลี่ยของแมกนีเซียม : ออกซิเจน} &= \frac{1.50}{24.30} : \frac{1.00}{16.00} \\ &= 0.0617 : 0.0625 \\ \text{หรือ} &= 1 : 1\end{aligned}$$

ดังนั้น อัตราส่วนโดยโมลเฉลี่ยของแมกนีเซียมต่อออกซิเจนเท่ากับ 1 : 1



แบบฝึกหัด 4.5

1. คาร์บอน (C) 1.20 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับแก๊สออกซิเจน (O_2) 3.20 กรัม ได้แก๊สไม่มีสีชนิดหนึ่ง แก๊สชนิดเดียวกันนี้สามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างกรดไฮโดรคลอริก (HCl) กับแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ซึ่งวิเคราะห์แล้วพบว่าแก๊สที่เกิดขึ้น 100 กรัม ประกอบด้วยคาร์บอน 27.25 กรัม ข้อมูลเหล่านี้เป็นไปตามกฎสัดส่วนคงที่หรือไม่เพราะเหตุใด
2. ในการเผาเหล็ก (Fe) 11.17 กรัม กับกำมะถัน (S) 9.00 กรัม พบว่ามีกำมะถันเหลืออยู่ 2.59 กรัม จงคำนวณอัตราส่วนโดยมวล และอัตราส่วนโดยโมลของสารประกอบที่เกิดขึ้น
3. โซเดียม (Na) 2.30 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับแก๊สคลอรีน (Cl_2) 3.55 กรัม เกิดเป็นเกลือโซเดียมคลอไรด์ ถ้านำเกลือโซเดียมคลอไรด์ 2.92 กรัม มาทำให้สลายตัวจะได้โซเดียมและแก๊สคลอรีนอย่างละกี่กรัม

4.3.2 ร้อยละโดยมวลของธาตุ

โดยทั่วไปอัตราส่วนโดยมวลของธาตุองค์ประกอบในสารประกอบแสดงในรูปของร้อยละโดยมวล ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{ร้อยละโดยมวลของธาตุ A ในสารประกอบ} = \frac{\text{มวลของธาตุ A}}{\text{มวลของสารประกอบ}} \times 100\%$$



ตัวอย่าง 8

ออกไซด์ของเหล็ก 159.69 กรัม ประกอบด้วยเหล็ก 111.69 กรัม จงคำนวณร้อยละโดยมวลของเหล็ก (Fe) และออกซิเจน (O) ในออกไซด์ของเหล็ก

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละโดยมวลของ Fe} &= \frac{111.69 \text{ g Fe}}{159.69 \text{ g oxide of Fe}} \times 100\% \\ &= 69.942 \% \text{ g Fe/g oxide of Fe} \end{aligned}$$

ดังนั้น สารประกอบออกไซด์ของเหล็กมีร้อยละโดยมวลของเหล็กเท่ากับ 69.942 และร้อยละโดยมวลของออกซิเจน = $100 - 69.942 = 30.058$

ในทางกลับกันหากทราบสูตรเคมีของสารประกอบ จะสามารถคำนวณหาร้อยละโดยมวลของธาตุองค์ประกอบได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้



ตัวอย่าง 9

จงคำนวณร้อยละโดยมวลของคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) ในคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไอน้ำ (H_2O) ตามลำดับ

วิธีทำ

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละโดยมวลของ C ใน } CO_2 &= \frac{12.01 \text{ g C}}{44.01 \text{ g } CO_2} \times 100\% \\ &= 27.29 \% \text{ g C/g } CO_2 \end{aligned}$$

ร้อยละโดยมวลของ H ใน H₂O

$$\begin{aligned}\text{ร้อยละโดยมวลของ H} &= \frac{2 \times 1.01 \text{ g H}}{18.02 \text{ g H}_2\text{O}} \times 100\% \\ &= 11.2 \% \text{ g H/g H}_2\text{O}\end{aligned}$$

ดังนั้น คาร์บอนไดออกไซด์มีร้อยละโดยมวลของคาร์บอนเท่ากับ 27.29 ส่วนน้ำมีร้อยละโดยมวลของไฮโดรเจนเท่ากับ 11.2



แบบฝึกหัด 4.6

1. พอร์มาลดีไฮด์ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) มีสมบัติเป็นแก๊สพิษที่มีกลิ่นฉุนใช้มากในอุตสาหกรรมพลาสติกและการดองสัตว์ ถ้าพอร์มาลดีไฮด์ 300 กรัม มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ 120 กรัม และ 20 กรัม ตามลำดับ จงคำนวณร้อยละโดยมวลของธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดในพอร์มาลดีไฮด์
2. จงคำนวณมวลเป็นร้อยละของธาตุแต่ละชนิดในสารต่อไปนี้
 - 2.1 พารา-ไดคลอโรเบนซีน (C₆H₄Cl₂) ซึ่งเป็นส่วนผสมหนึ่งของลูกเหม็น
 - 2.2 ทิน(II)ฟลูออไรด์ (SnF₂) ซึ่งเป็นส่วนผสมของยาสีฟันบางชนิด
3. จงคำนวณมวลเป็นกรัมของออกซิเจนในแร่ควอตซ์ (SiO₂) และหินปูน (CaCO₃) อย่างละ 1.00 กิโลกรัม
4. สารตัวอย่าง 0.500 กรัม ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) เมื่อเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ พบว่าเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) 0.687 กรัม และไอน้ำ (H₂O) 0.140 กรัม จงคำนวณร้อยละโดยมวลของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนในสารตัวอย่าง

4.3.3 การหาสูตรโมเลกุลและสูตรอย่างง่าย

จากกฎสัดส่วนคงที่ จะได้ข้อมูลอัตราส่วนโดยมวลและร้อยละโดยมวลของธาตุในสารประกอบ ซึ่งสามารถนำมาใช้หาอัตราส่วนโดยโมลเพื่อหาสูตรอย่างง่ายหรือสูตรเอมพิริคัล และสูตรโมเลกุลของสารประกอบได้

สูตรโมเลกุล (molecular formula) เป็นสูตรที่แสดงจำนวนอะตอมของธาตุองค์ประกอบที่มีอยู่จริงใน 1 โมเลกุลของสาร เช่น น้ำ มีสูตรโมเลกุลเป็น H₂O แสดงว่า 1 โมเลกุลประกอบด้วยไฮโดรเจน 2 อะตอม และออกซิเจน 1 อะตอม

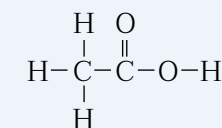
สูตรอย่างง่ายหรือสูตรเอมพิริคัล (empirical formula) เป็นสูตรที่แสดงอัตราส่วนอย่างต่ำของจำนวนอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ เช่น กลูโคส มีสูตรโมเลกุลเป็น C₆H₁₂O₆ อัตราส่วนของจำนวนอะตอมหรือโมลของ C : H : O เท่ากับ 1 : 2 : 1 กลูโคสจึงมีสูตรเอมพิริคัลเป็น CH₂O

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้น} \quad \text{สูตรโมเลกุล} &= (\text{สูตรเอมพิริคัล})_n \\ \text{หรือ} \quad \text{มวลโมเลกุล} &= n (\text{มวลสูตรเอมพิริคัล})\end{aligned}$$



รู้หรือไม่

นอกจากสูตรโมเลกุลและสูตรอย่างง่ายแล้ว สูตรเคมียังมีสูตรโครงสร้าง (structural formula) ซึ่งแสดงการเชื่อมต่อของอะตอมของธาตุองค์ประกอบในโมเลกุลของสารนั้น เช่น กรดแอสซิติค มีสูตรโมเลกุลเป็น C₂H₄O₂ และมีสูตรโครงสร้างดังนี้



สูตรโมเลกุลและสูตรเอมพิริคัลของสารบางชนิด แสดงในตาราง 4.6

ตาราง 4.6 สูตรโมเลกุลและสูตรเอมพิริคัลของสารบางชนิด

ชื่อสาร	สูตรโมเลกุล	สูตรเอมพิริคัล
น้ำ	H ₂ O	H ₂ O
กรดไฮโดรคลอริก (กรดเกลือ)	HCl	HCl
โพรเพน	C ₃ H ₆	CH ₂
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	H ₂ O ₂	HO
กรดแอสติก (กรดน้ำส้ม)	C ₂ H ₄ O ₂	CH ₂ O
กลูโคส	C ₆ H ₁₂ O ₆	CH ₂ O
โพแทสเซียมไนเตรต (ดินประสิว)	-	KNO ₃
โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (ด่างทับทิม)	-	KMnO ₄
แมกนีเซียมซัลเฟต (ดีเกลือ)	-	MgSO ₄

หมายเหตุ *ชื่อในวงเล็บเป็นชื่อสามัญ

จากข้อมูลในตารางแสดงว่า สารโคเวเลนต์มีทั้งสูตรโมเลกุลและสูตรเอมพิริคัล ซึ่งอาจเหมือนกันหรือต่างกัน ส่วนสารประกอบไอออนิกมีแต่สูตรเอมพิริคัลเท่านั้น



รู้หรือไม่

สารบางชนิดมี **น้ำผลึก** เป็นองค์ประกอบของสารนั้นด้วย เช่น CuSO₄·5H₂O ซึ่งมีน้ำผลึกอยู่ 5 โมเลกุล หากให้ความร้อนแล้วสามารถไล่น้ำผลึกออกไปจนหมดสุดท้ายจะเหลือเพียง CuSO₄

การหาสูตรเอมพิริคัลของสารประกอบจะต้องทราบชนิดและปริมาณของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ จากนั้นคำนวณอัตราส่วนโดยโมลของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ แล้วทำให้เป็นอัตราส่วนอย่างต่ำดังตัวอย่าง



ตัวอย่าง 10

สารประกอบชนิดหนึ่งจำนวน 20.88 กรัม ประกอบด้วยโซเดียม (Na) 6.07 กรัม กำมะถัน (S) 8.47 กรัม และออกซิเจน (O) 6.34 กรัม จงคำนวณสูตรเอมพิริคัลของสารประกอบนี้

วิธีทำ

อัตราส่วนโดยมวลของ Na : S : O = 6.07 : 8.47 : 6.34

อัตราส่วนโดยโมลเป็นดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Na} : \text{S} : \text{O} &= 6.07 \text{ g Na} \times \frac{1 \text{ mol Na}}{22.99 \text{ g Na}} : 8.47 \text{ g S} \times \frac{1 \text{ mol S}}{32.06 \text{ g S}} : 6.34 \text{ g O} \times \frac{1 \text{ mol O}}{16.00 \text{ g O}} \\ &= 0.264 \text{ mol} : 0.264 \text{ mol} : 0.396 \text{ mol} \end{aligned}$$

หารด้วย 0.264 ซึ่งเป็นเลขจำนวนน้อยที่สุด

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนโดยโมลของ Na} : \text{S} : \text{O} &= \frac{0.264}{0.264} : \frac{0.264}{0.264} : \frac{0.396}{0.264} \\ &= 1.00 : 1.00 : 1.50 \end{aligned}$$

จำนวนโมลของอะตอมของออกซิเจนเป็นเลขที่มีจุดทศนิยม จึงต้องหาตัวเลขที่เหมาะสมมาคูณ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นเลขจำนวนเต็มหรือใกล้เคียงจำนวนเต็ม เช่น เมื่อคูณด้วย 2 จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนโดยโมลของ Na} : \text{S} : \text{O} &= 1.00 \times 2 : 1.00 \times 2 : 1.50 \times 2 \\ &= 2.00 : 2.00 : 3.00 \\ \text{หรือ} &= 2 : 2 : 3 \end{aligned}$$

ดังนั้น สูตรเอมพิริคัลของสารประกอบนี้คือ Na₂S₂O₃

การคำนวณในตัวอย่าง 10 อาจทำเป็นตาราง ได้ดังนี้

	Na	S	O
มวล (g)	6.07	8.47	6.34
โมล (mol)	$6.07 \text{ g Na} \times \frac{1 \text{ mol Na}}{22.99 \text{ g Na}} = 0.264$	$8.47 \text{ g S} \times \frac{1 \text{ mol S}}{32.06 \text{ g S}} = 0.264$	$6.34 \text{ g O} \times \frac{1 \text{ mol O}}{16.00 \text{ g O}} = 0.396$
หารด้วยเลขจำนวนน้อยที่สุด	$\frac{0.264}{0.264} = 1.00$	$\frac{0.264}{0.264} = 1.00$	$\frac{0.396}{0.264} = 1.50$
ทำให้เป็นเลขจำนวนเต็ม (โดยหาตัวเลขมาคูณ)	$1.00 \times 2 = 2.00$	$1.00 \times 2 = 2.00$	$1.50 \times 2 = 3.00$
สูตรเอมพิริคัล	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$		

ในกรณีที่อัตราส่วนโดยโมลที่ได้มีตัวเลขหลังจุดทศนิยมน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.2 ให้ปัดลง เช่น 1.1 : 1 ปัดเป็น 1 : 1 ถ้าตัวเลขหลังจุดทศนิยมมากกว่าหรือเท่ากับ 0.8 ให้ปัดขึ้น เช่น 1.9 : 1 ปัดเป็น 2 : 1 แต่ถ้าตัวเลขหลังจุดทศนิยมอยู่ระหว่าง 0.2 – 0.8 ต้องหาตัวเลขที่น้อยที่สุดมาคูณเพื่อสามารถทำให้เป็นเลขจำนวนเต็มได้ เช่น 1 : 1.7 ต้องคูณด้วย 3 จะได้ 3 : 5.1 ซึ่งทำเป็นจำนวนเต็มเท่ากับ 3 : 5



ตัวอย่าง 11

จากการวิเคราะห์สารประกอบชนิดหนึ่งพบว่าประกอบด้วยกำมะถัน (S) ร้อยละ 50.0 โดยมวล และออกซิเจน (O) ร้อยละ 50.0 โดยมวล จงหาสูตรเอมพิริคัลของสารนี้

วิธีทำ

โจทย์กำหนดธาตุองค์ประกอบเป็นร้อยละโดยมวล จึงคิดได้ว่าสารประกอบ 100.0 กรัม ประกอบด้วยกำมะถัน 50.0 กรัม และออกซิเจน 50.0 กรัม ดังนั้นจำนวนโมลของอะตอมของแต่ละธาตุเป็นดังนี้

$$\text{จำนวนโมลของ S} = 50.0 \text{ g S} \times \frac{1 \text{ mol S}}{32.06 \text{ g S}} = 1.56 \text{ mol S}$$

$$\text{จำนวนโมลของ O} = 50.0 \text{ g O} \times \frac{1 \text{ mol O}}{16.00 \text{ g O}} = 3.12 \text{ mol O}$$

$$\text{อัตราส่วนโดยโมลของ S : O} = 1.56 : 3.12$$

หารด้วย 1.56 ซึ่งเป็นเลขจำนวนน้อยที่สุด

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนโดยโมลของ S : O} &= \frac{1.56}{1.56} : \frac{3.12}{1.56} \\ &= 1.00 : 2.00 \\ &= 1 : 2 \end{aligned}$$

ดังนั้น สูตรเอมพิริคัลของสารประกอบนี้คือ SO_2

การหาสูตรโมเลกุลของสาร ต้องทราบสูตรเอมพิริคัลและมวลโมเลกุลของสารนั้น ดังตัวอย่าง



ตัวอย่าง 12

สารประกอบชนิดหนึ่งมีองค์ประกอบเป็นคาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) และไฮโดรเจน (H) ถ้านำสารชนิดนี้ 1.85 กรัม ไปเผาอย่างสมบูรณ์ พบว่า เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 2.02 ลิตร น้ำ (H_2O) 0.68 กรัม และแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) 0.34 ลิตร ที่ STP ตามลำดับ จงคำนวณสูตรเคมีและสูตรโมเลกุลของสารประกอบนี้เมื่อกำหนดให้มวลโมเลกุลของสารประกอบนี้เท่ากับ 123

วิธีทำ

หามวลของคาร์บอน

คาร์บอนในสารประกอบเกิดเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด

$$\begin{aligned}\text{มวลของ C} &= 2.02 \text{ L } \cancel{\text{CO}_2} \times \frac{1 \text{ mol } \cancel{\text{CO}_2}}{22.4 \text{ L } \cancel{\text{CO}_2}} \times \frac{1 \text{ mol } \cancel{\text{C}}}{1 \text{ mol } \cancel{\text{CO}_2}} \times \frac{12.01 \text{ g C}}{1 \text{ mol } \cancel{\text{C}}} \\ &= 1.08 \text{ g C}\end{aligned}$$

หามวลของไฮโดรเจน

ไฮโดรเจนในสารประกอบเกิดเป็นน้ำทั้งหมด

$$\begin{aligned}\text{มวลของ H} &= 0.68 \text{ g } \cancel{\text{H}_2\text{O}} \times \frac{1 \text{ mol } \cancel{\text{H}_2\text{O}}}{18.02 \text{ g } \cancel{\text{H}_2\text{O}}} \times \frac{2 \text{ mol } \cancel{\text{H}}}{1 \text{ mol } \cancel{\text{H}_2\text{O}}} \times \frac{1.01 \text{ g H}}{1 \text{ mol } \cancel{\text{H}}} \\ &= 0.076 \text{ g H}\end{aligned}$$

หามวลของไนโตรเจน

ไนโตรเจนในสารประกอบเกิดเป็นแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ทั้งหมด

$$\begin{aligned}\text{มวลของ N} &= 0.34 \text{ L } \cancel{\text{NO}_2} \times \frac{1 \text{ mol } \cancel{\text{NO}_2}}{22.4 \text{ L } \cancel{\text{NO}_2}} \times \frac{1 \text{ mol } \cancel{\text{N}}}{1 \text{ mol } \cancel{\text{NO}_2}} \times \frac{14.01 \text{ g N}}{1 \text{ mol } \cancel{\text{N}}} \\ &= 0.21 \text{ g N}\end{aligned}$$

หามวลของออกซิเจน

เนื่องจากมวลของสารประกอบเท่ากับผลรวมของมวลของธาตุองค์ประกอบ

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้น มวลของออกซิเจน} &= 1.85 - 1.08 - 0.076 - 0.21 \text{ g} \\ &= 0.48 \text{ g}\end{aligned}$$

หาสูตรเคมีของสารประกอบ

$$\text{อัตราส่วนโดยมวลของ C : H : N : O} = 1.08 : 0.076 : 0.21 : 0.48$$

$$\begin{aligned}\text{อัตราส่วนโดยโมลของ C : H : N : O} &= \frac{1.08}{12.01} : \frac{0.076}{1.01} : \frac{0.21}{14.01} : \frac{0.48}{16.00} \\ &= 0.0899 : 0.075 : 0.015 : 0.030\end{aligned}$$

หารด้วย 0.015 ซึ่งเป็นเลขจำนวนน้อยที่สุด

$$\begin{aligned}\text{อัตราส่วนโดยโมลของ C : H : N : O} &= \frac{0.0899}{0.015} : \frac{0.075}{0.015} : \frac{0.015}{0.015} : \frac{0.030}{0.015} \\ &= 6.0 : 5.0 : 1.0 : 2.0\end{aligned}$$

ดังนั้น สูตรเคมีของสารประกอบนี้คือ $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$

หาสูตรโมเลกุลของสารประกอบ

โจทย์กำหนดมวลโมเลกุลของสารเท่ากับ 123

หามวลสูตรเคมี

$$\begin{aligned}\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 &= (6 \times 12.01) + (5 \times 1.01) + (1 \times 14.01) + (2 \times 16.00) \\ &= 123.12\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{จาก สูตรโมเลกุล} &= (\text{สูตรเคมี})_n \\ \text{หรือ มวลโมเลกุล} &= n(\text{มวลสูตรเคมี}) \\ 123 &= n(123.12) \\ n &= 1\end{aligned}$$

ดังนั้น สูตรโมเลกุลของสารประกอบนี้คือ $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$



ตัวอย่าง 13

จากการวิเคราะห์การเผาไหม้ของสารประกอบชนิดหนึ่งซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) พบว่าให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 0.0497 กรัม และไอน้ำ (H_2O) 0.0249 กรัม จงคำนวณ

1. สูตรเอมพิริคัลของสารประกอบนี้
2. สูตรโมเลกุล ถ้ามวลโมเลกุลของสารประกอบนี้เท่ากับ 58.12

วิธีทำ

1. หาสูตรเอมพิริคัล

หามวลของ C ใน CO_2 และ H ใน H_2O ดังนี้

$$\text{มวลของ C} = 0.0497 \text{ g } \cancel{\text{CO}_2} \times \frac{12.01 \text{ g C}}{44.01 \text{ g } \cancel{\text{CO}_2}} = 0.0136 \text{ g C}$$

$$\text{มวลของ H} = 0.0249 \text{ g } \cancel{\text{H}_2\text{O}} \times \frac{2 \times 1.01 \text{ g H}}{18.02 \text{ g } \cancel{\text{H}_2\text{O}}} = 0.00279 \text{ g H}$$

$$\text{อัตราส่วนโดยมวลของ C : H} = 0.0136 : 0.00279$$

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนโดยโมลของ C : H} &= \frac{0.0136}{12.01} : \frac{0.00279}{1.01} \\ &= 0.00113 : 0.00276 \end{aligned}$$

หารด้วย 0.00113 ซึ่งเป็นเลขจำนวนน้อยที่สุด

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนโดยโมลของ C : H} &= \frac{0.00113}{0.00113} : \frac{0.00276}{0.00113} \\ &= 1.00 : 2.44 \end{aligned}$$

จำนวนโมลของไฮโดรเจนเป็นเลขที่มีจุดทศนิยม จึงต้องหาตัวเลขที่เหมาะสมมาคูณ

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนโดยโมลของ C : H} &= 1.00 \times 2 : 2.44 \times 2 \\ &= 2.00 : 4.88 \\ \text{หรือ} &= 2 : 5 \end{aligned}$$

ดังนั้น สูตรเอมพิริคัลของสารประกอบนี้คือ C_2H_5

2. หาสูตรโมเลกุล

โจทย์กำหนดมวลโมเลกุลของสารเท่ากับ 58.12

หามวลสูตรเอมพิริคัล

$$\begin{aligned} \text{C}_2\text{H}_5 &= (2 \times 12.01) + (5 \times 1.01) \\ &= 29.07 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จาก สูตรโมเลกุล} &= (\text{สูตรเอมพิริคัล})_n \\ \text{หรือ มวลโมเลกุล} &= n(\text{มวลสูตรเอมพิริคัล}) \\ 58.12 &= n(29.07) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{58.12}{29.07} \\ &= 2 \end{aligned}$$

ดังนั้น สูตรโมเลกุลของสารประกอบนี้คือ $(\text{C}_2\text{H}_5)_2 = \text{C}_4\text{H}_{10}$

จากตัวอย่างข้างต้น ถ้านักเคมีสามารถสังเคราะห์สารใหม่ที่ไม่ทราบสูตรโมเลกุล สามารถหาสูตรอย่างง่ายหรือสูตรเอมพิริคัลได้ โดยอาจนำสารตัวอย่างไปเผาเพื่อหาร้อยละของธาตุองค์ประกอบ จากนั้นอาจนำสารตัวอย่างมาหามวลโมเลกุลด้วยเครื่องแมสสเปกโตรมิเตอร์ (mass spectrometer) แล้วนำมาคำนวณสูตรโมเลกุลของสารตัวอย่างได้



แบบฝึกหัด 4.7

1. คำนวณสูตรเคมีของสารที่ประกอบด้วยร้อยละโดยมวลของธาตุองค์ประกอบ ดังนี้

ข้อ	ร้อยละโดยมวลของธาตุองค์ประกอบ		
	โพแทสเซียม (K)	คลอรีน (Cl)	ออกซิเจน (O)
1.1	43.18	39.15	17.67
1.2	31.90	28.93	39.17
1.3	28.22	25.59	46.19

2. เมื่อฟอสฟอรัส (P) 9.29 กรัม เกิดการเผาไหม้จะได้สารประกอบออกไซด์มวล 21.29 กรัม จงหาสูตรเคมีของสารประกอบออกไซด์
3. สารประกอบชนิดหนึ่งประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) เท่านั้น จากการวิเคราะห์พบว่ามีคาร์บอนร้อยละ 48.83 และไฮโดรเจนร้อยละ 8.12 โดยมวล จงหาสูตรเคมีของสารประกอบนี้
4. เมื่อนำสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่งมาเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 6.60 กรัม และไอน้ำ (H_2O) 4.10 กรัม จงหาสูตรเคมีของสารประกอบนี้
5. สารประกอบชนิดหนึ่งประกอบด้วยกำมะถัน (S) และไนโตรเจน (N) เท่านั้น ถ้าสารประกอบนี้มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบร้อยละ 69.60 โดยมวล และมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 184 จงหาสูตรโมเลกุลของสารประกอบนี้
6. กรดซอร์บิก (sorbic acid) ใช้ผสมในอาหารเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์บางชนิด สารนี้มีมวลโมเลกุล 112.13 ประกอบด้วยคาร์บอน (C) ร้อยละ 64.3 ไฮโดรเจน (H) ร้อยละ 7.2 และออกซิเจน (O) ร้อยละ 28.5 โดยมวล จงหาสูตรโมเลกุลของกรดซอร์บิก
7. แก๊สชนิดหนึ่งประกอบด้วยคาร์บอน (C) ร้อยละ 79.89 และไฮโดรเจน (H) ร้อยละ 20.11 โดยมวล และมีความหนาแน่น 1.34 กรัมต่อลิตร ที่ STP จงหาสูตรโมเลกุลของแก๊สนี้



สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

มวลอะตอมเป็นมวลของธาตุ 1 อะตอม แต่อะตอมมีขนาดเล็กมาก ไม่สามารถชั่งมวลได้โดยตรง จึงนิยมใช้มวลอะตอมสัมพัทธ์ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบมวลอะตอมกับมวลของธาตุมาตรฐาน มวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุเป็นค่าเฉลี่ยจากค่ามวลอะตอมของแต่ละไอโซโทปของธาตุนั้นตามปริมาณที่มีในธรรมชาติ มวลโมเลกุลและมวลสูตรเป็นผลรวมของมวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารนั้น

โมลเป็นปริมาณสารที่มีจำนวนอนุภาคเท่ากับค่าคงตัวอาโวกาโดร คือ 6.02×10^{23} อนุภาค มวลของสาร 1 โมล ในหน่วยกรัมหรือ มวลต่อโมล มีค่าเป็นตัวเลขเท่ากับมวลอะตอมมวลโมเลกุล หรือมวลสูตรของสารนั้น และปริมาตรของสารที่มีสถานะแก๊ส 1 โมล จะมีค่าเป็น 22.4 ลิตรที่ STP

สารประกอบเกิดจากการรวมตัวของธาตุตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป โดยมีอัตราส่วนโดยมวลของธาตุองค์ประกอบคงที่ตามกฎสัดส่วนคงที่ อัตราส่วนโดยมวลของธาตุองค์ประกอบในสารประกอบสามารถแสดงในรูปของร้อยละโดยมวล ซึ่งสามารถใช้หาอัตราส่วนอย่างต่ำโดยโมลของธาตุองค์ประกอบในสารนั้นและแสดงได้ด้วยสูตรเคมีหรือสูตรอย่างง่าย และถ้าทราบมวลโมเลกุลของสารจะสามารถแสดงสูตรโมเลกุลของสารได้



แบบฝึกหัดท้ายบท

1. จงตอบคำถามต่อไปนี้

- 1.1 ^{12}C มีมวลอะตอมในหน่วยของหน่วยมวลอะตอม (u) และกรัม และมวลอะตอมสัมพัทธ์เป็นเท่าใด
- 1.2 คาร์บอนมีมวลอะตอมเฉลี่ยเป็นเท่าใด
- 1.3 มวลอะตอม มวลอะตอมสัมพัทธ์ และมวลอะตอมเฉลี่ยเหมือนและต่างกันอย่างไร

2. สารละลายในข้อใด มีมวลมากที่สุด

ข้อ	ส่วนผสมของสารละลาย	
	สารเคมี	น้ำ
2.1	HCl 0.500 mol	10.0 mL
2.2	NaCl 0.300 mol	15.0 mL
2.3	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.070 mol	20.0 mL
2.4	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 0.010 mol	25.0 mL

3. จงหามวลของโซเดียม (Na) ที่มีจำนวนอะตอมเท่ากับโพแทสเซียม (K) 8.00 กรัม
4. ภาชนะใบหนึ่งมีมวล 400.00 กรัม เมื่อนำมาบรรจุแก๊สไนโตรเจน (N_2) ที่ STP จนเต็มจะมีมวลเท่ากับ 408.11 กรัม ถ้านำภาชนะใบนี้มาบรรจุน้ำจนเต็มจะมีมวลเป็นเท่าใด
5. จงหาความหนาแน่นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ STP ในหน่วยกรัมต่อลิตร
6. ตะกั่ว (Pb) มีมวลอะตอม 207.2 มีความหนาแน่น 11.4 กรัมต่อมิลลิลิตร จงคำนวณ
 - 6.1 ปริมาตรของตะกั่ว 1 โมล
 - 6.2 ปริมาตรของตะกั่ว 1 อะตอม

7. แอมเฟตามีน (amphetamine) มีสูตร $\text{C}_9\text{H}_{13}\text{N}$ มีความหนาแน่น 0.949 กรัมต่อมิลลิลิตร จงคำนวณ
 - 7.1 จำนวนโมลของแอมเฟตามีน 6.75 กรัม
 - 7.2 ปริมาตรของแอมเฟตามีน 1.25 โมล
 - 7.3 จำนวนอะตอมของธาตุองค์ประกอบในแอมเฟตามีน 18.04 กรัม
8. ธาตุ A จำนวน 0.500 โมล ทำปฏิกิริยาพอดีกับแก๊สคลอรีน (Cl_2) 16.8 ลิตร ที่ STP เกิดเป็นสารประกอบ B เพียงอย่างเดียว จำนวน 0.500 โมล ถ้ากำหนดให้สารประกอบ B มีมวลต่อโมลเท่ากับ 133.33 กรัม จงคำนวณมวลต่อโมลของอะตอมธาตุ A
9. เมื่อสาร Z 15.0 กรัม กลายเป็นไอหมดจะมีปริมาตร 5.6 ลิตร ที่ STP มวลโมเลกุลของสาร Z มีค่าเท่าใด
10. ดีเกลือเป็นสารเคมีที่สามารถดูดความชื้นได้ดี สูตรเคมีทั่วไปของดีเกลือคือ $\text{MgSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ถ้านำดีเกลือมาวิเคราะห์พบว่า มีแมกนีเซียม (Mg) อยู่ร้อยละ 9.86 โดยมวล จงคำนวณสูตรเคมีของดีเกลือ
11. ของเหลวชนิดหนึ่งปริมาตร 1.758×10^{-2} ลิตร มีความหนาแน่นเท่ากับ 2.480 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเป็นแก๊สจะมีปริมาตร 16.80 ลิตร ที่ STP เมื่อนำสารชนิดนี้มาวิเคราะห์องค์ประกอบพบว่า มีร้อยละโดยมวลของธาตุคาร์บอน (C) และธาตุไฮโดรเจน (H) เท่ากับ 82.628 และ 17.372 ตามลำดับ จงคำนวณสูตรโมเลกุลของสารชนิดนี้
12. ดีลด์ริน (dieldrin) เป็นสารฆ่าแมลงประเภทเดียวกับ ดี.ดี.ที. ที่มีผลตกค้างต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก โมเลกุลของดีลด์รินประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) และคลอรีน (Cl) การเผาไหม้ของดีลด์ริน 29.72 มิลลิกรัม ทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 41.21 มิลลิกรัม และไอน้ำ (H_2O) 5.63 มิลลิกรัม และในการวิเคราะห์ดีลด์รินจำนวน 25.31 มิลลิกรัม จะได้ตะกอนซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl) 57.13 มิลลิกรัม จงหาสูตรเอมพิริคัลของดีลด์ริน