หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔

เคมี
เล่ม ๒

ตามผลการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

ตารางธาตุ

1 IA	2 IIA	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8	9 VIIIB	10	11 IB	12 IIB	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA
1 H hydrogen 1.01																	2 He helium 4.00
3 Li lithium 6.94	4 Be beryllium 9.01											5 B boron 10.81	6 C carbon 12.01	7 N nitrogen 14.01	8 O oxygen 16.00	9 F fluorine 19.00	10 Ne neon 20.18
11 Na sodium 22.99	12 Mg magnesium 24.30											13 Al aluminium 26.98	14 Si silicon 28.08	15 P phosphorus 30.97	16 S sulfur 32.06	17 Cl chlorine 35.45	18 Ar argon 39.95
19 K potassium 39.10	20 Ca calcium 40.08	21 Sc scandium 44.96	22 Ti titanium 47.87	23 V vanadium 50.94	24 Cr chromium 52.00	25 Mn manganese 54.94	26 Fe iron 55.85	27 Co cobalt 58.93	28 Ni nickel 58.69	29 Cu copper 63.55	30 Zn zinc 65.38	31 Ga gallium 69.72	32 Ge germanium 72.63	33 As arsenic 74.92	34 Se selenium 78.97	35 Br bromine 79.90	36 Kr krypton 83.80
37 Rb rubidium 85.47	38 Sr strontium 87.62	39 Y yttrium 88.91	40 Zr zirconium 91.22	41 Nb niobium 92.91	42 Mo molybdenum 95.95	43 Tc technetium	44 Ru ruthenium 101.07	45 Rh rhodium 102.91	46 Pd palladium 106.42	47 Ag silver 107.87	48 Cd cadmium 112.41	49 In indium 114.82	50 Sn tin 118.71	51 Sb antimony 121.76	52 Te tellurium 127.60	53 I iodine 126.90	54 Xe xenon 131.29
55 Cs caesium 132.91	56 Ba barium 137.33	57-71 lanthanoids *	72 Hf hafnium 178.49	73 Ta tantalum 180.95	74 W tungsten 183.84	75 Re rhenium 186.21	76 Os osmium 190.23	77 Ir iridium 192.22	78 Pt platinum 195.08	79 Au gold 196.97	80 Hg mercury 200.59	81 Tl thallium 204.38	82 Pb lead 207.20	83 Bi bismuth 208.98	84 Po polonium	85 At astatine	86 Rn radon
87 Fr francium	88 Ra radium	89-103 actinoids **	104 Rf rutherfordium	105 Db dubnium	106 Sg seaborgium	107 Bh bohrium	108 Hs hassium	109 Mt meitnerium	110 Ds darmstadtium	111 Rg roentgenium	112 Cn copernicium	113 Nh nihonium	114 Fl flerovium	115 Mc moscovium	116 Lv livermorium	117 Ts tennessine	118 Og oganesson

กลุ่มธาตุ *แลนทานอยด์	57 La lanthanum 138.91	58 Ce cerium 140.12	59 Pr praseodymium 140.91	60 Nd neodymium 144.24	61 Pm promethium	62 Sm samarium 150.36	63 Eu europium 151.96	64 Gd gadolinium 157.25	65 Tb terbium 158.93	66 Dy dysprosium 162.50	67 Ho holmium 164.93	68 Er erbium 167.26	69 Tm thulium 168.93	70 Yb ytterbium 173.05	71 Lu lutetium 174.97
กลุ่มธาตุ **แอกทินอยด์	89 Ac actinium	90 Th thorium 232.04	91 Pa protactinium 231.04	92 U uranium 238.03	93 Np neptunium	94 Pu plutonium	95 Am americium	96 Cm curium	97 Bk berkelium	98 Cf californium	99 Es einsteinium	100 Fm fermium	101 Md mendelevium	102 No nobelium	103 Lr lawrencium

หนังสือเรียน

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เคมี

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๒

ตามผลการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

จัดทำเป็นฉบับ e-book ครั้งที่ ๑ พ.ศ.๒๕๖๓

มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียนฉบับ e-book นี้ขึ้น โดยมีเนื้อหาเช่นเดียวกับหนังสือเรียน สสวท. ฉบับสื่อสิ่งพิมพ์ที่ได้จัดทำตามมาตรฐานหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ทุกประการ เพื่ออำนวยความสะดวกในการเข้าถึงหนังสือเรียน สสวท. ผ่านเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อให้นักเรียน ครู ผู้ปกครอง นักวิชาการ และ ผู้สนใจทั่วไปเข้าถึงได้ง่ายและสะดวกรวดเร็ว รวมทั้งสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมกับจุดประสงค์ต่างๆ ทั้งนี้ สสวท. ขอสงวนสิทธิ์ในหนังสือเรียนฉบับ e-book นี้ตามกฎหมายลิขสิทธิ์ ห้ามผู้ใดทำซ้ำ คัดลอก ดัดแปลง เลียนแบบ จำหน่าย หรือ เผยแพร่โดยมิได้รับอนุญาต

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ 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 ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดียิ่งจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบัน และสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

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

(ศาสตราจารย์ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)
ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

เคมี เล่ม ๒ **กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)**
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ **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 โมแลลิตี และเศษส่วนโมล ศึกษาการเตรียมสารละลายจากสารบริสุทธิ์และจากการเจือจางสารละลายเข้มข้น เปรียบเทียบจุดเดือดและจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์และสารละลาย

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

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. 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

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

หนังสือเรียนเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ในการศึกษาเนื้อหาที่สำคัญและเกิดทักษะที่จำเป็นที่สอดคล้องกับมาตรฐานและสาระการเรียนรู้ รวมทั้งยังมีสื่อ AR ที่ช่วยเสริมการเรียนรู้ของนักเรียนและสามารถเชื่อมต่อไปยังเว็บไซต์รายการสื่อเพิ่มเติมได้จาก QR code หรือ URL ที่อยู่ประจำแต่ละบท การทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียนจะช่วยให้ผู้เรียนใช้หนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียนมีดังนี้

คำถามสำคัญ

คำถามประจำบทที่นักเรียนต้องอาศัยความรู้ทั้งหมดในบทเรียนในการตอบคำถาม ซึ่งนักเรียนควรตอบได้หลังจากได้เรียนรู้ในบทนั้นแล้ว

จุดประสงค์การเรียนรู้

เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งนักเรียนควรศึกษาทำความเข้าใจก่อนเริ่มเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ชุดคำถามที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน ซึ่งนักเรียนควรตอบคำถามให้ถูกต้องทั้งหมด หากไม่ถูกต้องควรทบทวนเนื้อหานั้นก่อนเริ่มการเรียนรู้เรื่องใหม่ในแต่ละบท

ชวนคิด

คำถามระหว่างเรียนที่เชื่อมโยงหรือต่อยอดความรู้เดิมที่ศึกษาแล้วกับความรู้ใหม่หรือความรู้ในศาสตร์อื่นเพื่อให้นักเรียนเห็นความสัมพันธ์หรือความต่อเนื่องของเนื้อหา

ตรวจสอบความเข้าใจ

คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยประเมินการเรียนรู้ ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบว่า ตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาแล้วหรือยัง

แบบฝึกหัด

คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยเสริมให้เกิดทักษะและความรู้ในบทเรียน ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบความเข้าใจของเนื้อหาและฝึกฝนตนเองให้มีทักษะที่จำเป็นตามจุดประสงค์การเรียนรู้ได้

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

กิจกรรม

การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งนักเรียนควรลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง

ตัวอย่าง

การแสดงแนวทางการตอบคำถามหรือการแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งนักเรียนสามารถศึกษาเพื่อให้มีความเข้าใจในเนื้อหาบทเรียนมากขึ้น

ความรู้เพิ่มเติม

ความรู้ที่เพิ่มเติมจากเนื้อหาในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีการวัดและประเมินผล

รู้หรือไม่

ความรู้ที่เชื่อมโยงให้เห็นความสอดคล้องของเนื้อหาบทเรียนกับปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน

สื่อ AR (Augmented Reality)

สื่อเสริมการเรียนรู้ที่ใช้เทคโนโลยี AR ผู้เรียนสามารถดาวน์โหลดเพื่อใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน "AR วิทย์ 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

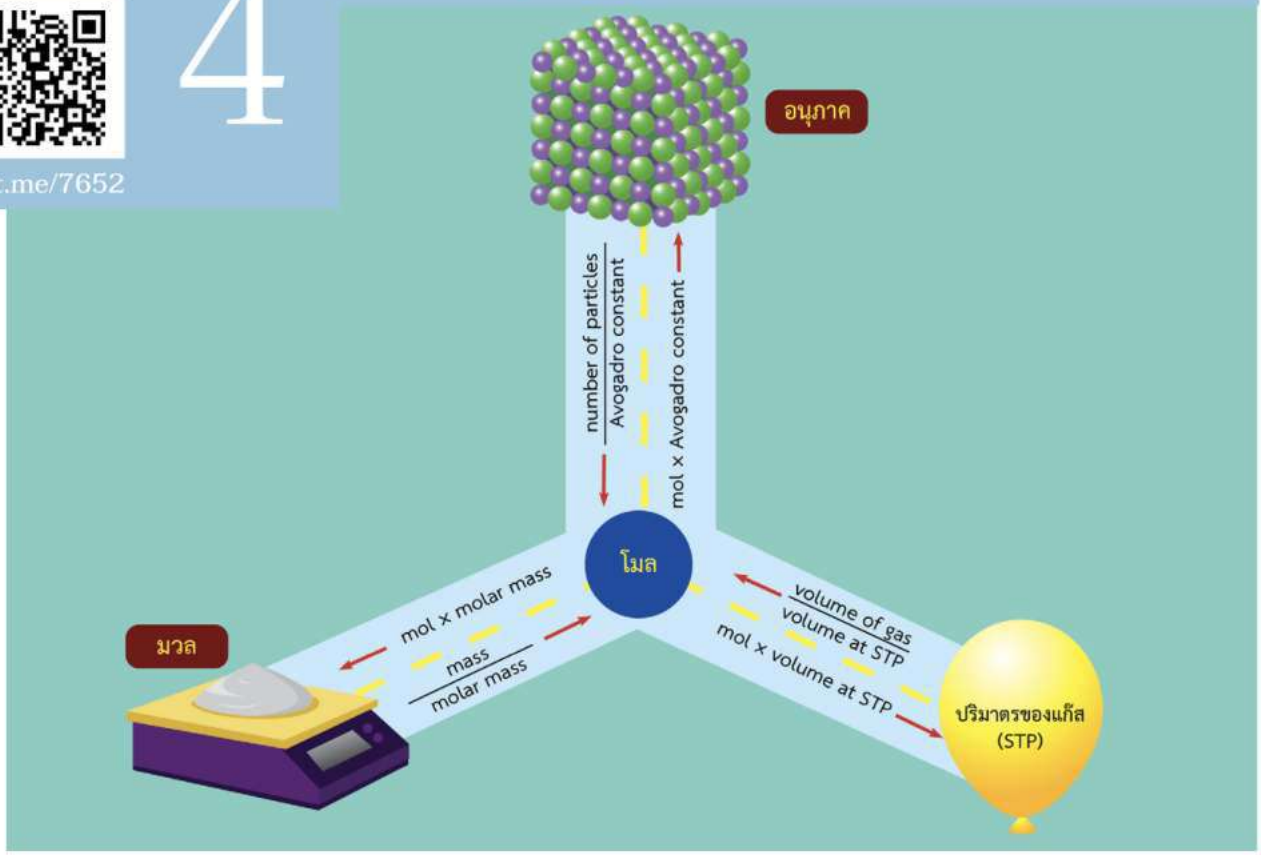
บรรณานุกรม 167

ที่มาของรูป 167

คณะกรรมการจัดทำหนังสือเรียน 168

4 | โมลและสูตรเคมี

ipst.me/7652



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 ซึ่งมีค่าประมาณ 1.66×10^{-24} กรัม

..... 4. ${}^{4}_{2}He$ เป็นสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุฮีเลียม

..... 5. ไอโซโทป หมายถึง ธาตุชนิดเดียวกันที่มีจำนวนโปรตอนไม่เท่ากัน

..... 6. เมทานอลมีสูตรเคมีเป็น CH_3OH เป็นสารประกอบไอออนิก

..... 7. แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) เป็นสารโคเวเลนต์

..... 8. เอทานอล (CH_3CH_2OH) 1 โมเลกุลมีจำนวนธาตุองค์ประกอบเท่ากับไดเมทิลอีเทอร์ (CH_3OCH_3) 1 โมเลกุล

..... 9. เอทานอลมีความหนาแน่น 0.789 กรัมต่อมิลลิลิตร ถ้าต้องการเปลี่ยนหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลิตรต้องใช้แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย $\frac{1\ kg}{1000\ g}$ และ $\frac{1000\ mL}{1\ L}$

.....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) ดังนั้นมวลอะตอมจึงมีค่าใกล้เคียงกับผลรวมของมวลโปรตรอนและนิวตรอน ซึ่งมวลโปรตอนและนิวตรอนก็ยังถือว่ามีค่าน้อยมาก (ประมาณ 1.66×10^{-24} กรัม) ซึ่งไม่สะดวกต่อการกล่าวถึงและใช้งาน จึงนิยมใช้**มวลอะตอมสัมพัทธ์** (relative atomic mass) ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบมวลอะตอมกับมวลอะตอมของธาตุมาตรฐาน จึงเป็นค่าที่ไม่มีหน่วย

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

ความรู้เพิ่มเติม

ในอดีตใช้ธาตุออกซิเจนเป็นธาตุมาตรฐานเนื่องจากทำปฏิกิริยากับธาตุอื่น ๆ ได้ง่ายและมีหลายไอโซโทป คือ ^{16}O ^{17}O และ ^{18}O แต่นักเคมีกับนักฟิสิกส์กำหนดมวลอะตอมของออกซิเจนไม่เหมือนกัน โดยนักเคมีใช้มวลอะตอมเฉลี่ยของออกซิเจนทั้งสามไอโซโทป แต่นักฟิสิกส์ใช้มวลอะตอมของ ^{16}O เท่านั้น

[1]หน่วย u มีค่าเท่ากับหน่วย amu (atomic mass unit) ซึ่งนักเคมีนิยมใช้ในอดีต

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

ถ้าใช้มวลอะตอมในหน่วยกรัมจะได้ความสัมพันธ์เป็น

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

ตัวอย่าง 1

ธาตุแมกนีเซียม (Mg) มีมวลอะตอมสัมพัทธ์ 24.30 ธาตุแมกนีเซียมมีมวลอะตอมเท่าใด

วิธีทำ

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

$$\text{มวลอะตอมของ Mg (g)} = 24.30 \times 1.66 \times 10^{-24}\ \text{g}$$

$$= 4.03 \times 10^{-23}\ \text{g}$$

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

$$\text{มวลของ Na 1 อะตอม} = \frac{3.82 \times 10^{-22}\text{ g}}{10\text{ atom}}$$

$$= 3.82 \times 10^{-23}\text{ g/atom}$$

ขั้นที่ 2 หามวลอะตอมสัมพัทธ์ของโซเดียม

$$\text{มวลอะตอมสัมพัทธ์ของ Na} = \frac{\text{มวลของ Na 1 อะตอม (g)}}{1.66 \times 10^{-24}\text{ g}}$$

$$= \frac{3.82 \times 10^{-23}\text{ g}}{1.66 \times 10^{-24}\text{ g}}$$

$$= 23.0$$

ดังนั้น มวลอะตอมสัมพัทธ์ของธาตุโซเดียมมีค่าเท่ากับ 23.0

เนื่องจากสารเกิดจากการรวมตัวกันของอะตอมธาตุ ซึ่งในธรรมชาติธาตุแต่ละชนิดอาจมีหลายไอโซโทปในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังนั้นการคำนวณเกี่ยวกับมวลของสารจึงใช้มวลอะตอมที่ได้จากการเฉลี่ยจากค่าของมวลอะตอมของแต่ละไอโซโทปตามปริมาณที่อยู่ในธรรมชาติ ดังนี้

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

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

$$\text{มวลอะตอมเฉลี่ยของ C} = \frac{(98.930 \times 12.0000\ \text{u}) + (1.070 \times 13.0034\ \text{u})}{100}$$

$$= \frac{1187.2\ \text{u} + 13.91\ \text{u}}{100}$$

$$= 12.011\ \text{u}$$

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	16.000
^{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 และค่าที่คำนวณได้มากกว่าหรือน้อยกว่าค่าที่ปรากฏในตารางธาตุอธิบายได้อย่างไร
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 มีมวลอะตอมของแต่ละไอโซโทปเท่ากับ 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 หรือหน่วยปริมาตร เช่น ลูกบาศก์เซนติเมตร ลิตร นอกจากนี้ถ้าสิ่งของที่เหมือน ๆ กันและสามารถนับจำนวนชิ้นได้อาจบอกเป็นหน่วยโหล เช่น ดินสอ 1 โหล เท่ากับ 12 แท่ง

การบอกปริมาณสารเคมีก็เช่นเดียวกัน อาจบอกเป็นหน่วยมวล หน่วยปริมาตร หรือหน่วยแสดงจำนวนอนุภาคของสาร แต่เนื่องจากสารประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเล็กและมีจำนวนมาก เช่น น้ำตาลทราย 1 เกล็ด (ประมาณ 0.0001 กรัม) มี $C_{12}H_{22}O_{11}$ 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 และเรียกจำนวนอนุภาคนี้ว่า **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) 0.5 โมล ประกอบด้วยไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) อย่างละกี่โมลและคิดเป็นอย่างละกี่อะตอม
2. แคลเซียมฟอสเฟต ($Ca_3(PO_4)_2$) 2 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 ไนเทรตไอออน 1.0×10^{-5} โมล

3. โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 0.1 โมล มีจำนวนโพแทสเซียมไอออน (K^+) และซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) อย่างละกี่โมล

4. อะลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$) 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

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

$$= 12.00\ \text{g}\ {}^{12}\text{C}$$

ดังนั้น คาร์บอน-12 ปริมาณ 1 โมล มีมวลเท่ากับ 12.00 กรัม[2] 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

เหล็ก 10.0 กรัม มีจำนวนอะตอมเท่าใด

แนวคิด

โจทย์ให้หาจำนวนอะตอม โดยกำหนดมวลเป็นกรัมของเหล็กมาให้ ต้องเปลี่ยนมวลให้เป็นโมล แล้วเปลี่ยนโมลให้เป็นจำนวนอะตอม

$$\text{g Fe} \longrightarrow \text{mol Fe} \longrightarrow \text{atom Fe}$$

[2] ในอดีต 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

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

คำนวณจำนวนโมลของเหล็กได้ดังนี้

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

ขั้นที่ 2 เปลี่ยนโมลให้เป็นจำนวนอะตอม

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

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

คำนวณจำนวนอะตอมของเหล็กได้ดังนี้

$$\text{จำนวนอะตอมของ Fe} = 0.179 \cancel{\text{ mol Fe}} \times \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ atom Fe}}{1 \cancel{\text{ mol Fe}}}$$

$$= 1.08 \times 10^{23} \text{ atom Fe}$$

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

การคำนวณอาจทำได้โดยนำขั้นที่ 1 และ 2 มารวมเป็นขั้นตอนเดียว ดังนี้

$$\text{จำนวนอะตอมของ Fe} = 10.0 \cancel{\text{ g Fe}} \times \frac{1 \cancel{\text{ mol Fe}}}{55.85 \cancel{\text{ g Fe}}} \times \frac{6.02 \times 10^{23} \text{ atom Fe}}{1 \cancel{\text{ mol Fe}}}$$

$$= 1.08 \times 10^{23} \text{ atom Fe}$$

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 $C_{12}H_{22}O_{11}$ น้ำตาลทรายมีมวลต่อโมลเท่าใด

วิธีทำ

มวลโมเลกุลของ $C_{12}H_{22}O_{11}$ = (12 × มวลอะตอมของ C) + (22 × มวลอะตอมของ H) + (11 × มวลอะตอมของ O)

$= (12 \times 12.01) + (22 \times 1.01) + (11 \times 16.00)$

$= 342.34$

น้ำตาลทรายมีมวลโมเลกุลเป็น 342.34 ดังนั้นจึงมีมวลต่อโมลเท่ากับ 342.34 กรัมต่อโมล

ตัวอย่าง 5

จงคำนวณมวลต่อโมลของแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$)

วิธีทำ

มวลสูตรของ $CaSO_4$ = (1 × มวลอะตอมของ Ca) + (1 × มวลอะตอมของ S) + (4 × มวลอะตอมของ O)

$= (1 \times 40.08) + (1 \times 32.06) + (4 \times 16.00)$

$= 136.14$

แคลเซียมซัลเฟตมีมวลสูตรเป็น 136.14 ดังนั้นจึงมีมวลต่อโมลเท่ากับ 136.14 กรัมต่อโมล

ตรวจสอบความเข้าใจ

1. สารต่างชนิดกันที่มีจำนวนโมลเท่ากันจะมีมวลเท่ากันหรือไม่ เพราะเหตุใด
2. สารต่างชนิดกันมีจำนวนโมลเท่ากันจะมีจำนวนอนุภาคเท่ากันหรือไม่
3. สารต่างชนิดกันมีมวลเท่ากันจะมีจำนวนอนุภาคเท่ากันหรือไม่ เพราะเหตุใด

แบบฝึกหัด 4.3

1. จงหามวลโมเลกุลและมวลต่อโมลของสารต่อไปนี้ โดยใช้ค่ามวลอะตอมจากตารางธาตุในหนังสือเรียน
   1.1 แอสไพริน ($C_9H_8O_4$)
   1.2 แอซีติก ($C_2H_4O_2$)
   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)ไนเทรต ($Pb(NO_3)_2$) 82.75 กรัม

6. สารต่อไปนี้มีจำนวนอนุภาคเท่าใด
   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 ไนเทรตไอออนในเลด(II)ไนเทรต ($Pb(NO_3)_2$) 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)ไนเทรต ($Pb(NO_3)_2$) ซึ่งมีไนเทรตไอออน 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 เรียกย่อว่า 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

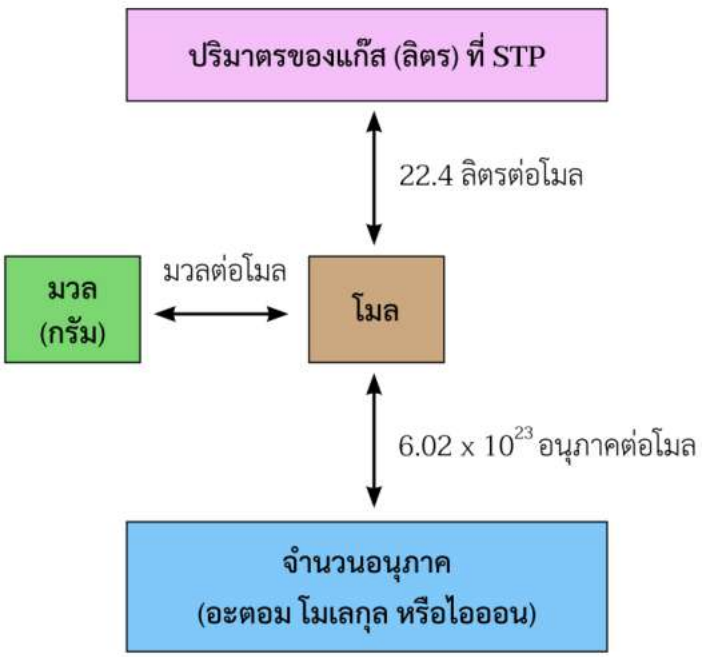
จากข้อมูลในตาราง 4.4 แก๊สฮีเลียมปริมาตร 1 ลิตร ที่ STP มีมวล 0.179 กรัม ซึ่งเขียนในรูปแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยได้เป็น $\frac{1\ \text{L He}}{0.179\ \text{g He}}$

ดังนั้นแก๊สฮีเลียม 1 โมล ซึ่งมีมวล 4.00 กรัม จะมีปริมาตรที่ STP เป็นดังนี้

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

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

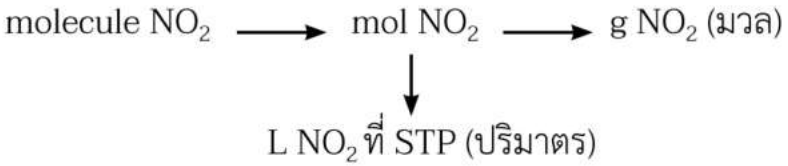
จากความสัมพันธ์ในรูป 4.2 สามารถใช้คำนวณเกี่ยวกับปริมาณสารในหน่วยต่าง ๆ ได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

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

$$\text{จำนวนโมลของ } NO_2 = 1.51 \times 10^{23} \cancel{\text{ molecule } NO_2} \times \frac{1 \text{ mol } NO_2}{6.02 \times 10^{23} \cancel{\text{ molecule } NO_2}}$$

$$= 0.251 \text{ mol } NO_2$$

ขั้นที่ 2 เปลี่ยนโมลเป็นมวล

สาร 1 โมล มีมวลเป็นกรัมเท่ากับมวลโมเลกุล ดังนั้น แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ 1 โมล มีมวล 46.01 กรัม

จึงเขียนแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยที่จะนำไปใช้ในการคำนวณได้เป็น $\frac{46.01\ g\ NO_2}{1\ mol\ NO_2}$

คำนวณมวลของ NO_2 ได้ดังนี้

$$\text{มวลของ } NO_2 = 0.251\ \cancel{mol\ NO_2} \times \frac{46.01\ g\ NO_2}{1\ \cancel{mol\ NO_2}}$$

$$= 11.5\ g\ NO_2$$

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

การคำนวณอาจทำได้โดยนำขั้นที่ 1 และ 2 มารวมเป็นขั้นตอนเดียว ได้ดังนี้

มวลของ NO_2

$$= 1.51 \times 10^{23}\ \cancel{molecule\ NO_2} \times \frac{1\ \cancel{mol\ NO_2}}{6.02 \times 10^{23}\ \cancel{molecule\ NO_2}} \times \frac{46.01\ g\ NO_2}{1\ \cancel{mol\ NO_2}}$$

$$= 11.5\ g\ NO_2$$

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 NO_2 ที่ STP ได้ดังนี้

$$\text{ปริมาตรของ } NO_2 \text{ ที่ STP} = 0.251\ \cancel{\text{mol}\ NO_2} \times \frac{22.4\ \text{L}\ NO_2}{1\ \cancel{\text{mol}\ NO_2}}$$

$$= 5.62\ \text{L}\ NO_2$$

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

การคำนวณอาจรวมเป็นขั้นตอนเดียวเหมือนกับการคำนวณมวลได้ดังนี้

ปริมาตรของ NO_2 ที่ STP

$$= 1.51 \times 10^{23}\ \cancel{\text{molecule}\ NO_2} \times \frac{1\ \cancel{\text{mol}\ NO_2}}{6.02 \times 10^{23}\ \cancel{\text{molecule}\ NO_2}} \times \frac{22.4\ \text{L}\ NO_2}{1\ \cancel{\text{mol}\ NO_2}}$$

$$= 5.62\ \text{L}\ NO_2$$

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

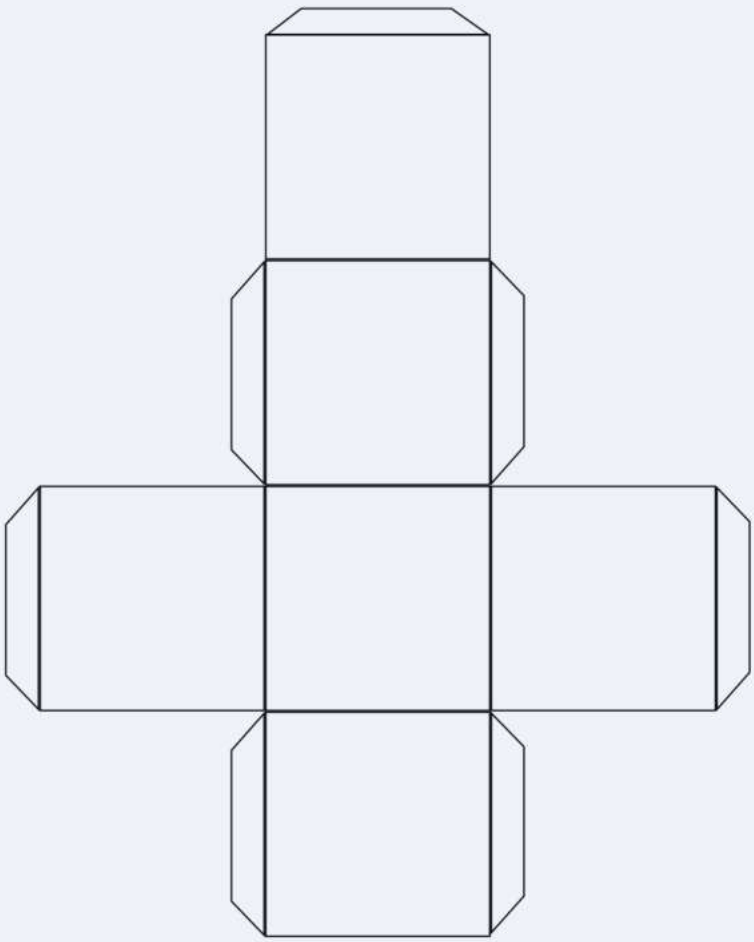
คำนวณปริมาณสารจากความสัมพันธ์ระหว่างโมล มวล จำนวนอนุภาค ความหนาแน่น และปริมาตรของแก๊สที่ STP

วัสดุและอุปกรณ์

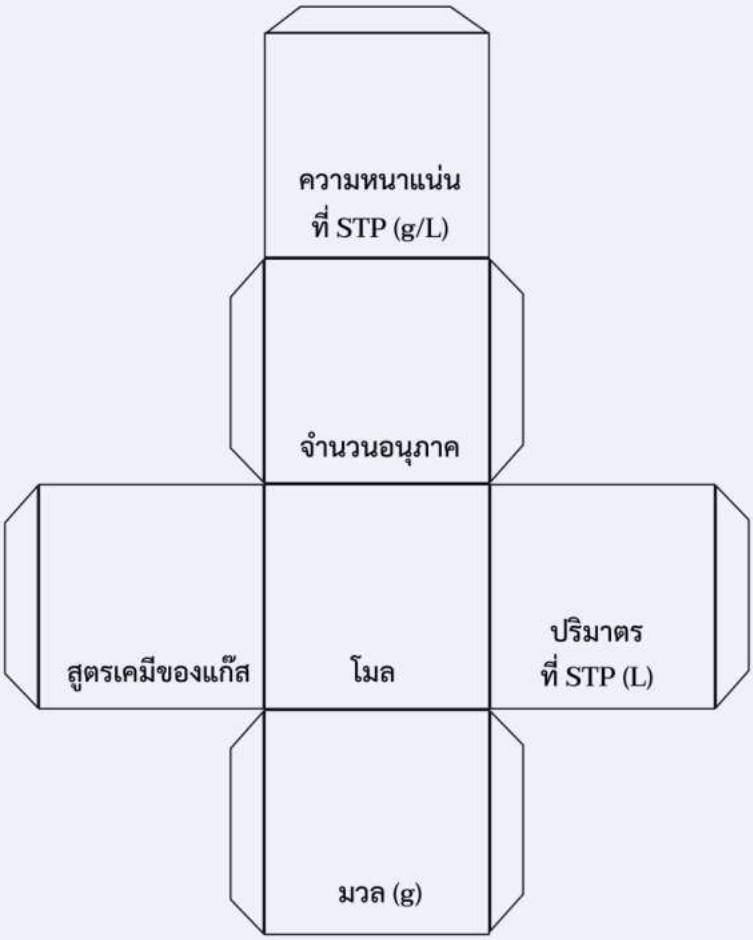
1. กระดาษแข็ง
2. ปากกาเมจิก
3. กรรไกร
4. กาว

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 เมื่อพิจารณาข้อมูลการนำทองแดงมาเผาร่วมกับกำมะถัน 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 พรูสท์ (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 (O_2) 1.61 กรัม จะเกิดเป็นแมกนีเซียมออกไซด์ทั้งหมด ผลการทดลองนี้เป็นไปตามกฎสัดส่วนคงที่หรือไม่ และอัตราส่วนโดยโมลเฉลี่ยของแมกนีเซียมต่อออกซิเจนที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันเป็นสารประกอบนี้มีค่าเท่าใด

วิธีทำ

คำนวณอัตราส่วนโดยมวล

การทดลองที่หนึ่ง

มวลของออกซิเจนในแมกนีเซียมออกไซด์ = มวลของแมกนีเซียมออกไซด์ – มวลของแมกนีเซียม

$= 4.40\ g - 2.64\ g$

$= 1.76\ g$

อัตราส่วนโดยมวลของแมกนีเซียม : ออกซิเจน = 2.64 : 1.76

= 1.50 : 1.00

การทดลองที่สอง

อัตราส่วนโดยมวลของแมกนีเซียม : ออกซิเจน = 2.42 : 1.61

= 1.50 : 1.00

ดังนั้นผลการทดลองทั้งสองครั้งเป็นไปตามกฎสัดส่วนคงที่

คำนวณอัตราส่วนโดยโมลเฉลี่ย

อัตราส่วนโดยมวลเฉลี่ยของแมกนีเซียมต่อออกซิเจนที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันเป็นสารประกอบเท่ากับ 1.50 : 1.00

อัตราส่วนโดยโมลเฉลี่ยของแมกนีเซียม : ออกซิเจน $= \frac{1.50}{24.30} : \frac{1.00}{16.00}$

$= 0.0617 : 0.0625$

หรือ $= 1 : 1$

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 ข้อมูลเหล่านี้เป็นไปตามกฎสัดส่วนคงที่หรือไม่ เพราะเหตุใด

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

$$\text{ร้อยละโดยมวลของ Fe} = \frac{111.69 \text{ g Fe}}{159.69 \text{ g oxide of Fe}} \times 100\%$$

$$= 69.942 \text{ \% g Fe/g oxide of Fe}$$

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

ร้อยละโดยมวลของ C ใน CO_2

$$\text{ร้อยละโดยมวลของ C} = \frac{12.01 \text{ g C}}{44.01 \text{ g } CO_2} \times 100\%$$

$$= 27.29 \text{ \% g C/g } CO_2$$

ร้อยละโดยมวลของ H ใน H_2O

$$\text{ร้อยละโดยมวลของ H} = \frac{2 \times 1.01 \text{ g H}}{18.02 \text{ g } H_2O} \times 100\%$$

$$= 11.2 \text{ \% g H/g } H_2O$$

ดังนั้น คาร์บอนไดออกไซด์มีร้อยละโดยมวลของคาร์บอนเท่ากับ 27.29 ส่วนน้ำมีร้อยละโดยมวลของไฮโดรเจนเท่ากับ 11.2

แบบฝึกหัด 4.6

1. ฟอร์มาลดีไฮด์ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) มีสมบัติเป็นแก๊สพิษที่มีกลิ่นฉุนใช้มากในอุตสาหกรรมพลาสติกและการดองสัตว์ ถ้าฟอร์มาลดีไฮด์ 300 กรัม มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ 120 กรัม และ 20 กรัม ตามลำดับ จงคำนวณร้อยละโดยมวลของธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดในฟอร์มาลดีไฮด์

2. จงคำนวณมวลเป็นร้อยละของธาตุแต่ละชนิดในสารต่อไปนี้
   2.1 พารา-ไดคลอโรเบนซีน ($C_6H_4Cl_2$) ซึ่งเป็นส่วนผสมหนึ่งของลูกเหม็น
   2.2 ทิน(II)ฟลูออไรด์ (SnF_2) ซึ่งเป็นส่วนผสมของยาสีฟันบางชนิด

3. จงคำนวณมวลเป็นกรัมของออกซิเจนในแร่ควอตซ์ (SiO_2) และหินปูน ($CaCO_3$) อย่างละ 1.00 กิโลกรัม

4. สารตัวอย่าง 0.500 กรัม ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) เมื่อเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ พบว่าเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 0.687 กรัม และไอน้ำ (H_2O) 0.140 กรัม จงคำนวณร้อยละโดยมวลของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนในสารตัวอย่าง

4.3.3 การหาสูตรโมเลกุลและสูตรอย่างง่าย

จากกฎสัดส่วนคงที่จะได้ข้อมูลอัตราส่วนโดยมวลและร้อยละโดยมวลของธาตุในสารประกอบ ซึ่งสามารถนำมาใช้หาอัตราส่วนโดยโมลเพื่อหาสูตรอย่างง่ายหรือสูตรเอมพิริคัล และสูตรโมเลกุลของสารประกอบได้

สูตรโมเลกุล (molecular formula) เป็นสูตรที่แสดงจำนวนอะตอมของธาตุองค์ประกอบที่มีอยู่จริงใน 1 โมเลกุลของสาร เช่น น้ำ มีสูตรโมเลกุลเป็น H_2O แสดงว่า 1 โมเลกุลประกอบด้วยไฮโดรเจน 2 อะตอม และออกซิเจน 1 อะตอม

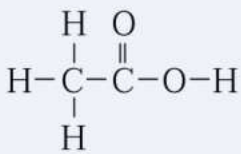
สูตรอย่างง่ายหรือสูตรเอมพิริคัล (empirical formula) เป็นสูตรที่แสดงอัตราส่วนอย่างต่ำของจำนวนอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบ เช่น กลูโคส มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_6H_{12}O_6$ อัตราส่วนของจำนวนอะตอมหรือโมลของ C : H : O เท่ากับ 1 : 2 : 1 กลูโคสจึงมีสูตรเอมพิริคัลเป็น CH_2O

ดังนั้น สูตรโมเลกุล = $(\text{สูตรเอมพิริคัล})_n$

หรือ มวลโมเลกุล = n (มวลสูตรเอมพิริคัล)

รู้หรือไม่

นอกจากสูตรโมเลกุลและสูตรอย่างง่ายแล้ว สูตรเคมียังมีสูตรโครงสร้าง (structural formula) ซึ่งแสดงการเชื่อมต่อของอะตอมของธาตุองค์ประกอบในโมเลกุลของสารนั้น เช่น กรดแอซีติก มีสูตรโมเลกุลเป็น $C_2H_4O_2$ และมีสูตรโครงสร้างดังนี้



สูตรโมเลกุลและสูตรเอมพิริคัลของสารบางชนิด แสดงในตาราง 4.6

ตาราง 4.6 สูตรโมเลกุลและสูตรเอมพิริคัลของสารบางชนิด

ชื่อสาร	สูตรโมเลกุล	สูตรเอมพิริคัล
น้ำ	H_2O	H_2O
กรดไฮโดรคลอริก (กรดเกลือ)	HCl	HCl
โพรพีน	C_3H_6	CH_2
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	H_2O_2	HO
กรดแอซีติก (กรดน้ำส้ม)	$C_2H_4O_2$	CH_2O
กลูโคส	$C_6H_{12}O_6$	CH_2O
โพแทสเซียมไนเทรต (ดินประสิว)	-	KNO_3
โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (ด่างทับทิม)	-	$KMnO_4$
แมกนีเซียมซัลเฟต (ดีเกลือ)	-	$MgSO_4$

หมายเหตุ *ชื่อในวงเล็บเป็นชื่อสามัญ

จากข้อมูลในตารางแสดงว่า สารโคเวเลนต์มีทั้งสูตรโมเลกุลและสูตรเอมพิริคัล ซึ่งอาจเหมือนหรือต่างกัน ส่วนสารประกอบไอออนิกมีแต่สูตรเอมพิริคัลเท่านั้น

รู้หรือไม่

สารบางชนิดมี **น้ำผลึก** เป็นองค์ประกอบของสารนั้นด้วย เช่น $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ซึ่งมีน้ำผลึกอยู่ 5 โมเลกุล หากให้ความร้อนแล้วสามารถไล่น้ำผลึกออกไปจนหมดสุดท้ายจะเหลือเพียง $CuSO_4$

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

$$\text{Na : S : O} = 6.07\ \cancel{\text{g Na}} \times \frac{1\ \text{mol Na}}{22.99\ \cancel{\text{g Na}}} : 8.47\ \cancel{\text{g S}} \times \frac{1\ \text{mol S}}{32.06\ \cancel{\text{g S}}} : 6.34\ \cancel{\text{g O}} \times \frac{1\ \text{mol O}}{16.00\ \cancel{\text{g O}}}$$

$$= 0.264\ \text{mol} : 0.264\ \text{mol} : 0.396\ \text{mol}$$

หารด้วย 0.264 ซึ่งเป็นเลขจำนวนน้อยที่สุด

$$\text{อัตราส่วนโดยโมลของ Na : S : O} = \frac{0.264}{0.264} : \frac{0.264}{0.264} : \frac{0.396}{0.264}$$

$$= 1.00 : 1.00 : 1.50$$

จำนวนโมลของอะตอมของออกซิเจนเป็นเลขที่มีจุดทศนิยม จึงต้องหาตัวเลขที่เหมาะสมมาคูณเพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นเลขจำนวนเต็มหรือใกล้เคียงจำนวนเต็ม เช่น เมื่อคูณด้วย 2 จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

$$\text{อัตราส่วนโดยโมลของ Na : S : O} = 1.00 \times 2 : 1.00 \times 2 : 1.50 \times 2$$

$$= 2.00 : 2.00 : 3.00$$

$$\text{หรือ} = 2 : 2 : 3$$

ดังนั้น สูตรเอมพิริคัลของสารประกอบนี้คือ $Na_2S_2O_3$

การคำนวณในตัวอย่าง 10 อาจทำเป็นตาราง ได้ดังนี้

	Na	S	O
มวล (g)	6.07	8.47	6.34
โมล (mol)	$6.07\ \cancel{g\ Na} \times \frac{1\ mol\ Na}{22.99\ \cancel{g\ Na}} = 0.264$	$8.47\ \cancel{g\ S} \times \frac{1\ mol\ S}{32.06\ \cancel{g\ S}} = 0.264$	$6.34\ \cancel{g\ O} \times \frac{1\ mol\ O}{16.00\ \cancel{g\ O}} = 0.396$
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	$Na_2S_2O_3$		

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 ต้องหาตัวเลขที่น้อยที่สุดมาคูณ เพื่อสามารถทำให้เป็นเลขจำนวนเต็มได้ 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

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

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

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

หารด้วย 1.56 ซึ่งเป็นเลขจำนวนน้อยที่สุด

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

$$= 1.00 : 2.00$$

$$= 1 : 2$$

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 จงคำนวณสูตรเอมพิริคัลและสูตรโมเลกุลของสารประกอบนี้เมื่อกำหนดให้มวลโมเลกุลของสารประกอบนี้เท่ากับ 123

วิธีทำ

หามวลของคาร์บอน

คาร์บอนในสารประกอบเกิดเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด

$$\text{มวลของ C} = 2.02 \text{ L } \cancel{CO_2} \times \frac{1 \text{ } \cancel{\text{mol } CO_2}}{22.4 \text{ L } \cancel{CO_2}} \times \frac{1 \text{ } \cancel{\text{mol C}}}{1 \text{ } \cancel{\text{mol } CO_2}} \times \frac{12.01 \text{ g C}}{1 \text{ } \cancel{\text{mol C}}}$$

$$= 1.08 \text{ g C}$$

หามวลของไฮโดรเจน

ไฮโดรเจนในสารประกอบเกิดเป็นน้ำทั้งหมด

$$\text{มวลของ H} = 0.68 \text{ g } \cancel{H_2O} \times \frac{1 \text{ } \cancel{\text{mol } H_2O}}{18.02 \text{ g } \cancel{H_2O}} \times \frac{2 \text{ } \cancel{\text{mol H}}}{1 \text{ } \cancel{\text{mol } H_2O}} \times \frac{1.01 \text{ g H}}{1 \text{ } \cancel{\text{mol H}}}$$

$$= 0.076 \text{ g H}$$

หามวลของไนโตรเจน

ไนโตรเจนในสารประกอบเกิดเป็นแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ทั้งหมด

$$\text{มวลของ N} = 0.34 \text{ L } \cancel{NO_2} \times \frac{1 \text{ } \cancel{\text{mol } NO_2}}{22.4 \text{ L } \cancel{NO_2}} \times \frac{1 \text{ } \cancel{\text{mol N}}}{1 \text{ } \cancel{\text{mol } NO_2}} \times \frac{14.01 \text{ g N}}{1 \text{ } \cancel{\text{mol N}}}$$

$$= 0.21 \text{ g N}$$

หามวลของออกซิเจน

เนื่องจากมวลของสารประกอบเท่ากับผลรวมของมวลของธาตุองค์ประกอบ

ดังนั้น มวลของออกซิเจน = 1.85 – 1.08 – 0.076 – 0.21 g

= 0.48 g

หาสูตรเอมพิริคัลของสารประกอบ

อัตราส่วนโดยมวลของ C : H : N : O = 1.08 : 0.076 : 0.21 : 0.48

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

หารด้วย 0.015 ซึ่งเป็นเลขจำนวนน้อยที่สุด

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

ดังนั้น สูตรเอมพิริคัลของสารประกอบนี้คือ $C_6H_5NO_2$

หาสูตรโมเลกุลของสารประกอบ

โจทย์กำหนดมวลโมเลกุลของสารเท่ากับ 123

หามวลสูตรเอมพิริคัล

$C_6H_5NO_2$ = (6 × 12.01) + (5 × 1.01) + (1 × 14.01) + (2 × 16.00)

= 123.12

จาก สูตรโมเลกุล = $(\text{สูตรเอมพิริคัล})_n$

หรือ มวลโมเลกุล = n(มวลสูตรเอมพิริคัล)

123 = n(123.12)

n = 1

ดังนั้น สูตรโมเลกุลของสารประกอบนี้คือ $C_6H_5NO_2$

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

$$\text{มวลของ C} = 0.0497 \text{ g } \cancel{CO_2} \times \frac{12.01 \text{ g C}}{44.01 \text{ g } \cancel{CO_2}} = 0.0136 \text{ g C}$$

$$\text{มวลของ H} = 0.0249 \text{ g } \cancel{H_2O} \times \frac{2 \times 1.01 \text{ g H}}{18.02 \text{ g } \cancel{H_2O}} = 0.00279 \text{ g H}$$

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

$$\text{อัตราส่วนโดยโมลของ C : H} = \frac{0.0136}{12.01} : \frac{0.00279}{1.01}$$

$$= 0.00113 : 0.00276$$

หารด้วย 0.00113 ซึ่งเป็นเลขจำนวนน้อยที่สุด

$$\text{อัตราส่วนโดยโมลของ C : H} = \frac{0.00113}{0.00113} : \frac{0.00276}{0.00113}$$

$$= 1.00 : 2.44$$

จำนวนโมลของไฮโดรเจนเป็นเลขที่มีจุดทศนิยม จึงต้องหาตัวเลขที่เหมาะสมมาคูณ

อัตราส่วนโดยโมลของ C : H = 1.00 × 2 : 2.44 × 2

= 2.00 : 4.88

หรือ = 2 : 5

ดังนั้น สูตรเอมพิริคัลของสารประกอบนี้คือ C_2H_5

2. หาสูตรโมเลกุล

โจทย์กำหนดมวลโมเลกุลของสารเท่ากับ 58.12

หามวลสูตรเอมพิริคัล

$C_2H_5 = (2 \times 12.01) + (5 \times 1.01)$

$= 29.07$

จาก สูตรโมเลกุล = $(\text{สูตรเอมพิริคัล})_n$

หรือ มวลโมเลกุล = n(มวลสูตรเอมพิริคัล)

$58.12 = n(29.07)$

$$n = \frac{58.12}{29.07}$$

$= 2$

ดังนั้น สูตรโมเลกุลของสารประกอบนี้คือ $(C_2H_5)_2 = C_4H_{10}$

จากตัวอย่างข้างต้น ถ้านักเคมีสามารถสังเคราะห์สารใหม่ที่ไม่ทราบสูตรโมเลกุล สามารถหาสูตรอย่างง่ายหรือสูตรเอมพิริคัลได้ โดยอาจนำสารตัวอย่างไปเผาเพื่อหาร้อยละของธาตุองค์ประกอบ จากนั้นอาจนำสารตัวอย่างมาหามวลโมเลกุลด้วยเครื่องแมสสเปกโทรมิเตอร์ (mass spectrometer) แล้วนำมาคำนวณสูตรโมเลกุลของสารตัวอย่างได้

แบบฝึกหัด 4.7

1. คำนวณสูตรเอมพิริคัลของสารที่ประกอบด้วยร้อยละโดยมวลของธาตุองค์ประกอบ 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 จงหาสูตรเอมพิริคัลของสารประกอบออกไซด์

3. สารประกอบชนิดหนึ่งประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) เท่านั้น จากการวิเคราะห์พบว่ามีคาร์บอนร้อยละ 48.83 และไฮโดรเจนร้อยละ 8.12 โดยมวล จงหาสูตรเอมพิริคัลของสารประกอบนี้

4. เมื่อนำสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่งมาเผาไหม้อย่างสมบูรณ์จะได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 6.60 กรัม และไอน้ำ (H_2O) 4.10 กรัม จงหาสูตรเอมพิริคัลของสารประกอบนี้

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 มวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุเป็นค่าเฉลี่ยจากค่ามวลอะตอมของแต่ละไอโซโทปของธาตุชนิดนั้นตามปริมาณที่มีในธรรมชาติ มวลโมเลกุลและมวลสูตรเป็นผลรวมของมวลอะตอมเฉลี่ยของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารนั้น

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

สารประกอบเกิดจากการรวมตัวของธาตุตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป โดยมีอัตราส่วนโดยมวลของธาตุองค์ประกอบคงที่ตามกฎสัดส่วนคงที่ อัตราส่วนโดยมวลของธาตุองค์ประกอบในสารประกอบสามารถแสดงในรูปของร้อยละโดยมวล ซึ่งสามารถใช้หาอัตราส่วนอย่างต่ำโดยโมลของธาตุองค์ประกอบในสารนั้นและแสดงได้ด้วยสูตรเอมพิริคัลหรือสูตรอย่างง่าย 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	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0.070 mol	20.0 mL
2.4	$C_6H_{12}O_6$ 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 $C_9H_{13}N$ 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

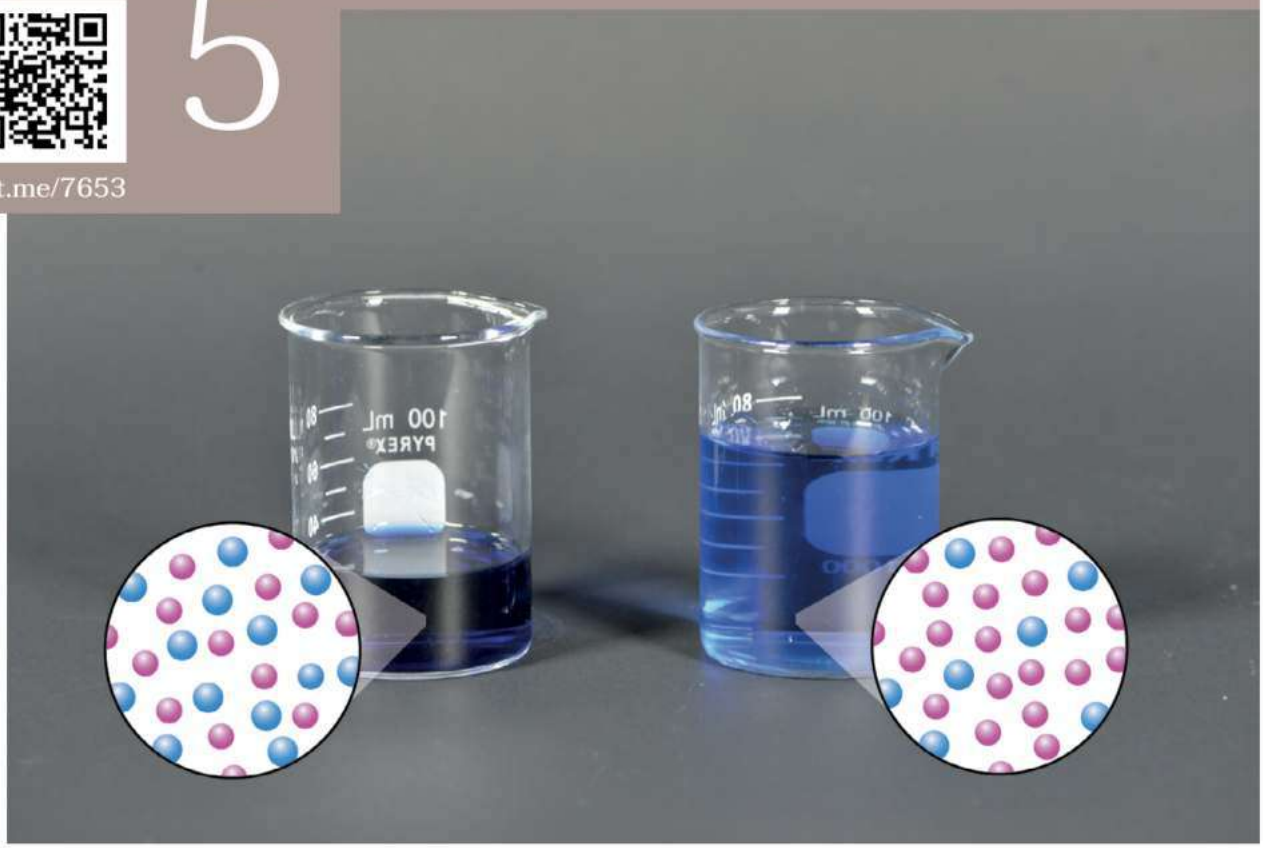
10. ดีเกลือเป็นสารเคมีที่สามารถดูดความชื้นได้ดี สูตรเคมีทั่วไปของดีเกลือคือ $MgSO_4 \cdot nH_2O$ ถ้านำดีเกลือมาวิเคราะห์พบว่า มีแมกนีเซียม (Mg) อยู่ร้อยละ 9.86 โดยมวล จงคำนวณสูตรเคมีของดีเกลือ

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. ดีลดริน (dieldrin) เป็นสารฆ่าแมลงประเภทเดียวกับ ดี.ดี.ที. ที่มีผลตกค้างต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก โมเลกุลของดีลดรินประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) และคลอรีน (Cl) การเผาไหม้ของดีลดริน 29.72 มิลลิกรัม ทำให้เกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 41.21 มิลลิกรัม และไอน้ำ (H_2O) 5.63 มิลลิกรัม และในการวิเคราะห์ดีลดรินจำนวน 25.31 มิลลิกรัม จะได้ตะกอนซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl) 57.13 มิลลิกรัม จงหาสูตรเอมพิริคัลของดีลดริน

5 | สารละลาย

ipst.me/7653



สารละลายประกอบด้วยตัวละลายและตัวทำละลาย ปริมาณของตัวละลายต่อปริมาณของสารละลายบอกได้โดยใช้หน่วยความเข้มข้นต่าง ๆ ซึ่งสารละลายเจือจางจะมีปริมาณตัวละลายต่อปริมาณของสารละลายน้อยกว่าสารละลายเข้มข้น

คำถามสำคัญ

1. ความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยต่าง ๆ คำนวณได้อย่างไร
2. การเตรียมสารละลายมีวิธีการอย่างไร
3. สารละลายมีสมบัติแตกต่างจากสารบริสุทธิ์อย่างไร

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายความหมายของหน่วยความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยร้อยละ ส่วนในล้านส่วน ส่วนในพันล้านส่วน โมลาริตี โมแลลิตี และเศษส่วนโมล
2. คำนวณความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยร้อยละ ส่วนในล้านส่วน ส่วนในพันล้านส่วน โมลาริตี โมแลลิตี และเศษส่วนโมล
3. อธิบายวิธีการและเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นในหน่วยโมลาริตีและปริมาตรตามที่กำหนด จากสารบริสุทธิ์
4. อธิบายวิธีการและเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นในหน่วยโมลาริตีและปริมาตรตามที่กำหนด ด้วยวิธีการเจือจางจากสารละลายเข้มข้น
5. อธิบายความแตกต่างระหว่างจุดเดือดและจุดเยือกแข็งของสารละลายกับสารบริสุทธิ์
6. บอกความหมายของค่าคงที่ของการเพิ่มขึ้นของจุดเดือด (K_b) และค่าคงที่ของการลดลงของจุดเยือกแข็ง (K_f)
7. คำนวณจุดเดือดและจุดเยือกแข็งของสารละลาย

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ใส่เครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ถูกต้อง และใส่เครื่องหมาย ✗ หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง

..... 1. อากาศเป็นสารบริสุทธิ์

..... 2. สารละลายมีสถานะเป็นของเหลวเสมอ

..... 3. แอลกอฮอล์ล้างแผลเข้มข้นร้อยละ 70 โดยปริมาตร มีแอลกอฮอล์เป็นตัวละลายและน้ำเป็นตัวทำละลาย

..... 4. สารละลายกลูโคสร้อยละ 5 โดยมวล หมายถึง สารละลายที่มีกลูโคส 5 กรัม ในน้ำ 100 กรัม

..... 5. แอลกอฮอล์มีความหนาแน่น 0.79 กรัมต่อมิลลิลิตร ส่วนน้ำมีความหนาแน่น 1.00 กรัมต่อมิลลิลิตร ดังนั้นแอลกอฮอล์ 1 กรัม จะมีปริมาตรมากกว่าน้ำ 1 กรัม

..... 6. ถ้าต้องการตวงสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ให้มีความถูกต้องแม่นยำ ควรใช้บีกเกอร์

..... 7. เฮกเซนมีความหนาแน่น 0.66 กรัมต่อมิลลิลิตร ถ้าต้องการเปลี่ยนหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลิตร ต้องใช้แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย $\frac{1\ \text{L}}{1000\ \text{mL}}$ และ $\frac{1000\ \text{g}}{1\ \text{kg}}$

..... 8. กลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) 1 โมล กับกรดไฮโดรคลอริก 12 โมล เมื่อละลายน้ำปริมาตรเท่ากัน แตกตัวให้ปริมาณ H^+ เท่ากัน

..... 9. แมกนีเซียมไนเทรต ($Mg(NO_3)_2$) 0.5 โมล มีมวล 74.16 กรัม เมื่อมวลต่อโมลของแมกนีเซียมไนเทรตเท่ากับ 148.32 กรัมต่อโมล

..... 10. กรดแอซีติก ($C_2H_4O_2$) 1 โมล มีมวลเท่ากับ 60.06 กรัม เมื่อกำหนดให้มวลต่อโมลของธาตุ C = 12.01 กรัมต่อโมล H = 1.01 กรัมต่อโมล และ O = 16.00 กรัมต่อโมล

สารละลายเป็นสารเนื้อเดียวที่เป็นของผสมของสารตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป โดยสารละลายมีทั้ง 3 สถานะ เช่น ทองเหลืองและนากอยู่ในสถานะของแข็ง น้ำเกลือและน้ำส้มสายชูอยู่ในสถานะของเหลว อากาศและแก๊สหุงต้มอยู่ในสถานะแก๊ส สารละลายที่เกิดจากการผสมของสารในสถานะเดียวกันจะถือว่าสารที่มีปริมาณมากกว่าเป็นตัวทำละลาย เช่น น้ำส้มสายชู 5% มีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 95 โดยปริมาตร จึงถือว่าน้ำเป็นตัวทำละลาย แต่ถ้าสารละลายเกิดจากการผสมของสารที่มีสถานะต่างกัน จะถือว่าสารที่มีสถานะเดียวกับสารละลายเป็นตัวทำละลาย เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์อิ่มตัว มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นของแข็ง 111 กรัม ละลายในน้ำ 100 กรัม แต่เนื่องจากสารละลายที่ได้มีสถานะเป็นของเหลว จึงถือว่าน้ำเป็นตัวทำละลาย ทั้งที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบในปริมาณที่น้อยกว่า

รู้หรือไม่

สารละลาย (solution) เขียนย่อได้เป็น sol^{n} หรือ soln

เนื่องจากสารละลายที่พบส่วนใหญ่ในชีวิตประจำวันและในห้องปฏิบัติการเป็นของเหลวที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย ดังนั้นเมื่อกล่าวถึงสารละลายโดยไม่ระบุชนิดของตัวทำละลาย จึงหมายถึง สารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย

สารเคมีหลายชนิดเมื่อจะนำมาใช้ส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารละลาย ซึ่งจำเป็นต้องทราบความเข้มข้นของสารละลาย และวิธีการเตรียมสารละลาย เพื่อให้ได้ปริมาณสารตามที่ต้องการและนำไปใช้ได้อย่างถูกต้อง

5.1 ความเข้มข้นของสารละลาย

สารละลายประกอบด้วยตัวละลายและตัวทำละลายในปริมาณที่แตกต่างกัน ซึ่งปริมาณของสารในสารละลายสามารถระบุในรูปของความเข้มข้น โดยความเข้มข้นหมายถึงปริมาณของสารต่อปริมาณของสารละลายหรือต่อปริมาณของตัวทำละลาย

ความเข้มข้นของสารละลายมีหลากหลายซึ่งที่จะศึกษาในบทนี้ได้แก่ ร้อยละหรือส่วนในร้อยส่วน ส่วนในล้านส่วน ส่วนในพันล้านส่วน โมลาริตี โมแลลิตี และเศษส่วนโมล ซึ่งมีความหมายและวิธีการคำนวณ ดังต่อไปนี้

ร้อยละหรือส่วนในร้อยส่วน (percentage) เป็นการบอกปริมาณของตัวละลายต่อร้อยส่วนของสารละลาย จำแนกได้ดังนี้

ความเข้มข้น	ความสัมพันธ์
ร้อยละโดยมวล (% w/w)	$\frac{\text{มวลของตัวละลาย}}{\text{มวลของสารละลาย}} \times 100\%$ ใช้หน่วยมวลเดียวกัน เช่น % g ตัวละลาย/g สารละลาย
ร้อยละโดยปริมาตร (% v/v)	$\frac{\text{ปริมาตรของตัวละลาย}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย}} \times 100\%$ ใช้หน่วยปริมาตรเดียวกัน เช่น % mL ตัวละลาย/mL สารละลาย
ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร (% w/v)	$\frac{\text{มวลของตัวละลาย}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย}} \times 100\%$ ถ้าหน่วยมวลของตัวละลายเป็นกรัม ปริมาตรของสารละลายจะเป็นมิลลิลิตรจะได้หน่วยเป็น % g ตัวละลาย/mL สารละลาย ถ้าหน่วยมวลของตัวละลายเป็นกิโลกรัม ปริมาตรของสารละลายจะเป็นลิตรจะได้หน่วยเป็น % kg ตัวละลาย/L สารละลาย

ตรวจสอบความเข้าใจ

1. คำนวณความเข้มข้นเป็นร้อยละโดยมวลของสารละลายต่อไปนี้
   1.1 โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 50.0 กรัม ในน้ำ 200.0 กรัม
   1.2 กรดแอซีติก ($C_2H_4O_2$) 0.50 โมล ในน้ำ 3.0 โมล

2. สารละลายน้ำตาลทราย ($C_{12}H_{22}O_{11}$) เข้มข้นร้อยละ 22.0 โดยมวล มีความหนาแน่น 1.09 กรัมต่อมิลลิลิตร ในสารละลาย 1.0 มิลลิลิตร มีน้ำตาลทรายละลายอยู่กี่กรัม

3. สารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้นร้อยละ 35 โดยมวล มีความหนาแน่น 1.26 กรัมต่อมิลลิลิตร ที่ 20 องศาเซลเซียส
   3.1 ในสารละลาย 100 ลิตร มีกรดซัลฟิวริกละลายอยู่กี่กรัม
   3.2 สารละลายที่มีกรดซัลฟิวริกละลายอยู่ 500 กรัม มีปริมาตรกี่ลิตร

ส่วนในล้านส่วน (parts per million, ppm) และ**ส่วนในพันล้านส่วน** (parts per billion, ppb) เป็นการบอกปริมาณของตัวละลายต่อล้านส่วนและพันล้านส่วนของสารละลาย ตามลำดับ ในหน่วยมวลหรือหน่วยปริมาตรเดียวกัน ตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{ส่วนในล้านส่วน (ppm)} = \frac{\text{มวลหรือปริมาณของตัวละลาย}}{\text{มวลหรือปริมาณของสารละลาย}} \times 10^6$$

$$\text{ส่วนในพันล้านส่วน (ppb)} = \frac{\text{มวลหรือปริมาณของตัวละลาย}}{\text{มวลหรือปริมาณของสารละลาย}} \times 10^9$$

ตัวอย่างเช่น สารละลายเข้มข้น 1 ppm หมายความว่า สารละลายมีตัวละลาย 1 g ละลายอยู่ในสารละลาย 1×10^6 g และเมื่อใช้ความรู้เรื่องแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยจึงกล่าวได้ว่า มีตัวละลาย 1 mg ละลายอยู่ในสารละลาย 1 kg หากกล่าวในหน่วยของปริมาตรจะกล่าวได้ว่า มีตัวละลาย 1 L ละลายอยู่ในสารละลาย 1×10^6 L หรือ มีตัวละลาย 1 μL ละลายอยู่ในสารละลาย 1 L

สารละลายเข้มข้น 1 ppb หมายถึง สารละลายที่มีตัวละลาย 1 g ละลายอยู่ในสารละลาย 1×10^9 g หรือมีตัวละลาย 1 μg ละลายอยู่ในสารละลาย 1 kg ถ้าหน่วยเป็นปริมาตรจะกล่าวได้ว่ามีตัวละลาย 1 L ละลายอยู่ในสารละลาย 1×10^9 L

เนื่องจากหน่วยความเข้มข้น ppm และ ppb นิยมใช้ระบุความเข้มข้นของสารละลายที่เจือจางมาก ซึ่งมวลหรือปริมาตรของตัวละลายมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับมวลหรือปริมาตรของตัวทำละลาย ดังนั้นจึงอาจใช้มวลหรือปริมาตรของตัวทำละลายแทนมวลหรือปริมาตรของสารละลายได้

นอกจากนี้ สารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายถ้าถือว่าความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1 g/mL มวลของน้ำจะเท่ากับปริมาตรของน้ำ ดังนั้นในบางกรณีจะพบว่า ใช้ปริมาตรของสารละลายแทนมวลของสารละลาย เช่น ความเข้มข้นของตะกั่ว (Pb) ในน้ำทิ้งเท่ากับ 1 ppm แสดงว่ามีตะกั่ว 1 mg ในน้ำทิ้ง 1 L ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$1 \text{ ppm} = \frac{1 \text{ g } \cancel{\text{Pb}}}{1 \times 10^6 \text{ g } \cancel{H_2O}} \times \frac{1000 \text{ mg Pb}}{1 \text{ g } \cancel{\text{Pb}}} \times \frac{1000 \text{ g } \cancel{H_2O}}{1 \text{ L } H_2O} = \frac{1 \text{ mg Pb}}{1 \text{ L } H_2O}$$

ตัวอย่าง 1

สารละลายเมอร์คิวรี(II)ไนเทรต ($Hg(NO_3)_2$) มีเมอร์คิวรี(II)ไนเทรต อยู่ 0.0324 กรัม และน้ำ 100 กรัม สารละลายนี้มีความเข้มข้นเท่าใดในหน่วยส่วนในล้านส่วน

วิธีทำ

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลาย} = \frac{\text{g } Hg(NO_3)_2}{\text{g } Hg(NO_3)_2 + \text{g } H_2O} \times 10^6 \text{ ppm}$$

$$= \frac{0.0324 \text{ g}}{0.0324 \text{ g} + 100 \text{ g}} \times 10^6 \text{ ppm}$$

$$= 3.24 \times 10^2 \text{ ppm}$$

ดังนั้น สารละลายเมอร์คิวรี(II)ไนเทรตมีความเข้มข้น 3.24×10^2 ส่วนในล้านส่วน

ตัวอย่าง 2

ถ้าในอากาศ 100 มิลลิลิตร มีไดไนโตรเจนมอนอกไซด์ (N_2O) 3.30×10^{-5} มิลลิลิตร ความเข้มข้นของไดไนโตรเจนมอนอกไซด์ในอากาศในหน่วยส่วนในพันล้านส่วนมีค่าเป็นเท่าใด

วิธีทำ

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลาย} = \frac{3.30 \times 10^{-5} \text{ mL } N_2O}{100 \text{ mL air}} \times 10^9 \text{ ppb}$$

$$= 3.30 \times 10^2 \text{ ppb}$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของไดไนโตรเจนมอนอกไซด์ในอากาศเท่ากับ 3.30×10^2 ส่วนในพันล้านส่วน

โมลาริตี (molarity, *M*) หมายถึง จำนวนโมลของตัวละลายที่ละลายในสารละลาย 1 ลิตร หรือ 1000 มิลลิลิตร จึงมีหน่วยเป็นโมลต่อลิตร หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า โมลาร์ (molar) ซึ่งมีสัญลักษณ์ M เช่น สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.0 M หมายความว่า สารละลาย 1 L มีกรดซัลฟิวริกละลายอยู่ 1 mol เขียนความสัมพันธ์ของโมลาริตีได้ดังนี้

$$\text{โมลาริตี } (M) = \frac{\text{จำนวนโมลของตัวละลาย (mol)}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย } (\text{dm}^3 \text{ หรือ L})}$$

ตัวอย่าง 3

สารละลายที่ได้จากการละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 15.0 กรัม ในน้ำจนสารละลายมีปริมาตร 250 มิลลิลิตร มีความเข้มข้นกี่โมลาร์

แนวคิด

เนื่องจากความเข้มข้นในหน่วยโมลาร์ หมายถึง จำนวนโมลของตัวละลายในสารละลาย 1 ลิตร ดังนั้น จึงต้องเปลี่ยนหน่วยของ NaOH ซึ่งเป็นตัวละลายให้เป็นโมล และหน่วยของสารละลายให้เป็นลิตร

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 หาจำนวนโมลของ NaOH

$$\text{จำนวนโมลของ NaOH} = 15.0 \text{ g NaOH} \times \frac{1 \text{ mol NaOH}}{40.00 \text{ g NaOH}}$$

$$= 0.375 \text{ mol NaOH}$$

ขั้นที่ 2 หาปริมาตรของสารละลายในหน่วยลิตร

$$\text{ปริมาตรของสารละลาย} = 250 \cancel{\text{ mL sol}^{\text{n}}} \times \frac{1 \text{ L sol}^{\text{n}}}{1000 \cancel{\text{ mL sol}^{\text{n}}}}$$

$$= 0.250 \text{ L sol}^{\text{n}}$$

ขั้นที่ 3 หาความเข้มข้นของสารละลาย

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลาย} = \frac{\text{โมลของ NaOH}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย}}$$

$$= \frac{0.375 \text{mol NaOH}}{0.250 \text{ L sol}^{\text{n}}}$$

$$= 1.50 \text{ mol NaOH/L sol}^{\text{n}}$$

ดังนั้น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเข้มข้น 1.50 โมลต่อลิตร หรือ 1.50 โมลาร์

การคำนวณที่แสดงขั้นตอนเดียว โดยนำขั้นที่ 1 2 และ 3 มาคิดรวมกัน ได้ดังนี้

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลาย} = \frac{15.0 \cancel{\text{ g NaOH}}}{250 \cancel{\text{ mL sol}^{\text{n}}}} \times \frac{1 \text{ mol NaOH}}{40.00 \cancel{\text{ g NaOH}}} \times \frac{1000 \cancel{\text{ mL sol}^{\text{n}}}}{1 \text{ L sol}^{\text{n}}}$$

$$= 1.50 \text{ mol NaOH/L sol}^{\text{n}}$$

ดังนั้น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเข้มข้น 1.50 โมลต่อลิตร หรือ 1.50 โมลาร์

ตัวอย่าง 4

สารละลายกรดไนทริก (HNO_3) เข้มข้นร้อยละ 10.0 โดยมวล มีความหนาแน่น 1.4 กรัมต่อมิลลิลิตร สารละลายนี้มีความเข้มข้นกี่โมลต่อลิตร

วิธีทำ

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลาย} = \frac{10.0 \text{ g } HNO_3}{100 \text{ g sol}^{\text{n}}} \times \frac{1 \text{ mol } HNO_3}{63.02 \text{ g } HNO_3} \times \frac{1.4 \text{ g sol}^{\text{n}}}{1 \text{ mL sol}^{\text{n}}} \times \frac{1000 \text{ mL sol}^{\text{n}}}{1 \text{ L sol}^{\text{n}}}$$

$$= 2.2 \text{ mol } HNO_3/\text{L sol}^{\text{n}}$$

ดังนั้น สารละลายกรดไนทริกเข้มข้น 2.2 โมลต่อลิตร

โมแลลิตี (molality, m) หมายถึง จำนวนโมลของตัวละลายที่ละลายในตัวทำละลาย 1 กิโลกรัม จึงมีหน่วยเป็นโมลต่อกิโลกรัม หรือ เรียกอีกอย่างว่า โมแลล (molal) ซึ่งมีสัญลักษณ์ m เช่น สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.5 m หมายความว่า มีโซเดียมคาร์บอเนต 0.5 mol ละลายในน้ำ 1 kg เขียนความสัมพันธ์ของโมแลลิตีได้ดังนี้

$$\text{โมแลลิตี } (m) = \frac{\text{จำนวนโมลของตัวละลาย (mol)}}{\text{มวลของตัวทำละลาย (kg)}}$$

เมื่อละลายน้ำตาลทราย ($C_{12}H_{22}O_{11}$) 34.2 กรัม ในน้ำ 500 กรัม จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นกี่โมลต่อกิโลกรัม

วิธีทำ

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลาย} = \frac{34.2\ \text{g}\ C_{12}H_{22}O_{11}}{500\ \text{g}\ H_2O} \times \frac{1\ \text{mol}\ C_{12}H_{22}O_{11}}{342.34\ \text{g}\ C_{12}H_{22}O_{11}} \times \frac{1000\ \text{g}\ H_2O}{1\ \text{kg}\ H_2O}$$

$$= 0.200\ \text{mol}\ C_{12}H_{22}O_{11}/\text{kg}\ H_2O$$

ดังนั้น สารละลายน้ำตาลทรายมีความเข้มข้น 0.200 โมลต่อกิโลกรัม

สารละลาย A เข้มข้น 2.5 โมแลล ถ้าในสารละลายนี้มี A 10 กรัม จงคำนวณมวลของน้ำในสารละลาย กำหนดให้ A มีมวลต่อโมลเท่ากับ 250 กรัมต่อโมล

วิธีทำ

$$\text{มวลของ}\ H_2O = 10\ \text{g A} \times \frac{1\ \text{mol A}}{250\ \text{g A}} \times \frac{1\ \text{kg}\ H_2O}{2.5\ \text{mol A}}$$

$$= 1.6 \times 10^{-2}\ \text{kg}\ H_2O$$

ดังนั้น สารละลาย A เข้มข้น 2.5 โมแลล มีน้ำ 1.6×10^{-2} กิโลกรัม

เศษส่วนโมล (mole fraction, X) เศษส่วนโมลของสารใดในสารละลายหมายถึง อัตราส่วนจำนวนโมลของสารนั้นกับจำนวนโมลรวมของสารทั้งหมดในสารละลาย เช่น สารละลายชนิดหนึ่งประกอบด้วยสาร A a โมล สาร B b โมล และสาร C c โมล เศษส่วนโมลของ A B และ C เป็นดังนี้

$$\text{เศษส่วนโมลของ A } (X_A) = \frac{a}{(a+b+c)}$$

$$\text{เศษส่วนโมลของ B } (X_B) = \frac{b}{(a+b+c)}$$

$$\text{เศษส่วนโมลของ C } (X_C) = \frac{c}{(a+b+c)}$$

ถ้านำเศษส่วนโมลของทุกสารในสารละลายมารวมกันจะได้ดังนี้

$$X_A + X_B + X_C = \frac{a}{(a+b+c)} + \frac{b}{(a+b+c)} + \frac{c}{(a+b+c)} = 1$$

ถ้านำเศษส่วนโมลของแต่ละสารมาคูณด้วย 100 จะได้ความเข้มข้นของสารนั้นในหน่วยร้อยละโดยโมล (mole percent) ดังนี้

$$\text{ร้อยละโดยโมลของ A} = X_A \times 100$$
$$\text{ร้อยละโดยโมลของ B} = X_B \times 100$$
$$\text{ร้อยละโดยโมลของ C} = X_C \times 100$$

ถ้านำร้อยละโดยโมลของทุกสารในสารละลายมารวมกันจะเป็นดังนี้

$$(X_A \times 100) + (X_B \times 100) + (X_C \times 100) = 100$$

ตัวอย่าง 7

สารละลายชนิดหนึ่งเตรียมโดยการผสมเอทานอล (C_2H_6O) 10.00 กรัม กับน้ำจำนวน 100.0 กรัม จงคำนวณเศษส่วนโมลของเอทานอลในสารละลาย และร้อยละโดยโมลของเอทานอลในสารละลายนี้

แนวคิด

หาจำนวนโมลของน้ำและเอทานอล เพื่อนำไปหาเศษส่วนโมล แล้วนำไปหาร้อยละโดยโมลของเอทานอล

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 หาจำนวนโมลของ H_2O

$$\text{จำนวนโมลของ } H_2O = 100.0 \text{ g } H_2O \times \frac{1 \text{ mol } H_2O}{18.02 \text{ g } H_2O} = 5.549 \text{ mol } H_2O$$

ขั้นที่ 2 หาจำนวนโมลของ C_2H_6O

$$\text{จำนวนโมลของ } C_2H_6O = 10.00 \text{ g } C_2H_6O \times \frac{1 \text{ mol } C_2H_6O}{46.08 \text{ g } C_2H_6O} = 0.2170 \text{ mol } C_2H_6O$$

ขั้นที่ 3 หาเศษส่วนโมลของ C_2H_6O

$$\text{เศษส่วนโมลของ } C_2H_6O = \frac{0.2170 \text{ mol } C_2H_6O}{0.2170 \text{ mol } C_2H_6O + 5.549 \text{ mol } H_2O}$$

$$= 0.03763$$

ขั้นที่ 4 หาร้อยละโดยโมลของ C_2H_6O

$$\text{ร้อยละโดยโมลของ } C_2H_6O = 0.03763 \times 100 = 3.763$$

ดังนั้น สารละลายนี้มีเศษส่วนโมลของเอทานอลเท่ากับ 0.03763 และร้อยละโดยโมลของเอทานอลเท่ากับ 3.763

ตัวอย่าง 8

สารละลายกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) ประกอบด้วยน้ำ 10.0 กรัม และมีเศษส่วนโมลของกลูโคสเท่ากับ 0.0200 ในสารละลายมีกลูโคสกี่กรัม

แนวคิด

หาจำนวนโมลของน้ำ จากนั้นนำไปหาจำนวนโมลของกลูโคสจากความสัมพันธ์ของเศษส่วนโมล แล้วจึงนำไปหามวลของกลูโคสในสารละลาย

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 หาจำนวนโมลของ H_2O

$$\text{จำนวนโมลของ } H_2O = 10.0 \text{ g } H_2O \times \frac{1 \text{ mol } H_2O}{18.02 \text{ g } H_2O}$$

$$= 0.555 \text{ mol } H_2O$$

ขั้นที่ 2 หาจำนวนโมลของ $C_6H_{12}O_6$

$$\text{เศษส่วนโมลของ } C_6H_{12}O_6 = \frac{\text{mol } C_6H_{12}O_6}{\text{mol } C_6H_{12}O_6 + \text{mol } H_2O}$$

กำหนดให้ mol $C_6H_{12}O_6 = A$

แทนค่า

$$0.0200 = \frac{A}{(A + 0.555)}$$

$$0.0200\,(A + 0.555) = A$$

$$0.0200A + 0.0111 = A$$

$$0.9800A = 0.0111$$

$$A = 1.13 \times 10^{-2}$$

ดังนั้น จำนวนโมลของ $C_6H_{12}O_6 = 1.13 \times 10^{-2}$ mol

ขั้นที่ 3 หามวลของ $C_6H_{12}O_6$

$$\text{มวลของ } C_6H_{12}O_6 = 1.13 \times 10^{-2} \text{ mol } C_6H_{12}O_6 \times \frac{180.18 \text{ g } C_6H_{12}O_6}{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_6}$$

$$= 2.04 \text{ g } C_6H_{12}O_6$$

ดังนั้น สารละลายมีกลูโคส 2.04 กรัม

ความเข้มข้นของหน่วยต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กัน เมื่อทราบความเข้มข้นในหน่วยหนึ่งสามารถเปลี่ยนไปเป็นอีกหน่วยหนึ่งได้ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง 9

สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้นร้อยละ 36.46 โดยมวล มีความหนาแน่นของสารละลายเท่ากับ 1.15 กรัมต่อมิลลิลิตร จงหาความเข้มข้นในหน่วยต่อไปนี้

1. ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร
2. โมลาร์

วิธีทำ

1. ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลาย} = \frac{36.46 \text{ g HCl}}{100 \text{ g sol}^n} \times \frac{1.15 \text{ g sol}^n}{1 \text{ mL sol}^n} \times 100\%$$

$$= 41.9 \text{ \% g HCl/mL sol}^n$$

ดังนั้น สารละลายเข้มข้นร้อยละ 41.9 โดยมวลต่อปริมาตร

2. โมลาร์

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลาย} = \frac{36.46\ \text{g HCl}}{100\ \text{g sol}^{n}} \times \frac{1\ \text{mol HCl}}{36.46\ \text{g HCl}} \times \frac{1.15\ \text{g sol}^{n}}{1\ \text{mL sol}^{n}} \times \frac{1000\ \text{mL sol}^{n}}{1\ \text{L sol}^{n}}$$

$$= 11.5\ \text{mol HCl/L sol}^{n}$$

ดังนั้น สารละลายมีความเข้มข้น 11.5 โมลาร์

ตัวอย่าง 10

สารละลายเลด(II)คลอไรด์ ($PbCl_2$) เข้มข้น 5.00 ส่วนในล้านส่วน มีความหนาแน่นของสารละลายเท่ากับ 1.00 กรัมต่อมิลลิลิตร จงคำนวณความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยต่อไปนี้

1. ร้อยละโดยมวล
2. ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร
3. โมลาร์

วิธีทำ

1. ร้อยละโดยมวล

สารละลาย $PbCl_2$ เข้มข้น 5.00 ppm แสดงว่า มี $PbCl_2$ 5.00 mg ในสารละลาย 1 kg

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลาย} = \frac{5.00\ \text{mg PbCl}_2}{1\ \text{kg sol}^{n}} \times \frac{1\ \text{g PbCl}_2}{1000\ \text{mg PbCl}_2} \times \frac{1\ \text{kg sol}^{n}}{1000\ \text{g sol}^{n}} \times 100\%$$

$$= 5.00 \times 10^{-4}\ \%\ \text{g PbCl}_2\text{/g sol}^{n}$$

ดังนั้น สารละลายเข้มข้นร้อยละ 5.00×10^{-4} โดยมวล

2. ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร

สารละลาย $PbCl_2$ เข้มข้น 5.00 ppm แสดงว่า มี $PbCl_2$ 5.00 mg ในสารละลาย 1 kg

ความเข้มข้นของสารละลาย

$$= \frac{5.00\ \text{mg}\ PbCl_2}{1\ \text{kg sol}^{n}} \times \frac{1\ \text{g}\ PbCl_2}{1000\ \text{mg}\ PbCl_2} \times \frac{1\ \text{kg sol}^{n}}{1000\ \text{g sol}^{n}} \times \frac{1.00\ \text{g sol}^{n}}{1\ \text{mL sol}^{n}} \times 100\%$$

$$= 5.00 \times 10^{-4}\ \%\ \text{g}\ PbCl_2/\text{mL sol}^{n}$$

ดังนั้น สารละลายเข้มข้นร้อยละ 5.00×10^{-4} โดยมวลต่อปริมาตร

3. โมลาร์

สารละลาย $PbCl_2$ เข้มข้น 5.00 ppm แสดงว่ามี $PbCl_2$ 5.00 mg ในสารละลาย 1 kg แต่เนื่องจากความหนาแน่นของสารละลายเท่ากับ 1.00 g/mL จึงกล่าวได้ว่ามี $PbCl_2$ 5.00 mg ในสารละลาย 1 L

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลาย} = \frac{5.00\ \text{mg}\ PbCl_2}{1\ \text{L sol}^{n}} \times \frac{1\ \text{g}\ PbCl_2}{1000\ \text{mg}\ PbCl_2} \times \frac{1\ \text{mol}\ PbCl_2}{278.10\ \text{g}\ PbCl_2}$$

$$= 1.80 \times 10^{-5}\ \text{mol}\ PbCl_2/\text{L sol}^{n}$$

ดังนั้น สารละลายมีความเข้มข้น 1.80×10^{-5} โมลาร์

ตัวอย่าง 11

สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) เข้มข้นร้อยละ 10.0 โดยมวล มีความหนาแน่นของสารละลายเท่ากับ 1.18 กรัมต่อมิลลิลิตร จงคำนวณความเข้มข้นในหน่วยต่อไปนี้

1. โมลาร์
2. โมแลล

วิธีทำ

1. โมลาร์

ความเข้มข้นของสารละลาย

$$= \frac{10.0\ \text{g } CaCl_2}{100\ \text{g sol}^n} \times \frac{1\ \text{mol } CaCl_2}{110.98\ \text{g } CaCl_2} \times \frac{1.18\ \text{g sol}^n}{1\ \text{mL sol}^n} \times \frac{1000\ \text{mL sol}^n}{1\ \text{L sol}^n}$$

$$= 1.06\ \text{mol } CaCl_2/\text{L sol}^n$$

ดังนั้น สารละลายมีความเข้มข้น 1.06 โมลาร์

2. โมแลล

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลาย} = \frac{10.0\ \text{g } CaCl_2}{(100 - 10)\ \text{g } H_2O} \times \frac{1\ \text{mol } CaCl_2}{110.98\ \text{g } CaCl_2} \times \frac{1000\ \text{g } H_2O}{1\ \text{kg } H_2O}$$

$$= 1.00\ \text{mol } CaCl_2/\text{kg } H_2O$$

ดังนั้น สารละลายมีความเข้มข้น 1.00 โมแลล

ตัวอย่าง 12

สารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น 2.00 โมลาร์ ปริมาตร 1.00 ลิตร กำหนดให้ความหนาแน่นของสารละลายเท่ากับ 1.12 กรัมต่อมิลลิลิตร จงคำนวณความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยต่อไปนี้

1. โมแลล
2. เศษส่วนโมลของกรดซัลฟิวริก

วิธีทำ

1. โมแลล

ขั้นที่ 1 หามวลของน้ำในสารละลาย

$$\text{มวลของสารละลาย} = 1.00\ \cancel{\text{L sol}^{\text{n}}} \times \frac{1000\ \cancel{\text{mL sol}^{\text{n}}}}{1\ \cancel{\text{L sol}^{\text{n}}}} \times \frac{1.12\ \text{g sol}^{\text{n}}}{1\ \cancel{\text{mL sol}^{\text{n}}}}$$

$$= 1.12 \times 10^{3}\ \text{g sol}^{\text{n}}$$

$$\text{มวลของกรดซัลฟิวริก} = 2.00\ \cancel{\text{mol } H_2SO_4} \times \frac{98.08\ \text{g } H_2SO_4}{1\ \cancel{\text{mol } H_2SO_4}}$$

$$= 196\ \text{g } H_2SO_4$$

$$\text{ดังนั้น มวลของน้ำ} = \text{มวลของสารละลาย} - \text{มวลของกรดซัลฟิวริก}$$

$$= (1.12 \times 10^{3})\ \text{g} - 196\ \text{g}$$

$$= 924\ \text{g } H_2O$$

ขั้นที่ 2 หาความเข้มข้นของสารละลาย

$$\text{ความเข้มข้นของสารละลาย} = \frac{2.00\ \text{mol } H_2SO_4}{924\ \cancel{\text{g } H_2O}} \times \frac{1000\ \cancel{\text{g } H_2O}}{1\ \text{kg } H_2O}$$

$$= 2.16\ \text{mol } H_2SO_4/\text{kg } H_2O$$

ดังนั้น สารละลายเข้มข้น 2.16 โมแลล

2. เศษส่วนโมล

ขั้นที่ 1 หาจำนวนโมลของ H_2O

$$\text{จำนวนโมลของ } H_2O = 924\ \cancel{\text{g } H_2O} \times \frac{1\ \text{mol } H_2O}{18.02\ \cancel{\text{g } H_2O}} = 51.3\ \text{mol } H_2O$$

ขั้นที่ 2 หาเศษส่วนโมลของกรดซัลฟิวริก

$$\text{เศษส่วนโมลของ } H_2SO_4 = \frac{\text{จำนวนโมลของ } H_2SO_4}{\text{จำนวนโมลของ } H_2SO_4 + \text{จำนวนโมลของ } H_2O}$$

$$= \frac{2.00 \text{ mol } H_2SO_4}{2.00 \text{ mol } H_2SO_4 + 51.3 \text{ mol } H_2O}$$

$$= 0.0375$$

ดังนั้น เศษส่วนโมลของกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 0.0375

แบบฝึกหัด 5.1

1. สินแร่ตัวอย่างชนิดหนึ่ง 0.456 กรัม เมื่อนำมาวิเคราะห์พบว่ามีโครเมียม(III)ออกไซด์ (Cr_2O_3) อยู่ 0.560 มิลลิกรัม สินแร่ตัวอย่างมีโครเมียม(III)ออกไซด์ อยู่กี่ส่วนในล้านส่วน

2. ในการตรวจสอบน้ำจากแหล่งน้ำแห่งหนึ่งพบว่ามีปริมาณของเลด(II)ไอออน (Pb^{2+}) 0.20 ส่วนในล้านส่วน และมีซิงค์(II)ไอออน (Zn^{2+}) 3.00 ส่วนในล้านส่วน ถ้าแหล่งน้ำนี้มีความกว้างเท่ากับ 3.00 เมตร มีความยาวเท่ากับ 10.00 เมตร และมีน้ำอยู่ลึกประมาณ 1.50 เมตร ในแหล่งน้ำนี้มีเลด(II)ไอออนและซิงค์(II)ไอออน ปนเปื้อนอยู่กี่กรัม

3. จงคำนวณความเข้มข้นในหน่วยโมลต่อลิตรของสารละลายต่อไปนี้
   3.1 โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 3.0 โมล ในสารละลาย 0.650 ลิตร
   3.2 กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.015 โมล ในสารละลาย 10 มิลลิลิตร
   3.3 กลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) 400 กรัม ในสารละลาย 800 มิลลิลิตร
   3.4 โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 53 กรัม ในสารละลาย 1 ลิตร

4. กรดเปอร์คลอริก ($HClO_4$) มีมวลต่อโมล 100.46 กรัมต่อโมล ถ้าสารละลายกรดนี้เข้มข้น 9.20 โมลต่อลิตร มีความหนาแน่น 1.54 กรัมต่อมิลลิลิตร จงคำนวณความเข้มข้นของสารละลายนี้เป็นร้อยละโดยมวล

5. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เข้มข้น 0.25 โมลต่อกิโลกรัม ถ้าสารละลายนี้มีโซเดียมคลอไรด์ละลายอยู่ 234 กรัม จะมีน้ำกี่กิโลกรัม

6. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เข้มข้นร้อยละ 10.0 โดยมวล มีความเข้มข้นกี่โมลต่อกิโลกรัม

7. จงคำนวณเศษส่วนโมลของกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15.5 โมลต่อลิตร และมีความหนาแน่น 1.760 กรัมต่อมิลลิลิตร

8. จงคำนวณเศษส่วนโมลของทุกองค์ประกอบในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เข้มข้นร้อยละ 10.0 โดยมวล

5.2 การเตรียมสารละลาย

ในปฏิบัติการทางเคมีส่วนใหญ่ใช้สารในรูปของสารละลาย โดยเฉพาะในหน่วยโมลาร์ จึงจำเป็นต้องเตรียมสารละลายให้มีความเข้มข้นและปริมาตรตามที่ต้องการ การเตรียมสารละลายอาจทำได้โดยนำสารบริสุทธิ์ที่เป็นตัวละลายมาละลายในตัวทำละลายโดยตรง หรือนำสารละลายที่มีอยู่แล้วมาเติมตัวทำละลายเพื่อทำให้สารละลายเจือจางจนได้ความเข้มข้นและปริมาตรที่ต้องการ ซึ่งมีวิธีการเตรียมดังนี้

การเตรียมสารละลายจากสารบริสุทธิ์ ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก คือ การคำนวณปริมาณของตัวละลาย การชั่งตัวละลาย การละลายในตัวทำละลาย และการปรับปริมาตรของสารละลายให้ได้ตามต้องการในขวดกำหนดปริมาตร เช่น ถ้าต้องการเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เข้มข้น 0.020 โมลต่อลิตร ปริมาตร 250 มิลลิลิตร จากโซเดียมคลอไรด์บริสุทธิ์ซึ่งมีมวลต่อโมลเท่ากับ 58.44 กรัมต่อโมล โดยเริ่มต้นจากการคำนวณมวลของโซเดียมคลอไรด์ที่จะใช้ ดังนี้

$$\text{มวลของ NaCl} = \frac{0.020 \text{ mol NaCl}}{1000 \text{ mL sol}^{n}} \times 250 \text{ mL sol}^{n} \times \frac{58.44 \text{ g NaCl}}{1 \text{ mol NaCl}}$$

$$= 0.29 \text{ g NaCl}$$

สังเกตว่าในการคำนวณสามารถใช้ 1000 mL แทน 1 L เพื่อลดขั้นตอนการเปลี่ยนหน่วยปริมาตรได้

จากการคำนวณแสดงว่าต้องใช้โซเดียมคลอไรด์ 0.29 กรัม การเตรียมสารละลายทำได้โดยชั่งโซเดียมคลอไรด์ 0.29 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นแล้วใส่ลงในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นจนสารละลายมีปริมาตร 250 มิลลิลิตร

การเตรียมสารละลายเจือจางจากสารละลายเข้มข้น ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก คือ การคำนวณจำนวนโมลของตัวละลายในสารละลายที่ต้องการเตรียม คำนวณปริมาตรสารละลายเข้มข้นที่จะใช้ ปิเปตต์สารละลายเข้มข้นตามปริมาตรที่คำนวณได้ใส่ลงในขวดกำหนดปริมาตร และการปรับปริมาตรของสารละลายให้ได้ตามต้องการในขวดกำหนดปริมาตร เช่น ถ้าต้องการเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.010 โมลต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.020 โมลต่อลิตร ที่เตรียมไว้แล้วข้างต้น สามารถทำได้โดยการเจือจางสารละลายดังกล่าว โดยเริ่มต้นจากการคำนวณจำนวนโมลของโซเดียมคลอไรด์ที่ต้องการเตรียม ดังนี้

$$\text{จำนวนโมลของ NaCl} = \frac{0.010 \text{ mol NaCl}}{1000 \cancel{\text{mL sol}^{\text{n}}}} \times 100 \cancel{\text{mL sol}^{\text{n}}}$$

$$= 0.0010 \text{ mol NaCl}$$

ดังนั้น สารละลายที่ต้องการเตรียมมีโซเดียมคลอไรด์ 0.0010 โมล

คำนวณปริมาตรของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.020 โมลต่อลิตร ที่มีจำนวนโมลเท่ากับ 0.0010 โมล ดังนี้

$$\text{ปริมาตรของสารละลาย} = 0.0010 \cancel{\text{mol NaCl}} \times \frac{1000 \text{ mL sol}^{\text{n}}}{0.020 \cancel{\text{mol NaCl}}}$$

$$= 50 \text{ mL sol}^{\text{n}}$$

เมื่อทราบปริมาตรของสารละลายเข้มข้นที่ต้องนำมาเจือจางแล้ว การเจือจางสามารถทำได้โดยการปิเปตต์สารละลายดังกล่าวตามปริมาตรที่คำนวณได้ลงในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วนำมาเติมน้ำกลั่นซึ่งเป็นตัวทำละลาย จนสารละลายมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

การเตรียมสารละลายให้มีความเข้มข้นที่แม่น จำเป็นต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีความละเอียดสูง เช่น เครื่องชั่งที่มีความละเอียดสูง ขวดกำหนดปริมาตร ปิเปตต์ ซึ่งผู้เตรียมสารละลายควรมีทักษะในการใช้อุปกรณ์เหล่านี้อย่างถูกต้อง และนักเรียนจะได้ฝึกฝนทักษะดังกล่าวจากกิจกรรมต่อไปนี้

กิจกรรม 5.1 การเตรียมสารละลาย

จุดประสงค์ของกิจกรรม

1. คำนวณมวลของตัวละลาย เพื่อใช้เตรียมสารละลายให้มีความเข้มข้นและปริมาตรตามต้องการ
2. เตรียมสารละลายให้มีความเข้มข้นและปริมาตรตามต้องการ จากสารบริสุทธิ์และการเจือจาง

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

1. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)
2. น้ำกลั่น
3. เครื่องชั่ง
4. ขวดกำหนดปริมาตร ขนาด 100 mL
5. ปิเปตต์แบบใช้ตวง ขนาด 10 mL
6. กรวยกรอง
7. บีกเกอร์
8. แท่งแก้วคน
9. ขวดน้ำกลั่น
10. หลอดหยด

วิธีทำกิจกรรม

ตอนที่ 1 เตรียม NaCl 0.40 mol/L ปริมาตร 100 mL

1. คำนวณมวลของ NaCl ที่ต้องใช้ และบันทึกผล
2. ชั่งมวลของ NaCl ที่จะใช้ ให้ได้ปริมาณเท่ากับหรือใกล้เคียงมากที่สุด กับมวลที่คำนวณได้ ใส่ลงในบีกเกอร์ และบันทึกมวลที่ชั่งได้
3. เติมน้ำกลั่นปริมาตรประมาณ 30 mL ลงในบีกเกอร์ ใช้แท่งแก้วคนจน NaCl ละลายหมด และตั้งทิ้งไว้จนสารละลายมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง
4. เทสารละลายผ่านกรวยกรองลงในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 mL ชะสารละลายที่เหลือในบีกเกอร์และแท่งแก้วด้วยน้ำกลั่นปริมาณเล็กน้อยอีก 2 – 3 ครั้ง จนสารละลายถูกชะลงไปในขวดกำหนดปริมาตรจนหมด โดยปริมาตรของสารละลายในขวดไม่ควรเกิน 2 ใน 3 ของปริมาตรสารละลายที่ต้องการ หมุนวนขวดกำหนดปริมาตรเพื่อให้สารละลายในขวดผสมกันเป็นเนื้อเดียว

5. เติมน้ำกลั่นจนระดับของสารละลายต่ำกว่าขีดบอกปริมาตรเล็กน้อย จากนั้นใช้หลอดหยดเติมน้ำกลั่นทีละน้อยจนจุดต่ำสุดของส่วนโค้งของสารละลายอยู่ตรงกับขีดบอกปริมาตร
6. ปิดจุกขวดให้แน่น แล้วกลับขวดขึ้นลงให้สารละลายผสมกัน สารละลายที่ได้จะมีความเข้มข้นและปริมาตรตามต้องการ
7. เทสารละลายที่ได้ใส่ภาชนะเก็บสารและปิดจุกให้เรียบร้อย ติดฉลากโดยระบุสูตรเคมี ความเข้มข้นจริงที่ได้จากการเตรียม และวันที่เตรียมสารละลาย

1. ชั่งสารให้ได้มวลตามที่ต้องการ

2.ละลายสารตัวอย่างในบีกเกอร์และตั้งทิ้งไว้จนสารละลายมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง

3. เทสารละลายลงในขวดกำหนดปริมาตร

4. ชะบีกเกอร์และแท่งแก้วคนด้วยน้ำกลั่น

5. หมุนวนขวดกำหนดปริมาตรเพื่อให้สารละลายผสมกัน

6.เติมน้ำกลั่นจนระดับสารละลายต่ำกว่าขีดบอกปริมาตรเล็กน้อย

7. เติมน้ำกลั่นทีละน้อยจนถึงขีดบอกปริมาตร

8. ปิดจุกขวด แล้วกลับขวดขึ้นลงให้สารละลายผสมกัน

9. เทใส่ภาชนะเก็บสารและติดฉลาก

การเตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์จากสารบริสุทธิ์

ตอนที่ 2 เตรียม NaCl 0.040 mol/L ปริมาตร 100 mL โดยเจือจางจากสารละลายที่เตรียมได้ในตอนที่ 1

1. คำนวณปริมาตรของสารละลายที่ต้องใช้จากสารละลายในตอนที่ 1 และบันทึกผล
2. ปิเปตต์สารละลายที่เตรียมได้ในตอนที่ 1 และถ่ายลงในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 mL
3. เติมน้ำกลั่นลงในขวดกำหนดปริมาตรจนจุดต่ำสุดของส่วนโค้งของสารละลายอยู่ตรงกับขีดบอกปริมาตร
4. ปิดจุกขวดให้แน่น แล้วกลับขวดขึ้นลงให้สารละลายผสมกัน สารละลายที่ได้จะมีความเข้มข้นและปริมาตรตามต้องการ
5. เทสารละลายที่ได้ใส่ภาชนะเก็บสาร ปิดจุก และติดฉลาก

ชวนคิด

ถ้าปรับปริมาตรเกินขีดบอกปริมาตร จะมีผลต่อความเข้มข้นของสารละลายอย่างไร

รู้หรือไม่

การละลายของสารบางชนิด อาจทำให้สารละลายมีอุณหภูมิสูงขึ้นหรือต่ำลงกว่าอุณหภูมิห้อง ซึ่งมีผลทำให้ขวดกำหนดปริมาตรขยายหรือหดตัวจนมีปริมาตรคลาดเคลื่อนไปจากที่กำหนด จึงต้องตั้งสารละลายไว้จนสารละลายมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องก่อนปรับปริมาตรในขวดกำหนดปริมาตร

ตรวจสอบความเข้าใจ

1. ถ้าต้องการเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.050 โมลต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ต้องใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตกี่กรัม

2. ถ้าใช้โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.79 กรัม ในการเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้น 0.10 โมลต่อลิตร สารละลายที่ได้มีปริมาตรเท่าใด

3. ถ้าต้องการสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้น 0.003 โมลต่อลิตร ปริมาตร 75 มิลลิลิตร จากสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้น 0.050 โมลต่อลิตร จะทำได้อย่างไร

การเตรียมสารละลายโดยทำให้เจือจางเป็นการทำให้ความเข้มข้นของสารละลายลดลง เพราะว่าในสารละลายมีจำนวนโมลตัวละลายคงที่ แต่มีการเติมตัวทำละลายลงไปเพื่อทำให้ปริมาตรของสารละลายเพิ่มขึ้น ดังรูป 5.1

รูป 5.1 โมเลกุลของตัวละลายและตัวทำละลายในสารละลายเข้มข้นและเจือจาง

จากที่ทราบแล้วว่าจำนวนโมลของตัวละลายก่อนและหลังการทำให้เจือจางมีค่าเท่ากัน ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและปริมาตรของสารละลายก่อนและหลังการทำให้เจือจางเป็นอย่างไร พิจารณาได้ดังนี้

ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นในหน่วยของโมลาริตี เป็นดังนี้

$$\text{โมลาริตี } (M) = \frac{\text{จำนวนโมลของตัวละลาย (mol)}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย (L)}}$$

กำหนดให้ M เป็นความเข้มข้นของสารละลาย (mol/L)
V เป็นปริมาตรของสารละลาย (L)
n เป็นจำนวนโมลของตัวละลาย (mol)

จำนวนโมลของตัวละลาย (mol) = โมลาริตี (mol/L) × ปริมาตรของสารละลาย (L)

$$n = MV$$

ถ้าให้ M_1 เป็นความเข้มข้นของสารละลายก่อนทำให้เจือจาง (mol/L)
M_2 เป็นความเข้มข้นของสารละลายหลังทำให้เจือจาง (mol/L)
V_1 เป็นปริมาตรของสารละลายก่อนทำให้เจือจาง (L)
V_2 เป็นปริมาตรของสารละลายหลังทำให้เจือจาง (L)

เนื่องจากจำนวนโมลของตัวละลายก่อนและหลังการทำให้เจือจางมีค่าเท่ากัน ดังนั้น

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับปริมาตรนี้สามารถนำไปใช้คำนวณปริมาตรและความเข้มข้นของสารละลายเดิมหรือของสารละลายที่เตรียมได้ โดย M_1 กับ M_2 จะต้องเป็นหน่วยความเข้มข้นเดียวกันและ V_1 กับ V_2 จะต้องเป็นหน่วยปริมาตรเดียวกัน

ตัวอย่าง 13

ต้องใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้น 0.020 โมลต่อลิตร ปริมาตรเท่าใด ในการเตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้น 0.010 โมลต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

วิธีทำ

กำหนดให้ $M_1 = 0.020 \text{ mol/L}$ $V_1 = ? \text{ mL}$

$M_2 = 0.010 \text{ mol/L}$ $V_2 = 100 \text{ mL}$

แทนค่าลงในความสัมพันธ์ $M_1V_1 = M_2V_2$

$$(0.020 \text{ mol/L})(V_1) = (0.010 \text{ mol/L})(100 \text{ mL})$$

$$V_1 = \frac{(0.010 \cancel{\text{mol/L}})(100 \text{ mL})}{(0.020 \cancel{\text{mol/L}})}$$

$$= 50 \text{ mL}$$

ดังนั้น ต้องใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้น 0.020 โมลต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

จะสังเกตได้ว่า ผลการคำนวณปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้น 0.020 โมลต่อลิตร ที่ต้องใช้มีค่าเท่ากับการคำนวณผ่านจำนวนโมลของตัวละลายแล้วคำนวณปริมาตรสารละลายเข้มข้นที่จะใช้ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ตัวอย่าง 14

ใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3.0 โมลาร์ ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ในการเตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางที่มีปริมาตร 450 มิลลิลิตร สารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางที่เตรียมได้มีความเข้มข้นกี่โมลาร์

วิธีทำ

กำหนดให้ $M_1 = 3.0\ \text{mol/L}$ $V_1 = 15\ \text{mL}$

$M_2 = ?\ \text{mol/L}$ $V_2 = 450\ \text{mL}$

แทนค่าลงในความสัมพันธ์ $M_1V_1 = M_2V_2$

$$(3.0\ \text{mol/L})(15\ \text{mL}) = (M_2)(450\ \text{mL})$$

$$M_2 = \frac{(3.0\ \text{mol/L})(15\ \cancel{\text{mL}})}{(450\ \cancel{\text{mL}})}$$

$$= 0.10\ \text{mol/L}$$

ดังนั้น สารละลายกรดซัลฟิวริกเจือจางที่เตรียมได้มีความเข้มข้น 0.10 โมลาร์

แบบฝึกหัด 5.2

1. ถ้าต้องการเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2.00 โมลต่อลิตร จำนวน 250 มิลลิลิตร จะต้องใช้โพแทสเซียมไอโอไดด์กี่กรัม

2. ถ้าต้องการเตรียมสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) เข้มข้น 0.10 โมลต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะต้องใช้แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรตกี่กรัม

3. เลด(II)ไนเทรต ($Pb(NO_3)_2$) 3.31 กรัม ใช้เตรียมสารละลายเข้มข้น 0.25 โมลต่อลิตร ได้กี่มิลลิลิตร

4. จงอธิบาย
   4.1 วิธีเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเทรต ($AgNO_3$) 0.100 โมลต่อลิตร ปริมาตร 250 มิลลิลิตร จากผลึกซิลเวอร์ไนเทรต
   4.2 วิธีเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเทรต 0.025 โมลต่อลิตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตร จากสารละลายที่เตรียมได้ในข้อ 4.1

5. ถ้ามีแบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$) 2.08 กรัม และต้องการเตรียมสารละลายเข้มข้น 0.050 โมลต่อลิตร
   5.1 ถ้าต้องการเตรียมสารละลายเข้มข้น 0.050 โมลต่อลิตร ปริมาตร 400 มิลลิลิตร จะทำได้หรือไม่ เพราะเหตุใด
   5.2 สารละลายเข้มข้น 0.050 โมลต่อลิตร ปริมาตรมากที่สุดที่จะเตรียมได้เป็นเท่าใด

6. ถ้าต้องการเตรียมสารละลายเลด(II)ไนเทรต ($Pb(NO_3)_2$) เข้มข้น 0.050 โมลต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากสารละลายเลด(II)ไนเทรตเข้มข้น 0.20 โมลต่อลิตร
   6.1 ต้องใช้สารละลายเลด(II)ไนเทรตเข้มข้น 0.20 โมลต่อลิตร ปริมาตรกี่มิลลิลิตร
   6.2 สารละลายที่เจือจางแล้วมีเลด(II)ไนเทรตละลายอยู่กี่กรัม

7. เมื่อผสมสาร 2 ชนิด ในแต่ละข้อต่อไปนี้ สารละลายผสมที่ได้มีความเข้มข้นกี่โมลต่อลิตร (เมื่อถือว่าปริมาตรของสารละลายผสมมีค่าเท่ากับผลรวมของปริมาตรของสารละลายเริ่มต้น)
   7.1 สารละลายซิงค์ซัลเฟต ($ZnSO_4$) เข้มข้น 0.60 โมลต่อลิตร ปริมาตร 70.0 มิลลิลิตร กับน้ำ 500 มิลลิลิตร
   7.2 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 1.0 โมลต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร กับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2.0 โมลต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

8. คำนวณปริมาตรของสารละลายเริ่มต้น ที่ต้องนำมาใช้ในการเตรียมสารละลายต่อไปนี้
   8.1 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 6.00 โมลต่อลิตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตร จากสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 12.00 โมลต่อลิตร
   8.2 สารละลายกรดไนทริก (HNO_3) เข้มข้น 1.00 โมลต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากสารละลายกรดไนทริกเข้มข้น 16.00 โมลต่อลิตร

5.3 สมบัติบางประการของสารละลาย

สารละลายเป็นสารผสมเนื้อเดียว ประกอบด้วยสารบริสุทธิ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป สมบัติบางประการของสารละลาย เช่น จุดเดือด จุดหลอมเหลว จะเหมือนหรือแตกต่างจากสมบัติของสารบริสุทธิ์ที่เป็นตัวละลายของสารละลายนั้นอย่างไร สามารถศึกษาได้จากกิจกรรมต่อไปนี้

กิจกรรม 5.2 การทดลองหาจุดเดือดของสารบริสุทธิ์และสารละลาย

จุดประสงค์การทดลอง

1. ทดลองหาจุดเดือดของสารบริสุทธิ์และสารละลาย
2. บอกความแตกต่างระหว่างจุดเดือดของสารบริสุทธิ์กับสารละลายที่มีสารบริสุทธิ์นั้นเป็นตัวทำละลาย

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

1. เอทานอล
2. สารละลายกลีเซอรอลในเอทานอลเข้มข้น 2 mol/kg
3. หลอดทดลองขนาดเล็ก
4. หลอดคะปิลลารี
5. เทอร์มอมิเตอร์ 0 – 100 °C
6. บีกเกอร์ขนาด 100 mL
7. แท่งแก้วคน
8. ขาตั้งพร้อมที่จับหลอดทดลอง
9. ตะเกียงแอลกอฮอล์พร้อมที่กั้นลม
10. ด้ายยาว 20 cm (ใช้ผูกหลอดคะปิลลารีกับเทอร์มอมิเตอร์)

วิธีทดลอง

1. ใส่เอทานอล 20 หยดลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก ใส่หลอดคะปิลลารีที่หลอมปิดบริเวณที่ห่างจากปลายด้านหนึ่งประมาณ 1.0 cm ลงไปในหลอดทดลองโดยให้ปลายส่วนที่เปิดอยู่ด้านล่างและจุ่มอยู่ในเอทานอล
2. ใช้ด้ายผูกหลอดทดลองในข้อ 1 ติดกับเทอร์มอมิเตอร์ โดยให้ก้นหลอดทดลองอยู่ระดับเดียวกันกับกระเปาะของเทอร์มอมิเตอร์ แล้วนำไปจุ่มในบีกเกอร์ขนาด 100 mL ที่ใส่น้ำไว้ประมาณสองในสามส่วน ระวังอย่าให้ก้นของหลอดทดลองแตะกับด้านล่างของบีกเกอร์
3. ต้มน้ำในบีกเกอร์และใช้แท่งแก้วคนตลอดเวลา เมื่อสังเกตเห็นฟองแก๊สปุดออกมาเป็นสายจากหลอดคะปิลลารี หยุดให้ความร้อนและสังเกตต่อไป บันทึกอุณหภูมิเมื่อแก๊สฟองสุดท้ายปุดออกมา ซึ่งอุณหภูมินี้เป็นจุดเดือดของสาร
4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 – 3 โดยใช้สารละลายกลีเซอรอลในเอทานอลเข้มข้น 2 mol/kg แทนเอทานอลบริสุทธิ์

การหาจุดเดือดของสารบริสุทธิ์และสารละลาย

คำถามท้ายการทดลอง

จุดเดือดของเอทานอลและจุดเดือดของสารละลายที่มีเอทานอลเป็นตัวทำละลายแตกต่างกันอย่างไร

จากการทดลองในตอนแรกที่สังเกตเห็นฟองแก๊สปุดออกมาอย่างต่อเนื่อง แสดงว่า ความดันไอในหลอดคะปิลลารีมากกว่าความดันบรรยากาศ ในที่สุดเมื่อความดันไอในหลอดคะปิลลารีเท่ากับความดันบรรยากาศก็จะไม่มีฟองแก๊สปุดออกมาอีก จึงถือได้ว่าอุณหภูมิขณะที่ฟองแก๊สสุดท้ายปุดออกมาเป็นจุดเดือดของของเหลวนั้น เนื่องจากจุดเดือดของของเหลวคืออุณหภูมิขณะที่ความดันไอของของเหลวมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ

สารละลายที่มีตัวทำละลายชนิดเดียวกัน แต่มีความเข้มข้นต่างกัน จะมีจุดเดือดต่างกันหรือไม่ พิจารณาข้อมูลจุดเดือดของสารบริสุทธิ์และสารละลายบางชนิดในตาราง 5.1

ตาราง 5.1 ความเข้มข้นและจุดเดือดของสารบางชนิด

สาร	ความเข้มข้น (mol/kg)	จุดเดือด (°C)
น้ำ	-	100.00
สารละลายกลีเซอรอลในน้ำ	1	100.51
	2	101.02
สารละลายน้ำตาลทรายในน้ำ	1	100.51
	2	101.02

ชวนคิด

จากตาราง 5.1 จุดเดือดของสารละลายในแต่ละหัวข้อต่อไปนี้แตกต่างกันหรือไม่อย่างไร

1. สารละลายกลีเซอรอลในน้ำที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน
2. สารละลายน้ำตาลทรายในน้ำที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน
3. สารละลายกลีเซอรอลในน้ำกับสารละลายน้ำตาลทรายในน้ำทั้งที่มีความเข้มข้นเท่ากันและแตกต่างกัน

นักเรียนได้ทดลองหาจุดเดือดของสารบริสุทธิ์และสารละลายมาแล้ว ต่อไปจะได้ทดลองหาจุดหลอมเหลวของสาร เพื่อเปรียบเทียบจุดหลอมเหลวของสารละลายกับสารบริสุทธิ์ที่เป็นตัวทำละลายในสารละลายนั้นว่าแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

กิจกรรม 5.3 การทดลองหาจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์และสารละลาย

จุดประสงค์การทดลอง

1. ทดลองหาจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์และสารละลาย
2. บอกความแตกต่างระหว่างจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์กับสารละลายที่มีสารบริสุทธิ์นั้นเป็นตัวทำละลาย

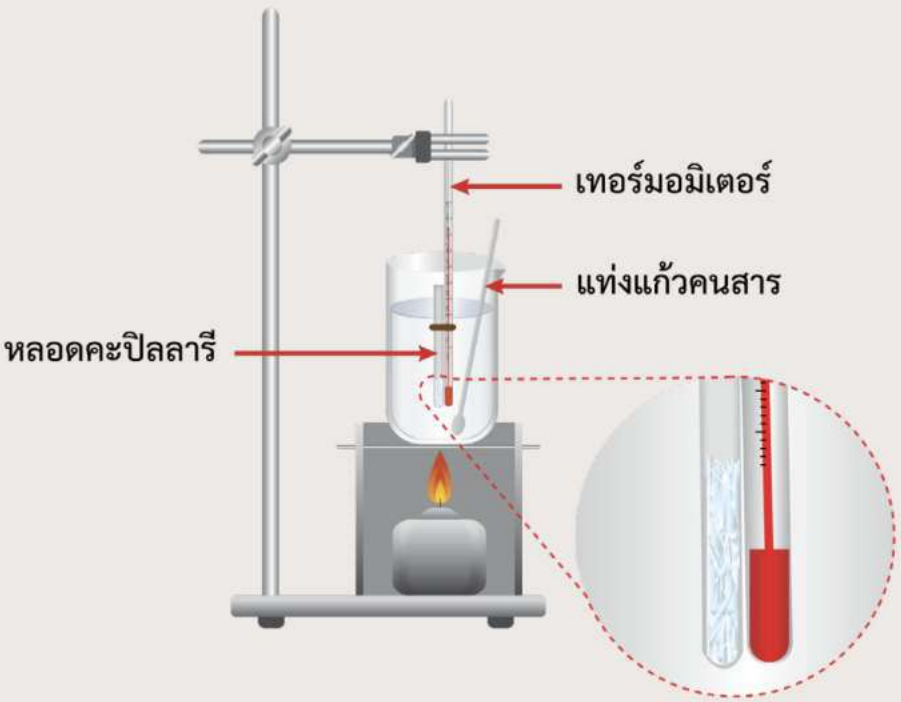
วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

1. แนฟทาลีน
2. สารละลายกรดเบนโซอิกในแนฟทาลีนเข้มข้น 0.5 mol/kg
3. หลอดคะปิลลารี
4. เทอร์มอมิเตอร์ 0 – 100 °C
5. บีกเกอร์ ขนาด 100 mL
6. ตะเกียงแอลกอฮอล์พร้อมที่กั้นลม
7. ด้ายยาว 20 cm
8. แท่งแก้วคน
9. ขาตั้งพร้อมที่จับหลอดทดลอง

วิธีทดลอง

1. บรรจุแนฟทาลีนที่บดละเอียดลงในหลอดคะปิลลารีที่ปิดปลายด้านหนึ่ง แล้วเคาะก้นหลอดกับโต๊ะเพื่อให้สารอัดตัวกันแน่นอยู่ที่ก้นหลอดและมีความสูงประมาณ 0.2 – 0.5 cm
2. ใช้ด้ายผูกหลอดคะปิลลารีติดกับเทอร์มอมิเตอร์แล้วจุ่มลงในบีกเกอร์ขนาด 100 mL ซึ่งบรรจุน้ำประมาณสองในสามส่วน ระวังอย่าให้ปลายด้านบนของหลอดคะปิลลารีจุ่มลงในน้ำ
3. ต้มน้ำในบีกเกอร์และใช้แท่งแก้วคนตลอดเวลา สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสารในหลอดคะปิลลารี บันทึกอุณหภูมิที่สารในหลอดคะปิลลารีเริ่มหลอมเหลว และเมื่อหลอมเหลวหมด หาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิซึ่งเป็นจุดหลอมเหลวของสาร

4. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 – 3 โดยใช้สารละลายกรดเบนโซอิกในแนฟทาลีนเข้มข้น 0.5 mol/kg แทนแนฟทาลีนบริสุทธิ์



การหาจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์และสารละลาย

คำถามท้ายการทดลอง

จุดหลอมเหลวของแนฟทาลีน และจุดหลอมเหลวของสารละลายที่มีแนฟทาลีนเป็นตัวทำละลายแตกต่างกันอย่างไร

สารละลายที่มีตัวทำละลายชนิดเดียวกัน แต่มีความเข้มข้นต่างกัน จะมีจุดหลอมเหลวต่างกันหรือไม่ พิจารณาข้อมูลจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์และสารละลายบางชนิดในตาราง 5.2

ตาราง 5.2 ความเข้มข้นและจุดหลอมเหลวของสารบางชนิด

สาร	ความเข้มข้น (mol/kg)	จุดหลอมเหลว (°C)
เบนซีน	-	5.49
สารละลายกรดเบนโซอิกในเบนซีน	1	0.42
	2	-4.65
สารละลายเฮกเซนในเบนซีน	1	0.42
	2	-4.65

ชวนคิด

จากตาราง 5.2 จุดหลอมเหลวของสารละลายในแต่ละหัวข้อต่อไปนี้แตกต่างกันหรือไม่อย่างไร

1. สารละลายกรดเบนโซอิกในเบนซีนที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน
2. สารละลายเฮกเซนในเบนซีนที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน
3. สารละลายกรดเบนโซอิกในเบนซีนกับสารละลายเฮกเซนในเบนซีนที่มีความเข้มข้นเท่ากัน และมีความเข้มข้นแตกต่างกัน

จากกิจกรรม 5.2 และ 5.3 ทำให้ทราบว่า จุดเดือดของสารละลายจะสูงกว่าจุดเดือดของสารบริสุทธิ์ที่เป็นตัวทำละลายของสารละลายนั้นซึ่งต่อไปจะเรียกว่า ตัวทำละลายบริสุทธิ์ ส่วนจุดหลอมเหลวหรือจุดเยือกแข็งของสารละลายจะต่ำกว่าจุดหลอมเหลวหรือจุดเยือกแข็งของตัวทำละลายบริสุทธิ์

จากข้อมูลในตาราง 5.1 และ 5.2 พบว่า สารละลายที่มีตัวทำละลายชนิดเดียวกัน ถ้ามีความเข้มข้นเป็นโมแลลหรือโมลต่อกิโลกรัมเท่ากัน จะมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวเท่ากัน แต่ถ้ามีความเข้มข้นแตกต่างกัน จะมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวไม่เท่ากัน โดยไม่ขึ้นกับชนิดของตัวละลาย แต่ขึ้นกับชนิดของตัวทำละลาย ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะของสารละลายที่เรียกว่า **สมบัติคอลลิเกทีฟ** (colligative property)

ผลต่างระหว่างจุดเดือดของสารละลายที่มีความเข้มข้น 1 โมแลลหรือ 1 โมลต่อกิโลกรัม กับจุดเดือดของตัวทำละลายบริสุทธิ์มีค่าคงที่ เรียกว่า **ค่าคงที่ของการเพิ่มขึ้นของจุดเดือด** (K_b) เนื่องจากจุดเดือดปกติของของเหลวคืออุณหภูมิที่ความดันไอของของเหลวมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ การเติมตัวละลายที่ระเหยยากลงไปจะทำให้ความดันไอของของเหลวลดลง จุดเดือดของสารละลายจึงสูงกว่าจุดเดือดของตัวทำละลายบริสุทธิ์

ผลต่างระหว่างจุดหลอมเหลวของสารละลายที่มีความเข้มข้น 1 โมแลลหรือ 1 โมลต่อกิโลกรัม กับจุดหลอมเหลวของตัวทำละลายบริสุทธิ์มีค่าคงที่ เรียกว่า **ค่าคงที่ของการลดลงของจุดเยือกแข็ง** (K_f)

ตัวอย่างจุดเดือด จุดเยือกแข็ง ค่า K_b และ K_f ของตัวทำละลายบางชนิด แสดงในตาราง 5.3

ตาราง 5.3 จุดเดือด จุดเยือกแข็ง K_b และ K_f ของตัวทำละลายบางชนิด

ตัวทำละลาย	จุดเดือด (°C)	K_b (°C/m)	จุดเยือกแข็ง (°C)	K_f (°C/m)
น้ำ (H_2O)	100.00	0.51	0.00	1.86
กรดแอซีติก ($C_2H_4O_2$)	117.90	3.22	16.64	3.63
เบนซีน (C_6H_6)	80.09	2.64	5.49	5.07
เอทานอล (C_2H_6O)	78.29	1.23	-	-
เมทานอล (CH_4O)	64.60	0.86	-	-
เอทิลีนไกลคอล ($C_2H_6O_2$)	197.30	2.26	-12.69	3.11
แนฟทาลีน ($C_{10}H_8$)	-	-	80.26	7.45
ไซโคลเฮกเซน (C_6H_{12})	80.73	2.92	6.59	20.80
โทลูอีน (C_7H_8)	110.63	3.40	-94.95	3.55

(ค่า K_b และ K_f มีหน่วยเป็น °C/m หรือ °C/mol/kg หรือเขียนเป็น °C·kg/mol เมื่อ m = molal)

สำหรับสารละลายที่ตัวละลายเป็นสารที่ระเหยยากและไม่แตกตัวเป็นไอออน สามารถหาจุดเดือดหรือจุดหลอมเหลวของสารละลายได้โดยใช้ค่า K_b หรือ K_f ตามลำดับ โดยพิจารณาได้ดังนี้

จากข้อมูลในตาราง 5.3 K_b ของกรดแอซีติกเท่ากับ 3.22 องศาเซลเซียสต่อโมแลล ($^oC/m$) หมายความว่า สารละลายที่มีกรดแอซีติกเป็นตัวทำละลายเข้มข้น 1 โมแลล จะเดือดที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของกรดแอซีติก 3.22 องศาเซลเซียส นั่นคือจุดเดือดของสารละลายนี้ มีค่าเท่ากับ 121.12 องศาเซลเซียส และถ้าสารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้น จุดเดือดของสารละลายก็จะยิ่งสูงขึ้น

การเพิ่มขึ้นของจุดเดือดแปรผันตรงกับความเข้มข้นเป็นโมแลลของสารละลาย ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\Delta T_b \propto m$$
$$\Delta T_b = K_b m$$

เมื่อ

ΔT_b = ผลต่างระหว่างจุดเดือดของสารละลายกับจุดเดือดของตัวทำละลายบริสุทธิ์
m = ความเข้มข้นของสารละลายเป็นโมแลลหรือโมลต่อกิโลกรัม
K_b = ค่าคงที่ของการเพิ่มขึ้นของจุดเดือด

ในทำนองเดียวกันค่า K_f ของกรดแอซีติกเท่ากับ 3.63 องศาเซลเซียสต่อโมแลล ($^oC/m$) หมายความว่า สารละลายที่มีกรดแอซีติกเป็นตัวทำละลายเข้มข้น 1 โมแลล จะเยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของกรดแอซีติก 3.63 องศาเซลเซียส นั่นคือ จุดเยือกแข็งของสารละลายนี้มีค่าเท่ากับ 13.01 องศาเซลเซียส และถ้าสารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้น จุดเยือกแข็งก็จะยิ่งลดต่ำลง

การลดลงของจุดเยือกแข็งแปรผันตรงกับความเข้มข้นเป็นโมแลลของสารละลาย ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\Delta T_f \propto m$$
$$\Delta T_f = K_f m$$

เมื่อ

ΔT_f = ผลต่างระหว่างจุดเยือกแข็งของตัวทำละลายบริสุทธิ์กับจุดเยือกแข็งของสารละลาย
m = ความเข้มข้นของสารละลายเป็นโมแลลหรือโมลต่อกิโลกรัม
K_f = ค่าคงที่ของการลดลงของจุดเยือกแข็ง

ตัวอย่าง 15

คำนวณจุดเดือดและจุดเยือกแข็งของสารละลายกลูโคสเข้มข้น 2.00 โมแลล

วิธีทำ

น้ำมีค่า K_b = 0.51 °C/m และ K_f = 1.86 °C/m

การหาจุดเดือด

$$\Delta T_b = K_b m$$
$$= 0.51\ ^\circ C/m \times 2.00\ m$$
$$= 1.0\ ^\circ C$$

จุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์ = 100.00 °C

ดังนั้น จุดเดือดของสารละลาย = 100.00 °C + 1.0 °C = 101.0 °C

การหาจุดเยือกแข็ง

$$\Delta T_f = K_f m$$
$$= 1.86\ ^\circ C/m \times 2.00\ m$$
$$= 3.72\ ^\circ C$$

จุดเยือกแข็งของน้ำบริสุทธิ์ = 0.00 °C

ดังนั้น จุดเยือกแข็งของสารละลาย = 0.00 °C – 3.72 °C = -3.72 °C

ตัวอย่าง 16

คำนวณมวลของเอทิลีนไกลคอล ($C_2H_6O_2$) ในหน่วยเป็นกรัม ที่ต้องเติมลงในน้ำจำนวน 37.8 กรัม เพื่อเตรียมสารละลายที่มีจุดเยือกแข็ง -0.150 องศาเซลเซียส

วิธีทำ

K_f ของน้ำ = 1.86 °C/m และมวลต่อโมลของ $C_2H_6O_2$ = 62.08 g/mol

ขั้นที่ 1 หาความเข้มข้นของสารละลายที่มีจุดเยือกแข็ง -0.150 °C

$$\Delta T_f = K_f m$$

$$= 1.86\ ^\circ\text{C/m} \times m$$

$$m = \frac{0.150\ ^\circ\text{C}}{1.86\ ^\circ\text{C/m}}$$

$$= 0.0806\ \text{m หรือ } 0.0806\ \text{mol/kg}$$

ขั้นที่ 2 หามวลของเอทิลีนไกลคอล

$$\text{มวลของ } C_2H_6O_2 = 37.8\ \cancel{\text{g } H_2O} \times \frac{0.0806\ \cancel{\text{mol } C_2H_6O_2}}{1000\ \cancel{\text{g } H_2O}} \times \frac{62.08\ \text{g } C_2H_6O_2}{1\ \cancel{\text{mol } C_2H_6O_2}}$$

$$= 0.189\ \text{g } C_2H_6O_2$$

ดังนั้น มวลของเอทิลีนไกลคอลที่ต้องเติมลงในน้ำคือ 0.189 กรัม

นอกจากสมบัติคอลลิเกทีฟที่ได้ศึกษาคือ การเพิ่มขึ้นของจุดเดือดและการลดลงของจุดเยือกแข็งของสารละลายแล้ว ยังมีสมบัติคอลลิเกทีฟอื่น ๆ ซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาในระดับสูงต่อไป

แบบฝึกหัด 5.3

1. กำหนดให้จุดเดือดของคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS_2) เท่ากับ 46.00 องศาเซลเซียส และมีค่าคงที่ของการเพิ่มขึ้นของจุดเดือด (K_b) เท่ากับ 2.42 องศาเซลเซียสต่อโมแลล จงคำนวณความเข้มข้นเป็นโมแลลของสารละลายซัลเฟอร์ในคาร์บอนไดซัลไฟด์ เมื่อสารละลายมีจุดเดือดเท่ากับ 46.72 องศาเซลเซียส

2. คำนวณจุดเยือกแข็งของสารละลายต่อไปนี้
   2.1 สารละลายคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl_4) 3.00 กรัม ในเบนซีน 190 กรัม
   2.2 สารละลายเมทานอล (CH_4O) ในน้ำเข้มข้น 1.50 โมแลล
   2.3 สารละลายแนฟทาลีน ($C_{10}H_8$) 1.00 กรัม ในไซโคลเฮกเซน (C_6H_{12}) 25.0 กรัม
   2.4 สารละลายกรดเบนโซอิก ($C_7H_6O_2$) 0.00250 โมล ในน้ำ 200 กรัม

3. คำนวณมวลของเอทิลีนไกลคอล ($C_2H_6O_2$) ในหน่วยเป็นกรัม ที่ต้องเติมลงในน้ำปริมาตร 1 ลิตร เพื่อทำให้สารละลายมีจุดเยือกแข็ง -30.00 องศาเซลเซียส

4. สารตัวอย่างชนิดหนึ่งจำนวน 20.0 กรัม ละลายในโทลูอีนจำนวน 500 กรัม วัดจุดเยือกแข็งของสารละลายได้ -96.37 องศาเซลเซียส สารตัวอย่างมีมวลต่อโมลเท่าใด

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

สารที่พบในชีวิตประจำวันจำนวนมากอยู่ในรูปของสารละลาย ซึ่งประกอบด้วยตัวทำละลายและตัวละลาย การบอกปริมาณของสารในสารละลาย สามารถบอกเป็นความเข้มข้นในหน่วยของร้อยละ ส่วนในล้านส่วน ส่วนในพันล้านส่วน โมลาริตี โมแลลิตี และเศษส่วนโมล

การเตรียมสารละลายให้มีความเข้มข้นและปริมาตรของสารละลายตามที่กำหนด ทำได้โดยการละลายสารบริสุทธิ์ที่เป็นตัวละลายในตัวทำละลาย หรือนำสารละลายที่เข้มข้นมาเจือจางด้วยตัวทำละลาย โดยปริมาณของสารที่ใช้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและปริมาตรของสารละลายที่ต้องการ

สารละลายมีจุดเดือดและจุดเยือกแข็งแตกต่างไปจากสารบริสุทธิ์ที่เป็นตัวทำละลายในสารละลายนั้น โดยสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำละลาย และปริมาณของตัวละลายในตัวทำละลาย ซึ่งเป็นสมบัติคอลลิเกทีฟ

แบบฝึกหัดท้ายบท

1. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 1.0 โมลต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เมื่อนำมาเติมน้ำจนมีปริมาตร 250 มิลลิลิตร สารละลายที่ได้มีความเข้มข้นกี่โมลต่อลิตร

2. กรดซิทริก ($C_6H_8O_7$) มีอยู่ในพืชตระกูลส้ม ใช้ผสมในเครื่องดื่มและลูกกวาดเพื่อเพิ่มรสเปรี้ยว ถ้าสารละลายของกรดซิทริกในน้ำเข้มข้น 0.710 โมลต่อกิโลกรัม มีความหนาแน่น 1.049 กรัมต่อมิลลิลิตร สารละลายนี้มีความเข้มข้นกี่โมลต่อลิตร

3. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) กับสารละลายโพแทสเซียมไนเทรต (KNO_3) มีความเข้มข้นและปริมาตรเท่ากันคือ 0.010 โมลต่อลิตร และ 300 มิลลิลิตร ตามลำดับ สารละลายทั้งสองนี้มีมวลของตัวละลายเท่ากันหรือไม่ และสารละลายแต่ละชนิดมีมวลของตัวละลายเป็นกี่กรัม

4. น้ำส้มสายชู ($C_2H_4O_2$) เข้มข้น 0.836 โมลต่อลิตร มีความหนาแน่น 1.005 กรัมต่อมิลลิลิตร จะมีความเข้มข้นกี่โมลต่อกิโลกรัม

5. คาเฟอีน ($C_8H_{10}N_4O_2$) เป็นสารที่พบได้ในชาและกาแฟ ถ้าละลายคาเฟอีนจำนวนหนึ่งในคลอโรฟอร์ม ($CHCl_3$) 50.0 กรัม พบว่าได้สารละลายเข้มข้น 0.0946 โมแลล สารละลายนี้มีคาเฟอีนอยู่กี่กรัม

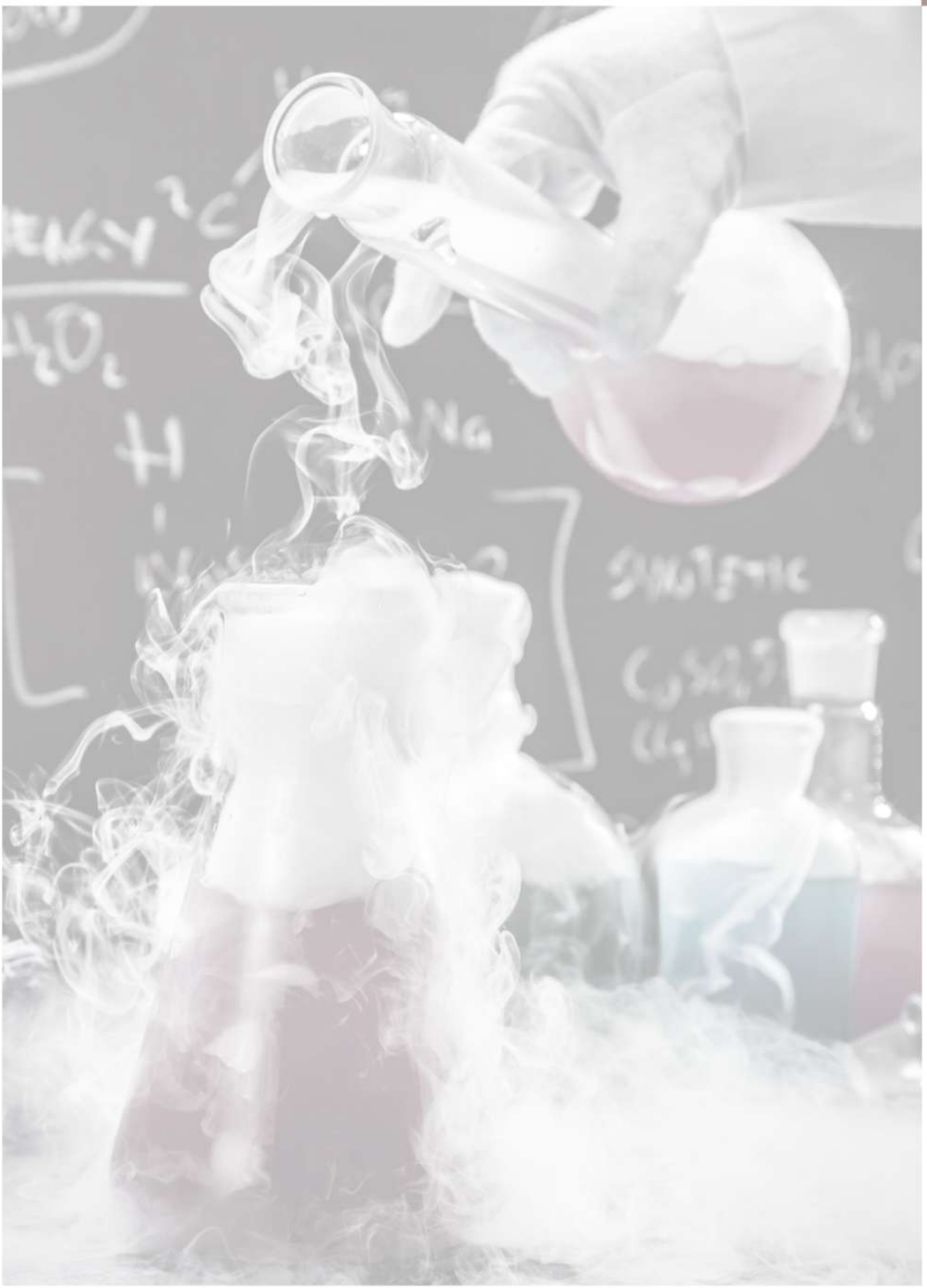
6. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) เข้มข้นร้อยละ 20.0 โดยมวล มีความหนาแน่น 1.22 กรัมต่อมิลลิลิตร จงคำนวณความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยต่อไปนี้
   6.1 โมลต่อลิตร
   6.2 โมลต่อกิโลกรัม

7. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ปริมาตร 500 มิลลิลิตร พบว่ามีจำนวนไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) เท่ากับ 2.01×10^{23} ไอออน ในการเตรียมสารละลายนี้ปริมาตร 1 ลิตร จะต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์กี่กรัม

8. ในการวิเคราะห์เนื้อสัตว์ชนิดหนึ่งพบว่า มีตะกั่วปนเปื้อนอยู่ 120 ส่วนในล้านส่วน คนที่มีน้ำหนัก 59.00 กิโลกรัม ต้องรับประทานเนื้อสัตว์ชนิดนี้อย่างต่อเนื่องกี่กิโลกรัม จึงจะเกิดการสะสมของตะกั่วในกระแสเลือด จนถึงระดับที่เป็นอันตราย
กำหนดให้
   1. ปริมาณตะกั่วในเลือดของคนทั่วไปไม่เกิน 0.40 ส่วนในล้านส่วน ถ้ามีปริมาณตะกั่วเกิน 0.80 ส่วนในล้านส่วน จะเป็นอันตราย
   2. ร่างกายคนมีปริมาณเลือดเท่ากับ 80 มิลลิลิตรต่อน้ำหนัก 1 กิโลกรัม
   3. เลือดมีความหนาแน่น 1.06 กรัมต่อมิลลิลิตร

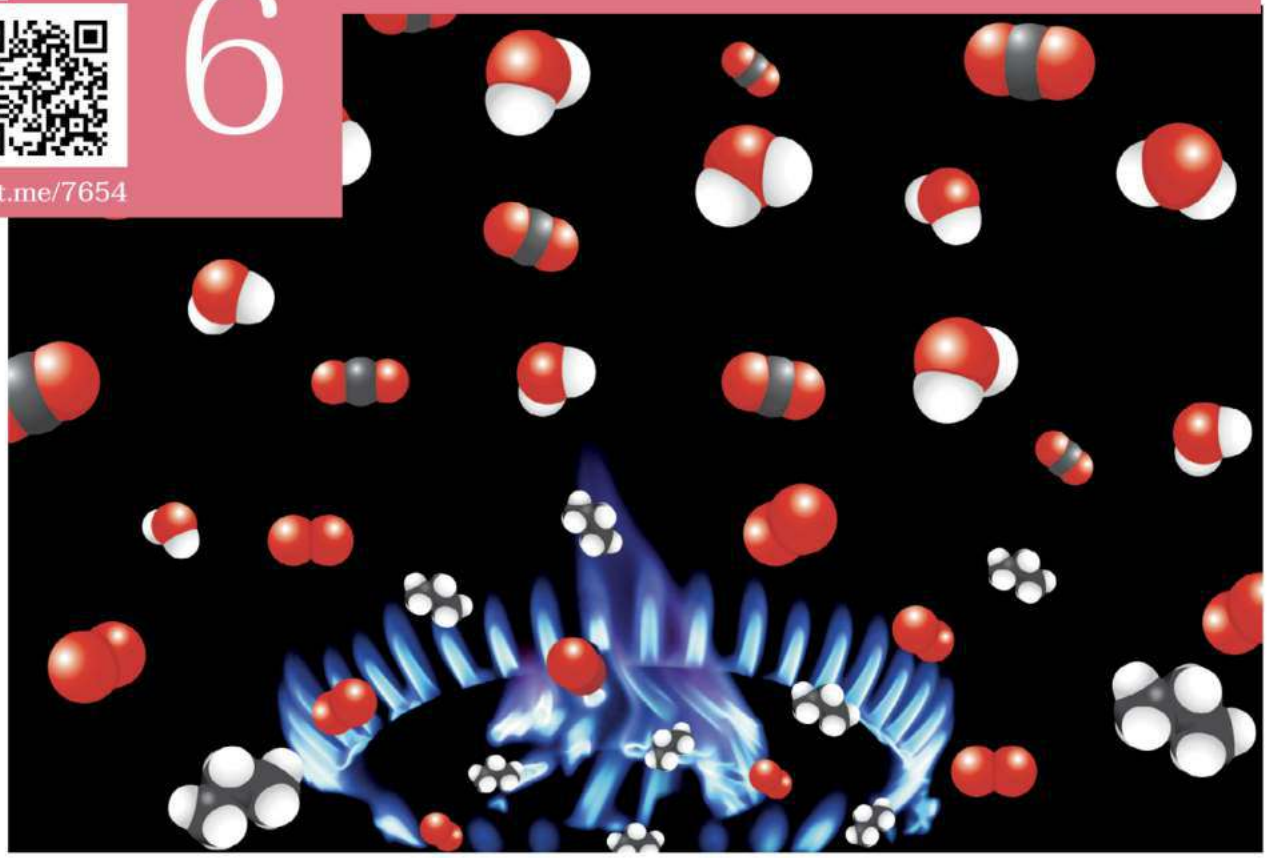
9. จงคำนวณมวลเป็นกรัมของกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) ที่ละลายในน้ำ 2500 กรัม ที่ทำให้จุดเยือกแข็งของสารละลายลดลงเท่ากับการเติมเอทิลีนไกลคอล ($C_2H_6O_2$) จำนวน 69.84 กรัม ลงในน้ำ 1500 กรัม

10. ตัวทำละลาย A มีจุดเดือดเท่ากับ 72.00 องศาเซลเซียส เมื่อละลายแนฟทาลีน ($C_{10}H_8$) จำนวน 128.18 กรัม ลงไปในตัวทำละลาย A จำนวน 1.25 กิโลกรัม พบว่าสารละลายที่ได้มีจุดเดือด 73.92 องศาเซลเซียส จงคำนวณจุดเดือดของสารละลายเมื่อเติมแนฟทาลีน ($C_{10}H_8$) จำนวน 500.00 กรัม ลงไปในตัวทำละลาย A 10.00 กิโลกรัม



6 | ปริมาณสัมพันธ์

ipst.me/7654



ปริมาณสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ในปฏิกิริยาเคมีมีความสัมพันธ์กัน เช่น ปฏิกิริยาการเผาไหม้ $C_3H_8(g) + 5O_2(g) \longrightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(g)$

คำถามสำคัญ

หากต้องการทราบปริมาณสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตสารเคมีเพื่อให้ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ จำเป็นต้องทราบเกี่ยวกับอะไรบ้าง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. เขียนและดุลสมการเคมีของปฏิกิริยาเคมีบางชนิดเมื่อทราบสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์
2. แปลความหมายสัญลักษณ์ในสมการเคมี
3. ระบุอัตราส่วนโดยโมลจากสมการเคมี
4. คำนวณปริมาณของสารในปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับมวลสาร
5. คำนวณปริมาณของสารในปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของสารละลาย
6. คำนวณปริมาณของสารในปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับปริมาตรแก๊ส
7. คำนวณปริมาณของสารในปฏิกิริยาเคมี โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างโมล มวล ความเข้มข้น และปริมาตรของแก๊ส
8. คำนวณปริมาณของสารในปฏิกิริยาเคมีหลายขั้นตอน
9. ระบุสารกำหนดปริมาณ
10. คำนวณปริมาณสารในปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับสารกำหนดปริมาณ
11. คำนวณผลได้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ในปฏิกิริยาเคมี

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

1. เขียนสูตรเคมีของสารเคมีต่อไปนี้
   1.1 ทองแดง
   1.2 ซิลเวอร์ซัลไฟด์
   1.3 แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์
   1.4 ไนโตรเจนไดออกไซด์
   1.5 แอมโมเนีย
   1.6 โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต
   1.7 คาร์บอนเตตระคลอไรด์
   1.8 แอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต

2. เติมคำต่อไปนี้ให้สมบูรณ์
   2.1 คาร์บอนไดออกไซด์ 1.50 โมล
   มีมวลเท่ากับ ..... กรัม
   มีจำนวนอนุภาคเท่ากับ ..... อนุภาค
   มีปริมาตรที่ STP เท่ากับ ..... ลิตร
   2.2 สารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ เข้มข้น 1.50 โมลต่อลิตร ปริมาตร 250 มิลลิลิตร
   มีแมกนีเซียมไอออน ..... โมล
   มีคลอไรด์ไอออน ..... โมล

3. แสดงการคำนวณจำนวนโมลของน้ำที่มีความหนาแน่น 1.00 กรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 9.0 มิลลิลิตร โดยใช้แฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วย

การย่อยอาหาร การเผาไหม้ การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช และการผลิตสารต่าง ๆ ในอุตสาหกรรมเคมี เป็นตัวอย่างกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมี โดยปริมาณของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ในปฏิกิริยาเคมีล้วนมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งความสัมพันธ์กันของปริมาณสารเคมีเหล่านี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการคำนวณปริมาณสารที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเคมี ในบทนี้จะได้ศึกษาวิธีการคำนวณปริมาณสารต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กันในปฏิกิริยาเคมี

6.1 ปฏิกิริยาเคมี

ปฏิกิริยาเคมีเป็นกระบวนการที่ทำให้สารตั้งแต่ 1 ชนิดเปลี่ยนเป็นสารชนิดใหม่ โดยอะตอมหรือไอออนของสารตั้งต้นจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ได้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างและสมบัติต่างจากสารตั้งต้น เช่น ปฏิกิริยาของกรดซิทริกและโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตในยาลดกรดเมื่อละลายน้ำได้โซเดียมซิเทรต แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของแก๊สหุงต้มหรือแก๊สโพรเพนกับแก๊สออกซิเจนได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ ดังรูป 6.1

ก) ปฏิกิริยาในยาลดกรดเมื่อละลายน้ำ

ข) ปฏิกิริยาการเผาไหม้แก๊สโพรเพนในแก๊สหุงต้ม

$$C_6H_8O_7(aq) + 3NaHCO_3(aq) \longrightarrow Na_3C_6H_5O_7(aq) + 3CO_2(g) + 3H_2O(l)$$

$$C_3H_8(g) + 5O_2(g) \longrightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(g)$$

รูป 6.1 ตัวอย่างปฏิกิริยาเคมีบางชนิด

การเปลี่ยนแปลงที่สังเกตเห็นด้วยประสาทสัมผัสได้ชัดเจน เช่น การเกิดฟองแก๊ส การเกิดตะกอน การเกิดกลิ่น การเปลี่ยนสี การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิ อาจบ่งชี้ได้ว่ามีสารใหม่เกิดขึ้น และการเปลี่ยนแปลงนั้นเป็นปฏิกิริยาเคมี อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้ชัดเจน อาจไม่ใช่ปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงนั้นไม่ทำให้เกิดสารใหม่ เช่น ฟองแก๊สที่เกิดขึ้นระหว่างการเดือดของน้ำ ไม่ใช่ปฏิกิริยาเคมีแต่เป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เพราะน้ำเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำ ไม่มีสารใหม่เกิดขึ้น ในทางตรงกันข้าม ปฏิกิริยาเคมีบางปฏิกิริยาไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ต้องใช้เครื่องมือตรวจสอบ เช่น สารละลายกรดทำปฏิกิริยากับสารละลายเบส ไม่สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลง แต่สามารถทดสอบได้ด้วยการใช้อุปกรณ์วัดค่า pH

ตรวจสอบความเข้าใจ

ในแต่ละการทดลองมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นหรือไม่ ทราบได้อย่างไร

ตารางผลการทดลอง

การทดลองที่	สารที่นำมาผสมกัน	สมบัติของสาร	ผลที่สังเกตได้หลังผสม
1	A กับ B	สาร A เป็นโลหะสีเงิน สาร B เป็นของเหลวใส ไม่มีสี	ได้ของเหลวใสไม่มีสี โลหะ A ผุกร่อนและมีฟองแก๊สเกิดขึ้นที่ผิวของโลหะ
2	C กับ D	สาร C เป็นของแข็ง สีขาว สาร D เป็นของเหลวใส ไม่มีสี สารทั้งสองมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง	ได้ของเหลวใส ไม่มีสี ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง
3	E กับ F	สาร E เป็นของเหลวใส ไม่มีสี เปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสสีน้ำเงินเป็นแดง สาร F เป็นของเหลวใส ไม่มีสี เปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสสีแดงเป็นน้ำเงิน	ได้ของเหลวใส ไม่มีสี และไม่เปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสทั้งสองสี
4	G กับ H	สาร G เป็นของเหลวใส ไม่มีสี สาร H เป็นของเหลวใส ไม่มีสี	ได้ของเหลวใส ไม่มีสี
5	I กับ J	สาร I เป็นสารละลายใส ไม่มีสี สาร J เป็นสารละลายใส ไม่มีสี	มีตะกอนสีขาวเกิดขึ้น

6.2 สมการเคมี

การอธิบายการเปลี่ยนแปลงของสารที่เป็นประโยคข้อความสามารถทำให้สั้นและเข้าใจตรงกัน โดยใช้สูตรเคมีและสัญลักษณ์ ซึ่งเรียกว่า **สมการเคมี** (chemical equation) เช่น

ประโยคข้อความ ผงฟูหรือโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดแอซีติก ได้สารละลายโซเดียมแอซีเตต แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ

สมการข้อความ โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต + กรดแอซีติก ⟶ โซเดียมแอซีเตต + คาร์บอนไดออกไซด์ + น้ำ

สมการเคมี $NaHCO_3(s) + CH_3COOH(aq) \longrightarrow CH_3COONa(aq) + CO_2(g) + H_2O(l)$

ปฏิกิริยาเคมีเขียนแสดงด้วยสมการเคมีได้อย่างไร ศึกษาได้จากการทดลองปฏิกิริยาเคมีระหว่างโซเดียมฟอสเฟตกับแบเรียมคลอไรด์ต่อไปนี้

กิจกรรม 6.1 การทดลองปฏิกิริยาเคมีระหว่างโซเดียมฟอสเฟตกับแบเรียมคลอไรด์

จุดประสงค์การทดลอง

1. ทดลองปฏิกิริยาเคมีระหว่างโซเดียมฟอสเฟตและแบเรียมคลอไรด์เพื่อศึกษาการทำปฏิกิริยาพอดีกันของสาร
2. หาอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมฟอสเฟตต่อแบเรียมคลอไรด์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

1. สารละลายโซเดียมฟอสเฟต (Na_3PO_4) 0.20 mol/L
2. สารละลายแบเรียมคลอไรด์ ($BaCl_2$) 0.20 mol/L
3. หลอดทดลองขนาดกลาง
4. บีกเกอร์ขนาด 50 mL
5. หลอดฉีดยาขนาด 3 mL
6. หลอดหยดแบบยาว
7. หลอดหยดแบบสั้น
8. ที่ตั้งหลอดทดลอง
9. แผ่นใส
10. ไม้บรรทัด
11. กระดาษกราฟ

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การหาปริมาณสารที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน

1. ใช้หลอดฉีดยาดูด Na_3PO_4 0.20 mol/L ใส่ลงในหลอดทดลองขนาดกลาง 5 หลอด หลอดละ 1.0 mL
2. ใช้หลอดฉีดยาดูด $BaCl_2$ 0.20 mol/L ใส่ลงใน Na_3PO_4 หลอดที่ 1 ถึง 5 ปริมาตร 0.5 1.0 1.5 2.0 และ 2.5 mL ตามลำดับ โดยหยดสารละลายอย่างช้า ๆ และเขย่าหลอดทดลองตลอดเวลา พร้อมทั้งบันทึกการเปลี่ยนแปลง
3. วางหลอดทดลองในที่ตั้งหลอดทดลองประมาณ 15 นาที หรือจนกระทั่งความสูงของตะกอนในแต่ละหลอดไม่เปลี่ยนแปลง วัดความสูงของตะกอนในแต่ละหลอด บันทึกผล
4. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตะกอนกับปริมาตรของ $BaCl_2$ ที่ใช้ในแต่ละหลอด

ตอนที่ 2 การทดสอบสารละลายที่เหลือหลังเกิดปฏิกิริยาเคมี

1. ใช้หลอดหยดดูดสารละลายใสส่วนที่อยู่เหนือตะกอนของหลอดที่ 1 ในตอนที่ 1 แล้วหยดลงบนแผ่นใส 2 หยด โดยให้แต่ละหยดห่างกันประมาณ 2 cm และทำเช่นนี้กับหลอดต่อ ๆ ไป จนครบทั้ง 5 หลอด จะได้หยดของสารละลายเป็น 2 ชุด ดังรูป

สารละลายของหลอดที่ 1 – 5 ที่จะนำไปทดสอบ

2. หยด Na_3PO_4 ลงในสารละลายชุดที่ 1 ตำแหน่งละ 1 หยด จนครบทั้ง 5 ตำแหน่ง สังเกตการเปลี่ยนแปลง บันทึกผล
3. หยด $BaCl_2$ ลงในสารละลายชุดที่ 2 ตำแหน่งละ 1 หยด จนครบทั้ง 5 ตำแหน่ง สังเกตการเปลี่ยนแปลง บันทึกผล

คำถามท้ายการทดลอง

1. จากกราฟ ตอนที่ 1 จงหาปริมาตรของ $BaCl_2$ ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ Na_3PO_4 ปริมาตร 1.0 mL
2. จากการทดลองตอนที่ 2 หลอดใดที่ Na_3PO_4 และ $BaCl_2$ ทำปฏิกิริยากันพอดี ทราบได้อย่างไร และหลอดดังกล่าวใช้ปริมาตรของ $BaCl_2$ เท่ากับที่หาได้จากกราฟหรือไม่
3. จำนวนโมลของ Na_3PO_4 และ $BaCl_2$ ของหลอดที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันมีค่าเท่าใด
4. อัตราส่วนโดยโมลของ Na_3PO_4 ต่อ $BaCl_2$ ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันมีค่าเท่าใด

จากการทดลอง สารละลายโซเดียมฟอสเฟตทำปฏิกิริยากับสารละลายแบเรียมคลอไรด์ได้ตะกอนสีขาวของแบเรียมฟอสเฟต ($Ba_3(PO_4)_2$) และสารละลายใสไม่มีสีของโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเขียนแสดงได้ดังนี้

$$Na_3PO_4(aq) + BaCl_2(aq) \longrightarrow Ba_3(PO_4)_2(s) + NaCl(aq)$$

จะเห็นว่า สมการเคมีแสดงชนิดของสารที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาเคมี โดยเขียนสูตรเคมีของสารตั้งต้นไว้ทางซ้ายมือและสูตรเคมีของผลิตภัณฑ์ไว้ทางขวามือของลูกศร ซึ่งลูกศรแสดงทิศทางการเกิดปฏิกิริยาเคมี นอกจากนี้อาจแสดงสถานะของสาร โดยเขียนไว้ในวงเล็บหลังสูตรเคมีของสารแต่ละชนิด ดังตาราง 6.1

ตาราง 6.1 สัญลักษณ์ที่แสดงสถานะของสารในสมการเคมี

สัญลักษณ์	ย่อมาจาก	ความหมาย
(s)	solid	สถานะของแข็ง
(l)	liquid	สถานะของเหลว
(g)	gas	สถานะแก๊ส
(aq)	aqueous	สารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย

ความรู้เพิ่มเติม

สัญลักษณ์อื่น ๆ ที่แสดงสถานะของสารในสมการเคมี เช่น

↓ หมายถึง เกิดผลิตภัณฑ์เป็นตะกอน ↑ หมายถึง เกิดผลิตภัณฑ์เป็นแก๊ส

การเขียนสมการเคมีที่สมบูรณ์ อะตอมของแต่ละธาตุในสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ต้องมีจำนวนเท่ากัน ซึ่งทำได้โดยการดุลสมการเคมี โดยการนำตัวเลขที่เหมาะสมซึ่งเรียกว่า **เลขสัมประสิทธิ์** (coefficient) มาเติมหน้าสูตรของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ โดยไม่มีการเปลี่ยนสูตรเคมีของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ เช่น การดุลสมการเคมีจากกิจกรรม 6.1 ทำได้โดย

เติมเลข 2 หน้า Na_3PO_4 เติมเลข 3 หน้า $BaCl_2$

เติมเลข 1 หน้า $Ba_3(PO_4)_2$ เติมเลข 6 หน้า NaCl

ดังนี้

$$2Na_3PO_4(aq) + 3BaCl_2(aq) \longrightarrow 1Ba_3(PO_4)_2(s) + 6NaCl(aq)$$

แต่เลข 1 ไม่ต้องแสดงไว้ในสมการเคมี จึงเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$2Na_3PO_4(aq) + 3BaCl_2(aq) \longrightarrow Ba_3(PO_4)_2(s) + 6NaCl(aq)$$

ตรวจสอบความเข้าใจ

จากกิจกรรม 6.1 อัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมฟอสเฟตต่อแบเรียมคลอไรด์สัมพันธ์กับสมการเคมีที่ดุลแล้วอย่างไร

จากสมการเคมีที่ดุลแล้วนี้ แสดงให้เห็นว่า โซเดียมฟอสเฟต 2 โมล ทำปฏิกิริยาพอดีกับแบเรียมคลอไรด์ 3 โมล ได้แบเรียมฟอสเฟต 1 โมล และโซเดียมคลอไรด์ 6 โมล จะเห็นว่าอัตราส่วนโดยโมลของโซเดียมฟอสเฟตที่ทำปฏิกิริยากับแบเรียมคลอไรด์ได้แบเรียมฟอสเฟตและโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 2 : 3 : 1 : 6 อัตราส่วนโดยโมลของสารในสมการเคมีที่ดุลแล้วนี้เรียกว่า **อัตราส่วนโดยโมล** (mole ratio)

การดุลสมการเคมีไม่มีลำดับขั้นตอนและวิธีที่เป็นกฎเกณฑ์แน่นอนแต่มีข้อแนะนำบางประการดังนี้

1. นับจำนวนอะตอมของธาตุแต่ละชนิด

2. ดุลจำนวนอะตอมของธาตุที่ทางด้านซ้ายและขวาของสมการยังไม่เท่ากัน โดยเริ่มจากธาตุที่มีอยู่ในสารเพียงหนึ่งชนิดในแต่ละข้างของสมการเคมีก่อน ซึ่งโดยทั่วไปอะตอม H และ O จะดุลเป็นลำดับสุดท้าย

3. ดุลจำนวนอะตอมของธาตุอื่น ๆ จนกระทั่งทุกอะตอมของธาตุทางด้านซ้ายและขวาของสมการเท่ากัน โดยพยายามหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนเลขสัมประสิทธิ์หน้าสารที่มีอะตอมธาตุที่ดุลแล้ว

4. นิยมทำเลขสัมประสิทธิ์ที่เป็นเศษส่วนให้เป็นจำนวนเต็ม โดยคูณสัมประสิทธิ์ทุกตัวด้วยตัวคูณที่น้อยที่สุด

ตัวอย่าง 1

เขียนและดุลสมการเคมีของปฏิกิริยาระหว่างโลหะโพแทสเซียม (K) กับน้ำ (H_2O) ได้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และแก๊สไฮโดรเจน (H_2)

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 เขียนสมการเคมีแล้วนับจำนวนอะตอมของธาตุแต่ละชนิด

$$K(s) + H_2O(l) \longrightarrow KOH(aq) + H_2(g)$$

K 1 อะตอม		K 1 อะตอม	
	H 2 อะตอม	H 1 อะตอม	H 2 อะตอม
	O 1 อะตอม	O 1 อะตอม	

ขั้นที่ 2 ดุลจำนวนอะตอมของธาตุที่มีอยู่ในสารเพียงหนึ่งชนิดในแต่ละข้างของสมการ และดุลอะตอมของธาตุอื่น ๆ

เริ่มจากการดุล K ซึ่งในที่นี้ดุลแล้ว จากนั้นดุลอะตอมของ O ซึ่งดุลแล้วเช่นกัน แต่อะตอม H ยังไม่เท่ากัน จึงดุลสมการเคมีโดยเติมเลขสัมประสิทธิ์ $\frac{1}{2}$ ที่หน้า H_2 ดังนี้

$$K(s) + H_2O(l) \longrightarrow KOH(aq) + \frac{1}{2}H_2(g)$$

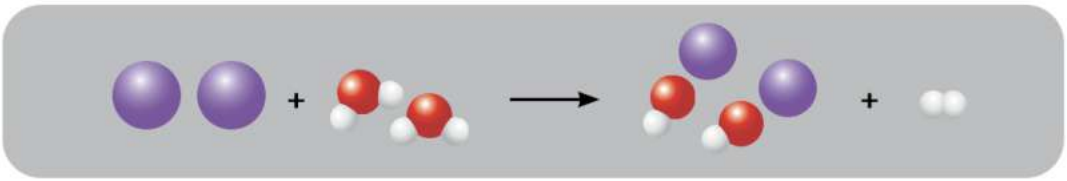
K 1 อะตอม		K 1 อะตอม	
	H 2 อะตอม	H 1 อะตอม	H 1 อะตอม
	O 1 อะตอม	O 1 อะตอม	

ขั้นที่ 3 ทำเลขสัมประสิทธิ์ที่เป็นเศษส่วนให้เป็นจำนวนเต็ม

ขณะนี้ได้สมการเคมีที่มีจำนวนอะตอมของธาตุแต่ละชนิดเท่ากัน แต่การเขียนสมการเคมีนิยมใช้เลขสัมประสิทธิ์ที่เป็นจำนวนเต็มอย่างต่ำ จึงคูณเลขสัมประสิทธิ์ทั้งหมดในสมการเคมีด้วย 2 และไม่ต้องแสดงเลขสัมประสิทธิ์ที่เป็นเลข 1 ในสมการ ดังนี้

$$2K(s) + 2H_2O(l) \longrightarrow 2KOH(aq) + H_2(g)$$

K 2 อะตอม		K 2 อะตอม	
	H 4 อะตอม	H 2 อะตอม	H 2 อะตอม
	O 2 อะตอม	O 2 อะตอม	



ตัวอย่าง 2

ดุลสมการเคมีจากสมการข้อความต่อไปนี้

โซเดียมไฮดรอกไซด์ + กรดฟอสฟอริก ⟶ โซเดียมฟอสเฟต + น้ำ

$(NaOH)$ (H_3PO_4) (Na_3PO_4) (H_2O)

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 เขียนสมการ เคมีแล้วนับจำนวนอะตอมของธาตุแต่ละชนิด

$$NaOH(aq) + H_3PO_4(aq) \longrightarrow Na_3PO_4(aq) + H_2O(l)$$

Na 1 อะตอม		Na 3 อะตอม	
O 1 อะตอม	O 4 อะตอม	O 4 อะตอม	O 1 อะตอม
H 1 อะตอม	H 3 อะตอม		H 2 อะตอม
	P 1 อะตอม	P 1 อะตอม	

ขั้นที่ 2 ดุลจำนวนอะตอมของธาตุที่มีอยู่ในสารเพียงหนึ่งชนิดในแต่ละข้างของสมการ และดุลอะตอมของธาตุอื่น ๆ

เริ่มดุล P ก่อน ซึ่งจะเห็นว่า P ดุลแล้ว จากนั้นดุล Na โดยใน Na_3PO_4 มี Na 3 อะตอม แต่ NaOH ที่มี Na 1 อะตอม จึงเติมเลขสัมประสิทธิ์ 3 หน้า NaOH ดังนี้

$3NaOH(aq) + H_3PO_4(aq) \longrightarrow Na_3PO_4(aq) + H_2O(l)$

Na 3 อะตอม		Na 3 อะตอม	
O 3 อะตอม	O 4 อะตอม	O 4 อะตอม	O 1 อะตอม
H 3 อะตอม	H 3 อะตอม		H 2 อะตอม
	P 1 อะตอม	P 1 อะตอม	

ขั้นที่ 3 ดุลจำนวนอะตอมของธาตุอื่น ๆ

อะตอม Na และ P ดุลแล้ว ขณะนี้สารตั้งต้นมี H 6 อะตอมและ O 7 อะตอม ส่วนผลิตภัณฑ์มี H 2 อะตอม และ O 5 อะตอม จึงดุล H และ O โดยเพิ่มเลขสัมประสิทธิ์ 3 ที่ H_2O ดังนี้

$3NaOH(aq) + H_3PO_4(aq) \longrightarrow Na_3PO_4(aq) + 3H_2O(l)$

Na 3 อะตอม		Na 3 อะตอม	
O 3 อะตอม	O 4 อะตอม	O 4 อะตอม	O 3 อะตอม
H 3 อะตอม	H 3 อะตอม		H 6 อะตอม
	P 1 อะตอม	P 1 อะตอม	

ตัวอย่าง 3

เขียนและดุลสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาการสลายตัวของโซเดียมคลอเรต ($NaClO_3$) ซึ่งเป็นของแข็ง ได้ผลิตภัณฑ์เป็นโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ซึ่งเป็นของแข็งและแก๊สออกซิเจน (O_2)

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 เขียนสมการเคมีแล้วนับจำนวนอะตอมของธาตุแต่ละชนิด

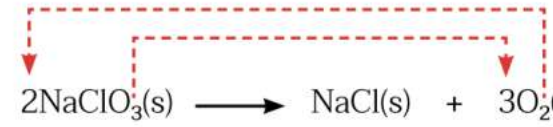
$NaClO_3(s) \longrightarrow NaCl(s) + O_2(g)$

Na 1 อะตอม	Na 1 อะตอม	
Cl 1 อะตอม	Cl 1 อะตอม	
O 3 อะตอม		O 2 อะตอม

ขั้นที่ 2 ดุลจำนวนอะตอมของธาตุที่มีอยู่ในสารเพียงหนึ่งชนิดในแต่ละข้างของสมการ และดุลอะตอมของธาตุอื่น ๆ

เริ่มจากดุล Na และ Cl ซึ่งพบว่าดุลแล้ว จากนั้นดุล O ซึ่งใน $NaClO_3$ มี 3 อะตอม แต่ O_2 มี 2 อะตอม

ในกรณีที่สารมีธาตุชนิดเดียวกันเป็นองค์ประกอบ โดยอยู่คนละด้านของลูกศร และแต่ละด้านมีสารที่มีธาตุนั้นเป็นองค์ประกอบเพียงสารเดียว ในที่นี้คือ O ถ้าด้านหนึ่งมีจำนวนอะตอมเป็นเลขคู่ ส่วนอีกด้านมีจำนวนอะตอมเป็นเลขคี่ ให้นำจำนวนอะตอมหรือตัวห้อยของด้านตรงข้ามมาเป็นเลขสัมประสิทธิ์ของสาร



$$2NaClO_3(s) \longrightarrow NaCl(s) + 3O_2(g)$$

Na 2 อะตอม	Na 1 อะตอม
Cl 2 อะตอม	Cl 1 อะตอม
O 6 อะตอม	O 6 อะตอม

ขั้นที่ 3 ดุลจำนวนอะตอมของธาตุอื่น ๆ

ขณะนี้อะตอม O ดุลแล้ว แต่อะตอม Na และ Cl ยังไม่ดุล จึงเติมเลขสัมประสิทธิ์ที่ NaCl เป็น 2 จากนั้นตรวจสอบอะตอมของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ว่ามีจำนวนเท่ากัน ดังนี้

$$2NaClO_3(s) \longrightarrow 2NaCl(s) + 3O_2(g)$$

Na 2 อะตอม	Na 2 อะตอม
Cl 2 อะตอม	Cl 2 อะตอม
O 6 อะตอม	O 6 อะตอม

ปฏิกิริยาเคมีหลายชนิดไม่สามารถเกิดขึ้นเองได้ แต่ต้องมีปัจจัยที่เหมาะสม เช่น มีการให้ความร้อนหรือแสง มีการควบคุมอุณหภูมิหรือความดัน มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ปัจจัยเหล่านี้อาจระบุไว้ในสมการเคมี โดยส่วนใหญ่เขียนแสดงไว้ที่ลูกศร ตัวอย่างดังตาราง 6.2

ก/ฮ ศัพท์น่ารู้

ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) คือ สารที่ทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดเร็วขึ้น แต่ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดแล้ว จะได้ตัวเร่งปฏิกิริยากลับคืนมา เช่น เอ็นไซม์ โลหะบางชนิด

ตาราง 6.2 ตัวอย่างสัญลักษณ์ที่ใช้แสดงปัจจัยที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในสมการเคมี

สัญลักษณ์	ความหมาย
$\xrightarrow{\Delta}$ หรือ $\xrightarrow{\text{heat}}$	มีการให้ความร้อนแก่สารตั้งต้น โดยไม่ระบุอุณหภูมิ
$\xrightarrow{80\ ^\circ C}$	มีการกำหนดอุณหภูมิ ในที่นี้แสดงว่าทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
$\xrightarrow{10\ atm}$	มีการกำหนดความดัน ในที่นี้แสดงว่าทำปฏิกิริยาที่ความดัน 10 บรรยากาศ (atm)
$\xrightarrow{\text{catalyst}}$ หรือ $\xrightarrow{\text{Pt}}$	มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งถ้าเป็นการระบุชื่อสาร แสดงว่าใช้สารนั้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในที่นี้ใช้โลหะแพลทินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
$\xrightarrow{h\nu}$	มีการให้แสงแก่สารตั้งต้น

หมายเหตุ Δ อ่านว่า เดลตา (delta)

ตัวอย่างสมการเคมีที่เขียนสัญลักษณ์ที่แสดงปัจจัยที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น

$$C_2H_6(g) \xrightarrow[800\ K]{Cr_2O_3} C_2H_4(g) + H_2(g)$$

จากสมการเคมีแสดงว่า แก๊สอีเทน (C_2H_6) จะเกิดปฏิกิริยาเคมี ภายใต้อุณหภูมิ 800 เคลวิน และใช้โครเมียม(III)ออกไซด์ (Cr_2O_3) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก๊สอีทีน (C_2H_4) และแก๊สไฮโดรเจน (H_2)

จำนวนอะตอมของแต่ละธาตุในสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ในสมการเคมีที่ดุลแล้วมีจำนวนเท่ากัน นักเรียนคิดว่ามวลของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กันอย่างไร

ปฏิกิริยาเคมีระหว่างโลหะโซเดียม (Na) กับแก๊สคลอรีน (Cl_2) เกิดเป็นโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เขียนสมการเคมีได้ดังนี้

$$2Na(s) + Cl_2(g) \longrightarrow 2NaCl(s)$$

จากสมการเคมีที่ดุลแล้ว แปลความหมายได้ว่า Na 2 โมลทำปฏิกิริยาเคมีกับ Cl_2 1 โมล ได้ NaCl 2 โมล ซึ่งโมลของสารมีความสัมพันธ์กับมวล จึงคำนวณมวลได้ดังนี้

$$\text{มวลของ Na 2 mol} = 2\ \cancel{\text{mol Na}} \times \frac{22.99\ \text{g Na}}{1\ \cancel{\text{mol Na}}}$$

$$= 45.98\ \text{g Na}$$

$$\text{มวลของ } Cl_2 \text{ 1 mol} = 1\ \cancel{\text{mol } Cl_2} \times \frac{70.90\ \text{g } Cl_2}{1\ \cancel{\text{mol } Cl_2}}$$

$$= 70.90\ \text{g } Cl_2$$

$$\text{มวลของ NaCl 2 mol} = 2\ \cancel{\text{mol NaCl}} \times \frac{58.44\ \text{g NaCl}}{1\ \cancel{\text{mol NaCl}}}$$

$$= 116.88\ \text{g NaCl}$$

เขียนแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมลและมวลของสารต่าง ๆ ได้ดังนี้

	$2Na(s) + Cl_2(g) \longrightarrow 2NaCl(s)$
โมล	2 mol + 1 mol ⟶ 2 mol
มวล	45.98 g + 70.90 g ⟶ 116.88 g
มวลรวม	สารตั้งต้น 116.88 g ⟶ ผลิตภัณฑ์ 116.88 g

จะเห็นว่ามวลรวมของสารก่อนเกิดปฏิกิริยาเคมีเท่ากับมวลรวมของสารหลังเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งเป็นไปตามกฎทรงมวล

ความรู้เพิ่มเติม

กฎทรงมวล (law of conservation of mass) ค้นพบในปี พ.ศ. 2317 โดยออง็วน-โลรอง ลาวัวซีเย (Antoine–Laurent Lavoisier) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ได้ทดลองเผาสารในหลอดที่ปิดสนิทและพบว่า มวลรวมของสารก่อนเกิดปฏิกิริยาเคมีเท่ากับมวลรวมของสารหลังเกิดปฏิกิริยาเคมี

กฎทรงมวลสามารถใช้คำนวณหามวลของสารที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาเคมีได้ดังตัวอย่าง

ตัวอย่าง 4

เมื่อละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 1.66 กรัม ในน้ำ แล้วเติมเลด(II)ไนเทรต ($Pb(NO_3)_2$) ลงไป 1.65 กรัม ปรากฏว่าสารทั้งสองชนิดทำปฏิกิริยากันพอดีได้เลด(II)ไอโอไดด์ (PbI_2) และโพแทสเซียมไนเทรต (KNO_3) ถ้ามีเลด(II)ไอโอไดด์เกิดขึ้น 2.30 กรัม จะมีโพแทสเซียมไนเทรตเกิดขึ้นกี่กรัม

วิธีทำ

จากกฎทรงมวล มวลรวมของสารก่อนเกิดปฏิกิริยาเคมีเท่ากับมวลรวมของสารหลังเกิดปฏิกิริยาเคมี ดังนั้น

มวลของสารก่อนทำปฏิกิริยาเคมี = มวลของสารหลังทำปฏิกิริยาเคมี

มวลของ KI + มวลของ $Pb(NO_3)_2$ = มวลของ PbI_2 + มวลของ KNO_3

1.66 g + 1.65 g = 2.30 g + มวลของ KNO_3

มวลของ KNO_3 = 1.66 g + 1.65 g - 2.30 g

= 1.01 g

ดังนั้น มีโพแทสเซียมไนเทรตเกิดขึ้น 1.01 กรัม

แบบฝึกหัด 6.1

1. ดุลสมการเคมีต่อไปนี้

1.1 $C_2H_6(g) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + H_2O(g)$

1.2 $CaCO_3(s) + HCl(aq) \longrightarrow CaCl_2(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$

1.3 $Na_2SO_4(aq) + BaCl_2(aq) \longrightarrow BaSO_4(s) + NaCl(aq)$

1.4 $Mg(s) + HNO_3(aq) \longrightarrow Mg(NO_3)_2(aq) + H_2(g)$

1.5 $CaCO_3(s) + H_2SO_4(aq) \longrightarrow CaSO_4(s) + H_2O(l) + CO_2(g)$

1.6 $Al_2O_3(s) + H_2SO_4(aq) \longrightarrow Al_2(SO_4)_3(s) + H_2O(l)$

1.7 $(NH_4)_3PO_4(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow Na_3PO_4(aq) + NH_3(g) + H_2O(l)$

1.8 $Fe_3O_4(s) + H_2(g) \longrightarrow Fe(s) + H_2O(l)$

1.9 $O_2(g) + CS_2(s) \longrightarrow CO_2(g) + SO_2(g)$

1.10 $NaCN(aq) + CuCO_3(s) \longrightarrow Na_2CO_3(aq) + Cu(CN)_2(s)$

1.11 $N_2H_4(g) + N_2O_4(g) \longrightarrow N_2(g) + H_2O(l)$

1.12 $Na_2O_2(s) + H_2O(l) \longrightarrow NaOH(aq) + O_2(g)$

2. เขียนและดุลสมการเคมีของปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้

2.1 แก๊สแอมโมเนียทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจน ได้น้ำและแก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์

2.2 การสังเคราะห์แก๊สแอมโมเนีย ทำได้โดยใช้แก๊สไนโตรเจนและแก๊สไฮโดรเจน โดยมีเหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2.3 ต้มโลหะแมกนีเซียมในน้ำได้แก๊สไฮโดรเจนและแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นของแข็ง

2.4 ผสมสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เกิดตะกอนของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโซเดียมซัลเฟต

2.5 เมื่อวางโลหะเงินไว้ในอากาศจะพบว่าเงินหมอง เนื่องจากโลหะเงินทำปฏิกิริยากับแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์และแก๊สออกซิเจนในอากาศได้ซิลเวอร์ซัลไฟด์ซึ่งเป็นของแข็งและน้ำ

3. ดุลสมการเคมีและเติมข้อมูลลงในตารางต่อไปนี้ให้สมบูรณ์

ข้อ	สารตั้งต้น	ผลิตภัณฑ์	อื่น ๆ*	สมการเคมี
3.1	$C(s)$ $O_2(g)$	$CO_2(g)$	ความร้อน	
3.2				$H_2O_2(aq) \xrightarrow{MnO_2} H_2O(l) + O_2(g)$
3.3	$ZnS(s)$ $O_2(g)$			$\xrightarrow{\Delta} ZnO(s) + SO_2(g)$
3.4		$PbO(s)$ $NO_2(g)$ $O_2(g)$	ความร้อน	$Pb(NO_3)_2(s) \longrightarrow$
3.5			แสง	$CO_2(g) + H_2O(l) \longrightarrow C_6H_{12}O_6(aq) + O_2(g)$

หมายเหตุ * อื่น ๆ หมายถึง ปัจจัยในการเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น ความร้อน แสง ตัวเร่งปฏิกิริยา

4. ดุลสมการเคมี และระบุอัตราส่วนโดยโมลของสารในปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้

4.1 $Al(s) + H_2O(l) \longrightarrow Al(OH)_3(s) + H_2(g)$

4.2 $BaF_2(aq) + K_3PO_4(aq) \longrightarrow Ba_3(PO_4)_2(s) + KF(aq)$

4.3 $NaOH(aq) + NO_2(g) + O_2(g) \longrightarrow NaNO_3(aq) + H_2O(l)$

5. ซิลเวอร์คลอไรด์มีโลหะเงินเป็นองค์ประกอบร้อยละ 75.24 โดยมวล นำโลหะเงินจำนวน 10.00 กรัม มาทำปฏิกิริยาในภาชนะปิดที่มีแก๊สคลอรีน เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดพบว่าเกิดซิลเวอร์คลอไรด์จำนวน 6.45 กรัม เหลือโลหะเงิน 5.15 กรัม และไม่มีแก๊สคลอรีนเหลืออยู่ในระบบ ในตอนเริ่มต้นปฏิกิริยามีแก๊สคลอรีนอยู่ในระบบกี่กรัม

6.3 การคำนวณปริมาณสารในปฏิกิริยาเคมี

เมื่อสารเกิดปฏิกิริยาเคมี สารตั้งต้นมีปริมาณลดลง ส่วนผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ไปและปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาเคมี เรียกว่า **ปริมาณสัมพันธ์** (stoichiometry) โดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเหล่านี้พิจารณาได้จากความสัมพันธ์ของเลขสัมประสิทธิ์ในสมการเคมี

นักเรียนทราบแล้วว่าเลขสัมประสิทธิ์ในสมการเคมีแสดงความสัมพันธ์ของสารในปฏิกิริยาเคมี ทั้งสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ เช่น ปฏิกิริยาระหว่างโลหะโซเดียมกับแก๊สคลอรีน

$$2Na(s) + Cl_2(g) \longrightarrow 2NaCl(s)$$

อัตราส่วนโดยโมลของโลหะโซเดียมที่ทำปฏิกิริยากับแก๊สคลอรีนและเกิดเป็นโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 2 : 1 : 2 ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการคำนวณปริมาณสารต่าง ๆ ในสมการเคมีได้ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง 5

จากปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้

$$2Al(s) + 3Br_2(l) \longrightarrow 2AlBr_3(s)$$

ถ้าต้องการอะลูมิเนียมโบรไมด์ ($AlBr_3$) 0.6 โมล จะต้องใช้โบรมีน (Br_2) กี่โมล

วิธีทำ

จากสมการเคมี Br_2 3 mol เกิดปฏิกิริยาเคมีได้ $AlBr_3$ 2 mol แสดงว่า อัตราส่วนโดยโมลของ $Br_2 : AlBr_3 = 3 : 2$ ซึ่งเขียนแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยที่ต้องการใช้ได้ดังนี้

$$\frac{3 \text{ mol } Br_2}{2 \text{ mol } AlBr_3}$$

คำนวณโมลของ Br_2 ที่จะต้องใช้ เมื่อต้องการให้เกิด $AlBr_3$ 0.6 mol ได้ดังนี้

$$\text{โมลของ } Br_2 = 0.6 \text{ mol } \cancel{AlBr_3} \times \frac{3 \text{ mol } Br_2}{2 \text{ mol } \cancel{AlBr_3}}$$

$$= 0.9 \text{ mol } Br_2$$

ดังนั้น ถ้าต้องการอะลูมิเนียมโบรไมด์ 0.6 โมล จะต้องใช้โบรมีน 0.9 โมล

ตรวจสอบความเข้าใจ

จากสมการเคมีในตัวอย่าง 5 ถ้าใช้อะลูมิเนียม 3.0 โมล จะต้องใช้โบรมีนในการทำปฏิกิริยาเคมีกี่โมล

เนื่องจากโมลมีความสัมพันธ์กับจำนวนอนุภาค มวล ปริมาตรของแก๊สที่ STP ดังนั้นจึงสามารถคำนวณปริมาณของสารในปฏิกิริยาเคมีได้ ในที่นี้จะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมวลของสาร ความเข้มข้นของสาร และปริมาตรของแก๊สในปฏิกิริยาเคมี

6.3.1 การคำนวณปริมาณสารที่เกี่ยวข้องกับมวล

ในทางปฏิบัตินิยมวัดปริมาณสารเป็นมวล เนื่องจากสะดวกต่อการวัด มวลของสารมีความสัมพันธ์กับจำนวนโมล จึงสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลของสารในสมการเคมีกับมวลของสารได้ โดยใช้มวลต่อโมลในการเปลี่ยนโมลให้เป็นมวลของสาร ดังตัวอย่างการคำนวณต่อไปนี้

ตัวอย่าง 6

จากปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้

$$2KI(aq) + Pb(NO_3)_2(aq) \longrightarrow PbI_2(s) + 2KNO_3(aq)$$

ถ้าเลด(II)ไนเทรต ($Pb(NO_3)_2$) ทำปฏิกิริยาพอดีกับโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 0.400 โมล จะมีเลด(II) ไอโอไดด์ (PbI_2) เกิดขึ้นกี่กรัม

แนวคิด

จากสมการเคมี ใช้จำนวนโมลของ KI ที่กำหนดให้ เพื่อหาจำนวนโมลของ PbI_2 แล้วเปลี่ยนเป็นมวล ดังนี้

$$\text{mol KI} \xrightarrow{1} \text{mol } PbI_2 \xrightarrow{2} \text{g } PbI_2$$

โจทย์กำหนด โจทย์ให้หา

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 พิจารณาสมการเคมีว่าดุลแล้วหรือไม่ ซึ่งจากโจทย์สมการดุลแล้ว

$$2KI(aq) + Pb(NO_3)_2(aq) \longrightarrow PbI_2(s) + 2KNO_3(aq)$$

ขั้นที่ 2 ระบุแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยที่จะใช้

1 $\dfrac{1 \text{ mol } PbI_2}{2 \text{ mol KI}}$ (จากสมการเคมี อัตราส่วนโดยโมลของ KI : PbI_2 = 2 : 1)

2 $\dfrac{461.00 \text{ g } PbI_2}{1 \text{ mol } PbI_2}$ (จากมวลต่อโมลของ PbI_2 = 461.00 g/mol)

ขั้นที่ 3 คำนวณมวลของ PbI_2

โจทย์กำหนด (1) → (2)

$$\text{มวลของ } PbI_2 = 0.400 \text{ mol KI} \times \frac{1 \text{ mol } PbI_2}{2 \text{ mol KI}} \times \frac{461.00 \text{ g } PbI_2}{1 \text{ mol } PbI_2}$$

$$= 92.2 \text{ g } PbI_2$$

ดังนั้น ถ้าใช้โพแทสเซียมไอโอไดด์ 0.400 โมล จะมีเลด(II)ไอโอไดด์ เกิดขึ้น 92.2 กรัม

ตัวอย่าง 7

จากปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้

$$8Zn(s) + S_8(s) \longrightarrow 8ZnS(s)$$

ต้องใช้กำมะถัน (S_8) กี่โมล จึงจะทำปฏิกิริยาพอดีกับโลหะสังกะสี (Zn) 5.22 กรัม

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 พิจารณาสมการเคมีว่าดุลแล้วหรือไม่ ซึ่งจากโจทย์สมการดุลแล้ว

$$8Zn(s) + S_8(s) \longrightarrow 8ZnS(s)$$

ขั้นที่ 2 ระบุแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยที่จะใช้

$\frac{1 \text{ mol Zn}}{65.38 \text{ g Zn}}$ (จากมวลต่อโมลของ Zn = 65.38 g/mol)

$\frac{1 \text{ mol } S_8}{8 \text{ mol Zn}}$ (จากสมการเคมี อัตราส่วนโดยโมลของ Zn : S_8 = 8 : 1)

ขั้นที่ 3 คำนวณโมลของ S_8

$$\text{โมลของ } S_8 = 5.22 \text{ g Zn} \times \frac{1 \text{ mol Zn}}{65.38 \text{ g Zn}} \times \frac{1 \text{ mol } S_8}{8 \text{ mol Zn}}$$

$$= 9.98 \times 10^{-3} \text{ mol } S_8$$

ดังนั้น ต้องใช้กำมะถัน 9.98×10^{-3} โมล จึงจะทำปฏิกิริยาพอดีกับโลหะสังกะสี 5.22 กรัม

ตัวอย่าง 8

ปฏิกิริยาการเผาไหม้แก๊สมีเทน (CH_4) เกิดขึ้นดังสมการ

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$$

จงคำนวณมวลของไอน้ำ (H_2O) จากปฏิกิริยาเผาไหม้ของแก๊สมีเทน 24.00 กรัม

แนวคิด

ใช้มวลของ CH_4 ที่กำหนดให้ เพื่อหาจำนวนโมล จากนั้นนำไปหาจำนวนโมลของ H_2O โดยใช้สมการเคมี แล้วเปลี่ยนเป็นมวล ดังนี้

$$\text{g } CH_4 \xrightarrow{1} \text{mol } CH_4 \xrightarrow{2} \text{mol } H_2O \xrightarrow{3} \text{g } H_2O$$

โจทย์กำหนด โจทย์ให้หา

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 พิจารณาสมการเคมีว่าดุลแล้วหรือไม่ ซึ่งจากโจทย์สมการดุลแล้ว

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$$

ขั้นที่ 2 ระบุแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยที่จะใช้

1. $\frac{1 \text{ mol } CH_4}{16.05 \text{ g } CH_4}$ (จากมวลต่อโมลของ CH_4 = 16.05 g/mol)

2. $\frac{2 \text{ mol } H_2O}{1 \text{ mol } CH_4}$ (จากสมการเคมี อัตราส่วนโดยโมลของ $CH_4 : H_2O = 1 : 2$)

3. $\frac{18.02 \text{ g } H_2O}{1 \text{ mol } H_2O}$ (จากมวลต่อโมลของ H_2O = 18.02 g/mol)

ขั้นที่ 3 คำนวณมวลของ H_2O

โจทย์กำหนด → (1) → (2) → (3)

$$\text{มวลของ } H_2O = 24.00 \text{ g } \cancel{CH_4} \times \frac{1 \text{ } \cancel{\text{mol } CH_4}}{16.05 \text{ g } \cancel{CH_4}} \times \frac{2 \text{ } \cancel{\text{mol } H_2O}}{1 \text{ } \cancel{\text{mol } CH_4}} \times \frac{18.02 \text{ g } H_2O}{1 \text{ } \cancel{\text{mol } H_2O}}$$

$$= 53.89 \text{ g } H_2O$$

ดังนั้น แก๊สมีเทน 24.00 กรัม เกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ได้ไอน้ำ 53.89 กรัม

ในกรณีที่สารเป็นของเหลวสามารถใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น มวลและปริมาตรในการคำนวณดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง 9

จากปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้ (ยังไม่ดุลสมการเคมี)

$$C_2H_6O(l) + Na(s) \longrightarrow C_2H_5ONa(aq) + H_2(g)$$

จงคำนวณปริมาตรของเอทานอล (C_2H_6O) ที่ต้องใช้ในปฏิกิริยาเคมี ถ้าต้องการแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 0.200 โมล เมื่อความหนาแน่นของเอทานอลเท่ากับ 0.789 กรัมต่อมิลลิลิตร

แนวคิด

จากสมการเคมี ใช้จำนวนโมลของ H_2 ที่กำหนดให้ เพื่อหาจำนวนโมลของ C_2H_6O แล้วเปลี่ยนเป็นมวล จากนั้นใช้ความหนาแน่นเปลี่ยนเป็นปริมาตร ดังนี้

$$\text{mol } H_2 \xrightarrow{1} \text{mol } C_2H_6O \xrightarrow{2} \text{g } C_2H_6O \xrightarrow{3} \text{mL } C_2H_6O$$

โจทย์กำหนด โจทย์ให้หา

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 พิจารณาสมการเคมีว่าดุลแล้วหรือไม่ ซึ่งจากโจทย์สมการยังไม่ดุล จึงดุลสมการดังนี้

$$2C_2H_6O(l) + 2Na(s) \longrightarrow 2C_2H_5ONa(aq) + H_2(g)$$

ขั้นที่ 2 ระบุแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยที่จะใช้

1. $\frac{2 \text{ mol } C_2H_6O}{1 \text{ mol } H_2}$ (จากสมการเคมี อัตราส่วนโดยโมลของ $C_2H_6O : H_2 = 2 : 1$)

2. $\frac{46.08 \text{ g } C_2H_6O}{1 \text{ mol } C_2H_6O}$ (จากมวลต่อโมลของ $C_2H_6O = 46.08$ g/mol)

3. $\frac{1 \text{ mL } C_2H_6O}{0.789 \text{ g } C_2H_6O}$ (จากความหนาแน่นของ $C_2H_6O = 0.789$ g/mL)

ขั้นที 3 คำนวณปริมาตรของ C_2H_6O

ปริมาตรของ C_2H_6O

โจทย์กำหนด (1) (2) (3)

$$= 0.200 \cancel{\text{ mol } H_2} \times \frac{2 \cancel{\text{ mol } C_2H_6O}}{1 \cancel{\text{ mol } H_2}} \times \frac{46.08 \cancel{\text{ g } C_2H_6O}}{1 \cancel{\text{ mol } C_2H_6O}} \times \frac{1 \text{ mL } C_2H_6O}{0.789 \cancel{\text{ g } C_2H_6O}}$$

$$= 23.4 \text{ mL } C_2H_6O$$

ดังนั้น ถ้าต้องการแก๊สไฮโดรเจน 0.200 โมล จะต้องใช้เอทานอล 23.4 มิลลิลิตร

แบบฝึกหัด 6.2

1. เมื่อผ่านแก๊สคลอรีนลงในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อน เกิดปฏิกิริยาเคมีดังสมการ

$$3Cl_2(g) + 6KOH(aq) \longrightarrow 5KCl(aq) + KClO_3(aq) + 3H_2O(l)$$

จงคำนวณ
1.1 จำนวนโมลของโพแทสเซียมคลอเรตที่เกิดขึ้น เมื่อใช้แก๊สคลอรีน 1.86 โมล
1.2 มวลของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เมื่อต้องการโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.450 โมล

2. การผลิตกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เพื่อการค้าจะใช้ปฏิกิริยาเคมีดังสมการ

$$Ca_3(PO_4)_2(s) + 3H_2SO_4(aq) + 6H_2O(l) \longrightarrow 3CaSO_4 \cdot 2H_2O(s) + 2H_3PO_4(aq)$$

จงคำนวณมวลของกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ที่ต้องใช้ทำปฏิกิริยาพอดีกับแคลเซียมฟอสเฟต 100.0 กรัม

3. แอสไพริน ($C_9H_8O_4$) สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดซาลิซิลิก ($C_7H_6O_3$) และแอซีติกแอนไฮไดรด์ ($C_4H_6O_3$) ดังสมการ

$$C_7H_6O_3(s) + C_4H_6O_3(l) \longrightarrow C_9H_8O_4(s) + C_2H_4O_2(l)$$

ถ้าใช้กรดซาลิซิลิก 5.00×10^2 กรัม จงคำนวณ
3.1 มวลของแอสไพรินที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมี
3.2 ปริมาตรของแอซีติกแอนไฮไดรด์ที่ต้องใช้ในการทำปฏิกิริยาเคมี เมื่อแอซีติกแอนไฮไดรด์มีความหนาแน่น 1.082 กรัมต่อมิลลิลิตร

4. จะต้องใช้อากาศกี่กรัม เพื่อเผาไหม้ถ่านหิน 120.0 กรัม ถ้าถ่านหินประกอบด้วยคาร์บอนร้อยละ 95.0 และส่วนประกอบอื่นที่ไม่เกิดการเผาไหม้ร้อยละ 5.0 โดยมวล กำหนดให้อากาศมีแก๊สออกซิเจนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 23.0 โดยมวล

6.3.2 การคำนวณปริมาณสารที่เกี่ยวข้องกับความเข้มข้น

ปฏิกิริยาเคมีหลายชนิดอยู่ในรูปสารละลาย สารที่ทำปฏิกิริยาเคมีกันคือตัวละลาย โดยปริมาณของตัวละลายในสารละลายแสดงในรูปของความเข้มข้น ซึ่งมีหลายหน่วย สำหรับวิชาเคมีนิยมใช้หน่วยโมลาร์หรือโมลต่อลิตร เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับจำนวนโมลโดยตรง จึงสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลของสารในสมการเคมีกับหน่วยความเข้มข้นของสารละลายได้ การคำนวณปริมาณสารสำหรับปฏิกิริยาเคมีที่เป็นสารละลายแสดงดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง 10

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ปริมาตร 50.0 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น 0.200 โมลต่อลิตร ปริมาตร 12.4 มิลลิลิตร สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเข้มข้นกี่โมลต่อลิตร ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

$$H_2SO_4(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow Na_2SO_4(aq) + H_2O(l)$$

แนวคิด

ใช้ปริมาตรและความเข้มข้นของ H_2SO_4 ที่โจทย์กำหนด เพื่อหาจำนวนโมลของ H_2SO_4 จากนั้นใช้สมการเคมีเพื่อหาจำนวนโมลของ NaOH แล้วหาความเข้มข้นของ NaOH จากปริมาตรที่โจทย์กำหนด ดังนี้

mL และ M H_2SO_4 $\xrightarrow{1}$ mol H_2SO_4 $\xrightarrow{2}$ mol NaOH $\xrightarrow{3}$ M NaOH

โจทย์กำหนด โจทย์ให้หา

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 พิจารณาสมการเคมีว่าดุลแล้วหรือไม่ ซึ่งจากโจทย์สมการยังไม่ดุล จึงดุลสมการดังนี้

$$H_2SO_4(aq) + 2NaOH(aq) \longrightarrow Na_2SO_4(aq) + 2H_2O(l)$$

ขั้นที่ 2 ระบุแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยที่จะใช้

1. $\frac{1\ \text{L}\ H_2SO_4\ \text{sol}^{\text{n}}}{1000\ \text{mL}\ H_2SO_4\ \text{sol}^{\text{n}}}$ และ $\frac{0.200\ \text{mol}\ H_2SO_4}{1\ \text{L}\ H_2SO_4\ \text{sol}^{\text{n}}}$

   (จาก 1 L = 1000 mL และ ความเข้มข้นของ H_2SO_4 = 0.200 mol/L)

2. $\frac{2\ \text{mol NaOH}}{1\ \text{mol}\ H_2SO_4}$

   (จากสมการเคมี อัตราส่วนโดยโมลของ H_2SO_4 : NaOH = 1 : 2)

3. $\frac{1}{50.0\ \text{mL NaOH sol}^{\text{n}}}$ และ $\frac{1000\ \text{mL NaOH sol}^{\text{n}}}{1\ \text{L NaOH sol}^{\text{n}}}$

   (จากปริมาตรของ NaOH = 50.0 mL และ 1 L = 1000 mL)

ขั้นที่ 3 คำนวณความเข้มข้นของ NaOH

ความเข้มข้นของ NaOH

โจทย์กำหนด → (1)

$$= 12.4\ \text{mL}\ H_2SO_4\ \text{sol}^{\text{n}} \times \frac{1\ \text{L}\ H_2SO_4\ \text{sol}^{\text{n}}}{1000\ \text{mL}\ H_2SO_4\ \text{sol}^{\text{n}}} \times \frac{0.200\ \text{mol}\ H_2SO_4}{1\ \text{L}\ H_2SO_4\ \text{sol}^{\text{n}}} \times$$

(2) → (3)

$$\frac{2\ \text{mol NaOH}}{1\ \text{mol}\ H_2SO_4} \times \frac{1}{50.0\ \text{mL NaOH sol}^{\text{n}}} \times \frac{1000\ \text{mL NaOH sol}^{\text{n}}}{1\ \text{L NaOH sol}^{\text{n}}}$$

$$= 9.92 \times 10^{-2}\ \text{mol NaOH/L NaOH sol}^{\text{n}}$$

ดังนั้น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 9.92×10^{-2} โมลต่อลิตร

ตัวอย่าง 11

รูป 6.2 ปฏิกิริยาเคมีระหว่าง $Pb(NO_3)_2$ และ KI

ปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้

$$Pb(NO_3)_2(aq) + KI(aq) \longrightarrow PbI_2(s) + KNO_3(aq)$$

ถ้าใช้โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) เข้มข้น 0.50 โมลต่อลิตร ปริมาตร 4.0 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายเลด(II)ไนเทรต ($Pb(NO_3)_2$) ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร จงคำนวณ

1. ความเข้มข้นของสารละลายเลด(II)ไนเทรต ที่ใช้
2. มวลของเลด(II)ไอโอไดด์ (PbI_2) ที่เกิดขึ้น
3. ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไนเทรต (KNO_3) ในสารละลาย เมื่อปริมาตรของสารละลายไม่เปลี่ยนแปลง

วิธีทำ

1. ความเข้มข้นของสารละลายเลด(II)ไนเทรต ที่ใช้

ขั้นที่ 1 พิจารณาสมการเคมีว่าดุลแล้วหรือไม่ ซึ่งจากโจทย์สมการยังไม่ดุล จึงดุลสมการดังนี้

$$Pb(NO_3)_2(aq) + 2KI(aq) \longrightarrow PbI_2(s) + 2KNO_3(aq)$$

ขั้นที่ 2 ระบุแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยที่จะใช้

$$\frac{0.50 \text{ mol KI}}{1000 \text{ mL KI sol}^{n}} \quad \text{(จากความเข้มข้นของ KI = 0.50 mol/L)}$$

$$\frac{1 \text{ mol } Pb(NO_3)_2}{2 \text{ mol KI}} \quad \text{(จากสมการเคมี อัตราส่วนโดยโมลของ } Pb(NO_3)_2 : KI = 1 : 2)$$

$$\frac{1}{1 \text{ mL } Pb(NO_3)_2 \text{ sol}^{n}} \text{ และ } \frac{1000 \text{ mL } Pb(NO_3)_2 \text{ sol}^{n}}{1 \text{ L } Pb(NO_3)_2 \text{ sol}^{n}}$$

(จากปริมาตรของ $Pb(NO_3)_2$ = 1.0 mL และ 1 L = 1000 mL)

ขั้นที่ 3 คำนวณความเข้มข้นของ $Pb(NO_3)_2$

ความเข้มข้นของ $Pb(NO_3)_2$

$$= 4.0 \text{ mL KI sol}^n \times \frac{0.50 \text{ mol KI}}{1000 \text{ mL KI sol}^n} \times \frac{1 \text{ mol } Pb(NO_3)_2}{2 \text{ mol KI}} \times$$

$$\frac{1}{1.0 \text{ mL } Pb(NO_3)_2 \text{ sol}^n} \times \frac{1000 \text{ mL } Pb(NO_3)_2 \text{ sol}^n}{1 \text{ L } Pb(NO_3)_2 \text{ sol}^n}$$

$$= 1.0 \text{ mol } Pb(NO_3)_2/\text{L } Pb(NO_3)_2 \text{ sol}^n$$

ดังนั้น เลด(II)ไนเทรตที่ใช้มีความเข้มข้น 1.0 โมลต่อลิตร

2. มวลของเลด(II) ไอโอไดด์ ที่เกิดขึ้น

ขั้นที่ 1 ระบุแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยที่จะใช้

$$\frac{0.50 \text{ mol KI}}{1000 \text{ mL KI sol}^n}$$ (จากความเข้มข้นของ KI = 0.50 mol/L)

$$\frac{1 \text{ mol } PbI_2}{2 \text{ mol KI}}$$ (จากสมการเคมี อัตราส่วนโดยโมลของ KI : PbI_2 = 2 : 1)

$$\frac{461.00 \text{ g } PbI_2}{1 \text{ mol } PbI_2}$$ (จากมวลต่อโมลของ PbI_2 = 461.00 g/mol)

ขั้นที่ 2 คำนวณมวลของ PbI_2

มวลของ PbI_2

$$= 4.0 \text{ mL KI sol}^n \times \frac{0.50 \text{ mol KI}}{1000 \text{ mL KI sol}^n} \times \frac{1 \text{ mol } PbI_2}{2 \text{ mol KI}} \times \frac{461.00 \text{ g } PbI_2}{1 \text{ mol } PbI_2}$$

$$= 0.46 \text{ g } PbI_2$$

ดังนั้น มีเลด(II)ไอโอไดด์เกิดขึ้น 0.46 กรัม

3. ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไนเทรต

ขั้นที่ 1 ระบุแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยที่จะใช้

$$\frac{0.50 \text{ mol KI}}{1000 \text{ mL KI sol}^{n}}$$ (จากความเข้มข้นของ KI = 0.50 mol/L)

$$\frac{1 \text{ mol } KNO_3}{1 \text{ mol KI}}$$ (จากสมการเคมี อัตราส่วนโดยโมลของ KI : KNO_3 = 1 : 1)

$$\frac{1}{5.0 \text{ mL sol}^{n}}$$ และ $$\frac{1000 \text{ mL sol}^{n}}{1 \text{ L sol}^{n}}$$ (จากปริมาตรรวมของสารละลาย = 5.0 mL และ 1 L = 1000 mL)

ขั้นที่ 2 คำนวณความเข้มข้นของ KNO_3

ความเข้มข้นของ KNO_3

$$= 4.0 \text{ mL KI sol}^{n} \times \frac{0.50 \text{ mol KI}}{1000 \text{ mL KI sol}^{n}} \times \frac{1 \text{ mol } KNO_3}{1 \text{ mol KI}} \times$$

$$\frac{1}{5.0 \text{ mL sol}^{n}} \times \frac{1000 \text{ mL sol}^{n}}{1 \text{ L sol}^{n}}$$

$$= 0.40 \text{ mol } KNO_3/\text{L sol}^{n}$$

ดังนั้น โพแทสเซียมไนเทรตมีความเข้มข้น 0.40 โมลต่อลิตร

แบบฝึกหัด 6.3

1. แอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟตนิยมนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของปุ๋ย ซึ่งสังเคราะห์จากสารละลายแอมโมเนีย (NH_3) และสารละลายกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ถ้าใช้สารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 7.4 โมลต่อลิตร ปริมาตร 3.48 ลิตร จะต้องใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้น 12.9 โมลต่อลิตร ปริมาตรกี่ลิตร

2. นำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.00 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร มาทำปฏิกิริยาเคมีกับสารละลายกรดไนทริกเข้มข้น 0.800 โมลาร์ จะต้องใช้สารละลายกรดไนทริกกี่มิลลิลิตร และได้โซเดียมไนเทรตเข้มข้นกี่โมลาร์

$$NaOH(aq) + HNO_3(aq) \longrightarrow NaNO_3(aq) + H_2O(l)$$

3. โลหะสังกะสีทำปฏิกิริยาเคมีกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เขียนสมการเคมีได้ดังนี้ (สมการเคมียังไม่ดุล)

$$Zn(s) + HCl(aq) \longrightarrow H_2(g) + ZnCl_2(aq)$$

ถ้าใช้โลหะสังกะสี 13.07 กรัม จะต้องใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2.0 โมลต่อลิตร ปริมาตรกี่มิลลิลิตร

4. ปฏิกิริยาเคมีระหว่างโลหะทองแดงและสารละลายซิลเวอร์ไนเทรต เขียนแสดงได้ดังนี้ (สมการเคมียังไม่ดุล)

$$Cu(s) + AgNO_3(aq) \longrightarrow Ag(s) + Cu(NO_3)_2(aq)$$

ถ้าใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเทรตเข้มข้น 2.50 โมลต่อลิตร ปริมาตร 5.0 ลิตร ทำปฏิกิริยาพอดีกับโลหะทองแดง จะได้โลหะเงินกี่กิโลกรัม

6.3.3 การคำนวณปริมาณสารที่เกี่ยวข้องกับปริมาตรของแก๊ส

สำหรับแก๊สซึ่งมีมวลน้อยมาก การวัดมวลของแก๊สทำได้ยากจึงนิยมวัดปริมาตรของแก๊ส ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

การคำนวณปริมาตรของแก๊สที่ STP

การคำนวณปริมาตรของแก๊สที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาเคมี สามารถใช้ความสัมพันธ์ระหว่างโมลกับปริมาตรของแก๊สที่ STP ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง 12

ปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้

$$C(s) + 2H_2(g) \longrightarrow CH_4(g)$$

ที่ STP ถ้าใช้แก๊สไฮโดรเจน 13.44 ลิตร จะทำปฏิกิริยาพอดีกับถ่านกี่กรัม

แนวคิด

ใช้ปริมาตรของแก๊ส H_2 ที่โจทย์กำหนด เพื่อหาจำนวนโมลของ H_2 จากนั้นใช้สมการเคมีเพื่อหาจำนวนโมลของ C แล้วเปลี่ยนเป็นมวล ดังนี้

$$\text{L } H_2 \xrightarrow{1} \text{mol } H_2 \xrightarrow{2} \text{mol C} \xrightarrow{3} \text{g C}$$

โจทย์กำหนด — โจทย์ให้หา

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 พิจารณาสมการเคมีว่าดุลแล้วหรือไม่ ซึ่งจากโจทย์สมการดุลแล้ว

ขั้นที่ 2 ระบุแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยที่จะใช้

1. $\frac{1 \text{ mol } H_2}{22.4 \text{ L } H_2}$ (จากแก๊ส 1 mol มีปริมาตร 22.4 L ที่ STP)

2. $\frac{1 \text{ mol C}}{2 \text{ mol } H_2}$ (จากสมการเคมี อัตราส่วนโดยโมลของ $C : H_2 = 1 : 2$)

3. $\frac{12.01 \text{ g C}}{1 \text{ mol C}}$ (จากมวลต่อโมลของ C = 12.01 g/mol)

ขั้นที่ 3 คำนวณมวลของ C

โจทย์กำหนด → (1) → (2) → (3)

$$\text{มวลของ C} = 13.44 \text{ L } \cancel{H_2} \times \frac{1 \text{ } \cancel{\text{mol}} \text{ } H_2}{22.4 \text{ L } \cancel{H_2}} \times \frac{1 \text{ } \cancel{\text{mol}} \text{ C}}{2 \text{ } \cancel{\text{mol}} \text{ } H_2} \times \frac{12.01 \text{ g C}}{1 \text{ } \cancel{\text{mol}} \text{ C}}$$

$$= 3.60 \text{ g C}$$

ดังนั้น แก๊สไฮโดรเจน 13.44 ลิตร จะทำปฏิกิริยาพอดีกับถ่าน 3.60 กรัม ที่ STP

ปฏิกิริยาเคมีของแก๊ส

สารประกอบหนึ่ง ๆ เกิดจากการรวมตัวของธาตุตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป และมีอัตราส่วนโดยมวลของธาตุที่เป็นองค์ประกอบคงที่เสมอ ถ้านำแก๊สสองชนิดมาทำปฏิกิริยากัน อัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างแก๊สทั้งสองที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันจะเป็นอย่างไร ศึกษาได้จากกิจกรรมต่อไปนี้

กิจกรรม 6.2 การทดลองปฏิกิริยาเคมีระหว่างแก๊สออกซิเจนและแก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์

จุดประสงค์การทดลอง

1. ทดลองปฏิกิริยาเคมีระหว่างแก๊สออกซิเจนและแก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์
2. หาอัตราส่วนโดยปริมาตรของแก๊สออกซิเจนต่อแก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกัน

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

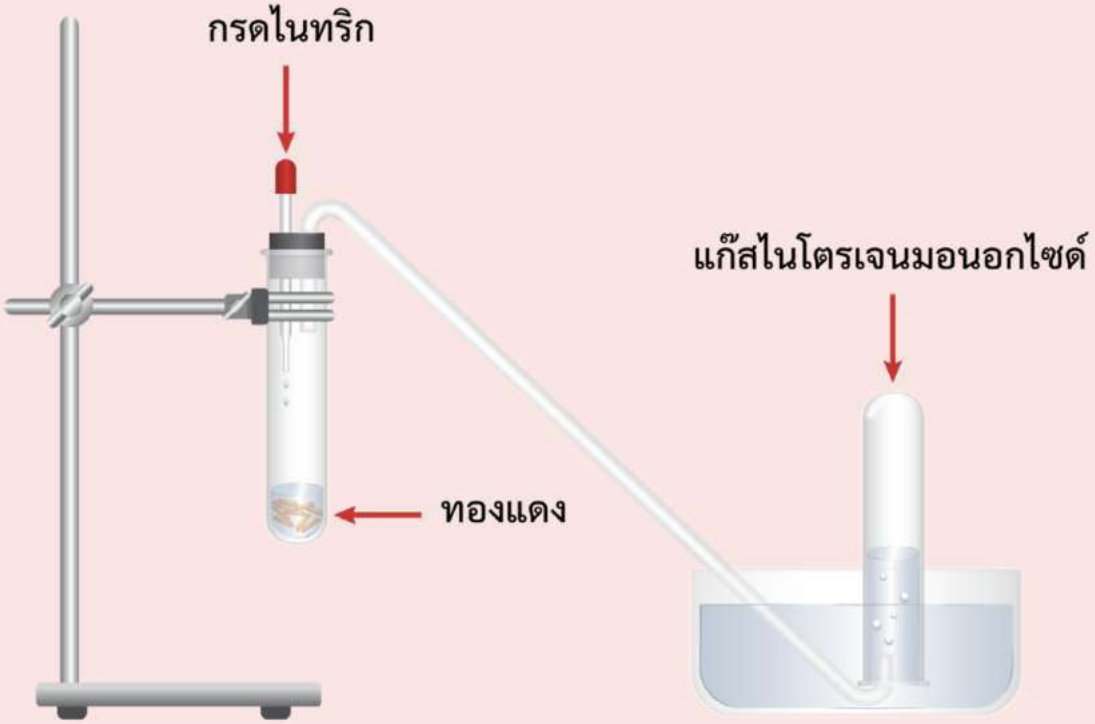
1. ทองแดง (Cu) ชิ้นเล็ก ๆ
2. สารละลายกรดไนทริก (HNO_3) 6 mol/L
3. โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$)
4. หลอดทดลองขนาดใหญ่
5. จุกยางที่เสียบหลอดนำแก๊สพร้อมสายยางพลาสติก สำหรับปิดหลอดทดลองขนาดใหญ่
6. หลอดทดลองขนาดกลาง (ที่มีขนาดเท่ากัน)
7. ตะเกียงแอลกอฮอล์พร้อมที่กั้นลม
8. กระบอกตวงขนาด 100 mL
9. อ่างน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30 cm และสูงประมาณ 12 cm
10. ขาตั้งพร้อมที่จับหลอดทดลอง
11. แผ่นกระจก สำหรับปิดปากกระบอกตวง
12. ธูปหรือก้านไม้ขีด สำหรับทดสอบแก๊ส

วิธีทดลอง

ตอนที่ 1 การเตรียมแก๊สออกซิเจนและแก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์

1. เตรียมแก๊สออกซิเจน (O_2) โดยเผา $KMnO_4$ 3.0 g ในหลอดทดลองขนาดใหญ่ เก็บแก๊สโดยการแทนที่น้ำในหลอดทดลองขนาดกลาง 4 หลอด

2. เตรียมแก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์ (NO) โดยใช้ Cu 2.0 g ใส่ในหลอดทดลองขนาดใหญ่ เติม HNO_3 6 mol/L ลงไป 10 mL เก็บแก๊สโดยการแทนที่น้ำในหลอดทดลองขนาดกลางอีก 4 หลอด ดังรูป



การเตรียมแก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์

ตอนที่ 2 ปฏิกิริยาระหว่างแก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์และแก๊สออกซิเจน

1. ใส่น้ำให้เต็มกระบอกตวงขนาด 100 mL แล้วคว่ำลงในอ่างน้ำให้ปากกระบอกตวงอยู่ใต้ผิวน้ำประมาณ 1 cm
2. นำแก๊ส O_2 ที่เตรียมไว้จากตอนที่ 1 มา 1 หลอด ถ่ายเข้าสู่กระบอกตวงในข้อ 1 อ่านปริมาตรของแก๊ส O_2 ดังรูป

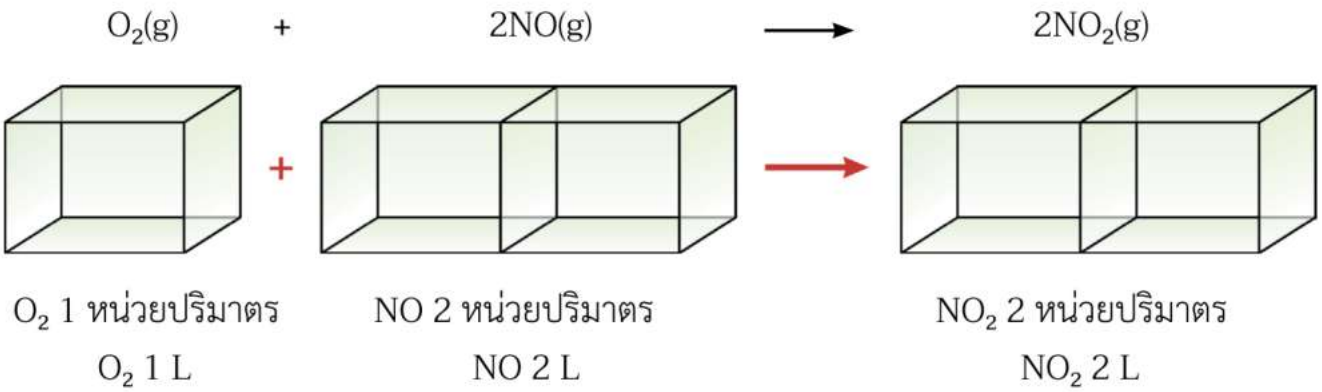
การถ่ายแก๊สจากหลอดทดลองเข้าสู่กระบอกตวง

3. นำแก๊ส NO ที่เตรียมไว้จากตอนที่ 1 มา 1 หลอด ถ่ายเข้าสู่กระบอกตวงที่ใส่แก๊ส O_2 ไว้แล้ว สังเกตการเปลี่ยนแปลง เมื่อระดับน้ำในกระบอกตวงคงที่ บันทึกปริมาตรของแก๊สเหนือระดับน้ำ
4. ทดสอบแก๊สที่เหลือโดยใช้แผ่นกระจกปิดปากกระบอกตวงขณะอยู่ใต้น้ำแล้วหงายขึ้นและใช้ธูปหรือก้านไม้ขีดที่เหลือแต่ถ่านแดง ๆ จ่อที่ปากกระบอกตวง สังเกตการเปลี่ยนแปลง
5. ทำการทดลองตามข้อ 1 – 4 ซ้ำจนหมดแก๊สที่เตรียมไว้

คำถามท้ายการทดลอง

1. เมื่อผสมแก๊สออกซิเจนกับแก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์เข้าด้วยกัน ปริมาตรของแก๊สในกระบอกตวงเปลี่ยนแปลงอย่างไร เหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น
2. แก๊สที่เหลืออยู่ในกระบอกตวงคือแก๊สชนิดใด ทราบได้อย่างไร
3. จากผลการทดลอง อัตราส่วนโดยปริมาตรของแก๊สที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันเป็นเท่าใด

แก๊สสามารถทำปฏิกิริยากันแล้วเกิดเป็นแก๊สชนิดใหม่ เช่น แก๊สออกซิเจน (O_2) ทำปฏิกิริยาเคมีกับแก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์ (NO) เกิดเป็นแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) อัตราส่วนโดยปริมาตรของแก๊สออกซิเจนและแก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์ซึ่งเป็นสารตั้งต้นกับแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เท่ากับ 1 : 2 : 2 ดังรูป 6.3



รูป 6.3 ปริมาตรของแก๊สต่าง ๆ ในปฏิกิริยา $O_2(g) + 2NO(g) \longrightarrow 2NO_2(g)$

จะเห็นว่าปริมาณของสารในปฏิกิริยามีความสัมพันธ์กับปริมาตรของแก๊สที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยา ซึ่งเป็นไปตาม**กฎการรวมปริมาตรแก๊สของเกย์–ลูสแซก** (Gay–Lussac's law of combining volumes of gases) หรือเรียกว่า **กฎของเกย์–ลูสแซก** (Gay–Lussac's law) ที่ค้นพบโดย โชแซฟ–ลุย เก–ลูซัก[3] ซึ่งกล่าวว่า ที่อุณหภูมิและความดันคงที่ ปริมาตรของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊ส สามารถแสดงด้วยอัตราส่วนของตัวเลขจำนวนเต็มที่มีค่าน้อย

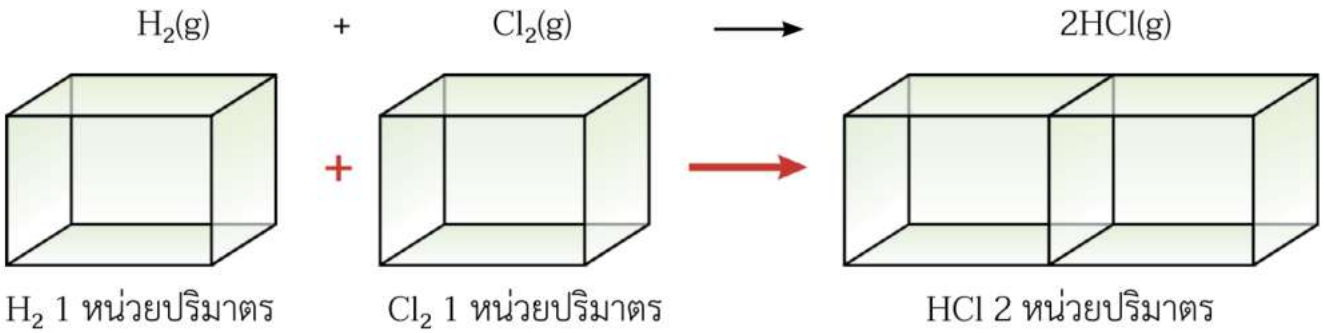
สำหรับปฏิกิริยาเคมีที่มีสารสถานะของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ปริมาตรที่ใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับกฎของเกย์–ลูสแซกจะพิจารณาเฉพาะสารที่มีสถานะเป็นแก๊ส ไม่รวมปริมาตรของของแข็งหรือของเหลวในปฏิกิริยาเคมีเนื่องจากของแข็งและของเหลวมีปริมาตรคงที่ เช่น ปฏิกิริยาเคมีระหว่างผงกำมะถัน (S_8) กับแก๊สออกซิเจน (O_2) ได้แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ดังนี้

$$\underset{}{S_8(s)} + \underset{8 \text{ หน่วยปริมาตร}}{8O_2(g)} \longrightarrow \underset{8 \text{ หน่วยปริมาตร}}{8SO_2(g)}$$

อัตราส่วนโดยปริมาตรของแก๊สออกซิเจนซึ่งเป็นสารตั้งต้นกับแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เท่ากับ 1 : 1

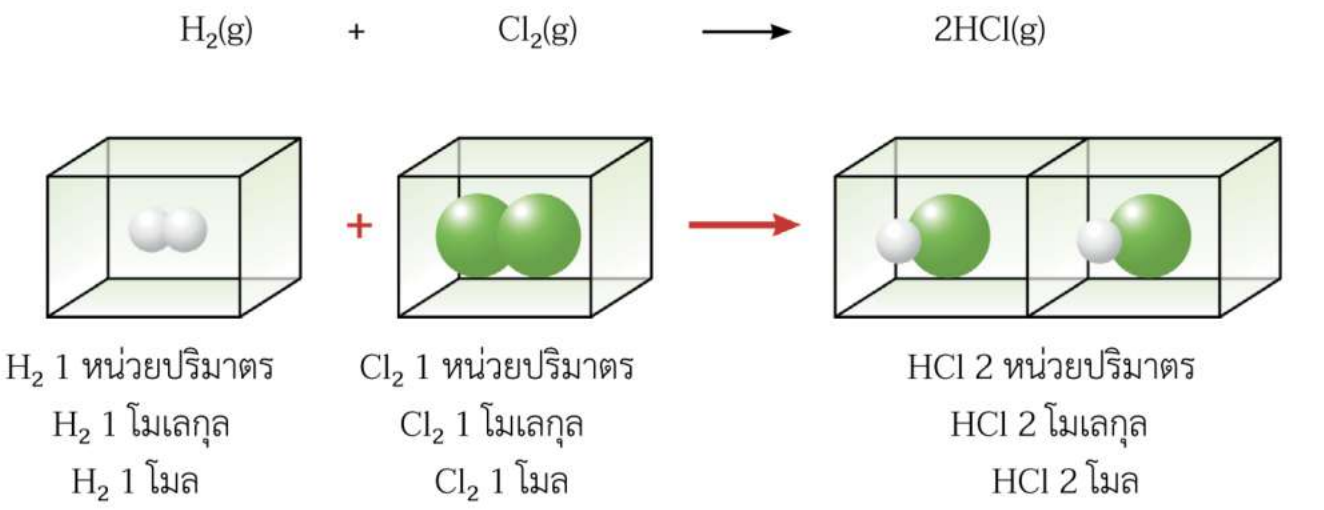
[3]โชแซฟ–ลุย เก–ลูซัก (Joseph–Louis Gay–Lussac) นักเคมีชาวฝรั่งเศส ได้ทดลองวัดปริมาตรของแก๊สที่ทำปฏิกิริยาเคมีและที่ได้จากปฏิกิริยาเคมี จนสามารถสรุปเป็นกฎของเกย์–ลูสแซก ในปี พ.ศ. 2351

เมื่อพิจารณาปริมาตรของแก๊สในปฏิกิริยาเคมีระหว่างแก๊สไฮโดรเจน (H_2) กับแก๊สคลอรีน (Cl_2) เกิดเป็นแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) ดังรูป 6.4



รูป 6.4 ปริมาตรของแก๊สต่าง ๆ ในปฏิกิริยา $H_2(g) + Cl_2(g) \longrightarrow 2HCl(g)$

จะเห็นว่า อัตราส่วนโดยปริมาตรของแก๊สในปฏิกิริยาเคมีมีค่าเท่ากับอัตราส่วนโดยโมล ซึ่งพิจารณาจากเลขสัมประสิทธิ์ในสมการเคมี ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของแก๊สกับจำนวนโมเลกุลและโมล แสดงได้ดังรูป 6.5



รูป 6.5 ปริมาณต่าง ๆ ของแก๊สในปฏิกิริยา $H_2(g) + Cl_2(g) \longrightarrow 2HCl(g)$

ความสัมพันธ์ข้างต้นเป็นไปตาม **สมมติฐานของอาโวกาโดร**[4] (Avogadro's Hypothesis) ซึ่งกล่าวว่า ที่อุณหภูมิและความดันคงที่ แก๊สใด ๆ ที่มีปริมาตรเท่ากัน จะมีจำนวนโมเลกุลเท่ากัน

[4]สมมติฐานของอาโวกาโดร ได้เสนอโดย อาเมเดโอ อาโวกาโดร (Amaedeo Avogadro) นักฟิสิกส์ชาวอิตาลี ในปี พ.ศ. 2354 ซึ่งต่อมาได้การยอมรับเป็นกฎของอาโวกาโดร

ชวนคิด

จากรูป 6.3 และ 6.4 ปริมาตรรวมของแก๊สที่ทำปฏิกิริยากันพอดีกับปริมาตรรวมของแก๊สที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากันเหมือนมวลของสารตามกฎทรงมวลหรือไม่

สามารถใช้กฎของเกย์–ลูสแซกและกฎของอาโวกาโดรในการคำนวณปริมาตรของแก๊สที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาเคมี และสูตรโมเลกุลของแก๊สได้ดังตัวอย่าง

ตัวอย่าง 13

แก๊สไฮโดรเจน (H_2) ทำปฏิกิริยาเคมีกับแก๊สออกซิเจน (O_2) เกิดเป็นไอน้ำ (H_2O) จงคำนวณปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับแก๊สออกซิเจน 40 ลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ

วิธีทำ

เขียนและดุลสมการเคมี ดังนี้

$$2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(g)$$

จากสมการเคมี ปริมาตรของ $H_2 : O_2 = 2 : 1$ โดยปริมาตร หรือกล่าวได้ว่าเมื่อใช้ H_2 ปริมาตร 2 L จะต้องใช้ O_2 ปริมาตร 1 L ดังนั้น ปริมาตรของ H_2 ที่ต้องใช้เพื่อทำปฏิกิริยาพอดีกับ O_2 ปริมาตร 40 L คำนวณได้ดังนี้

$$\text{ปริมาตรของ } H_2 = 40 \text{ L } \cancel{O_2} \times \frac{2 \text{ L } H_2}{1 \text{ L } \cancel{O_2}}$$

$$= 80 \text{ L } H_2$$

ดังนั้น ต้องใช้แก๊สไฮโดรเจน 80 ลิตร เพื่อทำปฏิกิริยาพอดีกับแก๊สออกซิเจน 40 ลิตร

ตัวอย่าง 14

แก๊สไนโตรเจน (N_2) 30 มิลลิลิตร ที่ STP ทำปฏิกิริยาพอดีกับแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 90 มิลลิลิตร ได้แก๊สชนิดหนึ่งปริมาตร 60 มิลลิลิตร จงหาสูตรโมเลกุลของแก๊สที่เกิดขึ้น

วิธีทำ

กำหนดสูตรโมเลกุลของผลิตภัณฑ์เป็น N_xH_y โดย x คือจำนวนอะตอมของ N และ y คือจำนวนอะตอมของ H เขียนสมการเคมีได้ดังนี้

	$N_2(g)$	+	$H_2(g)$	$\longrightarrow$	$N_xH_y(g)$
ปริมาตรของแก๊ส (mL)	30		90		60

หาอัตราส่วนอย่างต่ำ $\frac{30}{30} = 1.0$ $\frac{90}{30} = 3.0$ $\frac{60}{30} = 2.0$

อัตราส่วนโดยปริมาตรเท่ากับอัตราส่วนโดยโมล จึงเขียนสมการเคมีได้ดังนี้

$$N_2(g) + 3H_2(g) \longrightarrow 2N_xH_y(g)$$

จำนวนอะตอมของธาตุชนิดเดียวกันในสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์จะต้องเท่ากัน ดังนั้น

เมื่อพิจารณาจำนวนอะตอมของไนโตรเจน

จำนวนอะตอมของ N ในผลิตภัณฑ์ = จำนวนอะตอมของ N ในสารตั้งต้น

$$2x = 2$$
$$x = 1$$

เมื่อพิจารณาจำนวนอะตอมของไฮโดรเจน

จำนวนอะตอมของ H ในผลิตภัณฑ์ = จำนวนอะตอมของ H ในสารตั้งต้น

$$2y = 6$$
$$y = 3$$

ดังนั้น สูตรโมเลกุลของแก๊สชนิดนี้ คือ NH_3

สรุปได้ว่า ปริมาณของสารต่าง ๆ ในปฏิกิริยาเคมี ล้วนมีความสัมพันธ์กัน เมื่อทราบสมการเคมี จะทำให้ทราบปริมาณของสารในหน่วยต่าง ๆ ได้ ซึ่งพิจารณาได้จากเลขสัมประสิทธิ์ในสมการเคมีที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนโมเลกุล ปริมาตรของแก๊ส และจำนวนโมล ความสัมพันธ์ของสารในปฏิกิริยาเคมีแสดงตัวอย่างดังต่อไปนี้

	$2SO_2(g)$	+	$O_2(g)$	⟶	$2SO_3(g)$
จำนวนโมเลกุล	2 โมเลกุล	+	1 โมเลกุล	⟶	2 โมเลกุล
ปริมาตรแก๊ส	2 หน่วย	+	1 หน่วย	⟶	2 หน่วย
จำนวนโมล	2 โมล	+	1 โมล	⟶	2 โมล

และเนื่องจากจำนวนโมลมีความสัมพันธ์กับมวล ความเข้มข้น ปริมาตรของแก๊สที่ STP และจำนวนอนุภาคของสาร จึงทำให้สามารถคำนวณปริมาณของสารในหน่วยต่าง ๆ ได้

ตรวจสอบความเข้าใจ

เติมค่าในช่องว่างต่อไปนี้ให้สมบูรณ์

	$2SO_2(g)$	+	$O_2(g)$	⟶	$2SO_3(g)$
จำนวนโมล	2 mol	+	1 mol	⟶	2 mol
มวล		+	32.00 g	⟶	
ปริมาตรที่ STP		+	22.4 L	⟶	
จำนวนอนุภาค	$2(6.02 \times 10^{23})$ molecule	+		⟶	

	$FeCl_3(aq)$ + $3NaOH(aq)$ ⟶ $Fe(OH)_3(s)$ + $3NaCl(aq)$
จำนวนโมล	1 mol + ⟶ +
มวล	+ ⟶ 106.88 g +
ความเข้มข้น	+ ⟶ 1 mol/L +
จำนวนอนุภาค	6.02×10^{23} formula unit + ⟶ +

แบบฝึกหัด 6.4

1. ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน เมื่อนำแก๊สไฮโดรเจน 100 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจน 85 มิลลิลิตร ได้ไอน้ำ ไอน้ำที่เกิดขึ้นและแก๊สออกซิเจนที่เหลือมีปริมาตรกี่มิลลิลิตร

2. จากปฏิกิริยาต่อไปนี้

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$$

ถ้าอากาศมีแก๊สออกซิเจนอยู่ร้อยละ 21 โดยปริมาตร จะต้องใช้แก๊สมีเทน (CH_4) กี่ลิตร จึงจะทำปฏิกิริยาพอดีกับอากาศปริมาตร 30.0 ลิตร

3. การสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช เกิดปฏิกิริยาเคมีดังนี้

$$6CO_2(g) + 6H_2O(g) \xrightarrow{h\nu} \underset{\text{กลูโคส}}{C_6H_{12}O_6(g)} + 6O_2(g)$$

พืชต้องใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กี่ลิตร ที่ STP จึงจะสามารถสังเคราะห์กลูโคสได้ 36.0 กรัม

4. แก๊ส A เป็นออกไซด์ของฟลูออรีน เมื่อนำแก๊ส A ปริมาตร 150 มิลลิลิตร มาสลายตัวจนหมดด้วยพลังงาน จะได้แก๊สออกซิเจน 75 มิลลิลิตร และแก๊สฟลูออรีน 150 มิลลิลิตร โดยวัดที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน จงหาสูตรโมเลกุลของแก๊ส A

6.3.4 การคำนวณปริมาณสารในปฏิกิริยาเคมีหลายขั้นตอน

ปฏิกิริยาเคมีบางชนิดอาจมีหลายขั้นตอน จึงมีสมการเคมีที่เกี่ยวข้องหลายสมการ เช่น การถลุงโลหะสังกะสี ทำได้โดยนำซิงค์ออกไซด์และผงคาร์บอนไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1120 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมี 2 ขั้นตอน เขียนสมการเคมีได้ดังนี้

$$2C(s) + O_2(g) \longrightarrow 2CO(g) \quad .....(1)$$

$$ZnO(s) + CO(g) \longrightarrow Zn(s) + CO_2(g) \quad .....(2)$$

จะเห็นว่าสมการ (1) และ (2) มีความเกี่ยวข้องกัน โดยมีสารที่เป็นตัวร่วมของทั้งสองสมการในที่นี้คือ CO ซึ่งอยู่ด้านตรงข้ามกัน ถ้าต้องการรวมสมการเคมีทั้งสองทำได้โดยทำจำนวนโมลของสารที่เป็นตัวร่วมของทั้งสองสมการให้เท่ากัน แล้วนำไปหักล้างกัน ดังนี้

สมการ (2) × 2 ; $2ZnO(s) + 2CO(g) \longrightarrow 2Zn(s) + 2CO_2(g)$ .....(3)

สมการ (1) + (3) ; $2C(s) + O_2(g) + 2ZnO(s) + \cancel{2CO(g)} \longrightarrow \cancel{2CO(g)} + 2Zn(s) + 2CO_2(g)$

$$2C(s) + O_2(g) + 2ZnO(s) \longrightarrow 2Zn(s) + 2CO_2(g) \quad .....(4)$$

จากความสัมพันธ์ของทั้งสองสมการดังกล่าว ถ้าทราบปริมาณของสารใดสารหนึ่งในสมการหนึ่ง จะสามารถหาปริมาณของสารในอีกสมการหนึ่งได้ดังตัวอย่าง

ตัวอย่าง 15

แก๊สไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) สามารถเตรียมได้ดังนี้ (ยังไม่ดุลสมการ)

$$NH_3(g) + O_2(g) \longrightarrow NO(g) + H_2O(g) \quad .....(1)$$

$$NO(g) + CH_4(g) \longrightarrow HCN(g) + H_2O(g) + H_2(g) \quad .....(2)$$

ถ้าใช้แก๊สออกซิเจน (O_2) 15.0 ลิตร จะเกิดแก๊สไฮโดรเจนไซยาไนด์กี่ลิตร

แนวคิด

โจทย์กำหนดปริมาตรของ O_2 ซึ่งอยู่ในสมการ (1) และให้คำนวณปริมาตรของ HCN ซึ่งอยู่ในสมการ (2) จึงต้องดุลและรวมสมการเคมี และจากสมการเคมีรวม สามารถใช้ปริมาตรของ O_2 ที่กำหนดให้ เพื่อหาปริมาตรของ HCN

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 ดุลและรวมสมการเคมี

$$4NH_3(g) + 5O_2(g) \longrightarrow 4NO(g) + 6H_2O(g) \quad .....(1)$$

$$2NO(g) + 2CH_4(g) \longrightarrow 2HCN(g) + 2H_2O(g) + H_2(g) \quad .....(2)$$

รวมทั้งสองสมการเข้าด้วยกัน โดยทำจำนวนโมลของสารที่เป็นตัวร่วมของทั้งสองสมการให้เท่ากัน ในที่นี้คือ NO จึงคูณสมการ (2) ด้วย 2 ดังนี้

สมการ (2) × 2 ; $4NO(g) + 4CH_4(g) \longrightarrow 4HCN(g) + 4H_2O(g) + 2H_2(g)$ .....(3)

สมการ (1) + (3) ; $4NH_3(g) + 5O_2(g) + 4CH_4(g) \longrightarrow 4HCN(g) + 10H_2O(g) + 2H_2(g)$ .....(4)

ขั้นที่ 2 ระบุแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยที่จะใช้

$$\frac{4 \text{ L HCN}}{5 \text{ L } O_2} \text{ (จากสมการเคมี อัตราส่วนโดยโมลของ } O_2 : HCN = 5 : 4 \text{)}$$

ขั้นที่ 3 คำนวณปริมาตรของ HCN

$$\text{ปริมาตรของ HCN} = 15.0 \cancel{\text{ L } O_2} \times \frac{4 \text{ L HCN}}{5 \cancel{\text{ L } O_2}}$$

$$= 12.0 \text{ L HCN}$$

ดังนั้น ถ้าใช้แก๊สออกซิเจน 15.0 ลิตร จะเกิดแก๊สไฮโดรเจนไซยาไนด์ 12.0 ลิตร

ตัวอย่าง 16

คำนวณมวลของแก๊สคลอรีนที่ต้องใช้ในการสังเคราะห์คาร์บอนเตตระคลอไรด์ 5.00 กิโลกรัม จากการเปลี่ยนแปลงดังสมการ

$$CS_2(l) + 3Cl_2(g) \longrightarrow S_2Cl_2(l) + CCl_4(l) \quad .....(1)$$

$$8S_2Cl_2(l) + 4CS_2(l) \longrightarrow 3S_8(s) + 4CCl_4(l) \quad .....(2)$$

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 ดุลและรวมสมการเคมี

สมการ (1) × 8 ; $8CS_2(l) + 24Cl_2(g) \longrightarrow 8S_2Cl_2(l) + 8CCl_4(l)$ .....(3)

สมการ (2) + (3) ; $12CS_2(l) + 24Cl_2(g) \longrightarrow 3S_8(s) + 12CCl_4(l)$

ทำจำนวนโมลให้เป็นอย่างต่ำ

$$4CS_2(l) + 8Cl_2(g) \longrightarrow S_8(s) + 4CCl_4(l)$$

ขั้นที่ 2 ระบุแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยที่จะใช้

$\frac{1000\ \text{g } CCl_4}{1\ \text{kg } CCl_4}$ (จาก 1 kg = 1000 g)

$\frac{1\ \text{mol } CCl_4}{153.81\ \text{g } CCl_4}$ (จากมวลต่อโมลของ CCl_4 = 153.81 g/mol)

$\frac{8\ \text{mol } Cl_2}{4\ \text{mol } CCl_4}$ (จากสมการเคมี อัตราส่วนโดยโมลของ $Cl_2 : CCl_4 = 8 : 4$)

$\frac{70.90\ \text{g } Cl_2}{1\ \text{mol } Cl_2}$ (จากมวลต่อโมลของ Cl_2 = 70.90 g/mol)

ขั้นที่ 3 คำนวณมวลของ Cl_2

มวลของ Cl_2

$$= 5.00\ \text{kg } CCl_4 \times \frac{1000\ \text{g } CCl_4}{1\ \text{kg } CCl_4} \times \frac{1\ \text{mol } CCl_4}{153.81\ \text{g } CCl_4} \times \frac{8\ \text{mol } Cl_2}{4\ \text{mol } CCl_4} \times \frac{70.90\ \text{g } Cl_2}{1\ \text{mol } Cl_2}$$

$= 4.61 \times 10^3\ \text{g } Cl_2$ หรือ $4.61\ \text{kg } Cl_2$

ดังนั้น ถ้าต้องการคาร์บอนเตตระคลอไรด์ 5.00 กิโลกรัม ต้องใช้คลอรีน 4.61 กิโลกรัม

แบบฝึกหัด 6.5

1. ดุลสมการเคมีของปฏิกิริยาย่อย พร้อมทั้งเขียนและดุลสมการเคมีของปฏิกิริยารวมต่อไปนี้

1.1 ปฏิกิริยา (1) $NO(g) \longrightarrow N_2O_2(g)$
ปฏิกิริยา (2) $N_2O_2(g) + O_2(g) \longrightarrow NO_2(g)$
ปฏิกิริยารวม .....

1.2 ปฏิกิริยา (3) $N_2(g) + O_2(g) \longrightarrow NO(g)$
ปฏิกิริยา (4) $NO(g) + Cl_2(g) \longrightarrow NOCl(g)$
ปฏิกิริยารวม .....

1.3 ปฏิกิริยา (5) $Na_2O_2(s) \longrightarrow Na(l) + O_2(g)$
ปฏิกิริยา (6) $Na(l) + O_2(g) \longrightarrow Na_2O(s)$
ปฏิกิริยารวม .....

1.4 ปฏิกิริยา (7) $CO(g) + H_2(g) \longrightarrow CH_3OH(g)$
ปฏิกิริยา (8) $CO_2(g) + C(s) \longrightarrow CO(g)$
ปฏิกิริยารวม .....

1.5 ปฏิกิริยา (9) $HBr(g) + O_2(g) \longrightarrow HOOBr(g)$
ปฏิกิริยา (10) $HOOBr(g) + HBr(g) \longrightarrow HOBr(g)$
ปฏิกิริยา (11) $HOBr(g) + HBr(g) \longrightarrow H_2O(g) + Br_2(g)$
ปฏิกิริยารวม .....

2. วิธีการกำจัดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์วิธีหนึ่งทำได้โดยใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ทำปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งได้จากการเผาหินปูน ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเขียนแสดงได้ดังนี้

$$CaCO_3(s) \longrightarrow CaO(s) + CO_2(g) \quad .....(1)$$
$$CaO(s) + SO_2(g) \xrightarrow{\Delta} CaSO_3(s) \quad .....(2)$$

เมื่อใช้หินปูนหนัก 1.35×10^3 กิโลกรัม จะมีแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ปริมาตร กี่ลิตร ที่ STP

3. ซิลิคอนที่ใช้ในชิ้นส่วนของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ มีขั้นตอนการผลิตเพื่อให้ได้ซิลิคอนบริสุทธิ์ดังสมการ (สมการเคมียังไม่ดุล)

$$SiO_2(s) + C(s) \longrightarrow Si(s) + CO(g) \quad .....(1)$$
$$Si(s) + Cl_2(g) \longrightarrow SiCl_4(l) \quad .....(2)$$
$$SiCl_4(l) + H_2(g) \longrightarrow Si(s) + HCl(g) \quad .....(3)$$

ถ้าต้องการซิลิคอน 100.0 กิโลกรัม จะต้องใช้คาร์บอนในการผลิตกี่กิโลกรัม

4. กระบวนการออสต์วอลด์ (Ostwald process) เป็นกระบวนการสังเคราะห์กรดไนทริก มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 เผาแก๊สแอมโมเนีย (NH_3) ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจน โดยใช้โลหะแพลทินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดแก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์ (NO) ดังนี้ (สมการเคมียังไม่ดุล)

$$NH_3(g) + O_2(g) \xrightarrow{Pt} NO(g) + H_2O(g)$$

ขั้นที่ 2 เมื่ออุณหภูมิในเตาเผาเย็นลงประมาณ 50 องศาเซลเซียส แก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์จะทำปฏิกิริยาเคมีกับแก๊สออกซิเจน เกิดเป็นแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ ดังนี้ (สมการเคมียังไม่ดุล)

$$NO(g) + O_2(g) \longrightarrow NO_2(g)$$

ขั้นที่ 3 นำแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์มาผ่านลงในน้ำ จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารละลายกรดไนทริก (HNO_3) และแก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์ดังนี้ (สมการเคมียังไม่ดุล)

$$NO_2(g) + H_2O(l) \longrightarrow HNO_3(aq) + NO(g)$$

ถ้าต้องการเตรียมสารละลายกรดไนทริกเข้มข้น 15.0 โมลต่อลิตร ปริมาตร 10.0 ลิตร จะต้องใช้แก๊สแอมโมเนียกี่กิโลกรัม

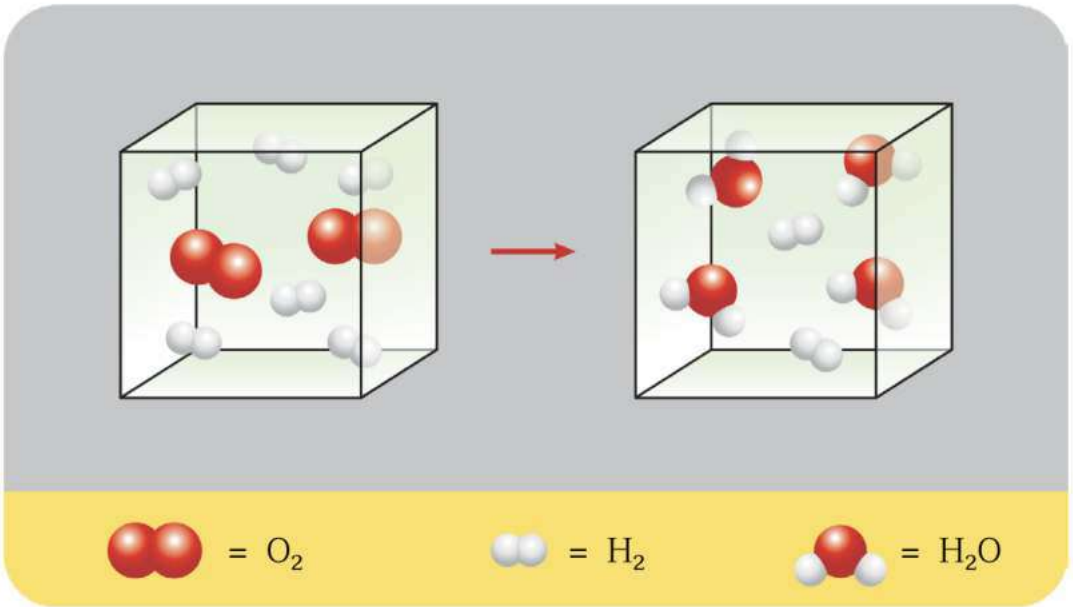
6.4 สารกำหนดปริมาณ

การทดลองในห้องปฏิบัติการเคมี ปฏิกิริยาเคมีในชีวิตประจำวันหรือในอุตสาหกรรม การผลิตสารเคมีชนิดต่าง ๆ โดยทั่วไปจะมีปริมาณของสารตั้งต้นบางชนิดมากกว่าอัตราส่วนที่ทำปฏิกิริยาพอดีกันตามสมการเคมี สารตั้งต้นที่ทำปฏิกิริยาหมดก่อนสารอื่นจะเป็นสารที่กำหนดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น จึงเรียกว่า **สารกำหนดปริมาณ** (limiting reagent หรือ limiting reactant) ส่วนสารตั้งต้นที่มีปริมาณมากเกินพอจะทำปฏิกิริยาไม่หมดและเหลืออยู่ในปฏิกิริยา

ตรวจสอบความเข้าใจ

จากกิจกรรม 6.1 จงระบุสารกำหนดปริมาณและสารที่เหลือในหลอดที่ 1 – 5

พิจารณาปฏิกิริยาเคมีระหว่างแก๊สไฮโดรเจน 6 โมเลกุล กับแก๊สออกซิเจน 2 โมเลกุล เกิดเป็นน้ำ ดังรูป 6.6



รูป 6.6 ปริมาณสารก่อนและหลังเกิดปฏิกิริยาเคมี

ตรวจสอบความเข้าใจ

จากรูป 6.6 ตอบคำถามต่อไปนี้

1. สารตั้งต้นใดเป็นสารกำหนดปริมาณ
2. เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา มีน้ำเกิดขึ้นกี่โมเลกุล
3. เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา มีสารตั้งต้นใดที่เหลืออยู่ และเหลืออยู่ปริมาณเท่าใด
4. ถ้าให้แก๊สไฮโดรเจน 6 โมล ทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจน 2 โมล จะเกิดน้ำกี่กรัม

พิจารณาสมการเคมีระหว่างแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจนดังนี้

$$2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(l)$$

จากสมการเคมี แก๊สไฮโดรเจน 2 โมลทำปฏิกิริยาพอดีกับแก๊สออกซิเจน 1 โมล เกิดเป็นน้ำ 2 โมล ดังนั้นถ้ามีแก๊สไฮโดรเจน 6 โมล จะต้องใช้แก๊สออกซิเจน 3 โมล แต่ถ้าในปฏิกิริยามีแก๊สออกซิเจนเพียง 2 โมล แก๊สออกซิเจนจึงทำปฏิกิริยาหมดและเป็นสารกำหนดปริมาณ โดยใช้แก๊สไฮโดรเจนไปเพียง 4 โมลเท่านั้น เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจึงได้น้ำ 4 โมลหรือ 72.08 กรัม และเหลือแก๊สไฮโดรเจน 2 โมล

การใช้สารกำหนดปริมาณเพื่อคำนวณปริมาณผลิตภัณฑ์และสารที่เหลือ ทำได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง 17

ปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้

$$2Mg(s) + O_2(g) \longrightarrow 2MgO(s)$$

ถ้าโลหะแมกนีเซียม (Mg) จำนวน 6.000 โมล ทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจน (O_2) จำนวน 2.500 โมล จงคำนวณ

1. สารกำหนดปริมาณ และจำนวนโมลของสารที่เหลือ
2. มวลของแมกนีเซียมออกไซด์ที่เกิดขึ้น

แนวคิด

จากปริมาณสารที่โจทย์กำหนดให้ คำนวณจำนวนโมลของสารตั้งต้นที่จะทำปฏิกิริยาพอดีกันเพื่อหาสารกำหนดปริมาณ และจำนวนโมลของสารที่เหลือ จากนั้นคำนวณปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากสารกำหนดปริมาณ

วิธีทำ

1. สารกำหนดปริมาณ และจำนวนโมลของสารที่เหลือ

ขั้นที่ 1 หาสารกำหนดปริมาณ

จากสมการเคมี อัตราส่วนโดยโมลของ Mg : O_2 = 2 : 1 ดังนั้น คำนวณจำนวนโมลของ O_2 เมื่อใช้ Mg 6.000 mol ได้ดังนี้

$$\text{โมลของ } O_2 = 6.000 \text{ mol Mg} \times \frac{1 \text{ mol } O_2}{2 \text{ mol Mg}}$$

$$= 3.000 \text{ mol } O_2$$

นั่นคือ ถ้าใช้โลหะแมกนีเซียม 6.000 โมล จะต้องใช้แก๊สออกซิเจน 3.000 โมล ซึ่งมากกว่าปริมาณแก๊สออกซิเจนที่โจทย์กำหนดไว้ แสดงว่าแก๊สออกซิเจนคือสารกำหนดปริมาณ

หรืออาจคำนวณจำนวนโมลของ Mg เมื่อใช้ O_2 2.500 mol ได้ดังนี้

$$\text{โมลของ Mg} = 2.500 \text{ mol } O_2 \times \frac{2 \text{ mol Mg}}{1 \text{ mol } O_2}$$

$$= 5.000 \text{ mol Mg}$$

นั่นคือถ้าใช้แก๊สออกซิเจน 2.500 โมลต้องใช้โลหะแมกนีเซียม 5.000 โมลซึ่งน้อยกว่าปริมาณที่โจทย์กำหนดไว้ แสดงว่ามีโลหะแมกนีเซียมเหลืออยู่ ดังนั้นแก๊สออกซิเจนจึงเป็นสารกำหนดปริมาณ

ขั้นที่ 2 หาจำนวนโมลของสารที่เหลือ

จากขั้นที่ 1 พบว่าต้องใช้โลหะแมกนีเซียม 5.000 โมล และมีโลหะแมกนีเซียม 6.000 โมล แสดงว่ามีโลหะแมกนีเซียมเหลือ 6.000 mol – 5.000 mol = 1.000 mol

2. มวลของแมกนีเซียมออกไซด์ที่เกิดขึ้น

ขั้นที่ 1 หาสารกำหนดปริมาณ

ซึ่งจากข้อ 1) ทราบแล้วว่าสารกำหนดปริมาณคือ O_2 จึงใช้จำนวนโมลของ O_2 ในการคำนวณ

ขั้นที่ 2 ระบุแฟกเตอร์เปลี่ยนหน่วยที่จะใช้

$\frac{2 \text{ mol MgO}}{1 \text{ mol } O_2}$ (จากสมการเคมี อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง MgO : O_2 = 2 :1)

$\frac{40.30 \text{ g MgO}}{1 \text{ mol MgO}}$ (จากมวลต่อโมลของ MgO เท่ากับ 40.30 g/mol)

ขั้นที่ 3 คำนวณมวลของ MgO

$$\text{มวลของ MgO} = 2.500 \cancel{\text{ mol } O_2} \times \frac{2 \cancel{\text{ mol MgO}}}{1 \cancel{\text{ mol } O_2}} \times \frac{40.30 \text{ g MgO}}{1 \cancel{\text{ mol MgO}}}$$

$$= 201.5 \text{ g MgO}$$

ดังนั้น แมกนีเซียมออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีมวล 201.5 กรัม

ตัวอย่าง 18

ถ้าให้แก๊สมีเทน (CH_4) ปริมาณ 8.00 กรัม เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้กับแก๊สออกซิเจน (O_2) ปริมาณ 48.0 กรัม ดังสมการเคมี

$$CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$$

จงคำนวณ

1. สารกำหนดปริมาณ และมวลของสารที่เหลือ
2. ปริมาตรของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เกิดขึ้น ที่ STP

วิธีทำ

1. สารกำหนดปริมาณ และมวลของสารที่เหลือ

ขั้นที่ 1 หาสารกำหนดปริมาณ

จากสมการเคมีและมวลต่อโมลของสาร คำนวณมวลของ CH_4 ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ O_2 48.0 g ได้ดังนี้

$$\text{มวลของ } CH_4 = 48.0 \text{ g } \cancel{O_2} \times \frac{1 \text{ mol } \cancel{O_2}}{32.00 \text{ g } \cancel{O_2}} \times \frac{1 \text{ mol } \cancel{CH_4}}{2 \text{ mol } \cancel{O_2}} \times \frac{16.05 \text{ g } CH_4}{1 \text{ mol } \cancel{CH_4}}$$

$$= 12.0 \text{ g } CH_4$$

นั่นคือ เมื่อใช้แก๊สออกซิเจน 48.0 กรัม จะต้องใช้แก๊สมีเทน 12.0 กรัม แต่มีแก๊สมีเทน 8.00 กรัม แสดงว่าสารกำหนดปริมาณคือ แก๊สมีเทน

ขั้นที่ 2 หามวลของสารที่เหลือ

หามวลของสารที่เหลือโดยคำนวณมวลของ O_2 ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ CH_4 8.00 g ดังนี้

$$\text{มวลของ } O_2 = 8.00 \text{ g } \cancel{CH_4} \times \frac{1 \text{ mol } \cancel{CH_4}}{16.05 \text{ g } \cancel{CH_4}} \times \frac{2 \text{ mol } \cancel{O_2}}{1 \text{ mol } \cancel{CH_4}} \times \frac{32.00 \text{ g } O_2}{1 \text{ mol } \cancel{O_2}}$$

$$= 31.9 \text{ g } O_2$$

นั่นคือ เมื่อใช้แก๊สมีเทน 8.00 กรัม จะต้องใช้แก๊สออกซิเจน 31.9 กรัม แต่มีแก๊สออกซิเจน 48.0 กรัม ดังนั้นจะมีแก๊สออกซิเจนเหลือ 48.0 g – 31.9 g = 16.1 g

2. ปริมาตรของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ที่ STP

เนื่องจากสารกำหนดปริมาณคือ CH_4 จึงใช้ CH_4 ในการคำนวณ จากสมการเคมีและมวลต่อโมลของสาร คำนวณปริมาตรที่ STP ของ CO_2 ได้ดังนี้

$$\text{ปริมาตรของ } CO_2 \text{ ที่ STP} = 8.00 \text{ g } \cancel{CH_4} \times \frac{1 \text{ mol } \cancel{CH_4}}{16.05 \text{ g } \cancel{CH_4}} \times \frac{1 \text{ mol } \cancel{CO_2}}{1 \text{ mol } \cancel{CH_4}} \times \frac{22.4 \text{ L } CO_2}{1 \text{ mol } \cancel{CO_2}}$$

$$= 11.2 \text{ L } CO_2$$

ดังนั้น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีปริมาตร 11.2 ลิตร ที่ STP

ตัวอย่าง 19

ปฏิกิริยาเคมีของการผลิตปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4$) เป็นดังนี้

$$2NH_3(g) + H_2SO_4(aq) \longrightarrow (NH_4)_2SO_4(aq)$$

ถ้าใช้แก๊สแอมโมเนีย (NH_3) ปริมาตร 33.6 ลิตร ที่ STP ทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น 2.00 โมลต่อลิตร ปริมาตร 250 มิลลิลิตร แอมโมเนียมซัลเฟตที่เกิดขึ้นมีมวลกี่กรัม

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 หาสารกำหนดปริมาณ

คำนวณปริมาตรของ NH_3 ที่ STP ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ H_2SO_4 เข้มข้น 2.00 mol/L ปริมาตร 250 mL ได้ดังนี้

$$\text{ปริมาตรของ } NH_3 \text{ ที่ STP} = 250 \text{ mL } H_2SO_4 \text{ sol}^n \times \frac{2.00 \text{ mol } H_2SO_4}{1000 \text{ mL } H_2SO_4 \text{ sol}^n} \times \frac{2 \text{ mol } NH_3}{1 \text{ mol } H_2SO_4} \times \frac{22.4 \text{ L } NH_3}{1 \text{ mol } NH_3}$$

$$= 22.4 \text{ L } NH_3$$

นั่นคือ เมื่อใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2.00 โมลต่อลิตร ปริมาตร 250 มิลลิลิตร จะต้องใช้แก๊สแอมโมเนีย 22.4 ลิตร ที่ STP ซึ่งจากโจทย์มีแก๊สแอมโมเนีย 33.6 ลิตร ดังนั้นสารกำหนดปริมาณคือกรดซัลฟิวริก

ขั้นที่ 2 หามวลของแอมโมเนียมซัลเฟตที่เกิดขึ้น

คำนวณมวลของ $(NH_4)_2SO_4$ จาก H_2SO_4 ซึ่งเป็นสารกำหนดปริมาณ ได้ดังนี้

$$\text{มวลของ } (NH_4)_2SO_4 = 250 \text{ mL } H_2SO_4 \text{ sol}^n \times \frac{2.00 \text{ mol } H_2SO_4}{1000 \text{ mL } H_2SO_4 \text{ sol}^n} \times \frac{1 \text{ mol } (NH_4)_2SO_4}{1 \text{ mol } H_2SO_4} \times \frac{132.16 \text{ g } (NH_4)_2SO_4}{1 \text{ mol } (NH_4)_2SO_4}$$

$$= 66.1 \text{ g } (NH_4)_2SO_4$$

ดังนั้น แอมโมเนียมซัลเฟตเกิดขึ้น 66.1 กรัม

แบบฝึกหัด 6.6

1. แคลเซียมคาร์บอเนตทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก ดังนี้ (สมการเคมียังไม่ดุล)

$$CaCO_3(s) + HCl(aq) \longrightarrow CaCl_2(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$$

เมื่อใช้แคลเซียมคาร์บอเนต 50.0 กรัม ทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก 0.500 โมล จะเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กี่ลิตร ที่ STP

2. จากปฏิกิริยาเคมี $2H_2S(g) + SO_2(g) \longrightarrow 3S(s) + 2H_2O(l)$
ถ้าผสมแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์และแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์อย่างละ 5.00 กรัม เมื่อปฏิกิริยาเคมีเกิดอย่างสมบูรณ์จะเหลือสารใด และเหลืออยู่กี่กรัม

3. ถ้านำแก๊สไฮโดรเจน 30.0 ลิตร มาทำปฏิกิริยากับแก๊สไนโตรเจน 20.0 ลิตร จะเกิดแก๊สแอมโมเนียมากที่สุดกี่โมล ที่ STP

4. ผสมสารละลายกรดเกลือเข้มข้น 1.50 โมลต่อลิตร ปริมาตร 25.0 มิลลิลิตร กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.800 โมลต่อลิตร ปริมาตร 40.0 มิลลิลิตร ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเขียนแสดงได้ดังนี้

$$HCl(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$$

จงตอบคำถามต่อไปนี้

4.1 สารใดเป็นสารกำหนดปริมาณ

4.2 เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดจะได้สารละลายโซเดียมคลอไรด์กี่โมลต่อลิตร

4.3 เมื่อทดสอบสารละลายหลังสิ้นสุดปฏิกิริยากับกระดาษลิตมัสสีแดงและน้ำเงิน มีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร

6.5 ผลได้ร้อยละ

ในทางปฏิบัติปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจริงมีค่าเท่ากับผลที่คำนวณได้ตามทฤษฎีหรือไม่ ศึกษาได้จากกิจกรรมต่อไปนี้

กิจกรรม 6.3 การทดลองผลได้ร้อยละของปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตกับกรดไฮโดรคลอริก

จุดประสงค์การทดลอง

1. ทดลองหามวลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตกับกรดไฮโดรคลอริก
2. เปรียบเทียบมวลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ตามทฤษฎีและมวลที่หาได้จากการทดลอง

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

1. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 1.0 mol/L
3. บีกเกอร์ขนาด 50 mL
4. บีกเกอร์ขนาด 250 mL
5. ช้อนตักสาร
6. กระบอกตวงขนาด 50 mL
7. เครื่องชั่ง

วิธีทดลอง

1. ตวง HCl 1.0 mol/L ปริมาตร 40 mL ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 mL ชั่งและบันทึกมวลของบีกเกอร์ที่บรรจุ HCl
2. ชั่ง Na_2CO_3 ให้มีค่าประมาณ 2.0 g และบันทึกมวลที่ชั่งได้
3. ค่อย ๆ เท Na_2CO_3 ลงใน HCl อย่างช้า ๆ จนหมด โดยระวังสารกระเด็น เนื่องจากมีฟองแก๊สเกิดขึ้น แกว่งบีกเกอร์จนกระทั่ง Na_2CO_3 หมด
4. ชั่งและบันทึกมวลของบีกเกอร์ที่บรรจุสารหลังเกิดปฏิกิริยาเคมี

คำถามท้ายการทดลอง

1. สมการเคมีของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเป็นอย่างไร
2. มวลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในการทดลองนี้หาได้อย่างไร และมีค่าเป็นเท่าใด
3. คำนวณสารกำหนดปริมาณจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น
4. มวลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ตามทฤษฎีที่คำนวณเป็นเท่าใด
5. มวลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ตามทฤษฎีและมวลที่หาได้จากการทดลองนี้แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่คำนวณได้จากสารกำหนดปริมาณตามสมการเคมี เรียกว่า **ผลได้ตามทฤษฎี** (theoretical yield) แต่ในทางปฏิบัติปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจริง เรียกว่า **ผลได้จริง** (actual yield) ส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่าผลได้ตามทฤษฎี ซึ่งอาจเกิดจากหลายปัจจัย เช่น ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์หรือมีปฏิกิริยาข้างเคียงที่ไม่ให้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ หรือเกิดการสูญหายของผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการเก็บหรือแยกผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ความผิดพลาดในการวัดปริมาณผลิตภัณฑ์ระหว่างการทดลองยังอาจทำให้ผลได้จริงมีค่าน้อยหรือมากกว่าผลได้ตามทฤษฎี

ประสิทธิภาพของการทำปฏิกิริยาอาจวัดได้จากการเปรียบเทียบผลได้จริงกับผลได้ตามทฤษฎีเป็นร้อยละ ซึ่งเรียกว่า **ผลได้ร้อยละ** (percent yield, % yield) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{ผลได้ร้อยละ} = \frac{\text{ผลได้จริง (กรัมหรือโมล)}}{\text{ผลได้ตามทฤษฎี (กรัมหรือโมล)}} \times 100$$

ตรวจสอบความเข้าใจ

ผลได้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ในปฏิกิริยาเคมีจากกิจกรรม 6.3 มีค่าเท่าใด

ตัวอย่าง 20

ถ้านำเบนซีน (C_6H_6) จำนวน 15.6 กรัม มาทำปฏิกิริยากับกรดไนทริก (HNO_3) จำนวนมากเกินพอ พบว่าเกิดไนโตรเบนซีน ($C_6H_5NO_2$) 18.0 กรัม จงหาผลได้ร้อยละ

$$C_6H_6(l) + HNO_3(aq) \longrightarrow C_6H_5NO_2(l) + H_2O(l)$$

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 หามวลของไนโตรเบนซีนตามทฤษฎี

คำนวณมวลของ $C_6H_5NO_2$ จาก C_6H_6 15.6 g ได้ดังนี้

มวลของ $C_6H_5NO_2$

$$= 15.6 \text{ g } \cancel{C_6H_6} \times \frac{1 \text{ } \cancel{\text{mol } C_6H_6}}{78.12 \text{ g } \cancel{C_6H_6}} \times \frac{1 \text{ } \cancel{\text{mol } C_6H_5NO_2}}{1 \text{ } \cancel{\text{mol } C_6H_6}} \times \frac{123.12 \text{ g } C_6H_5NO_2}{1 \text{ } \cancel{\text{mol } C_6H_5NO_2}}$$

$$= 24.6 \text{ g } C_6H_5NO_2$$

นั่นคือ มวลของไนโตรเบนซีนตามทฤษฎีเท่ากับ 24.6 กรัม

ขั้นที่ 2 หาผลได้ร้อยละ

$$\text{ผลได้ร้อยละ} = \frac{\text{ผลได้จริง}}{\text{ผลได้ตามทฤษฎี}} \times 100$$

$$= \frac{18.0 \text{ } \cancel{g}}{24.6 \text{ } \cancel{g}} \times 100$$

$$= 73.2$$

ดังนั้น ปฏิกิริยานี้มีผลได้ร้อยละเท่ากับ 73.2

ตัวอย่าง 21

จากการทดลองนำกรดบิวทาโนอิก ($C_4H_8O_2$) 10.0 กรัม ทำปฏิกิริยากับเอทานอล (C_2H_6O) 3.14 กรัม ได้เอทิลบิวทาโนเอต ($C_6H_{12}O_2$) และน้ำ ดังสมการเคมีต่อไปนี้

$$C_4H_8O_2(aq) + C_2H_6O(aq) \longrightarrow C_6H_{12}O_2(aq) + H_2O(l)$$

จงคำนวณผลได้ร้อยละ ถ้าการทดลองพบว่าเกิดเอทิลบิวทาโนเอต 5.30 กรัม

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 หาสารกำหนดปริมาณ

คำนวณมวลของ C_2H_6O เมื่อใช้ $C_4H_8O_2$ 10.0 g ได้ดังนี้

มวลของ C_2H_6O

$$= 10.0 \text{ g } C_4H_8O_2 \times \frac{1 \text{ mol } C_4H_8O_2}{88.12 \text{ g } C_4H_8O_2} \times \frac{1 \text{ mol } C_2H_6O}{1 \text{ mol } C_4H_8O_2} \times \frac{46.08 \text{ g } C_2H_6O}{1 \text{ mol } C_2H_6O}$$

$$= 5.23 \text{ g } C_2H_6O$$

นั่นคือ เมื่อใช้กรดบิวทาโนอิก 10.0 กรัม จะต้องใช้เอทานอล 5.23 กรัม แต่มีเอทานอลเพียง 3.14 กรัม ดังนั้นเอทานอลจึงเป็นสารกำหนดปริมาณ

ขั้นที่ 2 หามวลของเอทิลบิวทาโนเอตตามทฤษฎี

คำนวณมวลของ $C_6H_{12}O_2$ จาก C_2H_6O 3.14 g ได้ดังนี้

มวลของ $C_6H_{12}O_2$

$$= 3.14 \text{ g } C_2H_6O \times \frac{1 \text{ mol } C_2H_6O}{46.08 \text{ g } C_2H_6O} \times \frac{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_2}{1 \text{ mol } C_2H_6O} \times \frac{116.18 \text{ g } C_6H_{12}O_2}{1 \text{ mol } C_6H_{12}O_2}$$

$$= 7.92 \text{ g } C_6H_{12}O_2$$

ดังนั้น เอทิลบิวทาโนเอตมีมวลตามทฤษฎีเท่ากับ 7.92 กรัม

ขั้นที่ 3 หาผลได้ร้อยละ

$$\text{ผลได้ร้อยละ} = \frac{5.30\ \cancel{g}}{7.92\ \cancel{g}} \times 100$$

$$= 66.9$$

ดังนั้น ปฏิกิริยานี้มีผลได้ร้อยละเท่ากับ 66.9

แบบฝึกหัด 6.7

1. แก๊สแอมโมเนียทำปฏิกิริยาเคมีกับแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์ได้แอมโมเนียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นของแข็งสีขาว ถ้าใช้แอมโมเนีย 0.200 กรัม จงคำนวณ
   1.1. มวลของแอมโมเนียมคลอไรด์ที่เกิดขึ้น
   1.2. ผลได้ร้อยละของปฏิกิริยาเคมี ถ้ามีแอมโมเนียมคลอไรด์เกิดขึ้น 0.20 กรัม

2. ไนโตรเบนซีน ($C_6H_5NO_2$) เป็นสารที่ใช้มากในอุตสาหกรรมการทำสี เตรียมได้จากปฏิกิริยาเคมีระหว่างเบนซีน (C_6H_6) กับกรดไนทริก (HNO_3) ดังสมการเคมีต่อไปนี้

$$C_6H_6(l) + HNO_3(aq) \longrightarrow C_6H_5NO_2(l) + H_2O(l)$$

   ถ้าใช้เบนซีน 20.30 กรัม ทำปฏิกิริยาเคมีกับกรดไนทริกมากเกินพอ จะเกิดไนโตรเบนซีนกี่กรัม และถ้าได้ไนโตรเบนซีนเพียง 28.7 กรัม ผลผลิตที่ได้คิดเป็นร้อยละเท่าใด

3. น้ำมันระกำ (methyl salicylate) เตรียมได้จากปฏิกิริยาต่อไปนี้

$$\underset{\text{กรดซาลิซิลิก}}{C_7H_6O_3(s)} + \underset{\text{เมทานอล}}{CH_4O(l)} \longrightarrow \underset{\text{น้ำมันระกำ}}{C_8H_8O_3(l)} + H_2O(l)$$

   จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้กรดซาลิซิลิก 15.0 กรัม ทำปฏิกิริยาเคมีกับเมทานอล 11.20 กรัม จะได้น้ำมันระกำ 12.4 กรัม จงหาผลได้ร้อยละจากการทดลองนี้

บทนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างโมลของสารในปฏิกิริยาเคมี ซึ่งแสดงด้วยสมการเคมีที่สามารถนำไปคำนวณปริมาณของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ในหน่วยต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการคำนวณปริมาณสารที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมเคมี และเป็นพื้นฐานในการศึกษาเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและสมดุลเคมี

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

ปฏิกิริยาเคมีเป็นการเปลี่ยนแปลงที่มีสารใหม่เกิดขึ้นจากการจัดเรียงตัวใหม่ของอะตอมธาตุ โดยชนิดและจำนวนอะตอมของธาตุไม่เปลี่ยนแปลง ปฏิกิริยาเคมีเขียนแสดงได้ด้วยสมการเคมี ซึ่งประกอบด้วยสูตรเคมีของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ ลูกศรแสดงทิศทางของการเกิดปฏิกิริยา และเลขสัมประสิทธิ์ของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่ดุลแล้ว นอกจากนี้อาจมีสัญลักษณ์แสดงสถานะของสาร หรือปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องในการเกิดปฏิกิริยาเคมี

การดุลสมการเคมีทำได้โดยการเติมเลขสัมประสิทธิ์หน้าสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ เพื่อให้อะตอมของธาตุในสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เท่ากัน

การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารในปฏิกิริยาเคมีมีความสัมพันธ์กันตามเลขสัมประสิทธิ์ในสมการเคมี ซึ่งบอกถึงอัตราส่วนโดยโมลของสารในปฏิกิริยา สามารถนำมาใช้ในการคำนวณปริมาณของสารที่เกี่ยวข้องกับมวล ความเข้มข้นของสารละลาย และปริมาตรของแก๊สได้ ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโมลของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ในปฏิกิริยาเคมีหลายขั้นตอนพิจารณาได้จากเลขสัมประสิทธิ์ของสมการเคมีรวม

สำหรับปฏิกิริยาเคมีที่สารตั้งต้นทำปฏิกิริยาไม่พอดีกัน สารตั้งต้นที่ทำปฏิกิริยาหมดก่อนเรียกว่าสารกำหนดปริมาณ ซึ่งเป็นสารที่กำหนดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น และปริมาณสารตั้งต้นอื่นที่ใช้ในปฏิกิริยาเคมี

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจริงในปฏิกิริยาเคมีส่วนใหญ่มีปริมาณน้อยกว่าที่คำนวณได้ตามทฤษฎี ซึ่งค่าเปรียบเทียบผลได้จริงกับผลได้ตามทฤษฎีเป็นร้อยละ เรียกว่า ผลได้ร้อยละ

แบบฝึกหัดท้ายบท

1. ดุลสมการเคมีต่อไปนี้

1.1 $PCl_3(l) + H_2O(l) \longrightarrow H_3PO_3(aq) + HCl(aq)$

1.2 $FeS(s) + HCl(aq) \longrightarrow FeCl_2(aq) + H_2S(g)$

1.3 $CH_3OH(l) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + H_2O(g)$

1.4 $Al(s) + O_2(g) \longrightarrow Al_2O_3(s)$

1.5 $KNO_3(s) \longrightarrow KNO_2(s) + O_2(g)$

1.6 $AlCl_3(aq) + NaOH(aq) \longrightarrow Al(OH)_3(s) + NaCl(aq)$

1.7 $Na_3PO_4(aq) + CaCl_2(aq) \longrightarrow NaCl(aq) + Ca_3(PO_4)_2(s)$

1.8 $Fe(s) + H_2O(g) \longrightarrow H_2(g) + Fe_3O_4(s)$

1.9 $Cu(NO_3)_2(aq) + NH_3(aq) + H_2O(l) \longrightarrow Cu(OH)_2(s) + NH_4NO_3(aq)$

1.10 $NaCl(s) + SO_2(g) + H_2O(g) + O_2(g) \longrightarrow Na_2SO_4(s) + HCl(g)$

2. เขียนสมการเคมี พร้อมทั้งดุลสมการของปฏิกิริยาเคมีจากข้อความต่อไปนี้

2.1 เมื่อเติมเกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในสารละลายกรดซัลฟิวริก จะได้สารละลายโซเดียมซัลเฟตและน้ำ

2.2 เมื่อใส่แผ่นสังกะสีลงในสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟต พบว่ามีผงทองแดงเกาะที่แผ่นสังกะสี และมีซิงค์ซัลเฟตซึ่งละลายน้ำได้เกิดขึ้น

2.3 เมื่อแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้าโดยใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้แก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจน

2.4 เมื่อนำแก๊สอีทีน (C_2H_4) มาทำปฏิกิริยาเคมีกับแก๊สไฮโดรเจน โดยมีนิกเกิลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะได้แก๊สอีเทน (C_2H_6) เป็นผลิตภัณฑ์

2.5 เมื่อผ่านแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลงในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่าสารละลายขุ่น เนื่องจากมีตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนตและน้ำเกิดขึ้น

3. จากสมการเคมี ต่อไปนี้

$$A + B \longrightarrow C$$

เมื่อทำการทดลองโดยนำสาร A ทำปฏิกิริยากับสาร B ผลดังตารางต่อไปนี้

ครั้งที่	มวลของสาร A (g)	มวลของสาร B (g)	มวลของสาร C (g)
1	2	10	4
2	4	8	8
3	6	6	12
4	8	4	8
5	10	2	4

ถ้าใช้สาร A จำนวน 15 กรัม ทำปฏิกิริยากับสาร B จำนวน 20 กรัม จะเกิดสาร C กี่กรัม

4. จากปฏิกิริยาต่อไปนี้

$$4FeS_2(s) + 11O_2(g) \longrightarrow 2Fe_2O_3(s) + 8SO_2(g)$$

จะต้องใช้แก๊สออกซิเจนกี่ลิตร ที่ STP จึงจะทำปฏิกิริยาพอดีกับไอร์ออน(IV) ซัลไฟด์ 0.500 กิโลกรัม และจะเกิดไอร์ออน(III)ออกไซด์กี่กิโลกรัม

5. คำนวณปริมาตรของสารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น 0.50 โมลต่อลิตรที่ต้องใช้ในการทำปฏิกิริยาพอดีกับโซเดียมคาร์บอเนต 4.235 กรัม ได้ผลิตภัณฑ์เป็นสารละลายโซเดียมซัลเฟต น้ำ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

6. แก๊สแอมโมเนียทำปฏิกิริยาเคมีกับแก๊สออกซิเจนได้ไอน้ำและแก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์ในอัตราส่วน 4 : 5 : 6 : 4 โดยปริมาตร ถ้าใช้แก๊สแอมโมเนีย 500 ลิตร ทำปฏิกิริยาพอดีกับแก๊สออกซิเจนที่อุณหภูมิและความดันคงที่ จะเกิดไอน้ำกี่ลิตร

7. เมื่อนำแก๊สชนิดหนึ่งซึ่งเป็นออกไซด์ของไนโตรเจนปริมาตร 100 มิลลิลิตร ไปทำให้สลายตัวจนหมด จะได้แก๊สไนโตรเจน 100 มิลลิลิตร และแก๊สออกซิเจน 50 มิลลิลิตร โดยวัดที่ STP จงหาสูตรโมเลกุลของออกไซด์นี้

8. เขียนและดุลสมการเคมีที่อยู่ในช่องว่าง

8.1. ปฏิกิริยา (1) $H_2(g) + IBr(g) \longrightarrow HI(g) + HBr(g)$

ปฏิกิริยา (2) .....

ปฏิกิริยารวม $H_2(g) + 2IBr(g) \longrightarrow 2HBr(g) + I_2(g)$

8.2 ปฏิกิริยา (3) .....

ปฏิกิริยา (4) $SO_2(g) + Cl_2(g) \longrightarrow SO_2Cl_2(g)$

ปฏิกิริยารวม $2H_2S(g) + 3O_2(g) + 2Cl_2(g) \longrightarrow 2SO_2Cl_2(g) + 2H_2O(g)$

8.3 ปฏิกิริยา (5) .....

ปฏิกิริยา (6) $C_2H_2(g) + H_2O(g) \longrightarrow CH_3CHO(g)$

ปฏิกิริยารวม $2CH_4(g) + H_2O(g) \longrightarrow CH_3CHO(g) + 3H_2(g)$

8.4 ปฏิกิริยา (7) $C(s) + 2H_2(g) \longrightarrow CH_4(g)$

ปฏิกิริยา (8) .....

ปฏิกิริยารวม $C(s) + NH_3(g) \longrightarrow HCN(g) + H_2(g)$

8.5 ปฏิกิริยา (9) $2NO(g) \longrightarrow N_2O_2(g)$

ปฏิกิริยา (10) $N_2O_2(g) + H_2(g) \longrightarrow N_2O(g) + H_2O(g)$

ปฏิกิริยา (11) .....

ปฏิกิริยารวม $2NO(g) + 2H_2(g) \longrightarrow N_2(g) + 2H_2O(g)$

9. ในการเผาไหม้ถ่านหินจะมีแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดขึ้น ซึ่งสามารถกำจัดได้โดยทำให้แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์กลายเป็นสารละลายกรดซัลฟิวริก ถ้ามีสารละลายกรดซัลฟิวริกเกิดขึ้น 100 ตัน จะมีแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดขึ้นจากการเผาไหม้เป็นปริมาตรเท่าใดที่ STP ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเขียนสมการได้ดังนี้

$$2SO_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2SO_3(g) \quad .....(1)$$
$$SO_3(g) + H_2O(l) \longrightarrow H_2SO_4(aq) \quad .....(2)$$

10. ฟรีออน–12 (CCl_2F_2) เคยเป็นสารที่ใช้ทำความเย็นในตู้เย็น เตรียมได้จากปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้

$$3CCl_4(l) + 2SbF_3(l) \longrightarrow 3CCl_2F_2(l) + 2SbCl_2(s) + Cl_2(g)$$

ถ้าในปฏิกิริยาเคมีใช้คาร์บอนเตตระคลอไรด์ 150.0 กรัม กับแอนติโมนีไตรฟลูออไรด์ 100.0 กรัม

10.1 สารใดเหลือ และเหลือกี่กรัม

10.2 ฟรีออน-12 ที่เกิดขึ้นมีมวลกี่กรัม

11. จากปฏิกิริยาเคมี $PCl_3(g) + Cl_2(g) \longrightarrow PCl_5(g)$

เมื่อใช้ฟอสฟอรัสไตรคลอไรด์ 57.0 กรัม ทำปฏิกิริยากับแก๊สคลอรีนที่มากเกินพอ พบว่ามีผลได้ร้อยละของฟอสฟอรัสเพนตะคลอไรด์เท่ากับ 84.0 ฟอสฟอรัสเพนตะคลอไรด์ที่เกิดขึ้นมีมวลกี่กรัม

12. ปฏิกิริยาการสังเคราะห์เมทิลเบนโซเอต เป็นดังสมการเคมีต่อไปนี้

$$\underset{\text{กรดเบนโซอิก}}{C_7H_6O_2(aq)} + \underset{\text{เมทานอล}}{CH_4O(aq)} \xrightarrow{H_2SO_4} \underset{\text{เมทิลเบนโซเอต}}{C_8H_8O_2(s)} + H_2O(l)$$

เมื่อผสมสารละลายกรดเบนโซอิกเข้มข้น 1.0 โมลต่อลิตร ปริมาตร 250 มิลลิลิตรกับเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร (ความหนาแน่น 0.79 กรัมต่อมิลลิลิตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และเติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

12.1 สารใดคือสารกำหนดปริมาณ

12.2 เมทิลเบนโซเอตที่สังเคราะห์ได้ตามทฤษฎีมีมวลกี่กรัม

12.3 ถ้าสังเคราะห์เมทิลเบนโซเอตได้ 28.9 กรัม ผลได้ร้อยละของปฏิกิริยานี้มีค่าเท่าใด

13. การเตรียมสารส้ม ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) จากกระป๋องอะลูมิเนียมมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 ต้มโลหะอะลูมิเนียมกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเกิดปฏิกิริยาเคมีดังนี้

$$2Al(s) + 2KOH(aq) + 6H_2O(l) \longrightarrow 2KAl(OH)_4(aq) + 3H_2(g)$$

ขั้นที่ 2 เมื่อเติมสารละลายกรดซัลฟิวริกลงไปในสารละลายที่ได้จากขั้นที่ 1 จะมีอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นตะกอนสีขาวเกิดขึ้น ดังนี้

$$2KAl(OH)_4(aq) + H_2SO_4(aq) \longrightarrow 2Al(OH)_3(s) + K_2SO_4(aq) + 2H_2O(l)$$

ขั้นที่ 3 เมื่อนำตะกอนจากข้อ 2 มาต้มกับสารละลายกรดซัลฟิวริกจะเกิดปฏิกิริยาเคมีได้สารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต ดังนี้

$$2Al(OH)_3(s) + 3H_2SO_4(aq) \longrightarrow Al_2(SO_4)_3(aq) + 6H_2O(l)$$

ขั้นที่ 4 เมื่อปล่อยให้สารละลายที่เตรียมไว้ให้เย็น อะลูมิเนียมซัลเฟตจะรวมตัวกับโพแทสเซียมซัลเฟตที่เป็นผลิตภัณฑ์ในขั้นที่ 2 เกิดเป็นผลึกของสารส้ม ดังนี้

$$Al_2(SO_4)_3(aq) + K_2SO_4(aq) + 12H_2O(l) \longrightarrow 2KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O(s)$$

จงตอบคำถามต่อไปนี้

13.1 ถ้าต้องการเตรียมสารส้ม 1.00 กิโลกรัม จะต้องใช้กระป๋องอะลูมิเนียมอย่างน้อยกี่กรัม เมื่อกำหนดให้กระป๋องอะลูมิเนียมมีโลหะอะลูมิเนียมร้อยละ 98.0 โดยมวล

13.2 ถ้าใช้กระป๋องอะลูมิเนียม 1.00 กิโลกรัม จะเกิดสารส้มกี่กรัม และถ้ามีสารส้มเกิดขึ้น 13.8 กิโลกรัม ปฏิกิริยานี้มีผลได้ร้อยละเท่าใด

13.3 ถ้าใช้กระป๋องอะลูมิเนียม 200 กรัม ต้องใช้สารละลายกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 10.0 โมลต่อลิตร ปริมาตรกี่ลิตร

14. นำแผ่นโลหะทองแดง 2.51 กรัม หย่อนลงในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.50 โมลต่อลิตร ปริมาตร 50.0 มิลลิลิตร เกิดปฏิกิริยาเคมีดังสมการ

$$Cu(s) + 2H_2SO_4(aq) \longrightarrow CuSO_4(aq) + SO_2(g) + 2H_2O(l)$$

เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดและกำจัดแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกแล้ว พบว่าสารละลายที่ได้ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.3 โมลต่อลิตร ปริมาตร 18.0 มิลลิลิตร ดังสมการเคมี

$$H_2SO_4(aq) + 2NaOH(aq) \longrightarrow Na_2SO_4(aq) + 2H_2O(l)$$

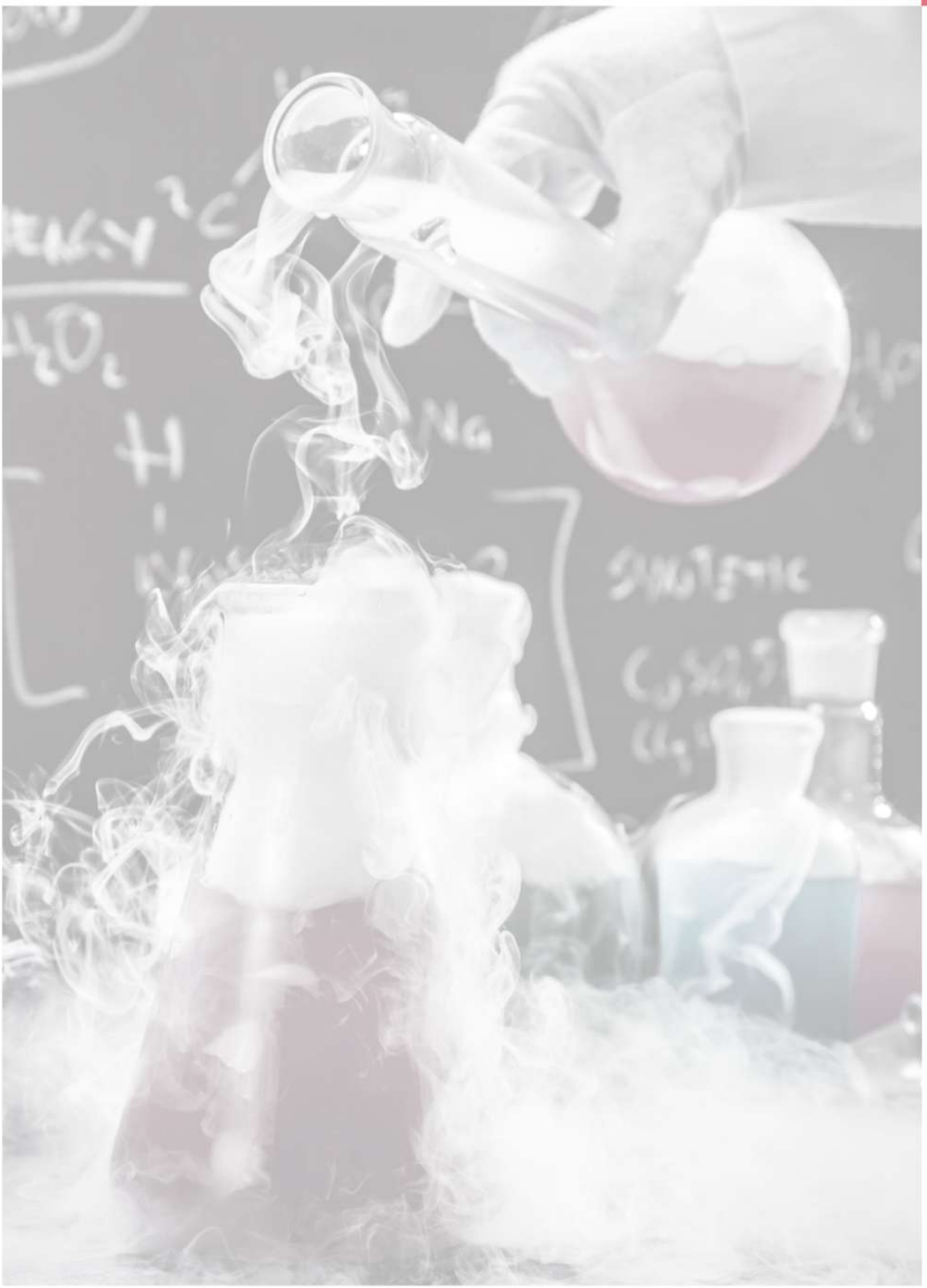
จงคำนวณร้อยละของทองแดงในแผ่นโลหะทองแดงที่นำมาทดลอง

15. เมื่อนำสารประกอบโบรไมด์ของโลหะ A ที่มีสูตร ABr_4 3.060 กรัม ทำปฏิกิริยากับสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตที่มากเกินพอ ได้สารประกอบซิลเวอร์โบรไมด์ซึ่งเป็นของแข็ง 5.000 กรัม และสารละลาย $A(NO_3)_4$ จงคำนวณมวลอะตอมของโลหะ A

16. สารประกอบคลอไรด์ของโลหะ M (MCl_n) ทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดซัลฟิวริก ดังสมการเคมี

$$2MCl_n(s) + nH_2SO_4(aq) \longrightarrow M_2(SO_4)_n(aq) + 2nHCl(g)$$

ถ้าใช้สารประกอบคลอไรด์ของโลหะ M มวล 3.48 กรัม ทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดซัลฟิวริกมากเกินพอ จะได้แก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์มวล 2.95 กรัมเมื่อกำหนดให้ M คือโลหะที่มีมวลอะตอมเท่ากับ 30.4 จงคำนวณค่า n ในสมการเคมีของปฏิกิริยานี้



ภาคผนวก

คำศัพท์ในหนังสือเรียน เคมี เล่ม 2

กฎของเกย์–ลูสแซก	Gay–Lussac's law
กฎการรวมปริมาตรแก๊สของเกย์–ลูสแซก	Gay–Lussac's law of combining volumes of gases
กฎสัดส่วนคงที่	Law of definite proportion
การเจือจาง	Dilution
การเพิ่มขึ้นของจุดเดือด	Boiling point elevation
การลดลงของจุดเยือกแข็ง	Freezing point depression
ขวดกำหนดปริมาตร	Volumetric flask
ความเข้มข้น	Concentration
จุดเดือด	Boiling point
จุดเยือกแข็ง	Freezing point
จุดหลอมเหลว	Melting point
ดุลสมการ	Balance equation
ตัวทำละลาย	Solvent
ตัวละลาย	Solute
ปฏิกิริยาเคมี	Chemical reaction
ปริมาณสัมพันธ์	Stoichiometry
ปริมาตร	Volume
ปิเปตต์	Pipette
ผลได้จริง	Actual yield
ผลได้ตามทฤษฎี	Theoretical yield
ผลได้ร้อยละ	Percent yield

ผลิตภัณฑ์	Product
มวล	Mass
มวลต่อโมล	Molar mass
มวลโมเลกุล	Molecular mass
มวลสูตร	Formula mass
มวลอะตอม	Atomic mass
มวลอะตอมเฉลี่ย	Average atomic mass
แมสสเปกโทรมิเตอร์	Mass spectrometer
โมล	Mole
โมลาร์	Molar
โมลาริตี	Molarity
โมเลกุล	Molecule
โมแลล	Molal
โมแลลิตี	Molality
ร้อยละ	Percentage
เลขสัมประสิทธิ์	Coefficient
เลขอาโวกาโดร	Avogadro's number
เศษส่วนโมล	Mole fraction
สมการเคมี	Chemical equation
สมมติฐานของอาโวกาโดร	Avogadro's hypothesis
สมบัติคอลลิเกทีฟ	Colligative properties
ส่วนในพันล้านส่วน	Parts per billion
ส่วนในร้อยส่วน	Parts per hundred
ส่วนในล้านส่วน	Parts per million
สารกำหนดปริมาณ	Limiting reagent หรือ Limiting reactant
สารตั้งต้น	Reactant

สารละลาย	Solution
สารละลาย (ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย)	Aqueous
สารละลายเข้มข้น	Concentrated solution
สารละลายเจือจาง	Diluted solution
สูตรโมเลกุล	Molecular formula
สูตรเอมพิริคัล	Empirical formula
หลอดคะปิลลารี	Capillary tube
อัตราส่วนโดยโมล	Mole ratio
อุณหภูมิ	Temperature
อุณหภูมิเคลวิน	Kelvin temperature
อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน	Standard temperature and pressure
ไอโซโทป	Isotope

ชื่อธาตุ		สัญลักษณ์	เลขอะตอม	มวลอะตอม
ไฮโดรเจน	Hydrogen	H	1	1.01
ฮีเลียม	Helium	He	2	4.00
ลิเทียม	Lithium	Li	3	6.94
เบริลเลียม	Beryllium	Be	4	9.01
โบรอน	Boron	B	5	10.81
คาร์บอน	Carbon	C	6	12.01
ไนโตรเจน	Nitrogen	N	7	14.01
ออกซิเจน	Oxygen	O	8	16.00
ฟลูออรีน	Fluorine	F	9	19.00
นีออน	Neon	Ne	10	20.18
โซเดียม	Sodium	Na	11	22.99
แมกนีเซียม	Magnesium	Mg	12	24.30
อะลูมิเนียม	Aluminium	Al	13	26.98
ซิลิคอน	Silicon	Si	14	28.08
ฟอสฟอรัส	Phosphorus	P	15	30.97
กำมะถัน	Sulfur	S	16	32.06
คลอรีน	Chlorine	Cl	17	35.45
อาร์กอน	Argon	Ar	18	39.95
โพแทสเซียม	Potassium	K	19	39.10
แคลเซียม	Calcium	Ca	20	40.08
สแกนเดียม	Scandium	Sc	21	44.96
ไทเทเนียม	Titanium	Ti	22	47.87
วาเนเดียม	Vanadium	V	23	50.94
โครเมียม	Chromium	Cr	24	52.00
แมงกานีส	Manganese	Mn	25	54.94
เหล็ก	Iron	Fe	26	55.85

ชื่อธาตุ		สัญลักษณ์	เลขอะตอม	มวลอะตอม
โคบอลต์	Cobalt	Co	27	58.93
นิกเกิล	Nickel	Ni	28	58.69
ทองแดง	Copper	Cu	29	63.55
สังกะสี	Zinc	Zn	30	65.38
แกลเลียม	Gallium	Ga	31	69.72
เจอร์เมเนียม	Germanium	Ge	32	72.63
สารหนู	Arsenic	As	33	74.92
ซีลีเนียม	Selenium	Se	34	78.97
โบรมีน	Bromine	Br	35	79.90
คริปทอน	Krypton	Kr	36	83.80
รูบิเดียม	Rubidium	Rb	37	85.47
สตรอนเชียม	Strontium	Sr	38	87.62
อิตเทรียม	Yttrium	Y	39	88.91
เซอร์โคเนียม	Zirconium	Zr	40	91.22
ไนโอเบียม	Niobium	Nb	41	92.91
โมลิบดีนัม	Molybdenum	Mo	42	95.95
เทคนีเชียม	Technetium	Tc	43	-
รูทีเนียม	Ruthenium	Ru	44	101.07
โรเดียม	Rhodium	Rh	45	102.91
แพลเลเดียม	Palladium	Pd	46	106.42
เงิน	Silver	Ag	47	107.87
แคดเมียม	Cadmium	Cd	48	112.41
อินเดียม	Indium	In	49	114.82
ดีบุก	Tin	Sn	50	118.71
พลวง	Antimony	Sb	51	121.76
เทลลูเรียม	Tellurium	Te	52	127.60

ชื่อธาตุ		สัญลักษณ์	เลขอะตอม	มวลอะตอม
ไอโอดีน	Iodine	I	53	126.90
ซีนอน	Xenon	Xe	54	131.29
ซีเซียม	Caesium	Cs	55	132.91
แบเรียม	Barium	Ba	56	137.33
แลนทานัม	Lanthanum	La	57	138.91
ซีเรียม	Cerium	Ce	58	140.12
เพรซีโอดิเมียม	Praseodymium	Pr	59	140.91
นีโอดิเมียม	Neodymium	Nd	60	144.24
โพรมีเทียม	Promethium	Pm	61	-
ซาแมเรียม	Samarium	Sm	62	150.36
ยูโรเพียม	Europium	Eu	63	151.96
แกโดลิเนียม	Gadolinium	Gd	64	157.25
เทอร์เบียม	Terbium	Tb	65	158.93
ดิสโพรเซียม	Dysprosium	Dy	66	162.50
โฮลเมียม	Holmium	Ho	67	164.93
เออร์เบียม	Erbium	Er	68	167.26
ทูเลียม	Thulium	Tm	69	168.93
อิตเทอร์เบียม	Ytterbium	Yb	70	173.05
ลูทีเชียม	Lutetium	Lu	71	174.97
แฮฟเนียม	Hafnium	Hf	72	178.49
แทนทาลัม	Tantalum	Ta	73	180.95
ทังสเตน	Tungsten	W	74	183.84
รีเนียม	Rhenium	Re	75	186.21
ออสเมียม	Osmium	Os	76	190.23
อิริเดียม	Iridium	Ir	77	192.22
แพลทินัม	Platinum	Pt	78	195.08

ชื่อธาตุ		สัญลักษณ์	เลขอะตอม	มวลอะตอม
ทองคำ	Gold	Au	79	196.97
ปรอท	Mercury	Hg	80	200.59
แทลเลียม	Thallium	Tl	81	204.38
ตะกั่ว	Lead	Pb	82	207.20
บิสมัท	Bismuth	Bi	83	208.98
พอโลเนียม	Polonium	Po	84	-
แอสทาทีน	Astatine	At	85	-
เรดอน	Radon	Rn	86	-
แฟรนเซียม	Francium	Fr	87	-
เรเดียม	Radium	Ra	88	-
แอกทิเนียม	Actinium	Ac	89	-
ทอเรียม	Thorium	Th	90	232.04
โพรแทกทิเนียม	Protactinium	Pa	91	231.04
ยูเรเนียม	Uranium	U	92	238.03
เนปทูเนียม	Neptunium	Np	93	-
พลูโทเนียม	Plutonium	Pu	94	-
อะเมริเซียม	Americium	Am	95	-
คูเรียม	Curium	Cm	96	-
เบอร์คีเลียม	Berkelium	Bk	97	-
แคลิฟอร์เนียม	Californium	Cf	98	-
ไอน์สไตเนียม	Einsteinium	Es	99	-
เฟอร์เมียม	Fermium	Fm	100	-
เมนเดลีเวียม	Mendelevium	Md	101	-
โนเบเลียม	Nobelium	No	102	-
ลอว์เรนเซียม	Lawrencium	Lr	103	-
รัทเทอร์ฟอร์เดียม	Rutherfordium	Rf	104	-

ชื่อธาตุ		สัญลักษณ์	เลขอะตอม	มวลอะตอม
ดุบเนียม	Dubnium	Db	105	-
ซีบอร์เกียม	Seaborgium	Sg	106	-
โบห์เรียม	Bohrium	Bh	107	-
ฮาสเซียม	Hassium	Hs	108	-
ไมต์เนเรียม	Meitnerium	Mt	109	-
ดาร์มสตัดเทียม	Darmstadtium	Ds	110	-
เรินต์เกเนียม	Roentgenium	Rg	111	-
โคเปอร์นิเซียม	Copernicium	Cn	112	-
นิโฮเนียม	Nihonium	Nh	113	-
ฟลีโรเวียม	Flerovium	Fl	114	-
มอสโกเวียม	Moscovium	Mc	115	-
ลิเวอร์มอเรียม	Livermorium	Lv	116	-
เทนเนสซีน	Tennessine	Ts	117	-
ออกาเนสซอน	Oganesson	Og	118	-

บรรณานุกรม

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2559). **คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 2.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สกสค.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2559). **หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 2.** พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สกสค.

Averill, B. & Eldredge, P. (2007). **Chemistry: Principles, Patterns, and Applications.** San Francisco : Benjamin Cummings.

Brown, L.S. & Holme, T.A. (2006). **Chemistry for Engineering Students.** California: Thomas-Brooks/Cole.

Chang, R. (2010). **Chemistry.** 10th ed. New York: The McGraw-Hill.

Davis, R.E. & other. (2009). **Modern Chemistry Teacher's Edition.** Texas: Holt, Rinehart and Winston.

International Union of Pure and Applied Chemistry. (2016). **Periodic Table of Elements.** Retrieved June 15, 2016, from https://iupac.org/what-we-do/periodic-table-of-elements/.

Jenkins, F. & other. (2002). **Chemistry 11.** Ontario: Nelson Thomson Learning.

Kessel, H.V. & other. (2003). **Chemistry 12.** Ontario: Nelson Thomson Learning.

Laurel, D. & other. (2005). **Glencoe Science Chemistry : Matter and Change (Teacher Wraparound Edition).** Ohio: McGraw-Hill.

Myers, R.T. & Oldham, K.B. & Tocci, S. (2000). **Chemistry: Visualizing Matter, Technology Edition.** Texas: Holt, Rinehart and Winston.

Ryan, L. & Norris, R. (2014). **Cambridge International AS and A Level Chemistry Coursebook.** 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press.

Silberberg, M.S. (2009). **Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change.** 5th ed. New York: McGraw-Hill.

Wieser, M.E. & Berglund, M. (2009). Atomic weights of the elements 2007 (IUPAC technical report). **Pure and Applied Chemistry, 81** (11), 2131-2156.

ที่มาของรูป

รูปปก จาก shutterstock 549121867

คณะกรรมการจัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม 2 ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551

คณะที่ปรึกษา

1. ดร.พรพรรณ ไวทยางกูร	ผู้อำนวยการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. รศ.ดร.สัญญา มิตรเอม	รองผู้อำนวยการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3. ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์	ผู้ช่วยผู้อำนวยการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะผู้จัดทำหนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม 2 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

1. ศ.ดร.มงคล สุขวัฒนาสินิทธิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. นายณรงค์ศิลป์ ธูปพนม	ผู้เชี่ยวชาญพิเศษอาวุโส สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3. ผศ.ดร.จินดา แต้มบรรจง	ผู้ชำนาญ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. นางสาวศศินี อังกานนท์	ผู้ชำนาญ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
5. นางสุทธาทิพย์ หวังอำนวยพร	ผู้ชำนาญ สาขาเคมีและชีววิทยา สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
6. นางสาวศิริรัตน์ พริกสี	ผู้ชำนาญ สาขาเคมีและชีววิทยา สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
7. ดร.สนธิ พลชัยยา	ผู้ชำนาญ สาขาเคมีและชีววิทยา สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
8. นายชาญณรงค์ พูลเพิ่ม	นักวิชาการ สาขาเคมีและชีววิทยา สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
9. นางสาวณัฏฐิกา งามกิจภิญโญ	นักวิชาการ สาขาเคมีและชีววิทยา สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะผู้ร่วมพิจารณาหนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 2 (ฉบับร่าง)

1. นางสมศรี เซี๊ยกสาด	นักวิชาการอิสระ
2. รศ.ดร.วัลภา เอื้องไมตรีภิรมย์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. รศ.ดร.อภิชาติ อิ่มยิ้ม	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. ผศ.ดร.เสาวรักษ์ เฟื่องสวัสดิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. ผศ.ดร.จรรยา ดาสา	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
6. นางสาวมาลี จิระธนวิทย์	โรงเรียนธนบุรีวรเทพีพลารักษ์ กรุงเทพมหานคร
7. นางสาวอาภาภรณ์ ปานมี	โรงเรียนนครสวรรค์ จ.นครสวรรค์
8. นายสุชากรณ์ พวงทอง	โรงเรียนปากเกร็ด จ.นนทบุรี
9. นางสาวกัลยาณี พันโบ	โรงเรียนสตรีนนทบุรี จ.นนทบุรี
10. นางศุภลักษณ์ ขุนสังวาลย์	โรงเรียนสงวนหญิง จ.สุพรรณบุรี

คณะบรรณาธิการ

1. ศ.ดร.มงคล สุขวัฒนาสินิทธิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. รศ.ดร.วัลภา เอื้องไมตรีภิรมย์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. รศ.ดร.อภิชาติ อิ่มยิ้ม	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. นายณรงค์ศิลป์ ธูปพนม	ผู้เชี่ยวชาญพิเศษอาวุโส สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
5. ผศ.ดร.จินดา แต้มบรรจง	ผู้ชำนาญ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
6. นางสาวศศินี อังกานนท์	ผู้ชำนาญ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
7. นางสุทธาทิพย์ หวังอำนวยพร	ผู้ชำนาญ สาขาเคมีและชีววิทยา สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ