คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์

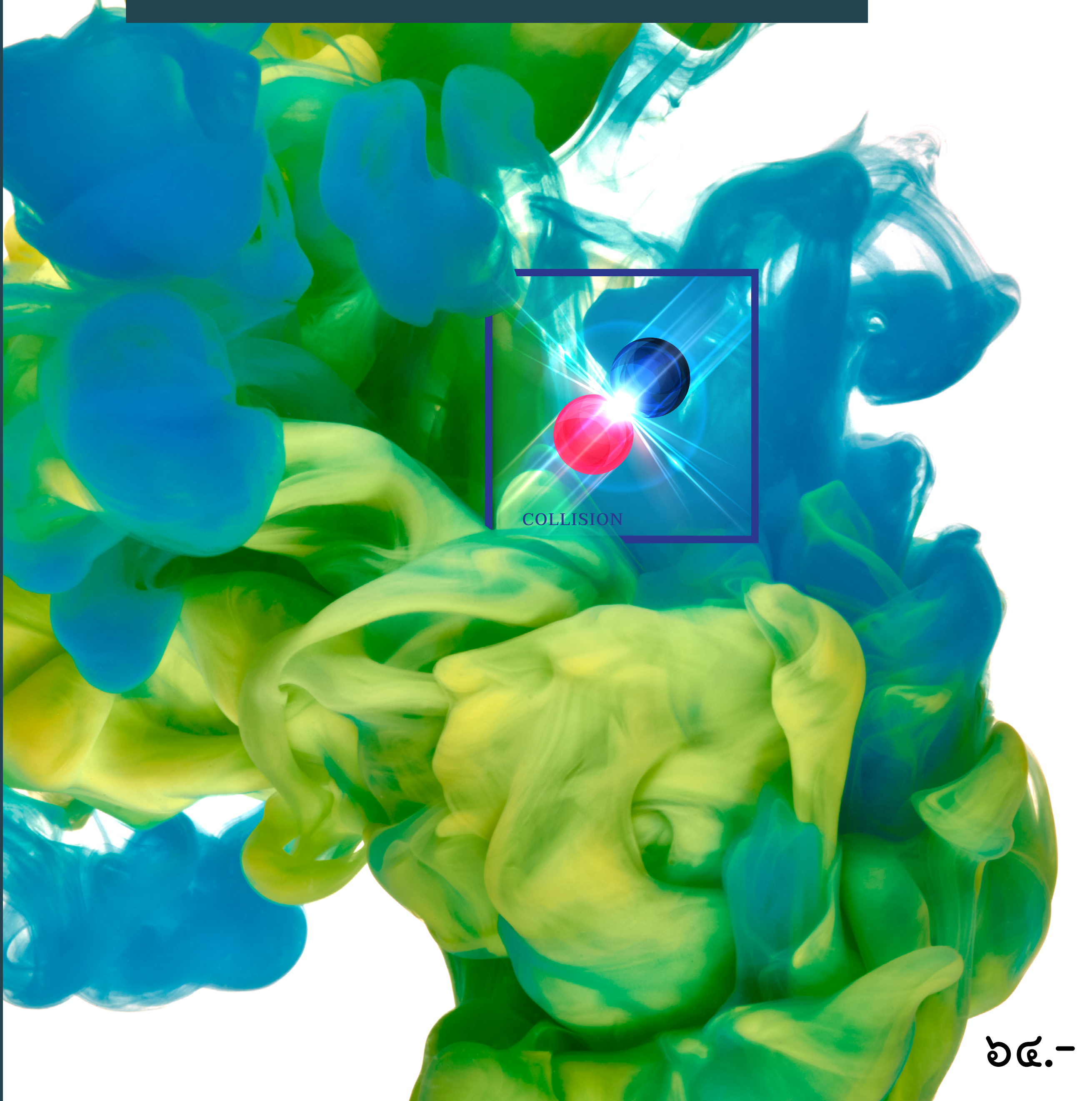
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่

เคมี

เล่ม ๓

๕

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



๖๔.-

ตารางธาตุ

- โลหะ
- อโลหะ
- กึ่งโลหะ

1 IA	2 IIA	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIIIB	9 VIIIB	10 VIIIB	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

คู่มือครู

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์

เคมี

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓

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

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้รับมอบหมายจากกระทรวงศึกษาธิการ ในการพัฒนามาตรฐานและตัวชี้วัดของหลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ และยังมีบทบาทหน้าที่ในการรับผิดชอบเกี่ยวกับการจัดทำหนังสือเรียน คู่มือครู แบบฝึกทักษะ กิจกรรม และสื่อการเรียนรู้ ตลอดจนวิธีการจัดการเรียนรู้และการวัดและประเมินผล เพื่อให้การจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓ นี้ จัดทำขึ้นเพื่อประกอบการใช้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓ โดยครอบคลุมเนื้อหาตามผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ ในสาระเคมี โดยมีตารางวิเคราะห์ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม เพื่อการจัดทำหน่วยการเรียนรู้ในรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ มีแนวการจัดการเรียนรู้ การให้ความรู้เพิ่มเติมที่จำเป็นสำหรับครูผู้สอน รวมทั้งการเฉลยคำถามและแบบฝึกหัดในหนังสือเรียน

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือครูเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ และเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานการศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ บุคลากรทางการศึกษาและหน่วยงานต่าง ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้

ชูกิจ ลิมปิจำนงค์

(ศาสตราจารย์ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กระทรวงศึกษาธิการ

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อต้องการพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ ใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติ เพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. ได้มีการจัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน และเพื่อให้ครูผู้สอนสามารถสอนและจัดกิจกรรมต่าง ๆ ตามหนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้จัดทำคู่มือครูสำหรับใช้ประกอบหนังสือเรียนดังกล่าว

คู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓ นี้ ได้บอกแนวการจัดการเรียนการสอนตามเนื้อหาในหนังสือเรียนเกี่ยวกับ กฎต่าง ๆ ของแก๊ส ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส การแพร่ของแก๊ส อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี แนวคิดเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี สมดุลเคมี ค่าคงที่สมดุล ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุล ซึ่งครูผู้สอนสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการเรียนรู้ให้บรรลุจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยสามารถนำไปจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ตามความเหมาะสมและความพร้อมของโรงเรียน ในการจัดทำคู่มือครูเล่มนี้ ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดียิ่งจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการจากทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๕ เล่ม ๓ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้สอน และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้คู่มือครูเล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วยจะขอบคุณยิ่ง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้คู่มือครู

วิทยาศาสตร์มีความเกี่ยวข้องกับทุกคนทั้งในชีวิตประจำวันและการงานอาชีพต่าง ๆ รวมทั้งมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาผลผลิตต่าง ๆ ที่ใช้ในการอำนวยความสะดวกทั้งในชีวิตและการทำงาน นอกจากนี้วิทยาศาสตร์ยังช่วยพัฒนาวิธีคิดและทำให้มีทักษะที่จำเป็นในการตัดสินใจและแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ การจัดการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนมีความรู้และทักษะที่สำคัญตามเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์จึงมีความสำคัญยิ่ง ซึ่งเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์มีดังนี้

1. เพื่อให้เข้าใจหลักการและทฤษฎีที่เป็นพื้นฐานของวิชาวิทยาศาสตร์
2. เพื่อให้เกิดความเข้าใจในลักษณะ ขอบเขต และข้อจำกัดของวิทยาศาสตร์
3. เพื่อให้เกิดทักษะที่สำคัญในการศึกษาค้นคว้าและคิดค้นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. เพื่อพัฒนากระบวนการคิดและจินตนาการ ความสามารถในการแก้ปัญหาและการจัดการ ทักษะในการสื่อสารและความสามารถในการตัดสินใจ
5. เพื่อให้ตระหนักถึงความสัมพันธ์ระหว่างวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี มวลมนุษย์ และสภาพแวดล้อม ในเชิงที่มีอิทธิพลและผลกระทบซึ่งกันและกัน
6. เพื่อนำความรู้ความเข้าใจเรื่องวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและการดำรงชีวิตอย่างมีคุณค่า
7. เพื่อให้มีจิตวิทยาศาสตร์ มีคุณธรรม จริยธรรมและค่านิยมในการใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์อย่างสร้างสรรค์

คู่มือครูเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นควบคู่กับหนังสือเรียน สำหรับให้ครูได้ใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนได้รับความรู้และมีทักษะที่สำคัญตามจุดประสงค์การเรียนรู้ในหนังสือเรียน ซึ่งสอดคล้องกับตัวชี้วัดตามสาระและมาตรฐานการเรียนรู้ รวมทั้งมี สื่อการเรียนรู้ในเว็บไซต์ที่สามารถเชื่อมโยงได้จาก QR code หรือ URL ที่อยู่ประจำแต่ละบท ซึ่งครูสามารถใช้ส่งเสริมให้นักเรียนบรรลุเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้ อย่างไรก็ตามครูอาจพิจารณาดัดแปลงหรือเพิ่มเติมการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียนได้ โดยคู่มือครูมีองค์ประกอบหลักดังต่อไปนี้

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้คู่มือครู

ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้เป็นผลลัพธ์ที่ควรเกิดกับนักเรียนทั้งด้านความรู้และทักษะ ซึ่งช่วยให้ครูได้ทราบเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ในแต่ละเนื้อหาและออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้ได้ ทั้งนี้ครูอาจเพิ่มเติมเนื้อหาหรือทักษะตามศักยภาพของนักเรียน รวมทั้งอาจสอดแทรกเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับท้องถิ่น เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้นได้

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

การวิเคราะห์ความรู้ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 และจิตวิทยาศาสตร์ ที่เกี่ยวข้องในแต่ละผลการเรียนรู้ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้

ผังมโนทัศน์

แผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความคิดหลัก ความคิดรอง และความคิดย่อย เพื่อช่วยให้ครูเห็นความเชื่อมโยงของเนื้อหาภายในบทเรียน

สาระสำคัญ

การสรุปเนื้อหาสำคัญของบทเรียน เพื่อช่วยให้ครูเห็นกรอบเนื้อหาทั้งหมด รวมทั้งลำดับของเนื้อหาในบทเรียนนั้น

เวลาที่ใช้

เวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ ซึ่งครูอาจดำเนินการตามข้อเสนอแนะที่กำหนดไว้ หรืออาจปรับเวลาได้ตามความเหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียน

ความรู้ก่อนเรียน

คำสำคัญหรือข้อความที่เป็นความรู้พื้นฐาน ซึ่งนักเรียนควรมีก่อนที่จะเรียนรู้เนื้อหาในบทเรียนนั้น

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้คู่มือครู

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ชุดคำถามและเฉลยที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ก่อนเรียนตามที่ระบุไว้ในหนังสือเรียน เพื่อให้ครูได้ตรวจสอบและทบทวนความรู้ให้นักเรียนก่อนเริ่มกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละบทเรียน

การจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้ออาจมีองค์ประกอบแตกต่างกัน โดยรายละเอียดแต่ละองค์ประกอบ เป็นดังนี้

- **จุดประสงค์การเรียนรู้**

  เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้ หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งสามารถวัดและประเมินผลได้ ทั้งนี้ครูอาจตั้งจุดประสงค์เพิ่มเติมจากที่ให้ไว้ตามความเหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียน

- **ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น**

  เนื้อหาที่นักเรียนอาจเกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่พบบ่อย ซึ่งเป็นข้อมูลให้ครูได้พึงระวังหรืออาจเน้นย้ำในประเด็นดังกล่าวเพื่อป้องกันการเกิดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนได้

- **แนวการจัดการเรียนรู้**

  แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยมีการนำเสนอทั้งในส่วนของเนื้อหาและกิจกรรมเป็นขั้นตอนอย่างละเอียด ทั้งนี้ครูอาจปรับหรือเพิ่มเติมกิจกรรมจากที่ให้ไว้ตามความเหมาะสมกับบริบทของแต่ละห้องเรียน

กิจกรรม

การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสาธิต การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งควรให้นักเรียนลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง โดยองค์ประกอบของกิจกรรมมีรายละเอียดดังนี้

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้คู่มือครู

- จุดประสงค์

  เป้าหมายที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมนั้น

- วัสดุและอุปกรณ์

  รายการวัสดุ อุปกรณ์ หรือสารเคมี ที่ต้องใช้ในการทำกิจกรรม ซึ่งครูควรเตรียมให้เพียงพอสำหรับการจัดกิจกรรม

- การเตรียมล่วงหน้า

  ข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งที่ครูต้องเตรียมล่วงหน้าสำหรับการจัดกิจกรรม เช่น การเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ การเตรียมตัวอย่างสิ่งมีชีวิต

- ข้อเสนอแนะสำหรับครู

  ข้อมูลที่ให้ครูแจ้งต่อนักเรียนให้ทราบถึงข้อควรระวัง ข้อควรปฏิบัติ หรือข้อมูลเพิ่มเติมในการทำกิจกรรมนั้น ๆ

- ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

  ตัวอย่างผลการทดลอง การสาธิต การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ เพื่อให้ครูใช้เป็นข้อมูลสำหรับตรวจสอบผลการทำกิจกรรมของนักเรียน

- อภิปรายและสรุปผล

  ตัวอย่างข้อมูลที่ควรได้จากการอภิปรายและสรุปผลการทำกิจกรรม ซึ่งครูอาจใช้คำถามท้ายกิจกรรมหรือคำถามเพิ่มเติม เพื่อช่วยให้นักเรียนอภิปรายในประเด็นที่ต้องการ รวมทั้งช่วยกระตุ้นให้นักเรียนช่วยกันคิดและอภิปรายถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้ผลของกิจกรรมเป็นไปตามที่คาดหวัง หรืออาจไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง

นอกจากนี้อาจมีความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู เพื่อให้ครูมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องนั้น ๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งไม่ควรนำไปเพิ่มเติมให้นักเรียน เพราะเป็นส่วนที่เสริมจากเนื้อหาที่มีในหนังสือเรียน

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้คู่มือครู

- **แนวการวัดและประเมินผล**

แนวการวัดและประเมินผลที่สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ ซึ่งประเมินทั้งด้านความรู้ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 และจิตวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ที่ควรเกิดขึ้นหลังจากได้เรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ผลที่ได้จากการประเมินจะช่วยให้ครูทราบถึงความสำเร็จของการจัดการเรียนรู้ รวมทั้งใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับนักเรียน

เครื่องมือวัดและประเมินผลมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น แบบทดสอบรูปแบบต่าง ๆ แบบประเมินทักษะ แบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์ ซึ่งครูอาจเลือกใช้เครื่องมือสำหรับการวัดและประเมินผลจากเครื่องมือมาตรฐานที่มีผู้พัฒนาไว้แล้ว ดัดแปลงจากเครื่องมือที่ผู้อื่นทำไว้แล้ว หรือสร้างเครื่องมือใหม่ขึ้นเอง ตัวอย่างของเครื่องมือวัดและประเมินผลดังภาคผนวก

- **เฉลยคำถาม**

แนวคำตอบของคำถามระหว่างเรียนและคำถามท้ายบทเรียนในหนังสือเรียน เพื่อให้ครูใช้เป็นข้อมูลในการตรวจสอบการตอบคำถามของนักเรียน

- เฉลยคำถามระหว่างเรียน

แนวคำตอบของคำถามระหว่างเรียนซึ่งมีทั้งคำถามชวนคิด ตรวจสอบความเข้าใจ และแบบฝึกหัด ทั้งนี้ครูควรใช้คำถามระหว่างเรียนเพื่อตรวจสอบความรู้ความเข้าใจของนักเรียนก่อนเริ่มเนื้อหาใหม่ เพื่อให้สามารถปรับการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมต่อไป

- เฉลยคำถามท้ายบทเรียน

แนวคำตอบของแบบฝึกหัดท้ายบท ซึ่งครูควรใช้คำถามท้ายบทเรียนเพื่อตรวจสอบว่าหลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว นักเรียนยังขาดความรู้ความเข้าใจในเรื่องใด เพื่อให้สามารถวางแผนการทบทวนหรือเน้นย้ำเนื้อหาให้กับนักเรียนก่อนการทดสอบได้

สารบัญ

บทที่	เนื้อหา	หน้า

7

แก๊สและสมบัติของแก๊ส

สารบัญ

สารบัญ

สารบัญ

ภาคผนวก

บทที่ 7

แก๊สและสมบัติของแก๊ส

ipst.me/8826

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายความสัมพันธ์และคำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่าง ๆ ตามกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล กฎของเกย์-ลูสแซก
2. คำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่าง ๆ ตามกฎรวมแก๊ส
3. คำนวณปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ จำนวนโมล หรือมวลของแก๊ส จากความสัมพันธ์ตามกฎของอาโวกาโดร และกฎแก๊สอุดมคติ
4. คำนวณความดันย่อยหรือจำนวนโมลของแก๊สในแก๊สผสม โดยใช้กฎความดันย่อยของดอลตัน
5. อธิบายการแพร่ของแก๊สโดยใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส คำนวณและเปรียบเทียบอัตราการแพร่ของแก๊ส โดยใช้กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม
6. สืบค้นข้อมูล นำเสนอตัวอย่าง และอธิบายการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับสมบัติและกฎต่าง ๆ ของแก๊สในการอธิบายปรากฏการณ์ หรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันและในอุตสาหกรรม

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายความสัมพันธ์และคำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่าง ๆ ตามกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล กฎของเกย์-ลูสแซก

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของแก๊ส และคำนวณปริมาตรหรือความดัน โดยใช้ความสัมพันธ์ตามกฎของบอยล์
2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส และคำนวณปริมาตรหรืออุณหภูมิ โดยใช้ความสัมพันธ์ตามกฎของชาร์ล
3. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิของแก๊ส และคำนวณความดันหรืออุณหภูมิ โดยใช้ความสัมพันธ์ตามกฎของเกย์-ลูสแซก

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การใช้จำนวน 2. การทดลอง 3. การกำหนดและควบคุมตัวแปร	1. การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา	1. ความใจกว้าง 2. ความรอบคอบ

<table>
<tr><td colspan="3">ผลการเรียนรู้
2. คำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่าง ๆ ตามกฎรวมแก๊ส
จุดประสงค์การเรียนรู้
1. คำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่าง ๆ ตามกฎรวมแก๊ส</td></tr>
<tr><td>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</td><td>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</td><td>จิตวิทยาศาสตร์</td></tr>
<tr><td>1. การใช้จำนวน</td><td>-</td><td>1. ความรอบคอบ</td></tr>
<tr><td colspan="3">ผลการเรียนรู้
3. คำนวณปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ จำนวนโมล หรือมวลของแก๊ส จากความสัมพันธ์ตามกฎของอาโวกาโดร และกฎแก๊สอุดมคติ
จุดประสงค์การเรียนรู้
1. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส และคำนวณปริมาตรหรือจำนวนโมลโดยใช้ความสัมพันธ์ตามกฎของอาโวกาโดร
2. คำนวณปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ จำนวนโมล หรือมวลของแก๊ส โดยใช้ความสัมพันธ์ตามกฎแก๊สอุดมคติ</td></tr>
<tr><td>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</td><td>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</td><td>จิตวิทยาศาสตร์</td></tr>
<tr><td>1. การทดลอง
2. การใช้จำนวน</td><td>1. การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา</td><td>1. ความใจกว้าง
2. ความรอบคอบ</td></tr>
<tr><td colspan="3">ผลการเรียนรู้
4. คำนวณความดันย่อยหรือจำนวนโมลของแก๊สในแก๊สผสม โดยใช้กฎความดันย่อยของดอลตัน
จุดประสงค์การเรียนรู้
1. คำนวณความดันย่อยหรือจำนวนโมลของแก๊สในแก๊สผสม</td></tr>
<tr><td>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</td><td>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</td><td>จิตวิทยาศาสตร์</td></tr>
<tr><td>1. การใช้จำนวน</td><td>-</td><td>1. ความรอบคอบ</td></tr>
</table>

ผลการเรียนรู้

5. อธิบายการแพร่ของแก๊สโดยใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส คำนวณและเปรียบเทียบอัตราการแพร่ของแก๊ส โดยใช้กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายกฎต่าง ๆ ของแก๊ส โดยใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส
2. อธิบายการแพร่ของแก๊สโดยใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส
3. อธิบายความสัมพันธ์ของอัตราการแพร่กับมวลต่อโมลของแก๊ส
4. คำนวณและเปรียบเทียบอัตราการแพร่ หรือมวลต่อโมลของแก๊ส โดยใช้กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การสังเกต 2. การใช้จำนวน	1. การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา	1. ความใจกว้าง 2. ความรอบคอบ

ผลการเรียนรู้

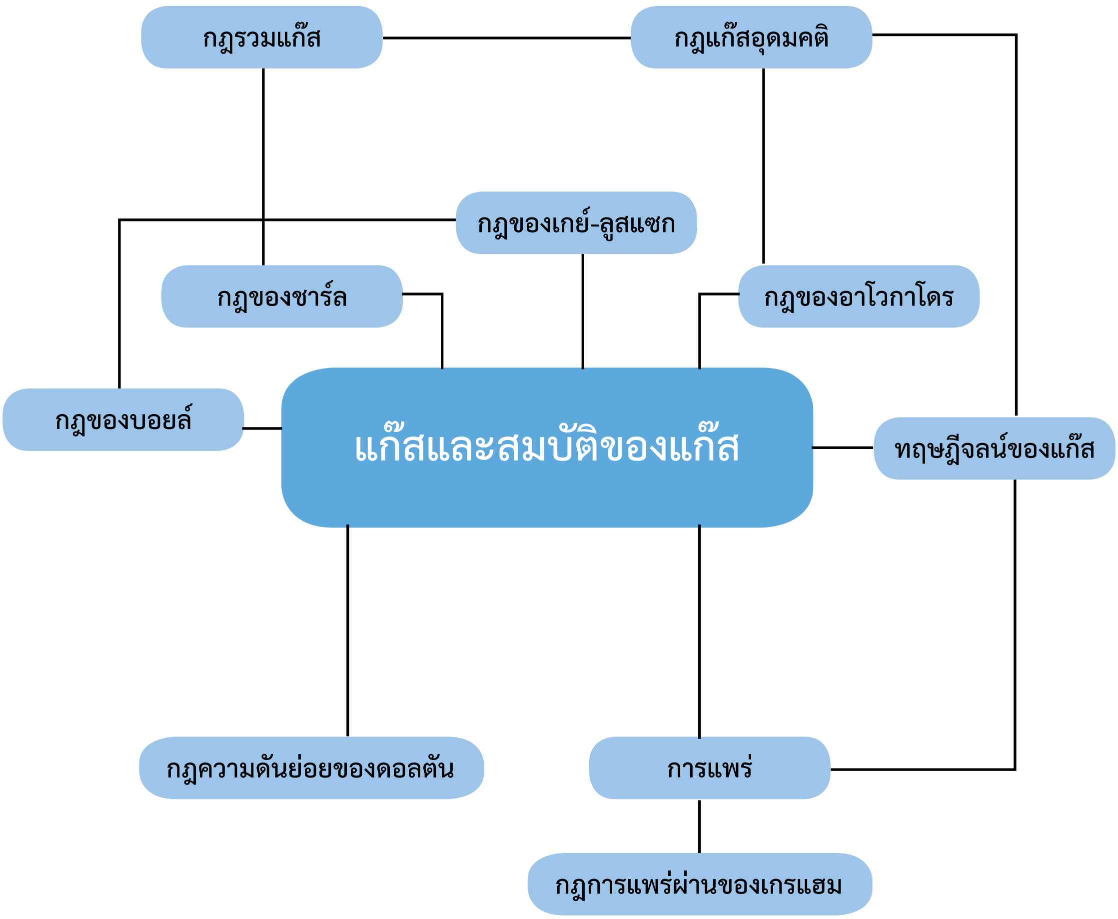
6. สืบค้นข้อมูล นำเสนอตัวอย่าง และอธิบายการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับสมบัติและกฎต่าง ๆ ของแก๊สในการอธิบายปรากฏการณ์ หรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันและในอุตสาหกรรม

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล อธิบายปรากฏการณ์ และยกตัวอย่างการนำความรู้เกี่ยวกับแก๊สและสมบัติของแก๊สไปใช้ประโยชน์

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
-	1. การสื่อสารสารสนเทศ และการรู้เท่าทันสื่อ 2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	1. การเห็นคุณค่าทางวิทยาศาสตร์

ผังมโนทัศน์
บทที่ 7 แก๊สและสมบัติของแก๊ส



สาระสำคัญ

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊ส อธิบายได้ด้วยกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล กฎของเกย์–ลูสแซก และกฎของอาโวกาโดร ความสัมพันธ์เหล่านี้นำไปสู่กฎรวมแก๊สและกฎแก๊สอุดมคติ ซึ่งสามารถอธิบายในระดับอนุภาคได้ด้วยทฤษฎีจลน์ของแก๊ส

เมื่อนำแก๊สตั้งแต่ 2 ชนิดที่ไม่ทำปฏิกิริยากันมาผสมกัน ความดันของแก๊สผสมเท่ากับผลรวมของความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิดตามกฎความดันย่อยของดอลตัน โดยความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิดแปรผันตามเศษส่วนโมลของแก๊สที่มีอยู่ในแก๊สผสม

แก๊สสามารถแพร่จากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่งได้ เนื่องจากโมเลกุลของแก๊สมีพลังงานจลน์และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในทุกทิศทาง โดยอัตราการแพร่ของแก๊สแปรผกผันกับรากที่สองของมวลต่อโมลของแก๊ส ตามกฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม

กฎต่าง ๆ ของแก๊สสามารถนำไปใช้อธิบายสมบัติและปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับแก๊ส ตลอดจนประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันและในอุตสาหกรรม

เวลาที่ใช้

บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ	18 ชั่วโมง
7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊ส	9 ชั่วโมง
7.2 กฎแก๊สอุดมคติ และความดันย่อย	4 ชั่วโมง
7.3 ทฤษฎีจลน์และการแพร่ของแก๊ส	3 ชั่วโมง
7.4 การประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับแก๊สและสมบัติของแก๊ส	2 ชั่วโมง

ความรู้ก่อนเรียน

สถานะของสาร ความดัน เศษส่วนโมล ความสัมพันธ์ระหว่างโมล มวล และปริมาตรของแก๊สที่ STP การคำนวณปริมาณสารในปฏิกิริยาเคมี

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ใส่เครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ถูกต้อง และเครื่องหมาย ✗ หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง

...✓... 1. แก๊สและของเหลวเปลี่ยนแปลงรูปร่างตามภาชนะที่บรรจุ แต่แตกต่างกันตรงที่ปริมาตรของแก๊สเปลี่ยนแปลงตามภาชนะที่บรรจุได้

...✓... 2. ความดันของอากาศที่ระดับน้ำทะเลมีค่าเท่ากับ 1 บรรยากาศ

...✗... 3. แก๊ส A 1.0 โมล ผสมกับแก๊ส B 4.0 โมล เศษส่วนโมลของแก๊ส A เท่ากับ 0.25
เศษส่วนโมลของแก๊ส A เท่ากับ 0.20

...✗... 4. ที่ STP แก๊สต่างชนิดกันมีปริมาตรเท่ากันเมื่อมีมวลเท่ากัน
ที่ STP แก๊สต่างชนิดกันที่มีปริมาตรเท่ากันเมื่อมีจำนวนโมลหรือจำนวนอนุภาคเท่ากัน แต่มวลอาจไม่เท่ากันก็ได้

...✓... 5. แก๊สฮีเลียม 2.00 กรัม มีจำนวนโมลเท่ากับแก๊สออกซิเจน 16.00 กรัม

...✓... 6. แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 44.01 กรัม มีปริมาตร 22.4 ลิตรที่ STP

...✗... 7. จากสมการ $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(g)$ แสดงว่า แก๊สไฮโดรเจน 10 มิลลิกรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับแก๊สออกซิเจน 5 มิลลิกรัม เกิดเป็นไอน้ำ 10 มิลลิกรัม
เลขสัมประสิทธิ์ในสมการเคมีแสดงความสัมพันธ์ของสารโดยจำนวนโมล ดังนั้น แก๊สไฮโดรเจน 10 มิลลิกรัม (5 มิลลิโมล) ทำปฏิกิริยาพอดีกับแก๊สออกซิเจน 80 มิลลิกรัม (2.5 มิลลิโมล) เกิดเป็นไอน้ำ 90 มิลลิกรัม (5 มิลลิโมล)

...✓... 8. จากสมการ $2H_2(g) + O_2(g) \longrightarrow 2H_2O(g)$ แสดงว่า ที่ความดันและอุณหภูมิคงที่ แก๊สไฮโดรเจน 10 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยาพอดีกับแก๊สออกซิเจน 5 มิลลิลิตร เกิดเป็นไอน้ำ 10 มิลลิลิตร

7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊ส

7.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของแก๊ส

จุดประสงค์การเรียนรู้

อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของแก๊ส และคำนวณปริมาตรหรือความดัน โดยใช้ความสัมพันธ์ตามกฎของบอยล์

แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูให้นักเรียนพิจารณารูป 7.1 และเปรียบเทียบสมบัติของสารในสถานะแก๊สที่แตกต่างจากสถานะอื่น เช่น ระยะห่างระหว่างอนุภาค ปริมาตร ความหนาแน่น จากนั้นอธิบายว่า อนุภาคของแก๊สมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคน้อย และเคลื่อนที่ได้เป็นอิสระจึงมีปริมาตรเปลี่ยนไปตามภาชนะที่บรรจุ

2. ครูอธิบายการเกิดความดันของแก๊สในลูกโป่ง โดยใช้รูป 7.2 และหน่วยต่าง ๆ ของความดันรวมทั้งอุปกรณ์สำหรับวัดความดันของแก๊ส ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

3. ครูใช้คำถามนำเข้าสู่กิจกรรม 7.1 ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของแก๊สเป็นอย่างไร และถ้าต้องการศึกษาความสัมพันธ์นี้จะทำได้อย่างไร

4. ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 7.1 การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรของอากาศ แล้วให้นักเรียนอภิปรายผลการทดลองโดยใช้คำถามท้ายการทดลอง

กิจกรรม 7.1 การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรของอากาศ

จุดประสงค์การทดลอง

ทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรของอากาศ

เวลาที่ใช้	อภิปรายก่อนทำการทดลอง	10	นาที
	ทำการทดลอง	10	นาที
	อภิปรายหลังทำการทดลอง	10	นาที
	รวม	**30**	**นาที**

วัสดุและอุปกรณ์

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
กระบอกฉีดยาพลาสติก ขนาด 20 mL	1 อัน

การเตรียมล่วงหน้า

ตรวจสอบและเลือกใช้ก้านกระบอกฉีดยาที่เคลื่อนที่ได้สะดวกทุกอัน

ตัวอย่างผลการทดลอง

เมื่อกดก้านกระบอกฉีดยาจนมีปริมาตร 5.0 mL แล้วปล่อยมือพบว่า ก้านกระบอกฉีดยาเลื่อนกลับออกมาจนมีปริมาตรเท่ากับปริมาตรเริ่มต้น และเมื่อดึงก้านกระบอกฉีดยาจนมีปริมาตร 20.0 mL แล้วปล่อยมือ ก้านกระบอกฉีดยาเลื่อนกลับเข้าไปจนมีปริมาตรเท่ากับปริมาตรเริ่มต้น

อภิปรายผลการทดลอง

การทดลองนี้ทำที่อุณหภูมิคงที่ และมีจำนวนโมลของอากาศในกระบอกฉีดยาคงที่ เมื่อเริ่มต้นความดันของอากาศปริมาตร 10.0 mL ในกระบอกฉีดยามีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศภายนอก

เมื่อกดก้านกระบอกฉีดยาจนทำให้ปริมาตรของอากาศในกระบอกฉีดยาลดลงเป็น 5.0 mL แล้วปล่อยมือ ก้านกระบอกฉีดยาเลื่อนกลับออกมาจนมีปริมาตรเท่ากับปริมาตรเริ่มต้น แสดงว่า อากาศในกระบอกฉีดยาที่ปริมาตร 5.0 mL มีความดันมากกว่าความดันบรรยากาศ

เมื่อดึงก้านกระบอกฉีดยาจนทำให้ปริมาตรของอากาศในกระบอกฉีดยาเพิ่มขึ้นเป็น 20.0 mL แล้วปล่อยมือ ก้านกระบอกฉีดยาเลื่อนกลับเข้าไปจนมีปริมาตรเท่ากับปริมาตรเริ่มต้น แสดงว่า อากาศในกระบอกฉีดยาที่ปริมาตร 20.0 mL มีความดันน้อยกว่าความดันบรรยากาศ

สรุปผลการทดลอง

ที่อุณหภูมิและจำนวนโมลของอากาศคงที่ เมื่อปริมาตรของอากาศลดลง ความดันของอากาศจะเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาตรของอากาศเพิ่มขึ้น ความดันของอากาศจะลดลง

5. ครูให้นักเรียนศึกษาการทดลองของรอเบิร์ต บอยล์ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน แล้วให้นักเรียนระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตาม ตัวแปรควบคุมในการทดลองของบอยล์ เพื่อให้ได้คำตอบว่า ตัวแปรต้น คือ ความดันของแก๊ส ตัวแปรตาม คือ ปริมาตรของแก๊ส และตัวแปรควบคุม คือ อุณหภูมิและจำนวนโมลของแก๊ส

6. ครูใช้คำถามว่า บอยล์หาความดันของแก๊สที่อยู่ในหลอดแก้วด้านปลายปิดได้อย่างไร ซึ่งควรได้คำตอบว่า บอยล์หาความดันของแก๊สที่อยู่ในหลอดแก้วด้านปลายปิดจากผลต่างของความสูงของระดับปรอทในหลอดแก้วด้านปลายปิดและเปิด บวกกับความดันบรรยากาศ ($P_{gas} = P_{atm}$ + ผลต่างความสูงของปรอท)

7. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทดลองของบอยล์ในตาราง 7.1 และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันในรูป 7.4 เพื่อให้ได้ข้อสรุปว่า เมื่ออุณหภูมิและจำนวนโมลของแก๊สคงที่ ปริมาตรจะแปรผกผันกับความดัน จากนั้นครูเขียนสมการทางคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ตามกฎของบอยล์

8. ครูอธิบายวิธีการคำนวณปริมาตรและความดันของแก๊ส โดยใช้ตัวอย่าง 1 และ 2 จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ

ตรวจสอบความเข้าใจ

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

จาก $$P_1V_1 = P_2V_2$$

แทนค่าจะได้ $$(1.0\ \text{atm})(30\ \text{mL}) = (1.5\ \text{atm})V_2$$

$$V_2 = \frac{(1.0\ \cancel{\text{atm}})(30\ \text{mL})}{1.5\ \cancel{\text{atm}}}$$

$$= 20\ \text{mL}$$

ดังนั้น ปริมาตรของอากาศในหลอดรูปตัวเจหลังเติมปรอทเท่ากับ 20 มิลลิลิตร

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของแก๊สตามกฎของบอยล์ จากรายงานการทดลอง การอภิปราย การทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ
2. ทักษะการทดลอง จากรายงานการทดลอง และการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลอง
3. ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร จากการตอบคำถาม
4. ทักษะการใช้จำนวน จากการทำแบบฝึกหัด
5. ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา จากการอภิปราย
6. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความใจกว้าง จากการสังเกตพฤติกรรมในการอภิปราย
7. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความรอบคอบ จากการทำแบบฝึกหัด

7.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส

จุดประสงค์การเรียนรู้

อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส และคำนวณปริมาตรหรืออุณหภูมิโดยใช้ความสัมพันธ์ตามกฎของชาร์ล

แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูทบทวนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและความดันของแก๊ส ตามกฎของบอยล์ จากนั้นใช้คำถามว่า หากอุณหภูมิของแก๊สเปลี่ยนแปลง ปริมาตรของแก๊สจะเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร เพื่อนำเข้าสู่กิจกรรม 7.2
2. ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 7.2 การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของอากาศ แล้วให้นักเรียนอภิปรายผลการทดลองโดยใช้คำถามท้ายการทดลอง

กิจกรรม 7.2 การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของอากาศ

จุดประสงค์การทดลอง

ทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของอากาศ

เวลาที่ใช้	อภิปรายก่อนทำการทดลอง	10	นาที
	ทำการทดลอง	15	นาที
	อภิปรายหลังทำการทดลอง	10	นาที
	รวม	**35**	**นาที**

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
สารเคมี	
1. น้ำ	5 mL
2. น้ำยาล้างจาน	2.5 mL
3. น้ำร้อน (อุณหภูมิประมาณ 60 ˚C)	100 mL
4. น้ำแข็ง	60 g
วัสดุและอุปกรณ์	
1. ขวดพลาสติกใสชนิดไม่ยุบตัวเมื่อถูกความร้อน ขนาด 500 mL	1 ขวด
2. บีกเกอร์ ขนาด 500 mL	2 ใบ

ตัวอย่างผลการทดลอง

เมื่อวางขวดพลาสติกในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำร้อน แผ่นฟิล์มของน้ำยาล้างจานที่ปากขวดจะพองขึ้นมา ดังรูป

เมื่อวางขวดพลาสติกในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำผสมน้ำแข็ง แผ่นฟิล์มของน้ำยาล้างจานที่ปากขวดจะยุบลงไป ดังรูป

อภิปรายผลการทดลอง

การทดลองนี้มีจำนวนโมลของอากาศในขวดพลาสติกคงที่ และความดันของอากาศก่อนและหลังการทดลองคงที่

เมื่อวางขวดพลาสติกในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำร้อน แผ่นฟิล์มของน้ำยาล้างจานที่ปากขวดจะพองขึ้นมา แสดงว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ปริมาตรของอากาศภายในขวดเพิ่มขึ้น

เมื่อวางขวดพลาสติกในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำผสมน้ำแข็ง แผ่นฟิล์มของน้ำยาล้างจานที่ปากขวดยุบลงไป แสดงว่าเมื่ออุณหภูมิลดลง ปริมาตรของอากาศลดลง

สรุปผลการทดลอง

ที่ความดันและจำนวนโมลของอากาศคงที่ ปริมาตรของอากาศเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้น และปริมาตรของอากาศลดลงเมื่ออุณหภูมิของอากาศลดลง

9. ครูอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊สที่ได้จากการศึกษาของ ชาก-อาแลกซองดร์-เซซา ชาร์ล ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จากนั้นให้นักเรียนศึกษากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส โดยให้ทำกิจกรรม 7.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส แล้วให้นักเรียนอภิปรายผลการทำกิจกรรมโดยใช้คำถามท้ายกิจกรรม

กิจกรรม 7.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส

จุดประสงค์ของกิจกรรม

เขียนกราฟและสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊ส

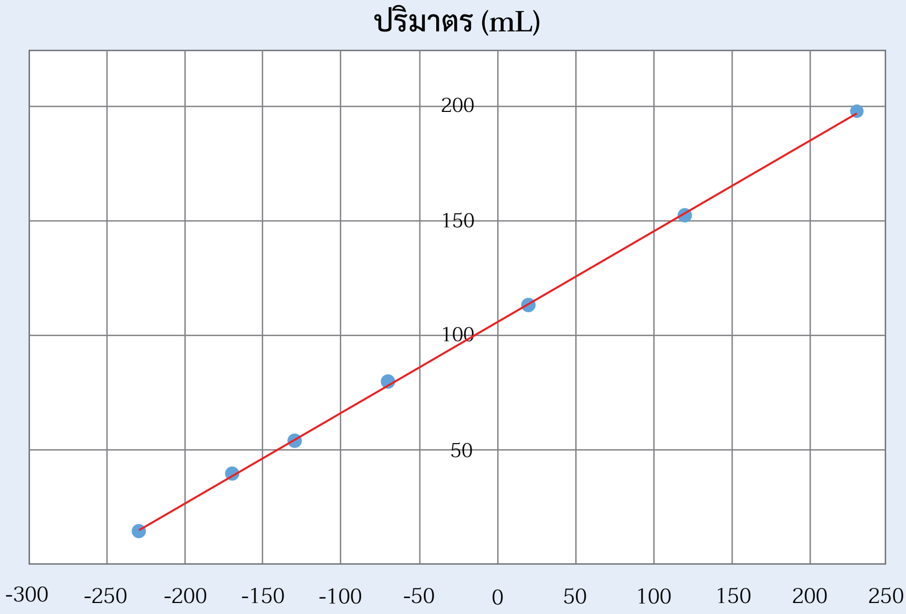
เวลาที่ใช้	อภิปรายก่อนทำกิจกรรม	5	นาที
	ทำกิจกรรม	20	นาที
	อภิปรายหลังทำกิจกรรม	15	นาที
	รวม	**40**	**นาที**

วัสดุและอุปกรณ์

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
กระดาษกราฟ	1 แผ่น

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร (แกน y) และอุณหภูมิของแก๊ส (แกน x) จากข้อมูลการทดลองวัดปริมาตรแก๊สที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ความดันและจำนวนโมลคงที่ เป็นดังนี้

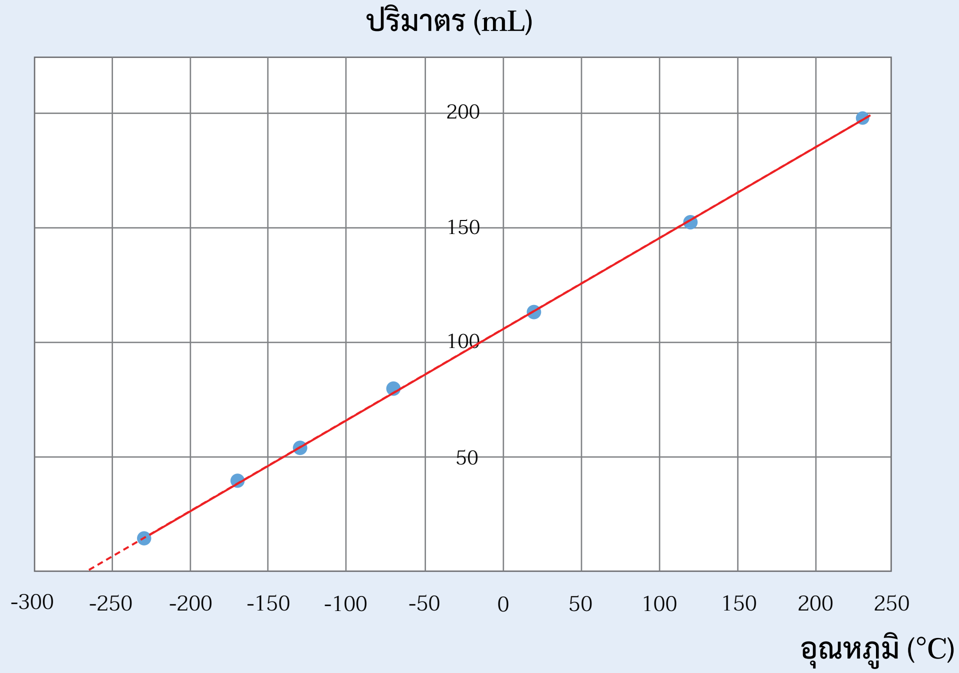


อภิปรายผลการทำกิจกรรม

กราฟที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นตรง โดยมีจุดตัดแกน y ที่ 106 mL เมื่อหาความชันของเส้นกราฟพบว่ามีค่าเท่ากับ 0.39 และสมการเส้นตรงของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊สเป็นดังนี้

$$y = 0.39x + 106$$

เมื่อลากเส้นต่อกราฟไปจนตัดแกน x พบว่า เส้นกราฟตัดที่ประมาณ -273 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่แก๊สมีปริมาตรเท่ากับ 0 mL



สรุปผลการทดลอง

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊สได้กราฟเส้นตรง มีสมการแสดงความสัมพันธ์ดังนี้ $y = 0.39x + 106$ ซึ่งมีจุดตัดแกน x ที่ -273 °C

10. ครูอธิบายว่าอุณหภูมิที่จุดตัดแกน x ของกราฟสอดคล้องกับอุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์ (absolute zero) หรือ 0 เคลวิน (K) จากนั้นอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียสและเคลวิน

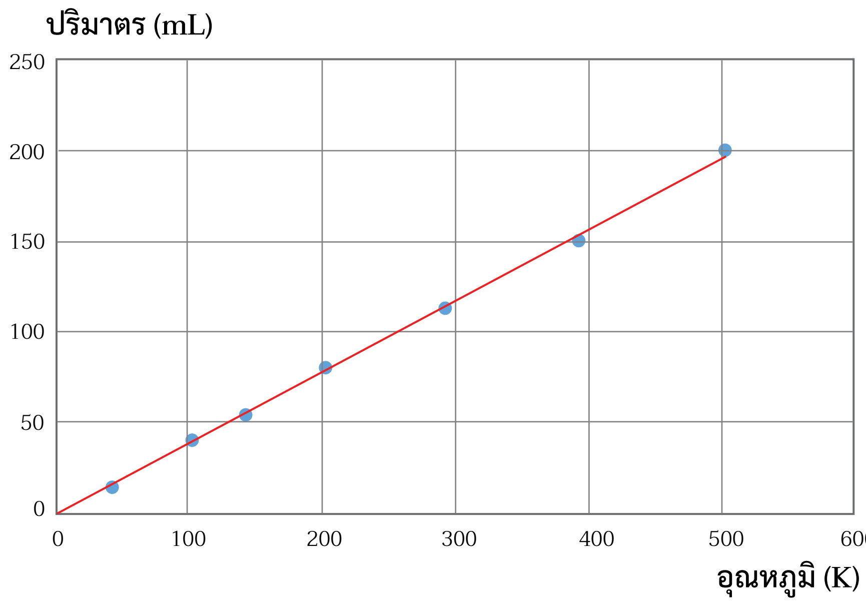
11. ครูให้นักเรียนตอบคำถามชวนคิด

ชวนคิด

จากตารางข้อมูลในกิจกรรม 7.3 นักเรียนคิดว่า อัตราส่วนระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊สในหน่วยองศาเซลเซียสหรือเคลวินแตกต่างกันอย่างไร

อัตราส่วนระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊สในหน่วยองศาเซลเซียสจะได้ค่าไม่คงที่ แต่อัตราส่วนระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊สในหน่วยเคลวินจะได้ค่าคงที่

12. ครูแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน



จากนั้นชี้ให้เห็นจุดตัดแกน x ของกราฟ ซึ่งอยู่ที่ 0 เคลวิน รวมทั้งแสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊สตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

13. ครูอธิบายว่า ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน เมื่อความดันและจำนวนโมลของแก๊สคงที่ เรียกว่า กฎของชาร์ล จากนั้นอธิบายรูปสมการที่ใช้คำนวณปริมาตรหรืออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงระหว่างสองสภาวะ และยกตัวอย่างการคำนวณโดยใช้ตัวอย่าง 3 และ 4 ประกอบการอธิบาย

14. ให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ

ตรวจสอบความเข้าใจ

1. ถ้าต้องการให้แก๊สไฮโดรเจน (H_2) ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส มีปริมาตรลดลงครึ่งหนึ่ง ที่ความดันคงที่ ต้องทำให้อุณหภูมิของแก๊สเป็นกี่องศาเซลเซียส

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

แทนค่าจะได้ $$\frac{V_1}{(27 + 273)\text{ K}} = \frac{(V_1/2)}{T_2}$$

$$T_2 = \frac{(V_1/2)(300\text{ K})}{V_1}$$

$$= 150\text{ K}$$

เปลี่ยนหน่วยอุณหภูมิให้เป็นองศาเซลเซียสจะได้

$$T(°\text{C}) = 150 - 273\ °\text{C}$$

$$= -123\ °\text{C}$$

ดังนั้น ต้องทำให้อุณหภูมิของแก๊สไฮโดรเจนเป็น -123 องศาเซลเซียส

2. ถ้าบรรจุแก๊สฮีเลียมในลูกโป่ง 10.0 ลิตร ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส แล้วนำลูกโป่งนี้ไปไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิ 57 องศาเซลเซียส ลูกโป่งจะมีขนาดเท่าใด ถ้ากำหนดให้ความดันภายในลูกโป่งคงที่

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

แทนค่าจะได้ $$\frac{10.0\text{ L}}{(27 + 273)\text{ K}} = \frac{V_2}{(57 + 273)\text{ K}}$$

$$V_2 = \frac{(10.0\text{ L})(330\ \cancel{\text{K}})}{300\ \cancel{\text{K}}}$$

$$= 11.0\text{ L}$$

ดังนั้น ลูกโป่งจะมีขนาด 11.0 ลิตร

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊สตามกฎของชาร์ล จากการทำกิจกรรม รายงานการทดลอง การอภิปราย การทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ
2. ทักษะการทดลอง จากรายงานการทดลองและการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลอง
3. ทักษะการใช้จำนวน จากการทำแบบฝึกหัด
4. ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา จากการอภิปราย
5. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความใจกว้าง จากการสังเกตพฤติกรรมในการอภิปราย
6. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความรอบคอบ จากการทำแบบฝึกหัด

7.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิของแก๊ส
7.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊ส

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิของแก๊ส และคำนวณความดันหรืออุณหภูมิ โดยใช้ความสัมพันธ์ตามกฎของเกย์-ลูสแซก
2. คำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่าง ๆ ตามกฎรวมแก๊ส

แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูทบทวนกฎของบอยล์และกฎของชาร์ล จากนั้นให้นักเรียนพิจารณาข้อความที่ระบุบนกระป๋องสเปรย์ที่ห้ามวางใกล้เปลวไฟหรือที่มีอุณหภูมิสูงในรูป 7.5 จากนั้นใช้คำถามว่าความดันภายในกระป๋องสเปรย์ก่อนการระเบิดจะเป็นอย่างไร ซึ่งควรได้คำตอบว่า ความดันของแก๊สในกระป๋องสเปรย์จะสูงมากก่อนการระเบิด
2. ครูให้นักเรียนพิจารณาข้อมูลในตาราง 7.2 และชี้ให้เห็นว่า อัตราส่วนระหว่างความดันกับอุณหภูมิในหน่วยเคลวินเป็นค่าคงที่ แสดงว่า ความดันแปรผันตามอุณหภูมิในหน่วยเคลวินซึ่งความสัมพันธ์นี้เรียกว่า กฎของเกย์-ลูสแซก จากนั้นอธิบายรูปสมการที่ใช้คำนวณความดันหรืออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงระหว่างสองสภาวะ และแสดงการคำนวณโดยใช้ตัวอย่าง 5 และ 6
3. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ

ตรวจสอบความเข้าใจ

หลอดไฟที่บรรจุแก๊สมีสกุลที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส มีความดันภายในหลอด 0.74 บรรยากาศ เมื่อหลอดไฟให้แสงสว่าง อุณหภูมิอาจสูงถึง 418 เคลวิน จงคำนวณความดันภายในหลอดไฟที่อุณหภูมิดังกล่าว

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

แทนค่าจะได้ $$\frac{0.74\ \text{atm}}{(22 + 273)\ \text{K}} = \frac{P_2}{418\ \text{K}}$$

$$P_2 = \frac{(0.74\ \text{atm})(418\ \cancel{\text{K}})}{295\ \cancel{\text{K}}}$$

$$= 1.0\ \text{atm}$$

ดังนั้น เมื่อหลอดไฟมีอุณหภูมิ 418 เคลวิน จะมีความดันภายในหลอดเป็น 1.0 บรรยากาศ

4. ครูให้นักเรียนพิจารณาสมการตามกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล และกฎของเกย์-ลูสแซก จากนั้นครูให้นักเรียนรวมสมการทั้งสามโดยจำนวนโมลของแก๊สคงที่และนำเสนอสมการรวมที่ได้ แล้วร่วมกันสรุปความสัมพันธ์ของปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิ เมื่อจำนวนโมลของแก๊สคงที่ ตามกฎรวมแก๊ส

5. ครูแสดงการคำนวณเกี่ยวกับกฎรวมแก๊สโดยใช้ตัวอย่าง 7 และ 8 จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ

ตรวจสอบความเข้าใจ

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

จาก $$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

แทนค่าจะได้ $$\frac{(1.0\ \text{atm})(6.0\ \text{L})}{(27 + 273)\ \text{K}} = \frac{(0.50\ \text{atm})(V_2)}{(-23 + 273)\ \text{K}}$$

$$V_2 = \frac{(1.0\ \cancel{\text{atm}})(6.0\ \text{L})(250\ \cancel{\text{K}})}{(300\ \cancel{\text{K}})(0.50\ \cancel{\text{atm}})}$$

$$= 10\ \text{L}$$

ดังนั้น ลูกโป่งจะมีปริมาตร 10 ลิตร

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิของแก๊สตามกฎของเกย์-ลูสแซก และความสัมพันธ์ของปริมาตร ความดัน และอุณหภูมิของแก๊ส ตามกฎรวมแก๊สจากการทำแบบฝึกหัดและการทดสอบ
2. ทักษะการใช้จำนวน จากการทำแบบฝึกหัด
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความรอบคอบ จากการทำแบบฝึกหัด

7.1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร และจำนวนโมลของแก๊ส

จุดประสงค์การเรียนรู้

อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส และคำนวณปริมาตรหรือจำนวนโมลโดยใช้ความสัมพันธ์ตามกฎของอาโวกาโดร

แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูทบทวนกฎรวมแก๊ส จากนั้นใช้คำถามว่า หากจำนวนโมลของแก๊สไม่คงที่จะมีผลต่อปริมาตรของแก๊สอย่างไร เพื่อนำเข้าสู่กิจกรรม 7.4

2. ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 7.4 การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส แล้วให้นักเรียนอภิปรายผลการทดลองโดยใช้คำถามท้ายการทดลอง

กิจกรรม 7.4 การทดลองศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส

จุดประสงค์การทดลอง

ทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส

เวลาที่ใช้	อภิปรายก่อนทำการทดลอง	10	นาที
	ทำการทดลอง	25	นาที
	อภิปรายหลังทำการทดลอง	15	นาที
	รวม	**50**	**นาที**

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
สารเคมี	
1. โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ($NaHCO_3$)	1.6 กรัม
2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.50 mol/L	150 mL
วัสดุและอุปกรณ์	
1. ลูกโป่ง ขนาด 10 นิ้ว	3 ลูก
2. ขวดรูปกรวยขนาด 125 mL	3 ใบ
3. กระดาษชั่งสาร	1 แผ่น
4. กรวยกรอง	1 อัน
5. ช้อนตักสาร	1 อัน (ใช้ร่วมกัน)

6. บีกเกอร์ขนาด 250 mL	1 ใบ (ใช้ร่วมกัน)
7. กระบอกตวง ขนาด 50 mL	1 อัน (ใช้ร่วมกัน)
8. หลอดหยด	1 อัน (ใช้ร่วมกัน)
9. ปากกาเขียนป้าย	1 ด้าม

การเตรียมล่วงหน้า

เตรียม HCl 0.5 mol/L ปริมาตร 1,500 mL โดยตรง HCl 6.0 mol/L ปริมาตร 125 mL ลงในน้ำกลั่นประมาณ 700 mL แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1,500 mL (สารละลายที่เตรียมสามารถใช้ได้กับการทดลองของนักเรียนประมาณ 10 กลุ่ม)

ข้อเสนอแนะสำหรับครู

HCl มีฤทธิ์กัดกร่อน ควรให้นักเรียนสวมถุงมือระหว่างทำการทดลอง

ตัวอย่างผลการทดลอง

เมื่อผสม $NaHCO_3$ กับ HCl มีฟองแก๊สเกิดขึ้น ทำให้ลูกโป่งมีปริมาตรเพิ่มขึ้นจากเดิม โดยลูกโป่งหมายเลข 3 มีปริมาตรสุดท้ายมากกว่าหมายเลข 2 และ 1 ตามลำดับ

อภิปรายผลการทดลอง

เมื่อผสม $NaHCO_3$ กับ HCl มีแก๊ส CO_2 เกิดขึ้น ดังสมการเคมี

$$HCl(aq) + NaHCO_3(s) \longrightarrow NaCl(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$$

เนื่องจากมวลของ $NaHCO_3$ ซึ่งเป็นสารกำหนดปริมาณของปฏิกิริยานี้ ใช้ในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยลูกโป่งหมายเลข 3 ใช้มวลมากกว่าหมายเลข 2 และ 1 ตามลำดับ ดังนั้นจำนวนโมลของ CO_2 ที่เกิดขึ้นในลูกโป่งหมายเลข 3 จึงมากกว่าหมายเลข 2 และ 1 ตามลำดับ และจากผลการทดลองที่พบว่า ลูกโป่งหมายเลข 3 มีปริมาตรสุดท้ายมากกว่าหมายเลข 2 และ 1 ตามลำดับ แสดงว่า ปริมาตรแก๊ส CO_2 ที่เกิดขึ้นในลูกโป่งหมายเลข 3 มากกว่าหมายเลข 2 และ 1 ตามลำดับ ดังนั้นปริมาตรแก๊สเพิ่มขึ้นตามจำนวนโมลของแก๊ส

ข้อมูลเพิ่มเติมสำหรับครู

การคำนวณจำนวนโมลของแก๊ส CO_2 ในลูกโป่งแต่ละหมายเลข

ลูกโป่งหมายเลข 1

$$\text{จำนวนโมล HCl} = \frac{0.50\ \text{mol}}{1000\ \cancel{\text{mL}}} \times 50.0\ \cancel{\text{mL}} = 0.025\ \text{mol}$$

$$\text{จำนวนโมล } NaHCO_3 = \frac{0.10\ \cancel{\text{g}}}{84.01\ \cancel{\text{g}}/\text{mol}} = 0.0012\ \text{mol}$$

$NaHCO_3$ เป็นสารกำหนดปริมาณของปฏิกิริยาเนื่องจากมีจำนวนโมลน้อยกว่า HCl และจากสมการเคมี $NaHCO_3$ 1 mol ทำปฏิกิริยาให้ CO_2 1 mol

ดังนั้น จำนวนโมลของ CO_2 ที่เกิดขึ้น = 0.0012 mol

ลูกโป่งหมายเลข 2

จำนวนโมล HCl ใช้เท่ากับลูกโป่งหมายเลข 1 = 0.025 mol

$$\text{จำนวนโมล } NaHCO_3 = \frac{0.50\ \cancel{\text{g}}}{84.01\ \cancel{\text{g}}/\text{mol}} = 0.0060\ \text{mol}$$

ดังนั้น จำนวนโมลของ CO_2 ที่เกิดขึ้น = 0.0060 mol

ลูกโป่งหมายเลข 3

จำนวนโมล HCl ใช้เท่ากับลูกโป่งหมายเลข 1 = 0.025 mol

$$\text{จำนวนโมล } NaHCO_3 = \frac{1.00\ \cancel{\text{g}}}{84.01\ \cancel{\text{g}}/\text{mol}} = 0.0120\ \text{mol}$$

ดังนั้น จำนวนโมลของ CO_2 ที่เกิดขึ้น = 0.0120 mol

สรุปผลการทดลอง

ที่อุณหภูมิและความดันคงที่ ปริมาตรของแก๊สขึ้นอยู่กับจำนวนโมลของแก๊ส โดยแก๊สที่มีจำนวนโมลมากกว่าจะมีปริมาตรมากกว่า

3. ครูอธิบายว่า ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊ส เมื่อความดันกับอุณหภูมิของแก๊สคงที่ เรียกว่า กฎของอาโวกาโดร จากนั้นอธิบายรูปสมการที่ใช้คำนวณปริมาตรหรือจำนวนโมลที่เปลี่ยนแปลงระหว่างสองสภาวะ และแสดงการคำนวณโดยใช้ตัวอย่าง 9 และ 10

4. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ

ตรวจสอบความเข้าใจ

เมื่อบรรจุแก๊สอาร์กอนจำนวน 2.0 โมลในกระบอกสูบที่มีก้านกระบอกสูบเคลื่อนที่ได้จะมีปริมาตร 3.0 ลิตร ถ้าเติมแก๊สอาร์กอนเพิ่มไปอีก 1.0 โมล ปริมาตรของแก๊สในกระบอกสูบจะเป็นกี่ลิตร กำหนดให้อุณหภูมิและความดันของแก๊สไม่เปลี่ยนแปลง

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

แทนค่าจะได้ $$\frac{3.0\ \text{L}}{2.0\ \text{mol}} = \frac{V_2}{(2.0 + 1.0\ \text{mol})}$$

$$V_2 = \frac{(3.0\ \text{L})(3.0\ \cancel{\text{mol}})}{2.0\ \cancel{\text{mol}}}$$

$$= 4.5\ \text{L}$$

ดังนั้น ปริมาตรของแก๊สในกระบอกสูบเป็น 4.5 ลิตร

5. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 7.1 เพื่อทบทวนความรู้

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊สตามกฎของอาโวกาโดร จากรายงานการทดลอง การอภิปราย การทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ
2. ทักษะการทดลอง จากรายงานการทดลองและการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลอง
3. ทักษะการใช้จำนวน จากการทำแบบฝึกหัด
4. ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา จากการอภิปราย
5. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความใจกว้าง จากการสังเกตพฤติกรรมในการอภิปราย
6. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความรอบคอบ จากการทำแบบฝึกหัด

แบบฝึกหัด 7.1

1. แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุอยู่ในกระบอกสูบขนาด 1.5 ลิตร จะต้องเลื่อนก้านกระบอกสูบให้มีปริมาตรเป็นเท่าใด จึงจะทำให้แก๊สชนิดนี้มีความดันเพิ่มขึ้นเป็น 1.5 เท่า

จาก $P_1V_1 = P_2V_2$

แทนค่าจะได้ $P_1(1.5 \text{ L}) = (1.5P_1)\,V_2$

$$V_2 = \frac{(1.5 \text{ L})\,P_1}{1.5\,P_1} = 1.0 \text{ L}$$

ดังนั้น จะต้องเลื่อนก้านกระบอกสูบให้มีปริมาตรเป็น 1.0 ลิตร

2. ปั๊มแก๊ส NGV มีแก๊สบรรจุอยู่ในถังขนาด 1.00×10^4 ลิตร ที่ความดัน 300 บาร์ จะสามารถเติมแก๊สให้กับรถยนต์ที่มีถังแก๊สขนาด 70.0 ลิตร ให้มีความดันเป็น 150 บาร์ได้จำนวนกี่คัน โดยความดันสุดท้ายของแก๊สในถังที่ปั๊มแก๊สต้องไม่น้อยกว่าความดันในถังแก๊สของรถยนต์

คำนวณปริมาตรแก๊สที่จะปล่อยสู่ถังแก๊สรถยนต์ให้มีปริมาตรและความดันตามที่กำหนด ดังนี้

จาก $P_1V_1 = P_2V_2$

แทนค่าจะได้ $(300 \text{ bar})\,(1.00 \times 10^4 \text{ L}) = (150 \text{ bar})\,V_2$

$$V_2 = \frac{(300\,\cancel{\text{bar}})(1.00 \times 10^4 \text{ L})}{(150\,\cancel{\text{bar}})} = 2.00 \times 10^4 \text{ L}$$

เนื่องจากถังแก๊สในปั๊มแก๊สมีขนาด 1.00×10^4 ลิตร ดังนั้นจึงเติมแก๊สให้กับรถยนต์ได้

$2.00 \times 10^4 \text{ L} - 1.00 \times 10^4 \text{ L} = 1.00 \times 10^4 \text{ L}$

จำนวนรถยนต์ที่จะเติมแก๊สได้ $= (1.00 \times 10^4\,\cancel{\text{L}}) \times \dfrac{1 \text{ คัน}}{70.0\,\cancel{\text{L}}}$

$= 142$ คัน

ดังนั้น จะสามารถเติมแก๊สให้กับรถยนต์ได้จำนวน 142 คัน

3. ขวดน้ำพลาสติกบรรจุน้ำร้อนครึ่งหนึ่งแล้วปิดฝาให้สนิท เมื่อวางไว้จนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องพบว่า ขวดมีลักษณะบิดเบี้ยว นักเรียนคิดว่าเป็นเพราะเหตุใด

   เมื่ออุณหภูมิลดลง ความดันของแก๊สภายในขวดน้ำพลาสติกจะน้อยกว่าความดันบรรยากาศ ส่งผลให้ขวดยุบตัวลงจนความดันของแก๊สภายในขวดเท่ากับความดันบรรยากาศภายนอก การยุบตัวลงของขวดจึงทำให้ขวดมีลักษณะบิดเบี้ยว

4. แก๊สชนิดหนึ่งมีปริมาตร 22.4 ลิตร ที่ STP แก๊สนี้จะมีปริมาตรเท่าใดที่ 25 องศาเซลเซียส ถ้ากำหนดให้ความดันของแก๊สคงที่

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

   แทนค่าจะได้ $$\frac{22.4\ \mathrm{L}}{(0 + 273)\mathrm{K}} = \frac{V_2}{(25 + 273)\mathrm{K}}$$

   $$V_2 = \frac{(22.4\ \mathrm{L})(298\ \cancel{\mathrm{K}})}{(273\ \cancel{\mathrm{K}})} = 24.5\ \mathrm{L}$$

   ดังนั้น แก๊สนี้จะมีปริมาตร 24.5 ลิตร

5. ภาชนะปิดปริมาตรคงที่ขนาด 20.00 ลิตร สามารถทนแรงดันได้สูงสุดเท่ากับ 1.52×10^4 มิลลิเมตรปรอท ถ้านำภาชนะนี้มาบรรจุแก๊สที่มีความดัน 10.00 บรรยากาศ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ภาชนะนี้จะทนอุณหภูมิได้สูงสุดเท่าใดในหน่วยองศาเซลเซียส

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

   แทนค่าจะได้ $$\frac{(10.00 \times 760)\ \mathrm{mmHg}}{(25 + 273)\mathrm{K}} = \frac{1.52 \times 10^4\ \mathrm{mmHg}}{T_2}$$

   $$T_2 = \frac{(1.52 \times 10^4\ \cancel{\mathrm{mmHg}})(298\ \mathrm{K})}{7600\ \cancel{\mathrm{mmHg}}} = 596\ \mathrm{K}$$

เปลี่ยนอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส

$$T_2 = 596 - 273$$
$$= 323\ °C$$

ดังนั้น ภาชนะนี้จะทนอุณหภูมิได้ถึง 323 องศาเซลเซียส

6. พิจารณาข้อมูลจากการทดลองวัดความดัน และอุณหภูมิของแก๊สชนิดหนึ่งที่บรรจุในกระบอกสูบซึ่งคงปริมาตรไว้ที่ 22.4 ลิตร ได้ผลการทดลองดังนี้

การทดลองที่	ความดัน (mmHg)	อุณหภูมิ (°C)
1	760	25
2	806	43
3	707	4

6.1 การทดลองนี้สอดคล้องกับกฎใด เพราะเหตุใด

คำนวณความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน ดังตาราง

การทดลองที่	ค่า $\frac{P}{T}$
1	$\frac{(760\ mmHg)}{(298\ K)} = 2.55$
2	$\frac{(806\ mmHg)}{(316\ K)} = 2.55$
3	$\frac{(707\ mmHg)}{(277\ K)} = 2.55$

เนื่องจากการทดลองนี้ทำที่ปริมาตรและจำนวนโมลของแก๊สคงที่ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนระหว่างความดันและอุณหภูมิในหน่วยเคลวินคงที่ ดังนั้นการทดลองนี้จึงสอดคล้องกับกฎของเกย์-ลูสแซก

6.2 ถ้าทำให้ก้านกระบอกสูบเคลื่อนที่จนแก๊สนี้มีความดัน 1.50 บรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แก๊สนี้จะมีปริมาตรเป็นเท่าใด

จาก $$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

จากตารางข้อมูลที่กำหนดให้ สามารถใช้ข้อมูลได้จากทุกการทดลอง ในที่นี้จะเลือกใช้การทดลองที่ 1

แทนค่าจะได้

$$\frac{(760\ \text{mmHg} \times \frac{1\ \text{atm}}{760\ \text{mmHg}})(22.4\ \text{L})}{(25 + 273)\ \text{K}} = \frac{(1.50\ \text{atm})V_2}{(60 + 273)\ \text{K}}$$

$$V_2 = 16.7\ \text{L}$$

ดังนั้น แก๊สนี้จะมีปริมาตร 16.7 ลิตร

6.3 ถ้ากดก้านกระบอกสูบให้มีปริมาตรลดลงครึ่งหนึ่งของปริมาตรเริ่มต้น ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส แก๊สนี้จะมีความดันเท่าใด

จากตารางข้อมูลที่กำหนดให้ สามารถใช้ข้อมูลได้จากทุกการทดลอง ในที่นี้จะเลือกใช้การทดลองที่ 1

ปริมาตรของกระบอกสูบเมื่อถูกบีบอัดมีปริมาตรเท่ากับ $\frac{22.4}{2} = 11.2\ \text{L}$

จาก $$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

แทนค่าจะได้

$$\frac{(760\ \text{mmHg} \times \frac{1\ \text{atm}}{760\ \text{mmHg}})(22.4\ \text{L})}{(25 + 273)\ \text{K}} = \frac{P_2(11.2\ \text{L})}{(10 + 273)\ \text{K}}$$

$$P_2 = 1.90\ \text{atm}$$

ดังนั้น แก๊สนี้จะมีความดัน 1.90 บรรยากาศ

7. เรือเหาะลำหนึ่งจะลอยขึ้นสู่อากาศได้เมื่อมีแก๊สฮีเลียมบรรจุอยู่ 5500 ลิตร ถ้าแก๊สฮีเลียม 110 โมล มีปริมาตร 2620 ลิตร จะต้องเติมฮีเลียมอีกกี่โมลเพื่อทำให้เรือเหาะนี้ลอยได้ ถ้าอุณหภูมิและความดันขณะเติมคงที่

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

แทนค่าจะได้ $$\frac{2620\ \text{L}}{110\ \text{mol}} = \frac{5500\ \text{L}}{n_2}$$

$$n_2 = \frac{(5500\ \cancel{\text{L}})(110\ \text{mol})}{2620\ \cancel{\text{L}}}$$

$$= 231\ \text{mol}$$

จำนวนโมล He ที่ต้องเติม = 231 mol – 110 mol = 121 mol

ดังนั้น ต้องเติมแก๊สฮีเลียมอีก 121 โมล

7.2 กฎแก๊สอุดมคติ และความดันย่อย

7.2.1 กฎแก๊สอุดมคติ

จุดประสงค์การเรียนรู้

คำนวณปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ จำนวนโมล หรือมวลของแก๊ส โดยใช้ความสัมพันธ์ตามกฎแก๊สอุดมคติ

แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูให้นักเรียนพิจารณาสมการตามกฎรวมแก๊สและกฎของอาโวกาโดร จากนั้นครูให้นักเรียนรวมสมการทั้งสองและนำเสนอสมการที่ได้ แล้วร่วมกันสรุปความสัมพันธ์ของปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊ส ตามสมการ $PV = nRT$ จากนั้นครูให้ความรู้ว่า แก๊สใด ๆ ที่มีสมบัติเป็นไปตามสมการนี้จัดเป็นแก๊สอุดมคติ และเรียกสมการนี้ว่า กฎแก๊สอุดมคติ

2. ครูให้นักเรียนตอบคำถามชวนคิด

ชวนคิด

จากความรู้เรื่องปริมาตรของแก๊สที่ STP จะคำนวณค่าคงที่ของแก๊สได้อย่างไร

ที่ STP หรือที่อุณหภูมิ 0 °C ความดัน 1 atm แก๊ส 1 mol จะมีปริมาตร 22.4 L เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวแทนค่าในสมการกฎแก๊สอุดมคติ จะสามารถหาค่า R ได้ ดังนี้

จาก $$PV = nRT$$

$$R = \frac{PV}{nT}$$

แทนค่าจะได้ $$R = \frac{(1\ \text{atm})(22.4\ \text{L})}{(1\ \text{mol})(0 + 273\ \text{K})}$$

$$= 0.0821\ \text{L}\cdot\text{atm}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$$

ดังนั้น ค่าคงที่ของแก๊สมีค่าเท่ากับ $0.0821\ \text{L}\cdot\text{atm}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

ครูให้ความรู้ว่า ตัวเลขค่าคงที่ของแก๊สขึ้นอยู่กับหน่วยที่ใช้ โดยยกตัวอย่างค่าคงที่ของแก๊สในหน่วยเอสไอ ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

3. ครูอธิบายการคำนวณโดยใช้กฎแก๊สอุดมคติในตัวอย่าง 11–14 จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ

ตรวจสอบความเข้าใจ

1. การเติมแก๊สไนโตรเจนในยางรถยนต์ที่มีความจุ 12 ลิตรให้มีความดัน 29.4 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ต้องใช้แก๊สไนโตรเจนกี่กรัม

   คำนวณจำนวนโมลของแก๊สไนโตรเจน

   จาก $$PV = nRT$$

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

แทนค่าจะได้

$$n = \frac{(29.4\ \cancel{\text{psi}} \times \frac{1\ \cancel{\text{atm}}}{14.7\ \cancel{\text{psi}}})(12\ \cancel{\text{L}})}{(0.0821\ \cancel{\text{L}}\cdot\cancel{\text{atm}}/\text{mol}\cdot\cancel{\text{K}})(27 + 273\ \cancel{\text{K}})}$$

$$= 1.0\ \text{mol}$$

คำนวณมวลของ N_2 (m) ได้ดังนี้

$$m = 1.0\ \cancel{\text{mol}} \times \frac{28.02\ \text{g}}{1\ \cancel{\text{mol}}}$$

$$= 28\ \text{g}$$

ดังนั้น ต้องใช้แก๊สไนโตรเจน 28 กรัม

2. ยางรถยนต์เส้นหนึ่งมีปริมาตร 10 ลิตร อัดอากาศจนมีความดัน 32 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งพบว่า ความดันลดลงเหลือ 28 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิเดียวกัน จำนวนโมลของอากาศที่รั่วออกจากยางรถยนต์เป็นเท่าใด เมื่อกำหนดให้ยางรถยนต์มีปริมาตรคงที่

จาก $PV = nRT$

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

โจทย์กำหนดให้ T และ V คงที่

จำนวนโมลของอากาศที่หายไป $= n_1 - n_2 = \frac{P_1V}{RT} - \frac{P_2V}{RT}$

$= (P_1 - P_2)\frac{V}{RT}$

$= ((32 - 28\ \cancel{\text{psi}}) \times (\frac{1\ \cancel{\text{atm}}}{14.7\ \cancel{\text{psi}}}))\frac{(10\ \cancel{\text{L}})}{(0.0821\ \cancel{\text{L}}\cdot\cancel{\text{atm}}/\text{mol}\cdot\cancel{\text{K}})(25 + 273\ \cancel{\text{K}})}$

$= 0.1\ \text{mol}$

ดังนั้น อากาศรั่วออกจากยางรถยนต์ 0.1 โมล

3. ภาชนะใบหนึ่งมีขนาด 5.0 ลิตร บรรจุแก๊สชนิดหนึ่ง 3.25 กรัม ที่ความดัน 1.0 บรรยากาศ อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส มวลต่อโมลของแก๊สชนิดนี้เป็นเท่าใด

จาก

$$PV = nRT$$

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

แทนค่าจะได้

$$n = \frac{(1.0\ \cancel{\mathrm{atm}})(5.0\ \cancel{\mathrm{L}})}{(0.0821\ \cancel{\mathrm{L}}\cdot\cancel{\mathrm{atm}}/\mathrm{mol}\cdot\cancel{\mathrm{K}})(27 + 273\ \cancel{\mathrm{K}})}$$

$$= 0.20\ \mathrm{mol}$$

หามวลต่อโมลของแก๊สได้ ดังนี้

$$\text{มวลต่อโมล} = \frac{3.25\ \mathrm{g}}{0.20\ \mathrm{mol}}$$

$$= 16\ \mathrm{g/mol}$$

ดังนั้น มวลต่อโมลของแก๊สชนิดนี้เท่ากับ 16 กรัมต่อโมล

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับกฎแก๊สอุดมคติ จากการทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ
2. ทักษะการใช้จำนวน จากการทำแบบฝึกหัด
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความรอบคอบ จากการทำแบบฝึกหัด

7.2.2 ความดันย่อยของแก๊ส

จุดประสงค์การเรียนรู้

คำนวณความดันย่อยหรือจำนวนโมลของแก๊สในแก๊สผสม

แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูยกตัวอย่างแก๊สผสมในธรรมชาติ เช่น อากาศ ซึ่งประกอบด้วยแก๊สไนโตรเจนและแก๊สออกซิเจนเป็นหลัก จากนั้นใช้คำถามว่า ความดันของแก๊สไนโตรเจนและแก๊สออกซิเจนเท่ากับความดันบรรยากาศหรือไม่ อย่างไร

2. ครูให้นักเรียนพิจารณารูป 7.6 แล้วให้อภิปรายร่วมกัน เพื่อให้ได้ข้อสรุปว่า ความดันของแก๊สผสมเท่ากับผลรวมของความดันย่อยของแก๊สที่เป็นองค์ประกอบตามกฎความดันย่อยของดอลตัน พร้อมแสดงสมการกฎความดันย่อยของแก๊ส

3. ครูใช้คำถามนำว่า ความดันรวมของแก๊สผสมมีความสัมพันธ์กับจำนวนโมลของแก๊สที่เป็นองค์ประกอบอย่างไร จากนั้นใช้สมการกฎแก๊สอุดมคติแสดงให้เห็นว่า เมื่ออุณหภูมิและปริมาตรคงที่ความดันของแก๊สผสมจะขึ้นอยู่กับจำนวนโมลรวมของแก๊สที่เป็นองค์ประกอบจากนั้นอธิบายวิธีการคำนวณความดันของแก๊สผสมโดยใช้ตัวอย่าง 15

4. ครูใช้คำถามนำว่า ถ้าทราบความดันบรรยากาศจะสามารถหาความดันย่อยของแก๊สไนโตรเจนและแก๊สออกซิเจนที่เป็นองค์ประกอบในอากาศได้อย่างไร

5. ครูอธิบายสมการความสัมพันธ์ระหว่างความดันของแก๊สผสม ความดันย่อย และเศษส่วนโมลของแก๊ส จากนั้นอธิบายการคำนวณโดยใช้ตัวอย่าง 16 และ 17

6. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ

ตรวจสอบความเข้าใจ

1. ถ้าผสมแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 1.00 กรัม แก๊สฮีเลียม (He) 2.60 กรัม และแก๊สอาร์กอน (Ar) 11.19 กรัม ในภาชนะขนาด 10.0 ลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จงคำนวณความดันรวมของแก๊สผสม

คำนวณจำนวนโมลรวม

จำนวนโมลของ $H_2 = 1.00 \text{ g } H_2 \times \dfrac{1 \text{ mol } H_2}{2.02 \text{ g } H_2} = 0.495 \text{ mol}$

จำนวนโมลของ He = $2.60 \text{ g } \cancel{\text{He}} \times \dfrac{1 \text{ mol He}}{4.00 \text{ g } \cancel{\text{He}}} = 0.650 \text{ mol}$

จำนวนโมลของ Ar = $11.19 \text{ g } \cancel{\text{Ar}} \times \dfrac{1 \text{ mol Ar}}{39.95 \text{ g } \cancel{\text{Ar}}} = 0.2801 \text{ mol}$

ดังนั้น จำนวนโมลรวม = 0.495 + 0.650 + 0.2801 = 1.425 mol

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

แทนค่าจะได้

$$P_{total} = \frac{(1.425 \cancel{\text{mol}})(0.0821 \cancel{\text{L}} \cdot \text{atm}/\cancel{\text{mol}} \cdot \cancel{\text{K}})(25 + 273\cancel{\text{K}})}{(10.0 \cancel{\text{L}})}$$

$$= 3.49 \text{ atm}$$

ดังนั้น แก๊สผสมมีความดันรวม 3.49 บรรยากาศ

2. ในถังอากาศดำน้ำจะอัดอากาศผสมที่เรียกว่า Enriched Air Nitrox (EANx) ซึ่งประกอบด้วยแก๊สออกซิเจนและแก๊สไนโตรเจนจนมีความดัน 200 บรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ถ้า Enriched Air Nitrox ถังหนึ่งมีขนาด 11.5 ลิตรและมีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 32 โดยปริมาตร ความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิดมีค่าเท่าใด

จาก $$P_i = X_i P_{total}$$

คำนวณความดันย่อยของ O_2

$$P_{O_2} = X_{O_2} P_{total}$$

$$P_{O_2} = \frac{n_{O_2}}{n_{O_2} + n_{N_2}} P_{total}$$

จากกฎของอาโวกาโดร จำนวนโมลของแก๊สแปรผันตามปริมาตรของแก๊ส ที่อุณหภูมิและความดันคงที่ ดังนั้นสามารถใช้ร้อยละโดยปริมาตรในการคำนวณเศษส่วนโมลของแก๊สได้

$$P_{O_2} = \frac{32}{32 + 68} \times 200 \text{ atm}$$

$$= 64 \text{ atm}$$

คำนวณความดันย่อยของ N_2

เนื่องจากในถังมีแก๊สเพียงสองชนิด ความดันย่อยของ N_2 หาได้ดังนี้

$$P_{total} = P_{O_2} + P_{N_2}$$

$$P_{N_2} = P_{total} - P_{O_2}$$

$$= 200 \text{ atm} - 64 \text{ atm}$$

$$= 136 \text{ atm}$$

ดังนั้น ภายในถังอากาศดำน้ำแก๊สออกซิเจนมีความดัน 64 บรรยากาศ และแก๊สไนโตรเจนมีความดัน 136 บรรยากาศ

7. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 7.2 เพื่อทบทวนความรู้

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างความดันรวมของแก๊สผสมและความดันของแก๊สที่เป็นองค์ประกอบตามกฎความดันย่อยของดอลตัน และความสัมพันธ์ระหว่างความดันของแก๊สผสมกับจำนวนโมลของแก๊สองค์ประกอบ จากการทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ
2. ทักษะการใช้จำนวน จากการทำแบบฝึกหัด
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความรอบคอบ จากการทำแบบฝึกหัด

แบบฝึกหัด 7.2

1. แก๊สชนิดหนึ่งมีมวลต่อโมลเท่ากับ 48.0 กรัมต่อโมล แก๊สชนิดนี้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 1.0 บรรยากาศ มีความหนาแน่นเท่าใด

จาก $PV = nRT$

$$V = \frac{(1\ \cancel{\text{mol}})(0.0821\ \text{L}\cdot\cancel{\text{atm}}/\cancel{\text{mol}}\cdot\cancel{\text{K}})(25 + 273\ \cancel{\text{K}})}{(1.0\ \cancel{\text{atm}})}$$

$$= 24\ \text{L}$$

คำนวณความหนาแน่นของแก๊ส

จาก $d = \dfrac{m}{V}$

แทนค่ามวลและปริมาตรของแก๊ส 1 mol

$$d = \frac{48.0\ \text{g}}{24\ \text{L}}$$

$$= 2.0\ \text{g/L}$$

ดังนั้น แก๊สมีความหนาแน่น 2.0 กรัมต่อลิตร

2. อากาศที่ระดับน้ำทะเลที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความดัน 1.00 บรรยากาศ มีความหนาแน่นประมาณ 1.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อากาศที่ระดับความสูง 10 กิโลเมตร ซึ่งมีอุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียสและความดัน 0.26 บรรยากาศ มีความหนาแน่นเท่าใด

จาก $PV = nRT$

เนื่องจาก $\text{n} = \dfrac{m}{M}$

เมื่อ m คือ มวลของอากาศ และ M คือ มวลต่อโมลของอากาศ

แทนค่าจะได้
$$PV = \frac{m}{M}RT$$
$$\frac{PM}{RT} = \frac{m}{V}$$
และเนื่องจาก
$$\frac{m}{V} = d$$
เมื่อ d แทน ความหนาแน่น

ดังนั้น
$$d = \frac{PM}{RT}$$

อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของอากาศที่ระดับความสูง 10 กิโลเมตร และระดับน้ำทะเล เป็นดังนี้

$$\frac{d_{10\ \text{km}}}{d_{\text{ระดับน้ำทะเล}}} = \frac{P_{10\ \text{km}}\cancel{M}_{\text{อากาศ}}/\cancel{R}T_{10\ \text{km}}}{P_{\text{ระดับน้ำทะเล}}\cancel{M}_{\text{อากาศ}}/\cancel{R}T_{\text{ระดับน้ำทะเล}}}$$

$$\frac{d_{10\ \text{km}}}{d_{\text{ระดับน้ำทะเล}}} = \frac{P_{10\ \text{km}}T_{\text{ระดับน้ำทะเล}}}{P_{\text{ระดับน้ำทะเล}}T_{10\ \text{km}}}$$

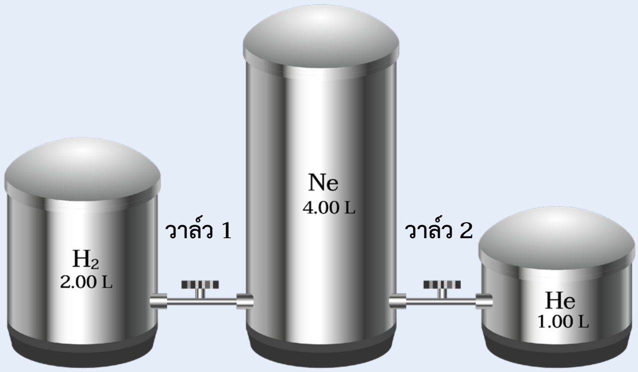
$$d_{10\ \text{km}} = d_{\text{ระดับน้ำทะเล}} \times \frac{P_{10\ \text{km}}T_{\text{ระดับน้ำทะเล}}}{P_{\text{ระดับน้ำทะเล}}T_{10\ \text{km}}}$$

$$= 1.2\ \text{kg/m}^3 \times \frac{(0.26\ \cancel{\text{atm}})(15 + 273\ \cancel{\text{K}})}{(1.00\ \cancel{\text{atm}})(-50 + 273\ \cancel{\text{K}})}$$

$$= 0.40\ \text{kg/m}^3$$

ดังนั้น ความหนาแน่นของอากาศที่ระดับความสูง 10 กิโลเมตรเท่ากับ 0.40 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

3. ถังบรรจุแก๊สไฮโดรเจน นีออน และฮีเลียม ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส แสดงดังรูป



ก่อนเปิดวาล์ว แก๊สไฮโดรเจน แก๊สนีออน และแก๊สฮีเลียมมีปริมาตร 2.00 4.00 และ1.00 ลิตร ตามลำดับ และมีมวล 2.02 30.39 และ 2.00 กรัม ตามลำดับ

3.1 ความดันของแก๊สแต่ละชนิดก่อนเปิดวาล์วเป็นเท่าใด

คำนวณความดันของ H_2

จำนวนโมลของ H_2 $= 2.02\,\cancel{g} \times \dfrac{1\ \text{mol}}{2.02\,\cancel{g}} = 1.00\ \text{mol}$

จาก $PV = nRT$

$$P_{H_2} = \frac{n_{H_2}RT}{V_{H_2}}$$

$$= \frac{(1.00\,\cancel{\text{mol}})(0.0821\,\cancel{\text{L}}\cdot\text{atm}/\cancel{\text{mol}}\cdot\cancel{\text{K}})(27 + 273\,\cancel{\text{K}})}{2.00\,\cancel{\text{L}}}$$

$= 12.3\ \text{atm}$

คำนวณความดันของ Ne

จำนวนโมลของ Ne $= 30.39\,\cancel{g} \times \dfrac{1\ \text{mol}}{20.18\,\cancel{g}} = 1.506\ \text{mol}$

จาก $PV = nRT$

$$P_{Ne} = \frac{n_{Ne}RT}{V_{Ne}}$$

$$= \frac{(1.506\ \cancel{mol})(0.0821\ \cancel{L}\cdot atm/\cancel{mol}\cdot\cancel{K})(27+273\ \cancel{K})}{4.00\ \cancel{L}}$$

$$= 9.27\ atm$$

คำนวณความดันของ He

จำนวนโมลของ He = $2.00\ \cancel{g} \times \frac{1\ mol}{4.00\ \cancel{g}} = 0.500\ mol$

จาก $PV = nRT$

$$P_{He} = \frac{n_{He}RT}{V_{He}}$$

$$= \frac{(0.500\ \cancel{mol})(0.0821\ \cancel{L}\cdot atm/\cancel{mol}\cdot\cancel{K})(27+273\ \cancel{K})}{1.00\ \cancel{L}}$$

$$= 12.3\ atm$$

ดังนั้น แก๊สไฮโดรเจนและแก๊สฮีเลียมมีความดัน 12.3 บรรยากาศ ส่วนแก๊สนีออนมีความดัน 9.27 บรรยากาศ

3.2 เมื่อเปิดวาล์ว 1 และ 2 ความดันของแก๊สผสมเป็นเท่าใด

ปริมาตรของแก๊สผสมเมื่อเปิดวาล์ว 1 และ 2 = 2.00 + 4.00 + 1.00 = 7.00 ลิตร

คำนวณจำนวนโมลรวมของแก๊สผสม

$$n_{total} = n_{H_2} + n_{Ne} + n_{He}$$

$$= 1.00 + 1.506 + 0.500$$

$$= 3.01\ mol$$

คำนวณความดันของแก๊สผสม

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

แทนค่าได้

$$P_{total} = \frac{(3.01\ \cancel{mol})(0.0821\ \cancel{L}\cdot atm/\cancel{mol}\cdot\cancel{K})(27+273\ \cancel{K})}{(7.00\ \cancel{L})}$$

$$= 10.6\ atm$$

ดังนั้น แก๊สผสมมีความดัน 10.6 บรรยากาศ

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

$$CaO(s) + SO_2(g) \longrightarrow CaSO_3(s)$$

เมื่อถ่ายเทแก๊สไนโตรเจนที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาไปสู่ลูกโป่ง ทำให้ลูกโป่งพองขึ้นจนมีปริมาตร 0.15 ลิตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และมีความดัน 1.2 บรรยากาศ ความดันย่อยของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแก๊สผสมเป็นเท่าใด

คำนวณความดันของ N_2 ในแก๊สผสม

จาก $$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

แทนค่าจะได้

$$\frac{P_1\,(0.50\ \mathrm{L})}{(25 + 273\ \mathrm{K})} = \frac{(1.2\ \mathrm{atm})(0.15\ \mathrm{L})}{(50 + 273\ \mathrm{K})}$$

$$P_1 = \frac{(1.2\ \mathrm{atm})(0.15\ \cancel{\mathrm{L}})(298\ \cancel{\mathrm{K}})}{(323\ \cancel{\mathrm{K}})(0.50\ \cancel{\mathrm{L}})}$$

$$= 0.33\ \mathrm{atm}$$

คำนวณความดันของ SO_2 ในแก๊สผสม

จาก $$P_{total} = P_{SO_2} + P_{N_2}$$

$$P_{SO_2} = P_{total} - P_{N_2}$$

$$= 1.0\ \mathrm{atm} - 0.33\ \mathrm{atm}$$

$$= 0.67\ \mathrm{atm}$$

ดังนั้น ความดันย่อยของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแก๊สผสมมีค่าเท่ากับ 0.67 บรรยากาศ

7.3 ทฤษฎีจลน์และการแพร่ของแก๊ส

7.3.1 ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส

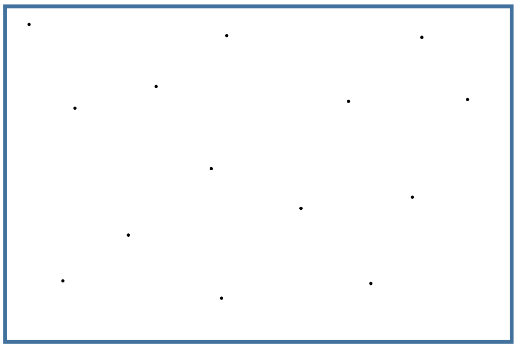
จุดประสงค์การเรียนรู้

อธิบายกฎต่าง ๆ ของแก๊ส โดยใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส

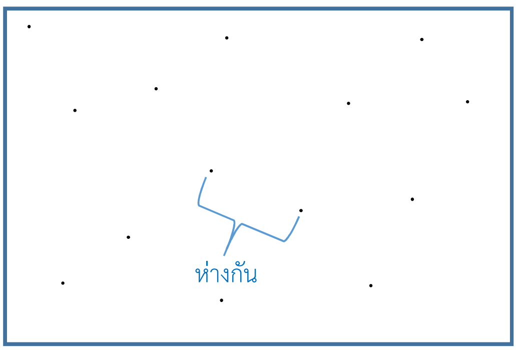
แนวการจัดการเรียนรู้

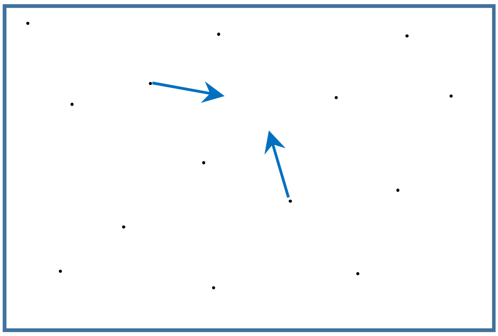
1. ครูใช้คำถามนำว่า ปริมาตรและความดันของแก๊สเกี่ยวข้องกับขนาดอนุภาค ระยะห่างระหว่างอนุภาค และการเคลื่อนที่ของอนุภาคแก๊สอย่างไร

2. ครูวาดรูปหรือแสดงรูปจำลองของอนุภาคแก๊ส ดังรูป จากนั้นให้นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับขนาดของอนุภาคแก๊ส เพื่อให้ได้ข้อสรุปตามทฤษฎีจลน์ของแก๊สว่า อนุภาคแก๊สมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับภาชนะที่บรรจุ ดังนั้นผลรวมปริมาตรของอนุภาคแก๊สมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาตรของภาชนะที่บรรจุ



3. ครูชี้ให้เห็นว่า อนุภาคแก๊สอยู่ห่างกันมากเมื่อเทียบกับขนาดของอนุภาค จากนั้นใช้คำถามนำอภิปรายว่า ระยะห่างระหว่างอนุภาคมีผลต่อแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคแก๊สอย่างไร เพื่อให้ได้ข้อสรุปว่า อนุภาคแก๊สอยู่ห่างกันมาก ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคน้อยมาก จนถือว่าไม่มีแรงกระทำต่อกัน





4. ครูให้ความรู้ว่า แก๊สแต่ละอนุภาคเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในทิศทางที่ไม่แน่นอนด้วยอัตราเร็วคงที่ที่แตกต่างกันดังรูป จากนั้นครูใช้คำถามว่า แก๊สแต่ละอนุภาคมีพลังงานจลน์เท่ากันหรือไม่ เพราะเหตุใด ซึ่งควรได้คำตอบว่า มีพลังงานจลน์ไม่เท่ากัน เนื่องจากมีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากัน จากนั้นครูอธิบายว่าเมื่ออนุภาคแก๊สเกิดการชนจะมีการถ่ายเทพลังงานให้แก่กันโดยไม่มีการสูญเสียพลังงานจลน์รวม ดังนั้นพลังงานจลน์เฉลี่ยของแก๊สจึงมีค่าคงที่ ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ

5. ครูอธิบายว่า แก๊สต่างชนิดกันที่อุณหภูมิเดียวกันมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากัน ถ้าเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้อนุภาคแก๊สเคลื่อนที่เร็วขึ้น พลังงานจลน์เฉลี่ยของแก๊สจึงเพิ่มขึ้น

6. ครูให้ความรู้ว่า ข้อมูลที่กล่าวมาแล้วนั้นเป็นสาระสำคัญของทฤษฎีจลน์ของแก๊ส ซึ่งแก๊สอุดมคติมีพฤติกรรมเป็นไปตามทฤษฎีจลน์ของแก๊สทุกประการ และแก๊สทั่วไปมีพฤติกรรมใกล้เคียงกับแก๊สอุดมคติที่อุณหภูมิสูงและความดันต่ำ

7. ครูให้นักเรียนศึกษาการใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊สอธิบายกฎของบอยล์ กฎของเกย์-ลูสแซก กฎของชาร์ล และกฎของอาโวกาโดร ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน แล้วอภิปรายสรุปร่วมกันโดยใช้รูป 7.7 7.8 และ 7.9 ประกอบการอภิปราย

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีจลน์ของแก๊ส จากการอภิปราย
2. ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา จากการอภิปราย
3. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความใจกว้าง จากการสังเกตพฤติกรรมในการอภิปราย

7.3.2 การแพร่ของแก๊ส

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายการแพร่ของแก๊สโดยใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส
2. อธิบายความสัมพันธ์ของอัตราการแพร่กับมวลต่อโมลของแก๊ส
3. คำนวณและเปรียบเทียบอัตราการแพร่ หรือมวลต่อโมลของแก๊ส โดยใช้กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม

แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูใช้คำถามเพื่อนำเข้าสู่เรื่องการแพร่ของแก๊สว่า การส่งกลิ่นหอมของดอกไม้หรือน้ำหอมเกิดขึ้นได้อย่างไร แล้วอภิปรายร่วมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุปว่า สารมีกลิ่นที่อยู่ในสถานะแก๊ส เคลื่อนที่หรือแพร่ออกมาจากดอกไม้หรือน้ำหอม ซึ่งการแพร่ของแก๊สจากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่งเกิดขึ้นได้เนื่องจากโมเลกุลของแก๊สมีพลังงานจลน์และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในทุกทิศทางตามทฤษฎีจลน์ของแก๊ส

2. ครูใช้คำถามว่า แก๊สแต่ละชนิดจะแพร่ด้วยอัตราเร็วแตกต่างกันหรือไม่ เพื่อนำเข้าสู่กิจกรรม 7.5

3. ครูสาธิตกิจกรรม 7.5 การทดลองการแพร่ของแก๊สแอมโมเนียและแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์ เนื่องจากการทดลองนี้ใช้สารละลายกรดและเบสที่มีความเข้มข้นสูงและระเหยให้แก๊สที่เป็นอันตราย จึงต้องทำในตู้ดูดควันหรือในบริเวณที่อากาศถ่ายเทสะดวก หลังจากทำการทดลองแล้วครูให้นักเรียนอภิปรายผลการทดลองโดยใช้คำถามท้ายการทดลอง

กิจกรรม 7.5 การทดลองการแพร่ของแก๊สแอมโมเนียและแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์

จุดประสงค์การทดลอง

1. ทดลองเพื่อศึกษาการแพร่ของแก๊สแอมโมเนียกับแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์
2. เปรียบเทียบอัตราการแพร่ของแก๊สแอมโมเนียกับแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์
3. บอกความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ของแก๊สกับมวลต่อโมลของแก๊ส

เวลาที่ใช้	อภิปรายก่อนทำการทดลอง	5	นาที
	ทำการทดลอง	10	นาที
	อภิปรายหลังทำการทดลอง	10	นาที
	รวม	**25**	**นาที**

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
สารเคมี	
1. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (HCl)	1 mL
2. สารละลายแอมโมเนียเข้มข้น (NH_3)	1 mL
วัสดุและอุปกรณ์	
1. หลอดแก้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 cm ยาวประมาณ 30 cm	1 อัน
2. สำลีที่พันกับไม้ที่เสียบอยู่กับจุกยาง เบอร์ 1	2 อัน
3. บีกเกอร์ขนาด 50 mL	2 ใบ
4. กระจกนาฬิกา	2 อัน
5. หลอดหยด	2 อัน
6. ที่ยึดหลอดแก้วหรือขาตั้งพร้อมที่จับ	1 ชุด

ข้อเสนอแนะสำหรับครู

สารเคมีที่ใช้ในการสาธิตทั้งสองชนิด มีกลิ่นฉุนและเป็นอันตรายต่อระบบหายใจ จึงไม่ควรชุบสารในปริมาณมากเกินไป

ตัวอย่างผลการทดลอง

เมื่อนำไม้พันสำลีที่ชุบกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นและสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นไปอุดที่ปลายทั้งสองของหลอดแก้วพร้อม ๆ กัน เมื่อเวลาผ่านไปจะเห็นวงแหวนสีขาวเกิดขึ้นภายในหลอดแก้วใกล้ปลายหลอดแก้วทางด้านกรดไฮโดรคลอริกมากกว่าปลายด้านแอมโมเนีย

อภิปรายผลการทดลอง

แก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์และแก๊สแอมโมเนียเป็นแก๊สไม่มีสี เมื่อมีวงแหวนสีขาวเกิดขึ้นภายในหลอดแสดงว่าสารทั้ง 2 ชนิด ทำปฏิกิริยากันได้สารใหม่ที่มีสีขาว ดังสมการเคมี

$$\mathrm{HCl(g)} + \mathrm{NH_3(g)} \longrightarrow \mathrm{NH_4Cl(s)}$$

เนื่องจากวงแหวนสีขาวที่เกิดขึ้นอยู่ใกล้กับสำลีที่ชุบสารละลายกรดไฮโดรคลอริกแสดงว่าในเวลาที่เท่ากันแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์แพร่ได้ระยะทางที่น้อยกว่าแก๊สแอมโมเนียและเมื่อพิจารณามวลต่อโมล พบว่า มวลต่อโมลของแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์มากกว่าแก๊สแอมโมเนียแสดงว่าแก๊สที่มีมวลต่อโมลมากกว่าจะแพร่ช้ากว่า

สรุปผลการทดลอง

อัตราการแพร่ของแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์มีค่าน้อยกว่าอัตราการแพร่ของแก๊สแอมโมเนีย เนื่องจากแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์มีมวลต่อโมลมากกว่า ดังนั้น แก๊สที่มีมวลต่อโมลมากกว่าจะแพร่ได้ช้ากว่าแก๊สที่มีมวลต่อโมลน้อยกว่า

4. ครูใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส ที่กล่าวว่า ที่อุณหภูมิเดียวกัน แก๊สทุกชนิดมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากัน และสมการ $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วในการเคลื่อนที่กับมวลของแก๊ส

5. ครูให้นักเรียนศึกษาการทดลองของทอมัส เกรแฮม จากนั้นอภิปรายร่วมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ผ่านและมวลต่อโมลของแก๊สตามกฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม รวมทั้งแสดงสมการเปรียบเทียบอัตราการแพร่ผ่านของแก๊ส 2 ชนิด ตามสมการกฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม ซึ่งสามารถใช้ในการประมาณอัตราการแพร่ของแก๊สได้จากนั้นใช้ตัวอย่าง 18 อธิบายการคำนวณ

6. ครูอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่และความหนาแน่นตามรายละเอียดในหนังสือเรียนและอธิบายการคำนวณโดยใช้ตัวอย่าง 19

7. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 7.3 เพื่อทบทวนความรู้

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของทฤษฎีจลน์ของแก๊สกับการแพร่ของแก๊ส ความสัมพันธ์ของอัตราการแพร่กับมวลต่อโมลของแก๊ส การคำนวณและเปรียบเทียบอัตราการแพร่หรือมวลต่อโมลของแก๊สโดยใช้กฎการแพร่ผ่านของแกรแฮม จากการอภิปราย รายงานการทดลอง การทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ
2. ทักษะการสังเกต จากรายงานการทดลอง และการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลอง
3. ทักษะการใช้จำนวน จากการทำแบบฝึกหัด
4. ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา จากการอภิปราย
5. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความใจกว้าง จากการสังเกตพฤติกรรมในการอภิปราย
6. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความรอบคอบ จากการทำแบบฝึกหัด

แบบฝึกหัด 7.3

1. ทริเทียม (T) เป็นไอโซโทปหนึ่งของไฮโดรเจน อัตราการแพร่ของแก๊สไฮโดรเจน (H_2) เป็นกี่เท่าของแก๊สทริเทียม (T_2) กำหนดให้ มวลต่อโมลของทริเทียมเท่ากับ 3.02 กรัมต่อโมล

   คำนวณมวลต่อโมลของแก๊สแต่ละชนิด

   มวลต่อโมลของ H_2 = (1.01 × 2) = 2.02 g/mol

   มวลต่อโมลของ T_2 = (3.02 × 2) = 6.04 g/mol

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

   ดังนั้น $$\frac{r_{H_2}}{r_{T_2}} = \sqrt{\frac{M_{T_2}}{M_{H_2}}}$$

แทนค่าจะได้

$$\frac{r_{H_2}}{r_{T_2}} = \sqrt{\frac{6.04\ \cancel{g/mol}}{2.02\ \cancel{g/mol}}}$$

$$\frac{r_{H_2}}{r_{T_2}} = 1.73$$

$$r_{H_2} = 1.73\, r_{T_2}$$

ดังนั้น อัตราการแพร่ของแก๊สไฮโดรเจนเป็น 1.73 เท่าของแก๊สทริเทียม

2. การแยกแก๊สผสมระหว่างแก๊สฮีเลียมและแก๊สนีออน โดยการผ่านแก๊สผสมเข้าไปในท่อยาว 50 เซนติเมตร

2.1 แก๊สชนิดใดจะผ่านท่อออกมาก่อน

แก๊สฮีเลียมจะผ่านท่อออกมาก่อนเนื่องจากมีมวลต่อโมลน้อยกว่าแก๊สนีออน

2.2 ถ้าแก๊สฮีเลียมผ่านท่อออกมาโดยใช้เวลา 15.00 วินาที แก๊สนีออนจะผ่านท่อออกมาโดยใช้เวลาเท่าใด

กำหนดให้ ระยะทาง = 50 cm

ระยะเวลาที่ He ใช้ = 15.00 s

ระยะเวลาที่ Ne ใช้ = t_{Ne} s

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

ดังนั้น $$\frac{r_{He}}{r_{Ne}} = \sqrt{\frac{M_{Ne}}{M_{He}}}$$

$$\text{เมื่อ อัตราการแพร่ } (r) = \frac{\text{ระยะทาง } (s)}{\text{เวลา } (t)}$$

แทนค่าจะได้

$$\frac{50\ \cancel{\text{cm}} / 15.00\ \text{s}}{50\ \cancel{\text{cm}} / t_{\text{Ne}}} = \sqrt{\frac{20.18\ \cancel{\text{g/mol}}}{4.00\ \cancel{\text{g/mol}}}}$$

$$\frac{t_{\text{Ne}}}{15\ \text{s}} = 2.25$$

$$t_{\text{Ne}} = 34\ \text{s}$$

ดังนั้น แก๊สนีออนจะออกมาจากท่อโดยใช้เวลา 34 วินาที

3. เตตระฟลูออโรเอทิลีน (C_2F_4) แพร่ผ่านแผ่นรูพรุนชนิดหนึ่งด้วยอัตรา 2.3×10^{-6} โมลต่อชั่วโมง ส่วนแก๊สตัวอย่างอีกชนิดหนึ่งประกอบด้วยโบรอน (B) กับไฮโดรเจน (H) มีอัตราการแพร่ผ่าน 4.37×10^{-6} โมลต่อชั่วโมง ภายใต้ภาวะเดียวกัน จงคำนวณมวลต่อโมลและเขียนสูตรโมเลกุลที่เป็นไปได้ของแก๊สตัวอย่าง

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

ดังนั้น $$\frac{r_{\text{gas}}}{r_{C_2F_4}} = \sqrt{\frac{M_{C_2F_4}}{M_{\text{gas}}}}$$

แทนค่าจะได้

$$\frac{4.37 \times 10^{-6}\ \cancel{\text{mol/h}}}{2.30 \times 10^{-6}\ \cancel{\text{mol/h}}} = \sqrt{\frac{100.02\ \text{g/mol}}{M_{\text{gas}}}}$$

$$1.90 = \sqrt{\frac{100.02\ \text{g/mol}}{M_{\text{gas}}}}$$

$$3.61 = \frac{100.02\ \text{g/mol}}{M_{\text{gas}}}$$

$$M_{\text{gas}} = 27.7\ \text{g/mol}$$

ดังนั้น แก๊สตัวอย่างมีมวลต่อโมลเท่ากับ 27.7 กรัมต่อโมล และสูตรโมเลกุลที่เป็นไปได้คือ B_2H_6

4. แก๊สชนิดหนึ่งแพร่ผ่านภาชนะออกมาจนหมดภายในเวลา 6.8 นาที ในขณะที่แก๊สไนโตรเจนที่อยู่ในสภาวะเดียวกันแพร่ผ่านโดยใช้เวลา 8.5 นาที จงหาความหนาแน่นของแก๊สชนิดนี้ที่ STP

คำนวณมวลต่อโมลของแก๊สชนิดนี้

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

ดังนั้น $$\frac{r_{\text{gas}}}{r_{N_2}} = \sqrt{\frac{M_{N_2}}{M_{\text{gas}}}}$$

เนื่องจากแก๊สทั้งสองชนิดเคลื่อนที่ในระยะทางที่เท่ากัน ดังนั้น

$$\frac{t_{N_2}}{t_{\text{gas}}} = \sqrt{\frac{M_{N_2}}{M_{\text{gas}}}}$$

แทนค่าจะได้

$$\frac{8.5\ \cancel{\text{min}}}{6.8\ \cancel{\text{min}}} = \sqrt{\frac{28.02\ \text{g/mol}}{M_{\text{gas}}}}$$

$$1.2 = \sqrt{\frac{28.02\ \text{g/mol}}{M_{\text{gas}}}}$$

$$1.4 = \frac{28.02\ \text{g/mol}}{M_{\text{gas}}}$$

$$M_{\text{gas}} = \frac{28.02\ \text{g/mol}}{1.4}$$

$$= 20\ \text{g/mol}$$

คำนวณความหนาแน่นของแก๊สชนิดนี้ที่ STP

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

$$= \frac{20\ \text{g}}{22.4\ \text{L}}$$

$$= 0.89\ \text{g/L}$$

ดังนั้น ที่ STP แก๊สชนิดนี้มีความหนาแน่น 0.89 กรัมต่อลิตร

7.4 การประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับแก๊สและสมบัติของแก๊ส

จุดประสงค์การเรียนรู้

สืบค้นข้อมูล อธิบายปรากฏการณ์ และยกตัวอย่างการนำความรู้เกี่ยวกับแก๊สและสมบัติของแก๊สไปใช้ประโยชน์

แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูให้นักเรียนศึกษาการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับแก๊สและสมบัติของแก๊สในการอธิบายปรากฏการณ์หรือนำมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันหรือในอุตสาหกรรมตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

2. ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 7.6 สืบค้นข้อมูลการใช้ประโยชน์จากความรู้เรื่องแก๊สและสมบัติของแก๊ส และนำเสนอเพื่อแลกเปลี่ยนความรู้ในห้องเรียน

กิจกรรม 7.6 สืบค้นข้อมูลการใช้ประโยชน์จากความรู้เรื่องแก๊สและสมบัติของแก๊ส

จุดประสงค์ของกิจกรรม

สืบค้นข้อมูลและนำเสนอข้อมูลการใช้ประโยชน์จากความรู้เรื่องแก๊สและสมบัติของแก๊ส

เวลาที่ใช้	อภิปรายก่อนทำกิจกรรม	5	นาที
	ทำกิจกรรม	40	นาที
	อภิปรายหลังทำกิจกรรม	5	นาที
	รวม	**50**	**นาที**

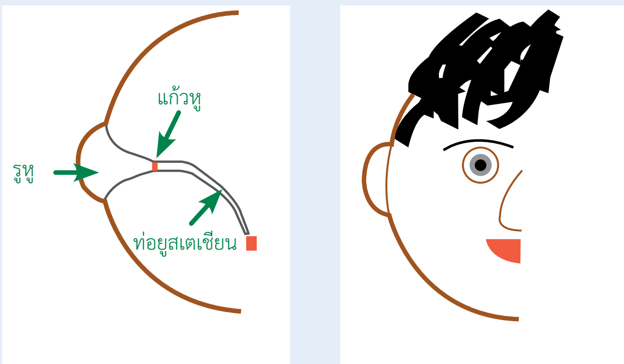
ข้อเสนอแนะสำหรับครู

ครูอาจให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลและเตรียมการนำเสนอล่วงหน้า

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

อาการหูอื้อเมื่อขึ้นไปอยู่บนที่สูง

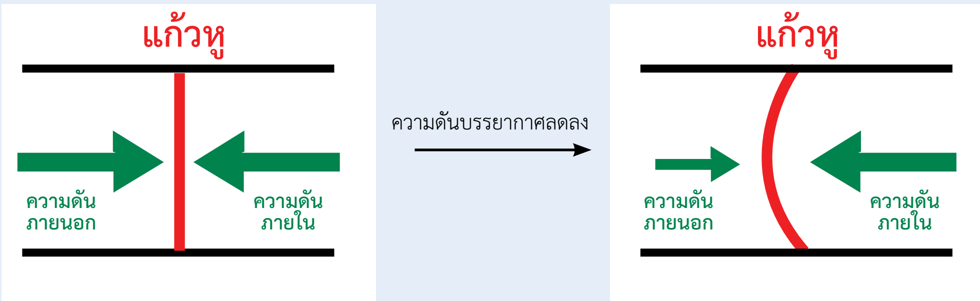
องค์ประกอบของหูที่ใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์นี้มี 3 ส่วนด้วยกัน ดังรูป



องค์ประกอบของหู

องค์ประกอบแรกคือ รูหู (ear canal) เป็นบริเวณเปิดที่เชื่อมต่อกับบรรยากาศภายนอก ดังนั้นความดันในรูหูจะเท่ากับความดันของบรรยากาศภายนอกเสมอ แก้วหู (ear drum) เป็นองค์ประกอบที่กั้นระหว่างรูหูกับท่อยูสเตเชียน และสุดท้ายคือ ท่อยูสเตเชียน (Eustachian tube) เป็นบริเวณตั้งแต่แก้วหูจนถึงลำคอด้านหลัง ปกติส่วนล่างของท่อจะปิดอยู่ แต่สามารถเปิดออกได้

โดยปกติความดันของอากาศภายในรูหูและในท่อยูสเตเชียนจะเท่ากัน ดังนั้นแก้วหูจึงมีลักษณะตั้งตรงเนื่องจากความดันที่กระทำต่อแก้วหูจากทั้งสองฝั่งเท่ากัน แต่เมื่อเดินทางขึ้นที่สูงอย่างรวดเร็ว เช่น ขับรถขึ้นภูเขา ขึ้นลิฟต์ อยู่ในเครื่องบินขณะบินขึ้น ความดันบรรยากาศจะลดลง ทำให้ความดันในรูหูลดลงและต่ำกว่าความดันในท่อยูสเตเชียน จึงทำให้แก้วหูโก่งงอ ซึ่งจะทำให้รู้สึกเจ็บปวด และการสั่นเพื่อส่งสัญญาณเสียงจะไม่สามารถทำได้ตามปกติ จึงทำให้การได้ยินลดลง ซึ่งเรียกว่า อาการหูอื้อ นั่นเอง

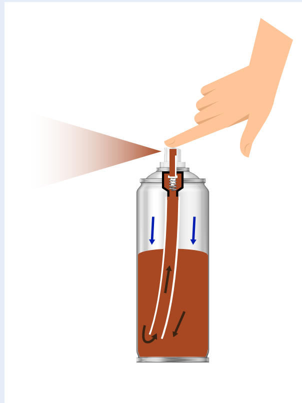


การจำลองการโก่งงอของแก้วหูเมื่อความดันบรรยากาศเปลี่ยนแปลง

ทั้งนี้การหาว การเคี้ยวหมากฝรั่ง หรือการกลืนน้ำลาย จะทำให้ส่วนล่างของท่อยูสเตเชียนเปิดออก ส่งผลให้อากาศภายในท่อถูกระบายออกสู่ภายนอกจนกระทั่งความดันภายในเท่ากับความดันบรรยากาศภายนอก จึงทำให้แก้วหูกลับมาสู่สภาพตรงเหมือนเดิมความเจ็บปวดจึงหายไปและการได้ยินจะกลับมาเป็นปกติ

การพ่นสารออกจากกระป๋องสเปรย์

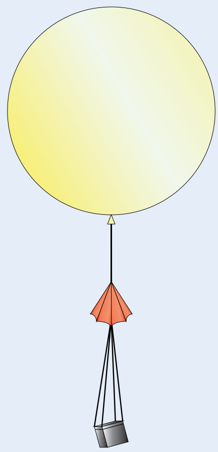
การทำงานของกระป๋องสเปรย์จะใช้หลักการเคลื่อนที่ของแก๊สจากบริเวณที่มีความดันสูงไปยังบริเวณที่มีความดันต่ำกว่า โดยภายในกระป๋องสเปรย์ ประกอบด้วยสาร 2 ชนิด คือ สารที่ต้องการฉีดพ่นและแก๊สที่มีความดันสูงซึ่งทำหน้าที่เป็นสารผลักดัน (propellant) เมื่อกดหัวฉีดของกระป๋องสเปรย์จะทำให้แก๊สซึ่งมีความดันสูงเคลื่อนที่ออกมาสู่ภายนอกพร้อมกับพาสารที่ต้องการฉีดพ่นออกมาด้วย ส่งผลให้ความดันภายในกระป๋องสเปรย์ลดลง จนเมื่อความดันเท่ากับความดันบรรยากาศจึงไม่สามารถฉีดพ่นสารออกมาได้อีก ดังนั้นจึงไม่ควรทิ้งกระป๋องสเปรย์ที่ไม่ใช้แล้วรวมกับขยะชนิดอื่น เพราะอาจถูกนำไปเผาซึ่งจะทำให้แก๊สที่ยังคงเหลืออยู่ขยายตัวและเกิดการระเบิดได้



การพ่นสารของกระป๋องสเปรย์

การตรวจสภาพอากาศชั้นบน

ตั้งแต่หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 นักอุตุนิยมวิทยาใช้บอลลูนในการตรวจสภาพอากาศชั้นบน โดยบรรจุแก๊สฮีเลียมหรือแก๊สไฮโดรเจนลงในบอลลูนจนมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เมตร ซึ่งติดอุปกรณ์วิทยุหยั่งอากาศพร้อมกับร่มชูชีพ เพื่อเก็บข้อมูลอากาศชั้นบน เมื่อปล่อยบอลลูนขึ้นไปความดันบรรยากาศที่ลดลงเรื่อย ๆ ทำให้บอลลูนขยายใหญ่ขึ้นจนถึงความสูงประมาณ 30 กิโลเมตร แก๊สจะขยายตัวมากจนทำให้บอลลูนแตก ร่มชูชีพจะกางออกเพื่อช่วยให้วิทยุหยั่งอากาศตกลงบนพื้นโดยไม่ได้รับความเสียหาย จากนั้นนักอุตุนิยมวิทยาจะเก็บวิทยุหยั่งอากาศและนำข้อมูลไปแปลผลต่อไป



บอลลูนตรวจสภาพอากาศ

3. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ

ตรวจสอบความเข้าใจ

จับคู่ความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับกฎของแก๊สให้ถูกต้อง

ความดันภายในยางรถยนต์
หลังวิ่งจะสูงกว่าปกติ

อาการหูอื้อ
เมื่อขึ้นบนที่สูง

บอลลูนตรวจสภาพอากาศ
ขยายตัวเมื่อลอยสูงขึ้น

ถุงขนมพองตัว
เมื่ออยู่บนภูเขา

โคมลอยพองตัว
เมื่อจุดไฟ

ลูกโป่งมีขนาดใหญ่ขึ้น
เมื่อสูบลมเข้าไป

กฎของบอยล์ ($V \alpha \frac{1}{P}$)

กฎของชาร์ล ($V \alpha T$)

กฎของเกย์ - ลูสแซก ($P \alpha T$)

กฎของอาโวกาโดร ($V \alpha n$)

4. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปเนื้อหาภายในบทเรียน แล้วให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดท้ายบท

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับปรากฏการณ์และตัวอย่างการนำความรู้เกี่ยวกับแก๊สและสมบัติของแก๊สไปใช้ประโยชน์ จากรายงานการสืบค้น และการนำเสนอ

2. ทักษะการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากรายงานการสืบค้น และการนำเสนอ

3. ทักษะความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการนำเสนอ

4. จิตวิทยาศาสตร์ด้านการเห็นคุณค่าทางวิทยาศาสตร์ จากการสังเกตพฤติกรรมในการนำเสนอ

แบบฝึกหัด | เฉลยแบบฝึกหัด | แบบทดสอบ | เฉลยแบบทดสอบ

แบบฝึกหัดท้ายบท

1. เติมเครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ถูกต้อง และเครื่องหมาย ✗ หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง

...✓... 1.1 เมื่อลดความดันของแก๊สลงครึ่งหนึ่ง ปริมาตรจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ที่อุณหภูมิและจำนวนโมลคงที่

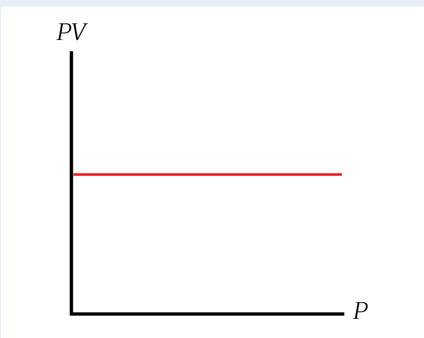
...✓... 1.2 ผลต่างของอุณหภูมิในหน่วยเคลวินเท่ากับผลต่างของอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียสเสมอ

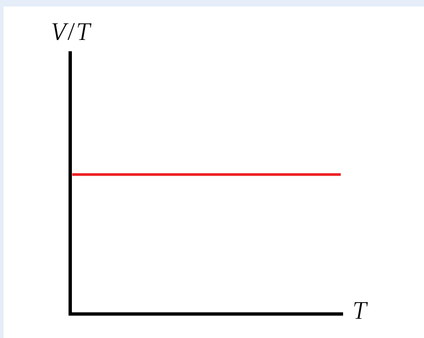
...✗... 1.3 เมื่อนำลูกปิงปองที่บุบไปแช่ในตู้เย็น ลูกปิงปองจะพองกลับขึ้นมาเหมือนเดิม
ลูกปิงปองที่บุบต้องนำไปแช่ในน้ำร้อน ลูกปิงปองจึงจะพองขึ้นมาเหมือนเดิม

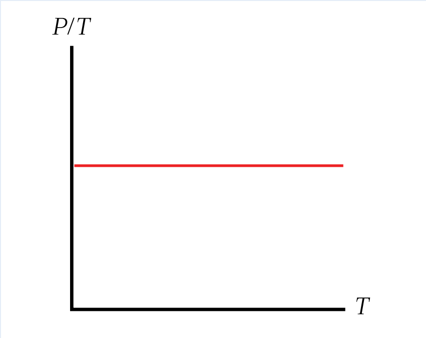
...✓... 1.4 เมื่อหายใจเข้า ปริมาตรของทรวงอกจะเพิ่มขึ้นเพราะจำนวนโมเลกุลของอากาศภายในปอดเพิ่มขึ้น

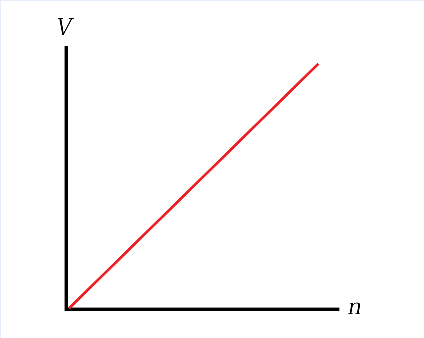
...✓... 1.5 เมื่อ P เป็นความดันของแก๊สในภาชนะปิดที่มีปริมาตรคงที่ และ x เป็นอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส จะได้ $\frac{P}{(x + 273)}$ เป็นค่าคงที่

2. เขียนเส้นกราฟลงในแกนที่กำหนดเพื่อแสดงความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล กฎของเกย์-ลูสแซก และกฎของอาโวกาโดร (P คือ ความดัน V คือ ปริมาตร T คือ อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน และ n คือ จำนวนโมล)









3. จากปฏิกิริยา $Mg(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$

ถ้าใส่โลหะแมกนีเซียม (Mg) 5.83 กรัม และสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 12 โมลต่อลิตร ปริมาตร 10.0 มิลลิลิตร ในภาชนะปิดขนาด 5.0 ลิตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นสมบูรณ์ ความดันรวมภายในภาชนะนี้เป็นเท่าใด กำหนดให้ ของแข็งและของเหลวมีปริมาตรน้อยมากจนไม่รบกวนปริมาตรของแก๊สในภาชนะ และความดันของอากาศภายในภาชนะเริ่มต้นเท่ากับ 1.0 บรรยากาศ

คำนวณจำนวนโมลของสารตั้งต้น และพิจารณาสารกำหนดปริมาณ

จำนวนโมลของ Mg $= 5.83\ \cancel{g} \times \dfrac{1\ mol}{24.30\ \cancel{g}} = 0.240\ mol$

จำนวนโมลของ HCl $= \dfrac{12\ mol}{1000\ \cancel{mL}} \times 10.0\ \cancel{mL} = 0.12\ mol$

ดังนั้น สารละลายกรด HCl เป็นสารกำหนดปริมาณ

คำนวณจำนวนโมลของ H_2 ที่เกิดขึ้น

จำนวนโมล H_2 $= 0.12\ \cancel{mol\ HCl} \times \dfrac{1\ mol\ H_2}{2\ \cancel{mol\ HCl}} = 0.060\ mol\ H_2$

คำนวณความดันที่เกิดจาก H_2

จาก $PV = nRT$

$$P_{H_2} = \frac{n_{H_2}RT}{V}$$

$$= \frac{(0.060\ \cancel{mol})(0.0821\ \cancel{L}\cdot atm/\cancel{mol}\cdot \cancel{K})(25 + 273\ \cancel{K})}{5.0\ \cancel{L}}$$

$$= 0.29\ atm$$

คำนวณความดันรวมภายในภาชนะ

จาก $P_{total} = P_{air} + P_{H_2}$

แทนค่าจะได้

$$P_{total} = 1.0\ atm + 0.29\ atm$$

$$= 1.3\ atm$$

ดังนั้น ภายในภาชนะมีความดัน 1.3 บรรยากาศ

4. ภาชนะใบหนึ่งบรรจุอากาศ 1.0 ลิตร ความดัน 1.00 บรรยากาศ เมื่อเติมไอร์ออน (II) ไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_2$) และน้ำ ลงในภาชนะ จะทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจน (O_2) ในอากาศ ดังสมการเคมี

$$2Fe(OH)_2(s) + O_2(g) + H_2O(l) \longrightarrow 2Fe(OH)_3(s)$$

เมื่อตั้งไว้จนแก๊สออกซิเจนในภาชนะทำปฏิกิริยาจนหมด ความดันภายในภาชนะเป็นเท่าใด กำหนดให้อากาศในภาชนะมีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 21 โดยปริมาตร และปริมาตรของแข็งและของเหลวน้อยมากจนไม่รบกวนปริมาตรของแก๊สในภาชนะ

คำนวณความดันของ O_2 ในอากาศ

จาก $P_i = X_i P_{total}$

ดังนั้น $P_{O_2} = \frac{n_{O_2}}{n_{air}} P_{air}$

จากกฎของอาโวกาโดร จำนวนโมลและปริมาตรของแก๊สมีความสัมพันธ์กันที่อุณหภูมิและความดันคงที่ ดังนั้นสามารถใช้ร้อยละโดยปริมาตรในการคำนวณเศษส่วนโมลของแก๊สได้

ดังนั้น $P_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_{air}} P_{air}$

แทนค่าจะได้

$$P_{O_2} = \frac{21}{100}(1.00\ \text{atm})$$

$$= 0.21\ \text{atm}$$

คำนวณความดันภายในภาชนะหลัง O_2 ทำปฏิกิริยาหมด

จาก $P_{air} = P_{O_2} + P_{ภายในภาชนะ}$

แทนค่าจะได้ $1.00\ \text{atm} = 0.21\ \text{atm} + P_{ภายในภาชนะ}$

$$P_{ภายในภาชนะ} = 1.00\ \text{atm} - 0.21\ \text{atm}$$

$$= 0.79\ \text{atm}$$

ดังนั้น ภายในภาชนะมีความดัน 0.79 บรรยากาศ

5. ภาชนะใบหนึ่งมีปริมาตร 1.0 ลิตร บรรจุแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ความดัน 1.50 บรรยากาศและอุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส เมื่อเติมสารละลายของลิเทียมไฮดรอกไซด์ (LiOH) ปริมาตรน้อยมากพบว่ามีลิเทียมคาร์บอเนต (Li_2CO_3) เกิดขึ้น 3.0 กรัม เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์บางส่วนทำปฏิกิริยากับลิเทียมไฮดรอกไซด์ ดังสมการเคมี

$$CO_2(g) + 2LiOH(aq) \longrightarrow Li_2CO_3(aq) + H_2O(l)$$

ถ้าอุณหภูมิคงที่ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลือมีความดันเท่าใด

คำนวณจำนวนโมล CO_2 ที่เหลือ

จำนวนโมล CO_2 เริ่มต้น

จาก $PV = nRT$

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

$$= \frac{(1.50\ \cancel{\text{atm}})(1.0\ \cancel{\text{L}})}{(0.0821\ \cancel{\text{L}}\cdot\cancel{\text{atm}}/\text{mol}\cdot\cancel{\text{K}})(32 + 273\ \cancel{\text{K}})}$$

$$= 0.060\ \text{mol}$$

จำนวนโมล CO_2 ที่ทำปฏิกิริยาได้ Li_2CO_3 3.0 g

$$\text{จำนวนโมล } CO_2 = 3.0\ \cancel{g\ Li_2CO_3} \times \frac{1\ \cancel{mol\ Li_2CO_3}}{73.89\ \cancel{g\ Li_2CO_3}} \times \frac{1\ mol\ CO_2}{1\ \cancel{mol\ Li_2CO_3}}$$

$$= 0.041\ mol\ CO_2$$

ดังนั้น จำนวนโมล CO_2 ที่เหลือ = 0.060 mol – 0.041 mol = 0.019 mol

คำนวณความดันของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลือ

จาก $PV = nRT$

ดังนั้น $P = \frac{nRT}{V}$

$$= \frac{(0.019\ \cancel{mol})(0.0821\ \cancel{L}\cdot atm/\cancel{mol}\cdot \cancel{K})(32 + 273\ \cancel{K})}{(1.0\ \cancel{L})}$$

$$= 0.48\ atm$$

ดังนั้น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลือมีความดัน 0.48 บรรยากาศ

6. ปอดของคนมีความจุประมาณ 4.8 ลิตร ที่อุณหภูมิของร่างกาย 37 องศาเซลเซียสและความดันภายในปอด 1.0 บรรยากาศ ปอดจะมีอากาศบรรจุอยู่กี่กรัม กำหนดให้ อากาศมีแก๊สออกซิเจนร้อยละ 21 โดยปริมาตร และที่เหลือเป็นแก๊สไนโตรเจน

คำนวณมวลต่อโมลของอากาศ

$$M_{air} = (M_{O_2} \times \frac{21}{100}) + (M_{N_2} \times \frac{79}{100})$$

$$= (32.00\ g/mol \times \frac{21}{100}) + (28.02\ g/mol \times \frac{79}{100})$$

$$= 28.86\ g/mol$$

คำนวณมวลของอากาศภายในปอด

จาก $PV = nRT$

$$PV = \frac{m}{M}RT$$

$$m = \frac{MPV}{RT}$$

$$= \frac{(28.86\ \text{g}/\cancel{\text{mol}})(1.0\ \cancel{\text{atm}})(4.8\ \cancel{\text{L}})}{(0.0821\ \cancel{\text{L}} \cdot \cancel{\text{atm}}/\cancel{\text{mol}} \cdot \cancel{\text{K}})(37 + 273\ \cancel{\text{K}})}$$

$$= 5.4\ \text{g}$$

ดังนั้น ภายในปอดมีอากาศบรรจุอยู่ 5.4 กรัม

7. ในการถลุงทองแดงจากแร่คาลโคไพไรต์ ($CuFeS_2$) มีปฏิกิริยาเกิดขึ้นหลายขั้นตอนดังนี้

$$2CuFeS_2(s) + 4O_2(g) \longrightarrow Cu_2S(s) + 2FeO(s) + 3SO_2(g) \quad \text{............(1)}$$

$$2Cu_2S(s) + 3O_2(g) \longrightarrow 2Cu_2O(s) + 2SO_2(g) \quad \text{............(2)}$$

$$2Cu_2O(s) + Cu_2S(s) \longrightarrow 6Cu(s) + SO_2(g) \quad \text{............(3)}$$

ซึ่งปฏิกิริยารวมเป็นดังสมการเคมี

$$2CuFeS_2(s) + 5O_2(g) \longrightarrow 2Cu(s) + 2FeO(s) + 4SO_2(g)$$

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

พิจารณาสารกำหนดปริมาณจากสมการเคมีของปฏิกิริยารวม

จำนวนโมล $CuFeS_2$

$$n_{CuFeS_2} = \frac{m_{CuFeS_2}}{M_{CuFeS_2}} = \frac{1.00\ \cancel{kg}}{183.52\ \cancel{g}/mol} \times \frac{1000\ \cancel{g}}{1\ \cancel{kg}} = 5.45\ mol$$

จำนวนโมล O_2

$$n_{O_2} = \frac{m_{O_2}}{M_{O_2}} = \frac{448.0\ \cancel{g}}{32.00\ \cancel{g}/mol} = 14.00\ mol$$

ดังนั้น $CuFeS_2$ เป็นสารกำหนดปริมาณ

คำนวณจำนวนโมลรวมของแก๊สในภาชนะ

$$n_{รวม} = n_{O_2\,ที่เหลือ} + n_{SO_2\,ที่เกิดขึ้น}$$

$$= (n_{O_2\,เริ่มต้น} - (n_{CuFeS_2} \times \frac{5\ mol\ O_2}{2\ mol\ CuFeS_2})) + (n_{CuFeS_2} \times \frac{4\ mol\ SO_2}{2\ mol\ CuFeS_2})$$

$$= (14.00\ mol\ O_2 - (5.45\ \cancel{mol\ CuFeS_2} \times \frac{5\ mol\ O_2}{2\ \cancel{mol\ CuFeS_2}})$$

$$+ (5.45\ \cancel{mol\ CuFeS_2} \times \frac{4\ mol\ SO_2}{2\ \cancel{mol\ CuFeS_2}})$$

$$= 0.4\ mol\ O_2 + 10.9\ mol\ SO_2$$

$$= 11.3\ mol$$

คำนวณความดันรวมของแก๊สผสม

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

$$= \frac{(11.3\ \cancel{mol})(0.0821\ \cancel{L}\cdot atm/\cancel{mol}\cdot\cancel{K})(2000 + 273\ \cancel{K})}{10.0\ \cancel{L}}$$

$$= 211\ atm$$

ดังนั้น ภาชนะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาต้องทนแรงดันของแก๊สได้อย่างน้อย 211 บรรยากาศ

8. แก๊สไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่งมีสูตรอย่างง่ายคือ CH_2 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดัน 293.5 บรรยากาศ มีความหนาแน่น 0.505 กรัมต่อมิลลิลิตร จงหาสูตรโมเลกุลของแก๊สไฮโดรคาร์บอนชนิดนี้

คำนวณมวลโมเลกุลของแก๊สจากมวลต่อโมลของแก๊ส

จาก $M = \dfrac{dRT}{P}$

แทนค่าจะได้

$$M = \frac{\left(\dfrac{0.505\ \text{g}}{1\ \cancel{\text{mL}}} \times \dfrac{1000\ \cancel{\text{mL}}}{1\ \cancel{\text{L}}}\right)(0.0821\ \cancel{\text{L}} \cdot \cancel{\text{atm}}/\text{mol} \cdot \cancel{\text{K}})(25 + 273\ \cancel{\text{K}})}{293.5\ \cancel{\text{atm}}}$$

$$= 42.1\ \text{g/mol}$$

มวลโมเลกุลของแก๊สมีค่าเป็นตัวเลขเท่ากับมวลต่อโมลของแก๊ส

ดังนั้น แก๊สมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 42.1

หาสูตรโมเลกุล

จาก มวลโมเลกุล = n (มวลสูตรเอมพิริคัล)

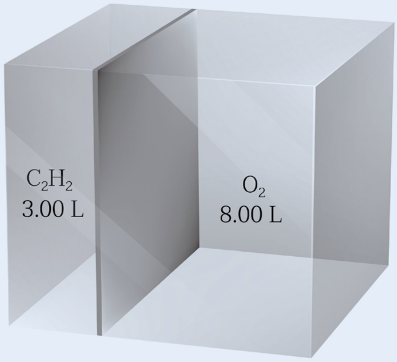
แทนค่าจะได้ $42.1 = n\,(12.01 + (1.01 \times 2))$

$$n = \frac{42.1}{14.03}$$

$$= 3$$

ดังนั้น สูตรโมเลกุลของแก๊สนี้คือ C_3H_6

9. แก๊สอะเซทิลีน (C_2H_2) และแก๊สออกซิเจน (O_2) บรรจุในภาชนะที่มีผนังกั้นดังรูป โดยแก๊สแต่ละชนิดมีความดัน 24.5 บรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



9.1 ถ้าแก๊สทั้งสองชนิดไม่ทำปฏิกิริยากัน เมื่อเปิดผนังกั้น ความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิดและความดันรวมของแก๊สผสมเป็นเท่าใด

ปริมาตรของแก๊สหลังเปิดผนังกั้น = 3.00 L + 8.00 L = 11.00 L

คำนวณความดันของแก๊สแต่ละชนิด จากกฎของบอยล์

จาก $$P_1V_1 = P_2V_2$$

ความดันของแก๊สอะเซทิลีน

$$24.5 \text{ atm} \times 3.00 \text{ L} = P_2 \times 11.00 \text{ L}$$

$$P_2 = 6.68 \text{ atm}$$

ความดันของแก๊สออกซิเจน

$$24.5 \text{ atm} \times 8.00 \text{ L} = P_2 \times 11.00 \text{ L}$$

$$P_2 = 17.8 \text{ atm}$$

คำนวณความดันรวมภายในภาชนะ

จาก $$P_{total} = P_{C_2H_2} + P_{O_2}$$

แทนค่าจะได้

$$P_{total} = 6.68 \text{ atm} + 17.8 \text{ atm}$$

$$= 24.5 \text{ atm}$$

(สังเกตว่า ความดันรวมของแก๊สผสมเท่ากับความดันเริ่มต้น เนื่องจากแก๊สแต่ละชนิดมีความดันเริ่มต้นเท่ากัน)

9.2 ถ้าแก๊สทั้งสองชนิดทำปฏิกิริยากันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ดังสมการเคมี

$$2C_2H_2(g) + 5O_2(g) \longrightarrow 4CO_2(g) + 2H_2O(g)$$

เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุด ความดันรวมของแก๊สผสมและความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิดที่เหลืออยู่ภายในถังเป็นเท่าใด

คำนวนจำนวนโมลของแก๊สแต่ละชนิด

จาก $PV = nRT$

ดังนั้น $n = \frac{PV}{RT}$

$$n_{C_2H_2} = \frac{P_{C_2H_2}V_{C_2H_2}}{RT} = \frac{(24.5 \cancel{\text{atm}})(3.00 \cancel{\text{L}})}{(0.0821 \cancel{\text{L}} \bullet \cancel{\text{atm}}/\text{mol} \bullet \cancel{\text{K}})(25 + 273 \cancel{\text{K}})} = 3.00 \text{ mol}$$

$$n_{O_2} = \frac{P_{O_2}V_{O_2}}{RT} = \frac{(24.5 \cancel{\text{atm}})(8.00 \cancel{\text{L}})}{(0.0821 \cancel{\text{L}} \bullet \cancel{\text{atm}}/\text{mol} \bullet \cancel{\text{K}})(25 + 273 \cancel{\text{K}})} = 8.01 \text{ mol}$$

พิจารณาสารกำหนดปริมาณ

คำนวณจำนวนโมลของ O_2 ที่ใช้ทำปฏิกิริยาพอดีกับ C_2H_2 3.00 โมล

$$n_{O_2} = n_{C_2H_2} \times \frac{5 \text{ mol } O_2}{2 \text{ mol } C_2H_2}$$

$$= 3.00 \cancel{\text{mol } C_2H_2} \times \frac{5 \text{ mol } O_2}{2 \cancel{\text{mol } C_2H_2}}$$

$$= 7.50 \text{ mol } O_2$$

เนื่องจากมี O_2 = 8.01 mol ดังนั้น C_2H_2 เป็นสารกำหนดปริมาณ

คำนวณจำนวนโมลรวมของแก๊สในภาชนะ

$$\begin{aligned}
n_{\text{รวม}} &= n_{O_2\,\text{ที่เหลือ}} + n_{CO_2\,\text{ที่เกิดขึ้น}} + n_{H_2O\,\text{ที่เกิดขึ้น}} \\
&= (n_{O_2\text{เริ่มต้น}} - n_{O_2\text{ทำปฏิกิริยา}}) + \left(n_{C_2H_2} \times \frac{4\text{ mol }CO_2}{2\text{ mol }C_2H_2}\right) + \left(n_{C_2H_2} \times \frac{2\text{ mol }H_2O}{2\text{ mol }C_2H_2}\right) \\
&= (8.01\text{ mol }O_2 - 7.50\text{ mol }O_2) + \left(3.00\ \cancel{\text{mol }C_2H_2} \times \frac{4\text{ mol }CO_2}{2\ \cancel{\text{mol }C_2H_2}}\right) + \\
&\quad \left(3.00\ \cancel{\text{mol }C_2H_2} \times \frac{2\text{ mol }H_2O}{2\ \cancel{\text{mol }C_2H_2}}\right) \\
&= 0.51\text{ mol }O_2 + 6.00\text{ mol }CO_2 + 3.00\text{ mol }H_2O \\
&= 9.51\text{ mol}
\end{aligned}$$

คำนวณความดันรวมของแก๊สผสม

$$\begin{aligned}
P_{\text{total}} &= \frac{n_{\text{total}}RT}{V} \\
&= \frac{(9.51\ \cancel{\text{mol}})(0.0821\ \cancel{\text{L}}\cdot\text{atm}/\cancel{\text{mol}}\cdot\cancel{\text{K}})(300 + 273\ \cancel{\text{K}})}{11.00\ \cancel{\text{L}}} \\
&= 40.7\text{ atm}
\end{aligned}$$

คำนวณความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิด

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

คำนวณความดันย่อยของ O_2

$$\begin{aligned}
P_{O_2} &= X_{O_2} P_{\text{total}} \\
&= \frac{n_{O_2}}{n_{\text{total}}} P_{\text{total}} \\
&= \frac{0.51}{9.51} \times 40.7\text{ atm} \\
&= 2.2\text{ atm}
\end{aligned}$$

คำนวณความดันย่อยของ CO_2

$$P_{CO_2} = \frac{n_{CO_2}}{n_{total}} P_{total}$$

$$= \frac{6.00}{9.51} \times 40.7 \text{ atm}$$

$$= 25.7 \text{ atm}$$

คำนวณความดันย่อยของ H_2O

$$P_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{n_{total}} P_{total}$$

$$= \frac{3.00}{9.51} \times 40.7 \text{ atm}$$

$$= 12.8 \text{ atm}$$

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

คำนวณมวลต่อโมลของแก๊สผสม

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

ดังนั้น
$$\frac{r_{He}}{r_{แก๊สผสม}} = \sqrt{\frac{M_{แก๊สผสม}}{M_{He}}}$$

แทนค่าจะได้

$$\frac{29.7\cancel{\text{L}}/2.00\cancel{\text{min}}}{10.0\cancel{\text{L}}/2.00\cancel{\text{min}}} = \sqrt{\frac{M_{แก๊สผสม}}{4.00}}$$

$$2.97 = \sqrt{\frac{M_{แก๊สผสม}}{4.00}}$$

$$8.82 = \frac{M_{แก๊สผสม}}{4.00}$$

$$M_{แก๊สผสม} = 35.3 \text{ g/mol}$$

คำนวณร้อยละโดยปริมาตรของ CO และ CO_2 ในแก๊สผสม

ร้อยละโดยปริมาตรของ CO_2 ในแก๊สผสม = x

ร้อยละโดยปริมาตรของ CO ในแก๊สผสม $= 100 - x$

มวลต่อโมลของ $CO_2 = (12.01 \times 1) + (16.00 \times 2) = 44.01$ g/mol

มวลต่อโมลของ CO $= (12.01 \times 1) + (16.00 \times 1) = 28.01$ g/mol

จากกฎของอาโวกาโดร ร้อยละโดยปริมาตรมีค่าเท่ากับร้อยละโดยโมลของแก๊สที่อุณหภูมิและความดันคงที่

ดังนั้น $$M_{\text{แก๊สผสม}} = \frac{(\%\text{v/vCO}_2 \text{ ในแก๊สผสม})(M_{CO_2}) + (\%\text{v/vCO ในแก๊สผสม})(M_{CO})}{100}$$

แทนค่าจะได้

$$35.3 \text{ g/mol} = \frac{(x)(44.01 \text{ g/mol}) + (100 - x)(28.01 \text{ g/mol})}{100}$$

$$3530 \text{ g/mol} = 44.01x \text{ g/mol} - 28.01x \text{ g/mol}$$

$$16.00x \text{ g/mol} = 729 \text{ g/mol}$$

$$x = 45.6$$

ดังนั้น ร้อยละโดยปริมาตรของคาร์บอนไดออกไซด์ในแก๊สผสมเท่ากับ 45.6 และร้อยละโดยปริมาตรของคาร์บอนมอนอกไซด์ในแก๊สผสมเท่ากับ 54.4

บทที่ 8

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

ipst.me/8827

ผลการเรียนรู้

1. ทดลอง และเขียนกราฟการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสารที่ทำการวัดในปฏิกิริยา
2. คำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และเขียนกราฟการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของสารที่ไม่ได้วัดในปฏิกิริยา
3. เขียนแผนภาพและอธิบายทิศทางการชนกันของอนุภาคและพลังงานที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
4. ทดลองและอธิบายผลของความเข้มข้น พื้นที่ผิวของสารตั้งต้น อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
5. เปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น พื้นที่ผิวของสารตั้งต้น อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยา
6. ยกตัวอย่างและอธิบายปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในชีวิตประจำวันหรืออุตสาหกรรม

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้

1. ทดลอง และเขียนกราฟการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสารที่ทำการวัดในปฏิกิริยา

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. บอกความหมายและคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร
2. ทำการทดลอง เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารกับเวลา และแปลความหมายจากกราฟ

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การสังเกต 2. การวัด 3. การใช้จำนวน 4. การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล 5. การทดลอง	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ 2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. ความซื่อสัตย์ 3. ความรอบคอบ 4. การใช้วิจารณญาณ 5. ความใจกว้าง 6. ความเชื่อมั่นต่อหลักฐาน

ผลการเรียนรู้

2. คำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และเขียนกราฟการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของสารที่ไม่ได้วัดในปฏิกิริยา

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. บอกความหมายและคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
2. เขียนกราฟการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของสารที่ไม่ได้วัดในปฏิกิริยา

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การใช้จำนวน 2. การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล	-	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. ความรอบคอบ 3. การใช้วิจารณญาณ

ผลการเรียนรู้

3. เขียนแผนภาพและอธิบายทิศทางการชนกันของอนุภาคและพลังงานที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายแนวคิดเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีโดยใช้ทฤษฎีการชนและทฤษฎีสถานะแทรนซิชัน

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
-	-	-

ผลการเรียนรู้

4. ทดลองและอธิบายผลของความเข้มข้น พื้นที่ผิวของสารตั้งต้น อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ทำการทดลอง และอธิบายผลของความเข้มข้นของสาร พื้นที่ผิวของสาร อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การสังเกต 2. การวัด 3. การทดลอง	1. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. ความซื่อสัตย์ 3. ความรอบคอบ 4. การใช้วิจารณญาณ 5. ความใจกว้าง 6. ความเชื่อมั่นต่อหลักฐาน

ผลการเรียนรู้

5. เปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น พื้นที่ผิวของสารตั้งต้น อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยา

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. เปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
-	-	1. ความรอบคอบ 2. การใช้วิจารณญาณ

ผลการเรียนรู้

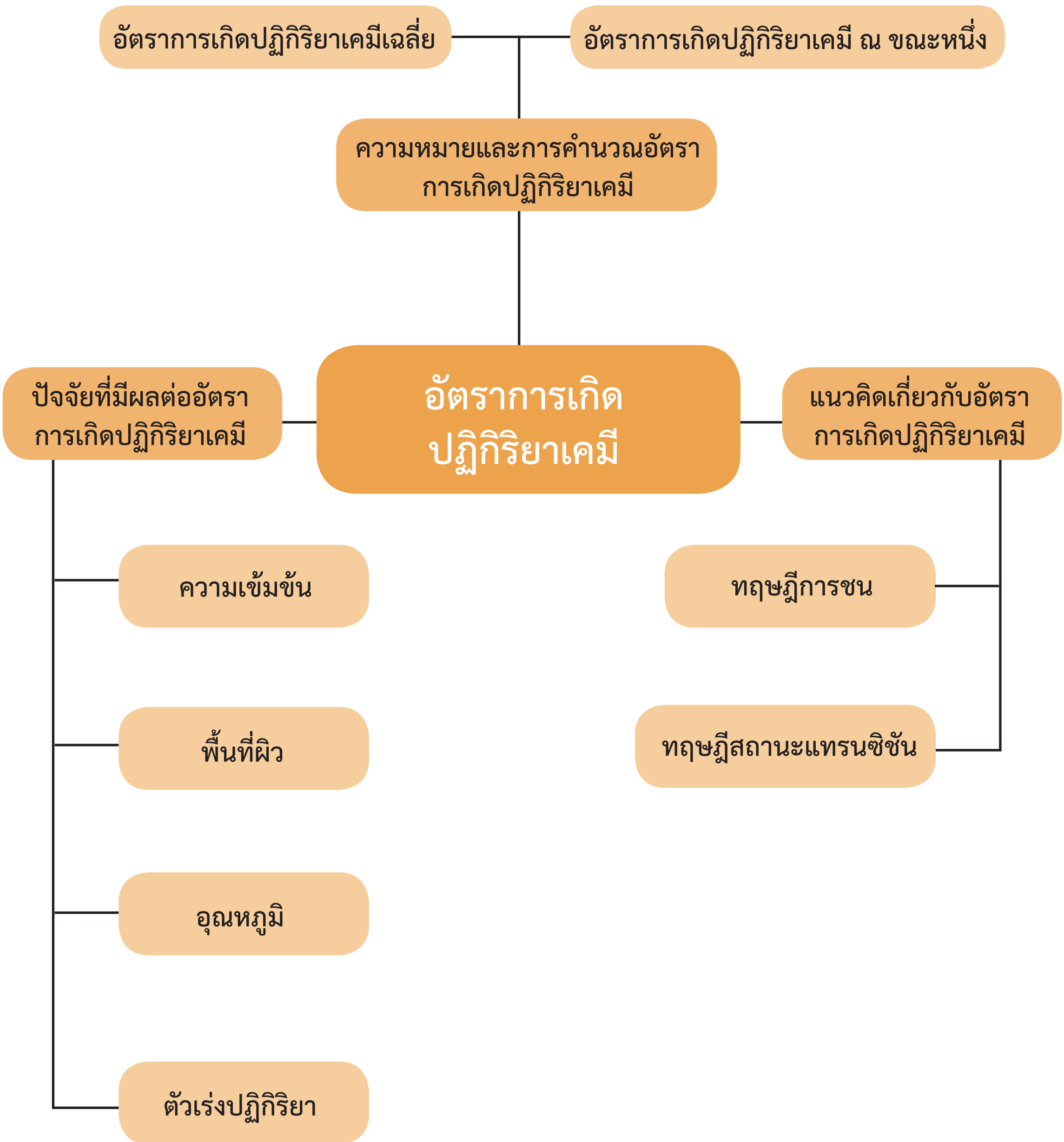
6. ยกตัวอย่างและอธิบายปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในชีวิตประจำวันหรืออุตสาหกรรม

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันหรืออุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
-	1. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ 2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	1. การเห็นคุณค่าทางวิทยาศาสตร์

ผังมโนทัศน์
บทที่ 8 อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี



สาระสำคัญ

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งวัดจากการลดลงของสารตั้งต้นหรือการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์ในหน่วยโมลหรือโมลาร์ต่อหนึ่งหน่วยเวลา หารด้วยเลขสัมประสิทธิ์ของสารนั้นในสมการเคมี ซึ่งอาจวัดเป็นอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเฉลี่ยหรืออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ณ ขณะหนึ่ง

ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นได้เมื่ออนุภาคของสารตั้งต้นชนกันในทิศทางที่เหมาะสมและมีพลังงานจลน์ของอนุภาคที่ชนมากพอตามทฤษฎีการชน เมื่ออนุภาคของสารตั้งต้นชนกันจะมีพลังงานศักย์สูงขึ้นจนถึงสถานะแทรนซิชันตามทฤษฎีสถานะแทรนซิชัน ซึ่งพลังงานก่อกัมมันต์เปรียบเทียบได้จากผลต่างของพลังงานศักย์ที่สถานะแทรนซิชันกับสถานะเริ่มต้น

ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีหนึ่ง ๆ คือ ความเข้มข้น พื้นที่ผิว อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยา ความรู้เกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรมต่าง ๆ

เวลาที่ใช้

บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ	**18 ชั่วโมง**
8.1 ความหมายและการคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี	7 ชั่วโมง
8.2 แนวคิดเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี	3 ชั่วโมง
8.3 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี	8 ชั่วโมง

ความรู้ก่อนเรียน

การดุลสมการเคมี ปริมาณสัมพันธ์ในปฏิกิริยาเคมี ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

1. ดุลสมการเคมีต่อไปนี้ให้ถูกต้อง
   1.1 $CH_4(g) + O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + H_2O(l)$
   $CH_4(g) + 2O_2(g) \longrightarrow CO_2(g) + 2H_2O(l)$
   1.2 $NO_2(g) \longrightarrow NO(g) + O_2(g)$
   $2NO_2(g) \longrightarrow 2NO(g) + O_2(g)$
   1.3 $NO(g) + NO_3(g) \longrightarrow NO_2(g)$
   $NO(g) + NO_3(g) \longrightarrow 2NO_2(g)$
   1.4 $HCl(aq) + CaCO_3(s) \longrightarrow CaCl_2(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$
   $2HCl(aq) + CaCO_3(s) \longrightarrow CaCl_2(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$
2. จากสมการเคมี $Pb(NO_3)_2(aq) + 2KI(aq) \longrightarrow PbI_2(s) + 2KNO_3(aq)$ จงตอบคำถามต่อไปนี้
   2.1 เมื่อผสม $Pb(NO_3)_2$ กับ KI จะสังเกตได้อย่างไรว่ามีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น
   สังเกตได้จากมีตะกอน PbI_2 เกิดขึ้น
   2.2 ในขณะที่มี PbI_2 เกิดขึ้น 4.61 กรัม ปริมาณ KI จะลดลงกี่โมล
   $$\text{ปริมาณ KI ที่ลดลง} = 4.61 \text{ g } PbI_2 \times \frac{1 \text{ mol } PbI_2}{461.00 \text{ g } PbI_2} \times \frac{2 \text{ mol KI}}{1 \text{ mol } PbI_2}$$
   $$= 2.00 \times 10^{-2} \text{ mol KI}$$
   ดังนั้น KI จะลดลง 2.00×10^{-2} โมล
   2.3 จากข้อ 2.2 ถ้าเริ่มต้นปฏิกิริยา KI มีความเข้มข้น 1.00 โมลต่อลิตร ในสารละลายผสมปริมาตร 100 มิลลิลิตร ความเข้มข้นของ KI ที่เหลือเป็นเท่าใด
   $$\text{ปริมาณ KI เริ่มต้น} = \frac{1.00 \text{ mol KI}}{1000 \text{ mL sol}^{n}} \times 100 \text{ mL sol}^{n}$$
   $$= 1.00 \times 10^{-1} \text{ mol KI}$$
   $$\text{ปริมาณ KI ที่เหลือ} = 1.00 \times 10^{-1} \text{ mol} - 2.00 \times 10^{-2} \text{ mol}$$
   $$= 8.00 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

ความเข้มข้นของ KI ที่เหลือ $= \dfrac{8.00 \times 10^{-2}\ \text{mol KI}}{100\ \text{mL sol}^{\text{n}}} \times \dfrac{1000\ \text{mL sol}^{\text{n}}}{1\ \text{L sol}^{\text{n}}}$

$= 8.00 \times 10^{-3}\ \text{mol KI/L sol}^{\text{n}}$

ดังนั้น ความเข้มข้นของ KI ที่เหลือเป็น 8.00×10^{-3} โมลาร์

3. ใส่เครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ถูกต้องและใส่เครื่องหมาย ✗ หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง

...✗... 3.1 แก๊สประกอบด้วยอนุภาคจำนวนมาก ดังนั้นผลรวมปริมาตรของอนุภาคแก๊สเท่ากับปริมาตรของภาชนะที่บรรจุ
แก๊สประกอบด้วยอนุภาคจำนวนมาก แต่ผลรวมปริมาตรของอนุภาคแก๊สมีค่าน้อยมากและไม่เท่ากับปริมาตรของภาชนะที่บรรจุ

...✓... 3.2 อนุภาคแก๊สอยู่ห่างกันมาก จนถือว่าไม่มีแรงกระทำต่อกัน

...✓... 3.3 อนุภาคแก๊สที่เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วไม่เท่ากันจึงมีพลังงานจลน์ไม่เท่ากัน

...✗... 3.4 เมื่ออนุภาคแก๊สชนกันจะไม่มีการถ่ายเทพลังงานให้แก่กัน
เมื่ออนุภาคแก๊สชนกันจะถ่ายเทพลังงานให้แก่กัน โดยพลังงานจลน์รวมของระบบคงที่

...✓... 3.5 ที่อุณหภูมิเดียวกัน แก๊สแต่ละชนิดมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากัน

8.1 ความหมายและการคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. บอกความหมายและคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร
2. ทำการทดลอง เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารกับเวลา และแปลความหมายจากกราฟ
3. บอกความหมายและคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
4. เขียนกราฟการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของสารที่ไม่ได้วัดในปฏิกิริยา

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	ความเข้าใจที่ถูกต้อง
อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเฉลี่ย คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดปฏิกิริยาเท่านั้น	อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเฉลี่ย คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารในช่วงเวลาใด ๆ ที่กำหนด รวมถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดปฏิกิริยาด้วย

สื่อการเรียนรู้และแหล่งการเรียนรู้

1. รูปหรือตัวอย่างปฏิกิริยาเคมีที่เกิดได้เร็วและช้าที่พบในธรรมชาติหรือในชีวิตประจำวัน

แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูกระตุ้นความสนใจของนักเรียนโดยแสดงรูปหรือตัวอย่างปฏิกิริยาเคมีที่เกิดได้เร็วและช้าที่พบในธรรมชาติหรือในชีวิตประจำวัน เช่น การเกิดสนิมเหล็ก การเน่าเสียของอาหาร การเผาไหม้เชื้อเพลิง การเกิดแก๊สในถุงลมนิรภัยรถยนต์ และให้นักเรียนยกตัวอย่างปฏิกิริยาเคมีที่เกิดได้เร็วและช้า จากนั้นใช้คำถามนำว่า ปฏิกิริยาเคมีอาจเกิดขึ้นได้เร็วหรือช้าแตกต่างกัน จะทราบได้อย่างไรว่าปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นได้เร็วหรือช้า เพื่อนำเข้าสู่เรื่องอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร

2. ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับการหาอัตราเร็วของรถยนต์ แล้วเชื่อมโยงเข้าสู่อัตราการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมี ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

3. ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 8.1 เพื่อศึกษาการเกิดแก๊สไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาระหว่างโลหะแมกนีเซียมกับกรดไฮโดรคลอริก แล้วครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทดลองโดยใช้คำถามท้ายการทดลอง

กิจกรรม 8.1 การทดลองศึกษาการเกิดแก๊สไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาระหว่างโลหะแมกนีเซียมกับกรดไฮโดรคลอริก

จุดประสงค์การทดลอง

1. ทดลองเพื่อศึกษาการเกิดแก๊สไฮโดรเจนจากปฏิกิริยาระหว่างโลหะแมกนีเซียมกับกรดไฮโดรคลอริกในช่วงเวลาต่าง ๆ
2. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนกับเวลา
3. เปรียบเทียบอัตราการเกิดแก๊สไฮโดรเจนในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้

เวลาที่ใช้	อภิปรายก่อนทำการทดลอง	20	นาที
	ทำการทดลอง	40	นาที
	อภิปรายหลังทำการทดลอง	40	นาที
	รวม	**100**	**นาที**

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
สารเคมี	
1. ลวดแมกนีเซียม (Mg) ยาว 10 cm	1 ชิ้น
2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.15 M	10 mL
วัสดุและอุปกรณ์	
1. กระบอกตวงขนาด 10 mL	1 อัน
2. หลอดทดลองขนาดกลาง	1 หลอด
3. จุกยางที่เจาะรูให้พอดีกับปลายกระบอกฉีดยา	1 อัน
4. กระบอกฉีดยาขนาด 10 mL	1 อัน
5. นาฬิกาจับเวลาหรือนาฬิกาที่มีเข็มวินาที	1 เรือน
6. กระดาษทรายขนาด 3 cm × 3 cm	1 แผ่น
7. ขาตั้งพร้อมที่จับหลอดทดลอง	1 ชุด

การเตรียมล่วงหน้า

เตรียม HCl 0.15 M ปริมาตร 200 mL โดยตวง HCl 6.0 M ปริมาตร 5 mL ลงในน้ำกลั่นประมาณ 100 mL แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 200 mL (สารละลายที่เตรียมสามารถใช้ได้กับการทดลองของนักเรียนประมาณ 20 กลุ่ม)

ข้อเสนอแนะสำหรับครู

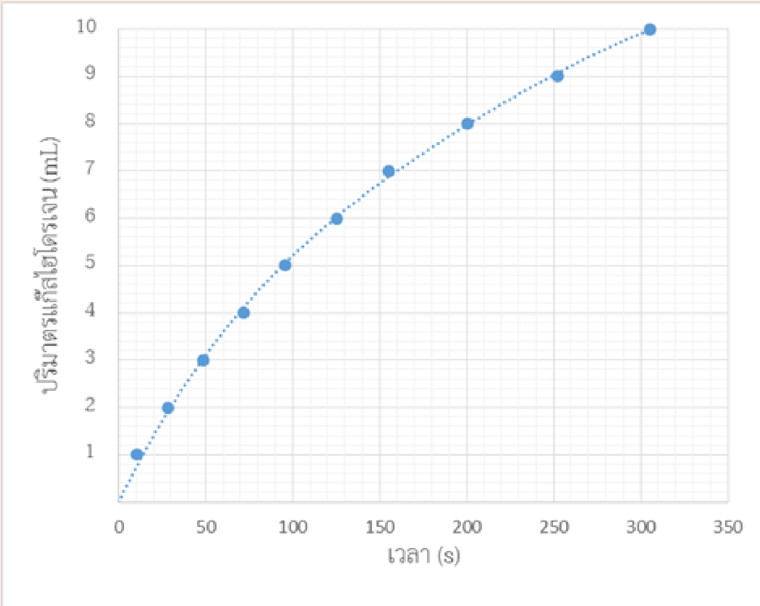
1. HCl มีฤทธิ์กัดกร่อน ควรให้นักเรียนสวมถุงมือระหว่างทำการทดลอง

2. เจาะจุกยางให้พอดีกับปลายกระบอกฉีดยา โดยใช้ดอกสว่านขนาด 4 มิลลิเมตร

ตัวอย่างผลการทดลอง

ปริมาตรแก๊สไฮโดรเจน (mL)	เวลา (s)
1	10
2	28
3	48
4	71
5	95
6	125
7	155
8	200
9	252
10	305

สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรแก๊สไฮโดรเจนกับเวลาได้ดังนี้



อภิปรายผลการทดลอง

จากการทดลอง เมื่อเติม HCl ลงในหลอดทดลองที่มี Mg จะสังเกตเห็นฟองแก๊สเกิดขึ้น โดยปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น เขียนสมการแสดงได้ดังนี้

$$Mg(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$$

เมื่อติดตามการดำเนินไปของปฏิกิริยานี้โดยวัดปริมาตร H_2 ที่เกิดขึ้น พบว่า H_2 ที่เกิดขึ้นทุก ๆ 1 mL ใช้เวลาในแต่ละช่วงปริมาตรไม่เท่ากัน ในช่วงแรกใช้เวลาน้อยและในช่วงถัดไปใช้เวลามากขึ้นตามลำดับ แสดงว่าการเกิด H_2 ในช่วงแรกเกิดขึ้นได้เร็วกว่าในช่วงท้ายของการทดลอง

เมื่อนำข้อมูลมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร H_2 กับเวลาพบว่ากราฟในช่วงแรกมีความชันมาก เมื่อเวลาผ่านไปความชันของกราฟค่อย ๆ ลดลง ซึ่งความชันของกราฟนี้สัมพันธ์กับอัตราการเกิด H_2 โดยถ้ากราฟมีความชันมากแสดงว่ามี H_2 เกิดขึ้นได้เร็ว ถ้ากราฟมีความชันน้อยแสดงว่ามี H_2 เกิดขึ้นได้ช้า

สรุปผลการทดลอง

การเกิด H_2 จากปฏิกิริยาระหว่าง Mg กับ HCl ในช่วงแรกเกิดขึ้นเร็วและค่อย ๆ ช้าลงเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งสัมพันธ์กับความชันของกราฟระหว่างปริมาตร H_2 กับเวลา

4. ครูอธิบายเกี่ยวกับการติดตามการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมีซึ่งทำได้หลายวิธี แต่ในทางปฏิบัติจะเลือกการวัดปริมาณสารด้วยวิธีที่สะดวกที่สุด จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ

ตรวจสอบความเข้าใจ

ในการศึกษาการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้ ควรติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารใด พร้อมให้เหตุผลประกอบ

1. $CH_3COCH_3(aq) + I_2(aq) \longrightarrow CH_3COCH_2I(aq) + HI(aq)$

CH_3COCH_3	I_2	CH_3COCH_2I	HI
ไม่มีสี	สีน้ำตาลแดง	ไม่มีสี	ไม่มีสี

I_2 เพราะสามารถสังเกตจากสีของสารละลายที่เปลี่ยนแปลงไปได้ง่าย

2. $CaCO_3(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow CO_2(g) + CaCl_2(aq) + H_2O(l)$

CO_2 เพราะสามารถวัดปริมาตรแก๊สได้ง่าย

3. $S_2O_3^{2-}(aq) + 2H^+(aq) \longrightarrow S(s) + H_2SO_3(aq)$

S เพราะสามารถวัดปริมาณตะกอนได้ง่ายโดยการสังเกตเครื่องหมายที่ขีดไว้ด้านหลังหลอดทดลองที่ให้สารทำปฏิกิริยากัน

5. ครูอาจให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการติดตามการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมีโดยใช้เครื่องมือต่าง ๆ เช่น

- วัดความเป็นกรดเบสของสารละลายด้วย pH meter
- วัดปริมาณสารมีสีในสารละลายด้วย spectrophotometer
- วัดการนำไฟฟ้าด้วย conductometer

6. ครูอธิบายความหมายของอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารโดยใช้ตัวอย่างการดำเนินไปของปฏิกิริยาจาก $A \longrightarrow B$ และใช้รูป 8.1 ประกอบการอธิบาย และการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารทั้งที่เป็นสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ รวมทั้งชี้ประเด็นให้นักเรียนเห็นว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของสารมีค่าเป็นบวก (+) เสมอ แต่เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารตั้งต้นมีค่าเป็นลบ (-) ดังนั้น ในสมการจึงต้องมีเครื่องหมายลบ ดังรายละเอียดในหนังสือเรียน

7. ครูยกตัวอย่างปฏิกิริยาการสลายตัวของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สไนโตรเจนออกไซด์กับแก๊สออกซิเจน ซึ่งมีความเข้มข้นของสารชนิดต่าง ๆ ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ดังตาราง 8.1 จากนั้นอธิบายวิธีการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแก๊สแต่ละชนิดในช่วงเวลา 0 – 100 วินาที ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

8. ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 8.2 การคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารที่เวลาต่าง ๆ แล้วให้นักเรียนอภิปรายผลการทำกิจกรรมโดยใช้คำถามท้ายกิจกรรม

กิจกรรม 8.2 การคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารที่เวลาต่าง ๆ

จุดประสงค์ของกิจกรรม

1. คำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารในแต่ละช่วงเวลา
2. เปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารแต่ละชนิดในช่วงเวลาเดียวกัน

เวลาที่ใช้			
	อภิปรายก่อนทำกิจกรรม	5	นาที
	ทำกิจกรรม	20	นาที
	อภิปรายหลังทำกิจกรรม	5	นาที
	รวม	**30**	**นาที**

วัสดุและอุปกรณ์

-

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ แก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์และแก๊สออกซิเจนในช่วงเวลาต่าง ๆ แสดงดังตาราง

ช่วงเวลา (s)	$-\frac{\Delta[NO_2]}{\Delta t}$ (M s^{-1})	$-\frac{\Delta[NO]}{\Delta t}$ (M s^{-1})	$-\frac{\Delta[NO_2]}{\Delta t}$ (M s^{-1})
0 – 100	1.17×10^{-5}	1.18×10^{-5}	5.90×10^{-6}
100 – 240	5.93×10^{-6}	5.86×10^{-6}	2.93×10^{-6}
240 – 320	3.50×10^{-6}	3.50×10^{-6}	1.75×10^{-6}
320 – 500	2.33×10^{-6}	2.33×10^{-6}	1.17×10^{-6}
500 – 780	1.29×10^{-6}	1.29×10^{-6}	6.43×10^{-7}

780 – 1000	7.27×10^{-7}	7.27×10^{-7}	3.64×10^{-7}
1000 – 1500	4.60×10^{-7}	4.80×10^{-7}	2.40×10^{-7}
1500 – 2000	2.40×10^{-7}	2.00×10^{-7}	1.00×10^{-7}

อภิปรายผลการทำกิจกรรม

จากการคำนวณพบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารแต่ละชนิดในช่วงเวลาเดียวกันมีทั้งเท่ากันและไม่เท่ากัน โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์มีค่าใกล้เคียงกับแก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์ และมีค่ามากกว่าแก๊สออกซิเจนประมาณ 2 เท่า

สรุปผลการทดลอง

ในช่วงเวลาเดียวกัน อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์มีค่าใกล้เคียงกับแก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์ และมีค่ามากกว่าแก๊สออกซิเจน

9. ครูอธิบายว่า จากการทำกิจกรรม 8.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารแต่ละชนิดในช่วงเวลาเดียวกันมีทั้งเท่ากันและไม่เท่ากัน เนื่องจากในปฏิกิริยาเคมีปริมาณสารที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีความสัมพันธ์กับเลขสัมประสิทธิ์ในสมการที่ดุลแล้ว

10. ครูให้นักเรียนพิจารณาตาราง 8.2 แล้วอภิปรายร่วมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุปว่า เมื่อนำข้อมูลที่คำนวณได้จากการทำกิจกรรม 8.2 หารด้วยเลขสัมประสิทธิ์ของสารนั้นตามสมการเคมี พบว่าจะมีค่าเท่ากันในช่วงเวลาเดียวกัน

11. ครูอธิบายความสัมพันธ์ของอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ NO_2 NO และ O_2 เพื่อนำเข้าสู่การหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี แล้วใช้ตัวอย่าง 1 อธิบายประกอบการคำนวณเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

12. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ

ตรวจสอบความเข้าใจ

1. กำหนดให้ ปฏิกิริยาการเผาไหม้ระหว่างแก๊สมีเทน (CH_4) กับแก๊สออกซิเจน (O_2) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไอน้ำ (H_2O) โดยมีอัตราการเผาไหม้เป็น 0.936 $M\ s^{-1}$

   1.1 เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

   สมการเคมีแสดงปฏิกิริยาการเผาไหม้ของแก๊สมีเทน เป็นดังนี้

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

1.2 คำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแก๊สมีเทนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

อัตราการเผาไหม้หรืออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี *(r)* เท่ากับ 0.936 M s^{-1}

$$r = -\frac{\Delta[CH_4]}{\Delta t} = -\frac{1}{2}\frac{\Delta[O_2]}{\Delta t} = \frac{\Delta[CO_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2}\frac{\Delta[H_2O]}{\Delta t}$$

อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแก๊สมีเทน

$$-\frac{\Delta[CH_4]}{\Delta t} = r$$
$$= 0.936 \text{ M s}^{-1}$$

ดังนั้น อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแก๊สมีเทน เท่ากับ 0.936 M s^{-1}

อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

$$\frac{\Delta[CO_2]}{\Delta t} = r$$
$$= 0.936 \text{ M s}^{-1}$$

ดังนั้น อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 0.936 M s^{-1}

อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของน้ำ

$$\frac{1}{2}\frac{\Delta[H_2O]}{\Delta t} = r$$
$$\frac{\Delta[H_2O]}{\Delta t} = 2 \times 0.936 \text{ M s}^{-1}$$
$$= 1.87 \text{ M s}^{-1}$$

ดังนั้น อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของน้ำ เท่ากับ 1.87 M s^{-1}

2. กำหนดให้ปฏิกิริยาเคมีหนึ่ง มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเท่ากับ อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารตั้งต้น A เท่ากับ 3/2 เท่าของอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารตั้งต้น B เท่ากับ 2 เท่าของอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของผลิตภัณฑ์ C จงเขียนสมการเคมี และหาว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร B เป็นกี่เท่าของสาร C

$$r = -\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{3}{2}\frac{\Delta[B]}{\Delta t} = \frac{2\Delta[C]}{\Delta t}$$

จากความสัมพันธ์ของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี สามารถเขียนสมการเคมีได้ดังนี้

$$A + \frac{2}{3}B \longrightarrow \frac{1}{2}C$$

หรือ

$$6A + 4B \longrightarrow 3C$$

คำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร B ต่อสาร C

$$-\frac{3}{2}\frac{\Delta[B]}{\Delta t} = \frac{2\Delta[C]}{\Delta t}$$

ดังนั้น อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร B เป็น $\frac{4}{3}$ เท่าของสาร C

13. ครูอธิบายความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเฉลี่ย โดยเน้นให้เห็นว่าเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสิ้นสุดในช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งอาจเป็นตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดปฏิกิริยาเคมี หรือในแต่ละช่วงเวลาก็ได้ จากนั้นอธิบายเกี่ยวกับการคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ณ ขณะหนึ่ง โดยใช้รูป 8.2 ประกอบการอธิบาย โดยชี้ประเด็นให้นักเรียนเห็นว่าในการหาอัตราการเกิดปฏิกิริยา เคมี ณ ขณะหนึ่ง จะหาจากค่าความชันของกราฟหารด้วยเลขสัมประสิทธิ์ของสารในสมการเคมี ครูอาจอธิบายเพิ่มเติมว่า การลากเส้นสัมผัสของกราฟนั้น ไม่ว่าจะลากเส้นสัมผัสยาวเท่าใดก็จะได้ความชันเท่ากันเสมอ เนื่องจากเป็นการหาความชันของเส้นตรงเส้นเดียวกัน ทั้งนี้นักเรียนอาจหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ณ ขณะหนึ่ง ได้แตกต่างกันเนื่องจากลากเส้นสัมผัสกราฟที่มีความชันแตกต่างกัน

14. ครูแสดงตัวอย่างการคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ณ ขณะหนึ่ง จากการหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเฉลี่ย โดยเน้นประเด็นให้เห็นว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเฉลี่ยในช่วงเวลาแคบ ๆ มีค่าใกล้เคียงกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ณ ขณะหนึ่ง ที่จุดกึ่งกลางของช่วงเวลานั้น จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ

ตรวจสอบความเข้าใจ

1. อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเฉลี่ยกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ณ ขณะหนึ่งแตกต่างกันอย่างไร

แตกต่างกัน คือ

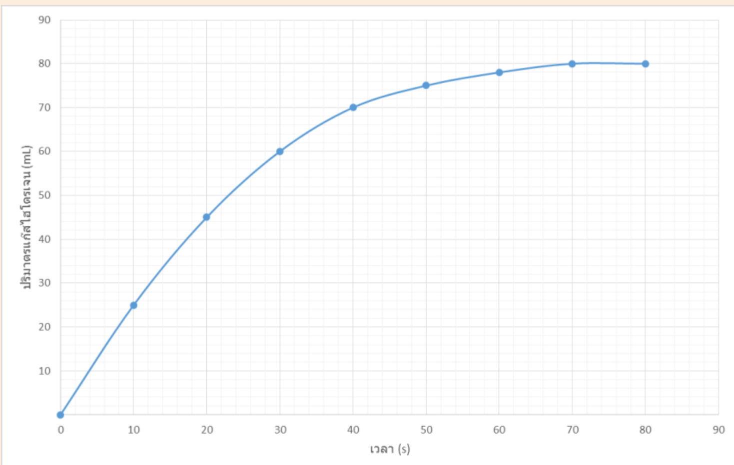
อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเฉลี่ย เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารในช่วงเวลาต่าง ๆ จากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสิ้นสุดในช่วงเวลาที่กำหนด

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ณ ขณะหนึ่ง เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารที่เวลาใดเวลาหนึ่ง

2. โลหะสังกะสีทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ได้ปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่ STP ณ เวลาต่าง ๆ ดังตาราง

เวลา (s)	10	20	30	40	50	60	70	80
ปริมาตร H_2 (mL)	25	45	60	70	75	78	80	80

2.1 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของแก๊สกับเวลา



2.2 เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

$$Zn(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow H_2(g) + ZnCl_2(aq)$$

2.3 คำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเฉลี่ยตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดปฏิกิริยา ในหน่วยโมลต่อวินาที

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเฉลี่ยในช่วงที่เกิดปฏิกิริยา คิดในช่วง 0–70 วินาที

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเฉลี่ย = อัตราการเกิดแก๊สไฮโดรเจนเฉลี่ย

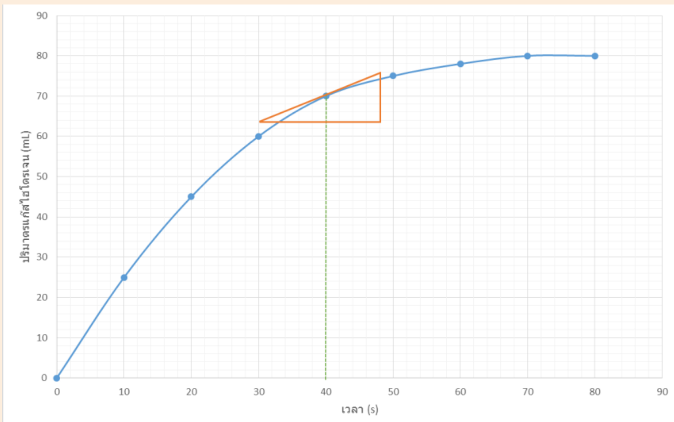
$$r = \frac{\Delta[H_2]}{\Delta t}$$

$$= \frac{(80-0)\ \text{mL}}{(70-0)\ \text{s}} \times \frac{1\ \text{mol}}{22.4\ \text{L}} \times \frac{1\ \text{L}}{1000\ \text{mL}}$$

$$= 5.1 \times 10^{-5}\ \text{mol s}^{-1}$$

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเฉลี่ยมีค่า 5.1×10^{-5} โมลต่อวินาที

2.4 คำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ที่เวลา 40 วินาที ในหน่วยโมลต่อวินาที



อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ที่เวลา 40 วินาที

$$r = \frac{\Delta[H_2]}{\Delta t}$$

$$= \frac{(76-64)\ \text{mL}}{(48-30)\text{s}} \times \frac{1\ \text{mol}}{22.4\ \text{L}} \times \frac{1\ \text{L}}{1000\ \text{mL}}$$

$$= 3.0 \times 10^{-5}\ \text{mol s}^{-1}$$

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ที่เวลา 40 วินาที เท่ากับ 3.0×10^{-5} โมลต่อวินาที

นักเรียนอาจตอบต่างจากแนวคำตอบได้ ขึ้นอยู่กับการลากเส้นสัมผัสกราฟ

15. ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 8.3 เพื่อเขียนกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณอื่นที่ไม่ได้วัดในปฏิกิริยาเคมีพร้อมทั้งคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

กิจกรรม 8.3 การเขียนกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารที่ไม่ได้วัดในปฏิกิริยาเคมี และการคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

จุดประสงค์ของกิจกรรม

เขียนกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารที่ไม่ได้วัดในปฏิกิริยาเคมี และคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

เวลาที่ใช้			
	อภิปรายก่อนทำกิจกรรม	5	นาที
	ทำกิจกรรม	30	นาที
	อภิปรายหลังทำกิจกรรม	5	นาที
	รวม	**40**	**นาที**

วัสดุและอุปกรณ์

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
กระดาษกราฟ	1 แผ่น

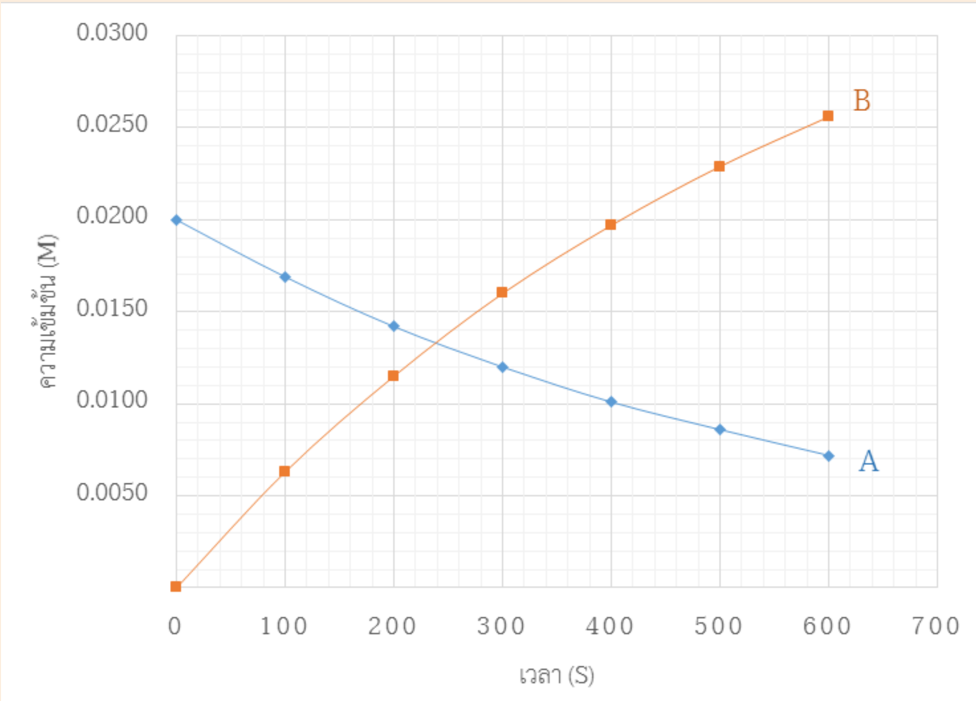
ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

จากสมการเคมี $2A \longrightarrow 4B + C$

จากความเข้มข้นของสาร C ที่กำหนดให้ สามารถคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร A และ B ได้ดังตาราง

ช่วงเวลา (s)	[A] (M)	[B] (M)	[C] (M)
0	0.0200	0.0000	0.0000
100	0.0168	0.0064	0.0016
200	0.0142	0.012	0.0029
300	0.0120	0.016	0.0040
400	0.0102	0.020	0.0049
500	0.0086	0.023	0.0057
600	0.0072	0.026	0.0064

จากข้อมูลที่คำนวณได้ในตาราง สามารถเขียนกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร A และ B ได้ดังนี้



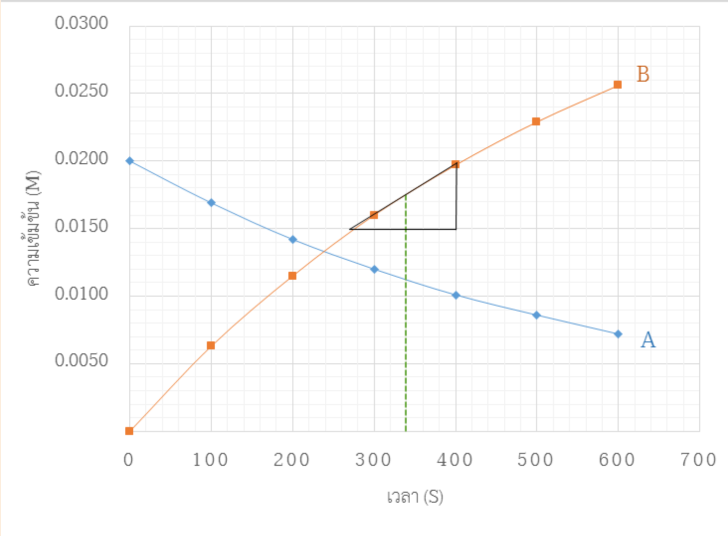
คำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในช่วง 0–600 วินาที จากสาร A

$$r = -\frac{1}{2}\frac{\Delta[A]}{\Delta t}$$

$$= -\frac{1}{2}\frac{(0.0072 - 0.0200)\ M}{(600 - 0)\ s}$$

$$= 1.07 \times 10^{-5}\ M\ s^{-1}$$

คำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่เวลา 340 วินาทีได้จากความชันของกราฟของสาร B ดังนี้



อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ที่เวลา 340 วินาที จากสาร B

$$r = \frac{1}{4}\frac{\Delta[\mathrm{B}]}{\Delta \mathrm{t}}$$

$$= \frac{1}{4}\frac{(0.0200 - 0.0150)\ \mathrm{M}}{(400 - 270)\ \mathrm{s}}$$

$$= 9.62 \times 10^{-6}\ \mathrm{M\ s^{-1}}$$

นักเรียนอาจตอบต่างจากแนวคำตอบได้ ขึ้นกับการลากเส้นสัมผัสกราฟ

อภิปรายผลการทำกิจกรรม

เมื่อโจทย์ให้ข้อมูลความเข้มข้นของสาร C ที่เวลาต่าง ๆ สามารถคำนวณความเข้มข้นของสารอื่น ๆ ในปฏิกิริยาเคมีจากความสัมพันธ์ของเลขสัมประสิทธิ์ในสมการเคมี ซึ่งสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารที่ไม่ได้วัดในปฏิกิริยาเคมีที่เวลาต่าง ๆ และนำมาหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้

สรุปผลการทำกิจกรรม

สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารที่ไม่ได้วัดในปฏิกิริยาเคมีที่เวลาต่าง ๆ ได้ เมื่อทราบการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารใดสารหนึ่ง

16. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 8.1 เพื่อทบทวนความรู้

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับความหมายและการคำนวณเกี่ยวกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของสารและอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จากรายงานการทดลอง รายงานการทำกิจกรรม การอภิปราย การทำแบบฝึกหัดและการทดสอบ
2. ทักษะการสังเกต การวัด การทดลอง ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากรายงานการทดลองและการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลอง
3. ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล จากรายงานการทดลองและรายงานการทำกิจกรรม
4. ทักษะการใช้จำนวน จากการทำแบบฝึกหัด
5. ทักษะการสื่อสาร สารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการอภิปราย
6. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความอยากรู้อยากเห็น ความซื่อสัตย์ ความรอบคอบ การใช้วิจารณญาณ ความใจกว้าง ความเชื่อมั่นต่อหลักฐาน จากการสังเกตพฤติกรรมในการอภิปราย การทำการทดลองและการทำกิจกรรม

แบบฝึกหัด 8.1

1. จากการทดลองศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี $2A + B \longrightarrow C$ โดยการวัดความเข้มข้นของสาร A ได้ผลดังนี้

เวลา (s)	0.0	5.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0
[A] (M)	1.00	0.64	0.44	0.27	0.22	0.22	0.22

1.1 คำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร A ในช่วงเวลา 0.0–5.0 5.0–10.0 และ 10.0–20.0 วินาที และเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร A ในช่วงเวลาดังกล่าว

ช่วงเวลา 0.0–5.0 วินาที

$$-\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{(0.64 - 1.00)\ M}{(5.0 - 0.0)\ s}$$

$$= 7.2 \times 10^{-2}\ M\ s^{-1}$$

ช่วงเวลา 5.0–10.0 วินาที

$$-\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{(0.44 - 0.64)\ M}{(10.0 - 5.0)\ s}$$

$$= 4.0 \times 10^{-2}\ M\ s^{-1}$$

ช่วงเวลา 10.0–20.0 วินาที

$$-\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{(0.27 - 0.44)\ M}{(20.0 - 10.0)\ s}$$

$$= 1.7 \times 10^{-2}\ M\ s^{-1}$$

ดังนั้น อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร A ในช่วงเวลา 0.0–5.0 เร็วกว่า 5.0–10.0 และ 10.0–20.0 วินาที ตามลำดับ

1.2 คำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร A และ C ในช่วงที่เกิดปฏิกิริยาเคมี

ช่วงที่เกิดปฏิกิริยาเคมี คือ 0.0–30.0 วินาที

อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร A

$$-\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{(0.22 - 1.00)\ M}{(30.0 - 0.0)\ s}$$

$$= 2.6 \times 10^{-2}\ M\ s^{-1}$$

อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร C

$$\frac{\Delta[C]}{\Delta t} = -\frac{1}{2}\frac{\Delta[A]}{\Delta t}$$

$$= \frac{1}{2} \times 2.6 \times 10^{-2}\ M\ s^{-1}$$

$$= 1.3 \times 10^{-2}\ M\ s^{-1}$$

ดังนั้น อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร A และ C ในช่วงที่เกิดปฏิกิริยาเคมี เท่ากับ 2.6×10^{-2} M s^{-1} และ 1.3×10^{-2} M s^{-1} ตามลำดับ

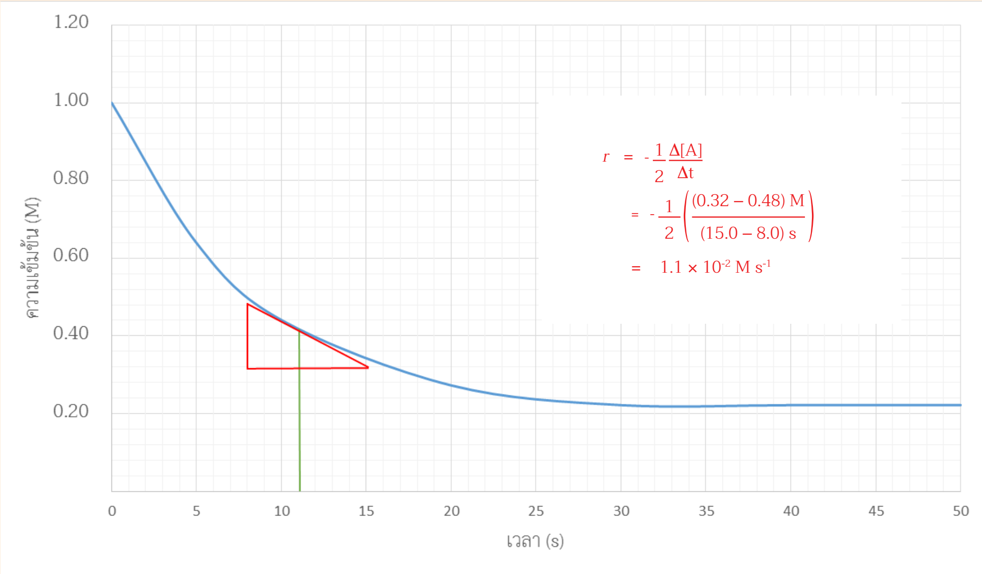
1.3 คำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเฉลี่ย ในช่วงที่เกิดปฏิกิริยาเคมี

$$r = \frac{\Delta[C]}{\Delta t}$$

$$= 1.3 \times 10^{-2}\ M\ s^{-1}$$

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเฉลี่ยในช่วงที่เกิดปฏิกิริยาเคมี เท่ากับ 1.3×10^{-2} M s^{-1}

1.4 หาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ที่เวลา 11 วินาที



คำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ที่เวลา 12 วินาที

$$r = -\frac{1}{2}\frac{\Delta[A]}{\Delta t}$$

$$= -\frac{1}{2}\left(\frac{(0.32 - 0.48)\ M}{(15.0 - 8.0)\ s}\right)$$

$$= 1.1 \times 10^{-2}\ M\ s^{-1}$$

ดังนั้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ที่เวลา 12 วินาที เท่ากับ $1.1 \times 10^{-2}\ M\ s^{-1}$

2. ถ้าสาร P ทำปฏิกิริยากับสาร Q เกิดผลิตภัณฑ์เป็นสาร W จากการทดลองพบว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเป็น $\frac{1}{2}$ เท่าของอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร P และเป็น $\frac{1}{4}$ เท่าของอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร Q และเป็น $\frac{1}{3}$ เท่าของอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร W จงเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

$$2P + 4Q \longrightarrow 3W$$

3. สาร A สลายตัวเป็นสาร B ดังสมการเคมี $3A \longrightarrow 5B$ เมื่อเริ่มต้นปฏิกิริยามี สาร A 3.00 โมลาร์ เมื่อเวลาผ่านไป 30.0 นาที มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเฉลี่ย เท่ากับ 0.0150 โมลาร์ต่อนาที สาร A และสาร B จะมีความเข้มข้นเท่าใด

คำนวณความเข้มข้นของสาร A เมื่อเวลาผ่านไป 30.0 นาที

จาก

$$r = -\frac{1}{3}\frac{\Delta[A]}{\Delta t}$$

จะได้อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร A คือ

$$-\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = 3r$$

$$-\left(\frac{A_2 - A_1}{t_2 - t_1}\right) = 3 \times 0.0150 \text{ M min}^{-1}$$

$$-\left(\frac{A_2 - 3.00 \text{ M}}{(30.0 - 0.0) \text{ min}}\right) = 0.0450 \text{ M min}^{-1}$$

$$-(A_2 - 3.00 \text{ M}) = 0.0450 \text{ M min}^{-1} \times 30.0 \text{ min}$$

$$A_2 = 3.00 \text{ M} - 1.35 \text{ M}$$

$$= 1.65 \text{ M}$$

ความเข้มข้นของสาร B

$$r = \frac{1}{5}\frac{\Delta[B]}{\Delta t}$$

จะได้อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร B คือ

$$\frac{\Delta[B]}{\Delta t} = 5r$$

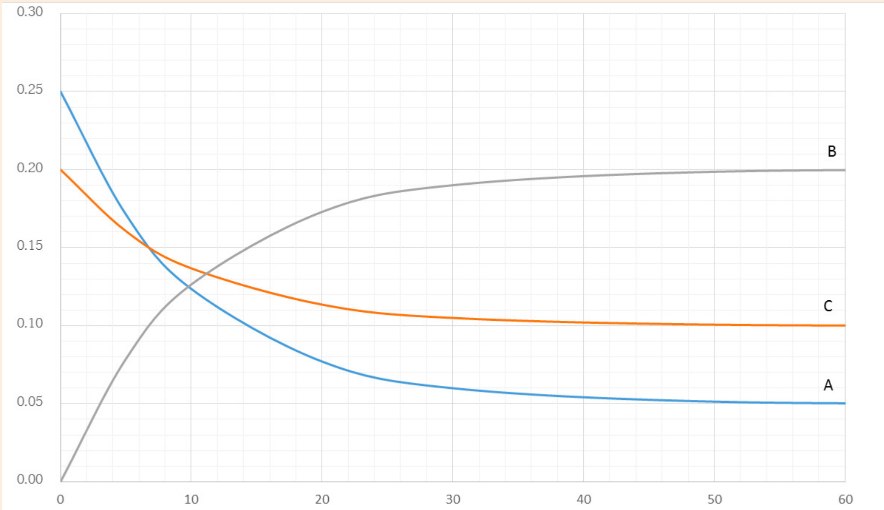
$$\frac{B_2 - 0.00 \text{ M}}{(30.0 - 0.0) \text{ min}} = 5 \times 0.0150 \text{ M min}^{-1}$$

$$B_2 - 0.00 \text{ M} = 0.0750 \text{ M min}^{-1} \times 30.0 \text{ min}$$

$$B_2 = 2.25 \text{ M}$$

ดังนั้น เวลาผ่านไป 30.0 นาที สาร A และสาร B มีความเข้มข้น 1.65 M และ 2.25 M ตามลำดับ

4. พิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารและเวลา เพื่อตอบคำถามต่อไปนี้



4.1 ระบุความเข้มข้นของสาร A B และ C เมื่อเริ่มต้นและเมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น

สาร	ความเข้มข้นเริ่มต้น (M)	ความเข้มข้นเมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น (M)
A	0.25	0.05
B	0.00	0.20
C	0.20	0.10

4.2 สารใดเป็นสารผลิตภัณฑ์

สาร B

4.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารแต่ละชนิด ตั้งแต่เริ่มต้นปฏิกิริยาจนความเข้มข้นไม่เปลี่ยนแปลง มีค่าเท่าใด

อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร A

$$-\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{(0.05 - 0.25)\ M}{(50 - 0)\ s}$$

$$= 4.0 \times 10^{-3}\ M\ s^{-1}$$

อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร B

$$\frac{\Delta[B]}{\Delta t} = \frac{(0.20 - 0)\ M}{(50 - 0)\ s}$$

$$= 4.0 \times 10^{-3}\ M\ s^{-1}$$

อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร C

$$-\frac{\Delta[C]}{\Delta t} = -\frac{(0.10 - 0.20)\ M}{(50 - 0)\ s}$$

$$= 2.0 \times 10^{-3}\ M\ s^{-1}$$

ดังนั้น อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร A B และ C เท่ากับ 4.0×10^{-3} M s^{-1} 4.0×10^{-3} M s^{-1} และ 2.0×10^{-3} M s^{-1} ตามลำดับ

4.4 สมการเคมีของปฏิกิริยาเคมีเป็นอย่างไรและอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีตั้งแต่เริ่มต้นปฏิกิริยาจนความเข้มข้นไม่เปลี่ยนแปลง มีค่าเท่าใด

สมการเคมีของปฏิกิริยา คือ $2A + C \longrightarrow 2B$

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเฉลี่ย เท่ากับ 2.0×10^{-3} M s^{-1}

8.2 แนวคิดเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

จุดประสงค์การเรียนรู้

อธิบายแนวคิดเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีโดยใช้ทฤษฎีการชนและทฤษฎีสถานะแทรนซิชัน

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	ความเข้าใจที่ถูกต้อง
ปฏิกิริยาคายพลังงานเกิดได้เร็วกว่าปฏิกิริยาดูดพลังงาน เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีพลังงานต่ำกว่าสารตั้งต้น	ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นเร็วหรือช้าไม่ขึ้นกับชนิดของปฏิกิริยาว่าเป็นปฏิกิริยาดูดหรือคายพลังงาน แต่ขึ้นอยู่กับพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา

แนวการจัดการเรียนรู้

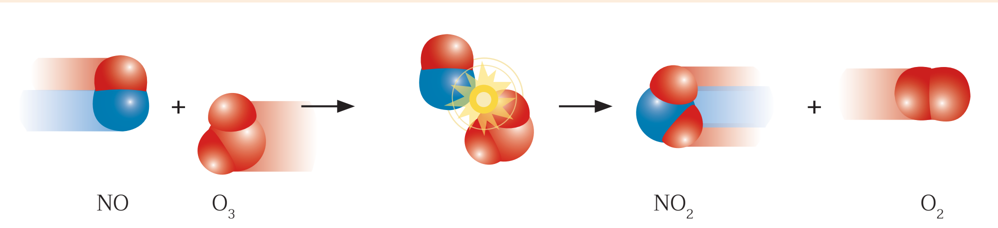
1. ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีจลน์ของแก๊สว่า อนุภาคของแก๊สมีการเคลื่อนที่และอาจเกิดการชนกันได้ จากนั้นครูใช้คำถามนำว่า การชนกันของอนุภาคสารตั้งต้นสามารถนำไปสู่การเกิดผลิตภัณฑ์ได้หรือไม่ และมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีอย่างไร

2. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับแนวคิดเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีตามทฤษฎีการชนว่า เมื่ออนุภาคของสารตั้งต้นเคลื่อนที่มาชนกันแล้วเกิดปฏิกิริยาเคมี การชนนั้นต้องมีทิศทางที่เหมาะสมและอนุภาคที่ชนกันต้องมีพลังงานจลน์มากพอ โดยครูใช้รูป 8.3 ประกอบการอธิบาย จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ

ตรวจสอบความเข้าใจ

ให้นักเรียนวาดรูปแสดงทิศทางการชนกันของแก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์ (NO) กับแก๊สโอโซน (O_3) ที่มีผลต่อการเกิดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) กับ แก๊สออกซิเจน (O_2)

รูปที่วาดควรให้อะตอม N ของ NO ชนกับอะตอม O ที่ปลายของ O_3 เช่น



3. ครูอธิบายเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจลน์ของอนุภาคแก๊สและพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาเคมี โดยใช้รูป 8.4 ประกอบการอธิบาย ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

4. ครูอธิบายแนวคิดเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีตามทฤษฎีสถานะแทรนซิชัน โดยใช้รูป 8.5 ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

5. ครูใช้รูป 8.6 เพื่อแสดงตัวอย่างแผนภาพการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมีและการจัดเรียงตัวของอนุภาคสาร ณ สถานะแทรนซิชัน

6. ครูอธิบายแผนภาพการดำเนินไปของปฏิกิริยาในรูป 8.7 โดยเน้นให้เห็นว่า ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดเร็วหรือช้าขึ้นกับพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาเท่านั้น แต่ไม่ขึ้นกับชนิดของปฏิกิริยาเคมีว่าเป็นปฏิกิริยาคายพลังงานหรือดูดพลังงาน จากนั้นให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ

ตรวจสอบความเข้าใจ

ปฏิกิริยาเคมีที่ 1 คายพลังงานเท่ากับ 20 kJ/mol มีพลังงานก่อกัมมันต์เท่ากับ 52 kJ/mol ปฏิกิริยาเคมีที่ 2 ดูดพลังงานเท่ากับ 30 kJ/mol มีพลังงานก่อกัมมันต์เท่ากับ 45 kJ/mol ปฏิกิริยาเคมีใดเกิดได้เร็วกว่ากัน เพราะเหตุใด

ปฏิกิริยาเคมีที่ 2 เกิดได้เร็วกว่าปฏิกิริยาเคมีที่ 1 เพราะมีพลังงานก่อกัมมันต์น้อยกว่า

7. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 8.2 เพื่อทบทวนความรู้

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับแนวคิดเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีตามทฤษฎีการชนและทฤษฎีสถานะแทรนซิชัน จากการทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ

แบบฝึกหัด 8.2

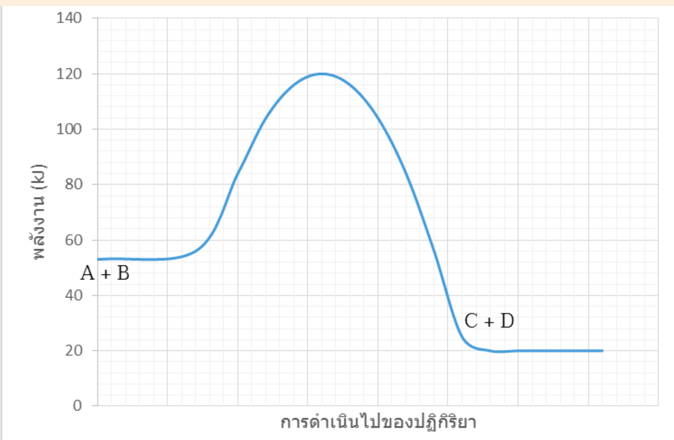
1. จงเติมเครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ถูกต้อง และ เติมเครื่องหมาย ✗ หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง

...✗... 1.1 การเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารตั้งต้นที่เป็นของแข็งกับของเหลวไม่สามารถอธิบายได้โดยใช้ทฤษฎีการชน

...✓... 1.2 ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นได้ ถ้าอนุภาคของสารตั้งต้นชนกันด้วยทิศทางที่เหมาะสมและมีพลังงานอย่างน้อยเท่ากับพลังงานก่อกัมมันต์

...✓... 1.3 อนุภาคของสารที่ชนกันแล้วเกิดปฏิกิริยาเคมี แต่ละอนุภาคไม่จำเป็นต้องมีพลังงานเท่ากับพลังงานก่อกัมมันต์

2. พิจารณาแผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงพลังงานของปฏิกิริยาต่อไปนี้



2.1 พลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา A + B $\longrightarrow$ C + D มีค่าเท่าใด

พลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา A + B $\longrightarrow$ C + D มีค่า 120 – 52 เท่ากับ 68 kJ

2.2 พลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา C + D $\longrightarrow$ A + B มีค่าเท่าใด

พลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา C + D $\longrightarrow$ A + B มีค่า 120 – 20 เท่ากับ 100 kJ

2.3 ปฏิกิริยา A + B $\longrightarrow$ C + D เป็นปฏิกิริยาดูดหรือคายพลังงาน และพลังงานของปฏิกิริยามีค่าเท่าใด

เป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน และพลังงานของปฏิกิริยามีค่า 52 – 20 เท่ากับ 32 kJ

3. จากข้อมูลในตารางต่อไปนี้

ปฏิกิริยาที่	สมการเคมี	พลังงานก่อกัมมันต์ (kJ/mol)	พลังงานของปฏิกิริยา (kJ/mol)
1	$A \longrightarrow B$	50.56	-70.00
2	$C + D \longrightarrow E$	70.45	+45.23
3	$H \longrightarrow I + J$	110.00	-25.33

3.1 เรียงลำดับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของทั้งสามปฏิกิริยาจากมากไปหาน้อย

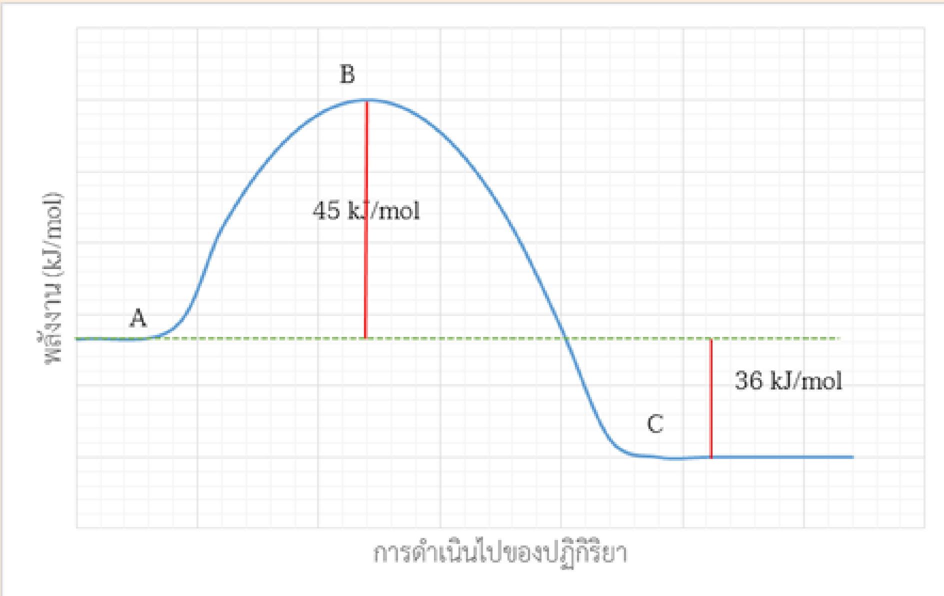
1 > 2 > 3

3.2 ปฏิกิริยาที่ 1 สารตั้งต้นมีพลังงานมากหรือน้อยกว่าผลิตภัณฑ์เท่าใด

สารตั้งต้นมีพลังงานมากกว่าสารผลิตภัณฑ์ 70.00 kJ/mol

4. ปฏิกิริยา A $\longrightarrow$ C เป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน 36 กิโลจูลต่อโมล โดยมี B เป็นสารที่สถานะแทรนซิชัน ซึ่งมีพลังงานมากกว่า A 45 กิโลจูลต่อโมล

4.1. เขียนแผนภาพการดำเนินไปของปฏิกิริยา



4.2 เปรียบเทียบพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา A $\longrightarrow$ C กับ C $\longrightarrow$ A

A $\longrightarrow$ C มีพลังงานก่อกัมมันต์ 45 kJ/mol ซึ่งน้อยกว่า C $\longrightarrow$ A ที่มีพลังงานก่อกัมมันต์ 45 + 36 เท่ากับ 81 kJ/mol

8.3 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ทำการทดลอง และอธิบายผลของความเข้มข้นของสาร พื้นที่ผิวของสาร อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
2. เปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
3. สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันหรืออุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	ความเข้าใจที่ถูกต้อง
ปฏิกิริยาคายพลังงาน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีลดลง	ปฏิกิริยาดูดและคายพลังงาน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเพิ่มขึ้น
เมื่อเพิ่มปริมาตรของสารตั้งต้นที่เป็นสารละลายจะส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเพิ่มขึ้น	การเพิ่มปริมาตรของสารตั้งต้นที่เป็นสารละลายที่ไม่มีผลต่อความเข้มข้นหรือพื้นที่ผิวสัมผัส จะไม่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีการชนว่า ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของสารตั้งต้นเกิดการชนกันในทิศทางที่เหมาะสมและมีพลังงานที่มากพอให้เกิดปฏิกิริยา ดังนั้นการเพิ่มจำนวนครั้งของการชนในทิศทางที่เหมาะสมและมีพลังงานมากพอ จะมีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเพิ่มขึ้น

2. ครูยกตัวอย่างปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในธรรมชาติหรือชีวิตประจำวัน เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสนิม เพื่อให้นักเรียนอภิปรายร่วมกันว่า ปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลให้ปฏิกิริยาเคมีดังกล่าวเกิดได้เร็วหรือช้า เพื่อนำเข้าสู่กิจกรรม 8.4

3. ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 8.4 การทดลองศึกษาผลของความเข้มข้น พื้นที่ผิว และอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี แล้วให้นักเรียนอภิปรายผลการทดลองโดยใช้คำถามท้ายการทดลอง

กิจกรรม 8.4 การทดลองศึกษาผลของความเข้มข้น พื้นที่ผิว และอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

จุดประสงค์การทดลอง

1. ทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้น พื้นที่ผิว และอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
2. อธิบายผลของความเข้มข้น พื้นที่ผิว และอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

เวลาที่ใช้	อภิปรายก่อนทำการทดลอง	10	นาที
	ทำการทดลอง	30	นาที
	อภิปรายหลังทำการทดลอง	20	นาที
	รวม	**60**	**นาที**

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
สารเคมี	
1. แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) แบบผง	0.3 g
2. แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) แบบเม็ด	0.1 g
3. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.2 M	30 mL
4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.5 M	10 mL
วัสดุและอุปกรณ์	
1. กระบอกตวงขนาด 10 mL	1 อัน
2. บีกเกอร์ขนาด 100 mL	4 ใบ
3. นาฬิกาจับเวลาหรือนาฬิกาที่มีเข็มวินาที	1 เรือน
4. ตะเกียงแอลกอฮอล์พร้อมที่กั้นลม	1 ชุด

การเตรียมล่วงหน้า

1. เตรียม HCl 0.2 M ปริมาตร 450 mL โดยตวง HCl 6.0 M ปริมาตร 15 mL ลงในน้ำกลั่นประมาณ 250 mL แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 450 mL (สารละลายที่เตรียมสามารถใช้ได้กับการทดลองของนักเรียนประมาณ 15 กลุ่ม)
2. เตรียม HCl 0.5 M ปริมาตร 120 mL โดยตวง HCl 6.0 M ปริมาตร 10 mL ลงในน้ำกลั่นประมาณ 60 mL แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 120 mL (สารละลายที่เตรียมสามารถใช้ได้กับการทดลองของนักเรียนประมาณ 12 กลุ่ม)

ข้อเสนอแนะสำหรับครู

- HCl มีฤทธิ์กัดกร่อน ควรให้นักเรียนสวมถุงมือระหว่างทำการทดลอง
- สำหรับการทดลองในบีกเกอร์ใบที่ 3 สามารถให้นักเรียนหยุดการทดลองหากใช้เวลานานมากกว่า 5 นาที
- ครูอาจชั่ง $CaCO_3$ ไว้ล่วงหน้า ในกรณีที่มีเครื่องชั่งไม่เพียงพอ

ตัวอย่างผลการทดลอง

บีกเกอร์ใบที่	เวลา (s)
1 ผง $CaCO_3$ + HCl 0.2 M	48
2 ผง $CaCO_3$ + HCl 0.5 M	36
3 เม็ด $CaCO_3$ + HCl 0.2 M	>300
4 ผง $CaCO_3$ + HCl 0.2 M (อุ่น)	25

อภิปรายผลการทดลอง

จากการทดลองปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเป็นดังสมการเคมี

$$CaCO_3(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow CaCl_2(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$$

เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเคมีจนกระทั่งไม่เห็นฟองแก๊สเกิดขึ้นในแต่ละบีกเกอร์ไม่เท่ากัน ดังนี้

เมื่อเปรียบเทียบบีกเกอร์ใบที่ 1 และใบที่ 2 พบว่า บีกเกอร์ใบที่ 2 ซึ่งใช้ HCl เข้มข้นมากกว่า ใช้เวลาน้อยกว่า แสดงว่าการเพิ่มความเข้มข้นของ HCl มีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีนี้เพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบบีกเกอร์ใบที่ 1 และใบที่ 3 พบว่า บีกเกอร์ใบที่ 1 ซึ่งใช้ผง $CaCO_3$ ซึ่งมีพื้นที่ผิวมากกว่า ใช้เวลาน้อยกว่าบีกเกอร์ใบที่ 3 ซึ่งใช้เม็ด $CaCO_3$ แสดงว่าการเพิ่มพื้นที่ผิวของ $CaCO_3$ ให้สัมผัสกับ HCl มากขึ้นมีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีนี้เพิ่มขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบบีกเกอร์ใบที่ 1 และใบที่ 4 พบว่า บีกเกอร์ใบที่ 4 ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่า ใช้เวลาน้อยกว่า แสดงว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยามีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีนี้เพิ่มขึ้น

สรุปผลการทดลอง

การเพิ่มความเข้มข้น การเพิ่มพื้นที่ผิวของสารตั้งต้น และการเพิ่มอุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่ทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดได้เร็วขึ้น

4. ครูอธิบายผลของความเข้มข้น พื้นที่ผิว และอุณหภูมิ ที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยใช้รูป 8.8, 8.9 และ 8.10 ประกอบการอธิบายตามลำดับ จากนั้นครูยกตัวอย่างความรู้เกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในชีวิตประจำวัน ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

5. ครูให้นักเรียนตอบคำถามชวนคิด

ชวนคิด

1. เมื่อใส่ผงแมกนีเซียม 0.5 กรัม (หนึ่งเมล็ดถั่วเขียว) ลงในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และ 20 มิลลิลิตร อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในสารละลายทั้งสองต่างกันหรือไม่ อย่างไร

   อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในสารละลายทั้งสองไม่ต่างกัน เพราะสารละลายทั้งสองมีความเข้มข้นเท่ากัน

2. หากทำการทดลองดังข้อ 1 โดยใช้สารละลาย ดังต่อไปนี้
   - สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1.0 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
   - สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร
   - สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

   อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในสารละลายใดมีค่ามากที่สุด เพราะเหตุใด

   สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 1.0 M ปริมาตร 10 mL มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีมากที่สุด เพราะใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นมากที่สุด

6. ครูใช้คำถามนำว่า นอกจากความเข้มข้น พื้นที่ผิว และอุณหภูมิ แล้วยังมีปัจจัยอื่นอีกหรือไม่ที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จากนั้นครูเขียนสมการเคมีแสดงการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ดังนี้

$$2H_2O_2(aq) \longrightarrow 2H_2O(l) + O_2(g)$$

ครูชี้ให้เห็นว่าปฏิกิริยานี้มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารตั้งต้น จากนั้นให้นักเรียนทำกิจกรรม 8.5 การออกแบบและทดลองเพื่อศึกษาผลของการเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ต่ออัตราการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แล้วให้นักเรียนอภิปรายผลการทดลองโดยใช้คำถามท้ายการทดลอง

กิจกรรม 8.5 การออกแบบและทดลองเพื่อศึกษาผลของการเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ต่ออัตราการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

จุดประสงค์การทดลอง

1. ออกแบบและทดลองเพื่อศึกษาผลของการเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ต่ออัตราการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
2. อธิบายผลของการเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ต่ออัตราการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

เวลาที่ใช้	อภิปรายก่อนทำการทดลอง	10	นาที
	ทำการทดลอง	20	นาที
	อภิปรายหลังทำการทดลอง	20	นาที
	รวม	**50**	**นาที**

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
สารเคมี	
1. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร	0.5 mL
2. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ร้อยละ 8 โดยมวลต่อปริมาตร	20 mL
3. น้ำกลั่น	0.5 mL
วัสดุและอุปกรณ์	
1. บีกเกอร์ขนาด 50 mL	2 ใบ
2. กระบอกตวงขนาด 10 mL	1 อัน
3. หลอดหยด	1 อัน

การเตรียมล่วงหน้า

1. เตรียม KI 1 %w/v ปริมาตร 10 mL โดยชั่ง KI 0.1 g ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 10 mL (สารละลายที่เตรียมสามารถใช้ได้กับการทดลองของนักเรียนประมาณ 20 กลุ่ม)

2. เตรียม H_2O_2 8%w/v ปริมาตร 150 mL โดยการตวง H_2O_2 35%w/w (40%w/v) ปริมาตร 30 mL เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 150 mL (สารละลายที่เตรียมสามารถใช้ได้กับการทดลองของนักเรียนประมาณ 15 กลุ่ม)

ข้อเสนอแนะสำหรับครู

1. H_2O_2 เป็นสารเคมีที่ก่อให้เกิดความระคายเคือง ควรให้นักเรียนสวมถุงมือระหว่างทำการทดลอง
2. อาจใช้ H_2O_2 ความเข้มข้นสูงกว่า 8%w/v หรือเติมน้ำยาล้างจานที่ไม่มีสี เพื่อให้สังเกตเห็นฟองแก๊สได้ชัดเจนขึ้น
3. ถ้าไม่ได้ใช้ H_2O_2 ที่เปิดขวดใหม่ อาจทำให้ไม่เห็นฟองแก๊สในกรณีที่ไม่เติม KI

ตัวอย่างผลการออกแบบและเขียนรายงานทดลอง

กิจกรรม 8.5 ออกแบบและทดลองเพื่อศึกษาผลของการเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ต่ออัตราการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

จุดประสงค์การทดลอง

1. ออกแบบและทดลองเพื่อศึกษาผลของการเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ต่ออัตราการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
2. อธิบายผลของการเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ต่ออัตราการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

สมมติฐาน ปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเกิดได้เร็วขึ้นเมื่อเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์

ตัวแปรต้น สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์

ตัวแปรตาม ปริมาณฟองแก๊สที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ตัวแปรควบคุม ความเข้มข้นและปริมาตรของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อุณหภูมิ ขนาดภาชนะ เวลา

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
สารเคมี	
1. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร	0.5 mL
2. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ร้อยละ 8 โดยมวลต่อปริมาตร	20 mL
3. น้ำกลั่น	0.5 mL
วัสดุและอุปกรณ์	
1. บีกเกอร์ขนาด 50 mL	2 ใบ
2. กระบอกตวงขนาด 10 mL	1 อัน
3. หลอดหยด	1 อัน

วิธีทดลอง

1. เติม H_2O_2 ปริมาตร 10 mL ลงในบีกเกอร์ใบที่ 1 และ 2
2. เติม KI 0.5 mL ลงในบีกเกอร์ใบที่ 1
3. เติม H_2O 0.5 mL ลงในบีกเกอร์ใบที่ 2
4. สังเกตการเปลี่ยนแปลงและบันทึกผลการทดลอง

ตัวอย่างผลการทดลอง

ในเวลาที่เท่ากันเมื่อเติม KI ลงในบีกเกอร์ใบที่ 1 พบว่า เกิดฟองแก๊สปริมาณมากในขณะที่บีกเกอร์ใบที่ 2 สังเกตเห็นฟองแก๊สเกิดขึ้นเล็กน้อยหรืออาจไม่เห็นฟองแก๊สเลย โดยในระหว่างที่ปฏิกิริยาดำเนินไป สารละลายในบีกเกอร์ใบที่ 1 เปลี่ยนเป็นสีเหลืองแล้วกลับเป็นสารละลายใสไม่มีสีเหมือนเดิม ส่วนสารละลายในบีกเกอร์ใบที่ 2 เป็นสารละลายใสไม่มีสีตลอดเวลา

อภิปรายผลการทำกิจกรรม

H_2O_2 สลายตัว ดังสมการเคมี

$$2H_2O_2(aq) \longrightarrow 2H_2O(l) + O_2(g)$$

ปฏิกิริยาการสลายตัวของ H_2O_2 สามารถสังเกตได้จาก O_2 ที่เกิดขึ้น โดยฟองแก๊สจะหมดไปเมื่อปฏิกิริยาเคมีสิ้นสุดลง

เมื่อเติม KI ลงในบีกเกอร์ใบที่ 1 พบว่า เกิดฟองแก๊สปริมาณมากกว่าบีกเกอร์ใบที่ 2 ในเวลาที่เท่ากัน แสดงว่า ปฏิกิริยาในบีกเกอร์ใบที่ 1 เกิดเร็วกว่าใบที่ 2 มาก โดยในระหว่างที่ปฏิกิริยาดำเนินไป สารละลายในบีกเกอร์ใบที่ 1 เปลี่ยนเป็นสีเหลืองแล้วกลับเป็นสารละลายใสไม่มีสีเหมือนเดิม ส่วนสารละลายในบีกเกอร์ใบที่ 2 เป็นสารละลายใสไม่มีสีตลอดเวลา แสดงว่า KI เข้าไปมีส่วนร่วมในปฏิกิริยาด้วย

สรุปผลการทดลอง

เมื่อเติม KI ลงใน H_2O_2 ทำให้อัตราการสลายตัวของ H_2O_2 สูงขึ้น

7. ครูอธิบายเชื่อมโยงจากกิจกรรมว่า โพแทสเซียมไอโอไดด์ทำให้ปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิดได้เร็วขึ้น ซึ่งสารที่เติมลงไปแล้วทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดได้เร็วขึ้นเรียกว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นโพแทสเซียมไอโอไดด์จึงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

8. ครูให้ความรู้เพิ่มเติมว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาจะเข้าไปมีส่วนร่วมในปฏิกิริยา แต่เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดแล้วจะได้ตัวเร่งปฏิกิริยากลับคืนมาเหมือนเดิม ซึ่งจากกิจกรรมจะเห็นว่า ระหว่างปฏิกิริยาดำเนินไปสารละลายในบีกเกอร์ที่เติมโพแทสเซียมไอโอไดด์เปลี่ยนเป็นสีเหลืองและเมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดจะได้โพแทสเซียมไอโอไดด์กลับมาเหมือนเดิมจึงสังเกตเห็นเป็นสารละลายใสไม่มีสี

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

ปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เมื่อเติมโพแทสเซียมไอโอไดด์แสดงดังสมการเคมี

$$H_2O_2(aq) + I^-(aq) \longrightarrow H_2O(l) + OI^-(aq)$$

$$OI^-(aq) + H_2O_2(aq) \longrightarrow O_2(g) + I^-(aq) + H_2O(l)$$

9. ครูอธิบายว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้พลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาลดลงแต่พลังงานของปฏิกิริยาไม่เปลี่ยนแปลง โดยใช้รูป 8.11 ประกอบการอธิบาย จากนั้นครูยกตัวอย่างความรู้เกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในชีวิตประจำวัน ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน แล้วให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับตัวหน่วงปฏิกิริยา

10. ครูอธิบายเกี่ยวกับธรรมชาติของสารที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่แตกต่างกัน เช่น ปฏิกิริยาการเผาไหม้ถ่านและเพชรซึ่งเป็นคาร์บอนที่มีอัญรูปแตกต่างกัน ซึ่งมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีแตกต่างกัน

11. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

12. ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 8.6 เพื่อสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันหรืออุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จากนั้นให้นักเรียนสะท้อนความรู้ความเข้าใจ โดยให้นักเรียนแต่ละกลุ่มสรุปความรู้ และนำเสนอในรูปแบบที่สามารถสร้างความเข้าใจให้กับผู้อื่นได้ดี เช่น แผนผัง แผ่นพับ วีดิทัศน์

กิจกรรม 8.6 สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันหรืออุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

จุดประสงค์ของกิจกรรม

สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างกระบวนการที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันหรืออุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

เวลาที่ใช้ 50 นาที

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ความเข้มข้น

การล้างห้องน้ำโดยใช้น้ำยาล้างห้องน้ำที่มีความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมากกว่าจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับหินปูนได้เร็วกว่า

อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารในร่างกายของมนุษย์ โดยถ้าร่างกายมีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส เนื้อเยื่อในร่างกายจะต้องการออกซิเจนเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลให้อัตราการเต้นของชีพจรและอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น

พื้นที่ผิวของสาร

การรับประทานอาหาร นักโภชนาการแนะนำให้เคี้ยวอาหารให้ละเอียดก่อนกลืน เพราะการเคี้ยวอาหารให้ละเอียดทำให้อาหารมีขนาดเล็กลง เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของอาหารให้มากขึ้น ทำให้กรดและเอนไซม์ในน้ำย่อยในกระเพาะอาหารทำปฏิกิริยากับอาหารได้เร็วขึ้น อาหารจึงย่อยง่ายขึ้น

ตัวเร่งปฏิกิริยา

การหมักเนื้อโดยเติมยางมะละกอซึ่งมีเอนไซม์ปาเปน (papain) ลงไป จะทำให้เนื้อนุ่มขึ้น เนื่องจากเอนไซม์ปาเปนจะช่วยย่อยโปรตีนในเนื้อทำให้เนื้อนุ่มขึ้นเมื่อทำให้สุก

การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแตกสลายไฮโดรคาร์บอนสำหรับการกลั่นน้ำมัน

ข้อเสนอแนะสำหรับครู

ครูให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลล่วงหน้าแล้วนำเสนอในห้องเรียน

13. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 8.3 เพื่อทบทวนความรู้
14. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปเนื้อหาในบทเรียน แล้วให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดท้ายบท

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับผลของความเข้มข้น พื้นที่ผิว อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จากรายงานการทดลอง ผลงานการสืบค้น การอภิปราย การทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ
2. ทักษะการสังเกต การวัด และการทดลอง จากรายงานการทดลองและการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลอง
3. ทักษะความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลอง และการทำกิจกรรม
4. ทักษะการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ จากการอภิปรายและผลงานการสืบค้น
5. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความอยากรู้อยากเห็น ความซื่อสัตย์ ความรอบคอบ การใช้วิจารณญาณ ความใจกว้าง ความเชื่อมั่นต่อหลักฐาน จากการสังเกตพฤติกรรมในการอภิปราย การทำการทดลอง และการทำกิจกรรม
6. จิตวิทยาศาสตร์ด้านการเห็นคุณค่าทางวิทยาศาสตร์ จากผลงานการสืบค้น

แบบฝึกหัด 8.3

1. ปฏิกิริยาระหว่างเหล็กกับกรดไฮโดรคลอริกเป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน ข้อสรุปเกี่ยวกับปฏิกิริยาต่อไปนี้ถูกต้องหรือไม่ เพราะเหตุใด

   1.1 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น

   ถูก เพราะการเพิ่มอุณหภูมิ จะทำให้โมเลกุลของสารตั้งต้นมีพลังงานจลน์สูงขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของปฏิกิริยาจึงเพิ่มขึ้น

   1.2 เมื่อใช้แผ่นเหล็กจะเกิดปฏิกิริยาเคมีเร็วกว่าผงตะไบเหล็กที่มีมวลเท่ากัน

   ผิด เพราะผงตะไบเหล็กมีพื้นที่ผิวมากกว่า จึงเกิดปฏิกิริยาเคมีเร็วกว่า

   1.3 เมื่อใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร จะเกิดปฏิกิริยาเคมีเร็วกว่า เมื่อใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

   ผิด เพราะความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเท่ากัน อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจึงเท่ากัน

   1.4 การเติมตัวเร่งปฏิกิริยาลงในระบบ เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจะได้ผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

   ผิด เพราะตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น แต่ไม่ได้เพิ่มปริมาณผลิตภัณฑ์ ดังนั้นเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจะได้ผลิตภัณฑ์เท่าเดิม

   1.5 เมื่อคนสารในระบบ อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น

   ถูก การคนสารในระบบ ทำให้กรดไฮโดรคลอริกมีโอกาสสัมผัสและเกิดปฏิกิริยาเคมีกับเหล็กมากขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจึงมากขึ้น

2. เมื่อนำสาร A และ สาร B ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ มาทำปฏิกิริยากันเป็นเวลา 10 นาที พบว่าได้ผลิตภัณฑ์เป็น A_2B ซึ่งมีความเข้มข้น ดังตาราง

การทดลองที่	ความเข้มข้น (M)		
	A เริ่มต้น	B เริ่มต้น	A_2B ที่ 10 นาที
1	1.00	0.50	0.40
2	1.00	1.00	0.40
3	1.00	1.50	0.40
4	0.50	0.50	0.20

2.1 เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

$$2A + B \longrightarrow A_2B$$

2.2 อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นกับความเข้มข้นเริ่มต้นของสาร A และ B อย่างไร

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นกับความเข้มข้นเริ่มต้นของสาร A แต่ไม่ขึ้นกับความเข้มข้นเริ่มต้นของสาร B เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของสาร A ลดลง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจึงลดลง

3. พิจารณาปฏิกิริยาระหว่างแก๊สไฮโดรเจน (H_2) กับแก๊สไอโอดีน (I_2) ที่อุณหภูมิ 458 องศาเซลเซียส ดังสมการเคมี

$$H_2(g) + I_2(g) \longrightarrow 2HI(g)$$

เมื่อเพิ่มปริมาณแก๊สไฮโดรเจนเป็น 2 เท่า โดยปริมาตรของภาชนะคงที่ พบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าลดปริมาตรของภาชนะลงครึ่งหนึ่งโดยปริมาณของแก๊สเท่าเดิมจะมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีอย่างไร เพราะเหตุใด

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเพิ่มขึ้น เนื่องจากการลดปริมาตรของภาชนะลงมีผลทำให้ความเข้มข้นของแก๊สไฮโดรเจนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการเพิ่มปริมาณแก๊สไฮโดรเจน

4. เมื่อเผาโลหะแมกนีเซียมในอากาศจะลุกไหม้อย่างรวดเร็วได้ออกไซด์ของแมกนีเซียม แต่เมื่อวางโลหะแมกนีเซียมไว้ในอากาศจะทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนอย่างช้า ๆ เป็นเพราะเหตุใด
   เมื่อเผาโลหะแมกนีเซียมเป็นการเพิ่มพลังงานจำนวนมากให้กับอนุภาคของสารตั้งต้น ทำให้มีจำนวนอนุภาคที่มีพลังงานสูงพอที่จะเกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้น รวมทั้งโอกาสที่อนุภาคจะเกิดการชนกันก็มากขึ้น จึงทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้เร็วกว่าเมื่อวางโลหะแมกนีเซียมไว้ในอากาศซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า
5. การผลิตเนยเทียมที่เป็นของแข็งจากน้ำมันพืชที่เป็นของเหลวทำโดยเติมแก๊สไฮโดรเจนและโลหะนิกเกิลลงไปในกระบวนการผลิต เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาโลหะนิกเกิลที่ใส่ลงไปทั้งหมดจะถูกแยกออกจากเนยเทียม โลหะนิกเกิลที่เติมลงไปทำหน้าที่ใด
   โลหะนิกเกิลทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

แบบฝึกหัด | เฉลยแบบฝึกหัด | แบบทดสอบ | เฉลยแบบทดสอบ

แบบฝึกหัดท้ายบท

1. ปฏิกิริยา $3A + 2B \longrightarrow 2C$ ถ้าสาร A มีความเข้มข้นเริ่มต้น 0.20 โมลาร์ เมื่อเวลาผ่านไป 90 วินาที ความเข้มข้นของสาร A ลดลงเหลือ 0.05 โมลาร์ อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร C ในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นเท่าใด

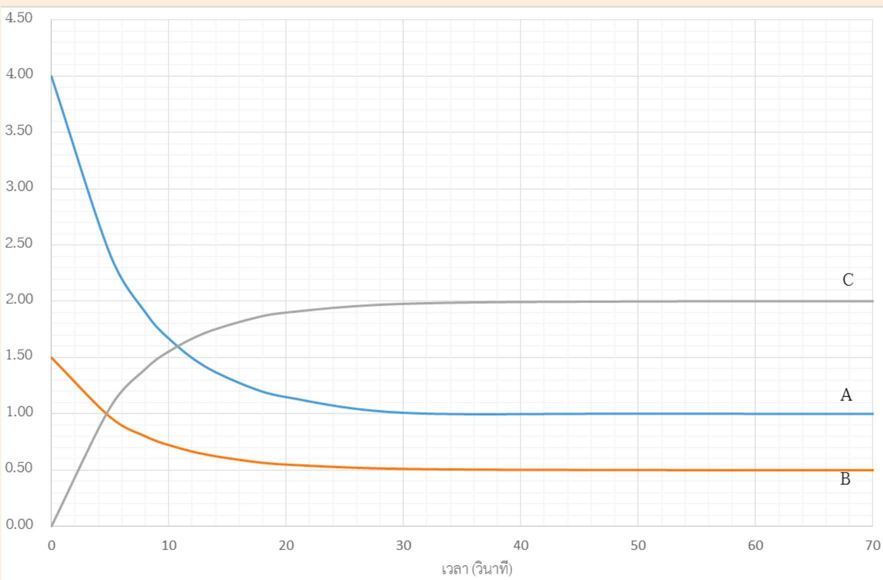
$$-\frac{1}{3}\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = \frac{1}{2}\frac{\Delta[C]}{\Delta t}$$

$$-\frac{1}{3}\frac{(0.05 - 0.20)\ M}{(90 - 0)\ s} = \frac{1}{2}\frac{\Delta[C]}{\Delta t}$$

$$\frac{\Delta[C]}{\Delta t} = 1.1 \times 10^{-3}\ M\ s^{-1}$$

ดังนั้น อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร C ในช่วงเวลาดังกล่าวเป็น 1.1×10^{-3} โมลาร์ต่อวินาที

2. พิจารณากราฟต่อไปนี้



จงเขียนสมการเคมีและคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

หาความเข้มข้นตั้งแต่เริ่มต้นปฏิกิริยาจนความเข้มข้นไม่เปลี่ยนแปลง

สาร	ความเข้มข้นเริ่มต้น (M)	ความเข้มข้นเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาเคมี (M)	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น (M)
A	4.00	1.00	3.00
B	1.50	0.50	1.00
C	0.00	2.00	2.00

ดังนั้น สมการเคมีเป็น $3A + B \longrightarrow 2C$
ความเข้มข้นไม่เปลี่ยนแปลงที่เวลา 30 วินาที

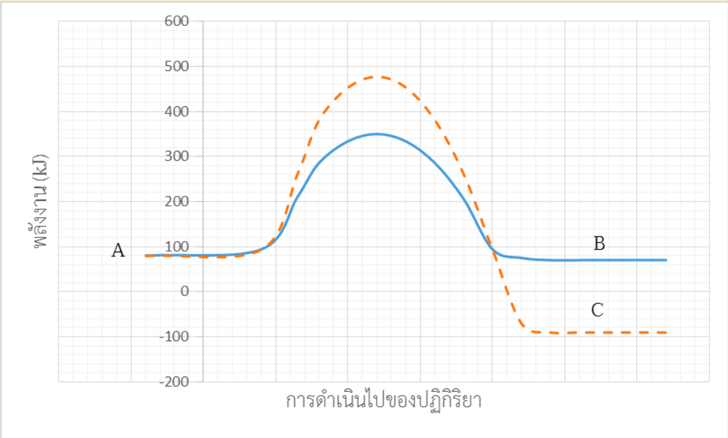
$$r = -\frac{\Delta[B]}{\Delta t}$$

$$= -\frac{(0.50 - 1.50)\ M}{(30 - 0)\ s}$$

$$= 3.3 \times 10^{-2}\ M\ s^{-1}$$

ดังนั้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเท่ากับ 3.3×10^{-2} โมลาร์ต่อวินาที

3. สาร A เกิดปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนเป็นสาร B และ C ตามแผนภาพการดำเนินไปของปฏิกิริยาดังแสดง



ถ้าเริ่มต้นปฏิกิริยาเคมีด้วยความเข้มข้นของสาร A เท่ากัน อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของ A $\longrightarrow$ B และ A $\longrightarrow$ C เท่ากันหรือไม่ อย่างไร

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของ A $\longrightarrow$ B มากกว่า A $\longrightarrow$ C เนื่องจากพลังงานก่อกัมมันต์ของ A $\longrightarrow$ B มีค่าน้อยกว่าพลังงานก่อกัมมันต์ของ A $\longrightarrow$ C

4. ปฏิกิริยาการสลายตัวของโพแทสเซียมคลอเรต ($KClO_3$) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) และแก๊สออกซิเจน (O_2) ดังสมการเคมี

$$2KClO_3(s) \longrightarrow 2KCl(s) + 3O_2(g)$$

ปฏิกิริยาดังกล่าวต้องมีการให้ความร้อนและใช้แมงกานีส(IV)ออกไซด์ (MnO_2) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

4.1 ในการศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีควรติดตามโดยการวัดปริมาณของสารใด เพราะเหตุใด

O_2 เนื่องจากเป็นแก๊สแยกออกจากสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ได้ ส่วน $KClO_3$ และ KCl เป็นของแข็งที่ผสมกันอยู่จึงหามวลของสารแต่ละชนิดได้ยาก

4.2 ถ้าต้องการให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้นอีก ควรทำอย่างไร

บด $KClO_3$ ให้ละเอียดขึ้น และ/หรือ เพิ่มอุณหภูมิในการให้ความร้อน

4.3 ถ้าทำการทดลองในภาชนะขนาด 10.0 ลิตร เมื่อทำการทดลองผ่านไป 10 นาที ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส วัดความดันภายในภาชนะได้เท่ากับ 11.98 บรรยากาศ จงคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเฉลี่ยของปฏิกิริยานี้ เมื่อกำหนดให้ ปริมาตรของโพแทสเซียมคลอเรตและโพแทสเซียมคลอไรด์ มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาตรของภาชนะ

หาจำนวนโมลของแก๊สออกซิเจนที่เกิดขึ้น

จาก $PV = nRT$

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

$$= \frac{(11.98\ \text{atm})(10.0\ \text{L})}{(0.0821\ \text{L}\cdot\text{atm/mol}\cdot\text{K})(55 + 273\ \text{K})}$$

$$= 4.45\ \text{mol}$$

ความเข้มข้นของ O_2 $= \dfrac{4.45 \text{ mol}}{10.0 \text{ L}}$

$= 0.445 \text{ M}$

คำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

$$r = \frac{1}{3}\frac{\Delta[O_2]}{\Delta t}$$

$$= \frac{1}{3} \times \frac{0.445 \text{ M}}{10 \text{ min}}$$

$$= 1.5 \times 10^{-2} \text{ M min}^{-1}$$

5. ในการจุดเทียนหอม ความร้อนจากเปลวไฟจะทำให้เนื้อเทียนเป็นของเหลว เนื้อเทียนเหลวจะเคลื่อนที่ไปตามไส้เทียนและเกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ เกิดเป็นแสงสว่างและทำให้น้ำมันหอมระเหยในเนื้อเทียนฟุ้งกระจายไป หากต้องการให้ปฏิกิริยาเกิดช้าลงซึ่งจะทำให้จุดเทียนหอมให้สว่างและส่งกลิ่นหอมได้นานขึ้นควรทำอย่างไร
   - ตัดไส้เทียนให้สั้นลง เพื่อลดพื้นที่ผิวในการเผาไหม้
   - ครอบเทียนหอมด้วยโคมเทียน เพื่อลดปริมาณออกซิเจนที่เข้ามาทำปฏิกิริยาการเผาไหม้

6. จากการศึกษาปฏิกิริยา $A(aq) + B(aq) \longrightarrow P(aq)$ เมื่อทำการจับเวลาที่ใช้ในการเกิดสาร P ให้ได้ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ได้ผลดังตาราง

การทดลองที่	ความเข้มข้นเริ่มต้น (M)		สาร X (g)	อุณหภูมิ (°C)	เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา (s)
	A	B			
1	0.10	0.10	-	25	30
2	0.10	0.10	-	45	15
3	0.10	0.10	0.01	25	5
4	0.10	0.20	-	25	10
5	0.20	0.10	-	25	15

6.1 อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของสารตั้งต้นใด ทราบได้อย่างไร

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของทั้งสาร A และ B ทราบได้จากการทดลองที่ 1 4 และ 5 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้นตัวใดตัวหนึ่ง เวลาที่ใช้ในการเกิดสาร P ลดลง

6.2 สาร X ทำหน้าที่ใดในปฏิกิริยานี้

ตัวเร่งปฏิกิริยา

6.3 เพราะเหตุใดการทดลองที่ 2 จึงใช้เวลาน้อยกว่าการทดลองที่ 1

การทดลองที่ 2 ใช้อุณหภูมิสูงกว่าการทดลองที่ 1

7. ในการทดลองทำจรวดจากขวดน้ำพลาสติกทำได้โดยนำขวดน้ำมาตกแต่งเป็นรูปจรวด จากนั้นเติมน้ำส้มสายชู (CH_3COOH) ลงไปประมาณหนึ่งในสี่ของขวด และนำโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ประมาณ 1 ช้อนโต๊ะ มาห่อด้วยกระดาษชำระและอัดไว้ที่ปากขวด ปิดปากขวดให้เรียบร้อย จากนั้นคว่ำขวด น้ำส้มสายชูจะทำให้กระดาษทิชชูเปียกและแตกออก น้ำส้มสายชูจะทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ดังสมการเคมี

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

การปรับปรุงในข้อใด จะทำให้เกิดแรงดันจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้มากขึ้น

7.1 เพิ่มปริมาณโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต

อัตราการเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มปริมาณโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเป็นการเพิ่มปริมาณสารตั้งต้น

7.2 เพิ่มความเข้มข้นของน้ำส้มสายชู

อัตราการเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น เพราะอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น

7.3 เปลี่ยนขวดน้ำพลาสติกให้มีขนาดใหญ่ขึ้น

อัตราการเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เท่าเดิม เนื่องจากปริมาณสารตั้งต้นเท่าเดิม

บทที่ 9

สมดุลเคมี

ipst.me/8828

ผลการเรียนรู้

1. ทดสอบและอธิบายความหมายของปฏิกิริยาผันกลับได้และภาวะสมดุล
2. อธิบายการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า และอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เมื่อเริ่มปฏิกิริยาจนกระทั่งระบบอยู่ในภาวะสมดุล
3. คำนวณค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา
4. คำนวณความเข้มข้นของสารที่ภาวะสมดุล
5. คำนวณค่าคงที่สมดุลหรือความเข้มข้นของปฏิกิริยาหลายขั้นตอน
6. ระบุปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสมดุลและค่าคงที่สมดุลของระบบ รวมทั้งคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อภาวะสมดุลของระบบถูกรบกวนโดยใช้หลักของเลอชาเตอลิเอ
7. ยกตัวอย่างและอธิบายสมดุลเคมีของกระบวนการที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต ปรากฏการณ์ในธรรมชาติและกระบวนการในอุตสาหกรรม

การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

ผลการเรียนรู้

1. ทดสอบและอธิบายความหมายของปฏิกิริยาผันกลับได้และภาวะสมดุล

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ทดสอบและอธิบายความหมายของปฏิกิริยาผันกลับได้และสภาวะสมดุล

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
1. การสังเกต 2. การทดลอง 3. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป	1. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. ความรอบคอบ

<table>
<tr><td colspan="3">ผลการเรียนรู้
2. อธิบายการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า และอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เมื่อเริ่มปฏิกิริยาจนกระทั่งระบบอยู่ในภาวะสมดุล
จุดประสงค์การเรียนรู้
1. อธิบายการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า และอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เมื่อเริ่มปฏิกิริยาจนกระทั่งระบบอยู่ในสมดุล</td></tr>
<tr><td>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
1. การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล
2. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป</td><td>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21
-</td><td>จิตวิทยาศาสตร์
-</td></tr>
<tr><td colspan="3">ผลการเรียนรู้
3. คำนวณค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา
จุดประสงค์การเรียนรู้
1. เขียนความสัมพันธ์ของค่าคงที่สมดุลจากสมการเคมี
2. คำนวณค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาเคมี</td></tr>
<tr><td>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
1. การใช้จำนวน
2. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป</td><td>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21
-</td><td>จิตวิทยาศาสตร์
1. ความรอบคอบ</td></tr>
<tr><td colspan="3">ผลการเรียนรู้
4. คำนวณความเข้มข้นของสารที่ภาวะสมดุล
จุดประสงค์การเรียนรู้
1. คำนวณความเข้มข้นของสารที่สมดุล</td></tr>
<tr><td>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
1. การใช้จำนวน</td><td>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21
1. การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา</td><td>จิตวิทยาศาสตร์
1. ความรอบคอบ</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="3">ผลการเรียนรู้
5. คำนวณค่าคงที่สมดุลหรือความเข้มข้นของปฏิกิริยาหลายขั้นตอน
จุดประสงค์การเรียนรู้
1. คำนวณค่าคงที่สมดุลหรือความเข้มข้นของสารในปฏิกิริยาหลายขั้นตอน</td></tr>
<tr><td>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</td><td>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</td><td>จิตวิทยาศาสตร์</td></tr>
<tr><td>1. การใช้จำนวน</td><td>1. การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา</td><td>1. ความรอบคอบ</td></tr>
<tr><td colspan="3">ผลการเรียนรู้
6. ระบุปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสมดุลและค่าคงที่สมดุลของระบบ รวมทั้งคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อภาวะสมดุลของระบบถูกรบกวนโดยใช้หลักของเลอชาเตอลิเอ
จุดประสงค์การเรียนรู้
1. ระบุปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลและค่าคงที่สมดุลของระบบ
2. ใช้หลักของเลอชาเตอลิเอในการคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อสมดุลของระบบถูกรบกวน</td></tr>
<tr><td>ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์</td><td>ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21</td><td>จิตวิทยาศาสตร์</td></tr>
<tr><td>1. การสังเกต
2. การพยากรณ์
3. การทดลอง
4. การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป</td><td>1. การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา
2. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ</td><td>1. ความมีเหตุผล
2. ความซื่อสัตย์</td></tr>
</table>

ผลการเรียนรู้

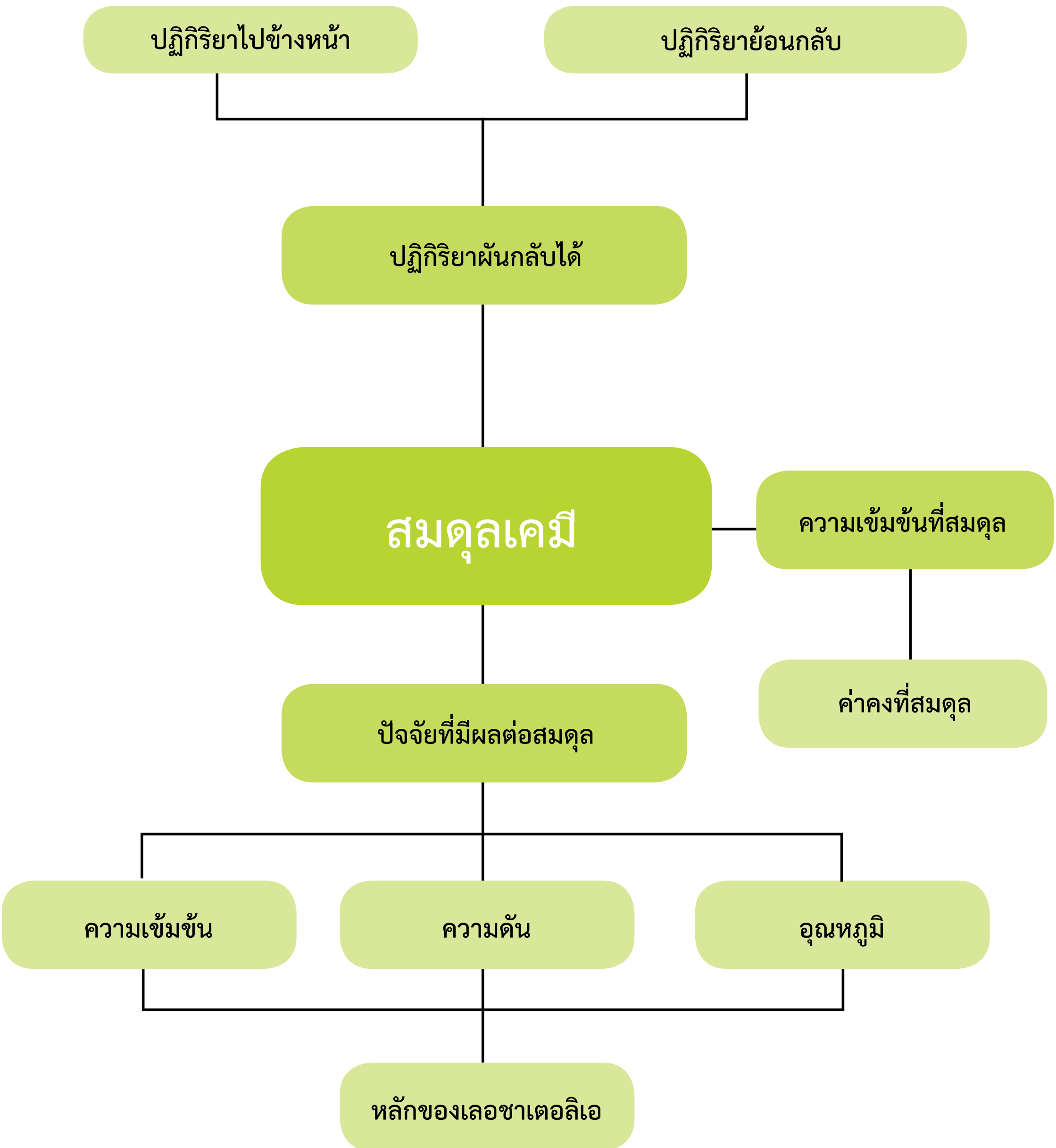
7. ยกตัวอย่างและอธิบายสมดุลเคมีของกระบวนการที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต ปรากฏการณ์ในธรรมชาติและกระบวนการในอุตสาหกรรม

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ยกตัวอย่างและอธิบายสมดุลเคมีของกระบวนการที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต ปรากฏการณ์ในธรรมชาติและกระบวนการในอุตสาหกรรม

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21	จิตวิทยาศาสตร์
-	1. การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา 2. การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ 3. ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ	1. ความอยากรู้อยากเห็น 2. ความมีเหตุผล 3. ความใจกว้าง

ผังมโนทัศน์
บทที่ 9 สมดุลเคมี



สาระสำคัญ

การเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ในระบบปิด ที่สภาวะสมดุลมีปริมาณสารในระบบคงที่ เนื่องจากมีอัตราการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับเกิดขึ้นต่อเนื่องกันตลอดเวลา เรียกว่า สมดุลพลวัต สำหรับสมดุลพลวัตของปฏิกิริยาเคมีที่ผันกลับได้ เรียกว่า สมดุลเคมี ซึ่งเป็นสภาวะที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์คงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

ที่สมดุล ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์กับสารตั้งต้นมีความสัมพันธ์ที่เป็นค่าคงที่ เรียกว่า ค่าคงที่สมดุลซึ่งเป็นค่าเฉพาะของแต่ละปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ค่าคงที่สมดุลสามารถนำมาใช้ในการคำนวณปริมาณของผลิตภัณฑ์หรือสารตั้งต้นที่สมดุลได้ นอกจากนี้ค่าคงที่สมดุลสามารถใช้บ่งบอกว่าปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้าเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ได้มากหรือน้อยเมื่อเทียบกับสารตั้งต้น ค่าคงที่สมดุลมีความสัมพันธ์กับเลขสัมประสิทธิ์ในสมการเคมี และค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาหลายขั้นตอน หาได้จากผลคูณของค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาย่อยที่นำสมการเคมีมารวมกัน

สมดุลเคมีอาจถูกรบกวนได้โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร ความดัน หรืออุณหภูมิ ซึ่งปฏิกิริยาเคมีจะปรับตัวไปในทิศทางที่ลดผลของการรบกวนเพื่อเข้าสู่สมดุลอีกครั้งตามหลักของเลอชาเตอลิเอ โดยมีเฉพาะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ทำให้ค่าคงที่สมดุลเปลี่ยนแปลง

หลักการของสมดุลเคมีสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม และใช้อธิบายกระบวนการบางอย่างที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตและปรากฏการณ์ธรรมชาติได้

เวลาที่ใช้

บทนี้ควรใช้เวลาสอนประมาณ	**24 ชั่วโมง**
9.1 สภาวะสมดุล	8 ชั่วโมง
9.2 ค่าคงที่สมดุล	8 ชั่วโมง
9.3 ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุล	6 ชั่วโมง
9.4 สมดุลเคมีในสิ่งมีชีวิต สิ่งแวดล้อม และอุตสาหกรรม	2 ชั่วโมง

ความรู้ก่อนเรียน

ระบบเปิดและระบบปิด อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ปฏิกิริยาคายพลังงานและปฏิกิริยาดูดพลังงาน ปริมาณสัมพันธ์ ความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยโมลาร์

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ใส่เครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ถูกต้อง และเครื่องหมาย ✗ หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง

...✓... 1. น้ำแข็งในแก้วเก็บความเย็นเป็นระบบปิด

...✓... 2. ปฏิกิริยาเคมีระหว่างหินปูนกับกรดเกลือในบีกเกอร์เป็นการเปลี่ยนแปลงในระบบเปิด

...✓... 3. ปฏิกิริยาดูดพลังงานมีค่าพลังงานของปฏิกิริยา (ΔE) เป็นบวก

...✓... 4. ปฏิกิริยาคายพลังงาน ให้ผลิตภัณฑ์และพลังงาน

...✗... 5. ปฏิกิริยาคายพลังงาน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีลดลง

ทั้งปฏิกิริยาคายพลังงานและปฏิกิริยาดูดพลังงาน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะสูงขึ้น

...✗... 6. อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในช่วงเริ่มต้นมีค่าน้อย และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในช่วงเริ่มต้นมีค่ามาก และค่อย ๆ ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป

...✗... 7. ปฏิกิริยา $H_2(g) + I_2(g) \longrightarrow 2HI(g)$ เมื่อ H_2 ลดลง 0.5 โมล จะมี HI เกิดขึ้น 0.5 โมล

มี HI เกิดขึ้น 1.0 โมล

...✓... 8. ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในน้ำ 4.0 กรัม แล้วเติมน้ำจนสารละลายมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร สารละลายมีความเข้มข้น 1.0 โมลาร์

9.1 สภาวะสมดุล

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ทดสอบและอธิบายความหมายของปฏิกิริยาผันกลับได้และสภาวะสมดุล
2. อธิบายการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า และอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เมื่อเริ่มปฏิกิริยาจนกระทั่งระบบอยู่ในสมดุล

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	ความเข้าใจที่ถูกต้อง
ปฏิกิริยาผันกลับได้ สารตั้งต้นเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าจนกระทั่งสารตั้งต้นหมด แล้วจึงเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ	ปฏิกิริยาผันกลับได้ สารตั้งต้นเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ากลายเป็นผลิตภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นสามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ โดยไม่ต้องเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าจนสารตั้งต้นหมด
ที่สภาวะสมดุล ไม่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น ทำให้สารในระบบมีปริมาณคงที่	ที่สภาวะสมดุล มีปฏิกิริยาไปข้างหน้าและปฏิกิริยาย้อนกลับเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยปฏิกิริยาไปข้างหน้าและปฏิกิริยาย้อนกลับมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเท่ากัน จึงทำให้สารในระบบมีปริมาณคงที่
ที่สภาวะสมดุล สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์มีความเข้มข้นเท่ากัน	ที่สภาวะสมดุล อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าและปฏิกิริยาย้อนกลับมีค่าเท่ากัน แต่สารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์อาจมีความเข้มข้นเท่ากันหรือไม่ก็ได้

แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูยกตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงของสารที่สังเกตเห็นได้ง่ายเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเกิดขึ้นค่อนข้างเร็วและดำเนินไปในทิศทางเดียว เช่น การเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง การบูดเน่าของอาหาร การระเหิดของน้ำแข็งแห้ง จากนั้นยกตัวอย่างปรากฏการณ์ในธรรมชาติหรือในชีวิตประจำวันที่ดูเสมือนว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสารเกิดขึ้น เช่น หินงอกหินย้อยที่พบเห็นในถ้ำ ระดับน้ำที่บรรจุอยู่ในภาชนะปิด แล้วใช้คำถามนำว่า ปรากฏการณ์เหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงของสารเกิดขึ้นหรือไม่ เพราะเหตุใดจึงไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลง และหากต้องการตรวจสอบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของสารอยู่หรือไม่จะทำได้อย่างไร

2. ครูให้นักเรียนพิจารณาปริมาตรน้ำในระบบเปิดและระบบปิด เมื่อเวลาผ่านไปในรูป 9.1 จากนั้นอธิบายการลดลงของระดับน้ำที่อยู่ในภาชนะเปิด แล้วใช้คำถามนำว่า น้ำในภาชนะปิดมีการระเหยเป็นไอน้ำหรือไม่ มีกระบวนการใดที่ทำให้น้ำในภาชนะที่ปิดฝามีระดับคงที่ เพื่อนำเข้าสู่กิจกรรม 9.1

3. ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 9.1 การเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ แล้วให้นักเรียนอภิปรายผลการทำกิจกรรมโดยใช้คำถามท้ายกิจกรรม

กิจกรรม 9.1 การเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้

จุดประสงค์ของกิจกรรม

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ของระบบ

เวลาที่ใช้	อภิปรายก่อนทำกิจกรรม	10	นาที
	ทำกิจกรรม	25	นาที
	อภิปรายหลังทำกิจกรรม	15	นาที
	รวม	**50**	**นาที**

วัสดุและอุปกรณ์

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
ลวดเสียบกระดาษ หรือวัสดุอื่น เช่น ลูกอม เหรียญบาท	40 อัน

ข้อเสนอแนะสำหรับครู

1. เน้นให้นักเรียนย้ายลวดเสียบกระดาษ จากทั้งสองกลุ่มพร้อมกัน
2. อาจให้นักเรียนทำกิจกรรมตอนที่ 1 พร้อมกัน เพื่อให้มีความเข้าใจตรงกันก่อน จากนั้นจึงทำกิจกรรมตอนที่ 2 โดยให้นักเรียนแข่งขันกันเติมข้อมูลบนกระดานหน้าห้อง

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ตอนที่ 1

ครั้งที่	A		B	
	จำนวนลวดเสียบกระดาษที่ย้าย (อัน)	จำนวนรวมของลวดเสียบกระดาษ (อัน)	จำนวนลวดเสียบกระดาษที่ย้าย (อัน)	จำนวนรวมของลวดเสียบกระดาษ (อัน)
เริ่มต้น	-	30	-	10
1	15	18	3	22
2	9	15	6	25
3	8	13	6	27
4	7	13	7	27
5	7	13	7	27

ตอนที่ 2

ครั้งที่	A		B	
	จำนวนลวดเสียบกระดาษที่ย้าย (อัน)	จำนวนรวมของลวดเสียบกระดาษ (อัน)	จำนวนลวดเสียบกระดาษที่ย้าย (อัน)	จำนวนรวมของลวดเสียบกระดาษ (อัน)
เริ่มต้น	-	40	-	0
1	20	20	0	20
2	10	15	5	25
3	8	13	6	27
4	7	13	7	27
5	7	13	7	27

อภิปรายผลการทำกิจกรรม

จากกิจกรรมตอนที่ 1 พบว่าจำนวนลวดเสียบกระดาษที่ย้ายจากกลุ่ม A ไป B มีแนวโน้มลดลงแล้วคงที่ ในขณะที่จำนวนลวดเสียบกระดาษที่ย้ายจากกลุ่ม B ไป A มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแล้วคงที่ โดยตั้งแต่การย้ายครั้งที่ 4 จำนวนลวดเสียบกระดาษที่ย้ายระหว่าง 2 กลุ่ม มีจำนวนเท่ากัน ส่งผลให้จำนวนรวมของลวดเสียบกระดาษในแต่ละกลุ่มคงที่ตั้งแต่หลังการย้ายครั้งที่ 3 ทั้งนี้กิจกรรมตอนที่ 2 ได้ผลการทดลองเช่นเดียวกับกิจกรรมตอนที่ 1

หากให้จำนวนลวดเสียบกระดาษในกลุ่ม A และกลุ่ม B เป็นปริมาณสาร A และสาร B และให้จำนวนลวดเสียบกระดาษที่ย้ายจากแต่ละกลุ่มในแต่ละครั้งเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าจากสาร A ไปเป็นสาร B และอัตราการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับจากสาร B ไปเป็นสาร A อาจสรุปได้ว่าปริมาณของสาร A และสาร B คงที่เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับ

สรุปผลการทำกิจกรรม

จำนวนลวดเสียบกระดาษในแต่ละกลุ่มมีค่าคงที่ เนื่องจากการย้ายลวดเสียบกระดาษจากกลุ่ม A ไป B และจากกลุ่ม B ไป A ในแต่ละครั้งมีจำนวนเท่ากัน

4. ครูนำอภิปรายเพื่อเชื่อมโยงกิจกรรม 9.1 กับการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ การเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้า การเปลี่ยนแปลงย้อนกลับ สภาวะสมดุล และสมดุลพลวัต แล้วอธิบายการเข้าสู่สมดุลของน้ำที่อยู่ในภาชนะปิดซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ โดยใช้รูป 9.2 ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน จากนั้นใช้คำถามนำว่า ปฏิกิริยาเคมีเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้หรือไม่ เพื่อนำเข้าสู่กิจกรรม 9.2

5. ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 9.2 การทดสอบปฏิกิริยาของไอร์ออน(III)ไอออน (Fe^{3+}) และไอร์ออน(II)ไอออน (Fe^{2+}) แล้วให้นักเรียนอภิปรายผลการทำกิจกรรมโดยใช้คำถามท้ายการทดลอง

กิจกรรม 9.2 การทดสอบปฏิกิริยาของไอร์ออน(III)ไอออน (Fe^{3+}) และไอร์ออน(II)ไอออน (Fe^{2+})

จุดประสงค์ของกิจกรรม

1. ทดสอบปฏิกิริยาระหว่างไอร์ออน(III)ไอออน (Fe^{3+}) กับไอโอไดด์ไอออน (I^-) พร้อมทั้งเขียนสมการเคมี
2. ทดสอบปฏิกิริยาระหว่างไอร์ออน(II)ไอออน (Fe^{2+}) กับไอโอดีน (I_2) พร้อมทั้งเขียนสมการเคมี
3. บอกความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาระหว่างไอร์ออน(III)ไอออนกับไอโอไดด์ไอออนกับปฏิกิริยาระหว่างไอร์ออน(II)ไอออนกับไอโอดีน

เวลาที่ใช้	อภิปรายก่อนทำกิจกรรม	10	นาที
	ทำกิจกรรม	45	นาที
	อภิปรายหลังทำกิจกรรม	35	นาที
	รวม	**90**	**นาที**

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
สารเคมี	
1. สารละลายไอร์ออน(III)ไนเทรต ($Fe(NO_3)_3$) 0.05 mol/L	1.0 mL
2. สารละลายแอมโมเนียมไอร์ออน(II)ซัลเฟต ($(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$) 0.05 mol/L	1.0 mL
3. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 0.05 mol/L	1.0 mL
4. สารละลายไอโอดีนในเอทานอล (I_2) 1%	1.0 mL
5. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.1 mol/L	0.5 mL
6. สารละลายโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอเรต(III) ($K_3Fe(CN)_6$) 0.1 mol/L	0.5 mL
7. สารละลายซิลเวอร์ไนเทรต ($AgNO_3$) 0.1 mol/L	0.5 mL
8. น้ำแป้งสุก 1%	0.5 mL
วัสดุและอุปกรณ์	
1. หลอดทดลองขนาดเล็ก	2 หลอด
2. จานหลุมพลาสติก	1 อัน
3. หลอดหยด	2 อัน
4. ไม้จิ้มฟัน	6 อัน

การเตรียมล่วงหน้า

1. เตรียม $Fe(NO_3)_3$ 0.05 mol/L ปริมาตร 50 mL โดยชั่งไอร์ออน(III)ไนเทรตนาโนไฮเดรต ($Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$) 1.01 g ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 50 mL
2. เตรียม $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ 0.05 mol/L ปริมาตร 50 mL โดยชั่งแอมโมเนียมไอร์ออน (II) ซัลเฟต เฮกซะไฮเดรต ($(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) 0.98 g ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 50 mL
3. เตรียม KI 0.05 mol/L ปริมาตร 50 mL โดยชั่ง KI 0.42 g ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 50 mL
4. เตรียม NaOH 0.1 mol/L ปริมาตร 25 mL โดยชั่ง NaOH 0.1 g ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 25 mL
5. เตรียม $K_3Fe(CN)_6$ 0.1 mol/L ปริมาตร 25 mL โดยชั่ง $K_3Fe(CN)_6$ 0.82 g ละลายในน้ำ กลั่นให้ได้ปริมาตร 25 mL
6. เตรียม $AgNO_3$ 0.1 mol/L ปริมาตร 25 mL โดยชั่ง $AgNO_3$ 0.42 g ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 25 mL
7. เตรียมน้ำแป้งสุก 1%w/v ปริมาตร 25 mL โดยชั่งแป้งมันประมาณ 0.25 g (1 ช้อนเบอร์ 1) ละลายในน้ำกลั่น 5 mL แล้วเทน้ำเดือดลงในน้ำแป้งให้มีปริมาตร 25 mL คนให้ทั่วจนแป้งสุก

สารที่เตรียมได้ในข้อ 1–7 สามารถใช้ได้กับการทดลองของนักเรียน ประมาณ 50 กลุ่ม

ข้อเสนอแนะสำหรับครู

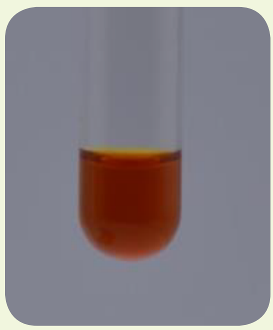
1. $K_3Fe(CN)_6$ เมื่อได้รับความร้อนหรืออยู่ในกรดแก่จะเกิดแก๊สไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ซึ่งเป็นพิษ ครูจึงควรเตรียมภาชนะสำหรับทิ้งสารจากการทดลอง และเตือนให้นักเรียนทิ้งสารในภาชนะที่เตรียมไว้
2. ไม่ควรใช้ $Fe(SO_4)$ แทน $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ เนื่องจากถูกออกซิไดซ์เป็น Fe^{3+} ได้ง่าย
3. ควรเตรียมสารละลาย $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ และ KI เมื่อต้องการจะใช้
4. NaOH ทำปฏิกิริยาเคมีกับ Fe^{3+} ได้ตะกอนสีน้ำตาลแดง และทำปฏิกิริยาเคมีกับ Fe^{2+} ได้ตะกอนสีเขียว ดังนั้นในการทดสอบตอนที่ 2 และ 3 ด้วย NaOH อาจมีตะกอนสีเขียวเกิดขึ้นด้วย

5. $K_3Fe(CN)_6$ ทำปฏิกิริยาเคมีกับ Fe^{2+} ได้ตะกอนสีน้ำเงิน และทำปฏิกิริยากับ Fe^{3+} ได้ตะกอนสีน้ำตาล แต่สังเกตเห็นตะกอนสีน้ำเงินเนื่องจากเห็นได้ชัดเจนกว่า
6. เตือนนักเรียนให้ใช้ปริมาณสารละลายตามที่กำหนด เนื่องจากปริมาณของสารในการทดลองนี้จะมีผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น
7. เตือนนักเรียนไม่ให้ใช้อุปกรณ์คนสารอันเดียวกันในการคนสารละลายแต่ละหลุม เพื่อป้องกันการปนเปื้อน

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

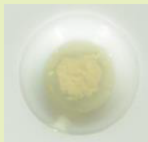
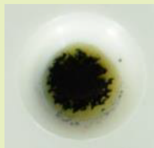
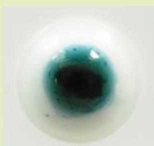
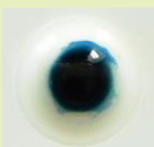
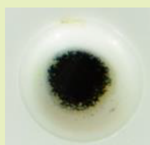
1. เมื่อผสม $Fe(NO_3)_3$ กับ KI ได้สารละลายสีน้ำตาลแกมเหลือง และเมื่อผสม $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ กับ I_2 ได้สารละลายสีน้ำตาลแกมเหลือง ดังรูป

$Fe(NO_3)_3$ + KI



$(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ + I_2

2. การเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้จากการทดลองเป็นดังตาราง

แถวที่	การเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้			
	คอลัมน์ A (มี NaOH สำหรับทดสอบ Fe^{3+})	คอลัมน์ B (มี $K_3Fe(CN)_6$ สำหรับทดสอบ Fe^{2+})	คอลัมน์ C (มี $AgNO_3$ สำหรับทดสอบ I^-)	คอลัมน์ D (มีน้ำแป้งสุก สำหรับทดสอบ I_2)
1	ตะกอนสีน้ำตาลแดง 	ตะกอนสีน้ำเงิน 	ตะกอนสีเหลืองอ่อน 	สารสีน้ำเงินเข้ม 
	เมื่อหยด $Fe(NO_3)_3$	เมื่อหยด $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$	เมื่อหยด KI	เมื่อหยด I_2
2	ตะกอนสีน้ำตาลแดง 	ตะกอนสีน้ำเงิน 	ตะกอนสีเหลืองอ่อน 	สารสีน้ำเงินเข้ม 
	เมื่อหยด $Fe(NO_3)_3$ + KI			
3	ตะกอนสีน้ำตาลแดง 	ตะกอนสีน้ำเงิน 	ตะกอนสีเหลืองอ่อน 	สารสีน้ำเงินเข้ม 
	เมื่อหยด $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ + I_2			

อภิปรายผลการทำกิจกรรม

จากการทดสอบในตอนที่ 1 พบว่า

- $Fe(NO_3)_3$ ทำปฏิกิริยากับ NaOH เกิดตะกอนสีน้ำตาลแดง
- $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ ทำปฏิกิริยากับ $K_3Fe(CN)_6$ เกิดตะกอนสีน้ำเงิน
- KI ทำปฏิกิริยากับ $AgNO_3$ เกิดตะกอนสีเหลืองอ่อน
- I_2 ทำปฏิกิริยากับน้ำแป้งสุก ได้สารสีน้ำเงินเข้ม

ดังนั้นสามารถใช้ผลการสังเกตในการทดสอบ ตอนที่ 1 เพื่อยืนยันการมีอยู่ของ Fe^{3+} Fe^{2+} I^- และ I_2 ในการทดสอบตอนที่ 2 และ 3 ได้

การทดสอบในตอนที่ 2 และ 3 ให้ผลการทดลองในแต่ละคอลัมน์เหมือนกับการทดสอบในตอนที่ 1 แสดงว่าสารละลายผสมในตอนที่ 2 และ 3 มี Fe^{3+} Fe^{2+} I^- และ I_2 เป็นองค์ประกอบ

สารละลายผสมในตอนที่ 2 ซึ่งเกิดจากการผสมกันระหว่าง $Fe(NO_3)_3$ กับ KI เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ดังนี้ $2Fe^{3+}(aq) + 2I^-(aq) \longrightarrow 2Fe^{2+}(aq) + I_2(aq)$

สารละลายผสมในตอนที่ 3 ซึ่งเกิดจากการผสมกันระหว่าง $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ กับ I_2 เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ดังนี้ $2Fe^{2+}(aq) + I_2(aq) \longrightarrow 2Fe^{3+}(aq) + 2I^-(aq)$

นั่นคือ ปฏิกิริยาเคมีของตอนที่ 2 และ 3 มีความสัมพันธ์กัน โดย Fe^{3+} และ I^- ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาเคมีในตอนที่ 2 เป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาเคมีในตอนที่ 3 และ Fe^{2+} และ I_2 ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาเคมีในตอนที่ 2 เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาเคมีในตอนที่ 3 ดังนั้นน่าจะมีสมดุลเกิดขึ้น เพราะหลังการผสมสารเข้าด้วยกัน พบว่าสารละลายแต่ละหลอดมีทั้งสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ทุกสารอยู่ด้วยกัน และเมื่อตั้งไว้สีของสารละลายคงที่ แสดงว่าความเข้มข้นของสารแต่ละชนิดคงที่

สรุปผลการทำกิจกรรม

Fe^{3+} ทำปฏิกิริยากับ I^- ได้ผลิตภัณฑ์เป็น Fe^{2+} และ I_2 ส่วน Fe^{2+} ทำปฏิกิริยากับ I_2 ได้ผลิตภัณฑ์เป็น Fe^{3+} และ I^- แสดงว่าปฏิกิริยาทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน โดยสารตั้งต้นของปฏิกิริยาหนึ่งจะเป็นผลิตภัณฑ์ของอีกปฏิกิริยาหนึ่ง ดังนั้นปฏิกิริยาดังกล่าวน่าจะมีสมดุลเกิดขึ้น

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

$Fe(NO_3)_3$ ทำปฏิกิริยากับ NaOH เกิดเป็นตะกอนสีน้ำตาลแดง ดังสมการเคมี

$$Fe^{3+}(aq) + 3OH^{-}(aq) \longrightarrow Fe(OH)_3(s)$$

$(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ ทำปฏิกิริยากับ $K_3Fe(CN)_6$ เกิดเป็นตะกอนสีน้ำเงิน ดังสมการเคมี

$$Fe^{2+}(aq) + Fe(CN)_6^{3-}(aq) \longrightarrow Fe^{3+}(aq) + [Fe(CN)_6]^{4-}(aq)$$

$$4Fe^{3+}(aq) + 3[Fe(CN)_6]^{4-}(aq) \longrightarrow Fe_4[Fe(CN)_6]_3(s)$$

KI ทำปฏิกิริยากับ $AgNO_3$ เกิดเป็นตะกอนสีเหลืองอ่อน ดังสมการเคมี

$$I^{-}(aq) + Ag^{+}(aq) \longrightarrow AgI(s)$$

I_2 ทำปฏิกิริยากับน้ำแป้งสุก เกิดเป็นสารสีน้ำเงินเข้ม ดังสมการเคมี

$$I_2(aq) + starch \longrightarrow \underset{\text{สารประกอบเชิงซ้อน}}{starch–I_2(aq)}$$

6. ครูอธิบายเกี่ยวกับปฏิกิริยาไปข้างหน้า ปฏิกิริยาย้อนกลับและปฏิกิริยาผันกลับได้ พร้อมทั้งยกตัวอย่างสมการเคมีประกอบการอธิบาย จากนั้นอธิบายเกี่ยวกับสมดุลเคมีของปฏิกิริยาผันกลับได้ในระบบปิด ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

7. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ

ตรวจสอบความเข้าใจ

จากกิจกรรม 9.2 ถ้ากำหนดให้ปฏิกิริยาเคมีในตอนที่ 2 เป็นปฏิกิริยาไปข้างหน้า จงเขียนสมการไอออนิกสุทธิของปฏิกิริยาย้อนกลับและปฏิกิริยาผันกลับได้

จากที่กำหนดให้ปฏิกิริยาไปข้างหน้า คือ $2Fe^{3+}(aq) + 2I^{-}(aq) \longrightarrow 2Fe^{2+}(aq) + I_2(aq)$

ดังนั้น ปฏิกิริยาย้อนกลับ คือ $2Fe^{2+}(aq) + I_2(aq) \longrightarrow 2Fe^{3+}(aq) + 2I^{-}(aq)$

และ ปฏิกิริยาผันกลับได้ คือ $2Fe^{3+}(aq) + 2I^{-}(aq) \rightleftharpoons 2Fe^{2+}(aq) + I_2(aq)$

8. ครูใช้คำถามนำว่า ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เมื่อเริ่มปฏิกิริยาจนกระทั่งระบบอยู่ในสมดุลเป็นอย่างไร จากนั้นครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 9.3 ความเข้มข้นของสารเมื่อระบบเข้าสู่สมดุล แล้วให้นักเรียนอภิปรายผลการทำกิจกรรมโดยใช้คำถามท้ายกิจกรรม

กิจกรรม 9.3 ความเข้มข้นของสารเมื่อระบบเข้าสู่สมดุล

จุดประสงค์ของกิจกรรม

อธิบายความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เมื่อเริ่มต้นปฏิกิริยาจนกระทั่งระบบอยู่ในสมดุล

เวลาที่ใช้	อภิปรายก่อนทำกิจกรรม	5	นาที
	ทำกิจกรรม	30	นาที
	อภิปรายหลังทำกิจกรรม	15	นาที
	รวม	**50**	**นาที**

วัสดุและอุปกรณ์

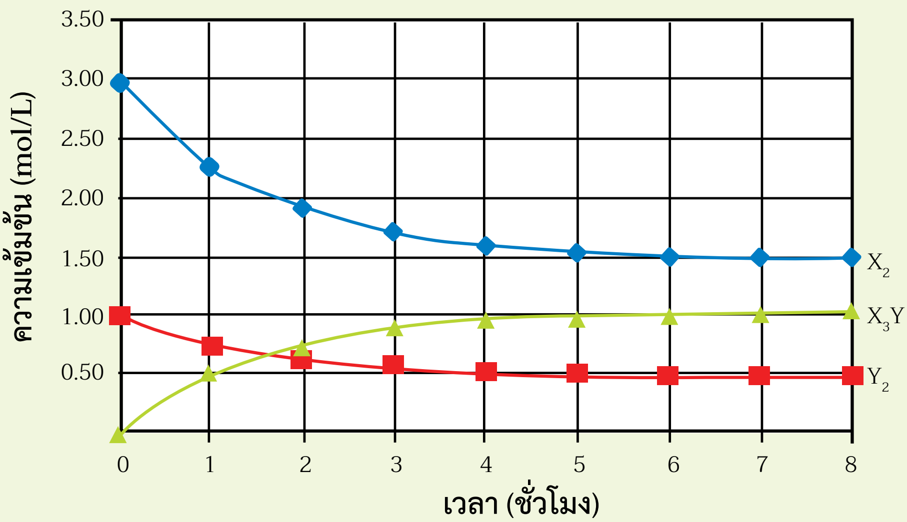
รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
กระดาษกราฟ	1 แผ่น

ข้อเสนอแนะสำหรับครู

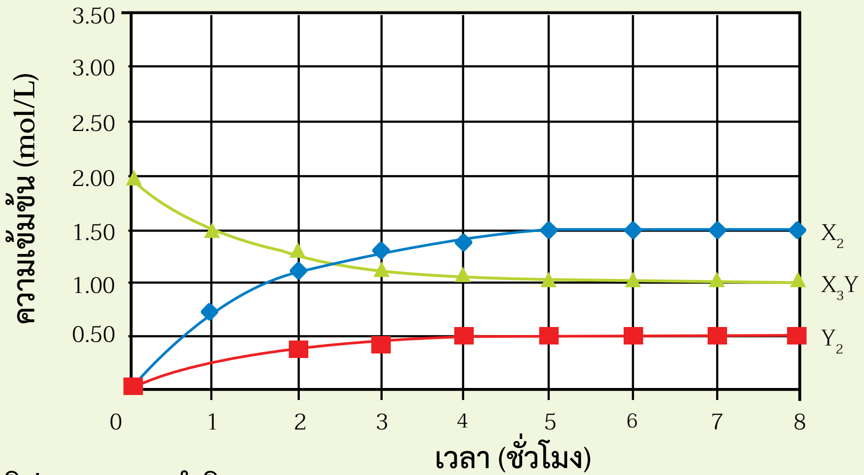
ครูอาจมอบให้นักเรียนทำกิจกรรมล่วงหน้าโดยใช้โปรแกรม excel เพื่อช่วยในการเขียนกราฟ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาอภิปรายในห้องเรียน

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ระบบที่ 1



ระบบที่ 2



อภิปรายผลการทำกิจกรรม

ปฏิกิริยาเคมีนี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ เนื่องจาก X_2 ทำปฏิกิริยาเคมีกับ Y_2 ได้ X_3Y ขณะเดียวกัน X_3Y สามารถเกิดเป็น X_2 และ Y_2 ได้ เขียนสมการเคมีได้ดังนี้

$$3X_2 + Y_2 \rightleftharpoons 2X_3Y \text{ หรือ } 2X_3Y \rightleftharpoons 3X_2 + Y_2$$

จากกราฟ เมื่อเริ่มต้นปฏิกิริยาความเข้มข้นของสารตั้งต้นลดลง ส่วนความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น จนความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เริ่มคงที่ ณ เวลา 6 และ 5 ชั่วโมง ในระบบที่ 1 และ 2 ตามลำดับ แสดงว่าระบบทั้งสองเข้าสู่สมดุล ณ เวลาดังกล่าว

สรุปผลการทำกิจกรรม

ปฏิกิริยาผันกลับได้ในระบบปิด เมื่อเริ่มปฏิกิริยาสารตั้งต้นเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า ความเข้มข้นของสารตั้งต้นลดลง ในขณะเดียวกันความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น จนกระทั่งความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เริ่มคงที่ แสดงว่าระบบเข้าสู่สมดุลแล้ว

9. ครูยกตัวอย่างปฏิกิริยาเคมีระหว่างแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และแก๊สไดไนโตรเจนเตตรอกไซด์ (N_2O_4) แล้วนำอภิปรายโดยใช้คำถามว่า ถ้าเริ่มต้นปฏิกิริยาโดยใช้ NO_2 หรือ N_2O_4 หรือสารทั้งสองชนิด ระบบใดสามารถเข้าสู่สมดุลได้ พร้อมทั้งให้นักเรียนพิจารณารูป 9.3 เพื่อให้ได้ข้อสรุปว่าปฏิกิริยาผันกลับได้ใด ๆ ในระบบปิด ไม่ว่าจะเริ่มต้นด้วยสารใด ก็สามารถเข้าสู่สมดุลได้

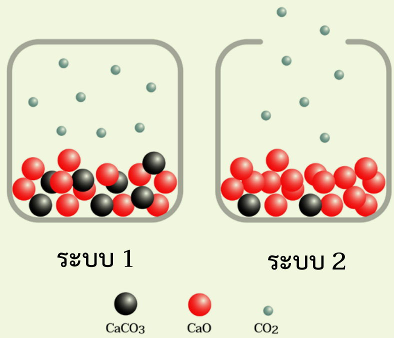
10. ครูอธิบายเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าและอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับตั้งแต่เริ่มต้นปฏิกิริยาจนเข้าสู่สมดุล โดยใช้รูป 9.4 ประกอบการอธิบาย

11. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ

ตรวจสอบความเข้าใจ

1. ระบบใดของปฏิกิริยาต่อไปนี้อยู่ในสมดุล เพราะเหตุใด

1.1 ปฏิกิริยาเคมี $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$



ระบบ 1 อยู่ในสมดุล เพราะเป็นระบบปิด

1.2 ปฏิกิริยาเคมี $Pb(NO_3)_2(aq) + 2KI(aq) \rightleftharpoons PbI_2(s) + 2KNO_3(aq)$ ทำในหลอดทดลองที่มีจุกปิดและไม่มีจุกปิด

ทั้ง 2 ระบบ อยู่ในสมดุล เพราะเป็นระบบปิด

2. ใส่เครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ถูกต้อง และเครื่องหมาย ✗ หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง

...✓... 2.1 ที่สมดุล อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าและอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับมีค่าเท่ากัน

...✗... 2.2 ที่สมดุล ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากัน
ที่สมดุล ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์มีค่าคงที่ แต่อาจมีค่าเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้

...✗... 2.3 ที่สมดุล ปริมาณของสารไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากไม่มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น
ที่สมดุล มีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น โดยมีปฏิกิริยาไปข้างหน้าและปฏิกิริยาย้อนกลับเกิดขึ้นด้วยอัตราเร็วเท่ากัน จึงทำให้ปริมาณของสารไม่มีการเปลี่ยนแปลง

12. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 9.1 เพื่อทบทวนความรู้

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับความหมายของปฏิกิริยาผันกลับได้และภาวะสมดุล การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า และอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เมื่อเริ่มต้นปฏิกิริยาจนกระทั่งระบบเข้าสู่สมดุล จากการทำกิจกรรม การอภิปราย การทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ
2. ทักษะการสังเกต การจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป จากรายงานการทำกิจกรรม และการสังเกตพฤติกรรมในการทำกิจกรรม
3. ทักษะความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการสังเกตพฤติกรรมในการทำกิจกรรม
4. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความอยากรู้อยากเห็น และความรอบคอบ จากการสังเกตพฤติกรรมในการทำกิจกรรม

แบบฝึกหัด 9.1

1. ระบบในข้อใดต่อไปนี้อยู่ในสมดุล เพราะเหตุใด

   1.1 ปรอทและไอปรอทในเทอร์มอมิเตอร์ ณ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส

   อยู่ในสมดุล เพราะระบบของปรอทและไอปรอทในเทอร์มอมิเตอร์ ณ อุณหภูมิคงที่ เป็นระบบปิดมีการเปลี่ยนแปลงผันกลับได้เกิดขึ้นตลอดเวลา คือปรอทระเหยเป็นไอ และไอปรอทควบแน่นเป็นของเหลว ทำให้ระดับปรอทคงที่

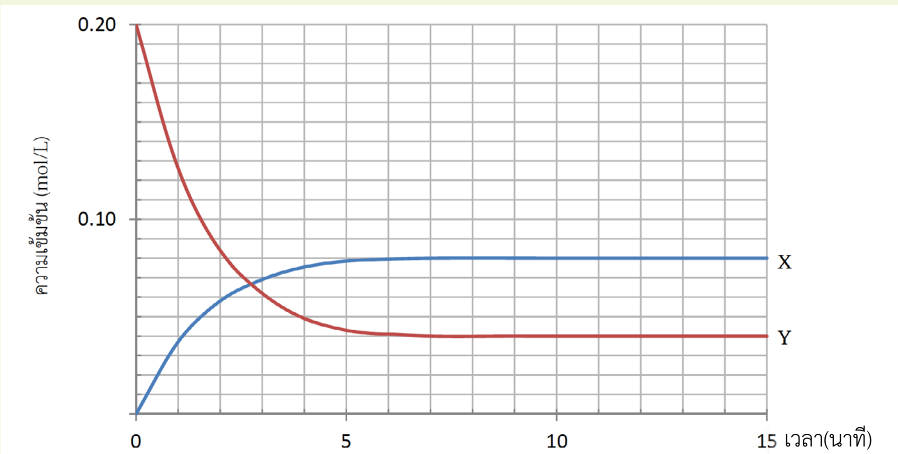
   1.2 หยดสารละลายกรดเกลือลงบนหินปูนในถ้วยกระเบื้อง ทำให้เกิดฟองแก๊สและยังมีหินปูนเหลืออยู่

   ไม่อยู่ในสมดุล เพราะปฏิกิริยาเกิดในระบบเปิด

   1.3 การเผาไม้ทำถ่านในเตาเผาที่มีช่องระบายควัน

   ไม่อยู่ในสมดุล เพราะปฏิกิริยาเกิดในระบบเปิด

2. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับเวลาของปฏิกิริยาในสารละลาย แสดงดังรูป



   2.1 เขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

   สาร Y เป็นสารตั้งต้น ที่เริ่มต้น [Y] = 0.20 mol/L และที่สมดุล [Y] = 0.04 mol/L แสดงว่า [Y] ลดลง 0.16 mol/L ส่วนสาร X เป็นผลิตภัณฑ์ เริ่มต้น [X] = 0 mol/L และที่สมดุล [X] = 0.08 mol/L แสดงว่า [X] เพิ่มขึ้น 0.08 mol/L นั่นคืออัตราส่วนระหว่าง Y : X = 2 :1 ดังนั้นเขียนสมการเคมีได้ดังนี้ $2Y(aq) \rightleftharpoons X(aq)$

2.2 ระบบเข้าสู่สมดุลที่เวลาประมาณเท่าใด

ระบบเข้าสู่สมดุลประมาณนาทีที่ 6

2.3 ที่สมดุล สารละลายมีสารใดอยู่บ้าง

สาร X และ Y

2.4 เปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ที่เวลา 1 นาที และ 10 นาที

นาทีที่ 1 อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ามีค่าสูงกว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เนื่องจากช่วงแรกสารตั้งต้นมีความเข้มข้นมาก ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมีความเข้มข้นน้อย นาทีที่ 10 อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เนื่องจากระบบอยู่ในสมดุล

3. พิจารณาการทดลองและผลการทดลองต่อไปนี้

เมื่อนำคอปเปอร์(II)ซัลเฟต ($CuSO_4$) มาละลายน้ำ จะได้สารละลายเตตระอาควาคอปเปอร์(II)ไอออน ($[Cu(H_2O)_4]^{2+}$) ซึ่งมีสีฟ้า และเมื่อนำสารละลายสีฟ้ามาหยดสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นเตตระคลอโรคิวเปรต(II)ไอออน ($[CuCl_4]^{2-}$) ซึ่งมีสีเหลือง ส่งผลให้สังเกตเห็นสารละลายเป็นสีเขียว ถ้าแบ่งสารละลายสีเขียวมาหยดน้ำ จะได้สารละลายสีฟ้า แต่ถ้าหยดกรดไฮโดรคลอริกจะได้สารละลายสีเหลือง

3.1 การทดลองนี้เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาผันกลับได้หรือไม่ ทราบได้อย่างไร

ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ เนื่องจากมีทั้งปฏิกิริยาไปข้างหน้าและปฏิกิริยาย้อนกลับ โดยสารละลาย $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$ เมื่อนำไปหยด HCl เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า ได้ $[CuCl_4]^{2-}$ และได้สารละลายเป็นสีเขียว เมื่อนำสารละลายสีเขียวไปหยดน้ำ ได้สารละลายสีฟ้า แสดงว่าเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ได้ $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$ แต่ถ้านำสารละลายสีเขียวไปหยด HCl ได้สารละลายสีเหลือง แสดงว่าเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า ได้ $[CuCl_4]^{2-}$

3.2 เขียนและดุลสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาเคมีในการทดลองนี้

$$[Cu(H_2O)_4]^{2+}(aq) + 4Cl^-(aq) \rightleftharpoons [CuCl_4]^{2-}(aq) + 4H_2O(l)$$

9.2 ค่าคงที่สมดุล

9.2.1 การคำนวณเกี่ยวกับค่าคงที่สมดุล

9.2.2 ค่าคงที่สมดุลกับสมการเคมี

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. เขียนความสัมพันธ์ของค่าคงที่สมดุลจากสมการเคมี
2. คำนวณค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาเคมี
3. คำนวณความเข้มข้นของสารที่สมดุล
4. คำนวณค่าคงที่สมดุลหรือความเข้มข้นของสารในปฏิกิริยาหลายขั้นตอน

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	ความเข้าใจที่ถูกต้อง
การคำนวณค่าคงที่สมดุลสามารถใช้ความเข้มข้นในหน่วยใดก็ได้	การคำนวณค่าคงที่สมดุลใช้ความเข้มข้นในหน่วยโมลต่อลิตร
ค่าคงที่สมดุลมีหน่วย	ค่าคงที่สมดุลไม่มีหน่วย
ค่าคงที่สมดุลมาก แสดงว่ามีอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ามาก	ค่าคงที่สมดุลมากแสดงว่าที่สมดุลมีปริมาณของผลิตภัณฑ์มากกว่าสารตั้งต้น แต่ปฏิกิริยาเคมีอาจเกิดเร็วหรือช้าก็ได้
ค่าคงที่สมดุลมาก แสดงว่าปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลได้เร็ว	ค่าคงที่สมดุลคำนวณจากความเข้มข้นของสารที่สมดุล จึงไม่ได้บอกข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีก่อนเข้าสู่สมดุล

แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูให้นักเรียนพิจารณาความเข้มข้นของสารที่เริ่มต้นและที่สมดุลของปฏิกิริยาเคมีระหว่างแก๊สไฮโดรเจนกับแก๊สไอโอดีน ที่ 485 องศาเซลเซียส ในตาราง 9.1 แล้วใช้คำถามว่า อัตราส่วนความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ต่อความเข้มข้นของสารตั้งต้นทั้งสองรูปแบบ และผลลัพธ์ที่ได้แตกต่างกันอย่างไร ซึ่งควรได้คำตอบว่าแตกต่างกันที่ [HI] ยกกำลังสอง และผลลัพธ์ของอัตราส่วน $\frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$ ที่สมดุลมีค่าคงที่ จากนั้นครูอธิบายเกี่ยวกับค่าคงที่สมดุลตามรายละเอียดในหนังสือเรียน แล้วให้นักเรียนตอบคำถามชวนคิด

ชวนคิด

ตัวเลขยกกำลังของความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ สอดคล้องกับตัวเลขใดในสมการเคมี

ตัวเลขยกกำลังของความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เป็นเลขสัมประสิทธิ์ของสารนั้น

2. ครูแสดงสมการเคมีและค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาเคมีทั่วไป จากนั้นครูแสดงการเขียนค่าคงที่สมดุลตามตัวอย่าง 1 จากนั้นอธิบายว่าสำหรับสารที่ความเข้มข้นไม่เปลี่ยนแปลง เช่น ของแข็ง ของเหลว สารที่เป็นตัวทำละลาย จะไม่นำมาใช้ในการคำนวณค่าคงที่สมดุล โดยยกตัวอย่าง 2 และ 3 ประกอบการอธิบาย

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

1. ค่าคงที่สมดุลไม่มีหน่วย เนื่องจากค่าคงที่สมดุลคำนวณจากแอกติวิตี (activity) ของสารละลาย ซึ่งไม่มีหน่วย สำหรับสารละลายอุดมคติ (อนุภาคในสารละลายไม่มีแรงกระทำต่อกัน) ค่าแอกติวิตีมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นในหน่วยโมลาร์ ในการคำนวณจึงใช้เฉพาะตัวเลขของความเข้มข้นในหน่วยโมลาร์
2. ค่าคงที่สมดุลคำนวณจากความเข้มข้นของสาร เนื่องจากของแข็งและของเหลวบริสุทธิ์มีปริมาตรเปลี่ยนแปลงตามจำนวนโมล ความเข้มข้นจึงคงที่ จึงไม่นำความเข้มข้นของสารในสถานะของแข็งและของเหลวบริสุทธิ์มาใช้ในการคำนวณค่าคงที่สมดุล ส่วนแก๊สในระบบปิดซึ่งปริมาตรคงที่ การเพิ่มหรือลดจำนวนโมลของแก๊สทำให้ความเข้มข้นของแก๊สเปลี่ยนแปลง จึงต้องนำความเข้มข้นของแก๊สมาคำนวณค่าคงที่สมดุล

3. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ

ตรวจสอบความเข้าใจ

เขียนค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้ในรูปอัตราส่วนความเข้มข้นของสาร

1. $CO(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2(g)$

$$K = \frac{[CO_2][H_2]}{[CO][H_2O]}$$

2. $Fe^{2+}(aq) + Ag^{+}(aq) \rightleftharpoons Fe^{3+}(aq) + Ag(s)$

$$K = \frac{[Fe^{3+}]}{[Fe^{2+}][Ag^{+}]}$$

3. $2Hg(l) + O_2(g) \rightleftharpoons 2HgO(s)$

$$K = \frac{1}{[O_2]}$$

4. ครูอธิบายเกี่ยวกับการใช้ค่าคงที่สมดุลเปรียบเทียบปริมาณสารตั้งต้นกับผลิตภัณฑ์ที่สมดุล จากนั้นยกตัวอย่างค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ดังตาราง 9.2

5. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจและคำถามชวนคิด

ตรวจสอบความเข้าใจ

จากข้อมูลในตาราง 9.2 ปฏิกิริยาเคมีใดมีความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่สมดุลมากกว่า ถ้าทั้งสองปฏิกิริยาเริ่มต้นจากสารตั้งต้นเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร

1. $H_2(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons 2HCl(g)$

2. $2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

ค่าคงที่สมดุลมีค่ามากแสดงว่าที่สมดุลมีปริมาณผลิตภัณฑ์มาก ดังนั้นที่สมดุล ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยา 1. จึงมีมากกว่าของปฏิกิริยา 2.

ชวนคิด

จากค่าคงที่สมดุลในตาราง 9.2 สามารถเรียงลำดับอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

ไม่ได้ เนื่องจากค่าคงที่สมดุลเกี่ยวข้องกับปริมาณสารตั้งต้นกับผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ในปฏิกิริยาเคมี ณ สมดุล ไม่ได้เป็นค่าที่เปรียบเทียบกับเวลา จึงไม่สามารถใช้เปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้

6. ครูใช้ตัวอย่าง 4–9 อธิบายการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับค่าคงที่สมดุลและความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ เมื่อเริ่มต้นปฏิกิริยาและที่สมดุล โดยครูควรทบทวนการคำนวณโดยใช้สมการกำลังสองว่า ต้องจัดรูปสมการให้อยู่ในรูป $ax^2 + bx + c = 0$ ซึ่งจะหาค่า x ได้จากสูตร

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

7. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ

ตรวจสอบความเข้าใจ

1. แก๊สไนโตรเจน (N_2) และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) ทำปฏิกิริยาเคมีในภาชนะขนาด 250 มิลลิลิตร ดังสมการเคมี

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$

ที่ 700 เคลวิน ณ สมดุล พบว่ามีแก๊สไนโตรเจน แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สแอมโมเนีย (NH_3) 0.200 0.750 และ 0.400 โมล ตามลำดับ ค่าคงที่สมดุลมีค่าเท่าใด

คำนวณความเข้มข้นของสารแต่ละชนิดที่สมดุล

$$[N_2] = \frac{0.200\ \text{mol}}{250\ \cancel{\text{mL}}} \times \frac{1000\ \cancel{\text{mL}}}{1\ \text{L}} = 0.800\ \text{mol/L}$$

$$[H_2] = \frac{0.750\ \text{mol}}{250\ \cancel{\text{mL}}} \times \frac{1000\ \cancel{\text{mL}}}{1\ \text{L}} = 3.00\ \text{mol/L}$$

$$[NH_2] = \frac{0.400\ \text{mol}}{250\ \cancel{\text{mL}}} \times \frac{1000\ \cancel{\text{mL}}}{1\ \text{L}} = 1.60\ \text{mol/L}$$

คำนวณค่าคงที่สมดุล

$$K = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$$

$$= \frac{(1.60)^2}{(0.800)(3.00)^3}$$

$$= 0.119$$

ดังนั้น ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับ 0.119

2. ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ เท่ากับ 54 ที่ 700 เคลวิน ณ สมดุล ที่อุณหภูมิเดียวกันนี้พบว่าในภาชนะขนาด 2.0 ลิตร มีแก๊สไฮโดรเจนไอโอไดด์ (HI) 0.6 โมล และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) 0.4 โมล จะมีแก๊สไอโอดีน (I_2) กี่โมลต่อลิตร

คำนวณความเข้มข้นของ HI และ H_2 ที่สมดุล

$$[HI] = \frac{0.6\ \text{mol}}{2.0\ \text{L}} = 0.3\ \text{mol/L}$$

$$[H_2] = \frac{0.4\ \text{mol}}{2.0\ \text{L}} = 0.2\ \text{mol/L}$$

คำนวณความเข้มข้นของ I_2

$$K = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$$

$$54 = \frac{(0.3)^2}{(0.2)[I_2]}$$

$$[I_2] = \frac{(0.3)^2}{(54)(0.2)} = 0.008\ \text{mol/L}$$

ดังนั้น ที่สมดุลมีแก๊สไอโอดีน 0.008 โมลต่อลิตร

3. ปฏิกิริยา A(g) + 2B(g) $\rightleftharpoons$ 2C(g) ที่อุณหภูมิหนึ่ง ถ้าผสมสาร A 1.00 โมล กับสาร B 1.50 โมล ในภาชนะขนาด 2.00 ลิตร ที่สมดุลความเข้มข้นของ C เท่ากับ 0.700 โมล ค่าคงที่สมดุลมีค่าเท่าใด

ความเข้มข้นเริ่มต้น ความเข้มข้นที่เปลี่ยนไป และความเข้มข้นที่สมดุล สรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

ความเข้มข้น (mol/L)	A(g) +	2B(g) $\rightleftharpoons$	2C(g)
เริ่มต้น	$\frac{1.00\ \text{mol}}{2.00\ \text{L}} = 0.500$	$\frac{1.50\ \text{mol}}{2.00\ \text{L}} = 0.750$	0
เปลี่ยนไป	-0.175	-0.350	+0.350
สมดุล	0.500 – 0.175 = 0.325	0.750 – 0.350 = 0.400	$\frac{0.700\ \text{mol}}{2.00\ \text{L}} = 0.350$

$$K = \frac{[C]^2}{[A][B]^2}$$

$$= \frac{(0.350)^2}{(0.325)(0.400)^2}$$

$$= 2.36$$

ดังนั้น ค่าคงที่สมดุลมีค่าเท่ากับ 2.36

4. ที่อุณหภูมิหนึ่ง ถ้าผสมแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) 0.065 โมล กับไอร์ออน(II)ออกไซด์ (FeO) มากเกินพอในภาชนะขนาด 1.0 ลิตร ที่สมดุลมีแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) อย่างละกี่โมล สมการเคมีแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นและค่าคงที่สมดุลดังแสดง

$$FeO(s) + CO(g) \rightleftharpoons Fe(s) + CO_2(g) \qquad K = 0.516$$

FeO และ Fe มีสถานะของแข็งจึงไม่นำมาคำนวณ กำหนดให้ Δ[CO] = -x mol/L ดังนั้น $\Delta[CO_2]$ = +x mol/L ซึ่งนำไปคำนวณความเข้มข้นที่สมดุลได้ดังตาราง

ความเข้มข้น (mol/L)	$FeO(s)$ +	$CO(g)$ $\rightleftharpoons$	$Fe(s)$ +	$CO_2(g)$
เริ่มต้น	-	$\frac{0.065 \text{ mol}}{1.0 \text{ L}} = 0.065$	-	0
เปลี่ยนไป	-	$-x$	-	$+x$
สมดุล	-	$0.065 - x$	-	x

$$K = \frac{[CO_2]}{[CO]}$$

$$0.516 = \frac{x}{(0.065 - x)}$$

$$(0.516 \times 0.065) - 0.516x = x$$

$$1.516x = (0.516 \times 0.065)$$

$$x = 0.022 \text{ mol/L}$$

นั่นคือ

$$[CO] = 0.065 \text{ mol/L} - x$$

$$= 0.065 \text{ mol/L} - 0.022 \text{ mol/L}$$

$$= 0.043 \text{ mol/L}$$

$$[CO_2] = x \text{ mol/L} = 0.022 \text{ mol/L}$$

ทำการทดลองในภาชนะขนาด 1.0 ลิตร ดังนั้น ที่สมดุลมีแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ 0.043 โมล และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 0.022 โมล

8. ครูยกตัวอย่างสมการเคมีที่มีการกลับข้างสมการ การคูณเลขสัมประสิทธิ์ในสมการเคมี และการรวมสมการเคมี แล้วให้นักเรียนเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่าคงที่สมดุลในแต่ละปฏิกิริยาเคมี ซึ่งควรสรุปได้ดังนี้

- เมื่อกลับข้างสมการเคมี ค่าคงที่สมดุลจะเป็นส่วนกลับของค่าคงที่สมดุลเดิม
- เมื่อมีการคูณเลขสัมประสิทธิ์ในสมการเคมีด้วย n ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาเคมีจะมีค่าเท่ากับค่าคงที่สมดุลเดิมยกกำลัง n
- เมื่อมีการรวมสมการเคมี ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาเคมีรวมจะมีค่าเท่ากับผลคูณของค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาเคมีที่มารวมกัน

ครูอธิบายเพิ่มเติมว่า การเปลี่ยนเลขสัมประสิทธิ์มีผลต่อค่าคงที่สมดุล ดังนั้นการระบุค่าคงที่สมดุลจึงต้องแสดงสมการเคมีของปฏิกิริยาเคมีนั้นด้วย

9. ครูอธิบายการคำนวณเกี่ยวกับค่าคงที่สมดุลหรือความเข้มข้นของสารในปฏิกิริยาหลายขั้นตอน โดยใช้ตัวอย่าง 10 ประกอบการอธิบาย

10. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 9.2 เพื่อทบทวนความรู้

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของค่าคงที่สมดุลกับสมการเคมี การคำนวณค่าคงที่สมดุลและความเข้มข้นของสารที่ภาวะสมดุล และคำนวณค่าคงที่สมดุลหรือความเข้มข้นของปฏิกิริยาหลายขั้นตอน จากการทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ
2. ทักษะการใช้จำนวน จากการทำแบบฝึกหัด
3. ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป และการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา จากการอภิปราย
4. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความรอบคอบ จากการทำแบบฝึกหัด

แบบฝึกหัด 9.2

1. เขียนค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้ในรูปอัตราส่วนความเข้มข้นของสาร

1.1 $2H_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2H_2O(g)$

$$K = \frac{[H_2O]^2}{[H_2]^2[O_2]}$$

1.2 $2Fe(s) + 2NO_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g) + 2FeO(s)$

$$K = \frac{[NO]^2}{[NO_2]^2}$$

1.3 $Ag^+(aq) + Fe^{2+}(aq) \rightleftharpoons Fe^{3+}(aq) + Ag(s)$

$$K = \frac{[Fe^{3+}]}{[Ag^+][Fe^{2+}]}$$

1.4 $NaHCO_3(s) \rightleftharpoons Na_2CO_3(s) + CO_2(g) + H_2O(g)$

$$K = [CO_2][H_2O]$$

1.5 $H_2SO_4(l) + SO_3(g) \rightleftharpoons H_2S_2O_7(l)$

$$K = \frac{1}{[SO_3]}$$

1.6 $2H_2O(l) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + OH^-(aq)$

$$K = [H_3O^+][OH^-]$$

1.7 $Cu^{2+}(aq) + 4NH_3(aq) \rightleftharpoons [Cu(NH_3)_4]^{2+}(aq)$

$$K = \frac{[[Cu(NH_3)_4]^{2+}]}{[Cu^{2+}][NH_3]^4}$$

1.8 $2Fe^{3+}(aq) + 3Cu(s) \rightleftharpoons 2Fe(s) + 3Cu^{2+}(aq)$

$$K = \frac{[Cu^{2+}]^3}{[Fe^{3+}]^2}$$

2. เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาเคมีซึ่งทุกสารอยู่ในสถานะแก๊ส และมีค่าคงที่สมดุลในรูปอัตราส่วนความเข้มข้นของสารต่อไปนี้

2.1 $\dfrac{[CH_4][H_2O]}{[CO][H_2]^3}$

$CO(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons CH_4(g) + H_2O(g)$

2.2 $\dfrac{[NO_2]^2}{[NO]^2\,[O_2]}$

$2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

2.3 $\dfrac{[NO]^4[H_2O]^6}{[NH_3]^4\,[O_2]^5}$

$4NH_3(g) + 5O_2(g) \rightleftharpoons 4NO(g) + 6H_2O(g)$

2.4 $\dfrac{[NO_2]^2[Cl_2]}{[NO_2Cl]^2}$

$2NO_2Cl(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g) + Cl_2(g)$

2.5 $\dfrac{[CO]^2[O_2]}{[CO_2]^2}$

$2CO_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g) + O_2(g)$

3. กำหนดค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาเคมี ดังนี้

$Cl_2(g) \rightleftharpoons 2Cl(g)$ .....(1) : $K_1 = 6.40 \times 10^{-39}$

$Cl_2(g) + 2NO(g) \rightleftharpoons 2NOCl(g)$ .....(2) : $K_2 = 3.70 \times 10^{-8}$

$Cl_2(g) + 2NO_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2Cl(g)$ .....(3) : $K_3 = 1.80$

คำนวณค่าคงที่สมดุลของสมการเคมีต่อไปนี้

3.1 $2Cl(g) \rightleftharpoons Cl_2(g)$

$$K = \frac{1}{K_1} = \frac{1}{6.40 \times 10^{-39}} = 1.56 \times 10^{38}$$

ดังนั้น ค่าสมดุลมีค่าเท่ากับ 1.56×10^{38}

3.2 $2Cl_2(g) + 4NO(g) \rightleftharpoons 4NOCl(g)$

$$K = K_2^2 = (3.70 \times 10^{-8})^2 = 1.37 \times 10^{-15}$$

ดังนั้น ค่าสมดุลมีค่าเท่ากับ 1.37×10^{-15}

3.3 $2NOCl(g) \rightleftharpoons 2Cl(g) + 2NO(g)$

ปฏิกิริยานี้เป็นผลรวมของปฏิกิริยาของสมการเคมี (1) กับปฏิกิริยาย้อนกลับของสมการเคมี (2) แสดงได้ดังนี้

กลับสมการเคมี (2) $2NOCl(g) \rightleftharpoons Cl_2(g) + 2NO(g)$ .....(4) : $K_4 = \frac{1}{K_2}$

รวมสมการเคมี (1) กับ (4) $2NOCl(g) \rightleftharpoons 2Cl(g) + 2NO(g)$ $K' = ?$

$$
\begin{aligned}
K' &= K_1 \cdot K_4 \\
&= K_1 \cdot \frac{1}{K_2} \\
&= \frac{6.40 \times 10^{-39}}{3.70 \times 10^{-8}} \\
&= 1.73 \times 10^{-31}
\end{aligned}
$$

ดังนั้น ค่าคงที่สมดุลมีค่าเท่ากับ 1.73×10^{-31}

3.4 $2Cl(g) + 2NO_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2Cl(g)$

ปฏิกิริยานี้เป็นผลรวมของปฏิกิริยาย้อนกลับของสมการเคมี (1) กับสมการเคมี (3) แสดงได้ดังนี้

กลับสมการเคมี (1) $2Cl(g) \rightleftharpoons Cl_2(g)$ .....(5) : $K_5 = \frac{1}{K_1}$

รวมสมการเคมี (5) กับ (3) $2Cl(g) + 2NO_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2Cl(g)$ $K' = ?$

$$
\begin{aligned}
K' &= K_5 \cdot K_3 \\
&= \frac{1}{K_1} \cdot K_3 \\
&= \frac{1.80}{6.40 \times 10^{-39}} \\
&= 2.81 \times 10^{38}
\end{aligned}
$$

ดังนั้น ค่าคงที่สมดุลมีค่าเท่ากับ 2.81×10^{38}

4. ปฏิกิริยา $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$ ที่อุณหภูมิ 2000 องศาเซลเซียส มีค่าคงที่สมดุลเท่ากับ 4.1×10^{-4} ถ้าที่สมดุลมีแก๊สไนโตรเจน (N_2) 1.4 กรัม และแก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์ (NO) 0.015 กรัม ในภาชนะ 0.50 ลิตร จะมีแก๊สออกซิเจน (O_2) กี่กรัม

คำนวณความเข้มข้นของ N_2 และ NO ที่สมดุล

$$[N_2] = 1.4\ \cancel{g\ N_2} \times \frac{1\ mol\ N_2}{28.02\ \cancel{g\ N_2}} \times \frac{1}{0.50\ L} = 0.10\ mol/L$$

$$[NO] = 0.015\ \cancel{g\ NO} \times \frac{1\ mol\ NO}{30.01\ \cancel{g\ NO}} \times \frac{1}{0.50\ L} = 0.0010\ mol/L$$

คำนวณความเข้มข้นของ O_2 ที่สมดุล

$$K = \frac{[NO]^2}{[N_2][O_2]}$$

$$4.1 \times 10^{-4} = \frac{(0.0010)^2}{(0.10)[O_2]}$$

$$[O_2] = 0.024\ mol/L$$

คำนวณมวลของ O_2 ในภาชนะ 0.50 L

$$\text{มวลของ } O_2 = \frac{0.024\ \cancel{mol\ O_2}}{1\ \cancel{L\ sol^n}} \times 0.50\ \cancel{L\ sol^n} \times \frac{32.00\ g\ O_2}{1\ \cancel{mol\ O_2}}$$

$$= 0.38\ g\ O_2$$

ดังนั้น ที่สมดุลมีแก๊สออกซิเจน 0.38 กรัม

5. ปฏิกิริยาการสลายตัวของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) เป็นดังสมการเคมี

$$2SO_3(g) \rightleftharpoons 2SO_2(g) + O_2(g)$$

ที่อุณหภูมิ 1000 เคลวิน เริ่มต้นบรรจุแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ 6.09×10^{-3} โมลต่อลิตร ในภาชนะปิด เมื่อเวลาผ่านไปพบว่าแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ลดลงและมีความเข้มข้นคงที่ที่ 2.44×10^{-3} โมลต่อลิตร ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยานี้ที่อุณหภูมิดังกล่าวมีค่าเท่าใด

ความเข้มข้นเริ่มต้น ความเข้มข้นที่เปลี่ยนไป และความเข้มข้นที่สมดุล สรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

ความเข้มข้น (mol/L)	$2SO_3(g)$ $\rightleftharpoons$	$2SO_2(g)$ +	$O_2(g)$
เริ่มต้น	6.09×10^{-3}	0	0
เปลี่ยนไป	$-(6.09 - 2.44) \times 10^{-3}$ $= -3.65 \times 10^{-3}$	$+3.65 \times 10^{-3}$	$+\left(\dfrac{3.65 \times 10^{-3}}{2}\right)$ $= +1.82 \times 10^{-3}$
สมดุล	2.44×10^{-3}	3.65×10^{-3}	1.82×10^{-3}

$$K = \frac{[SO_2]^2[O_2]}{[SO_3]^2}$$

$$= \frac{(3.65 \times 10^{-3})^2\ (1.82 \times 10^{-3})}{(2.44 \times 10^{-3})^2}$$

$$= 4.07 \times 10^{-3}$$

ดังนั้น ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับ 4.07×10^{-3}

6. ปฏิกิริยา $HCOOH(aq) + CN^-(aq) \rightleftharpoons HCN(aq) + HCOO^-(aq)$ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่าคงที่สมดุลเท่ากับ 4.5×10^5 ถ้าที่สมดุลของปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดไฮโดรไซยานิก (HCN) กับฟอร์เมตไอออน ($HCOO^-$) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่ามีกรดไฮโดรไซยานิกและฟอร์เมตไอออนอย่างละ 0.10 โมลต่อลิตร และกรดฟอร์มิก (HCOOH) 2.0×10^{-4} โมลต่อลิตร ไซยาไนด์ไอออน (CN^-) มีความเข้มข้นกี่โมลต่อลิตร

ปฏิกิริยาเคมีระหว่าง HCN กับ $HCOO^-$ เขียนสมการเคมีได้ดังนี้

$$HCN(aq) + HCOO^-(aq) \rightleftharpoons HCOOH(aq) + CN^-(aq)$$

เนื่องจากปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาที่กำหนดให้ ดังนั้นค่าคงที่สมดุลจึงมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{4.5 \times 10^5}$

$$K = \frac{[HCOOH][CN^-]}{[HCN][HCOO^-]}$$

$$\frac{1}{4.5 \times 10^5} = \frac{(2.0 \times 10^{-4})[CN^-]}{(0.10)(0.10)}$$

$$[CN^-] = 1.1 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$$

ดังนั้น ที่สมดุล ไซยาไนด์ไอออนมีความเข้มข้น 1.1×10^{-4} โมลต่อลิตร

7. จากค่าคงที่สมดุลที่อุณหภูมิหนึ่งของปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้

$C(s) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2(g)$ .....(1) : $K_1 = 1.60 \times 10^{-21}$

$CO(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2(g)$ .....(2) : $K_2 = 23.2$

ปฏิกิริยารวม $C(s) + 2H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + 2H_2(g)$

7.1 ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยารวมมีค่าเท่าใด

สมการเคมีของปฏิกิริยารวมได้จากการรวมสมการเคมี (1) และ (2) ดังนั้น

$$K = K_1 \cdot K_2$$

$$= (1.60 \times 10^{-21}) \times (23.2)$$

$$= 3.71 \times 10^{-20}$$

ดังนั้น ปฏิกิริยารวมมีค่าคงที่สมดุลเท่ากับ 3.71×10^{-20}

7.2 ถ้าที่สมดุลในภาชนะ 1 ลิตร มีคาร์บอน (C) และไอน้ำ (H_2O) อย่างละ 1.00 โมล และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 2.32×10^{-7} โมล ที่สมดุลแก๊สไฮโดรเจน (H_2) มีความเข้มข้นกี่โมลต่อลิตร

$$K = \frac{[CO_2][H_2]^2}{[H_2O]^2}$$

$$3.71 \times 10^{-20} = \frac{(2.32 \times 10^{-7})[H_2]^2}{(1.00)^2}$$

$$[H_2] = 4.00 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$$

ดังนั้น ที่สมดุล แก๊สไฮโดรเจนมีความเข้มข้น 4.00×10^{-7} โมลต่อลิตร

9.3 ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุล

9.3.1 ความเข้มข้น

9.3.2 อุณหภูมิ

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ระบุปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลและค่าคงที่สมดุลของระบบ
2. ใช้หลักของเลอชาเตอลิเอในการคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อสมดุลของระบบถูกรบกวน

ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน	ความเข้าใจที่ถูกต้อง
การเปลี่ยนแปลงความดัน มีผลต่อสมดุลของทุกปฏิกิริยาที่มีสารอยู่ในสถานะแก๊ส	ปฏิกิริยาเคมีที่มีสารอยู่ในสถานะแก๊ส ถ้าผลรวมของเลขสัมประสิทธิ์ของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ในสถานะแก๊สเท่ากัน การเปลี่ยนแปลงความดันจะไม่มีผลต่อสมดุล
การรบกวนสมดุลด้วยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ความดัน และอุณหภูมิทำให้ค่าคงที่สมดุลมีการเปลี่ยนแปลง	การรบกวนสมดุลด้วยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเท่านั้นที่ทำให้ค่าคงที่สมดุลมีการเปลี่ยนแปลง
การเติมตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น	การเติมตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น แต่ไม่ทำให้ปริมาณของผลิตภัณฑ์และค่าคงที่สมดุลเพิ่มขึ้น

แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูนำเข้าสู่ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลของปฏิกิริยาโดยให้ความรู้ว่า สมดุลของปฏิกิริยาอาจถูกรบกวนได้ด้วยปัจจัยบางประการ ซึ่งมีผลทำให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่สมดุลเปลี่ยนแปลงไป จากนั้นใช้คำถามนำว่า ปัจจัยใดบ้างที่สามารถรบกวนสมดุลของปฏิกิริยาได้

2. ครูใช้คำถามว่า ที่สมดุล การเปลี่ยนความเข้มข้นของสารมีผลต่อสมดุลหรือไม่ อย่างไร จากนั้นครูอธิบายเกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารละลายกรดกับสารในกลุ่มแอนโทไซยานินในดอกอัญชัน และการแตกตัวของกรดไฮโดรคลอริกเมื่อละลายน้ำ รวมทั้งปฏิกิริยาเคมีระหว่างไฮโดรเนียมไอออนกับไฮดรอกไซด์ไอออน แล้วให้นักเรียนทำกิจกรรม 9.4 การทดลองผลของความเข้มข้นของสารต่อสมดุล และให้นักเรียนอภิปรายผลการทดลองโดยใช้คำถามท้ายการทดลอง

กิจกรรม 9.4 การทดลองผลของความเข้มข้นของสารต่อสมดุล

จุดประสงค์การทดลอง

1. ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารต่อสมดุล
2. อธิบายการเปลี่ยนแปลงสมดุล เมื่อมีการเพิ่มหรือลดความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์

เวลาที่ใช้	อภิปรายก่อนทำการทดลอง	10	นาที
	ทำการทดลอง	30	นาที
	อภิปรายหลังทำการทดลอง	10	นาที
	รวม	**50**	**นาที**

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
สารเคมี	
1. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.02 mol/L	1.0 mL
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.02 mol/L	0.5 mL
3. น้ำดอกอัญชัน	3.0 mL
4. น้ำกลั่น	0.5 mL
วัสดุและอุปกรณ์	
1. กระบอกตวง ขนาด 10 mL	1 อัน (ใช้ร่วมกัน)
2. หลอดทดลองขนาดเล็ก	3 หลอด
3. หลอดหยด	4 อัน

การเตรียมล่วงหน้า

1. เตรียม HCl 0.02 mol/L ปริมาตร 50 mL ดังนี้ เตรียม HCl 1.0 mol/L ปริมาตร 50 mL โดยตวง HCl 6.0 mol/L ปริมาตร 8.3 mL ลงในน้ำกลั่นประมาณ 25 mL แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 50 mL จากนั้นตวง HCl 1.0 mol/L ปริมาตร 1.00 mL ลงในน้ำกลั่นประมาณ 25 mL แล้วเติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 50 mL (สารละลายที่เตรียมสามารถใช้ได้กับการทดลองของนักเรียนประมาณ 50 กลุ่ม)
2. เตรียม NaOH 0.02 mol/L ปริมาตร 50 mL ดังนี้ เตรียม NaOH 1.0 mol/L ปริมาตร 50 mL โดยชั่ง NaOH 2.00 g ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 50 mL จากนั้นตวง NaOH 1.0 mol/L ปริมาตร 1.00 mL เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 50 mL (สารละลายที่เตรียมสามารถใช้ได้กับการทดลองของนักเรียนประมาณ 100 กลุ่ม)
3. น้ำดอกอัญชัน ปริมาตร 30 mL โดยใส่ดอกอัญชัน 6 ดอก (ถ้าเป็นแบบกลีบซ้อนใช้ 3 ดอก) ในโกร่งบดสาร บดให้ละเอียด เติมน้ำกลั่นลงไป 10 mL แล้วนำไปกรอง จากนั้นเติมน้ำกลั่นอีก 10 mL และนำไปกรอง ทำซ้ำอีกครั้งหนึ่ง (สารละลายที่เตรียมสามารถใช้ได้กับการทดลองของนักเรียนประมาณ 10 กลุ่ม)

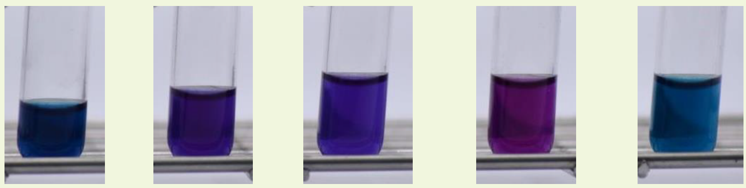
ข้อเสนอแนะสำหรับครู

1. ครูควรทำการทดลองก่อนใช้ในห้องเรียน เพื่อให้แน่ใจว่าปริมาณของสารที่กำหนดให้ผลสอดคล้องกับตัวอย่างผลการทดลอง ถ้าไม่มีดอกอัญชัน อาจใช้พืชชนิดอื่นที่มีแอนโทไซยานินแทนได้ เช่น กะหล่ำปลีม่วง แต่ปริมาณสารที่ใช้อาจมีการเปลี่ยนแปลง
2. การเตรียมน้ำดอกอัญชัน อาจใช้ดอกอัญชันแห้งแทนได้ โดยนำดอกอัญชันแห้งไปแช่น้ำให้นิ่มก่อนนำไปใช้
3. ครูให้ความรู้ว่า น้ำดอกอัญชันมีสีน้ำเงินเมื่อสารละลายเป็นกลาง และมีสีแดงเมื่อสารละลายเป็นกรด แต่ที่สังเกตเห็นสีม่วงเนื่องจากเป็นสีผสมของสีแดงกับสีน้ำเงิน
4. การเติม NaOH มากเกินไป สารละลายอาจเปลี่ยนเป็นสีเขียว
5. เตือนนักเรียนให้ระมัดระวังปริมาณที่ใช้ เนื่องจากปริมาณของสารในการทดลองนี้จะมีผลโดยตรงต่อการสังเกตสีที่เปลี่ยนแปลงไป

ตัวอย่างผลการทดลอง

หลอดที่	สารที่เติม	การเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้	
		หลังเติมสาร	วางไว้ 1 นาที
1	น้ำกลั่น	สารละลายเปลี่ยนสีจากสีม่วงเป็นม่วงน้ำเงิน	สารละลายมีสีม่วงน้ำเงิน
2	HCl	สารละลายเปลี่ยนสีจากม่วงเป็นม่วงแดง	สารละลายมีสีม่วงแดง
3	NaOH	สารละลายเปลี่ยนสีจากม่วงเป็นน้ำเงิน	สารละลายมีสีน้ำเงิน

ผลการทดลองแสดงดังรูป



น้ำดอกอัญชัน เติม HCl หลอดที่ 1 หลอดที่ 2 หลอดที่ 3

อภิปรายผลการทดลอง

สารละลายในหลอดที่ 1 ประกอบด้วยน้ำอัญชัน HCl และน้ำ ได้สารละลายสีม่วงน้ำเงิน แสดงว่าในสารละลายมีแอนโทไซยานินในรูปของ A (สีน้ำเงิน) อยู่ในสมดุลกับ AH^+ (สีแดง)

เมื่อเทียบกับหลอดที่ 1 การเติม HCl ลงในหลอดที่ 2 เป็นการเพิ่ม H_3O^+ ซึ่งทำให้ได้สารละลายสีม่วงแดง แสดงว่า H_3O^+ ทำให้ความเข้มข้นของ AH^+ เพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของ A ลดลง

ในทำนองเดียวกัน การเติม NaOH ลงในหลอดที่ 3 เป็นการลด H_3O^+ (โดยทำปฏิกิริยากับ OH^- ที่เติมลงไป) ซึ่งทำให้ได้สารละลายสีน้ำเงิน แสดงว่าความเข้มข้นของ A เพิ่มขึ้นและความเข้มข้นของ AH^+ ลดลง

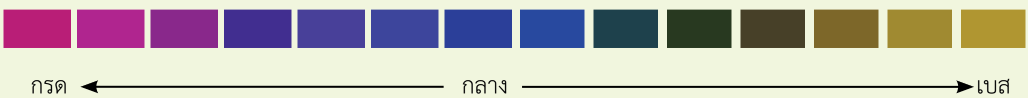
ดังนั้นการเพิ่มหรือลด H_3O^+ ทำให้ความเข้มข้นของ A และ AH^+ เปลี่ยนแปลงไป แสดงว่าการรบกวนสมดุลโดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารใดสารหนึ่งในปฏิกิริยาทำให้ปฏิกิริยาปรับตัวเข้าสู่สมดุลใหม่ ซึ่งสังเกตได้จากสีของสารละลายไม่เปลี่ยนแปลงอีกเมื่อเวลาผ่านไป

สรุปผลการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นมีผลต่อสมดุลของระบบ โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้น จะเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเพิ่มขึ้น แล้วเข้าสู่สมดุลใหม่ ในทางตรงข้ามเมื่อลดความเข้มข้นของสารตั้งต้น จะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเพิ่มขึ้น แล้วเข้าสู่สมดุลใหม่

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

แอนโทไซยานินเมื่อละลายน้ำจะอยู่ในสมดุล เมื่อมีการรบกวนระบบโดยการเติมสารละลายกรดหรือเบส สีของแอนโทไซยานินจะเปลี่ยนไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของแอนโทไซยานินในพืชต่าง ๆ ซึ่งในการทดลองนี้ศึกษาสมดุลของแอนโทไซยานินจากดอกอัญชันที่อยู่ในรูปสีแดงและสีน้ำเงิน แต่ยังมีสมดุลของแอนโทไซยานินในรูปที่มีสีอื่นอีก ขึ้นอยู่กับ pH ของสารละลาย ดังรูป



3. ครูอธิบายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้น ซึ่งทำให้สมดุลปรับเข้าสู่สมดุลใหม่ โดยใช้ตัวอย่างสมดุลของปฏิกิริยาเคมีระหว่างไอร์ออน(III)ไอออน (Fe^{3+}) และไทโอไซยาเนตไอออน (SCN^-) และรูป 9.5 ประกอบการอธิบาย

4. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ

ตรวจสอบความเข้าใจ

สมดุลของปฏิกิริยาเคมีระหว่างไอร์ออน (III)ไอออน (Fe^{3+}) และไทโอไซยาเนตไอออน (SCN^-) ถ้ามีการเพิ่มหรือลด $[FeSCN]^{2+}$ จะมีผลต่อความเข้มข้นของสารอื่นที่สมดุลอย่างไร

เมื่อเพิ่ม $[FeSCN]^{2+}$ ระบบจะปรับตัวเข้าสู่สมดุลใหม่ในทิศทางที่ทำให้ความเข้มข้นของ $[FeSCN]^{2+}$ ลดลง โดยเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ทำให้ความเข้มข้นของ Fe^{3+} และ SCN^- เพิ่มขึ้น แต่ถ้ามีการลด $[FeSCN]^{2+}$ ระบบจะปรับตัวเข้าสู่สมดุลใหม่ในทิศทางที่ทำให้ความเข้มข้นของ $[FeSCN]^{2+}$ เพิ่มขึ้น โดยเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า ทำให้ความเข้มข้นของ Fe^{3+} และ SCN^- ลดลง

5. ครูให้นักเรียนพิจารณาตาราง 9.3 แล้วร่วมกันสรุปผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารที่สมดุลต่อค่าคงที่สมดุล จากนั้นใช้ตัวอย่าง 11 อธิบายการคำนวณความเข้มข้นที่สมดุลใหม่เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของสารใดสารหนึ่งในปฏิกิริยา โดยเน้นให้สังเกตว่าความเข้มข้นที่สมดุลใหม่ของสารที่เพิ่มหรือลดความเข้มข้นจะอยู่ระหว่างความเข้มข้นของสารนั้นที่สมดุลเดิมกับความเข้มข้นเมื่อเริ่มรบกวนสมดุล โดยใช้ค่าที่ได้จากการคำนวณและรูป 9.5 ประกอบการอธิบาย

6. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ

ตรวจสอบความเข้าใจ

ปฏิกิริยา $Fe^{3+}(aq) + SCN^-(aq) \rightleftharpoons [FeSCN]^{2+}(aq)$ ที่ 25 องศาเซลเซียส ถ้าที่สมดุลมีความเข้มข้นของไอร์ออน(III)ไอออน (Fe^{3+}) และไทโอไซยาเนตไอออน (SCN^-) เท่ากับ 0.200 โมลต่อลิตร และไทโอไซยาเนโตไอร์ออน(III)ไอออน ($[FeSCN]^{2+}$) 5.68 โมลต่อลิตร เมื่อลดความเข้มข้นของไอร์ออน(III)ไอออนจาก 0.200 โมลต่อลิตร เป็น 0.100 โมลต่อลิตร ความเข้มข้นที่สมดุลใหม่ของสารแต่ละชนิดมีเท่าใด

เมื่อลดความเข้มข้นของ Fe^{3+} ในระบบ ระบบจะปรับตัวไปในทิศทางที่เพิ่มความเข้มข้นของ Fe^{3+} จึงกำหนดให้ $\Delta[Fe^{3+}] = +x$ mol/L ดังนั้น $\Delta[SCN^-] = +x$ mol/L และ $\Delta[[FeSCN]^{2+}] = -x$ mol/L ซึ่งนำไปคำนวณความเข้มข้นที่สมดุลได้ดังตาราง

ความเข้มข้น (mol/L)	$Fe^{3+}(aq)$ +	$SCN^{-}(aq)$ $\rightleftharpoons$	$[FeSCN]^{2+}(aq)$
สมดุลเดิม	0.200	0.200	5.68
ลด Fe^{3+}	0.100	0.200	5.68
เปลี่ยนไป	$+x$	$+x$	$-x$
สมดุลใหม่	$0.100 + x$	$0.200 + x$	$5.68 - x$

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นไม่มีผลต่อค่าคงที่สมดุล จึงแทนค่าได้ดังนี้

$$K = \frac{[[FeSCN]^{2+}]}{[Fe^{3+}][SCN^{-}]}$$

$$142 = \frac{(5.68 - x)}{(0.100 + x)(0.200 + x)}$$

$$142x^2 + 43.6x - 2.84 = 0$$

$$x = 0.0552 \text{ หรือ } -0.362$$

เมื่อแทนค่า x เท่ากับ -0.362 จะได้ $[Fe^{3+}]$ มีค่าเป็นลบ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ ดังนั้น x จึงมีค่าเท่ากับ 0.0552

นั่นคือ ที่สมดุลใหม่มี $[Fe^{3+}] = 0.100 \text{ mol/L} + 0.0552 \text{ mol/L} = 0.155 \text{ mol/L}$

$[SCN^{-}] = 0.200 \text{ mol/L} + 0.0552 \text{ mol/L} = 0.255 \text{ mol/L}$

$[[FeSCN]^{2+}] = 5.68 \text{ mol/L} - 0.0552 \text{ mol/L} = 5.62 \text{ mol/L}$

ดังนั้น ที่สมดุลใหม่มีความเข้มข้นของไอร์ออน(III)ไอออน 0.155 โมลต่อลิตร ไทโอไซยาเนตไอออน 0.255 โมลต่อลิตร และไทโอไซยาเนโตไอร์ออน(III)ไอออน 5.62 โมลต่อลิตร

7. ครูใช้คำถามว่า การเปลี่ยนแปลงความดันของแก๊ส โดยการเพิ่มหรือลดปริมาตร มีผลต่อความเข้มข้นของแก๊สและสมดุลหรือไม่ อย่างไร จากนั้นครูอธิบายการรบกวนสมดุลของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์กับแก๊สไดไนโตรเจนเตตรอกไซด์โดยการเปลี่ยนแปลงความดัน ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

8. ครูให้ความรู้ว่า ปฏิกิริยาเคมีที่มีสารอยู่ในสถานะแก๊ส ถ้าผลรวมของเลขสัมประสิทธิ์ของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ในสถานะแก๊สเท่ากัน การเปลี่ยนแปลงความดันจะไม่มีผลต่อสมดุล แล้วยกตัวอย่างปฏิกิริยาเคมีประกอบการอธิบาย จากนั้นอธิบายเพิ่มเติมว่า การเปลี่ยนแปลงความดันไม่มีผลกับความเข้มข้นของสารที่มีสถานะเป็นของแข็งและของเหลว เนื่องจากของแข็งและของเหลวมีความหนาแน่นคงที่

9. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจและคำถามชวนคิด

ตรวจสอบความเข้าใจ

1. ปฏิกิริยาเคมี $2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$ ที่ 25 องศาเซลเซียส ณ สมดุลมีแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) 0.100 โมลต่อลิตร และแก๊สไดไนโตรเจนเตตรอกไซด์ (N_2O_4) 0.250 โมลต่อลิตร ถ้าลดความดันโดยการเพิ่มปริมาตรของภาชนะที่บรรจุเป็น 2 เท่า ความเข้มข้นของแก๊สแต่ละชนิดที่สมดุลใหม่มีค่าเท่าใด

   คำนวณค่าคงที่สมดุลก่อนลดความดัน ดังนี้

$$K = \frac{[N_2O_4]}{[NO_2]^2} = \frac{0.250}{(0.100)^2} = 25.0$$

   คำนวณความเข้มข้นของสารแต่ละชนิดที่สมดุลใหม่ ดังนี้

   เมื่อลดความดันโดยการเพิ่มปริมาตรเป็น 2 เท่า จะทำให้ความเข้มข้นของ NO_2 และ N_2O_4 ลดลง 2 เท่า ระบบจึงปรับตัวไปทิศทางที่ทำให้ NO_2 เพิ่มขึ้น จึงกำหนดให้ $\Delta[NO_2] = +2x$ mol/L ดังนั้น $\Delta[N_2O_4] = -x$ mol/L นำไปคำนวณความเข้มข้นที่สมดุลได้ดังตาราง

ความเข้มข้น (mol/L)	$2NO_2(g) \rightleftharpoons$	$N_2O_4(g)$
สมดุลเดิม	0.100	0.250
เพิ่มปริมาตร 2 เท่า	0.0500	0.125
เปลี่ยนไป	$+2x$	$-x$
สมดุลใหม่	$0.0500 + 2x$	$0.125 - x$

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นไม่มีผลต่อค่าคงที่สมดุล จึงแทนค่าได้ดังนี้

$$K = \frac{[N_2O_4]}{[NO_2]^2}$$

$$25.0 = \frac{(0.125 - x)}{(0.0500 + 2x)^2}$$

$$100x^2 + 6x - 0.0625 = 0$$

$$x = -0.0691 \text{ หรือ } 0.00905$$

เมื่อแทนค่า x เท่ากับ -0.0691 จะได้ $[NO_2]$ มีค่าเป็นลบ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ ดังนั้น x จึงมีค่าเท่ากับ 0.00905

นั่นคือ ที่สมดุลใหม่ มี

$$[NO_2] = 0.0500 \text{ mol/L} + 2(0.00905 \text{ mol/L}) = 0.0681 \text{ mol/L}$$

$$[N_2O_4] = 0.125 \text{ mol/L} - 0.00905 \text{ mol/L} = 0.116 \text{ mol/L}$$

ดังนั้น ที่สมดุลใหม่ แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์มีความเข้มข้น 0.0618 โมลต่อลิตร และแก๊สไดไนโตรเจนเตตรอกไซด์มีความเข้มข้น 0.116 โมลต่อลิตร

2. ปฏิกิริยาเคมี $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$ ถ้าเพิ่มความดันของระบบโดยการลดปริมาตรที่สมดุลใหม่ สารแต่ละชนิดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

เมื่อเพิ่มความดันโดยการลดปริมาตร ทำให้ความเข้มข้นของ CO_2 เพิ่มขึ้น ระบบจะปรับตัวเข้าสู่สมดุลใหม่ไปในทิศทางที่มีจำนวนโมลของแก๊สน้อยกว่า หรือปรับตัวในทิศทางที่เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ กล่าวคือ CO_2 ทำปฏิกิริยากับ CaO ทำให้ปริมาณของ $CaCO_3$ เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณของ CO_2 และ CaO ลดลง อย่างไรก็ตามที่สมดุลใหม่แม้ปริมาณของ CO_2 ลดลง แต่ปริมาตรของระบบก็ลดลงด้วย ซึ่งมีผลให้ความเข้มข้นของ CO_2 ที่สมดุลใหม่เท่ากับความเข้มข้นของ CO_2 ที่สมดุลเดิม ซึ่งสอดคล้องกับค่าคงที่สมดุล ($K = [CO_2]$) ซึ่งมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง

ชวนคิด

ในปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับแก๊ส การเพิ่มความดันด้วยการเติมแก๊สชนิดอื่นที่ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารในระบบ โดยปริมาตรของระบบไม่เปลี่ยนแปลง จะมีผลต่อสมดุลของระบบหรือไม่ เพราะเหตุใด

การเพิ่มความดันด้วยการเติมแก๊สที่ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารในระบบ โดยปริมาตรของระบบไม่เปลี่ยนแปลง ไม่มีผลต่อสมดุลของระบบ เนื่องจากแก๊สที่เติมลงไปไม่ทำให้ความเข้มข้นของสารในปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลง

10. ครูใช้คำถามว่า การเปลี่ยนอุณหภูมิมีผลต่อสมดุลหรือไม่ จากนั้นให้นักเรียนทำกิจกรรม 9.5 การทดลองผลของอุณหภูมิต่อสมดุล ทั้งนี้ครูต้องเตรียมแก๊สผสมของไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และแก๊สไดไนโตรเจนเตตรอกไซด์ (N_2O_4) ที่บรรจุในหลอดทดลองไว้ให้ และเน้นว่าห้ามเปิดแก๊สออกจากหลอดทดลอง แล้วให้นักเรียนอภิปรายผลการทดลองโดยใช้คำถามท้ายการทดลอง

กิจกรรม 9.5 การทดลองผลของอุณหภูมิต่อสมดุล

จุดประสงค์การทดลอง

1. ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อสมดุล
2. อธิบายการเปลี่ยนแปลงสมดุล เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของระบบ

เวลาที่ใช้	อภิปรายก่อนทำการทดลอง	5	นาที
	ทำการทดลอง	20	นาที
	อภิปรายหลังทำการทดลอง	25	นาที
	รวม	**50**	**นาที**

วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี

รายการ	ปริมาณต่อกลุ่ม
สารเคมี	
1. โลหะทองแดง (Cu) ที่ตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ	0.01 g
2. สารละลายกรดไนทริก (HNO_3) เข้มข้น (16 mol/L)	4 หยด
3. น้ำแข็ง	1 แก้ว
วัสดุและอุปกรณ์	
1. หลอดทดลองขนาดเล็ก พร้อมจุกยาง	1 หลอด
2. บีกเกอร์ ขนาด 250 mL	2 ใบ
3. เทอร์มอมิเตอร์	1 อัน
4. ที่ตั้งหลอดทดลอง	1 อัน
5. ขาตั้ง พร้อมที่หนีบหลอดทดลอง	1 ชุด
6. ตะเกียงแอลกอฮอล์ พร้อมตะแกรงลวดและที่กั้นลม	1 ชุด

การเตรียมล่วงหน้า

แก๊สผสมของ NO_2 และ N_2O_4 ที่บรรจุในหลอดทดลองขนาดเล็ก สำหรับนักเรียนกลุ่มละ 1 หลอด เตรียมได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ใส่ Cu ชิ้นเล็ก ๆ 0.01 g (ประมาณ 2 mm × 2 mm) ลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก
2. เติม HNO_3 เข้มข้น จำนวน 4 หยด ลงไป แล้วปิดหลอดทดลองด้วยจุกยางทันที จะมี NO_2 ซึ่งมีสีน้ำตาลแดงเกิดขึ้น
3. รอจนกระทั่ง Cu เกิดปฏิกิริยาจนหมด แล้วจึงนำไปให้นักเรียนทำการทดลอง

ข้อเสนอแนะสำหรับครู

1. HNO_3 มีฤทธิ์กัดกร่อน และ NO_2 มีอันตราย จึงควรสวมถุงมือ ผ้าปิดปากและแว่นตานิรภัย รวมทั้งทำการทดลองในบริเวณที่อากาศถ่ายเทได้สะดวกหรือในตู้ดูดควัน
2. NO_2 ละลายน้ำได้ ดังนั้นจึงควรใช้หลอดทดลองและจุกยางที่แห้ง
3. เมื่อทำการทดลองเสร็จแล้ว ให้กำจัด NO_2 โดยเปิดจุกยางแล้วรีบเติมน้ำลงไปประมาณครึ่งหลอด แล้วรีบปิดหลอดทดลองด้วยจุกยางทันที รอจนกระทั่ง NO_2 ละลายน้ำหมด ซึ่งสังเกตได้จากแก๊สสีน้ำตาลแดงจางหายไป

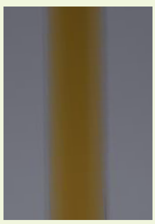
ตัวอย่างผลการทดลอง

แก๊สที่เป็นสมดุลของ NO_2 กับ N_2O_4 ในหลอดทดลองมีสีน้ำตาลแดง

การทดลอง	สิ่งที่สังเกตเห็น
เริ่มต้น	แก๊สมีสีน้ำตาลแดง
จุ่มในน้ำร้อน	แก๊สมีสีน้ำตาลแดงเข้มขึ้นแล้วคงที่
จุ่มในน้ำแข็ง	แก๊สมีสีน้ำตาลแดงจางลงแล้วคงที่

ผลการทดลองดังรูปต่อไปนี้


อุณหภูมิสูง


อุณหภูมิห้อง


อุณหภูมิต่ำ

อภิปรายผลการทดลอง

สมดุลของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) กับแก๊สไดไนโตรเจนเตตรอกไซด์ (N_2O_4) เป็นดังสมการเคมี

$$\underset{\text{สีน้ำตาลแดง}}{2NO_2(g)} \rightleftharpoons \underset{\text{ไม่มีสี}}{N_2O_4(g)}$$

ที่อุณหภูมิห้องจะสังเกตเห็นสีน้ำตาลแดงในหลอดทดลอง ซึ่งเป็นสีของแก๊ส NO_2 เมื่อนำหลอดทดลองจุ่มในน้ำร้อนพบว่า สีน้ำตาลแดงเข้มขึ้นแล้วคงที่ แสดงว่าแก๊ส NO_2 มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับมากขึ้น จนปรับตัวเข้าสู่สมดุลใหม่

เมื่อนำหลอดทดลองจุ่มในน้ำแข็งพบว่า สีน้ำตาลแดงจางลงแล้วคงที่ แสดงว่าแก๊ส NO_2 มีความเข้มข้นลดลง ดังนั้นการลดอุณหภูมิทำให้เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากขึ้น จนปรับตัวเข้าสู่สมดุลใหม่

สรุปผลการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของระบบที่อยู่ในสมดุล ทำให้ระบบมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เพื่อเข้าสู่สมดุลใหม่

ความรู้เพิ่มเติมสำหรับครู

การเตรียมแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยใช้ทองแดงทำปฏิกิริยาเคมีกับกรดไนทริกเข้มข้น เขียนสมการเคมีได้ดังนี้

$$Cu(s) + 4HNO_3(aq) \longrightarrow Cu(NO_3)_2(aq) + 2H_2O(l) + 2NO_2(g)$$

11. ครูอธิบายการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีผลต่อสมดุลและค่าคงที่สมดุล โดยยกตัวอย่างปฏิกิริยาเคมีระหว่าง $[Co(H_2O)_6]^{2+}$ และ Cl^- ซึ่งมีปฏิกิริยาไปข้างหน้าเป็นปฏิกิริยาดูดพลังงาน และใช้รูป 9.6 ประกอบการอธิบาย จากนั้นครูอธิบายเกี่ยวกับการรบกวนสมดุลของระบบที่มีปฏิกิริยาไปข้างหน้าเป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน โดยการเพิ่มและลดอุณหภูมิ ซึ่งระบบมีการปรับตัวไปในทิศทางตรงกันข้ามกับปฏิกิริยาดูดพลังงาน

12. ครูใช้คำถามว่า กิจกรรม 9.5 ซึ่งเป็นสมดุลของปฏิกิริยา $2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$ มีปฏิกิริยาไปข้างหน้าเป็นปฏิกิริยาดูดพลังงานหรือคายพลังงาน ซึ่งควรตอบได้ว่า เป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน

13. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ

ตรวจสอบความเข้าใจ

จากข้อมูลความเข้มข้นที่สมดุลของสารในปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในตาราง จงคำนวณค่าคงที่สมดุลและระบุว่าปฏิกิริยานี้มีปฏิกิริยาไปข้างหน้าเป็นปฏิกิริยาดูดพลังงานหรือคายพลังงาน

1. ปฏิกิริยา $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

อุณหภูมิ (K)	ความเข้มข้น (mol/L)		ค่าคงที่สมดุล
	N_2O_4	NO_2	
298	0.90	0.19	4.0×10^{-2}
400	0.55	0.89	1.4
500	0.088	1.9	41

ปฏิกิริยาไปข้างหน้าของปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาดูดพลังงาน เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าคงที่สมดุลมีค่าเพิ่มขึ้น

2. ปฏิกิริยา $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$

อุณหภูมิ (K)	ความเข้มข้น (mol/L)			ค่าคงที่สมดุล
	H_2	N_2	NH_3	
298	0.014	0.0048	2.1	3.3×10^{8}
400	0.13	0.042	1.9	3.9×10^{4}
500	0.47	0.16	1.7	1.7×10^{2}

ปฏิกิริยาไปข้างหน้าของปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าคงที่สมดุลมีค่าลดลง

14. ครูให้ความรู้ว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ มีผลต่อค่าคงที่สมดุลของระบบ ดังนั้นในการแสดงค่าคงที่สมดุลใด ๆ จึงต้องระบุอุณหภูมิด้วย

15. ครูอธิบายเกี่ยวกับหลักของเลอชาเตอลิเอ แล้วนำผลการทดลองของกิจกรรม 9.4 และ 9.5 มาอภิปรายร่วมกันอีกครั้ง เพื่อเชื่อมโยงว่าผลการทดลองที่สังเกตได้นั้นสอดคล้องกับหลักของเลอชาเตอลิเอ

16. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด 9.3 เพื่อทบทวนความรู้

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลและค่าคงที่สมดุลของระบบ และการใช้หลักของเลอชาเตอลิเอ ในการคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อสมดุลของระบบถูกรบกวนจากรายงานการทดลอง การอภิปราย การทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ

2. ทักษะการสังเกต การพยากรณ์ การทดลอง การตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุปจากรายงานการทดลอง และการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลอง

3. ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา และความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการอภิปราย และการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลอง

4. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผล และความซื่อสัตย์ จากอภิปรายและการสังเกตพฤติกรรมในการทำการทดลอง

แบบฝึกหัด 9.3

1. ปฏิกิริยาระหว่างแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) กับแก๊สออกซิเจน (O_2) ได้แก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) เป็นดังสมการเคมี

$$2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g) + 11.16\ kJ$$

ถ้ารบกวนสมดุลของปฏิกิริยาด้วยวิธีต่อไปนี้จะมีผลต่อความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไตรออกไซด์อย่างไร

1.1 ลดความดันของระบบ

เมื่อลดความดันของระบบ ระบบจะปรับตัวเพื่อเพิ่มความดันโดยเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ทำให้ความเข้มข้นของแก๊ส SO_3 ลดลง

1.2 เพิ่มความเข้มข้นของแก๊สออกซิเจนในระบบ

การเพิ่มความเข้มข้นของแก๊ส O_2 เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้น ระบบจะปรับตัวเพื่อลดความเข้มข้นของ O_2 โดยเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า เป็นผลให้ความเข้มข้นของแก๊ส SO_3 เพิ่มขึ้น

1.3 ลดความเข้มข้นของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในระบบ

การลดความเข้มข้นของแก๊ส SO_2 เป็นการลดความเข้มข้นของสารตั้งต้น ระบบจะปรับตัวเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของ SO_2 โดยเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เป็นผลให้ความเข้มข้นของแก๊ส SO_3 ลดลง

2. แก๊สฟอสจีน ($COCl_2$) เป็นแก๊สพิษที่ไม่มีสี แต่ยังมีการใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารอินทรีย์ สีย้อม และสารกำจัดแมลง การเตรียมแก๊สฟอสจีนจากแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และแก๊สคลอรีน (Cl_2) แสดงดังสมการเคมี

$$CO(g) + Cl_2(g) + \text{พลังงาน} \rightleftharpoons COCl_2(g)$$

สมดุลของปฏิกิริยาจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่อรบกวนสมดุลด้วยวิธีการต่อไปนี้

2.1 ลดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์

การลดแก๊ส CO เป็นการลดความเข้มข้นของสารตั้งต้น ระบบจะปรับตัวเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของ CO โดยเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ

2.2 เพิ่มแก๊สคลอรีน

การเพิ่มแก๊ส Cl_2 เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้น ระบบจะปรับตัวเพื่อลดความเข้มข้นของ Cl_2 โดยเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า

2.3 ลดอุณหภูมิของระบบ

ปฏิกิริยาการเกิดแก๊ส $COCl_2$ เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน เมื่ออุณหภูมิของระบบลดลง ระบบจะปรับตัวเพื่อคายความร้อน โดยเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ

2.4 เพิ่มความดันของระบบ

เมื่อเพิ่มความดัน ระบบจะปรับตัวเพื่อลดความดันโดยเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า

3. การกำจัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในไอเสียของรถยนต์ ทำได้โดยให้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เกิดขึ้นทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจน (O_2) บนผิวของโลหะบางชนิดที่อุณหภูมิสูง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

$$2CO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2CO_2(g) + \text{พลังงาน}$$

3.1 ถ้าเพิ่มความดันของระบบโดยอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง ระบบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เพราะเหตุใด

ถ้าเพิ่มความดันของระบบโดยอุณหภูมิของระบบไม่เปลี่ยนแปลง ระบบจะปรับตัวเพื่อลดความดันโดยเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า

3.2 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิโดยควบคุมความดันให้คงที่ระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

เนื่องจากระบบนี้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิโดยควบคุมให้ความดันคงที่ ระบบจะปรับตัวโดยเกิดปฏิกิริยาในทิศทางย้อนกลับ

4. ถ้ารบกวนสมดุลของปฏิกิริยาด้วยวิธีต่อไปนี้ จะทำให้ความเข้มข้นของสารเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร และมีผลต่อค่าคงที่สมดุลอย่างไร

4.1 $C_2H_6(g) \rightleftharpoons H_2(g) + C_2H_4(g)$ เติม $H_2(g)$

การเติมแก๊ส H_2 ลงในระบบ เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของแก๊ส H_2 ระบบจะปรับตัวไปในทิศทางที่ลดความเข้มข้นของ H_2 โดยเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ทำให้ความเข้มข้นของ C_2H_6 เพิ่มขึ้น ส่วนความเข้มข้นของ C_2H_4 มีค่าลดลง แต่ไม่มีผลต่อค่าคงที่สมดุล

4.2 $2NO_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g) + O_2(g)$ เติม $NO_2(g)$

การเติมแก๊ส NO_2 ลงในระบบ เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของ NO_2 ระบบจะปรับตัวไปในทิศทางที่ลดความเข้มข้นของ NO_2 โดยเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า ทำให้ความเข้มข้นของ NO และ O_2 เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อค่าคงที่สมดุล

4.3 $CO(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons CH_4(g) + H_2O(g)$ เพิ่มความดัน

เมื่อเพิ่มความดัน ระบบจะปรับตัวเพื่อลดความดันโดยเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า เนื่องจากผลรวมของเลขสัมประสิทธิ์ของแก๊สที่เป็นผลิตภัณฑ์น้อยกว่าของสารตั้งต้น ทำให้ความเข้มข้นของ CO และ H_2 ลดลง ส่วนความเข้มข้นของ CH_4 และ H_2O เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อค่าคงที่สมดุล

4.4 $CO_2(g) + 2SO_3(g) \rightleftharpoons CS_2(g) + 4O_2(g)$ + พลังงาน ลดอุณหภูมิ

เนื่องจากระบบนี้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน เมื่อลดอุณหภูมิ ระบบจะปรับตัวไปทางปฏิกิริยาไปข้างหน้า ทำให้ความเข้มข้นของ CO_2 และ SO_3 ลดลง ส่วนความเข้มข้นของ CS_2 และ O_2 เพิ่มขึ้น ส่วนค่าคงที่สมดุลมีค่าเพิ่มขึ้น

4.5 $PbSO_4(s) + H^+(aq) \rightleftharpoons Pb^{2+}(aq) + HSO_4^-(aq)$ เติม $Pb(NO_3)_2(s)$

$Pb(NO_3)_2$ ที่เติมลงไปประกอบด้วย Pb^{2+} และ NO_3^- จึงเป็นการเพิ่มความเข้มข้นของ Pb^{2+} ระบบจะปรับตัวเพื่อลดความเข้มข้นของ Pb^{2+} โดยเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ทำให้ความเข้มข้นของ H^+ เพิ่มขึ้น ส่วนความเข้มข้นของ HSO_4^- จะลดลง แต่ไม่มีผลต่อค่าคงที่สมดุล

4.6 $PbCl_2(s) \xrightleftharpoons{H_2O} Pb^{2+}(aq) + 2Cl^-(aq)$ เติม $AgNO_3(s)$

$AgNO_3$ ที่เติมลงไปประกอบด้วย Ag^+ และ NO_3^- ซึ่ง Ag^+ จะทำปฏิกิริยากับ Cl^- เกิดเป็นตะกอนสีขาวของ AgCl ทำให้ความเข้มข้นของ Cl^- ลดลง ระบบจึงปรับตัวเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Cl^- โดยเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า จึงมีความเข้มข้นของ Pb^{2+} เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อค่าคงที่สมดุล

4.7 $Fe^{3+}(aq) + 3OH^-(aq) \rightleftharpoons Fe(OH)_3(s)$ เติม HCl(aq)

HCl ที่เติมลงไปประกอบด้วย H^+ และ Cl^- ซึ่ง H^+ จะทำปฏิกิริยากับ OH^- ทำให้ความเข้มข้นของ OH^- ลดลง ระบบจะปรับตัวเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของ OH^- โดยเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ทำให้ความเข้มข้นของ Fe^{3+} เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลต่อค่าคงที่สมดุล

5. ปฏิกิริยาเคมี $PCl_3(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons PCl_5(g)$ ที่ 25 องศาเซลเซียส ในภาชนะขนาด 2.00 ลิตร ที่สมดุลมีแก๊สฟอสฟอรัสไตรออกไซด์ (PCl_3) และแก๊สคลอรีน (Cl_2) อย่างละ 0.200 โมล และแก๊สฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (PCl_5) 2.60 โมล ถ้าลดปริมาตรของภาชนะที่บรรจุเหลือ 0.500 ลิตร ความเข้มข้นของแก๊สแต่ละชนิดที่สมดุลใหม่มีค่าเท่าใด

คำนวณความเข้มข้นของแก๊สแต่ละชนิดที่สมดุลเดิม

$$[PCl_3] = [Cl_2] = \frac{0.200\ \text{mol}}{2.00\ \text{L}} = 0.100\ \text{mol/L}$$

$$\text{และ } [PCl_5] = \frac{2.60\ \text{mol}}{2.00\ \text{L}} = 1.30\ \text{mol/L}$$

คำนวณค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา

$$K = \frac{[PCl_5]}{[PCl_3][Cl_2]}$$

$$= \frac{1.30}{(0.100)(0.100)}$$

$$= 130$$

คำนวณความเข้มข้นของแก๊สแต่ละชนิดที่สมดุลใหม่

การลดปริมาตรของภาชนะจาก 2.00 L เป็น 0.500 L ทำให้ความเข้มข้นของแก๊สแต่ละชนิดเพิ่มขึ้นและทำให้ความดันเพิ่มขึ้น ระบบจึงปรับตัวเพื่อลดความดันโดยเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า ส่งผลให้ PCl_5 เพิ่มขึ้น จึงกำหนดให้ $\Delta[PCl_5] = +x$ mol/L ดังนั้น $\Delta[PCl_3] = \Delta[Cl_2] = -x$ mol/L นำไปคำนวณความเข้มข้นที่สมดุลได้ดังตาราง

ความเข้มข้น (mol/L)	$PCl_3(g)$ +	$Cl_2(g)$ $\rightleftharpoons$	$PCl_5(g)$
สมดุลเดิม	0.100	0.100	1.30
ลดปริมาตร	$\frac{0.200\ \text{mol}}{0.500\ \text{L}} = 0.400$	$\frac{0.200\ \text{mol}}{0.500\ \text{L}} = 0.400$	$\frac{2.60\ \text{mol}}{0.500\ \text{L}} = 5.20$
เปลี่ยนไป	$-x$	$-x$	$+x$
สมดุลใหม่	$0.400 - x$	$0.400 - x$	$5.20 + x$

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นไม่มีผลต่อค่าคงที่สมดุล จึงคำนวณความเข้มข้นที่เปลี่ยนไปได้ดังนี้

$$K = \frac{[PCl_5]}{[PCl_3][Cl_2]}$$

$$130 = \frac{(5.20 + x)}{(0.400 - x)^2}$$

$$130x^2 - 105x + 15.6 = 0$$

$$x = 0.196 \text{ หรือ } 0.611$$

เนื่องจากค่า x เท่ากับ 0.611 มีค่ามากกว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของ PCl_3 และ Cl_2 ซึ่งเป็นไปไม่ได้ ดังนั้น x จึงมีค่าเท่ากับ 0.196

นั่นคือ ที่สมดุลใหม่ มี $[PCl_3] = [Cl_2] = 0.400\ \text{mol/L} - 0.196\ \text{mol/L} = 0.204\ \text{mol/L}$

$[PCl_5] = 5.20\ \text{mol/L} + 0.196\ \text{mol/L} = 5.40\ \text{mol/L}$

ดังนั้น ที่สมดุลใหม่มีแก๊สฟอสฟอรัสไตรออกไซด์และแก๊สคลอรีน 0.204 โมลต่อลิตร และมีแก๊สฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ 5.40 โมลต่อลิตร

9.4 สมดุลเคมีในสิ่งมีชีวิต สิ่งแวดล้อม และอุตสาหกรรม

9.4.1 การผลิตแก๊สแอมโมเนียในอุตสาหกรรม

9.4.2 โรคหายใจเกิน

9.4.3 การเกิดหินงอกหินย้อย

จุดประสงค์การเรียนรู้

ยกตัวอย่างและอธิบายสมดุลเคมีของกระบวนการที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต ปรากฏการณ์ในธรรมชาติและกระบวนการในอุตสาหกรรม

สื่อการเรียนรู้และแหล่งการเรียนรู้

บัตรคำสำหรับเขียนผังมโนทัศน์

แนวการจัดการเรียนรู้

1. ครูนำเข้าสู่บทเรียนว่า ความรู้เกี่ยวกับสมดุลเคมีสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรม เช่น การผลิตแก๊สแอมโมเนีย จากนั้นครูให้ความรู้เกี่ยวกับการนำแอมโมเนียมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสารเคมีต่าง ๆ และการเลือกกรรมวิธีผลิตในอุตสาหกรรมซึ่งต้องคำนึงถึงความคุ้มทุน

2. ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับอุณหภูมิและความดันที่เหมาะสมในการผลิตแก๊สแอมโมเนีย โดยให้นักเรียนพิจารณาสมการเคมีของการผลิตแก๊สแอมโมเนียจากแก๊สไนโตรเจนกับแก๊สไฮโดรเจน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน แล้วใช้คำถามว่า ถ้าต้องการให้ได้ผลิตภัณฑ์ปริมาณมาก ความดันและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเคมีควรเป็นอย่างไร เพราะเหตุใด ซึ่งนักเรียนควรตอบได้ว่า การผลิตแก๊สแอมโมเนียให้ได้ปริมาณมาก ควรทำที่ความดันสูงและอุณหภูมิต่ำ

3. ครูให้นักเรียนพิจารณารูป 9.7 แล้วใช้คำถามว่า ถ้าต้องการได้ผลิตภัณฑ์ปริมาณมาก ความดันและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเคมีควรเป็นอย่างไร สอดคล้องกับคำตอบของนักเรียนก่อนหน้านี้หรือไม่ ซึ่งนักเรียนควรตอบได้ว่า ความดันสูงและอุณหภูมิต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับคำตอบก่อนหน้านี้

4. ครูใช้คำถามเพื่อทบทวนเกี่ยวกับผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จากนั้นให้ความรู้ว่า เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำปฏิกิริยาเคมีเกิดได้ช้า และอุปกรณ์ที่ทนความดันสูงมีราคาแพง ดังนั้นการผลิตแก๊สแอมโมเนียควรใช้อุณหภูมิและความดันที่เหมาะสม และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา กระบวนการนี้เรียกว่า กระบวนการฮาเบอร์ และนอกจากนี้ในอุตสาหกรรมจะมีกระบวนการแยกแก๊สแอมโมเนียออกจากระบบ เพื่อทำให้ผลิตแอมโมเนียได้มากขึ้น

5. ครูอธิบายว่า หลักการของสมดุลเคมีสามารถนำมาใช้ในการอธิบายกระบวนการที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตและปรากฏการณ์ในธรรมชาติได้ โดยครูยกตัวอย่างเกี่ยวกับการรักษาอาการของโรคหายใจเกิน และการเกิดหินงอกหินย้อย ตามรายละเอียดในหนังสือเรียน

6. ครูให้นักเรียนทำกิจกรรม 9.6 สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับสมดุลเคมีในชีวิตประจำวัน สิ่งมีชีวิต สิ่งแวดล้อม และอุตสาหกรรม โดยอาจมอบหมายให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับสมดุลเคมีกับกระบวนการทางอุตสาหกรรม หรือกระบวนการที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต หรือปรากฏการณ์ในธรรมชาติล่วงหน้าประมาณ 1 สัปดาห์ แล้วนำเสนอผลงานกลุ่มละ 10 นาที ด้วยสื่อประเภทใดก็ได้ เช่น โปสเตอร์ บทบาทสมมติ วีดิทัศน์ และให้แต่ละกลุ่มคิดคำถามสำหรับถามเพื่อนหลังจากรายงานแล้วกลุ่มละ 1 คำถาม

กิจกรรม 9.6 สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับสมดุลเคมีในชีวิตประจำวัน สิ่งมีชีวิต สิ่งแวดล้อม และอุตสาหกรรม

จุดประสงค์ของกิจกรรม

สืบค้นข้อมูลและนำเสนอเกี่ยวกับสมดุลเคมีของกระบวนการที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน สิ่งมีชีวิต สิ่งแวดล้อม และอุตสาหกรรม

เวลาที่ใช้ 50 นาที

ข้อเสนอแนะสำหรับครู

ครูอาจให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลและเตรียมการนำเสนอล่วงหน้า

ตัวอย่างผลการทำกิจกรรม

ฟองแก๊สในน้ำอัดลม

การผลิตน้ำอัดลมทำได้โดยนำน้ำสะอาดมาผสมกับน้ำตาล สารปรุงแต่งกลิ่น รส และสี แล้วมีการอัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ลงไปที่อุณหภูมิต่ำและความดันสูง แล้วเก็บในภาชนะปิด ซึ่งมีสมดุลระหว่างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในสถานะแก๊สกับในสถานะของเหลว และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์กับกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) ดังสมการเคมี

$$CO_2(g) \rightleftharpoons CO_2(aq)$$

$$CO_2(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq)$$

เมื่อเปิดฝาขวดน้ำอัดลมจะพบว่า มีฟองแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น เนื่องจากเป็นการรบกวนสมดุลโดยการลดความดันจึงทำให้ปฏิกิริยาเกิดย้อนกลับให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ตามหลักของเลอชาเตอลิเอ

การเกิดฟันผุ

สารเคลือบฟันมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นไฮดรอกซิลแอพาไทต์ (hydroxylapatite, $Ca_5(PO_4)_3OH$) ซึ่งเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวเป็นไอออน ดังสมการเคมี

$$Ca_5(PO_4)_3OH(s) \rightleftharpoons 5Ca^{2+}(aq) + 3PO_4^{2-}(aq) + OH^-(aq) \qquad K = 6.8 \times 10^{-37}$$

จากค่าคงที่สมดุลจะเห็นว่า ปฏิกิริยานี้เกิดไปข้างหน้าได้น้อยมาก แต่เมื่อสภาพในปากเป็นกรดมากขึ้น เช่น กระบวนการย่อยน้ำตาลของแบคทีเรีย การดื่มน้ำอัดลม การรับประทานของเปรี้ยว H_3O^+ จากกรดจะทำปฏิกิริยาเคมีกับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ทำให้สมดุลเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าได้มากขึ้น ฟันจึงผุ

เปลือกไข่บางในหน้าร้อน

เปลือกไข่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ซึ่งประกอบด้วยแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และคาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) แหล่งของแคลเซียมไอออนได้จากอาหาร ส่วนแหล่งของคาร์บอเนตไอออนได้จากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในกระบวนการหายใจ โดยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดปฏิกิริยากับน้ำกลายเป็นกรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) อยู่ในกระแสเลือด ดังสมการเคมี (1) กรดคาร์บอนิกสามารถแตกตัวเป็นคาร์บอเนตไอออน ดังสมการเคมี (2) จากนั้นแคลเซียมไอออนและคาร์บอเนตไอออนจะทำปฏิกิริยาเคมีเกิดเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ดังสมการเคมี (3)

$$CO_2(g) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_2CO_3(aq) \qquad \text{......(1)}$$

$$H_2CO_3(aq) \rightleftharpoons 2H^+(aq) + CO_3^{2-}(aq) \qquad \text{......(2)}$$

$$Ca^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq) \rightleftharpoons CaCO_3(s) \qquad \text{......(3)}$$

ในหน้าร้อน ไก่จะหายใจถี่ ทำให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในกระแสเลือดลดลง ซึ่งเป็นการรบกวนสมดุลของทั้งระบบทำให้แคลเซียมคาร์บอเนตเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เปลือกไข่จึงบางลง

7. ครูให้นักเรียนตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ

ตรวจสอบความเข้าใจ

พิจารณาข้อมูลต่อไปนี้ในการตอบคำถาม

โรคเก๊าท์เป็นโรคข้ออักเสบเฉียบพลัน ซึ่งเกิดจากการที่ร่างกายมีกรดยูริก ($C_5H_4N_4O_3$) มากกว่าปกติ แล้วตกตะกอนเป็นผลึกของเกลือยูเรตไปสะสมตามข้อต่าง ๆ ทำให้เกิดการอักเสบขึ้น กรดยูริกเกิดจากการเผาผลาญสารพิวรีนซึ่งเป็นสารที่ร่างกายสังเคราะห์ขึ้นได้เองและยังมีอยู่ทั่วไปในอาหารหลายชนิด เช่น อาหารที่มีโปรตีนสูง เครื่องในสัตว์ น้ำปลา เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ กรดยูริกในกระแสเลือดแตกตัวเป็นยูเรตไอออน ($C_5H_3N_4O_3^-$) ดังสมการเคมี (1) แล้วขับออกทางปัสสาวะ สำหรับผู้ป่วยโรคเก๊าท์พบว่าไตไม่สามารถขับกรดยูริกได้ตามปกติ จึงเกิดการสะสมของเกลือโซเดียมยูเรต ($NaC_5H_3N_4O_3$) ดังสมการเคมี (2) แล้วเกิดการตกตะกอนเป็นผลึกตามข้อต่าง ๆ ในร่างกาย

$$C_5H_4N_4O_3(aq) \rightleftharpoons H^+(aq) + C_5H_3N_4O_3^-(aq) \qquad ......(1)$$

$$Na^+(aq) + C_5H_3N_4O_3^-(aq) \rightleftharpoons NaC_5H_3N_4O_3(s) \qquad ......(2)$$

ถ้านักเรียนเป็นนักโภชนาการจะให้คำแนะนำแก่ผู้ป่วยโรคเก๊าท์เกี่ยวกับการควบคุมอาหารอย่างไร เพราะเหตุใด

ลดอาหารที่มีโซเดียมไอออนสูง เช่น เกลือแกง และอาหารที่มีสารพิวรีน เช่น อาหารที่มีโปรตีนสูง เครื่องในสัตว์ น้ำปลา เครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ โดยการลดอาหารที่มีโซเดียมไอออนสูงจะทำให้ระบบในสมการเคมี (2) เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ และการลดอาหารที่มีสารพิวรีนจะทำให้ระบบในสมการเคมี (1) เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ จึงเป็นการลดเกลือโซเดียมยูเรต

8. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปเนื้อหาในบทเรียน โดยร่วมกันเขียนผังมโนทัศน์จากข้อความที่กำหนดให้ แล้วให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดท้ายบท

ตัวอย่างข้อความ

สมดุลเคมี	ระบบปิด	ปฏิกิริยาผันกลับได้
ปฏิกิริยาไปข้างหน้า	ปฏิกิริยาย้อนกลับ	ค่าคงที่สมดุล
ความเข้มข้นที่สมดุล	หลักของเลอชาเตอลิเอ	ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุล
ความเข้มข้น	ความดัน	อุณหภูมิ

แนวทางการวัดและประเมินผล

1. ความรู้เกี่ยวกับสมดุลเคมีของกระบวนการที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต ปรากฏการณ์ในธรรมชาติ และกระบวนการในอุตสาหกรรม จากรายงานการสืบค้น การอภิปราย การทำแบบฝึกหัด และการทดสอบ

2. ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา จากการอภิปราย

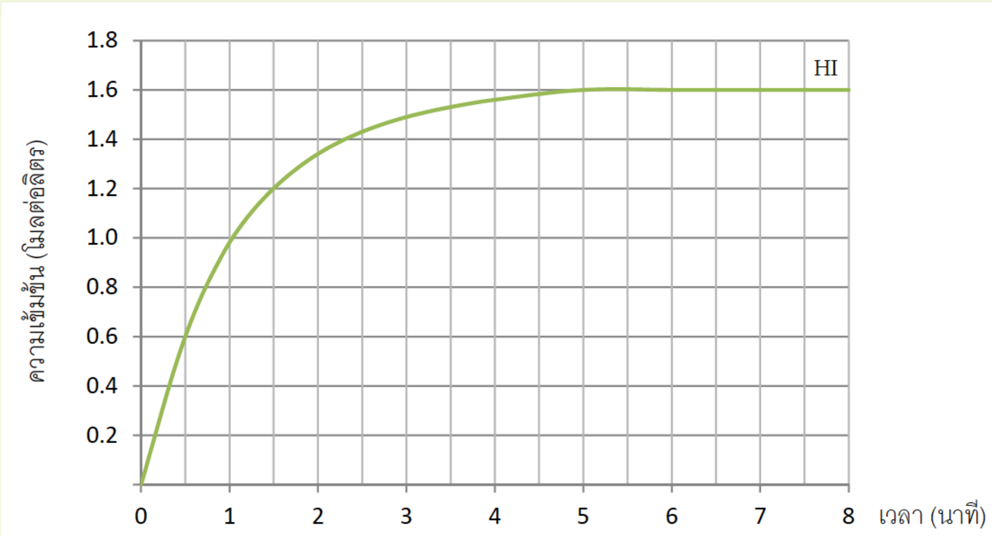
3. ทักษะการสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ และความร่วมมือ การทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ จากการนำเสนอ

4. จิตวิทยาศาสตร์ด้านความอยากรู้อยากเห็น ความมีเหตุผล และความใจกว้าง จากการอภิปรายและการสังเกตพฤติกรรมในการทำกิจกรรม

แบบฝึกหัด
เฉลยแบบฝึกหัด
แบบทดสอบ
เฉลยแบบทดสอบ

แบบฝึกหัดท้ายบท

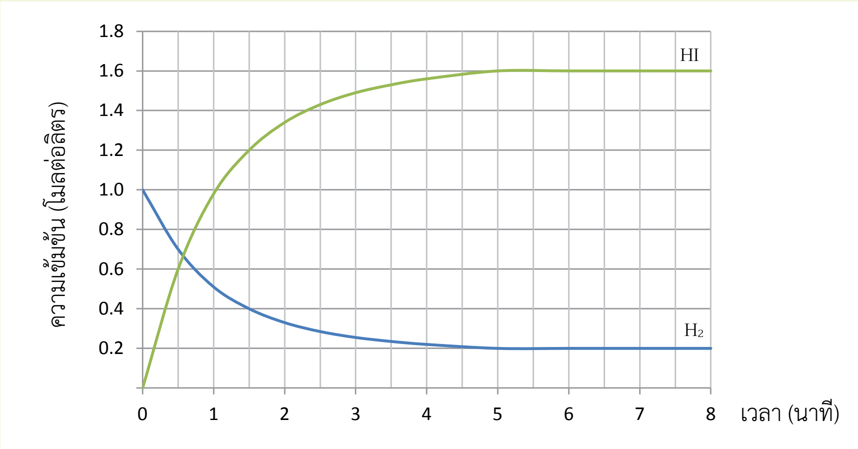
1. ปฏิกิริยา $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ ที่อุณหภูมิหนึ่ง ในภาชนะ 1.0 ลิตร เมื่อผสมแก๊สไฮโดรเจน (H_2) กับแก๊สไอโอดีน (I_2) อย่างละ 1.0 โมล ความเข้มข้นของแก๊สไฮโดรเจนไอโอไดด์ (HI) ตั้งแต่เริ่มปฏิกิริยาจนกระทั่งเข้าสู่สมดุลแสดงดังกราฟต่อไปนี้



1.1 วาดกราฟที่สอดคล้องกับกราฟที่โจทย์กำหนด เพื่อแสดงความเข้มข้นของแก๊สไฮโดรเจน

จากกราฟ เมื่อเริ่มต้นปฏิกิริยาไม่มี HI และที่สมดุล (ตั้งแต่นาทีที่ 5) มี HI 1.6 mol/L แสดงว่ามี HI เกิดขึ้น 1.6 mol/L

ความเข้มข้นเริ่มต้นของ H_2 = 1.0 mol/L นั่นคือมี H_2 ลดลง 0.8 mol/L ดังนั้น ที่สมดุลมี $[H_2]$ = 1.0 mol/L – 0.8 mol/L = 0.2 mol/L เขียนกราฟได้ดังนี้



1.2 ที่สมดุล แก๊สไอโอดีนมีความเข้มข้นกี่โมลต่อลิตร

แก๊สไฮโดรเจนและแก๊สไอโอดีนมีความเข้มข้นเท่ากัน ดังนั้นที่สมดุล แก๊สไอโอดีนมีความเข้มข้น 0.2 โมลต่อลิตร

1.3 ความดันรวมของแก๊สเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร

ความดันรวมของแก๊สไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากจำนวนโมลรวมที่เริ่มต้นและที่สมดุลไม่เปลี่ยนแปลง โดยที่เริ่มต้นมี H_2 และ I_2 อย่างละ 1.0 mol นั่นคือจำนวนโมลรวมเท่ากับ 2.0 mol และที่สมดุลมี HI 1.6 mol H_2 และ I_2 อย่างละ 0.2 mol นั่นคือจำนวนโมลรวมเท่ากับ 2.0 mol

1.4 ที่สมดุล ความดันย่อยของแก๊สไฮโดรเจนไอโอไดด์มากกว่าหรือน้อยกว่าความดันย่อยของสารตั้งต้น

ที่สมดุล ความดันย่อยของ HI มากกว่าความดันย่อยของสารตั้งต้น เนื่องจากที่สมดุลมีจำนวนโมลของ HI มากกว่า H_2 และ I_2

1.5 ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยานี้มีค่าเท่าใด

ที่สมดุล $[H_2] = [I_2] = 0.2$ mol/L และ $[HI] = 1.6$ mol/L

$$K = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]} = \frac{(1.6)^2}{(0.2)(0.2)} = 64$$

ดังนั้น ปฏิกิริยานี้มีค่าคงที่สมดุลเท่ากับ 64

2. พิจารณาปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้

$A_2(g) + B_2(g) \rightleftharpoons 2AB(g)$ .....(1) : K_1

$2AB(g) + B_2(g) \rightleftharpoons 2AB_2(g)$ .....(2) : K_2

$A_2(g) + 2B_2(g) \rightleftharpoons 2AB_2(g)$ .....(3) : K_3

ที่อุณหภูมิเดียวกัน เมื่อทำการทดลองปฏิกิริยา (2) โดยใช้สาร AB และ B_2 อย่างละ 1.00 โมล บรรจุในภาชนะปิดขนาด 1.00 ลิตร ที่สมดุลพบว่าสาร B_2 ลดลง 0.25 โมล และเมื่อทำการทดลองกับปฏิกิริยา (3) โดยใช้ สาร A_2 และ B_2 อย่างละ 1.00 โมล บรรจุในภาชนะปิดขนาด 1.00 ลิตร ที่สมดุลพบว่ามีสาร AB_2 0.50 โมล ค่าคงที่สมดุลของแต่ละปฏิกิริยามีค่าเท่าใด

คำนวณค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา (2)

ปฏิกิริยา (2) : $2AB(g) + B_2(g) \rightleftharpoons 2AB_2(g)$

ความเข้มข้นเริ่มต้น ความเข้มข้นที่เปลี่ยนไป และความเข้มข้นที่สมดุล สรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

ความเข้มข้น (mol/L)	$2AB(g)$ +	$B_2(g)$ $\rightleftharpoons$	$2AB_2(g)$
เริ่มต้น	$\frac{1.00\ \text{mol}}{1.00\ \text{L}} = 1.00$	$\frac{1.00\ \text{mol}}{1.00\ \text{L}} = 1.00$	0.00
เปลี่ยนไป	-0.50	$\frac{0.25\ \text{mol}}{1.00\ \text{L}} = -0.25$	+0.50
สมดุล	1.00 – 0.50 = 0.50	1.00 – 0.25 = 0.75	0.50

$$K_2 = \frac{[AB_2]^2}{[AB]^2[B_2]}$$

$$= \frac{(0.50)^2}{(0.50)^2(0.75)}$$

$$= 1.3$$

ดังนั้น ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา (2) เท่ากับ 1.3

คำนวนค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา (3)

ปฏิกิริยา (3) : $A_2(g) + 2B_2(g) \rightleftharpoons 2AB_2(g)$

ความเข้มข้นเริ่มต้น ความเข้มข้นที่เปลี่ยนไป และความเข้มข้นที่สมดุล สรุปได้ดังตาราง ต่อไปนี้

ความเข้มข้น (mol/L)	$A_2(g)$ +	$2B_2(g)$ $\rightleftharpoons$	$2AB_2(g)$
เริ่มต้น	$\frac{1.00\ \text{mol}}{1.00\ \text{L}} = 1.00$	$\frac{1.00\ \text{mol}}{1.00\ \text{L}} = 1.00$	0.00
เปลี่ยนไป	-0.25	-0.50	+0.50
สมดุล	1.00 – 0.25 = 0.75	1.00 – 0.50 = 0.50	$\frac{0.50\ \text{mol}}{1.00\ \text{L}} = 0.50$

$$K_3 = \frac{[AB_2]^2}{[A_2][B_2]^2}$$

$$= \frac{(0.50)^2}{(0.75)(0.50)^2}$$

$$= 1.3$$

ดังนั้น ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา (3) เท่ากับ 1.3

คำนวนค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา (1)

ปฏิกิริยา (1) : $A_2(g) + B_2(g) \rightleftharpoons 2AB(g)$

เนื่องจากปฏิกิริยา (3) เป็นปฏิกิริยารวมของปฏิกิริยา (1) และ (2)

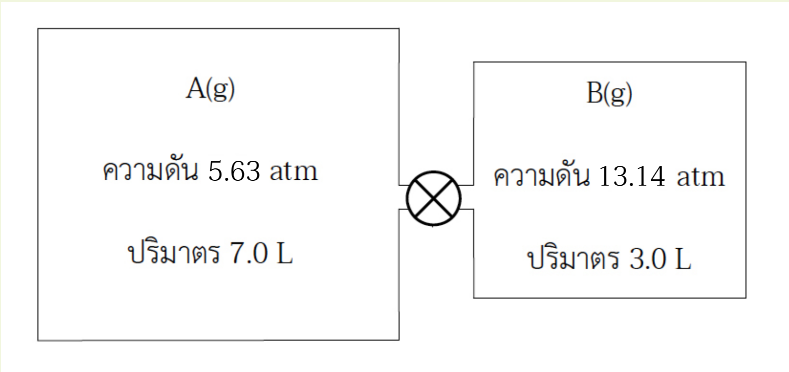
นั่นคือ

$$K_3 = K_1 \cdot K_2$$

$$K_1 = \frac{K_3}{K_2} = \frac{1.3}{1.3} = 1.0$$

ดังนั้น ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา (1) เท่ากับ 1.0

3. ปฏิกิริยา A(g) + B(g) $\rightleftharpoons$ 2C(g) ที่ 27 องศาเซลเซียส มีค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาเท่ากับ 196 บรรจุแก๊ส A ในภาชนะขนาด 7.0 ลิตร ความดัน 5.63 บรรยากาศ และบรรจุแก๊ส B ในภาชนะขนาด 3.0 ลิตร ความดัน 13.14 บรรยากาศ ดังรูป



เมื่อเปิดวาล์วให้แก๊สทั้งสองทำปฏิกิริยากันที่ 27 องศาเซลเซียส ที่สมดุล แก๊ส C มีความดันกี่บรรยากาศ

คำนวณความเข้มข้นของ A ที่เริ่มต้น

$$PV = nRT$$

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

$$= \frac{(5.63\ \cancel{\text{atm}})(7.0\ \cancel{\text{L}})}{(0.0821\ \cancel{\text{L}} \bullet \cancel{\text{atm}} \bullet \text{mol}^{-1} \bullet \cancel{\text{K}^{-1}})(300\ \cancel{\text{K}})}$$

$$= 1.6\ \text{mol}$$

เมื่อเริ่มเปิดวาล์วปริมาตรของแก๊สเพิ่มเป็น 10.0 L ดังนั้น

$$\text{ความเข้มข้นของ A เมื่อเริ่มเปิดวาล์ว} = \frac{1.6\ \text{mol}}{10.0\ \text{L}} = 0.16\ \text{mol/L}$$

คำนวณความเข้มข้นของ B ที่เริ่มต้น

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

$$= \frac{(13.14\ \cancel{\text{atm}})(3.0\ \cancel{\text{L}})}{(0.0821\ \cancel{\text{L}} \cdot \cancel{\text{atm}} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \cancel{\text{K}^{-1}})(300\ \cancel{\text{K}})}$$

$$= 1.6\ \text{mol}$$

เมื่อเริ่มเปิดวาล์วปริมาตรของแก๊สเพิ่มเป็น 10.0 L ดังนั้น

ความเข้มข้นของ B เมื่อเริ่มเปิดวาล์ว $= \dfrac{1.6\ \text{mol}}{10.0\ \text{L}} = 0.16\ \text{mol/L}$

คำนวณความเข้มข้นของ C ที่สมดุล

กำหนดให้ Δ[A] = -x mol/L ดังนั้น Δ[B] = -x mol/L และ Δ[C] = +2x mol/L ซึ่งนำไปคำนวณความเข้มข้นที่สมดุลได้ดังตาราง

ความเข้มข้น (mol/L)	A(g) +	B(g) ⇌	2C(g)
เริ่มต้น	0.16	0.16	0
เปลี่ยนไป	$-x$	$-x$	$+2x$
สมดุล	$0.16 - x$	$0.16 - x$	$2x$

$$K = \frac{[C]^2}{[A][B]}$$

$$196 = \frac{(2x)^2}{(0.16 - x)(0.16 - x)}$$

$$\frac{2x}{(0.16 - x)} = 14$$

$$2x = 14(0.16 - x)$$

$$2x + 14x = 2.24$$

$$16x = 2.24$$

$$x = 0.14$$

นั่นคือ [C] = 2(0.14 mol/L) = 0.28 mol/L

คำนวณความดันของแก๊ส C ที่สมดุล

$$PV = nRT$$

$$P = \frac{n}{V}RT \quad \text{เมื่อ} \quad \frac{n}{V} = \text{ความเข้มข้น}$$

$$= (0.28\ \cancel{mol}/\cancel{L})(0.0821\ \cancel{L} \cdot atm \cdot \cancel{mol^{-1}} \cdot \cancel{K^{-1}})(300\ \cancel{K})$$

$$= 6.9\ atm$$

ดังนั้น ที่สมดุลแก๊ส C มีความดัน 6.9 บรรยากาศ

4. ปฏิกิริยาระหว่างกรดแอซีติก (CH_3CO_2H) และเอทานอล (CH_3CH_2OH) ได้เอทิลแอซีเตต ($CH_3CO_2CH_2CH_3$) และน้ำ ดังสมการเคมี

$$CH_3CO_2H(l) + CH_3CH_2OH(l) \rightleftharpoons CH_3CO_2CH_2CH_3(l) + H_2O(l)$$

เนื่องจากสารแต่ละชนิดละลายเป็นเนื้อเดียวกัน และสารทุกชนิดมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นจนเข้าสู่สมดุล จึงเขียนค่าคงที่สมดุลได้ดังนี้

$$K = \frac{[CH_3CO_2CH_2CH_3][H_2O]}{[CH_3CO_2H][CH_3CH_2OH]} = 4$$

ถ้าที่สมดุลต้องการให้มีเอทิลแอซีเตต 4 โมล ต้องใช้กรดแอซีติกและเอทานอลอย่างละกี่โมล กำหนดให้กรดแอซีติกและเอทานอลที่สมดุลมีความเข้มข้นเท่ากัน และปริมาตรของของผสมคงที่

ที่สมดุลมี $CH_3CO_2CH_2CH_3$ 4 mol ดังนั้นจึงเกิด H_2O 4 mol ด้วย กำหนดให้ใช้ CH_3CO_2H และ CH_3CH_2OH อย่างละ x mol นำมาคำนวณ x ได้ดังนี้

$$K = \frac{[CH_3CO_2CH_2CH_3][H_2O]}{[CH_3CO_2H][CH_3CH_2OH]}$$

$$4 = \frac{\frac{4}{V} \times \frac{4}{V}}{\frac{x}{V} \times \frac{x}{V}} \quad \text{เมื่อ } V \text{ คือ ปริมาตรของสารละลายทั้งหมด}$$

$$x = 2$$

นั่นคือ ที่สมดุลมี CH_3CO_2H และ CH_3CH_2OH อย่างละ 2 โมล

จำนวนโมลเริ่มต้นของ CH_3CO_2H และ CH_3CH_2OH เท่ากับผลรวมของจำนวนโมลของสารที่สมดุลกับจำนวนโมลของสารที่เปลี่ยนไป ความสัมพันธ์แสดงดังตาราง

จำนวนโมล (mol)	$CH_3CO_2H(l)$ +	$CH_3CH_2OH(l)$ $\rightleftharpoons$	$CH_3CO_2CH_2CH_3(l)$ +	$H_2O(l)$
สมดุล	2	2	4	4
เปลี่ยนไป	-4	-4	+4	+4
เริ่มต้น	2 + 4 = 6	2 + 4 = 6	0	0

ดังนั้น ถ้าที่สมดุลต้องการเอทิลแอซีเตต 4 โมล จะต้องใช้กรดแอซีติกและเอทานอลอย่างละ 6 โมล

5. เมื่อบรรจุแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ความดัน 1.00 บรรยากาศ ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นแสดงดังสมการเคมี

$$SO_2(g) + NO_2(g) \rightleftharpoons SO_3(g) + NO(g)$$

พบว่าที่สมดุลแก๊สไนโตรเจนมอนอกไซด์ (NO) มีความดันเท่ากับ 0.65 บรรยากาศ ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยานี้มีค่าเท่าใด

จาก

$$PV = nRT$$

$$\frac{n}{V} = \frac{P}{RT} \quad \text{เมื่อ} \quad \frac{n}{V} = \text{ความเข้มข้น}$$

นำไปคำนวณความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ที่สมดุล ดังนี้

ความเข้มข้น (mol/L)	$SO_2(g)$ +	$NO_2(g)$ $\rightleftharpoons$	$SO_3(g)$ +	$NO(g)$
เริ่มต้น	$\frac{1.00}{RT}$	$\frac{1.00}{RT}$	0	0
เปลี่ยนไป	$-\frac{0.65}{RT}$	$-\frac{0.65}{RT}$	$+\frac{0.65}{RT}$	$+\frac{0.65}{RT}$
สมดุล	$\frac{(1.00-0.65)}{RT} = \frac{0.35}{RT}$	$\frac{(1.00-0.65)}{RT} = \frac{0.35}{RT}$	$\frac{0.65}{RT}$	$\frac{0.65}{RT}$

คำนวนค่าคงที่สมดุล ดังนี้

$$K = \frac{[SO_3][NO]}{[SO_2][NO_2]}$$

$$= \frac{\frac{0.65}{RT} \times \frac{0.65}{RT}}{\frac{0.35}{RT} \times \frac{0.35}{RT}}$$

$$= 3.4$$

ดังนั้น ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับ 3.4

6. ปฏิกิริยา $A(aq) \rightleftharpoons B(aq) + C(aq)$ ที่อุณหภูมิหนึ่ง มีค่าคงที่สมดุลเท่ากับ 0.80 และพบว่าที่สมดุลมี A 0.20 โมลต่อลิตร เมื่อมีการรบกวนสมดุลโดยการเพิ่มความเข้มข้นของ A อีก 0.20 โมลต่อลิตร ความเข้มข้นของ B ที่สมดุลใหม่มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า เมื่อรบกวนสมดุลโดยการลดความเข้มข้นของ C ลง 0.20 โมลต่อลิตร

คำนวณความเข้มข้นของ B และ C ที่สมดุลเดิม

กำหนดให้ [B] และ [C] = x mol/L

$$K = \frac{[B][C]}{[A]}$$

$$0.80 = \frac{(x)(x)}{(0.20)}$$

$$x = 0.40$$

ดังนั้น ที่สมดุล B และ C มีความเข้มข้น 0.40 โมลต่อลิตร

คำนวณความเข้มข้นของ B เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ A

เมื่อรบกวนสมดุลโดยการเพิ่มความเข้มข้นของ A ระบบจะปรับตัวไปในทิศทางที่ลด A จึงกำหนดให้ Δ[A] = -x mol/L ดังนั้น Δ[B] = Δ[C] = +x mol/L ซึ่งนำไปคำนวณความเข้มข้นที่สมดุลได้ดังตาราง

ความเข้มข้น (mol/L)	A(aq)	$\rightleftharpoons$ B(aq)	+ C(aq)
สมดุลเดิม	0.20	0.40	0.40
เพิ่ม A	0.40	0.40	0.40
เปลี่ยนแปลง	-x	+x	+x
สมดุลใหม่	0.40 – x	0.40 + x	0.40 + x

$$K = \frac{[B][C]}{[A]}$$

$$0.80 = \frac{(0.40 + x)(0.40 + x)}{(0.40 - x)}$$

$$x^2 + 1.6x - 0.16 = 0$$

$$x = -1.7 \text{ หรือ } 0.094$$

เนื่องจากค่า x เท่ากับ -1.7 แสดงว่าความเข้มข้นของ A ที่เปลี่ยนแปลงมีค่ามากกว่าความเข้มข้นเริ่มต้น ซึ่งเป็นไปไม่ได้ ดังนั้น x จึงมีค่าเท่ากับ 0.094

นั่นคือ ที่สมดุลใหม่มี [B] = 0.40 mol/L + 0.094 mol/L = 0.49 mol/L

คำนวณความเข้มข้นของ B เมื่อลดความเข้มข้นของ C

เมื่อรบกวนสมดุลโดยการลดความเข้มข้นของ C ระบบจะปรับตัวไปในทิศทางที่เพิ่ม C จึงกำหนดให้ Δ[C] = +x mol/L ดังนั้น Δ[A] = -x mol/L และ Δ[B] = +x mol/L ซึ่งนำไปคำนวณความเข้มข้นที่สมดุลได้ดังตาราง

ความเข้มข้น (mol/L)	A(aq) ⇌	B(aq) +	C(aq)
สมดุลเดิม	0.20	0.40	0.40
ลด C	0.20	0.40	0.20
เปลี่ยนแปลง	$-x$	$+x$	$+x$
สมดุลใหม่	$0.20 - x$	$0.40 + x$	$0.20 + x$

$$K = \frac{[B][C]}{[A]}$$

$$0.80 = \frac{(0.40 + x)(0.20 + x)}{(0.20 - x)}$$

$$x^2 + 1.4x - 0.08 = 0$$

$$x = 0.055 \text{ หรือ } -1.5$$

เนื่องจากค่า x เท่ากับ -1.5 แสดงว่าความเข้มข้นของ A ที่เปลี่ยนแปลงมีค่ามากกว่าความเข้มข้นเริ่มต้น ซึ่งเป็นไปไม่ได้ ดังนั้น x จึงค่าเท่ากับ 0.055

นั่นคือ ที่สมดุลใหม่มี [B] = 0.40 mol/L + 0.055 mol/L = 0.46 mol/L

ดังนั้น ความเข้มข้นของ B ที่สมดุลใหม่ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ A อีก 0.20 โมลต่อลิตร มีค่ามากกว่าเมื่อลดความเข้มข้นของ C ลง 0.20 โมลต่อลิตร

7. ในอุตสาหกรรมมีการใช้ปฏิกิริยาระหว่างแก๊สมีเทน (CH_4) กับไอน้ำ (H_2O) ในการผลิตแก๊สไฮโดรเจน (H_2) ดังสมการเคมี

$$CH_4(g) + H_2O(g) + \text{พลังงาน} \rightleftharpoons CO(g) + 3H_2(g)$$

การปรับเปลี่ยนภาวะในการทำปฏิกิริยาต่อไปนี้ จะมีผลต่อปริมาณของแก๊สไฮโดรเจนที่สมดุลอย่างไร

7.1 เพิ่มความดัน

เมื่อเพิ่มความดัน ระบบจะปรับตัวเพื่อลดความดันโดยเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ เนื่องจากผลรวมของเลขสัมประสิทธิ์ของแก๊สที่เป็นผลิตภัณฑ์มากกว่าของสารตั้งต้น จึงทำให้ปริมาณของแก๊ส H_2 ที่สมดุลลดลง

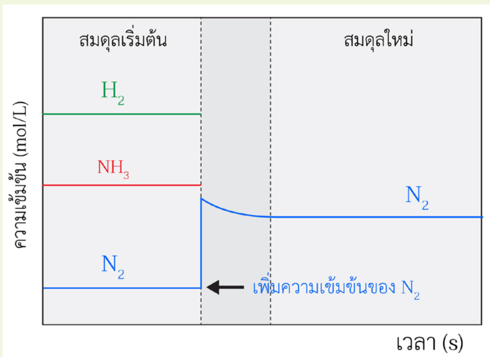
7.2 เพิ่มอุณหภูมิ

ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาดูดพลังงาน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ระบบจะปรับตัวไปทางปฏิกิริยาไปข้างหน้าทำให้ H_2 ที่สมดุลเพิ่มขึ้น

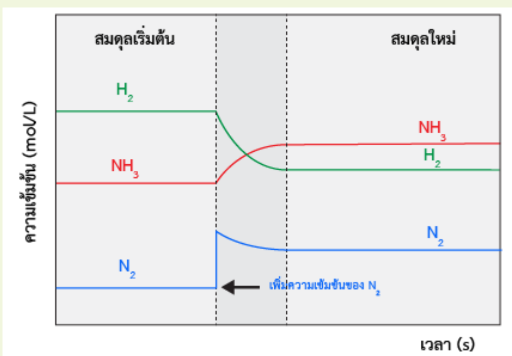
7.3 เติมตัวเร่งปฏิกิริยา

การเติมตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ระบบเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น แต่ไม่มีผลต่อปริมาณของสารต่าง ๆ ในระบบที่สมดุล ดังนั้นที่สมดุลจะได้ปริมาณแก๊ส H_2 เท่าเดิม แต่ได้ H_2 เร็วขึ้น

8. ปฏิกิริยาการสังเคราะห์แอมโมเนียดังสมการเคมี $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ เมื่อมีการรบกวนระบบที่อยู่ในสมดุลโดยการเติมแก๊สไนโตรเจน ดังรูป จงเขียนกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สแอมโมเนีย



การเติมแก๊ส N_2 ลงในระบบ เป็นการเพิ่มความเข้มข้นของ N_2 ระบบจะปรับตัวไปในทิศทางที่ลดความเข้มข้นของ N_2 โดยเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า ทำให้ความเข้มข้นของ H_2 ลดลง และ NH_3 เพิ่มขึ้น จนกระทั่งระบบเข้าสู่สมดุลความเข้มข้นของสารจึงคงที่



9. ปฏิกิริยา $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$
ไม่มีสี สีม่วง ไม่มีสี

ค่าคงที่สมดุลที่อุณหภูมิต่าง ๆ เป็นดังนี้

อุณหภูมิ (K)	ค่าคงที่สมดุล
500	160
700	54

สีของแก๊สผสมมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เพราะเหตุใด เมื่อมีการรบกวนระบบด้วยวิธีต่อไปนี้

9.1 เพิ่มอุณหภูมิให้แก่ระบบ

แก๊สมีสีม่วงเข้มขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าคงที่สมดุลมีค่าลดลง แสดงว่าปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน ดังนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ระบบ ระบบจะปรับตัวโดยเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเพิ่มขึ้น ทำให้เกิด I_2 ซึ่งมีสีม่วงเพิ่มขึ้น

9.2 เพิ่มความดัน

ไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากผลรวมของเลขสัมประสิทธิ์ในสมการเคมีของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่มีสถานะแก๊สมีค่าเท่ากัน การเพิ่มความดันจึงไม่มีผลต่อสมดุล

10. ปฏิกิริยาเคมีระหว่างแก๊ส X_2 และแก๊ส Y_2 เขียนสมการเคมีได้ดังนี้

$$X_2(g) + Y_2(g) \rightleftharpoons 2XY(g) \qquad \Delta E = +250 \text{ kJ/mol}$$

จงเปรียบเทียบค่าคงที่สมดุลของการทดลองต่อไปนี้ พร้อมอธิบายเหตุผล

การทดลองที่ 1 ที่อุณหภูมิ 300 เคลวิน ผสม X_2 และ Y_2 อย่างละ 1.0 โมล ในภาชนะปิด 2 ลิตร

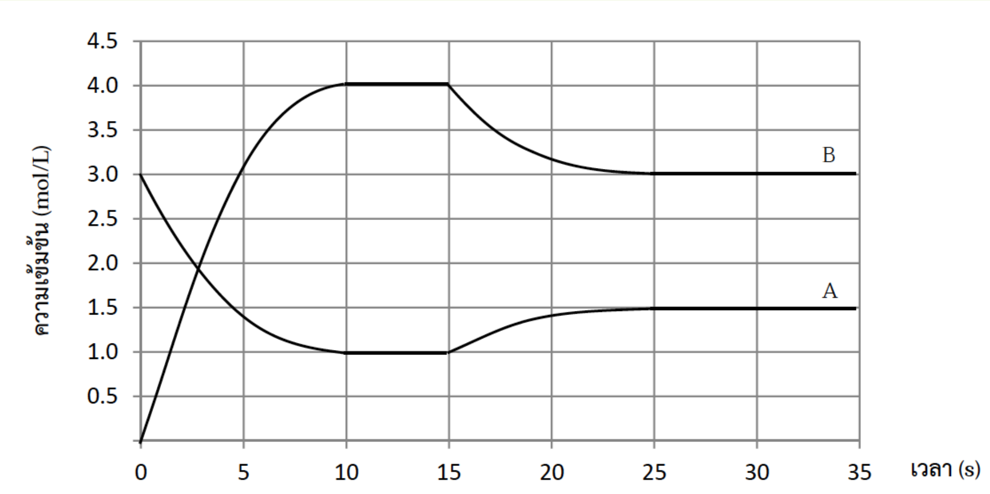
การทดลองที่ 2 ที่อุณหภูมิ 300 เคลวิน ผสม X_2 และ Y_2 อย่างละ 2.0 โมล ในภาชนะปิด 2 ลิตร

การทดลองที่ 3 ที่อุณหภูมิ 700 เคลวิน ผสม X_2 และ Y_2 อย่างละ 1.0 โมล ในภาชนะปิด 2 ลิตร

การทดลองที่ 1 และ 2 มีค่าคงที่สมดุลเท่ากัน เนื่องจากทำการทดลองที่อุณหภูมิเดียวกันส่วนการทดลองที่ 3 มีค่าคงที่สมดุลมากกว่าการทดลองที่ 2 และ 1 เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาดูดพลังงาน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ค่าคงที่สมดุลจะเพิ่มขึ้น

ดังนั้น $K_{\text{การทดลองที่ 1}} = K_{\text{การทดลองที่ 2}} < K_{\text{การทดลองที่ 3}}$

11. ปฏิกิริยา A(g) $\rightleftharpoons$ 2B(g) ในภาชนะปิดปริมาตร 1.0 ลิตร มีกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารกับเวลาดังรูป โดยที่เวลา 15 วินาที ทำการลดอุณหภูมิ แล้วปล่อยให้ระบบเข้าสู่สมดุลอีกครั้ง



11.1 ค่าคงที่สมดุลก่อนและหลังเวลา 15 วินาที มีค่าเท่าใด

จากสมการเคมี A(g) $\rightleftharpoons$ 2B(g) จะได้ว่า $K = \dfrac{[B]^2}{[A]}$

ค่าคงที่สมดุลก่อนเวลา 15 วินาที $= \dfrac{(4.0)^2}{1.0} = 16$

ค่าคงที่สมดุลหลังเวลา 15 วินาที $= \dfrac{(3.0)^2}{1.5} = 6.0$

ดังนั้น ค่าที่สมดุลก่อนและหลังเวลา 15 วินาที มีค่าเท่ากับ 16 และ 6.0 ตามลำดับ

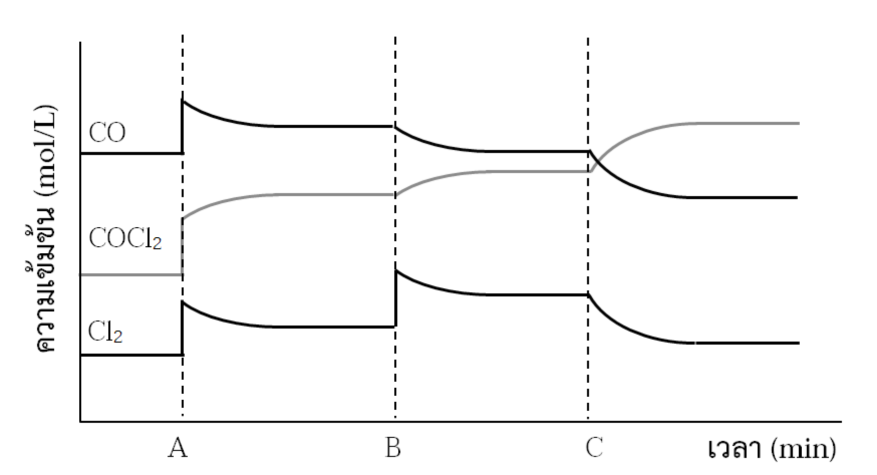
11.2 ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาดูดพลังงานหรือคายพลังงาน เพราะเหตุใด

ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาดูดพลังงาน เนื่องจากเมื่อลดอุณหภูมิแล้ว ค่าคงที่สมดุลมีค่าลดลง

12. ปฏิกิริยาระหว่างแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และแก๊สคลอรีน (Cl_2) ได้แก๊สฟอสจีน ($COCl_2$) เป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน เขียนสมการเคมีได้ดังนี้

$$CO(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons COCl_2(g) + \text{พลังงาน}$$

ที่สมดุล เมื่อรบกวนระบบที่เวลา A B และ C จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารกับเวลาดังนี้



12.1 ที่เวลา A B และ C มีการรบกวนระบบอย่างไร

ที่เวลา A รบกวนระบบโดยการลดปริมาตรของภาชนะหรือเพิ่มความดัน สังเกตได้จากความเข้มข้นของสารทุกชนิดเพิ่มขึ้นเท่า ๆ กัน

ที่เวลา B รบกวนระบบด้วยการเพิ่มความเข้มข้นของ Cl_2 สังเกตได้จากความเข้มข้นของ Cl_2 เพิ่มขึ้นทันที แล้วค่อย ๆ ลดลงเมื่อปรับเข้าสู่สมดุล

ที่เวลา C รบกวนระบบด้วยการลดอุณหภูมิ สังเกตได้จากความเข้มข้นของสารตั้งต้นค่อย ๆ ลดลงในขณะที่ผลิตภัณฑ์ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการปรับสมดุลของปฏิกิริยาคายพลังงาน

12.2 การรบกวนระบบที่ช่วงเวลาใดทำให้ค่าคงที่สมดุลมีการเปลี่ยนแปลง เพราะเหตุใด

การรบกวนระบบที่เวลา C จะทำให้ค่าคงที่สมดุลมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเป็นการเปลี่ยนอุณหภูมิ ส่วนการรบกวนระบบที่เวลาอื่น ๆ ค่าคงที่สมดุลมีค่าเท่าเดิม

13. ยูเรีย (NH_2CONH_2) เป็นสารสำคัญที่ใช้ในการผลิตปุ๋ย ซึ่งผลิตได้จากแก๊สแอมโมเนีย (NH_3) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ดังสมการเคมี

$$2NH_3(g) + CO_2(g) \rightleftharpoons NH_2CONH_2(s) + H_2O(g) + 135.7\ kJ$$

กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมใช้อัตราส่วน $NH_3 : CO_2$ เท่ากับ 3:1 ทำปฏิกิริยาที่ความดันสูงและอุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส และกำจัดไอน้ำที่เกิดขึ้นด้วยตัวดูดซับเหลือเพียงยูเรียซึ่งเป็นของแข็ง

13.1 เพราะเหตุใดจึงทำปฏิกิริยาที่ความดันสูง

เนื่องจากผลรวมของเลขสัมประสิทธิ์ในสมการเคมีของสารตั้งต้นที่มีสถานะแก๊สมีค่ามากกว่าผลิตภัณฑ์ เมื่อทำปฏิกิริยาที่ความดันสูง ระบบจะปรับตัวไปทางปฏิกิริยาไปข้างหน้า ทำให้มียูเรียเพิ่มขึ้น

13.2 เพราะเหตุใดจึงใช้ NH_3 : CO_2 ด้วยอัตราส่วน 3:1 แทนที่จะใช้เท่ากับ 2:1

ใช้ NH_3 และ CO_2 ด้วยอัตราส่วน 3:1 เป็นการใช้ NH_3 ปริมาณมากเกินพอหรือเป็นการเพิ่มปริมาณ NH_3 ทำให้ระบบปรับตัวไปทางปฏิกิริยาไปข้างหน้า จึงมียูเรียเพิ่มขึ้น

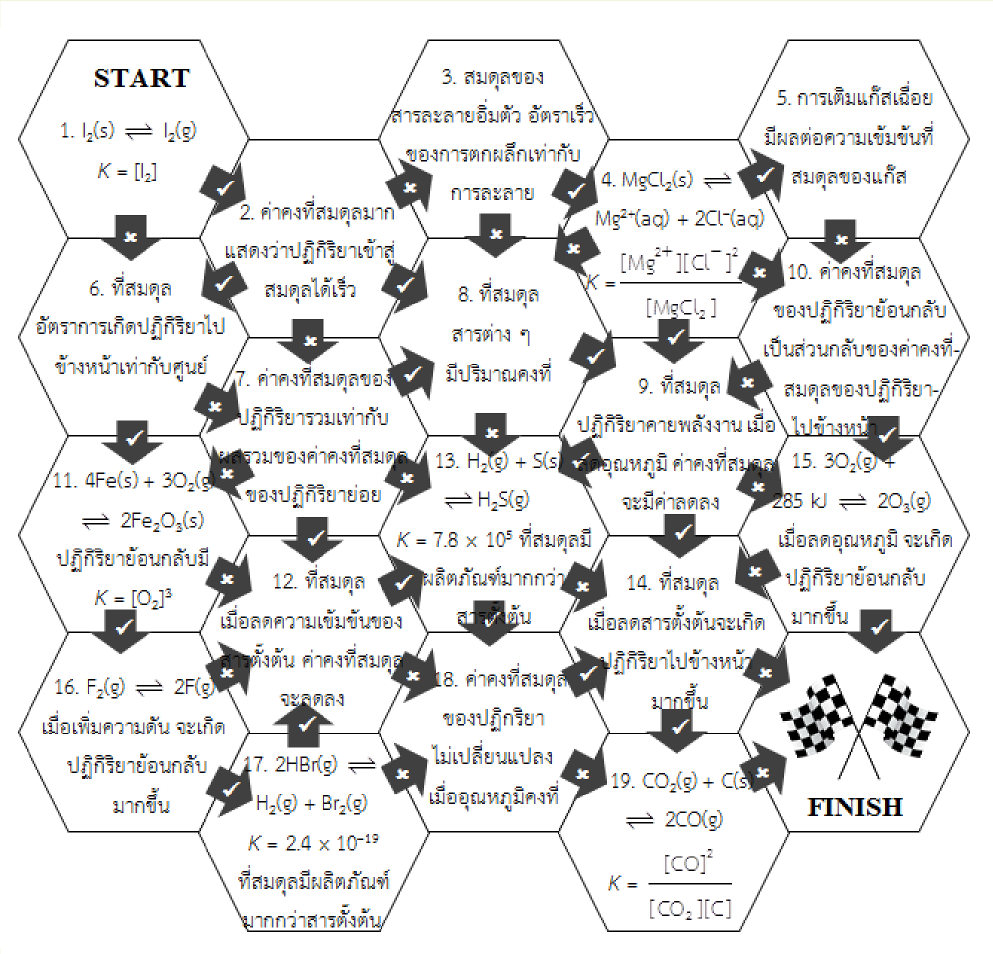
13.3 ตัวดูดซับไอน้ำมีประโยชน์ต่อกระบวนการผลิตยูเรียอย่างไร

ตัวดูดซับไอน้ำใช้เพื่อกำจัดไอน้ำ ซึ่งเป็นการลดปริมาณผลิตภัณฑ์ ทำให้ระบบปรับตัวไปทางปฏิกิริยาไปข้างหน้า จึงได้ยูเรียเพิ่มขึ้น

13.4 ถ้าทำปฏิกิริยาเคมีที่อุณหภูมิต่ำหรือสูงกว่า 190 องศาเซลเซียส จะมีผลต่อปฏิกิริยาอย่างไร

ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน ถ้าทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำกว่า 190°C จะทำให้ระบบปรับตัวไปทางปฏิกิริยาไปข้างหน้า จึงได้ยูเรียเพิ่มขึ้น แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะลดลง แต่ถ้าทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงกว่า 190°C จะทำให้ระบบปรับตัวไปทางปฏิกิริยาย้อนกลับ จึงได้ยูเรียลดลง แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะเพิ่มขึ้น

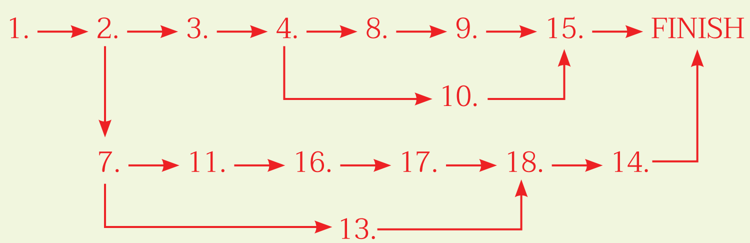
14. ลากเส้นจากจุด START โดยพิจารณาข้อความที่อยู่ในกรอบ ถ้าข้อความถูกต้องให้ลากไปทางลูกศรที่มีเครื่องหมาย ✓ ถ้าข้อความไม่ถูกต้องให้ลากไปทางลูกศรที่มีเครื่องหมาย ✗ จนเส้นที่ลากไปถึงจุด FINISH

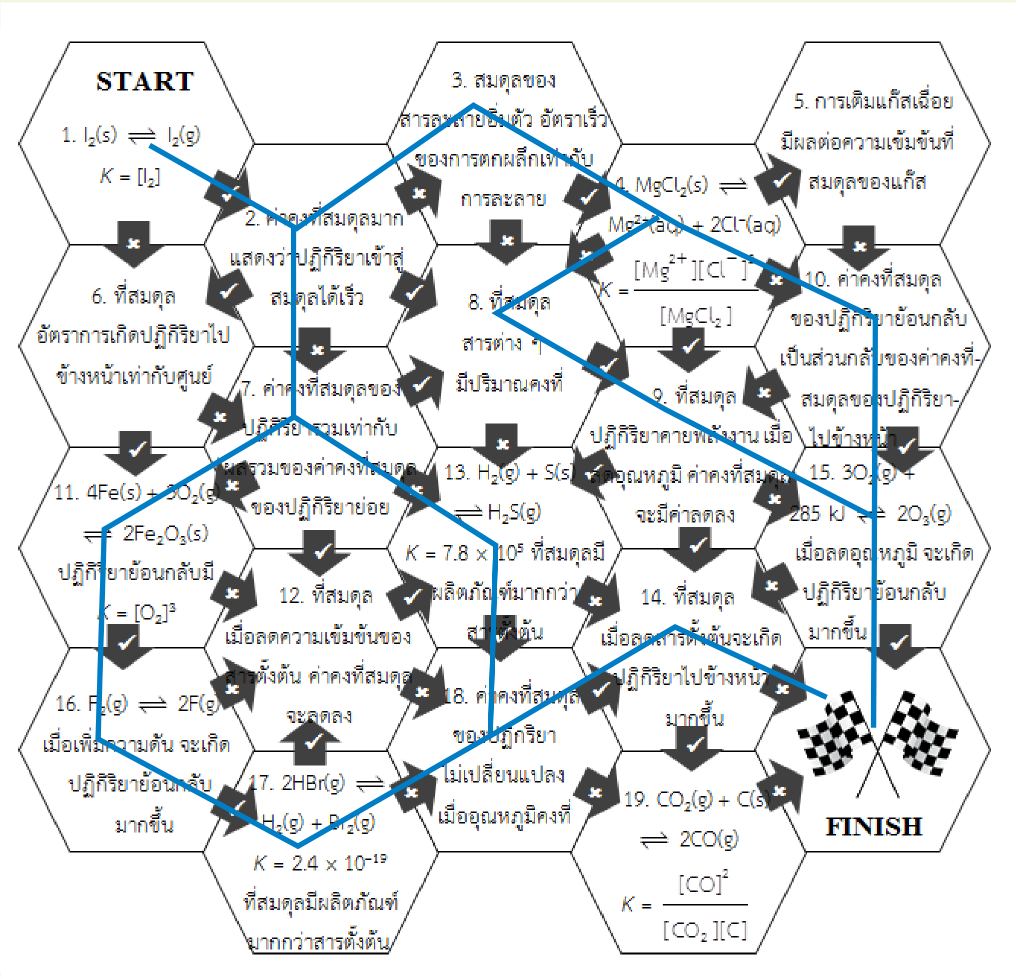


แนวคิด

1. ✓
2. ✗ ค่าคงที่สมดุลคำนวณจากความเข้มข้นของสารที่สมดุล จึงไม่ได้บอกข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีก่อนเข้าสู่สมดุล
3. ✓
4. ✗ จากสมการเคมี $MgCl_2(s) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq) + 2Cl^{-}(aq)$
   $MgCl_2$ เป็นของแข็งจึงไม่นำมาคำนวณค่าคงที่สมดุล ดังนั้น $K = [Mg^{2+}][Cl^{-}]^2$
5. ✗ การเติมแก๊สเฉื่อยไม่มีผลต่อความเข้มข้นของแก๊สที่อยู่ในสมดุล
6. ✗ ที่สมดุล อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับปฏิกิริยาย้อนกลับ แต่ไม่เท่ากับศูนย์
7. ✗ ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยารวมเท่ากับผลคูณของค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาย่อย
8. ✓
9. ✗ ที่สมดุลของปฏิกิริยาคายพลังงาน เมื่อลดอุณหภูมิ ค่าคงที่สมดุลจะมีค่าเพิ่มขึ้น
10. ✓
11. ✓
12. ✗ การเพิ่มหรือลดความเข้มข้นของสาร ไม่มีผลต่อค่าคงที่สมดุล
13. ✓
14. ✗ ที่สมดุล เมื่อลดสารตั้งต้นจะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับมากขึ้น
15. ✓
16. ✓
17. ✗ ค่าคงที่สมดุลมีค่าน้อยกว่า 1 ดังนั้นที่สมดุลจึงมีปริมาณสารตั้งต้นมากกว่าผลิตภัณฑ์
18. ✓
19. ✗ จากสมการเคมี $CO_2(g) + C(s) \rightleftharpoons 2CO(g)$
    C เป็นของแข็งจึงไม่นำมาคำนวณค่าคงที่สมดุล ดังนั้น $K = \dfrac{[CO]^2}{[CO_2]}$

ลากเส้นทางได้ดังนี้




START
1. $I_2(s) \rightleftharpoons I_2(g)$
$K = [I_2]$
2. ค่าคงที่สมดุลมากแสดงว่าปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลได้เร็ว
3. สมดุลของสารละลายอิ่มตัว อัตราเร็วของการตกผลึกเท่ากับการละลาย
4. $MgCl_2(s) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq) + 2Cl^-(aq)$
$K = \frac{[Mg^{2+}][Cl^-]^2}{[MgCl_2]}$
5. การเติมแก๊สเฉื่อยมีผลต่อความเข้มข้นที่สมดุลของแก๊ส
6. ที่สมดุล อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับศูนย์
7. ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยารวมเท่ากับผลรวมของค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาย่อย
8. ที่สมดุล สารต่าง ๆ มีปริมาณคงที่
9. ที่สมดุล ปฏิกิริยาคายพลังงาน เมื่อลดอุณหภูมิ ค่าคงที่สมดุลจะมีค่าลดลง
10. ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาย้อนกลับเป็นส่วนกลับของค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาไปข้างหน้า
11. $4Fe(s) + 3O_2(g) \rightleftharpoons 2Fe_2O_3(s)$ ปฏิกิริยาย้อนกลับมี $K = [O_2]^3$
12. ที่สมดุล เมื่อลดความเข้มข้นของสารตั้งต้น ค่าคงที่สมดุลจะลดลง
13. $H_2(g) + S(s) \rightleftharpoons H_2S(g)$
$K = 7.8 \times 10^5$ ที่สมดุลมีผลิตภัณฑ์มากกว่าสารตั้งต้น
14. ที่สมดุล เมื่อลดสารตั้งต้นจะเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากขึ้น
15. $3O_2(g)$ + 285 kJ $\rightleftharpoons 2O_3(g)$ เมื่อลดอุณหภูมิ จะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับมากขึ้น
16. $F_2(g) \rightleftharpoons 2F(g)$ เมื่อเพิ่มความดัน จะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับมากขึ้น
17. $2HBr(g) \rightleftharpoons H_2(g) + Br_2(g)$
$K = 2.4 \times 10^{-19}$ ที่สมดุลมีผลิตภัณฑ์มากกว่าสารตั้งต้น
18. ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาไม่เปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิคงที่
19. $CO_2(g) + C(s) \rightleftharpoons 2CO(g)$
$K = \frac{[CO]^2}{[CO_2][C]}$
FINISH

ภาคผนวก

ตัวอย่างเครื่องมือวัดและประเมินผล

แบบทดสอบ

การประเมินผลด้วยแบบทดสอบเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการวัดผลสัมฤทธิ์ในการเรียน โดยเฉพาะด้านความรู้และความสามารถทางสติปัญญา ครูควรมีความเข้าใจในลักษณะของแบบทดสอบ รวมทั้งข้อดีและข้อจำกัดของแบบทดสอบรูปแบบต่าง ๆ เพื่อประโยชน์ในการสร้างหรือเลือกใช้แบบทดสอบให้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวัด โดยลักษณะของแบบทดสอบ รวมทั้งข้อดีและข้อจำกัดของแบบทดสอบรูปแบบต่าง ๆ เป็นดังนี้

1) แบบทดสอบแบบที่มีตัวเลือก

แบบทดสอบแบบที่มีตัวเลือก ได้แก่ แบบทดสอบแบบเลือกตอบ แบบทดสอบแบบถูกหรือผิด และแบบทดสอบแบบจับคู่ รายละเอียดของแบบทดสอบแต่ละแบบเป็นดังนี้

1.1) แบบทดสอบแบบเลือกตอบ

เป็นแบบทดสอบที่มีการกำหนดตัวเลือกให้หลายตัวเลือก โดยมีตัวเลือกที่ถูกเพียงหนึ่งตัวเลือก องค์ประกอบหลักของแบบทดสอบแบบเลือกตอบมี 2 ส่วน คือ คำถามและตัวเลือก แต่บางกรณีอาจมีส่วนของสถานการณ์เพิ่มขึ้นมาด้วย แบบทดสอบแบบเลือกตอบมีหลายรูปแบบ เช่น แบบทดสอบแบบเลือกตอบคำถามเดี่ยว แบบทดสอบแบบเลือกตอบคำถามชุด แบบทดสอบแบบเลือกตอบคำถาม 2 ชั้น โครงสร้างดังตัวอย่าง

แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบคำถามเดี่ยวที่ไม่มีสถานการณ์

คำถาม...

ตัวเลือก

ก..

ข..

ค..

ง..

แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบคำถามเดี่ยวที่มีสถานการณ์

สถานการณ์...

คำถาม...

ตัวเลือก

ก..

ข..

ค..

ง..

แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบคำถามเป็นชุด

สถานการณ์...

คำถาม...

ตัวเลือก

ก..

ข..

ค..

ง..

คำถามที่ 2 ....

ตัวเลือก

ก..

ข..

ค..

ง..

แบบทดสอบแบบเลือกตอบแบบคำถาม 2 ชั้น

สถานการณ์...

คำถาม...

ตัวเลือก

ก..

ข..

ค..

ง..

คำถามที่ 2 (ถามเหตุผลของการตอบคำถามที่ 1)

....

....

แบบทดสอบแบบเลือกตอบมีข้อดีคือ สามารถใช้วัดผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนได้ครอบคลุมเนื้อหาตามจุดประสงค์ สามารถตรวจให้คะแนนและแปลผลคะแนนได้ตรงกัน แต่มีข้อจำกัดคือ ไม่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงออกอย่างอิสระจึงไม่สามารถวัดความคิดระดับสูง เช่น ความคิดสร้างสรรค์ได้ นอกจากนี้นักเรียนที่ไม่มีความรู้สามารถเดาคำตอบได้

1.2) แบบทดสอบแบบถูกหรือผิด

เป็นแบบทดสอบที่มีตัวเลือก ถูกและผิด เท่านั้น มีองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ คำสั่งและข้อความให้นักเรียนพิจารณาว่าถูกหรือผิด ดังตัวอย่าง

แบบทดสอบแบบถูกหรือผิด

คำสั่ง ให้พิจารณาว่าข้อความต่อไปนี้ถูกหรือผิด แล้วใส่เครื่องหมาย ✓ หรือ ✗ หน้าข้อความ

.... 1. ข้อความ..
.... 2. ข้อความ..
.... 3. ข้อความ..
.... 4. ข้อความ..
.... 5. ข้อความ..

แบบทดสอบรูปแบบนี้สามารถสร้างได้ง่าย รวดเร็ว และครอบคลุมเนื้อหา สามารถตรวจได้รวดเร็วและให้คะแนนได้ตรงกัน แต่นักเรียนมีโอกาสเดาได้มาก และการสร้างข้อความให้เป็นจริงหรือเป็นเท็จโดยสมบูรณ์ในบางเนื้อทำได้ยาก

1.3) แบบทดสอบแบบจับคู่

ประกอบด้วยส่วนที่เป็นคำสั่ง และข้อความ 2 ชุด ที่ให้จับคู่กัน โดยข้อความชุดที่ 1 อาจเป็นคำถาม และข้อความชุดที่ 2 อาจเป็นคำตอบหรือตัวเลือก โดยจำนวนข้อความในชุดที่ 2 อาจมีมากกว่าในชุดที่ 1 ดังตัวอย่าง

แบบทดสอบแบบจับคู่

คำสั่ง ให้นำตัวอักษรหน้าข้อความในชุดคำตอบมาเติมในช่องว่างหน้าข้อความในชุดคำถาม

ชุดคำถาม	ชุดคำตอบ
.... 1.	ก. ....
.... 2.	ข. ....
.... 3.	ค. ....
	ง. ....

แบบทดสอบรูปแบบนี้สร้างได้ง่ายตรวจให้คะแนนได้ตรงกัน และเดาคำตอบได้ยากเหมาะสำหรับวัดความสามารถในการหาความสัมพันธ์ระหว่างคำหรือข้อความ 2 ชุด แต่ในกรณีที่นักเรียนจับคู่ผิดไปแล้วจะทำให้มีการจับคู่ผิดในคู่อื่น ๆ ด้วย

2) แบบทดสอบแบบเขียนตอบ

เป็นแบบทดสอบที่ให้นักเรียนคิดคำตอบเอง จึงมีอิสระในการแสดงความคิดเห็นและสะท้อนความคิดออกมาโดยการเขียนให้ผู้อ่านเข้าใจ โดยทั่วไปการเขียนตอบมี 2 แบบ คือ การเขียนตอบแบบเติมคำหรือการเขียนตอบอย่างสั้น และการเขียนตอบแบบอธิบาย รายละเอียดของแบบทดสอบที่มีการตอบแต่ละแบบเป็นดังนี้

2.1) แบบทดสอบเขียนตอบแบบเติมคำหรือตอบอย่างสั้น

ประกอบด้วยคำสั่ง และข้อความที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งจะมีส่วนที่เว้นไว้เพื่อให้เติมคำตอบหรือข้อความสั้น ๆ ที่ทำให้ข้อความข้างต้นถูกต้องหรือสมบูรณ์ นอกจากนี้แบบทดสอบยังอาจประกอบด้วยสถานการณ์และคำถามที่ให้นักเรียนตอบโดยการเขียนอย่างอิสระ แต่สถานการณ์และคำถามจะเป็นสิ่งที่กำหนดคำตอบให้มีความถูกต้องและเหมาะสม

แบบทดสอบรูปแบบนี้สร้างได้ง่าย มีโอกาสเดาได้ยาก และสามารถวินิจฉัยคำตอบที่นักเรียนตอบผิดเพื่อให้ทราบถึงข้อบกพร่องทางการเรียนรู้หรือความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนได้ แต่การจำกัดคำตอบให้นักเรียนตอบเป็นคำ วลี หรือประโยคได้ยาก ตรวจให้คะแนนได้ยากเนื่องจากบางครั้งมีคำตอบถูกต้องหรือยอมรับได้หลายคำตอบ

2.2) แบบทดสอบเขียนตอบแบบอธิบาย

เป็นแบบทดสอบที่ต้องการให้นักเรียนสร้างคำตอบอย่างอิสระ ประกอบด้วยสถานการณ์และคำถามที่สอดคล้องกัน โดยคำถามเป็นคำถามแบบปลายเปิด

แบบทดสอบรูปแบบนี้ให้อิสระแก่นักเรียนในการตอบจึงสามารถใช้วัดความคิดระดับสูงได้ แต่เนื่องจากนักเรียนต้องใช้เวลาในการคิดและเขียนคำตอบมาก ทำให้ถามได้น้อยข้อ จึงอาจทำให้วัดได้ไม่ครอบคลุมเนื้อหาทั้งหมด รวมทั้งตรวจให้คะแนนยาก และการตรวจให้คะแนนอาจไม่ตรงกัน

แบบประเมินทักษะ

เมื่อนักเรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมจริงจะมีหลักฐานร่องรอยที่แสดงไว้ทั้งวิธีการปฏิบัติและผลการปฏิบัติ ซึ่งหลักฐานร่องรอยเหล่านั้นสามารถใช้ในการประเมินความสามารถ ทักษะการคิด และทักษะปฏิบัติได้เป็นอย่างดี

การปฏิบัติการทดลองเป็นกิจกรรมที่สำคัญที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยทั่วไปจะประเมิน 2 ส่วน คือ ประเมินทักษะการปฏิบัติการทดลองและการเขียนรายงานการทดลอง โดยเครื่องมือที่ใช้ประเมินดังตัวอย่าง

ตัวอย่างแบบสำรวจรายการทักษะปฏิบัติการทดลอง

รายการที่ต้องสำรวจ	ผลการสำรวจ	
	มี (ระบุจำนวนครั้ง)	ไม่มี
การวางแผนการทดลอง		
การทดลองตามขั้นตอน		
การสังเกตการทดลอง		
การบันทึกผล		
การอภิปรายผลการทดลองก่อนลงข้อสรุป		

ตัวอย่างแบบประเมินทักษะปฏิบัติการทดลองที่ใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย

ทักษะปฏิบัติการทดลอง	คะแนน		
	3	2	1
การเลือกใช้อุปกรณ์/เครื่องมือในการทดลอง	เลือกใช้อุปกรณ์/เครื่องมือในการทดลองได้ถูกต้องเหมาะสมกับงาน	เลือกใช้อุปกรณ์/เครื่องมือในการทดลองได้ถูกต้องแต่ไม่เหมาะสมกับงาน	เลือกใช้อุปกรณ์/เครื่องมือในการทดลองไม่ถูกต้อง
การใช้อุปกรณ์/เครื่องมือในการทดลอง	ใช้อุปกรณ์/เครื่องมือในการทดลองได้อย่างคล่องแคล่วและถูกต้องตามหลักการปฏิบัติ	ใช้อุปกรณ์/เครื่องมือในการทดลองได้ถูกต้องตามหลักการปฏิบัติ แต่ไม่คล่องแคล่ว	ใช้อุปกรณ์/เครื่องมือในการทดลองไม่ถูกต้อง
การทดลองตามแผนที่กำหนด	ทดลองตามวิธีการและขั้นตอนที่กำหนดไว้อย่างถูกต้อง มีการปรับปรุงแก้ไขเป็นระยะ	ทดลองตามวิธีการและขั้นตอนที่กำหนดไว้ มีการปรับปรุงแก้ไขบ้าง	ทดลองตามวิธีการและขั้นตอนที่กำหนดไว้หรือดำเนินการข้ามขั้นตอนที่กำหนดไว้ ไม่มีการปรับปรุงแก้ไข

ตัวอย่างแบบประเมินทักษะปฏิบัติการทดลองที่ใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบมาตรประมาณค่า

ทักษะที่ประเมิน	ผลการประเมิน		
	ระดับ 3	ระดับ 2	ระดับ 1
1. วางแผนการทดลองอย่างเป็นขั้นตอน 2. ปฏิบัติการทดลองได้อย่างคล่องแคล่ว สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ได้ถูกต้อง เหมาะสม และจัดวางอุปกรณ์เป็นระเบียบสะดวกต่อการใช้งาน 3. บันทึกผลการทดลองได้ถูกต้องและครบถ้วนสมบูรณ์	ระดับ 3 หมายถึง ปฏิบัติได้ทั้ง 3 ข้อ	ระดับ 2 หมายถึง ปฏิบัติได้ทั้ง 2 ข้อ	ระดับ 1 หมายถึง ปฏิบัติได้ทั้ง 1 ข้อ

ตัวอย่างแนวทางการให้คะแนนการเขียนรายงานการทดลอง

คะแนน		
3	2	1
เขียนรายงานตามลำดับขั้นตอน ผลการทดลองตรงตามสภาพจริงและสื่อความหมาย	เขียนรายงานการทดลองตามลำดับ แต่ไม่สื่อความหมาย	เขียนรายงานโดยลำดับขั้นตอนไม่สอดคล้องกัน และไม่สื่อความหมาย

แบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์

การประเมินจิตวิทยาศาสตร์ไม่สามารถทำได้โดยตรง โดยทั่วไปทำโดยการตรวจสอบพฤติกรรมภายนอกที่ปรากฏให้เห็นในลักษณะของคำพูด การแสดงความคิดเห็น การปฏิบัติหรือพฤติกรรมบ่งชี้ที่สามารถสังเกตหรือวัดได้ และแปลผลไปถึงจิตวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นสิ่งที่ส่งผลให้เกิดพฤติกรรมดังกล่าว เครื่องมือที่ใช้ประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์ ดังตัวอย่าง

ตัวอย่างแบบประเมินคุณลักษณะด้านจิตวิทยาศาสตร์

คำชี้แจง จงทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับคุณลักษณะที่นักเรียนแสดงออก โดยจำแนกระดับพฤติกรรมการแสดงออกเป็น 4 ระดับ ดังนี้

มาก	หมายถึง	นักเรียนแสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นอย่างสม่ำเสมอ
ปานกลาง	หมายถึง	นักเรียนแสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นเป็นครั้งคราว
น้อย	หมายถึง	นักเรียนแสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นน้อยครั้ง
ไม่มีการแสดงออก	หมายถึง	นักเรียนไม่แสดงออกในพฤติกรรมเหล่านั้นเลย

รายการพฤติกรรมการแสดงออก	ระดับพฤติกรรมการแสดงออก			
	มาก	ปานกลาง	น้อย	ไม่มีการแสดงออก
ด้านความอยากรู้อยากเห็น 1. นักเรียนสอบถามจากผู้รู้หรือไปศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม เมื่อเกิดความสงสัยในเรื่องราววิทยาศาสตร์ 2. นักเรียนชอบไปงานนิทรรศการวิทยาศาสตร์ 3. นักเรียนนำการทดลองที่สนใจไปทดลองต่อที่บ้าน				
ด้านความซื่อสัตย์ 1. นักเรียนรายงานผลการทดลองตามที่ทดลองได้จริง 2. เมื่อทำการทดลองผิดพลาด นักเรียนจะลอกผลการทดลองของเพื่อส่งครู 3. เมื่อครูมอบหมายให้ทำชิ้นงานออกแบบสิ่งประดิษฐ์ นักเรียนจะประดิษฐ์ตามแบบที่ปรากฏอยู่ในหนังสือ				

รายการพฤติกรรมการแสดงออก	ระดับพฤติกรรมการแสดงออก			
	มาก	ปานกลาง	น้อย	ไม่มีการแสดงออก
ด้านความใจกว้าง 1. แม้ว่านักเรียนจะไม่เห็นด้วยกับการสรุปผลการทดลองในกลุ่ม แต่ก็ยอมรับผลสรุปของสมาชิกส่วนใหญ่ 2. ถ้าเพื่อนแย้งวิธีการทดลองของนักเรียนและมีเหตุผลที่ดีกว่า นักเรียนพร้อมที่จะนำข้อเสนอแนะของเพื่อนไปปรับปรุงงานของตน 3. เมื่องานที่นักเรียนตั้งใจและทุ่มเททำถูกตำหนิหรือโต้แย้ง นักเรียนจะหมดกำลังใจ				
ด้านความรอบคอบ 1. นักเรียนสรุปผลการทดลองทันทีเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง 2. นักเรียนทำการทดลองซ้ำ ๆ ก่อนที่จะสรุปผลการทดลอง 3. นักเรียนตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ก่อนทำการทดลอง				
ด้านความมุ่งมั่นอดทน 1. ถึงแม้ว่างานค้นคว้าที่ทำอยู่มีโอกาสสำเร็จได้ยาก นักเรียนจะยังค้นคว้าต่อไป 2. นักเรียนล้มเลิกการทดลองทันที เมื่อผลการทดลองที่ได้ขัดจากที่เคยได้เรียนมา 3. เมื่อทราบว่าชุดการทดลองที่นักเรียนสนใจต้องใช้ระยะเวลาในการทดลองนาน นักเรียนก็เปลี่ยนไปศึกษาชุดการทดลองที่ใช้เวลาน้อยกว่า				

รายการพฤติกรรมการแสดงออก	ระดับพฤติกรรมการแสดงออก			
	มาก	ปานกลาง	น้อย	ไม่มีการแสดงออก
เจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ 1. นักเรียนนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาใช้แก้ปัญหาในชีวิตประจำวันอยู่เสมอ 2. นักเรียนชอบทำกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ 3. นักเรียนสนใจติดตามข่าวสารที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์				

วิธีการตรวจให้คะแนน

ตรวจให้คะแนนตามเกณฑ์โดยกำหนดน้ำหนักของตัวเลือกในช่องต่าง ๆ เป็น 4 3 2 1 ข้อความที่มีความหมายเป็นทางบวก กำหนดให้คะแนนแต่ละข้อความดังนี้

ระดับพฤติกรรมการแสดงออก	คะแนน
มาก	4
ปานกลาง	3
น้อย	2
ไม่มีการแสดงออก	1

ส่วนของข้อความที่มีความหมายเป็นทางลบการกำหนดให้คะแนนในแต่ละข้อความจะมีลักษณะเป็นตรงกันข้าม

การประเมินการนำเสนอผลงาน

การประเมินผลและให้คะแนนการนำเสนอผลงานใช้แนวทางการประเมินเช่นเดียวกับการประเมินภาระงานอื่น คือ การใช้คะแนนแบบภาพรวม และการให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) การให้คะแนนในภาพรวม เป็นการให้คะแนนที่ต้องการสรุปภาพรวมจึงประเมินเฉพาะประเด็นหลักที่สำคัญ ๆ เช่น การประเมินความถูกต้องของเนื้อหา ความรู้และการประเมินสมรรถภาพด้านการเขียนโดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบภาพรวม ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินความถูกต้องของเนื้อหาความรู้ (แบบภาพรวม)

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ
เนื้อหาไม่ถูกต้องเป็นส่วนใหญ่	ต้องปรับปรุง
เนื้อหาถูกต้องแต่ให้สาระสำคัญน้อยมาก และไม่ระบุแหล่งที่มาของความรู้	พอใช้
เนื้อหาถูกต้อง มีสาระสำคัญ แต่ยังไม่ครบถ้วน มีการระบุแหล่งที่มาของความรู้	ดี
เนื้อหาถูกต้อง มีสาระสำคัญครบถ้วน และระบุแหล่งที่มาของความรู้ชัดเจน	ดีมาก

ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินสมรรถภาพด้านการเขียน (แบบภาพรวม)

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ
เขียนสับสน ไม่เป็นระบบ ไม่บอกปัญหาและจุดประสงค์ ขาดการเชื่อมโยงเนื้อหาบางส่วนไม่ถูกต้องหรือไม่สมบูรณ์ ใช้ภาษาไม่เหมาะสมและสะกดคำไม่ถูกต้อง ไม่อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้	ต้องปรับปรุง
ขียนเป็นระบบแต่ไม่ชัดเจน บอกจุดประสงค์ไม่ชัดเจน เนื้อหาถูกต้องแต่มีรายละเอียดไม่เพียงพอ เนื้อหาบางตอนไม่สัมพันธ์กัน การเรียบเรียบเนื้อหาไม่ต่อเนื่อง ใช้ภาษาถูกต้อง อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้	พอใช้
เขียนเป็นระบบ แสดงให้เห็นโครงสร้างของเรื่อง บอกความสำคัญและที่มาของปัญหา จุดประสงค์ แนวคิดหลักไม่ครอบคลุมประเด็นสำคัญทั้งหมด เนื้อหาบางตอนเรียบเรียงไม่ต่อเนื่อง ใช้ภาษาถูกต้อง มีการยกตัวอย่าง รูปภาพ แผนภาพประกอบ อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้	ดี
เขียนเป็นระบบ แสดงให้เห็นโครงสร้างของเรื่อง บอกความสำคัญและที่มาของปัญหา จุดประสงค์ แนวคิดหลักได้ครอบคลุมประเด็นสำคัญทั้งหมด เรียบเรียงเนื้อหาได้ต่อเนื่อง ใช้ภาษาถูกต้อง ชัดเจนเข้าใจง่าย มีการยกตัวอย่าง รูปภาพ แผนภาพประกอบ อ้างอิงแหล่งที่มาของความรู้	ดีมาก

2) การให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย เป็นการประเมินเพื่อต้องการนำผลการประเมินไปใช้พัฒนางานให้มีคุณภาพผ่านเกณฑ์ และพัฒนาคุณภาพให้สูงขึ้นกว่าเดิมอย่างต่อเนื่อง โดยใช้เกณฑ์ย่อย ๆ ในการประเมินเพื่อทำให้รู้ทั้งจุดเด่นที่ควรส่งเสริมและจุดด้อยที่ควรแก้ไขปรับปรุงการทำงานในส่วนนั้น ๆ เกณฑ์การให้คะแนนแบบแยกองค์ประกอบย่อย มีตัวอย่างดังนี้

ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินสมรรถภาพ (แบบแยกองค์ประกอบย่อย)

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ
ด้านการวางแผน	
ไม่สามารถออกแบบได้ หรือออกแบบได้แต่ไม่ตรงกับประเด็นปัญหาที่ต้องการเรียนรู้	ต้องปรับปรุง
ออกแบบการได้ตามประเด็นสำคัญของปัญหาเป็นบางส่วน	พอใช้
ออกแบบครอบคลุมประเด็นสำคัญของปัญหาเป็นส่วนใหญ่ แต่ยังไม่ชัดเจน	ดี
ออกแบบได้ครอบคลุมทุกประเด็นสำคัญของปัญหาอย่างเป็นขั้นตอนที่ชัดเจนและตรงตามจุดประสงค์ที่ต้องการ	ดีมาก
ด้านการดำเนินการ	
ดำเนินการไม่เป็นไปตามแผน ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบถูกต้องแต่ไม่คล่องแคล่ว	ต้องปรับปรุง
ดำเนินการตามแผนที่วางไว้ ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบถูกต้องแต่ไม่คล่องแคล่ว	พอใช้
ดำเนินการตามแผนที่วางไว้ ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบการสาธิตได้อย่างคล่องแคล่วและเสร็จทันเวลา ผลงานในบางขั้นตอนไม่เป็นไปตามจุดประสงค์	ดี
ดำเนินการตามแผนที่วางไว้ใช้อุปกรณ์และสื่อประกอบได้ถูกต้อง คล่องแคล่วและเสร็จทันเวลา ผลงานทุกขั้นตอนเป็นไปตามจุดประสงค์	ดีมาก

รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ
ด้านการอธิบาย	
อธิบายไม่ถูกต้อง ขัดแย้งกับแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์	ต้องปรับปรุง
อธิบายโดยอาศัยแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์ แต่การอธิบายเป็นแบบพรรณนาทั่วไปซึ่งไม่คำนึงถึงการเชื่อมโยงกับปัญหาทำให้เข้าใจยาก	พอใช้
อธิบายโดยอาศัยแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์ ตรงตามประเด็นของปัญหาแต่ข้ามไปในบางขั้นตอน ใช้ภาษาได้ถูกต้อง	ดี
อธิบายตามแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์ ตรงตามประเด็นของปัญหาและจุดประสงค์ ใช้ภาษาได้ถูกต้องเข้าใจง่าย สื่อความหมายได้ชัดเจน	ดีมาก

บรรณานุกรม

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

กระทรวงศึกษาธิการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2554). **คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 3** (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สกสค.

กระทรวงศึกษาธิการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2559). **หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 2** (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สกสค.

กระทรวงศึกษาธิการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2559). **หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 3** (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สกสค.

คณะแพทย์ศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล. (2561) **โรคหายใจเกิน** สืบค้นเมื่อ 11 เมษายน 2561, จาก https://med.mahidol.ac.th/ramamental/generalknowledge/general/05012014-1359

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

Barke, H. D., Hazari A., & Yitbarek, S. (2009). **Misconception in Chemistry: Addressing Perceptions in Chemistry.** Berlin: Springer.

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

Chang, R. (2010). **Chemistry** (9th ed). New York: The McGraw-Hill.

Davis, R.E.; Frey, R.; Sarquis, M. and Sarquis, J.L. (2009). **Modern Chemistry.** Texas: Holt, Rinehart and Winston.

Doc Brown's Chemistry Advanced A Level Notes. (2018). **Chemical Equilibrium Notes Index.** Retrieved March 15, 2018, from http://www.docbrown.info/page07/equilibria3.htm

Gallagher, R.M. and Ingram, P. (2011). **Complete Chemistry for Cambridge IGCSE.** (2nd ed). Oxford: Oxford University Press.

Kessel, H.V.; Jenkins, F.; Davies, L.; Plumb, D.; Giuseppe, M.d.; Lantz, O. and Tompkins, D. (2003). **Nelson Chemistry 12.** Ontario: Nelson.

Mortimer, M. and Taylor, P. (2002). **The Molecular World; Chemical Kinetics and Mechanism**. (1st ed). Milton Keynes: The Open University.

Phillips, J.S.; Strozak, V.S. and Wistrom, C. (2005). **Glencoe Science : Chemistry Concept and Applications.** Ohio: Glencoe/McGraw-Hill.

Royal Society of Chemistry. (2018). **Transport of oxygen in blood.** Retrieved March 15, 2018, from http://www.rsc.org/Education/Teachers/Resources/cfb/transport.htm

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

Saptarini N.M.; Suryasaputra, D. and Nurmalia, H. **J. Chem. Pharm. Res.,** 2015, 7(2), 275 – 280.

Science Clarified. (2018). **Chemical Equilibrium-Real-life applications.** Retrieved March 15, 2018, from http://www.scienceclarified.com/everyday/Real-Life-Chemistry-Vol-2/Chemical-Equilibrium-Real-life-applications.html

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

Talbot, C.; Harwood, R. and Coates, C. (2010). **Chemistry for the IB Diploma.** (1st ed). London: Hodder Education.

The Chinese University of Hong Kong. (2015). **A Simulation for Teaching Dynamic Equilibrium.** Retrieved February 23, 2015, from http://www3.fed.cuhk.edu.hk/chemistry/files/Simulation.pdf

The University of North Carolina at Chapel Hill. (2018). **Kinetics: Rates of Reaction.** Retrieved April 23, 2018, from http://cssac.unc.edu/programs/learning-center/Resources/Study/Guides/Chemistry%20102/Rates%20of%20Reactions?fbclid=I-wAR3mr2-uf8BixBvgzgipEcTQAZHJiA-_Yl2A3PpbhOZPeELjK7taHLiwxpM

คณะกรรมการจัดทำคู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี เล่ม 3 ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551

คณะที่ปรึกษา

ศ.ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์	ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์	ผู้ช่วยผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะผู้จัดทำคู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 3

ศ.ดร.มงคล สุขวัฒนาสินิทธิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
นายณรงค์ศิลป์ ธูปพนม	ผู้เชี่ยวชาญพิเศษอาวุโส สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ผศ.ดร.จินดา แต้มบรรจง	ผู้ชำนาญ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นางสาวศศินี อังกานนท์	ผู้ชำนาญ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นางกมลวรรณ เกียรติกวินกุล	ผู้ชำนาญ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นางสุทธาทิพย์ หวังอำนวยพร	ผู้ชำนาญ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นางสาวศิริรัตน์ พริกสี	ผู้ชำนาญ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ดร.สนธิ พลชัยยา	นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ดร.ปุณิกา พระพุทธคุณ	นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นางสาวณัฏฐิกา งามกิจภิญโญ	นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะผู้ร่วมพิจารณาคู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เล่ม 3 (ฉบับร่าง)

ศ.ดร.มงคล สุขวัฒนาสินิทธิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.วัลภา เอื้องไมตรีภิรมย์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.อภิชาติ อิ่มยิ้ม	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.เสาวรักษ์ เฟื่องสวัสดิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.พร้อมพงศ์ เพียรพินิจธรรม	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
นางสาวสมศรี เซี๊ยกสาด	นักวิชาการอิสระ
นางชื่นจิตร เดชอุดม	โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย โรงเรียนชิโนรสวิทยาลัย
นายวัฒนพงศ์ ยองเข	โรงเรียนชิโนรสวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร
นายณัฐพล ตฤณเกศโกศล	โรงเรียนสามเสนวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร
นางสาวเพ็ญนภา ศรีโฉม	โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) กรุงเทพมหานคร
นายสุชากรณ์ พวงทอง	โรงเรียนปากเกร็ด จ.นนทบุรี
นายอนุพงศ์ ไพรศรี	โรงเรียนนารีรัตน์จังหวัดแพร่ จ.แพร่
ดร.อำไพ เกิดสมบูรณ์	โรงเรียนราชโบริกานุเคราะห์ จ.ราชบุรี

คณะบรรณาธิการ

ศ.ดร.มงคล สุขวัฒนาสินิทธิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.วัลภา เอื้องไมตรีภิรมย์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.อภิชาติ อิ่มยิ้ม	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.เสาวรักษ์ เฟื่องสวัสดิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.พร้อมพงศ์ เพียรพินิจธรรม	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
นายณรงค์ศิลป์ ธูปพนม	ผู้เชี่ยวชาญพิเศษอาวุโส สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ผศ.ดร.จินดา แต้มบรรจง	ผู้ชำนาญ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
นางกมลวรรณ เกียรติกวินกุล	ผู้ชำนาญ สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ