สพ

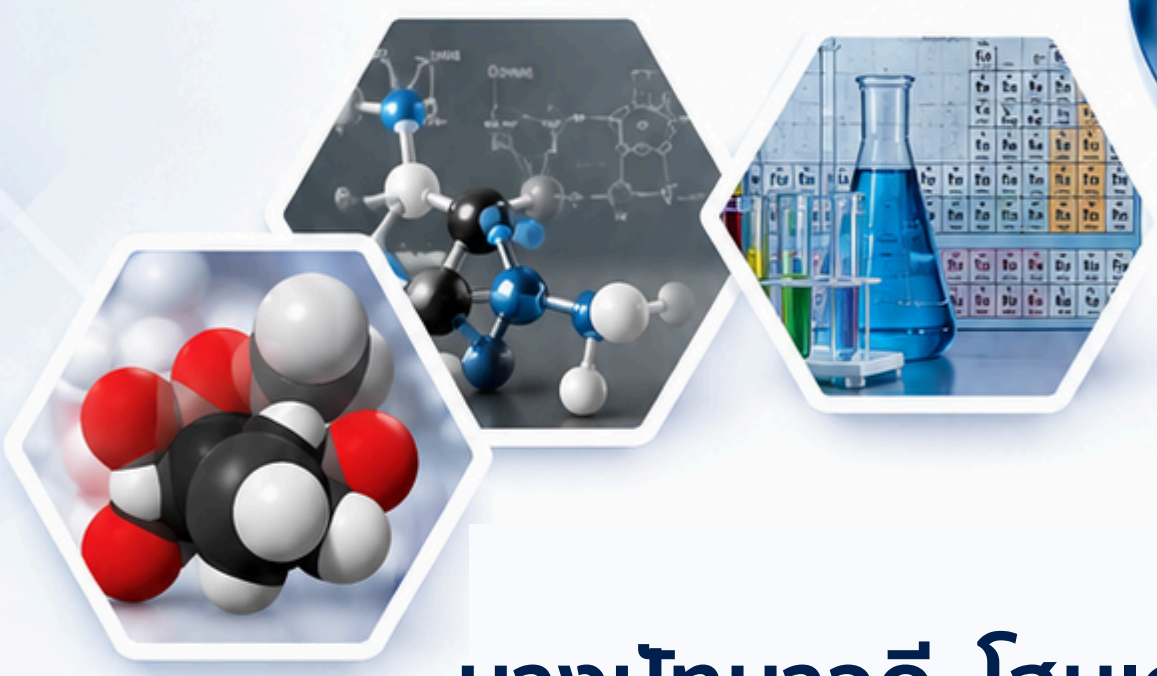
แผนการจัดการเรียนรู้

วิชาเคมี 2

รหัสวิชา ว30222

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ปีการศึกษา 2569



นางปัทมาวดี โสมเกตรินทร์

ตำแหน่ง ครู

วิทยฐานะ ครูชำนาญการพิเศษ

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

โรงเรียนสตรีศึกษา

สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาร้อยเอ็ด

แผนการจัดการเรียนรู้ วิชาเคมี2 (ว30222)

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ระดับชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 5 | **ภาคเรียนที่** 1 | **เวลาเรียนรวม** 9 คาบ (คาบละ 50–60 นาที)

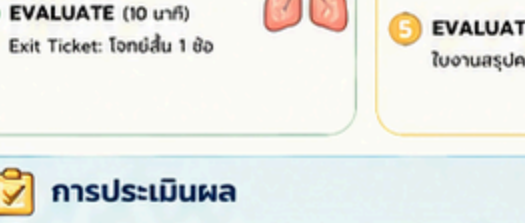
หน่วยการเรียนรู้ที่ 7
แก๊สและสมบัติของแก๊ส

เรื่อง: ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ และจำนวนโมลของแก๊ส

รูปแบบการจัดการเรียนรู้: Active Learning (5E Inquiry, POE, และ Game-Based/Inquiry-Based Learning)

1 มาตรฐานการเรียนรู้ / ผลการเรียนรู้
(สสวท. ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

1. อธิบายความสัมพันธ์และคำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่าง ๆ ตามกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล และกฎของเกย์-ลูสแซก
2. คำนวณปริมาตร ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สที่ภาวะต่าง ๆ ตามกฎรวมแก๊ส
3. คำนวณปริมาตรหรือจำนวนโมลของแก๊สที่ภาวะต่าง ๆ ตามกฎของอาโวกาโดร



2 สาระสำคัญ (Key Concepts)

แก๊สประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กที่อยู่ห่างกันมาก สมบัติทางกายภาพของแก๊สจะถูกกำหนดด้วยตัวแปรสำคัญ 4 ตัวแปร ได้แก่ ปริมาตร (V), ความดัน (P), อุณหภูมิ (T) และ จำนวนโมล (n)

1 กฎของบอยล์ (Boyle's Law)
เมื่ออุณหภูมิ (T) และจำนวนโมล (n) คงที่ ปริมาตร (V) จะแปรผกผันกับความดัน (P)

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

2 กฎของชาร์ล (Charles's Law)
เมื่อความดัน (P) และจำนวนโมล (n) คงที่ ปริมาตร (V) จะแปรผันตรงกับอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน (T)

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

3 กฎของเกย์-ลูสแซก (Gay-Lussac's Law)
เมื่อปริมาตร (V) และจำนวนโมล (n) คงที่ ความดัน (P) จะแปรผันตรงกับอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน (T)

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

4 กฎรวมแก๊ส (Combined Gas Law)
เป็นการรวมกฎของบอยล์ ชาร์ล และเกย์-ลูสแซก เมื่อจำนวนโมล (n) คงที่

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

5 กฎของอาโวกาโดร (Avogadro's Law)
เมื่อความดัน (P) และอุณหภูมิ (T) คงที่ ปริมาตร (V) จะแปรผันตรงกับจำนวนโมล (n)

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

โดยแก๊สใด ๆ 1 โมล จะมีปริมาตร 22.4 L ที่ภาวะมาตรฐาน (STP)

3 จุดประสงค์การเรียนรู้ (KPA)

ด้านความรู้ (Knowledge: K)
- อธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปร P, V, T, n ตามกฎของบอยล์ ชาร์ล เกย์-ลูสแซก กฎรวมแก๊ส และกฎของอาโวกาโดรได้
- อธิบายความหมายและที่มาของมาตราส่วนอุณหภูมิสัมบูรณ์ (เคลวิน) ได้
- คำนวณหาค่าตัวแปรที่หายไปเมื่อแก๊สเปลี่ยนสภาวะโดยใช้สูตรของกฎแก๊สต่าง ๆ ได้ถูกต้อง

ด้านทักษะ/กระบวนการ (Process/Skill: P)
- ออกแบบ สังเกต และทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติต่าง ๆ ของแก๊สได้ (เช่น การใช้กระบอกฉีดยา การทดลองด้วย PhET Simulation)
- จัดกระทำและสื่อสารข้อมูลที่ได้จากการทดลอง/แบบจำลองในรูปของกราฟหรือแผนภาพได้อย่างถูกต้อง
- ทำงานร่วมกับผู้อื่นเป็นกลุ่มเพื่อสืบค้น แก้โจทย์ปัญหา และระดมความคิดเห็นได้

ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์ (Attitude: A)
- มีความอยากรู้อยากเห็น มุ่งมั่น และตั้งใจในการทำกิจกรรมและการทดลอง
- ยอมรับฟังความคิดเห็นและมีความรับผิดชอบต่อบทบาทหน้าที่ในกลุ่ม
- ตระหนักถึงความปลอดภัยในการทำกิจกรรมทดลองที่มีความร้อนและความดันเข้ามาเกี่ยวข้อง

4 โครงสร้างและการจัดแบ่งเวลาเรียน (9 คาบ)

คาบที่	หัวข้อการเรียนรู้	รูปแบบกิจกรรม Active Learning	ตัวแปรคงที่	ความสัมพันธ์	สื่อ/อุปกรณ์
1–2	กฎของบอยล์ (Boyle's Law)	• กิจกรรม "Marshmallow in Syringe" • PhET Simulation: Gas Properties	T, n	$V \propto \frac{1}{P}$	กระบอกฉีดยา, มาร์ชแมลโลว์, คอมพิวเตอร์/แท็บเล็ต
3–4	กฎของชาร์ล และเกย์-ลูสแซก	• กิจกรรม POE: ลูกโป่งขยายตัวในน้ำร้อน • การทดลอง "กระป๋องยุบตัว" (Imploding Can)	P, n (ชาร์ล) V, n (เกย์-ลูสแซก)	$V \propto T$ $P \propto T$	ลูกโป่ง, ขวดพลาสติก, น้ำร้อน-เย็น, กระป๋อง, ตะเกียบจับ
5–6	กฎรวมแก๊ส (Combined Gas Law)	• สถานการณ์จำลอง "บอลลูนตรวจสภาพอากาศ" • สรุปอภิปรายการคำนวณสมบัติของแก๊ส	n	$\frac{PV}{T} = \text{constant}$	ใบงาน, บอร์ดเกม, ลูกเต๋า
7–8	กฎของอาโวกาโดร & ปริมาตรต่อโมล	• กิจกรรม "Baking Soda & Balloon Challenge" • การต่อจิ๊กซอว์แนวคิดโมลกับลิตรที่ STP	P, T	$V \propto n$	เบกกิ้งโซดา, ขวด, ลูกโป่ง, จิ๊กซอว์แนวคิด
9	สรุปเชื่อมโยงและประเมินผล	• กิจกรรม Gallery Walk (Concept Mapping) • ควิซเก็บคะแนนแบบมีปฏิสัมพันธ์ (Quizizz/Kahoot)	ทุกตัวแปร	แผนภาพองค์รวม	กระดาษโพสต์อิท, สื่อดิจิทัล

5 รายละเอียดแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้รายคาบ (Active Learning)

คาบที่ 1–2: กฎของบอยล์ (ความสัมพันธ์ระหว่าง V และ P)

1. **ENGAGE** (15 นาที)
   กระตุ้นด้วย "Marshmallow in Syringe" ตั้งคำถาม คาดเดา สังเกตการเปลี่ยนแปลง
2. **EXPLORE** (35 นาที)
   ใช้ PhET Simulation (Gas Properties) ควบคุมอุณหภูมิคงที่ (T คงที่) บันทึกค่า P และ V 4–5 ค่า
3. **EXPLAIN** (20 นาที)
   นำเสนอผล วาดกราฟ (ไฮเปอร์โบลา) สรุปกฎของบอยล์ $P_1V_1 = P_2V_2$ อธิบายพฤติกรรมระดับโมเลกุล
4. **ELABORATE** (20 นาที)
   เชื่อมโยงชีวิตจริง: การหายใจ, สเปรย์ โจทย์ท้าทาย 2 ข้อ (ทำเป็นกลุ่ม)
5. **EVALUATE** (10 นาที)
   Exit Ticket: โจทย์สั้น 1 ข้อ

คาบที่ 3–4: กฎของชาร์ล และเกย์-ลูสแซก (ความสัมพันธ์ V–T และ P–T)

1. **ENGAGE** (15 นาที)
   กิจกรรม POE: ลูกโป่งในน้ำร้อน-เย็น คาดเดา สังเกต อธิบาย
2. **EXPLORE** (35 นาที)
   ทดลอง: กระป๋องยุบตัว (Imploding Can) และทดลองเพิ่มเติมเกี่ยวกับ V–T, P–T
3. **EXPLAIN** (20 นาที)
   สรุปกฎของชาร์ล $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ และกฎของเกย์-ลูสแซก $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$
4. **ELABORATE** (20 นาที)
   เชื่อมโยง: บอลลูนอากาศร้อน, แมนอมิเตอร์ พิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อแก๊ส
5. **EVALUATE** (10 นาที)
   ใบงานสรุปความเข้าใจ (สั้น ๆ)

คาบที่ 5–6: กฎรวมแก๊ส (Combined Gas Law)

1. **ENGAGE** (10 นาที)
   สถานการณ์จำลอง: บอลลูนตรวจสภาพอากาศ
2. **EXPLORE** (30 นาที)
   กิจกรรมบอร์ดเกม คำนวณสมดุลสภาวะ (P, V, T)
3. **EXPLAIN** (20 นาที)
   สรุปกฎรวมแก๊ส $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$ กรณี n คงที่
   กรณี n คงที่
4. **ELABORATE** (20 นาที)
   ประยุกต์ใช้กับลูกโป่งอากาศร้อน, การดำน้ำ, ถังแก๊สดิ
5. **EVALUATE** (10 นาที)
   ทำโจทย์สถานการณ์ 2 ข้อ

คาบที่ 7–8: กฎของอาโวกาโดร & ปริมาตรต่อโมล

1. **ENGAGE** (10 นาที)
   คำถาม: ทำไมแก๊ส 1 โมลจึงมีปริมาตรเท่ากันที่ STP?
2. **EXPLORE** (30 นาที)
   กิจกรรม "Baking Soda & Balloon Challenge" เก็บข้อมูลและเปรียบเทียบจำนวนโมลกับปริมาตร
3. **EXPLAIN** (20 นาที)
   สรุปกฎของอาโวกาโดร $\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$
   และปริมาตร 22.4 L ต่อ 1 โมล ที่ STP
4. **ELABORATE** (20 นาที)
   ต่อจิ๊กซอว์แนวคิด โมล–ลิตร–STP โจทย์ประยุกต์
5. **EVALUATE** (10 นาที)
   แบบฝึกหัดสั้น 5 ข้อ

คาบที่ 9: สรุปเชื่อมโยงและประเมินผล

1. **ENGAGE** (10 นาที)
   ทบทวนด้วยคำถามเชื่อมโยงทุกกฎ
2. **EXPLORE** (20 นาที)
   ทำ Concept Mapping เป็นกลุ่ม (Gallery Walk)
3. **EXPLAIN** (15 นาที)
   ตัวแทนนำเสนอ แสดงความเชื่อมโยงของกฎแก๊ส
4. **EVALUATE** (25 นาที)
   ควิซแบบมีปฏิสัมพันธ์ (Quizizz/Kahoot)
   สรุปคะแนนและสะท้อนความรู้

การประเมินผล
- ประเมินระหว่างเรียน: การมีส่วนร่วม, ใบงาน, Exit Ticket
- ประเมินผลงาน: กราฟ, Concept Map, การนำเสนอ
- ประเมินปลายหน่วย: ควิซ/ข้อสอบรวมทุกกฎ

สื่อ/แหล่งเรียนรู้
- PhET Interactive Simulation: Gas Properties
- อุปกรณ์ทดลอง: กระบอกฉีดยา, ลูกโป่ง, กระป๋อง, น้ำร้อน-เย็น
- สื่อดิจิทัล: Quizizz, Kahoot, วิดีโอ, ใบงาน, บอร์ดเกม

ความปลอดภัย
- ระมัดระวังน้ำร้อนและความร้อนจากการทดลอง
- อย่าชี้ปากกระบอกฉีดยาเข้าหาคน
- สวมแว่นตา/อุปกรณ์ป้องกันตามความเหมาะสม

แผนการจัดการเรียนรู้
วิชาเคมี2 (ว30222)

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ครูผู้สอน
นางปัทมาวดี โสมเกตรินทร์

ระดับชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 5 (ภาคเรียนที่ 1) | หน่วยการเรียนรู้ที่ 7 แก๊สและสมบัติของแก๊ส | เวลาเรียนรวม 4 คาบ (คาบละ 55 นาที)

เรื่อง : กฎแก๊สอุดมคติ และกฎความดันย่อยของดอลตัน

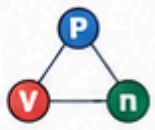
รูปแบบการจัดการเรียนรู้ : Active Learning (5E Inquiry, Model–Based Learning, และ Collaborative Problem Solving)

1 มาตรฐานการเรียนรู้ / ผลการเรียนรู้
(สสวท. ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

1. อธิบายความสัมพันธ์และคำนวณปริมาตร ความดัน อุณหภูมิ จำนวนโมล หรือมวลของแก๊ส โดยใช้กฎแก๊สอุดมคติ
2. อธิบายและคำนวณความดันย่อยหรือจำนวนโมลของแก๊สในแก๊สผสม โดยใช้กฎความดันย่อยของดอลตัน

2 สาระสำคัญ (Key Concepts)

- **กฎแก๊สอุดมคติ (Ideal Gas Law)**
  รวมความสัมพันธ์ของกฎของบอยล์ ชาร์ล และอาโวกาโดร



$$PV = nRT$$

$R = 0.0821\ \text{L·atm/(mol·K)}$
หรือ $8.314\ \text{J/(mol·K)}$

- **กฎความดันย่อยของดอลตัน (Dalton's Law of Partial Pressures)**
  ในแก๊สผสมที่แก๊สแต่ละชนิดไม่ทำปฏิกิริยากัน

$$P_{total} = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots$$

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

P_i = ความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิด
X_i = เศษส่วนโมล (Mole fraction)

3 จุดประสงค์การเรียนรู้ (KPA)

ด้านความรู้ (Knowledge: K)
- อธิบายการรวมกฎของแก๊สต่าง ๆ จนได้สมการ PV = nRT ได้
- อธิบายความหมายและค่าคงที่ของแก๊ส (R) ในหน่วยต่าง ๆ ได้
- คำนวณหาตัวแปร P, V, T, n, g, M_w หรือ d โดยใช้ PV = nRT
- อธิบายแนวคิดความดันย่อย เศษส่วนโมล และคำนวณหาค่าความดันรวมหรือความดันย่อยของแก๊สผสมได้

ด้านทักษะ/กระบวนการ (Process/Skill: P)
- สืบเสาะเพื่อหาค่าคงที่ของแก๊ส (R) จากข้อมูลจำลองหรือข้อมูลจริง
- สร้างและใช้แบบจำลองทางความคิด (Mental Model) เพื่ออธิบายทฤษฎีการชนและความดันของแก๊สผสมได้
- แก้ปัญหาโจทย์คำนวณที่ซับซ้อนผ่านการทำงานร่วมกันเป็นทีม (Think–Pair–Share) ได้

ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์ (Attitude: A)
- มีระเบียบวินัย นุ่งมั่น และรอบคอบในการคำนวณเชิงปริมาณสารสัมพันธ์ของแก๊ส
- แสดงความรับผิดชอบต่องานกลุ่มและยอมรับฟังมุมมองวิธีการคำนวณที่แตกต่างของเพื่อนร่วมชั้น

4 โครงสร้างและการจัดแบ่งเวลาเรียน (4 คาบ)

คาบที่	หัวข้อการเรียนรู้	รูปแบบกิจกรรม Active Learning	ตัวแปร/สมการหลัก	STEM Integration	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่เน้น
1	ที่มาของกฎแก๊สอุดมคติ และค่าคงที่ R	• กิจกรรมสืบเสาะ "ประกอบร่างกฎของแก๊ส" • การคำนวณหาค่า R ที่สภาวะ STP	$PV = nRT$	S T M	เข้าใจที่มาของสมการ และหาค่า R ได้ถูกต้อง
2	การประยุกต์ใช้ กฎแก๊สอุดมคติ	• การดัดแปลงสมการหาความหนาแน่น (d) และมวลโมเลกุล (Mw) • กิจกรรม "Peer-to-Peer Problem Solving"	$PV = \frac{g}{M_w}RT$ $PM_w = dRT$	S T E M	ประยุกต์ใช้สมการเพื่อหา d, Mw, g ได้อย่างเหมาะสม
3	กฎความดันย่อย ของดอลตัน (Dalton's Law)	• กิจกรรม Model–Based "เม็ดลูกปัดจำลองแก๊สผสม" • PhET Simulation: Gas Properties (แก๊สสองชนิด)	$P_{total} = \sum P_i$	S T E M	อธิบายและคำนวณความดันรวมจากความดันย่อยได้
4	เศษส่วนโมลและ การประยุกต์ใช้แก๊สผสม	• กิจกรรมวิเคราะห์สถานการณ์จริง "แก๊สผสมใต้ทะเล" • ควิซสรุปบทเรียนและประเมินผลเชิงรุก	$P_i = X_i \cdot P_{total}$	S T E M	คำนวณความดันย่อยจากเศษส่วนโมล และประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริง

S = Science T = Technology E = Engineering M = Mathematics

5 รายละเอียดแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้รายคาบ (5E)

1 ที่มาของกฎแก๊สอุดมคติ และค่าคงที่ R (55 นาที)

E	Engagement 10 นาที	ตั้งคำถาม: จะหาจำนวนโมล (n) ในถังแก๊สที่รู้เพียง P, V, T ได้อย่างไร?
E	Exploration 15 นาที	ประกอบร่างกฎของแก๊สจากกฎของบอยล์, ชาร์ล, อาโวกาโดร ได้ $PV \propto nT$
E	Explanation 15 นาที	ใช้ข้อมูล STP หา R ได้ค่า $R = 0.0821\ \text{L·atm/(mol·K)}$ หรือ $8.314\ \text{J/(mol·K)}$
E	Elaboration 10 นาที	จับคู่ผิกโจทย์: หา n จาก PV = nRT (เน้นหน่วยและการแปลง °C เป็น K)
E	Evaluation 5 นาที	สะท้อนความเข้าใจเรื่องการเลือกหน่วยของ P, V, T, n ให้เข้ากับ R

2 การประยุกต์ใช้กฎแก๊สอุดมคติ (55 นาที)

E	Engagement 10 นาที	เปรียบเทียบลูกโป่ง He และ CO_2 มวลเท่ากันหรือไม่? จะหา m หรือ d จาก PV = nRT ได้อย่างไร?
E	Exploration 20 นาที	แปลงสมการจาก $n = \frac{g}{M_w}$ และ $d = \frac{g}{V}$ ได้ $PV = \frac{g}{M_w}RT$ และ $PM_w = dRT$
E	Explanation 15 นาที	สรุปการใช้สมการ หา g, M_w, d ตามหน่วยที่กำหนด
E	Elaboration 5 นาที	กำโจทย์คู่และแลกเปลี่ยนวิธีคิด (Think–Pair–Share)
E	Evaluation 5 นาที	ใบงานสั้น: เลือกสมการที่เหมาะสมกับสถานการณ์

3 กฎความดันย่อยของดอลตัน (Dalton's Law) (55 นาที)

E	Engagement 10 นาที	แก๊สผสมในกาชะน้ำปิด ความดันรวมมาจากอะไร?
E	Exploration 20 นาที	Model–Based: ใช้เม็ดลูกปัดจำลองแก๊สผสม 2 ชนิด นับจำนวนและคำนวณความดันรวม
E	Explanation 15 นาที	สรุป $P_{total} = P_1 + P_2\ (+ P_3 + \cdots)$ เชื่อมโยงกับทฤษฎีการชน
E	Elaboration 5 นาที	ทดลอง PhET Simulation: Gas Properties (2 ชนิด)
E	Evaluation 5 นาที	คำถามสั้น: หา P_{total} จากความดันย่อยที่กำหนด

4 เศษส่วนโมลและการประยุกต์ใช้แก๊สผสม (55 นาที)

E	Engagement 10 นาที	สถานการณ์ใต้ทะเล: ออกซิเจน, ไนโตรเจน, ฮีเลียม มีผลต่อความดันย่อยอย่างไร?
E	Exploration 20 นาที	คำนวณเศษส่วนโมล $X_i = \frac{n_i}{n_{total}}$ และหาความดันย่อย $P_i = X_i P_{total}$
E	Explanation 15 นาที	สรุปหลักการและวิธีคำนวณแก๊สผสมจากเศษส่วนโมล
E	Elaboration 5 นาที	วิเคราะห์สถานการณ์จริง "แก๊สผสมใต้ทะเล"
E	Evaluation 5 นาที	ควิซออนไลน์สรุปบทเรียน (Quizizz/Kahoot)

การประเมินผล
- ประเมินระหว่างเรียน: การมีส่วนร่วม, ใบงาน, Exit Ticket
- ประเมินผลงาน: โจทย์คำนวณ, แบบจำลอง, การนำเสนอ
- ประเมินปลายหน่วย: ควิซออนไลน์และแบบทดสอบ

สื่อ/แหล่งเรียนรู้
- PhET Interactive Simulation: Gas Properties
- ชุดเม็ดลูกปัดจำลองแก๊สผสม
- สื่อดิจิทัล: Quizizz, Kahoot, Padlet, Canva
- เอกสารประกอบ: ใบความรู้, ใบงาน, โจทย์คำนวณ

ความปลอดภัย
- สังเกตสัญลักษณ์และคำเตือนของอุปกรณ์จำลอง
- ใช้คอมพิวเตอร์/แท็บเล็ตอย่างระมัดระวัง
- ทำงานเป็นทีมด้วยความเคารพและรับผิดชอบ

เอกสาร/ใบงาน สแกนเลย!

แผนการจัดการเรียนรู้
วิชาเคมี2 (ว30222)
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ครูผู้สอน
นางปัทมาวดี โสมเกตรินทร์

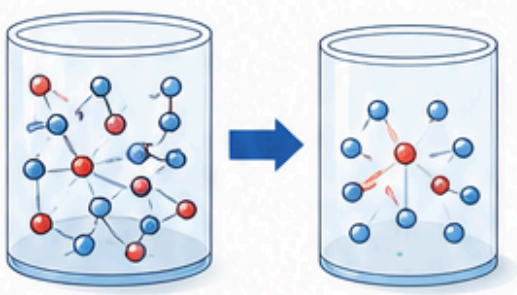
ระดับชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 5 (ภาคเรียนที่ 1) | หน่วยการเรียนรู้ที่ 7 แก๊สและสมบัติของแก๊ส | เวลาเรียนรวม 3 คาบ (คาบละ 55 นาที)

เรื่อง: ทฤษฎีจลน์และการแพร่ของแก๊ส

รูปแบบการจัดการเรียนรู้: Active Learning (5E Inquiry, Predict-Observe-Explain (POE), และ Gamified Problem Solving)

1 มาตรฐานการเรียนรู้ / ผลการเรียนรู้
(สสวท. ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

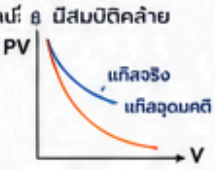
1. อธิบายทฤษฎีจลน์ของแก๊สและพฤติกรรมของแก๊ส โดยใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊สเพื่ออธิบายสมบัติของแก๊สอุดมคติและแก๊สจริง
2. อธิบายการแพร่ของแก๊สโดยใช้ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส คำนวณและเปรียบเทียบอัตราการแพร่ของแก๊สโดยใช้กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม



2 สาระสำคัญ (Key Concepts)

- **ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส (Kinetic Molecular Theory of Gases)**
  แบบจำลองทางความคิดที่ใช้อธิบายพฤติกรรมของแก๊สในระดับโมเลกุล มีข้อตกลงเบื้องต้น 4 ข้อ
  1. แก๊สประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กมาก จนถือว่าปริมาตรเป็นศูนย์
  2. ไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค
  3. อนุภาคเคลื่อนที่อิสระ และชนกันแบบยืดหยุ่นสมบูรณ์
  4. พลังงานจลน์เฉลี่ยของแก๊ส ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสัมบูรณ์เท่านั้น ($E_k \propto T$)

- **แก๊สอุดมคติ vs แก๊สจริง (Ideal Gas vs Real Gas)**
  แก๊สจริงจะประพฤติตัวสอดเลื่องกับทฤษฎีจลน์ ฯ มีสมบัติคล้ายแก๊สอุดมคติมากที่สุด เมื่อสภาวะแวดล้อมมี อุณหภูมิสูงมากและความดันต่ำมาก



- **การแพร่ของแก๊ส (Diffusion) และการแพร่ผ่าน (Effusion)**
  การแพร่: การเคลื่อนที่ของแก๊สจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูง ไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า โดยผ่านการชนกันของอนุภาค
  การแพร่ผ่าน: การเคลื่อนที่ของแก๊สผ่านรูเล็ก ๆ โดยไม่มีการชนกันเองของอนุภาค

- **กฎการแพร่ผ่านของเกรแฮม (Graham's Law of Effusion)**
  ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน อัตราการแพร่ผ่าน (r) จะแปรผกผันกับรากที่สองของมวลโมเลกุล (Mw) หรือความหนาแน่น (d) ของแก๊ส

$$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}}$$

3 จุดประสงค์การเรียนรู้ (KPA)

ด้านความรู้ (Knowledge: K)
- อธิบายสมมติฐานของทฤษฎีจลน์ของแก๊สทั้ง 4 ข้อได้
- อธิบายความแตกต่างระหว่างแก๊สจริงกับแก๊สอุดมคติ และระบุสภาวะที่แก๊สจริงมีพฤติกรรมคล้ายแก๊สอุดมคติได้
- อธิบายกลไกและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการแพร่ (Diffusion) กับการแพร่ผ่าน (Effusion) ได้
- คำนวณหาอัตราการแพร่ มวลโมเลกุล ความหนาแน่น ระยะทาง หรือเวลาในการแพร่ของแก๊สโดยใช้กฎของเกรแฮมได้

ด้านทักษะ/กระบวนการ (Process/Skill: P)
- สังเกต วิเคราะห์ และสรุปผลความสัมพันธ์ระหว่างมวลของแก๊สกับความเร็วในการเคลื่อนที่ ผ่านสื่อจำลองเสมือนจริง (PhET Simulation) ได้
- จัดกระทำข้อมูลทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้โจทย์ปัญหาเชิงลึกร่วมกับเพื่อนในกลุ่ม (Collaborative Task) ได้
- ให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์อธิบายปรากฏการณ์รอบตัวที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของสารได้

ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์ (Attitude: A)
- มีความซื่อสัตย์ มุ่งมั่น และรอบคอบในการทำกิจกรรมและการคำนวณเชิงปริมาณ
- รับฟังความคิดเห็นของผู้อื่นและร่วมมือกันทำงานกลุ่มอย่างสร้างสรรค์

4 โครงสร้างและการจัดแบ่งเวลาเรียน (3 คาบ)

คาบที่	หัวข้อการเรียนรู้	รูปแบบกิจกรรม Active Learning	ตัวแปร/สมการหลัก	STEM Integration	ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่เน้น
1	ทฤษฎีจลน์และพฤติกรรมของแก๊ส	• กิจกรรมจำลอง "โมเลกุลมนุษย์ปันได" • PhET Simulation: Gas Properties (แก้บ Energy)	$E_k = \frac{3}{2} k_B T$ $E_k = \frac{1}{2} mv^2$	S T E M	อธิบายทฤษฎีจลน์ของแก๊สและพฤติกรรมของแก๊สตามทฤษฎีจลน์ได้
2	การแพร่ของแก๊สและกฎของเกรแฮม	• กิจกรรม POE: "แข่งวิ่งต่างพิกัดน้ำหนัก" • กิจกรรมจำลองการทดลองแพร่ของแก๊ส NH_3 และ HCl	$\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$	S T E M	อธิบายกลไกการแพร่และการแพร่ผ่าน พร้อมคำนวณอัตราการแพร่ได้
3	การประยุกต์คำนวณและการแยกแก๊ส	• กิจกรรมแก้ปัญหาโจทย์สะสมแต้ม "Graham's Race Challenge" • กรณีศึกษาอุบัติเหตุทางอุตสาหกรรมและการแยกไอโซโทป	$\frac{s_1/t_1}{s_2/t_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$	S T E M	ประยุกต์ใช้กฎของเกรแฮมในการคำนวณและวิเคราะห์สถานการณ์จริงได้

S = Science T = Technology E = Engineering M = Mathematics

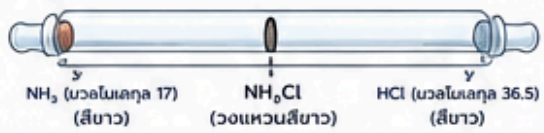
5 รายละเอียดแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้รายคาบ (5E)

1 คาบที่ 1: ทฤษฎีจลน์ของแก๊สและพฤติกรรมของแก๊ส (55 นาที)

E	Engagement 10 นาที	จิดน้ำหอมที่มุมห้อง ให้สังเกตการกระจายกลิ่น และอภิปรายเหตุผลในระดับโมเลกุล
E	Exploration 20 นาที	ใช้ PhET Simulation (Energy) เปรียบเทียบแก๊สมวลเบา–มวลหนัก ที่อุณหภูมิต่างกัน
E	Explanation 15 นาที	สรุปทฤษฎีจลน์ของแก๊ส 4 ข้อ เชื่อมโยงสมการ $E_k = \frac{3}{2} k_B T$ และ $E_k = \frac{1}{2} mv^2$
E	Elaboration 5 นาที	กิจกรรม Role Play: อุณหภูมิต่ำ-ความดันสูง vs อุณหภูมิสูง-ความดันต่ำ
E	Evaluation 5 นาที	Exit Ticket: อธิบายเหตุผลที่ CO_2 เบี่ยงเบนจากแก๊สอุดมคติ เมื่ออุณหภูมิต่ำและความดันสูง

2 คาบที่ 2: การแพร่ของแก๊สและกฎของเกรแฮม (55 นาที)

E	Engagement 10 นาที	POE: การทดลอง NH_3 และ HCl (ทายตำแหน่งวงแหวน)
E	Exploration 20 นาที	จำลองการแพร่และการแพร่ผ่านของแก๊ส เปรียบเทียบมวลโมเลกุลกับอัตราการแพร่
E	Explanation 15 นาที	สรุปความแตกต่าง Diffusion vs Effusion อธิบายกฎของเกรแฮม $\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$
E	Elaboration 5 นาที	ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราการแพร่ของแก๊ส 2 ชนิด
E	Evaluation 5 นาที	ใบงานสรุป: โจทย์สั้น 2 ข้อ



3 คาบที่ 3: การประยุกต์คำนวณและการแยกแก๊ส (55 นาที)

E	Engagement 10 นาที	กรณีศึกษา: อุบัติเหตุแก๊สรั่ว และการแยกไอโซโทป
E	Exploration 20 นาที	กิจกรรม "Graham's Race Challenge" แข่งคำนวณหาเวลาหรือระยะทางการแพร่ของแก๊ส
E	Explanation 15 นาที	สรุปการใช้กฎของเกรแฮมรูปแบบต่าง ๆ $\frac{s_1/t_1}{s_2/t_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$
E	Elaboration 5 นาที	ประยุกต์ใช้กับการแยกก๊าซ UF_6, การกลั่นแยกเชิงร้อน และตัวอย่างอื่น ๆ
E	Evaluation 5 นาที	ควิซออนไลน์ (Kahoot/Quizizz) ประเมินผลเชิงรุก

การประเมินผล
- ประเมินระหว่างเรียน: การสังเกตพฤติกรรม, ใบงาน, Exit Ticket
- ประเมินผลงาน: ใบกิจกรรมกลุ่ม, การนำเสนอ, การคำนวณโจทย์
- ประเมินปลายหน่วย: ควิซออนไลน์และแบบทดสอบ

สื่อ/แหล่งเรียนรู้
- PhET Interactive Simulation: Gas Properties
- คลิปการทดลอง: การแพร่ของ NH_3 และ HCl
- สื่อดิจิทัล: PowerPoint, วิดีโอ, Canva, Quizizz
- เอกสารประกอบ: ใบความรู้, ใบงาน, โจทย์คำนวณ

แนวทาง STEM Integration
- S อธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์
- T ใช้เทคโนโลยีจำลองสถานการณ์
- E ออกแบบการทดลอง/แก้ปัญหา
- M ใช้คณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ความปลอดภัย
- ปฏิบัติตามกฎความปลอดภัยในห้องเรียน
- ไม่สูดดมสารเคมี/แก๊สโดยตรง
- สวมแว่นตา/ใช้อุปกรณ์ป้องกันเมื่อทำการทดลอง

เอกสาร/ใบงาน สแกนเลย!

แผนการจัดการเรียนรู้
วิชาเคมี2 (ว30222)
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ครูผู้สอน
นางปัทมาวดี โสมเกตรินทร์

ระดับชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 5 (ภาคเรียนที่ 1) | หน่วยการเรียนรู้ที่ 7 แก๊สและสมบัติของแก๊ส | เวลาเรียนรวม 2 คาบ (110 นาที)

เรื่อง : การประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับแก๊สและสมบัติของแก๊ส

รูปแบบการจัดการเรียนรู้ : Active Learning (5E Inquiry, STEM–Based Learning, และ Collaborative Problem Solving)

1 มาตรฐานการเรียนรู้ / ผลการเรียนรู้
(สสวท. ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

1. อธิบายการประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับแก๊สและสมบัติของแก๊สในชีวิตประจำวันและในอุตสาหกรรม และคำนวณปริมาตรหรือมวลของแก๊สในปฏิกิริยาเคมีโดยใช้ความรู้เรื่องแก๊สและปริมาณสารสัมพันธ์
2. อธิบายการเชื่อมโยงและประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับแก๊สในการออกแบบเทคโนโลยีอย่างมีเหตุผลและตระหนักถึงความปลอดภัย

2 สาระสำคัญ (Key Concepts)

การประยุกต์ใช้สมบัติของแก๊ส

ความรู้เรื่องกฎของแก๊สและทฤษฎีจลน์สามารถนำไปอธิบายและออกแบบเทคโนโลยีต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรม เช่น

- ถุงลมนิรภัย (Airbag)
- บอลลูนลมร้อน
- ความปลอดภัยในการใช้แก๊สภายใต้ความดันสูง

ปริมาณสารสัมพันธ์ของแก๊สในปฏิกิริยาเคมี

การคำนวณปริมาตร มวล หรือความดันของแก๊ส จะต้องนำความรู้เรื่องปริมาณสารสัมพันธ์ (โมลและสมการเคมี) มารวมกับกฎแก๊สอุดมคติ $PV = nRT$ เพื่อแปลงความสัมพันธ์ของปริมาณสารในหน่วยโมลไปเป็นสมบัติต่าง ๆ ของแก๊สที่สถานะเฉพาะตัว

กฎแก๊สอุดมคติ (Ideal Gas Law)

เชื่อมโยงปริมาณสาร (n) กับสมบัติแก๊ส (P, V, T) ที่สภาวะต่าง ๆ

$$PV = nRT$$

3 จุดประสงค์การเรียนรู้ (KPA)

ด้านความรู้ (Knowledge: K)
- อธิบายการประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องแก๊สในชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรมได้
- อธิบายการเชื่อมโยงความรู้เรื่องปริมาณสารสัมพันธ์เพื่อหาปริมาตร มวล ความดัน หรืออุณหภูมิของแก๊สในปฏิกิริยาเคมีได้
- คำนวณเชิงปริมาณเกี่ยวกับสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สในปฏิกิริยาเคมีโดยใช้ $PV = nRT$ และความดันย่อยได้

ด้านทักษะ/กระบวนการ (Process/Skill: P)
- ออกแบบและสร้าง "ถุงลมนิรภัยจำลอง" โดยคำนวณปริมาณสารเคมีเพื่อให้ได้ปริมาตรแก๊สที่เหมาะสม (STEM Challenge)
- ทำงานร่วมกับผู้อื่นเป็นกลุ่มเพื่อสืบเสาะ แก้โจทย์ปัญหา และระดมความคิดเห็นได้

ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์ (Attitude: A)
- ตระหนักถึงความสำคัญและความปลอดภัยในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเกี่ยวกับแก๊สในชีวิตจริง
- แสดงความกระตือรือร้นและยอมรับความคิดเห็นของเพื่อนสมาชิกในกลุ่มขณะร่วมกันออกแบบชิ้นงาน

4 โครงสร้างและการจัดแบ่งเวลาเรียน (2 คาบ: 110 นาที)

คาบที่	หัวข้อการเรียนรู้	รูปแบบกิจกรรม Active Learning	สมการ/ความสัมพันธ์ที่ใช้
1 (55 นาที)	**นวัตกรรมและเทคโนโลยีจากแก๊ส (STEM Airbag Challenge)**	• การมีส่วนร่วมออกแบบชิ้นงานจำลองด้วยตนเอง • การคำนวณสารตั้งต้นเพื่อสร้างปริมาตรแก๊ส • ตามเป้าหมายปฏิกิริยาเคมีและการประยุกต์กฎแก๊ส	
2 (55 นาที)	**ปริมาณสารสัมพันธ์ของแก๊สในปฏิกิริยาเคมีเชิงลึก**	• กิจกรรมกลุ่มแก้โจทย์ปัญหา "Mission to Mars" • การคำนวณเชื่อมโยง สมการเคมี ↔ $PV = nRT$	$n = \frac{PV}{RT}$ ⟷ stoichiometry

5 รายละเอียดแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้รายคาบ (5E)

คาบที่ 1: นวัตกรรมและเทคโนโลยีจากแก๊ส – STEM Airbag Challenge (55 นาที)

E	Engagement 10 นาที	• ดูคลิปการทำงานของถุงลมนิรภัย (≈1 นาที) • ตั้งคำถาม: "แก๊สปริมาณมหาศาลมาจากไหนในเสี้ยววินาที?" • นำไปสู่แนวคิด: การเกิดจากปฏิกิริยาเคมี (เช่น $2NaN_3(s) \rightarrow 2Na(s) + 3N_2(g)$)
P	Exploration 25 นาที	กิจกรรม "STEM Airbag Challenge" อุปกรณ์: ถุงซิปล็อก (~250 mL), เบกกิ้งโซดา ($NaHCO_3$), น้ำส้มสายชู 5% (CH_3COOH), ช้อน, กระบอกตวง, เครื่องชั่ง ภารกิจ: คำนวณปริมาณสารตั้งต้นให้ถุงพอง "ดีพอดี" ปฏิกิริยา: $NaHCO_3(s) + CH_3COOH(aq) \rightarrow CH_3COONa(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$
E	Explanation 10 นาที	นำเสนอผลลัพธ์และสรุปแนวทางการคำนวณ 1) ใช้ $PV = nRT$ หาจำนวนโมลของ CO_2 ที่ต้องการ 2) ใช้โมลของ CO_2 → หามวล $NaHCO_3$ และปริมาตร CH_3COOH ตามหลักปริมาณสารสัมพันธ์
E	Elaboration 5 นาที	เชื่อมโยงกรณีศึกษาจริง: ใช้ NaN_3 สลายตัวให้ N_2 และมีสารช่วย (KNO_3, SiO_2) เพื่อความปลอดภัย
E	Evaluation 5 นาที	ประเมินผลงานถุงลมนิรภัยจำลองของแต่ละกลุ่ม (ความพอดี, ความสมบูรณ์, ความถูกต้องของในคำนวณ)

คาบที่ 2: ปริมาณสารสัมพันธ์ของแก๊สในปฏิกิริยาเคมีเชิงลึก (55 นาที)

E	Engagement 10 นาที	เล่าเรื่อง "Mission to Mars" ต้องผลิต O_2 จาก $KClO_3$ ในโดมที่ P = 0.9 atm, T = 20 °C, V = 5,000 L เราจะคำนวณมวลสารตั้งต้นได้อย่างไร?
P	Exploration 20 นาที	Think–Pair–Share แก้โจทย์กลุ่ม โจทย์: $Zn(s) + 2HCl(aq) \rightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$ ใช้ Zn 6.54 g ที่ 27 °C, 1.2 atm หาปริมาตร H_2 ที่เกิดขึ้น
P	Explanation 15 นาที	ขั้นที่ 1: $n(Zn) = 6.54 / 65.4 = 0.10$ mol ขั้นที่ 2: $n(H_2) = 0.10$ mol (อัตราส่วน 1:1) ขั้นที่ 3: $V = \frac{nRT}{P} = \frac{0.10 \times 0.0821 \times 300.15}{\text{จากโจทย์ } 1.2} \Rightarrow 2.05\ L$ [g ของสารตั้งต้น] ⟷ stoichiometry ⟷ [โมลของแก๊ส (n)] ⟷ PV = nRT ⟷ [สมบัติแก๊ส (P,V,T)]
E	Elaboration 5 นาที	วิเคราะห์แก๊สเรือนกระจก (CO_2, CH_4) ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง และผลต่ออุณหภูมิโลก
E	Evaluation 5 นาที	ทำควิซท้ายคาบเดี่ยว 1 ข้อ เพื่อวัดความเข้าใจเรื่องปริมาณสารสัมพันธ์ของแก๊ส

6 สื่อการเรียนรู้และแหล่งการเรียนรู้

อุปกรณ์กิจกรรม STEM
- ถุงซิปล็อก (ระบุความจุปริมาตร)
- เบกกิ้งโซดา ($NaHCO_3$)
- น้ำส้มสายชู 5% (CH_3COOH)
- ช้อนตัก, กระบอกตวง, เครื่องชั่ง, บีกเกอร์ขนาดเล็ก

สื่อการเรียนรู้ดิจิทัล
- คลิปวิดีโอการทำงานของถุงลมนิรภัย
- สไลด์แผนภาพทิศทางการคำนวณปริมาณสารสัมพันธ์ของแก๊ส

แหล่งเรียนรู้
- หนังสือเรียนเพิ่มเติมเคมี 1 และ เล่ม 3 (สสวท.)
- วิดีโอสื่อการเรียนรู้ "การประยุกต์ใช้ความรู้เกี่ยวกับแก๊สและสมบัติของแก๊ส" สสวท. (Project 14)

7 การวัดและประเมินผลการเรียนรู้ (K–P–A)

สิ่งที่ต้องการวัด (K–P–A)	วิธีการวัด	เครื่องมือวัด	เกณฑ์การประเมิน
K **ด้านความรู้ (K)** – การคำนวณและตอบคำถาม – ความเข้าใจแนวคิด	• ตรวจใบงานและคำตอบ • แบบทดสอบท้ายคาบ	• ใบงานคำนวณ • แบบทดสอบย่อย	นักเรียนทำคะแนนได้ร้อยละ 70 ขึ้นไป ถือว่าผ่านเกณฑ์
P **ด้านทักษะ/กระบวนการ (P)** – การปฏิบัติการทดลอง – การแก้ปัญหาร่วมกลุ่ม	• สังเกตพฤติกรรมการทดลองและการระดมสมองกลุ่ม	• แบบสังเกตพฤติกรรมและการทำงานกลุ่ม	ได้รับการประเมินระดับ "ดี" ขึ้นไป ตามเกณฑ์รูบริกส์
A **ด้านคุณลักษณะ (A)** – ความรับผิดชอบ, ความปลอดภัย – การทำงานเป็นทีม	• สังเกตพฤติกรรมคุณลักษณะอันพึงประสงค์	• แบบสังเกตพฤติกรรมคุณลักษณะอันพึงประสงค์	ผ่านเกณฑ์ประเมินในระดับ "ผ่าน" ขึ้นไป

8 เกณฑ์การประเมินผลงาน STEM Airbag Challenge (Rubric Score)

ประเด็นการประเมิน	ระดับ 3 (ดีมาก)	ระดับ 2 (พอใช้)	ระดับ 1 (ปรับปรุง)
ความถูกต้องของการคำนวณ	• คำนวณปริมาณสารตั้งต้นตามสมการเคมีและกฎของแก๊สได้อย่างถูกต้องแม่นยำทุกขั้นตอน	• คำนวณปริมาณสารได้ค่อนข้างถูกต้อง แต่มีข้อผิดพลาดเล็กน้อยในเรื่องทศนิยมหรือค่าคงที่ R	• คำนวณไม่ถูกต้องตามปริมาณสารสัมพันธ์ หรือไม่ระบุที่มาของตัวเลข
ประสิทธิภาพของถุงลมนิรภัย	• ถุงซิปล็อกพองตัวได้ตึงพอดีเพื่อรับแรงกระแทก ไม่รั่วไหลและไม่ตึงขาดจากการคำนวณที่ดี	• ถุงพองตัวได้ค่อนข้างดี แต่มีความตึงน้อยเกินไปหรือมากจนถุงเริ่มปริ่มรั่วซึม	• ถุงแฟบสนิท ไม่มีแก๊สพองตัวขึ้นมา หรือถุงซิปล็อกระเบิดฉีกขาดออกอย่างรุนแรง

แผนการจัดการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิชาเคมี2 (ว30222)

หน่วยการเรียนรู้ที่ 8 : อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

ครูผู้สอน
นางปัทมาวดี โสมเกตรินทร์

ระดับชั้น
มัธยมศึกษาปีที่ 5
(ภาคเรียนที่ 1)

เวลาเรียนรวม
7 คาบ (385 นาที)

รูปแบบการจัดการเรียนรู้
Active Learning (5E Inquiry, Data-Driven Learning, และ Collaborative Problem Solving)

1 มาตรฐานการเรียนรู้ / ผลการเรียนรู้
(สสวท. ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

- อธิบายความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เขียนกราฟ และคำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเฉลี่ย อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ณ ขณะหนึ่ง และอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์ตามปริมาณสารสัมพันธ์

2 สาระสำคัญ (Key Concepts)

- **อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (Reaction Rate, r)**
  คือ ปริมาณของสารตั้งต้นที่ลดลง หรือปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีในหนึ่งหน่วยเวลา

$$r = -\frac{\Delta[\text{Reactant}]}{\Delta t} = \frac{\Delta[\text{Product}]}{\Delta t}$$

- **ประเภทของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี**
  - เฉลี่ย (Average Rate) : การเปลี่ยนแปลงทั้งหมด/เวลาทั้งหมด
  - ณ ช่วงเวลา (Interval Rate) : การเปลี่ยนแปลงในช่วงนั้น
  - ณ ขณะหนึ่ง (Instantaneous Rate) : ความชันของเส้นสัมผัสบนกราฟ
- **ความสัมพันธ์ตามปริมาณสารสัมพันธ์**
  สำหรับสมการ $aA + bB \rightarrow cC + dD$

$$r = -\frac{1}{a}\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{1}{b}\frac{\Delta[B]}{\Delta t} = \frac{1}{c}\frac{\Delta[C]}{\Delta t} = \frac{1}{d}\frac{\Delta[D]}{\Delta t}$$

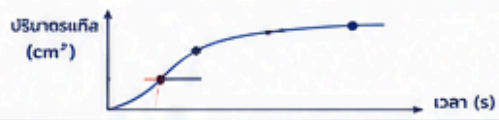
3 จุดประสงค์การเรียนรู้ (KPA)

ด้านความรู้ (Knowledge : K)
- อธิบายความหมายและประเภทของอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้
- หาอัตราเฉลี่ย, ณ ช่วงเวลา และ ณ ขณะหนึ่งจากกราฟได้
- เขียนสมการความสัมพันธ์ของอัตราตามปริมาณสารสัมพันธ์ได้

ด้านทักษะ/กระบวนการ (Process/Skill : P)
- ทดลองวัดปริมาตรแก๊สและจัดกระทำข้อมูลเป็นกราฟได้
- ลากเส้นสัมผัสและคำนวณความชัน (Slope) ได้
- แก้โจทย์อัตราการเกิดปฏิกิริยาและความสัมพันธ์ของสารได้

ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์ (Attitude : A)
- ซื่อสัตย์ในการบันทึกข้อมูลการทดลอง
- รอบคอบในการคำนวณและการเขียนกราฟ
- ทำงานร่วมกับผู้อื่น ยอมรับฟังความคิดเห็น

4 โครงสร้างและการจัดแบ่งเวลาเรียน (7 คาบ : 385 นาที)

คาบที่	หัวข้อการเรียนรู้	รูปแบบกิจกรรม Active Learning	ตัวแปร/ปฏิกิริยาเคมีหลัก
1-2	ความหมายและการทดลองหาอัตราการเกิดปฏิกิริยา	• กิจกรรมสืบเสาะ "ช้า–เร็ว แค่ไหนในชีวิตจริง" • ปฏิบัติการทดลอง "ปฏิกิริยาระหว่างโลหะ Mg กับกรด HCl"	$Mg(s) + 2HCl(aq) \rightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g)$
3-4	การวิเคราะห์กราฟและการคำนวณอัตรา 3 รูปแบบ	• กิจกรรมสร้างกราฟพิกัดด้วยข้อมูลจริง • กิจกรรมฝึกทักษะการลากเส้นหา Slope และคำนวณหา r_{avg}, $r_{interval}$, r_{inst}	
5-6	อัตราตามปริมาณสารสัมพันธ์ในสมการเคมี	• กิจกรรมกลุ่มสืบเสาะ "อัตราเร็วไม่เท่ากันแต่สัมพันธ์กัน" • กิจกรรม "Stoichiometric Rate Relay" เกมแก้โจทย์ปัญหา	$r = -\frac{1}{a}\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = \frac{1}{c}\frac{\Delta[C]}{\Delta t}$
7	สรุปประมวลความรู้และประเมินผลรวบยอด	• กิจกรรม "One Page Summary Concept Map" • ควิซเก็บคะแนนแบบมีปฏิสัมพันธ์ (Kahoot/Quizizz)	ทุกแนวคิดย่อยในหัวข้อ 8.1

5 รายละเอียดแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้รายคาบ (5E)

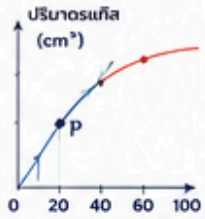
คาบที่ 1–2 : ความหมายและการทดลองหาอัตราการเกิดปฏิกิริยา (110 นาที)

- **E Engage** (15 นาที) จำแนกปฏิกิริยา "เร็ว–ช้า" จากภาพตัวอย่าง
- **E Explore** (55 นาที) ทดลอง: Mg + HCl วัดปริมาตร H_2 กับเวลา
- **E Explain** (25 นาที) สรุปความหมายของอัตรา r และอภิปรายผล
- **E Elaborate** (10 นาที) หน่วยของอัตราและการประยุกต์ใช้
- **E Evaluate** (5 นาที) ประเมินจากใบงานและการร่วมมือ

$$r = -\frac{\Delta[\text{Reactant}]}{\Delta t} = \frac{\Delta[\text{Product}]}{\Delta t}$$

คาบที่ 3–4 : วิเคราะห์กราฟและคำนวณอัตรา 3 รูปแบบ (110 นาที)

- **E Engage** (10 นาที) คาดการณ์รูปกราฟจากข้อมูล
- **E Explore** (45 นาที) พล็อตจุดและวาดกราฟ (ปริมาตร H_2 กับเวลา)
- **E Explain** (30 นาที) หา r_{avg}, $r_{interval}$, r_{inst} จากความชันเส้นสัมผัส
- **E Elaborate** (15 นาที) เปรียบเทียบความชันในช่วงเวลาต่าง ๆ
- **E Evaluate** (10 นาที) โจทย์ฝึกและวิเคราะห์กราฟ



$$\text{Slope } (m) = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$
อัตรา ณ ขณะหนึ่ง = ความชันเส้นสัมผัส

คาบที่ 5–6 : อัตราตามปริมาณสารสัมพันธ์ในสมการเคมี (110 นาที)

- **E Engage** (10 นาที) ตั้งคำถามจากสมการเคมี
- **E Explore** (40 นาที) ปริมาณการเปลี่ยนแปลงของสารแต่ละชนิด
- **E Explain** (25 นาที) สรุปสมการความสัมพันธ์ของอัตรา
- **E Elaborate** (25 นาที) แข่งชิง "Stoichiometric Rate Relay"
- **E Evaluate** (10 นาที) ใบงานฝึกหัดคำนวณรายบุคคล

$$2N_2O_3(g) \rightarrow 4NO_2(g) + O_2(g)$$

$$r = -\frac{1}{2}\frac{\Delta[N_2O_3]}{\Delta t} = \frac{1}{4}\frac{\Delta[NO_2]}{\Delta t} = \frac{\Delta[O_2]}{\Delta t}$$

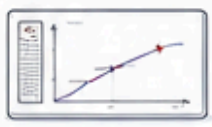
คาบที่ 7 : สรุปประมวลความรู้และประเมินผลรวบยอด (55 นาที)

- **E Engage** (10 นาที) คลิปดุอลนิรภัย/อุตสาหกรรม
- **E Explore & Explain** (20 นาที) One Page Summary Concept Map
- **E Elaborate** (15 นาที) เกมตอบคำถาม (Quizizz/Kahoot)
- **E Evaluate** (10 นาที) สรุปผลการประเมินและเฉลยข้อซักถาม

6 สื่อการเรียนรู้และแหล่งการเรียนรู้

อุปกรณ์ทดลอง (คาบที่ 1–2)
- ลวดแมกนีเซียม (Mg), กระดาษทราย
- กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.2 mol/L
- หลอดทดลอง, ท่อส่งแก๊ส, กระบอกตวง
- อ่างน้ำ, นาฬิกาจับเวลา

สื่อการสอนเชิงทัศน์
- บัตรภาพปฏิกิริยาเคมีช้า–เร็ว
- สไลด์การลากเส้นสัมผัสและคำนวณ Slope



ระบบการเรียนรู้ดิจิทัล
- Quizizz / Kahoot
- แบบทดสอบออนไลน์

เอกสาร
- ใบงานปฏิบัติการทดลอง "อัตราปฏิกิริยาไลเซอมกนีเซียม"
- ใบกิจกรรมและแบบฝึกหัดคำนวณอัตรา 3 ประเภท

7 การวัดและประเมินผลการเรียนรู้ (K–P–A)

สิ่งที่ต้องการวัด (K–P–A)		เครื่องมือวัด	เกณฑ์การประเมิน
K ความรู้	• คำนวณ ใบงาน/กราฟ/แผ่นกิจกรรม • ทำแบบทดสอบความรู้	• ใบกิจกรรม • ควิซสรุปบท	นักเรียนทำคะแนนได้ร้อยละ 70 ขึ้นไป ถือว่าผ่านเกณฑ์
P ทักษะ/กระบวนการ	• สังเกตการทดลองและบันทึกข้อมูล • วาดกราฟและหาความชัน • แก้โจทย์ปัญหา	• แบบประเมินทักษะการทดลอง/กราฟ • แบบประเมินการวิเคราะห์ผล	สรุปผลความถูกต้องของการวาดเส้นและคำนวณได้ระดับ "ดี" ขึ้นไป
A คุณลักษณะ	• สังเกตพฤติกรรมการทำงานกลุ่ม • ปฏิบัติตามกฎและความปลอดภัย	• แบบสังเกตพฤติกรรมคุณลักษณะอันพึงประสงค์	ผ่านเกณฑ์ประเมินในระดับ "ผ่าน" ขึ้นไป

8 เกณฑ์การประเมินการเขียนกราฟและการหา Slope จากข้อมูลการทดลอง (Rubric)

ประเด็นประเมิน	ระดับ 3 (ดีมาก)	ระดับ 2 (พอใช้)	ระดับ 1 (ปรับปรุง)
การเขียนและพล็อตจุดกราฟ	พล็อตจุดข้อมูลพิกัดระหว่างปริมาตรแก๊สและเวลาได้ถูกต้องครบถ้วน วาดเส้นโค้งผ่านทุกจุดได้อย่างราบเรียบสวยงาม และกำหนดสเกลแกนอย่างเหมาะสม	พล็อตจุดส่วนใหญ่ถูกต้อง ลากเส้นผ่านจุดได้ แต่สเกลแกนหรือการเว้นช่องไฟไม่สมบูรณ์เล็กน้อย	พล็อตจุดผิดพลาดหลายแห่ง ลากเส้นกราฟโยงกันเป็นหยัก ๆ และไม่อิงกับขนาดข้อมูลจริง
การหาอัตรา ณ ขณะใดขณะหนึ่ง (Instantaneous Rate)	ลากเส้นตรงสัมผัสเส้นโค้ง ณ จุดเวลาที่กำหนดได้อย่างถูกต้อง อ่านค่าพิกัดจุดสัมผัส และแสดงวิธีหาค่าความชัน (Slope) ได้แม่นยำและตอบหน่วยถูกต้อง	ลากเส้นตรงเพื่อสัมผัสกราฟได้ค่อนข้างดี แต่อ่านพิกัดจุดคลาดเคลื่อนไปบ้าง ส่งผลให้ผลการคำนวณความชันคลาดเคลื่อนเล็กน้อย	ลากเส้นตัดผ่านเส้นกราฟโค้งแทนที่จะเป็นเส้นสัมผัส หรือคำนวณความชันโดยไม่มีการวาดเส้นพิกัดสัมผัส

⚠ **ความปลอดภัย :** สวมอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลตลอดเวลา • ห้ามสูดดมสารเคมี • กรดมีฤทธิ์กัดกร่อน หลีกเลี่ยงการสัมผัสผิวหนังและดวงตา • ปฏิบัติตามกฎของห้องปฏิบัติการอย่างเคร่งครัด

แผนการจัดการเรียนรู้
วิชาเคมี2 (ว30222)

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ครูผู้สอน
นางปัทมาวดี โสมเกตรินทร์

ระดับชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 5 (ภาคเรียนที่ 1)

เวลาเรียนรวม 3 คาบ (165 นาที)

หน่วยการเรียนรู้ที่ 8 : อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

เรื่อง : แนวคิดเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (ทฤษฎีการชน และพลังงานก่อกัมมันต์)

รูปแบบการจัดการเรียนรู้ : Active Learning (5E Inquiry, Model-Based Learning, และ Role-Playing Simulation)

1 มาตรฐานการเรียนรู้ / ผลการเรียนรู้
(สสวท. ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

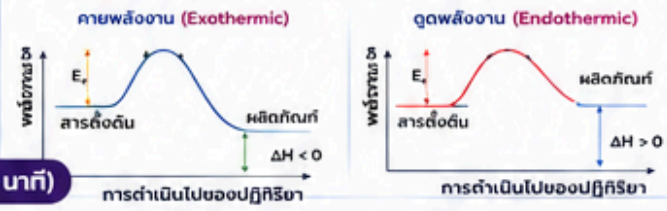
- เขียนแผนภาพ และอธิบายทิศทางการชนของอนุภาคและพลังงานที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
- โดยใช้ทฤษฎีจลน์และการชนต้ะนของอนุภาค

2 สาระสำคัญ (Key Concepts)

- **ทฤษฎีการชน (Collision Theory)**
  ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นได้จริง (Effective collision) ต้องผ่าน 2 เงื่อนไข
  1. ทิศทางการชนที่เหมาะสม (Proper Orientation)
  2. พลังงานที่ชนกันต้องมากพอ (Sufficient Energy)
     พลังงานต้อง ≥ พลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) ฯ ···ฯ

- **ทฤษฎีสถานะแทรนซิชัน (Transition State Theory)**
  เมื่ออนุภาคชนกันด้วยทิศทางและพลังงานที่เหมาะสม เกิด "สารเชิงซ้อนกัมมันต์ (Activated Complex)" หรือ "สถานะแทรนซิชัน (Transition State)" ซึ่งมีพลังงานสูงและไม่เสถียร

- **แผนภาพพลังงานของปฏิกิริยา (Energy Diagrams)**



3 จุดประสงค์การเรียนรู้ (KPA)

ด้านความรู้ (Knowledge: K)
- อธิบายทิศทางการชนและพลังงานที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้
- อธิบายความหมายของ E_a, Activated Complex และ Transition State ได้
- ระบุประเภทปฏิกิริยาจากแผนภาพพลังงานได้

ด้านทักษะ/กระบวนการ (Process/Skill: P)
- สร้างหรือวิเคราะห์แบบจำลองทางความคิดเพื่ออธิบายการชนของอนุภาคได้
- คำนวณค่า E_a และ ΔH จากแผนภาพพลังงานได้อย่างถูกต้อง

ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์ (Attitude: A)
- มีความสนใจใฝ่รู้ มุ่งมั่น และรอบคอบในการทำงานกลุ่ม
- ยอมรับฟังความคิดเห็นและเหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของเพื่อนร่วมชั้น

4 โครงสร้างและการจัดแบ่งเวลาเรียน (3 คาบ: 165 นาที)

คาบที่	หัวข้อการเรียนรู้	รูปแบบกิจกรรม Active Learning	ตัวแปร/คำศัพท์สำคัญ
1	ทฤษฎีการชนและทิศทางที่เหมาะสม	• กิจกรรม Role-play "จิ๊กซอว์โมเลกุลมีชีวิต" • แบบจำลองการต่อบล็อกเลโก้จำลองทิศทางการชน	Collision, Proper Orientation
2	พลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) และสถานะสลาย-สร้าง	• กิจกรรมจำลอง "ลูกบอลตะลุยเนินเขาพลังงาน" • สื่อการสอนจำลองสถานการณ์ Transition State	E_a, Activated Complex, Transition State
3	แผนภาพพลังงานกับการดำเนินไปของปฏิกิริยา	• กิจกรรมกลุ่มสืบเสาะ "ถอดรหัสกราฟพลังงาน" • เกมแข่งขันจัดประเภทปฏิกิริยาดูด-คายความร้อน	$\Delta H = E_p - E_r$, Exothermic, Endothermic

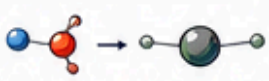
5 รายละเอียดแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้รายคาบ (5E)

คาบที่ 1 : ทฤษฎีการชนและทิศทางที่เหมาะสม (55 นาที)

E Engagement (10 นาที)
ชนคลิปอุบัติเหตุรถชน
ตั้งคำถาม : ทำไมการชนแต่ละทิศทางจึงไม่เท่ากัน?

E Exploration (20 นาที)
Role-play โมเลกุล $A_2 + B_2 \rightarrow 2AB$
จำลองการชน 2 กรณี

E Explanation (15 นาที)
สรุปทฤษฎีการชน : ต้องชนถูกทิศทางจึงเกิดปฏิกิริยา



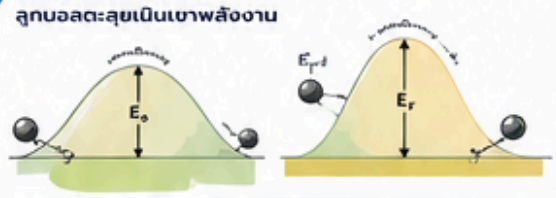
E Elaboration (5 นาที)
นอกจากทิศทางแล้ว ยังต้องมี "พลังงาน" มากพอหรือไม่?

E Evaluation (5 นาที)
ใบงานสรุปและคำถามท้ายคาบ

คาบที่ 2 : พลังงานก่อกัมมันต์ (55 นาที)

E Engagement (10 นาที)
ทำไมไม้ขีด "ดูด" แล้วติดไฟ? ต้องเพิ่มอะไร?

E Exploration (20 นาที)
ลูกบอลตะลุยเนินเขาพลังงาน



E Explanation (15 นาที)
- E_a = พลังงานน้อยที่สุดที่ต้องมีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา
- จุดสูงสุด = Transition State
- Activated Complex = โครงสร้างกึ่งกลาง ที่มีพลังงานสูงและไม่เสถียร

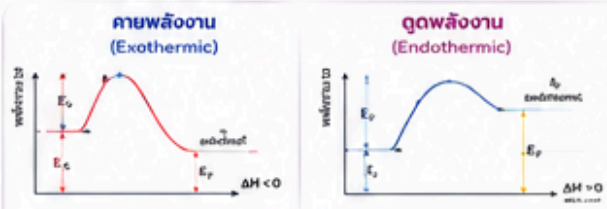
E Elaboration (15 นาที)
E_a ต่ำ → เกิดปฏิกิริยาได้ง่ายและเร็ว

E Evaluation (5 นาที)
สรุปภาพเน้นเขา E_a ในสมุด

คาบที่ 3 : แผนภาพพลังงาน (55 นาที)

E Engagement (10 นาที)
คลิปดุดทำความร้อน/เย็น พลังงานไหลเข้า หรือออก?

P Exploration (20 นาที)
วิเคราะห์กราฟพลังงาน 2 แบบ



ระบุตำแหน่ง : E_r, E_p, E_a, ΔH

E Explanation (15 นาที)
- $E_a = E_{activated\ complex} - E_r$
- $\Delta H = E_p - E_r$ (ลบ = คาย, บวก = ดูด)

E Elaboration (5 นาที)
ปฏิกิริยาย้อนกลับ : $E_{a,reverse}$ วัดจาก E_p ขึ้นสู่ยอด

A Evaluation (5 นาที)
ไอทย์สิ้น 2 ข้อ ตรวจเช็กความเข้าใจ

6 สื่อการเรียนรู้และแหล่งการเรียนรู้

อุปกรณ์ / กิจกรรม	สื่อดิจิทัล	แหล่งเรียนรู้
• บัตรอักษรโมเลกุล • บอร์ดเนินเขาพลังงาน (ลูกบอลเหล็ก) • แผนภาพกราฟพลังงาน	• ภาพ 2D/3D การชน • สไลด์สรุปเนื้อหา • Quizizz / Kahoot	• หนังสือเรียน เคมี ม.5 เล่ม 3 (อ้างอิง) • วิดีโอสื่อสอนออนไลน์ (Project 14 สสวท.) • ใบงาน / แบบฝึกหัด

7 การวัดและประเมินผลการเรียนรู้ (K-P-A)

สิ่งที่ต้องการวัด (K-P-A)	วิธีการวัด	เครื่องมือวัด
K ด้านความรู้ความเข้าใจ	ตรวจใบงานกราฟและคำถามทำแบบทดสอบย่อย	ใบงาน, แบบทดสอบย่อย
P ด้านทักษะ/กระบวนการ	สังเกตการจำลอง/ทดลอง วิเคราะห์กราฟ, คำนวณ E_a, ΔH	แบบประเมินทักษะการทดลองและกราฟ
A ด้านคุณลักษณะ	สังเกตความมุ่งมั่น ซื่อสัตย์ และการทำงานกลุ่ม	แบบสังเกตพฤติกรรมคุณลักษณะอันพึงประสงค์

8 เกณฑ์การประเมินการวิเคราะห์และถอดรหัสกราฟพลังงาน (Rubrics)

ประเด็นประเมิน	ระดับ 3 (ดีมาก)	ระดับ 2 (พอใช้)	ระดับ 1 (ปรับปรุง)
การระบุตำแหน่งบนกราฟ	ระบุ E_r, E_p, E_a, ΔH ได้ถูกต้องครบถ้วน 100%	ระบุได้เกือบครบ มีสับสนเล็กน้อย	สับสนหลายจุด ไม่เข้าใจตำแหน่ง
การระบุประเภทปฏิกิริยาและการคำนวณ	ระบุถูกต้อง และคำนวณค่า E_a, ΔH ถูกต้อง พร้อมหน่วย	ระบุถูกต้อง แต่คำนวณหรือหน่วยมีคลาดเคลื่อน	ระบุผิด และไม่สามารถคำนวณได้

ความปลอดภัย
- ปฏิบัติตามกฎความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการอย่างเคร่งครัด
- สวมแว่นตา ถุงมือ และเสื้อกาวน์ทุกครั้ง
- ห้ามรับประทานอาหารหรือดื่มน้ำในห้องปฏิบัติการ

แผนการจัดการเรียนรู้
วิชาเคมี2 (ว30222)
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ครูผู้สอน
นางปัทมาวดี โสมเกตรินทร์

ระดับชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 5 (ภาคเรียนที่ 1) | หน่วยการเรียนรู้ที่ 8 อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี | เวลาเรียนรวม 8 คาบ (440 นาที)

เรื่อง : ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

รูปแบบการจัดการเรียนรู้ : Active Learning (5E Inquiry, Predict–Observe–Explain (POE), และ STEM–Inquiry)

1 มาตรฐานการเรียนรู้ / ผลการเรียนรู้
(สสวท. ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

- ทดลอง และอธิบายผลของความเข้มข้น พื้นที่ผิวของสารตั้งต้น อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และอภิปรายผลของปัจจัยเหล่านั้นต่อชีวิตประจำวันหรืออุตสาหกรรม

2 สาระสำคัญ (Key Concepts)

- อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งอธิบายในระดับอนุภาคด้วย ทฤษฎีการชน (Collision Theory)

ความเข้มข้นของสารตั้งต้น
เพิ่มความหนาแน่นของอนุภาค → ชนกันบ่อยขึ้น → อัตราเร็วเพิ่มขึ้น

พื้นที่ผิวสัมผัสของสารตั้งต้น
เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส (บด/ฉีกละเอียด) → การชนมากขึ้น → อัตราเร็วเพิ่มขึ้น

อุณหภูมิ
อนุภาคมีพลังงานจลน์มากขึ้น และมีอนุภาคที่มีพลังงาน ≥ E_a มากขึ้น → อัตราเร็วเพิ่มขึ้น

ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) / ตัวหน่วงปฏิกิริยา (Inhibitor)
ตัวเร่ง: ทำให้ E_a ลดลง → เกิดเร็วขึ้น (ตัวเร่งไม่ถูกใช้หมด)
ตัวหน่วง: ทำให้ E_a เพิ่มขึ้น/ขัดขวาง → เกิดช้าลง

ความดัน (สำหรับแก๊ส)
เพิ่มความดัน = ลดปริมาตร → อนุภาคชิดกันมากขึ้น → ชนกันบ่อยขึ้น → อัตราเร็วเพิ่มขึ้น

3 จุดประสงค์การเรียนรู้ (KPA)

ด้านความรู้ (Knowledge: K)
- อธิบายผลของความเข้มข้น พื้นที่ผิว อุณหภูมิ ตัวเร่งปฏิกิริยา และความดันที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาได้
- อธิบายกลไกในระดับอนุภาคและความหมายของ E_a, Activated Complex และ Transition State
- ยกตัวอย่างการประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรม

ด้านทักษะ/กระบวนการ (Process/Skill: P)
- ปฏิบัติการทดลองเพื่อสืบค้นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราได้อย่างปลอดภัยและเป็นระบบ
- สังเกต เก็บข้อมูล จัดกระทำข้อมูล นำเสนอเป็นตารางและกราฟได้
- แก้ปัญหาและเลือกใช้สภาวะที่เหมาะสมในการควบคุมอัตรา

ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์ (Attitude: A)
- มีความรับผิดชอบ ซื่อสัตย์ มุ่งมั่นในการทำงานกลุ่ม
- ตระหนักถึงความปลอดภัยและการใช้สารเคมีอย่างคุ้มค่า
- รับฟัง ยอมรับ และเคารพความคิดเห็นที่แตกต่าง

4 โครงสร้างและการจัดแบ่งเวลาเรียน (8 คาบ : 440 นาที)

คาบที่	หัวข้อการเรียนรู้	รูปแบบกิจกรรม Active Learning	ตัวแปร/สารเคมีหลัก
1–2	ผลของความเข้มข้นและพื้นที่ผิวสัมผัส	• ปฏิบัติการทดลอง "หินปูนปะทะกรดไฮโดรคลอริก" • อภิปรายทฤษฎีการชนผ่านบัตรภาพระดับโมเลกุล	$CaCO_3(s) + 2HCl(aq) \rightarrow CaCl_2(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$
3–4	ผลของอุณหภูมิและการเปลี่ยนแปลงพลังงาน	• เทคนิค POE ด้วย "ปฏิกิริยาโซเดียมไธโอซัลเฟตกับกรด" • การพยากรณ์วิเคราะห์กราฟการกระจายพลังงานจลน์	$Na_2S_2O_3(aq) + 2HCl(aq) \rightarrow 2NaCl(aq) + H_2O(l) + SO_2(g) + S(s)$
5–6	บทบาทของตัวเร่งและตัวหน่วงปฏิกิริยา	• ปฏิบัติการทดลอง "สลายความหนืดของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์" • แผนภาพเปรียบเทียบกราฟพลังงานเมื่อเติมตัวเร่ง	$2H_2O_2(aq) \xrightarrow{\text{Catalyst}} 2H_2O(l) + O_2(g)$
7	ผลของความดันและการประยุกต์ในชีวิตจริง	• กิจกรรมสืบค้นแก้ปัญหา "แก้วิกฤตการณ์ถนอมอาหารอวกาศ" • การนำเสนอกรณีศึกษาผ่านแผนภาพแชร์ความรู้	ปัจจัยเรื่องความดันและการประยุกต์ใช้
8	สรุปเชื่อมโยงและทดสอบความเข้าใจรวบยอด	• กิจกรรม "Interactive Board Game: Rate Factors" • การประเมินตนเองและการทำควิซประมวลผลเดียว	ทุกปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

5 รายละเอียดแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้รายคาบ (5E)

คาบที่ 1–2 ผลของความเข้มข้นและพื้นที่ผิวสัมผัส (110 นาที)
- **E** Engage (15 นาที) ทิ้งกรรมเปรียบเทียบเม็ดยาพ่นทึ้งเม็ด vs บดละเอียด
- **E** Explore (55 นาที) ทดลองหินปูนก้อน vs ผง และกรดเข้มข้นต่างกัน บันทึกปริมาณแก๊ส CO_2 กับเวลา
- **E** Explain (25 นาที) สรุปผลเชื่อมโยงทฤษฎีการชน (ความหนาแน่น/พื้นที่ผิว)
- **E** Elaborate (10 นาที) ประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน
- **E** Evaluate (5 นาที) ใบงานวิเคราะห์ผลและคำถามท้ายคาบ

คาบที่ 3–4 ผลของอุณหภูมิและพลังงาน (110 นาที)
- **E** Engage (15 นาที) POE: ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างกันจะเกิดเร็วต่างกันอย่างไร?
- **E** Explore (50 นาที) ทดลอง $Na_2S_2O_3$ กับ HCl ที่อุณหภูมิ 10°C, 25°C, 50°C จับเวลาจนเห็นกากตะกอนหายไป
- **E** Explain (25 นาที) อธิบายด้วยกราฟการกระจายพลังงาน จำนวนอนุภาคที่มี E. E_a มากขึ้น
- **E** Elaborate (15 นาที) เชื่อมโยงการเก็บรักษาอาหาร
- **E** Evaluate (10 นาที) ใบงาน POE และกราฟจำลอง

คาบที่ 5–6 ผลของตัวเร่ง/ตัวหน่วงปฏิกิริยา (110 นาที)
- **E** Engage (15 นาที) H_2O_2 ไส้ย่อสต์หรือ MnO_2 ฟองแก๊สพวยพุ่ง!
- **E** Explore (50 นาที) ทดลอง H_2O_2 กับ MnO_2 ทดสอบความคงตัวของตัวเร่ง (กรอง ล้าง ชั่งน้ำหนัก ใช้ซ้ำ)
- **E** Explain (25 นาที) กราฟพลังงาน เมื่อมีตัวเร่ง E_a ลดลง (เส้นเขาเตี้ยลง)
- **E** Elaborate (15 นาที) เอนไซม์ในสิ่งมีชีวิต และตัวหน่วง
- **E** Evaluate (5 นาที) สรุปบทบาทตัวเร่งและตัวหน่วง

คาบที่ 7 ผลของความดันและการประยุกต์ (55 นาที)
- **E** Engage (10 นาที) คลิปการบรรจุแก๊ส/ถนอมอาหาร
- **P** Explore (20 นาที) แก้วิกฤตการณ์ถนอมอาหารอวกาศ วิเคราะห์ผลของความดันและการใช้ก๊าซเฉื่อย
- **E** Explain (15 นาที) เชื่อมโยงความดัน = เพิ่มความหนาแน่นอนุภาค → ชนบ่อยขึ้น
- **E** Elaborate (5 นาที) อุตสาหกรรม Haber process
- **E** Evaluate (5 นาที) ประเมินการนำเสนอและเหตุผล

คาบที่ 8 สรุปและทดสอบความเข้าใจ (55 นาที)
- **E** Engage (5 นาที) เกมทบทวนความรู้
- **P** Explore & Explain (20 นาที) Interactive Board Game: Rate Factors
- **E** Elaborate (20 นาที) สอบควิซรวบยอด 10 ข้อ
- **E** Evaluate (10 นาที) เฉลยข้อสอบ สะท้อนตนเองและสรุปความเข้าใจ

6 สื่อการเรียนรู้และแหล่งการเรียนรู้

อุปกรณ์ทดลอง
- $CaCO_3$ ก้อน/ผง, เม็ดวิตามินซีฟู่
- HCl เข้มข้นต่าง ๆ
- $Na_2S_2O_3$, กระดาษกากบาท
- H_2O_2 6%, MnO_2, ยีสต์/มันฝรั่ง
- นิทเทอร์, หลอดทดลอง, จำนำฟุ่น/น้ำแข็ง
- เครื่องชั่ง, ตะเกียงแอลกอฮอล์, นาฬิกาจับเวลา

สื่อและแบบจำลอง
- ภาพกิจกรรมการชน (ถูก/ผิด)
- กราฟพลังงานเปรียบเทียบมี/ไม่มีตัวเร่ง
- กราฟ Maxwell–Boltzmann
- สไลด์การสอน, วิดีโอจำลอง

รปัตนนิมตเชิงรุก
- หนังสือเรียนเพิ่มเติม เคมี ม.5 เล่ม 3 (สสวท.)
- วิดีโอสื่อสอนออนไลน์เรื่อง
- "แนวคิดเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี" (Project 14 สสวท.)

7 การวัดและประเมินผลการเรียนรู้ (K–P–A)

สิ่งที่ต้องการวัด (K–P–A)	วิธีการวัด	เครื่องมือวัด	เกณฑ์การประเมิน
K ด้านความรู้ (K)	• การตรวจตาราง/กราฟ/ใบงาน • คะแนนสอบควิซท้ายหน่วย	• ใบรายงานผลการทดลอง • ข้อสอบรวบยอด 10 ข้อ	ทำคะแนนได้ร้อยละ 70 ขึ้นไป ถือว่าผ่านเกณฑ์
P ด้านทักษะ/กระบวนการ (P)	• สังเกตการปฏิบัติการทดลอง • ทักษะการพล็อตกราฟ • การวิเคราะห์ข้อมูล	• แบบประเมินทักษะปฏิบัติการ • แบบประเมินการวิเคราะห์กราฟ	ผลงานและทักษะระดับ "ดี" ขึ้นไป ตามเกณฑ์รูบริกส์
A ด้านคุณลักษณะ (A)	• การทำงานร่วมกันในกลุ่ม • วินัยและความปลอดภัย	• แบบสังเกตพฤติกรรมคุณลักษณะอันพึงประสงค์	ผ่านการประเมินในระดับ "ผ่าน" ขึ้นไป

8 เกณฑ์การประเมินการทำปฏิบัติการเคมีและการสืบเสาะวิเคราะห์ผล (Rubric)

ประเด็นประเมิน	ระดับ 3 (ดีมาก)	ระดับ 2 (พอใช้)	ระดับ 1 (ปรับปรุง)
การทดลองและการเก็บข้อมูล	ทำการทดลองตามขั้นตอนปลอดภัยครบถ้วน บันทึกข้อมูลอย่างเป็นระบบ เรียบร้อย ถูกต้องตามหลักวิทยาศาสตร์	ทำการทดลองส่วนใหญ่สำเร็จ บันทึกผลได้ถูกต้อง แต่มีจุดบกพร่องเล็กน้อยในระเบียบความปลอดภัย หรือตารางข้อมูลไม่เรียบร้อย	ไม่ตั้งใจทำการทดลอง ทำตามเพื่อนจดบันทึกข้อมูลผิดหรือไม่สอดคล้องกับสภาพปฏิกิริยาจริง
การสืบเสาะอภิปรายผลในระดับอนุภาค	อธิบายผลเชื่อมโยงทฤษฎีการชน ความหนาแน่นอนุภาค การกระจายพลังงาน และค่า E_a ได้ถูกต้องกระจ่างแจ้งทุกมิติ	อธิบายความเชื่อมโยงปัจจัยกับความเร็วปฏิกิริยาได้ถูกต้อง แต่อาจมีบางส่วนสั้นสนการรอนหรือการอ้าง E_a	ตอบคำถามอ้างอิงผลที่เห็นทางกายภาพ ไม่อ้างอิงระดับโมเลกุล ทฤษฎีการชน หรือค่า E_a เลย

ความปลอดภัยสำคัญเสมอ
- สวมแว่นตา ถุงมือ และเสื้อกาวน์ทุกครั้ง
- อ่านคำเตือนบนฉลากสารเคมีและใช้อย่างระมัดระวัง
- ทิ้งของเสียในจุดที่กำหนด ห้ามเทสารลงท่อระบายน้ำ

แผนการจัดการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิชาเคมี2 (ว30222)

ระดับชั้น: มัธยมศึกษาปีที่ 5 (ภาคเรียนที่ 1)

หน่วยการเรียนรู้ที่ 9: สมดุลเคมี สภาวะสมดุล (Equilibrium State) — เวลาที่ใช้: 8 คาบ (คาบละ 55 นาที)

1 ผลการเรียนรู้และจุดประสงค์การเรียนรู้

ผลการเรียนรู้

ทดสอบและอธิบายความหมายของปฏิกิริยาผันกลับได้และภาวะสมดุล รวมถึงอธิบายการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าและอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเมื่อเริ่มปฏิกิริยาจนกระทั่งระบบอยู่ในภาวะสมดุล

จุดประสงค์การเรียนรู้

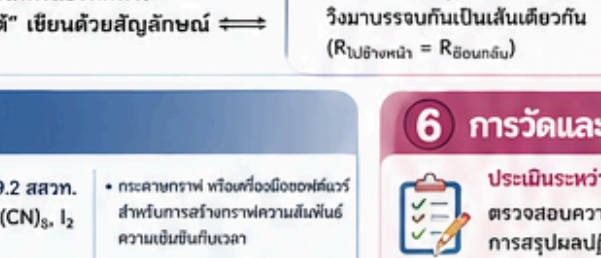
1. ทดสอบและอธิบายความหมายของปฏิกิริยาผันกลับได้และสภาวะสมดุล (สมดุลพลวัต) ผ่านการทดสองและกิจกรรมจำลองสถานการณ์
2. วิเคราะห์และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารหรืออัตราการเกิดปฏิกิริยากับเวลา เพื่อระบุเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล

2 สาระสำคัญ / ความคิดรวบยอด

การเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ในระบบปิด เมื่อดำเนินไปช่วงเวลาหนึ่ง ระบบจะเข้าสู่ “สภาวะสมดุล” หรือ “สมดุลพลวัต (Dynamic Equilibrium)” ซึ่งเป็นสภาวะที่มีปริมาณหรือความเข้มข้นของสารทุกชนิดในระบบคงที่ เนื่องจากมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ

$$R_{\text{ไปข้างหน้า}} = R_{\text{ย้อนกลับ}}$$

โดยที่ปฏิกิริยายังคงดำเนินอยู่ตลอดเวลาในระดับโมเลกุล (ไม่หยุดนิ่ง)



3 โครงสร้างการแบ่งคาบเรียน (8 คาบ)

1–2	แนวคิดการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้และสมดุลพลวัต (กิจกรรม Water Sharing Challenge)
3–4	การทดสอบการผันกลับได้ของปฏิกิริยาเคมีในห้องปฏิบัติการ (กิจกรรม 9.2 สสวท.)
5–6	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ความเข้มข้นและอัตราเร็วของปฏิกิริยาเมื่อเข้าสู่สมดุล (การพลอตและตีความกราฟ)
7–8	การระบุสภาวะสมดุลในระบบปิด การสรุปบทเรียน และแก้จุดเข้าใจคลาดเคลื่อน (Misconceptions)

4 รายละเอียดแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ (กระบวนการ 5E Inquiry)

คาบที่ 1–2 จุดเริ่มต้นของความผันกลับได้ (สมดุลพลวัตเชิงแบบจำลอง)

Engagement

ครูยกตัวอย่างปรากฏการณ์ที่เปลี่ยนไปทิศทางเดียว เปรียบเทียบกับปรากฏการณ์ที่ดูเหมือนไม่มีการเปลี่ยนแปลง (เช่น ระดับน้ำในขวดปิด) แล้วตั้งคำถาม: “ระดับน้ำในขวดที่ปิดฝานิ่ง ๆ นั้น โมเลกุลของน้ำหยุดนิ่งด้วยหรือไม่ หรือกำลังเกิดอะไรขึ้นในระดับโมเลกุล?”

Exploration – กิจกรรม Water Sharing Challenge

- แบ่งกลุ่ม นักเรียน 2 คน (ฝั่ง A และ B)
- เริ่มต้น ฝั่ง A มีน้ำเต็มถัง ฝั่ง B ไม่มีน้ำเลย
- ฝั่ง A ใช้แก้วใหญ่ ตักน้ำส่งให้ฝั่ง B
- ฝั่ง B ใช้แก้วเล็ก ตักน้ำส่งกลับมาให้ฝั่ง A
- ตักพร้อมกันในแต่ละรอบ
- บันทึกปริมาตรน้ำในถังทั้งสองฝั่งทุก ๆ รอบ

Explanation

พบว่าหลังจากหลายรอบ ปริมาณน้ำในถังของทั้งสองฝั่งจะเริ่มคงที่ แม้ยังคงตักน้ำไป–กลับอยู่เสมอ เพราะปริมาณที่ย้ายไปข้างหน้า = ย้ายย้อนกลับ นี่คือแบบจำลองของ **“สมดุลพลวัต”**

คาบที่ 3–4 การผันกลับได้ในปฏิกิริยาเคมีจริง (ปฏิบัติการเคมี)

Exploration – กิจกรรม 9.2 สสวท.

หลอดที่ 1 (ปฏิกิริยาไปข้างหน้า)

- ผสม $Fe(NO_3)_3$ (aq) กับ KI (aq)
- สังเกตสีเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล (I_2)
- ทดสอบสารละลายที่ได้ด้วย $K_3Fe(CN)_6$ → เกิดตะกอนสีน้ำเงิน (Fe^{2+}) แสดงว่าเกิดผลิตภัณฑ์

หลอดที่ 2 (ปฏิกิริยาย้อนกลับ)

- ผสม Fe^{2+} กับ I_2 ในเอทานอล
- ทดสอบด้วยสารละลาย KSCN → ได้สารละลายสีแดง/ส้มเข้ม (Fe^{3+}) แสดงว่าสามารถย้อนกลับมาเกิด Fe^{2+} ได้

Explanation

นักเรียนร่วมกันเขียนสมการไอออนิกสุทธิ

ไปข้างหน้า: $2Fe^{3+} + 2I^- \longrightarrow 2Fe^{2+} + I_2$

ย้อนกลับ: $2Fe^{2+} + I_2 \longrightarrow 2Fe^{3+} + 2I^-$

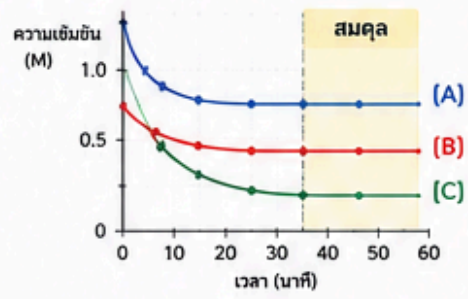
สรุป: ปฏิกิริยาที่เกิดได้ทั้งสองทิศทาง = “ปฏิกิริยาผันกลับได้” เขียนด้วยสัญลักษณ์ $\rightleftharpoons$

คาบที่ 5–6 การพิลอตกราฟและตีความสภาวะสมดุล

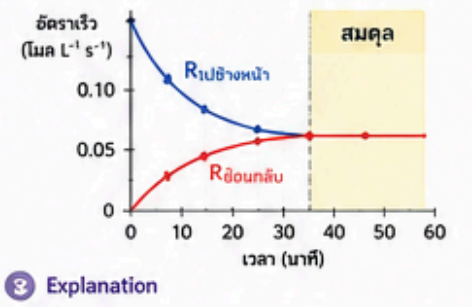
Elaboration

ครูแจกชุดข้อมูลความเข้มข้นของสาร ณ เวลาต่าง ๆ ให้นักเรียนพลอตกราฟ 2 ประเภท

กราฟที่ 1: ความเข้มข้นสาร กับ เวลา (Time)



กราฟที่ 2: อัตราเร็วของปฏิกิริยา กับ เวลา (Time)



Explanation

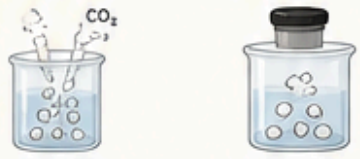
- ในกราฟความเข้มข้น: สภาวะสมดุล คือช่วงที่เส้นกราฟของสารทุกชนิดเริ่มเป็นเส้นตรงขนานกับแกนราบ (ความเข้มข้นคงที่ ไม่จำเป็นต้องเท่ากัน)
- ในกราฟอัตราเร็ว: สภาวะสมดุล คือจุดที่เส้นกราฟของอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าและย้อนกลับวิ่งมาบรรจบกันเป็นเส้นเดียวกัน ($R_{\text{ไปข้างหน้า}} = R_{\text{ย้อนกลับ}}$)

คาบที่ 7–8 การพิสูจน์ระบบปิด สรุปประเมิน และทลายเข้าใจคลาดเคลื่อน

Elaboration

สถานการณ์จำลอง

- หากทำปฏิกิริยาการสลายตัวของหินปูน $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$ ในปิกเกอร์เปิดผิวหน้า
- จะเกิดสมดุลเคมีได้หรือไม่? เพราะเหตุใด



Evaluation & Misconceptions Check

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน (✗)	ความเข้าใจที่ถูกต้อง (✓)
ที่สภาวะสมดุล ความเข้มข้นของสารตั้งต้น ต้อง “เท่ากับ” ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์	ที่สภาวะสมดุล ความเข้มข้นของสารทุกชนิด “คงที่” แต่อาจจะเท่ากัน มากกว่าหรือน้อยกว่ากันก็ได้
เมื่อระบบอยู่ในสภาวะสมดุล ปฏิกิริยาเคมีจะ “หยุดนิ่ง” ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีกต่อไป	ปฏิกิริยายังคง “ดำเนินอยู่ตลอดเวลา” ในสภาวะสมดุลพลวัต เพียงแต่อัตราเร็วทั้งสองฝั่งเท่ากันพอดี

กิจกรรมสรุป: สุ่มตอบคำถาม/ทำแบบทดสอบสั้น เพื่อตรวจสอบความเข้าใจ

5 สื่อการเรียนรู้และแหล่งการเรียนรู้

- ชุดอุปกรณ์สำหรับกิจกรรม “Water Sharing Challenge” (แก้วน้ำพลาสติกต่างขนาด หรือลวดเสียบกระดาษจำนวนกลุ่มละ 40 อัน)

- อุปกรณ์ชุดปฏิบัติการกิจกรรม 9.2 สสวท. (สารเคมี: $Fe(NO_3)_3$, KI, $K_3Fe(CN)_6$, I_2 ในเอทานอล)

- กระดาษกราฟ หรือเครื่องมือซอฟต์แวร์สำหรับการสร้างกราฟความสัมพันธ์ความเข้มข้นกับเวลา

6 การวัดและประเมินผล

ประเมินระหว่างจัดกิจกรรม (Formative Assessment)

ตรวจสอบความถูกต้องของการบันทึกข้อมูลกิจกรรมตักน้ำ, การสรุปผลปฏิบัติการเคมีเรื่องปฏิกิริยาผันกลับได้ และการเขียนพลอตเส้นกราฟเพื่อหาจุดสมดุล

ประเมินผลสัมฤทธิ์ (Summative Assessment)

การทำแบบฝึกหัดท้ายหน่วยย่อย หรือแบบทดสอบรวมความรู้

> “สภาวะสมดุล คือ ภาวะที่ดูเหมือนไม่เปลี่ยนแปลงในชีวิตประจำวัน แต่ในระดับโมเลกุล การเปลี่ยนแปลงยังคงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง”

แผนการจัดการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิชาเคมี2 (ว30222)

บทที่ 9: สมดุลเคมี (Chemical Equilibrium)

เรื่อง ค่าคงที่สมดุล (Equilibrium Constant)

เวลาที่ใช้ 8 คาบ (คาบละ 55 นาที)

1 ผลการเรียนรู้และจุดประสงค์การเรียนรู้

ผลการเรียนรู้

คำนวณค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา และหาความเข้มข้นของสารในภาวะสมดุล

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ ณ ภาวะสมดุล พร้อมเขียนอัตราส่วนสารจำลองเป็นสมการค่าคงที่สมดุล (K) ได้ถูกต้อง
2. ระบุสถานะของสาร (g และ aq) ที่จะนำมาคิดในกฎอัตราส่วนสมดุล และยกเว้นสารบริสุทธิ์ที่มีสถานะของแข็ง (s) และของเหลวบริสุทธิ์ (l) ได้อย่างมีเหตุผล
3. คำนวณหาค่า K หรือความเข้มข้นของสาร ณ ภาวะสมดุล โดยใช้ระบบตาราง ICE ได้อย่างเป็นขั้นตอน
4. หาความสัมพันธ์และคำนวณค่า K ใหม่ เมื่อสมการเคมีมีการกลับข้าง, คูณสัมประสิทธิ์ หรือนำปฏิกิริยามารวมกันหลายขั้นตอน

2 สาระสำคัญ / ความคิดรวบยอด

ณ ภาวะสมดุล อัตราส่วนระหว่างผลคูณของความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์กับผลคูณของความเข้มข้นของสารตั้งต้น โดยที่ความเข้มข้นของสารแต่ละชนิดยกกำลังด้วยเลขสัมประสิทธิ์แสดงจำนวนโมลในสมการเคมีที่ดุลแล้ว จะมีค่าคงที่เสมอที่อุณหภูมิหนึ่ง เรียกว่า **"ค่าคงที่สมดุล (K)"**

$$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$$

$$K = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$$

- ✓ คิดเฉพาะสารที่ความเข้มข้นเปลี่ยนแปลงได้ แก๊ส (g) และสารละลาย (aq)
- ✗ ไม่นำมาคิดในสมการ K ของแข็ง (s) และของเหลวบริสุทธิ์ (l) (ความเข้มข้นคงที่)

3 โครงสร้างการแบ่งคาบเรียน (8 คาบ)

คาบที่ 1–2
กฎความสมดุลทางเคมี และการเขียนค่าคงที่สมดุล (K) จากชุดข้อมูลจริง

คาบที่ 3–4
ปฏิบัติการคำนวณค่าคงที่สมดุลพื้นฐาน และการใช้ตาราง ICE

คาบที่ 5–6
การคำนวณค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาหลายขั้นตอน (Multistep Reactions)

คาบที่ 7–8
การประยุกต์ใช้ทักษะแก้โจทย์ปัญหาเชิงลึก และแก้จุดเข้าใจคลาดเคลื่อน (Misconceptions Check)

4 รายละเอียดแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ (กระบวนการ 5E Inquiry)

คาบที่ 1–2 การค้นพบกฎอัตราส่วนสมดุล และการเขียนสมการ K

Engagement

ครูนำชุดข้อมูลความเข้มข้นของสารจาก 3 การทดลอง (เช่น $2NO_{2(g)} \rightleftharpoons N_2O_{4(g)}$) แม้ความเข้มข้นที่สมดุลต่างกัน แต่มีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์บางอย่างที่ทำให้ได้ค่าเท่ากัน

Exploration

ลองสร้างอัตราส่วนจากข้อมูลที่สมดุล

การทดลอง	$[NO_2]$ สมดุล (M)	$[N_2O_4]$ สมดุล (M)
1	0.100	0.0250
2	0.200	0.1000
3	0.050	0.0125

1) $\frac{[N_2O_4]}{[NO_2]}$ — ค่าที่ได้ = ไม่คงที่ ✗

2) $\frac{[N_2O_4]}{[NO_2]^2}$ — ค่าที่ได้ = คงที่ (0.25) ✓

Explanation

สรุปกฎความสมดุลทางเคมี และเขียนสมการทั่วไป

$$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$$

$$K = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$$

พิจารณาเฉพาะสารสถานะ (g) และ (aq) ไม่นำ (s) และ (l) มาคิดในสูตร K

คาบที่ 3–4 ก้าวแรกสู่การคำนวณด้วยเทคนิคตาราง ICE

Exploration

เครื่องมือสำคัญในการคำนวณสมดุล

ICE		
I	Initial	ความเข้มข้นเริ่มต้น
C	Change	การเปลี่ยนแปลง
E	Equilibrium	ความเข้มข้นที่สมดุล

Explanation (ตัวอย่าง)

โจทย์: $A_{(g)} \rightleftharpoons 2B_{(g)}$

เริ่มต้น A = 2.0 mol/L

เมื่อถึงสมดุล พบว่า B เกิดขึ้น 1.0 mol/L

จงหาค่า K

	A (mol/L)	B (mol/L)
I	2.0	0
C	−0.5	+1.0
E	1.5	1.0

$$K = \frac{[B]^2}{[A]} = \frac{(1.0)^2}{1.5} = 0.67$$

Elaboration

ให้ทำใบงานโจทย์ปัญหาระดับปานกลาง ทั้งแบบให้ค่า K แล้วหาความเข้มข้นผสมดุล หรือหาค่า K โดยใช้ตาราง ICE และแก้สมการ x

คาบที่ 5–6 ความสัมพันธ์ของค่า K กับปฏิกิริยาหลายขั้นตอน

Engagement & Exploration

ให้พิจารณาปฏิกิริยาย่อย 2 ขั้น ที่รวมกันแล้วได้ปฏิกิริยาหลัก

ขั้นที่ 1: $N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$ K_1

ขั้นที่ 2: $2NH_{3(g)} \rightleftharpoons N_{2(g)} + 3H_{2(g)}$ K_2

(รวมกัน: ได้สมการรวม)

Explanation

กฎของค่าคงที่สมดุล

1. กลับข้างสมการ $K_{ใหม่} = \frac{1}{K_{เดิม}}$
2. คูณสัมประสิทธิ์ด้วย n $K_{ใหม่} = (K_{เดิม})^n$
3. รวมสมการหลายขั้นตอน $K_{รวม} = K_1 \times K_2 \times \cdots$

Elaboration

กิจกรรมเกม "Match & Multiply"
จับคู่การ์ดสมการย่อยกับค่า K เพื่อหาค่า K ของสมการเป้าหมายให้เร็วที่สุด

สมการย่อย × สมการย่อย × K = ?

คาบที่ 7–8 การประยุกต์ทักษะขั้นสูง และการสรุปประเมินผล

Elaboration

โจทย์ประยุกต์ระดับเข้มข้น เช่น เมื่อเปลี่ยนปริมาตรของภาชนะ ต้องแปลงเป็นความเข้มข้น (M) ก่อนนำไปแทนในสูตร K

Evaluation (Misconceptions Check)

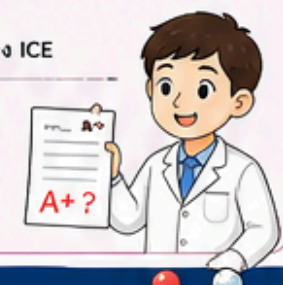
ความเข้าใจคลาดเคลื่อน (✗)	ความเข้าใจที่ถูกต้อง (✓)
K จะเปลี่ยนเมื่อเติมสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์ลงไปมากๆ	K คงที่เสมอ (ถ้าอุณหภูมิไม่เปลี่ยน) การเติมสารเป็นการรบกวนชั่วคราว แต่สุดท้าย K เดิม
นำปริมาณสารในหน่วย mol หรือ g ไปแทนในสูตร K ได้	ต้องใช้ความเข้มข้น (mol/L) เท่านั้น ต้องหารด้วยปริมาตร (L) ก่อนเสมอ
ของเหลวบริสุทธิ์ (l) เช่น $H_2O_{(l)}$ ต้องนำมาคิดในค่า K	ของเหลวบริสุทธิ์ (l) ความเข้มข้นคงที่มาก ไม่นำมาคิดในสูตร K

5 สื่อการเรียนรู้และแหล่งการเรียนรู้

1. ชุดตารางข้อมูลความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (อ้างอิงจากคู่มือครู สสวท. เคมี เล่ม 3)
2. Template กระดาษตาราง ICE (Initial-Change-Equilibrium)
3. การ์ดกิจกรรมเกม "Match & Multiply"
4. ใบงานแบบฝึกหัด เรื่อง การคำนวณค่าคงที่สมดุลเชิงปริมาณ

6 การวัดและประเมินผล

1. **ประเมินระหว่างเรียน (Formative Assessment)**
   - ✓ ตรวจใบงานการเขียนสมการพจน์ค่า K
   - ✓ สังเกตการมีส่วนร่วม และทักษะการแก้โจทย์ด้วยตาราง ICE
2. **ประเมินผลสัมฤทธิ์ (Summative Assessment)**
   แบบทดสอบท้ายหน่วยย่อยเรื่องค่าคงที่สมดุล (5 ข้อปรนัย 2 ข้ออัตนัย) ต้องแสดงวิธีทำเป็นขั้นตอน ถูกต้อง แม่นยำ



"ค่าคงที่สมดุล คือ กุญแจสำคัญที่บอกความสัมพันธ์ของระบบสมดุล ณ อุณหภูมิหนึ่ง"

แผนการจัดการเรียนรู้ วิชาเคมี2 (ว30222)

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

บทที่ 9: สมดุลเคมี (Chemical Equilibrium)

เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี (Factors Affecting Chemical Equilibrium)

เวลาที่ใช้: 6 คาบ (คาบละ 55 นาที)

1 ผลการเรียนรู้และจุดประสงค์การเรียนรู้

ผลการเรียนรู้

ระบุปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสมดุลและค่าคงที่สมดุลของระบบ รวมทั้งคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อภาวะสมดุลของระบบถูกรบกวนโดยใช้หลักของเลอชาเตอลิเย

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ทดลอง อธิบาย และวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ความดันและปริมาตร และอุณหภูมิที่มีต่อภาวะสมดุลของระบบได้
2. อธิบายกลไกการปรับตัวของระบบเข้าสู่สมดุลใหม่โดยใช้หลักของเลอชาเตอลิเยได้ถูกต้อง
3. ระบุได้ว่าปัจจัยใดที่มีผลทำให้ค่าคงที่สมดุล (K) เปลี่ยนแปลง หรือปัจจัยใดที่ทำให้สมดุลปรับทิศทางแต่ค่า K เท่าเดิม

2 สาระสำคัญ / ความคิดรวบยอด

เมื่อระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลถูกรบกวน โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร, อุณหภูมิ, หรือความดันและปริมาตร ระบบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่จะลดผลของการรบกวนนั้น เพื่อให้ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่อีกครั้งตาม **หลักของเลอชาเตอลิเย (Le Chatelier's Principle)**

เปลี่ยน ความเข้มข้น ความดัน ปริมาตร → ตำแหน่งสมดุลเปลี่ยนไป → ค่า K คงเดิม

มีเพียงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเท่านั้น ที่ทำให้ค่า K เปลี่ยนแปลง

การเติมตัวเร่งปฏิกิริยา → สมดุลเร็วขึ้น แต่ตำแหน่งสมดุลและค่า K ไม่เปลี่ยนแปลง

3 โครงสร้างการแบ่งคาบเรียน (6 คาบ)

คาบที่ 1-2
ผลของความเข้มข้นต่อสมดุลเคมี (การทดลอง 9.3 และการวิเคราะห์กราฟ)

คาบที่ 3-4
ผลของความดัน ปริมาตร และอุณหภูมิ (การทดลอง 9.4 และทฤษฎีจลน์)

คาบที่ 5-6
หลักของเลอชาเตอลิเย การทำนายทิศทางสมดุล/ค่า K และการแก้จุดเข้าใจคลาดเคลื่อน (Misconceptions)

4 รายละเอียดแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ (กระบวนการ 5E Inquiry)

คาบที่ 1-2: เมื่อความเข้มข้นถูกรบกวน (ปฏิบัติการและการพล็อตกราฟ)

Engagement

จำลองกระดานหก: เติมน้ำหนัก (รบกวนระบบ) ระบบจะปรับตัวอย่างไรเพื่อกลับมาสมดุล?

Exploration – การทดลอง 9.3

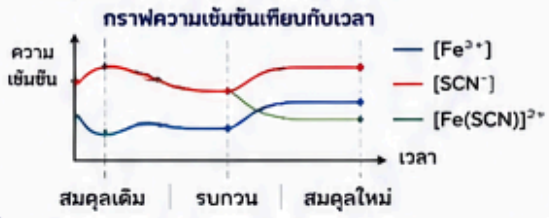
$Fe^{3+}(aq)$ [เหลือง] + $SCN^-(aq)$ [ไม่มีสี] $\rightleftharpoons$ $[Fe(SCN)]^{2+}(aq)$ [แดง]

หลอดควบคุม (สีส้มแดงคงที่) | เติม Fe^{3+} หรือ SCN^- (สีแดงเข้มขึ้น) | เติม $NaHPO_4$ หรือ NaF (สีจางลง)

Explanation

เพิ่มสารตั้งต้น → ระบบไปข้างหน้า (→)
ลดสารตั้งต้น → ระบบย้อนกลับ (←)
สมดุลใหม่คงที่อีกครั้ง แต่ค่า K เท่าเดิม

กราฟความเข้มข้นเทียบกับเวลา



คาบที่ 3-4: ผลของอุณหภูมิ ความดัน และปริมาตร (การทดลอง 9.4 และทฤษฎีจลน์)

Exploration – การทดลอง 9.4

$2NO_2(g)$ (น้ำตาลแดง) $\rightleftharpoons$ $N_2O_4(g)$ [ไม่มีสี] + พลังงาน ($\Delta H < 0$)

1 ผลของอุณหภูมิ

แช่น้ำร้อน (เพิ่มอุณหภูมิ)	แช่น้ำแข็ง (ลดอุณหภูมิ)
สีน้ำตาลแดงเข้มขึ้น ระบบปรับตัวไปทางซ้าย (ย้อนกลับไปสารตั้งต้น)	สีน้ำตาลแดงจางลง ระบบปรับตัวไปทางขวา (ไปทางผลิตภัณฑ์)
← ค่า K ลดลง	ค่า K เพิ่มขึ้น →

2 ผลของความดัน / ปริมาตร (อุณหภูมิคงที่)

ลดปริมาตร (เพิ่มความดัน)	เพิ่มปริมาตร (ลดความดัน)
สีน้ำตาลแดงจางลง ระบบปรับตัวไปทางขวา (มีจำนวนโมลแก๊สน้อยกว่า)	สีน้ำตาลแดงเข้มขึ้น ระบบปรับตัวไปทางซ้าย (มีจำนวนโมลแก๊สมากกว่า)

หลักการสำคัญ: ระบบจะปรับตัวไปทางฝั่งที่มีจำนวนโมลของแก๊สน้อยกว่า เพื่อลดความดันลง

Explanation – สรุปผล

- **อุณหภูมิ:** ส่งผลต่อทั้งตำแหน่งสมดุลและค่า K
- **ความดัน/ปริมาตร:** ส่งผลต่อตำแหน่งสมดุล แต่ค่า K ไม่เปลี่ยน
- **ตัวเร่งปฏิกิริยา:** ทำให้เข้าสู่สมดุลเร็วขึ้น แต่ตำแหน่งสมดุลและค่า K ไม่เปลี่ยน

คาบที่ 5-6: หลักของเลอชาเตอลิเย การทำนายทิศทางสมดุล/ค่า K และการแก้จุดเข้าใจคลาดเคลื่อน

Elaboration – หลักของเลอชาเตอลิเย

"เมื่อระบบสมดุลถูกรบกวน ระบบจะปรับตัวเพื่อต่อต้านการรบกวนนั้น"

สรุปผลของปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี

ปัจจัยที่รบกวน	ตำแหน่งสมดุล	ค่าคงที่สมดุล (K)
ความเข้มข้น	เปลี่ยนทิศทาง	คงเดิม
ความดัน/ปริมาตร (เฉพาะแก๊ส)	เปลี่ยนทิศทาง	คงเดิม
อุณหภูมิ	เปลี่ยนทิศทาง	เปลี่ยนแปลง
ตัวเร่งปฏิกิริยา	สมดุลเร็วขึ้น	คงเดิม
แก๊สเฉื่อย (He)	ขึ้นกับเงื่อนไข (ดูรายละเอียด)	คงเดิม

ตัวอย่างการประยุกต์: กระบวนการฮาเบอร์

$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)}$ $\Delta H < 0$

เพิ่มความดัน (ลดปริมาตร) | ลดอุณหภูมิ (แต่ไม่ต่ำเกินไป) | ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Fe | เอา NH_3 ออกจากระบบ →

Misconceptions Check – เคลียร์จุดเข้าใจผิด!

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน (✗)	ความเข้าใจที่ถูกต้อง (✓)
การเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) จะทำให้ระบบปรับตัวไปข้างหน้าและได้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น	ตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยให้ $R_{ไปข้างหน้า}$ และ $R_{ย้อนกลับ}$ เพิ่มขึ้นเท่ากัน ทำให้ระบบเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้นเท่านั้น ไม่มีผลต่อตำแหน่งสมดุลและไม่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น
เมื่อเพิ่มความดัน ระบบจะปรับตัวไปข้างหน้าเสมอ	ระบบจะปรับตัวไปทางฝั่งที่มีจำนวนโมลของแก๊สน้อยกว่า (หากโมลแก๊สสองฝั่งเท่ากัน การเปลี่ยนแปลงความดันจะไม่มีผลต่อสมดุลเลย)

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน (✗)	ความเข้าใจที่ถูกต้อง (✓)
เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารตั้งต้น ระบบปรับตัวไปข้างหน้า ค่าคงที่สมดุล (K) จะต้องเพิ่มขึ้นแน่นอน	แบบเปลี่ยนความเข้มข้น ความดัน หรือปริมาตร ไม่มีผลต่อค่า K อัตราส่วนสมดุลใหม่จะคำนวณได้ ค่า K เท่าเดิม มีเพียงอุณหภูมิเท่านั้นที่เปลี่ยนค่า K ได้

5 สื่อการเรียนรู้และแหล่งการเรียนรู้

1. ชุดอุปกรณ์ทดลองกิจกรรม 9.3 สสวท. ($Fe(NO_3)_3$, NH_4SCN, $NaHPO_4$)
2. ชุดอุปกรณ์ทดลองกิจกรรม 9.4 สสวท. (NO_2 ในหลอดแก้ว/พลอยมิตตา, บีกเกอร์น้ำร้อน, บีกเกอร์น้ำแข็ง)
3. ใบงาน "Le Chatelier's Challenge" โจทย์สถานการณ์จำลอง
4. โปรแกรมจำลองเสมือนจริง PhET (Reversible Reactions / Equilibrium)

6 การวัดและประเมินผล

ประเมินระหว่างจัดกิจกรรม (Formative Assessment)

- ✓ ตรวจใบกิจกรรม 9.3 และ 9.4
- ✓ สังเกตทักษะการปฏิบัติการทดลองกลุ่ม
- ✓ ความถูกต้องในการวาดทิศทางลูกศรการปรับตัวของสมดุลเคมี

ประเมินผลสัมฤทธิ์ (Summative Assessment)

แบบทดสอบท้ายหน่วยย่อย เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุล

- ตารางสรุปผลการรบกวนระบบ
- ระบุทิศทางสมดุล และการเปลี่ยนแปลงค่า K

เกณฑ์: ผ่านร้อยละ 70 ขึ้นไป

"ระบบสมดุลจะพยายาม "ต้านการรบกวน" เพื่อกลับสู่สมดุลใหม่ โดยค่า K จะคงเดิม ยกเว้นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป"

แผนการจัดการเรียนรู้
วิชาเคมี2 (ว30222)

บทที่ 9: สมดุลเคมี (Chemical Equilibrium)
เรื่อง สมดุลเคมีในสิ่งมีชีวิต สิ่งแวดล้อม และอุตสาหกรรม (9.4)

เวลาที่ใช้: 2 คาบ (110 นาที)

1 ผลการเรียนรู้และจุดประสงค์การเรียนรู้

ผลการเรียนรู้

สืบค้นข้อมูลและยกตัวอย่างเกี่ยวกับสมดุลเคมีในสิ่งมีชีวิต สิ่งแวดล้อม และกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายการใช้วิชาเคมีวิเคราะห์และใช้หลักของเลอชาเตอลิเอในสิ่งมีชีวิต (ระบบขนส่งออกซิเจนของฮีโมโกลบิน) ได้
2. วิเคราะห์กลไกการเกิดปรากฏการณ์ในสิ่งแวดล้อม (การเกิดถ้ำหินงอกหินย้อย หรือหอยเปลือกบางจากภาวะทะเลเป็นกรด) โดยใช้หลักสมดุลเคมีได้
3. ประยุกต์ทฤษฎีสมดุลและปัจจัยต่าง ๆ เพื่ออธิบายสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตสารในอุตสาหกรรม (กระบวนการฮาเบอร์) ให้คุ้มค่าและปลอดภัย

2 สาระสำคัญ / ความคิดรวบยอด

เมื่อระบบที่อยู่ในภาวะสมดุลถูกรบกวนโดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร, อุณหภูมิ, หรือความดันและปริมาตร ระบบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่จะลดผลของการรบกวนนั้น เพื่อให้ระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลใหม่อีกครั้งตาม **หลักของเลอชาเตอลิเอ (Le Chatelier's Principle)**

เปลี่ยน ความเข้มข้น ความดัน ปริมาตร	→	สมดุลเลื่อน แต่ K คงเดิม	เปลี่ยนอุณหภูมิ เท่านั้นที่ทำให้ ค่า K เปลี่ยนแปลง

ตัวเร่งปฏิกิริยา → สมดุลเร็วขึ้น แต่ตำแหน่งสมดุลและค่า K ไม่เปลี่ยนแปลง

3 โครงสร้างการแบ่งคาบเรียน (2 คาบ)

คาบที่ 1 (55 นาที)

สมดุลในสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

- ระบบขนส่งออกซิเจนของฮีโมโกลบิน
- การเกิดถ้ำหินงอกหินย้อย / หอยเปลือกบาง

คาบที่ 2 (55 นาที)

สมดุลในอุตสาหกรรมและการประยุกต์จริง

- กระบวนการฮาเบอร์ (Haber Process)
- การเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต

4 รายละเอียดแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ (กระบวนการ 5E Inquiry)

คาบที่ 1: สมดุลในสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม (55 นาที)

1 Engagement (10 นาที)

ครูโชว์รูปนักปีนเขาเอเวอเรสต์ และตั้งคำถามกระตุ้น:

"ทำไมคนที่ขึ้นไปบนที่สูง จึงเกิดอาการวิงเวียนศีรษะ หน้ามืด หรือ Altitude Sickness? ระบบเลือดของเราซ่อนความลับเรื่องสมดุลเคมีไว้อย่างไร?"

2 Exploration (20 นาที)

ศึกษาและอภิปรายกรณีศึกษา (Case Studies)

กรณีศึกษาที่ 1 : สิ่งมีชีวิต
ระบบขนส่งออกซิเจนในร่างกาย

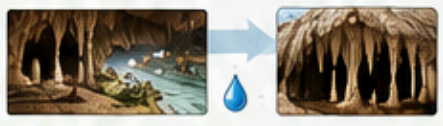
$Hb_{(aq)} + O_{2(g)} \rightleftharpoons HbO_{2\ (aq)}$

การรบกวน:
- ความดันย่อยของ O_2 ลดลง (บนที่สูง)
- อุณหภูมิ/ pH เปลี่ยนแปลง

ผลของระบบ:
สมดุลเลื่อนไปทางซ้าย (ย้อนกลับ)
HbO_2 ลดลง → ร่างกายขาด O_2

กรณีศึกษาที่ 2 : สิ่งแวดล้อม
การเกิดถ้ำหินปูนและหินงอกหินย้อย

$CaCO_{3(s)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)} \rightleftharpoons Ca^{2+}_{(aq)} + 2HCO_3^-{}_{(aq)}$



การรบกวน:
- น้ำฝนมี CO_2 ไหลผ่านหินปูน
- น้ำหยดลงมา เจออากาศแห้ง CO_2 หนีออก

ผลของระบบ:
ละลายได้ (ไปข้างหน้า) และตกตะกอนกลับ (ย้อนกลับ) เป็นหินงอกหินย้อย

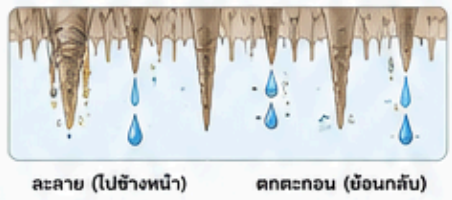
3 Explanation (25 นาที)

สรุปและเชื่อมโยงแนวคิด

สรุปสิ่งมีชีวิต
- ความดันย่อยของ O_2 ลดลง → สมดุลเลื่อนไปทางซ้าย HbO_2 ลดลง → ร่างกายขาดออกซิเจน
- ร่างกายปรับตัวโดยเพิ่มการสร้าง Hb เพื่อดึงสมดุลไปทางขวา (จับ O_2 มากขึ้น)

บนที่สูง (สมดุลซ้าย) → ปรับตัวได้ดี (สมดุลขวา)

สรุปสิ่งแวดล้อม
- CO_2 ในน้ำฝน → ทำให้ละลายหินปูน (ไปข้างหน้า)
- เมื่อ CO_2 หนีออก + น้ำระเหย → สมดุลเลื่อนไปทางซ้าย
- $CaCO_3$ ตกตะกอน → สะสมเป็นหินงอกหินย้อย



ละลาย (ไปข้างหน้า) ตกตะกอน (ย้อนกลับ)

คาบที่ 2: สมดุลในอุตสาหกรรมและการประยุกต์จริง (55 นาที)

1 Exploration (20 นาที)

ภารกิจ: "เราเป็นวิศวกรเคมีประจำโรงงาน" วางแผนผลิตแอมโมเนียให้ได้มากที่สุดและไวที่สุด

$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \rightleftharpoons 2NH_{3(g)} + 92\ kJ$ (คายความร้อน)

N_2 H_2 NH_3

2 Elaboration (20 นาที)

การวิเคราะห์เชิงทฤษฎีและปฏิบัติ (Optimization Trade-off)

		ผลที่ได้
ความดัน (ลดปริมาตร)	• ฝั่งซ้าย 4 โมล > ฝั่งขวา 2 โมล • ตามหลัก ต้องเพิ่มความดันสูงๆ • ในโรงงานใช้สูงถึง ~200 atm	สมดุลเลื่อนไปทางขวา (ได้ NH_3 มากขึ้น)
อุณหภูมิ	• ปฏิกิริยาคายความร้อน • ตามหลัก ต้องใช้อุณหภูมิต่ำ แต่ถ้าต่ำเกินไป → อัตราเร็วช้ามาก ไม่คุ้มเวลา !	ผลที่ได้ สมดุลเลื่อนไปทางขวา แต่ผลิตช้า
ตัวเร่งปฏิกิริยา (Fe catalyst)	• เพิ่ม $R_{ไปข้างหน้า}$ และ $R_{ย้อนกลับ}$ เท่าๆ กัน → สมดุลเร็วขึ้น • ไม่มีผลต่อตำแหน่งสมดุลและค่า K	ผลที่ได้ ได้สมดุลเร็วขึ้น แต่ K คงเดิม

ข้อสรุปทางอุตสาหกรรม

เลือก "สภาวะที่เหมาะสมที่สุด" อุณหภูมิประมาณ 450 °C + ความดันสูง (~200 atm) + ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Fe) + ดึง NH_3 ที่ควบแน่นออก เพื่อกระตุ้นให้สมดุลเลื่อนไปทางขวาอย่างต่อเนื่อง

3 Evaluation (15 นาที)

Misconceptions Check — เคลียร์จุดเข้าใจผิด!

ความเข้าใจคลาดเคลื่อน (✗)	ความเข้าใจที่ถูกต้อง (✓)
ในกระบวนการฮาเบอร์ ยิ่งใช้อุณหภูมิที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ จะยิ่งดีที่สุดเพราะเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน	ในทางปฏิบัติ ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไป ปฏิกิริยาจะเกิดช้ามาก จึงต้องใช้อุณหภูมิปานกลาง (~450 °C) ร่วมกับตัวเร่ง เพื่อความคุ้มค่าเชิงพาณิชย์
หินงอกและหินย้อยเกิดขึ้นจากกระบวนการระเหย ตกตะกอนทางกายภาพอย่างเดียว โดยไม่มีสมดุลเคมีเกี่ยวข้อง	เป็นสมดุลเคมีแบบผันกลับของสารละลายแคลเซียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ที่ปรับทิศทางตาม CO_2 และความชื้นในถ้ำ

5 สื่อการเรียนรู้และแหล่งการเรียนรู้

1. ชุดภาพถ่ายปรากฏการณ์ นักปีนเขา, ถ้ำหินงอกหินย้อย, โรงงานผลิตแอมโมเนีย
2. ใบกิจกรรม Case Study 3 สถานการณ์
3. คลิปวิดีโอสั้น (Animation) อธิบายการทำงานของฮีโมโกลบิน ณ สภาวะต่าง ๆ
4. สื่อเสริม (ถ้ามี) PhET Simulation: Reversible Reactions / Equilibrium

6 การวัดและประเมินผล

การประเมินระหว่างเรียน (Formative Assessment)
- ตรวจใบกิจกรรมวิเคราะห์กรณีศึกษา
- สังเกตการทำงานกลุ่มและการนำหลักของเลอชาเตอลิเอมาใช้สนับสนุนคำตอบ
- ประเมินการนำเสนอ/อภิปรายของนักเรียน

การประเมินผลสัมฤทธิ์ (Summative Assessment)
- แบบทดสอบแนวคิดวิเคราะห์ท้ายบทเรียน (อธิบายผลกระทบจากการเพิ่ม CO_2 ในบรรยากาศต่อภัควัฒนาที่มีเปลือก $CaCO_3$ เป็นต้น)
- ผู้เรียนต้องอธิบายสมดุลที่เกี่ยวข้องได้อย่างถูกต้องสมเหตุสมผล

"สมดุลเคมีอยู่รอบตัวเรา เข้าใจหลักการ เลือกใช้ให้เหมาะสม ชีวิตปลอดภัย สิ่งแวดล้อมยั่งยืน อุตสาหกรรมก้าวหน้า"