

ชุดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
รายวิชาเคมีเพิ่มเติม กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

เล่มที่ 1

ความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี



นางสุภาพร แก้วพลงาม

โรงเรียนสตึก อำเภอสตึก จังหวัดบุรีรัมย์
สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 32
สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำนำ

ชุดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ เล่มที่ 1 เรื่อง ความหมายของอัตราเกิดการเกิดปฏิกิริยาเคมี จัดทำขึ้น เพื่อเป็นเครื่องมือในการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาเคมีเพิ่มเติม กลุ่มสาระการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์ ที่เน้นกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ นักเรียนสามารถบอกความหมายของปฏิกิริยาเคมีได้ อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและปฏิกิริยาเคมี อธิบายการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติจริงในการทดลองและสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี รวมทั้ง เขียนสมการของปฏิกิริยาเคมี สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปปรับประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าชุดกิจกรรมวิทยาศาสตร์จะเป็นประโยชน์ต่อผู้เรียนและครูผู้สอน ที่นำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนได้เป็นอย่างดี

สุภาพร แก้วพลงาม

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
คำนำ	
สารบัญ	
คำชี้แจง.....	1
แบบทดสอบก่อนเรียน.....	2
จุดประสงค์การเรียนรู้.....	6
เนื้อหาสาระ.....	6
กระบวนการจัดการเรียนรู้.....	7
1. การรู้ความสนใจ.....	7
2. การสำรวจและค้นหา.....	8
2.1 ความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี.....	8
2.2 การทดลอง เรื่อง ปฏิกิริยาระหว่างโลหะแมกนีเซียมกับกรดไฮโดรคลอริก.....	10
2.3 การสืบค้นข้อมูล เรื่อง การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสาร.....	14
3. การขยายความรู้.....	15
ใบความรู้ เรื่อง การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสาร.....	15
4. การสรุป เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี.....	19
แบบฝึกหัด เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี.....	20
แบบทดสอบหลังเรียน.....	27
แนวตอบกิจกรรม.....	31
แนวตอบแบบฝึกหัด.....	33
เฉลยแบบทดสอบ.....	39
เอกสารอ้างอิง.....	40

คำชี้แจง

ชุดกิจกรรมวิทยาศาสตร์ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เล่มที่ 1 ความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จำนวน 3 ชั่วโมง มีการดำเนินกิจกรรมตามขั้นตอน ดังนี้

1. ทดสอบก่อนเรียน

2. ศึกษาสาระสำคัญ

3. ศึกษาจุดประสงค์การเรียนรู้

4. ศึกษากระบวนการจัดการเรียนรู้

5. ทดสอบหลังเรียน

แบบทดสอบก่อนเรียน

เรื่อง ความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

คำชี้แจง ให้เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงหนึ่งคำตอบโดยทำเครื่องหมาย X หน้าอักษรข้อที่ถูกต้องในกระดาษคำตอบที่ให้ไว้

คำชี้แจง ใช้ข้อมูลต่อไปนี้ตอบคำถามข้อ 1 – 2

การทดลองครั้งหนึ่งใช้สาร A และสาร B อย่างละ 10 กรัม ทำปฏิกิริยาเคมีกัน ปฏิกิริยาสิ้นสุดลงในเวลา 5 นาที หลังจากสิ้นสุดปฏิกิริยาพบว่า มีสาร A เหลืออยู่ 4 กรัม สาร C เกิดขึ้น 14 กรัม และเกิดก๊าซ D จำนวนหนึ่ง ข้อสรุปเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาของสารต่าง ๆ เป็นดังนี้

1. อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสาร A เท่ากับ 0.8 กรัม / นาที
2. อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสาร B เท่ากับ 2.0 กรัม / นาที
3. อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสาร C เท่ากับ 2.8 กรัม / นาที

1. ข้อสรุปใดถูกต้อง

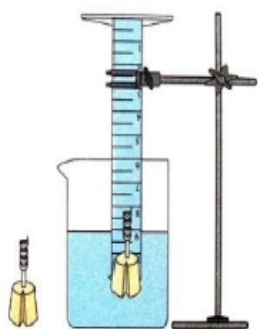
- | | |
|----------------|-------------------|
| ก. ข้อ 1 และ 2 | ข. ข้อ 2 และ 3 |
| ค. ข้อ 1 และ 3 | ง. ข้อ 1, 2 และ 3 |

2. อัตราการเกิดปฏิกิริยาของสาร D เท่ากับ กี่ g/min

- | | |
|--------|--------|
| ก. 0.4 | ข. 0.6 |
| ค. 0.8 | ง. 1.2 |

คำชี้แจง ให้ข้อมูลต่อไปนี้ตอบคำถามข้อ 3 – 4

จากผลการทดลองวัดปริมาตรแก๊ส H_2 ที่เกิดขึ้น ณ เวลาต่างๆ ที่ผ่านพ้นไป เมื่อใช้ลวด Mg ทำปฏิกิริยากับสารละลาย HCl ในกระบอกตวงได้ข้อมูลดังนี้



ปริมาตรแก๊ส H_2 (cm^3)	เวลา(s)
5	30
10	65
15	100
20	155

3. ถ้าต้องการเก็บแก๊สไฮโดรเจนเพิ่มอีก 5 cm^3 คือจากปริมาตร $25\text{-}30 \text{ cm}^3$ คาดว่าจะต้องเสียเวลาเพิ่มขึ้นอีกเท่าใด เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยายังมีแนวโน้มเช่นนี้อีกต่อไป

ก. ไม่เกิน 30 วินาที

ข. 55 วินาที

ค. 70 วินาที

ง. ไม่น้อยกว่า 85 วินาที

4. อัตราการเกิดปฏิกิริยา H_2 มีค่าเท่าใด

ก. $5 / 30 \text{ cm}^3/\text{s}$

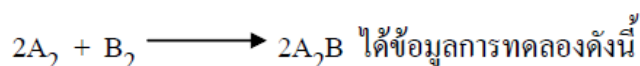
ข. $15 / 100 \text{ cm}^3/\text{s}$

ค. $20 / 155 \text{ cm}^3/\text{s}$

ง. $25 / 225 \text{ cm}^3/\text{s}$

คำชี้แจง ใช้ข้อมูลต่อไปนี้ตอบคำถามข้อ 5 – 6

ข้อมูลการทดลองเผาสารในภาชนะปิด มีปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังสมการ



สารตั้งต้นที่เหลือ		สารผลิตภัณฑ์ที่เกิด	เวลาที่ใช้
$\text{A}_2 \text{ (mol)}$	$\text{B}_2 \text{ (mol)}$	$\text{A}_2\text{B (mol)}$	(s)
2.0	1.0	0	0
1.6	0.8	0.4	10
1.2	0.6	0.8	25
0.8	0.4	1.2	55
0.6	0.3	1.4	80
0.4	0.2	1.6	110

5. อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเฉลี่ยของ A_2B เป็นกี่ mol/s

ก. 2.10×10^{-2}

ข. 1.75×10^{-2}

ค. 1.45×10^{-2}

ง. 1.25×10^{-2}

6. อัตราการเกิดปฏิกิริยาของ A_2B ระหว่างช่วงวินาทีที่ 0-10 และช่วงวินาทีที่ 50-80 ต่างกันกี่ mol/s

ก. 2.10×10^{-2}

ข. 2.70×10^{-2}

ค. 3.20×10^{-2}

ง. 3.70×10^{-2}

7. เชื้อเพลิงสะอาดชนิดหนึ่งที่สามารถใช้ในเครื่องยนต์ในอนาคคือ $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

เมื่อความเข้มข้นของ O_2 มีอัตราการลดลงเป็น $0.23 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$ อัตราการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของ H_2O จะเป็นเท่าใด

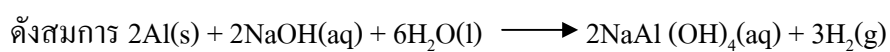
ก. $0.23 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$

ข. $0.46 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$

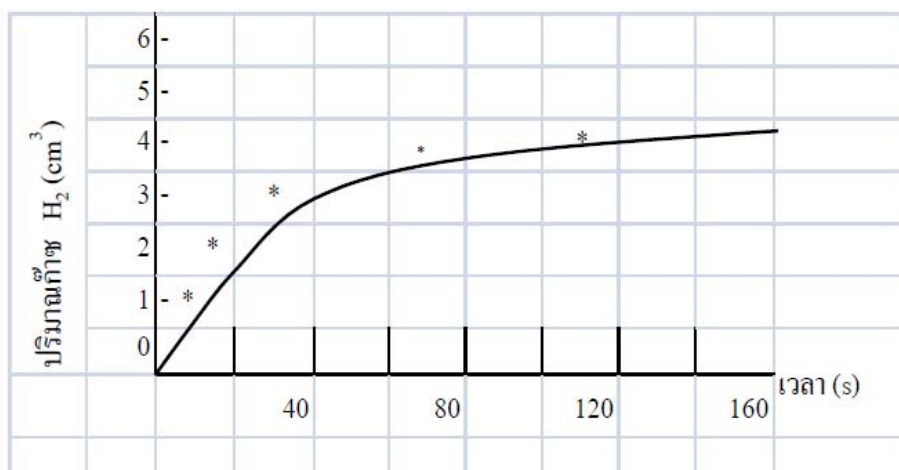
ก. $0.56 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$ ง. $0.64 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$

คำชี้แจง ใช้ข้อมูลต่อไปนี้ตอบคำถาม 8 – 9

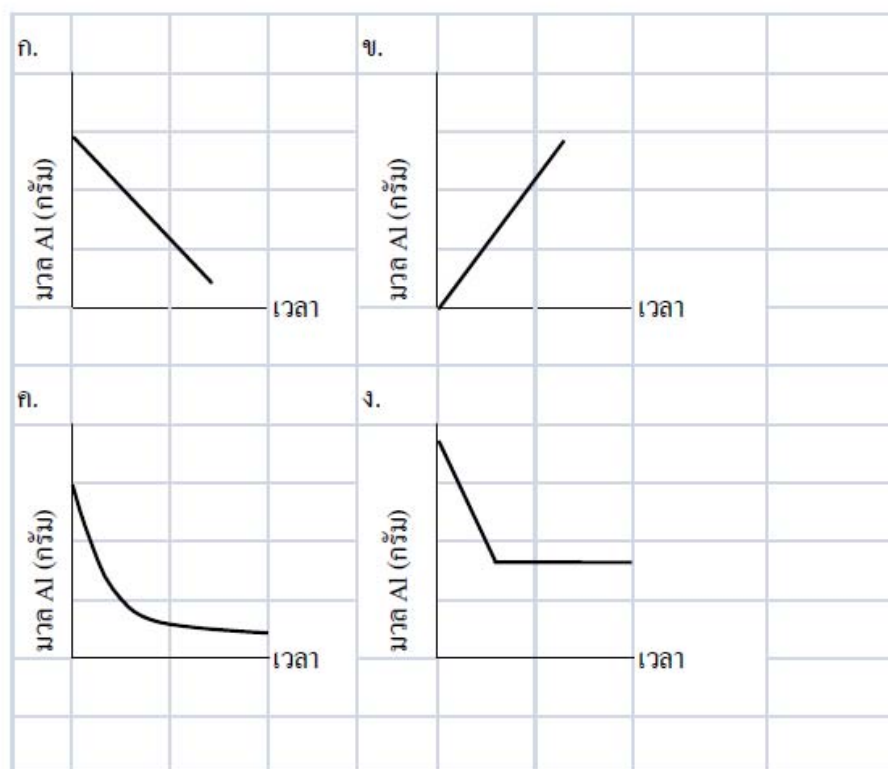
เมื่อนำแผ่นอลูมิเนียมทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้ก๊าซไฮโดรเจน



ความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซ H_2 ที่เกิดกับเวลาได้ผลตามแผนภูมิที่แสดงดังนี้



8. เมื่อปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาไปเรื่อย ๆ จน Al ถูกใช้ในปฏิกิริยาหมดไป นำเอามวล Al มาเขียนแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์กับเวลา จะได้แผนภูมิมีลักษณะอย่างไรต่อไปนี้



9. อัตราการเกิดก๊าซ H_2 ณ วินาทีที่ 60 มีค่าประมาณกี่ cm^3/s

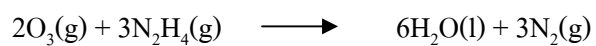
ก. 1.2×10^{-2}

ข. 1.7×10^{-2}

ค. 2.5×10^{-2}

ง. 3.3×10^{-2}

10. อัตราการเกิดน้ำเท่ากับ 0.56 mol/s จากปฏิกิริยา



อัตราการลดลงของแก๊ส O_3 ควรเป็นเท่าใด

ก. 0.68 mol/s

ข. 0.17 mol/s

ค. 0.19 mol/s

ง. 5.40 mol/s

ความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

สาระการเรียนรู้

1. อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี หมายถึง ปริมาณสารตั้งต้นที่ลดลง หรือปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาในหนึ่งหน่วยเวลา

2. ประเภทของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จำแนกออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.1 อัตราการเกิดปฏิกิริยาเฉลี่ย อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่คิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นที่ลดลงหรือผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นตลอดการเกิดปฏิกิริยา

2.2 อัตราการเกิดปฏิกิริยา ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่คิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นที่ลดลงหรือผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง

2.3 อัตราการเกิดปฏิกิริยา ณ ขณะใดขณะหนึ่ง อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่คิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นที่ลดลงหรือผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น ณ เวลาขณะใดขณะหนึ่ง สามารถหาได้จากกราฟ ซึ่งก็คือ ค่าความชัน (slope) ของกราฟระหว่างปริมาณของสารที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. บอกความหมายของปฏิกิริยาเคมีได้ (K)
2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและปฏิกิริยาเคมีได้ (K)
3. อธิบายการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ (K)
4. ทดลองและสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ (P)
5. เขียนสมการของปฏิกิริยาเคมีทั่วไปได้ (P)

กระบวนการจัดการเรียนรู้

1. การสร้างความสนใจ



ครูยกตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงดังนี้

- 1) การต้มน้ำ
 - 2) การเผาไหม้เชื้อเพลิง
 - 3) การเกิดสนิมเหล็ก
 - 4) การเตรียมน้ำเชื่อม
- ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. จากตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงข้างต้น การเปลี่ยนแปลงใดที่นักเรียนคิดว่าเป็นการเกิดปฏิกิริยาเคมี และเพราะเหตุใด

.....

.....

.....

2. ปฏิกิริยาเคมีคืออะไร และมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอย่างไร

.....

.....

.....

ครูขออาสาสมัคร 2 คน ออกมาวิเคราะห์คำตอบ

2. การสำรวจและค้นหา

2.1 ความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

1. อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี หมายถึง ปริมาณสารตั้งต้นที่ลดลงหรือปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาในหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งเขียนแสดงความสัมพันธ์ได้ ดังนี้

$$\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี} = \frac{\text{ปริมาณของสารตั้งต้นที่ลดลง}}{\text{เวลาในการเกิดปฏิกิริยา}}$$

หรือ

$$\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี} = \frac{\text{ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น}}{\text{เวลาในการเกิดปฏิกิริยา}}$$

2. ประเภทของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จำแนกออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.1 อัตราการเกิดปฏิกิริยาเฉลี่ย อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่คิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นที่ลดลงหรือผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นตลอดการเกิดปฏิกิริยา

2.2 อัตราการเกิดปฏิกิริยา ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่คิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นที่ลดลงหรือผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง

2.3 อัตราการเกิดปฏิกิริยา ณ ขณะใดขณะหนึ่ง อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่คิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นที่ลดลงหรือผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น ณ เวลาขณะใดขณะหนึ่ง สามารถหาได้จากกราฟ ซึ่งก็คือ ค่าความชัน (slope) ของกราฟระหว่างปริมาณของสารที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา

เมื่อมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้น การเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้คือสารใหม่ที่เกิดขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์ นักเรียนคิดว่ามีวิธีการใดบ้างที่จะบอกว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นเร็วหรือช้าเพียงใด

ลองเปรียบเทียบการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมีกับการเคลื่อนที่ของรถยนต์ พบว่าระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่ได้จะขึ้นอยู่กับเวลา โดยเวลาที่เพิ่มขึ้นจะทำให้รถยนต์เคลื่อนที่ได้ระยะทางมากขึ้น การบอกให้ทราบว่ารถยนต์เคลื่อนที่ได้ช้าหรือเร็วเพียงใด จึงแสดงเป็นระยะทางต่อเวลาในรูปของอัตราเร็วของรถยนต์ โดยใช้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{อัตราเร็วของรถยนต์} = \frac{\text{ระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่ได้}}{\text{ระยะเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่}}$$

แต่ในความเป็นจริงอัตราเร็วของรถยนต์จะไม่คงที่ตลอดเวลาเพราะว่าถนนมีสภาพต่างกัน บางช่วงอาจจะเคลื่อนที่ไปได้เร็ว บางช่วงอาจจะเคลื่อนที่ได้ช้า จึงนิยามบอกในรูปของอัตราเฉลี่ยรถยนต์ ดังนี้

$$\text{อัตราเร็วเฉลี่ยของรถยนต์} = \frac{\text{ระยะทางที่รถยนต์เคลื่อนที่ได้}}{\text{ระยะเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่}}$$

ในทำนองเดียวกันเมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้น ปริมาณของสารในระบบจะมีการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือสารตั้งต้นมีปริมาณลดลง และในเวลาเดียวกันก็มีผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นการวัดปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น หรือวัดปริมาณสารตั้งต้นที่ทดลองอาจทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับลักษณะและสมบัติของสาร เช่น ชั่งมวลสารเป็นของแข็ง วัดปริมาตรเมื่อสารเป็นแก๊ส วัดความเข้มข้นเมื่อเป็นสารละลาย ส่วนเวลาวัดเป็นวินาที นาที ชั่วโมง หรือวัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาว่าเกิดขึ้นได้เร็วหรือช้าเพียงใด การวัดปริมาณสารในปฏิกิริยาเคมีที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาศึกษาได้จากการทดลองต่อไปนี้

2.2 การทดลอง เรื่อง ปฏิกริยาระหว่างโลหะแมกนีเซียมกับกรดไฮโดรคลอริก

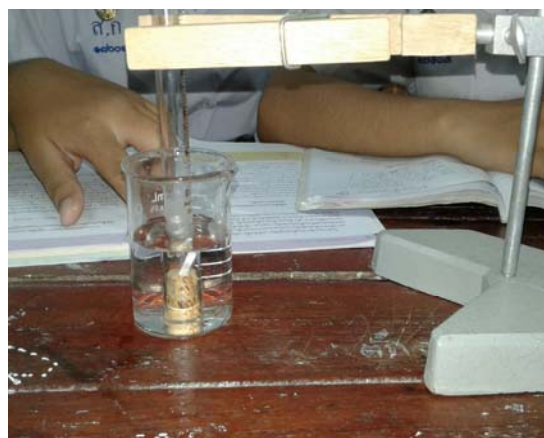
อุปกรณ์และสารเคมี

- | | |
|---|---------|
| 1. กระบอกลดขนาด 10 cm ³ | 1 ใบ |
| 2. บีกเกอร์ขนาด 100 cm ³ | 1 ใบ |
| 3. จุกคอรั้งสำหรับปิดกระบอกลดขนาด | 1 อัน |
| 4. นาฬิกาจับเวลาหรือนาฬิกาที่มีเข็มวินาที | 1 เรือน |
| 5. กระดาษทรายขนาด 3 cm X 3 cm | 1 ชิ้น |
| 6. ไบมัดโคน | 1 ใบ |
| 7. โลหะแมกนีเซียมขนาด 0.5 cm X 10 cm | 1 ชิ้น |
| 8. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.2 mol/dm ³ 20 cm ³ | |

วิธีทำ

1. ใส่สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.2 mol/dm³ ในกระบอกลดขนาด 10 cm³ จนเต็ม
2. นำจุกคอรั้งขนาดพอดีกับปากกระบอกลดขนาดมาบากด้านข้างตามแนวยาวให้เป็นร่องเล็ก ๆ เพื่อให้ของเหลวไหลออกมาได้และกรีดกลางจุกคอรั้งให้เป็นแนวเล็ก ๆ สำหรับเสียบลวดแมกนีเซียม
3. นำลวดแมกนีเซียมที่ขัดสะอาดแล้วยาวประมาณ 10 cm มาขดให้คล้ายสปริงและเสียบที่จุกคอรั้ง ตรงรอยกรีด แล้วนำมาปิดปากกระบอกลดขนาด
4. คว่ำกระบอกลดขนาดลงในบีกเกอร์ขนาด 100 cm³ ซึ่งใส่น้ำไว้ประมาณ 50 cm³ จับเวลาเมื่อของเหลวในกระบอกลดขนาดอยู่ที่ขีดแรกและทุกระยะที่ของเหลวลดลง 1 cm³ จนถึงขีดก่อนที่ลวดแมกนีเซียมจะโผล่พ้นสารละลาย บันทึกผลการทดลอง





ที่มา : สุภาพร แก้วพลงาม
ถ่ายภาพที่ : โรงเรียนสตึก, 1 พฤศจิกายน 2558



บันทึกผลการทดลองเสร็จแล้ว ตัวแทนแต่ละกลุ่ม
เตรียมนำเสนอผลการทดลองด้วยนะคะ

แบบบันทึกกิจกรรม เรื่อง ปฏิบัติระหว่างโลหะแมกนีเซียมกับกรดไฮโดรคลอริก

ชื่อ.....ชั้น.....เลขที่.....

บันทึกผลการทดลอง

1. จับเวลาการเกิดแก๊สไฮโดรเจนทุก 1 cm³

ปริมาณแก๊สไฮโดรเจน (cm ³)ระหว่างจุดที่	เวลา (s)
1-2	
2-3	
3-4	
4-5	
5-6	
6-7	
7-8	
8-9	
9-10	

2. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนกับเวลาเป็นดังนี้

คำถามท้ายกิจกรรม

1. การเกิดแก๊สในแต่ละช่วงปริมาตรใช้เวลาเท่ากันหรือไม่ อย่างไร

.....

.....

2. จากการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของแก๊สกับเวลา แล้วใช้กราฟประกอบการอธิบายการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโลหะแมกนีเซียมกับกรดไฮโดรคลอริก

.....

.....

3. แก๊สที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโลหะแมกนีเซียมกับกรดไฮโดรคลอริกคือแก๊สอะไร จงเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

.....

.....

4. การเกิดแก๊สไฮโดรเจนในแต่ละช่วงปริมาตรใช้เวลาเท่ากันหรือไม่ อย่างไร

.....

.....

5. นักเรียนสามารถอธิบายลักษณะของกราฟได้อย่างไร

.....

.....

6. ปริมาณสารที่เปลี่ยนแปลงในปฏิกิริยา นอกจากจะวัดปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในหนึ่งหน่วยเวลาแล้ว อาจวัดจากสารใดได้อีกบ้าง

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2.3 การสืบค้นข้อมูล เรื่อง การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสาร

วิธีการ

1. ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มสืบค้นข้อมูล เรื่อง การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสาร
2. นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันอภิปราย วิเคราะห์การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ตามประเด็นต่อไปนี้
 - 2.1 อัตราการเกิดปฏิกิริยาเฉลี่ย
 - 2.2 อัตราการเกิดปฏิกิริยา ณ ขณะใดขณะหนึ่ง
 - 2.3 อัตราการเกิดปฏิกิริยา ณ จุดใดจุดหนึ่ง
3. แต่ละกลุ่มส่งตัวแทนนำเสนอผลการอภิปรายหน้าชั้นเรียน
4. นำความรู้ที่ได้จากการทดลองเรื่องปฏิกิริยาระหว่างโลหะแมกนีเซียมกับกรดไฮโดรคลอริก และให้นักเรียนศึกษาจากใบความรู้เพิ่มเติมไปตอบคำถามในแบบฝึกหัดให้ถูกต้อง



ที่มา : สุภาพร แก้วพลงาม

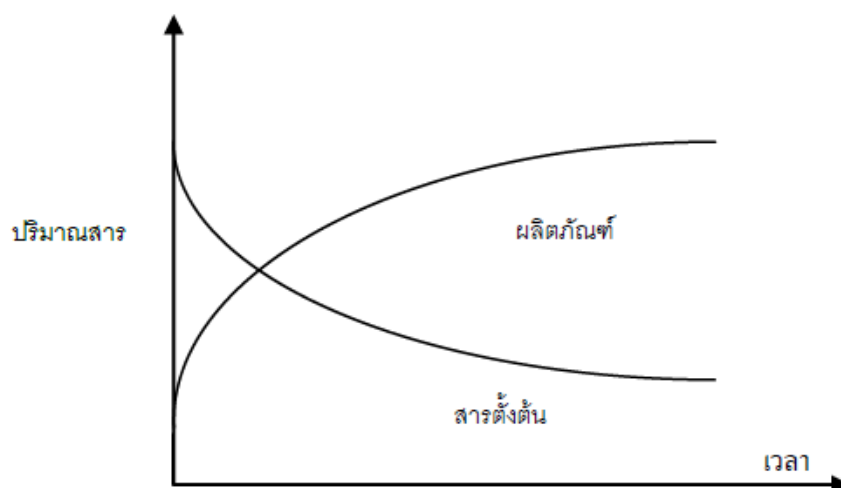
ถ่ายภาพที่ : โรงเรียนสตึก, 1 พฤศจิกายน 2558

3. การขยายความรู้

ใบความรู้ เรื่อง การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสาร

ในขณะที่ปฏิกิริยาเคมีดำเนินไป สารตั้งต้นจะถูกใช้ไป ดังนั้นปริมาณสารตั้งต้นจึงลดลง ส่วนปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นใหม่จะเพิ่มขึ้น เมื่อนำปริมาณของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์มาเขียนความสัมพันธ์กับเวลา แสดงได้ดังกราฟต่อไปนี้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์กับเวลา



เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร คือ ปริมาณสารตั้งต้นจะลดลงในเวลาเดียวกันกับปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ดังนั้นการวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารจึงสามารถวัดได้ 2 ทาง

วิธีวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี อาจแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

1. อัตราการเกิดปฏิกิริยาเฉลี่ย หมายถึงอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่คิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารทั้งหมด (ปริมาณสารตั้งต้นที่ลดลงหรือปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น) ใน 1 หน่วยเวลา

$$\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยาเฉลี่ย} = \frac{\text{ปริมาณสารที่เปลี่ยนแปลงไป}}{\text{ระยะเวลาทั้งหมดที่สารเกิดการเปลี่ยนแปลง}}$$

2. อัตราการเกิดปฏิกิริยา ณ ขณะใดขณะหนึ่ง หมายถึงอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่คิดจากปริมาณสารที่เปลี่ยนไป (ปริมาณสารตั้งต้นที่ลดลงหรือปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น) ณ ช่วงใดช่วงหนึ่ง ขณะที่ปฏิกิริยาดำเนินอยู่ใน 1 หน่วยเวลา

$$\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยา ณ ขณะใดขณะหนึ่ง} = \frac{\text{ปริมาณสารที่เปลี่ยนไป ณ ช่วงใดช่วงหนึ่ง}}{\text{ระยะเวลา ณ ช่วงที่สารเกิดการเปลี่ยนแปลง}}$$

3. อัตราการเกิดปฏิกิริยา ณ จุดใดจุดหนึ่ง หมายถึง อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่คิดจากปริมาณปริมาณสารที่เปลี่ยนแปลงไป (ปริมาณสารตั้งต้นที่ลดลงหรือปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น) ณ เวลาใดเวลาหนึ่งในช่วงสั้น ๆ ขณะที่ปฏิกิริยาดำเนินอยู่ใน 1 หน่วยเวลา

อัตราการเกิดปฏิกิริยา ณ จุดใดจุดหนึ่ง หาได้จากกราฟซึ่งเป็นค่าความชันของกราฟระหว่างปริมาณสารที่เปลี่ยนไปกับเวลา

ตัวอย่างการคำนวณ

1. เมื่อนำสังกะสีจำนวน 100 g ใส่ลงในกรดไฮโดรคลอริกจำนวนหนึ่งปรากฏว่าเกิดก๊าซไฮโดรเจนขึ้น ดังสมการ $\text{Zn (s)} + 2\text{HCl (aq)} \longrightarrow \text{ZnCl}_2\text{(aq)} + \text{H}_2\text{(g)}$ ได้ทดลองจับเวลาเก็บก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ทุก 1 cm^3 ได้ผลการทดลองดังนี้

ปริมาตร H_2 (cm^3)	เวลา (s)
1	10
2	22
3	36
4	52
5	75
6	105
7	160
8	220

จงหา

- อัตราการเกิดปฏิกิริยาเฉลี่ยของก๊าซ H_2
- อัตราการเกิดปฏิกิริยาของก๊าซ H_2 ระหว่างปริมาตรที่ 1-2 และ 5-6
- อัตราการเกิดปฏิกิริยาของก๊าซ H_2 ณ วินาทีที่ 30 และ 120

วิธีทำ ก. อัตราการเกิดปฏิกิริยาเฉลี่ยของก๊าซ H_2 = $\frac{\text{ปริมาณ } H_2 \text{ ที่เกิดขึ้น}}{\text{เวลาทั้งหมดที่เกิดแก๊ส } H_2}$

$$= \frac{8 \text{ cm}^3}{220 \text{ s}} = 0.036 \text{ cm}^3 / \text{s}$$

ตอบ อัตราการเกิดปฏิกิริยาเฉลี่ยของ $H_2 = 0.036 \text{ cm}^3 / \text{s}$

วิธีทำ ข. อัตราการเกิดปฏิกิริยาของก๊าซ H_2 ระหว่างปริมาตรที่ 1-2 และ 5-6

อัตราการเกิดปฏิกิริยาของก๊าซ H_2 ระหว่างปริมาตรที่ 1-2 = $\frac{\text{ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไป}}{\text{เวลาที่เปลี่ยนแปลงไป}}$

$$= \frac{2-1}{22-10} = \frac{1}{12} = 0.083 \text{ cm}^3 / \text{s}$$

อัตราการเกิดปฏิกิริยาของก๊าซ H_2 ระหว่างปริมาตรที่ 5-6 = $\frac{\text{ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไป}}{\text{เวลาที่เปลี่ยนแปลงไป}}$

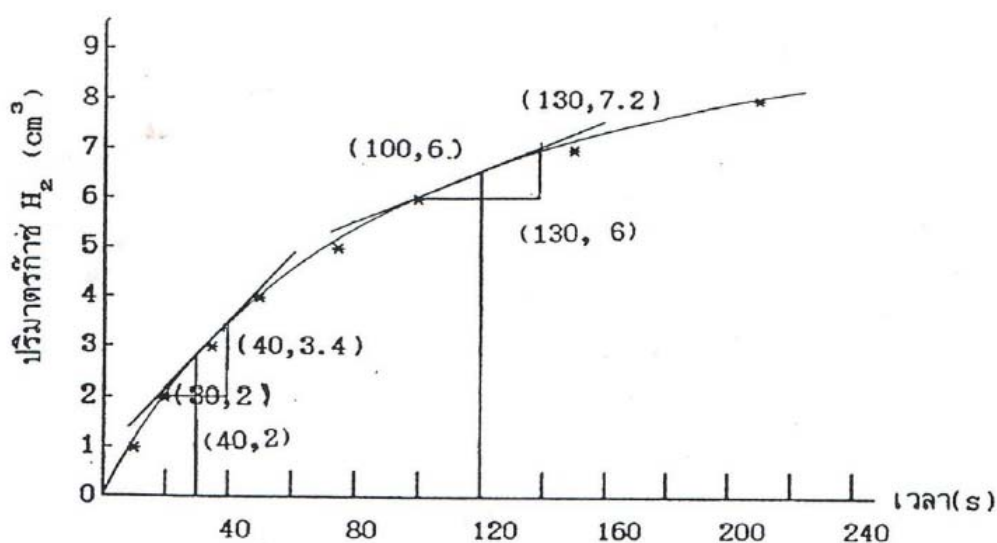
$$= \frac{6-5}{105-75} = \frac{1}{30} = 0.033 \text{ cm}^3 / \text{s}$$

ตอบ อัตราการเกิดปฏิกิริยาของก๊าซ H_2 ระหว่างปริมาตรที่ 1-2 = $0.083 \text{ cm}^3 / \text{s}$

อัตราการเกิดปฏิกิริยาของก๊าซ H_2 ระหว่างปริมาตรที่ 5-6 = $0.033 \text{ cm}^3 / \text{s}$

วิธีทำ ค. อัตราการเกิดปฏิกิริยาของก๊าซ H_2 ณ วินาทีที่ 30 และ 120

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรก๊าซ H_2 กับเวลาที่เกิดขึ้น



$$\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยาของก๊าซ H}_2 \text{ ณ วินาทีที่ 30} = \frac{3.4 - 2.0}{40 - 20} = \frac{1.4}{20}$$

$$= 0.070 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยาของก๊าซ H}_2 \text{ ณ วินาทีที่ 120} = \frac{7.2 - 6.0}{130 - 100} = \frac{1.2}{30}$$

$$= 0.04 \text{ cm}^3/\text{s}$$

ตอบ อัตราการเกิดปฏิกิริยาของก๊าซ H₂ ณ วินาทีที่ 30 = 0.070 cm³/s

อัตราการเกิดปฏิกิริยาของก๊าซ H₂ ณ วินาทีที่ 120 = 0.04 cm³/s

4. การสรุป



1. อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี หมายถึง ปริมาณสารตั้งต้นที่ลดลง หรือปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาในหนึ่งหน่วยเวลา

2. ประเภทของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จำแนกออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.1 อัตราการเกิดปฏิกิริยาเฉลี่ย อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่คิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นที่ลดลงหรือผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นตลอดการเกิดปฏิกิริยา

2.2 อัตราการเกิดปฏิกิริยา ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่คิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นที่ลดลงหรือผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง

2.3 อัตราการเกิดปฏิกิริยา ณ ขณะใดขณะหนึ่ง อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่คิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นที่ลดลงหรือผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น ณ เวลาขณะใดขณะหนึ่ง สามารถหาได้จากกราฟ ซึ่งก็คือ ค่าความชัน (slope) ของกราฟระหว่างปริมาณของสารที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา

แบบฝึกหัด เรื่อง ความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

คำชี้แจง ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้ (20 คะแนน)

1. ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นช้าหรือเร็วเพียงใดพิจารณาจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยวัดจากปริมาณสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงขณะปฏิกิริยาดำเนินไปในหนึ่งหน่วยเวลา นักเรียนสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้อย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

2. จากปฏิกิริยาสาร A ทำปฏิกิริยากับสาร B เกิดเป็นสาร C ซึ่งเขียนสมการได้ดังนี้

$A + B \longrightarrow C$ ถ้าจะหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร A สามารถทำได้โดยการวัดความเข้มข้นของสาร A เมื่อตอนเริ่มต้น ปฏิกิริยา (A_1) ณ เวลา t_1 เมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไประยะเวลาหนึ่งวัดความเข้มข้นของสาร A อีกครั้ง (A_2) ที่เวลา t_2 ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาของสาร A เขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยาของสาร A} &= \frac{\text{ความเข้มข้นของสาร A ที่เปลี่ยนแปลงไป}}{\text{ระยะเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลง}} \\ &= -\frac{[A_2] - [A_1]}{t_2 - t_1} \\ &= -\frac{\Delta[A]}{\Delta t}\end{aligned}$$

เมื่อ Δ แทนการเปลี่ยนแปลง

Δt แทนระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลง (หน่วยเป็นวินาที)

[] แทนความเข้มข้นของสาร (หน่วยเป็น mol/dm^3)

ถ้าต้องการหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาของสาร B นักเรียนสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้อย่างไร

.....

.....

3. ถ้าต้องการหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์คือ สาร C นักเรียนสามารถเขียนความสัมพันธ์นี้ได้อย่างไร

.....

.....

ให้นักเรียนพิจารณาข้อมูลต่อไปนี้แล้วตอบคำถามข้อ 4-5

4. ปฏิกิริยาการสลายตัวของแก๊สไดไนโตรเจนเพนตะออกไซด์ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ซึ่งมีสีน้ำตาลกับแก๊สออกซิเจน ดังสมการ $2 \text{N}_2\text{O}_5 (\text{g}) \longrightarrow 4 \text{NO}_2 (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g})$ และวัดความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ได้ผลดังตารางนี้

เวลา (s)	ความเข้มข้น (mol/dm^3)		
	N_2O_5	NO_2	O_2
0	0.0200	0.0000	0.0000
100	0.0169	0.0063	0.0016
200	0.0142	0.0115	0.0029
300	0.0120	0.0160	0.0040
400	0.0101	0.0197	0.0049
500	0.0086	0.0229	0.0057
600	0.0072	0.0256	0.0064

จากข้อมูลในตาราง สามารถคำนวณหาอัตราการสลายตัวของแก๊ส N_2O_5 ในช่วงเวลาที่ 0-100 วินาที ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราการสลายตัวของแก๊ส } \text{N}_2\text{O}_5 &= -\frac{[\text{N}_2\text{O}_5]_{t_{100}} - [\text{N}_2\text{O}_5]_{t_0}}{t_{100} - t_0} \\
 &= -\frac{0.0169 \text{ mol/dm}^3 - 0.0200 \text{ mol/dm}^3}{100 \text{ s} - 0 \text{ s}} \\
 &= -\frac{(-0.0031) \text{ mol/dm}^3}{100 \text{ s}} \\
 &= 0.00031 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s} \\
 &= 3.1 \times 10^{-5} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}
 \end{aligned}$$

ถ้าต้องการคำนวณหาอัตราการสลายตัวของแก๊ส N_2O_5 ในช่วงเวลาที่ 500 – 600 วินาที
นักเรียนสามารถคำนวณหาได้อย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. จากข้อมูลในตารางสามารถคำนวณหาอัตราการเกิดแก๊ส NO_2 ในช่วงเวลา 0-100 วินาที ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{อัตราการเกิดแก๊ส NO}_2 &= -\frac{[\text{NO}_2]_{t_{100}} - [\text{NO}_2]_{t_0}}{t_{100} - t_0} \\ &= \frac{0.0063 \text{ mol} / \text{dm}^3 - 0.0000 \text{ mol} / \text{dm}^3}{100 \text{ s} - 0 \text{ s}} \\ &= \frac{(0.0063) \text{ mol} / \text{dm}^3}{100 \text{ s}} \\ &= 6.3 \times 10^{-5} \text{ mol} / \text{dm}^3 \cdot \text{s}\end{aligned}$$

ถ้าต้องการคำนวณหาอัตราการเกิดแก๊ส NO_2 ในช่วงเวลา 500-600 วินาที นักเรียน
สามารถคำนวณหาได้อย่างไร

.....

.....

.....

.....

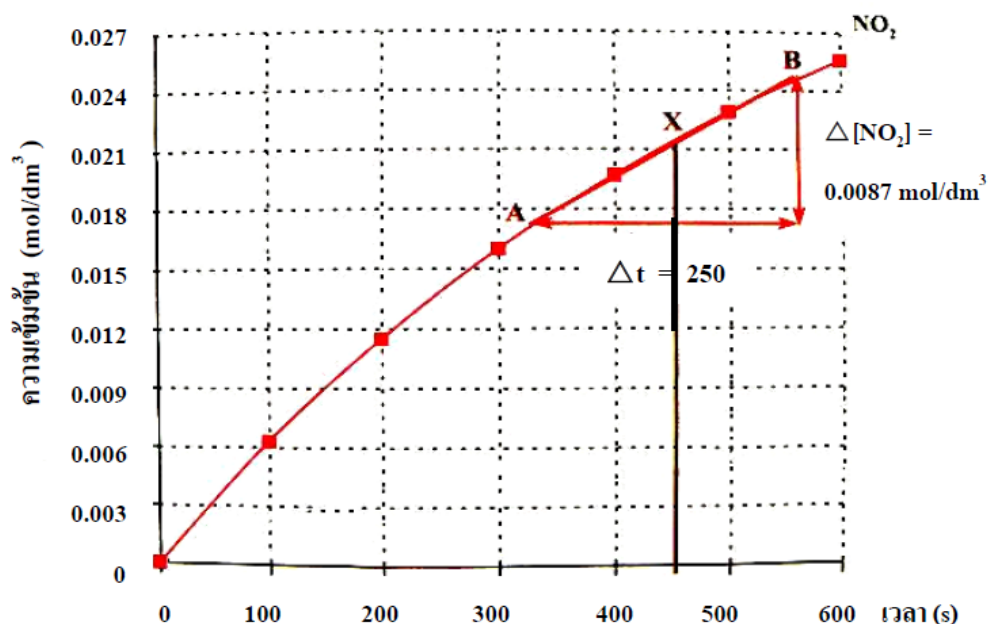
.....

.....

.....

.....

6. จากข้อมูลในตารางสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแก๊ส NO_2 กับเวลา ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสได้และสามารถคำนวณหาอัตราการเกิดแก๊ส NO_2 ณ วินาทีที่ 450 ได้ดังนี้



$$\begin{aligned}
 \text{อัตราการเกิดแก๊ส NO}_2 \text{ ณ วินาทีที่ 450} &= \frac{\Delta[\text{NO}_2]}{\Delta t} \\
 &= \frac{0.0087 \text{ mol} / \text{dm}^3}{250 \text{ s}} \\
 &= 0.000035 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s} \\
 &= 3.5 \times 10^{-5} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}
 \end{aligned}$$

ถ้าต้องการคำนวณหาอัตราการเกิดแก๊ส NO_2 ณ วินาทีที่ 250 นักเรียนสามารถคำนวณหาได้อย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

7. จงอธิบายว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเฉลี่ยกับอัตราการเกิดปฏิกิริยา ณ ขณะใดขณะหนึ่งแตกต่างกันอย่างไร

.....

.....

.....

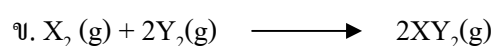
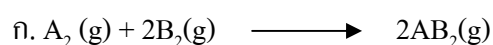
.....

8. สาร X ทำปฏิกิริยากับสาร Y เกิดเป็นสาร Z จากการทดลองพบว่าอัตราการลดลงของ X เท่ากับ $\frac{1}{3}$ ของอัตราการลดลงของสาร Y และเท่ากับ $\frac{1}{2}$ ของอัตราการเพิ่มขึ้นของ สาร Z จงเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

.....

.....

9. จากการทดลองเผาสารในภาชนะปิด 2 ใบ ที่อุณหภูมิเดียวกัน มีปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังสมการ



ได้ผลการทดลองดังนี้

ภาชนะ ก

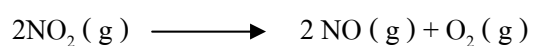
เวลา (s)	A_2 (mol)	B_2 (mol)	AB_2 (mol)
0	2.0	1.0	0
10	1.6	0.8	0.4
20	1.2	0.6	0.8
30	0.8	0.4	1.2
40	0.6	0.3	1.4
50	0.2	0.1	1.8
60	0.2	0.1	1.8

ภาชนะ ข

เวลา (s)	X_2 (mol)	Y_2 (mol)	XY_2 (mol)
0	2.0	1.0	0
10	1.4	0.7	0.6
20	0.8	0.4	1.2
30	0.6	0.3	1.4
40	0.4	0.2	1.6
50	0.2	0.1	1.8
60	0.2	0.1	1.8

ถ้าภาชนะทั้ง 2 ใบมีความจุ 1 dm^3 เท่ากัน อัตราการเกิดปฏิกิริยาในภาชนะทั้ง 2 ใบ แตกต่างกันหรือไม่อย่างไร จงอธิบาย

10. แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ได้รับความร้อนจะเกิดการสลายตัวดังสมการ



เมื่อเริ่มต้นปฏิกิริยามี NO_2 0.113 mol/dm^3 หลังจากเกิดปฏิกิริยาแล้ว 60 วินาที มี NO_2 เหลืออยู่ 0.1076 mol/dm^3 จงหาอัตราการสลายตัวของ NO_2 และอัตราการเกิด NO และ O_2

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

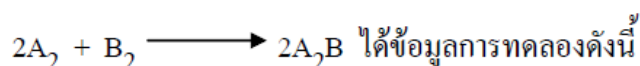
ชื่อ.....ชั้น.....เลขที่.....

แบบทดสอบหลังเรียน
เรื่อง ความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

คำชี้แจง ให้เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงหนึ่งคำตอบ โดยทำเครื่องหมาย X หน้าอักษรข้อที่ถูกลงในกระดาษคำตอบที่ให้ไว้

คำชี้แจง ใช้ข้อมูลต่อไปนี้ตอบคำถามข้อ 1 – 2

ข้อมูลการทดลองเผาไหม้ในภาชนะปิด มีปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังสมการ



สารตั้งต้นที่เหลือ		สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น	เวลาที่ใช้
A_2 (mol)	B_2 (mol)	A_2B (mol)	(s)
2.0	1.0	0	0
1.6	0.8	0.4	10
1.2	0.6	0.8	25
0.8	0.4	1.2	55
0.6	0.3	1.4	80
0.4	0.2	1.6	110

1. อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเฉลี่ยของ A_2B เป็นกี่ mol/s

ก. 2.10×10^{-2}

ข. 1.75×10^{-2}

ค. 1.45×10^{-2}

ง. 1.25×10^{-2}

2. อัตราการเกิดปฏิกิริยาของ A_2B ระหว่างช่วงวินาทีที่ 0-10 และช่วงวินาทีที่ 55-58 ต่างกันกี่ mol/s

ก. 2.10×10^{-2}

ข. 2.70×10^{-2}

ค. 3.20×10^{-2}

ง. 3.70×10^{-2}

3. เชื้อเพลิงสะอาดชนิดหนึ่งที่สามารถใช้ในเครื่องยนต์ในอนาคตคือ $2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_2O$

เมื่อความเข้มข้นของ O_2 มีอัตราการลดลงเป็น $0.23 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$ อัตราการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของ H_2O จะเป็นเท่าใด

ก. $0.23 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$

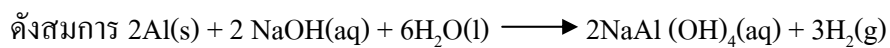
ข. $0.46 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$

ค. $0.56 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$

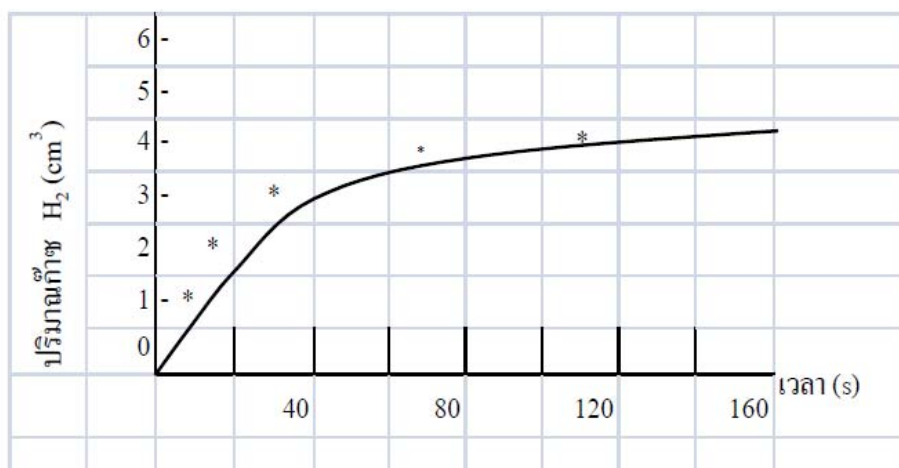
ง. $0.64 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$

คำชี้แจง ใช้ข้อมูลต่อไปนี้ตอบคำถาม 4 – 5

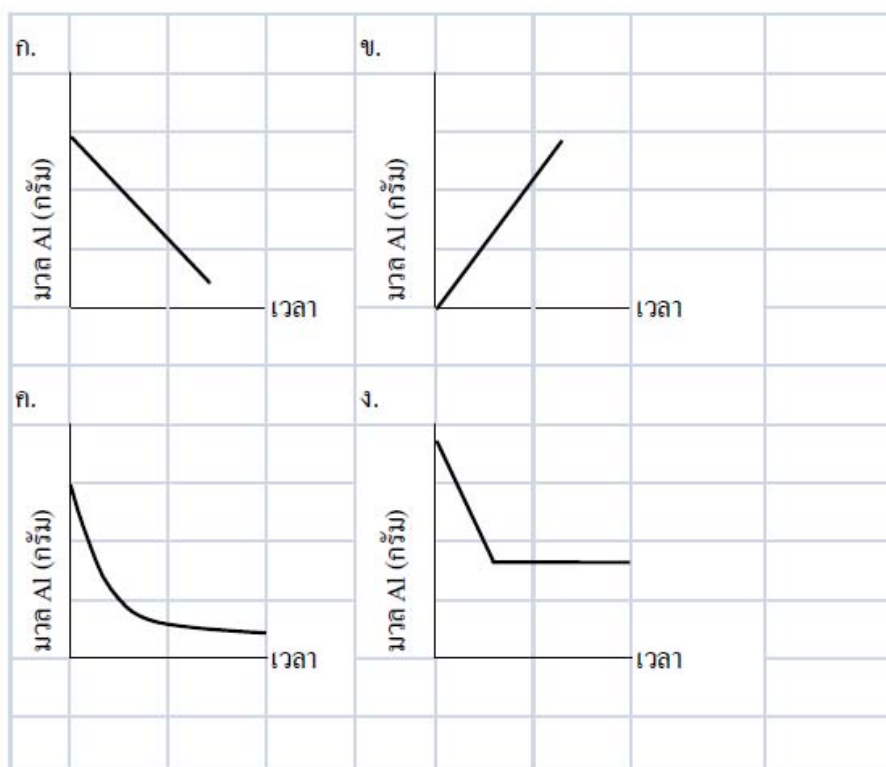
เมื่อนำแผ่นอลูมิเนียมทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้ก๊าซไฮโดรเจน



ความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซ H_2 ที่เกิดกับเวลาได้ผลตามแผนภูมิที่แสดงดังนี้



4. เมื่อปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาไปเรื่อย ๆ จน Al ถูกใช้ในปฏิกิริยาหมดไป นำเอามวล Al มาเขียนแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์กับเวลา จะได้แผนภูมิมีรูปลักษณะอย่างไรต่อไปนี้



5. อัตราการเกิดก๊าซ H_2 ณ วินาทีที่ 60 มีค่าประมาณกี่ cm^3/s

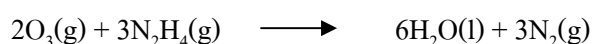
ก. 1.2×10^{-2}

ข. 1.7×10^{-2}

ค. 2.5×10^{-2}

ง. 3.3×10^{-2}

6. อัตราการเกิดน้ำเท่ากับ 0.56 mol/s จากปฏิกิริยา



อัตราการลดลงของแก๊ส O_3 ควรเป็นเท่าใด

ก. 0.68 mol/s

ข. 0.17 mol/s

ค. 0.19 mol/s

ง. 5.40 mol/s

คำชี้แจง ใช้ข้อมูลต่อไปนี้ตอบคำถามข้อ 7 – 8

การทดลองครั้งหนึ่งใช้สาร A และสาร B อย่างละ 10 กรัม ทำปฏิกิริยาเคมีกัน ปฏิกิริยาสิ้นสุดลงในเวลา 5 นาที หลังจากสิ้นสุดปฏิกิริยาพบว่ามีสาร A เหลืออยู่ 4 กรัม สาร C เกิดขึ้น 14 กรัม และเกิดก๊าซ D จำนวนหนึ่ง ข้อสรุปเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาของสารต่าง ๆ เป็นดังนี้

1. อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสาร A เท่ากับ 0.8 กรัม / นาที

2. อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสาร B เท่ากับ 2.0 กรัม / นาที

3. อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสาร C เท่ากับ 2.8 กรัม / นาที

7. ข้อสรุปใดถูกต้อง

ก. ข้อ 1 และ 2

ข. ข้อ 2 และ 3

ค. ข้อ 1 และ 3

ง. ข้อ 1, 2 และ 3

8. อัตราการเกิดปฏิกิริยาของสาร D เท่ากับ กี่ g/min

ก. 0.4

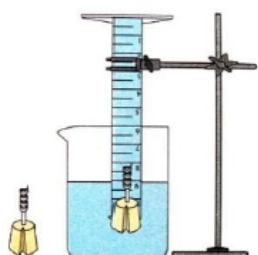
ข. 0.6

ค. 0.8

ง. 1.2

คำชี้แจง ให้ข้อมูลต่อไปนี้ตอบคำถามข้อ 9 – 10

จากผลการทดลองวัดปริมาตรแก๊ส H_2 ที่เกิดขึ้น ณ เวลาต่างๆที่ผ่านพ้นไป เมื่อใช้ลวด Mg ทำปฏิกิริยากับสารละลาย HCl ในกระบอกตวงได้ข้อมูลดังนี้



ปริมาตรแก๊ส H_2 (cm^3)	เวลา(s)
5	30
10	65
15	100
20	155

9. ถ้าต้องการเก็บแก๊สไฮโดรเจนเพิ่มอีก 5 cm^3 คือจากปริมาตร $25\text{-}30 \text{ cm}^3$ คาดว่าจะต้องเสียเวลาเพิ่มขึ้นอีกเท่าใด เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยายังมีแนวโน้มเช่นนี้อีกต่อไป

ก. ไม่เกิน 30 วินาที

ข. 55 วินาที

ค. 70 วินาที

ง. ไม่น้อยกว่า 85 วินาที

10. อัตราการเกิดปฏิกิริยา H_2 มีค่าเท่าใด

ก. $5 / 30 \text{ cm}^3/\text{s}$

ข. $15 / 100 \text{ cm}^3/\text{s}$

ค. $20 / 155 \text{ cm}^3/\text{s}$

ง. $25 / 225 \text{ cm}^3/\text{s}$

แนวตอบกิจกรรม เรื่อง ปฏิริยาระหว่างโลหะแมกนีเซียมกับกรดไฮโดรคลอริก

บันทึกผลการทดลอง

1. จับเวลาการเกิดแก๊สไฮโดรเจนทุก 1 cm³

ปริมาตรแก๊สไฮโดรเจน (cm ³) ระหว่างจุดที่	เวลา (s)
1-2	20
2-3	42
3-4	65
4-5	86
5-6	109
6-7	134
7-8	164
8-9	204
9-10	256

2. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนกับเวลาเป็นดังนี้



คำถามท้ายกิจกรรม

1. การเกิดแก๊สในแต่ละช่วงปริมาตรใช้เวลาเท่ากันหรือไม่ อย่างไร

การเกิดแก๊สไฮโดรเจนในแต่ละช่วงปริมาตรใช้เวลาไม่เท่ากันในช่วงแรกใช้เวลาน้อย และในช่วงถัดไปใช้เวลามากขึ้นตามลำดับ

2. จากการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของแก๊สกับเวลา แล้วใช้กราฟประกอบการอธิบายการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโลหะแมกนีเซียมกับกรดไฮโดรคลอริก

ลักษณะของกราฟในตอนเริ่มต้นมีความชันมาก แสดงว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้เร็ว เมื่อเวลาผ่านไปปฏิกิริยาเกิดได้ช้าลง ความชันของกราฟจึงลดลง

3. แก๊สที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างโลหะแมกนีเซียมกับกรดไฮโดรคลอริกคือแก๊สอะไร จงเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

แก๊สไฮโดรเจน เขียนสมการแสดงได้ดังนี้



4. การเกิดแก๊สไฮโดรเจนในแต่ละช่วงปริมาตรใช้เวลาเท่ากันหรือไม่ อย่างไร

การเกิดแก๊สไฮโดรเจนในแต่ละช่วงปริมาตรใช้เวลาไม่เท่ากัน ในช่วงแรกใช้เวลาน้อยและในช่วงถัดไปใช้เวลามากขึ้นตามลำดับ

5. นักเรียนสามารถอธิบายลักษณะของกราฟได้อย่างไร

ลักษณะของกราฟในตอนเริ่มต้นมีความชันมาก แสดงว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้เร็ว เมื่อเวลาผ่านไปปฏิกิริยาเกิดได้ช้าลง ความชันของกราฟจึงลดลง

6. ปริมาณสารที่เปลี่ยนแปลงในปฏิกิริยา นอกจากจะวัดปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในหนึ่งหน่วยเวลาแล้ว อาจวัดจากสารใดได้อีกบ้าง

ปริมาณสารที่เปลี่ยนแปลงในปฏิกิริยา นอกจากจะวัดปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในหนึ่งหน่วยเวลาแล้ว อาจวัดจากปริมาณของผลิตภัณฑ์อื่นคือ Mg^{2+} ที่เกิดขึ้นในหนึ่งหน่วยเวลา หรือวัดจากปริมาณสารตั้งต้นคือโลหะ Mg หรือ H^+ ที่ลดลงในหนึ่งหน่วยเวลา

สรุปผลการทดลอง

การเกิดแก๊สไฮโดรเจนในแต่ละช่วงปริมาตรใช้เวลาไม่เท่ากันในช่วงแรกใช้เวลาน้อย และในช่วงถัดไปใช้เวลามากขึ้นตามลำดับ ซึ่งลักษณะของกราฟในตอนเริ่มต้นมีความชันมาก แสดงว่าปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้เร็ว เมื่อเวลาผ่านไปปฏิกิริยาเกิดได้ช้าลง ความชันของกราฟจึงลดลง

แนวตอบแบบฝึกหัด

เรื่อง ความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

1. ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นช้าหรือเร็วเพียงใดพิจารณาจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยวัดจากปริมาณสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงขณะปฏิกิริยาดำเนินไปในหนึ่งหน่วยเวลา นักเรียนสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้อย่างไร

$$\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสาร} = \frac{\text{ปริมาณสารที่เปลี่ยนไป}}{\text{เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงของสาร}}$$

$$\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารตั้งต้น} = \frac{\text{ปริมาณสารตั้งต้นที่ลดลง}}{\text{ระยะเวลาที่เกิดปฏิกิริยา}}$$

$$\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารผลิตภัณฑ์} = \frac{\text{ปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น}}{\text{ระยะเวลาที่}}$$

2. จากปฏิกิริยาสาร A ทำปฏิกิริยากับสาร B เกิดเป็นสาร C ซึ่งเขียนสมการได้ดังนี้

$A + B \longrightarrow C$ ถ้าจะหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสาร A สามารถทำได้โดยการวัดความเข้มข้นของสาร A เมื่อตอนเริ่มต้น ปฏิกิริยา (A_1) ณ เวลา t_1 เมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไประยะเวลาหนึ่งวัดความเข้มข้นของสาร A อีกครั้ง (A_2) ที่เวลา t_2 ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาของสาร A เขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{อัตราการเกิดปฏิกิริยาของสาร A} &= \frac{\text{ความเข้มข้นของสาร A ที่เปลี่ยนแปลงไป}}{\text{ระยะเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลง}} \\ &= -\frac{[A_2] - [A_1]}{t_2 - t_1} = -\frac{\Delta[A]}{\Delta t} \end{aligned}$$

เมื่อ Δ แทนการเปลี่ยนแปลง

Δt แทนระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลง (หน่วยเป็นวินาที)

$[]$ แทนความเข้มข้นของสาร (หน่วยเป็น mol/dm^3)

ถ้าต้องการหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาของสาร B นักเรียนสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้อย่างไร

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

3. ถ้าต้องการหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์คือ สาร C นักเรียนสามารถเขียนความสัมพันธ์นี้ได้อย่างไร

$$\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยาของสาร C} = \frac{\Delta[C]}{\Delta t}$$

ให้นักเรียนพิจารณาข้อมูลต่อไปนี้แล้วตอบคำถามข้อ 4-5

4. ปฏิกิริยาการสลายตัวของแก๊สไดไนโตรเจนเพนตะออกไซด์ ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ซึ่งมีสีน้ำตาลกับแก๊สออกซิเจน ดังสมการ $2 \text{N}_2\text{O}_5 (\text{g}) \longrightarrow 4 \text{NO}_2 (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g})$ และวัดความเข้มข้นของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ได้ผลดังตารางนี้

เวลา (s)	ความเข้มข้น (mol/dm^3)		
	N_2O_5	NO_2	O_2
0	0.0200	0.0000	0.0000
100	0.0169	0.0063	0.0016
200	0.0142	0.0115	0.0029
300	0.0120	0.0160	0.0040
400	0.0101	0.0197	0.0049
500	0.0086	0.0229	0.0057
600	0.0072	0.0256	0.0064

จากข้อมูลในตาราง สามารถคำนวณหาอัตราการสลายตัวของแก๊ส N_2O_5 ในช่วงเวลาที่ 0-100 วินาที ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราการสลายตัวของแก๊ส } \text{N}_2\text{O}_5 &= - \frac{[\text{N}_2\text{O}_5]_{t_{100}} - [\text{N}_2\text{O}_5]_{t_0}}{t_{100} - t_0} \\
 &= - \frac{0.0169 \text{ mol/dm}^3 - 0.0200 \text{ mol/dm}^3}{100 \text{ s} - 0 \text{ s}} \\
 &= - \frac{(-0.0031) \text{ mol/dm}^3}{100 \text{ s}} \\
 &= 0.00031 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s} \\
 &= 3.1 \times 10^{-5} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}
 \end{aligned}$$

ถ้าต้องการคำนวณหาอัตราการสลายตัวของแก๊ส N_2O_5 ในช่วงเวลาที่ 500 – 600 วินาที นักเรียนสามารถคำนวณหาได้อย่างไร

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราการสลายตัวของแก๊ส } N_2O_5 &= - \frac{[N_2O_5]_{t_{600}} - [N_2O_5]_{t_{500}}}{t_{600} - t_{500}} \\
 &= - \frac{0.0072 \text{ mol} / \text{dm}^3 - 0.0086 \text{ mol} / \text{dm}^3}{600\text{s} - 500\text{s}} \\
 &= - \frac{(-0.0014) \text{ mol} / \text{dm}^3}{100\text{s}} \\
 &= 0.000014 \text{ mol} / \text{dm}^3 \cdot \text{s} \\
 &= 1.4 \times 10^{-5} \text{ mol} / \text{dm}^3 \cdot \text{s}
 \end{aligned}$$

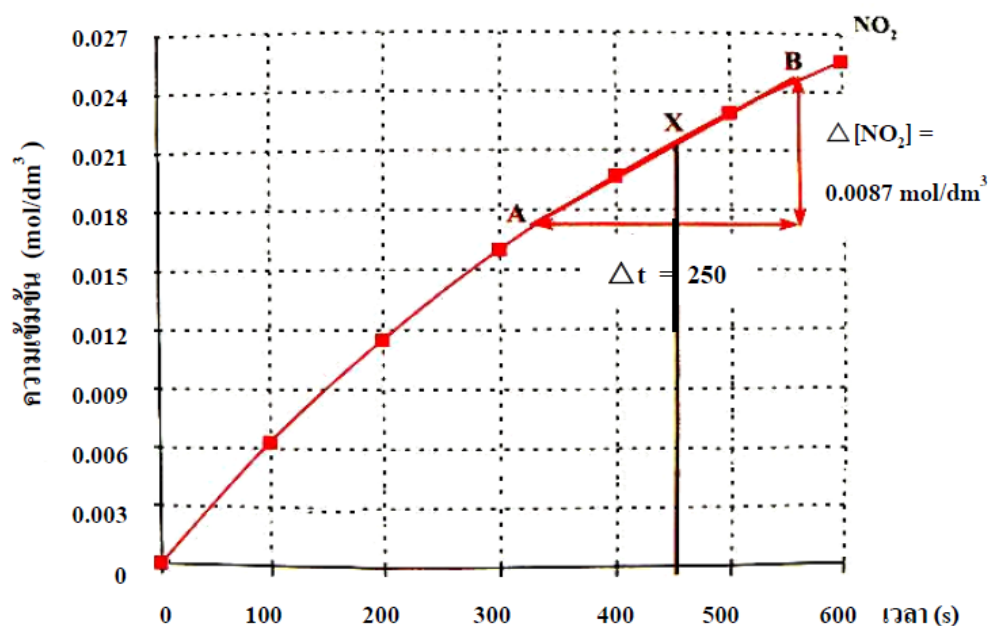
5. จากข้อมูลในตารางสามารถคำนวณหาอัตราการเกิดแก๊ส NO_2 ในช่วงเวลา 0-100 วินาที ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราการเกิดแก๊ส } NO_2 &= - \frac{[NO_2]_{t_{100}} - [NO_2]_{t_0}}{t_{100} - t_0} \\
 &= \frac{0.0063 \text{ mol} / \text{dm}^3 - 0.0000 \text{ mol} / \text{dm}^3}{100\text{s} - 0\text{s}} \\
 &= \frac{(0.0063) \text{ mol} / \text{dm}^3}{100\text{s}} \\
 &= 6.3 \times 10^{-5} \text{ mol} / \text{dm}^3 \cdot \text{s}
 \end{aligned}$$

ถ้าต้องการคำนวณหาอัตราการเกิดแก๊ส NO_2 ในช่วงเวลา 500-600 วินาที นักเรียนสามารถคำนวณหาได้อย่างไร

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราการเกิดแก๊ส } NO_2 &= - \frac{[NO_2]_{t_{600}} - [NO_2]_{t_{500}}}{t_{600} - t_{500}} \\
 &= \frac{0.0256 \text{ mol} / \text{dm}^3 - 0.0229 \text{ mol} / \text{dm}^3}{600\text{s} - 500\text{s}} \\
 &= \frac{(0.0027) \text{ mol} / \text{dm}^3}{100\text{s}} \\
 &= 2.7 \times 10^{-5} \text{ mol} / \text{dm}^3 \cdot \text{s}
 \end{aligned}$$

6. จากข้อมูลในตารางสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแก๊ส NO_2 กับเวลา ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสได้และสามารถคำนวณหาอัตราการเกิดแก๊ส NO_2 ณ วินาทีที่ 450 ได้ดังนี้



$$\begin{aligned}
 \text{อัตราการเกิดแก๊ส NO}_2 \text{ ณ วินาทีที่ 450} &= \frac{\Delta[\text{NO}_2]}{\Delta t} \\
 &= \frac{0.0087 \text{ mol} / \text{dm}^3}{250 \text{ s}} \\
 &= 0.000035 \text{ mol} / \text{dm}^3 \cdot \text{s} \\
 &= 3.5 \times 10^{-5} \text{ mol} / \text{dm}^3 \cdot \text{s}
 \end{aligned}$$

ถ้าต้องการคำนวณหาอัตราการเกิดแก๊ส NO₂ ณ วินาทีที่ 250 นักเรียนสามารถคำนวณหาได้อย่างไร

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราการเกิดแก๊ส NO}_2 \text{ ณ วินาทีที่ 250} &= \frac{\Delta[\text{NO}_2]}{\Delta t} \\
 &= \frac{0.008 \text{ mol} / \text{dm}^3}{150 \text{ s}} \\
 &= 0.000053 \text{ mol} / \text{dm}^3 \cdot \text{s} \\
 &= 5.3 \times 10^{-5} \text{ mol} / \text{dm}^3 \cdot \text{s}
 \end{aligned}$$

7. จงอธิบายว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเฉลี่ยกับอัตราการเกิดปฏิกิริยา ณ ขณะใดขณะหนึ่งแตกต่างกันอย่างไร

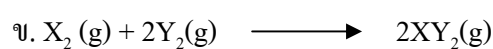
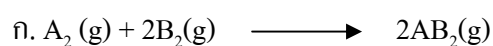
อัตราการเกิดปฏิกิริยาเฉลี่ย เป็นค่าที่แสดงถึงความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ลดลงหรือความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดปฏิกิริยาต่อระยะเวลาที่เกิดปฏิกิริยาแต่อัตราการเกิดปฏิกิริยา ณ ขณะใดขณะหนึ่ง เป็นค่าที่แสดงถึงความเข้มข้นของสารตั้งต้น ที่ลดลงหรือความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น ณ จุดใดจุดหนึ่งหรือเวลาใดเวลาหนึ่งขณะที่ปฏิกิริยา กำลังดำเนินอยู่

8. สาร X ทำปฏิกิริยากับสาร Y เกิดเป็นสาร Z จากการทดลองพบว่าอัตราการลดลงของ X เท่ากับ $1/3$ ของอัตราการลดลงของสาร Y และเท่ากับ $1/2$ ของอัตราการเพิ่มขึ้นของ สาร Z จงเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

สมการแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



9. จากการทดลองเผาสารในภาชนะปิด 2 ใบ ที่อุณหภูมิเดียวกัน มีปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังสมการ



ได้ผลการทดลองดังนี้

ภาชนะ ก

เวลา (s)	A_2 (mol)	B_2 (mol)	AB_2 (mol)
0	2.0	1.0	0
10	1.6	0.8	0.4
20	1.2	0.6	0.8
30	0.8	0.4	1.2
40	0.6	0.3	1.4
50	0.2	0.1	1.8
60	0.2	0.1	1.8

ภาชนะ ข

เวลา (s)	X_2 (mol)	Y_2 (mol)	XY_2 (mol)
0	2.0	1.0	0
10	1.4	0.7	0.6
20	0.8	0.4	1.2
30	0.6	0.3	1.4
40	0.4	0.2	1.6
50	0.2	0.1	1.8
60	0.2	0.1	1.8

ถ้าภาชนะทั้ง 2 ใบมีความจุ 1 dm^3 เท่ากัน อัตราการเกิดปฏิกิริยาในภาชนะทั้ง 2 ใบแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร จงอธิบาย

เมื่อเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาในภาชนะ ก และภาชนะ ข โดยคิดจากความเข้มข้นของ A_2 และ X_2 ที่ลดลงในช่วงเวลา 0 – 20 วินาที และช่วงเวลา 30 – 50 วินาที รวมทั้งอัตราการเกิดปฏิกิริยาเฉลี่ยตั้งแต่ 0 – 50 วินาที จะได้ดังนี้

$$\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยา} = -\frac{(1.2 - 2.0) \text{ mol} / \text{dm}^3}{(20 - 0) \text{ s}} = -\frac{0.8 - 2.0 \text{ mol} / \text{dm}^3}{(20 - 0) \text{ s}}$$

$$\text{ในช่วงเวลา 0-20 s} = -\frac{(-0.8) \text{ mol} / \text{dm}^3}{20 \text{ s}} = \frac{(-1.2) \text{ mol} / \text{dm}^3}{20 \text{ s}}$$

$$\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยา} = -\frac{(0.2 - 0.8)\text{mol} / \text{dm}^3}{(50 - 30)\text{s}} = -\frac{(0.2 - 0.6)\text{mol} / \text{dm}^3}{(50 - 30)\text{s}}$$

$$\text{ในช่วงเวลา 30-50 s} = -\frac{(0.6)\text{mol} / \text{dm}^3}{20\text{s}} = -\frac{(-0.4)\text{mol} / \text{dm}^3}{20\text{s}}$$

$$= 3.0 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s} = 2.0 \times 10^{-2} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$$

สรุปได้ว่า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสถานะทั้ง 2 ใบ มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาแตกต่างกัน โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาในช่วงเวลา 0 – 20 วินาที ในสถานะ ก จะช้ากว่าในสถานะ ข แต่ในช่วงเวลา 30 – 50 วินาที อัตราการเกิดปฏิกิริยาในสถานะ ก จะเร็วกว่าในสถานะ ข ส่วนอัตราการเกิดปฏิกิริยาเฉลี่ยตั้งแต่เวลาเริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดปฏิกิริยาในสถานะทั้ง 2 ใบมีค่าเท่ากัน

10. แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ได้รับความร้อนจะเกิดการสลายตัวดังสมการ



เมื่อเริ่มต้นปฏิกิริยามี NO_2 0.113 mol/dm^3 หลังจากเกิดปฏิกิริยาแล้ว 60 วินาที มี NO_2 เหลืออยู่ 0.1076 mol/dm^3 จงหาอัตราการสลายตัวของ NO_2 และอัตราการเกิด NO และ O_2

$$\begin{aligned} \text{อัตราการสลายตัวของ } \text{NO}_2 &= -\frac{\Delta[\text{NO}_2]}{\Delta t} \\ &= -\frac{(0.1076 - 0.1103)\text{mol} / \text{dm}^3}{60\text{s}} \\ &= 4.5 \times 10^{-5} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s} \end{aligned}$$

จากสมการที่ดุลแล้วเขียนความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยาของสารต่าง ๆ ได้ดังนี้

$$\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยา} = -1/2 \frac{\Delta[\text{NO}_2]}{\Delta t} = 1/2 \frac{\Delta[\text{NO}]}{\Delta t} = \frac{\Delta[\text{O}_2]}{\Delta t}$$

จากสมการ จำนวนโมเลกุลของ NO_2 และ NO เท่ากัน ดังนั้น อัตราการสลายตัวของ NO_2 จึงเท่ากับอัตราการเกิด NO จึงมีค่าเท่ากับ $4.5 \times 10^{-5} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$ แต่อัตราการเกิด O_2 จะเท่ากับ 1/2 ของอัตราการเกิด NO จึงมีค่าเท่ากับ $2.25 \times 10^{-5} \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$

เฉลยแบบทดสอบก่อนเรียน

- | | | | | |
|------|------|------|------|-------|
| 1. ข | 2. ก | 3. ง | 4. ง | 5. ค |
| 6. ค | 7. ข | 8. ค | 9. ง | 10. ค |

เฉลยแบบทดสอบหลังเรียน

- | | | | | |
|------|------|------|------|-------|
| 1. ค | 2. ค | 3. ข | 4. ค | 5. ง |
| 6. ค | 7. ข | 8. ก | 9. ง | 10. ง |

เอกสารอ้างอิง

- ฝ่ายวิชาการ พีบีซี. (2556). **คู่มือเตรียมสอบ สารและสมบัติของสาร ม.4-6**. กรุงเทพฯ : บริษัท สำนักพิมพ์ พีบีซี จำกัด.
- พงศธร นันธเนศ และสุนทร ภูมิปริชาเลิศ. (มปป.). **สารและสมบัติของสาร ม.4-6**. กรุงเทพฯ : บริษัทอักษรเจริญทัศน์ อจท.จำกัด.
- โรจน์ฤทธิ์ โรจนธเนศ. (2553). **สารและสมบัติของสาร ม.4-6**. กรุงเทพฯ : สถาบันพัฒนาคุณภาพ วิชาการ (พว.) จำกัด.
- วิรัช ตั๊จแพรวพันธ์. (2550). **สารและสมบัติของสาร ม.4-ม.6**. กรุงเทพฯ : บริษัทอักษรเจริญทัศน์ จำกัด.
- ศรีลักษณ์ ผลวัฒนะ และประดับ นาคแก้ว. (มปป.). **เคมีเพิ่มเติม**. กรุงเทพฯ : บริษัทสำนักพิมพ์ แม็ค จำกัด.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2553). **หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 3 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.
- สุทัศน์ ไตรสถิตวร และสมศักดิ์ วรรณกลชัย. (มปป.). **เคมี ม.5 เล่ม 3**. กรุงเทพฯ : บริษัทไฮเอ็ดพับลิชชิง จำกัด.
- สำราญ พฤกษ์สุนทร. (2553). **เคมีพื้นฐาน ม.4-6**. กรุงเทพฯ : บริษัทสำนักพิมพ์ พ.ศ. พัฒนา จำกัด.
- สมพงศ์ จันทร์โพธิ์ศรี. (2554). **เคมี ม.4-6 รายวิชาพื้นฐาน**. กรุงเทพฯ : บริษัทไฮเอ็ดพับลิชชิง จำกัด.