

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ชุดพัฒนาการทดลอง เรื่อง ปฏิกิริยาที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

การพัฒนาชุดการทดลอง หัวข้อ ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

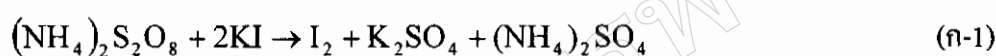
บทนำ

ผู้วิจัยมีประสบการณ์ในการสอนวิชาเคมี ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งที่ผ่านมาพบว่านักเรียนมักเกิดความเข้าใจผิดเกี่ยวกับผลของความเข้มข้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีโดยเข้าใจว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นทุกตัวและสารตั้งต้นทุกตัวมีอิทธิพลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากัน ไม่ทราบวิธีการหาค่าคงที่อัตรา กฎอัตรา และการหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นจากการทดลอง นอกจากนี้ นักเรียนเข้าใจว่าอุณหภูมิส่งผลทำให้ค่าคงที่อัตราเพิ่มขึ้นและพลังงานก่อกัมมันต์มีค่าลดลง ตลอดจนไม่ทราบวิธีการหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์จากการทดลอง เนื่องจากการทดลองเรื่องผลของความเข้มข้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในแบบเรียนรายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 3 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ ไม่มีการศึกษาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น และไม่กล่าวถึงวิธีการหาค่าคงที่อัตราและกฎอัตรา ดังนั้นนักเรียนเรียนรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของค่าคงที่อัตราและค่าพลังงานก่อกัมมันต์กับปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีด้วยการท่องจำ จึงทำให้จำประเด็นต่าง ๆ ผิดพลาดได้ การทดลองเรื่องผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในแบบเรียนไม่กล่าวถึงวิธีการหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ อีกทั้งการจัดกิจกรรมการทดลองให้ครอบคลุมเรื่องปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาอย่างครบถ้วนต้องจัดการทดลองหลายการทดลองและใช้สารเคมีหลายชนิด ทำให้มีสารเคมีที่เหลือจากการทดลองมากซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม และใช้เวลาในการเตรียมการทดลองและกิจกรรมการเรียนการสอนมาก

จากปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้พัฒนาชุดการทดลองที่สามารถแสดงให้เห็นถึงผลของปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีหลาย ๆ ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของสารตั้งต้น อุณหภูมิ และ ตัวเร่งปฏิกิริยาในการทดลองเดียว และเปิดโอกาสให้นักเรียนมีประสบการณ์ตรงในการหาค่าคงที่อัตรา กฎอัตรา อันดับของปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น และหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log$ (ค่าคงที่อัตรา) กับส่วนกลับของอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน การทดลองที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น ทำให้ครูผู้สอนใช้เวลาในการเตรียมการทดลองและกิจกรรมการเรียนการสอนลดลง ลดปริมาณและชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการทดลองได้ จึงทำให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลดลงด้วย

ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวกับการทดลองในหัวข้อปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ได้ข้อมูลที่น่าสนใจ ต่อไปนี้

Carpenter and Phillips (2010) ได้ปรับปรุงการทดลอง “Peroxydisulfate – Iodide clock reaction” ซึ่งปกติใช้เป็นปฏิบัติการเคมีสำหรับสอนนักศึกษาปริญญาปีที่ 1 เพื่อให้ได้การทดลองที่เหมาะสมสำหรับสอนนักเรียนระดับมัธยมศึกษาเกรด 9 กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนเกรด 9 จำนวน 250 คน การทดลองนี้จะทำการศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาระหว่างไอโอไดค์ไอออน (I⁻) และ เปอร์ออกซีไดซัลเฟตไอออน (S₂O₈²⁻) แสดงดังสมการ



โดยในงานวิจัยดังกล่าวจัดให้นักเรียนทดลองเป็นคู่ และไม่บอกขั้นตอนย่อยของปฏิกิริยา เพื่อให้สืบเสาะหาความรู้ด้วยตนเอง การทดลองแต่ละชุดปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารตั้งต้น อุณหภูมิ และเติมตัวเร่งปฏิกิริยา ผลการวิจัยพบว่า การทดลองนี้สามารถแสดงให้เห็นความรู้ในบทเรียนได้อย่างตรงไปตรงมา นักเรียนเกิดความสนใจและสนุกสนานกับการทำงานคล้ายนักวิทยาศาสตร์ และนักเรียน ครู ผู้ปกครอง และผู้ช่วยสอนมีความคิดเห็นที่ดีต่อการทดลองนี้ แต่อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยดังกล่าวไม่ได้หาค่าคงที่อัตรา และอันดับของปฏิกิริยาเทียบกับ [I⁻] และ [S₂O₈²⁻] ตามลำดับ นอกจากนี้ พลังงานก่อกัมมันต์ (Activation energy) ไม่ได้รายงานในงานวิจัยด้วย

ผู้วิจัยได้ปรับปรุงและพัฒนาการทดลองดังกล่าวเพื่อให้สามารถหาค่าคงที่อัตรา และอันดับของปฏิกิริยาเทียบกับ [I⁻] และ [S₂O₈²⁻] ตามลำดับ และหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ได้ โดยใช้สารเคมีในปริมาณน้อยกว่าการทดลองเดิม ตลอดจนใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายในห้องปฏิบัติการเคมีในโรงเรียนมัธยมศึกษาทั่วไปอีกด้วย

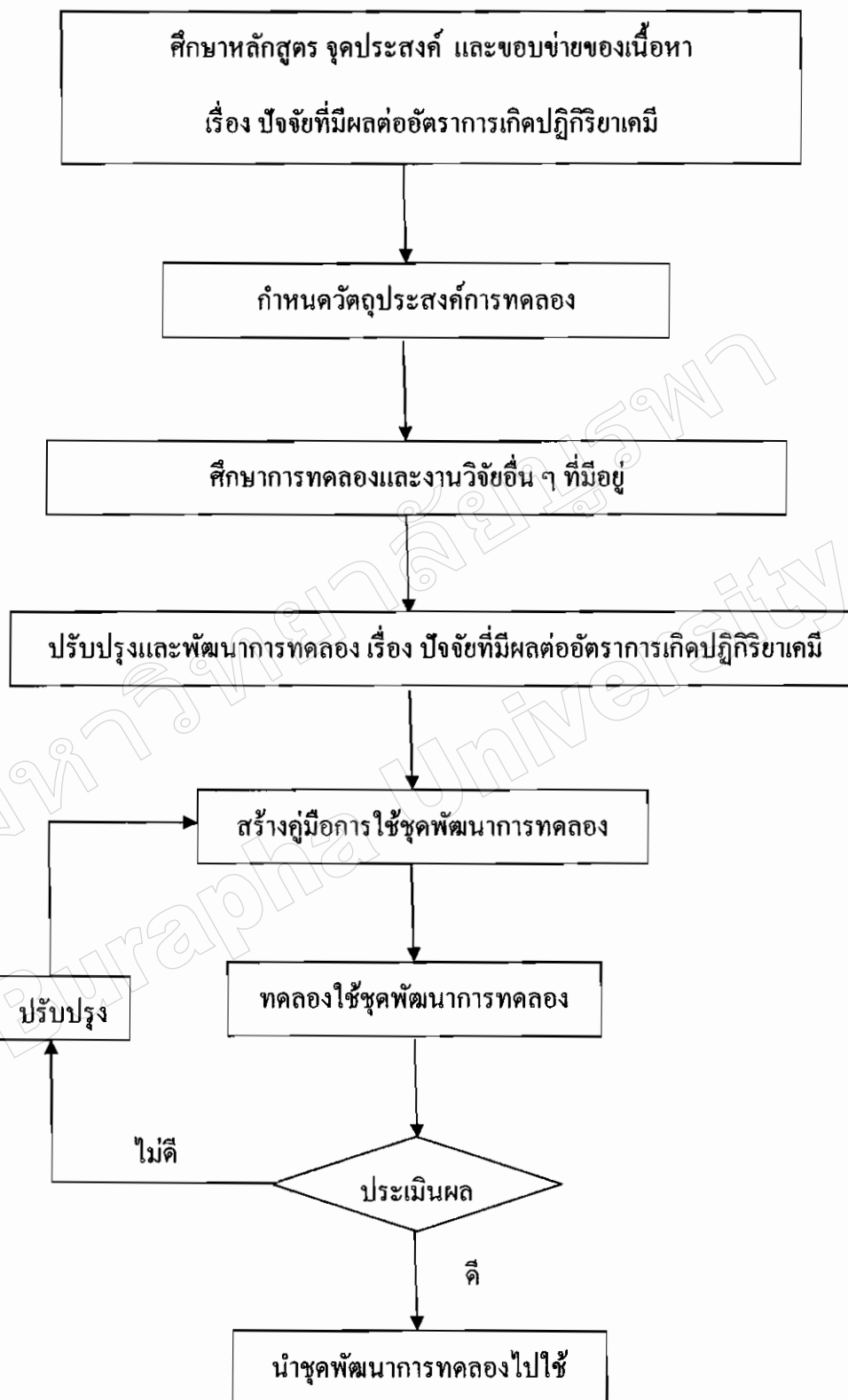
การพัฒนาการทดลอง

การพัฒนาการทดลองประกอบด้วยใบงานและคู่มือการทดลอง ซึ่งผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นให้นักเรียนสามารถเรียนรู้เนื้อหาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาได้หลายหัวข้อในการทดลองเดียว ลดปริมาณการใช้สารเคมี และลดเวลาในการจัดเตรียมกิจกรรมการเรียนรู้ของครูผู้สอน ชุดพัฒนาการทดลองประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ ชื่อกิจกรรมการทดลอง ทฤษฎีและหลักการ วัตถุประสงค์ วัสดุอุปกรณ์การทดลอง วิธีการทดลอง ผลการทดลอง การอภิปรายผล การทดลอง สรุปผลการทดลอง และคำถามท้ายการทดลอง การออกแบบและพัฒนาการทดลองอาศัยหลักการ คือ กิจกรรมการทดลองต้องสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ตามหลักสูตรสถานศึกษา

ในการออกแบบและสร้างการทดลองขึ้นใหม่โดยการปรับปรุงหรือพัฒนาจากการทดลองอื่นๆ ที่มีอยู่ ควรพิจารณาองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

1. สามารถแสดงให้เห็นความจริงหรือปรากฏการณ์ที่ต้องการสอนได้อย่างชัดเจน
2. ความปลอดภัยของผู้ทดลอง/นักเรียน
3. ใช้อุปกรณ์การทดลองไม่ซับซ้อนจนเกินไป
4. สารเคมีและอุปกรณ์สามารถจัดหาได้ง่ายในโรงเรียน

การพัฒนาการทดลอง เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี หัวข้อ ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี มีขั้นตอน ดังภาพ



ภาพที่ ก - 1 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างชุดพัฒนาการทดลอง

คำแนะนำในการใช้ชุดพัฒนาการทดลอง

1. ให้นักเรียนทำการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน
2. ชุดพัฒนาการทดลองประกอบด้วย การทดลอง 3 ตอน ใช้เวลาทดลองทั้งสิ้น 3 คาบเรียน คือ
ตอนที่ 1 ของความเข้มข้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา: การหาอันดับของปฏิกิริยาและ
ค่าคงที่อัตราจนถึงกฎอัตรา
ตอนที่ 2 ผลของอุณหภูมิ : การหาพลังงานก่อกัมมันต์
ตอนที่ 3 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา
3. ปฏิบัติการทดลองตามกิจกรรมที่กำหนด
4. รายงานผลการทดลองตามกิจกรรมในคู่มือการทดลอง
5. ตอบคำถามท้ายการทดลอง
6. ให้นักเรียนทำใบงานและทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน

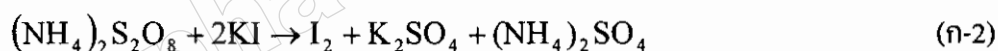
คู่มือการทดลอง ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ได้แก่ ความเข้มข้นของสารตั้งต้น อุณหภูมิ และตัวเร่งปฏิกิริยา
2. เพื่อให้เข้าใจความหมายและการคำนวณหาอันดับปฏิกิริยาเทียบกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น ค่าคงที่อัตรา และกฎอัตรา
3. คำนวณค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log$ (ค่าคงที่อัตรา) กับส่วนกลับของอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน
4. ศึกษาบทบาทของตัวเร่งปฏิกิริยา

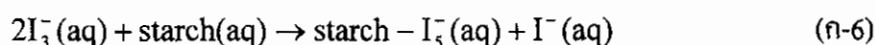
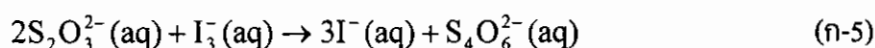
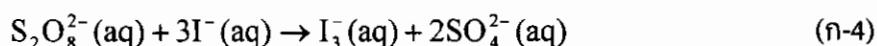
หลักการ

การทดลองนี้จะทำการศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาระหว่างไอโอไดด์ไอออน (I^-) และเปอร์ออกซีไดซัลเฟตไอออน ($S_2O_8^{2-}$)



$$\text{กฎอัตราของปฏิกิริยา คือ อัตรา} = -\frac{\Delta[S_2O_8^{2-}]}{\Delta t} = k[I^-]^m[S_2O_8^{2-}]^n \quad (ก-3)$$

การทดลองตอนที่ 1 หาค่าคงที่อัตราและอันดับของของปฏิกิริยา (ก-2) โดยอาศัยปฏิกิริยาที่เรียกว่า ปฏิกิริยานาฬิกา (clock reaction) ดังแสดงในสมการ



จากสมการ (ก-4) เมื่อ $S_2O_8^{2-}$ ทำปฏิกิริยากับ I^- จะได้ I_3^- สาร I_3^- ที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับ $S_2O_3^{2-}$ ดังสมการ (ก-5) เมื่อ $S_2O_3^{2-}$ หหมดไป I_3^- ที่เกิดขึ้นในสารละลายจะเกิดปฏิกิริยากับน้ำแป้งได้ Amylase – Pentaiodide ซึ่งมีสีน้ำเงินดังแสดงในสมการ (ก-6)

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองตอนที่ 1 มีดังต่อไปนี้

1. คำนวณหา $[I^-]$ และ $[S_2O_8^{2-}]$ ในสารละลายผสมแต่ละชุดปฏิกิริยา
2. คำนวณหาอัตราสัมพัทธ์ของแต่ละชุดปฏิกิริยาจากสมการ

$$\text{อัตราสัมพัทธ์} = -\frac{1}{2} \frac{\Delta[S_2O_8^{2-}]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[S_2O_8^{2-}]}{\Delta t} = k[I^-]^m[S_2O_8^{2-}]^n \quad (\text{ก-7})$$

จากการทดลอง $[S_2O_3^{2-}]$ มีค่าคงที่ นั่นคือ $-\frac{1}{2} \frac{\Delta[S_2O_3^{2-}]}{\Delta t} = \frac{k}{\Delta t}$ ดังนั้น อัตราสัมพัทธ์ = $\frac{1}{\Delta t}$

$$\text{อัตราสัมพัทธ์ 1} = k'[I^-]^m[S_2O_8^{2-}]^n \quad (\text{ก-8})$$

$$\text{อัตราสัมพัทธ์ 2} = k'[I^-]^m[S_2O_8^{2-}]^n \quad (\text{ก-9})$$

$$\text{อัตราสัมพัทธ์ 3} = k'[I^-]^m[S_2O_8^{2-}]^n \quad (\text{ก-10})$$

นำสมการ (ก-8) หาค่าด้วยสมการ (ก-9) เทอมที่เหมือนกันตัดกันจะหาค่า m ได้ ซึ่งเป็นอันดับปฏิกิริยาเทียบกับ $[I^-]$

นำสมการ (ก-8) หาค่าด้วยสมการ (ก-10) เทอมที่เหมือนกันตัดกันจะหาค่า n ได้ ซึ่งเป็นอันดับปฏิกิริยาเทียบกับ $[S_2O_8^{2-}]$

3. นำค่า $[I^-]$ และ $[S_2O_8^{2-}]$ ค่าอัตราสัมพัทธ์ในแต่ละชุดปฏิกิริยา ค่า m และ n ที่ได้จากการคำนวณในข้อ 2 แทนค่าลงในสมการ (ก-8), (ก-9) และ (ก-10) ตามลำดับเพื่อหาค่า k
4. นำค่า k จากทั้งสามชุดปฏิกิริยามาหาค่า k เฉลี่ย จากนั้นเขียนแสดงกฎอัตรา

การทดลองตอนที่ 2 ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาโดยการวัดอัตราที่อุณหภูมิต่าง ๆ และคำนวณหาพลังงานกระตุ้น (E_a) ของปฏิกิริยาจากสมการอาร์เรเนียส

$$\log k = -\frac{E_a}{2.303RT} + \text{constant} \quad (\text{ก-11})$$

โดยการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log k$ กับ $1/T$ จะได้กราฟเส้นตรงซึ่งมีความชันเท่ากับ $-\frac{E_a}{2.303R}$ ดังนั้น พลังงานกระตุ้น (E_a) = $-2.303R(\text{slope})$

การทดลองตอนที่ 3 ศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยา CuSO_4 ที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

อุปกรณ์ (ต่อ 1 กลุ่ม)

- | | |
|---------------------------|-----------------|
| 1. บีกเกอร์ขนาด 50 mL | จำนวน 6 ใบ |
| 2. ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 mL | จำนวน 6 ใบ |
| 3. กระบอกตวงขนาด 10 mL | จำนวน 1 อัน |
| 4. เทอร์โมมิเตอร์ | จำนวน 1 อัน |
| 5. อ่างน้ำ | จำนวน 1 ใบ |
| 6. สอตเพลต | จำนวน 2 เครื่อง |

สารเคมี

1. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์, KI เข้มข้น 0.20 M
2. สารละลายแอมโมเนียมเปอร์ออกซีไดซัลเฟต, $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ เข้มข้น 0.10 M
3. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ เข้มข้น 0.02 M
4. สารละลายโพแทสเซียมไนเตรต, KNO_3 เข้มข้น 0.20 M
5. สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต, CuSO_4 เข้มข้น 0.1 M
6. น้ำแป้ง 1 %

ข้อควรระวังเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ดี

1. สารแอมโมเนียมเปอร์ออกซีไดซัลเฟต ($(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$) เป็นสารออกซิไดซ์ที่แรงควรระวังอย่าให้ถูกผิวหนัง เมื่อถูกผิวหนังควรล้างด้วยน้ำสะอาดทันที และการเก็บรักษาควรเก็บในภาชนะที่แห้งและอุณหภูมิต่ำ ปิดฝาภาชนะให้สนิทไม่ควรเก็บกับสารไวไฟ
2. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) , สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) , สารละลายโพแทสเซียมไนเตรด (KNO_3) และสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) อาจก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง เมื่อถูกผิวหนังควรล้างด้วยน้ำสะอาด
3. ปิดฉลากขวดและบีกเกอร์เพื่อป้องกันสารผสมกัน
4. ดวงสารให้เสร็จทีละชนิด
5. เทสารให้หมดจากกระบอกตวงโดยถือกระบอกตวงแต่ละข้างไว้ที่ปากภาชนะประมาณ 15 วินาที
6. ล้างกระบอกตวงให้สะอาดหลังจากตวงสารแต่ละชนิดเสร็จ เพื่อไม่ให้เกิดการปนเปื้อนในการตวงสารครั้งต่อไป
7. กรณีที่กระบอกตวงไม่แห้งให้ชะล้างกระบอกตวงด้วยสารที่จะตวงก่อนเสมอ

วิธีการทดลอง

สารละลายที่ใช้แต่ละชนิดควรนำมาจากขวดเดียวกัน ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มเทสารละลายรายการที่ 1 – 4 ใส่บีกเกอร์ให้พอเพียงตลอดการทดลอง (ชนิดละประมาณ 100 mL) และควรตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องสักครู่เพื่อให้สารละลายแต่ละชนิดมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องมากที่สุด

ตอนที่ 1 ผลของความเข้มข้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา : การหาอันดับของปฏิกิริยาและค่าคงที่อัตราจนถึงกฎอัตรา

1. เตรียมสารละลายชุดที่ 1 – 3 โดยผสมสารลงในขวดรูปชมพู่และบีกเกอร์ที่ปิดฉลากชุด 1 – 3 ให้มีส่วนประกอบตามตาราง

ปฏิกิริยาชุดที่	ปริมาตร (mL)			
	สารละลายในขวดรูปชมพู่		สารละลายในบีกเกอร์	
	0.20 M KI	0.20 M KNO_3	0.10 M $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$	0.02 M $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$
1	10	15	5	5
2	20	5	5	5
3	10	10	10	5

2. เติมน้ำแข็ง 1 – 2 หยดลงในขวดรูปชมพู่ ของปฏิกิริยาชุดที่ 1 – 3
3. ปฏิกิริยาชุดที่ 1 เทสารละลายจากบีกเกอร์ลงในขวดรูปชมพู่อย่างรวดเร็ว และเริ่มจับเวลาทันทีที่สารละลายสัมผัสกัน แกว่งให้สารละลายผสมกันในลักษณะเป็นวงกลม และต่อเนื่อง ทันทีที่เห็นสีน้ำเงินปรากฏให้หยุดจับเวลา และบันทึกเวลา
4. วัดอุณหภูมิของปฏิกิริยา (สารละลายสีน้ำเงิน) และบันทึกผล
5. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 3 – 4 สำหรับปฏิกิริยาชุดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ตอนที่ 2 ผลของอุณหภูมิ: การหาพลังงานก่อกัมมันต์

1. เตรียมสารละลายของปฏิกิริยาชุดที่ 1 และนำขวดรูปชมพู่และบีกเกอร์ แช่ในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 40°C ทิ้งไว้ประมาณ 5 – 10 นาทีหรือจนอุณหภูมิคงที่ เพื่อให้แน่ใจว่าอุณหภูมิของสารในขวดทั้งสองมีอุณหภูมิเท่ากัน
2. เทสารละลายจากบีกเกอร์ลงในขวดรูปชมพู่อย่างรวดเร็ว และเริ่มจับเวลาทันทีที่สารละลายสัมผัสกัน แกว่งให้สารละลายผสมกันในลักษณะเป็นวงกลมและต่อเนื่อง ในอ่างน้ำร้อน ทันทีที่เห็นสีน้ำเงินปรากฏให้หยุดจับเวลา และบันทึกเวลา
3. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 1 – 2 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 35°C และอุณหภูมิห้อง ตามลำดับ

ตอนที่ 3 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

1. เตรียมสารละลายของปฏิกิริยาชุดที่ 1 และเติมสารละลาย 0.1 M CuSO_4 จำนวน 1 หยด ในขวดรูปชมพู่ เขย่าให้ผสมกัน
2. ทำการทดลองข้อ 2 – 4 เช่นเดียวกับตอนที่ 1 และบันทึกผลเวลา

บันทึกผลการทดลอง

ตอนที่ 1 การหาอันดับของปฏิกิริยาและค่าคงที่อัตรา

ปฏิกิริยาชุดที่	เวลา(วินาที) เมื่อมองเห็นสีน้ำเงิน	ความเข้มข้นของสารตั้งต้น ในสารละลายผสม(mol L ⁻¹)		อุณหภูมิของ ปฏิกิริยา (°C)
		[I]	[S ₂ O ₈ ²⁻]	
1				
2				
3				

ตอนที่ 2 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราปฏิกิริยา

	อุณหภูมิ (°C)	
	35	40
เวลา (วินาที) ที่มองเห็นสีน้ำเงิน		
อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน, T(K)		

ตอนที่ 3 ผลของตัวเร่งที่มีต่อปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาชุดที่ 1	เมื่อไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา	เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1 M CuSO ₄
เวลา (วินาที) ที่มองเห็นสีน้ำเงิน		

อภิปรายผลการทดลอง

สรุปผลการทดลอง

คำถามท้ายการทดลอง

ตอนที่ 1 ผลของความเข้มข้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

1. เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ KI เป็น 2 เท่า จะเกิดจากเปลี่ยนแปลงอย่างไร
2. เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ เป็น 2 เท่า จะเกิดจากเปลี่ยนแปลงอย่างไร
3. ให้นักเรียนแสดงวิธีการหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับ $[\text{I}^-]$ และ $[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]$
4. ให้นักเรียนหาค่าคงที่อัตรา k' เฉลี่ย พร้อมทั้งแสดงสมการอัตรา

ตอนที่ 2 ผลของอุณหภูมิ

1. อุณหภูมิมีผลต่อค่าคงที่อัตรา, k' หรือไม่ อย่างไร
2. ให้นักเรียนแสดงวิธีการหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์, E_a ของปฏิกิริยา

ตอนที่ 3 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยา

1. เมื่อเติม CuSO_4 ลงไปในปฏิกิริยาชุดที่ 1 จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร
2. ตัวเร่งปฏิกิริยามีผลต่อพลังงานก่อกัมมันต์, E_a ของปฏิกิริยาหรือไม่ อย่างไร

ตัวอย่างผลการทดลองและการคำนวณ

ตอนที่ 1 การหาอันดับของปฏิกิริยาและค่าคงที่อัตรา

ปฏิกิริยาชุดที่	เวลา(วินาที) เมื่อมองเห็นสีน้ำเงิน	ความเข้มข้นของสารตั้งต้น ในสารละลายผสม(mol L ⁻¹)		อุณหภูมิของ ปฏิกิริยา (°C)
		[I ⁻]	[S ₂ O ₈ ²⁻]	
1	821	0.0571	0.0143	27
2	409	0.1143	0.0143	27
3	381	0.0571	0.0286	27

ตอนที่ 2 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราปฏิกิริยา

	อุณหภูมิ (°C)		
	27	35	40
เวลา (วินาที) ที่มองเห็นสีน้ำเงิน	821	530	404
อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน , T(K)	300	308	313

ตอนที่ 3 ผลของตัวเร่งที่มีต่อปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาชุดที่ 1	เมื่อไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา	เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1 M CuSO ₄
เวลา (วินาที) ที่มองเห็นสีน้ำเงิน	821	31

การคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย

คำนวณความเข้มข้นของตัวทำปฏิกิริยาของแต่ละชุด ปริมาตรสุดท้ายของทุกชุดเท่ากับ 35 mL

ความเข้มข้นของ $[I^-]$

จำนวน โมลของ I^-_{stock} = จำนวน โมลในสารละลายผสม

$$[I^-]_{stock} \times V_{stock} = [I^-]_{mixture} \times V_{mixture}$$

จากปฏิกิริยาชุดที่ 1 $[I^-]_{stock} = 0.20 \text{ mol L}^{-1}$, $V_{stock} = 10 \text{ mL}$, $V_{mixture} = 35 \text{ mL}$

$$[I^-]_{mixture} = \frac{0.20 \text{ mol L}^{-1} \times 10 \text{ mL}}{35 \text{ mL}} = 0.0571 \text{ mol L}^{-1}$$

คำนวณความเข้มข้นของ $[I^-]$, $[S_2O_8^{2-}]$ และ $[KNO_3]$ ในทำนองเดียวกันได้ผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-1 ความเข้มข้นของตัวทำปฏิกิริยาในสารละลายผสม

ปฏิกิริยาชุดที่	ความเข้มข้นของตัวทำปฏิกิริยาในสารละลายผสม (mol L^{-1})		
	$[I^-]$	$[S_2O_8^{2-}]$	$[KNO_3]$
1	0.0571	0.0143	0.0857
2	0.1143	0.0143	0.0286
3	0.0571	0.0286	0.0571

การหาค่าของอันดับปฏิกิริยาและกฎอัตรา

จากข้อมูลในตารางที่ 1 จะเห็นว่าสารละลายชุดที่ 2-3 ต่างจากชุดที่ 1 เพียงความเข้มข้นของไอออนตัวเดียว หมายความว่า การจับคู่ของสารละลายชุดใด ๆ ของชุดที่ 2-3 กับชุดที่ 1 เพียงความเข้มข้นเดียวที่เปลี่ยนแปลง เราสามารถหาอันดับของตัวทำปฏิกิริยาดังต่อไปนี้

คำนวณอัตราสัมพันธ์ (relation rate) ของปฏิกิริยาแต่ละชุดจากสมการ

$$\text{อัตราสัมพันธ์} = -\frac{\Delta[S_2O_8^{2-}]}{\Delta t} = k[I^-]^m[S_2O_8^{2-}]^n = -\frac{1}{2} \frac{\Delta[S_2O_3^{2-}]}{\Delta t} \quad (\text{ก-7})$$

$$\text{จากการทดลอง} \quad -\frac{\Delta[S_2O_8^{2-}]}{\Delta t} = \frac{1}{\Delta t} \quad \text{ดังนั้น} \quad \text{อัตราสัมพันธ์} = \frac{1}{\Delta t}$$

$$\text{อัตราสัมพัทธ์ 1} = k'[\text{I}^-]^m [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]^n \quad (\text{ก-8})$$

$$\text{อัตราสัมพัทธ์ 2} = k'[\text{I}^-]^m [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]^n \quad (\text{ก-9})$$

$$\text{อัตราสัมพัทธ์ 3} = k'[\text{I}^-]^m [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]^n \quad (\text{ก-10})$$

นำสมการ (ก-8) หาค่าด้วยสมการ (ก-9) เทอมที่เหมือนกันตัดกันจะหาค่า m ได้ ซึ่งเป็นอันดับปฏิกิริยาเทียบกับไอออน I^-

นำสมการ (ก-8) หาค่าด้วยสมการ (ก-10) เทอมที่เหมือนกันตัดกันจะหาค่า n ได้ ซึ่งเป็นอันดับปฏิกิริยาเทียบกับไอออน $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$

$$\text{อัตราของปฏิกิริยาชุดที่ 1} \quad \frac{1}{821\text{s}} = k'(0.0571\text{M})^m (0.0143\text{M})^n \quad (1)$$

$$\text{อัตราของปฏิกิริยาชุดที่ 2} \quad \frac{1}{409\text{s}} = k'(0.1143\text{M})^m (0.0143\text{M})^n \quad (2)$$

$$\begin{aligned} (1)/(2) \text{ ได้} \quad & \frac{1.2180 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}}{2.4450 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}} = \frac{k'(0.0571\text{M})^m (0.0143\text{M})^n}{k'(0.1143\text{M})^m (0.0143\text{M})^n} \\ & 0.4982 = 0.4995^m \\ & \log 0.4982 = \log 0.4995^m \\ & \log 0.4982 = m \log 0.4995 \\ & m = \frac{\log 0.4982}{\log 0.4995} \\ & m = \frac{-0.3026}{-0.3017} = 1.0030 \approx 1 \end{aligned}$$

$$\text{อัตราของปฏิกิริยาชุดที่ 1} \quad \frac{1}{821\text{s}} = k'(0.0571\text{M})^m (0.0143\text{M})^n \quad (1)$$

$$\text{อัตราของปฏิกิริยาชุดที่ 3} \quad \frac{1}{381\text{s}} = k'(0.0571\text{M})^m (0.0286\text{M})^n \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
 (1)/(3) \quad & \frac{1.2180 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}}{2.6247 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}} = \frac{k'(0.0571\text{M})^m (0.0143\text{M})^n}{k'(0.0571\text{M})^m (0.0286\text{M})^n} \\
 & 0.4640 = 0.5000^n \\
 & \log 0.4640 = \log 0.5000^n \\
 & \log 0.4640 = n \log 0.5000 \\
 & n = \frac{\log 0.4640}{\log 0.5000} \\
 & n = \frac{-0.3335}{-0.3010} = 1.1080 \approx 1
 \end{aligned}$$

แทนค่า $m = 1$, $n = 1$ ในอัตราปฏิกิริยาชุดที่ 1

$$\begin{aligned}
 1.2180 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1} &= k'(0.0571\text{M})^1 (0.0143\text{M})^1 \\
 k' &= \frac{1.2180 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}}{(0.0571\text{M})(0.0143\text{M})}
 \end{aligned}$$

$$k' = 1.4917 \text{ s}^{-1} \text{ M}^{-2}$$

แทนค่า $m = 1$, $n = 1$ ในอัตราปฏิกิริยาชุดที่ 2

$$\begin{aligned}
 2.4450 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1} &= k'(0.1143\text{M})^1 (0.0143\text{M})^1 \\
 k' &= \frac{2.4450 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}}{(0.1143\text{M})(0.0143\text{M})}
 \end{aligned}$$

$$k' = 1.4959 \text{ s}^{-1} \text{ M}^{-2}$$

แทนค่า $m = 1$, $n = 1$ ในอัตราปฏิกิริยาชุดที่ 3

$$\begin{aligned}
 2.6247 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1} &= k'(0.0571\text{M})^1 (0.0286\text{M})^1 \\
 k' &= \frac{2.6247 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}}{(0.0571\text{M})(0.0286\text{M})}
 \end{aligned}$$

$$k' = 1.6072 \text{ s}^{-1} \text{ M}^{-2}$$

ตารางที่ ก-2 ค่า k' ของแต่ละชุดปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาชุดที่	1	2	3
k'	1.4917	1.4959	1.6072

$$k' \text{ เฉลี่ย} = 1.5316 \text{ s}^{-1} \text{ M}^{-2}$$

$$\text{ดังนั้น อัตรา} = 1.5316 \text{ s}^{-1} \text{ M}^{-2} [\text{I}^-][\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]$$

การคำนวณค่าพลังงานกระตุ้น (E_a)

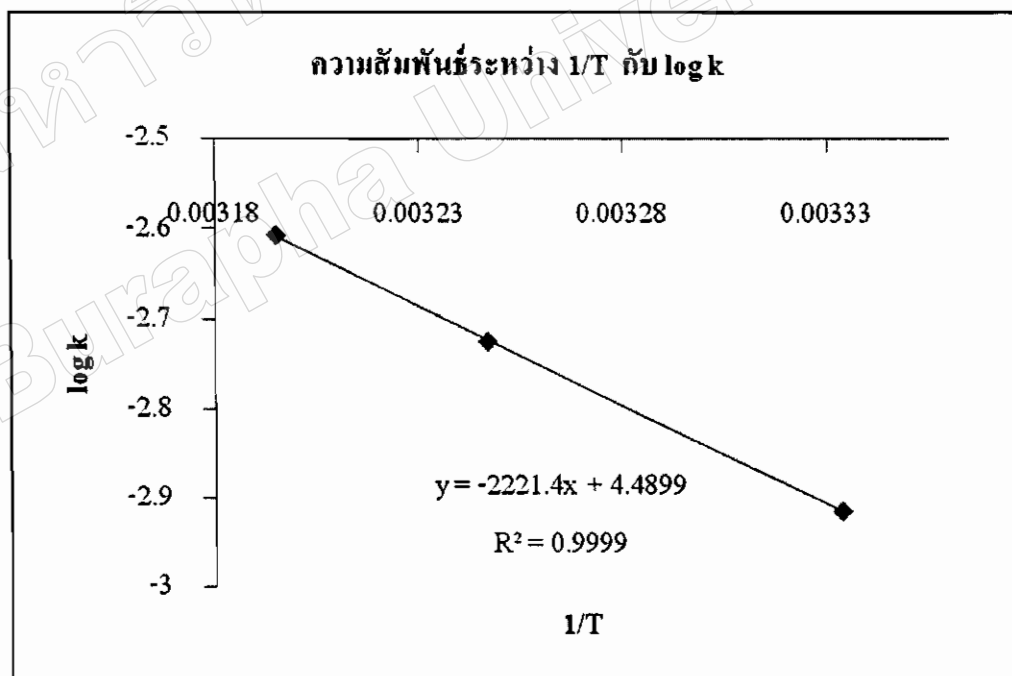
จากสมการอาร์เรเนียส $\log k = -\frac{E_a}{2.303RT} + \text{constant}$ เมื่อเขียนกราฟ

ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/T$ กับ $\log k$ จะได้กราฟที่มีความชัน เท่ากับ $-\frac{E_a}{2.303R}$

ได้ผลการคำนวณและกราฟ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก – 3 การคำนวณความสัมพันธ์ระหว่าง $1/T$ กับ $\log k$ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

T	1/T	t	k=1/t	Log k
300	0.0033	821	0.0012	-2.9143
308	0.0032	530	0.0019	-2.7243
313	0.0032	404	0.0025	-2.6064



ภาพที่ ก – 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $1/T$ กับ $\log k$ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

จาก $\text{slope} = -\frac{E_a}{2.303R}$

$$E_a = -\text{slope} \times 2.303R$$

$$E_a = -(-2221.4\text{K}) \times 2.303 \times 8.314\text{JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$$

$$E_a = 42533.46124\text{Jmol}^{-1}$$

$$E_a = 4.2533 \times 10^4 \text{Jmol}^{-1}$$

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ภาคผนวก ข

แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดพัฒนาการทดลอง

แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดพัฒนาการทดลอง

รายวิชาเคมี

รหัสวิชา ว30223

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

เรื่อง ปฏิกิริยาที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

เวลา 8.00 ชั่วโมง

1. ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

อธิบายผลของความเข้มข้น อุณหภูมิ ตัวเร่งและตัวหน่วงปฏิกิริยาที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

2. จุดประสงค์การเรียนรู้

ทำการทดลอง รวบรวมข้อมูล แปลความหมายข้อมูล และสรุปผลการทดลองในเรื่อง ความเข้มข้นของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี อุณหภูมิของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ผลของตัวเร่งและตัวหน่วงปฏิกิริยาต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

3. สาระสำคัญ

- ความเข้มข้นของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
- อุณหภูมิของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
- ผลของสารบางชนิดต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

4. ภาระงาน

รายงานการทดลอง เรื่อง ปฏิกิริยาที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

5. กระบวนการจัดการเรียนรู้

5.1 ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยอาจใช้ปฏิกิริยาการสลายตัวของแก๊ส N_2O_5 เกิดเป็นแก๊ส NO_2 และ O_2 เป็นตัวอย่างเพื่ออภิปรายร่วมกัน ซึ่งแก๊ส N_2O_5 จะสลายได้เร็วในตอนเริ่มต้นปฏิกิริยา และสลายตัวช้าลงในช่วงเวลาถัดไป ส่วนการเกิดแก๊ส NO_2 และ O_2 ก็จะเกิดขึ้นเร็วในตอนเริ่มต้นปฏิกิริยา และสลายตัวช้าลงในช่วงเวลาต่อ ๆ ไป

5.2 ขั้นสอน

1. ครูให้นักเรียนแบ่งกลุ่มออกเป็น 4 - 5 กลุ่ม ๆ ละ 4 - 5 คนและทำการทดลอง เรื่อง ปฏิกิริยาที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

การทดลอง เรื่อง ปฏิกิริยาที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

การทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้น อุณหภูมิ ตัวเร่งและตัวหน่วงปฏิกิริยาที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

จุดประสงค์การทดลอง

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ได้แก่ ความเข้มข้นของสารตั้งต้น อุณหภูมิ ตัวเร่งปฏิกิริยา และศึกษาบทบาทของตัวเร่งปฏิกิริยา
2. เพื่อให้เข้าใจความหมายและการคำนวณหาอันดับปฏิกิริยาเทียบกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น ค่าคงที่อัตรา และกฎอัตรา
3. คำนวณค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log$ (ค่าคงที่อัตรา) กับส่วนกลับของอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน

เวลาที่ใช้	อธิบายก่อนการทดลอง	10	นาที
	ทดลอง	60	นาที
	อธิบายหลังการทดลอง	20	นาที
	รวม	90	นาที

สารเคมีและอุปกรณ์

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
สารเคมี	
1. สารละลาย KI เข้มข้น 0.20 M	80 cm ³
2. สารละลาย (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ เข้มข้น 0.10 M	40 cm ³
3. สารละลาย Na ₂ S ₂ O ₃ เข้มข้น 0.02 M	40 cm ³
4. สารละลาย KNO ₃ เข้มข้น 0.20 M	80 cm ³
5. สารละลาย CuSO ₄ เข้มข้น 0.10 M	1 cm ³
6. น้ำแฉ่ง 1 %	1 cm ³
อุปกรณ์	
1. ปีกเกอร์ขนาด 50 mL	6 ใบ
2. ขวดรูปกรวยขนาด 125 mL	6 ใบ
3. กระบอกตวงขนาด 10 mL	1 อัน
4. เทอร์โมมิเตอร์	1 อัน
5. อ่างน้ำ	1 ใบ
6. สอดเฟลต	2 เครื่อง

2. ก่อนทำการทดลองครูได้เตรียมสารล่วงหน้า ดังนี้

2.1 สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ เข้มข้น 0.20 mol/dm^3 1000 cm^3 โดยละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ KI 33.20 g ในน้ำกลั่น ให้ได้สารละลายปริมาตร 1000 cm^3

2.2 สารละลายแอมโมเนียมเปอร์ออกซิซัลเฟต เข้มข้น 0.10 mol/dm^3 500 cm^3 โดยละลายแอมโมเนียมเปอร์ออกซิซัลเฟต $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ 11.41 g ในน้ำกลั่น ให้ได้สารละลายปริมาตร 500 cm^3

2.3 สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต เข้มข้น 0.02 mol/dm^3 500 cm^3 โดยละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 2.48 g ในน้ำกลั่น ให้ได้สารละลายปริมาตร 500 cm^3

2.4 สารละลายโพแทสเซียมไนเตรด เข้มข้น 0.20 mol/dm^3 1000 cm^3 โดยละลายโพแทสเซียมไนเตรด KNO_3 20.22 g ในน้ำกลั่น ให้ได้สารละลายปริมาตร 1000 cm^3

2.5 สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต เข้มข้น 0.10 mol/dm^3 50 cm^3 โดยละลายคอปเปอร์ซัลเฟต $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 1.25 g ในน้ำกลั่น ให้ได้สารละลายปริมาตร 50 cm^3

2.6 น้ำแป้ง 1 % 10 cm^3 โดยแป้งในน้ำเล็กน้อย จากนั้นเทลงในน้ำเดือด ให้ได้สารละลายปริมาตร 10 cm^3

3. นักเรียนทำการทดลองตามรายละเอียดการทดลอง เรื่อง ปฏิกิริยาที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ตามคู่มือการทดลอง และบันทึกผลการทดลอง

4. ตัวอย่างผลการทดลองของนักเรียน เป็นดังนี้

4.1 ตัวอย่างผลการทดลองตอนที่ 1 การหาอันดับของปฏิกิริยาและค่าคงที่อัตรา

ปฏิกิริยาชุดที่	เวลา (วินาที) เมื่อมองเห็นสี น้ำเงิน	ความเข้มข้นของสารตั้งต้น ในสารละลายผสม (mol/dm^3)		อุณหภูมิของ ปฏิกิริยา ($^{\circ}\text{C}$)
		[I ⁻]	[S ₂ O ₈ ²⁻]	
1	821	0.0571	0.0143	27
2	409	0.1143	0.0143	27
3	381	0.0571	0.0286	27

4.2 ตัวอย่างผลการทดลองตอนที่ 2 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราปฏิกิริยา

	อุณหภูมิ (°C)		
	27	35	40
เวลา (วินาที) ที่มองเห็นสีน้ำเงิน	821	530	404
อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน, T(K)	300	308	313

4.3 ตัวอย่างผลการทดลองตอนที่ 3 ผลของตัวเร่งที่มีต่อปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาชุดที่ 1	เมื่อไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา	เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา 0.1 M CuSO ₄
เวลา (วินาที) ที่มองเห็นสีน้ำเงิน	821	31

5. จากผลการทดลองครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายแต่ละชนิดในชุดปฏิกิริยาที่ 1 – 3

6. ครูอธิบายหลักการหากฎอัตราของแต่ละปฏิกิริยาจากการทดลอง จากนั้นนักเรียนแต่ละกลุ่มคำนวณหากฎอัตราของปฏิกิริยาที่ทดลองของแต่ละกลุ่ม

7. ครูอธิบายการคำนวณหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ E_a จากสมการ $\text{slope} = -\frac{E_a}{2.303R}$ โดยใช้ความชันของกราฟที่สร้างขึ้น จากนั้นนักเรียนแต่ละกลุ่มคำนวณหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาของแต่ละกลุ่ม

8. ครูให้นักเรียนอภิปรายภายในกลุ่มโดยใช้ข้อมูลจากผลการทดลองและแนวคำถามท้ายการทดลอง แล้วนำผลการอภิปรายมาสรุปร่วมกันอีกครั้งจนได้ข้อสรุป ดังนี้

8.1 อัตราของปฏิกิริยาแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น สามารถเขียนในรูปของกฎอัตราได้ดังนี้ คือ $\text{Rate} = k[A]^m[B]^n$

8.2 อันดับของปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับสารตั้งต้นแต่ละชนิดหาได้จากการทดลองเท่านั้น

8.3 อุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยทั่วไปเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะเพิ่มขึ้น

8.4 ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ สารที่เพิ่มอัตราของปฏิกิริยา โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอย่างถาวรในปฏิกิริยา แต่อาจจะยุ่งเกี่ยวในขั้นตอนย่อยพื้นฐานของปฏิกิริยา (Elementary reaction) เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจะได้ตัวเร่งปฏิกิริยากลับคืนมาเสมอ

9. ครูให้ความรู้เรื่องปฏิกิริยาอันดับศูนย์ อันดับหนึ่ง และอันดับสอง

10. ครูใช้รูป 6.9 ในหนังสือเรียน ประกอบการอภิปรายเกี่ยวกับผลความเข้มข้น ประกอบการอภิปรายเกี่ยวกับผลของความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งควรสรุปได้ว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้น ทำให้จำนวนอนุภาคของสารตั้งต้นเพิ่มขึ้น โอกาสที่อนุภาคของสารจะชนกันอย่างมีประสิทธิภาพ จึงมีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีสูงขึ้น

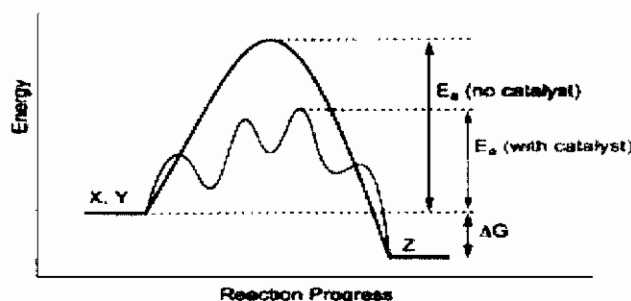
11. ครูนำอภิปรายต่อไปถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยใช้ทฤษฎีจลน์ และการชนกันของอนุภาค เพื่อให้ได้ข้อสรุปว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลที่มีพลังงานสูงและเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วสูงมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น จึงมีโอกาสชนกันได้มากขึ้น และเมื่อชนกันแล้วทำให้โมเลกุลที่มีพลังงานสูงเท่ากับหรือมากกว่าพลังงานก่อกัมมันต์มีมากขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจึงมีค่าสูงขึ้น แต่พลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยาเคมีใด ๆ มีค่าคงที่

12. ครูอธิบายหลักการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยา ดังต่อไปนี้

- ตัวเร่งทำให้ปฏิกิริยาไปข้างหน้าและปฏิกิริยาย้อนกลับเกิดได้เร็วขึ้น ปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งไม่สามารถทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้นกว่าปฏิกิริยาที่ไม่มีตัวเร่ง แต่ทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์เร็วขึ้น

- ตัวเร่งทำให้พลังงานก่อกัมมันต์ลดลง โดยทำให้ปฏิกิริยามีกลไกใหม่ที่ใช้พลังงานน้อยลง

- ตัวเร่งไม่ได้เปลี่ยนแปลงพลังงานของปฏิกิริยาเคมี และ ตำแหน่งสมดุลเคมี



ภาพที่ ข - 1 แผนภาพพลังงานของปฏิกิริยาสำหรับกระบวนการที่ถูกเร่งและกระบวนการ ไม่ถูกเร่ง

(<https://cn.wikipedia.org>)

13. ครูให้นักเรียนชมคลิปการทดลอง 6.3 เรื่อง พื้นที่ผิวของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

14. จากผลการทดลองครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายผลการทดลองตามแนวคำถามท้ายการทดลองแล้วนำข้อสรุปมาอภิปรายร่วมกัน ซึ่งควรสรุปได้ ดังนี้

- ลวดแมกนีเซียมที่พบมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าลวดแมกนีเซียมที่ขดเป็นสปริง เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสของลวดแมกนีเซียมกับกรดลดลง จึงสรุปได้ว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นกับพื้นที่ผิวสัมผัส ถ้าสารมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะมีค่าสูง แต่ถ้าสารมีพื้นที่ผิวสัมผัสน้อยอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะมีค่าต่ำ

15. ครูนำอภิปรายต่อไปเกี่ยวกับผลของพื้นที่ผิวของสารตั้งต้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เพื่อให้ได้ข้อสรุปว่า การที่สารตั้งต้นซึ่งมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีสูง เนื่องจากอนุภาคของสารมีโอกาสชนกันมากขึ้น จึงเกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น

5.3 ขั้นสรุป

1. ครูให้นักเรียนเขียนรายงานการทดลองเกี่ยวกับการทดลองที่ได้ทำมาแล้วส่งครู
2. ครูมอบหมายให้นักเรียนไปทบทวนเนื้อหาในหน่วยการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เพื่อเตรียมสอบเก็บคะแนนประจำหน่วย
3. ครูมอบหมายให้นักเรียนไปศึกษาความรู้ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้-สมดุลเคมี ซึ่งจะเรียนในคาบต่อไปมาล่วงหน้า

6. สื่อการเรียนการสอน

1. หนังสือเรียนวิชาเคมี 3 ของ สสวท.
2. ชุดพัฒนาการทดลอง หัวข้อ ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
3. อุปกรณ์การทดลอง/ ใบบันทึกกิจกรรม/ การทดลอง

7. การวัดผลประเมินผล

การวัดผลประเมินผล	วิธีการวัด	เครื่องมือวัด	เกณฑ์การผ่าน
1. ด้านความรู้ความเข้าใจ	1. การเขียนสรุปความคิดรวบยอด 2. วัดจากการตรวจใบบันทึกกิจกรรม/การทดลอง	1. แบบสรุปความคิดรวบยอด 2. บันทึกกิจกรรม/การทดลอง	1. ทำได้ครบถ้วนถูกต้อง 70 % ขึ้นไป 2. ทำถูกต้อง 60% ขึ้นไป
2. ด้านทักษะกระบวนการ	สังเกตจากการปฏิบัติการทดลอง	แบบสังเกตพฤติกรรมการทำงาน/ทดลอง	ได้คะแนน 60% ขึ้นไป
3. ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์	การสังเกตพฤติกรรมความสนใจ และตั้งใจเรียน	แบบสังเกตพฤติกรรมความสนใจและตั้งใจเรียน	ได้คะแนน 60% ขึ้นไป

ภาคผนวก ก

แผนการจัดกิจกรรมการทดลองแบบดั้งเดิมตามคู่มือครู

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1

รายวิชาเคมี

รหัสวิชา ว30223

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

เรื่อง ความเข้มข้นของสารกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี

เวลา 2.00 ชั่วโมง

1. ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

อธิบายผลของความเข้มข้นของสารที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

2. จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายผลความเข้มข้นของสารที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้
2. ระบุธรรมชาติของสารตั้งต้นที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา
3. ศึกษากฎอัตราและคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องได้

3. สาระสำคัญ

- ธรรมชาติของสารตั้งต้นที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา
- ความเข้มข้นของสารตั้งต้นกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
- กฎอัตรา (rate law)
- การอธิบายผลของความเข้มข้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

4. ภาระงาน

รายงานการทดลอง 6.2 เรื่อง ความเข้มข้นของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

5. กระบวนการจัดการเรียนรู้

5.1 ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

ครูทบทวนความรู้เกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยอาจใช้ปฏิกิริยาการสลายตัวของแก๊ส N_2O_5 เกิดเป็นแก๊ส NO_2 และ O_2 เป็นตัวอย่างเพื่ออภิปรายร่วมกัน ซึ่งแก๊ส N_2O_5 จะสลายได้เร็วในตอนเริ่มต้นปฏิกิริยา และสลายตัวช้าลงในช่วงเวลาถัดไป ส่วนการเกิดแก๊ส NO_2 และ O_2 ก็จะเกิดขึ้นเร็วในตอนเริ่มต้นปฏิกิริยา และสลายตัวช้าลงในช่วงเวลาต่อ ๆ ไป

5.2 ขั้นสอน

1. ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น ความเข้มข้น พื้นที่ผิวของสาร หรืออุณหภูมิ ซึ่งในวันนี้เราจะศึกษาว่าความเข้มข้นของสารตั้งต้นมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีหรือไม่อย่างไร จากการทดลอง 6.2 เรื่อง ความเข้มข้นของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

2. ครูให้นักเรียนแบ่งกลุ่มออกเป็น 4 - 5 กลุ่ม ๆ ละ 4 - 5 คนและทำการทดลอง 6.2 เรื่อง ความเข้มข้นของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ดังนี้

การทดลองที่ 6.2 ความเข้มข้นของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

จุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

จุดประสงค์การทดลอง

1. ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้
2. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารกับเวลาในการเกิดปฏิกิริยาและสามารถแปลผลจากกราฟได้

เกิดปฏิกิริยาและสามารถแปลผลจากกราฟได้

3. สรุปผลของความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้

เวลาที่ใช้	อภิปรายก่อนการทดลอง	5	นาที
	ทดลอง	40	นาที
	อภิปรายหลังการทดลอง	15	นาที
	รวม	60	นาที

สารเคมีและอุปกรณ์

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
สารเคมี	
1. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.3 mol/dm^3	80 cm^3
2. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 2 mol/dm^3	50 cm^3
3. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.3 mol/dm^3	30 cm^3
4. น้ำกลั่น	40 cm^3
อุปกรณ์	
1. หลอดทดลองขนาดใหญ่	5 หลอด
2. กระบอกตวงขนาด 10 cm^3	1 ใบ
3. นาฬิกาจับเวลาหรือนาฬิกามีเข็มวินาที	1 เรือน
4. กระดาษสีขาว	1 แผ่น
5. กระดาษกราฟ	1 แผ่น

3. ก่อนทำการทดลองครูได้เตรียมการล่วงหน้า ดังนี้

3.1 เตรียมสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.3 mol/dm^3 1000 cm^3 โดยละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 74.4 g ในน้ำกลั่น (ที่ต้มใหม่ ๆ และตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้ว)

ให้ได้สารละลายปริมาตร 1000 cm^3 (ไม่ควรเตรียมไว้ล่วงหน้า เพราะสารละลายอาจเกิดปฏิกิริยา กลายเป็นกำมะถันและซัลเฟอร์ไดออกไซด์)

3.2 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 2 mol/dm^3 1000 cm^3 โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 12 mol/dm^3 167 cm^3 เติมน้ำอย่างช้า ๆ และทำให้สารละลายมีปริมาตรเป็น 1000 cm^3

3.3 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.3 mol/dm^3 1000 cm^3 โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 2 mol/dm^3 75 cm^3 เติมน้ำอย่างช้า ๆ และทำให้สารละลายมีปริมาตรเป็น 500 cm^3

4. กรุณานิยามก่อนการทดลอง เพื่อแนะนำเกี่ยวกับการทดลอง ดังนี้

4.1 ใช้หลอดทดลองที่แห้งและสะอาด

4.2 สังเกตการเปลี่ยนแปลงและจับเวลาอย่างละเอียด

4.3 ควบคุมตัวแปรให้เหมือนกันทุกครั้งตลอดการทดลอง เช่น การเทสารละลาย ผสมกันต้องเทให้เหมือนกันทุกครั้ง และถ้าเขย่าหลอดก็ต้องเขย่าให้เหมือนกันทุกครั้ง

4.4 ขณะทดลองจะมีแก๊ส SO_2 เกิดขึ้นซึ่งเป็นพิษ จึงควรหลีกเลี่ยงการสูดดม

4.5 ไม่ควรเขียนเครื่องหมายกากบาทบนหรือหนักเกินไป เพราะเบาเกินไปจะสังเกต ยาก ถ้าหนักเกินไปจะต้องใช้เวลาในการสังเกตเพิ่มขึ้นหรืออาจยังมองไม่เห็นกากบาทอยู่แม้ว่า ปฏิกิริยาสิ้นสุดลง

4.6 ให้เริ่มจับเวลาตั้งแต่เทสารละลายผสมกันจนกระทั่งมองไม่เห็นเครื่องหมาย กากบาท

4.7 ถ้าปฏิกิริยาในหลอดใดเกิดเร็วมากจนจับเวลาไม่ทัน ให้บันทึกว่าปฏิกิริยาเกิดเร็ว มากหรือเกิดทันทีทันใด

5. นักเรียนทำการทดลองตามรายละเอียดการทดลอง 6.2 เรื่อง ความเข้มข้นของสารกับ อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในหนังสือเรียน และบันทึกผลการทดลอง

5.1 ตัวอย่างผลการทดลองตอนที่ 1 (นำข้อมูลไปเขียนกราฟ)

หลอด ที่	ปริมาตรของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3\text{ (cm}^3\text{)}$	ปริมาตรของน้ำ $\text{(cm}^3\text{)}$	ความเข้มข้นของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3\text{ (mol/dm}^3\text{)}$	เวลา (s)
1	10	0	0.30	11.3
2	8	2	0.24	14.7
3	6	4	0.18	20.2
4	4	6	0.12	30.6
5	2	8	0.06	69.0

5.2 ตัวอย่างผลการทดลองตอนที่ 2 (นำข้อมูลไปเขียนกราฟ)

หลอดที่	ปริมาตรของสารละลาย HCl (cm ³)	ปริมาตรของน้ำ (cm ³)	ความเข้มข้นของสารละลาย HCl (mol/dm ³)	เวลา (s)
1	10	0	0.30	14.5
2	8	2	0.24	15.3
3	6	4	0.18	16.1
4	4	6	0.12	17.2
5	2	8	0.06	22.2

6. จากผลการทดลองครู ทบทวนวิธีการคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลาย แล้วให้นักเรียนคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตและสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการทดลอง

7. ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายร่วมกันถึงวิธีการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ในการทดลองและวิธีวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งนักเรียนควรจะอธิบายได้ว่า

7.1 การทดลองตอนที่ 1 กำหนดให้ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกคงที่เท่ากันทั้ง 5 หลอด แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

7.2 การทดลองตอนที่ 2 กำหนดให้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตคงที่ แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก อัตราการเกิดปฏิกิริยาวัดจากปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งหน่วยเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยานั้น

8. ครูให้นักเรียนอภิปรายภายในกลุ่มโดยใช้ข้อมูลจากผลการทดลองและแนวคำถามท้ายการทดลอง แล้วนำผลการอภิปรายมาสรุปร่วมกันอีกครั้งจนได้ข้อสรุป ดังนี้

8.1 จากการทดลองตอนที่ 1 เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตลดลง ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น แสดงว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ตอนที่ 2 เมื่อความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกลดลง ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาใกล้เคียงกัน แสดงว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

8.2 จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกับเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาของการทดลองทั้ง 2 ตอน สรุปได้ว่า เมื่อความเข้มข้นของสารตั้งต้นลดลงอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะลดลง

9. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเฉลี่ยของสารในแต่ละหลอด การเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาเฉลี่ยของสารในแต่ละหลอดในใบความรู้ซึ่งควรได้ข้อสรุปว่าอาจใช้ส่วนกลับของระยะเวลาที่สารในแต่ละหลอดเกิดปฏิกิริยามาเปรียบเทียบกันได้

10. ครูยกตัวอย่างปฏิกิริยาเคมีที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น หรือขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นเพียงชนิดเดียวตามรายละเอียดในใบความรู้ เพื่อสรุปได้ว่าปฏิกิริยาที่มีสารตั้งต้นมากกว่า 1 ชนิด อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้นชนิดใด ไม่สามารถคาดคะเนหรือพิจารณาได้จากสมการเคมี ข้อมูลเหล่านี้ต้องได้จากการทดลอง ซึ่งทำได้หลายวิธี เช่น อาจเปลี่ยนความเข้มข้นของสารตั้งต้นชนิดหนึ่งและควบคุมความเข้มข้นของสารตั้งต้นชนิดอื่นให้คงที่

11. ครูใช้รูป 6.9 ในหนังสือเรียนประกอบการอภิปรายเกี่ยวกับผลความเข้มข้นประกอบการอภิปรายเกี่ยวกับผลของความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งควรสรุปได้ว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้น ทำให้จำนวนอนุภาคของสารตั้งต้นเพิ่มขึ้น โอกาสที่อนุภาคของสารจะชนกันอย่างมีประสิทธิภาพ จึงมีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีสูงขึ้น

12. ครูสอนนักเรียนเกี่ยวกับการหา อันดับของปฏิกิริยาเพื่อเทียบกับสารตั้งต้น ค่าคงที่อัตรา และกฎอัตรา โดยกำหนดโจทย์และคำนวณเป็นตัวอย่าง จากนั้นให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดเรื่อง กฎอัตรา

13. ครูและนักเรียนศึกษาความรู้เพิ่มเติมเรื่อง ผลของความเข้มข้นของสารที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

14. ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนสอบถามเนื้อหา เรื่อง ผลของความเข้มข้นของสารที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ว่ามีส่วนไหนที่ยังไม่เข้าใจและให้ความรู้เพิ่มเติมในส่วนนั้น

5.3 ขั้นสรุป

1. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัด จากนั้นนักเรียนและครูร่วมกันเฉลยบางข้อ นักเรียนที่ทำถูกครูยกย่องชมเชย และให้นักเรียนเขียนรายงานการทดลองมาส่งครูในคาบต่อไป

2. ครูมอบหมายให้นักเรียนไปศึกษาความรู้ เรื่อง ผลของพื้นที่ผิวของสารที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งจะเรียนในคาบต่อไปมาล่วงหน้า

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1. การทดลองตอนที่ 1 เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจึงต้องใช้โซเดียมไทโอซัลเฟตทำปฏิกิริยาหมด แต่กรดไฮโดรคลอริกอาจใช้ในปริมาณที่ทำปฏิกิริยาพอดีหรือมากเกินไปก็ได้ การทดลองนี้ใช้สารละลายโซเดียม

ไทโอซัลเฟต 0.3 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ปริมาตรสูงสุด 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ปริมาณเนื้อสาร 0.003 โมล) โซเดียมไทโอซัลเฟตจะถูกใช้หมด

2. การทดลองตอนที่ 2 เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จึงใช้กรดไฮโดรคลอริกทำปฏิกิริยาหมดแต่โซเดียมไทโอซัลเฟตอาจใช้ในปริมาณที่ทำปฏิกิริยาพอดีหรือมากเกินไปก็ได้ การทดลองนี้ใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.3 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ปริมาตรสูงสุด 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ปริมาณเนื้อสาร 0.003 โมล) จะต้องใช้โซเดียมไทโอซัลเฟต 0.0015 โมล จึงจะทำให้ปฏิกิริยาพอดีกัน เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.3 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร จำนวน 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร จึงถือได้ว่าเป็นปริมาณมากเกินไปแล้ว

6. สื่อการเรียนการสอน

1. หนังสือเรียนวิชาเคมี 3 ของ สสวท.
2. อุปกรณ์การทดลองที่ 6.2/ แบบบันทึกกิจกรรม/ การทดลอง/ กระดาษกราฟ

7. การวัดผลประเมินผล

การวัดผลประเมินผล	วิธีการวัด	เครื่องมือวัด	เกณฑ์การผ่าน
1. ด้านความรู้ความเข้าใจ	1. การเขียนสรุปความคิดรวบยอด 2. วัดจากการตรวจใบบันทึกกิจกรรม/การทดลอง	1. แบบสรุปความคิดรวบยอด 2. บันทึกกิจกรรม/การทดลอง	1. ทำได้ครบถ้วนถูกต้อง 70 % ขึ้นไป 2. ทำถูกต้อง 60% ขึ้นไป
2. ด้านทักษะกระบวนการ	สังเกตจากการปฏิบัติการทดลอง	แบบสังเกตพฤติกรรมการทำงาน/ ทดลอง	ได้คะแนน 60% ขึ้นไป
3. ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์	การสังเกตพฤติกรรมความสนใจ และตั้งใจเรียน	แบบสังเกตพฤติกรรมความสนใจและตั้งใจเรียน	ได้คะแนน 60% ขึ้นไป

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2

รายวิชาเคมี

รหัสวิชา ว30223

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

เรื่อง พื้นที่ผิวของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

เวลา 2.00 ชั่วโมง

1. ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

อธิบายผลของพื้นที่ผิวของสารที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

2. จุดประสงค์การเรียนรู้

อธิบายผลของพื้นที่ผิวของสารตั้งต้นที่มีสถานะต่างกันต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

3. สาระสำคัญ

พื้นที่ผิวของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

4. ภาระงาน

รายงานการทดลอง 6.3 เรื่อง พื้นที่ผิวของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

5. กระบวนการจัดการเรียนรู้

5.1 ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

ครูนำอภิปรายเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เพื่อให้เกิดแนวคิดต่อไปว่า นอกจากจะขึ้นกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นแล้ว ยังมีปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และถ้าเป็นปฏิกิริยาที่สารตั้งต้นมีสถานะต่างกันอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับปัจจัยใด เพื่อนำเข้าสู่การทดลอง ที่ 6.3 พื้นที่ผิวของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

5.2 ขั้นสอน

1. ครูให้นักเรียนแบ่งกลุ่มออกเป็น 4 - 5 กลุ่มๆ ละ 4 - 5 คนและทำการทดลอง 6.3 เรื่อง พื้นที่ผิวของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ดังนี้

การทดลอง 6.3 พื้นที่ผิวของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

การทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของปริมาณพื้นที่ผิวต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

จุดประสงค์การทดลอง

1. ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของพื้นที่ผิวของสารตั้งต้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้
2. สรุปผลของพื้นที่ผิวของสารตั้งต้นที่มีสถานะต่างกันต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้

เวลาที่ใช้

อภิปรายก่อนการทดลอง	5	นาที
ทดลอง	40	นาที
อภิปรายหลังการทดลอง	15	นาที
รวม	60	นาที

สารเคมีและอุปกรณ์

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
สารเคมี	
1. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.2 mol/dm^3	80 cm^3
2. โลหะแมกนีเซียมยาว 10 cm	1 ชิ้น
อุปกรณ์	
1. หลอดทดลองขนาดกลาง	2 หลอด
2. จุกก๊อกสำหรับปิดหลอดทดลองขนาดกลาง	2 อัน
3. นาฬิกาจับเวลา	1 เรือน
4. กระดาษทรายขนาด $3 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$	1 แผ่น
5. ใบมีดโกน	1 ใบ
6. ดินสอเขียนแก้ว	1 แท่ง

2. ครุณาอภิปรายก่อนการทดลอง เพื่อแนะนำเกี่ยวกับการทดลอง ดังนี้

2.1 การทำเครื่องหมายในหลอดทดลองให้ชัดเจนเจาะขีดตั้งต้นและขีดสุดท้ายห่างกันประมาณ 5 cm^3 ไม่ต้องแบ่งขีดละเอียด ทั้งนี้เพราะต้องการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการเกิดแก๊สไฮโดรเจนปริมาตรคงที่ปริมาตรหนึ่ง อย่างไรก็ตามเมื่อกล่าวหลอดทดลองแล้วขีดสุดท้ายต้องอยู่สูงกว่าหลอดแมกนีเซียมขึ้นไป

2.2 พับโลหะแมกนีเซียมให้แน่นและเหลือความยาวประมาณ 3 cm อีกชิ้นหนึ่ง ให้ขดคล้ายสปริง แล้วเสียบลงบนจุกก๊อกให้ล็อกเท่านั้น

2.3 อาจจัดให้นักเรียนกลุ่มหนึ่งทดลองใช้ลวดแมกนีเซียมขดเป็นสปริง และอีกกลุ่มหนึ่งทดลองใช้ลวดแมกนีเซียมแบบพับแล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน

3. นักเรียนทำการทดลองตามรายละเอียดการทดลอง 6.3 เรื่อง พื้นที่ผิวของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในหนังสือเรียน และบันทึกผลการทดลอง

4. ผลการทดลองของนักเรียนควรเป็นดังนี้

ลักษณะของขดลวดแมกนีเซียม	ระยะเวลาที่เกิดแก๊ส H_2 จากขีด 0-5 cm (s)
ขดเป็นสปริง	109
พับ	191

5. จากผลการทดลองครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายผลการทดลองตามแนวคำถาม ทำการทดลองแล้วนำข้อสรุปมาอภิปรายร่วมกัน ซึ่งควรสรุปได้ ดังนี้

5.1 ลวดแมกนีเซียมยาวเท่ากัน แต่ชั้นหนึ่งขดเป็นสปริงและอีกชั้นหนึ่งพับทบกัน ยาวประมาณ 3 ซม. เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นเท่ากัน พบว่า การเกิด แก๊สไฮโดรเจนปริมาตรเท่ากัน ใช้เวลาแตกต่างกันคือ 109 วินาที และ 191 วินาที ตามลำดับ

5.2 ลวดแมกนีเซียมพับทบมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าลวดแมกนีเซียมที่ขดเป็น สปริงเนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสของขดลวดแมกนีเซียมกับกรดลดลง จึงสรุปได้ว่าอัตราการ เกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นกับพื้นที่ผิวสัมผัส ถ้าสารมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะมีค่าสูง แต่ถ้าสารมีพื้นที่ผิวสัมผัสน้อยอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะมีค่าต่ำ

6. ครูนำอภิปรายต่อไปเกี่ยวกับผลของพื้นที่ผิวของสารตั้งต้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในใบความรู้ที่ 3 เพื่อให้ได้ข้อสรุปว่า การที่สารตั้งต้นซึ่งมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากมีอัตราการ เกิดปฏิกิริยาเคมีสูง เนื่องจากอนุภาคของสารมีโอกาสชนกันมากขึ้น จึงเกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น

7. ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนสอบถามเนื้อหา เรื่อง พื้นที่ผิวของสารกับอัตราการ เกิดปฏิกิริยาเคมี ว่ามีส่วนไหนที่ยังไม่เข้าใจและให้ความรู้เพิ่มเติมในส่วนนั้น

5.3 ขั้นสรุป

1. ครูให้นักเรียนเขียนรายงานการทดลองเกี่ยวกับการทดลองที่ได้ทำมาแล้วส่งครู
2. ครูมอบหมายให้นักเรียนไปศึกษาความรู้ เรื่อง อุณหภูมิกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งจะเรียนในคาบต่อไปมาล่วงหน้า

6. สื่อการเรียนการสอน

1. หนังสือเรียนวิชาเคมี 3 ของ สสวท.
2. อุปกรณ์การทดลองที่ 6.3/ ใบบันทึกกิจกรรม/ การทดลอง

7. การวัดผลประเมินผล

การวัดผลประเมินผล	วิธีการวัด	เครื่องมือวัด	เกณฑ์การผ่าน
1. ด้านความรู้ความเข้าใจ	1. การเขียนสรุปความคิดรวบยอด 2. วัดจากการตรวจใบบันทึกกิจกรรม/การทดลอง	1. แบบสรุปความคิดรวบยอด 2. บันทึกกิจกรรม/การทดลอง	1. ทำได้ครบถ้วนถูกต้อง 70 % ขึ้นไป 2. ทำถูกต้อง 60% ขึ้นไป
2. ด้านทักษะกระบวนการ	สังเกตจากการปฏิบัติการทดลอง	แบบสังเกตพฤติกรรมการทำงาน/ทดลอง	ได้คะแนน 60% ขึ้นไป
3. ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์	การสังเกตพฤติกรรมความสนใจ และตั้งใจเรียน	แบบสังเกตพฤติกรรมความสนใจและตั้งใจเรียน	ได้คะแนน 60% ขึ้นไป

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3

รายวิชาเคมี

รหัสวิชา ว30223

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

เรื่อง อุณหภูมิกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

เวลา 2.00 ชั่วโมง

1. ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

อธิบายผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

2. จุดประสงค์การเรียนรู้

อธิบายผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

3. สารสำคัญ

- อุณหภูมิกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
- การอธิบายผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

4. ภาระงาน

รายงานการทดลอง 6.4 เรื่อง อุณหภูมิกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

5. กระบวนการจัดการเรียนรู้

5.1 ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

ครูทบทวนเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาซึ่ง ได้แก่ ความเข้มข้นหรือพื้นที่ผิวของสารตั้งต้น แล้วตั้งคำถามให้นักเรียนคิดต่อไปว่ายังมีปัจจัยอื่น ๆ อีกหรือไม่ที่ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลง (อุณหภูมิ ตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวหน่วงปฏิกิริยา)

5.2 ขั้นสอน

1. ครูยกตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาของโลหะแมกนีเซียมในอากาศที่อุณหภูมิห้องกับการเผาโลหะแมกนีเซียมในอากาศตามรายละเอียดในบทเรียน หรือทบทวนการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโลหะแมกนีเซียมกับน้ำร้อนและน้ำเย็นที่เคยทำการทดลองมาแล้ว เพื่อนำเข้าสู่การทดลอง 6.4

2. ครูให้นักเรียนแบ่งกลุ่มออกเป็น 4 - 5 กลุ่ม ๆ ละ 4 - 5 คนและทำการทดลอง 6.4 เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดซัลฟิวริกกับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่อุณหภูมิต่าง ๆ การทดลอง 6.4 อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดซัลฟิวริกกับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่อุณหภูมิต่าง ๆ

การทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

จุดประสงค์การทดลอง

1. ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้
2. สรุปผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้

เวลาที่ใช้	อภิปรายก่อนการทดลอง	5	นาที
	ทดลอง	40	นาที
	อภิปรายหลังการทดลอง	15	นาที
	รวม	60	นาที

สารเคมีและอุปกรณ์

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
สารเคมี	
1. สารละลายกรดออกซาลิก 0.05 mol/dm^3	2 cm^3
2. สารละลายกรดซัลฟิวริก 1.0 mol/dm^3	1 cm^3
3. สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.005 mol/dm^3	2 cm^3
4. น้ำแข็ง	3-4 ก้อน
อุปกรณ์	
1. หลอดทดลองขนาดเล็ก	4 หลอด
2. บีกเกอร์ขนาด 100 cm^3	1 ใบ
3. นาฬิกาจับเวลา	1 เรือน
4. ตะเกียงแอลกอฮอล์พร้อมที่ก้นลม	1 ชุด
5. หลอดหยด	3 หลอด
6. เทอร์มอมิเตอร์ $0 - 100^\circ\text{C}$	1 แท่ง

3. ก่อนทำการทดลองครูได้เตรียมสารล่วงหน้า ดังนี้

3.1 สารละลายกรดออกซาลิก 0.05 mol/dm^3 50 cm^3 โดยละลายกรดออกซาลิก 0.22 g ในน้ำ ให้ได้สารละลายปริมาตร 50 cm^3

3.2 สารละลายกรดซัลฟิวริก 1.0 mol/dm^3 25 cm^3 โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (18 mol/dm^3) 1.4 cm^3 ในน้ำ ให้ได้ปริมาตร 25 cm^3

3.3 สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.005 mol/dm^3 50 cm^3 โดยละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.04 g ในน้ำปริมาตร 50 cm^3

3.4 เตรียมน้ำแข็งไว้ผสมกับน้ำและต้มน้ำร้อนไว้ก่อนทำการทดลอง

สารละลายในข้อ 3.1, 3.2 และ 3.3 ควรเตรียมให้มีมากพอเพื่อนำไปใช้ในการทดลอง 6.4

4. ครูนำอภิปรายก่อนการทดลอง เพื่อแนะนำเกี่ยวกับการทดลอง ดังนี้

4.1 เมื่อจะทำการทดลองที่อุณหภูมิใด ต้องทำให้สารละลายทั้งสองชนิดที่ผสมกันมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมินั้นก่อน โดยนำหลอดทดลองที่บรรจุสารละลายแต่ละชนิดแช่ในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำที่อุณหภูมินั้นสักครู่ แล้วจึงเทสารละลายผสมกัน

4.2 ให้ทำการทดลองที่อุณหภูมิสูงก่อน เมื่อต้องการทดลองที่อุณหภูมิต่ำให้เติมน้ำเย็นลงไป สำหรับการทดลองที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้องให้ใช้น้ำแข็งผสมกับน้ำ

5. นักเรียนทำการทดลองตามรายละเอียดการทดลอง 6.4 เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างกรดซัลฟิวริกกับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในหนังสือเรียน และบันทึกผลการทดลอง ตัวอย่างผลการทดลองของนักเรียน เป็นดังนี้

อุณหภูมิที่ทดลอง ($^{\circ}\text{C}$)	ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา (s)
20	327
30	134
40	55
60	21

6. จากผลการทดลองครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายผลการทดลองตามแนวคำถามท้ายการทดลองแล้วนำข้อสรุปมาอภิปรายร่วมกัน ซึ่งควรสรุปได้ ดังนี้

- ที่อุณหภูมิต่ำ ปฏิกิริยาระหว่างกรดออกซาลิกกับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเกิดขึ้นช้ากว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้น และลดลงเมื่ออุณหภูมิต่ำลง จึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิ มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

7. ครูนำอภิปรายต่อไปถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยใช้ทฤษฎีจลน์ และการชนกันของอนุภาค เพื่อให้ได้ข้อสรุปว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลที่มีพลังงานสูงและเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วสูงมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น จึงมีโอกาสชนกันได้มากขึ้น และเมื่อชนกันแล้วทำให้โมเลกุลที่มีพลังงานสูงเท่ากับหรือมากกว่าพลังงานก่อกัมมันต์มีมากขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจึงมีค่าสูงขึ้น

8. ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนสอบถามเนื้อหา เรื่อง อุณหภูมิของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ว่ามีส่วนไหนที่ยังไม่เข้าใจและให้ความรู้เพิ่มเติมในส่วนนั้น

5.3 ขั้นสรุป

1. ครูให้นักเรียนเขียนรายงานการทดลองเกี่ยวกับการทดลองที่ได้ทำมาแล้วและทำแบบฝึกเสริมประสบการณ์ส่งครู

2. ครูมอบหมายให้นักเรียนไปศึกษาความรู้ เรื่อง ตัวเร่งและตัวหน่วงปฏิกิริยาเคมี ซึ่งจะเรียนในคาบต่อไปมาล่วงหน้า

6. สื่อการเรียนการสอน

- หนังสือเรียนวิชาเคมี 3 ของ สสวท.
- อุปกรณ์การทดลองที่ 6.4/ ใบบันทึกกิจกรรม/ การทดลอง

7. การวัดผลประเมินผล

การวัดผลประเมินผล	วิธีการวัด	เครื่องมือวัด	เกณฑ์การผ่าน
1. ด้านความรู้ความเข้าใจ	1. การเขียนสรุปความคิดรวบยอด 2. วัดจากการตรวจใบบันทึกกิจกรรม/การทดลอง	1. แบบสรุปความคิดรวบยอด 2. บันทึกกิจกรรม/การทดลอง	1. ทำได้ครบถ้วนถูกต้อง 70 % ขึ้นไป 2. ทำถูกต้อง 60% ขึ้นไป
2. ด้านทักษะกระบวนการ	สังเกตจากการปฏิบัติการทดลอง	แบบสังเกตพฤติกรรมการทำงาน/ ทดลอง	ได้คะแนน 60% ขึ้นไป
3. ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์	การสังเกตพฤติกรรมความสนใจ และตั้งใจเรียน	แบบสังเกตพฤติกรรมความสนใจและตั้งใจเรียน	ได้คะแนน 60% ขึ้นไป

กิจกรรมเสนอแนะ

ในการทดลอง อุณหภูมิของสารละลายที่ทำการทดลองไม่จำเป็นต้องเป็น 20 40 และ 60 องศาเซลเซียสพอดี อาจทดลองใกล้เคียงกับอุณหภูมิดังกล่าวได้ แต่ให้รายงานตามอุณหภูมิที่ทดลองจริง

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4

รายวิชาเคมี

รหัสวิชา ว30223

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

เรื่อง ตัวเร่งและตัวหน่วงปฏิกิริยาเคมี

เวลา 2.00 ชั่วโมง

1. ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

อธิบายผลของตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวหน่วงปฏิกิริยาต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

2. จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายผลของตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวหน่วงปฏิกิริยาต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้
2. อธิบายความหมายและหน้าที่ของตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวหน่วงปฏิกิริยาได้

3. สาระสำคัญ

- ตัวเร่งและตัวหน่วงปฏิกิริยากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
- การอธิบายผลของตัวเร่งปฏิกิริยาต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

4. ภาระงาน

รายงานการทดลอง 6.5 เรื่อง ผลของสารบางชนิดต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และการทดลอง 6.6 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

5. กระบวนการจัดการเรียนรู้

5.1 ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

ครูทบทวนเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาซึ่ง ได้แก่ ความเข้มข้น พื้นที่ผิวของสารตั้งต้น อุณหภูมิแล้วอภิปรายต่อไปเพื่อให้เกิดแนวคิดว่า ในบางปฏิกิริยาการเติมสารบางชนิดลงไปอาจมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

5.2 ขั้นสอน

1. ครูให้นักเรียนแบ่งกลุ่มออกเป็น 4 - 5 กลุ่ม ๆ ละ 4 - 5 คนและทำการทดลอง 6.5 เรื่อง ผลของสารบางชนิดต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

การทดลอง 6.5 ผลของสารบางชนิดต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

การทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของสารบางชนิดต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของสารบางชนิดต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้
2. อธิบายหน้าที่ของแมงกานีส (II) ซัลเฟต และโซเดียมฟลูออไรด์ในปฏิกิริยาที่ทำการทดลองได้
3. สรุปผลของสารบางชนิดที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้

เวลาที่ใช้	อภิปรายก่อนการทดลอง	5	นาที
	ทดลอง	30	นาที
	อภิปรายหลังการทดลอง	15	นาที
	รวม	50	นาที

สารเคมีและอุปกรณ์

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
สารเคมี	
1. สารละลายกรดออกซาลิก 0.05 mol/dm^3	20 หยด
2. สารละลายกรดซัลฟิวริก 1.0 mol/dm^3	10 หยด
3. สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.005 mol/dm^3	20 หยด
4. สารละลายแมงกานีส (II) ซัลเฟต 0.1 mol/dm^3	3 หยด
5. ผงโซเดียมฟลูออไรด์	0.1 g
6. สารละลายกรดแอสติค 0.5 mol/dm^3	6 cm^3
7. เปลือกไข่ที่แห้งและบดละเอียด	2 g
อุปกรณ์	
1. หลอดทดลองขนาดกลาง	4 หลอด
2. กระบอกตวงขนาด 10 cm^3	1 ใบ
3. นาฬิกาจับเวลา	1 เรือน
4. โกร่งพร้อมที่บด	1 ชุด
5. หลอดหยด	1 อัน
6. เครื่องชั่ง	1 เครื่อง

2. ก่อนทำการทดลองครูได้เตรียมสารล่วงหน้า ดังนี้

2.1 สารละลายกรดออกซาลิก กรดซัลฟิวริก และโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่เตรียมไว้ในการทดลอง 6.4

2.2 สารละลายแมงกานีส (II) ซัลเฟต 0.1 mol/dm^3 จำนวน 10 cm^3 โดยละลาย $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.24 g ในน้ำให้ได้ปริมาตร 10 cm^3 (หรือละลายแมงกานีส (II) ซัลเฟต) ที่มีสูตรเป็น $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.28 g ในน้ำให้ได้ปริมาตร 10 cm^3

2.3 เตรียมสารละลายกรดแอสซิดิก 0.5 mol/dm^3 100 cm^3 โดยละลายกรดแอสซิดิกเข้มข้น (17.5 mol/dm^3) 2.85 cm^3 ในน้ำปริมาตร 100 cm^3

2.4 เปลือกไข่ที่สะอาดและแห้ง ทำได้โดยลอกเยื่อด้านในของเปลือกไข่ออกล้างแล้วตากให้แห้งและบดให้ละเอียด

3. นักเรียนทำการทดลองตามรายละเอียดการทดลอง 6.5 เรื่อง ผลของสารบางชนิดต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ในหนังสือเรียน และบันทึกผลการทดลอง

4. ตัวอย่างผลการทดลองของนักเรียน เป็นดังนี้

4.1 ตัวอย่างผลการทดลองตอนที่ 1

หลอดที่	สารที่ทำปฏิกิริยา	ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา (s)
1	$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{KMnO}_4$	201
2	$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{KMnO}_4 + \text{MnSO}_4$	36

4.2 ตัวอย่างผลการทดลองตอนที่ 2

หลอดที่	สารที่ทำปฏิกิริยา	การเปลี่ยนแปลง
1	เปลือกไข่กับกรดแอสซิดิก	มีฟองแก๊สเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว
2	เปลือกไข่ผสมโซเดียมฟลูออไรด์กับกรดแอสซิดิก	มีฟองแก๊สเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ

5. จากผลการทดลองครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายผลการทดลองตามแนวคำถาม ทำการทดลองแล้วนำข้อสรุปมาอภิปรายร่วมกัน ซึ่งควรสรุปได้ ดังนี้

- ตอนที่ 1 ปฏิกิริยาในหลอดที่ 2 เกิดเร็วกว่าหลอดที่ 1 เป็นผลจากการเติมแมงกานีส (II) ซัลเฟต

- ตอนที่ 2 ปฏิกิริยาในหลอดที่ 2 เกิดช้ากว่าในหลอดที่ 1 เป็นผลจากการเติมโซเดียมฟลูออไรด์

6. จากผลการทดลองช่วยสรุปได้ว่า แมงกานีส (II) ซัลเฟตและโซเดียมฟลูออไรด์มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา โดยแมงกานีส (II) ซัลเฟตทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้นจึงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ส่วนโซเดียมฟลูออไรด์ทำให้เกิดปฏิกิริยาช้าลงจึงเป็นตัวหน่วงปฏิกิริยา

7. ครูให้นักเรียนแบ่งกลุ่มออกเป็น 4 - 5 กลุ่ม ๆ ละ 4 - 5 คนและทำการทดลอง 6.6 เรื่อง สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

การทดลองที่ 6.6 สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

การทดลองนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวเร่งปฏิกิริยาในการเกิดปฏิกิริยา

จุดประสงค์การทดลอง

1. ทำการทดลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวเร่งปฏิกิริยาในระหว่างเกิดปฏิกิริยา
2. บอกหน้าที่ของโคบอลต์ (II) คลอไรด์ในปฏิกิริยาที่ทำการทดลองได้
3. อธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวเร่งปฏิกิริยาในขณะที่ปฏิกิริยาดำเนินไปได้
4. บอกสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาเมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดได้
5. สรุปสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาได้

เวลาที่ใช้	อธิบายก่อนการทดลอง	5	นาที
	ทดลอง	20	นาที
	อธิบายหลังการทดลอง	10	นาที
	รวม	35	นาที

สารเคมีและอุปกรณ์

รายการ	ต่อ 1 กลุ่ม
สารเคมี	
1. โซเดียมโพแทสเซียมทาร์เทรต	0.5 g
2. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้นร้อยละ 6	4 cm ³
3. สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ 0.1 mol/dm ³	2 หยด
4. น้ำกลั่น	5 cm ³
อุปกรณ์	
1. หลอดทดลองขนาดกลาง	2 หลอด
2. ปีกเกอร์ขนาด 250 cm ³	1 ใบ
3. ตะเกียงแอลกอฮอล์พร้อมที่กั้นลม	1 ชุด
4. กระบอกตวงขนาด 10 cm ³	1 ใบ
5. ที่จับหลอดทดลอง	1 อัน
6. เทอร์มอมิเตอร์ 0-100 °C	1 แท่ง
7. หลอดหยด	1 อัน

8. ก่อนทำการทดลองครูได้เตรียมสารล่วงหน้า ดังนี้

- เตรียมสารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์ 0.1 mol/dm^3 25 cm^3 โดยละลายโคบอลต์-
(II) คลอไรด์ ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 0.6 g ในน้ำให้ได้ปริมาตร 25 cm^3 (ถ้าเป็น $\text{CoCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ จะต้องใช้
 0.42 g) สารนี้ควรเตรียมใหม่จึงจะได้ผลดี

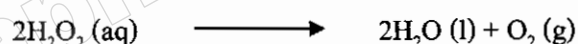
9. ครูนำอภิปรายก่อนการทดลอง เพื่อแนะนำเกี่ยวกับการทดลอง ดังนี้

9.1 สังเกตการเปลี่ยนแปลงอย่างละเอียดตลอดเวลาที่ปฏิกิริยาดำเนินไปและบันทึก
ผลที่สังเกตได้ตั้งแต่เริ่มต้นจนปฏิกิริยาสิ้นสุด

9.2 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้เป็นชนิดเข้มข้น ควรระวังอย่าให้ถูกผิวหนัง
เพราะจะทำให้เกิดการระคายเคือง โดยเฉพาะบริเวณที่เป็นเนื้อเยื่ออ่อน ถ้าหยดถูกผิวหนังให้ใช้น้ำ
ล้างออกทันที

9.3 การเปิดขวดขวดใส่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต้องทำด้วยความระมัดระวัง บางครั้ง
ความดันของแก๊สภายในขวดอาจดันให้ขวดพุ่งออกมาเข้าตาหรือถูกผิวหนังได้ การป้องกันอาจทำ
ได้โดยนำขวดสารแช่ในน้ำเย็นจัดสักครู่แล้วจึงเปิดขวดอย่างช้า ๆ โดยเอียงปากขวดไปในทิศทางที่
ไม่มีคน

9.4 เมื่อใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แล้วต้องรีบปิดขวดให้สนิท เพราะ
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารที่ไม่อยู่ตัวที่อุณหภูมิห้อง จะสลายตัวให้แก๊สออกซิเจนและน้ำ
ดังนี้



10. นักเรียนทำการทดลองตามรายละเอียดการทดลอง 6.6 เรื่อง สมบัติของตัวเร่ง
ปฏิกิริยาในหนังสือเรียน และบันทึกผลการทดลอง

11. ตัวอย่างผลการทดลองของนักเรียน เป็นดังนี้

11.1 เกิดฟองแก๊สไม่มีสีทั้งสองหลอด

11.2 หลอดที่เติมโคบอลต์ (II) คลอไรด์ ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วกว่าหลอดที่ไม่เติม

11.3 ขณะเกิดปฏิกิริยาสังเกตได้ว่าสารละลายซึ่งมีสีชมพูเปลี่ยนเป็นสีเขียว ชั่วขณะ
หนึ่งแล้วเปลี่ยนกลับเป็นสีชมพูที่มีความเข้มของสีเท่าเดิม

12. จากผลการทดลองครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายผลการทดลองตามแนวคำถาม
ท้ายการทดลองแล้วนำข้อสรุปมาอภิปรายร่วมกัน ซึ่งควรสรุปได้ ดังนี้

12.1 ปฏิกิริยาในหลอดที่ 1 เกิดเร็วกว่าหลอดที่ 2 มาก เพราะมีโคบอลต์ (II) คลอไรด์
เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

12.2 สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์เปลี่ยนเป็นสีเขียวขณะทำปฏิกิริยาดำเนินไป เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลงจะกลับเป็นสีชมพูเหมือนเดิมและมีความเข้มข้นเท่าเดิม แสดงว่าขณะที่ปฏิกิริยาดำเนินไป ตัวเร่งปฏิกิริยาจะเข้ามามีส่วนร่วมในปฏิกิริยาค้าง แต่เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดแล้วจะกลับเป็นสารเดิมและมีปริมาณเท่ากับเมื่อตอนเริ่มต้น

13. ครุฑนำอภิปรายถึงประโยชน์ของตัวเร่งปฏิกิริยาและตัวหน่วงปฏิกิริยา แล้วร่วมกันสรุปปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีตามรายละเอียดในใบความรู้ที่ 3 และ 4

5.3 ขั้นสรุป

1. ครูให้นักเรียนเขียนรายงานการทดลองเกี่ยวกับการทดลองที่ได้ทำมาแล้วส่งครู
2. ครูมอบหมายให้นักเรียนไปทบทวนเนื้อหาในหน่วยการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เพื่อเตรียมสอบเก็บคะแนนประจำหน่วย
3. ครูมอบหมายให้นักเรียนไปศึกษาความรู้ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ - สมดุลเคมี ซึ่งจะเรียนในคาบต่อไปมาล่วงหน้า

6. สื่อการเรียนการสอน

1. หนังสือเรียนวิชาเคมี 3 ของ สสวท.
2. อุปกรณ์การทดลองที่ 6.5 และ 6.6/ ใบบันทึกกิจกรรม/ การทดลอง

7. การวัดผลประเมินผล

การวัดผลประเมินผล	วิธีการวัด	เครื่องมือวัด	เกณฑ์การผ่าน
1. ด้านความรู้ความเข้าใจ	1. การเขียนสรุป ความคิดรวบยอด 2. วัดจากการตรวจ ใบบันทึกกิจกรรม/ การทดลอง	1. แบบสรุปความคิด รวบยอด 2. บันทึกกิจกรรม/ การทดลอง	1. ทำได้ครบถ้วน ถูกต้อง 70 % ขึ้นไป 2. ทำถูกต้อง 60% ขึ้นไป
2. ด้านทักษะกระบวนการ	สังเกตจากการ ปฏิบัติการทดลอง	แบบสังเกต พฤติกรรมการทำงาน/ ทดลอง	ได้คะแนน 60% ขึ้นไป
3. ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์	การสังเกตพฤติกรรม ความสนใจ และตั้งใจ เรียน	แบบสังเกต พฤติกรรมความ สนใจและตั้งใจเรียน	ได้คะแนน 60% ขึ้นไป

ภาคผนวก ง
แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้
เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

รายวิชา เคมี

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

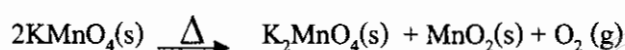
เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

จำนวน 20 ข้อ

20 คะแนน

คำชี้แจง ให้นักเรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด แล้วกากบาทลงในกระดาษคำตอบ

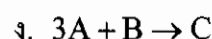
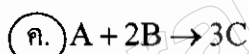
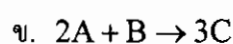
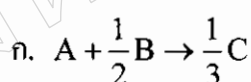
1. เมื่อเผาโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) ดังปฏิกิริยา



จากปฏิกิริยาดังกล่าว ถ้าเราต้องการทราบอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เราควรวัดปริมาณของสารใด
จึงจะสะดวกและรวดเร็วที่สุด

- ☒ ก. ปริมาณของ O_2 ที่เกิดขึ้น
 ข. สังเกตสีของ MnO_2 ที่เกิดขึ้น
 ค. ปริมาณของ KMnO_4 ที่ใช้ไป
 ง. ปริมาณของ K_2MnO_4 ที่เกิดขึ้น

2. ในปฏิกิริยาหนึ่ง อัตราการลดของสาร A เท่ากับ $\frac{1}{2}$ เท่าของอัตราการลดสาร B และเท่ากับ $\frac{1}{3}$ เท่าของอัตราการเพิ่มของสาร C สมการที่แสดงปฏิกิริยาเคมีนี้คือ



ใช้ข้อมูลต่อไปนี้ตอบคำถามข้อ 3 – 4

ปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังสมการ $\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{C}$ ทำการทดลองที่ 25°C

การทดลองที่	ความเข้มข้นของ A (mol/L)	ความเข้มข้นของ B (mol/L)	อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (mol/L.s)
1	0.1	0.1	2.0×10^{-3}
2	0.2	0.2	8.0×10^{-3}
3	0.1	0.2	8.0×10^{-3}

ให้ R = อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

3. กฎอัตรา (Rate Law) ของปฏิกิริยานี้คือ
 ก. $R = k[A][B]$ ข. $R = k[A]^2$ ☒ ค. $R = k[B]^2$ ง. $R = k[B]$
4. ค่า k (Specific rate constant) ของปฏิกิริยานี้ที่อุณหภูมิ 25°C มีค่าเท่าไร
☒ ก. 2.0×10^{-1} ข. 2.0×10^{-2} ค. 2.0×10^{-3} ง. 2.0×10^{-5}
5. ปฏิกิริยา $2\text{NO}(\text{g}) + \text{Br}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NOBr}(\text{g})$ พบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นอันดับสองเมื่อเทียบกับ NO และเป็นอันดับหนึ่งเมื่อเทียบกับ Br_2 ข้อใดแสดงสมการอัตราการเกิดปฏิกิริยาถูกต้อง (k เป็นค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา)
 ก. $-\frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{NOBr}]}{\Delta t} = +\frac{\Delta[\text{Br}_2]}{\Delta t} = k[\text{NO}]^2[\text{Br}_2]$
 ข. $+\frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{NOBr}]}{\Delta t} = -\frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{NO}]}{\Delta t} = k[\text{NOBr}]^2$
 ค. $-\frac{\Delta[\text{NO}]}{\Delta t} = -\frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{Br}_2]}{\Delta t} = k[\text{NOBr}]^2$
☒ ง. $-\frac{1}{2} \frac{\Delta[\text{NO}]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[\text{Br}_2]}{\Delta t} = k[\text{NO}]^2[\text{Br}_2]$
6. จากปฏิกิริยา $\text{A} + 3\text{B} \rightarrow 2\text{C} + \text{D}$ เมื่อผสมสาร A (0.5 mol/dm^3) และ B (0.5 mol/dm^3) โดยที่ในแต่ละการทดลองวัดเวลารวมของปฏิกิริยาตั้งแต่เริ่มต้นจนได้ปริมาณสาร D เท่ากับ $6.25 \times 10^{-5} \text{ mol}$ ข้อมูลการทดลองดังนี้

การทดลองที่	ปริมาตรของสาร A (cm^3)	ปริมาตรของสาร B (cm^3)	ปริมาตรของน้ำ (cm^3)	เวลา (s)
1	10	10	5	50
2	5	10	10	200
3	10	5	10	100

ข้อใดเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของสารตั้งต้นถูกต้อง

- ก. สาร A มีอิทธิพลเท่ากับสาร B
☒ ข. สาร A มีอิทธิพลมากกว่าสาร B
 ค. สาร A มีอิทธิพลน้อยกว่าสาร B
 ง. ไม่สามารถเปรียบเทียบได้

7. เมื่อปฏิกิริยา $A + B \rightarrow P$ ดำเนินไปเรื่อย ๆ และพบว่า กฎอัตรามีอันดับ 1 และ 2 เมื่อเทียบกับสาร A และ B ตามลำดับ ถ้าใช้สาร A และ B อย่างละ 1.0 mol ในภาชนะ 1 ลิตร และอัตราเร็วเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L.s}$ ค่าคงที่อัตรา (k) มีค่าเท่าใด

ก. $1.2 \times 10^{-3} \text{ mol/L.s}$

ข. $1.0 \times 10^{-2} \text{ L}^2/\text{mol}^2.\text{s}$

ค. $2.5 \times 10^{-3} \text{ mol/L.s}$

ง. $5.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L.s}$

8. ในการทดลองเพื่อหาอัตราการเกิดปฏิกิริยา $A + B \rightarrow C$ ได้ข้อมูลดังนี้

การทดลอง	ความเข้มข้นของ A (mol/L)	ความเข้มข้นของ B (mol/L)	อัตราการเกิดของ C (mol/L.min)
1	1.3	2.2	0.04
2	1.3	3.3	0.06
3	2.6	*	0.24
4	2.6	2.2	0.16

ข้อมูลที่หายไปในการทดลองที่ 3 ซึ่งเขียนเครื่องหมาย * เท่ากับเท่าใด

ก. 1.1 mol/L

ข. 2.2 mol/L

ค. 3.3 mol/L

ง. 4.4 mol/L

9. ถ้าให้สาร A ทำปฏิกิริยากับสาร B โดยมีสาร C เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิหนึ่ง พบว่าเลขอันดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับ 0, 2 และ 0 เมื่อเทียบกับสาร A, B และ C ตามลำดับ จงหาว่าสมการแสดงกฎอัตราของปฏิกิริยานี้ ตรงตามข้อใดมากที่สุด

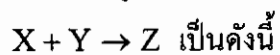
ก. $R = k[A][B]^2$

ข. $R = k[B]^2$

ค. $R = k[A][B]$

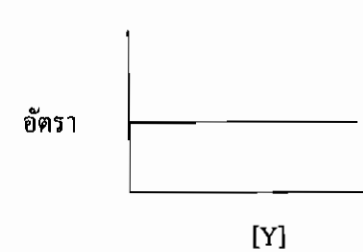
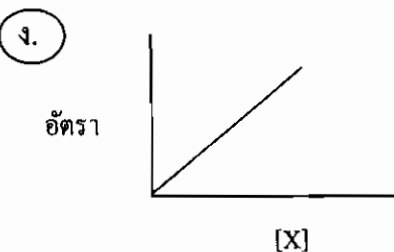
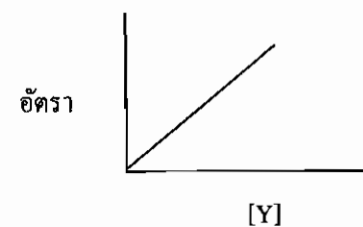
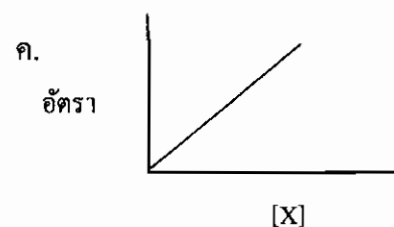
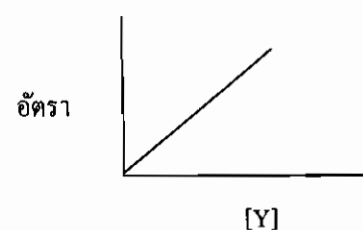
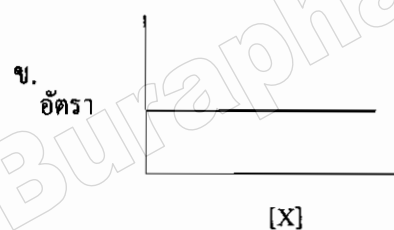
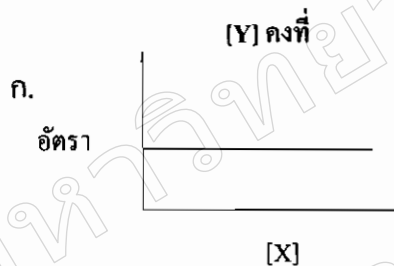
ง. $R = k[A][B]^2[C]$

10. ตารางข้อมูลของอัตราการเกิดปฏิกิริยาและความเข้มข้นของสารในสารในปฏิกิริยา

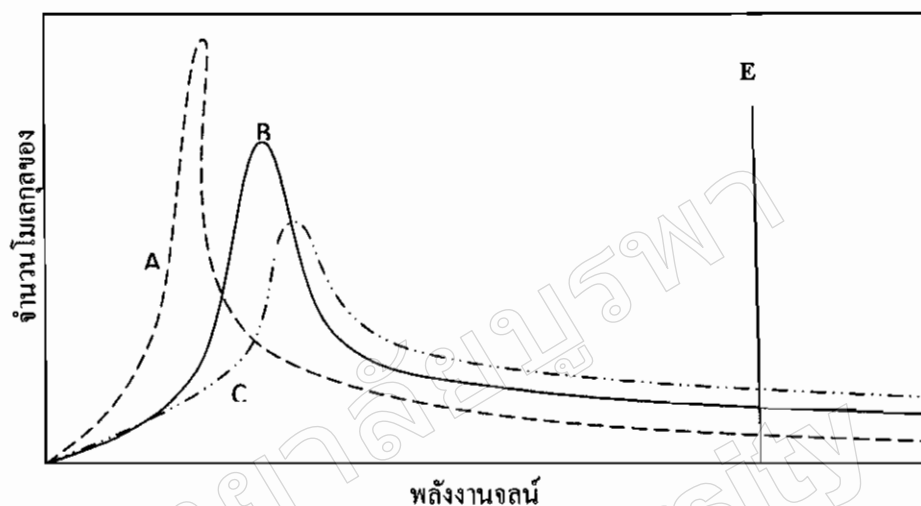


ครั้งที่	[X]	[Y]	อัตราการเกิด Z
1	0.1	0.1	A
2	0.2	0.1	2A
3	0.3	0.2	3A
4	0.1	0.3	A

กราฟในข้อใดแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยาและความเข้มข้นของสารที่สอดคล้องกับข้อมูลข้างบน



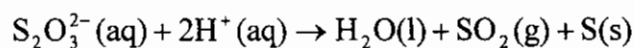
15. จากรูปเส้นกราฟ B บอกการกระจายพลังงานของโมเลกุลก๊าซ ณ อุณหภูมิหนึ่ง เส้น E_a บอกค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา ส่วนเส้นประ A และ C เป็นการเลื่อนไปของกราฟ B เมื่อมีปัจจัยบางประการ



เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และเติมตัวเร่งปฏิกิริยา การเปลี่ยนแปลงในกราฟควรเป็นไปตามข้อใด

	เพิ่มอุณหภูมิ	เติมตัวเร่งปฏิกิริยา
ก.	กราฟ B เลื่อนไปเป็นรูปกราฟ A	เส้น E _a เลื่อนไปทางขวา
ข.	กราฟ B เลื่อนไปเป็นรูปกราฟ C	เส้น E _a เลื่อนไปทางซ้าย
ค.	กราฟ B เลื่อนไปเป็นรูปกราฟ C	เส้น E _a เลื่อนไปทางขวา
ง.	กราฟ B เลื่อนไปเป็นรูปกราฟ A	เส้น E _a เลื่อนไปทางซ้าย

16. ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารตั้งต้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา



โดยวัดเวลาที่ต้องใช้ในการเกิดตะกอนกำมะถันขึ้นจนถึงระดับที่กำหนดไว้ พบว่าได้ผลดังนี้

การทดลอง	ปริมาตร $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (cm^3) 0.3 mol/L	ปริมาตร HCl (cm^3) 0.3 mol/L	น้ำกลั่น (cm^3)	เวลาที่ใช้ (s)
1	10	10	0	20
2	8	10	2	25
3	8	8	4	25

จากผลการทดลอง ข้อใดเป็นข้อสรุปที่ถูกต้องที่สุด

- ก. อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับความเข้มข้นของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ และ HCl
- ข. อัตราการเกิดปฏิกิริยาไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ และ HCl
- ค. อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับความเข้มข้นของ HCl แต่ไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$
- ง. อัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นกับความเข้มข้นของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ แต่ไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของ HCl

ข้อมูลต่อไปนี้ใช้ประกอบการตอบคำถามข้อ 17 – 19

ไฮโปฟอสไฟต์ไอออน (H_2PO_2^-) สลายตัวในสารละลายที่เป็นด่างให้ฟอสไฟต์ไอออน และไฮโดรเจนดั่งสมการ $\text{H}_2\text{PO}_2^- + \text{OH}^- \rightarrow \text{HPO}_3^{2-} + \text{H}_2$ จากการทดลองพบว่าอัตราการลดลงของไฮโปฟอสไฟต์ไอออนที่ 100°C ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารเริ่มต้นดังนี้

การทดลอง	ความเข้มข้นของ H_2PO_2^- mol/L	ความเข้มข้นของ OH^- mol/L	อัตราการลดลงของ H_2PO_2^- mol.L ⁻¹ .s ⁻¹
1	0.10	1.0	3.2×10^{-5}
2	0.50	1.0	1.6×10^{-4}
3	0.50	4.0	6.4×10^{-4}

17. กฎอัตราของปฏิกิริยา คือ

- ก. $R = k[\text{OH}^-]$
- ข. $R = k[\text{H}_2\text{PO}_2^-]^2$
- ค. $R = k[\text{H}_2\text{PO}_2^-][\text{OH}^-]$
- ง. $R = k[\text{H}_2\text{PO}_2^-]^2[\text{OH}^-]$

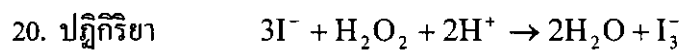
18. ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) ที่อุณหภูมิ 100°C มีค่าเท่าไร

- ก. 3.2×10^{-4}
- ข. 1.6×10^{-3}
- ค. 2.6×10^{-2}
- ง. 4.5×10^{-6}

19. กำหนดให้ความเข้มข้นของ OH^- และ H_2PO_2^- ต่างเท่ากับ 0.5 mol/L อัตราการลดลงของ

H_2PO_2^- มีค่าเท่าไร

- ก. $1.2 \times 10^{-6} \text{ mol.L}^{-1}.\text{s}^{-1}$
- ข. $2.8 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}.\text{s}^{-1}$
- ค. $8.0 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}.\text{s}^{-1}$
- ง. $3.2 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}.\text{s}^{-1}$



เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยากับความเข้มข้นของสารตั้งต้นได้ผลดังตาราง

[I ⁻] (mol/L)	[H ₂ O ₂] (mol/L)	[H ⁺] (mol/L)	อัตราการเกิดปฏิกิริยา (mol/L.s)
0.1	0.1	1×10^{-3}	1.15×10^{-4}
0.1	0.3	1×10^{-3}	3.45×10^{-4}
0.15	0.3	1×10^{-3}	5.18×10^{-4}
0.1	0.1	3×10^{-3}	2.30×10^{-4}

ค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) มีค่าเท่าไร

- ก. 1.15×10^{-2} ข. 3.45×10^{-2} ค. 5.18×10^{-2} ง. 4.50×10^{-2}

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

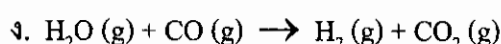
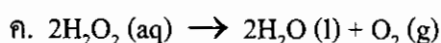
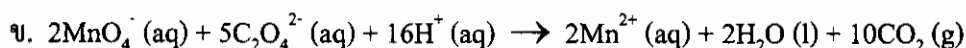
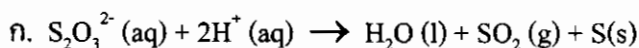
ภาคผนวก จ

แบบทดสอบระหว่างเรียน

เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

แบบทดสอบที่ 1

ข้อที่ 1 จงเขียนกฎอัตราเร็วทั่ว ๆ ไปของปฏิกิริยาต่อไปนี้



วิธีทำ กฎอัตราเป็นกฎที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยากับความเข้มข้นของสารตั้งต้น ดังนั้นจึงเขียนได้เป็นดังนี้

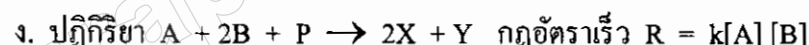
ก. $R = k[\text{S}_2\text{O}_3^{2-}]^m [\text{H}^+]^n$

ข. $R = k[\text{MnO}_4^-]^m [\text{C}_2\text{O}_4^{2-}]^n [\text{H}^+]^p$

ค. $R = k[\text{H}_2\text{O}_2]^m$

ง. $R = k[\text{H}_2\text{O}]^m [\text{CO}]^n$

ข้อที่ 2 จากกฎอัตราเร็วของปฏิกิริยาต่อไปนี้ สารใดบ้างที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา และสารใดมีผลมากกว่ากัน



วิธีทำ

ก. จากกฎอัตราแสดงว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ A และ B ซึ่งทั้ง A และ B มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากัน หมายความว่า ถ้าเปลี่ยนความเข้มข้นของ A และ B เท่า ๆ กัน อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเปลี่ยนแปลงไปเท่า ๆ กัน

ข. จากกฎอัตราเร็วแสดงว่าความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ทั้ง X และ Y ไม่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไม่ว่า X และ Y จะมีความเข้มข้นเป็นเท่าใด อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะคงที่เท่ากับ k

ค. จากกฎอัตราเร็ว แสดงว่าทั้ง P และ Q มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา โดยที่ Q มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยามากกว่า P ถ้าเปลี่ยนความเข้มข้นของ P และ Q เท่า ๆ กัน อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเปลี่ยนไปเนื่องจาก Q มากกว่า P

ง. จากกฎอัตรา แสดงว่าเฉพาะ A และ B เท่านั้นที่มีผลโดยตรงต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา และมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเท่า ๆ กัน

ข้อที่ 3 ปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังสมการ $A + 2B \rightarrow C$

การทดลอง	ความเข้มข้นของ A (mol/L)	ความเข้มข้นของ B (mol/L)	อัตราการเกิดของ C (mol/L.s)
1	1.0	1.0	2.5
2	2.0	1.0	2.5
3	1.0	2.0	5.0
4	1.0	2.0	5.0

ก. อัตราการเกิดของ C สัมพันธ์กับความเข้มข้นของ A และ B อย่างไร

ข. การทดลองที่ 1 ถ้าลดปริมาณของสารตั้งต้นให้เหลือเพียงครึ่งหนึ่งจะมีผลต่อการเกิดของ C อย่างไร

วิธีทำ ก. พิจารณาจากกฎอัตราเร็ว $R = k[A]^m[B]^n$

หาค่า k, m, n จากการทดลอง

การทดลองที่ 1, $R = 2.5$, $[A] = 1.0$, $[B] = 1.0$

$$\therefore 2.5 = k[1.0]^m[1.0]^n \quad \dots\dots\dots (1)$$

การทดลองที่ 2, $R = 2.5$, $[A] = 2.0$, $[B] = 1.0$

$$\therefore 2.5 = k[2.0]^m[1.0]^n \quad \dots\dots\dots (2)$$

การทดลองที่ 3 $R = 5.0$, $[A] = 1.0$, $[B] = 2.0$

$$\therefore 5.0 = k[1.0]^m[2.0]^n \quad \dots\dots\dots (3)$$

สมการที่ (3)/(1) จะได้ $2 = 2^n$

$$n = 1$$

สมการที่ (2)/(1) จะได้ $1 = 2^m$

$$m = 0$$

จากสมการ (1) แทนค่า $m = 0$, $n = 1$ จะหาค่า k ได้

$$2.5 = k[1]^0[1]^1 \quad \therefore k = 2.5$$

$$\therefore \text{กฎอัตราเร็วคือ} \quad R = k[B] = 2.5[B]$$

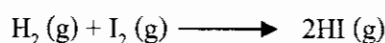
อัตราการเกิดของ C สัมพันธ์กับความเข้มข้นของ A และ B ตามกฎอัตราเร็ว โดยที่ A ไม่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

แบบทดสอบที่ 2

ข้อที่ 1. เมื่อเผาผงเหล็กกับแก๊สออกซิเจนจะเกิดการลุกไหม้ทันที แต่ถ้าเผาตะปูเหล็กแทนผงเหล็ก ปฏิกิริยาจะเกิดช้ามาก เป็นเพราะเหตุใด

คำตอบ ปฏิกิริยาระหว่างเหล็กกับแก๊สออกซิเจนเป็นปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งต้นมีสถานะแตกต่างกันอัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสของสารตั้งต้น ผงเหล็กมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่า ตะปูเหล็กที่มีมวลเท่ากัน จึงทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนได้เร็วกว่าตะปูเหล็ก

ข้อที่ 2. พิจารณาปฏิกิริยาระหว่างแก๊สไฮโดรเจนกับไอโอดีนที่อุณหภูมิ 458 °C ดังสมการ



ถ้าลดจำนวนโมเลกุลของ H_2 ที่อยู่ในภาชนะเดิมให้เหลือเป็นครึ่งหนึ่งของจำนวนเดิม จะมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาอย่างไร จงอธิบาย

คำตอบ การลดจำนวนโมเลกุลของ H_2 ที่อยู่ในภาชนะเดิมเป็นการลดความเข้มข้น H_2 อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงควรลดลง ถ้าอัตราการเกิดปฏิกิริยานี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแก๊ส H_2

ข้อที่ 3. เมื่อเผาโลหะ A ในอากาศจะลุกไหม้อย่างรวดเร็วได้ออกไซด์ของโลหะ A แต่เมื่อวางโลหะ A ไว้ในอากาศจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนอย่างช้าๆ เพราะเหตุใด

คำตอบ เมื่อเผาโลหะ A เป็นการเพิ่มพลังงานจำนวนมากให้กับอนุภาคของสารตั้งต้น ทำให้มีจำนวนอนุภาคที่มีพลังงานสูงพอที่จะเกิดปฏิกิริยาได้มากขึ้น รวมทั้งโอกาสที่อนุภาคจะเกิดการชนกันก็มีมากขึ้น จึงทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้เร็วกว่าเมื่อวางโลหะ A ไว้ในอากาศซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า

ภาคผนวก ฉ

แบบวัดเจตคติของนักเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดพัฒนาการทดลอง
เรื่อง ปฏิกิริยาที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

แบบวัดเจตคติของนักเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดพัฒนาการทดลอง

เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

คำชี้แจง โปรดการเครื่องหมาย / ลงในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของนักเรียน ซึ่งมี 5 ระดับ คือ

5	หมายถึง	เห็นด้วยอย่างยิ่ง	2	หมายถึง	ไม่เห็นด้วย
4	หมายถึง	เห็นด้วย	1	หมายถึง	ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง
3	หมายถึง	ไม่แน่ใจ			

ข้อความ	ระดับความคิดเห็น				
	5	4	3	2	1
1. สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้					
2. ทำให้มีความเข้าใจเกี่ยวกับผลของความเข้มข้น					
3. ทำให้มีความเข้าใจเกี่ยวกับผลของอุณหภูมิ					
4. ทำให้มีความเข้าใจเกี่ยวกับผลของตัวเร่งปฏิกิริยา					
5. ทำให้สามารถคำนวณหาค่าคงที่อัตราและอันดับปฏิกิริยาได้					
6. ครอบคลุมเนื้อหาเรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี					
7. มีความถูกต้อง ทันสมัย เป็นปัจจุบัน					
8. มีความยากง่ายเหมาะสมกับระดับชั้นของนักเรียน					
9. ได้พัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และการทดลอง					
10. ได้ใช้เทคโนโลยีในการวิเคราะห์ข้อมูล					
11. ได้ฝึกทักษะการนำเสนอข้อมูลและอภิปรายผลการทดลอง					
12. กิจกรรมน่าสนใจ และส่งเสริมให้เข้าใจเนื้อหาได้ง่ายขึ้น					
13. ได้ฝึกการทำงานร่วมกับผู้อื่น					
14. สามารถนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน					
15. ระยะเวลาในการจัดกิจกรรมเหมาะสม					

ภาคผนวก ข
ประวัติย่อของผู้เชี่ยวชาญ

ประวัติย่อของผู้เชี่ยวชาญคนที่ 1

ชื่อ-สกุล	นางสุวรรณ แดงโสกา
วัน เดือน ปีเกิด	11 มกราคม พ.ศ. 2502
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 198/1 หมู่ 2 ตำบลหนองขาม อำเภอหนองหญ้าไซ จังหวัดสุพรรณบุรี
ตำแหน่งและประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2526 – 2529	อาจารย์ 1 ระดับ 3 โรงเรียนบรรพตพิสัยพิทยาคม
พ.ศ. 2529 – 2551	อาจารย์ 1 ระดับ 3 โรงเรียนหนองหญ้าไซวิทยา
พ.ศ. 2551 – ปัจจุบัน	ครูชำนาญการพิเศษ โรงเรียนหนองหญ้าไซวิทยา
พ.ศ. 2551 – ปัจจุบัน	หัวหน้ากลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนหนองหญ้าไซวิทยา
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2525	วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาชีววิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร
พ.ศ. 2553	ประกาศนียบัตรบัณฑิต สาขาบริหารการศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
รางวัล	ครูแกนนำปฏิรูปการเรียนรู้ของกรมสามัญศึกษา ครูต้นแบบสาขาวิทยาศาสตร์ของครุสภา รางวัลหนึ่งแสนครูดีของครุสภา

ประวัติย่อของผู้เชี่ยวชาญคนที่ 2

ชื่อ-สกุล	นางศิริพร เชื้อวชาญ
วัน เดือน ปีเกิด	14 มกราคม พ.ศ. 2497
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 91/1 หมู่ 7 ตำบลเขาเดิมบาง อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี
ตำแหน่งและประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2521 – 2552	อาจารย์ 1 ระดับ 3 โรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย
พ.ศ. 2552 – ปัจจุบัน	ครูชำนาญการพิเศษ โรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2521	การศึกษบัณฑิต (เคมี) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร
รางวัล	ครูแกนนำปฏิรูปการเรียนรู้ของกรมสามัญศึกษา ครูต้นแบบสาขาวิทยาศาสตร์ของครูสภา

ประวัติย่อของผู้เชี่ยวชาญคนที่ 3

ชื่อ-สกุล	นายสุวิทย์ วิมลรัตนชัยศิริ
วัน เดือน ปีเกิด	14 มกราคม พ.ศ. 2497
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 88 หมู่ 3 ตำบลเขาพระ อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี
ตำแหน่งและประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2520 - 2537	อาจารย์ 1 ระดับ 3 โรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย
พ.ศ. 2537 – ปัจจุบัน	ครูชำนาญการพิเศษ โรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย
พ.ศ. 2537 – ปัจจุบัน	หัวหน้าฝ่ายบริหารงานนโยบายและแผนงาน โรงเรียนธรรมโชติศึกษาลัย
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2520	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒบางแสน
พ.ศ. 2527	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รางวัล	ครูแกนนำปฏิรูปการเรียนรู้ของกรมสามัญศึกษา ครูต้นแบบสาขาวิทยาศาสตร์ของครูสภา

ภาคผนวก ข

การตรวจสอบดัชนีความสอดคล้องกับจุดประสงค์ (IOC)

การวิเคราะห์ IOC ของแผนการจัดการเรียนรู้และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ข้อที่	จุดประสงค์/ผลการเรียนรู้	คะแนนความคิดเห็น ของผู้เชี่ยวชาญ			IOC
		คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	
1	บอกความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและ คำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้	+1	+1	+1	1.00
2	เขียนและแปลความหมายกราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารกับ เวลา รวมทั้งสามารถหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จากกราฟได้	+1	+1	+1	1.00
3	คำนวณหาอันดับปฏิกิริยาเทียบกับความเข้มข้น ของสารตั้งต้น ค่าคงที่อัตรา และกฎอัตรา	+1	+1	+1	1.00
4	คำนวณหาอันดับปฏิกิริยาเทียบกับความเข้มข้น ของสารตั้งต้น ค่าคงที่อัตรา และกฎอัตรา	+1	+1	+1	1.00
5	คำนวณหาอันดับปฏิกิริยาเทียบกับความเข้มข้น ของสารตั้งต้น ค่าคงที่อัตรา และกฎอัตรา	+1	+1	+1	1.00
6	คำนวณหาอันดับปฏิกิริยาเทียบกับความเข้มข้น ของสารตั้งต้น ค่าคงที่อัตรา และกฎอัตรา	+1	+1	+1	1.00
7	คำนวณหาอันดับปฏิกิริยาเทียบกับความเข้มข้น ของสารตั้งต้น ค่าคงที่อัตรา และกฎอัตรา	+1	+1	+1	1.00
8	คำนวณหาอันดับปฏิกิริยาเทียบกับความเข้มข้น ของสารตั้งต้น ค่าคงที่อัตรา และกฎอัตรา	+1	+1	+1	1.00
9	คำนวณหาอันดับปฏิกิริยาเทียบกับความเข้มข้น ของสารตั้งต้น ค่าคงที่อัตรา และกฎอัตรา	+1	+1	+1	1.00
10	เขียนและแปลความหมายกราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารกับ เวลา รวมทั้งสามารถหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จากกราฟได้	+1	+1	+1	1.00

ข้อที่	จุดประสงค์/ผลการเรียนรู้	คะแนนความคิดเห็น ของผู้เชี่ยวชาญ			IOC
		คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	
11	คำนวณหาอันดับปฏิบัติยาเทียบกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น ค่าคงที่อัตรา และกฎอัตรา	+1	+1	+1	1.00
12	บอกความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและคำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้	+1	+1	+1	1.00
13	บอกความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและคำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้	+1	+1	+1	1.00
14	เขียนและแปลความหมายกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารกับเวลา รวมทั้งสามารถหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจากกราฟได้	+1	+1	+1	1.00
15	- แปลความหมายกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงพลังงานกับการดำเนินของปฏิกิริยาเคมี และสามารถระบุได้ว่าเป็นปฏิกิริยาดูดหรือคายพลังงานได้ - ระบุปัจจัยต่างๆที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและอธิบายผลของความเข้มข้น พื้นที่ผิวของสาร อุณหภูมิ ตัวเร่ง และตัวยับยั้งปฏิกิริยาที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี	+1	+1	+1	1.00
16	คำนวณหาอันดับปฏิบัติยาเทียบกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น ค่าคงที่อัตรา และกฎอัตรา	+1	+1	+1	1.00
17	คำนวณหาอันดับปฏิบัติยาเทียบกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น ค่าคงที่อัตรา และกฎอัตรา	+1	+1	+1	1.00
18	คำนวณหาอันดับปฏิบัติยาเทียบกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น ค่าคงที่อัตรา และกฎอัตรา	+1	+1	+1	1.00
19	คำนวณหาอันดับปฏิบัติยาเทียบกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น ค่าคงที่อัตรา และกฎอัตรา	+1	+1	+1	1.00

ข้อที่	จุดประสงค์/ผลการเรียนรู้	คะแนนความคิดเห็น ของผู้เชี่ยวชาญ			IOC
		คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	
20	กำหนดหาอันดับปฏิกิริยาเทียบกับความเข้มข้น ของสารตั้งต้น ค่าคงที่อัตรา และกฎอัตรา	+1	+1	+1	1.00

หมายเหตุ +1 หมายถึง เห็นด้วย
 0 หมายถึง ไม่แน่ใจ
 -1 หมายถึง ไม่เห็นด้วย

มหาวิทยาลัยบูรพา
 Burapha University

ภาคผนวก ฅ

การหาประสิทธิภาพของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ตาราง ณ – 1 ผลการวิเคราะห์ค่าความยากรายข้อและค่าอำนาจจำแนกรายข้อของข้อสอบ
แบบอิงกลุ่ม

ข้อที่	ความยาก	แปลผล	อำนาจ จำแนก	Sig	แปลผล	คุณภาพของ ข้อสอบ
1	0.76	ใช้ได้	0.49	0.0000	ใช้ได้	ใช้ได้
2	0.74	ใช้ได้	0.61	0.0000	ใช้ได้	ใช้ได้
3	0.76	ใช้ได้	0.58	0.0000	ใช้ได้	ใช้ได้
4	0.75	ใช้ได้	0.56	0.0000	ใช้ได้	ใช้ได้
5	0.64	ใช้ได้	0.35	0.0023	ใช้ได้	ใช้ได้
6	0.78	ใช้ได้	0.44	0.0001	ใช้ได้	ใช้ได้
7	0.60	ใช้ได้	0.68	0.0000	ใช้ได้	ใช้ได้
8	0.54	ใช้ได้	0.71	0.0000	ใช้ได้	ใช้ได้
9	0.60	ใช้ได้	0.68	0.0000	ใช้ได้	ใช้ได้
10	0.47	ใช้ได้	0.28	0.0159	ใช้ได้	ใช้ได้
11	0.74	ใช้ได้	0.50	0.0000	ใช้ได้	ใช้ได้
12	0.71	ใช้ได้	0.33	0.0050	ใช้ได้	ใช้ได้
13	0.57	ใช้ได้	0.51	0.0000	ใช้ได้	ใช้ได้
14	0.61	ใช้ได้	0.62	0.0000	ใช้ได้	ใช้ได้
15	0.64	ใช้ได้	0.33	0.0046	ใช้ได้	ใช้ได้
16	0.65	ใช้ได้	0.63	0.0000	ใช้ได้	ใช้ได้
17	0.57	ใช้ได้	0.51	0.0000	ใช้ได้	ใช้ได้
18	0.32	ใช้ได้	0.25	0.0310	ใช้ได้	ใช้ได้
20	0.56	ใช้ได้	0.71	0.0000	ใช้ได้	ใช้ได้

หมายเหตุ

ค่าความยากคำนวณจากสูตร $P = r/n$

ค่าอำนาจจำแนกคำนวณจากสูตร Item Total Correlation

ค่าความเชื่อมั่นคำนวณด้วยสูตร Alpha – Conbach Coefficient

ค่าความเชื่อมั่น (Reliability) = 0.8942

ตาราง ณ-2 ผลการวิเคราะห์ค่าอำนาจจำแนกรายข้อของข้อสอบแบบอิงเกณฑ์

ข้อที่	B - index	แปลผล
1	0.43	ใช้ได้
2	0.48	ใช้ได้
3	0.43	ใช้ได้
4	0.45	ใช้ได้
5	0.26	ใช้ได้
6	0.34	ใช้ได้
7	0.61	ใช้ได้
8	0.71	ใช้ได้
9	0.61	ใช้ได้
10	0.28	ใช้ได้
11	0.36	ใช้ได้
12	0.24	ใช้ได้
13	0.49	ใช้ได้
14	0.53	ใช้ได้
15	0.31	ใช้ได้
16	0.51	ใช้ได้
17	0.49	ใช้ได้
18	0.27	ใช้ได้
19	0.63	ใช้ได้
20	0.38	ใช้ได้

หมายเหตุ

B-index > 0.2 หมายถึง ใช้ได้

B-index < 0.2 หมายถึง ทิ้ง

ค่าความเชื่อมั่นแบบโทเวท = 0.9033

ค่าความเชื่อมั่นแบบลิวิสตัน = 0.9108

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ภาคผนวก ญ

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนกลุ่มควบคุม

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มควบคุม

ตารางที่ ๑ – 1 คะแนนทดสอบก่อนและหลังเรียนกลุ่มควบคุม

คนที่	คะแนนก่อนเรียน	คะแนนหลังเรียน	ผลต่าง
1	3	12	9
2	5	12	7
3	5	16	11
4	6	16	10
5	6	18	12
6	5	10	5
7	5	16	11
8	4	16	12
9	3	15	12
10	2	17	15
11	2	18	16
12	6	12	6
13	7	13	6
14	7	15	8
15	6	11	5
16	5	12	7
17	4	17	13
18	3	18	15
19	3	16	13
20	2	17	15
21	4	16	12
22	5	16	11
23	5	15	10
24	5	14	9

คนที่	คะแนนก่อนเรียน	คะแนนหลังเรียน	ผลต่าง
25	5	15	10
26	4	17	13
27	4	16	12
28	3	13	10
29	3	14	11
30	3	13	10
31	2	12	10
32	3	13	10
33	2	16	14
34	4	18	14
35	3	13	10
36	3	17	14
37	4	18	14
38	4	15	11
39	5	15	10
Mean	4.10	14.95	10.85
S.D.	1.39	2.19	2.83

ตารางที่ ๒ – 2 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสถิติทดสอบที และระดับนัยสำคัญทางสถิติ
ของการทดสอบเปรียบเทียบคะแนนสอบก่อนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่ม
ควบคุม

การทดสอบ	Mean	S.D.	d	S.D.	t	Sig.(2-tailed)
ก่อนเรียน	4.10	1.39	10.85	2.83	23.91*	0.0000
หลังเรียน	14.95	2.19				

ตารางที่ ๓ – คะแนนทดสอบระหว่างเรียนกลุ่มควบคุม

คนที่	คะแนน	คนที่	คะแนน
1	10	21	13
2	10	22	13
3	13	23	13
4	14	24	14
5	15	25	14
6	10	26	14
7	14	27	12
8	15	28	13
9	14	29	12
10	13	30	11
11	13	31	11
12	11	32	10
13	12	33	13
14	14	34	15
15	10	35	12
16	10	36	15
17	13	37	15
18	14	38	14
19	12	39	14
20	13		

ตารางที่ ๓ – ๔ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสถิติทดสอบที และระดับนัยสำคัญทางสถิติ
ของการทดสอบเปรียบเทียบเกณฑ์ร้อยละ 75 กับคะแนนสอบระหว่างเรียนของ
นักเรียนกลุ่มควบคุม

การ ทดสอบ	n	คะแนน เต็ม	Mean	S.D.	% of Mean	t	Sig
หลังเรียน	39	20	12.77	1.61	63.85	-8.63	1.0000

ตารางที่ ๓ – ๕ คะแนนทดสอบหลังเรียนนักเรียนกลุ่มควบคุม

คนที่	คะแนน	คนที่	คะแนน
1	12	19	16
2	12	20	16
3	16	21	15
4	16	22	14
5	18	23	15
6	10	24	17
7	16	25	16
8	16	26	13
9	15	27	14
10	17	28	13
11	18	29	12
12	12	30	13
13	13	31	16
14	15	32	18
15	11	33	13
16	12	34	17
17	17	35	18
18	18	36	15

คนที่	คะแนน	คนที่	คะแนน
37	16	39	15
38	17		

ตารางที่ ๖ – 6 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสถิติทดสอบที และระดับนัยสำคัญทางสถิติ
ของการทดสอบเปรียบเทียบเกณฑ์ร้อยละ 75 กับคะแนนสอบหลังเรียนของนักเรียน
กลุ่มควบคุม

การ ทดสอบ	n	คะแนน เต็ม	Mean	S.D.	% of Mean	t	Sig
หลังเรียน	39	20	14.95	2.19	74.74	-0.15	1.0000

ภาคผนวก ก

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลอง

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มทดลอง

ตารางที่ ๑ – 1 คะแนนทดสอบก่อนและหลังเรียนกลุ่มทดลอง

คนที่	คะแนนก่อนเรียน	คะแนนหลังเรียน	ผลต่าง
1	5	17	12
2	4	17	13
3	3	16	13
4	6	18	12
5	7	17	10
6	7	17	10
7	3	16	13
8	2	16	14
9	4	13	9
10	3	16	13
11	5	16	11
12	6	15	9
13	7	16	9
14	7	16	9
15	5	16	11
16	4	16	12
17	3	17	14
18	2	18	16
19	2	14	12
20	3	17	14
21	5	18	13
22	5	15	10
23	4	17	13
24	3	16	13

คนที่	คะแนนก่อนเรียน	คะแนนหลังเรียน	ผลต่าง
25	6	17	11
26	5	14	9
27	4	16	12
28	3	16	13
29	2	17	15
30	2	19	17
31	3	19	16
32	3	16	13
33	4	16	12
34	5	16	11
35	4	17	13
36	4	18	14
37	5	17	12
38	6	18	12
39	6	18	12
40	5	15	10
41	5	15	10
42	3	16	13
Mean	4.29	16.43	12.14
S.D.	1.50	1.27	1.98

ตารางที่ ๒ – 2 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสถิติทดสอบที และระดับนัยสำคัญทางสถิติของ
การทดสอบเปรียบเทียบคะแนนสอบก่อนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลอง
(n = 42)

การทดสอบ	Mean	S.D.	d	S.D.	t	Sig.(2-tailed)
ก่อนเรียน	4.29	1.50	12.14	1.98	39.69*	0.0000
หลังเรียน	16.43	1.27				

ตารางที่ ๓-3 คะแนนทดสอบระหว่างเรียนกลุ่มทดลอง

คนที่	คะแนน	คนที่	คะแนน
1	14	22	17
2	10	23	19
3	18	24	10
4	18	25	18
5	16	26	10
6	18	27	16
7	18	28	16
8	19	29	18
9	18	30	16
10	16	31	18
11	16	32	18
12	19	33	18
13	12	34	19
14	17	35	18
15	16	36	19
16	12	37	18
17	10	38	18
18	16	39	18
19	14	40	18
20	16	41	18
21	16	42	19

ตารางที่ ๔ – 4 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสถิติทดสอบที และระดับนัยสำคัญทางสถิติของ การทดสอบเปรียบเทียบเกณฑ์ร้อยละ 75 กับคะแนนสอบระหว่างเรียนของนักเรียน กลุ่มทดลอง

การ ทดสอบ	n	คะแนน เต็ม	Mean	S.D.	% of Mean	t	Sig
หลังเรียน	42	20	16.38	2.70	81.90	3.32*	0.0009

ตารางที่ ๕ – 5 คะแนนทดสอบหลังเรียนนักเรียนกลุ่มควบคุม

คนที่	คะแนน	คนที่	คะแนน
1	17	20	14
2	17	21	17
3	16	22	18
4	18	23	15
5	17	24	17
6	17	25	16
7	16	26	17
8	16	27	14
9	13	28	16
10	16	29	16
11	16	30	17
12	15	31	19
13	16	32	19
14	16	33	16
15	16	34	16
16	16	35	16
17	17	36	17
18	18	37	18
19	17	38	15

คนที่	คะแนน	คนที่	คะแนน
39	18	41	15
40	18	42	16

ตารางที่ ๖ – 6 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสถิติทดสอบที และระดับนัยสำคัญทางสถิติของ การทดสอบเปรียบเทียบเกณฑ์ร้อยละ 75 กับคะแนนสอบหลังเรียนของนักเรียนกลุ่ม ทดลอง

การ ทดสอบ	n	คะแนน เต็ม	Mean	S.D.	% of Mean	t	Sig
หลังเรียน	42	20	16.43	1.27	82.14	7.28*	0.0000

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ภาคผนวก ก

การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
ของนักเรียนกลุ่มควบคุมกับกลุ่มทดลอง

**การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
ของนักเรียนกลุ่มควบคุมกับกลุ่มทดลอง**

ตารางที่ ๑ – 1 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสถิติทดสอบที และระดับนัยสำคัญทางสถิติของคะแนนสอบระหว่างเรียนของนักเรียนกลุ่มควบคุมและ
กลุ่มทดลอง

Group Statistics

group	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
piont sample	42	16.4286	1.27150	.19620
control	39	14.9487	2.18787	.35034

ตารางที่ ๒ - 2 ผลการวิเคราะห์โดยใช้ค่าสถิติ t - test

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					95% Confidence Interval of the Difference	
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
piont									
Equal variances assumed	13.456	.000	3.755	79	.000	1.47985	.39415	.69532	2.26438
Equal variances not assumed			3.685	60.095	.000	1.47985	.40154	.67669	2.28302

ภาคผนวก ฐ

ค่าเฉลี่ยเจตคติของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

โดยใช้ชุดพัฒนาการทดลอง

ค่าเฉลี่ยเจตคติของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดพัฒนาการทดลอง

ตารางที่ ฐ – 1 ค่าเฉลี่ยเจตคติของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดพัฒนาการทดลองรายข้อ

ข้อ ที่	Mean	Std. Error of Mean	Std. Deviation	Variance
1	4.333333	0.073621	0.477119	0.227642
2	4.285714	0.070552	0.45723	0.209059
3	4.333333	0.073621	0.477119	0.227642
4	4.261905	0.083891	0.543679	0.295587
5	4.357143	0.074832	0.484966	0.235192
6	4.309524	0.093258	0.604378	0.365273
7	4.285714	0.091989	0.596155	0.355401
8	4.404762	0.076657	0.496796	0.246806
9	4.47619	0.085119	0.551632	0.304297
10	4.309524	0.086807	0.562577	0.316492
11	4.238095	0.088932	0.576344	0.332172
12	4.238095	0.095238	0.617213	0.380952
13	4.571429	0.077286	0.50087	0.250871
14	4.47619	0.077998	0.505487	0.255517
15	4.119048	0.097604	0.632547	0.400116