บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาพัฒนาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดพัฒนาการทดลอง เรื่องปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เพื่อเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ซึ่งเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาค้นคว้ามีดังนี้

2.1 หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

2.1.1 ความสำคัญ ธรรมชาติ และลักษณะเฉพาะของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

2.1.2 วิสัยทัศน์ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

2.1.3 สาระการเรียนรู้ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

2.1.4 คุณภาพผู้เรียน

2.1.5 อภิธานศัพท์

2.2 วิธีการสอนโดยใช้การทดลอง

2.3 เนื้อหาที่ใช้ในการสอน

2.3.1 จุดประสงค์การเรียนรู้

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

2.4 การจัดกิจกรรมการทดลองแบบดั้งเดิมตามแบบเรียน

2.5 การพัฒนาการทดลอง

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาการทดลอง

2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนารูปแบบการสอน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2.1 หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 กลุ่มสาระการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์

หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 กลุ่มสาระการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์ (กระทรวงศึกษา, 2551) มีสาระสำคัญดังต่อไปนี้

2.1.1 ความสำคัญ ธรรมชาติ และลักษณะเฉพาะกลุ่มของกลุ่มสาระการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์

วิทยาศาสตร์มีบทบาทสำคัญยิ่งในสังคมโลกปัจจุบันและอนาคต เพราะวิทยาศาสตร์เกี่ยวข้องกับทุกคนทั้งในชีวิตประจำวันและการงานอาชีพต่าง ๆ ตลอดจนเทคโนโลยี เครื่องมือเครื่องใช้และผลผลิตต่าง ๆ ที่มนุษย์ได้ใช้เพื่ออำนวยความสะดวกในชีวิตและการทำงานเหล่านี้ล้วนเป็นผลของความรู้วิทยาศาสตร์ผสมผสานกับความคิดสร้างสรรค์และศาสตร์อื่น ๆ วิทยาศาสตร์ช่วยให้มนุษย์ได้พัฒนาวิธีคิด ทั้งความคิดเป็นเหตุเป็นผล คิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์ วิจารณ์ มีทักษะสำคัญในการค้นคว้าหาความรู้มีความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ สามารถตัดสินใจโดยใช้ข้อมูลที่หลากหลายและมีประจักษ์พยานที่ตรวจสอบได้ วิทยาศาสตร์เป็นวัฒนธรรมของโลกสมัยใหม่ซึ่งเป็นสังคมแห่งการเรียนรู้ (Knowledge - based society) ดังนั้นทุกคนจึงจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาให้รู้วิทยาศาสตร์ เพื่อที่จะมีความรู้ความเข้าใจในธรรมชาติและเทคโนโลยีที่มนุษย์สร้างสรรค์ขึ้น สามารถนำความรู้ไปใช้อย่างมีเหตุผล สร้างสรรค์ และมีคุณธรรม

2.1.2 วิสัยทัศน์ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์มุ่งหวังให้ผู้เรียน ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เน้นการเชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ มีทักษะสำคัญในการค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้โดยใช้กระบวนการในการสืบเสาะหาความรู้ และการแก้ปัญหาที่หลากหลาย ให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ทุกขั้นตอน มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติจริงอย่างหลากหลาย เหมาะสมกับระดับชั้น โดยได้กำหนดสาระสำคัญไว้ดังนี้

1. สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิต สิ่งมีชีวิต หน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต โครงสร้างและหน้าที่ของระบบต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต และกระบวนการดำรงชีวิต ความหลากหลายทางชีวภาพ การถ่ายทอดทางพันธุกรรม การทำงานของระบบต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต วิวัฒนาการและความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตและเทคโนโลยีชีวภาพ

2. ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม สิ่งมีชีวิตที่หลากหลายรอบตัว ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อม ความสัมพันธ์ของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในระบบนิเวศ ความสำคัญของทรัพยากรธรรมชาติ การใช้และจัดการทรัพยากรธรรมชาติ ในระดับท้องถิ่น ประเทศ และโลก ปัจจัยที่มีผลต่อการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

3. สารและสมบัติของสาร สมบัติของวัสดุและสารแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค การเปลี่ยนสถานะ การเกิดสารละลายและการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสาร สมการเคมี และการแยกสาร

4. แรงและการเคลื่อนที่ ธรรมชาติของแรงแม่เหล็กไฟฟ้า แรงโน้มถ่วง แรงนิวเคลียร์ การออกแรงกระทำต่อวัตถุ การเคลื่อนที่ของวัตถุ แรงเสียดทาน โมเมนต์การเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน

5. พลังงานกับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนรูปพลังงาน สมบัติและปรากฏการณ์ของแสง เสียงและวงจรไฟฟ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กัมมันตภาพรังสีและปฏิกิริยานิวเคลียร์ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงานการอนุรักษ์พลังงาน ผลของการใช้พลังงานต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม

6. กระบวนการเปลี่ยนแปลงของโลก โครงสร้างและองค์ประกอบของโลก ทรัพยากรทางธรณี สมบัติทางกายภาพของดิน หิน น้ำ อากาศสมบัติของผิวโลก และบรรยากาศ กระบวนการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลก ปรากฏการณ์ทางธรณี ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศ

7. ดาราศาสตร์และอวกาศ วิวัฒนาการของระบบสุริยะ กาแล็กซี เอกภพ ปฏิสัมพันธ์และผลต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก ความสัมพันธ์ของดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ และโลก ความสำคัญของเทคโนโลยีอวกาศ

8. ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา และจิตวิทยาศาสตร์

2.1.3 สาระการเรียนรู้ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

สาระที่ 1 สิ่งมีชีวิตกับกระบวนการดำรงชีวิต

มาตรฐาน ว 1.1 เข้าใจหน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต ความสัมพันธ์ของโครงสร้าง และหน้าที่ของระบบต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตที่ทำงานสัมพันธ์กัน มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในการดำรงชีวิตของตนเองและดูแลสิ่งมีชีวิต

มาตรฐาน ว 1.2 เข้าใจกระบวนการและความสำคัญของการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ความหลากหลายทางชีวภาพ การใช้เทคโนโลยีชีวภาพที่มีผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

สาระที่ 2 ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม

มาตรฐาน ว 2.1 เข้าใจสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่น ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งแวดล้อมกับสิ่งมีชีวิต ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ในระบบนิเวศ มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐาน ว 2.2 เข้าใจความสำคัญของทรัพยากรธรรมชาติ การใช้ทรัพยากรธรรมชาติในระดับท้องถิ่น ประเทศ และโลกนำความรู้ไปใช้ในในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในท้องถิ่นอย่างยั่งยืน

สาระที่ 3 สารและสมบัติของสาร

มาตรฐาน ว 3.1 เข้าใจสมบัติของสาร ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสารกับโครงสร้างและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค มีกระบวนการสืบเสาะ หาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ นำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐาน ว 3.2 เข้าใจหลักการและธรรมชาติของการเปลี่ยนแปลงสถานะของสาร การเกิดสารละลาย การเกิดปฏิกิริยา มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

สาระที่ 4 แรงและการเคลื่อนที่

มาตรฐาน ว 4.1 เข้าใจธรรมชาติของแรงแม่เหล็กไฟฟ้า แรงโน้มถ่วง และแรงนิวเคลียร์ มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์อย่างถูกต้องและมีคุณธรรม

มาตรฐาน ว 4.2 เข้าใจลักษณะการเคลื่อนที่แบบต่างๆ ของวัตถุในธรรมชาติมีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

สาระที่ 5 พลังงาน

มาตรฐาน ว 5.1 เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนรูปพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงาน ผลของการใช้พลังงานต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

สาระที่ 6 กระบวนการเปลี่ยนแปลงของโลก

มาตรฐาน ว 6.1 เข้าใจกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนผิวโลกและภายในโลก ความสัมพันธ์ของกระบวนการต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ภูมิประเทศ และสัณฐานของโลก มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

สาระที่ 7 ดาราศาสตร์และอวกาศ

มาตรฐาน ว 7.1 เข้าใจวิวัฒนาการของระบบสุริยะ กาแล็กซีและเอกภพการปฏิสัมพันธ์ภายในระบบสุริยะและผลต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก มีกระบวนการสืบเสาะ หาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ การสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

มาตรฐาน ว 7.2 เข้าใจความสำคัญของเทคโนโลยีอวกาศที่นำมาใช้ในการสำรวจอวกาศและทรัพยากรธรรมชาติ ด้านการเกษตรและการสื่อสาร มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์อย่างมีคุณธรรมต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม

สาระที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มาตรฐาน ว 8.1 ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา รู้ว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีรูปแบบที่แน่นอน สามารถอธิบายและตรวจสอบได้ ภายใต้ข้อมูลและเครื่องมือที่มีอยู่ในช่วงเวลานั้นๆ เข้าใจว่า วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคม และสิ่งแวดล้อม มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

สาระการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับวิชาเคมีโดยตรง คือ สาระที่ 3 สารและสมบัติของสาร มีตัวชี้วัดชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 – 6 ดังต่อไปนี้

สาระที่ 3 สารและสมบัติของสาร

มาตรฐาน ว 3.1 เข้าใจสมบัติของสาร ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติของสารกับโครงสร้างและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ นำความรู้ไปใช้ประโยชน์

ตารางที่ 2-1 ตัวชี้วัด และสาระการเรียนรู้ในสาระที่ 3 มาตรฐาน ว 3.1 ระดับชั้น ม. 4 – 6

ชั้น	ตัวชี้วัด	สาระการเรียนรู้แกนกลาง
ม.4-ม.6	1. สืบค้นข้อมูลและอธิบายโครงสร้างอะตอม และสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของธาตุ	- นักวิทยาศาสตร์ใช้ข้อมูลจากการศึกษาโครงสร้างอะตอม สร้างแบบจำลองอะตอมแบบต่าง ๆ ที่มีพัฒนาการอย่างต่อเนื่อง อะตอมประกอบด้วยอนุภาค มูลฐานสำคัญ 3 ชนิด คือ โปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน จำนวนโปรตอนในนิวเคลียสเรียกว่า เลขอะตอม ผลรวมของจำนวนโปรตอนกับนิวตรอน เรียกว่า เลขมวล ตัวเลขทั้งสองนี้จะปรากฏอยู่ในสัญลักษณ์นิวเคลียร์ของไอโซโทปของธาตุ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ชั้น	ตัวชี้วัด	สาระการเรียนรู้แกนกลาง
	2. วิเคราะห์และอธิบายการจัดเรียงอิเล็กตรอนในอะตอม ความสัมพันธ์ระหว่างอิเล็กตรอนในระดับพลังงานนอกสุดกับสมบัติของธาตุและการเกิดปฏิกิริยา	- อิเล็กตรอนในอะตอมของธาตุจะจัดเรียงอยู่ในระดับพลังงานต่าง ๆ และในแต่ละระดับพลังงานจะมีจำนวนอิเล็กตรอนเป็นค่าเฉพาะอิเล็กตรอนในระดับพลังงานนอกสุดจะแสดงสมบัติบางประการของธาตุ เช่น ความเป็นโลหะ อโลหะ และเกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาของธาตุนั้น
	3. วิเคราะห์และอธิบายการเกิดพันธะเคมีในโครงผลึกและในโมเลกุลของสาร	- แรงยึดเหนี่ยวระหว่างไอออนหรืออะตอมของธาตุให้อยู่รวมกันเป็นโครงผลึก หรือ โมเลกุล เรียกว่า พันธะเคมี พันธะเคมีแบ่งออกเป็น พันธะไอออนิก พันธะโคเวเลนต์ และพันธะโลหะ
	4. สืบค้นข้อมูลและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างจุดเดือด จุดหลอมเหลว และสถานะของสารกับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของสาร	- จุดเดือด จุดหลอมเหลวและสถานะของสาร มีความเกี่ยวข้องกับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของสารนั้น สารที่อนุภาคยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงยึดเหนี่ยวหรือพันธะเคมีที่แข็งแรง จะมีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง สารในสถานะของแข็งอนุภาคยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงที่แข็งแรงกว่าสารในสถานะของเหลวและแก๊สตามลำดับ

มาตรฐาน ว 3.2 เข้าใจหลักการและธรรมชาติของการเปลี่ยนแปลงสถานะของสาร การเกิดสารละลาย การเกิดปฏิกิริยา มีกระบวนการสืบเสาะ หาความรู้และจิตวิทยาศาสตร์ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 2-2 ตัวชี้วัด และสาระการเรียนรู้ในสาระที่ 3 มาตรฐาน ว 3.2 ระดับชั้น ม. 4 – 6

ชั้น	ตัวชี้วัด	สาระการเรียนรู้แกนกลาง
ม.4-ม.6	1. ทดลอง อธิบายและเขียนสมการของปฏิกิริยาเคมีทั่วไปที่พบในชีวิตประจำวัน รวมทั้งอธิบายผลของสารเคมีที่มีต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม	- ในชีวิตประจำวันจะพบเห็นปฏิกิริยาเคมีจำนวนมาก ทั้งที่เกิดในธรรมชาติและมนุษย์เป็นผู้กระทำ ปฏิกิริยาเคมีเขียนแทนได้ด้วยสมการเคมี มนุษย์นำสารเคมีมาใช้ประโยชน์ทั้งในบ้าน ในทางการเกษตรและอุตสาหกรรม แต่สารเคมีบางชนิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม
	2. ทดลองและอธิบายอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์	- ปริมาณของสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงไปต่อหน่วยเวลาเรียกว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และปริมาณของสารที่เปลี่ยนแปลงไปนั้น อาจวัดจากค่าความเข้มข้น ปริมาตร หรือมวลของสาร ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของสาร ความเข้มข้น พื้นที่ผิว อุณหภูมิ ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี การควบคุมปัจจัยเหล่านี้เพื่อทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นในอัตราที่เหมาะสม สามารถนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้
	3. สืบค้นข้อมูลและอธิบายการเกิดปิโตรเลียม กระบวนการแยกแก๊สธรรมชาติ และการกลั่นลำดับส่วนน้ำมันดิบ	- การสลายตัวของซากพืชและซากสัตว์ที่ทับถมอยู่ใต้ทะเลอย่างต่อเนื่องภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงนานนับล้านปี จะเกิดเป็นปิโตรเลียม โดยมีได้ทั้งสถานะของแข็ง ของเหลวหรือแก๊ส ซึ่งมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหลายชนิดรวมกัน และอาจมีสารประกอบอื่น ๆ ปะปนอยู่ด้วยการนำแก๊สธรรมชาติมาใช้ประโยชน์จะต้องผ่านกระบวนการแยกแก๊ส ส่วนของเหลวหรือน้ำมันดิบจะแยกโดยการกลั่นลำดับส่วน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ชั้น	ตัวชี้วัด	สาระการเรียนรู้แกนกลาง
	4. สืบค้นข้อมูลและอภิปรายการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแยกแก๊สธรรมชาติและการกลั่นลำดับส่วนน้ำมันดิบไปใช้ประโยชน์ รวมทั้งผลของผลิตภัณฑ์ต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม	- มีเทน อีเทน โพรเพนและบิวเทน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแยกแก๊สธรรมชาติและกลั่นลำดับส่วนน้ำมันดิบ นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงและสารตั้งต้น ส่วนผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ซึ่งมีจำนวนอะตอมคาร์บอนเพิ่มขึ้น นำไปใช้ประโยชน์แตกต่างกัน การสัมผัสตัวทำละลายและไฮโดรคาร์บอนบางชนิดในรูปของไอและของที่ใช้แล้วอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ รวมถึงการกำจัดอย่างไม่ถูกวิธีก็จะมีผลต่อสิ่งแวดล้อมด้วย
	5 ทดลองและอธิบายการเกิดพอลิเมอร์ สมบัติของพอลิเมอร์	- พอลิเมอร์เป็นสารประกอบที่โมเลกุลมีขนาดใหญ่ เกิดจากมอนอเมอร์จำนวนมากเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ มีทั้งที่เกิดในธรรมชาติและสังเคราะห์ขึ้นปฏิกิริยาที่มอนอเมอร์รวมกันเป็นพอลิเมอร์ เรียกว่า ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งอาจเป็นแบบควบแน่น หรือแบบต่อเติม พอลิเมอร์มีหลายชนิด แต่ละชนิดอาจมีสมบัติบางประการเหมือนกันและบางประการแตกต่างกัน
	6. อภิปรายการนำพอลิเมอร์ไปใช้ประโยชน์ รวมทั้งผลที่เกิดจากการผลิตและใช้พอลิเมอร์ต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม	- พอลิเมอร์นำไปใช้ประโยชน์ได้แตกต่างกันตามสมบัติของพอลิเมอร์ชนิดนั้น ๆ เช่น ใช้พลาสติกทำภาชนะใช้เส้นใยสังเคราะห์ทำเครื่องนุ่งห่ม พอลิเมอร์สังเคราะห์ที่นำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน บางชนิดสลายตัวยาก การใช้อย่างฟุ่มเฟือยและไม่ระมัดระวังอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมได้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ชั้น	ตัวชี้วัด	สาระการเรียนรู้แกนกลาง
	7. ทดลองและอธิบายองค์ประกอบ ประโยชน์ และปฏิกิริยา บางชนิดของคาร์โบไฮเดรต	- คาร์โบไฮเดรตจัดเป็นแหล่งพลังงานของสิ่งมีชีวิต พบได้ทั่วไป เช่น น้ำตาล แป้ง เซลลูโลสและไกลโคเจน โดยมีน้ำตาลเป็นหน่วยย่อยสำคัญ ซึ่งประกอบด้วยธาตุ C H และ O การตรวจสอบชนิดของน้ำตาลทำได้โดยใช้สารละลายเบเนดิกต์
	8. ทดลองและอธิบายองค์ประกอบ ประโยชน์ และปฏิกิริยาบางชนิดของไขมันและน้ำมัน	- ไขมันและน้ำมัน เป็นสารประกอบไตร - กลีเซอไรด์ เกิดจากการรวมตัวของกรดไขมันกับกลีเซอรอล กรดไขมันมีทั้งชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยใช้สารละลายไอโอดีน - ไขมันและน้ำมันนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งการบริโภคและใช้ใน อุตสาหกรรม การบริโภคไขมันที่ขาดความระมัดระวังจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้
	9. ทดลองและอธิบายองค์ประกอบ ประโยชน์ และปฏิกิริยาบางชนิดของโปรตีนและกรดนิวคลีอิก	- โปรตีนเป็นสารที่ช่วยในการเจริญเติบโต เสริมสร้างและซ่อมแซมเนื้อเยื่อ หน่วยย่อยของโปรตีนคือกรดอะมิโนซึ่งมีทั้งกรดอะมิโนจำเป็นและไม่จำเป็น มีธาตุองค์ประกอบสำคัญคือ C H O N การทดสอบโปรตีนในอาหารใช้สารละลาย $CuSO_4$ กับ NaOH - กรดนิวคลีอิกเป็นสารโมเลกุลใหญ่คล้ายโปรตีน ประกอบด้วย ธาตุ C H O N ที่พบในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต มี 2 ชนิด คือ DNA และ RNA ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2.1.4 คุณภาพผู้เรียน

<u>จบชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6</u>

1. เข้าใจการรักษาดุลยภาพของเซลล์และกลไกการรักษาดุลยภาพของสิ่งมีชีวิต

2. เข้าใจกระบวนการถ่ายทอดสารพันธุกรรม การแปรผัน มิวเทชัน วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตและปัจจัยที่มีผลต่อการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ

3. เข้าใจกระบวนการ ความสำคัญและผลของเทคโนโลยีชีวภาพต่อมนุษย์ สิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

4. เข้าใจชนิดของอนุภาคสำคัญที่เป็นส่วนประกอบในโครงสร้างอะตอม การจัดเรียงธาตุในตารางธาตุ การเกิดปฏิกิริยาเคมีและเขียนสมการเคมี ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

5. เข้าใจชนิดของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคและสมบัติต่าง ๆ ของสารที่มีความสัมพันธ์กับแรงยึดเหนี่ยว

6. เข้าใจการเกิดปิโตรเลียม การแยกแก๊สธรรมชาติและการกลั่นลำดับส่วนน้ำมันดิบ การนำผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมไปใช้ประโยชน์และผลต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

7. เข้าใจชนิด สมบัติ ปฏิกิริยาที่สำคัญของพอลิเมอร์และสารชีวโมเลกุล

8. เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ สมบัติของคลื่นกล คุณภาพของเสียงและการได้ยิน สมบัติ ประโยชน์และโทษของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กัมมันตภาพรังสีและพลังงานนิวเคลียร์

9. เข้าใจกระบวนการเปลี่ยนแปลงของโลกและปรากฏการณ์ทางธรณีที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

10. เข้าใจการเกิดและวิวัฒนาการของระบบสุริยะ กาแล็กซี เอกภพและความสำคัญของเทคโนโลยีอวกาศ

11. เข้าใจความสัมพันธ์ของความรู้วิทยาศาสตร์ที่มีผลต่อการพัฒนาเทคโนโลยีประเภทต่าง ๆ และการพัฒนาเทคโนโลยีที่ส่งผลให้มีการคิดค้นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่ก้าวหน้า ผลของเทคโนโลยีต่อชีวิต สังคม และสิ่งแวดล้อม

12. ระบุปัญหา ตั้งคำถามที่จะสำรวจตรวจสอบ โดยมีการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ สืบค้นข้อมูลจากหลายแหล่ง ตั้งสมมติฐานที่เป็นไปได้หลายแนวทาง ตัดสินใจเลือกตรวจสอบสมมติฐานที่เป็นไปได้

13. วางแผนการสำรวจตรวจสอบเพื่อแก้ปัญหาหรือตอบคำถาม วิเคราะห์ เชื่อมโยงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์หรือสร้างแบบจำลองจากผลหรือความรู้ที่ได้รับจากการสำรวจตรวจสอบ

14. สื่อสารความคิด ความรู้จากผลการสำรวจตรวจสอบโดยการ พูด เขียน จัดแสดง หรือใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ

15. ใช้ความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการดำรงชีวิต การศึกษาหาความรู้เพิ่มเติม ทำโครงงานหรือสร้างชิ้นงานตามความสนใจ

16. แสดงถึงความสนใจ มุ่งมั่น รับผิดชอบ รอบคอบ และซื่อสัตย์ในการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้เครื่องมือและวิธีการที่ให้ได้ผลถูกต้องเชื่อถือได้

17. ตระหนักในคุณค่าของความรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ใช้ในชีวิตประจำวัน การประกอบอาชีพ แสดงถึงความชื่นชม ภูมิใจ ยกย่อง อ้างอิงผลงาน ชิ้นงานที่เป็นผลจากภูมิปัญญาท้องถิ่น และการพัฒนาเทคโนโลยีที่ทันสมัย

18. แสดงความซาบซึ้ง ห่วงใย มีพฤติกรรมเกี่ยวกับการใช้และรักษาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างรู้คุณค่า เสนอตัวเองร่วมมือปฏิบัติกับชุมชนในการป้องกัน ดูแลทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของท้องถิ่น

19. แสดงถึงความพอใจ และเห็นคุณค่าในการค้นพบความรู้ พบคำตอบหรือแก้ปัญหาได้

20. ทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ แสดงความคิดเห็นโดยมีข้อมูลอ้างอิงและเหตุผลประกอบเกี่ยวกับผลของการพัฒนาและการใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างมีคุณธรรมต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม และยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น

2.1.5 อภิธานศัพท์

กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Scientific process) เป็นกระบวนการในการศึกษาหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก คือการตั้งคำถามหรือกำหนดปัญหาการสร้างสมมติฐานหรือการคาดการณ์คำตอบ การออกแบบวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลการวิเคราะห์และแปลความหมายข้อมูล การลงข้อสรุปและการสื่อสาร

การแก้ปัญหา (Problem solving) เป็นการหาคำตอบของปัญหาที่ยังไม่รู้วิธีการมาก่อนทั้งปัญหาที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในวิทยาศาสตร์โดยตรงและปัญหาในชีวิตประจำวันโดยใช้เทคนิควิธีการหรือกลยุทธ์ต่าง ๆ

การวิเคราะห์ (Analyzing) เป็นระดับของผลการเรียนรู้ที่ผู้เรียนสามารถแยกแยะข้อมูลหรือข้อสนเทศเพื่อเชื่อมโยงความสัมพันธ์

การสังเกต (Observation) เป็นวิธีการหาข้อมูลโดยตรงโดยใช้ประสาทสัมผัสทั้งห้า ได้แก่ การดู การดม การฟัง การชิม และการสัมผัส

การสืบค้นข้อมูล (Search) เป็นการหาข้อมูลหรือข้อสนเทศที่มีผู้รวบรวมไว้แล้วจากแหล่งต่าง ๆ เช่น ห้องสมุด เครือข่าย อินเทอร์เน็ต ภูมิปัญญาท้องถิ่น เป็นต้น

การสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Scientific inquiry) เป็นการหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์หรือวิธีการอื่น ๆ เช่น การสำรวจ การสังเกต การวัด การจำแนกประเภท การทดลอง การสร้างแบบจำลอง การสืบค้นข้อมูล เป็นต้น

การสำรวจ (Exploration) เป็นการหาข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งต่าง ๆ โดยใช้วิธีการและเทคนิคต่าง ๆ เช่น การสังเกต การสัมภาษณ์ การเก็บตัวอย่าง เพื่อนำมาวิเคราะห์ จำแนกหรือหาความสัมพันธ์

การสำรวจตรวจสอบ (Scientific investigation) เป็นวิธีการหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์โดยผ่านการรวบรวมข้อมูล ใช้ความคิดที่มีเหตุผลในการตั้งสมมติฐาน อธิบายและแปลความหมายข้อมูล การสำรวจตรวจสอบทำได้หลายวิธี เช่น การสังเกต การสำรวจ การทดลอง เป็นต้น

ความเข้าใจ (Understanding) เป็นระดับของผลการเรียนรู้ที่ผู้เรียนสามารถอธิบาย เปรียบเทียบ แยกประเภท ยกตัวอย่าง เขียนแผนภาพ เลือก ระบุ เลือกใช้เกี่ยวกับเรื่องต่าง ๆ

เจตคติต่อวิทยาศาสตร์ (Attitudes toward sciences) เป็นความรู้สึกของบุคคลต่อวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นผลจากการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยผ่านกิจกรรมที่หลากหลาย ความรู้สึกดังกล่าว เช่น ความสนใจ ความชอบ การเห็นความสำคัญและคุณค่า

จิตวิทยาศาสตร์ (Scientific mind/ Scientific attitudes) เป็นคุณลักษณะหรือลักษณะนิสัยของบุคคลที่เกิดขึ้นจากการศึกษาหาความรู้โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จิตวิทยาศาสตร์ประกอบด้วยคุณลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ ความสนใจใฝ่รู้ ความมุ่งมั่น อดทน รอบคอบ ความรับผิดชอบ ความซื่อสัตย์ ประหยัด การร่วมแสดงความคิดเห็นและยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น ความมีเหตุผล การทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างสร้างสรรค์

2.2 การสอนโดยใช้การทดลอง

ทิศนา แขมมณี (2553, หน้า 333 – 336) ได้กล่าวถึงความหมาย วัตถุประสงค์ และองค์ประกอบต่าง ๆ ขั้นตอนสำคัญ เทคนิคในการใช้วิธีการสอนโดยใช้การทดลองให้มีประสิทธิภาพ ข้อดีและข้อจำกัดของวิธีสอนโดยใช้การทดลอง ดังต่อไปนี้

2.2.1 ความหมาย

วิธีการสอนโดยใช้การทดลอง คือ กระบวนการที่ผู้สอนใช้ในการช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด โดยผู้เรียนกำหนดปัญหาและสมมติฐานในการทดลอง ผู้สอนให้คำแนะนำแก่ผู้เรียนและให้ผู้เรียนลงมือทดลองปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนดโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็น เก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล สรุปอภิปรายผลการทดลองและสรุปการเรียนรู้ที่ได้จากการทดลอง

2.2.2 วัตถุประสงค์

วิธีสอนโดยใช้การทดลอง เป็นวิธีการที่มุ่งให้ผู้เรียนรายบุคคลหรือรายกลุ่มเกิดการเรียนรู้โดยการเห็นผลประจักษ์ชัดจากการคิดและการกระทำของตนเอง ทำให้การเรียนรู้นั้นตรงกับความจริง มีความหมายสำหรับผู้เรียนและจำได้นาน

2.2.3 องค์ประกอบของวิธีสอน

1. มีผู้สอนและผู้เรียน
2. มีปัญหาและสมมติฐานของการทดลอง
3. มีวัสดุอุปกรณ์สำหรับการทดลอง
4. มีการทดลอง
5. มีผลการเรียนรู้ของผู้เรียนที่เกิดจากการทดลอง

2.2.4 ขั้นตอนสำคัญของการสอน

1. ผู้สอน/ ผู้เรียนกำหนดปัญหาและสมมติฐานในการทดลอง
2. ผู้สอนให้ความรู้ที่จำเป็นต่อการทดลอง ให้ขั้นตอนและรายละเอียดในการทดลองแก่ผู้เรียน โดยใช้วิธีการต่าง ๆ ตามความเหมาะสม
3. ผู้เรียนลงมือทดลองโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นตามขั้นตอนที่กำหนดและบันทึกข้อมูลการทดลอง
4. ผู้เรียนวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
5. ผู้สอนและผู้เรียนอภิปรายผลการทดลอง และสรุปการเรียนรู้
6. ผู้สอนประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2.2.5 เทคนิคในการใช้วิธีการสอนโดยใช้การทดลองให้มีประสิทธิภาพ

1. การเตรียมการ ผู้สอนจะต้องกำหนดจุดมุ่งหมาย กำหนดตัวปัญหาที่จะใช้ในการทดลอง และกระบวนการหรือขั้นตอนในการดำเนินการทดลองให้ชัดเจน รวมทั้งจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ในการทดลองให้พร้อม และลองซ้อมทำการทดลองด้วยตนเอง เพื่อจะได้เรียนรู้ประเด็นปัญหาข้อขัดข้องหรืออุปสรรคต่าง ๆ ซึ่งอาจนำมาใช้ในการปรับขั้นตอนการดำเนินการและรายละเอียดต่าง ๆ ให้รัดกุมขึ้น ผู้สอนอาจจำเป็นต้องทำเอกสารคู่มือการทดลองให้ผู้เรียนสังเกตผลการทดลอง นอกจากนั้นในบางกรณีที่การทดลองต้องอาศัยพื้นฐานความรู้ที่จำเป็น ซึ่งหากผู้เรียนขาดความรู้ดังกล่าวจะไม่สามารถทำการทดลองได้ จึงควรมีการตรวจสอบความรู้ผู้เรียนก่อนให้ทำการทดลอง โดยผู้สอนจะต้องจัดเตรียมแบบทดสอบไว้ด้วย สำหรับการทดลองที่มีอันตราย เช่น การทดลองทางเคมี ผู้สอนจะต้องตรวจสอบความปลอดภัยรวมทั้งเตรียมทั้งทางด้านป้องกันและแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นด้วย

2. การนำเสนอเรื่อง/ ตัวปัญหาที่จะใช้ในการทดลอง ผู้สอนอาจเป็นผู้นำเสนอปัญหาที่จะใช้ในการทดลอง แต่ถ้าทำให้ผู้เรียนมีความรู้สึกว่าปัญหามาจากตัวผู้เรียนเองได้จะทำการเรียนรู้หรือการทดลองนั้นมีความหมายสำหรับผู้เรียนมากขึ้น

3. การให้ความรู้/ ขั้นตอน/ รายละเอียดในการทดลอง ผู้สอนอาจเป็นผู้กำหนดขั้นตอนและรายละเอียดของการทดลองเอง หรืออาจให้ผู้เรียนร่วมกันวางแผนและกำหนดขั้นตอนในการดำเนินการทดลองก็ได้แล้วแต่ความเหมาะสมกับสาระ แต่การให้ผู้เรียนร่วมกันดำเนินการนั้นจะช่วยให้ผู้เรียนพัฒนาทักษะต่าง ๆ ได้เพิ่มขึ้นอีก และผู้เรียนจะกระตือรือร้นมากขึ้นเพราะเป็นผู้คิดเอง อย่างไรก็ตามผู้สอนจำเป็นต้องคอยดูแลและให้คำปรึกษาและความช่วยเหลืออย่างใกล้ชิด

4. การทดลองทำได้หลายแบบ ผู้สอนอาจให้ผู้เรียนลงมือทดลองตามขั้นตอนที่ได้กำหนดไว้ทั้งหมด โดยครูทำหน้าที่สังเกตและให้คำแนะนำหรือให้ข้อมูลป้อนกลับแก่ผู้เรียน หรือผู้สอนอาจลงมือทำการทดลองให้ผู้เรียนสังเกตแล้วทำการทดลองตามไปทีละขั้น หรือผู้สอนอาจลงมือทำการทดลองให้ผู้เรียนดูจนจบกระบวนการแล้วให้ผู้เรียนไปทำการทดลองด้วยตนเอง ผู้สอนจะใช้เทคนิคใดนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับลักษณะของการทดลองครั้งนั้น ผู้เรียนจะเรียนด้วยวิธีนี้ได้ดีหากมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่จำเป็น ผู้สอนจึงควรฝึกฝนให้ผู้เรียนก่อนให้ผู้เรียนทำการทดลอง หรือไม่ก็ต้องฝึกไปพร้อม ๆ กัน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ดังกล่าวมี 13 ทักษะดังนี้

1) ทักษะการสังเกต
2) ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล
3) ทักษะการจำแนกประเภท

4) ทักษะการวัด

5) ทักษะการใช้ตัวเลข

6) ทักษะการสื่อความหมาย

7) ทักษะการคาดคะเนหรือพยากรณ์

8) ทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปสกับสเปสและสเปสกับเวลา

9) ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร

10) ทักษะการตั้งสมมติฐาน

11) ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ

12) ทักษะการทดลอง

13) ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป

ผู้สอนจะสอนด้วยวิธีนี้ให้ได้ผลดี จำเป็นต้องมีความรู้ ความเข้าใจ และมีทักษะ 13 ประการดังกล่าว จึงจะสามารถช่วยฝึกฝนผู้เรียนตามปัญหาและความต้องการของผู้เรียนได้

5. การรวบรวมข้อมูล ผู้สอนควรให้คำแนะนำแก่ผู้เรียนในการสังเกตการณ์ทดลอง บันทึกข้อมูลการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างเป็นระบบ รวมทั้งให้ความเอาใจใส่ในกระบวนการทดลอง และกระบวนการทำงานของผู้เรียนด้วย

6. การวิเคราะห์สรุปผลการทดลองและสรุปการเรียนรู้ ผู้สอนควรให้คำแนะนำแก่ผู้เรียนเกี่ยวกับวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลและการสรุปผล ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนได้พัฒนาทักษะกระบวนการคิดและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเรื่องอื่น ๆ ได้

2.2.6 ข้อดีและข้อจำกัดของวิธีสอนโดยใช้การทดลอง

ข้อดี

1. ประสบการณ์เป็นวิธีสอนที่ผู้เรียนได้รับตรง ได้ผ่านกระบวนการต่าง ๆ ได้พิสูจน์ทดสอบ และเห็นผลประจักษ์ด้วยตนเอง จึงเกิดการเรียนรู้ได้ดี มีความเข้าใจ และจดจำการเรียนรู้นั้นได้นาน

2. เป็นวิธีสอนที่ผู้เรียนมีโอกาสได้เรียนรู้และพัฒนาทักษะกระบวนการต่าง ๆ จำนวนมาก เช่น ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการแสวงหาความรู้ ทักษะกระบวนการคิด และทักษะกระบวนการกลุ่ม รวมทั้งได้พัฒนาลักษณะนิสัยใฝ่รู้

3. เป็นวิธีสอนที่ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมมาก จะทำให้เกิดความกระตือรือร้นในการเรียนรู้

ข้อจำกัด

1. เป็นวิธีสอนที่มีค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ เครื่องมือวัสดุสำหรับผู้เรียนจำนวนมาก หรือในกรณีที่ต้องออกไปเก็บข้อมูลนอกสถานที่ ก็ต้องมีค่าใช้จ่ายค่าพาหนะที่พักและวัสดุต่าง ๆ ด้วย

2. เป็นวิธีสอนที่ใช้เวลามาก เนื่องจากการดำเนินการแต่ละขั้นตอนต้องใช้เวลา

3 เป็นวิธีสอนที่ผู้สอนต้องมีความรู้ความเข้าใจและมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จึงจะสามารถสอนและฝึกฝนให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดี

2.3 เนื้อหาที่ใช้ในการสอน

รายวิชาเคมีเพิ่มเติม เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ตามหลักสูตรสถานศึกษา พ.ศ. 2551 โรงเรียนหนองหญ้าไซวิทยา จังหวัดสุพรรณบุรี ตามแนวทางของหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (กระทรวงศึกษา, 2551) มีจุดประสงค์การเรียนรู้ดังต่อไปนี้

2.3.1 จุดประสงค์การเรียนรู้

1. บอกความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและคำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ (ว 3.2 ม.4-6/1)

2. เขียนและแปลความหมายกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารกับเวลา รวมทั้งสามารถหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจากกราฟได้ (ว 3.2 ม.4-6/ 2)

3. อธิบายแนวคิดเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมีโดยใช้ทฤษฎีจลน์และการชนกันของอนุภาค และการเกิดสารเชิงซ้อนกัมมันต์ (ว 3.2 ม.4-6/3)

4. แปลความหมายกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงพลังงานกับการดำเนินของปฏิกิริยาเคมีและสามารถระบุได้ว่าเป็นปฏิกิริยาดูดหรือคายพลังงานได้ (ว 3.2 ม.4-6/4)

5. ระบุปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและอธิบายผลของความเข้มข้น พื้นที่ผิวของสาร อุณหภูมิ ตัวเร่งและตัวยับยั้งปฏิกิริยาที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (ว 3.2 ม.4-6/5)

6. ทำการทดลอง รวบรวมข้อมูล แปลความหมายข้อมูล และสรุปผลการทดลองในเรื่อง ความเข้มข้นของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี พื้นที่ผิวของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี อุณหภูมิของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ผลของสารบางชนิดต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา (ว 3.2 ม.4-6/6)

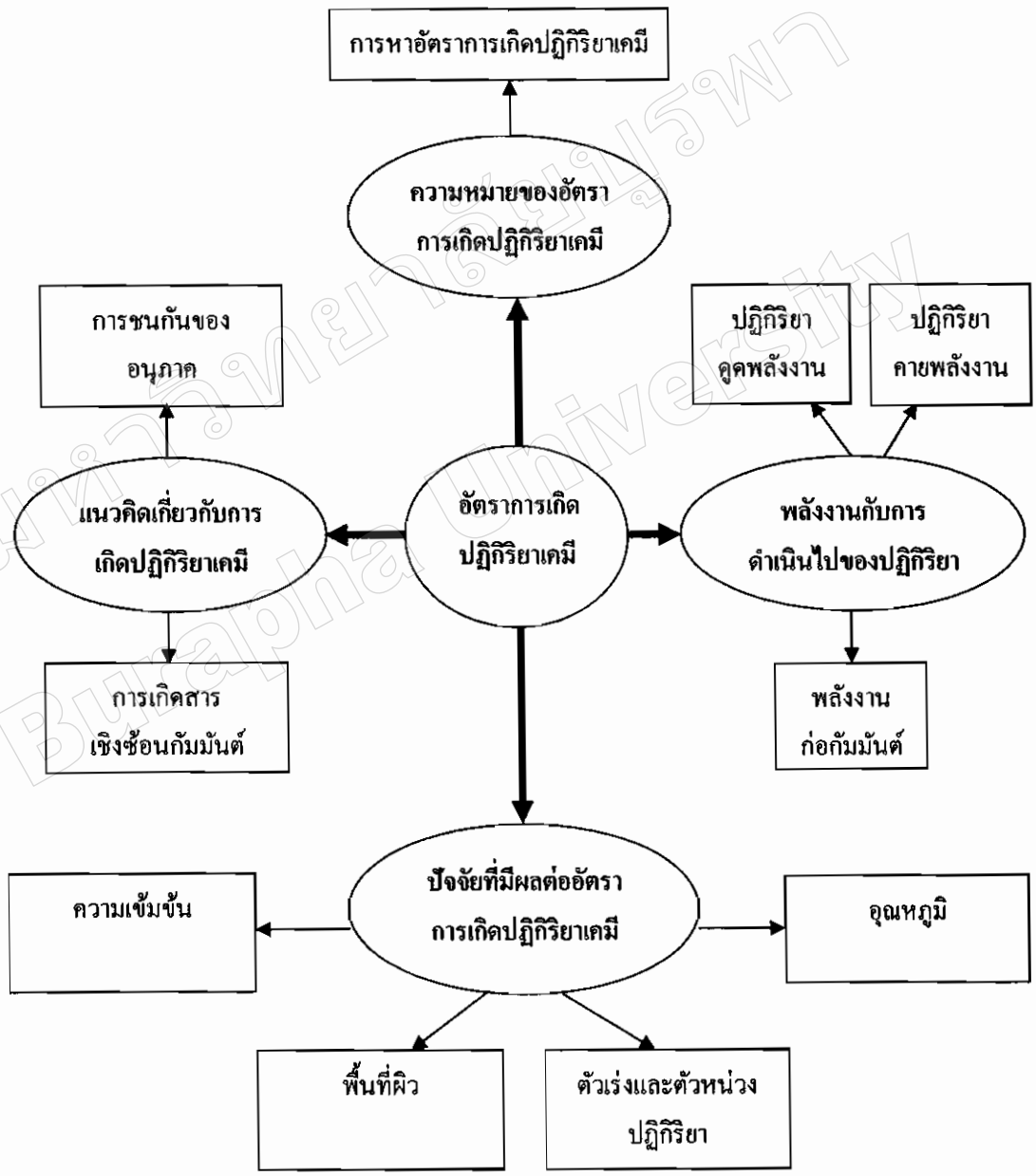
จุดประสงค์การเรียนรู้เพิ่มเติม ได้แก่

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา

1. คำนวณหาอันดับปฏิกิริยาเทียบกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นแต่ละชนิด และ ค่าคงที่อัตรา นำไปสู่การสร้างกฎอัตรา ปฏิกิริยาจากการทดลอง

2. คำนวณค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง log (ค่าคงที่อัตรา) กับส่วนกลับของอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน

สำหรับผังมโนทัศน์สาระการเรียนรู้ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี แสดงดังภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 ผังมโนทัศน์สาระการเรียนรู้ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554)

333187

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเกิดปฏิกิริยาเคมี

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีซึ่งระบุอยู่ในจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 5 และ 6 ในหัวข้อ 2.3.1 ดังกล่าวข้างต้น ซึ่งเป็นหัวข้อที่มีความสำคัญเนื่องจากสามารถนำความรู้เกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไปประยุกต์ใช้ควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาในชีวิตประจำวันและในธรรมชาติ ปกติในชีวิตประจำวันพบเห็นการเปลี่ยนแปลงจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาเคมีและเกิดขึ้นโดยใช้เวลาแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาเคมีหลายปฏิกิริยาเกิดขึ้นในเวลารวดเร็ว เช่น การเผาไหม้ของแก๊สหุงต้มหรือน้ำมันเบนซิน การระเบิดของดินปืน แต่บางปฏิกิริยาเกิดขึ้นช้ามาก เช่น การเกิดสนิมเหล็ก การเน่าเปื่อยของซากพืชซากสัตว์ ดังนั้นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงมีความสำคัญ เพราะความรู้ที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมปฏิกิริยาเคมีให้เกิดเร็วขึ้นหรือช้าลง และเป็นหัวข้อย่อยของจลนศาสตร์เคมี (Chemical kinetics) ซึ่งเป็นการศึกษาในเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และกลไกของปฏิกิริยาเคมี (Mechanism)

โดยทั่วไปปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ได้แก่ ความเข้มข้นของสารตั้งต้น (Concentration of reactants) อุณหภูมิ (Temperature) ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) พื้นที่ผิวของสารตั้งต้น (Surface) และธรรมชาติของสารตั้งต้น (Nature of reactants) ซึ่งแสดงรายละเอียดดังนี้

1. ความเข้มข้นของสารตั้งต้น (Concentration of reactants)

เป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่ออัตราของปฏิกิริยา โดยอาศัยกรอบแนวความคิดเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมีในเรื่องทฤษฎีการชน ซึ่งกล่าวว่า โมเลกุลของสารต้องชนกัน และการชนต้องจัดตัวในทิศทางที่เหมาะสมโดยมีพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยานั้นจึงจะเกิดปฏิกิริยากันได้ ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับโมเลกุลแก๊สสารตั้งต้นสองชนิดซึ่งถูกกักขังอยู่ภายในภาชนะ ปกติโมเลกุลของแก๊สแต่ละชนิดเคลื่อนที่ไปในทุกทิศทาง โดยอาจชนกับโมเลกุลอื่นของแก๊สชนิดเดียวกัน หรือชนกับโมเลกุลของแก๊สอีกชนิดหนึ่ง หรือชนกับผนังภาชนะ แต่อย่างไรก็ตาม ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นเฉพาะเมื่อโมเลกุลแก๊สของสารตั้งต้นทั้งสองชนิดชนกัน ดังนั้นยิ่งมีจำนวนโมเลกุลของแก๊สมากอยู่ในภาชนะ ก็จะยิ่งชนกันได้บ่อยมากขึ้น จึงมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาได้บ่อยครั้งขึ้น ดังนั้นอัตราของปฏิกิริยาจึงเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น (Silberberg, 2554)

อัตรา α ความถี่ของการชน α ความเข้มข้นของสารตั้งต้น

โดยปกติ การวัดอัตราของปฏิกิริยาทำได้โดยวัดปริมาณของสารตั้งต้นที่ถูกใช้ไป หรือวัดปริมาณของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาเมื่อเวลาผ่านไป เช่น

ปฏิกิริยา $aA + bB \rightarrow cC + dD$

$$\text{Rate} = -\frac{1}{a}\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{1}{b}\frac{\Delta[B]}{\Delta t} = \frac{1}{c}\frac{\Delta[C]}{\Delta t} = \frac{1}{d}\frac{\Delta[D]}{\Delta t} \qquad (2\text{-}1)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราปฏิกิริยากับความเข้มข้นของสารตั้งต้นสามารถเขียนในรูปกฎอัตราได้ดังนี้ คือ

$$\text{Rate} = k[A]^x[B]^y \qquad (2\text{-}2)$$

จากสมการ (2-1) และ (2-2)

$$\text{Rate} = -\frac{1}{a}\frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{1}{b}\frac{\Delta[B]}{\Delta t} = \frac{1}{c}\frac{\Delta[C]}{\Delta t} = \frac{1}{d}\frac{\Delta[D]}{\Delta t} = k[A]^x[B]^y \qquad (2\text{-}3)$$

ซึ่ง k คือ ค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยา (Rate Constant)

[ ] คือ ความเข้มข้น หน่วยเป็น M (mol L^{-1})

Δ คือ ผลต่างของความเข้มข้น

x และ y คือ อันดับของปฏิกิริยาเทียบกับ A และ B ตามลำดับ

โดยทั่วไป x และ y จะมีค่าเป็น 0, 1, 2 และมีการเรียกชื่อตามอันดับของปฏิกิริยาดังนี้ คือ ถ้า $x = 1$ กล่าวว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (First order) เทียบกับ A และถ้า $y = 2$ เป็นปฏิกิริยาอันดับสอง (Second order) เทียบกับ B เป็นต้น

อันดับรวม (p) ของปฏิกิริยา = $x + y$

โดยค่าคงที่อัตรา (k) ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของสารตั้งต้น แต่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และหน่วยของค่าคงที่อัตราถูกกำหนดด้วยอันดับรวมของแต่ละปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้อง สำหรับกฎอัตราในสมการ (2-3) อาจเขียนอยู่ในรูปค่าอนุพันธ์ของสารเทียบกับเวลา ดังแสดงในสมการ (2-4) เรียกว่า กฎอัตราเชิงดิฟเฟอเรนเชียล (Differential rate law)

$$\text{Rate} = -\frac{1}{a}\frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{b}\frac{d[B]}{dt} = \frac{1}{c}\frac{d[C]}{dt} = \frac{1}{d}\frac{d[D]}{dt} = k[A]^x[B]^y \qquad (2\text{-}4)$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

<u>การหากฎอัตราโดยการทดลอง</u> (Chang, 2545)

การหากฎอัตราโดยการทดลอง สำหรับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสารละลาย นิยมติดตามการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารได้ด้วยวิธีสเปกโทรสโคปี ถ้าปฏิกิริยามีไอออนเกี่ยวข้องด้วยก็อาจตรวจสอบความเข้มข้นด้วยการวัดความนำไฟฟ้า และสำหรับปฏิกิริยาของแก๊ส การวัดความดันเป็นวิธีที่สะดวกที่สุด

ถ้าปฏิกิริยามีสารตั้งต้นเพียงชนิดเดียว ก็หากฎอัตราได้ง่าย ๆ โดยวัดอัตราเริ่มต้นของปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้นหลาย ๆ ค่า ตัวอย่างเช่น ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้นเป็นสองเท่าแล้วพบว่าอัตราเพิ่มเป็นสองเท่า ก็แสดงว่าปฏิกิริยานั้นเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง แต่หากอัตราเพิ่มเป็นสี่เท่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็นสองเท่า ก็แสดงว่าเป็นปฏิกิริยาอันดับสอง เป็นต้น

สำหรับการหากฎอัตราของปฏิกิริยาที่มีสารตั้งต้นตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป การหากฎอัตราทำได้โดยแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของสารตั้งต้นทีละชนิด โดยให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นชนิดอื่น ๆ คงที่ แล้วหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาสำหรับความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่สนใจซึ่งแปรเปลี่ยนไปแต่ละค่า ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เปลี่ยนแปลงไปก็เป็นผลอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารตั้งต้นเพียงชนิดเดียว จึงหาอันดับของปฏิกิริยาเมื่อคิดสารตั้งต้นชนิดนั้นเป็นหลักได้ เมื่อได้ผลก็แปรเปลี่ยนความเข้มข้นของสารตั้งต้นชนิดที่สองและชนิดอื่นต่อไปในทำนองเดียวกันจนครบทุกสาร วิธนี้เรียกว่า วิธีการแยกตัวแปร (Isolation method) ในทางปฏิบัติอาจทำได้อีกวิธีโดยให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นชนิดอื่น ๆ ทุกชนิด มีปริมาณมากเกินพอ(Excess) (ประมาณอย่างน้อย 20 เท่า) เทียบกับสารตั้งต้นเพียงชนิดเดียวที่หาอันดับ โดยสารตั้งต้นชนิดอื่น ๆ ที่มีปริมาณมากเกินพอเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก ๆ ดังนั้นอาจถือได้ว่าความเข้มข้นของสารชนิดอื่น ๆ คงที่ เช่น

$$r = k[A]^m[B]^n[C]^r \ldots[L]^y \qquad (2\text{-}5)$$

เมื่อต้องการหาค่า m ทำได้โดยให้ความเข้มข้นของ [B], [C], …, [L] มีค่ามากเกินพอเมื่อเปรียบเทียบกับ [A] ซึ่งเสมือนว่าในระหว่างการเกิดปฏิกิริยา [B], [C], …, [L] เกือบมีค่าคงที่ตลอดปฏิกิริยา สำหรับการหา n, r, …, y ก็ทำในลักษณะเดียวกัน

ตัวอย่างต่อไปนี้ แสดงการหากฎอัตราของปฏิกิริยาจากการทดลอง

ข้อมูลต่อไปนี้ได้จากการศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยา $A + 2B \rightarrow C$ ที่ 25 °C

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การทดลองที่	ความเข้มข้นเริ่มต้น (M)		อัตราเริ่มต้น (M/s)
	[A]	[B]	
1	0.100	0.100	5.50×10^{-6}
2	0.200	0.100	2.20×10^{-5}
3	0.400	0.100	8.80×10^{-5}
4	0.100	0.300	1.65×10^{-5}
5	0.100	0.600	3.30×10^{-5}

เขียนกฎอัตราได้ดังนี้ $r = k[A]^x[B]^y$

จากการทดลองที่ 1 และ 2 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่ม [A] เป็นสองเท่าโดยให้ [B] คงที่ อัตราเพิ่มเป็นสี่เท่า แสดงว่าปฏิกิริยาเป็นอันดับสองเมื่อเทียบกับ [A] เป็นหลัก จากการทดลองที่ 4 และ 5 ถ้าให้ [A] คงที่และเพิ่ม [B] เป็นสองเท่าอัตราก็เพิ่มเป็นสองเท่า ดังนั้น ปฏิกิริยาจึงเป็นอันดับหนึ่งเมื่อเทียบกับ [B] เป็นหลัก

หรืออาจทำอีกวิธีหนึ่งโดยหาอัตราส่วนระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยาดังนี้ สำหรับการทดลองที่ 1 และ 2 จะได้

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{5.50 \times 10^{-6}\ \text{M/s}}{2.20 \times 10^{-5}\ \text{M/s}} = \frac{1}{4}$$

แต่อัตราส่วนระหว่าง r_1 กับ r_2 ก็คือผลหารของกฎอัตราสำหรับการทดลองที่ 1 และ 2 ตามลำดับ คือ

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{1}{4} = \frac{\cancel{k}(0.100\text{M})^x\,\cancel{(0.100\text{M})^y}}{\cancel{k}(0.200\text{M})^x\,\cancel{(0.100\text{M})^y}}$$

$$= \left(\frac{0.100\text{M}}{0.200\text{M}}\right)^x = \left(\frac{1}{2}\right)^x$$

จะได้ $x = 2$ และปฏิกิริยาเป็นอันดับสองเมื่อเทียบกับ [A] เป็นหลัก ในทำนองเดียวกัน จากข้อมูลการทดลองที่ 4 และ 5 จะได้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$$\frac{r_4}{r_5} = \frac{1.65\times10^{-5}\,M/s}{3.30\times10^{-5}\,M/s} = \frac{1}{2}$$

และจากกฎอัตราจะได้

$$\frac{r_4}{r_5} = \frac{1}{2} = \frac{\cancel{k(0.100M)^x}\,(0.300M)^y}{\cancel{k(0.100M)^x}\,(0.600M)^y}$$

$$= \left(\frac{0.300M}{0.600M}\right)^y = \left(\frac{1}{2}\right)^y$$

ดังนั้น y = 1 และปฏิกิริยาเป็นอันดับหนึ่งเมื่อเทียบกับ [B] เป็นหลัก และมีอันดับรวมเท่ากับ 2+1 = 3 กฎอัตราคือ

$$r = k[A]^2[B]$$

ค่าคงที่อัตราหาได้จากข้อมูลการทดลองชุดใดชุดหนึ่ง ดังนี้

$$k = \frac{5.50\times10^{-6}\,M/s}{(0.100M)^2(0.100M)}$$

$$= 5.50\times10^{-3}\,M^{-2}s^{-1}$$

ดังนั้นกฎอัตราคือ $r = 5.50\times10^{-3}\,M^{-2}s^{-1}[A]^2[B]$

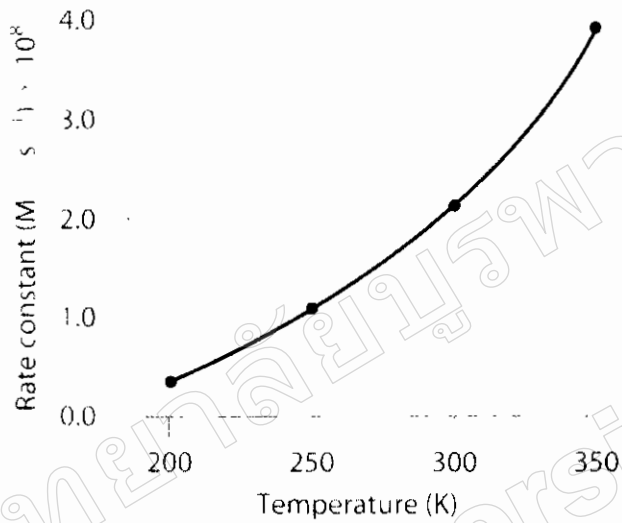
2. อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิมีผลอย่างมากต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา เมื่อสารตั้งต้นมีความเข้มข้นคงที่ โดยทั่วไปอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเกือบเป็น 2 เท่าต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทุก ๆ 10 K (หรือ 10 °C) สำหรับปฏิกิริยาส่วนใหญ่ที่ศึกษา ณ อุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิประมาณ 10 °C จะทำให้อัตราเพิ่มขึ้นประมาณเป็น 2 เท่าหรือ 3 เท่า (Silberberg, 2554)

สำหรับปฏิกิริยาเดียวกัน เมื่อนำข้อมูลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารตั้งต้นแต่ละชนิดกับอัตราเริ่มต้นของปฏิกิริยาที่ศึกษา ณ อุณหภูมิ (T) ต่างกัน แล้วแก้สมการหาค่า k จากกฎอัตรา

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

พบว่า เมื่อ T เพิ่มขึ้น ค่า k เพิ่มขึ้น หรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า อุณหภูมิมีผลต่ออัตราโดยการส่งผลต่อค่าคงที่อัตรา เมื่อพลอตกราฟระหว่าง T กับ k จะให้เส้นโค้งที่เพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียล ดังภาพ



ภาพที่ 2-2 กราฟระหว่างค่าคงที่อัตรากับอุณหภูมิเคลวิน (Flat World Knowledge, 2013, https://catalog.flatworldknowledge.com)

ในปี ค.ศ. 1889 นักเคมีชาวสวีเดนชื่อ สวันเต อาร์เรเนียส (Svante Arrhenius) ค้นพบความสัมพันธ์ที่สำคัญระหว่างค่า k กับ T ในหน่วยเคลวิน แสดงอยู่ในรูปสมการอาร์เรเนียส (Arrhenius equation) ดังสมการ

$$k = Ae^{-E_a/RT} \qquad (2\text{-}6)$$

เมื่อ k เป็นค่าคงที่อัตรา e เป็นฐานของลอการิทึมธรรมชาติ T เป็นอุณหภูมิสัมบูรณ์ และ R เป็นค่าคงที่ของแก๊ส Ea เป็นพลังงานก่อกัมมันต์ (Activation energy) ของปฏิกิริยา ซึ่งอาร์เรเนียสกำหนดให้เป็นพลังงานต่ำสุดที่โมเลกุลจะต้องมีเพื่อที่จะทำปฏิกิริยา สำหรับความสัมพันธ์แบบเอกซ์โพเนนเชียลเชิงลบระหว่าง T กับ k แสดงให้เห็นว่า เมื่อ T เพิ่มขึ้น เลขยกกำลังซึ่งเป็นลบจะมีค่าน้อยลง ส่งผลทำให้ค่าเอกซ์โพเนนเชียลของเลขยกกำลังมีค่ามากขึ้น ดังนั้น k จะมีค่ามากขึ้น ซึ่งหมายความว่าอัตราเพิ่มขึ้น

$$T \text{ สูงขึ้น} \Rightarrow k \text{ มากขึ้น} \Rightarrow \text{อัตราเพิ่มขึ้น}$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ในทางปฏิบัติสามารถคำนวณหา E_a ได้จากสมการอาร์เรเนียสโดยการหาค่าลอการิทึมธรรมชาติของทั้งสองข้างแล้วจัดสมการให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T}\right) \qquad (2\text{-}7)$$

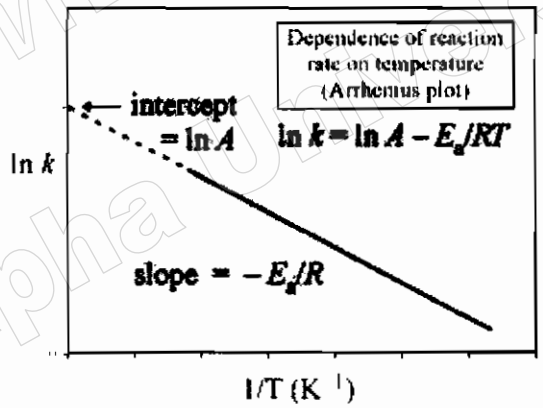
โดยที่ A คือ แฟกเตอร์พรีเอ็กซ์โพเนนเชียล (Pre – exponential factor)

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (8.314 J mol^{-1} K^{-1})

E_a คือ พลังงานก่อกัมมันต์มีหน่วยเป็น J mol^{-1}

T คือ อุณหภูมิเคลวิน (K)

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง ln k กับ 1/T จะได้เส้นตรงที่มีความชัน เท่ากับ $-E_a/R$ และมีจุดตัดแกน y เท่ากับ ln A ดังภาพ



ภาพที่ 2-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln k กับ 1/T (Gonzaga University, 2010, https://guweb2.gonzaga.edu)

เนื่องจาก ln k กับ 1/T มีความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ดังนั้นการคำนวณหา E_a อาจทำได้ด้วยวิธีที่ง่ายกว่า เช่น เมื่อทราบค่าคงที่อัตรา 2 ค่า คือ k_1 และ k_2 ที่อุณหภูมิ T_1 และ T_2 ตามลำดับ

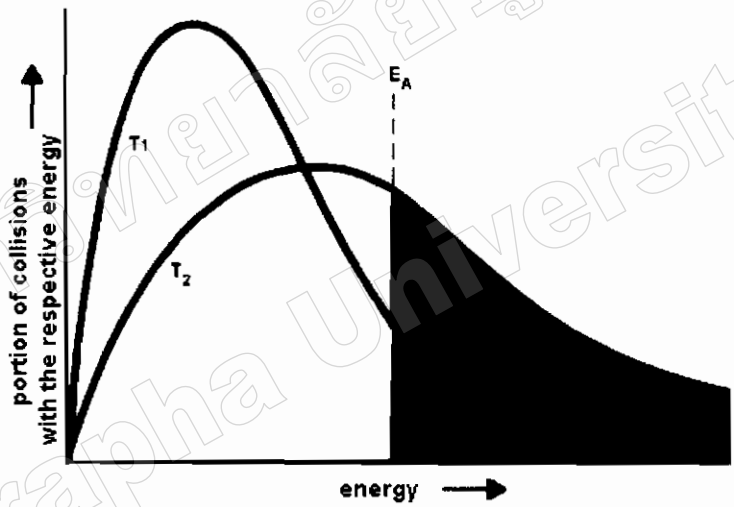
$$\ln k_1 = \ln A - \frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T_1}\right) \qquad \ln k_2 = \ln A - \frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T_2}\right)$$

เมื่อนำ $\ln k_2$ ไปลบออกด้วย $\ln k_1$ พจน์ ln A จะหายไปและพจน์ที่เหลือก็จัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$\ln\frac{k_2}{k_1} = -\frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right) \qquad (2\text{-}8)$$

เมื่อทำการแก้สมการ (2-8) ก็จะคำนวณหาค่า E_a ได้

จากทฤษฎีจลน์ของแก๊สอธิบายได้ว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น พลังงานจลน์เพิ่มขึ้น ดังนั้น จำนวนโมเลกุลของสารตั้งต้นที่มีพลังงานจลน์มากกว่าหรือเท่ากับพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยามีมากขึ้น (พื้นที่ใต้กราฟทางขวามือของพลังงานก่อกัมมันต์) และเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเพิ่มขึ้น จึงมีโอกาสที่จะชนกันมากขึ้น ดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจึงสูงขึ้น แสดงดังภาพที่ 2-4 แต่อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไม่ได้ส่งผลต่อพลังงานก่อกัมมันต์



ภาพที่ 2-4 กราฟแสดงการกระจายพลังงานจลน์ของโมเลกุลของสารที่อุณหภูมิต่าง ๆ

(Chemgapedia, 1999, https://www.chemgapedia.de)

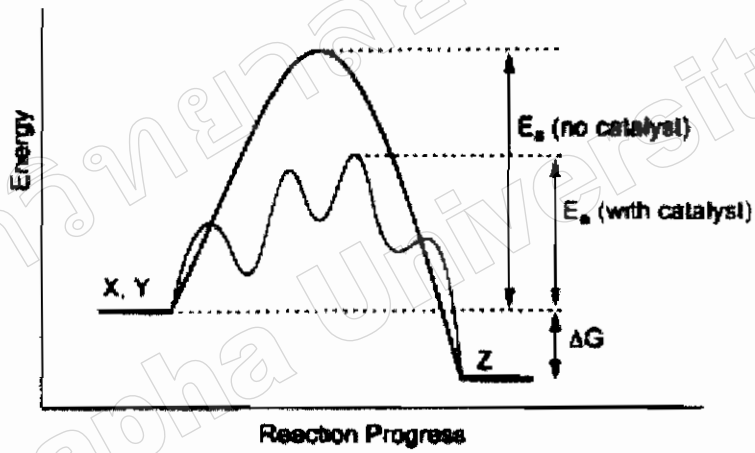
3. ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)

ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ สารที่เพิ่มอัตราของปฏิกิริยา โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีอย่างถาวรในปฏิกิริยา แต่อาจจะยุ่งเกี่ยวในขั้นตอนย่อยพื้นฐานของปฏิกิริยา (Elementary reaction) เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจะได้ตัวเร่งปฏิกิริยากลับคืนมาเสมอ โดยทั่วไปจะใช้คำว่าตัวเร่งปฏิกิริยากับสารที่เพิ่มอัตราของปฏิกิริยาให้เร็วขึ้น ส่วนสารที่ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลงจะใช้คำว่า ตัวยับยั้ง (Inhibitor) (Silberberg, 2554)

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดมีวิธีการทำงานที่เฉพาะเจาะจง แต่โดยทั่วไปแล้ว ตัวเร่งทำให้พลังงานก่อกัมมันต์ลดลง ซึ่งมีผลให้ค่าคงที่อัตราและอัตราเพิ่มขึ้น แสดงดังภาพที่ 2-5 สมบัติที่สำคัญของตัวเร่งปฏิกิริยา 3 ประการ คือ

- ตัวเร่งทำให้ปฏิกิริยาไปข้างหน้าและปฏิกิริยาย้อนกลับเกิดได้เร็วขึ้น ปฏิกิริยาที่มีตัวเร่งไม่สามารถทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้นกว่าปฏิกิริยาที่ไม่มีตัวเร่ง แต่ทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์เร็วขึ้น
- ตัวเร่งทำให้พลังงานก่อกัมมันต์ลดลง โดยทำให้ปฏิกิริยามีกลไกใหม่ที่ใช้พลังงานน้อยลง
- ตัวเร่งไม่ได้เปลี่ยนแปลงพลังงานของปฏิกิริยาเคมี และ ตำแหน่งสมดุลเคมี



ภาพที่ 2-5 แผนภาพพลังงานของปฏิกิริยาสำหรับกระบวนการที่ถูกเร่งและกระบวนการไม่ถูกเร่ง (Wikipedia, 2013, https://en.wikipedia.org)

พิจารณาปฏิกิริยาทั่วไปที่ไม่ถูกเร่ง (Uncatalyzed) และเกิดขึ้นผ่านกลไกของปฏิกิริยาขั้นเดียวที่เป็นการชนแบบสองโมเลกุล

A + B ⟶ สารผลิตภัณฑ์ [ช้ากว่า]

ในปฏิกิริยาที่ถูกเร่ง (Catalyzed) โมเลกุลของสารตั้งต้นทำปฏิกิริยากับตัวเร่งเกิดเป็นสารมัธยันตร์ (Intermediate) ดังนั้นกลไกของปฏิกิริยาจึงอาจประกอบด้วย 2 ขั้นตอน

A + ตัวเร่ง ⟶ C [เร็วกว่า]

C + B ⟶ สารผลิตภัณฑ์ + ตัวเร่ง [เร็วกว่า]

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สังเกตว่าตัวเร่งไม่ได้ถูกใช้หมดไป ซึ่งเป็นนิยามของตัวเร่ง แต่ในความจริงตัวเร่งถูกใช้ไปแล้วถูกปล่อยออกมาอีกครั้ง และพลังงานก่อกัมมันต์ของทั้ง 2 ขั้นตอนต่างก็มีค่าลดลงต่ำกว่าพลังงานก่อกัมมันต์ที่ไม่ถูกเร่ง

4. พื้นที่ผิวของสารตั้งต้น (Surface area of reactant)

ถ้าสารตั้งต้นอยู่คนละวัฏภาค ก็จะชนกันได้ที่ผิวสัมผัสเท่านั้น จึงอาจต้องมีการกวนหรือบดอย่างรุนแรง อัตราปฏิกิริยาจึงเกิดเร็วขึ้น เช่น สารตั้งต้นที่เป็นของแข็งหรือของเหลวถูกทำให้ละเอียดมา ก็จะยิ่งมีพื้นที่ผิวมากต่อหน่วยปริมาตร และสัมผัสสารตั้งต้นอีกชนิดหนึ่งได้มาก ปฏิกิริยาก็จะยิ่งเกิดได้เร็ว (ราณี สุวรรณพฤกษ์, 2552)

5. ธรรมชาติของสารตั้งต้น (Nature of the reactant)

สารแต่ละชนิดมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาไม่เท่ากัน การเปลี่ยนชนิดของสารที่เข้าทำปฏิกิริยาจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนไป เช่นที่อุณหภูมิห้อง แก๊ส H_2 ทำปฏิกิริยากับแก๊ส F_2 เร็วและรุนแรงมากจนระเบิดได้ แต่ที่สภาวะเดียวกัน ก๊ส H_2 ทำปฏิกิริยากับ แก๊ส I_2 ช้ามากจนไม่อาจสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลง เป็นต้น (ราณี สุวรรณพฤกษ์, 2552)

2.4 การจัดกิจกรรมการทดลองแบบดั้งเดิมตามแบบเรียน

กิจกรรมการทดลองตามหนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 3 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ เรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในหัวข้อปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี มีดังต่อไปนี้ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554)

1. การทดลอง เรื่อง ผลของความเข้มข้นของสารต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ทำการทดลองเพื่อ ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารกับเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเคมี เมื่อโซเดียมไทโอซัลเฟตทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ

$$Na_2S_2O_3(aq) + 2HCl(aq) \rightarrow 2NaCl(aq) + H_2O(l) + SO_2(g) + S(s)$$

การทดลองในแต่ละชุดของปฏิกิริยามีการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของ $Na_2S_2O_3$ และ HCl โดยการผสมสารละลายทั้งสองชนิดลงในบีกเกอร์ที่ทำเครื่องหมายกากบาทไว้ที่ก้นบีกเกอร์ และสังเกตปริมาณของกำมะถันที่เกิดขึ้น นักเรียนบันทึกระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยาตั้งแต่เริ่มต้นจนได้ปริมาณของกำมะถันที่เกิดขึ้นเท่ากัน คือเมื่อเริ่มสังเกตมองไม่เห็นเครื่องหมายกากบาท สารผลิตภัณฑ์ คือ SO_2 ที่เกิดขึ้นมีกลิ่นฉุน ควรหลีกเลี่ยงการสูดดม จากผลการทดลองพบว่า เมื่อความ

เข้มข้นของสารตั้งต้นลดลงอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะลดลง และอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตและสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่ สารละลายโซเดียมไทโอซัตเฟต สารละลายกรดไฮโดรคลอริก น้ำกลั่น หลอดทดลองขนาดใหญ่ กระบอกตวง นาฬิกาจับเวลา กระดาษสีขาว และกระดาษกราฟ

2. การทดลอง เรื่อง ผลของพื้นที่ผิวของสารต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของพื้นที่ผิวสัมผัสของสารต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเมื่อสารตั้งต้นมีสถานะต่างกัน เช่น ปฏิกิริยาระหว่างโลหะแมกนีเซียมกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเกิดปฏิกิริยาเคมีดังสมการ

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

การทดลองนี้สามารถวัดปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นได้โดยตรง การทดลองเป็นการเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเมื่อใช้ลวดแมกนีเซียมที่ขดคล้ายสปริงกับลวดแมกนีเซียมที่พับจนแน่น ข้อควรระวังสำหรับการทดลองนี้คือ ขนาดและความยาวของโลหะแมกนีเซียมต้องเท่ากัน และต้องขัดผิวโลหะให้สะอาดเท่ากันทั้งสองชิ้นเพื่อให้โลหะเกิดปฏิกิริยาอย่างมีประสิทธิภาพ ผลการทดลองพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมื่อใช้ลวดแมกนีเซียมที่ขดคล้ายสปริงมีค่าสูงกว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาเมื่อใช้แมกนีเซียมที่พับจนแน่น

สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่ สารละลายกรดไฮโดรคลอริก โลหะแมกนีเซียม กระบอกตวง จุกก๊อก นาฬิกาจับเวลา กระดาษทราย และใบมีดโกน

3. การทดลอง เรื่อง ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เมื่อกรดออกซาลิกทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ

$$5C_2H_2O_4(aq) + 2MnO_4^-(aq) + 6H^+(aq) \rightarrow 10CO_2(g) + 2Mn^{2+}(aq) + 8H_2O(l)$$

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะสังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของสารละลายจากสีม่วงเป็นสีชมพูอ่อน เนื่องจากเปอร์แมงกาเนตไอออน (MnO_4^-) มีสีม่วง เมื่อทำปฏิกิริยาจะเปลี่ยนไปเป็นแมงกานีส (II)ไอออน (Mn^{2+}) ซึ่งเป็นสารสีชมพูอ่อนแต่ถ้าเจือจางมากจะได้สารละลายใสไม่มีสี ในการทดลองหากใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่มีความเข้มข้นสูงเกินไปจึงจะสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายผสมไม่ชัดเจน จากการทดลองทำให้ทราบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิลดลงอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจะมีค่าน้อยลง

สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่ สารละลายกรดออกซาลิก สารละลายกรดซัลฟิวริก สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต น้ำแข็ง หลอดทดลองขนาดเล็ก บีกเกอร์ ตะเกียงแอลกอฮอล์พร้อมที่กั้นลม เทอร์โมมิเตอร์ หลอดหยด และนาฬิกาจับเวลา

4. การทดลอง เรื่อง ผลของสารบางชนิดต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของสารบางชนิดต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และอธิบายหน้าที่ของแมงกานีส(II) ซัลเฟตและโซเดียมฟลูออไรด์ในปฏิกิริยาที่ทำการทดลอง เมื่อเติมสารบางชนิดปริมาณเล็กน้อยลงไปแล้วทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดได้เร็วขึ้น สารที่เติมลงไปนี้เรียกว่า ตัวเร่งปฏิกิริยา การทดลองตอนที่ 1 แมงกานีส(II) ซัลเฟตทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างสารละลายกรดออกซาลิกกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เขียนแสดงปฏิกิริยาได้ดังสมการ

$$5C_2H_2O_4(aq) + 2MnO_4^-(aq) + 6H^+(aq) \xrightarrow{MnSO_4} 10CO_2(g) + 2Mn^{2+}(aq) + 8H_2O(l)$$

ส่วนสารที่เติมลงไปแล้วทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดช้าลงเรียกสารนั้นว่า ตัวหน่วงปฏิกิริยา จากการทดลองตอนที่ 2 หลอดที่เติมโซเดียมฟลูออไรด์จะเกิดปฏิกิริยาช้ากว่าหลอดที่ไม่ได้เติม เขียนแสดงปฏิกิริยาได้ดังสมการ

$$CaCO_3(s) + 2CH_3COOH(aq) \xrightarrow{NaF} 2CH_3COO^-(aq) + Ca^{2+}(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$$

สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่ สารละลายกรดออกซาลิก สารละลายกรดซัลฟิวริก สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต สารละลายแมงกานีส(II) ซัลเฟต ผงโซเดียมฟลูออไรด์ สารละลายกรดแอซีติก เปลือกไข่บดละเอียด หลอดทดลองขนาดกลาง กระบอกตวง หลอดหยด โกร่งพร้อมที่บด นาฬิกาจับเวลา และเครื่องชั่ง

5. การทดลอง เรื่อง สมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำการทดลองเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวเร่งปฏิกิริยาในระหว่างเกิดปฏิกิริยา เมื่อโซเดียมโพแทสเซียมทาร์เทรตทำปฏิกิริยากับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยมีสารละลายโคบอลต์(II) คลอไรด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารละลายโคบอลต์ (II) คลอไรด์มีสีชมพู ขณะเกิดปฏิกิริยาจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว และเมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลงจะกลับเป็นสีชมพูเหมือนเดิม การสังเกตความแตกต่างของสีในสารละลายผสมดังกล่าวไม่ชัดเจนนัก จากผลการทดลองแสดงว่า ตัวเร่งปฏิกิริยามีส่วนร่วมในปฏิกิริยา และเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจะกลับคืนมาเหมือนเดิม

สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่ โซเดียมโพแทสเซียมทาร์เทรต สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารละลายโคบอลต์(II) คลอไรด์ น้ำกลั่น หลอดทดลอง

ขนาดกลาง บีกเกอร์ ตะเกียงแอลกอฮอล์พร้อมที่กั้นลม กระบอกตวง ที่จับหลอดทดลอง เทอร์โมมิเตอร์ และหลอดหยด

การทดลองดังกล่าวข้างต้นมีข้อดี คือ นักเรียนได้รับประสบการณ์ตรง ได้พิสูจน์ทดสอบ และเห็นผลประจักษ์ด้วยตนเอง ได้ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการแสวงหาความรู้ ทักษะกระบวนการคิด และทักษะกระบวนการกลุ่ม จึงเกิดการเรียนรู้ได้ดี โดยเนื้อหาที่ได้เรียนรู้ ได้แก่ ผลของความเข้มข้นของสาร อุณหภูมิ ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี และพื้นที่ผิวของสารต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสามารถจัดหาได้ง่าย

อย่างไรก็ตามการเตรียมการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ครูผู้สอนต้องเตรียมการทดลองหลายการทดลองจึงจะครอบคลุมเนื้อหาหัวข้อปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมด รวมทั้งการเตรียมสารเคมีและอุปกรณ์ในการทดลองจำนวนมาก ทำให้ครูผู้สอนมีภาระงานมากและการจัดการเรียนรู้ในหัวข้อปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีใช้เวลานาน นอกจากนี้การทดลองมีลักษณะแยกส่วนทำให้นักเรียนเชื่อมโยงไม่ได้ บางครั้งนักเรียนอาจเข้าใจว่า ใน 1 การทดลองสามารถศึกษาได้เพียง 1 ปัจจัย นอกจากนี้การทดลองแบบเดิมไม่สามารถแก้ความเข้าใจคลาดเคลื่อนในเรื่องผลของความเข้มข้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ผลของอุณหภูมิต่อค่าคงที่อัตราและพลังงานก่อกัมมันต์

2.5 การสร้างชุดพัฒนาการทดลอง

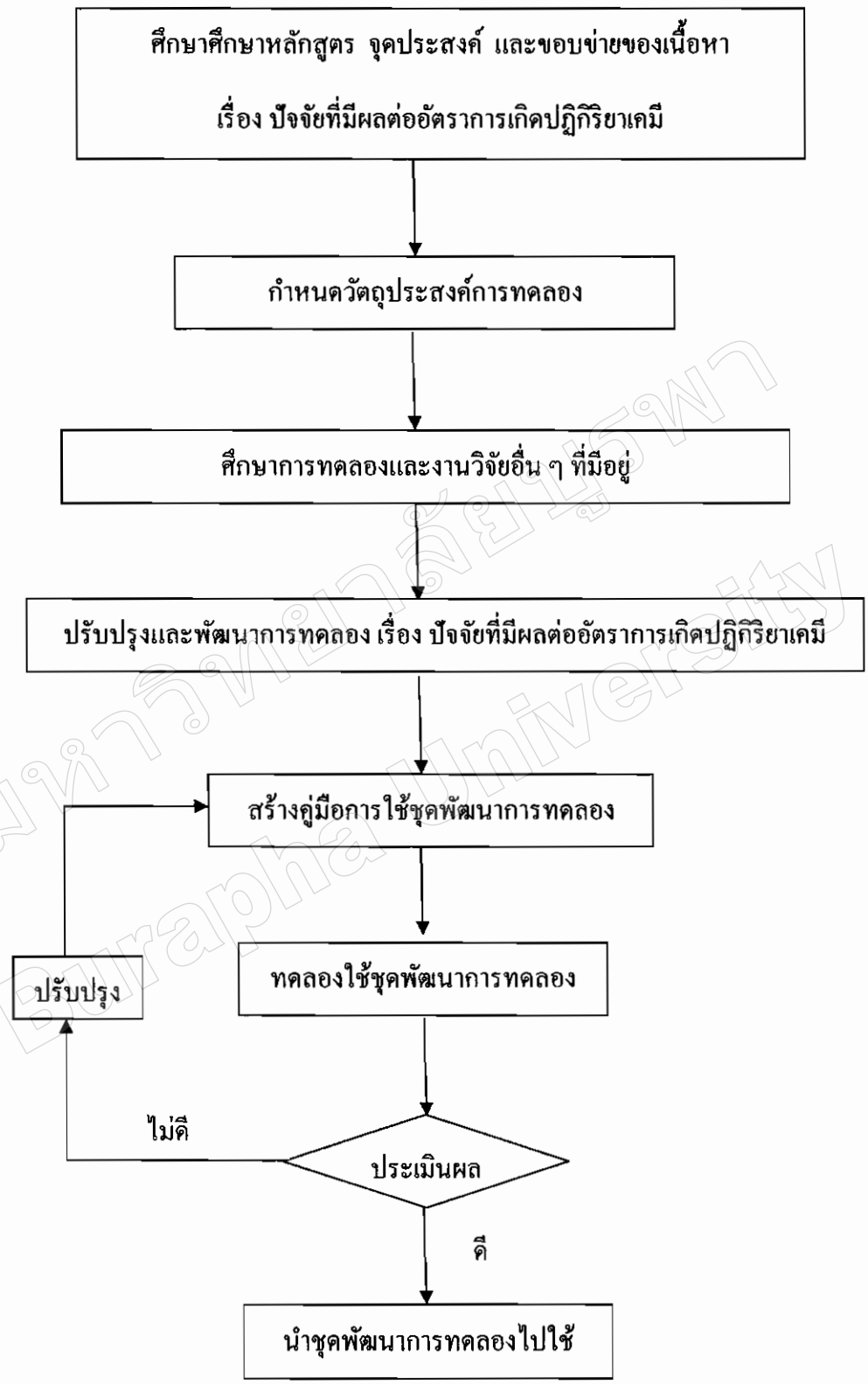
การพัฒนาการทดลองประกอบด้วยใบงานและคู่มือการทดลอง ซึ่งผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นให้นักเรียนสามารถเรียนรู้เนื้อหาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาได้หลายหัวข้อในการทดลองเดียว ลดปริมาณการใช้สารเคมี และลดเวลาในการจัดเตรียมกิจกรรมการเรียนรู้ของครูผู้สอน ชุดพัฒนาการทดลองประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ คือ ชื่อกิจกรรมการทดลอง ทฤษฎีและหลักการ วัตถุประสงค์ วัสดุอุปกรณ์การทดลอง วิธีการทดลอง ผลการทดลอง การอภิปรายผลการทดลอง สรุปผลการทดลอง และคำถามท้ายการทดลอง การออกแบบและพัฒนาการทดลองอาศัยหลักการ คือ กิจกรรมการทดลองต้องสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ตามหลักสูตรสถานศึกษา

ในการออกแบบและสร้างการทดลองขึ้นใหม่โดยการปรับปรุงหรือพัฒนาจากการทดลองอื่น ๆ ที่มีอยู่ ควรพิจารณาองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

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

การพัฒนาการทดลอง เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี หัวข้อ ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี มีขั้นตอน แสดงดังภาพ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 2-6 ขั้นตอนการออกแบบและสร้างชุดพัฒนาการทดลอง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้สร้างชุดพัฒนาการทดลอง เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี หัวข้อ ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยปรับปรุงและพัฒนาการทดลอง "peroxydisulfate – iodide clock reaction" ซึ่งปฏิกิริยาที่ศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาแสดงดังสมการ (2-9) และปฏิกิริยาเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องแสดงดังสมการ (2-10) และ (2-11)

$$S_2O_8^{2-}(aq) + 3I^-(aq) \rightarrow I_3^-(aq) + 2SO_4^{2-}(aq) \qquad (2\text{-}9)$$

$$2S_2O_3^{2-}(aq) + I_3^-(aq) \rightarrow 3I^-(aq) + S_4O_6^{2-}(aq) \qquad (2\text{-}10)$$

$$2I_3^-(aq) + \text{starch}(aq) \rightarrow \text{starch} - I_5^-(aq) + I^-(aq) \qquad (2\text{-}11)$$

เมื่อเปอร์ออกซีไดซัลเฟต ($S_2O_8^{2-}$)ทำปฏิกิริยากับไอโอไดด์ (I^-) จะได้ไตรไอโอไดด์ (I_3^-) ในสมการ (2-9) จากนั้นสาร I_3^- ที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับ $S_2O_8^{2-}$ ดังสมการ (2-10) เมื่อ $S_2O_8^{2-}$ หมดไป I_3^- ที่เกิดขึ้นในสารละลายจะเกิดปฏิกิริยากับน้ำแป้งได้สารเชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงินดังแสดงในสมการ (2-11) สำหรับการทดลองแต่ละชุดปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารตั้งต้นทั้งสองทีละชนิด ปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ และการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเปรียบเทียบกับชุดของการทดลองที่เป็นชุดควบคุม ข้อดีของชุดพัฒนาการทดลองที่สร้างขึ้น คือ ศึกษาปัจจัยหลาย ๆ ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาผ่านแค่เพียงปฏิกิริยาเดียวเท่านั้น โดยใช้ชนิดของสารเคมีและปริมาณน้อยลงกว่าการทดลองแบบดั้งเดิมตามคู่มือครูการจัดการเรียนของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตลอดจนใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายในห้องปฏิบัติการเคมีในโรงเรียนมัธยมศึกษาทั่วไป นอกจากนี้นักเรียนได้ศึกษาเพิ่มเติมจากแบบเรียนในเรื่องการหาอันดับปฏิกิริยาจากการทดลองโดยการแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของสารตั้งต้นทีละชนิด และสามารถคำนวณหาอันดับของปฏิกิริยาเทียบกับ $[I^-]$ และ $[S_2O_8^{2-}]$ และ ค่าคงที่อัตราตามลำดับ เรื่องผลของอุณหภูมิที่มีต่อค่าคงที่อัตราซึ่งนำไปสู่การคำนวณหาพลังงานก่อกัมมันต์ได้ และ ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ผลที่คาดว่าจะได้รับเมื่อนักเรียนศึกษาจากชุดพัฒนาการทดลอง คือ นักเรียนเห็นการเพิ่มขึ้นของอัตราการเกิดปฏิกิริยาอย่างได้ชัดเจนจากปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยผ่านชุดการทดลองของปฏิกิริยาเดียวกัน และเข้าใจเหตุผลและคำอธิบายของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้อย่างถูกต้อง

สำหรับการทดลองที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การทดลอง เรื่อง 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 ($S_2O_8^{2-}$)

$$(NH_4)_2S_2O_8 + 2KI \rightarrow I_2 + K_2SO_4 + (NH_4)_2SO_4 \qquad (2\text{-}12)$$

$$\text{กฎอัตราของปฏิกิริยา คือ อัตรา} = -\frac{\Delta[S_2O_8^{2-}]}{\Delta t} = k[I^-]^m[S_2O_8^{2-}]^n \qquad (2\text{-}13)$$

การทดลองตอนที่ 1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา โดยการคำนวณหาอันดับของปฏิกิริยาและค่าคงที่อัตราของปฏิกิริยา (2-12) โดยอาศัยปฏิกิริยาที่เรียกว่าปฏิกิริยานาฬิกา (Clock reaction) ดังแสดงในสมการ

$$S_2O_8^{2-}(aq) + 3I^-(aq) \rightarrow I_3^-(aq) + 2SO_4^{2-}(aq) \qquad (2\text{-}14)$$

$$2S_2O_3^{2-}(aq) + I_3^-(aq) \rightarrow 3I^-(aq) + S_4O_6^{2-}(aq) \qquad (2\text{-}15)$$

$$2I_3^-(aq) + \text{starch}(aq) \rightarrow \text{starch} - I_5^-(aq) + I^-(aq) \qquad (2\text{-}16)$$

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จากสมการ (2-14) เมื่อ $S_2O_8^{2-}$ ทำปฏิกิริยากับ I^- จะได้ I_3^- สาร I_3^- ที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับ $S_2O_3^{2-}$ ดังสมการ (2-15) เมื่อ $S_2O_3^{2-}$ หมดไป I_3^- ที่เกิดขึ้นในสารละลายจะเกิดปฏิกิริยากับน้ำแป้งได้ Amylase – Pentaiodide ซึ่งมีสีน้ำเงินดังแสดงในสมการ (2-16)

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองตอนที่ 1 มีดังต่อไปนี้

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

$$\text{อัตราสัมพัทธ์} = -\frac{1}{2}\frac{\Delta[S_2O_3^{2-}]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[S_2O_8^{2-}]}{\Delta t} = k\left[I^-\right]^m\left[S_2O_8^{2-}\right]^n \qquad (2\text{-}17)$$

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

$$\text{อัตราสัมพัทธ์ 1} = k'[I^-]^m[S_2O_8^{2-}]^n \qquad (2\text{-}18)$$

$$\text{อัตราสัมพัทธ์ 2} = k'[I^-]^m[S_2O_8^{2-}]^n \qquad (2\text{-}19)$$

$$\text{อัตราสัมพัทธ์ 3} = k'[I^-]^m[S_2O_8^{2-}]^n \qquad (2\text{-}20)$$

นำสมการ (2-18) หารด้วยสมการ (2-19) เทอมที่เหมือนกันตัดกันจะหาค่า m ได้ ซึ่งเป็นอันดับปฏิกิริยาเทียบกับ $[I^-]$

นำสมการ (2-18) หารด้วยสมการ (2-20) เทอมที่เหมือนกันตัดกันจะหาค่า n ได้ ซึ่งเป็นอันดับปฏิกิริยาเทียบกับ $[S_2O_8^{2-}]$

3. นำค่า $[I^-]$ และ $[S_2O_8^{2-}]$ ค่าอัตราสัมพัทธ์ในแต่ละชุดปฏิกิริยา ค่า m และ n ที่ได้จากการคำนวณในข้อ 2 แทนค่าลงในสมการ (2-18) , (2-19) และ (2-20) ตามลำดับ เพื่อหาค่า k
4. นำค่า k จากทั้งสามชุดปฏิกิริยามาหาค่า k เฉลี่ย จากนั้นเขียนแสดงกฎอัตรา

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การทดลองตอนที่ 2 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาโดยการวัดอัตราที่อุณหภูมิต่าง ๆ และการคำนวณหาพลังงานกระตุ้น (Ea) ของปฏิกิริยาจากสมการอาร์เรเนียส

$$\log k = -\frac{E_a}{2.303RT} + \text{constant} \qquad (2\text{-}21)$$

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

การทดลองตอนที่ 3 การศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยา $CuSO_4$ ที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

อุปกรณ์ (ต่อ 1 กลุ่ม)

1. บีกเกอร์ขนาด 50 mL	จำนวน 6 ใบ
2. ขวดรูปกรวยขนาด 125 mL	จำนวน 6 ใบ
3. กระบอกตวงขนาด 10 mL	จำนวน 1 อัน
4. เทอร์โมมิเตอร์	จำนวน 1 อัน
5. อ่างน้ำ	จำนวน 1 ใบ
6. ฮอตเพลต	จำนวน 2 เครื่อง

สารเคมี

1. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์, KI เข้มข้น 0.20 M
2. สารละลายแอมโมเนียมเปอร์ออกซีไดซัลเฟต, $(NH_4)_2S_2O_8$ เข้มข้น 0.10 M
3. สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต, $Na_2S_2O_3$ เข้มข้น 0.02 M
4. สารละลายโพแทสเซียมไนเตรต, KNO_3 เข้มข้น 0.20 M
5. สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต, $CuSO_4$ เข้มข้น 0.1 M
6. น้ำแป้ง 1 %

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ข้อควรระวังเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ดีรวมถึงความปลอดภัยในการใช้สารเคมี

1. สารแอมโมเนียมเปอร์ออกซีไดซัลเฟต, $(NH_4)_2S_2O_8$ เป็นสารออกซิไดซ์ที่แรงควรระวังอย่าให้ถูกผิวหนัง เมื่อถูกผิวหนังควรล้างด้วยน้ำสะอาดทันที และการเก็บรักษาควรเก็บในภาชนะที่แห้งและอุณหภูมิต่ำ ปิดฝาภาชนะให้สนิทไม่ควรเก็บกับสารไวไฟ
2. สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI), สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$), สารละลายโพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3), และสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) อาจก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง เมื่อถูกผิวหนังควรล้างด้วยน้ำสะอาด
3. ปิดฉลากขวดและบีกเกอร์เพื่อป้องกันสารผสมกัน
4. ตวงสารให้เสร็จทีละชนิด
5. เทสารให้หมดจากกระบอกตวงโดยถือกระบอกตวงแตะค้างไว้ที่ปากภาชนะประมาณ 15 วินาที
6. ล้างกระบอกตวงให้สะอาดหลังจากตวงสารแต่ละชนิดเสร็จ เพื่อไม่ให้เกิดการปนเปื้อนในการตวงสารครั้งต่อไป
7. กรณีที่กระบอกตวงไม่แห้งให้ชะล้างกระบอกตวงด้วยสารที่จะตวงก่อนเสมอ

สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการทดลอง ผลการทดลอง การอภิปรายผลการทดลอง สรุปผลการทดลอง และคำถามท้ายการทดลอง แสดงดังภาคผนวก ก

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 การพัฒนาการทดลอง

ธนานุช ดุจจานุทัศน์ (2554, บทคัดย่อ) ทำการวิจัยเพื่อสร้างและพัฒนาชุดการทดลองการเคลื่อนที่แบบหมุน เรื่องทอร์กและโมเมนต์ความเฉื่อย กลุ่มตัวอย่างคือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2553 จำนวน 30 คน โรงเรียนสำโรงทาบวิทยาคม อำเภอสำโรงทาบ จังหวัดสุรินทร์ ผลการวิจัยพบว่า ชุดการทดลองที่สร้างและพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพเท่ากับ 83.70/81.33 สูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดไว้ นักเรียนที่เรียนด้วยชุดทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีความก้าวหน้าทางการเรียนเท่ากับ 0.46 อยู่ในระดับปานกลาง และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้อยู่ในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 80.33

รัตนชาติ ดวงอภินันท์ (2554, บทคัดย่อ) ทำการวิจัยเพื่อพัฒนาชุดทดลองการต่อวงจรออปแอมป์ สำหรับการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อสร้างความเข้าใจผ่านการปฏิบัติในลักษณะการเสริมการเรียนรู้เนื้อหาทางทฤษฎีแบบเดิมในชั้นเรียน โดยแบ่งงานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการออกแบบและสร้างชุดทดลอง ส่วนที่สองคือการ

โดยแบ่งงานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการออกแบบและสร้างชุดทดลอง ส่วนที่สองคือการสร้างใบงานการทดลอง นำไปใช้กับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ชั้นปีที่ 1 วิทยาลัยเทคนิคกาญจนาภิเษกอุดรธานี จำนวน 20 คน ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ผู้เรียนที่เรียนด้วยชุดทดลองที่พัฒนาขึ้น มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ซึ่งสามารถมีความเข้าใจในเรื่องวงจรออปแอมป์ได้มากกว่าเดิม

สายฝน พูลผล (2554, บทคัดย่อ) ทำการวิจัยเพื่อพัฒนาชุดการทดลองเรื่องคลื่นเสียงเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่เรียนด้วยชุดทดลองและศึกษาเจตคติของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ชุดทดลองเรื่องคลื่นเสียง กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2553 โรงเรียนนายมวิทยาคาร อำเภอเมือง จังหวัดอำนาจเจริญ จำนวน 1 ห้องรวม 30 คน ผลการวิจัยพบว่า คะแนนเฉลี่ยหลังจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองเรื่องคลื่นเสียงสูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และประสิทธิภาพของชุดทดลอง (E1/E2) เท่ากับ 82.22/84.44 เจตคติหลังการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองอยู่ในระดับดี และมีพัฒนาทางการเรียนเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง

นุจรี มณีจันทร์ (2553, บทคัดย่อ) ทำการวิจัยเพื่อสร้างและพัฒนาชุดการทดลอง เรื่อง ลึกจริง ลึกปรากฏ ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนระหว่างกลุ่มที่เรียนโดยใช้ชุดการทดลองกับกลุ่มที่เรียนปกติ และศึกษาความพึงพอใจของนักเรียน กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 55 คน ผลการวิจัยพบว่าชุดการทดลองมีประสิทธิภาพ 84.42/82.10 นักเรียนกลุ่มที่เรียนโดยใช้ชุดการทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่ากลุ่มที่เรียนแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อการเรียนโดยใช้ชุดการทดลองในระดับมากถึงมากที่สุด

ขอบคุณ ไชยวงศ์ (2552, บทคัดย่อ) ทำการวิจัยเพื่อสร้างและหาคุณภาพของการพัฒนาชุดทดลองวิชาวงจรดิจิตอลเบื้องต้นโดยการใช้ CPLD สำหรับหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร จำนวน 20 คน ผลการวิจัยพบว่า ชุดทดลองวิชาวงจรดิจิตอลเบื้องต้นโดยใช้ CPLD มีคุณภาพอยู่ในระดับดี ($\overline{X}$ = 4.42 , S.D. = 0.36) และใบงานการทดลองมีคุณภาพอยู่ในระดับดี ($\overline{X}$ = 4.45 , S.D. = 0.34) และมีประสิทธิภาพ E1/E2 เท่ากับ 90.42/94.83

ประพนธ์ พลหล้า (2551, บทคัดย่อ) ทำการวิจัยเพื่อสร้าง หาคุณภาพและประสิทธิภาพของชุดทดลอง เรื่อง โซ่ส่งกำลัง กลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จำนวน 23 คน ผลการวิจัยพบว่า ชุดการทดลองมีค่าดัชนี

ความสอดคล้อง (IOC) เท่ากับ 0.95 สูงกว่าเกณฑ์ 0.5 ที่กำหนดไว้ ประสิทธิภาพของชุดการทดลอง เท่ากับ 80.43/97.17 สูงกว่าเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดไว้

ประนอม หมอกกระโทก (2545, บทคัดย่อ) ทำการวิจัยเพื่อสร้างและพัฒนาชุดทดลอง เรื่องการเคลื่อนที่ในแนวตรงให้มีประสิทธิภาพด้านการเรียนการสอนตามเกณฑ์ 80/80 เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และเจตคติต่อชุดทดลองของนักเรียนที่เรียนด้วยชุดทดลองที่สร้างขึ้น กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนปราสาทวิทยาคม จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 15 คน ผลการวิจัยพบว่า ชุดการทดลองมีประสิทธิภาพทางการเรียนการสอน เท่ากับ 81.73/80.43 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและเจตคติของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

2.6.2 การพัฒนารูปแบบการสอน

2.6.2.1 การสอนโดยใช้การทดลอง

Urena, Cooper, and Stevens (2012) ทำการวิจัยเพื่อศึกษาผลของการสอนโดยใช้การทดลองแบบใช้ปัญหาเป็นฐาน เป็นวิธีที่ผสมผสานระหว่างกิจกรรมการแก้ปัญหาและกิจกรรมสร้างกระบวนการคิดขั้นสูงโดยใช้การทดลองปกติร่วมกับ "Interactive Multi-Media Exercises software (IMMEX)" ซึ่งเป็นเว็บไซต์รวมรวบการทดลองหลายหัวข้อ หลากหลายกรณีศึกษา มีข้อมูลอธิบายแนวทางการแก้ปัญหา และแบบฝึกหัดให้ได้ศึกษา กลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาชั้นปีที่ 1 ที่เรียนวิชาปฏิบัติการเคมีทั่วไป 1 สถาบันการวิจัยภาคตะวันออกเฉียงใต้ ประเทศอังกฤษ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าสถิติ t – test และค่าสหสัมพันธ์ (χ^2) ผลการวิจัยพบว่า เมื่อสอนโดยใช้วิธีนี้นักเรียนมีวิธีการและทักษะการแก้ปัญหาที่ดีขึ้น และมีทักษะกระบวนการคิดขั้นสูงเพิ่มขึ้นที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Abraham (2011) ทำการศึกษาผลของการสอนโดยใช้การทดลอง 3 รูปแบบที่มีลำดับขั้นตอนต่างกัน ได้แก่ 1) แจ้งจุดประสงค์ (Infrom) พิสูจน์ (Verify) และฝึกหัด (Practice) หรือ IVP 2) สำรวจ (Explore) สร้างองค์ความรู้ (Invent a Concept) และประยุกต์ใช้(Apply) หรือ EIA 3) สำรวจ (Explore) ประยุกต์ใช้(Apply) และสร้างองค์ความรู้ (Invent a Concept) หรือ EAI โดยผู้สอนวิเคมีทั่วไป จำนวน 203 คนเป็นผู้ช่วยเก็บข้อมูล การเก็บข้อมูลในวิจัยทำการทดลอง 5 ครั้ง คือ ก่อนเรียน หลังเรียนตอนที่ 1 หลังเรียนตอนที่ 2 หลังเรียนตอนที่ 3 และการทดสอบการจดจำ ผลการวิจัยพบว่า การทดลองแบบ EIA ทำให้ผู้เรียนมีการจดจำได้ดีที่สุด การทดลองแบบ IVP และ EAI ผู้เรียนมีการจดจำใกล้เคียงกันแต่น้อยกว่าแบบ EIA อย่างเห็นได้ชัด และเจตคติของนักเรียนต่อการทดลองทั้ง 3 รูปแบบไม่แตกต่างกัน

กิติพงษ์ พงษ์จำปา (2543, บทคัดย่อ) ทำการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแก้ปัญหาที่เกิดจากการเรียนการทดลองระหว่างใบงานแบบแก้ปัญหาและใบงานแบบปกติ โดยศึกษากับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงปีที่ 1 ปีการศึกษา 2542 แผนกช่าง

อิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคลำพูน จำนวน 40 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มทดลองเรียนทดลองด้วยใบงานแบบแก้ปัญหา และกลุ่มควบคุมเรียนทดลองด้วยใบงานแบบปกติ ผลการวิจัยพบว่า นักศึกษากลุ่มทดลองมีความสามารถในการแก้ปัญหาดีกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

2.6.2.2 การสอนเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

รุ่งทิวา หล่าแสนเมือง (2553, บทคัดย่อ) ทำการวิจัยเพื่อพัฒนาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยการสอนวิทยาศาสตร์แบบสืบเสาะหาความรู้ 7 ขั้น ศึกษาดัชนีประสิทธิผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน และศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เมื่อนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 โรงเรียนรัตนบุรี อำเภอรัตนบุรี จังหวัดสุรินทร์ จำนวน 50 คน ได้รับการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ พบว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบสืบเสาะหาความรู้ 7 มีประสิทธิภาพเท่ากับ 84.83/81.05 มีค่าดัชนีประสิทธิผลเท่ากับ 0.6120 นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และนักเรียนมีความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 7 ขั้น

รุ่งนภา จันทร์แรม (2554, บทคัดย่อ) พัฒนากิจกรรมการเรียนรู้เรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี บนพื้นฐานของทฤษฎีสืบเสาะหาความรู้โดยวิธี Model – Observe –Reflect – Explain (MORE) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแนวคิดของนักเรียนก่อนและหลังเรียน กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ โรงเรียนธารปราสาทเพชรวิทยา จังหวัดนครราชสีมา ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2553 จำนวน 38 คน ผลการวิจัยพบว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้บนพื้นฐานของทฤษฎีสืบเสาะหาความรู้โดยใช้วิธี MORE มีค่าดัชนีประสิทธิผล 0.55 นักเรียนมีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และนักเรียนมีแนวคิดที่ถูกต้องสูงกว่าร้อยละ 80

Bauer, Tomisic, and Vrkljan (2008) พัฒนาการทดลองเพื่อศึกษาจลนศาสตร์และกลไกของปฏิกิริยาออกซิเดชันของไอโอไดด์โดยใช้ไอร์ออน (III) ไอออน ในสภาวะกรด และใช้สารละลายไทโอซัลเฟตเป็นสารกำหนดปริมาณและน้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ การทดลองนี้มีปฏิกิริยาดังต่อไปนี้

$$Fe^{3+}(aq) + S_2O_3^{2-}(aq) \leftrightarrow [Fe(S_2O_3)]^{+}(aq) \qquad (2\text{-}22)$$

$$2Fe^{3+}(aq) + 3I^{-}(aq) \rightarrow 2Fe^{2+}(aq) + I_3^{-}(aq) \quad (2\text{-}23)$$

$$I_3^{-}(aq) + 2S_2O_3^{2-}(aq) \rightarrow 3I^{-}(aq) + S_4O_6^{2-}(aq) \quad (2\text{-}24)$$

$$2I_3^{-}(aq) + \text{starch} \rightarrow \text{strarch} - I_5^{-} + I^{-}(aq) \quad (2\text{-}25)$$

เมื่อเริ่มต้นผสมสารละลาย $Fe(NO_3)_3$ ในสภาวะกรด ซึ่งเป็นสารละลายใสไม่มีสีกับสารละลายผสมใสไม่มีสีซึ่งประกอบด้วย $Na_2S_2O_3$, KI และ น้ำแป้ง สารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วงของ $[Fe(S_2O_3)]^{+}$ ทันทีและจากนั้นกลายเป็นไม่มีสีและสุดท้ายเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเข้ม การทดลองวัดอัตราปฏิกิริยาเริ่มต้นของปฏิกิริยาออกซิเดชันของไอโอไดด์โดยใช้ไอร์ออน (III) ไอออน ดังสมการ

$$\upsilon_0 \approx -\frac{\Delta[Fe^{3+}]}{\Delta t} = \frac{[S_2O_3^{2-}]_0}{\Delta t} \quad (2\text{-}26)$$

สำหรับการทดลองนี้สารละลายแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ สารละลาย A ประกอบด้วย $Na_2S_2O_3$, KI, KNO_3 และน้ำแป้งอยู่ใน thermostated cell และสารละลาย B ประกอบด้วย ไอร์ออน (III) ไนเตรต ($FeNO_3)_3$) และกรดไนตริก (HNO_3) ในหลอดฉีดยา จับช่วงเวลาที่สารละลายทั้งสองผสมกันจนเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเข้ม ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ในแต่ละความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลง ที่อุณหภูมิ 25 °C โดยในการทดลองศึกษาความเข้มข้นของ KI, $Fe(NO_3)_3$ และ $Na_2S_2O_3$ ที่มีต่ออัตราปฏิกิริยา โดยเมื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารชนิดใด สารชนิดอื่นทุกตัวมีความเข้มข้นคงที่ ผลการวิจัยพบว่า ปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาอันดับสองเทียบกับ $[I^{-}]$ และเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียบกับ $[Fe^{3+}]$ และ ปฏิกิริยาไม่ขึ้นกับ $[S_2O_3^{2-}]$ ดังนั้น $Na_2S_2O_3$ ทำหน้าที่เป็นสารกำหนดปริมาณ ดังนั้นนักเรียนมีประสบการณ์ในการหาอัตราปฏิกิริยาโดยวิธีคำนวณอัตราเริ่มต้น อันดับของปฏิกิริยาเทียบกับสารตั้งต้นแต่ละชนิด และ ค่าคงที่อัตรา และนำไปสู่การสร้างกฎอัตราจากการทดลองได้ นอกจากนี้นักเรียนสามารถนำเสนอกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่น่าจะเป็นไปได้ โดยพิจารณาจากกฎอัตราจากการทดลอง การทดลองนี้เหมาะสำหรับใช้สอนเรื่องจลนศาสตร์เคมีแก่นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อให้นักเรียนคุ้นเคยกับปฏิกิริยานาฬิกาและเทคนิคการวัดอัตราเริ่มต้น เพื่อเป็นข้อมูลในการสร้างกฎอัตราและการวิเคราะห์กลไกการเกิดปฏิกิริยา

Carpenter, Phillips and Jakubinek (2010) ได้ปรับปรุงการทดลอง "Peroxydisulfate – Iodide Clock Reaction" ซึ่งปกติใช้เป็นปฏิบัติการเคมีสำหรับสอนนักศึกษาปริญญาปีที่ 1 มหาวิทยาลัย Dalhousie เพื่อให้ได้การทดลองที่เหมาะสมสำหรับสอนนักเรียนระดับมัธยมศึกษาเกรด 9 ซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 250 คน การทดลองนี้มีปฏิกิริยาหลักแสดงดังสมการ และปฏิกิริยาเพิ่มเติมดังสมการ

$$S_2O_8^{2-}(aq) + 3I^-(aq) \rightarrow I_3^-(aq) + 2SO_4^{2-}(aq) \quad (2\text{-}27)$$

$$2S_2O_3^{2-}(aq) + I_3^-(aq) \rightarrow 3I^-(aq) + S_4O_6^{2-}(aq) \quad (2\text{-}28)$$

$$2I_3^-(aq) + \text{starch}(aq) \rightarrow \text{starch} - I_5^-(aq) + I^-(aq) \quad (2\text{-}29)$$

จากสมการ (2-27) เมื่อเปอร์ออกซีไดซัลเฟต ($S_2O_3^{2-}$) ทำปฏิกิริยากับไอโอไดด์ (I^-) จะได้ไตรไอโอไดด์ (I_3^-) สาร I_3^- ที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับ $S_2O_3^{2-}$ ดังสมการ (2-28) เมื่อ $S_2O_3^{2-}$ หมดไป I_3^- ที่เกิดขึ้นในสารละลายจะเกิดปฏิกิริยากับน้ำแป้งได้สารเชิงซ้อน amylose – pentaiodide ที่มีสีน้ำเงิน ดังแสดงในสมการ (2-29) โดยในงานวิจัยดังกล่าวจัดให้นักเรียนทดลองเป็นคู่ โดยทำการทดลอง 4 ชุด เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ได้แก่ การเพิ่มความเข้มข้นของ KI เป็น 2 เท่า การเพิ่มอุณหภูมิ และการเติมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเปรียบเทียบกับผลการทดลองในการทดลองชุดที่ 1 ซึ่งเป็นชุดควบคุม โดยแต่ละชุดของการทดลอง การทดลองทำโดยนักเรียนคนหนึ่งเทสารละลาย $Na_2S_2O_3$ จากหลอดทดลอง ปริมาตรคงที่ และสารละลาย B คือ $(NH_4)_2S_2O_8$ จากบีกเกอร์ พร้อมกันลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลาย A ประกอบด้วยสารละลาย KI, KNO_3 และน้ำแป้ง จากนั้นนักเรียนอีกคนหนึ่งทำการเริ่มจับเวลาทันทีเมื่อเทผสมสารละลายเข้าด้วยกัน และหยุดเวลาเมื่อสารละลายเปลี่ยนจากใสไม่มีสีเป็นสีน้ำเงิน ผลการวิจัยพบว่า การทดลองนี้สามารถแสดงให้เห็นความรู้ในบทเรียนได้อย่างตรงไปตรงมา นักเรียนเกิดความสนใจและสนุกสนานกับการทำงานคล้ายนักวิทยาศาสตร์ และนักเรียน ครู ผู้ปกครอง และผู้ช่วยสอนมีความคิดเห็นที่ดีต่อการทดลองทางเคมี แต่อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยดังกล่าวไม่ได้กล่าวถึงการหาค่าคงที่อัตราและอันดับของปฏิกิริยาเทียบกับ [I^-] และ [$S_2O_8^{2-}$] ตามลำดับ รวมถึงกฎอัตราจากการทดลอง นอกจากนี้ การคำนวณหาค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (Activation energy) ไม่ได้รายงานในงานวิจัยด้วย

Sattsangi (2011) ศึกษาปฏิกิริยา "Iodine-clock reaction" ซึ่งประกอบด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน และ ปฏิกิริยารีดักชัน แสดงดังสมการ

$$H_2O_2(aq) + 2H^+(aq) + 3I^-(aq) \rightarrow I_3^-(aq) + 2H_2O(l)$$ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ช้า) (2-30)

$$I_3^-(aq) + 2S_2O_3^{2-}(aq) \rightarrow 3I^-(aq) + S_4O_6^{2-}(aq)$$ ปฏิกิริยารีดักชัน (เร็ว) (2-31)

$$H_2O_2(aq) + 2H^+(aq) + 2S_2O_3^{2-}(aq) \rightarrow S_4O_6^{2-}(aq) + 2H_2O(l)$$ ปฏิกิริยารวม (2-32)

เมื่อ $S_2O_3^{2-}$ ถูกใช้หมดในปฏิกิริยา I_3^- ทำปฏิกิริยากับน้ำแป้งได้สารเชิงซ้อนสีน้ำเงินเข้ม แสดงดังสมการ (2-33) ซึ่งถือว่าเป็นจุดยุติของปฏิกิริยาดังกล่าว

$$2\,I_3^-(aq) + \text{starch (ไม่มีสี)} \rightarrow \text{starch} - I_5^- \text{ (สีน้ำเงิน)} + I^-(aq)$$ (2-33)

โดยทั่วไป ปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลาย KI โดยใช้สารละลาย H_2O_2 เป็นการทดลองที่ใช้ในการสอนเรื่องจลนศาสตร์เคมีในปฏิบัติการเคมีทั่วไป

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองดังกล่าวอยู่ในแบบ microscale โดยใช้อุปกรณ์พลาสติกขนาดเล็ก ในแต่ละชุดของปฏิกิริยาประกอบด้วยน้ำกลั่น สารละลายบัฟเฟอร์ pH 4.75 สารละลาย $Na_2S_2O_3$ สารละลาย KI และน้ำแป้ง ผสมกัน จากนั้นหยดสารละลาย H_2O_2 ลงไปในสารละลายผสมเป็นลำดับสุดท้าย และเริ่มจับเวลาเมื่อสารละลายทั้งหมดผสมกันเปลี่ยนจากใสไม่มีสีเป็นสีน้ำเงิน การทดลองในแต่ละครั้งใช้จำนวนหยดของสารละลายรวมกันทั้งหมดเท่ากับ 60 หยด โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวปรับจำนวนหยดรวม การทดลองนี้ศึกษาผลของความเข้มข้นของ KI และ H_2O_2 ที่มีต่ออัตราปฏิกิริยา โดยการแปรเปลี่ยนจำนวนหยดของสาระลายแต่ละชนิด โดยแต่ละชุดทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง 295 เคลวิน (22°C) เพื่อคำนวณหาอันดับของปฏิกิริยาเทียบกับความเข้มข้นของสารตั้งต้นแต่ละชนิดและค่าคงที่อัตรา เพื่อสร้างกฎอัตราจากการทดลอง นอกจากนี้ทำการทดลองเพิ่มเติมที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง สำหรับปฏิกิริยาแค่เพียงชุดเดียว เพื่อคำนวณหาพลังงานก่อกัมมันต์ ผลการวิจัยพบว่า ปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียบกับ [KI] และเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียบกับ $[H_2O_2]$ และมีค่าคงที่อัตราเฉลี่ยเท่ากับ 6.94×10^{-3} L mol^{-1} s^{-1} ที่อุณหภูมิ 295 เคลวิน และค่าเฉลี่ยของพลังงานก่อกัมมันต์เท่ากับ 69 ± 9.3 kJ mol^{-1}