



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหว
ระดับโมเลกุลเพื่อสนับสนุนความเข้าใจโมเลกุลและการปรับแก้โมเลกุล
ระดับโมเลกุลสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ศรี สุภาธร และคณะ

พฤษภาคม 2558

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหว
ระดับโมเลกุลเพื่อสนับสนุนความเข้าใจโมเลกุลและการปรับแก้โมเลกุล
ระดับโมเลกุลสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

(DEVELOPMENT OF INQUIRY CHEMISTRY EXPERIMENTS IN
CONJUNCTION WITH MOLECULAR ANIMATIONS TO PROMOTE HIGH
SCHOOL STUDENTS' CONCEPTUAL UNDERSTANDING AND
CONCEPTUAL CHANGE AT MOLECULAR LEVEL)

คณะผู้วิจัย

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ศรี สุภาพร
2. รองศาสตราจารย์ ดร.วิรัช พรหมอารักษ์

สังกัด

คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
สำนักวิชาวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยและมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย "การพัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลเพื่อสนับสนุนความเข้าใจโมเมนต์และการปรับแก้โมเมนต์ระดับโมเลกุลสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย" รหัส TRG5680024 นี้ได้รับการสนับสนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (ม.อุ.) ผู้วิจัยขอขอบพระคุณหน่วยงานทั้งสองหน่วยงานที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยเป็นอย่างดีมา ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิรัช พรหมอารักษ์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ สาขาเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ปรึกษาโครงการวิจัยที่ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณภาคีวิชาเคมี และคณะวิทยาศาสตร์ และมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่เปิดโอกาสให้ผู้วิจัยได้ทำงานวิจัยนี้จนสำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณโรงเรียนสตรีสิริเกศ จังหวัดศรีสะเกษ และโรงเรียนเชียงแก้วพิทยาคม โรงเรียนศรีเมืองวิทยาคาร และโรงเรียนโพธิ์ไทรวิทยาคาร จังหวัดอุบลราชธานี ที่ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลวิจัยและทดลองชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลส่วนเป็นอย่างดี

ศักดิ์ศรี สุภาษร

ผู้วิจัย

พฤษภาคม 2558

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: TRG5680024

ชื่อโครงการ: การพัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลเพื่อสนับสนุนความเข้าใจโมเมนต์และการปรับแก้มโนเมนต์ระดับโมเลกุลสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

ชื่อนักวิจัย: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ศรี สุภาสาร

E-mail Address : saksri.supasorn@gmail.com

ระยะเวลาโครงการ: 3 มิถุนายน 2556 – 2 มิถุนายน 2558

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล (ICEMA) เพื่อสนับสนุนความเข้าใจโมเมนต์และการปรับแก้มโนเมนต์ระดับโมเลกุลสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 2 ชุด ประกอบด้วย ชุดที่ 1 เรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และชุดที่ 2 เรื่อง ไฟฟ้าเคมี โดยชุดการทดลองเหล่านี้มีการพัฒนาโดยอาศัยหลักการทดลองแบบย่อส่วน เคมีสีเขียว และการเรียนรู้แบบสืบเสาะ จากการจัดการเรียนรู้ ICEMA เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนเชียงแก้วพิทยาคม จำนวน 44 คน พบว่า ก่อนเรียนนักเรียนมีร้อยละโมเมนต์โมเมนต์ถูกต้อง คลาดเคลื่อน และผิดเป็น 13.69, 38.45 และ 47.86 ตามลำดับ และหลังเรียนเป็น 64.72, 24.65 และ 10.63 ตามลำดับ จากการทดสอบค่าทีแบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน พบว่า นักเรียนมีคะแนนโมเมนต์หลังเรียน (mean 45.32, SD 6.46) สูงกว่าก่อนเรียน (mean 19.70, SD 3.10) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ และจากการจัดการเรียนรู้ด้วย ICEMA เรื่อง ไฟฟ้าเคมี กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนโพธิ์ไทรพิทยาคาร จำนวน 45 คน พบว่า ก่อนเรียนนักเรียนมีโมเมนต์ถูกต้อง คลาดเคลื่อน และผิด คิดเป็นร้อยละ 10.68, 44.26 และ 45.06 ตามลำดับ และหลังเรียนนักเรียนมีโมเมนต์ถูกต้อง คลาดเคลื่อน และผิด คิดเป็นร้อยละ 44.30, 40.20 และ 15.50 ตามลำดับ จากการทดสอบค่าทีแบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน พบว่า นักเรียนมีคะแนนโมเมนต์หลังเรียน (mean 42.67, SD 8.94) สูงกว่าก่อนเรียน (mean 19.43, SD 6.94) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่า ICEMA สามารถสนับสนุนความเข้าใจโมเมนต์และการปรับแก้มโนเมนต์ระดับโมเลกุลสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำหลัก: การทดลองแบบสืบเสาะ ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล ความเข้าใจโมเมนต์ ไฟฟ้าเคมี อัตราการเกิดปฏิกิริยา เซลล์กัลวานิก

ABSTRACT

Project Code : TRG5680024

Project Title : DEVELOPMENT OF INQUIRY CHEMISTRY EXPERIMENTS IN CONJUNCTION WITH MOLECULAR ANIMATIONS TO PROMOTE HIGH SCHOOL STUDENTS' CONCEPTUAL UNDERSTANDING AND CONCEPTUAL CHANGE AT MOLECULAR LEVEL

Investigator : Asst.Prof. Dr.Saksri Supasorn

E-mail Address : saksri.supasorn@gmail.com

Project Period : June 3, 2013 – June 2, 2015

This study was aimed to development of two Inquiry Chemistry Experiments in conjunction with Molecular Animations (ICEMA) to promote high school students' conceptual understanding and conceptual changes at molecular level. These ICEMA included chemical reaction rate and electrochemistry, which were developed based on small-scale experiment, Green chemistry, and inquiry learning principles. The implementation of ICEMA titled chemical reaction rate for 44 Grade-11 students at Chiang Kaew Pittayakom School revealed that the percentages of students in each category of good-, alternative-, and mis-conception for the pre-conceptual test were 13.69, 38.45, and 47.86, respectively. Right after the implementation, the percentages were 64.72, 24.65, and 10.63, respectively. The dependent samples t-test analysis indicated that the post-test conception score (mean 45.32, SD 6.46) was statistically significantly higher than the post-test score (mean 19.70, SD 3.10) at p-value of 0.05. The implementation of ICEMA titled electrochemistry for 45 Grade-12 students at Phosai Pittayakarn School revealed that the percentages of students in each category of good-, alternative-, and mis-conception for the pre-conceptual test were 10.68, 44.26 and 45.06, and for their post-conceptual test were 44.30, 40.20 and 15.50, respectively. The dependent samples t-test analysis indicated that the post-test conception score (mean 42.67, SD 8.94) was statistically significantly higher than the pre-test score (mean 19.42, SD 6.94) at p-value of 0.05. Based on the research findings, the developed ICEMAs were effective to promote high school students' conceptual understanding and conceptual changes at molecular level.

Keyword: inquiry experiment, molecular animation, conceptual understanding, reaction rate, electrochemistry, galvanic cell

ผลผลิต (Output) จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.

รหัสโครงการ: TRG5680024
 ชื่อโครงการ: การพัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลเพื่อสนับสนุนความเข้าใจโมเดลและการปรับแก้โมเดลระดับโมเลกุลสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
 ชื่อนักวิจัย: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ศรี สุภาพร
 E-mail Address : saksri.supasorn@gmail.com
 ระยะเวลาโครงการ: 3 มิถุนายน 2556 – 2 มิถุนายน 2558

1. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ

โครงการวิจัยนี้มีการเผยแพร่บทความในวารสารระดับนานาชาติที่อยู่ฐานข้อมูล SCOPUS และมีค่า IMPACT FACTOR 1.309 จำนวน 2 บทความ ได้แก่

1. **Supasorn, S.** (2015). Grade 12 students' conceptual understanding and mental models of galvanic cells before and after learning by using small-scale experiments in conjunction with a model kit. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(2), 393-407. (DOI: 10.1039/C4RP00247D). Online available at <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2015/rp/c4rp00247d>
2. **Supasorn, S.* & Promarak, V.** (2015). Implementation of 5E inquiry incorporated with analogy learning approach to enhance conceptual understanding of chemical reaction rate for grade 11 students. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(1), 121-132. (DOI: 10.1039/C4RP00190G). Online available at <http://pubs.rsc.org/en/content/pdf/article/2014/rp/c4rp00190g>

นอกจากนี้ยังมีการเผยแพร่บทความในรายงานสืบเนื่องจากการประชุมระดับนานาชาติ (Proceedings) ที่อยู่ฐานข้อมูล EBSCO จำนวน 1 บทความ ได้แก่

1. **Supasorn, S.***, Khattiyavong, P., Jarujamrus, P., & Promarak, V. (2014). Small-Scale Inquiry-Based Experiments to Enhance High School Students' Molecular Conceptual Understanding of electrochemistry. *International Proceedings of Economics Development and Research (IPEDR) : 2014 4th International*

Conference on Education, Research and Innovation– ICERI 2014, 81: 85-91.

Editor: Feng Tao. Held at Novotel Pratunum Bangkok, Thailand, 25-26

September 2014.

2. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์เชิงวิชาการ (มีการพัฒนาการเรียนการสอน/สร้าง นักวิจัยใหม่)

โครงการวิจัยนี้มีการนำชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เพื่อสนับสนุนความเข้าใจโมเลกุลและการปรับแก้โมเลกุลระดับโมเลกุล เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ไปใช้ในการจัดการเรียนรู้จริงกับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนเชียงแก้วพิทยาคม จังหวัดอุบลราชธานี และมีการนำชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลเพื่อสนับสนุนความเข้าใจโมเลกุลและการปรับแก้โมเลกุลระดับโมเลกุล เรื่อง ไฟฟ้าเคมี ไปใช้ในการจัดการเรียนรู้จริงกับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนสตรีสิริเกศ จังหวัดศรีสะเกษ และโรงเรียนโพธิ์ไทรวิทยาคาร และโรงเรียนศรีเมืองวิทยาคาร จังหวัดอุบลราชธานี

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
โครงการโดยสรุป	ค
ผลผลิต (Output) จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ	5
บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 การทดลองแบบสลับเสาะ	7
2.3 การแสดงข้อมูลทางเคมีและความเข้าใจโมเมนต์	11
2.4 การจัดการเรียนรู้เกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี	17
2.5 การจัดการเรียนรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าเคมี	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	23
3.1 ชุดการทดลองเคมีแบบสลับเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี	23
3.2 ชุดการทดลองเคมีแบบสลับเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง ไฟฟ้าเคมี	34
บทที่ 4 ผลและการอภิปรายผล	41
4.1 ชุดการทดลองเคมีแบบสลับเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี	41
4.2 ชุดการทดลองเคมีแบบสลับเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง ไฟฟ้าเคมี	52

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	56
5.1 ชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง อตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี	56
5.2 ชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง ไฟฟ้าเคมี	59
เอกสารอ้างอิง	62
ภาคผนวก	72
ก กิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหว ระดับโมเลกุล เรื่อง อตราการเกิดปฏิกิริยา	73
ข กิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหว ระดับโมเลกุล เรื่อง ไฟฟ้าเคมี	89
ค ผลงานที่ได้รับการเผยแพร่	118
ง งบประมาณ	154

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เคมีเป็นหนึ่งในวิชาพื้นฐานที่จำเป็นต่อการเรียนรู้อุตสาหกรรมทุกสาขา (Ware, 2001) ทั้งวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ (เช่น ชีววิทยา ฟิสิกส์ และชีวเคมี) และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ (เช่น แพทย์ศาสตร์ เกษตรศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์) ดังนั้น นักเรียนสายสามัญระดับมัธยมศึกษา สายวิทยาศาสตร์ จึงต้องเรียนวิชาในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โดยมีวิชาเคมีอยู่ในสาระที่ 3 สารและสมบัติของสาร

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีได้ลงนามความร่วมมือ (MOU) กับโรงเรียนลือคำหาญ วารินชำราบ เพื่อร่วมจัดตั้งโครงการสนับสนุนการจัดตั้งห้องเรียนวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนโดยการกำกับดูแลของมหาวิทยาลัย (โครงการ ววมว.) ในปีงบประมาณ 2557 โดยคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ได้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนา นักเรียนในหลายๆ ด้าน ทำให้ได้รับทราบถึงปัญหาของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์หลายประการ นอกจากนี้ คณะวิทยาศาสตร์ ได้เปิดหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ศึกษา ตั้งแต่ ปีการศึกษา 2548 เป็นต้นมา โดยผู้วิจัยได้รับผิดชอบเป็นอาจารย์ผู้สอนและที่ปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ของนักศึกษาซึ่งเน้นการวิจัยเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ วิชาเคมีด้วยนวัตกรรมการเรียนรู้ต่างๆ ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติการ จากการแลกเปลี่ยน ประสบการณ์กับนักศึกษาที่ทำวิจัยช่วยให้ภาพปัญหาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในระดับ มัธยมศึกษาชัดเจนมากยิ่งขึ้น ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะปัญหาในการจัดการเรียนรู้รายวิชาเคมี ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย และเน้นการจัดการเรียนรู้ด้านการทดลองเคมี โดยสามารถแบ่ง ปัญหาออกเป็นประเด็นต่างๆ ได้ดังนี้

- 1) นักเรียนได้รับประสบการณ์ในการทำการทดลองเคมีไม่เพียงพอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทดลองเคมีแบบสืบเสาะ (Windale, 2008) ซึ่งมีสาเหตุมาจากโรงเรียนขนาดเล็กขาดอุปกรณ์ในการทำปฏิบัติการ สำหรับโรงเรียนขนาดใหญ่จะเน้นการสอนภาคบรรยายเพื่อให้ นักเรียนสอบเข้าเรียนต่อได้

- 2) มีการจัดปฏิบัติการค่อนข้างน้อย และในแต่ละปฏิบัติการต้องการให้นักเรียน ได้ทั้งเนื้อหาความรู้และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ควบคู่กันไป แต่เนื่องด้วยข้อจำกัด ของเวลาทำให้ต้องตัดทอนรายละเอียดสำคัญบางอย่างของการทดลองเคมีออกไป (Hofstein, 2004; Mohrig, Hammond & Colby, 2007)

3) ปฏิบัติการส่วนใหญ่เป็นปฏิบัติการแบบดั้งเดิม (traditional experiment) เน้นให้นักเรียนทำตามวิธีการทดลองอย่างเคร่งครัดเพื่อประหยัดเวลาในการทำปฏิบัติการ

4) ปฏิบัติการส่วนใหญ่ยังขาดการเชื่อมโยงมโนทัศน์สำคัญในระดับมหภาคและระดับโมเลกุล ซึ่งมีมโนทัศน์ในวิชาเคมีจำนวนมากเกี่ยวข้องกับเรื่องของนามธรรมที่มองไม่เห็นและสัมผัสไม่ได้ (intangible concept) อาจส่งผลให้นักเรียนมีมโนทัศน์ในระดับมหภาคถูกต้อง แต่อาจจะมีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนในระดับโมเลกุลได้

ข้อจำกัดเหล่านี้ทำให้นักเรียนขาดโอกาสในการพัฒนาทักษะการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (Windale, 2008) เช่น

1) การตั้งคำถามการทดลอง (identifying experimental question) และการตั้งสมมติฐาน (formulating hypothesis) โดยปฏิบัติการส่วนใหญ่จะข้ามขั้นตอนที่สำคัญเหล่านี้เพื่อเป็นการประหยัดเวลา ทำให้นักเรียนขาดการฝึกตั้งคำถามวิจัยหรือคำถามการทดลอง ซึ่งส่งผลให้นักเรียนไม่สามารถตั้งสมมติฐานที่สอดคล้องกับคำถามการทดลองได้

2) การออกแบบวิธีการทดลองด้วยตนเอง (experimental procedure design) เนื่องจากการทดลองส่วนใหญ่เป็นการทำตามคู่มือปฏิบัติการ (laboratory manual) ที่บอกขั้นตอนไว้อย่างละเอียดเหมือนตำราปรุงอาหาร (cookbook) ชุดปฏิบัติการลักษณะนี้สามารถช่วยให้นักเรียนได้ผลการทดลองตรงตามทฤษฎี แต่ล้มเหลวในการสร้างความเข้าใจว่าปฏิบัติการแต่ละขั้นมีความหมายหรือความสำคัญอย่างไร และส่งผลอย่างไรต่อผลการทดลอง (Clark, Clough & Berg, 2000; Lord & Orkwiszewski, 2006; Russell, & French, 2002)

3) การทดลอง (experimenting) โดยส่วนใหญ่แล้วนักเรียนจะมีโอกาสทำการทดลองตามขั้นตอนในตำรา แต่ยังขาดประสบการณ์ในการทดลองตามแผนที่นักเรียนมีส่วนร่วมในการออกแบบเอาไว้

4) การสร้างคำอธิบายจากหลักฐานการทดลอง (making explanations from experimental evidence) ผลการทดลองที่ได้กับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากปฏิบัติการส่วนใหญ่มุ่งเน้นให้นักเรียนทำการทดลองเพื่อพิสูจน์ทฤษฎีมากกว่าทำการทดลองเพื่อสร้างองค์ความรู้ ดังนั้น ผู้สอนจึงชี้แนะหรือบอกวิธีการต่างๆ ในการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นหลักฐาน และในการสร้างคำอธิบายจากหลักฐานการทดลอง

คณะวิจัยลงความเห็นว่าควรพัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลเพื่อสนับสนุนความเข้าใจโมเลกุลและการปรับแก้โมเลกุลระดับโมเลกุลสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้ชื่อย่อว่า “ชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล” (Inquiry Chemistry Experiment in Conjunction with Molecular Animation: **ICEMA**) โดย ICEMA ต้องมีคุณลักษณะสำคัญ ดังต่อไปนี้

1) ใช้วิธีการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ที่หลากหลาย และเหมาะสมกับพัฒนาการของผู้เรียน เพื่อให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการออกแบบวิธีการทดลอง สร้างคำอธิบาย และขยายแนวคิดจากการทดลองได้ด้วยตนเอง ทั้งนี้เพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนได้พัฒนาทั้งด้านองค์ความรู้ควบคู่ไปกับการพัฒนาทักษะการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์หาความรู้ด้วยตนเอง

2) เน้นให้เป็นชุดปฏิบัติการแบบย่อส่วนขนาดเล็ก (semi-small-scale laboratory) และสอดแทรกความเป็น Green chemistry ลงไปในปฏิบัติการเพื่อประหยัดทั้งด้านค่าใช้จ่ายในการทำปฏิบัติการ และลดภาระในการกำจัดของเสีย (waste) จากการทดลอง

3) มีภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล (molecular animation) ที่เชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับมหภาคกับสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับโมเลกุล

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อพัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล หรือ ICEMA เพื่อสนับสนุนความเข้าใจแนวคิดและการปรับแก้แนวคิดระดับโมเลกุลสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 2 ชุด ได้แก่ ชุดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และชุดไฟฟ้าเคมี

1.2.2 เพื่อศึกษาความเข้าใจแนวคิด (conceptual understanding) ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายก่อนและหลังการเรียนรู้ด้วย ICEMA เรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และเรื่อง ไฟฟ้าเคมี

1.2.3 เพื่อศึกษาการปรับแก้แนวคิด (conceptual change) ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายหลังการเรียนรู้ด้วย ICEMA เรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และเรื่อง ไฟฟ้าเคมี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการพัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล หรือ ICEMA เพื่อต้นแบบ (exemplary) ในการพัฒนาปฏิบัติการหรือกิจกรรมเคมีอื่นๆ ให้เป็นแบบสืบเสาะต่อไป โดยมีขอบเขตของการวิจัยดังนี้

1.3.1 ออกแบบและพัฒนา ICEMA ที่สอดคล้องกับเนื้อหารายวิชาเคมี ระดับ ม.4 หรือ ม.5 ในภาคเรียนที่ 1 และ 2

1.3.2 กลุ่มทดสอบ ICEMA ได้แก่ นักเรียนที่อยู่ในแผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 หรือ 5 ปีการศึกษา 2556 โรงเรียนลือคำหาญ วารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

1.3.3 กลุ่มทดลอง ICEMA เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ได้แก่ นักเรียนที่อยู่ในแผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2556 โรงเรียนเชียงแก้วพิทยาคม อำเภอตาลสุม จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 2 ห้องเรียน รวม 44 คน ได้จากการเลือกแบบเจาะจงจากประชากรที่เข้าร่วมกิจกรรมอย่างสม่ำเสมอ

1.3.4 กลุ่มทดลอง ICEMA เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ได้แก่ นักเรียนที่อยู่ในแผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557 โรงเรียนศรีเมืองวิทยาคาร อำเภอศรีเมืองใหม่ จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 1 ห้องเรียน รวม 45 คน ได้จากการเลือกแบบเจาะจงจากประชากรที่เข้าร่วมกิจกรรมอย่างสม่ำเสมอ

1.3.5 เป้าหมายหลักของโครงการวิจัยนี้ คือ มุ่งพัฒนา ICEMA และใช้เป็นเครื่องมือการพัฒนาความเข้าใจแนวคิดและการปรับแก้โมเดลระดับโมเลกุลสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.4.1 ชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล (Inquiry Chemistry Experiment in Conjunction with Molecular Animation: ICEMA) หมายถึง ชุดการทดลองเคมีที่สร้างเพื่อพัฒนาความเข้าใจเชิงโมเดลของการทดลอง โดยอาศัยกระบวนการสืบเสาะหาความรู้เป็นฐานในการเข้าใจโมเดลวิทยาศาสตร์ โดยชุดการทดลองเคมีแบบย่อส่วนจะมีลักษณะเป็นการย่อส่วนโดยการลดความเข้มข้นและลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ และมีคุณลักษณะเข้าข่ายของ Green chemistry นอกจากนี้ ยังมีการพัฒนาควบคู่กับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลเพื่อให้นักเรียนสามารถอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับมหภาคที่สังเกตได้จากการทดลองให้เชื่อมโยงกับสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับโมเลกุลที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

1.4.2 การทดลองเคมีแบบสืบเสาะ (inquiry chemistry experiment) หมายถึง การทดลองที่ออกแบบให้นักเรียนทำการทดลองผ่านวัฏจักรหรือกระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น (5E inquiry learning cycle) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอน (Bybee et al., 2006) ดังนี้

ขั้นที่ 1 การสร้างความสนใจ (engagement) เป็นการสร้างความสนใจในกิจกรรมการเรียนรู้ นักเรียนอาจสนใจวัตถุสิ่งของ ปัญหา เหตุการณ์ หรือสถานการณ์ต่างๆ โดยเป็นการเชื่อมโยงสิ่งที่ได้เรียนแล้วเข้ากับสิ่งที่กำลังจะได้เรียนต่อไป

ขั้นที่ 2 การสำรวจและค้นหา (exploration) เป็นการสำรวจและค้นหาคำตอบของนักเรียนโดยเพื่อสร้างประสบการณ์ เรียนรู้แนวคิดวิทยาศาสตร์ และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ผ่านการสังเกต การลงมือปฏิบัติ ตั้งและทดสอบสมมติฐาน แก้ปัญหา การหาตัวแปร และการตั้งคำถาม

ขั้นที่ 3 การอธิบาย (explanation) เป็นการอธิบายสิ่งที่ได้จากการสำรวจและค้นหาเชื่อมโยงเข้ากับขั้นสร้างความสนใจเพื่อนำเสนอแนวคิด กระบวนการ หรือทักษะ ที่ทำให้เข้าใจได้ง่าย ชัดเจนและตรงไปตรงมา และเพื่อเชื่อมโยงกับกิจกรรมการเรียนรู้ขั้นต่อไป

ขั้นที่ 4 การขยายความรู้ (elaboration) เป็นการขยายความรู้หรือแนวคิด เกิดความรู้ที่กว้างขวางขึ้น และเป็นการขยายความรู้ยังช่วยให้นักเรียนได้เผชิญกับสถานการณ์หรือปัญหาใหม่

ขั้นที่ 5 การประเมิน (evaluation) เป็นการประเมินที่อาจจะเกิดขึ้นอย่างไม่เป็นทางการระหว่างขั้นที่ 1 ถึง ขั้นที่ 4 หรืออาจจะเป็นการประเมินประเมินความรู้ตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้หลังจบขั้นที่ 4 ก็ได้

1.4.3 ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล (molecular animation) หมายถึง ภาพเคลื่อนไหวที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นเพื่อเสริมให้นักเรียนสามารถอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับมหภาคที่สังเกตได้จากการทดลองให้เชื่อมโยงกับสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับโมเลกุลที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เมื่อนักเรียนเข้าใจโมเลกุลวิทยาศาสตร์ในระดับโมเลกุลได้ถูกต้องก็จะส่งผลให้นักเรียนเข้าใจโมเลกุลเคมีได้ถูกต้องและลึกซึ้งมากขึ้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 มีต้นแบบในการออกแบบและพัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล (ICEMA) เพื่อสนับสนุนความเข้าใจโมเลกุลและการปรับแก้โมเลกุลระดับโมเลกุลในการเรียนรู้เนื้อหาเคมีอื่นๆ ต่อไป

1.5.2 นักเรียนกลุ่มทดลองมีความเข้าใจโมเลกุลถูกต้องและมีการปรับแก้โมเลกุลที่คลาดเคลื่อนในระดับโมเลกุลไปในทางที่ถูกต้องมากขึ้น และสามารถเรียนรู้เนื้อหาเคมีในหัวข้ออื่นที่เกี่ยวข้องได้เข้าใจอย่างลึกซึ้งต่อไป

1.5.3 มีแนวทางในการพัฒนาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โมเลกุลที่นักเรียนมีโมเลกุลที่คลาดเคลื่อนให้มีการปรับแก้โมเลกุลมากขึ้น

1.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

ขั้นตอน	เดือนที่							
	1 - 6		7 - 12		13 - 18		19 - 24	
1. ออกแบบและพัฒนา ICEMA ชุดที่ 1 อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และพัฒนา เครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล ชุดที่ 1								

ขั้นตอน	เดือนที่							
	1 - 6		7 - 12		13 - 18		19 - 24	
2. ทดสอบ ICEMA ชุดที่ 1 กับกลุ่มทดสอบ และปรับแก้ตามความเหมาะสม								
3. ทดลองใช้และเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง ICEMA ชุดที่ 1 กับกลุ่มตัวอย่าง (หรือกลุ่มทดลอง)								
4. วิเคราะห์ข้อมูล ICEMA ชุดที่ 1 และเขียนบทความเพื่อเผยแพร่ในวารสาร Chemistry Education Research and Practice (CERP)								
5. ออกแบบและพัฒนา ICEMA ชุดที่ 2 ไฟฟ้าเคมี และพัฒนาเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล ชุดที่ 2								
6. ทดสอบ ICEMA ชุดที่ 2 กับกลุ่มทดสอบ และปรับแก้ตามความเหมาะสม								
7. ทดลองใช้และเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง ICEMA ชุดที่ 2 กับกลุ่มตัวอย่าง (หรือกลุ่มทดลอง)								
8. วิเคราะห์ข้อมูล ICEMA ชุดที่ 2 และเขียนบทความเพื่อเผยแพร่ในวารสาร Chemistry Education Research and Practice (CERP)								
9. เผยแพร่และจัดอบรมการใช้ ICEMA ในการพัฒนาทักษะการสืบเสาะของนักเรียน								
10. เขียนรายงานฉบับสมบูรณ์เสนอ สกว.								

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 5 ด้าน ดังนี้

- 1) การทดลองแบบสืบเสาะ
- 2) การแสดงข้อมูลทางเคมีและความเข้าใจโมเลกุล
- 3) เมนทอลโมเดลกับการความเข้าใจโมเลกุลระดับโมเลกุล
- 4) การเรียนรู้เกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
- 5) การเรียนรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าเคมี

2.1 การทดลองแบบสืบเสาะ

2.1.1 การทดลองเคมีแบบเดิมและการทดลองเคมีแบบสืบเสาะ

การทดลองเคมีแบบดั้งเดิมเป็นวิธีที่ประสบผลสำเร็จอย่างมากในการพัฒนาทักษะการสังเกตของนักเรียน และสามารถเชื่อมโยงภาคทฤษฎีเข้ากับภาคปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การทดลองแบบดั้งเดิมเป็นการทำตามที่คุณมีบอกและเป็นสิ่งที่นักเรียนทราบแล้ว จึงมีความท้าทายทางสติปัญญาค่อนข้างน้อยและมักไม่ประสบผลสำเร็จในการเพิ่มทักษะการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์หาความรู้ (Green, Elliott and Cummins, 2004)

ในทางตรงกันข้าม การทดลองแบบสืบเสาะซึ่งมุ่งเน้นให้นักเรียนตั้งคำถาม ตั้งสมมติฐาน ออกแบบและทำการทดลองด้วยตนเอง และสร้างความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ (scientific understanding) โดยการเชื่อมโยงระหว่างความรู้เดิมเข้ากับหลักฐานที่ได้จากการทดลองทางวิทยาศาสตร์ (science experimental evidence) และสร้างเป็นองค์ความรู้ขึ้นมา (Hand and Keys, 1999) การทดลองแบบสืบเสาะจึงเป็นการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ฝึกการสำรวจตรวจสอบหรือการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์หาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นกระบวนการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการค้นพบความรู้ทางวิทยาศาสตร์นั่นเอง (Green, Elliott and Cummins, 2004) ดังนั้น โรงเรียนส่วนใหญ่จึงสนับสนุนการจัดการเรียนรู้วิชาเคมีแบบสืบเสาะทั้งภาคบรรยายและการทดลอง รวมทั้งการสร้างสื่อการเรียนรู้อิเล็กทรอนิกส์โดยอาศัยหลักการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์อีกด้วย ทั้งนี้ เพื่อให้นักเรียนได้สร้างความเข้าใจในหลักการและทักษะกระบวนการในการหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง (Sanger, 2008)

2.1.2 การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์

ในศตวรรษที่ 21 เป็นยุคของการปฏิรูปทางวิทยาศาสตร์ศึกษาทั้งด้านความรู้ในเนื้อหา (content knowledge) และความรู้ด้านวิธีการสอน (pedagogical knowledge) โดยระบบ

การศึกษาของประเทศสหรัฐอเมริกาได้กระตุ้นให้จัดการเรียนรู้โดยการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์หาความรู้เป็นฐาน (inquiry-based learning) ในระดับมัธยมศึกษา โดยนักวิทยาศาสตร์ศึกษาได้ให้ความหมายของคำว่า “การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (inquiry)” ใน 2 ด้าน (Blonder, Mamlok-Naaman and Hofstein, 2008) ได้แก่

1) การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในด้านของความเข้าใจเนื้อหา (content understanding) โดยผู้เรียนเป็นคนสร้างมโนคติ ความเข้าใจ และคำอธิบายในสิ่งที่ผู้เรียนกำลังสัมผัสอยู่

2) การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ในด้านความสามารถและทักษะ ได้แก่ การตั้งคำถาม การตั้งสมมติฐาน การออกแบบและลงมือสำรวจตรวจสอบทางวิทยาศาสตร์ การสร้างและแก้ไขคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ และการสื่อสารและแสดงผลในการตอบคำถามถามที่เกี่ยวข้องได้ ซึ่งการทดลองแบบสืบเสาะมีศักยภาพเพียงพอในการพัฒนาทักษะสำคัญเหล่านี้

2.1.3 การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์

ในประเทศไทยใช้คำศัพท์ “การสืบเสาะ” อยู่ 2 คำ ได้แก่ การสืบเสาะความรู้ (inquiry) และการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (science inquiry) ซึ่งมีวิธีการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่แตกต่างกันออกไป โดยการสืบเสาะแบบ 5E และ 7E เป็นรูปแบบที่ได้รับความนิยมในการสอนวิทยาศาสตร์ในประเทศไทย สำหรับการสืบเสาะแบบ 5E ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน (ชาติริฝ่ายคำตา, 2551) ได้แก่

1) ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) เป็นการสร้างความสนใจในกิจกรรมการเรียนรู้ นักเรียนอาจสนใจวัตถุสิ่งของ ปัญหา เหตุการณ์ หรือสถานการณ์ต่างๆ โดยเป็นการเชื่อมโยงสิ่งที่ได้เรียนแล้วเข้ากับสิ่งที่กำลังจะได้เรียนต่อไป

2) ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) เป็นการสำรวจและค้นหาคำตอบของนักเรียนโดยเพื่อสร้างประสบการณ์ เรียนรู้แนวคิดวิทยาศาสตร์ และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ผ่านการสังเกต การลงมือปฏิบัติ ตั้งและทดสอบสมมติฐาน แก้ปัญหา การหาตัวแปร และการตั้งคำถาม

3) ขั้นอธิบาย (Explanation) เป็นการอธิบายสิ่งที่ได้จากการสำรวจและค้นหา เชื่อมโยงเข้ากับขั้นสร้างความสนใจเพื่อนำเสนอแนวคิด กระบวนการ หรือทักษะ ที่ทำให้เข้าใจได้ง่าย ชัดเจนและตรงไปตรงมา และเพื่อเชื่อมโยงกับกิจกรรมการเรียนรู้ขั้นต่อไป

4) ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) เป็นการขยายความรู้หรือแนวคิด เกิดความรู้ที่กว้างขวางขึ้น และเป็นการขยายความรู้ยังช่วยให้นักเรียนได้เผชิญกับสถานการณ์ใหม่

5) ขั้นประเมิน (Evaluation) เป็นการประเมินที่อาจจะเกิดขึ้นอย่างไม่เป็นทางการระหว่างขั้นที่ 1 ถึง ขั้นที่ 4 หรืออาจจะเป็นการประเมินประเมินความรู้ตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้หลังจบขั้นที่ 4 ก็ได้

นอกจากนี้ยังมีการสืบเสาะความรู้ในรูปแบบอื่นอีก เช่น แบบปฏิบัติการแบบปัญหาเป็นฐาน และแบบโครงงาน อย่างไรก็ตาม กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงคุณลักษณะสำคัญ 5 ประการของการเรียนรู้แบบสืบเสาะที่กำหนดไว้ใน Inquiry and the National Science Education Standards ของสหรัฐอเมริกา (National Research Council, 2000) ดังนี้ (ดูภาพที่ 4.1)

- 1) ผู้เรียนเกิดแรงจูงใจในคำถามทางวิทยาศาสตร์และสนใจที่จะหาคำตอบด้วยวิธีทางวิทยาศาสตร์
- 2) ผู้เรียนหาหลักฐานเพื่อใช้ในการตอบคำถาม โดยหลักฐานนั้นอาจจะมาจากการออกแบบวิธีการหาคำตอบ ลงมือเก็บหลักฐานด้วยตัวนักเรียนเอง หรือได้รับหลักฐานมาจากแหล่งอื่นโดยนักเรียนมีหน้าที่ลำดับความสำคัญของหลักฐานที่สามารถนำมาสร้างคำอธิบายเพื่อตอบคำถามก็ได้
- 3) ผู้เรียนสร้างคำอธิบายจากหลักฐานการทดลองเพื่อตอบคำถาม
- 4) ผู้เรียนเชื่อมโยงคำอธิบาย พร้อมกับการประเมินเปรียบเทียบกับคำอธิบายของตนเองกับคำอธิบายอื่นๆ ที่อาจเป็นไปได้
- 5) ผู้เรียนสามารถสื่อสารและแสดงผลในการตอบคำถามที่เกี่ยวข้องได้



ภาพที่ 2.1 คุณลักษณะสำคัญ 5 ประการของการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (SCALE, 2011)

การนำกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์มาใช้ในการจัดการเรียนรู้วิชาเคมี เพื่อให้นักเรียนได้ฝึกการใช้ทรัพยากรการเรียนรู้ ฝึกการทำงานเป็นกลุ่ม และเพิ่มทักษะการคิดวิเคราะห์และการคิดวิพากษ์ และที่สำคัญที่สุด คือ นักเรียนได้สัมผัสวิทยาศาสตร์ที่แท้จริง (Black, 1996) และในการทดลองแบบสืบเสาะนั้น ผู้สอนและคู่มือการทดลองจะไม่ชี้แหล่งความรู้หลักอีกต่อไป แต่จะเป็นเพียงสิ่งที่แนะนำหรือแรงผลักดันที่ทำให้นักเรียนสามารถเรียนรู้ โดยผ่านกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง (Montes, Lai and Sanabria, 2003)

ในการเตรียมพร้อมนักเรียนให้สามารถรับผลประโยชน์จากกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะแต่ละระดับอย่างมีประสิทธิภาพนั้นจะต้องคำนึงถึงความรู้พื้นฐานที่จำเป็นสำหรับกิจกรรมนั้น การใช้ทักษะการทดลองที่เหมาะสมกับนักเรียน การให้อิสระผู้เรียนตลอดการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เริ่มจากขั้นการตั้งคำถามจนถึงขั้นการสื่อสารผลการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ โดยครูคอยให้คำชี้แนะเท่าที่จำเป็น (Bruck and Towns, 2009)

การนำกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์มาใช้ในการจัดการเรียนการสอนภาคปฏิบัตินั้นก็ได้รับความนิยมมากในช่วง 2-3 ทศวรรษที่ผ่านมา เช่น Suzanne Black (1996) ได้ทดลองใช้ปฏิบัติแบบสืบเสาะกับนักเรียนรายวิชาเคมีทั่วไป ณ McGill University และรายงานว่าการทดลองแบบสืบเสาะมีประโยชน์ต่อนักเรียนมาก เพราะในแต่ละขั้นของปฏิบัติการ (ขั้นเตรียม ขั้นทำ และเขียนรายงานผลปฏิบัติการ) นักเรียนได้ฝึกการใช้ทรัพยากรการเรียนรู้ในมหาวิทยาลัย ฝึกการทำงานเป็นกลุ่ม และเพิ่มทักษะการคิดวิเคราะห์และการคิดวิพากษ์ และที่สำคัญที่สุด คือ นักเรียนได้ทำวิจัยทางเคมีและสัมผัสวิทยาศาสตร์ที่แท้จริง

คณะวิจัย ณ University of Puerto Rico (Montes, Lai & Sanabria, 2003) ได้ทดลองใช้การทดลองแบบสืบเสาะเกี่ยวกับหลักการ Like dissolves like และรายงานว่า หลังจากที่นักเรียนทำการทดลองแบบสืบเสาะแล้ว นักเรียนเข้าใจหลักของการละลายและปัจจัยที่มีผลต่อการละลายดีขึ้นกว่าจากการทำปฏิบัติการแบบดั้งเดิม คณะวิจัยยังเสนอว่า ในการทดลองแบบสืบเสาะนั้น ผู้สอนและคู่มือปฏิบัติการจะไม่ชี้แหล่งความรู้หลักอีกต่อไป แต่จะเป็นเพียงสิ่งที่แนะนำหรือแรงผลักดันที่ทำให้นักเรียนสามารถเรียนรู้โดยผ่านกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง

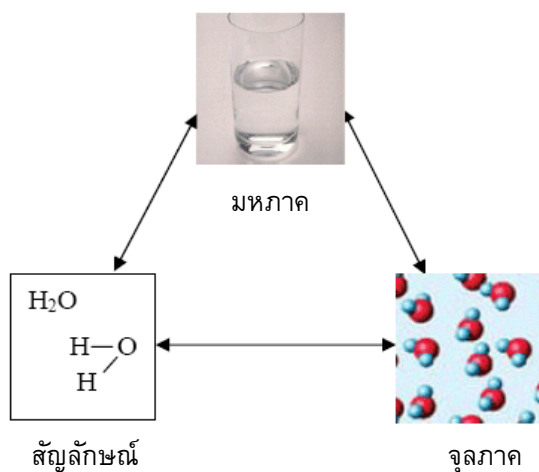
คณะวิจัยนำโดย Blonder, Mamlok-Naaman และ Hofstein (2008) จาก Chemistry Group of the Department of Science Teaching จากสถาบัน Weizmann Institute of Science ประเทศอิสราเอล ได้ทำการวิจัยเพื่อศึกษาเกี่ยวกับการตั้งคำถามสืบเสาะของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายจากการจัดการทดลองเคมีปลายเปิด (open-ended experiment) โดยใช้เทคนิคขั้นสูง เรื่อง แก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography) จากการวิเคราะห์คำถามของนักเรียนที่มีระดับผลสัมฤทธิ์แตกต่างกัน พบว่า นักเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์ต่ำและปานกลาง (low and average achieving students) จะตั้งคำถามสืบเสาะเกี่ยวกับเนื้อหาที่เรียนเป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้เพื่อเป็นการทบทวนสิ่งที่เคยเรียนมาให้เข้าใจมากขึ้น และเพื่อตั้งสมมติฐานให้สอดคล้องกับ

เนื้อหาตนเอง สำหรับ *นักเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์สูง (high achieving students)* เป็นกลุ่มที่เข้าใจเนื้อหาดีแล้ว มักจะตั้งคำถามสืบเสาะเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือขั้นสูงและวิธีในการหาคำตอบในเชิงการวิจัย ซึ่งมีความท้าทายมากกว่าในกรณีแรก ส่วน *นักเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์ดีเลิศ (excellent students)* มักจะตั้งคำถามในด้านการบูรณาการความรู้ เทคนิค และเครื่องมือที่ใช้เข้ากับวิชาอื่นๆ และกับชีวิตประจำวัน คณะวิจัยจึงลงข้อสรุปว่า ปฏิบัติการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ปลายเปิดที่ใช้เทคนิคขั้นสูง (advance technique and open-ended inquiry experiment) สามารถประยุกต์ใช้ได้กับกลุ่มนักเรียนที่มีระดับสติปัญญาและระดับความสามารถที่หลากหลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 การแสดงข้อมูลทางเคมีและความเข้าใจโมเลกุล

เคมีเป็นหนึ่งในวิชาแกนของวิทยาศาสตร์ที่จำเป็นต่อการเรียนรู้และการเข้าใจวิชาวิทยาศาสตร์อื่นๆ เช่น ชีววิทยา ฟิสิกส์ และวัสดุศาสตร์ (Ware, 2001) แต่เคมีกลับเป็นวิชาที่นักเรียนส่วนใหญ่ลงความเห็นว่ายาก น่าเบื่อ และไม่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน (Kegley, Stac & Gutwill, 1996) ปัจจัยเหล่านี้ล้วนทำให้นักเรียนไม่สนใจเรียนและมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำ

การแสดงข้อมูลต่างๆ ในวิชาเคมีเป็นการอธิบายสมบัติ การเปลี่ยนแปลง ปฏิกิริยา หรือปฏิกิริยาในเคมี แบ่งออกเป็น 3 ระดับ (ภาพที่ 4.2) ได้แก่



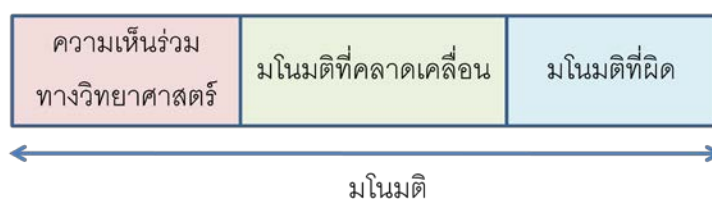
ภาพที่ 4.2 ระดับของการแสดงข้อมูลในวิชาเคมี

1) การแสดงผลในระดับมหภาค (macroscopic representation) ซึ่งเป็นการอธิบายสมบัติของสารหรือปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น การเกิดสนิม การเปลี่ยนสี และการละลาย เป็นต้น

2) การแสดงผลในระดับจุลภาคหรือระดับโมเลกุล (microscopic or molecular representation) เป็นการอธิบายในระดับที่บ่งบอกว่าสารที่สังเกตนั้นประกอบด้วยอะตอมโมเลกุล หรือไอออนอะไรบ้าง

3) การแสดงผลในระดับสัญลักษณ์ (symbolic representation) ซึ่งเป็นการอธิบายการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ทางเคมีด้วยการใช้สัญลักษณ์เคมี เช่น สูตรเคมี สมการเคมี และแบบจำลอง (Johnstone, 1993)

มโนคติในวิชาเคมีจำนวนมากเกี่ยวข้องกับเรื่องของนามธรรม (abstraction) ที่มองไม่เห็นและสัมผัสไม่ได้ (intangible) ในระดับจุลภาคและระดับสัญลักษณ์ เช่น พันธะเคมี ของแข็ง-ของเหลว-แก๊ส เคมีนิวเคลียร์ และสูตรโครงสร้างของสาร เป็นต้น ทำให้นักเรียนจำนวนมากมีปัญหาในการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของการแสดงผลทางเคมีทั้งสามระดับ กล่าวคือ เมื่อแสดงผลในระดับสัญลักษณ์ นักเรียนอาจจะอธิบายสมบัติในระดับจุลภาคและระดับมหภาคไม่ได้ หรือเมื่อแสดงผลในระดับมหภาค นักเรียนอาจจะอธิบายสมบัติในระดับจุลภาคและสัญลักษณ์ไม่ได้ และทำให้นักเรียนสร้างมโนคติที่ผิด (misconception) หรืออาจจะเป็นมโนคติที่คลาดเคลื่อน (alternative conception) จากความความเห็นร่วมทางวิทยาศาสตร์ (scientific consensus) แต่หนังสือบางเล่มอาจจะเรียก “มโนคติที่คลาดเคลื่อน” ว่า “มโนคติทางเลือก” ดังแสดงในภาพที่ 4.3 ซึ่งการปรับแก้มโนคติที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนอาจจะเป็นเรื่องยาก และการสาธิตมโนคติที่ถูกต้องที่ขัดแย้งกับมโนคติที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนอาจจะไม่เพียงพอที่จะทำให้นักเรียนปรับแก้มโนคติที่คลาดเคลื่อนได้ (Taber, 2002; Vosniadou, 2002) เพราะเมนทอลโมเดลของนักเรียนยังมีที่ว่างให้กับมโนคติที่คลาดเคลื่อนอยู่เสมอ (Mulford & Robinson, 2002)



ภาพที่ 4.3 ความเห็นร่วมทางวิทยาศาสตร์ มโนคติที่คลาดเคลื่อน และมโนคติที่ผิด

การเรียนการสอนในศตวรรษที่ 21 ได้มีตัวช่วยในการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพอย่างหลากหลาย และมัลติมีเดีย เช่น ภาพเคลื่อนไหว (animation) และสถานการณ์จำลอง (simulation) ก็เป็นอีกหนึ่งวิธีการที่สามารถช่วยให้นักเรียนสามารถอธิบายสมบัติทางเคมีของสารและปรากฏการณ์ทางเคมีในระดับต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น กล่าวคือ ภาพเคลื่อนไหวสามารถช่วยให้นักเรียนมองเห็นและเข้าใจสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับจุลภาคหรือระดับ

โมเลกุล เชื่อมโยงเข้ากับสิ่งที่เห็นในระดับมหภาค และสามารถเขียนอธิบายให้เข้าใจตรงกันได้ อย่างสากลในระดับสัญลักษณ์

2.3 เมททอลโมเดลกับการความเข้าใจโมเลกุลระดับโมเลกุล

2.3.1 เมททอลโมเดลกับการความเข้าใจโมเลกุลระดับโมเลกุล

คำว่า “เมททอลโมเดล” (mental model) มีความหมายแตกต่างกันออกไปตาม ศาสตร์หรือสาขาที่ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้ แต่ในบริบททางการศึกษา เมททอลโมเดล หมายถึง “โมเดลที่สะท้อนถึงความคิด ความเข้าใจ หรือการรับรู้ของบุคคลที่สร้างขึ้นจากการนำข้อมูลใหม่ (new knowledge) ที่ได้รับมาผนวกเข้ากับความรู้เดิม (existing knowledge) เพื่ออธิบาย เกี่ยวกับกระบวนการ ปรากฏการณ์ หรือระบบที่สนใจ” (Bodner, 2007; Johnson-Laird, 1983) โดยเมททอลโมเดลอาจจะเป็นโมเดลเชิงกายภาพ (physical mental model) เช่น คำพูด รูปภาพ ไดอะแกรม ภาพเคลื่อนไหว และโมเดลจำลอง เป็นต้น หรืออาจจะเป็นโมเดลเชิงความเข้าใจเชิง มโนคติ (conceptual understanding model) เช่น เช่น โมเดลของแนวคิด ความคิด และมโนคติ ที่มองไม่เห็น เป็นต้น (Coll & Treagust, 2003)

เมททอลโมเดลเป็นส่วนสำคัญในการสร้างมโนคติทางการเรียนของนักเรียน (Glynn & Duit, 1995) และมีบทบาทอย่างมากในการทำความเข้าใจมโนคติทางเคมีในระดับ โมเลกุล ทั้งนี้เพราะเนื้อหาและหลักการในวิชาเคมีจำนวนมากเกี่ยวข้องกับการแสดงผลในระดับ โมเลกุลหรือระดับจุลภาคซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่สามารถเข้าถึงได้จากระบบการรับรู้โดยตรง (direct perception) (Briggs & Bodner, 2005) ดังนั้น นักเรียนจะต้องสร้างเมททอลโมเดลของตนเอง ขึ้นมาเพื่อทำความเข้าใจมโนคติที่สัมผัสไม่ได้และมองไม่เห็นเหล่านี้ให้สามารถเชื่อมโยงเข้ากับ โลกในระดับมหภาคให้ได้ (Johnstone, 1993) ซึ่งกระบวนการสร้างสิ่งที่มองไม่เห็นให้มีความ สมเหตุสมผลจึงเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยาก อย่างไรก็ตาม เมททอลโมเดลเป็นสิ่งที่สามารถ เปลี่ยนแปลงได้ กล่าวคือ เมื่อเมททอลโมเดลของนักเรียนไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ใน บริบทใหม่ได้ นักเรียนก็จะปรับปรุงเมททอลโมเดลใหม่เพื่อให้เข้ากับสถานการณ์ใหม่ หรือเมื่อ นักเรียนได้รับข้อมูลใหม่เข้ามา นักเรียนจะสกัดข้อมูลที่เป็นประโยชน์และใช้ในการปรับปรุง เมททอลโมเดลเดิมให้สอดคล้องกับความเข้าใจหรือให้ถูกต้องมากที่สุดตามความคิดของนักเรียน (Glynn & Duit, 1995; Kozma & Russell, 1997; Yang, Andre & Greenbowe, 2003) ดังนั้น เมททอลโมเดลจึงเป็นเครื่องมือสำคัญอย่างหนึ่งที่สามารถใช้ในการสำรวจความเข้าใจเชิงมโนคติ (conceptual understanding) ของนักเรียนเกี่ยวกับกระบวนการที่ต้องการสำรวจ โดยเฉพาะ อย่างยิ่งกระบวนการที่เกิดขึ้นในระดับโมเลกุลและกระบวนการที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าอื่นๆ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบภาพเคลื่อนไหวที่มีประสิทธิภาพนั่นเอง (Johnson-Laird, 1983)

2.3.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการสร้างเมนทอลโมเดลจากการดูภาพเคลื่อนไหว

ภาพเคลื่อนไหวระดับจุลภาคหรือระดับโมเลกุล (microscopic or molecular animation) หมายถึง การแสดงภาพจำลองเหตุการณ์หรือสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับจุลภาคหรือระดับโมเลกุล ซึ่งจะมีรายละเอียดที่บ่งบอกว่าสารนั้นมีโมเลกุล อะตอม หรือไอออนอะไรบ้างเป็นองค์ประกอบ ภาพเคลื่อนไหวเหล่านี้สามารถทำให้นักเรียนมองเห็นภาพในระดับโมเลกุลได้

Mayer (1999) ได้กล่าวถึงกระบวนการทัศนเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างบุคคล (individual differences paradigm) เอาไว้ว่า การที่นักเรียนประสบผลสำเร็จในการเรียนแตกต่างกันนั้น เพราะนักเรียนมีความรู้เดิมและความสามารถทางมิติสัมพันธ์แตกต่างกัน ซึ่งปัจจัยทั้งสองอย่างนี้มีบทบาทสำคัญต่อความสามารถในการสร้างเมนทอลโมเดลของนักเรียน ซึ่ง Mayer & Moreno (1998) ได้ตั้งสมมติฐานตามทฤษฎีทางปัญญาไว้ 2 ข้อ ดังนี้

1) นักเรียนที่มีความรู้เดิมมากจะสามารถสร้างเมนทอลโมเดลจากการดูภาพเคลื่อนไหวได้ดีกว่านักเรียนที่มีความรู้เดิมน้อย

2) นักเรียนที่มีความสามารถทางมิติสัมพันธ์ (spatial ability) สูงจะสามารถสร้างเมนทอลโมเดลจากการดูภาพเคลื่อนไหวได้ดีกว่านักเรียนที่มีความสามารถทางมิติสัมพันธ์ต่ำ

ดังนั้น นักเรียนที่มีทั้งความรู้เดิมมากและความสามารถทางมิติสัมพันธ์สูงน่าจะสร้างเมนทอลโมเดลจากการดูภาพเคลื่อนไหวได้ดี มีทักษะการแก้โจทย์ปัญหา และส่งผลให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักเรียนกลุ่มอื่น (Mayer & Gallini, 1991) อย่างไรก็ตาม นักเรียนที่มีทั้งความรู้เดิมน้อยและความสามารถทางมิติสัมพันธ์ต่ำอาจจะเป็นกลุ่มที่สามารถได้รับประโยชน์จากการดูภาพเคลื่อนไหวได้มากขึ้น ถ้าภาพเคลื่อนไหวนั้นได้ผ่านการออกแบบให้เสริมการพัฒนากระบวนการทางสติปัญญา 3 ขั้นตอน (Mayer, 1999) ได้แก่

- 1) มีการเลือกภาพและเสียงที่ทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด
- 2) มีการจัดระบบข้อมูลภาพให้เป็นเมนทอลโมเดลแบบภาพ (visual mental model) และข้อมูลเสียงเป็นเมนทอลโมเดลแบบประโยคหรือคำพูด (verbal mental model)
- 3) มีการบูรณาการเมนทอลโมเดลแบบภาพและแบบคำพูดเข้าด้วยกันและบูรณาการเข้ากับความรู้เดิมเพื่อสร้างเป็นเมนทอลโมเดลใหม่ที่สมบูรณ์ขึ้น

Clark (2005) ได้เสนอวิธีการในการใช้ภาพเคลื่อนไหวเพื่อช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างเมนทอลโมเดลจากมโนคติที่นำเสนอภาพเคลื่อนไหวไว้ 4 วิธี ได้แก่

1) จัดลำดับมโนคติที่สอดคล้องกันโดยนำเสนอองค์ประกอบย่อย (subcomponents) และมโนคติย่อยที่สอดคล้องกันก่อนที่จะนำเสนอองค์ประกอบรวมทั้งระบบหรือทั้งกระบวนการ ทั้งนี้เพื่อให้นักเรียนสามารถจัดการกับภาระการทำงานทางปัญญาหรือภาระการทำงานทางด้านพุทธิปัญญา (cognitive load) ของตนเองได้อย่างเหมาะสม

2) ควรให้นักเรียนควบคุมภาพเคลื่อนไหวได้เอง เพื่อให้นักเรียนดูภาพเคลื่อนไหวและรับข้อมูลเนื้อหาไปตามจังหวะหรืออัตราที่เหมาะสมกับศักยภาพของตนเอง

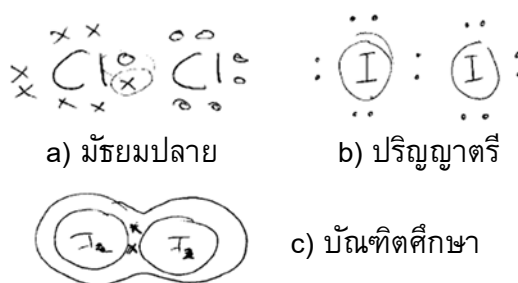
3) ควรอธิบายภาพเคลื่อนไหวโดยใช้การบรรยายด้วยเสียงแทนการใช้ข้อความบนจอ เพื่อลดการทำงานของความจุหน่วยความจำด้านการมองเห็น (visual working memory capacity)

4) ใช้ตัวชี้นำเชิงประจักษ์ (visual cue) ประกอบภาพเคลื่อนไหว เพื่อให้นักเรียนมุ่งความสนใจไปยังองค์ประกอบที่สำคัญของภาพเคลื่อนไหวที่กำลังดูอยู่

2.3.3 เมนทอลโมเดลระดับโมเลกุลในวิชาเคมี

เนื้อหาวิชาเคมีส่วนใหญ่เป็นมโนคติในระดับโมเลกุลที่ไม่สามารถจับต้องหรือมองเห็นได้ ดังนั้น เครื่องมือจินตภาพ (visualization) ในระดับโมเลกุลจึงมีบทบาทสำคัญในการสร้างเมนทอลโมเดลเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่สนใจสำหรับนักเรียนและนักศึกษา (Briggs & Bodner, 2005) ผู้เขียนขอยกตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวเมนทอลโมเดลในวิชาเคมี ดังนี้

Coll & Treagust (2001) ได้ศึกษาเมนทอลโมเดลเกี่ยวกับพันธะเคมีของผู้เรียนสามระดับ ได้แก่ มัธยมศึกษา ปริญญาตรี และบัณฑิตศึกษา พบว่า ผู้เรียนทั้งสามกลุ่มเกณฑ์ที่จะวาดเมนทอลโมเดลของการเกิดพันธะเคมีอย่างง่าย เช่น แบบทะเลหมอกอิเล็กตรอน (electron cloud) และกฎออกเตต (octet rule) ดังแสดงในภาพที่ 4.4 แต่ผู้เรียนในระดับที่สูงขึ้นจะเพิ่มรายละเอียดที่ได้เรียนรู้ผ่านมาในการอธิบายโมเดลมากขึ้น คณะวิจัยจึงสรุปว่า เมนทอลโมเดลเกี่ยวกับพันธะเคมีของผู้เรียนจะเป็นโมเดลที่ค่อนข้างเสถียร และเปลี่ยนแปลงได้ยาก ทั้งนี้ เมื่อเรียนในระดับที่สูงขึ้นก็ยังใช้โมเดลเดิม เพียงแต่เพิ่มรายละเอียดของการอธิบายมากขึ้นเท่านั้น



ภาพที่ 4.4 เมนทอลโมเดลการเกิดพันธะในโมเลกุล I_2 หรือ Cl_2 ของผู้เรียนระดับต่างๆ

อย่างไรก็ตาม การใช้โมเดลอย่างง่ายในการอธิบายก็ไม่ได้หมายความว่าผู้เรียนมีความเข้าใจเรื่องพันธะเคมีอย่างจำกัด เพราะถ้าโมเดลที่วาดขึ้นใช้ไม่ได้กับสถานการณ์ใหม่หรืออธิบายสมบัติทางกายภาพหรือทางเคมีของสารนั้น ผู้เรียนก็จะใช้โมเดลใหม่ที่ซับซ้อนมากขึ้น ในการอธิบายสถานการณ์ใหม่หรือสมบัติของสารนั้นแทน เช่น โมเดลการเกิดพันธะกับออร์บิทัลเป็นต้น (Coll & Taylor, 2002)

Williamson & Abraham (1995) ได้ศึกษาผลของภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลต่อเมนทอลโมเดลเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางเคมีของนักศึกษาที่ลงทะเบียนรายวิชาเคมีทั่วไป

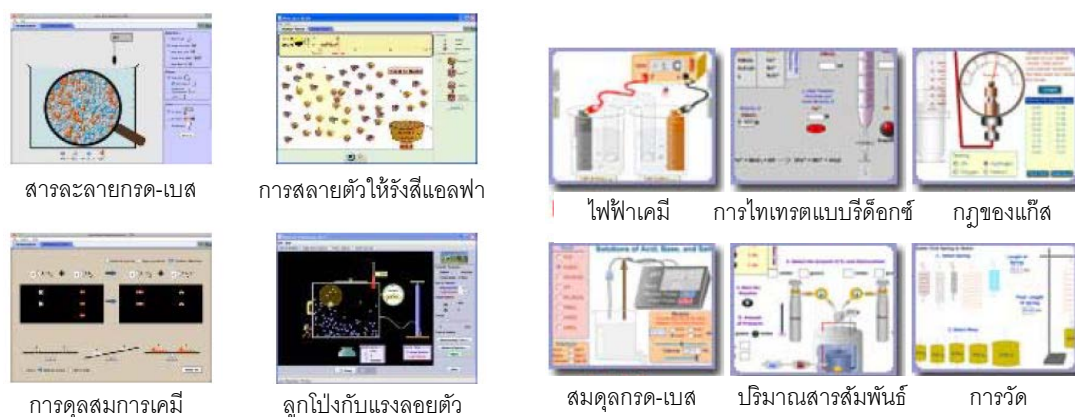
และพบว่า กลุ่มนักศึกษาที่ได้ดูภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลมีความเข้าใจเชิงมโนคติของปรากฏการณ์เคมีในระดับโมเลกุลมากกว่ากลุ่มนักศึกษาที่ดูภาพนิ่ง โดยกลุ่มนักศึกษาที่ได้ดูภาพเคลื่อนไหวสามารถวาดภาพเมนทอลโมเดลของปรากฏการณ์ทางเคมีระดับโมเลกุลได้ดี เป็นโมเดลที่มีความต่อเนื่อง ในขณะที่กลุ่มนักศึกษาที่ดูภาพนิ่งจะวาดภาพเมนทอลโมเดลในระดับโมเลกุลได้ค่อนข้างน้อย เป็นโมเดลแบบไม่ต่อเนื่อง และส่วนใหญ่ยึดติดกับเมนทอลโมเดลในระดับมหภาค

2.3.4 แหล่งภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลที่น่าสนใจ

การจัดการเรียนรู้อาชีววิทยาศาสตร์ในยุคไอซีทีปัจจุบันนี้มีตัวช่วยมากมาย ในที่นี้จะขอเสนอแหล่งเรียนรู้ด้านภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลในวิชาเคมีที่น่าสนใจทั้งแบบภาพเคลื่อนไหวธรรมดา (animation) และแบบสถานการณ์จำลอง (simulation) ดังนี้

1) โครงการ PhET ย่อมาจาก Physical Education Technology จัดทำโดยกลุ่มวิจัยที่ University of Colorado (2011) ที่เมือง Boulder ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยโครงการนี้จะทำภาพเคลื่อนไหวเชิงปฏิสัมพันธ์แบบสถานการณ์จำลองในวิชาเคมี และวิชาวิทยาศาสตร์วิทยาศาสตร์อื่นๆ เช่น ฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยา สามารถเข้าไปดาวน์โหลดและติดตั้งภาพเคลื่อนไหวลงบนคอมพิวเตอร์ส่วนตัวได้ ตัวอย่างสถานการณ์จำลองที่น่าสนใจในวิชาเคมี ได้แก่ สารละลายกรด-เบส การสลายตัวให้รังสีแอลฟา การดุลสมการเคมี และลูกโป่งกับแรงลอยตัว เป็นต้น (ภาพที่ 4.5 ซ้าย)

2) กลุ่มวิจัยเคมีศึกษา (Chemical Education Research Group) ณ Iowa State University ประเทศสหรัฐอเมริกา (Greenbowl, 2011) โดยกลุ่มวิจัยนี้ได้สร้างสถานการณ์จำลอง (simulation) และภาพเคลื่อนไหว (animation) หลายเรื่อง เช่น ไฟฟ้าเคมี การไทเทรตแบบรีดอกซ์ ออกซ์ กฎของแก๊ส สมดุลกรด-เบส ปริมาณสัมพันธ์ และการวัด เป็นต้น (ภาพที่ 4.5 ขวา)



ภาพที่ 4.5 ตัวอย่างสถานการณ์จำลองของ PhET (ซ้าย) และกลุ่มวิจัย Greenbowl (ขวา)

ความสามารถในการสร้างเมนทอลโมเดลของผู้เรียนเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการเรียนรู้วิชาเคมี โดยผู้เรียนมีความสามารถในการสร้างเมนทอลโมเดลได้ดี ผู้เรียนก็จะสามารถเรียนรู้และเข้าใจวิชาเคมีได้ดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมโยงระดับมหภาคเข้ากับระดับจุลภาคและระดับสัญลักษณ์ ทั้งนี้ ความสามารถในการสร้างเมนทอลโมเดลนั้นเป็นทักษะของแต่ละบุคคลที่อาจจะพัฒนาได้ยาก อย่างไรก็ตาม การใช้การทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับการใช้สื่อประกอบการเรียนรู้ที่สะท้อนความเชื่อมโยงของสมบัติระดับมหภาคกับสมบัติระดับจุลภาคและระดับสัญลักษณ์ได้อย่างถูกต้อง ก็สามารถทำให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาความสามารถในการสร้างเมนทอลโมเดลได้ดีขึ้น มีความเข้าใจโมเดลมากขึ้น และส่งผลให้สามารถเรียนรู้วิชาเคมีได้ต่ออย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ถ้าสื่อที่ใช้ประกอบการเรียนรู้มีโมเดลที่คลาดเคลื่อนไปจากความเห็นร่วมทางวิทยาศาสตร์ สื่อเหล่านั้นก็จะทำให้ผู้เรียนมีโมเดลที่คลาดเคลื่อนตามไปด้วย

การจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล (ICEMA) เพื่อสนับสนุนความเข้าใจโมเดลและการปรับแก้โมเดลระดับโมเลกุลอาจเป็นเรื่องยากและใช้เวลาค่อนข้างมากในช่วงเริ่มต้น อย่างไรก็ตาม หลังจากทั้งคู่ครูและนักเรียนคุ้นเคยกับ ICEMA แล้ว การจัดการเรียนรู้ด้วย ICEMA ก็จะไม่ใช้เรื่องยากอีกต่อไป ดังนั้น โรงเรียนควรจัดให้มีการทดลองแบบสืบเสาะควบคู่กับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลอย่างน้อยภาคการเรียนละ 2-3 การทดลอง เพื่อให้นักเรียนมีความเข้าใจโมเดล และเมนทอลโมเดลในระดับโมเลกุลที่ถูกต้องมากขึ้น และเกิดความมั่นใจในการทำวิทยาศาสตร์ (doing science) นอกจากนี้ยังเป็นการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์รวมทั้งกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์หาความรู้ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นในการศึกษาต่อ และการทำวิจัยทางวิทยาศาสตร์ในอนาคตของนักเรียน (Deters, 2005)

2.4 การจัดการเรียนรู้เกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

จินดา พรหมณัฐ (2552) ศึกษาการพัฒนาความเข้าใจเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและเจตคติต่อการเรียนวิชาเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐาน กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในโรงเรียนแห่งหนึ่ง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษานนทบุรี เขต 2 จำนวน 41 คน ในปีการศึกษา 2552 ในการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐานมีทั้งหมด 8 แผน ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นกำหนดสถานการณ์ 2) ขั้นลงมือปฏิบัติ 3) ขั้นเรียนรู้แนวคิดสำคัญ และ 4) ขั้นนำไปใช้ในสถานการณ์ใหม่ ผลการศึกษาพบว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐานช่วยทำให้นักเรียนมีความเข้าใจถูกต้องเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น โดยก่อนเรียนมีความเข้าใจถูกต้องเพียงร้อยละ 27.94 หลังเรียนมีความเข้าใจถูกต้องเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 66.57 เนื่องจาก เป็นการเรียนรู้ที่นำ

เหตุการณ์หรือสถานการณ์ต่าง ๆ มาเป็นตัวกระตุ้นให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ และเมื่อได้เรียนรู้แล้ว นักเรียนสามารถนำความรู้ไปอธิบายในการประยุกต์ใช้ต่อชีวิตประจำวันได้ และมีการใช้สื่อการเรียนรู้ที่หลากหลายทำให้นักเรียนมองเห็นภาพการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน แต่ยังมีแนวคิดบางแนวคิดที่ยังมีความคลาดเคลื่อน เช่น กลไกของการเกิดปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากเรื่องดังกล่าวนี้ นักเรียนต้องอาศัยความรู้พื้นฐานในเรื่องธรรมชาติและคุณสมบัติของสาร และนอกจากนี้ยังมีคำศัพท์เฉพาะมากมายที่นักเรียนต้องการเรียนรู้ เช่น สารมัธยันต์ สารเชิงซ้อนกัมมันต์ เป็นต้น และนักเรียนส่วนใหญ่มีเจตคติต่อการเรียนวิชาเคมีอยู่ในระดับดี โดยให้เหตุผลว่าการเรียนรู้โดยใช้บริบทเป็นฐานเพราะลักษณะกิจกรรมที่หลากหลาย แปลกใหม่ เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน และมีสื่อการเรียนรู้ที่หลากหลาย ซึ่งสัมพันธ์กับการเขียนอนุทินของนักเรียน เช่น ขอบการเรียนรู้ในครั้งนี้เพราะไม่เคยทำการทดลองแบบนี้มาก่อน รู้สึกสนุก และทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน

ไชยยันต์ จรูญเสาวภากิจ (2550) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ การคิดวิเคราะห์ และเจตคติเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ปฏิกิริยาเคมี โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบโครงงานและการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนที่เรียนแบบโครงงานจะมีคะแนนเฉลี่ยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการหลังเรียนสูงกว่านักเรียนที่เรียนโดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ที่ผลการวิจัยเป็นเช่นนี้ เพราะการเรียนรู้แบบโครงงานทำให้นักเรียนมีความสนใจ กระตือรือร้น นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติเพื่อพัฒนาความรู้ ทักษะและสร้างผลผลิตที่มีคุณภาพ รู้จักสังเกต ตั้งคำถาม สมมติฐาน แสวงหาความรู้ด้วยตนเองเพื่อตอบคำถามที่อยากรู้ สามารถสรุปและเข้าใจเกี่ยวกับสิ่งที่ค้นพบ จึงทำให้นักเรียนได้พัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการมากกว่าการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ เพราะการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะต้องอาศัยเวลาค่อนข้างมาก

อรนุช โอษคลัง (2552) ได้พัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนขามทะเลสอวิทยา จังหวัดนครราชสีมา โดยใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ผลการศึกษาพบว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเท่ากับ 80.95/84.82 และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เพราะการสอนโดยใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน มีรูปแบบการนำเสนอที่น่าสนใจ มีรูปภาพและเสียงประกอบ ส่งผลให้นักเรียนเกิดความสนุกสนาน มีการแบ่งเนื้อหาเป็นหน่วยย่อย ๆ ทำให้สามารถเรียนรู้ได้ง่ายขึ้น เมื่อนักเรียนศึกษาแต่ละหน่วยแล้ว ทำแบบทดสอบไม่ผ่านเกณฑ์ก็สามารถศึกษา ทบทวนเนื้อหาใหม่ได้ ทำให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาเพิ่มมากขึ้น

อรรณพ หอมพรมมา (2553) ศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาเคมี ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยใช้การสอนแบบเปรียบเทียบ (Analogy Approach) กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยคือนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/1 โรงเรียนปากสวายพิทยาคม อำเภอโพนพิสัย จังหวัดหนองคาย จำนวน 47 ผลการวิจัยพบว่าหลังเรียนนักเรียนมีมโนคติ เรื่อง ความเข้มข้น พื้นที่ผิวของสาร อุณหภูมิ และผลของสารบางชนิดที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีสอดคล้องกับมโนคติวิทยาศาสตร์คิดเป็นร้อยละ 63.83, 76.60, 72.34 และ 61.09 ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบว่า Analog ที่นักเรียนสร้างขึ้น เพื่ออธิบายมโนคติ ทั้ง 4 มโนคติได้ ดังนี้ 1) มโนคติ เรื่องความเข้มข้น 2) มโนคติ เรื่อง พื้นที่ผิว 3) มโนคติ เรื่อง อุณหภูมิ 4) มโนคติ เรื่อง ผลของสารบางชนิดที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้การสอนแบบเปรียบเทียบ FAR Guide นักเรียนมีมโนคติหลังเรียนสอดคล้องกับมโนคติวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีแนวโน้มมากขึ้น แสดงว่าการสอนโดยใช้การสอนแบบเปรียบเทียบ FAR Guide สามารถนำมาใช้จัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยให้นักเรียนจินตนาการเนื้อหาที่เป็นนามธรรมให้เป็นรูปธรรมและ มีความเข้าใจในมโนคติเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีมากขึ้น เพราะนักเรียนมีการทำงานเป็นทีม ช่วยกันคิดสิ่งเปรียบเทียบ (Analog) ที่น่าจะใช้อธิบายมโนคติได้และร่วมกันพิจารณาแนวคิดเพื่อหาข้อสรุปที่ดีที่สุด ก่อนที่จะร่วมกันตัดสินใจเลือกสิ่งเปรียบเทียบมานำเสนอ ซึ่งแต่ละสิ่งเปรียบเทียบนั้นใช้อธิบายมโนคติต่างๆ ได้เป็นอย่างดี สามารถวิเคราะห์ความเหมือน ความต่างระหว่างสิ่งเปรียบเทียบและเป้าหมาย (Target) ได้ สะท้อนให้เห็นว่า นักเรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมาย สามารถเชื่อมโยงสิ่งที่ได้รับการเรียนรู้สู่สิ่งที่คุ้นเคยในชีวิตประจำวันและสร้างโมเดลทางความคิดด้วยตนเองได้เปลี่ยนสิ่งที่ป็นนามธรรมให้เข้าใจง่ายและมองเห็นเป็นรูปธรรมมากขึ้น สามารถคิดเปรียบเทียบคิดวิเคราะห์ คิดสังเคราะห์ รู้จักการทำงานเป็นทีม มีเหตุมีผล และรับฟังความคิดเห็นของเพื่อนสมาชิกคนอื่น นั้นหมายความว่า การสอนแบบเปรียบเทียบ สามารถนำมาจัดกิจกรรมการเรียนการสอนได้อย่างหลากหลาย ยืดหยุ่น เป็นระบบตอบสนองความต้องการในการเรียนรู้ของนักเรียนสร้างแรงจูงใจ สร้างความสนใจ กระตุ้น ทำให้นักเรียนสนุก ทำทาย รวมถึงสามารถสื่อความหมายและอธิบายเนื้อหาหรือโครงสร้างที่ซับซ้อน ยุ่งยาก ให้เข้าใจง่ายมากขึ้นเพราะสิ่งที่นำมาใช้เปรียบเทียบหรือเป็นสิ่งเปรียบเทียบใกล้เคียงกับสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคย และยังทำให้นักเรียนเข้าใจมากขึ้นเมื่อนักเรียนได้มีส่วนร่วมในการคิดหรือสร้างสิ่งเปรียบเทียบด้วยตนเอง

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นสรุปได้ว่า การจัดการเรียนการสอนเรื่อง ปฏิกิริยาเคมี และอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีนั้น สามารถใช้เทคนิคและรูปแบบการสอนที่หลากหลาย ซึ่งจะมีจุดเด่น และจุดด้อย ที่ต่างกัน แต่สามารถเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์และทักษะการคิดด้านต่างๆ ให้เพิ่มขึ้นได้ จากงานวิจัยดังกล่าวพบว่า เมื่อจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยเทคนิคต่างๆ แล้ว นักเรียนสามารถที่จะอธิบายมโนคติ และความเข้าใจของตนเองในเรื่องต่างๆ ได้ คือ ปัจจัย

ที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ได้แก่ ธรรมชาติของสารตั้งต้น ความเข้มข้นของสารตั้งต้น อุณหภูมิ พื้นที่ผิว ตัวเร่ง และตัวหน่วงปฏิกิริยาได้ และจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อนักเรียนมี การทำงานเป็นทีม ช่วยกันคิด ช่วยกันแก้ปัญหา ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมาย สามารถเชื่อมโยงสิ่งที่ได้รับการเรียนรู้สิ่งที่คุ้นเคยในชีวิตประจำวัน และสร้างโมเดลทาง ความคิดด้วยตนเองได้ เปลี่ยนสิ่งที่เป็นนามธรรมให้เข้าใจง่ายและมองเห็นเป็นรูปธรรมมากขึ้น สามารถคิดเปรียบเทียบการคิดวิเคราะห์ การคิดสังเคราะห์ รู้จักการทำงานเป็นทีม มีเหตุมีผล และรับฟังความคิดเห็นของเพื่อนสมาชิกคนอื่น นอกจากนี้การเรียนรู้จากสื่อที่หลากหลายจะ ช่วยดึงดูดความสนใจของนักเรียน ทำให้นักเรียนมีความกระตือรือร้นในการเรียนด้วย

2.5 การจัดการเรียนรู้เกี่ยวกับไฟฟ้าเคมี

พรรณธิดา มั่นใจ (2550) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ ช่วยสอน เรื่อง ไฟฟ้าเคมี : เซลล์กัลวานิก พบว่า ความพึงพอใจในกิจกรรมการเรียนการสอน ของนักเรียนโดยภาพรวมอยู่ในระดับดี แสดงว่าการจัดการเรียนการสอนแบบคอมพิวเตอร์ช่วย สอนเพิ่มเติมที่ดีต่อการเรียนวิทยาศาสตร์ ส่วนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ พบว่า มีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน 9.28 คิดเป็นร้อยละ 46.42 และคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน 13.53 คิดเป็นร้อยละ 67.67 จากการเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยและคะแนนร้อยละหลังเรียนสูง กว่าก่อนเรียนคิดเป็นความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 21.25 และเปรียบเทียบโดยใช้ค่า t-test ซึ่งเป็นค่าที่ 2.12 มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และค่าสัมประสิทธิ์การกระจายที่ 6.58 ให้ค่าอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากในการจัดกิจกรรมมีการใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ซึ่ง นักเรียนมีโอกาสได้เรียนรู้และมีปฏิสัมพันธ์กับสื่อ ได้เห็นภาพเคลื่อนไหวทำให้เข้าใจง่ายขึ้น อีกทั้งในขั้นตอนการดำเนินกิจกรรมใช้วิธีการสอนแบบจิกซอว์เข้ามาช่วยในการเรียนรู้ของนักเรียน ทำให้เกิดความร่วมมือกันในการเรียนรู้ในเนื้อหา ได้แลกเปลี่ยนองค์ความรู้กับเพื่อนทำให้ได้รับความรู้เพิ่มมากขึ้น

จุฑามาศ เจตน์กลกิจ (2551) ได้พัฒนาชุดการสอนวิชาเคมี เรื่อง ไฟฟ้าเคมี สำหรับ นักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ผลการวิจัยพบว่าชุดการสอนวิชาเคมีที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ 87.48/81.43 มีค่าดัชนีประสิทธิผล 0.68 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมีของนักเรียนชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการสอนโดยใช้ชุดการสอนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีความคงทนในการเรียนรู้วิชาเคมีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และนักเรียนร้อยละ 76 ของนักเรียนทั้งหมด มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมีผ่านเกณฑ์ร้อยละ 80 ของคะแนนเต็ม เนื่องจาก ในการดำเนินกิจกรรมมีการสอนแบบอุปนัย แบ่งเป็น 5 ชั้น ได้แก่ ชั้นเตรียม ชั้นสอนหรือชั้นให้ตัวอย่าง ชั้นเปรียบเทียบและรวบรวมข้อมูล ชั้นสรุป และชั้น นำไปใช้ ระหว่างดำเนินกิจกรรมมีการทดสอบหลังเรียนทันทีทำให้นักเรียนมีคะแนนระหว่าง

หน่วยการเรียนรู้ที่สูง และการเรียนโดยใช้ชุดการสอนนักเรียนได้เรียนรู้ด้วยการฝึกปฏิบัติด้วยตนเองจากสื่อการเรียนการสอนที่หลากหลาย ซึ่งได้แก่ อุปกรณ์การทดลอง ซึ่งช่วยให้นักเรียนถ่ายทอดเนื้อหาและประสบการณ์ที่สลับซับซ้อนให้เป็นนามธรรมสูงเข้าใจรวดเร็วขึ้น ชีดี และรูปภาพ ช่วยให้ผู้เรียนสนใจในการเรียนมากขึ้น จึงส่งผลทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้รับการสอนโดยใช้ชุดการสอนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

พรทิพย์ เมืองแก้ว (2553) ได้ศึกษาการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ เรื่องไฟฟ้าเคมี ผลการวิจัยพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ประสิทธิภาพของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เท่ากับ 81.12/75.44 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ นักเรียนมีความรู้เพิ่มขึ้นร้อยละ 68.50 และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมืออยู่ในระดับมาก เนื่องจากการเรียนรู้แบบร่วมมือที่ใช้ดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เป็นวิธีการที่เน้นการจัดสภาพแวดล้อมทางการเรียนรู้ สมาชิกในแต่ละกลุ่มมีการช่วยเหลือซึ่งกันและกัน ได้ลงมือปฏิบัติจริงและมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรม โดยในการดำเนินกิจกรรมผู้วิจัยได้เลือกรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือที่หลากหลายและสอดคล้องกับลักษณะเนื้อหา ซึ่งมีการเลือกรูปแบบการสร้างผลสัมฤทธิ์ของทีม (STAD) แบบกลุ่มแข่งขัน (TGT) แบบกลุ่มร่วมมือ (LT) และแบบต่อบทเรียน (Jigsaw) นอกจากนี้ครูผู้สอนยังคอยชี้แนะแนวทางให้เกิดการเรียนรู้โดยกระบวนการกลุ่มส่งผลทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นและนักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมด้วย

อุบลวรรณ ไททอง, กานตะรัตน์ วุฒิสเลา และพรพรรณ พึ่งโพธิ์ (2554) ได้ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย เรื่องไฟฟ้าเคมี เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการและเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 พบว่า นักเรียนมีทักษะกระบวนการทางด้านวิทยาศาสตร์ผ่านเกณฑ์ในระดับที่สูงถึงร้อยละ 70 และในการจัดกิจกรรมนักเรียนมีทักษะด้านการสังเกตสูงที่สุด นอกจากนี้นักเรียนยังมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้อยู่ในระดับมาก อีกทั้งยังสามารถเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางเรียนให้สูงขึ้นได้ด้วย เนื่องจากภายในกิจกรรมมีการกระตุ้นให้นักเรียนเกิดคำถามในใจหลังจากการทำนายผล และนักเรียนจะได้ลงมือปฏิบัติเองในขั้นการสังเกตเพื่อฝึกทักษะกระบวนการทางด้านวิทยาศาสตร์และมีการอธิบายเหตุผลเปรียบเทียบในสิ่งที่เกิดขึ้นด้วย

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเรียนในเนื้อหา ไฟฟ้าเคมี จะเห็นได้ว่าเทคนิคที่ใช้ในการเรียนแต่ละเทคนิคไม่ว่าจะเป็นการใช้ชุดการสอน การเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน และการเรียนแบบร่วมมือนั้น ส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนให้สูงขึ้น และแต่ละกิจกรรมนักเรียนได้ลงมือทำ เรียนรู้ร่วมกันจากชุดการสอน จากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้วยตนเอง ถือเป็นการเรียนรู้ด้วยตนเอง มีการปฏิบัติจริงและนักเรียนมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมมากขึ้น ทั้งยังได้ฝึกกระบวนการทำงานเป็นกลุ่ม นอกจากนี้การใช้เทคนิคการเรียนรู้ด้วยวิธีการ

ทำนาย สังเกต อธิบาย ยังสามารถที่จะพัฒนาความเข้าใจในการเรียนรู้ โดยใช้กระบวนการเรียนรู้เริ่มจากการทำนายเหตุการณ์ล่วงหน้าก่อนทำให้ได้คิด และกระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้ โดยการฝึกสังเกตผลที่จะเกิดจากการทำนาย และอธิบายผลที่เกิดขึ้นว่าเป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้หรือไม่ ซึ่งการเรียนแบบนี้จะช่วยเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนให้สูงขึ้นได้ด้วย

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ด้วยวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น สรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้ด้วยวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ร่วมกันคิดออกแบบ วางแผนการทดลอง เพื่อหาคำตอบของคำถาม และค้นคว้าหาข้อมูลเพื่ออธิบายในสิ่งที่นักเรียนได้ทำการทดลอง ทำให้นักเรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองโดยผ่านกระบวนการคิดเพื่อเชื่อมโยงเนื้อหาในแต่ละเรื่องที่ศึกษา นักเรียนจึงมีพัฒนาการด้านการมีความคิดเห็นของตนเอง กล้าในการแสดงความคิดและการตั้งคำถาม โดยที่ครูทำหน้าที่อำนวยความสะดวก สนับสนุน ชี้แนะ ช่วยเหลือ ตลอดจนแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการเรียนการสอน และเป็นกิจกรรมการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพในการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและมโนคติทางวิทยาศาสตร์ โดยสามารถแก้ไขมโนคติผิดหรือคลาดเคลื่อนของนักเรียนให้ลดลงและปรับเปลี่ยนไปสู่มโนคติที่ถูกต้องหรือมโนคติทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นที่ยอมรับของนักวิทยาศาสตร์ ควบคู่กับการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เจตคติต่อวิทยาศาสตร์ และยังเหมาะสำหรับผู้เรียนที่มีความสามารถทางสติปัญญาทุกระดับ สามารถช่วยให้ผู้เรียนที่มีผลสัมฤทธิ์ต่ำและปานกลาง ให้เข้าใจมโนคติได้ดีขึ้น และเป็นการท้าทายทักษะทางสติปัญญาขั้นสูง (higher-order cognitive skills) สำหรับผู้เรียนที่มีผลสัมฤทธิ์สูงได้อย่างดี (ศักดิ์ศรี สุภาธร, 2555) ผสมผสานกับเทคนิค ทำนาย-สังเกต-อธิบาย ในชั้นขยายความรู้เพื่อให้นักเรียนได้มีประสบการณ์เพิ่มเติม มีความเข้าใจมโนคติทางวิทยาศาสตร์ที่คงทน สามารถเชื่อมโยงสิ่งที่เรียนรู้สู่ชีวิตประจำวันได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

การวิจัยการพัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เพื่อสนับสนุนความเข้าใจโมเดลและการปรับแก้โมเดลระดับโมเลกุลสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย แยกวิธีดำเนินการออกเป็น 2 เรื่อง ได้แก่ อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และไฟฟ้าเคมี

3.1 ชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

ในการวิจัยและพัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี มีรายละเอียดการดำเนินการต่างๆ ดังนี้

3.1.1 แบบแผนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นแบบกลุ่มตัวอย่างเดียวมีการทดสอบก่อนเรียน หลังเรียน และหลังเรียนผ่านไปแล้ว 30 วัน (time series design) ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

$$O_1 \rightarrow X \rightarrow O_2 \rightarrow O_3$$

โดย O_1 คือ การทดสอบก่อนเรียน (pretest)

O_2 คือ การทดสอบหลังเรียนทันที (posttest)

O_3 คือ การทดสอบหลังเรียนผ่านไปแล้ว 30 วัน (delayed-posttest)

X คือ การจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

3.1.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในวิจัยครั้งนี้เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 2 ห้อง ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2556 โรงเรียนเชียงแก้วพิทยาคม รวม 61 คน

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2556 โรงเรียนเชียงแก้วพิทยาคม จำนวน 44 คน ได้จากการเลือกแบบเจาะจงจากประชากรที่เข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้อย่างสม่ำเสมอ

3.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.3.1 เครื่องมือทดลองหรือนวัตกรรมการเรียนรู้

เครื่องมือทดลองหรือนวัตกรรมการเรียนรู้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

1) แผนการจัดการเรียนรู้ 2) การทดลองเคมีแบบสืบเสาะ 3) กิจกรรมการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ และ 4) ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 7 แผน 15 ชั่วโมง รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 กิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละแผนการเรียนรู้ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

แผนการเรียนรู้	กิจกรรม	เวลา (ชั่วโมง)
1. ความหมายและการคำนวณอัตรา	การเปรียบเทียบการวิ่งในระยะทางที่เท่ากันต่างเวลา + ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล	3
2. แนวคิดเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี	การเปรียบเทียบการเป่าก้อนดินน้ำมันขึ้นพื้นเอียง + ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล	2
3. ผลของธรรมชาติของสารตั้งต้นที่มีต่ออัตรา	การทดลองปฏิกิริยาของกรดชนิดต่างๆ กับเปลือกไข่/เปลือกหอย/กระดองปู (CaCO_3) + การเปรียบเทียบการละลายของน้ำตาลในอ่าง + ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล	2
4. ผลของพื้นที่ผิวที่มีต่ออัตรา	การทดลองปฏิกิริยาของกรด HCl กับเปลือกไข่/เปลือกหอย/กระดองปู ขนาดแตกต่างกัน + การเปรียบเทียบการละลายของน้ำตาลก้อนและเกล็ดน้ำตาล + ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล	2
5. ผลของความเข้มข้นที่มีต่ออัตรา	การทดลองปฏิกิริยาของกรด HCl ความเข้มข้นต่างๆ กับเปลือกไข่/เปลือกหอย/กระดองปู + การเปรียบเทียบการเล่นเกมจับคู่รูปภาพ + ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล	2
6. กลไกของตัวเร่งที่มีต่ออัตรา	การเปรียบเทียบการเป่าก้อนดินน้ำมันขึ้นพื้นเอียงที่ชันต่างกัน + ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล	2
7. ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตรา	การทดลองปฏิกิริยาของกรด HCl กับเปลือกไข่/เปลือกหอย/กระดองปู ในอ่างน้ำเย็น/น้ำอุณหภูมิห้อง/น้ำอุ่น + การเปรียบเทียบการคว่ำเมล็ดข้าวเปลือก + ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล	2
รวม		15

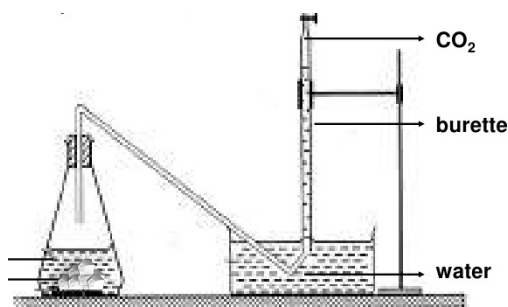
2) การทดลองเคมีแบบสืบเสาะ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

การทดลองแบบสืบเสาะ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ประกอบด้วย การทดลอง 4 การทดลอง โดยเป็นการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดชนิดต่างๆ (HCl , CH_3COOH และ H_2SO_4) กับ CaCO_3 จากหลายที่มา (เปลือกไข่ เปลือกหอย และกระดองปู) โดยมีการวัดปริมาตรแก๊ส CO_2 ที่เกิดขึ้น โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การทดลองเคมีแบบสืบเสาะ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

เนื้อหา	การทดลองเคมีแบบสืบเสาะ
1. ผลของธรรมชาติของสารตั้งต้นที่มีต่ออัตรา	ปฏิกิริยาของกรดชนิดต่างๆ (HCl , CH_3COOH และ H_2SO_4) กับ CaCO_3 จากหลายที่มา (เปลือกไข่ เปลือกหอย และกระดองปู)
2. ผลของพื้นที่ผิวที่มีต่ออัตรา	ปฏิกิริยาของกรดชนิดเดียว (HCl , CH_3COOH หรือ H_2SO_4) กับ CaCO_3 จากที่มาเดียว (เปลือกไข่ เปลือกหอย หรือกระดองปู)
3. ผลของความเข้มข้นที่มีต่ออัตรา	ปฏิกิริยาของกรดชนิดเดียว (HCl , CH_3COOH หรือ H_2SO_4) กับ CaCO_3 จากที่มาเดียว (เปลือกไข่ เปลือกหอย หรือกระดองปู)
4. ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตรา	ปฏิกิริยาของกรดชนิดเดียว (HCl , CH_3COOH หรือ H_2SO_4) กับ CaCO_3 จากที่มาเดียว (เปลือกไข่ เปลือกหอย หรือกระดองปู) ในอ่างน้ำเย็น/น้ำอุณหภูมิห้อง/น้ำอุ่น

สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดลองจะเป็นการทำปฏิกิริยากรดชนิดต่างๆ (HCl , CH_3COOH และ H_2SO_4) กับ CaCO_3 จากหลายที่มา (เปลือกไข่ เปลือกหอย และกระดองปู) โดยมีการวัดปริมาตรแก๊ส CO_2 ที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการแทนที่น้ำในบิวเรต (Water displacement method) ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 การวัดปริมาตรแก๊ส CO_2 ที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการแทนที่น้ำ

3) กิจกรรมการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยา

กิจกรรมการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยา ประกอบด้วย การเปรียบเทียบ (Analogy) จำนวน 7 อย่าง มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.3

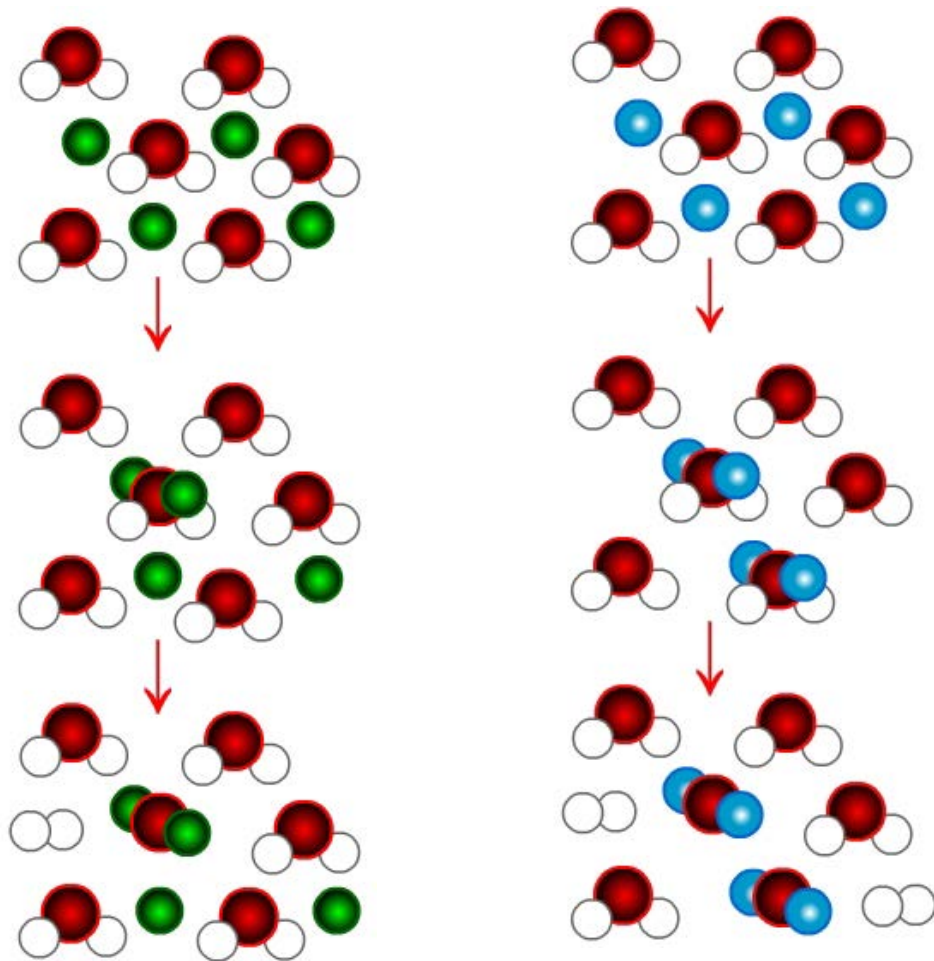
ตารางที่ 3.3 กิจกรรมการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

การเปรียบเทียบ (Analogy)	สิ่งเปรียบเทียบ (Analog)	เป้าหมาย (Target)
การเปรียบเทียบ “การวิ่งในระยะทางที่เท่ากันต่างเวลา” กับ “ความหมายและการคำนวณอัตรา”	- การวิ่ง - อัตราเร็วในการวิ่ง - การวิ่งเร็วใช้เวลาน้อย การวิ่งช้าใช้เวลามาก	- การเกิดปฏิกิริยา - อัตราการเกิดปฏิกิริยา - การเกิดปฏิกิริยาเร็วใช้เวลา น้อย การเกิดปฏิกิริยาช้าใช้เวลามาก
การเปรียบเทียบ “การเป่าก้อนดินน้ำมันขึ้นพื้นเอียง” กับ “แนวคิดเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี”	- การเป่าก้อนดินน้ำมันข้ามพื้นเอียง - การเป่าขึ้นง่าย - เวลาในการเป่า	- การเกิดปฏิกิริยา - การเกิดปฏิกิริยาได้ง่าย - เวลาในการเกิดปฏิกิริยา
การเปรียบเทียบ “การแล่นเรือในอ่าง” กับ “ผลของธรรมชาติของสารตั้งต้นที่มีต่ออัตรา”	- การแล่นเรือ - อัตราในการแล่น - ความหนาของกระดาษ	- การเกิดปฏิกิริยา - อัตราการเกิดปฏิกิริยา - ธรรมชาติของสารตั้งต้น
การเปรียบเทียบ “การละลายของน้ำตาลก้อนและเกล็ดน้ำตาล” กับ “ผลของพื้นที่ผิวที่มีต่ออัตรา”	- การละลายของน้ำตาล - อัตราในการละลายของน้ำตาล - ก้อนน้ำตาล - เกล็ดน้ำตาล	- การเกิดปฏิกิริยา - อัตราการเกิดปฏิกิริยา - สารที่พื้นที่ผิวน้อย - สารที่พื้นที่ผิวมาก
การเปรียบเทียบ “การเล่นเกมจับคู่รูปภาพ” กับ “ผลของความเข้มข้นที่มีต่ออัตรา”	- การจับคู่รูปภาพได้ถูกต้อง - อัตราในการจับคู่รูปภาพ - รูปภาพที่เหมือนกันมีจำนวนมาก - รูปภาพที่เหมือนกันมีจำนวนมาก	- การเกิดปฏิกิริยา - อัตราการเกิดปฏิกิริยา - ความเข้มข้นของสารมาก - ความเข้มข้นของสารน้อย
การเปรียบเทียบ “การเป่าก้อนดินน้ำมันขึ้นพื้นเอียงที่มีความชันต่างกัน” กับ “กลไกของตัวเร่งที่มีต่ออัตรา”	- การเป่าก้อนดินน้ำมันข้ามพื้นเอียง - ความชันของพื้นเอียง - การเพิ่ม/ลดความชันของพื้นเอียง - ตัวช่วยลดความชันของพื้นเอียง	- การเกิดปฏิกิริยา - ปริมาณพลังงานกระตุ้น (E_a) - การเพิ่ม/ลดปริมาณพลังงานกระตุ้น (E_a) - การใช้ตัวเร่งช่วยลดปริมาณพลังงานกระตุ้น (E_a)
การเปรียบเทียบ “การคว่ำเมล็ดข้าวเปลือก” กับ “ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตรา”	- การแตกของเมล็ดข้าวเปลือก - อัตราในการแตกของเมล็ดข้าวเปลือก - อุณหภูมิในการคว่ำ	- การเกิดปฏิกิริยา - อัตราการเกิดปฏิกิริยา - อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา

4) ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยา

ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยา ประกอบด้วย ภาพเคลื่อนไหวย่อย จำนวน 4 ชุดย่อย ได้แก่

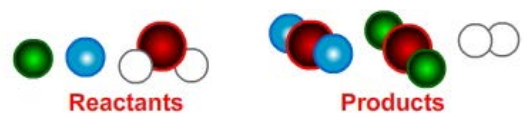
1) ผลของธรรมชาติของสารตั้งต้นต่ออัตรา โดยสารตั้งต้นบางชนิดจะทำปฏิกิริยาด้วยอัตราที่เร็วกว่าสารตั้งต้นบางชนิด



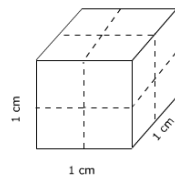
ก) สารบางชนิดทำปฏิกิริยาด้วยอัตราที่ช้า

ข) สารบางชนิดทำปฏิกิริยาด้วยอัตราที่เร็ว

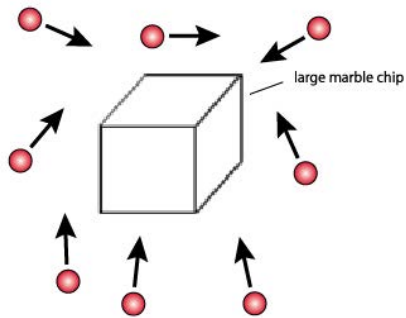
ภาพที่ 3.2 ผลของธรรมชาติของสารตั้งต้นต่อ
อัตราการเกิดปฏิกิริยา



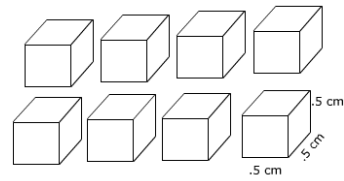
2) ผลของพื้นที่ผิวต่ออัตรา โดยวัสดุหรือสารตั้งต้นที่มีขนาดเล็กลงหรือมีพื้นที่ผิวรวมมากขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาด้วยอัตราที่เร็วกว่าวัสดุหรือสารตั้งต้นที่มีขนาดใหญ่หรือมีพื้นที่ผิวรวมน้อย



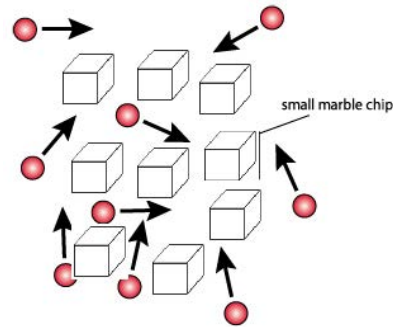
ก) วัสดุขนาดใหญ่มีพื้นที่ผิวรวมน้อย



ค) วัสดุขนาดใหญ่มีอัตราการชนน้อย



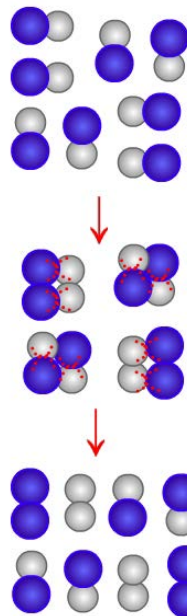
ข) วัสดุขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวรวมมากขึ้น



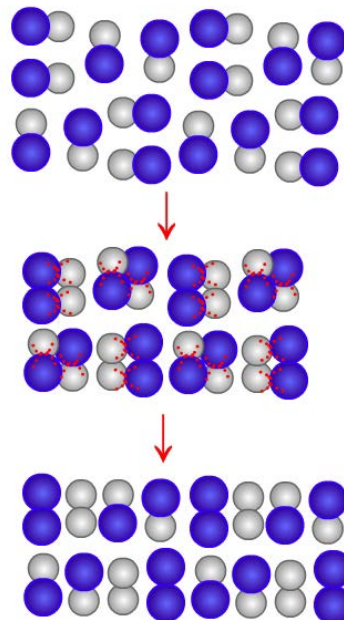
ง) วัสดุขนาดเล็กมีอัตราการชนสูงขึ้น

ภาพที่ 3.3 ผลของพื้นที่ผิวของวัสดุหรือสารตั้งต้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

3) ผลของความเข้มข้นต่ออัตรา โดยสารตั้งต้นที่มีความเข้มข้นมากขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาดำเนินไปเร็วกว่าสารตั้งต้นที่มีความเข้มข้นน้อย และ



ก) อัตราการชนกันและอัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง เมื่อความเข้มข้นของสารตั้งต้นลดลง

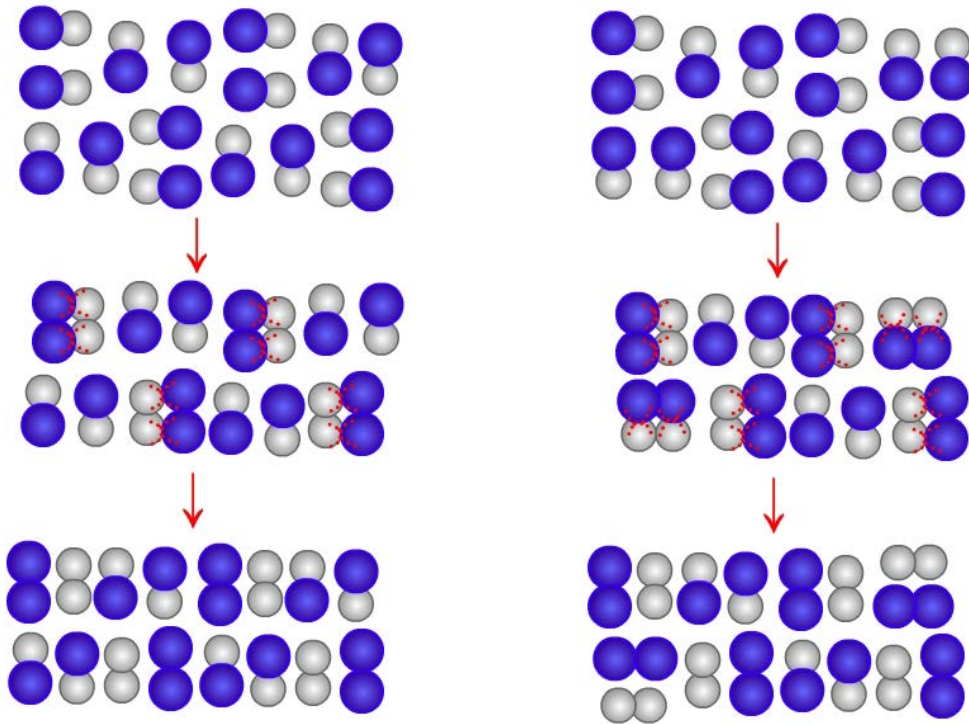


ข) อัตราการชนกันและอัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารตั้งต้นเพิ่มขึ้น

ภาพที่ 3.4 ผลของความเข้มข้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา



4) ผลของอุณหภูมิต่ออัตรา ปฏิกิริยาโดยส่วนใหญ่จะเกิดด้วยอัตราที่เร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีโมเลกุลหรืออนุภาคที่มีพลังงานจลน์สูงมีจำนวนมากขึ้นขึ้น ทำให้อัตราการชนกันมากขึ้น นั่นเอง



ก) อัตราการชนกันและอัตราการเกิดปฏิกิริยา ลดลง เมื่ออุณหภูมิลดลง
ข) อัตราการชนกันและอัตราการเกิดปฏิกิริยา เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

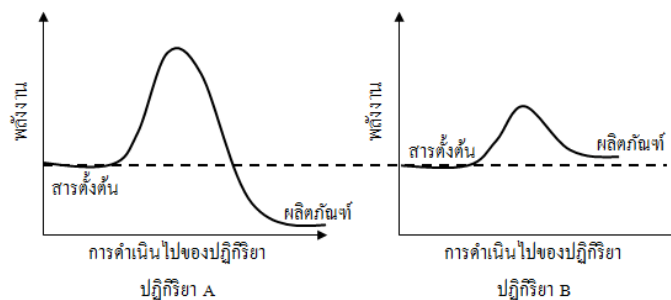
ภาพที่ 3.5 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

3.1.3.2 เครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูล

1) แบบทดสอบวัดความเข้าใจแนวคิด เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยา

แบบทดสอบวัดความเข้าใจแนวคิดแบบปรนัยชนิดตัวเลือก 2 ลำดับชั้น (2-tier multiple choice conceptual test) เรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จำนวน 30 ข้อ ประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นตัวเลือกของคำตอบชนิด 3 ตัวเลือก และส่วนที่สองเป็นเหตุผล 3 ตัวเลือก (ภาพที่ 3.6) หรือเป็นการเขียนเหตุผลประกอบที่เลือกคำตอบในส่วนที่ 1 (ภาพที่ 3.7) โดยมีค่าความยากง่าย (P) ของแบบทดสอบรายข้อตั้งแต่ 0.20 – 0.80 ค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.27 – 1.00 และค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ (KR-20) ของแบบทดสอบทั้งฉบับเป็น 0.85

คำถาม: จากกราฟข้อสรุปเกี่ยวกับปฏิกิริยา A และปฏิกิริยา B ข้อใดถูกต้อง



ก. ปฏิกิริยา A เกิดยากกว่าปฏิกิริยา B

ข. ที่อุณหภูมิเดียวกันปฏิกิริยา A เกิดได้เร็วกว่าปฏิกิริยา B

ค. เมื่อเพิ่มอุณหภูมิพลังงานกระตุ้นของทั้งสองปฏิกิริยาจะสูงขึ้นมาก

เหตุผล: เพราะ

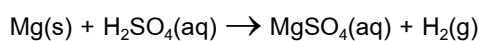
ก. จำนวนโมเลกุลที่มีพลังงานจลน์สูงมีจำนวนมากขึ้น

ข. ปฏิกิริยาคายความร้อนเกิดได้ยากกว่าปฏิกิริยาดูดความร้อน

ค. ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (E_a)

ภาพที่ 3.6 ตัวอย่างแบบวัดความเข้าใจโมติแบบเลือกตอบทั้งผลและเหตุผล

คำถาม: ปฏิกิริยาเคมีระหว่างลวดแมกนีเซียมกับสารละลายกรดซัลฟิวริกเป็นดังสมการ



บันทึกเวลาในการเกิดแก๊ส H_2 เริ่มต้นจนถึงปริมาตร 5 cm^3 ดังตาราง

ปริมาตร แก๊ส $\text{H}_2(\text{cm}^3)$	1	2	3	4	5
เวลา(s)	4	6	9	14	20

อัตราการเกิดแก๊ส H_2 เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ

ก. $0.17 \text{ cm}^3 / \text{s}$

ข. $0.25 \text{ cm}^3 / \text{s}$

ค. $0.5 \text{ cm}^3 / \text{s}$

เหตุผล (แสดงการคำนวณ) :

.....

ภาพที่ 3.7 ตัวอย่างแบบวัดความเข้าใจโมติแบบเลือกตอบผลและเขียนแสดงเหตุผล

สำหรับรายละเอียดการแจกแจงข้อสอบวัดความเข้าใจโมติเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี แสดงในตารางที่ 3.4 โดยแบ่งเป็นแบบทดสอบชั้นเข้าใจนำไปใช้ และวิเคราะห์ จำนวน 17, 4 และ 9 ข้อ หรือคิดเป็นร้อยละ 56.67, 13.33 และ 30.00 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.4 การแจกแจงข้อสอบวัดความเข้าใจมโนคติ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

มโนคติ	จำนวนข้อสอบ			
	เข้าใจ	นำไปใช้	วิเคราะห์	รวม
1. ความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยา	2	-	-	2
2. การคำนวณเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยา	-	3	-	3
3. แนวคิดเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยา	5	-	2	7
4. ผลของธรรมชาติของสารตั้งต้นที่มีต่ออัตรา	2	-	-	2
5. ผลของพื้นที่ผิวที่มีต่ออัตรา	2	-	2	4
6. ผลของความเข้มข้นที่มีต่ออัตรา	3	1	-	4
7. กลไกของตัวเร่งที่มีต่ออัตรา	2	-	2	4
8. ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตรา	1	-	3	4
รวม	17	4	9	30
ร้อยละ	56.67	13.33	30.00	100.00

2) แบบบันทึกความสอดคล้องของมโนคติทางวิทยาศาสตร์กับการเปรียบเทียบ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

แบบบันทึกความสอดคล้องของมโนคติทางวิทยาศาสตร์กับการเปรียบเทียบในการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหว ระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (ภาพที่ 3.8)

การเปรียบเทียบ (Analogy)		
สิ่งที่เหมือนกัน (Similarity)		
สิ่งเปรียบเทียบสิ่ง (Analog)	เป้าหมาย (Target)	
สิ่งที่ไม่เหมือนกัน (Dissimilarity)		
สิ่งเปรียบเทียบสิ่ง (Analog)	เป้าหมาย (Target)	

ภาพที่ 3.8 แบบบันทึกความสอดคล้องของมโนคติกับการเปรียบเทียบ

3.1.5 การดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้ศึกษาดำเนินการทดลองกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2556 โรงเรียนเชียงแก้วพิทยาคม จำนวน 44 คน มีขั้นตอน ดังนี้

1) ทดสอบก่อนเรียน (Pretest) ในกลุ่มตัวอย่างโดยให้นักเรียนทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและวัดความเข้าใจโน้มนำเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีจำนวน 30 ข้อใช้เวลาในการทำแบบทดสอบ 90 นาที

2) ดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบตามแผนการเรียนรู้ที่สร้างไว้จำนวน 7 แผน รวม 15 ชั่วโมง ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2556

3) ทดสอบหลังเรียน (Posttest) ในกลุ่มตัวอย่าง โดยให้นักเรียนทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและวัดความเข้าใจโน้มนำเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ชุดเดิม แต่มีการสลับข้อคำถาม จำนวน 30 ข้อใช้เวลาในการทำแบบทดสอบ 90 นาที

4) เมื่อเวลาผ่านไป 30 วัน ทดสอบหลังเรียน (Posttest) อีกครั้ง ในกลุ่มตัวอย่าง โดยให้นักเรียนทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและวัดความเข้าใจโน้มนำเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ชุดเดิมจำนวน 30 ข้อใช้เวลาในการทำแบบทดสอบ 90 นาที

3.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและวัดความเข้าใจโน้มนำเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ผู้วิจัยได้มีการแจกแจงและคำนวณหาค่าร้อยละของจำนวนนักเรียนที่ตอบคำถามแบบต่างๆ โดยแบ่งนักเรียนออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1) มโนคติถูกต้อง (good conception) หมายถึง ตัวเลือกและเหตุผลถูกต้อง ได้ 2 คะแนน

2) มโนคติคลาดเคลื่อน (alternative conceptions) หมายถึง ตัวเลือกถูกต้อง เหตุผลไม่ถูกต้อง หรือ ตัวเลือกไม่ถูกต้อง เหตุผลถูกต้อง ได้ 1 คะแนน

3) มโนคติผิด (misconception) หมายถึง ตัวเลือกและเหตุผลไม่ถูกต้อง ได้ 0 คะแนน

3.1.7 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1) เปรียบเทียบคะแนนสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนในกลุ่มตัวอย่าง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติค่าที่แบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (dependent sample t-test) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2) เปรียบเทียบคะแนนวัดความคงทนทางการเรียนระหว่างคะแนนหลังเรียนและคะแนนวัดความคงทนทางการเรียนในกลุ่มตัวอย่าง โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติค่าที่แบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (dependent sample t-test) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3) ตีความหมายข้อมูล เขียนบรรยาย และคิดร้อยละความสอดคล้องของมโนคติทางวิทยาศาสตร์ในหัวข้อย่อยต่างๆ

3.2 ชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง ไฟฟ้าเคมี

ในการวิจัยและพัฒนาชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง ไฟฟ้าเคมี มีรายละเอียดการดำเนินการต่างๆ ดังนี้

3.2.1 แบบแผนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบกลุ่มเดียวทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน (One-group pretest-posttest design) โดยมีรูปแบบดังนี้

$$O_1 \rightarrow X \rightarrow O_2$$

เมื่อ O_1 และ O_2 คือ การทดสอบก่อนเรียน (Pretest) และหลังเรียน (Posttest)

X คือ การจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง ไฟฟ้าเคมี

3.2.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2.2.1 ประชากร ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557 โรงเรียนนักเรียนที่อยู่ในแผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โรงเรียนศรีเมืองวิทยาคาร อำเภอศรีเมืองใหม่ จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 5 ห้องเรียน รวม 201 คน

3.2.2.2 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนที่อยู่ในแผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557 โรงเรียนศรีเมืองวิทยาคาร อำเภอศรีเมืองใหม่ จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 1 ห้องเรียน รวม 45 คน ได้จากการเลือกแบบเจาะจงจากประชากรที่เข้าร่วมกิจกรรมอย่างสม่ำเสมอ

3.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.2.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

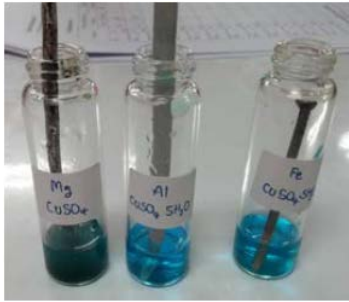
1) แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ไฟฟ้าเคมี แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง ไฟฟ้าเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีจำนวน 5 แผน รวมเวลา 15 ชั่วโมง (ตารางที่ 3.5)

ตารางที่ 3.5 กิจกรรมการเรียนรู้หลักในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้

แผนการเรียนรู้เรื่อง	กิจกรรมการเรียนรู้	เวลา (ชั่วโมง)
1. ปฏิกริยารีดอกซ์และการถ่ายโอนอิเล็กตรอน	1. การทดลอง เรื่อง คู่ไหนคู่กัน เกิดปฏิกริยารีดอกซ์ 2. ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง ปฏิกริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน	3
2. ความสามารถในการรีดิวซ์และออกซิไดส์	1. การทดลอง เรื่อง ตัวรับตัวให้อิเล็กตรอน) ใครดีใครเด่น 2. ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง ความสามารถในการรีดิวซ์และออกซิไดส์	2
3. เซลล์ไฟฟ้าเคมี เซลล์กัลวานิกและ เซลล์ผลไม้ม	1. การทดลอง เรื่อง เซลล์กัลวานิกมาตรฐานกับเซลล์กัลวานิกที่ย่อยส่วน 2. การทดลอง เรื่อง เซลล์ผลไม้ได้ไฟฟ้า 3. ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง เซลล์กัลวานิก	5
4. การแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า	1. การทดลอง เรื่อง แยกน้ำได้ไฟฟ้า	2
5. การชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้าและ การป้องกันการผุกร่อนด้วยวิธีแคโทดิก	1. การทดลอง เรื่อง เคลือบผิวสวดยด้วยโลหะ 2. การทดลอง เรื่อง การป้องกันสนิมของตะปูเหล็กด้วยวิธีแคโทดิก 3. ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง การป้องกันการผุกร่อน	3
รวม		15

2) การทดลองเคมีแบบสืบเสาะ เรื่อง ไฟฟ้าเคมี

การทดลองแบบสืบเสาะ เรื่อง ไฟฟ้าเคมี ประกอบด้วยการทดลองย่อย ได้แก่ 1) คู่ไหนคู่กัน เกิดปฏิกริยารีดอกซ์ และตัวรับตัวให้อิเล็กตรอน) ใครดีใครเด่น (ภาพที่ 3.9 ก) 2) เซลล์กัลวานิกแบบย่อยส่วน (ภาพที่ 3.9 ข) 3) การต่อแบตเตอรี่ (ภาพที่ 3.9 ค) และ 4) การป้องกันการผุกร่อนของเหล็ก (ภาพที่ 3.9 ง)



ก) คู่ไหนคู่กัน เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ และตัวรับตัวให้
ใครดีใครเด่น (อิเล็กตรอน)

ข) เซลล์กัลวานิกแบบย่อส่วน



ค) การต่อแบตเตอรี่

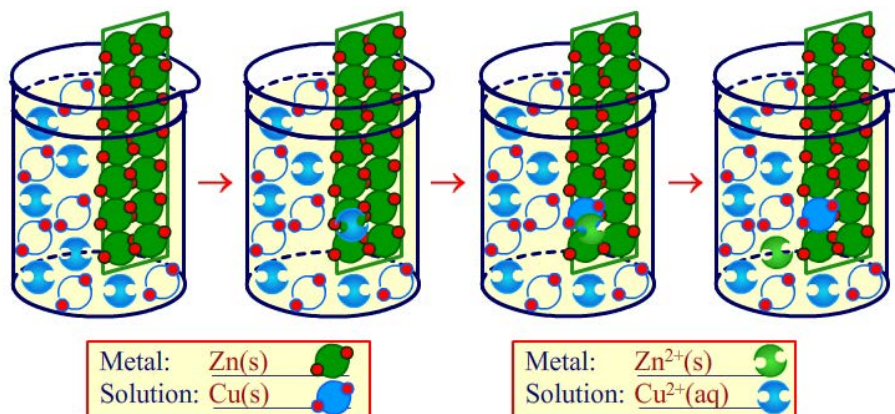
ง) การป้องกันการผุกร่อนของเหล็ก

ภาพที่ 3.9 ชุดการทดลองแบบสืบเสาะ เรื่อง ไฟฟ้าเคมี

4) ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง ไฟฟ้าเคมี

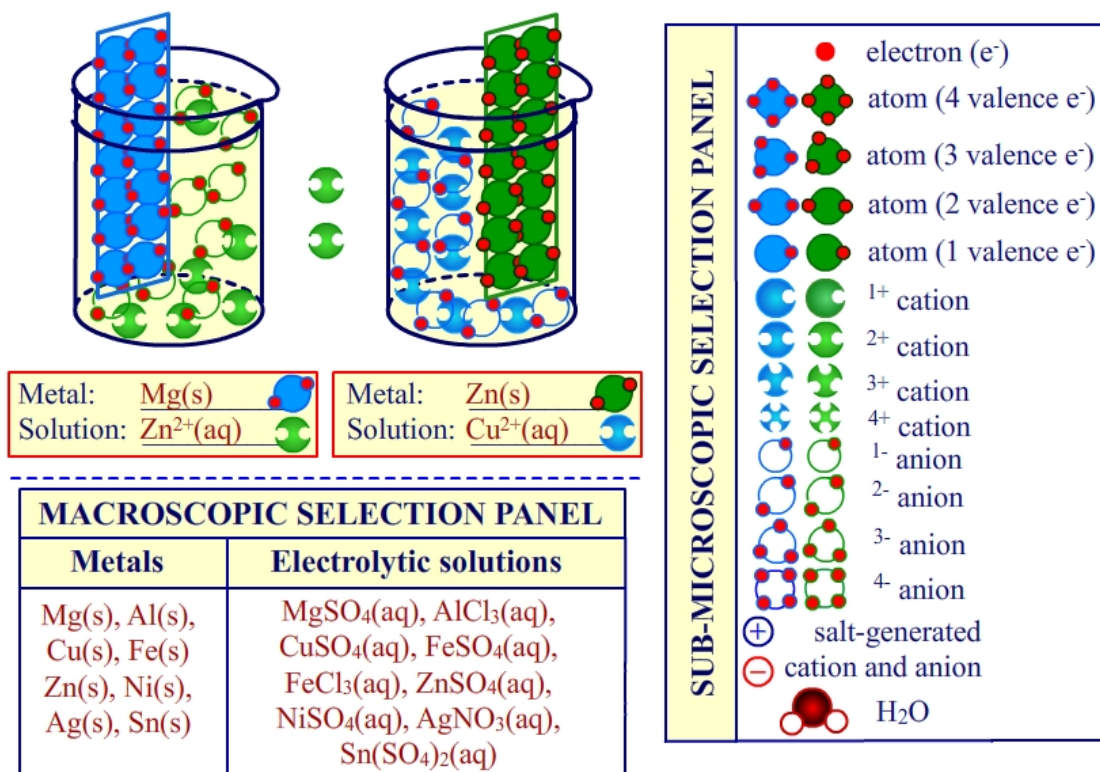
ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง ไฟฟ้าเคมี ประกอบด้วย

ภาพเคลื่อนไหวย่อย จำนวน 4 ชุดย่อย ได้แก่ 1) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (ภาพที่ 3.10) 2) ความสามารถในการรีดิวซ์และออกซิไดส์ (ภาพที่ 3.11) 3) เซลล์กัลวานิก (ภาพที่ 3.12) และ 4) การป้องกันการผุกร่อนของเหล็ก (ภาพที่ 3.13)

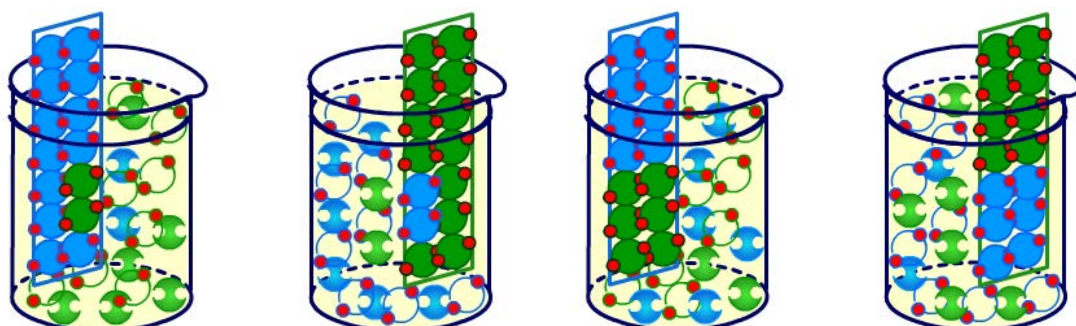


ภาพที่ 3.10 ตัวอย่างปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{Zn(s)} \rightarrow \text{Cu(s)} + \text{Zn}^{2+}(\text{aq})$

ปฏิกิริยาออกซิชัน : $\text{Zn(s)} \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^-$ ปฏิกิริยารีดักชัน : $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu(s)}$



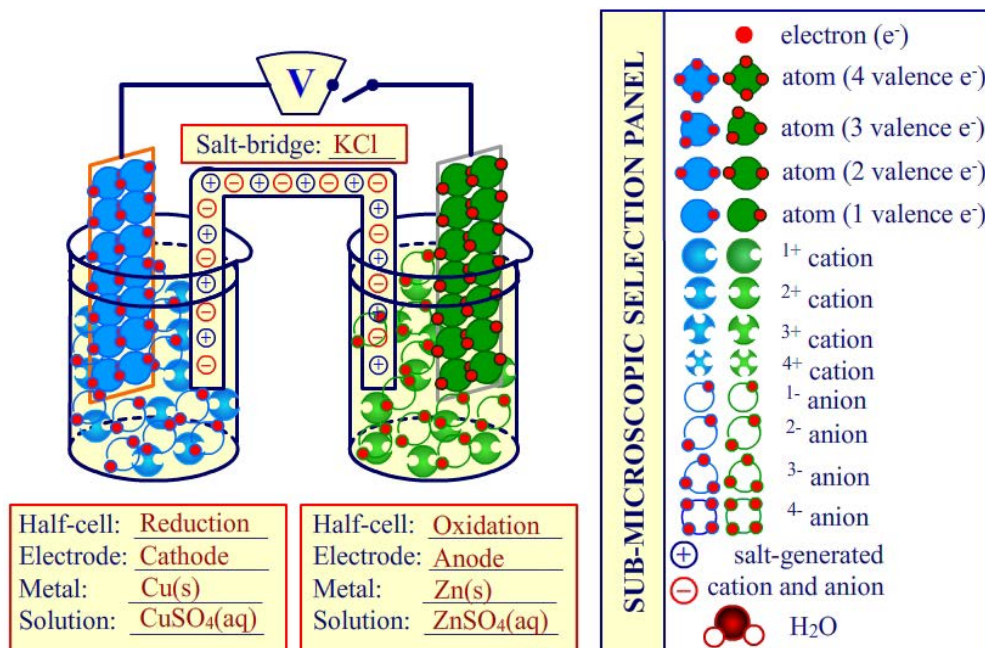
ก) ปฏิกริยา ณ เวลา t_0



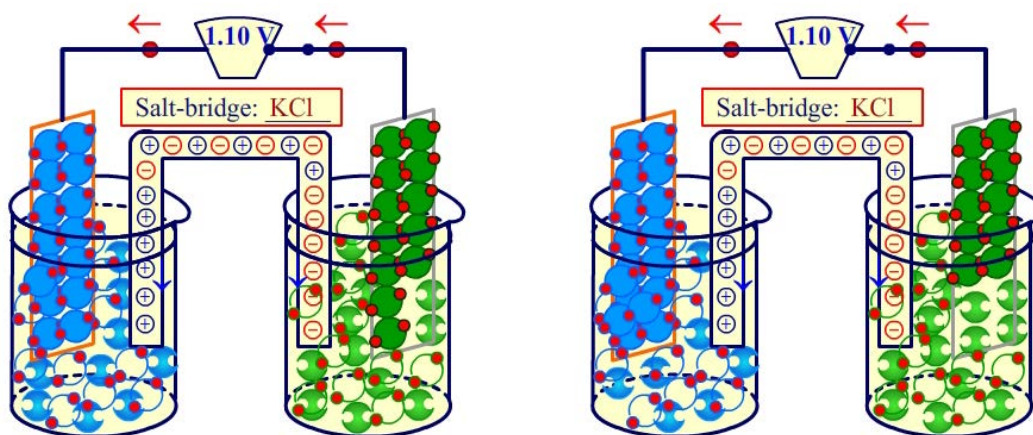
ข) ปฏิกริยา ณ เวลา t_1

ค) ปฏิกริยา ณ เวลา t_2

ภาพที่ 3.11 ตัวอย่างภาพจากภาพเคลื่อนไหว ความสามารถในการรีดิวซ์และออกซิไดส์
 ปฏิกริยาของ Mg(s) กับ $\text{ZnSO}_4(\text{aq})$ และ Zn(s) กับ $\text{CuSO}_4(\text{aq})$



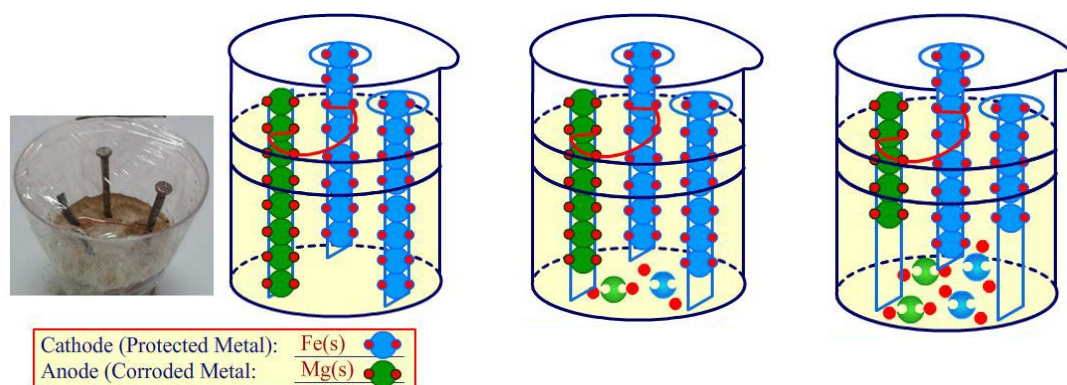
ก) ปฏิกริยา ณ เวลา t_0



ข) ปฏิกริยา ณ เวลา t_1

ค) ปฏิกริยา ณ เวลา t_2

ภาพที่ 3.12 ตัวอย่างภาพจากภาพเคลื่อนไหว เซลล์กัลวานิก Cu-Zn



ก) ปฏิกริยา ณ เวลา t_0

ข) ปฏิกริยา ณ เวลา t_1

ค) ปฏิกริยา ณ เวลา t_2

ภาพที่ 3.13 ตัวอย่างภาพจากภาพเคลื่อนไหว การป้องกันการเกิดสนิมของ Fe(s) ด้วย Mg(s)

3.2.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล มีดังนี้

1) แบบทดสอบวัดความเข้าใจโมเมนต์ เรื่อง ไฟฟ้าเคมี

โดยเป็นข้อสอบชนิด 2 ลำดับชั้น ชั้นที่ 1 เป็นแบบปรนัย 3 – 4 ตัวเลือก ชั้นที่ 2 เป็นการให้เหตุผล แบบเขียนตอบ หรือแบบปรนัย 3 – 4 ตัวเลือก รวมทั้งหมด จำนวน 30 ข้อ โดยมีค่าความยากง่าย (p) รายข้อระหว่าง 0.20 – 0.80 ค่าอำนาจจำแนก (r) รายข้อระหว่าง 0.32 – 0.66 และค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับมีค่าเท่ากับ 0.81

ตารางที่ 3.7 การกำหนดจำนวนข้อสอบเพื่อวัดความเข้าใจโมเมนต์ เรื่อง ไฟฟ้าเคมี

เนื้อหา	จำนวนข้อสอบ (ข้อ)			รวม (ข้อ)
	เข้าใจ	นำไปใช้	วิเคราะห์	
1. ปฏิกริยารีดอกซ์และการถ่ายโอนอิเล็กตรอน	5	2	2	9
2. ความสามารถในการรีดิวซ์และออกซิไดส์	3	1	1	5
3. เซลล์กัลวานิกและเซลล์ผลไม้ม	1	1	7	9
4. การแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า	1	2	-	3
5. การชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้าและการป้องกันการผุกร่อนด้วยวิธีแคโทดิก	1	1	2	4
รวมทั้งหมด	11 (36.66%)	7 23.33%)	12 (40%)	30 (100%)

3.2.4 วิธีทดลองและเก็บข้อมูล

1) ครูแนะนำรูปแบบกิจกรรมการเรียนรู้และบทบาทของนักเรียนในการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง ไฟฟ้าเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

2) ทดสอบก่อนเรียน (Pretest) โดยให้นักเรียนทำแบบทดสอบวัดความเข้าใจโมเมนต์เรื่องไฟฟ้าเคมี จำนวน 30 ข้อ

3) ดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง ไฟฟ้าเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างไว้จำนวน 5 แผน

4) ทดสอบหลังเรียน (Posttest) โดยให้นักเรียนทำแบบทดสอบวัดความเข้าใจโมเมนต์หลังเรียน เรื่อง เซลล์ไฟฟ้าเคมี ชุดเดิมที่คล้ายคลึงกันแต่มีการสลับข้อคำถาม จำนวน 30 ข้อ

5.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) ผู้วิจัยได้ตั้งเกณฑ์ในการให้คะแนนความเข้าใจโมเมนต์แต่ละข้อ โดยตอนที่ 1 แบบปรนัย ถ้าตอบถูกให้ 1 คะแนน ตอบผิดให้ 0 ส่วนตอนที่ 2 เป็นการให้เหตุผล แบบเขียนตอบ ได้แบ่งเกณฑ์คะแนนเป็น 3 ระดับ คือ 0, 0.5 และ 1 คะแนน หรือแบบปรนัย ถ้าตอบถูกให้ 1 คะแนน ตอบผิดให้ 0 โดยประเมินผลคะแนนทั้งสองตอนดังนี้ ถ้าตอบถูกทั้งตัวเลือกและเหตุผล ถือว่าเข้าใจโมเมนต์ถูกต้องได้ 2 คะแนน (Good conceptions) ถ้าตอบถูกต้องส่วนใดส่วนหนึ่ง ถือว่านักเรียนมีโมเมนต์คลาดเคลื่อนหรือมีโมเมนต์ทางเลือกหรือคลาดเคลื่อน (Alternative conceptions) ได้คะแนนระหว่าง 1.5 – 0.5 คะแนน ถ้าตอบผิดทั้ง สองส่วน ถือว่านักเรียนมีโมเมนต์ผิด (Misconceptions) ได้ 0 คะแนน (Supasorn and Promarak, 2015; พนิดา กันยะกาญจน์ และศักดิ์ศรี สุภาธร, 2557)

2) เปรียบเทียบคะแนนความเข้าใจโมเมนต์ เรื่อง ไฟฟ้าเคมี ก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง ไฟฟ้าเคมี โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติค่าที่แบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (Dependent-samples t-test analysis) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 15.0 for windows

3) เปรียบเทียบความเข้าใจโมเมนต์ของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนในแต่ละกลุ่มของนักเรียนกลุ่มเก่ง กลุ่มปานกลาง และกลุ่มอ่อน ก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง ไฟฟ้าเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติค่าที่แบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (Dependent-samples t-test analysis) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 11.5 for windows จำแนกตามเนื้อหาย่อย

4) เปรียบเทียบความเข้าใจโน้มนำในแต่ละกลุ่มของนักเรียนกลุ่มเก่ง กลุ่มปานกลาง และกลุ่มอ่อน ก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหว ระดับโมเลกุล เรื่อง ไฟฟ้าเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ ค่าที่แบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (Dependent-samples t-test analysis) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 11.5 for windows จำแนกตามระดับพฤติกรรมในแบบทดสอบ (เข้าใจ ประยุกต์ใช้ และวิเคราะห์)

5) เปรียบเทียบคะแนนความก้าวหน้าของความเข้าใจโน้มนำในแต่ละกลุ่มของ นักเรียนกลุ่มเก่ง กลุ่มปานกลาง และกลุ่มอ่อน ก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยชุดการทดลองเคมี แบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง ไฟฟ้าเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Paired-Samples T-test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 11.5 for windows

บทที่ 4

ผลและการอภิปรายผล

จากการศึกษาชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลเพื่อสนับสนุนความเข้าใจโมเลกุลและการปรับแก้โมเลกุลระดับโมเลกุลสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย สามารถแสดงผลและการอภิปรายผลแยกออกเป็น 2 เรื่อง ได้แก่ อัตราการเกิดปฏิกิริยา และไฟฟ้าเคมี ดังต่อไปนี้

4.1 ชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยา

ผลการศึกษาเกี่ยวกับการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยา มีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 คะแนนความเข้าใจโมเลกุล เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยา

จากการวัดความเข้าใจโมเลกุล เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยา พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนเป็น 19.79 (SD 3.08) และคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเป็น 45.05 (SD 6.28) คิดเป็นคะแนนเฉลี่ยความก้าวหน้า 25.61 หรือร้อยละ 42.68 ซึ่งคะแนนความเข้าใจโมเลกุลหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และเมื่อศึกษาความคงทนของความเข้าใจโมเลกุลเมื่อเวลาผ่านไป 30 วัน พบว่านักเรียนมีคะแนนความคงทนของความเข้าใจโมเลกุลเฉลี่ยเป็น 48.02 (SD 8.86) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบคะแนนความเข้าใจโมเลกุล เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยา

คะแนน	Mean	SD	ค่าเฉลี่ยผลต่าง (SD)	t	df	p*
ก่อนเรียน	19.79	3.08	25.61 (7.10)	24.47	42	0.000*
หลังเรียน	45.05	6.28				
ความคงทน	48.02	8.96	2.98 (9.55)	2.021	42	0.050

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทดสอบด้วย paired - samples t – test ที่ค่า p 0.05

จากการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน คะแนนหลังเรียนและคะแนนวัดความคงทนของความเข้าใจโมเลกุลด้วยการทดสอบค่าที่แบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (dependent-samples t-test analysis) พบว่า นักเรียนมีคะแนน

ความเข้าใจโมติหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p = 0.05$ และ คะแนนความเข้าใจโมติหลังเรียนไม่แตกต่างกับคะแนนวัดความคงทนของความเข้าใจโมติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p = 0.05$

จากการจำแนกแบบทดสอบวัดความเข้าใจโมติออกเป็นหัวข้อย่อย และ ประเมินโดยใช้หลักเกณฑ์ในการให้คะแนนว่า ถ้าตอบแบบทดสอบแต่ละข้อถูกต้องทั้งตัวเลือกและ เหตุผล ถูกเฉพาะตัวเลือกหรือเหตุผล และผิดทั้งตัวเลือกเหตุผล จะได้คะแนนแบบทดสอบข้อนั้น เป็น 2 1 และ 0 คะแนน ตามลำดับ ซึ่งจากคะแนนความเข้าใจโมติ เรื่อง อัตราการ เกิดปฏิกิริยา พบว่านักเรียนมีร้อยละของความก้าวหน้าสูงสุดคือ 62.83 ในสภาพแวดล้อมการเรียน เรื่อง การคำนวณเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาและมีค่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลัง เรียนเท่ากับ 1.55 และ 3.86 (จาก 4 คะแนน) ตามลำดับ ในขณะที่สภาพแวดล้อมการเรียน เรื่อง กลไกของตัวเร่งที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาพบว่านักเรียนมีร้อยละของความก้าวหน้าต่ำที่สุด คือ 20.50 มีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียนเท่ากับ 4.02 และ 5.66 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 ความเข้าใจโมติก่อนเรียนและหลังเรียน เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยา

เนื้อหาย่อย	คะแนน เต็ม	ก่อนเรียน		หลังเรียน		% gain
		Mean	SD	Mean	SD	
1. ความหมายของอัตรา	4	1.55	0.66	3.86	0.51	57.75
2. การคำนวณเกี่ยวกับอัตรา	6	0.82	0.39	4.59	1.14	62.83
3. แนวคิดเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยา	14	3.30	1.34	9.93	2.92	47.36
4. ผลของธรรมชาติของสารตั้งต้น	4	0.91	0.96	3.18	0.83	56.75
5. ผลของพื้นที่ผิวที่มีต่ออัตรา	8	2.14	0.95	5.48	1.52	41.75
6. ผลของความเข้มข้นที่มีต่ออัตรา	8	3.45	0.82	6.57	1.44	39.00
7. กลไกของตัวเร่งที่มีต่ออัตรา	8	4.02	1.75	5.66	2.02	20.50
8. ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตรา	8	3.52	1.21	6.05	1.58	31.63
รวม	60	19.79	3.08	45.05	6.28	44.70

เมื่อพิจารณาร้อยละของคะแนนความเข้าใจโมติก่อนเรียนและหลังเรียนและความคงทนของ ความเข้าใจโมติเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาโดยจำแนกตามสภาพแวดล้อมการเรียน (ภาพที่ 4.1) พบว่านักเรียนมีร้อยละของคะแนนความเข้าใจโมติก่อนเรียน ในสภาพแวดล้อมการเรียน เรื่อง การคำนวณเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาต่ำสุด (13.67) ทั้งนี้เนื่องจากนักเรียนยังไม่เคยเรียนโมตินี้มาก่อนจึงทำให้นักเรียนไม่มีพื้นฐานความรู้เดิมในเรื่องดังกล่าว และ คะแนนก่อนเรียนสูงสุดในสภาพแวดล้อมการเรียน เรื่อง กลไกของตัวเร่งที่มีต่ออัตราการ

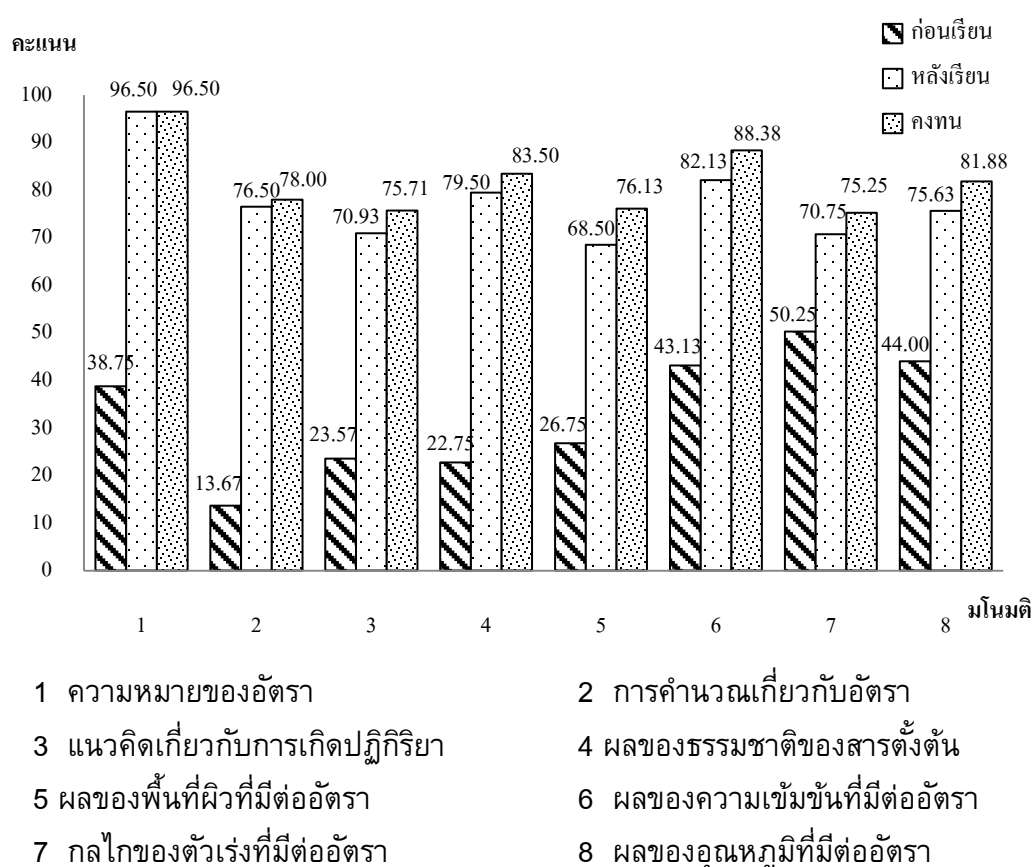
เกิดปฏิกิริยา และผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา คือ 50.25 และ 44.00 ทั้งนี้เนื่องจากนักเรียนได้เรียนเนื้อหาดังกล่าวในวิชาเคมีพื้นฐานชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จึงทำให้นักเรียนมีพื้นฐานความรู้เดิมค่อนข้างมาก ส่งผลให้คะแนนผลการทดสอบก่อนเรียนสูงกว่ามโนมติในเรื่องอื่นๆ

หลังจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหว ระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ พบว่าในสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ เรื่อง ผลของพื้นที่ผิวที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา นักเรียนมีร้อยละของคะแนนหลังเรียนต่ำที่สุด (68.50) ทั้งนี้เนื่องจากในเรื่องผลของพื้นที่ผิวที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยายังคงมีนักเรียนบางส่วนที่สับสนเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของขนาดพื้นที่ผิวว่าสารตั้งต้นที่มีขนาดใหญ่คือสารที่มีพื้นที่ผิวมากแต่เมื่อเปรียบเทียบคะแนนหลังเรียนกับคะแนนก่อนเรียนในหัวข้อดังกล่าวจะเห็นว่ามียุทธศาสตร์ของความก้าวหน้าคือ 41.75 ส่วนในเรื่องความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยานักเรียนมีคะแนนหลังเรียนสูงที่สุด (96.50) และเรื่องการคำนวณเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยามีคะแนนร้อยละความก้าวหน้าสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากเป็นเนื้อหาที่ไม่ซับซ้อนมากนักเมื่อนักเรียนสามารถเข้าใจหลักการคำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวนักเรียนก็สามารถเข้าใจมโนมติในเรื่องนั้นได้ดี อีกทั้งในชั้นขยายความรู้ได้ใช้กิจกรรมการเปรียบเทียบสิ่งที่เหมือนและสิ่งที่ต่างระหว่างการหาอัตราการเกิดปฏิกิริยากับการหาอัตราเร็วในการวิ่งซึ่งนักเรียนสามารถพบเห็นและนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้มากที่สุด

ตารางที่ 4.3 ความเข้าใจมโนมติหลังเรียนและความคงทนของความเข้าใจมโนมติ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยา

เนื้อหาย่อย	คะแนนเต็ม	หลังเรียน		ความคงทน	
		Mean	SD	Mean	SD
1. ความหมายของอัตรา	4	3.86	0.51	3.86	0.46
2. การคำนวณเกี่ยวกับอัตรา	6	4.59	1.14	4.68	1.13
3. แนวคิดเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยา	14	9.93	2.92	10.60	2.04
4. ผลของธรรมชาติของสารตั้งต้น	4	3.18	0.83	3.34	0.66
5. ผลของพื้นที่ผิวที่มีต่ออัตรา	8	5.48	1.52	6.09	1.41
6. ผลของความเข้มข้นที่มีต่ออัตรา	8	6.57	1.44	7.07	1.56
7. กลไกของตัวเร่งที่มีต่ออัตรา	8	5.66	2.02	6.02	1.60
8. ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตรา	8	6.05	1.58	6.55	1.89
รวม	60	45.05	6.28	48.02	8.96

เมื่อพิจารณาร้อยละของคะแนนหลังเรียนและคะแนนความคงทนของความเข้าใจโมเมนต์พบว่า มีร้อยละคะแนนเพิ่มขึ้นทุกสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ ยกเว้นในสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ เรื่อง ความหมายของอัตราเกิดการเกิดปฏิกิริยา มีร้อยละคะแนนเท่าเดิม เมื่อเปรียบเทียบคะแนนหลังเรียนและคะแนนวัดความคงทนของความเข้าใจโมเมนต์ด้วยการทดสอบค่าที่แบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (dependent-samples t-test analysis) พบว่า นักเรียนมีคะแนนความเข้าใจโมเมนต์หลังเรียนไม่แตกต่างกับคะแนนวัดความคงทนของความเข้าใจโมเมนต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$



ภาพที่ 4.1 ร้อยละของคะแนนความเข้าใจโมเมนต์ก่อนเรียน หลังเรียน และความคงทนของความเข้าใจโมเมนต์ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยา

จากการวัดความเข้าใจโมเมนต์ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนเป็น 19.79 (SD 3.08) และคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเป็น 45.05 (SD 6.28) คิดเป็นคะแนนเฉลี่ยความก้าวหน้า 25.61 หรือร้อยละ 42.68 และเมื่อศึกษาความคงทนของความเข้าใจ

มโนคติเมื่อเวลาผ่านไป 30 วันพบว่านักเรียนมีคะแนนความคงทนเฉลี่ยเป็น 48.02 (SD 8.86) จากการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน คะแนนหลังเรียนและคะแนนวัดความคงทนของความเข้าใจมโนคติด้วยการทดสอบค่าที่แบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน พบว่า นักเรียนมีคะแนนความเข้าใจมโนคติหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ และ คะแนนความเข้าใจมโนคติหลังเรียนไม่แตกต่างกับคะแนนวัดความคงทนของความเข้าใจมโนคติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่รายงานว่าการกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์สามารถพัฒนาความเข้าใจมโนคติของนักเรียนให้สูงกว่าผลสัมฤทธิ์ก่อนเรียนได้ (ศรีบุญตาม โจมศรี, 2553 ; วิชัย ลาธิ, 2555) และกิจกรรมเปรียบเทียบช่วยให้นักเรียนสามารถจินตนาการเนื้อหาที่เป็นนามธรรมให้เป็นรูปธรรมและมีความเข้าใจมโนคติเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น (วัชรพงษ์ อภิภูณนุรังสี, 2548 ; อรรพรรณ หอมพรมมา, 2553) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะนักเรียนได้ทดลอง นำเสนอผลการทดลอง เล่นเกม และการเขียน Analog เปรียบเทียบในขั้นประเมิน (Evaluation) ส่งผลให้มีความเข้าใจสามารถลำดับเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของเนื้อหาได้ชัดเจนเป็นลำดับขั้นตอนและเป็นระบบระเบียบดังนั้นเพื่อเป็นการตรวจสอบมโนคติที่เกิดขึ้นของนักเรียนว่าสอดคล้องกับมโนคติวิทยาศาสตร์หรือไม่เพียงใดทั้งยังช่วยให้นักเรียนจดจำได้ง่าย มีความคงทนในการจำ (ศรีบุญตาม โจมศรี, 2553) อีกทั้งในการทำกิจกรรมช่วยสร้างแรงจูงใจสร้างความสนใจกระตุ้นทำให้นักเรียนสนุกทำหยาบรวมถึงสามารถสื่อความหมายและอธิบายเนื้อหาหรือโครงสร้างที่ซับซ้อนยุ่งยากให้เข้าใจง่ายมากขึ้นเพราะสิ่งที่นำมาใช้เปรียบเทียบ (Analog) ใกล้เคียงกับสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคยและยิ่งทำให้นักเรียนเข้าใจมากขึ้นเมื่อนักเรียนได้มีส่วนร่วมในการคิดหรือสร้างการเปรียบเทียบ (analogy) ด้วยตนเอง (อรรพรรณ หอมพรมมา, 2553) และพบว่านักเรียนมีร้อยละของความก้าวหน้าน้อยที่สุด คือ 20.50 ในมโนคติกลไกของตัวเร่งที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ทั้งนี้เนื่องจากเป็นหัวข้อที่ซับซ้อนและค่อนข้างเป็นนามธรรมต้องใช้จินตนาการ ดังนั้นอาจจะเป็นขีดจำกัดของนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่จะสามารถเพิ่มการพัฒนาศักยภาพการเรียนรู้และความเข้าใจ จึงส่งผลทำให้อัตราความก้าวหน้าต่ำที่สุด

จากผลการทดสอบวัดความเข้าใจมโนคติของนักเรียน สามารถแยกประเด็นวิเคราะห์นักเรียนในกลุ่มต่างๆ ได้ดังนี้

1) นักเรียนที่มีคะแนนการทดสอบวัดความเข้าใจมโนติก่อนเรียนและหลังเรียนสูงคือนักเรียนที่มีพื้นฐานความรู้เดิมในวิชาเคมีในระดับดีซึ่งจะมีผลต่อการเรียนรู้มโนคติใหม่ได้ดีเนื่องจาก พื้นความรู้เดิม หรือประสบการณ์เดิมของนักเรียนซึ่งเมื่อผู้เรียนได้รับการส่งเสริมในการเรียน และปรับแก้มโนคติให้ถูกต้องจะทำให้นักเรียนมีการพัฒนาที่สูงขึ้นอย่างชัดเจนหรือมีความเข้าใจมโนคติถูกต้องมากขึ้น (สุวัฒน์ นิยมคำ, 2531)

2) นักเรียนที่มีพื้นฐานทางความรู้ในวิชาเคมีอยู่ในระดับต่ำคะแนนทดสอบวัดความเข้าใจมโนติก่อนเรียนและหลังเรียนยังอยู่ในระดับต่ำเช่นเดิมคือนักเรียนคนเดิมซึ่ง

อาจมีสาเหตุมาจากผู้เรียนไม่เข้าใจในเนื้อหาจึงชอบที่จะให้ครูสอนมากกว่าที่ให้เรียนด้วยตนเอง หากนักเรียนคนดังกล่าวมีความเข้าใจแนวคิดคลาดเคลื่อนมาก่อนแล้วจะเป็นความคิดที่ผิดพลาดจะคงอยู่ไปอีกนานซึ่งยากจะแก้ไขเปลี่ยนแปลง (Clement, 1993 ; Griffiths and et al., 1988) และในการที่จะพัฒนามโนคติหรือปรับแก้มโนคติเดิมของนักเรียนซึ่งคลาดเคลื่อนอยู่แล้วให้ถูกต้องหรือคลาดเคลื่อนน้อยลงต้องใช้เวลาในการปรับแก้มโนคติเหล่านั้นซึ่งจากการวิจัยครั้งนี้ใช้เวลาเพียง 15 ชั่วโมงซึ่งอาจปรับแก้ได้ไม่มากเท่าที่ควรทำให้นักเรียนมีคะแนนทดสอบมโนคติหลังเรียนยังอยู่ในระดับต่ำแต่ถึงอย่างไรก็ตามเมื่อนักเรียนได้เรียนโดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบพบว่านักเรียนมีการพัฒนาในทางที่ดีขึ้น

3) นักเรียนที่มีคะแนนร้อยละความก้าวหน้าทางการเรียนสูงส่วนใหญ่เป็นนักเรียนที่มีพื้นฐานความรู้ทางด้านเคมีในระดับปานกลางเป็นนักเรียนที่สนใจเข้าร่วมกิจกรรมเป็นอย่างดีใฝ่รู้ใฝ่เรียนมีการเตรียมตัวในเนื้อหาที่จะเรียนอย่างดีและกระตือรือร้นในการเรียนอยู่เสมอพร้อมทั้งมีเจตคติที่ดีต่อวิชาเคมีจึงส่งผลให้คะแนนร้อยละความก้าวหน้าของนักเรียนสูงหรือเพิ่มขึ้นมาก

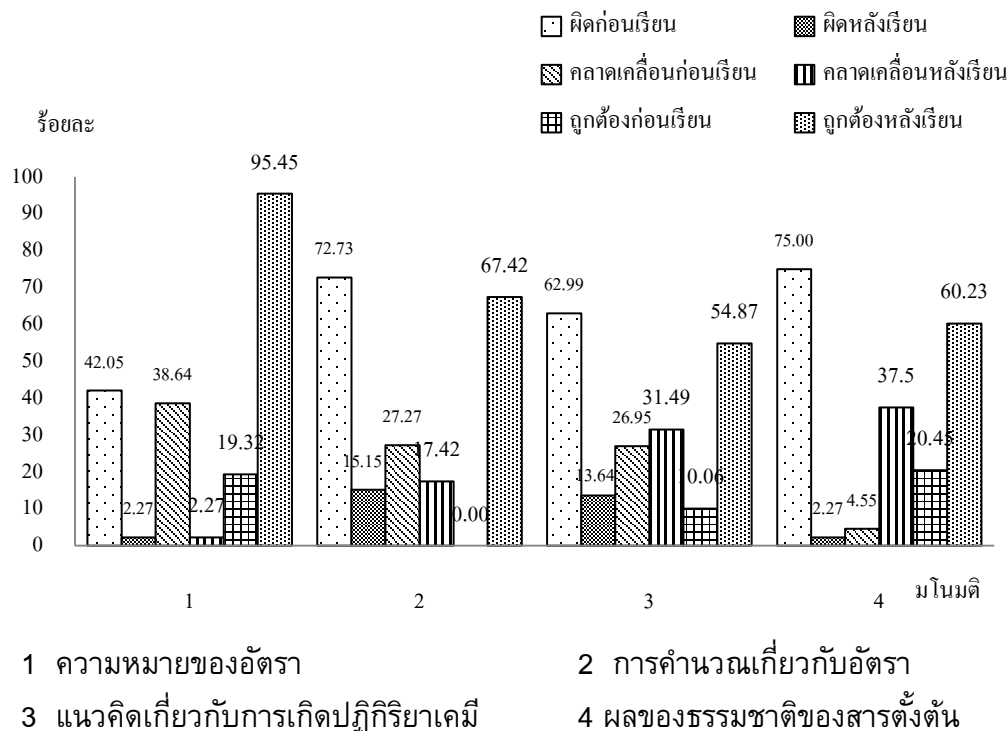
4.1.2 ความเข้าใจมโนคติผิด คลาดเคลื่อน และถูกต้อง เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยา

จากการจำแนกแบบทดสอบวัดความเข้าใจมโนคติออกเป็นหัวข้อย่อย และประเมินโดยใช้หลักเกณฑ์ว่าถ้านักเรียนตอบแบบทดสอบแต่ละข้อถูกต้องตัวเลือกและเหตุผล ถูกเฉพาะตัวเลือกหรือเหตุผล และผิดทั้งตัวเลือกเหตุผล หมายความว่า ในแบบทดสอบข้อนั้นนักเรียนมีความเข้าใจมโนคติถูกต้อง (Good conception) ความเข้าใจมโนคติคลาดเคลื่อน (Alternative conceptions) และความเข้าใจมโนคติผิด (Misconception) ตามลำดับ จากการประเมินสามารถหาลักษณะของนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนคติผิด คลาดเคลื่อน และถูกต้อง เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยา (ตารางที่ 4.4) โดยนักเรียนมีความเข้าใจถูกต้องเพิ่มขึ้นทุกมโนคติสังเกตได้จากร้อยละของนักเรียนมีความเข้าใจมโนคติผิดลดลง โดยมีร้อยละของคะแนนความเข้าใจมโนคติถูกต้องมากกว่าร้อยละ ในทุกหัวข้อของเรื่อง 50 อัตราการเกิดปฏิกิริยาซึ่งแสดงว่า กิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบสามารถช่วยลดมโนคติที่ผิดของนักเรียนให้ลดลงได้ โดยมีมโนคติเรื่องความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยานักเรียนมีความเข้าใจมโนคติถูกต้องมากที่สุด 95.45 และเมื่อพิจารณาในหัวข้อการคำนวณเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยา พบว่าร้อยละมโนคติถูกต้องก่อนเรียนและ มโนคติผิดก่อนเรียน มีค่าเท่ากับ 0.00 และ 72.73 ตามลำดับแต่หลังดำเนินการจัดการเรียนรู้พบว่าร้อยละมโนคติถูกต้องหลังเรียนเพิ่มขึ้นเป็น 67.42 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความก้าวหน้าเพิ่มขึ้นอย่างมากทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากกิจกรรมเปรียบเทียบสิ่งที่เหมือนและสิ่ง

ที่ต่างในการคำนวณหาอัตราเร็วของการวิ่งที่ระยะทางเท่ากันในเวลาต่างกันซึ่งเป็นสถานการณ์ที่พบเห็นได้ในชีวิตประจำวันนักเรียนจึงสามารถเชื่อมโยงไปถึงการคำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาดังภาพที่ 4.2 และภาพที่ 4.3

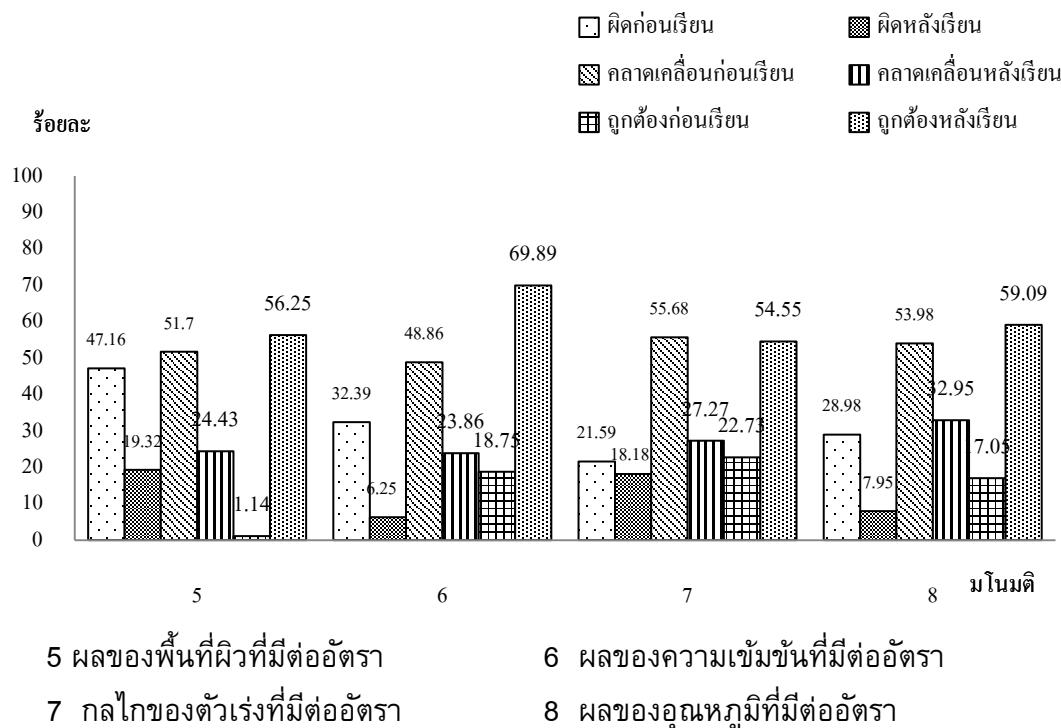
ตารางที่ 4.4 ร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจโมเมนต์ผิ ด คลาดเคลื่อน และถูกต้อง เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยา

มโนมติ (จำนวนข้อของแบบทดสอบ)	มโนมติก่อนเรียน (ร้อยละ)			มโนมติหลังเรียน (ร้อยละ)		
	ผิ ด	คลาดเคลื่อน	ถูกต้อง	ผิ ด	คลาดเคลื่อน	ถูกต้อง
1. ความหมายของอัตรา (2)	42.05	38.64	19.32	2.27	2.27	95.45
2. การคำนวณเกี่ยวกับอัตรา (3)	72.73	27.27	0.00	15.15	17.42	67.42
3. แนวคิดเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยา (7)	62.99	26.95	10.06	13.64	31.49	54.87
4. ผลของธรรมชาติของสารตั้งต้น(2)	75.00	4.55	20.45	2.27	37.50	60.23
5. ผลของพื้นที่ผิวที่มีต่ออัตรา (4)	47.16	51.70	1.14	19.32	24.43	56.25
6. ผลของความเข้มข้นที่มีต่ออัตรา(4)	32.39	48.86	18.75	6.25	23.86	69.89
7. กลไกของตัวเร่งที่มีต่ออัตรา (4)	21.59	55.68	22.73	18.18	27.27	54.55
8. ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตรา (4)	28.98	53.98	17.05	7.95	32.95	59.09
เฉลี่ย	47.86	38.45	13.69	10.63	24.65	64.72



ภาพที่ 4.2 ร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจโมเมนต์ผิ ด คลาดเคลื่อน และถูกต้อง เรื่อง 1-4

จากภาพที่ 4.2 พบว่ามโนคติความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาการคำนวณเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยา แนวคิดเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี ผลของสารบางชนิดที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาของนักเรียนก่อนเรียนมีความเข้าใจมโนคติผิด มโนคติคลาดเคลื่อนมาก และมโนคติถูกต้องน้อย โดยมโนคติที่นักเรียนถูกต้องน้อย คือ การคำนวณเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาและมโนคติที่นักเรียนถูกต้องมาก คือ มโนคติผลของธรรมชาติของสารตั้งต้นที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาหลังจากจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบพบว่านักเรียนมีความเข้าใจมโนคติถูกต้องเพิ่มมากขึ้นและมีความเข้าใจมโนคติผิดลดลง ซึ่งแนวโน้มเป็นไปในแนวเดียวกันทุกมโนคติ โดยพบว่ามโนคติที่นักเรียนมีความถูกต้องหลังเรียนสูงที่สุด คือ การคำนวณเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยา และมโนคติที่นักเรียนมีความถูกต้องน้อย คือ แนวคิดเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี



ภาพที่ 4.3 ร้อยละของนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนคติผิด คลาดเคลื่อน และถูกต้องเรื่อง 5-8

จากภาพที่ 4.3 พบว่ามโนคติผลของพื้นที่ผิวที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ผลของความเข้มข้นที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา กลไกของตัวเร่งที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาของนักเรียนก่อนเรียนมีความเข้าใจมโนคติผิด มโนคติคลาดเคลื่อนมาก และมโนคติถูกต้องน้อยโดยมโนคติที่นักเรียนถูกต้องน้อย คือ ผลของพื้นที่ผิว

ที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา และมโนคติที่นักเรียนถูกต้องมาก คือ กลไกของตัวเร่งที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา หลังจากจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบพบว่านักเรียนมีความเข้าใจมโนคติถูกต้องเพิ่มมากขึ้น และมีความเข้าใจมโนคติคลาดเคลื่อนและผิดพลาด โดยมโนคติที่นักเรียนมีความถูกต้องหลังเรียนสูงสุดคือมโนคติผลของความเข้มข้นที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาและมโนคติที่นักเรียนมีความถูกต้องน้อย คือ กลไกของตัวเร่งที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

เมื่อพิจารณาภาพที่ 4.2 และ 4.3 คือ มโนคติที่ 1-8 พบว่า มโนติก่อนเรียนที่นักเรียนมีความเข้าใจมโนคติผิดมากที่สุด คือ ผลของสารบางชนิดที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา และมโนคติผิดก่อนเรียนน้อยที่สุด คือ กลไกของตัวเร่งที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาหลังจากจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบพบว่านักเรียนมีความเข้าใจมโนคติถูกต้องเพิ่มมากขึ้นและมีความเข้าใจมโนคติคลาดเคลื่อนและผิดพลาด ซึ่งแนวโน้มเป็นไปในแนวเดียวกันทุกมโนคติ ยกเว้นมโนคติแนวคิดเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยพบว่ามโนคติที่นักเรียนมีความถูกต้องหลังเรียนสูงสุด คือ มโนคติ ความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยา ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อนักเรียนสามารถเข้าใจหลักการคำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวนักเรียนก็สามารถเข้าใจมโนคติในเรื่องนั้นได้ดี อีกทั้งในชั้นขยายความรู้ได้ใช้กิจกรรมการเปรียบเทียบสิ่งที่เหมือนและสิ่งที่ต่างระหว่างการหาอัตราการเกิดปฏิกิริยากับการหาอัตราเร็วในการวิ่งซึ่งนักเรียนสามารถพบเห็นและนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้มากที่สุด ซึ่งส่งผลให้นักเรียนเข้าใจและจดจำได้ง่ายขึ้น และในกระบวนการเรียนมีชั้นขยายความรู้ซึ่งเป็นการใช้กิจกรรมการเปรียบเทียบสิ่งที่เหมือนและสิ่งที่ต่างของสิ่งเปรียบเทียบ (Analog) และเป้าหมาย (Target) ในการประยุกต์ใช้ความรู้จากขั้นการสำรวจเพื่ออธิบายเชื่อมโยงเข้ากับสถานการณ์ใหม่ และให้นักเรียนได้ประมวลความรู้โดยการคิดสิ่งเปรียบเทียบขึ้นมาเปรียบเทียบกับมโนคติที่เรียนจึงส่งผลให้นักเรียนเข้าใจมโนตินั้นๆ ได้ดียิ่งขึ้น นักเรียนจึงมีความเข้าใจมโนคติถูกต้องสูงขึ้น ในขณะที่มโนคติเกี่ยวกับกลไกของตัวเร่งที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาและแนวคิดเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมีพบว่านักเรียนมีความเข้าใจมโนติหลังเรียนถูกต้องน้อยที่สุดตามลำดับโดยมโนคติในสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นนามธรรมต้องอาศัยจินตนาการในการพิจารณาเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาดังนั้นอาจจะเป็นขีดจำกัดของนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่จะสามารถเพิ่มการพัฒนาศักยภาพการเรียนรู้และความเข้าใจ จึงส่งผลทำให้อายุละความก้าวหน้าต่ำที่สุด และเมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ยความคงทนของความเข้าใจมโนติพบว่าคะแนนความเข้าใจมโนติหลังเรียนไม่แตกต่างกับคะแนนวัดความคงทนของความเข้าใจมโนติ ทั้งนี้เนื่องจากชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบช่วยให้นักเรียนได้ปฏิบัติและเรียนรู้โดยใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งในขั้นตอนของการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์จะเป็นพื้นฐานที่เชื่อมโยงกันและกัน และช่วยเสริมให้นักเรียนได้คิด

อย่างมีวิจารณญาณ และสร้างเป็นองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง อีกทั้งยังช่วยให้นักเรียนสามารถจินตนาการเนื้อหาที่เป็นนามธรรมให้เป็นรูปธรรมและมีความเข้าใจในมโนคติเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น

จากการวิเคราะห์ร้อยละของมโนติก่อนเรียนและหลังเรียนตามชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยา สามารถจำแนกเป็นมโนติที่ถูกต้อง คลาดเคลื่อน และผิด จะเห็นได้ว่าหลังการจัดการเรียนรู้แล้ว นักเรียนมีความเข้าใจถูกต้องเพิ่มขึ้นทุกมโนติ สังเกตได้จากร้อยละของนักเรียนมีความเข้าใจมโนติผิดพลาด โดยมีร้อยละของคะแนนความเข้าใจมโนติถูกต้องมากกว่าร้อยละ 50 ในทุกหัวข้อของเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งแสดงว่ากิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบสามารถช่วยลดมโนติที่ผิดของนักเรียนให้ลดลงได้ โดยมีมโนติ เรื่องความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยานักเรียนมีความเข้าใจมโนติถูกต้องมากที่สุด (95.45) และเมื่อพิจารณาในหัวข้อการคำนวณเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยา พบว่าร้อยละมโนติถูกต้องก่อนเรียนและ มโนติผิดก่อนเรียน มีค่าเท่ากับ 0.00 และ 72.73 ตามลำดับ แต่หลังดำเนินการจัดการเรียนรู้พบว่าร้อยละมโนติถูกต้องหลังเรียนเพิ่มขึ้นเป็น 67.42 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความก้าวหน้าเพิ่มขึ้นอย่างมากทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากกิจกรรมเปรียบเทียบสิ่งที่เหมือนและสิ่งที่ต่างในการคำนวณหาอัตราเร็วของการวิ่งที่ระยะทางเท่ากันในเวลาต่างกันซึ่งเป็นสถานการณ์ที่พบเห็นได้ในชีวิตประจำวันนักเรียนจึงสามารถเชื่อมโยงไปถึงการคำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยา ส่วนมโนติที่นักเรียนยังมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนอยู่ค่อนข้างมาก คือ มโนติเรื่องผลของสารบางชนิดที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา (37.50) และผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา (32.95) ซึ่งอาจเนื่องมาจากในหัวข้อผลของสารบางชนิดที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเป็นหัวข้อแรกที่นักเรียนได้ลงทำการทดลองแบบสืบเสาะซึ่งยังไม่เข้าใจบทบาทหน้าที่ของตนเองในการใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ส่วนในหัวข้อผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยานั้นนักเรียนยังไม่สามารถเชื่อมโยงกิจกรรมการเรียนการสอนให้เข้ากับชีวิตประจำวันได้ แต่เมื่อพิจารณาร้อยละมโนติเฉลี่ยแล้วพบว่านักเรียนมีความเข้าใจมโนติหลังเรียนถูกต้องเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ค้นหาคำตอบด้วยตนเองผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ อีกทั้งยังเป็นกิจกรรมที่ช่วยให้นักเรียนได้เรียนรู้มโนตินั้นอย่างเป็นรูปธรรมมากขึ้น จึงส่งผลช่วยให้นักเรียนเกิดความเข้าใจมโนติได้ อีกทั้งยังทำให้นักเรียนได้เชื่อมโยงระหว่างสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน นำมาสู่การอธิบายสถานการณ์นั้น นอกจากนี้การมีปฏิสัมพันธ์กับเพื่อนในชั้นเรียน โดยครูมีหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวก ดูแล สร้างแรงจูงใจ (กุลธิดา ทีน้อย, 2555)จากที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับ

โมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบสามารถปรับแก้โมเดลที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนได้ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก

1) การเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติโดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเริ่มจากการสร้างความสนใจ กระตุ้น ทำให้นักเรียนสนุก ทำทหายอยากรวบรวมข้อมูล ลงข้อสรุป และสร้างเป็นองค์ความรู้ขึ้นด้วยตนเอง(ศรีบุญตาม โจมศรี, 2553) อีกทั้งมีกิจกรรมการเปรียบเทียบที่สามารถสื่อความหมายและอธิบายเนื้อหาหรือโครงสร้างที่ซับซ้อน ยุ่งยาก ให้เข้าใจง่ายมากขึ้นเพราะสิ่งที่นำมาใช้เปรียบเทียบหรือเป็น Analog ใกล้เคียงกับสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคย และยังทำให้นักเรียนเข้าใจมากขึ้นเมื่อนักเรียนได้มีส่วนร่วมในการคิดหรือสร้างสิ่งเปรียบเทียบหรือ Analog ด้วยตนเอง(อรรพรรณ หอมพรมมา, 2553) และสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ในการอธิบายเชื่อมโยงไปยังสถานการณ์ใหม่ นอกจากนี้การมีปฏิสัมพันธ์กับเพื่อนในชั้นเรียน โดยครูมีหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวก ดูแล สร้างแรงจูงใจ(กุลธิดา ที่น้อย, 2555)

2) การเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบผู้วิจัยได้ทำการสำรวจมโนคติทางการเรียนของนักเรียนก่อนเรียนทำให้ผู้วิจัยได้ทราบว่านักเรียนมีความเข้าใจโมเดลคลาดเคลื่อนในเรื่องใดบ้างแล้วจึงทำการปรับแก้มโนคติในเรื่องนั้นทำให้แก่นักเรียนที่มีความเข้าใจโมเดลคลาดเคลื่อนในเรื่องนั้นได้ค่อนข้างชัดเจนและทำให้นักเรียนมีความเข้าใจโมเดลถูกต้องมากขึ้น

จากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบสามารถลดมโนคติที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนได้เป็นส่วนใหญ่แต่ยังมีนักเรียนบางส่วนที่ยังไม่สามารถปรับแก้โมเดลที่คลาดเคลื่อนได้ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพฤติกรรมการเรียนของนักเรียนสติปัญญาและความสามารถในการเรียนรู้ของแต่ละบุคคลไม่เท่ากันอาจเป็นเพราะความแตกต่างของเด็กแต่ละคนเนื่องมาจากองค์ประกอบต่าง ๆ นั้นย่อมมีอิทธิพลต่อการเรียนรู้และแปลความหมายจากการรับรู้ข้อมูลเหล่านั้นด้วยถ้าหากว่าความแตกต่างเหล่านั้นเกิดจากพันธุกรรมครูอาจทำการแก้ไขได้ยากและการปรับแก้โมเดลที่คลาดเคลื่อนต้องใช้ระยะเวลานาน (มังกร ทองสุขดี, 2535) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการปรับแก้โมเดลที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน เช่น กิจกรรมการสอนอาจยังไม่สอดคล้องกับมโนคติที่ต้องการปรับแก้หรือวันเวลาไม่เหมาะสมเป็นต้น

4.2 ชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง ไฟฟ้าเคมี

ผลการศึกษาเกี่ยวกับการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง ไฟฟ้าเคมี มีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 คะแนนความเข้าใจโน้มนมติ เรื่อง ไฟฟ้าเคมี

จากการวัดความเข้าใจโน้มนมติวิทยาศาสตร์ เรื่อง ไฟฟ้าเคมี พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนเป็น 19.43 (SD 6.94) คิดเป็นร้อยละ 32.38 ของคะแนนเต็ม และคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเป็น 42.67 (SD 8.94) คิดเป็นร้อยละ 71.12 ของคะแนนเต็ม โดยมีร้อยละของความก้าวหน้าคิดเป็น 38.74 จากการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน ด้วยการทดสอบค่าที่แบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน พบว่า นักเรียนมีคะแนนโน้มนมติหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ (ตารางที่ 4.5) แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการเรียนรู้มีประสิทธิภาพในการพัฒนาความเข้าใจโน้มนมติของนักเรียนให้สูงขึ้นได้

ตารางที่ 4.5 คะแนนความเข้าใจโน้มนมติก่อนเรียนและหลังเรียน เรื่อง ไฟฟ้าเคมี

เนื้อหา (คะแนน)	ก่อนเรียน			หลังเรียน			%	T-test*	
	mean	SD	%	mean	SD	%		t	p
1. ปฏิกริยารีดอกซ์และการถ่ายโอนอิเล็กตรอน (18)	6.78	3.32	37.67	14.56	3.52	80.89	43.22	14.51*	0.00
2. ความสามารถในการรีดิวซ์และออกซิไดส์ (10)	2.46	1.32	24.60	7.93	1.97	79.30	54.70	16.38*	0.00
3. เซลล์กัลวานิกและเซลล์ผลไม้ม (18)	4.30	2.09	23.89	11.54	2.87	64.11	40.22	16.64*	0.00
4. การแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า (6)	2.82	1.23	47.00	4.27	1.15	71.17	24.17	7.11*	0.00
5. การชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้าและการป้องกันการผุกร่อนด้วยวิธีแคโทดิก (8)	3.07	2.49	38.38	4.37	1.96	54.63	16.25	3.77*	0.00
รวม (60)	19.43	6.94	32.38	42.67	8.94	71.12	38.74	19.08*	0.00

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากการทดสอบค่าที่แบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (ค่า $p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.5 พบว่า นักเรียนมีคะแนนร้อยละของมโนมติหลังเรียนเพิ่มขึ้นและสูงกว่าก่อนเรียนในทุกเนื้อหา และมโนมติหลังเรียนมีค่าสูงกว่าร้อยละ 50 ทุกเนื้อหา โดยมีคะแนนร้อยละของมโนมติหลังเรียนสูงที่สุดและต่ำที่สุดในเรื่อง ปฏิกริยารีดอกซ์และการถ่ายโอนอิเล็กตรอน (ร้อยละ 80.89) และการชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้าและการป้องกันการผุกร่อนด้วยวิธี

แคลโทดิก (ร้อยละ 54.63) ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะในขั้นตอนการดำเนินกิจกรรมด้วยวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น ในกิจกรรมที่ 1 เรื่อง คู่ไหน คู่กัน เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ นักเรียนเรียนรู้โดยการสืบเสาะเป็นกิจกรรมแรกทำให้นักเรียนยังไม่เข้าใจขั้นตอนในกระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น ครูจะคอยแนะนำ กระตุ้นด้วยคำถามตลอดเวลา เพื่อให้เกิดความสนใจ และยกตัวอย่างให้นักเรียนเข้าใจเพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินตามกิจกรรมสืบเสาะต่อไป อีกทั้งในส่วนเนื้อหาและกิจกรรมการทดลองไม่ยุ่งยากซับซ้อน ง่ายเหมาะกับนักเรียน ทำให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น โดยภายในกิจกรรมนักเรียนจะมีการเลือกคู่โลหะและจุ่มลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เพื่อศึกษาว่าคู่ไหนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น จากนั้นก็นำมาอธิบายผลการทดลอง เช่น ถ้านักเรียนนำโลหะชนิดเดียวกันจุ่มลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีไอออนของโลหะนั้นอยู่จะไม่เกิดการถ่ายโอนอิเล็กตรอนขึ้น ส่งผลให้คะแนนร้อยละของมโนมติในเนื้อหาแรกมีค่ามากที่สุด ส่วนในกิจกรรมที่ 2 นักเรียนจะเริ่มทำความเข้าใจและอยากเรียนรู้ด้วยวิธีการสืบเสาะด้วยตนเองมากขึ้น โดยครูจะจัดกิจกรรมการทดลองแบบสืบเสาะที่คอยแนะนำนักเรียน (guided-inquiry laboratory) ซึ่งนักเรียนจะรู้สึกชอบ เพราะง่ายต่อการทำกิจกรรมการทดลอง รายงานการทดลองและการคิดและวิเคราะห์เพื่อทำรายงานการทดลอง (Chatterjee, S. et al., 2009) อย่างไรก็ตามเมื่อนักเรียนทำกิจกรรมด้วยตนเองมากขึ้น และครูเพียงคอยแนะนำบ้าง จะเห็นได้ว่ามีคะแนนร้อยละของมโนมติมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากมโนมติต่างๆในวิชาเคมีมักจะเกี่ยวเนื่องกันและกัน โดยเฉพาะความรู้เกี่ยวกับปฏิกิริยารีดอกซ์และการถ่ายโอนอิเล็กตรอน และความสามารถในการรีดิวซ์และออกซิไดส์เป็นมโนมติที่เรียนก่อนและจะเป็นพื้นฐานของมโนมติในเรื่องที่เรียนถัดไป (วรารณ ธีรศิริ, 2532) ในส่วนของเนื้อหา เรื่อง การชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้าและการป้องกันการผุกร่อนด้วยวิธีแคโทดิก ซึ่งเป็นเรื่องสุดท้าย ในการจัดกิจกรรมและเนื้อหาส่วนใหญ่เป็นการประยุกต์เอาความรู้มาใช้ทำให้นักเรียนมีความเข้าใจที่น้อยลง อีกทั้งหลักการในเนื้อหาซับซ้อนทำให้นักเรียนเกิดมโนมติที่คลาดเคลื่อนได้มากขึ้น เช่นเดียวกันกับเนื้อหาเรื่อง เซลล์กัลวานิกและเซลล์ผลไม้มั เป็นการนำความรู้เกี่ยวกับปฏิกิริยารีดอกซ์มาประยุกต์เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมี ซึ่งการทดลองในกิจกรรมอาจจะยุ่งยากซับซ้อนและใช้เวลานานในการดำเนินกิจกรรม ส่งผลให้นักเรียนมีร้อยละของมโนมติหลังเรียนที่ค่อนข้างต่ำ

นักเรียนมีร้อยละความก้าวหน้าสูงสุด ในเรื่อง ความสามารถในการรีดิวซ์และออกซิไดส์ (ร้อยละ 54.70) ทั้งนี้เนื่องจากในกิจกรรมตัวรับตัวให้อิเล็กตรอน)ใครดีใครเด่น นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติจริงด้วยตนเอง การทดลองเห็นภาพชัดเจน ทำได้ง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อน และในเนื้อหาไม่ยากจนเกินไป โดยการเปรียบเทียบแก๊สที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยาของโลหะชนิดต่างๆ เช่น ลวดแมกนีเซียม , ลวดทองแดง, แผ่นสังกะสี, ตะปูเหล็ก และแผ่นอะลูมิเนียม กับสารละลายกรดชนิดต่างๆ เช่น กรดอะซิติก และกรดไฮโดรคลอริก ทำให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นและเกิดองค์ความรู้ใหม่จากประสบการณ์ตรง รวมทั้งมีการแนะนำจากครูผู้สอนเป็นระยะไปด้วย ส่งผลให้นักเรียนสามารถเข้าใจมโนมติในเรื่องนี้ได้ดี อีกทั้งในขั้นขยายความรู้มีกิจกรรม POE เป็นกิจกรรมการ

ทดลองเล็กๆที่เสริมความรู้และทดสอบความเข้าใจเพิ่มเติมจากการทำกิจกรรมในชั้นสำรวจและค้นหาทำให้มีการขยายองค์ความรู้เพิ่มเติมจากเดิม และเป็นกิจกรรมที่กระตุ้นความสนใจให้นักเรียนเกิดคำถามในใจ อยากรู้คำตอบที่คาบคั้นไว้และดำเนินการสำรวจเพื่อหาคำตอบตามกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามนักเรียนยังมีการพัฒนาความรู้ในระดับการนำไปประยุกต์ใช้น้อยที่สุด (วิชัย ลาธิ และศักดิ์ศรี สุภาธร, 2556) เห็นได้จากนักเรียนมีร้อยละคะแนนโมติหลังเรียนและร้อยละความก้าวหน้าต่ำสุดในเนื้อหาเรื่องการชุปโลหะด้วยกระแสไฟฟ้าและการป้องกันการฟุกรอนด้วยวิธีแคโทดิก (54.63 และ 16.25) เนื่องจากกิจกรรมและเนื้อหาส่วนใหญ่มีหลักการซับซ้อน เป็นการประยุกต์เอาความรู้มาใช้นักเรียนไม่สามารถเขียนอธิบายสมการและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นแต่ละข้อไฟฟ้าได้ ทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจในระดับที่ต่ำและส่งผลต่อมโนคติที่คลาดเคลื่อนได้มากขึ้น

4.2.2 ร้อยละของนักเรียนที่มีมโนคติที่ถูกต้อง คลาดเคลื่อน และผิด เรื่อง ไฟฟ้าเคมี

จากการวิเคราะห์ร้อยละของมโนติก่อนเรียนและหลังเรียนตามการจัดการเรียนรู้เรื่อง ไฟฟ้าเคมี ด้วยวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น ผสมผสานกับเทคนิคการทำนาย-สังเกต-อธิบายในชั้นขยายความรู้ สามารถจำแนกเป็นมโนคติที่ถูกต้อง คลาดเคลื่อน และผิด ปรากฏผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ร้อยละของนักเรียนที่มีมโนคติที่ถูกต้อง คลาดเคลื่อน และผิด เรื่องไฟฟ้าเคมี

เนื้อหา (จำนวนข้อ)	ก่อนเรียน			หลังเรียน		
	ผิด	คลาดเคลื่อน	ถูกต้อง	ผิด	คลาดเคลื่อน	ถูกต้อง
1. ปฏิกริยารีดอกซ์และการถ่ายโอนอิเล็กตรอน (9)	38.27	51.11	10.62	9.63	24.20	66.17
2. ความสามารถในการรีดิวซ์และออกซิไดส์ (5)	53.83	43.21	2.96	9.38	36.05	54.57
3. เซลล์กัลวานิกและเซลล์ผลไม้ม (9)	53.58	44.94	1.48	12.84	52.35	34.81
4. การแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า (3)	36.83	43.17	20.00	18.41	45.08	36.51
5. การชุปโลหะด้วยกระแสไฟฟ้าและการป้องกันการฟุกรอนด้วยวิธีแคโทดิก (4)	42.78	38.89	18.33	27.22	43.33	29.44
รวม	45.06	44.26	10.68	15.50	40.20	44.30

ก่อนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้มีร้อยละของนักเรียนที่มีมโนคติที่ถูกต้อง คลาดเคลื่อน และผิด เท่ากับ 10.68, 44.26 และ 45.06 ตามลำดับ และหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ มีร้อยละของนักเรียนที่มีมโนคติที่ถูกต้อง คลาดเคลื่อน และผิด เท่ากับ 44.30, 40.20 และ 15.50 ตามลำดับ

โดยก่อนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ร้อยละของนักเรียนมีโมเมนต์ผิดมากกว่าโมเมนต์ถูกต้องในทุกเนื้อหา ซึ่งในเรื่อง ความสามารถในการรีดิวซ์และออกซิไดส์ และเซลล์กัลวานิกและเซลล์ผลไม้มมีโมเมนต์ผิดมากกว่าโมเมนต์ถูกต้องถึงร้อยละ 50 และหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้พบว่าร้อยละของนักเรียนมีโมเมนต์ถูกต้องเพิ่มขึ้นและโมเมนต์ผิดลดลงในทุกเนื้อหา เมื่อพิจารณาแต่ละเนื้อหา จะเห็นได้ว่านักเรียนที่มีโมเมนต์ถูกต้องมากที่สุด ในเรื่อง ปฏิกริยารีดอกซ์และการถ่ายโอนอิเล็กตรอน (ร้อยละ 66.17) รองลงมา เรื่อง ความสามารถในการรีดิวซ์และออกซิไดส์ (ร้อยละ 54.57) และน้อยที่สุด เรื่อง การชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้าและการป้องกันการผุกร่อนด้วยวิธีแคโทดิก (ร้อยละ 29.44) และในสองเนื้อหาแรก คือ ปฏิกริยารีดอกซ์และการถ่ายโอนอิเล็กตรอน และความสามารถในการรีดิวซ์และออกซิไดส์มีโมเมนต์ถูกต้องเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 50 สะท้อนให้เห็นได้ว่ากิจกรรมการเรียนรู้สามารถพัฒนาความเข้าใจโมเมนต์ให้สูงขึ้น ทำให้โมเมนต์ที่ผิดของนักเรียนลดลงและโมเมนต์ถูกต้องเพิ่มขึ้นได้ โดยนักเรียนมีการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ผิดไปสู่โมเมนต์ที่คลาดเคลื่อนและถูกต้อง และโมเมนต์ที่คลาดเคลื่อนไปสู่โมเมนต์ถูกต้อง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากนักเรียนมีโอกาสมมีส่วนร่วมในการลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง โดยมีการกระตุ้นด้วยคำถามทางวิทยาศาสตร์จากครูผู้สอนให้นักเรียนเกิดความสงสัยและค้นหาคำตอบ โดยผ่านการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการทดลองแบบสืบเสาะ 5 ขั้น ซึ่งมีประสิทธิภาพในการพัฒนาความเข้าใจโมเมนต์ของนักเรียนให้สูงขึ้นได้ (Supasorn, S. and Promarak, V., 2015) และส่วนของคะแนนการอธิบายคำตอบหลังจากเรียนก็เพิ่มสูงขึ้นกว่าก่อนเรียนด้วย (Supasorn, 2015)

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลเพื่อสนับสนุนความเข้าใจโมเลกุลและการปรับแก้มโนมิตระดับโมเลกุลสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย สามารถสรุปผลและข้อเสนอแนะแยกออกเป็น 2 เรื่อง ได้แก่ อัตราการเกิดปฏิกิริยา และไฟฟ้าเคมี ดังต่อไปนี้

5.1 ชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยา

การวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาความเข้าใจโมเลกุลด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยา สามารถสรุปผลการวิจัยและมีข้อเสนอแนะที่น่าสนใจ ดังนี้

5.1.1 สรุปผลการวิจัย

นักเรียนที่ได้รับชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยา มีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนเป็น 19.79 (SD 3.08) คะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเป็น 45.05 (SD 6.28) คิดเป็นคะแนนเฉลี่ยความก้าวหน้า 25.61 หรือร้อยละ 42.68 และเมื่อศึกษาความคงทนของความเข้าใจโมเลกุลเมื่อเวลาผ่านไป 30 วันพบว่านักเรียนมีคะแนนความคงทนเฉลี่ยเป็น 48.02 (SD 8.86) จากการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน คะแนนหลังเรียนและคะแนนวัดความคงทนของความเข้าใจโมเลกุลด้วยการทดสอบค่าทีแบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกันพบว่า นักเรียนมีคะแนนความเข้าใจโมเลกุลหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ และ คะแนนความเข้าใจโมเลกุลหลังเรียนไม่แตกต่างกับคะแนนวัดความคงทนของความเข้าใจโมเลกุลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ ทั้งนี้เนื่องจากการบวนการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นกระบวนการที่นักเรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเองโดยลงมือปฏิบัติและประยุกต์ใช้ความรู้ความเข้าใจมาอธิบายในสถานการณ์ใหม่ โดยใช้กิจกรรมการเปรียบเทียบความเหมือนและความต่างของโมเลกุลที่นักเรียนคุ้นเคยและพบเห็นในชีวิตประจำวันกับโมเลกุลใหม่จึงช่วยให้นักเรียนได้เรียนรู้โมเลกุลนั้นอย่างเป็นรูปธรรมมากขึ้นเข้าใจเนื้อหาได้ดีและคงทนมากขึ้น จึงส่งผลให้คะแนนความเข้าใจโมเลกุลสูงขึ้นเช่นกัน

นักเรียนที่ได้รับการสอนโดยใช้การเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยา มีความเข้าใจถูกต้องเพิ่มขึ้นทุกมโนคติ โดยมีร้อยละของนักเรียนมีมโนคติผิดพลาด และมีร้อยละของคะแนนความเข้าใจมโนคติที่ถูกต้องมากกว่าร้อยละ 50 ในทุกหัวข้อของเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยา โดยนักเรียนมีร้อยละมโนติก่อนเรียนถูกต้อง คลาดเคลื่อน และผิด เท่ากับ 13.69, 38.45 และ 47.86 ตามลำดับ และมีคะแนนร้อยละมโนติหลังเรียนถูกต้อง คลาดเคลื่อน และผิด เท่ากับ 64.72, 24.65 และ 10.63 ตามลำดับ และเมื่อศึกษาความคงทนของความเข้าใจมโนคติเมื่อเวลาผ่านไป 30 วันพบว่านักเรียนมีร้อยละมโนติถูกต้อง คลาดเคลื่อน และผิด เท่ากับ 70.63 21.16 และ 8.21 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เป็นกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ค้นหาคำตอบด้วยตนเองผ่านกระบวนการวิทยาศาสตร์ อีกทั้งยังเป็นกิจกรรมที่ช่วยให้นักเรียนได้เรียนรู้มโนตินั้นอย่างเป็นรูปธรรมมากขึ้น จึงส่งผลช่วยให้นักเรียนเกิดความเข้าใจมโนตินั้นๆได้ อีกทั้งยังทำให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงระหว่างสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันและนำมาสู่การอธิบายสถานการณ์หรือมโนตินั้น ผ่านการให้ข้อเสนอแนะจากครูผู้สอน เมื่อนักเรียนมีมโนติคลาดเคลื่อนในสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ใด ครูผู้สอนสามารถปรับแก้มโนตินั้นได้รวดเร็ว จึงสามารถพัฒนามโนติของนักเรียนให้สอดคล้องกับมโนติทางวิทยาศาสตร์เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยา จึงส่งผลให้ร้อยละมโนติที่ถูกต้องสูงขึ้น

กล่าวโดยสรุป การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยา สามารถพัฒนามโนติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนเชียงแก้วพิทยาคมให้สูงขึ้น และช่วยเพิ่มมโนติที่ถูกต้องของนักเรียนให้สูงขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบเป็นรูปแบบการสอนที่เน้นให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติโดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเริ่มจากการสร้างความสนใจ กระตุ้น ทำให้นักเรียนสนุก ท้าทายอยากสำรวจ รวบรวมข้อมูล ลงข้อสรุป และสร้างเป็นองค์ความรู้ขึ้นด้วยตนเอง อีกทั้งมีกิจกรรมการเปรียบเทียบที่สามารถสื่อความหมายและอธิบายเนื้อหาหรือโครงสร้างที่ซับซ้อนยุ่งยาก ให้เข้าใจง่ายมากขึ้นเพราะสิ่งที่นำมาใช้เปรียบเทียบหรือเป็น Analog ใกล้เคียงกับสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคย และยังทำให้นักเรียนเข้าใจมากขึ้นเมื่อนักเรียนได้มีส่วนร่วมในการคิดหรือสร้าง Analog ด้วยตนเอง และสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ในการอธิบายเชื่อมโยงไปยังสถานการณ์ใหม่นอกจากนี้การมีปฏิสัมพันธ์กับเพื่อนในชั้นเรียน โดยครูมีหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวก ดูแลสร้างแรงจูงใจ

5.1.2 ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย

โครงการวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะในการจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ ดังนี้

1) ครูผู้สอนควรสำรวจมโนคติเดิมของนักเรียนก่อนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ การสอน เพื่อที่จะได้หากิจกรรมที่เหมาะสมและปรับแก้มโนคติของนักเรียนให้ถูกต้อง และจัดกิจกรรมที่เน้นให้นักเรียนเข้าใจมโนคติเชิงวิทยาศาสตร์อย่างแท้จริง

2) ผู้วิจัยควรให้ความสำคัญกับผลของปัจจัยบางประการที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมโนคติอื่น ๆ เช่น ปัจจัยด้านภาษา ความเชื่อในแรงจูงใจ และบริบททางสังคม และจัดการเรียนรู้โดยอาศัยผลการศึกษาค้นคว้าของปัจจัยเหล่านี้

3) ครูผู้สอนควรออกข้อสอบที่เป็นแบบปรนัย ชนิดตัวเลือก 2 ลำดับชั้น (2-tier multiple choice conceptual test) เพื่อที่จะได้ทราบแนวความคิดของนักเรียนในมโนคตินั้นๆ และยังเป็นการตรวจสอบความเข้าใจอย่างแท้จริง

4) การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ เป็นกระบวนการสอนที่ต้องใช้เวลาในการทำกิจกรรมค่อนข้างมาก ครูผู้สอนควรมีการยืดหยุ่นในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละชั้นให้มีความเหมาะสม เนื่องจากนักเรียนแต่ละคนมีความสามารถและการรับรู้แตกต่างกัน

5) แบบทดสอบวัดความเข้าใจมโนคติ ที่ใช้ทดสอบหลังเรียนและใช้วัดความคงทนของความเข้าใจมโนคติควรเป็นข้อสอบชุดใหม่ที่มีความตรงเชิงเนื้อหาและผลการเรียนรู้ที่คาดหวังเช่นเดียวกับแบบทดสอบก่อนเรียนเพื่อป้องกันการจดจำข้อสอบของนักเรียน

โครงการวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาความเข้าใจมโนคติของนักเรียนด้วยการใช้ชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบให้มีประสิทธิภาพ ดังนี้

1) ควรมีการสำรวจข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง เพื่อให้ทราบถึงบริบทของนักเรียน เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถตีความข้อมูลที่ได้ ให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

2) ควรทำการศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ กับกลุ่มประชากรอื่นเพื่อเปรียบเทียบผลการวิจัยแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร

3) ควรนำวิธีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลและการเรียนรู้แบบเปรียบเทียบ ไปใช้ในการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและปรับแก้มโนคติ ของนักเรียนในเนื้อหาอื่นๆ ในวิชาเคมี

5.2 ชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง ไฟฟ้าเคมี

การวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาความเข้าใจโมเลกุลด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล เรื่อง ไฟฟ้าเคมี สามารถสรุปผลการวิจัยและมีข้อเสนอแนะที่น่าสนใจ ดังนี้

5.2.1 สรุปผลการวิจัย

นักเรียนที่เรียนเรื่อง ไฟฟ้าเคมี ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีคะแนนโมเลกุลหลังเรียน (mean 42.67, SD 8.94) สูงกว่าก่อนเรียน (mean 19.42, SD 6.94) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ และจากการวิเคราะห์ร้อยละของนักเรียนที่มีโมเลกุลถูกต้อง คลาดเคลื่อน และผิดพลาดว่า โมเลกุลก่อนเรียนเป็น 9.11, 45.48 และ 45.41 ตามลำดับ และโมเลกุลหลังเรียนเป็น 49.85, 37.63 และ 12.52 ตามลำดับ

การเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุลมีส่วนส่งเสริมให้นักเรียนมีโอกาสทำกิจกรรมด้วยตนเอง มีการวางแผนการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม ทำให้เกิดการเชื่อมโยงความรู้ที่มีอยู่เดิมและความรู้ใหม่ที่ได้จากการเรียนรู้ผ่านกิจกรรม เกิดเป็นทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยครูมีส่วนสำคัญในการส่งเสริม กระตุ้นด้วยคำถามทางวิทยาศาสตร์ คอยแนะนำในการดำเนินกิจกรรมของนักเรียน และสรุปองค์ความรู้ร่วมกับนักเรียน จนทำให้นักเรียนแก้ไขโมเลกุลที่ผิดเกิดเป็นโมเลกุลที่ถูกต้องหรือโมเลกุลทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นที่ยอมรับของนักวิทยาศาสตร์ อีกทั้งในกระบวนการสืบเสาะ 5 ขั้นตอน มีการแทรกกิจกรรมการทดลอง POE เข้ามาผสมผสานจะช่วยให้นักเรียนได้นำองค์ความรู้มาขยายเพิ่มเติมจากเดิมทำให้เข้าใจโมเลกุลทางวิทยาศาสตร์ได้มากขึ้นอีกด้วย

อย่างไรก็ตามร้อยละของนักเรียนที่มีโมเลกุลผิดและคลาดเคลื่อนมีอยู่ค่อนข้างมาก คือ โมเลกุลเรื่องเซลล์กลลวงและเซลล์ผลไม้ (52.35) การแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า (45.08) และการชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้าและการป้องกันการผุกร่อนด้วยวิธีแคโทดิก (43.33) ซึ่งอาจเนื่องมาจากในหัวข้อเหล่านี้เป็นเนื้อหาที่มีประยุกต์ความรู้และหลักการมาใช้ในการสร้างเป็นเซลล์ไฟฟ้า มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น การต่อเซลล์กลลวงต้องนำความรู้ในเรื่องปฏิกิริยารีดอกซ์ ความสามารถในการรับและให้อิเล็กตรอนมาประยุกต์ใช้ รวมทั้งต้องต่อเซลล์ที่หลากหลาย คำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้า และระหว่างการทำกิจกรรมครูจะคอยแนะนำบ้างเป็นระยะซึ่งแตกต่างจากการทดลองแรก อีกทั้งการให้เหตุผลโดยใช้ข้อสอบแบบ 2 ลำดับขั้น ในส่วนการให้เหตุผลที่เป็นการเขียนตอบเป็นสิ่งที่ยากมากที่จะกระตุ้นนักเรียนให้เหตุผลและถูกต้องทั้งหมด ซึ่งนักเรียนอาจจะทำถูกต้องเพียงบางส่วน และถ้าแบบตัวเลือกก็มีข้อจำกัดและเสี่ยงที่นักเรียนจะตอบผิดในข้อนั้น ทำให้นักเรียนยังมีการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลผิดไปสู่โมเลกุลที่คลาดเคลื่อนและบางส่วนก็ยังมีโมเลกุลที่คลาดเคลื่อนอยู่เหมือนเดิม ซึ่งปัจจัยดังกล่าวส่งผลถึง

คะแนนร้อยละของมโนคติถูกต้องหลังเรียนมีแนวโน้มลดลงได้เช่นเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตาม นักเรียนก็ยังมีร้อยละของมโนคติผิดพลาดและมีร้อยละของมโนคติถูกต้องเพิ่มขึ้นในทุกเนื้อหา แสดงให้เห็นได้ว่านักเรียนมีการพัฒนาความเข้าใจมโนคติวิทยาศาสตร์ในเรื่องไฟฟ้าเคมีหลังจากได้รับการเรียนรู้เรื่อง ไฟฟ้าเคมี ด้วยวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น ผสมผสานกับเทคนิค การทำนาย-สังเกต-อธิบายในชั้นขยายความรู้ตนเอง

5.2.2 ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย

โครงการวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะในการจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเคมีแบบ สืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล ดังนี้

5.2.2.1 ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัยในการจัดการเรียนรู้

- 1) ก่อนการสอนครูควรวางแผนการจัดกิจกรรมเป็นอย่างดี ทำความ เข้าใจกับเนื้อหาที่สอนจัดกิจกรรมที่สอดคล้องกับเนื้อหา จัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ให้พร้อม และ ควรตรวจสอบสภาพของเครื่องมือและอุปกรณ์ให้พร้อมเพื่อให้การทำกิจกรรมเป็นไปอย่างมี ประสิทธิภาพครูควรทดลองก่อนเพื่อจะได้ทราบปัญหาและแก้ไขได้ทันทั่วทั้งที่ก่อนนำไปใช้จริง
- 2) ก่อนทำการทดลองควรมีการสอนใช้เครื่องมือ เพื่อให้สามารถใช้ เครื่องมือได้อย่างถูกต้อง เช่น การใช้โวลต์มิเตอร์ การอ่านค่าจากโวลต์มิเตอร์
- 3) ในขณะที่นักเรียนปฏิบัติกิจกรรม นักเรียนบางคนยังไม่เข้าใจ เกี่ยวกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ในช่วงแรก ๆ ครูควรอธิบายขั้นตอนการเรียนรู้ แบบสืบเสาะให้นักเรียนเข้าใจก่อนดำเนินกิจกรรมการเรียนการสอน
- 4) ในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (5E) เป็นการเรียนรู้ในลักษณะที่เน้น ผู้เรียนเป็นสำคัญ ให้ผู้เรียนฝึกศึกษา ค้นคว้า แสวงหาความรู้ โดยใช้กระบวนการกลุ่ม กระบวนการทำงาน รวบรวมข้อมูลและสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง และมีส่วนร่วมในกิจกรรม การเรียนรู้ ในการเรียนรู้ด้วยตนเองครูควรระลึกเสมอว่า ในบางครั้งนักเรียนไม่สามารถทำ ถูกต้องได้ ถ้ากิจกรรมใดบางส่วนมีปัญหา นักเรียนควรซักถามครูผู้สอนว่ากระบวนการแก้ปัญหา ที่ดำเนินการนั้นถูกต้องหรือไม่ และครูต้องคอยแนะนำตลอดเวลาเพื่อที่จะทำให้กิจกรรมที่ นักเรียนปฏิบัตินั้นไม่ผิดพลาดและสามารถดำเนินต่อไปได้
- 5) การใช้แบบทดสอบตัวเลือก 2 ลำดับขั้น เป็นการวัดผลที่ดีเพื่อที่จะได้ ศึกษาความเข้าใจมโนคติวิทยาศาสตร์ในแต่ละเนื้อหาของนักเรียน ตรวจสอบความรู้ ความเข้าใจ ในเนื้อหาตรวจสอบความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนอย่างแท้จริงได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามครูก็ ต้องคอยเน้นย้ำเพื่อให้นักเรียนเข้าใจในการทำข้อสอบและลงมือทำข้อสอบนั้นๆ โดยเฉพาะ ข้อสอบในขั้นที่ 2 ที่เป็นการอธิบายเหตุผลที่นักเรียนจะเขียนเหตุผลในการตอบของขั้นที่ 1 หรือ เลือกตอบข้อที่เป็นเหตุผลที่ถูกต้องในข้อนั้นๆ

5.5.2.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

- 1) ควรมีการประยุกต์การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนและปรับใช้ในการจัดการเรียนรู้ในเนื้อหาหรือสาขาวิชาอื่นๆ ต่อไป
- 2) ควรมีการศึกษาและพัฒนาความเข้าใจโมเมนต์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องไฟฟ้าเคมีและเนื้อหาอื่น ๆ ต่อไป
- 3) ครูควรจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่เน้นให้นักเรียนได้ทดลอง หรือลงมือปฏิบัติจริง จะได้เกิดการเรียนรู้ที่ยั่งยืนต่อไป ซึ่งในการที่จะทำวิจัยครั้งต่อไปนั้นกิจกรรมและชุดอุปกรณ์การทดลองอาจจะประยุกต์จากสิ่งที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการหรืออาจสร้างใหม่หรือประยุกต์จากสิ่งที่คิดค้นมาแล้ว เพื่อนำไปปรับใช้ในการทดลองให้นักเรียนได้เข้าใจในทฤษฎีและหลักการมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Acar, B. & Tarhan, L. (2007). Effect of cooperative learning strategies on students' understanding of concepts in electrochemistry. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 5, 349-373.
- Ahtee, M., Asunta, T. & Palm, H. (2002). Student teachers problems in teaching electrolysis with a key demonstration. *Chemistry Education Research and Practice*, 3, 317-326
- Aydeniz, M. & Krbulut, Z.D. (2011). Assessing pre-service science teachers' topic specific pedagogical content knowledge (PCK): Pre-service science teachers' PCK of electrochemistry. In D. Psillos & R.M. Sperandeo, *Proceedings of the European Science Education Research Association (ESERA 2011): Science Learning and Citizenship (Part 12: Pre-service science teacher education*, pp. 1-7). ESERA. Retrieved Oct 10, 2014 from <http://www.esera.org/>
- Balci, S., Cakiroglu, J. & Tekkaya, C. (2006). Engagement, exploration, explanation, extension, and evaluation (5E learning cycle and conceptual change text as learning tools. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 34(3), 99-102.
- Bektaşlı, O. & Cakmakci, G. (2011). Consistency of students' ideas about the concept of rate across different contexts. *Education and Science*, 36(162), 273-287.
- Black, S.L. (1996). General chemistry laboratory-scientific inquiry. *Journal of Chemical Education*, 73, 776-778.
- Blonder, R., Mamlok-Naaman, R., & Hofstein, A. (2008). Analyzing inquiry questions of high-school students in a gas chromatography open-ended laboratory experiment. *Chemistry Education Research and Practice*, 9, 250-258.
- Bodner, G.M. (2007). The role of theoretical frameworks in chemistry. In Bodner G.M. & Orgill M. (Eds.). *Theoretical Frameworks for Research in Chemistry/Science Education*. (pp. 1-26). New Jersey: Prentice Hall.
- Bretz, S.L. (2014). Designing assessment tools to measure students' conceptual knowledge of chemistry. In Diane M. Bunce, & Renée S. Cole (Eds.), *Tools of Chemistry Education Research* (pp. 155-168). American Chemical Society.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Briggs, M.W., & Bodner, G.M. (2005). A model of molecular visualization. In Gilbert J.K. (Ed.). Visualization in science education. (pp. 61-73). Netherlands: Springer.
- Bruck, L.B. & Towns, M.H. (2009). Preparing students to benefit from inquiry-based activities in the chemistry laboratory: Guidelines and suggestions. *Journal of Chemical Education*, 86, 820-822.
- Bybee, R.W., Taylor, J.A., Gardner, A., Van Scotter, P., Powell, J.C., Westbrook, A. & Landes, N. (2006). The BSCS 5E instructional model: Origins, effectiveness, and applications. Colorado Springs: BSCS.
- Cakmakci, G. (2010). Identifying alternative conceptions of chemical kinetics among secondary school and undergraduate students in Turkey. *Journal of Chemical Education*, 87(4), 449-455.
- Cakmakci, G., Leach, J. & Donnelly, J. (2006) Students' ideas about reaction rate and its relationship with concentration or pressure. *International Journal of Science Education*, 28(15), 1795-1815.
- Çalık, M. & Ayas, A. (2005). An analogy activity for incorporating students' conceptions of types of solutions. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 6(2), Article 6, 1-13.
- Çalik, M., Ayas, A. & Coll, R.K. (2009). Investigating the effectiveness of an analogy activity in improving students' conceptual change for solution chemistry concepts. *International Journal of Science and Mathematics*, 7, 651-676.
- Çalık, M., Ayas, A., & Ebenezer, J. (2009). Analogical reasoning for understanding solution rates: students' conceptual change and chemical explanations. *Research in Science & Technological Education*, 27(3), 283-308.
- Çalik, M., Kolomuc, A., & Karagolge, Z. (2010). The effect of conceptual change pedagogy on students' conceptions of rate of reaction. *Journal of Science Education and Technology*, 19(5), 422-433.
- Chairam, S., Somsook, E. & Coll, R.E. (2009). Enhancing Thai students' learning of chemical kinetics. *Research in Science and Technological Education*, 27(1), 95-115.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Chandrasegaran, A.L., Treagust, D.F. & Mocerino, M. (2007). The development of a two-tier multiple-choice diagnostic instrument for evaluating secondary school students' ability to describe and explain chemical reactions using multiple levels of representation. *Chemistry Education Research and Practice*, 8, 293-307.
- Chandrasegaran, A.L., Treagust, D.F. & Mocerino, M. (2011) Facilitating high school students' use of multiple representations to describe and explain simple chemical reactions. *Teaching Science*, 57(4), 13-20.
- Chittleborough, G. & Treagust, D.F. (2007). The modelling ability of non-major chemistry students and their understanding of the sub-microscopic level. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(3), 274-292.
- Clark, R.C. (2005). Multimedia learning in e-courses. In Mayer R.E. (Eds.). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. (pp. 549-567). New York: Cambridge University Press.
- Coll, R.K. & Treagust, D.F. (2003). Learners' mental models of metallic bonding: Cross-age study. *Science Education*, 87, 685-707.
- Coll, R.K., & Taylor, N. (2002). Mental models in chemistry: Senior chemistry students' mental models of chemical bonding. *Chemistry Education Research and Practice*, 3(2), 175-184.
- Coll, R.K., & Treagust, D.F. (2001). Learners' mental models of chemical bonding. *Research in Science Education*, 31(3), 357-382.
- Cullen, D.M. & Pentecost, T.C. (2011). A Model Approach to the Electrochemical Cell: An Inquiry Activity. *Journal of Chemical Education*, 88(11), 1562–1564.
- Cunningham, K. (2007). Applications of reaction rate. *Journal of Chemical Education*, 84(3), 430-433.
- Demirbaşı, M., & Ertuğru, N. A study on preschoolers' conceptual perceptions of states of matter: A case study of Turkish students. *South African Journal of Education*, 34(3), 2014, 1-13.
- Deters, K.M. (2005). Student opinions regarding inquiry-based labs. *Journal of Chemical Education*, 82(8), 1178-1180.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Dixon, R.A. & Johnson, S.D. (2011). Experts vs. novices: differences in how mental representations are used in engineering design. *Journal of Technology Education*, 23(1), 47-65.
- Doymus, K., Karacop, A. & Simsek, U. (2010). Effects of Jigsaw and animation techniques on students' understanding of concepts and subjects in electrochemistry. *Educational Technology Research and Development*, 5(6), 671-691.
- Duis, J.M. (2011). Organic chemistry educators' perspectives on fundamental concepts and misconceptions: An exploratory study. *Journal of Chemical Education*, 88(3), 346-350.
- Ekiz, B., Kutucu, E.S., Akkus, H. & Boz, Y. (2011). Pre-service chemistry teachers' understanding of electrolytic cells. In D. Psillos & R. M. Sperandeo, *Proceedings of the European Science Education Research Association (ESERA 2011): Science Learning and Citizenship (Part 12: Pre-service science teacher education*, pp. 51-54). ESERA. Retrieved Oct 10, 2014 from <http://www.esera.org/>
- Eskandar, F., Bayrami, M., Vahedi, S. & Ansar, V. (2013). The effect of instructional analogies in interaction with logical thinking ability on achievement and attitude toward chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 14, 566-575.
- Garnett, P.J. & Treagust, D.F. (1992). Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: Electrochemical (galvanic) and electrolytic cells. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(10), 1079-1099.
- Glynn, S.M. & Duit, R. (1995). Learning science meaningfully: Constructing conceptual model. In S.M. Glynn & R. Duit (Eds.), *Learning science in the schools: Research reforming practice* (pp. 3-33). Lawrence Erlbaum.
- Green, W.J., Elliott, C., & Cummins, R.H. (2004). Prompted inquiry-based learning in the introductory chemistry laboratory. *Journal of Chemical Education*, 81, 239-241.
- Greenbowe, T. Chemical Education Research Group Simulation. Retrieved 16 September 2011 from <http://group.chem.iastate.edu/Greenbowe/sections/projectfolder/simDownload/index4.html>.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Hake, R.R. (1998). Interactive engagement vs traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 61(1), 64-74.
- Hand, B., & Keys, C. (1999). Inquiry investigation: A new approach to laboratory reports. *The Science Teacher*, 66(4), 27-29.
- Harrison, A.G. & Coll, R.K. (2007). Using analogies in middle and secondary science classrooms: The far guide – an interesting way to teach with analogies. CA: SAGE Publications.
- Harrison, A.G. & Treagust, D.F. (2006). Teaching and learning with analogies. In P. Aubusson, A. Harrison & S.M. Ritchie (Eds.), *Metaphor and analogy in science education* (pp. 11–24) Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Hawkins, I. & Phelps, A.J. (2013). Virtual laboratory vs. traditional laboratory: Which is more effective for teaching electrochemistry? *Chemistry Education Research and Practice*, 14, 516-523.
- Hoffmann, R. & Laszlo, P. (1991). Representation in chemistry. *Angewandte Chemie, International Edition*, 30(1), 1-16.
- Huddle, P.A. ,White, M.D. & Rogers, F. (2000). Using a teaching model to correct known misconceptions in electrochemistry. *Journal of Chemical Education*, 77(1), 104-110 .
- Ibrahim, B. & Rebello, N.S. (2013). Role of mental representations in problem solving: Students' approaches to nondirected tasks. *Physics Review ST Physics Education Research*, 9(2), 1-16.
- Johnson-Laird, P.N. (1983). *Mental models - Towards a cognitive science of language, inference and consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Johnstone A.H. (1993). Introduction. In Wood C. and Sleet R. (Eds.), *Creative Problem Solving*. London: Royal Society of Chemistry.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-704.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Justi, R. (2003). Teaching and Learning Chemical Kinetics. In John K. Gilbert, Onno De Jong, Rosária Justi, David F. Treagust, & Jan H. Van Driel (Series Ed.), Chemical Education: Towards Research-based Practice (pp. 293-315). Netherlands: Springer.
- Karsli, F. & Çalik, M. (2012). Can freshman science student teachers' alternative conceptions of 'electrochemical cells' be fully diminished? Asian Journal of Chemistry, 24(2), 485-491.
- Kegley, S., Stacy, A., & Gutwill, J. (1996). Environmental chemistry in the general chemistry laboratory, part I: A context-based approach to teaching chemistry. The Chemical Educator, 1(4), 1-14.
- Khattiyavong, P., Jarujamrus, P., Supasorn, S. & Kulsing, C. (2014). The Development of Small Scale and Low-Cost Galvanic Cells as a Teaching Tool for Electrochemistry. Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning, 5(2), 146-154.
- Kırık, Ö. & Bozb, Y. (2012). Cooperative learning instruction for conceptual change in the concepts of chemical kinetics. Chemistry Education Research and Practice, 13, 221-236.
- Kolomuç, A. & Çalik, M. (2012). A comparison of chemistry teachers' and grade 11 students' alternative conceptions of 'rate of reaction'. Journal of Baltic Science Education, 11(4), 333-346.
- Kozma, R.B., & Russell, J. (1997). Multimedia understanding: expert and novice responses to different representations of chemical phenomena, Journal of Research in Science Teaching, 34(9), 949-968.
- Liu, Y., Hou, H., Chiu, H.L. & Treagust, D.F. (2014). An exploration of secondary students' mental state when learning about acids and bases. Research in Science Education, 44(1), 133-154.
- Markman, A. (1999). Knowledge representation. Lawrence Erlbaum Associates.
- Martin, S.F. & Gilbert, J.C. (2011). Organic chemistry experiments: Miniscale and microscale (5th Ed). Canada: Brooks/Cole Cengage Learning.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Mayer, R.E., & Gallini, J.K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, 82(4), 715-726.
- Mayer, R.E., & Moreno, R. (1998). A cognitive theory of multimedia learning: Implications for design principles. Paper presented at the CHI-98 Workshop on Hyped-Media to Hyper-Media, LA: [np].
- Mayer, R.E. (1999). Multimedia aids to problem-solving transfer. *International Journal of Educational Research*, 31(7), 611-623.
- Miller, G. (2014). Addressing students' difficulties and misconceptions about electrochemistry. In AP Central. California: University of California. Retrieved Oct 10, 2014 from <http://apcentral.collegeboard.com/>
- Montes, I., Lai, C., & Sanabria, D. (2003). Like dissolves like: A classroom demonstration and a guided-inquiry experiment for organic chemistry. *Journal of Chemical Education*, 80, 447-449.
- Mulford, D.R. & Robinson, W.R. (2002). An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students. *Journal of Chemical Education*, 79(6), 739-744.
- Mulford, D.R., & Robinson, W.R.(2002). An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students. *Journal of Chemical Education*, 79(6), 739-744.
- Nakhleh, M.B. (1992). Why some students don't learn chemistry: Chemical misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 69, 191-196.
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards: A Guide for Teaching and Learning*. Washington, DC: National Academy Press.
- Niaz, M. & Chacón, E. (2003). A conceptual change teaching strategy to facilitate high school students' understanding of electrochemistry. *Journal of Science Education and Technology*, 12(2), 129-134.
- Niaz, M. (2002). Facilitating conceptual change in students' understanding of electrochemistry. *International Journal of Science Education*, 24(4), 425-439.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Normand, M.D. & Peleg, M. (2014). Surface area increase by size reduction. In the Wolfram Demonstrations Project. Retrieved Oct 29, 2014 from <http://demonstrations.wolfram.com/>
- Ökaya, A.R. (2002). Conceptual difficulties experienced by prospective teachers in electrochemistry: Half-cell potential, cell potential, chemical, and electrochemical equilibrium in galvanic cells. *Journal of Chemical Education*, 79(6), 735–738.
- Orgill, M. & Bodner, G. (2004). What research tells us about using analogies to teach chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 5, 15-32.
- Osman, K. & Tien Lee, T. (2014). Impact of interactive multimedia module with pedagogical agents on students' understanding and motivation in the learning of electrochemistry. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 12, 395-421.
- Piquette, J.S. & Heikkinen, H.W. (2005). Strategies reported used by instructors to address student alternate conceptions in chemical equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching*, 42, 1112-1134.
- Poliakoff, M. & Licence, P. (2007). Sustainable technology (Q&A): Green chemistry. *Nature*, 450(6), 810-812.
- Sanger, M. (2009). How does inquiry-based instruction affect teaching majors' views about teaching and learning science? *Journal of Chemical Education*, 85(2), 297-302.
- Sanger, M.J. & Greenbowe, T.J. (1997a). Common student misconceptions in electrochemistry: Galvanic, electrolytic, and concentration cells. *Journal of Research in Science Teaching*, 34(4), 377–398.
- Sanger, M.J. & Greenbowe, T.J. (1997b). Common student misconception in electrochemistry: Current flow in electrolyte solutions and the salt bridge. *Journal of Chemical Education*, 74(7), 819-823.
- Sanger, M.J. (2008). How does inquiry-based instruction affect teaching majors' views about teaching and learning science? *Journal of Chemical Education*, 85, 297-302.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Sarantopoulos, P. & Tsapalis, G. (2004). Analogies in chemistry teaching as a means of attainment of cognitive and affective objectives: a longitudinal study in a naturalistic setting, using analogies with a strong social content. *Chemistry Education Research and Practice*, 5, 33-50.
- Schmitz, G. (2005). What is a reaction rate? *Journal of Chemical Education*, 82(7), 1091-1093.
- Sözbilir, M. Pınarbaşı, T. & Canpolat, N. (2010). Prospective chemistry teachers' conceptions of chemical thermodynamics and kinetics. *Eurasia Journal of Mathematics, Science, and Technology Education*, 6(2), 111-120.
- Stears, M, & Gopal, N. Exploring alternative assessment strategies in science classrooms. *African Journal of Education*, 30, 2014, 591-604.
- Supasorn, S., Khatiyavong, P., Jarujamrus, P. & Promarak, V. (2014). Small-scale inquiry-based experiments to enhance high school students' molecular conceptual understanding of electrochemistry. *International Proceedings of Economics Development and Research*, 81, 85-91.
- Taber, K. (2013). Three levels of chemistry educational research. *Chemistry Education Research and Practice*, 14, 151-155.
- Taber, K. S. (2002). Chemical misconceptions – prevention, diagnosis and cure, Vol. 1. Theoretical background. London: Royal Society of Chemistry.
- Treagust, D.F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science. *International Journal of Science Education*, 10, 159-169.
- University of Colorado. PhET: Free online physics, chemistry, biology, earth science, and math simulations. Retrieved 16 September 2011 from <http://phet.colorado.edu/>.
- Van Driel, J.H. (2002). Students' corpuscular conceptions in the context of chemical equilibrium and chemical kinetics. *Chemical Education Research Practice in Europe*, 3(2), 201-213.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Venville, G.J. (2008). The Focus-Action-Reflection (FAR) guide-science teaching analogies. In Harrison, A. G. & Coll, R. K. (eds.), Using Analogies in Middle and Secondary Science Classrooms. pp. 22-31. California: Corwin Press.
- Ware, S.A. (2001). Teaching chemistry from a societal perspective. Pure and Applied Chemistry, 73, 1209-1214.
- Williamson, V.M., & Abraham, M.R. (1995). The effects of computer animation on the particulate mental models of college chemistry students. Journal of Research in Science Teaching, 32(5), 521-534.
- Yakmaci-Guzel, B. (2013). Preservice chemistry teachers in action: an evaluation of attempts for changing high school students' chemistry misconceptions into more scientific conceptions. Chemistry Education Research and Practice, 14, 95-104.
- Yang, E., Andre, T., & Greenbowe, T. (2003). Spatial ability and the effect of visualization/animation on learning electrochemistry. International Journal of Science Education, 25(3), 329 – 349.
- Zoller U. & Tsapalis G. (1997). Higher and lower-order cognitive skills: The case of chemistry. Research in Science Education, 27(1), 117-130.
- Zoller, U. & Levy Nahum, T. (2012). From teaching to KNOW to learning to THINK in science education. In B. J. Fraser, K. Tobin & C. J. McRobbie (eds.), The Second International Handbook of Science Education. pp. 209-229. New York, NY: Springer.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

**ชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล
(ICEMA) เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี**

ภาคผนวก ก-1 กิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล (ICEMA) เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

แผนการเรียนรู้	กิจกรรม	เวลา (ชั่วโมง)
1. ความหมายและการคำนวณอัตรา	การเปรียบเทียบการวิ่งในระยะทางที่เท่ากันต่างเวลา + ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล	3
2. แนวคิดเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี	การเปรียบเทียบการเป่าก้อนดินน้ำมันขึ้นพื้นเอียง + ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล	2
3. ผลของธรรมชาติของสารตั้งต้นที่มีต่ออัตรา	การทดลองปฏิกิริยาของกรดชนิดต่างๆ กับเปลือกไข่/เปลือกหอย/กระดองปู (CaCO_3) + การเปรียบเทียบการละลายเรื่อกระดาษในอ่าง + ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล	2
4. ผลของพื้นที่ผิวที่มีต่ออัตรา	การทดลองปฏิกิริยาของกรด HCl กับเปลือกไข่/เปลือกหอย/กระดองปูขนาดแตกต่างกัน + การเปรียบเทียบการละลายของน้ำตาลก้อนและเกล็ดน้ำตาล + ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล	2
5. ผลของความเข้มข้นที่มีต่ออัตรา	การทดลองปฏิกิริยาของกรด HCl ความเข้มข้นต่างๆ กับเปลือกไข่/เปลือกหอย/กระดองปู + การเปรียบเทียบการเล่นเกมจับคู่รูปภาพ + ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล	2
6. กลไกของตัวเร่งที่มีต่ออัตรา	การเปรียบเทียบการเป่าก้อนดินน้ำมันขึ้นพื้นเอียงที่ชันต่างกัน + ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล	2
7. ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตรา	การทดลองปฏิกิริยาของกรด HCl กับเปลือกไข่/เปลือกหอย/กระดองปูในอ่างน้ำเย็น/น้ำอุณหภูมิห้อง/น้ำอุ่น + การเปรียบเทียบการคว่ำเมล็ดข้าวเปลือก + ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล	2
รวม		15

ภาคผนวก ก-2 รายละเอียดการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะ
ร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล (ICEMA) เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

กิจกรรมที่ 1 ความหมายของปฏิกิริยาและการวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

กิจกรรมที่ 2 การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

กิจกรรมที่ 3 พลังงานกับการดำเนินของปฏิกิริยาและทฤษฎีการชน

กิจกรรมที่ 4.1 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี : ธรรมชาติของสารตั้งต้น

กิจกรรมการที่ 4.2 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี : พื้นที่ผิวของสารตั้งต้น

กิจกรรมที่ 4.3 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี : ความเข้มข้นของสารตั้งต้น

กิจกรรมที่ 4.4 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี : ตัวเร่งและตัวหน่วงปฏิกิริยา
และความดัน

กิจกรรมที่ 4.5 ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี : อุณหภูมิ

ภาคผนวก ก-3 เฉลยแบบทดสอบวัดความเข้าใจโมเมนต์ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (30
ข้อ เวลา 60 นาที)

คำชี้แจง ข้อสอบมี 2 ส่วน ให้นักเรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียวและทำเครื่องหมาย X หน้าข้อที่ถูกต้องที่สุดในกระดาษข้อสอบ

ส่วนที่ 1 ให้นักเรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

ส่วนที่ 2 ให้นักเรียนเลือกตอบเหตุผลที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียวหรือเขียนเหตุผลที่เลือกตอบใช้ประกอบการตอบคำถามส่วนที่ 1 ลงในช่องว่างที่กำหนดให้

1) ข้อใดเป็นกิจกรรมหรือผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมี

- ก. การบูรในตู้เสื้อผ้าเล็กลง
- ข. เมฆรวมตัวเป็นฝน
- ค. การเผากระดาษ

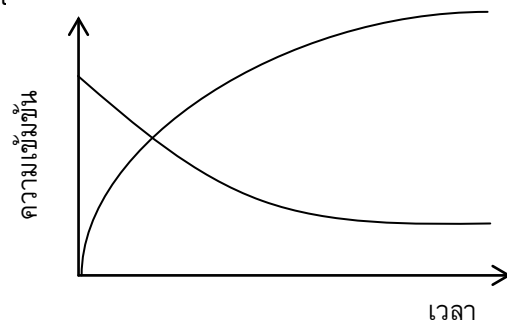
เหตุผลที่เลือกคือ

.....

.....

.....

2) กราฟต่อไปนี้ศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงของสาร A และ B ข้อใดกล่าวถูกต้อง

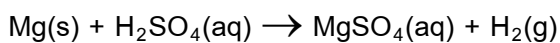


- ก. A และ B เป็นสารตั้งต้น
- ข. A เป็นสารตั้งต้นและ B เป็นสารผลิตภัณฑ์
- ค. A เป็นสารผลิตภัณฑ์และ B เป็นสารตั้งต้น

เพราะ ก. ความเข้มข้นของ A และ B เพิ่มขึ้น และคงที่

- ข. ปริมาณสาร A เพิ่มขึ้นและปริมาณสาร B ลดลง
- ค. ความเข้มข้นของ A ค่อยๆ ลดลงและ B เพิ่มขึ้น

3) ปฏิกริยาเคมีระหว่างลวดแมกนีเซียมกับสารละลายกรดซัลฟิวริกเป็นดังสมการ



บันทึกเวลาในการเกิดแก๊ส H_2 เริ่มต้นจนถึงปริมาตร 5 cm^3 ดังตาราง

ปริมาตร แก๊ส $\text{H}_2(\text{cm}^3)$	1	2	3	4	5
เวลา(s)	4	6	9	14	20

อัตราการเกิดแก๊ส H_2 เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ

ก. $0.17 \text{ cm}^3 / \text{s}$

ข. $0.25 \text{ cm}^3 / \text{s}$

ค. $0.5 \text{ cm}^3 / \text{s}$

แสดงการคำนวณ

.....

.....

.....

4) การศึกษาอัตราการสลายตัวของปฏิกิริยาของสารชนิดหนึ่งดังสมการ $\text{A} \rightarrow \text{B} + \text{C}$ ได้ผลดังตาราง

เวลา (s)	0	10	20	30
ความเข้มข้นของ A (mol/dm^3)	17	14	12	11

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเฉลี่ยเป็นเท่าใด

ก. $0.1 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$

ข. $0.2 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$

ค. $0.3 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$

ง. $0.4 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$

แสดงการคำนวณ

.....

.....

.....

5) จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีดังสมการ $\text{X(aq)} \rightarrow \text{Y(aq)}$ มีข้อมูลดังตารางต่อไปนี้

เวลา (s)	5	10	15	20
ความเข้มข้นของ Y (mol/dm^3)	3	6	8	9

อัตราการเกิดปฏิกิริยาในช่วงของการเกิดสาร Y ที่ช่วงเวลา 10 – 20 วินาทีเป็นเท่าใด

ก. $0.3 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$

ข. $0.4 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$

ค. $0.5 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$

ง. $0.6 \text{ mol/dm}^3 \cdot \text{s}$

แสดงการคำนวณ

.....

.....

.....

6) สารละลาย X, Y และ Z ต่างก็เป็นสารละลายสีที่ไม่มีสี เมื่อนำแต่ละชนิดที่มีความเข้มข้นและปริมาณเท่ากัน มาผสมกันที่อุณหภูมิเป็น 25°C ได้ผลดังตาราง

การผสมสารละลาย	อุณหภูมิหลังผสม ($^{\circ}\text{C}$)	สิ่งที่สังเกตเห็น
X กับ Y	24	สารละลายสีฟ้า
X กับ Z	30	ตะกอนขาว
Y กับ Z	25	ใส ไม่มีสี

ข้อสรุปใดไม่ถูกต้อง

- ก. X กับ Y เกิดปฏิกิริยาคายความร้อน
- ข. X กับ Z เกิดปฏิกิริยาคายความร้อน
- ค. Y กับ Z ทำปฏิกิริยากันโดยไม่คายความร้อน

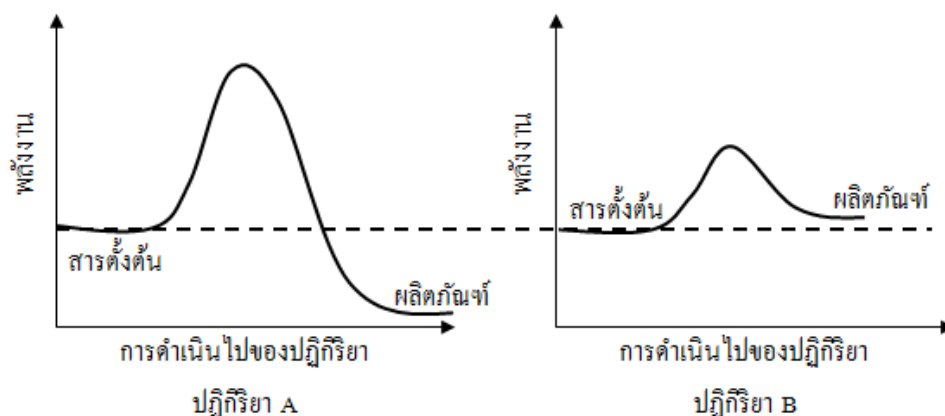
เพราะเหตุใด

.....

.....

.....

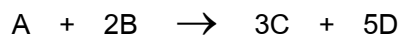
7) จากกราฟข้อสรุปเกี่ยวกับปฏิกิริยา A และปฏิกิริยา B ข้อใดถูกต้อง



- ก. ปฏิกิริยา A เกิดยากกว่าปฏิกิริยา B
- ข. ที่อุณหภูมิเดียวกันปฏิกิริยา A เกิดได้เร็วกว่าปฏิกิริยา B
- ค. เมื่อเพิ่มอุณหภูมิพลังงานกระตุ้นของทั้งสองปฏิกิริยาจะสูงขึ้นมาก

- เพราะ
- ก. จำนวนโมเลกุลที่มีพลังงานจลน์สูงมีจำนวนมากขึ้น
 - ข. ปฏิริยาคายความร้อนเกิดได้ยากกว่าปฏิริยาดูดความร้อน
 - ค. ปฏิริยาเกิดได้เร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (E_a)

8) พิจารณาปฏิริยาเคมีต่อไปนี้



พลังงานของสารตั้งต้น A และ B เท่ากับ 140 kJ ซึ่งน้อยกว่าพลังงานของ C และ D ถ้าพลังงานที่สภาวะทรานซิชันเท่ากับ 900 kJ ปฏิริยานี้มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานแบบใด และมีค่าพลังงานก่อกัมมันต์เท่าใด

- ก. +260 kJ
- ข. +760 kJ
- ค. -1,040 kJ

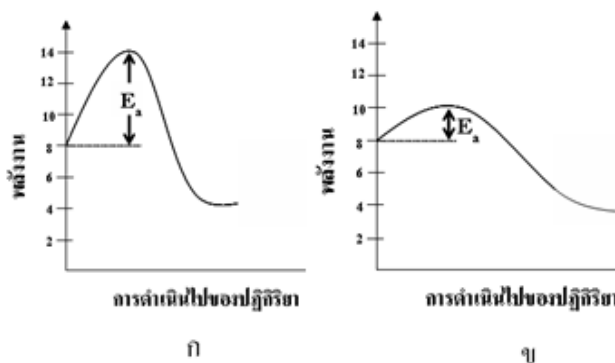
แสดงการคำนวณพร้อมวาดกราฟประกอบ

.....

.....

.....

9) จากกราฟข้อใดกล่าวถูกต้อง



- ก. ปฏิริยา ก เกิดได้เร็วกว่าปฏิริยา ข
- ข. ปฏิริยา ก เกิดได้ช้ากว่าปฏิริยา ข
- ค. ปฏิริยาทั้งสองเกิดขึ้นด้วยอัตราเร็วเท่ากัน

เพราะเหตุใด

.....

.....

.....

10) ใช้ข้อมูลต่อไปนี้ตอบคำถาม

ปฏิกิริยา	E_a (kJ)	ΔE (kJ)
A	70	+30
B	90	-40
C	110	-20
D	50	-15

ข้อใดกล่าวถูกต้อง

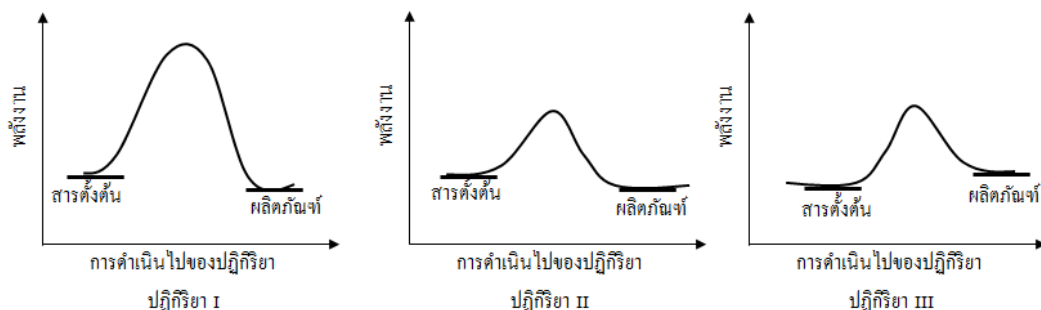
- ก. ปฏิกิริยา B เกิดเร็วที่สุดและคายความร้อน = 40 kJ
- ข. ปฏิกิริยา C เกิดช้าที่สุดและดูดความร้อน = 20 kJ
- ค. ปฏิกิริยา A เกิดช้ากว่าปฏิกิริยา D

เพราะ ก. ปฏิกิริยาจะเกิดเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับพลังงานที่เปลี่ยนแปลง (ΔE)

ข. ปฏิกิริยาที่มีพลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) น้อยที่สุดจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วที่สุด

ค. ปฏิกิริยาที่มีพลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) และพลังงานที่เปลี่ยนแปลง (ΔE) ต่างกันมากที่สุดจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็ว

11) จากกราฟข้อใดกล่าวถูกต้อง



- ก. ปฏิกิริยา I เกิดได้เร็วที่สุด รองลงมาคือปฏิกิริยา III และ II ตามลำดับ
- ข. ปฏิกิริยา I และ II เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้เอง
- ค. ปฏิกิริยา II และ III มีพลังงานที่เปลี่ยนแปลง (ΔE) เท่ากัน

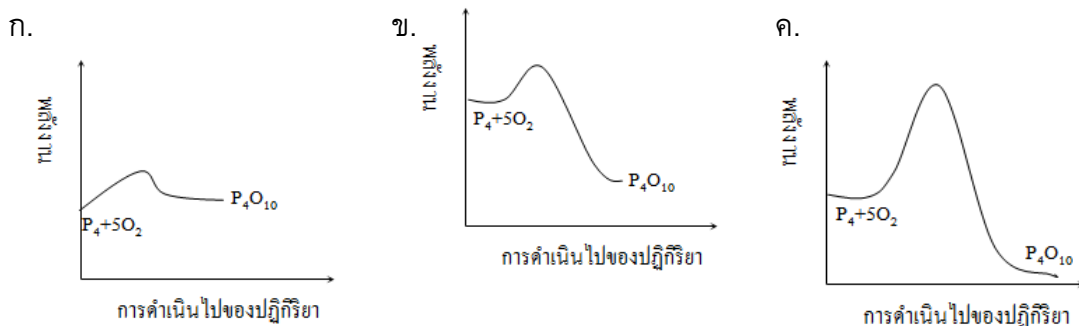
เพราะ

ก. ค่าพลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) สามารถใช้ระบุได้ว่าปฏิกิริยาใดเกิดได้เองหรือไม่

ข. ผลต่างระหว่างพลังงานของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ สามารถใช้ระบุได้ว่าปฏิกิริยาใดเกิดได้เร็วหรือช้า

ค. ค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลง (ΔE) สามารถใช้ระบุได้ว่าปฏิกิริยาเกิดได้เองหรือไม่

12) ฟอสฟอรัส (P_4) ที่ไวในอากาศติดไฟทันที เกิดเป็น P_4O_{10} พลังงานที่เปลี่ยนแปลง (E) ของปฏิกิริยานี้ คือ $-2,076.16$ กิโลจูล/โมล แผนภาพแสดงพลังงานของปฏิกิริยานี้คือ



- เพราะ ก. ปฏิกิริยาเกิดได้ทันทีเนื่องจากดูดพลังงานเข้าไป
 ข. พลังงานที่เปลี่ยนแปลง (E) มีค่าติดลบปฏิกิริยาจึงเกิดได้ทันที
 ค. พลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) ต่ำปฏิกิริยาจึงเกิดได้ง่าย

13) ปฏิกิริยาระหว่างโลหะกับน้ำเย็น ซึ่งทำการทดลอง 2 ตอน ดังนี้
 ตอนที่ 1 ใช้โลหะโซเดียม (Na) ตอนที่ 2 ใช้โลหะแมกนีเซียม (Mg)
 น้ำหนักและขนาดของโลหะที่ใช้ทั้ง 2 ตอนเท่ากัน ข้อใดกล่าวถูกต้อง

- ก. พื้นที่ผิวของโลหะมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
 ข. อัตราการเกิดปฏิกิริยาตอนที่ 1 และ 2 เท่ากัน
 ค. โลหะโซเดียมทำปฏิกิริยากับน้ำได้เร็วและรุนแรงกว่าโลหะแมกนีเซียม

- เพราะ ก. โลหะทั้งสองมีสมบัติที่แตกต่างกัน
 ข. พลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) ของสองปฏิกิริยามีค่าเท่ากัน
 ค. ทั้งสองปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน

14) โลหะสังกะสีทำปฏิกิริยากับสารละลายกรด 2 ชนิด ดังตาราง

ตอนที่	ชนิดของกรด	ความเข้มข้น (M)	ปริมาตรกรด (ml)	อุณหภูมิ $^{\circ}C$	ลักษณะสังกะสี	อัตราการเกิดปฏิกิริยา
1	HCl	0.5	10	25	แผ่นขนาด $0.5\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 1 ชิ้น	A
2	CH_3COOH	0.5	10	25	แผ่นขนาด $0.5\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 1 ชิ้น	B

ข้อใดกล่าวถูกต้อง

ก. $A = B$

ข. $A < B$

ค. $A > B$

เพราะ ก. พลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) ของการทดลองตอนที่ 1 มากกว่าตอนที่ 2

ข. กรด HCl เป็นกรดแก่อย่างพอเหมาะในการเกิดปฏิกิริยามากกว่า

ค. จำนวนไอออนของกรดทั้งสองมีปริมาณเท่ากัน

15) การทดลองในข้อใดมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่สูงที่สุดที่อุณหภูมิเดียวกัน

ก. ใส่แผ่นสังกะสี 1 ชิ้น หน้า 1 กรัม ลงในกรด HCl 0.1 mol/dm^3

ข. ใส่แผ่นสังกะสี 2 ชิ้น หน้า 0.5 กรัม ลงในกรด HCl 0.2 mol/dm^3

ค. ใส่สังกะสีผงละเอียดหน้า 1 กรัม ลงในกรด HCl 0.2 mol/dm^3

เพราะ ก. พลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) ของปฏิกิริยาลดต่ำลง

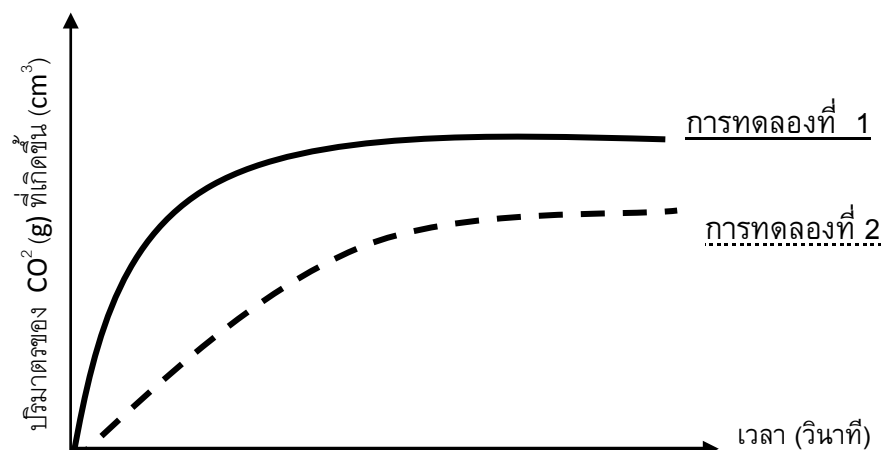
ข. ปฏิกิริยาคัดความร้อนเปลี่ยนเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน

ค. โมเลกุลของสารตั้งต้นที่เข้าทำปฏิกิริยามีพื้นที่ในการเข้าทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น

16) ในปฏิกิริยาระหว่างเปลือกไข่กับกรดไฮโดรคลอริก ดังสมการ



เมื่อวัดปริมาตรของ CO_2 ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาการเกิดปฏิกิริยา ได้กราฟดังนี้



การทดลองแบบใดที่จะทำให้การเปลี่ยนแปลงดังแสดงในการทดลองที่ 2 (เส้นประ)

ก. เติมกรดไฮโดรคลอริกให้มีปริมาณมากขึ้น

ข. ใส่เปลือกไข่ในปริมาณมากขึ้น

ค. ใส่เปลือกไข่ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

เพราะ ก. เพิ่มสารตั้งต้น เพิ่มพลังงานกระตุ้น การเกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น

ข. ผิวสัมผัสของสารตั้งต้นกับกรดไฮโดรคลอริกลดลง

ค. เพิ่มปริมาณของสารตั้งต้น ทำให้ปฏิกิริยาเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น

17) ข้อใดมีผลทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน

ก. เพิ่มพื้นที่ผิว ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา

ข. เพิ่มพลังงานของสารตั้งต้น เพิ่มพลังงานก่อกัมมันต์ (E_a)

ค. เพิ่มพื้นที่ผิว เพิ่มขนาดภาชนะที่บรรจุ

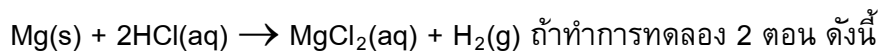
เพราะเหตุใด

.....

.....

.....

18) โลหะอะลูมิเนียมทำปฏิกิริยากับสารละลายไฮโดรคลอริก ดังสมการ



ตอนที่ 1 ใช้แผ่นแมกนีเซียมขนาด 0.5 cm × 10 cm 1 ชิ้น

ตอนที่ 2 ใช้แผ่นแมกนีเซียมเป็นก้อนกลม 1 ก้อน

น้ำหนักของแมกนีเซียมที่ใช้ทั้ง 2 ตอนเท่ากัน ข้อใดกล่าวถูกต้อง

ก. เมื่อทำปฏิกิริยาไป 2 นาทีความเข้มข้นของ NaOH ตอนที่ 1 มากกว่าตอนที่ 2

ข. ที่เวลาเริ่มต้นความเข้มข้นของ MgCl_2 ทั้งสองตอนมีค่ามากกว่า 0

ค. ปฏิกิริยาตอนที่ 1 เกิดได้เร็วกว่าปฏิกิริยาตอนที่ 2

เพราะ ก. ตอนที่ 1 ใช้แมกนีเซียมที่มีพื้นที่ผิวในการเข้าทำปฏิกิริยามากกว่าตอนที่ 2

ข. ปฏิกิริยาดูดความร้อนเกิดง่ายกว่าปฏิกิริยาคายความร้อน

ค. พลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) ของปฏิกิริยาในตอนที่ 1 ต่ำกว่าตอนที่ 2

19) ถ้าปฏิกิริยาระหว่างหินปูนมากเกินพอกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 M ปริมาตร 20 cm³ ที่ 20 °C มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ X และได้รับปริมาณผลิตภัณฑ์เท่ากับ Y การเปลี่ยนไปใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 M อุณหภูมิเท่าเดิม จะได้ผลอย่างไร

ก. X เท่าเดิม Y เพิ่มขึ้น

ข. X ลดลง Y ลดลง

ค. X เพิ่มขึ้น Y เพิ่มขึ้น

เพราะ ก. พลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) ของปฏิกิริยาลดลง

ข. ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน

ค. ปริมาณสารตั้งต้นเพิ่มขึ้น โอกาสชนกันมากขึ้น

20) ปฏิกิริยา $\text{Zn(s)} + \text{H}_2\text{SO}_4\text{(aq)} \rightarrow \text{Zn(SO}_4\text{(aq)} + \text{H}_2\text{(g)}$ เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ถ้าใส่ผงสังกะสีในกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น (I) 0.5 M และ (II) 2.0 M กรณี (II) จะเกิดผลอย่างไรเมื่อเปรียบเทียบกับกรณี (I)

ก. อุณหภูมิของสารตั้งต้นมีพลังงานจลน์สูงขึ้น

ข. พลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) ของปฏิกิริยาลดลง

ค. แก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นมีปริมาณเพิ่มขึ้น

เพราะ ก. พลังงานพันธะในโมเลกุลของสารตั้งต้นมีค่าลดลง

ข. อุณหภูมิของสารตั้งต้นชนกันบ่อยครั้งขึ้น ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น

ค. ความเข้มข้นของสารตั้งต้นเพิ่มมากขึ้น

21) เมื่อใส่โลหะ X ลงในกรดไฮโดรคลอริก จะเกิดปฏิกิริยาให้แก๊สไฮโดรเจน ในการทดลองที่ความเข้มข้นต่างกันโดยวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยา ได้ข้อมูลดังนี้

ความเข้มข้น (M)	อัตราการเกิดปฏิกิริยา
0.1	X
0.5	Y
1.0	Z

ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยา

ก. $X = Y = Z$

ข. $X > Y > Z$

ค. $X < Y < Z$

เพราะ ก. พลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) ของการทดลองทั้งสามชุดไม่เท่ากัน

ข. โอกาสชนกันของโมเลกุลของสารตั้งต้นมากขึ้นและมีพลังงานสูงมากขึ้น

ค. อุณหภูมิสูงส่งผลให้โมเลกุลมีพลังงานจลน์มากขึ้น

22) มานะนำกรดซัลฟิวริกมาย่อยหนึ่งสัปดาห์ เพื่อใช้ในการทดลองแต่เนื่องจากมีเวลาจำกัด การกระทำข้อใดที่จะช่วยให้มานะย่อยหนึ่งสัปดาห์ได้เร็วขึ้น

ก. เพิ่มจำนวนหนึ่งสัปดาห์

ข. เพิ่มความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก

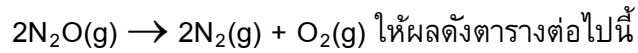
ค. เปลี่ยนจากกรดซัลฟิวริกเป็นไฮโดรคลอริก

เพราะ ก. จำนวนอนุภาคของสารตั้งต้นมากขึ้น โอกาสในการชนกันมากขึ้น

ข. พลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) ของปฏิกิริยาลดลง

ค. เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนจึงเกิดได้ง่าย

23) ในการทดลองเปรียบเทียบผลของโลหะ 2 ชนิดต่อความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา



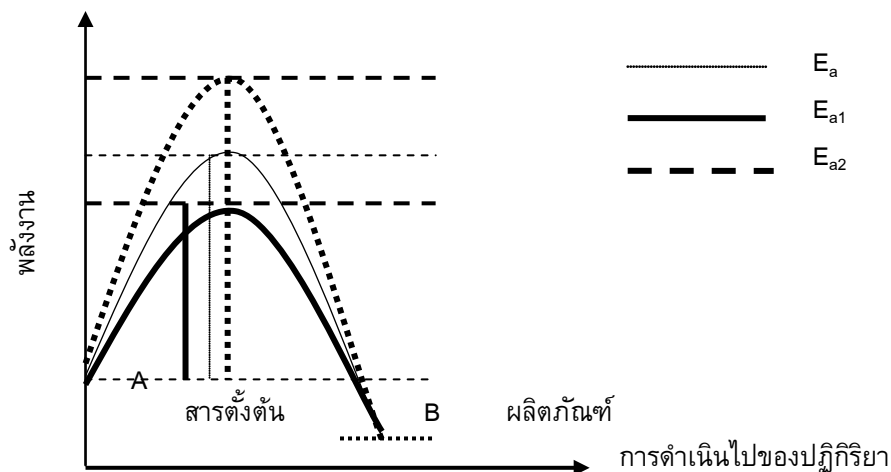
ชนิดของโลหะ	อัตราการเกิดปฏิกิริยาสัมพันธ์
ไม่ใช่	ช้าที่สุด
ทองคำ	เร็ว
ทองคำขาว	เร็วที่สุด

ข้อใดกล่าวถูกต้อง

- ก. พลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) ของปฏิกิริยาที่ใช้ทองคำขาวเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะต่ำที่สุด
- ข. อัตราการสลายตัวของ N_2O บนทองคำขาวมีค่าสูงกว่าบนทองคำ
- ค. ปฏิกิริยาการสลายตัวของ N_2O ควรเกิดได้ดีถ้าอุณหภูมิต่ำลง
- เพราะ ก. มีจำนวนโมเลกุลของสารตั้งต้นเพิ่มมากขึ้น
- ข. มีพื้นที่ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น
- ค. ตัวเร่งปฏิกิริยาส่งผลให้พลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) ของปฏิกิริยาลดต่ำลง

24) ในการดำเนินไปของปฏิกิริยา A (สารตั้งต้น) $\rightarrow$ B (ผลิตภัณฑ์)

ได้กราฟการดำเนินไปของปฏิกิริยาซึ่งมีพลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) ดังนี้



การเติมโซเดียมเบนโซเอตลงในอาหารสำเร็จรูป จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

- ก. พลังก่อกัมมันต์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง E_a
- ข. พลังก่อกัมมันต์เปลี่ยนจาก E_a ไปเป็น E_{a1}
- ค. พลังก่อกัมมันต์เปลี่ยนจาก E_a ไปเป็น E_{a2}
- เพราะ ก. ความสามารถในการผสมเป็นเนื้อเดียวกันของสารตั้งต้นเพิ่มขึ้น
- ข. โมเลกุลของสารตั้งต้นมีพลังงานจลน์ลดลง ชนกันลดลง
- ค. อนุภาคสารตั้งต้นชนกันและมีพลังงานน้อยกว่าพลังงานก่อกัมมันต์เพิ่ม

25) การเติมวิตามินอี หรือ B.H.T ลงในน้ำมันพืช เป็นการป้องกันการเหม็นหืนของน้ำมันพืชได้ วิตามินอี หรือ B.H.T มีผลต่อปฏิกิริยาอย่างไร

- ก. เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้พันธะ C=C ในน้ำมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ช้าลง
- ข. เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้พันธะ C-H ในน้ำมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ช้าลง
- ค. เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ออกซิเจนที่ผสมในของน้ำมันสลายตัวได้เร็วขึ้น

เพราะ ก. ปฏิกิริยามีพลังงานกระตุ้นเพิ่มขึ้น จึงเกิดปฏิกิริยาได้ช้าลง

ข. พื้นที่ผิวสัมผัสของสารตั้งต้นลดลง กระตุ้นให้สารตั้งต้นมีพลังงานจลน์ลดลง

ค. ความเข้มข้นของสารตั้งต้นเพิ่มขึ้น จึงมีการชนกันมากขึ้น

26) นักเรียนได้มะม่วงแถมมา 2 ผล แต่นักเรียนต้องการกินมะม่วงสุกจึงได้กระทำการดังนี้

ผลที่ 1 ห่อด้วยกระดาษหนังสือพิมพ์หลายๆ ชั้น แล้วใส่ถุงเคลือบคาร์บอนไดออกไซด์เล็กน้อย จากนั้นนำไปเก็บไว้ในตู้ที่กลั่นเป่า ในตู้กับข้าวที่ปิดมิดชิด

ผลที่ 2 วางใส่จานแล้ววางไว้บนโต๊ะอาหาร

ผลปรากฏว่าเมื่อผ่านไปหนึ่งวัน มะม่วงผลที่ 1 สุกแต่ผลที่ 2 ยังไม่สุก เหตุการณ์ดังกล่าวเป็นผลของข้อใด

- ก. ตัวเร่งปฏิกิริยาและอุณหภูมิ
- ข. ตัวเร่งปฏิกิริยาและธรรมชาติของสารตั้งต้น
- ค. ธรรมชาติของสารตั้งต้นและอุณหภูมิ

เพราะ ก. จำนวนอนุภาคของสารตั้งต้นมากขึ้น

ข. พลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) ของปฏิกิริยาลดลง

ค. พื้นที่ผิวสัมผัสของสารตั้งต้นในการเข้าทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น

27) ปฏิกิริยา $X(s) + Y(aq) \rightarrow Z(g)$ เป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน อัตราการเร็วของปฏิกิริยานี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อใด

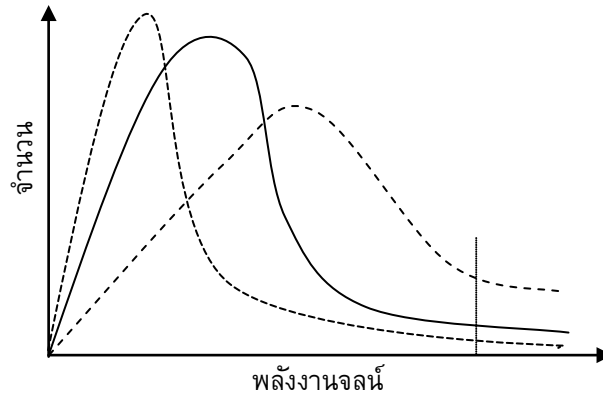
- ก. เพิ่มอุณหภูมิ
- ข. เติมตัวเร่งปฏิกิริยา
- ค. เปลี่ยนรูปร่าง X ให้เป็นทรงกลมตัน

เพราะ ก. จำนวนโมเลกุลที่มีพลังงานจลน์มีมากขึ้น

ข. ทำให้ปริมาณสารผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น

ค. ทำให้สารตั้งต้นขยายตัวมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น

28) จากรูปเส้นกราฟ B บอกการกระจายพลังงานของโมเลกุลแก๊ส ณ อุณหภูมิหนึ่งเส้น E_a บอกค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยา ส่วนกราฟเส้นประ A และ C เป็นการเลื่อนไปของกราฟ B เมื่อมีปัจจัยบางประการ



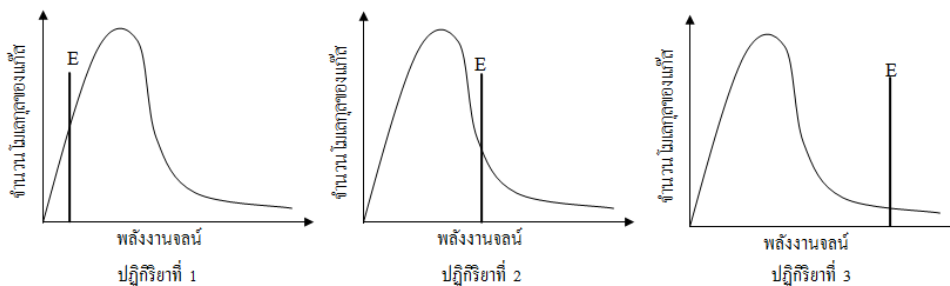
เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงในกราฟควรเป็นไปตามข้อใด

- ก. กราฟ B ไม่เปลี่ยนแปลง
- ข. กราฟ B เลื่อนไปเป็นรูปกราฟ A
- ค. กราฟ B เลื่อนไปเป็นรูปกราฟ C

เพราะ ก. อุณหภูมิของสารตั้งต้นที่มีพลังงานจลน์สูงพอที่จะเกิดปฏิกิริยามีจำนวนมากขึ้น

- ข. พลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) ของปฏิกิริยาลดลง
- ค. พลังงานพันธะของสารตั้งต้นมีค่าลดลง

29) ปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน 3 ปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิเดียวกันจะมีค่าการกระจายพลังงานจลน์ที่เหมือนกัน ยกเว้นค่าพลังงาน E ดังแสดงในกราฟ ภายใต้เงื่อนไขปฏิกิริยาใดเกิดเร็วที่สุด

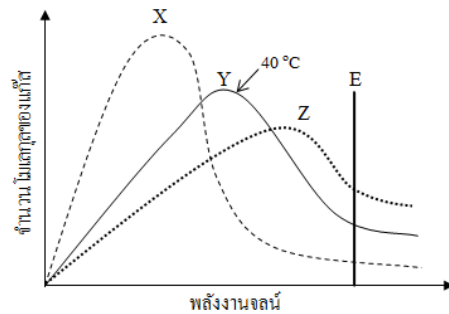


- ก. ปฏิกิริยาที่ 1
- ข. ปฏิกิริยาที่ 2
- ค. ปฏิกิริยาที่ 3

เพราะ ก. อุณหภูมิของสารตั้งต้นเกิดการชนกันมากขึ้น

- ข. พลังงานก่อกัมมันต์ของปฏิกิริยามีค่าลดลง
- ค. จำนวนโมเลกุลที่มีพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าพลังงานก่อกัมมันต์เพิ่มขึ้น

30) จากรูปกราฟเส้นกราฟ Y บอกการกระจายพลังงานของโมเลกุลแก๊ส ที่อุณหภูมิ 40°C เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงในกราฟควรเป็นไปตามข้อใด



ก. เส้นกราฟ E เลื่อนไปทางขวา

ข. กราฟ Y เปลี่ยนไปเป็นกราฟ X

ค. กราฟ Y เปลี่ยนไปเป็นกราฟ Z

เพราะ ก. โมเลกุลที่มีพลังงานสูงกว่าพลังงานกระตุ้นมากขึ้น

ข. จำนวนโมเลกุลที่มีพลังงานสูงพอเพิ่มมากขึ้น และมีการชนกันมากขึ้น

ค. โมเลกุลทั้งหมดของสารตั้งต้นมีพลังงานกระตุ้นและชนกันมากขึ้นอย่างถูกต้องทาง

ภาคผนวก ข

**ชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล
(ICEMA) เรื่อง ไฟฟ้าเคมี**

ภาคผนวก ข-1 กิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล (ICEMA) เรื่อง ไฟฟ้าเคมี

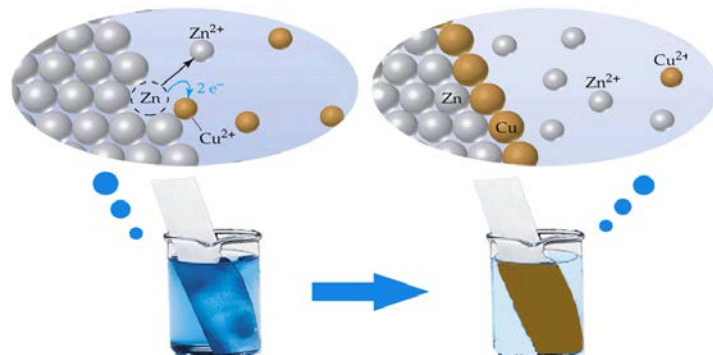
แผนการเรียนรู้เรื่อง	กิจกรรมการเรียนรู้	เวลา (ชั่วโมง)
1. ปฏิกริยารีดอกซ์และการถ่ายโอนอิเล็กตรอน	1. การทดลอง เรื่อง คู่ไหนคู่กัน เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ 2. ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล	3
2. ความสามารถในการรีดิวซ์และออกซิไดส์	1. การทดลอง เรื่อง ตัวรับตัวให้อิเล็กตรอนใครดีใครเด่น 2. ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล	2
3. เซลล์ไฟฟ้าเคมี เซลล์กัลวานิกและเซลล์ผลไม้ม	1. การทดลอง เรื่อง เซลล์กัลวานิกมาตรฐานกับเซลล์กัลวานิกที่ย่อส่วน 2. การทดลอง เรื่อง เซลล์ผลไม้มได้ไฟฟ้า 3. ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล	5
4. การแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า	1. การทดลอง เรื่อง แยกน้ำได้ไฟฟ้า 2. ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล	2
5. การชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้าและการป้องกันการผุกร่อนด้วยวิธีแคโทดิก	1. การทดลอง เรื่อง เคลือบผิวสวดยด้วยโลหะ 2. การทดลอง เรื่อง การป้องกันสนิมของตะปูเหล็กด้วยวิธีแคโทดิก 3. ภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล	3
รวม		15

ภาคผนวก ข-2 รายละเอียดการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยชุดการทดลองเคมีแบบสืบเสาะร่วมกับภาพเคลื่อนไหวระดับโมเลกุล (ICEMA) เรื่อง ไฟฟ้าเคมี

การทดลองที่ 1 ปฏิกริยาระหว่างโลหะกับสารละลายของโลหะไอออน

หลักการและทฤษฎี

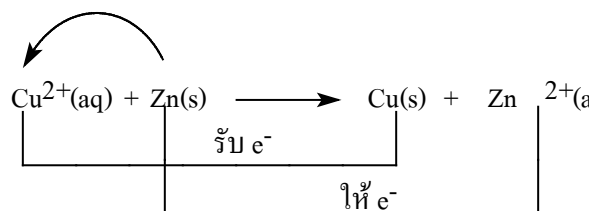
ปฏิกิริยารีดอกซ์ หมายถึง ปฏิกิริยาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน เกิดเป็นพลังงานทางเคมี แล้วปล่อยออกมาในรูปพลังงานไฟฟ้า ซึ่งพบในเซลล์กานไฟฉาย แบตเตอรี่รถยนต์ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่มีการให้ และรับอิเล็กตรอน **ปฏิกิริยารีดอกซ์ หรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction Reaction)** จะเกิดสองปฏิกิริยาย่อยควบคู่กันไปเสมอ นั่นคือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Reaction) และ ปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction Reaction) ปฏิกิริยารีดอกซ์ส่วนมากจะเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น การนำโลหะสังกะสี (Zn) จุ่มลงไปในสารละลายของทองแดง (Cu^{2+}) ดังรูป



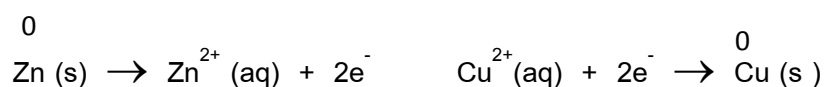
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นไปตามสมการ



ถ่ายโอน e^-

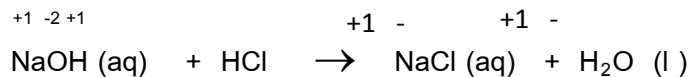


เขียนแยกสมการได้ดังนี้



จะเห็นว่า ปฏิริยาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนจะมีเลขออกซิเดชันเปลี่ยนแปลง คือส่วนของสารที่ให้อิเล็กตรอน (e^-) จะมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น และส่วนของสารที่รับอิเล็กตรอนจะมีเลขออกซิเดชันลดลง

ปฏิริยานอนรีดอกซ์ คือ ปฏิริยาที่ไม่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนหรือเป็นปฏิริยาที่ไม่มีการให้และรับอิเล็กตรอนในปฏิริยานั้น เช่น



จากสมการของปฏิริยาข้างต้น ไม่มีธาตุใดเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันเลย แสดงว่าไม่มีธาตุให้หรือรับอิเล็กตรอนเลย

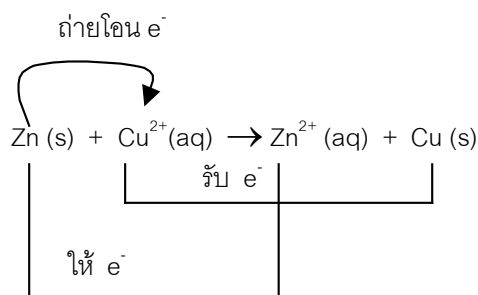
ตัวออกซิไดซ์และตัวรีดิวซ์ของสารในปฏิริยารีดอกซ์

ปฏิริยารีดอกซ์ หรือปฏิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน เป็นปฏิริยาที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน หรือเป็นปฏิริยาที่มีเลขออกซิเดชันของธาตุเปลี่ยนแปลง ซึ่งเขียนแยกเป็นสองส่วนได้ และแต่ละส่วนของปฏิริยามีชื่อเรียกแตกต่างกัน ซึ่งประกอบด้วย 2 ปฏิริยาดังนี้

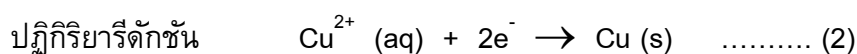
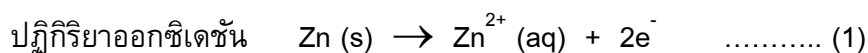
ปฏิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Reaction) คือ ปฏิริยาที่มีการให้อิเล็กตรอนเกิดขึ้น โดยเรียกสารที่ให้อิเล็กตรอนว่า ตัวรีดิวซ์ (Reducer หรือ Reducing agent)

ปฏิริยารีดักชัน (Reduction reaction) คือ ปฏิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอนเกิดขึ้น โดยเรียกสารที่รับอิเล็กตรอนว่า ตัวออกซิไดส์ (Oxidizing agent)

การพิจารณาปฏิริยาระหว่างโลหะ Zn กับ Cu^{2+} ซึ่งเขียนแทนด้วยสมการ



ปฏิริยาที่มีการให้และรับอิเล็กตรอน เรียกว่า ปฏิริยารีดอกซ์ เขียนแยกเป็นปฏิริยาย่อย ดังนี้



ปฏิริยาที่ 1 เป็นปฏิริยาออกซิเดชัน เพราะมีการให้อิเล็กตรอน โดยมี Zn ให้อิเล็กตรอนเรียกว่า ตัวรีดิวซ์

ปฏิกิริยาที่ 2 เป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ เพราะการรับอิเล็กตรอน โดยมี Cu^{2+} รับอิเล็กตรอน เรียกว่าตัวออกซิไดซ์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทำการทดลองปฏิกิริยาระหว่างโลหะกับสารละลายของโลหะไอออน
2. ระบุได้ว่าสารใดเสียอิเล็กตรอนและสารใดรับอิเล็กตรอน พร้อมทั้งเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

อุปกรณ์และสารเคมี

อุปกรณ์

1. หลอดทดลองขนาดกลาง พร้อมตะแกรง จำนวน 12 หลอด
2. ปากคิ๊ป จำนวน 1 อัน
3. บีกเกอร์ขนาด 50 cm^3 จำนวน 4 อัน
4. ชันโลหะ Cu และ Zn อย่างละ 2 ชัน

สารเคมี

1. สารละลาย CuSO_4 เข้มข้น 1.0 mol/dm^3 จำนวน 10 cm^3
2. สารละลาย ZnSO_4 เข้มข้น 1.0 mol/dm^3 จำนวน 10 cm^3

วิธีการทดลอง

1. นักเรียนแบ่งกลุ่มๆ ละ 5-6 คน
2. ศึกษาขั้นตอนการทดลองต่อไปนี้อย่างละเอียดแล้วลงมือปฏิบัติกิจกรรม
 - 2.1 รินสารละลาย CuSO_4 เข้มข้น 1.0 mol/dm^3 ลงในหลอดทดลองขนาดกลาง 2 หลอด หลอดละ 5 cm^3
 - 2.2 จุ่มชิ้นสังกะสีขนาด $0.5 \text{ cm} \times 7.0 \text{ cm}$ ลงในหลอดที่ 1 และชิ้นทองแดงขนาดเดียวกันลงในหลอดที่ 2 ทิ้งไว้สักครู่สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับโลหะทั้งสองและสารละลาย ถ้ามีสารมาเกาะบนชิ้นโลหะให้เคาะออก แล้วสังเกตว่าชิ้นโลหะมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร
 - 2.3 ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 และ 2 แต่เปลี่ยนสารละลายจาก CuSO_4 เป็น ZnSO_4 1.0 mol/dm^3
 - 2.4 สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับชิ้นโลหะ และสารละลายของแต่ละการทดลองพร้อมทั้งบันทึกผลการทดลอง

ตารางบันทึกผลการทดลองชั้นการสังเกต การทดลอง

ระบบที่ประกอบด้วย	การเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้	
	ชั้นโลหะ	สารละลาย
Zn ใน CuSO_4		
Cu ใน CuSO_4		
Zn ใน ZnSO_4		
Cu ใน ZnSO_4		

คำถามท้ายการทดลอง

- เขียนปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากทดลอง

ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Reaction) (ให้อิเล็กตรอน)

.....
.....

ครึ่งปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction Reaction) (ให้อิเล็กตรอน)

.....
.....

ปฏิกิริยารวม หรือ ปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Reaction)

.....
.....

- ตัวออกซิไดส์ คือ.....
ตัวรีดิวซ์ คือ

- เปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ต่อไปนี้

3.1 ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์ระหว่าง Zn กับ Cu

.....

.....
 ความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์ระหว่าง Zn^{2+} กับ Cu^{2+}

4. จงยกตัวอย่างปฏิกิริยานอนรีดอกซ์ (Nonredox Reaction) มาอย่างน้อย 1
 ตัวอย่าง

กิจกรรมการทดลองที่ 2 คู่ไหน คู่กัน เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์

วัตถุประสงค์

เพื่อทำการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์หรือตัวออกซิไดซ์ของ
 โลหะและไอออนของโลหะชนิดต่างๆ

อุปกรณ์และสารเคมี

1. หลอดทดลองพร้อมตะแกรง
2. โลหะที่ใช้ คือ สังกะสีมุงหลังคา Zn, ลวดทองแดง Cu, Mg, กระป๋องน้ำอัดลม,
 ตะปูเหล็ก Fe
3. ปากคีบ
4. กระดาษทราย
5. กรรไกร
6. สารละลายกรดเข้มข้น 0.5 M ของ HCl, HNO_3 และ CH_3COOH

วิธีการทดลอง

1. นักเรียนแบ่งกลุ่มๆ ละ 5-6 คน
2. ศึกษาขั้นตอนการทดลองต่อไปนี้ให้เข้าใจแล้วลงมือปฏิบัติกิจกรรมตามขั้นตอน
 - 2.1 เตรียมโลหะชนิดต่างๆ ให้มีขนาด 1×0.5 cm หรือน้ำหนัก 1.00 กรัม เท่ากัน
 - 2.2 ใส่โลหะชนิดต่างๆ ที่เตรียมไว้ คือ สังกะสีมุงหลังคา Zn, ลวดทองแดง Cu, Mg,
 กระป๋องน้ำอัดลม, ตะปูเหล็ก Fe ลงในหลอดทดลองอย่างละ 1 ชิ้น

2.3 ใส่สารละลายกรด HCl เข้มข้น 0.5 mol/dm^3 ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด หลอดละ 5 cm^3 ทิ้งไว้ 5 นาที ระหว่างที่เริ่มทดลองให้สังเกตผลที่เกิดขึ้นตลอดเวลา เปรียบเทียบกันทุกหลอด บันทึกผลที่เกิดขึ้น

2.4 เมื่อเวลาไป 5 นาที นำชิ้นโลหะมาสังเกตว่าชิ้นโลหะมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร ซึ่งขั้นตอนนี้อาจทำการชั่งน้ำหนักโลหะก็ได้

2.5 ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 - 4 แต่เปลี่ยนสารละลายจาก HNO_3 และ CH_3COOH ตามลำดับ

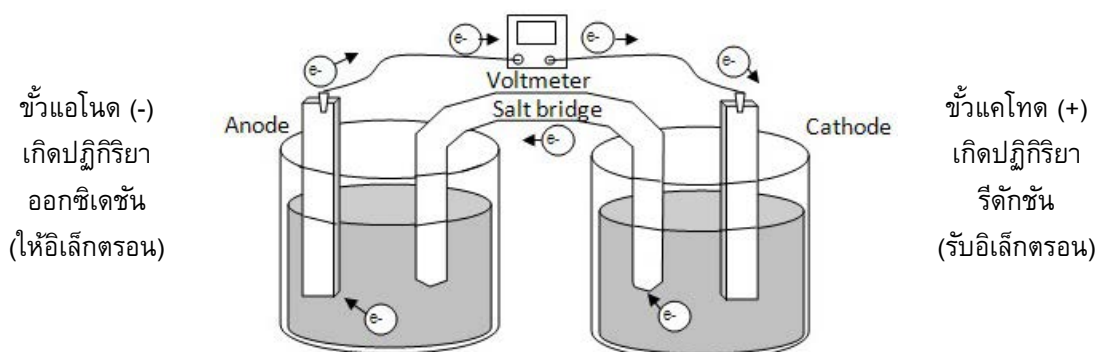
2.6 สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับชิ้นโลหะ และสารละลายของแต่ละการทดลองพร้อมทั้งบันทึกผลการทดลอง

การทดลองที่ 3 เซลล์ผลไม้ง่ายจากชีวิตประจำวัน

หลักการและทฤษฎี

เซลล์กัลวานิกหรือเซลล์วอลตาอิก (Voltaic cell)

เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) คือ เซลล์ไฟฟ้าเคมีชนิดหนึ่ง que เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยทั่วไป ประกอบด้วยครึ่งเซลล์ 2 ครึ่งเซลล์มาต่อเข้าด้วยกัน และเชื่อมวงจรภายในให้ครบวงจรโดยใช้สะพานไอออนต่อไว้ระหว่างสารละลายในแต่ละครึ่งเซลล์



รูปแสดงอิเล็กตรอนไหลในเซลล์จากขั้วแอโนด (-) ไปยังขั้วแคโทด (+)

เซลล์กัลวานิกจะมีสะพานไอออนต่อเชื่อมระหว่างสารละลายในครึ่งเซลล์ทั้งสองจะพบว่า ไอออนของสารในสะพานไอออนจะเคลื่อนที่ลงสู่สารละลายในเซลล์เพื่อดุลประจุ เช่น เคลื่อนไอออนลบในสะพานไอออนลงไปที่ดุลประจุบวกที่เกิดจากสังกะสี ไอออนในครึ่งเซลล์สังกะสี และเคลื่อนไอออนบวกในสะพานไอออนลงไปที่ดุลประจุที่เกิดจากไอออนลบในครึ่งเซลล์ทองแดง ทำให้เกิดกระแสอิเล็กตรอนไหลในวงจรจากขั้วสังกะสีไปยังขั้วทองแดง เซลล์กัลวานิกนี้จะทำงานได้

การประยุกต์โดยการนำผลไม้ที่มีอยู่ในชีวิตประจำวันมาสร้างเป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีหรือเซลล์กัลวานิกอย่างง่ายทำได้ไม่ยาก โดยอาศัยหลักการของการถ่านไอออนอิเล็กตรอนของโลหะและสารละลายอิเล็กโทรไลต์ในผลไม้ สามารถที่จะสร้างเซลล์ไฟฟ้าเคมีได้เช่นกัน ผลไม้ที่นำมาสร้างเซลล์ ซึ่ง หาได้ง่ายในท้องถิ่นและที่นักเรียนรับประทานในชีวิตประจำวัน เช่น กล้วย แดงโมมะนาว ฝรั่ง และอื่นๆ ส่วนโลหะที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้า เช่น ตะปู ลวดทองแดง ลวดพินดอกไม้ ใส้ดินสอ อื่นๆ ที่หาได้ง่าย สามารถนำมาทดลองสร้างเพื่อเปรียบเทียบผลการให้พลังงานไฟฟ้าได้เช่นกัน

นอกจากนี้การประยุกต์โดยการต่อเครื่องเซลล์ทองแดงหรือเหล็ก และเครื่องเซลล์อะลูมิเนียมเข้าด้วยกัน โดยเชื่อมต่อด้วยสะพานไอออนที่อยู่ในสารละลายแต่ละเครื่องเซลล์ให้ครบวงจรแล้วต่อโวลต์มิเตอร์กับวงจรภายนอกหรือพัลลัม จะพบว่าเข็มโวลต์มิเตอร์จะเบนจากขั้ว AI ไปยัง Cu เมื่อต่อกับพัลลัม มอเตอร์ก็จะหมุน และสักครู่หนึ่งพบว่าขั้วโลหะ AI สีกกร่อนไปส่วนขั้วโลหะ Cu มีคราบสีบรอนซ์ อะลูมิเนียมมาเกาะ

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิก และสร้างเซลล์กัลวานิกที่ให้พลังงานหรือกระแสไฟฟ้าอย่างง่าย

อุปกรณ์และสารเคมี

1. ผลไม้ในท้องถิ่น ชนิดต่างๆ
2. โลหะที่ใช้ทำขั้ว แผ่นสังกะสี Zn , Mg , ลวดทองแดง Cu , ตะปูเหล็ก , ใส้ดินสอ , ลวดพินดอกไม้
3. โวลต์มิเตอร์ มอเตอร์พัลลัม หรือหลอดไฟ พร้อมสายไฟ

วิธีการทดลอง

1. นำผลไม้ชนิดต่างๆ และขั้วโลหะต่างๆ มาต่อให้ครบวงจรเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลที่ได้
2. ทำการต่อลวดทองแดงกับโลหะชนิดอื่นเข้ากับมิเตอร์วัดความต่างศักย์ หรือหลอดไฟ โดยเปลี่ยนชนิดของโลหะที่ใช้ทำขั้วจนครบทั้งหมด แต่ใช้ผลไม้ชนิดเดียวกัน จากนั้นสังเกตผลที่เกิดขึ้น
3. ต่อดังกล่าวโดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดเดิมให้ครบวงจร โดยเสียบขั้วโลหะกับผลไม้ชนิดต่างๆ จนครบทั้งหมดจากนั้นสังเกตผลที่เกิดขึ้น และเปรียบเทียบแต่ละเหตุการณ์

ตัวอย่างตารางบันทึกผลการทดลอง

คู่โลหะและชนิดผลไม้ม	ผลการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้	ความสว่างของหลอดไฟ	ความต่างศักย์ (V)
.....			
.....			
.....			
.....			
.....			
.....			

การทดลองที่ 3 คู่ไหนให้แก๊ส

คำถามการทดลอง :

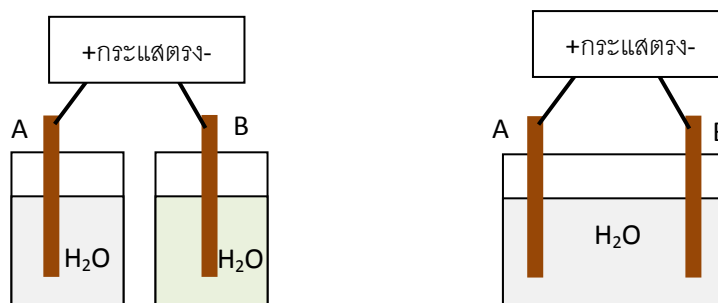
“วิธีการใดบ้างที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าได้”

“ถ้าเรานำน้ำกลั่นมาแยกด้วยกระแสไฟฟ้า โดยนำลูกโป่งมาต่อที่ปลายหลอดฉีดยา แล้วสังเกตว่าที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง และลูกโป่ง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างไร”

ดูแผนภาพประกอบการตอบคำถาม

ตอนที่ 1

คำถาม วิธีการใดบ้างที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าได้



ขั้น Predict :

ผลจากการทำนาย

.....

.....

.....

อธิบายผลจากการทำนาย

.....

.....

.....

ขั้น Observe : ให้นักเรียนดูวิดีโอหรือชุดสาริตแล้วสังเกตผลที่เกิดขึ้น

ผลจากการสังเกต

.....

.....

.....

อธิบายผลจากการสังเกต

.....

.....

.....

ขั้น Explain

.....

.....

.....

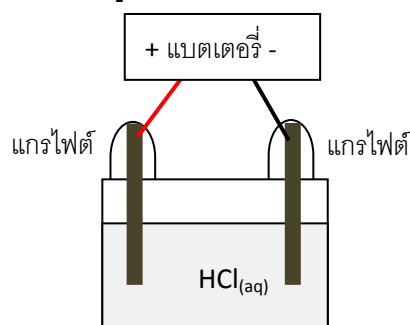
.....

.....

.....

ตอนที่ 2

คำถาม ถ้าเรานำน้ำกลั่นมาแยกด้วยกระแสไฟฟ้า โดยนำลูกโป่งมาต่อที่ปลายหลอดจืดยา แล้วสังเกตว่าขั้วไฟฟ้าทั้งสอง และลูกโป่ง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างไร



ขั้น Predict :

ผลจากการทำนาย

.....

.....

อธิบายผลจากการทำนาย

.....

.....

.....

ขั้น Observe : ให้นักเรียนดูวิดีโอหรือชุดสาธิตแล้วสังเกตผลที่เกิดขึ้น

ผลจากการสังเกต

.....

.....

.....

อธิบายผลจากการสังเกต

.....

.....

.....

ขั้น Explain

.....

.....

.....

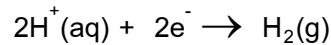
การทดลองที่ 5 การแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า**หลักการและทฤษฎี**

เซลล์อิเล็กโทรไลต์เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีอีกชนิดหนึ่งประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วจุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปในเซลล์จะมีปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นและได้สารใหม่ เรียกว่ากระบวนการนี้ว่า อิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis) หรือกระบวนการแยกสลายด้วยไฟฟ้า

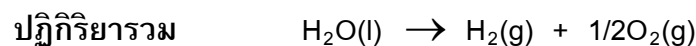
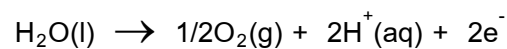
เมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสตรงลงในน้ำกลั่นที่หยดสารละลายกรดซัลฟิวริกลงไป 2-3 หยด พบว่ามีฟองแก๊สเกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง โดยขั้วที่ต่อกับขั้วลบของแบตเตอรี่ที่มีแก๊สไฮโดรเจน

ที่ติดไฟได้มีปริมาณมากกว่าแก๊สออกซิเจนที่ขั้วบวก ซึ่งช่วยให้ไฟติด ปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองเป็นดังนี้

แคโทด ขั้วที่ต่อกับขั้วลบของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง H^+ ในสารละลายมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าน้ำ จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันรับอิเล็กตรอนเกิดแก๊สไฮโดรเจน ดังสมการ



แอโนด ขั้วที่ต่อกับขั้วบวกของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง น้ำมีศักย์ไฟฟ้าต่ำเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายกว่า SO_4^{2-} ในสารละลายจึงให้อิเล็กตรอนเกิดแก๊สออกซิเจน ดังสมการ



วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาหลักการและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า

อุปกรณ์และสารเคมี

1. กระจกบอญีดยา ขนาด 10 ml จำนวน 2 อัน
2. บีกเกอร์ขนาด 100 cm³ จำนวน 1 อัน
3. ไม้ตีสอ หรือแท่งแกรไฟต์ 2 แท่ง
4. แบตเตอรี่ ขนาด 9 โวลต์ พร้อมสายไฟ
5. ลวดพันดอกไม้
6. ลวดทองแดง
7. จานรอง
8. สารละลาย Na₂SO₄ เข้มข้น 0.5 mol/dm³ จำนวน 1 ml
9. น้ำกลั่น จำนวน 50 cm³
10. Bromothymolblue indicator จำนวน 2 ml

วิธีการทดลอง

1. เตรียมอุปกรณ์ โดยนำลวดพันดอกไม้หรือโลหะที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้า สอดใส่ด้านปลายของกระจกบอญีดยาทั้งสอง จากนั้นใช้กาวทาปิดให้แน่นเพื่อไม่ให้อากาศเข้าออกได้ งดลวดประมาณ 90 องศา

2. หายกระจกบอญีดยาขึ้น เติมน้ำลงไปในจานรองและกระจกบอญีดยา แล้วคว่ำกระจกบอญีดยาลงในจานรอง จากนั้นค่อยๆหยด สารละลาย Na₂SO₄ เข้มข้น 0.5 mol/dm³ จำนวน 1

ml ลงไป และเติม Bromothymolblue indicator ประมาณ 2-3 หยด โดยให้ปลายด้านหนึ่งของหลอดพันดอกไม้ หรือไส้ดินสอจุ่มอยู่ในน้ำภายในกระบอกฉีดยาทั้งสอง อีกปลายด้านหนึ่งของหลอดพันดอกไม้ต่อเข้ากับแบตเตอรี่ ขนาด 9 โวลต์

ตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลอง	การเปลี่ยนแปลงที่สังเกตได้
1. ด้านที่ต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่	
2. ด้านที่ต่อเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่	

คำถามท้ายการทดลอง

- การแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้ามีหลักการอย่างไร

.....

ที่ขั้วไฟฟ้าแต่ละขั้ว เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

.....

- แก๊สที่เกิดขึ้นในการทดลองทั้งสองขั้วไฟฟ้า แตกต่างหรือเหมือนกันอย่างไร

.....

.....

- ให้นักเรียนเขียนสมการแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทั้งสองขั้วไฟฟ้า

.....

.....

- นักเรียนมีวิธีการทดสอบเพื่อแยกความแตกต่างของแก๊สที่เกิดขึ้นได้อย่างไร

.....

.....

- แก๊สที่เกิดขึ้นมีประโยชน์อย่างไรบ้าง

.....

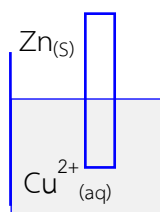
.....

ภาคผนวก ข-3 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ไฟฟ้าเคมี (30 ข้อ)

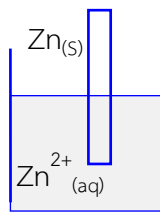
คำอธิบาย : จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียง 1 ตัวเลือก โดยวงกลม O ล้อมรอบตัวเลือกที่ถูกต้องที่สุด พร้อมทั้งให้เหตุผลประกอบ
กำหนดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มาตรฐานที่ 25 °C ดังนี้

	Reduction Half-Reaction	E° (V)	
Stronger oxidizing agent ↑	$F_2(g) + 2e^- \longrightarrow 2F(aq)$	2.87	Weaker reducing agent ↓
	$H_2O_2(aq) + 2H^+(aq) + 2e^- \longrightarrow 2H_2O(l)$	1.78	
	$MnO_4^-(aq) + 8H^+(aq) + 5e^- \longrightarrow Mn^{2+}(aq) + 4H_2O(l)$	1.51	
	$Cl_2(g) + 2e^- \longrightarrow 2Cl^-(aq)$	1.36	
	$Cr_2O_7^{2-}(aq) + 14H^+(aq) + 6e^- \longrightarrow 2Cr^{3+}(aq) + 7H_2O(l)$	1.33	
	$O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \longrightarrow 2H_2O(l)$	1.23	
	$Br_2(l) + 2e^- \longrightarrow 2Br^-(aq)$	1.09	
	$Ag^+(aq) + e^- \longrightarrow Ag(s)$	0.80	
	$Fe^{3+}(aq) + e^- \longrightarrow Fe^{2+}(aq)$	0.77	
	$O_2(g) + 2H^+(aq) + 2e^- \longrightarrow H_2O_2(aq)$	0.70	
	$I_2(s) + 2e^- \longrightarrow 2I^-(aq)$	0.54	
	$O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \longrightarrow 4OH^-(aq)$	0.40	
	$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$	0.34	
	$Sn^{4+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Sn^{2+}(aq)$	0.15	
	$2H^+(aq) + 2e^- \longrightarrow H_2(g)$	0	
	$Pb^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Pb(s)$	-0.13	
	$Ni^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Ni(s)$	-0.26	
Weaker oxidizing agent ↓	$Cd^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cd(s)$	-0.40	Stronger reducing agent ↓
	$Fe^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Fe(s)$	-0.45	
	$Zn^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Zn(s)$	-0.76	
	$2H_2O(l) + 2e^- \longrightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$	-0.83	
	$Al^{3+}(aq) + 3e^- \longrightarrow Al(s)$	-1.66	
	$Mg^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Mg(s)$	-2.37	
	$Na^+(aq) + e^- \longrightarrow Na(s)$	-2.71	
	$Li^+(aq) + e^- \longrightarrow Li(s)$	-3.04	

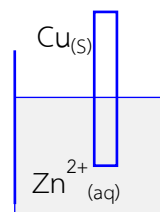
1. (ขั้นความเข้าใจ) จากสถานการณ์การทดลองต่อไปนี้



ชุดที่ 1



ชุดที่ 2



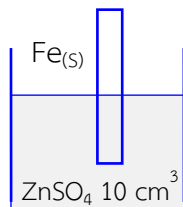
ชุดที่ 3

จากการทดลองข้างต้น ชุดการทดลองใดบ้างที่จะเกิดปฏิกิริยาหรือมีการเปลี่ยนแปลง

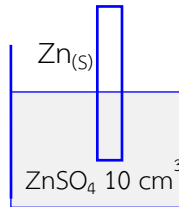
- ก. ชุดที่ 1 เท่านั้น ข. ชุดที่ 2 เท่านั้น
ค. ชุดที่ 3 เท่านั้น ง. ชุดที่ 1 และ 3

เหตุผลที่ตอบ เพราะ

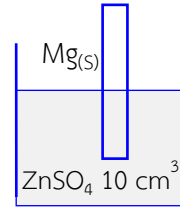
2. (ขั้นความเข้าใจ) จากการทดลองเพื่อศึกษาการเกิดการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างโลหะกับไอออนในสารละลาย โดยทดลองจุ่มโลหะชนิดต่างๆลงในสารละลาย ZnSO_4



ชุดที่ 1



ชุดที่ 2



ชุดที่ 3

การทดลองใดที่จะเกิดปฏิกิริยาหรือมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น

ก. ชุดที่ 1

ข. ชุดที่ 2

ค. ชุดที่ 3

เหตุผลที่ตอบ เพราะ

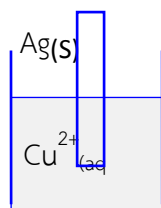
ก. โลหะที่จุ่มมีค่าศักย์ไฟฟ้าที่ต่ำกว่าไอออนโลหะในสารละลาย ทำให้โลหะกร่อน เนื่องจาก มีการให้อิเล็กตรอนแก่สารละลาย

ข. โลหะที่จุ่มมีค่าศักย์ไฟฟ้าที่สูงกว่าไอออนโลหะในสารละลาย ทำให้โลหะหนาขึ้น เนื่องจาก มีการรับอิเล็กตรอนจากสารละลาย

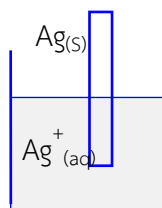
ค. โลหะที่จุ่มมีค่าศักย์ไฟฟ้าที่เท่ากับไอออนโลหะในสารละลาย ทำให้โลหะและสารละลายไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจาก มีการให้และรับอิเล็กตรอนระหว่างกัน

ง. โลหะที่จุ่มมีค่าศักย์ไฟฟ้าที่ต่ำกว่าไอออนโลหะในสารละลาย ทำให้โลหะหนาขึ้น เนื่องจาก มีการรับอิเล็กตรอนจากสารละลาย

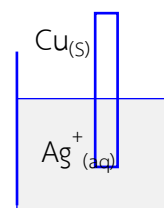
3. (ขั้นความเข้าใจ) จากสถานการณ์การทดลองต่อไปนี้



ชุดที่ 1



ชุดที่ 2



ชุดที่ 3

จากการทดลองข้างต้น ชุดการทดลองใดบ้างที่จะไม่เกิดปฏิกิริยาการถ่ายโอนอิเล็กตรอน

ก. ชุดที่ 2 เท่านั้น

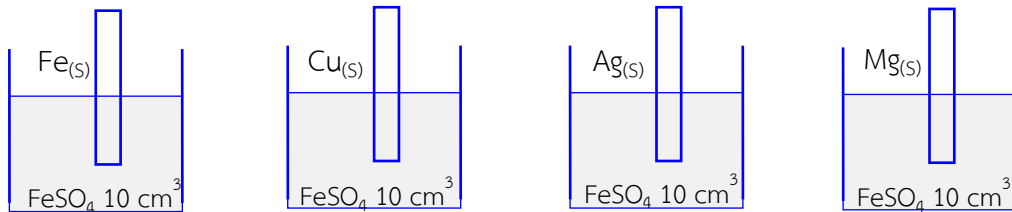
ข. ชุดที่ 1 และ 2

ค. ชุดที่ 1 และ 3

ง. ชุดที่ 2 และ 3

เหตุผลที่ตอบ เพราะ

4. (ขั้นนำไปใช้) จากสถานการณ์การทดลองต่อไปนี้



ชุดที่ 1

ชุดที่ 2

ชุดที่ 3

ชุดที่ 4

ถ้านักเรียนต้องการศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับชั้นโลหะควรเลือกการทดลองชุดใด

ก. ชุดที่ 1

ข. ชุดที่ 2

ค. ชุดที่ 3

ง. ชุดที่ 4

เหตุผลที่ตอบ เพราะ

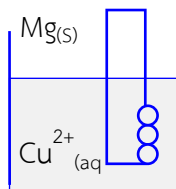
ก. โลหะนั้นหนาขึ้นกว่าเดิม เนื่องจากการสูญเสียอิเล็กตรอนได้ง่าย

ข. โลหะนั้นกร่อนและบางลง เนื่องจากโลหะรับอิเล็กตรอนกับไอออนในสารละลาย

ค. โลหะนั้นกร่อนและบางลง เนื่องจากโลหะให้อิเล็กตรอนกับไอออนในสารละลาย

ง. โลหะนั้นมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น เนื่องจากไอออนในสารละลายให้อิเล็กตรอน

5. (ขั้นความเข้าใจ) เมื่อจุ่มโลหะ Mg ลงในสารละลายที่มี Cu^{2+} ดังรูป



ไอออน Cu^{2+} ในสารละลายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

ก. เพิ่มขึ้น

ข. ลดลง

ค. เท่าเดิม

เหตุผลเพราะ

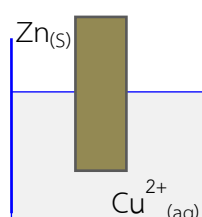
ก. Cu^{2+} เสียอิเล็กตรอนกลายเป็น Cu

ข. Cu ให้อิเล็กตรอนกลายเป็น Cu^{2+}

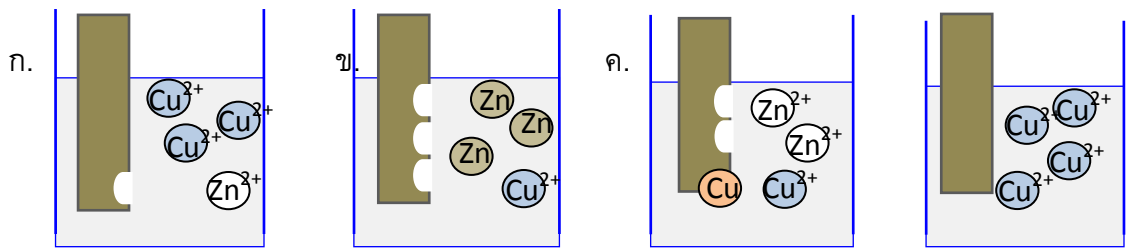
ค. Cu^{2+} รับอิเล็กตรอนกลายเป็น Cu

ง. Cu และ Cu^{2+} มีการให้และรับอิเล็กตรอนเท่ากัน

6. (ขั้นความเข้าใจ) จากการทดลองการถ่ายโอนอิเล็กตรอนของโลหะกับไอออนของโลหะในสารละลาย ดังรูป

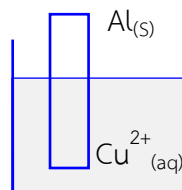


โลหะและไอออนในสารละลายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังแผนภาพในข้อใด



เหตุผลที่ตอบ เพราะ

7. (ขั้นการนำไปใช้) จากสถานการณ์การทดลอง ถ้านักเรียนทำการจุ่มโลหะ Al ลงในสารละลาย CuSO_4 และทิ้งไว้นาน 15 นาที ดังรูป



การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับสารละลาย CuSO_4 ดังกล่าว ควรเป็นไปตามข้อใด

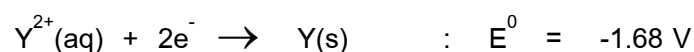
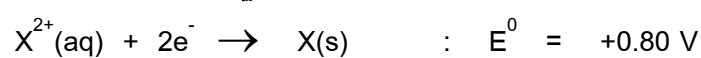
- ก. สารละลายมีสีจางลง
- ข. สารละลายมีสีฟ้าเข้มขึ้น
- ค. ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดเลย

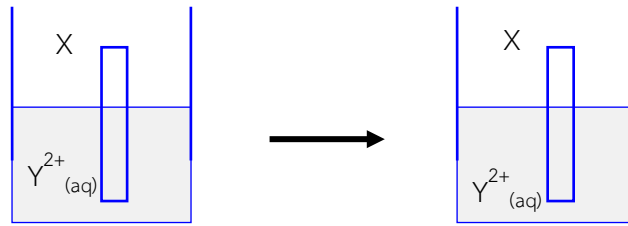
เหตุผลที่ตอบ เพราะ

- ก. ไอออน Cu^{2+} ในสารละลายกลายเป็นโลหะ Cu
- ข. Al ให้อิเล็กตรอน ทำให้มีไอออน Al^{3+} ในสารละลายเพิ่มขึ้น
- ค. ในสารละลายมีไอออน Cu^{2+} เพิ่มขึ้น
- ง. โลหะและไอออนในสารละลายไม่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน

8. (ขั้นการวิเคราะห์) จากการทดลองเมื่อจุ่มโลหะ X ลงในสารละลาย YSO_4 เมื่อตั้งทิ้งไว้นาน 15 นาที ดังรูป

กำหนดค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานครึ่งเซลล์รีดักชันให้ดังนี้





เริ่มต้น

ทิ้งไว้ 15 นาที

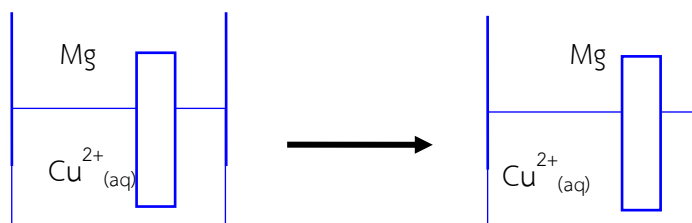
สิ้นสุด

ข้อใดกล่าวได้ถูกต้องเกี่ยวกับหลักการถ่ายโอนอิเล็กตรอนในปฏิกิริยารีดอกซ์ข้างต้น

- ก. โลหะ X เกิดการผุกร่อน ข. มีสาร Y มาเกาะที่โลหะ X
 ค. เกิดสาร Y ขึ้นและตกตะกอน ง. ไม่มีเกิดการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น

เหตุผลที่ตอบ เพราะ

9. (ขั้นการวิเคราะห์) จากศึกษาการถ่ายโอนอิเล็กตรอน ผู้ทำการทดลองต้องการศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับโลหะ โดยก่อนเริ่มการทดลองผู้ทำการทดลองได้ชั่งโลหะ ซึ่งน้ำหนักเริ่มต้นของ Mg ที่ชั่งได้คือ 2.40 กรัม เมื่อเวลาผ่าน 30 นาที ผู้ทดลองนำโลหะ Mg มาชั่งอีกครั้งเพื่อต้องการทราบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับโลหะนั้น ข้อใดกล่าวถูกต้องที่สุดเกี่ยวกับผลการทดลองที่ได้



เริ่มต้น

ทิ้งไว้ 30 นาที

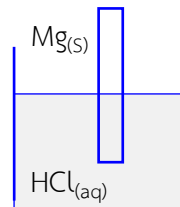
สิ้นสุด

- ก. น้ำหนัก Mg เท่าเดิม
 ข. น้ำหนัก Mg ที่ชั่งได้น้อยกว่า 2.40 กรัม
 ค. น้ำหนัก Mg ที่ชั่งได้มากกว่า 2.40 กรัม

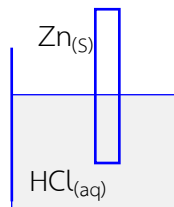
เหตุผลเพราะ

- ก. โลหะ Mg มีการรับอิเล็กตรอนจาก Cu^{2+}
 ข. Cu^{2+} มีการให้อิเล็กตรอนแก่ Mg
 ค. Mg เสียอิเล็กตรอนให้ Cu^{2+}
 ง. ไม่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนเกิดขึ้น

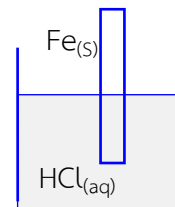
10. (ชั้นความเข้าใจ) จากสถานการณ์การทดลองจุ่มโลหะลงในสารละลายกรด HCl 1M ดังต่อไปนี้



ชุดที่ 1



ชุดที่ 2



ชุดที่ 3

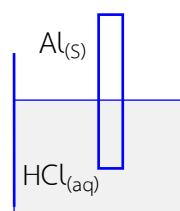
จากการทดลองข้างต้น ชุดการทดลองใดมีการเปลี่ยนแปลงที่ชั้นโลหะมากที่สุด

- ก. ชุดที่ 1 ข. ชุดที่ 2
ค. ชุดที่ 3 ง. ทุกชุดไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆเลย

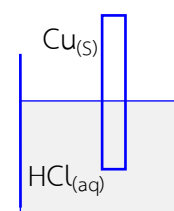
เหตุผลที่ตอบ เพราะ

- ก. โลหะแต่ละชนิดไม่สามารถให้อิเล็กตรอนกับไฮดรอกไซด์ละลายได้
ข. ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานครึ่งเซลล์รีดักชันของโลหะมีค่าสูงที่สุด และโลหะสามารถให้อิเล็กตรอนได้ดีที่สุด
ค. ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานครึ่งเซลล์รีดักชันของโลหะมีค่าต่ำที่สุด และโลหะสามารถให้อิเล็กตรอนได้ดีที่สุด
ง. ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานครึ่งเซลล์รีดักชันของโลหะมีค่าต่ำที่สุด และโลหะสามารถรับอิเล็กตรอนได้ดีที่สุด

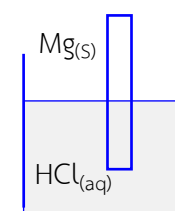
11. (ชั้นความเข้าใจ) ทำการทดลองจุ่มโลหะลงในสารละลายกรด HCl 1M ดังต่อไปนี้



ชุดที่ 1



ชุดที่ 2



ชุดที่ 3

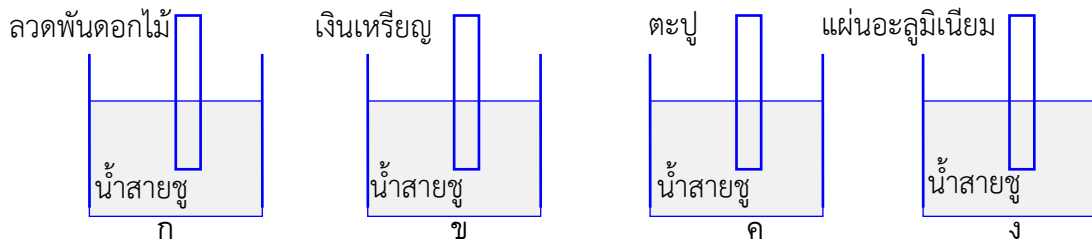
จากการทดลองข้างต้น โลหะในชุดการทดลองใดมีความว่องไวและเป็นตัวรีดิวซ์ที่ดีที่สุด

- ก. ชุดที่ 1 ข. ชุดที่ 2
ค. ชุดที่ 3 ง. ทุกชุดการทดลองเท่ากัน

เหตุผลที่ตอบ เพราะ

.....

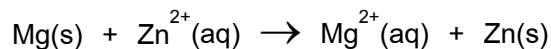
12. (ขั้นการนำไปใช้) ถ้านักเรียนต้องการศึกษาความว่องไวและความสามารถในการรีดิวซ์ของโลหะที่ดีที่สุด นักเรียนจะเลือกโลหะในการทดลองชุดใดเพื่อทำปฏิกิริยากับน้ำส้มสายชู



เหตุผลที่ตอบ เพราะ

- ก. โลหะนั้นมีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานครึ่งเซลล์รีดักชันต่ำที่สุด จึงให้อิเล็กตรอนได้ง่ายและเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่สุด
- ข. โลหะนั้นมีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานครึ่งเซลล์รีดักชันสูงที่สุด จึงให้อิเล็กตรอนได้ง่ายและเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่สุด
- ค. โลหะนั้นมีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานครึ่งเซลล์รีดักชันสูงที่สุด จึงรับอิเล็กตรอนได้ง่ายและเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่สุด
- ง. โลหะนั้นมีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานครึ่งเซลล์รีดักชันต่ำที่สุด จึงรับอิเล็กตรอนได้ง่ายและเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่สุด

13. (ความเข้าใจ) จากสมการของเซลล์ต่อไปนี้



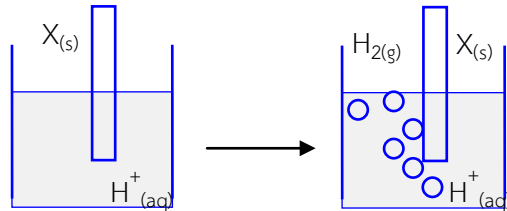
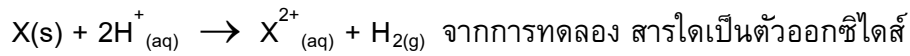
ถ้าปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นเองได้ ข้อใดกล่าวได้ถูกต้อง

- ก. Mg เป็นตัวรีดิวซ์ ส่วน Zn เป็นตัวออกซิไดส์
- ข. Zn เป็นตัวรีดิวซ์ ส่วน Mg^{2+} เป็นตัวออกซิไดส์
- ค. Mg^{2+} เป็นตัวรีดิวซ์ ส่วน Zn^{2+} เป็นตัวออกซิไดส์
- ง. Mg เป็นตัวรีดิวซ์ ส่วน Zn^{2+} เป็นตัวออกซิไดส์

เหตุผลที่ตอบ เพราะ

- ก. ตัวรีดิวซ์ เป็นสารที่มีการให้อิเล็กตรอน เลขออกซิเดชันลดลง ส่วนตัวออกซิไดส์ เป็นสารที่มีการรับอิเล็กตรอน เลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น
- ข. ตัวรีดิวซ์ เป็นสารที่มีการรับอิเล็กตรอน เลขออกซิเดชันลดลง ส่วนตัวออกซิไดส์ เป็นสารที่มีการให้อิเล็กตรอน เลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น
- ค. ตัวรีดิวซ์ เป็นสารที่มีการให้อิเล็กตรอน เลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ส่วนตัวออกซิไดส์ เป็นสารที่มีการรับอิเล็กตรอน เลขออกซิเดชันลดลง
- ง. ตัวรีดิวซ์ เป็นสารที่มีการรับอิเล็กตรอน เลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ส่วนตัวออกซิไดส์ เป็นสารที่มีการให้อิเล็กตรอน เลขออกซิเดชันลดลง

14. (การวิเคราะห์) จากรูปที่กำหนดให้ เกิดปฏิกิริยาดังสมการ



ก. X(s)

ข. $\text{H}^+_{(\text{aq})}$

ค. $\text{X}^{2+}_{(\text{aq})}$

เริ่มต้น

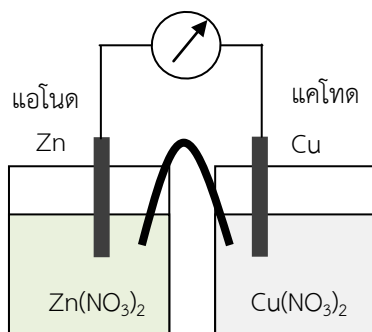
ผ่านไป 5 นาที

เหตุผลที่ตอบ เพราะ

- ก. ตัวออกซิไดส์ เป็นสารที่มีการรับอิเล็กตรอน เลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น
- ข. ตัวออกซิไดส์ เป็นสารที่มีการให้อิเล็กตรอน เลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น
- ค. ตัวออกซิไดส์ เป็นสารที่มีการรับอิเล็กตรอน เลขออกซิเดชันลดลง
- ง. ตัวออกซิไดส์ เป็นสารที่มีการให้อิเล็กตรอน เลขออกซิเดชันลดลง

15. (การวิเคราะห์) ในการทดลองเกี่ยวกับการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างเซลล์

$\text{Zn(s)} | \text{Zn}^{2+}_{(\text{aq})}$ กับ $\text{Cu(s)} | \text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$ ดังแผนภาพไอออนบวกในสารละลายแต่ละขั้วไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร



ก. Cu^{2+} เพิ่มขึ้น ส่วน Zn^{2+} ลดลง

ข. Cu^{2+} ลดลง ส่วน Zn^{2+} เพิ่มขึ้น

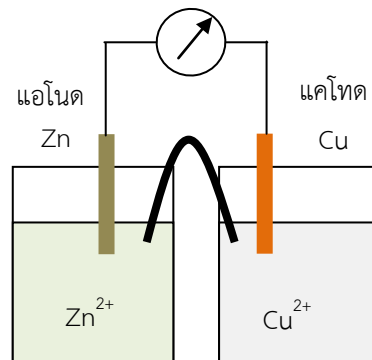
ค. ทั้ง Cu^{2+} และ Zn^{2+} เพิ่มขึ้น

ง. ทั้ง Cu^{2+} และ Zn^{2+} เท่าเดิม

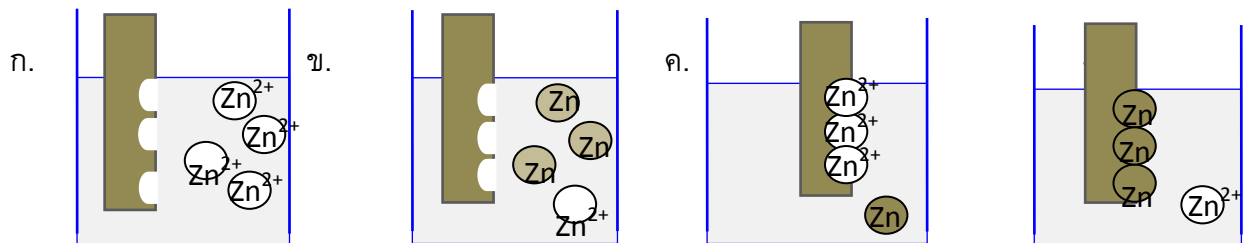
เหตุผลที่ตอบ เพราะ

- ก. เมื่อถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างครึ่งเซลล์จะเกิดความสมดุลระหว่างไอออน Cu^{2+} และ Zn^{2+}
- ข. Zn ที่แอโนด ให้อิเล็กตรอนเกิดเป็น Zn^{2+} และ Cu ที่แคโทด รับอิเล็กตรอนเกิดเป็น Cu^{2+}
- ค. Zn^{2+} ที่แอโนด รับอิเล็กตรอนเกิดเป็น Zn และ Cu ที่แคโทด ให้อิเล็กตรอนเกิดเป็น Cu^{2+}
- ง. Zn ที่แอโนด ให้อิเล็กตรอนเกิดเป็น Zn^{2+} และ Cu^{2+} ที่แคโทด รับอิเล็กตรอนเกิดเป็น Cu

16. (การวิเคราะห์) จากเซลล์กัลวานิกต่อไปนี้ใช้ตอบคำถามข้อที่ 29-30



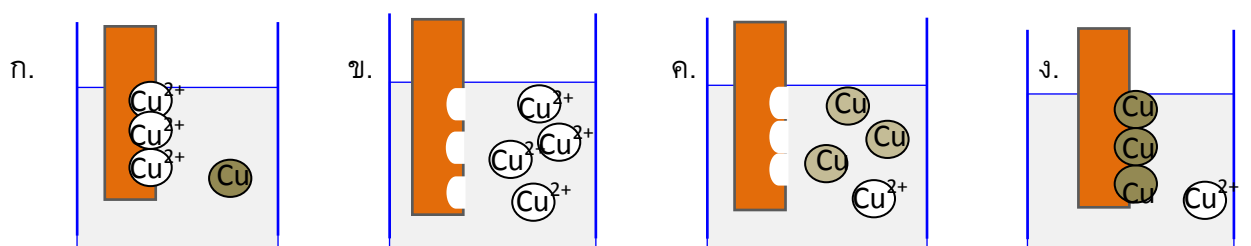
ที่ขั้วแอโนดและไอออนในสารละลายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังแผนภาพในข้อใด



เหตุผลที่ตอบ เพราะ

.....

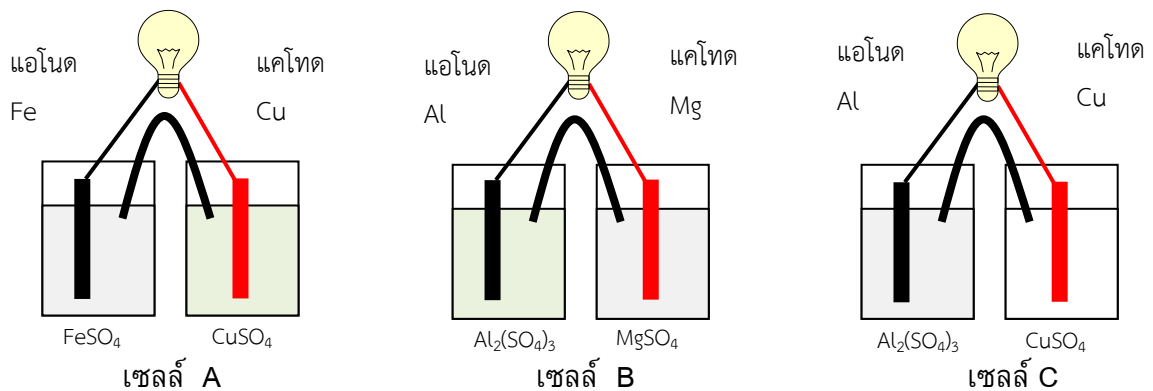
17. (ขั้นการวิเคราะห์) การเปลี่ยนแปลงของไอออนในสารละลายที่ขั้วแคโทดจะมีการเปลี่ยนแปลงดังข้อใด



เหตุผลที่ตอบ เพราะ

.....

18. (การวิเคราะห์) กำหนดเซลล์กัลวานิกให้ดังแผนภาพต่อไปนี้



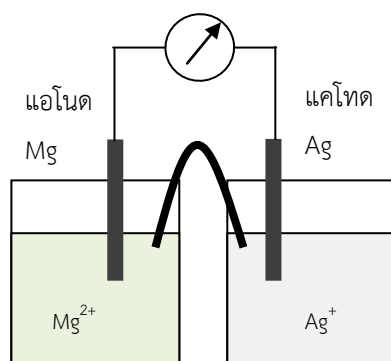
ข้อใดมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนจากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทด

- ก. เซลล์ A เท่านั้น
- ข. เซลล์ A และ B
- ค. เซลล์ B และ C
- ง. เซลล์ A และ C

เหตุผลที่ตอบ เพราะ

- ก. โลหะที่ขั้วไฟฟ้าแอโนดมีค่าศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าโลหะที่ขั้วไฟฟ้าแคโทด
- ข. โลหะที่ขั้วไฟฟ้าแอโนดมีค่าศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าโลหะที่ขั้วไฟฟ้าแคโทด
- ค. โลหะที่ขั้วไฟฟ้าแอโนดมีค่าศักย์ไฟฟ้าเท่ากับโลหะที่ขั้วไฟฟ้าแคโทด

19. (การวิเคราะห์) จากการทดลองเซลล์กัลวานิก ผู้ทำการทดลองต้องการศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่ขั้วไฟฟ้าโดยก่อนเริ่มการทดลองผู้ทำการทดลองได้ชั่งโลหะ ซึ่งน้ำหนักเริ่มต้นของ Mg และ Ag ที่ชั่งได้คือ 2.00 กรัม เท่ากัน เมื่อเวลาผ่าน 15 นาที ผู้ทดลองนำโลหะมาชั่งอีกครั้ง ข้อใดกล่าวถูกต้องที่สุดเกี่ยวกับผลการทดลองที่ขั้วแคโทด

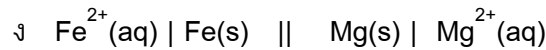
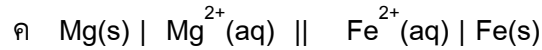
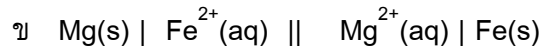
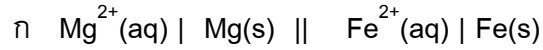


- ก. น้ำหนัก Ag เท่าเดิม
- ข. น้ำหนัก Ag ลดลง
- ค. น้ำหนัก Ag เพิ่มขึ้น

เหตุผลที่ตอบเพราะ

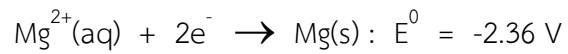
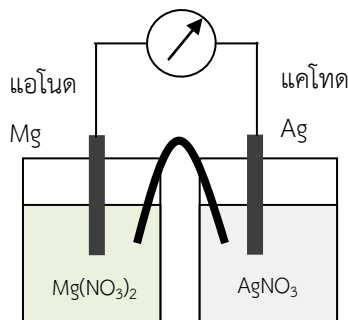
- ก. โลหะ Ag มีการรับอิเล็กตรอนจาก Mg
- ข. Ag^+ มีการให้อิเล็กตรอนแก่ Ag ทำให้หนักขึ้น
- ค. Ag^+ มีการรับอิเล็กตรอนจาก Mg เกิดเป็นโลหะ Ag
- ง. ไม่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างแอโนดไปยังแคโทด

20. (ขั้นความเข้าใจ) จาก $\text{Mg(s)} + \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Mg}^{2+}(\text{aq}) + \text{Fe(s)}$ เขียนแผนภาพเซลล์กัลวานิกได้อย่างไร



เหตุผลที่ตอบ เพราะ

21. (การวิเคราะห์) จากเซลล์กัลวานิกดังแผนภาพค่าศักย์ไฟฟ้าที่อ่านได้มีค่าเท่าใด



ก. -1.56 V

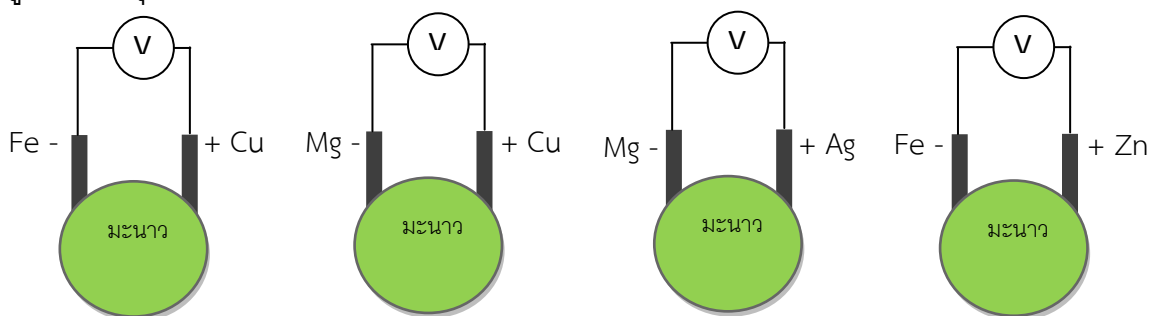
ข. +1.56 V

ค. -3.16 V

ง. +3.16 V

เหตุผลที่ตอบ เพราะ

22. (ความเข้าใจ) เซลล์ไฟฟ้าจากผลไม้ต่อไปนี้ เซลล์ใดที่ทำให้เข็มโวลต์มิเตอร์เบนจากขีดศูนย์มากที่สุด



ก.

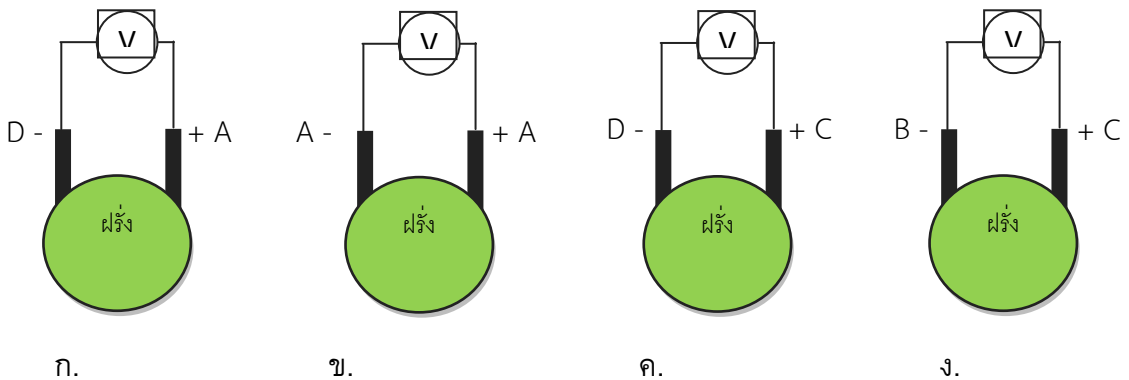
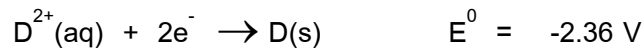
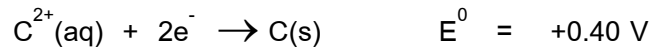
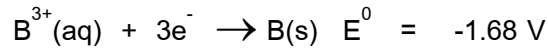
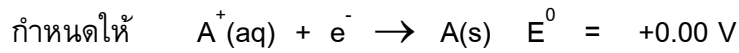
ข.

ค.

ง.

เหตุผลที่ตอบ เพราะ

23. (การวิเคราะห์) เซลล์ไฟฟ้าจากผลไม้ต่อไปนี้ เซลล์ใดที่ให้ค่าศักย์มากที่สุด



ก.

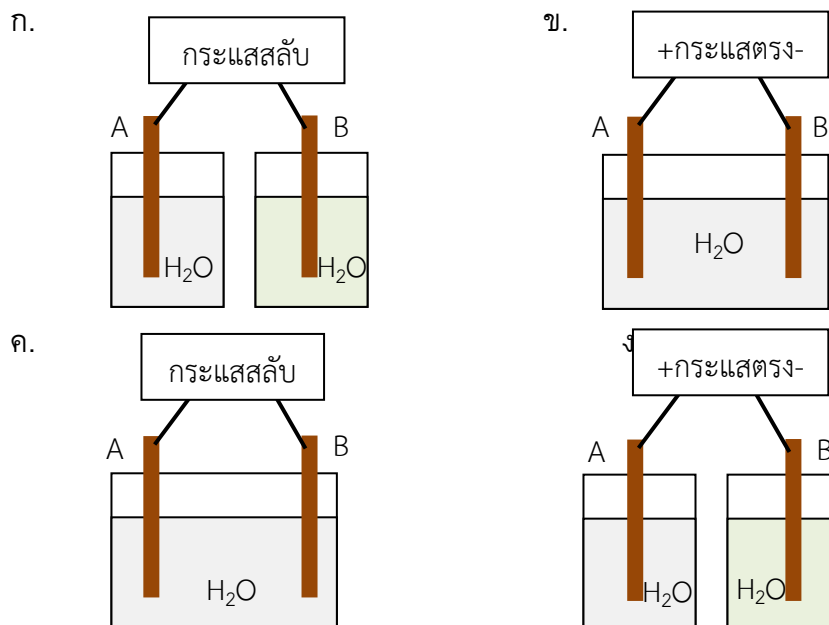
ข.

ค.

ง.

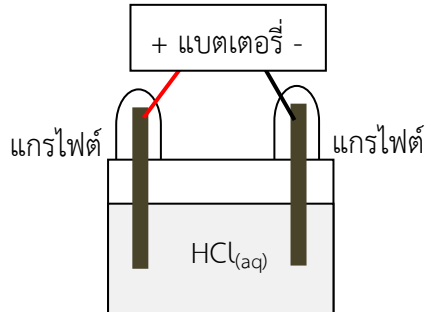
เหตุผลที่ตอบ เพราะ

24. (ความเข้าใจ) ถ้าต้องการแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้า จะต้องจัดชุดการทดลองตามข้อใดจึงจะเหมาะสมที่สุด เมื่อ A และ B เป็นขั้วไฟฟ้าเฉื่อย



เหตุผลที่ตอบ เพราะ

25. (การนำไปใช้) ถ้านำลูกโป่งมาต่อไว้ที่ปลายหลอดทั้งสองข้าง การเปลี่ยนแปลงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองจากการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าควรเป็นข้อใด

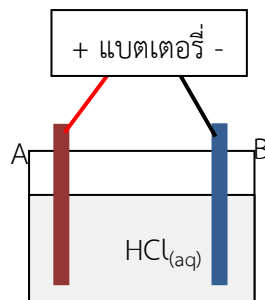


- ก. ขั้วบวกโป่งพองขึ้น ขั้วลบไม่เปลี่ยนแปลง
- ข. ขั้วลบโป่งพองขึ้น ขั้วบวกไม่เปลี่ยนแปลง
- ค. ขั้วบวก และขั้วลบ โป่งพองขึ้น

เหตุผลที่ตอบ เพราะ

- ก. เกิดแก๊ส ออกซิเจนขึ้นที่บวก และเกิดแก๊สไฮโดรเจนที่ขั้วลบ
- ข. เกิดแก๊ส ออกซิเจนขึ้นที่ลบ และเกิดแก๊สไฮโดรเจนที่ขั้วบวก
- ค. เกิดแก๊สออกซิเจนขึ้นที่ขั้วบวกเท่านั้น หรือเกิดแก๊สไฮโดรเจนขึ้นที่ขั้วลบเท่านั้น
- ง. ทั้งสองขั้ว เกิดแก๊สไฮโดรเจนขึ้น

26. (การนำไปใช้) จากรูปของการแยกน้ำด้วยกระแสไฟฟ้าต่อไปนี้

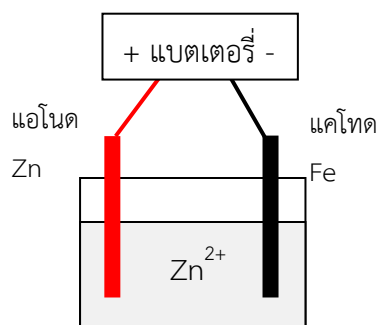


ถ้าเราต้องการเก็บแก๊ส H_2 ไปใช้ประโยชน์ เราควรต่อท่อเก็บแก๊สเข้าที่ขั้วไฟฟ้าใด

- ก. ขั้ว A เท่านั้น
- ข. ขั้ว B เท่านั้น
- ค. ได้ทั้งขั้ว A และ B
- ง. ขั้วใดก็ได้

เหตุผลที่ตอบ เพราะ

27. (ความเข้าใจ) จากการชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้าดังภาพ สารละลายอิเล็กโทรไลต์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

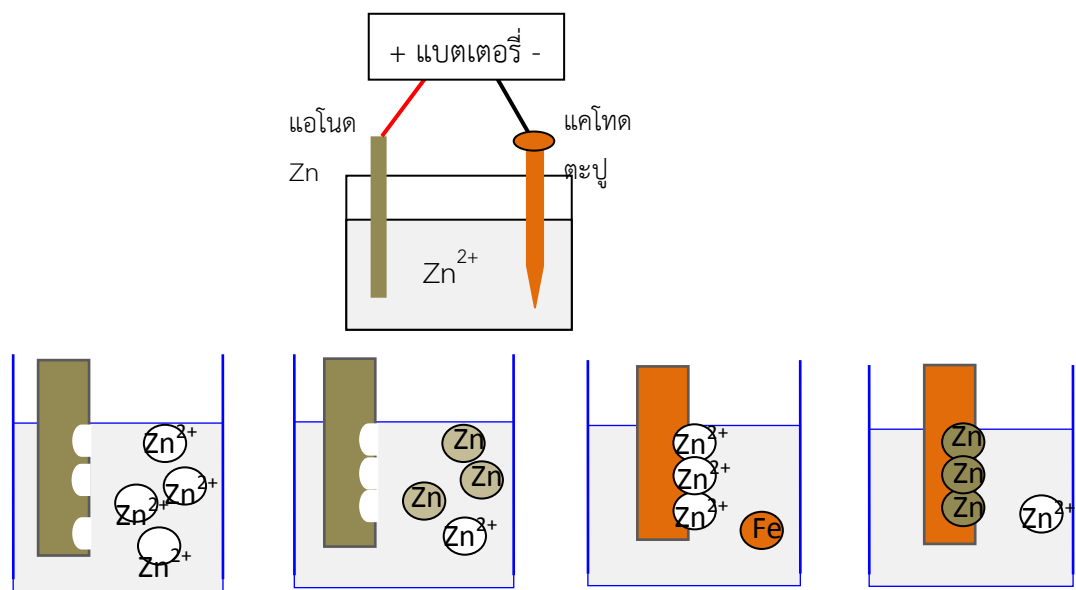


- ก. ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น
- ข. โลหะที่ขั้วแคโทดบางลงกว่าเดิม
- ค. โลหะที่ขั้วแคโทดหนาขึ้นกว่าเดิม

เหตุผลที่ตอบ เพราะ

- ก. Fe ให้อิเล็กตรอนแก่สารละลาย ทำให้กร่อน บางลง
- ข. Fe รับอิเล็กตรอนจากสารละลาย และให้อิเล็กตรอนแก่ Zn
- ค. Zn^{2+} รับอิเล็กตรอนเกิดเป็น Zn มาเกาะทำให้หนาขึ้น
- ง. Zn^{2+} ให้อิเล็กตรอนแก่โลหะ Fe ทำให้หนาขึ้น

28. (การวิเคราะห์) จากแผนภาพเป็นการชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้าและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น



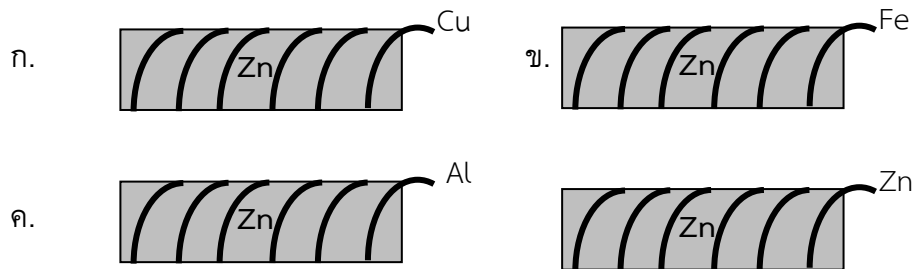
ภาพ A ที่ขั้วแอโนด ภาพ B ที่ขั้วแอโนด ภาพ C ที่ขั้วแคโทด ภาพ D ที่ขั้วแคโทด
ที่ขั้วไฟฟ้าและไอออนในสารละลายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังแผนภาพในข้อใด

- ก. ภาพ A กับ C ข. ภาพ B กับ D
- ค. ภาพ B กับ C ง. ภาพ A กับ D

เหตุผลที่ตอบ เพราะ

.....

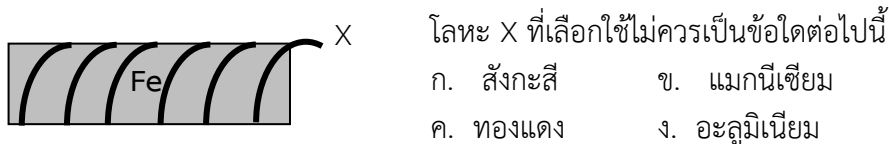
29. (การนำไปใช้) วิธีการในข้อใดที่เราควรเลือกใช้เพื่อป้องกันไม่ให้โลหะสังกะสีเกิดการผุกร่อน



เหตุผลที่ตอบ เพราะ

- ก. โลหะที่ใช้ป้องกันโดยการพันรอบต้องมีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานต่ำกว่าโลหะที่เราจะป้องกัน
- ข. โลหะที่ใช้ป้องกันโดยการพันรอบต้องมีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานสูงกว่าโลหะที่เราจะป้องกัน
- ค. ถ้าใช้โลหะที่ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานต่ำกว่าหรือสูงกว่าก็ได้พันรอบ จะให้และรับอิเล็กตรอนได้ดีกว่า Zn
- ง. โลหะที่ใช้ป้องกันโดยการพันรอบต้องมีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานเท่ากับโลหะที่เราจะป้องกัน

30. (การวิเคราะห์) วิศวกรใช้ท่อส่งน้ำใต้ดินที่ทำด้วยเหล็กถ้าเขาต้องการให้ท่อสามารถใช้งานได้นานๆโดยเกิดการผุกร่อนหรือสึกกร่อนน้อยที่สุด ดังรูป



เหตุผลที่ตอบ เพราะ

- ก. มีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานต่ำกว่า จะให้อิเล็กตรอนได้ดีกว่า
- ข. มีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานสูงกว่า จะให้อิเล็กตรอนได้ดีกว่า
- ค. มีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานต่ำกว่า จะรับอิเล็กตรอนได้ดีกว่า
- ง. มีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานสูงกว่า จะรับอิเล็กตรอนได้ดีกว่า

ภาคผนวก จ
ผลงานที่ได้รับการเผยแพร่

บทความที่เผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

ผลงานวิจัยในครั้งนี้ได้รับการเผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ จำนวน 3 เรื่อง ดังนี้

1. Supasorn, S. (2015). Grade 12 students' conceptual understanding and mental models of galvanic cells before and after learning by using small-scale experiments in conjunction with a model kit. Chemistry Education Research and Practice, 16(2), 393-407. (DOI: 10.1039/C4RP00247D).
2. Supasorn, S.* & Promarak, V. (2015). Implementation of 5E inquiry incorporated with analogy learning approach to enhance conceptual understanding of chemical reaction rate for grade 11 students. Chemistry Education Research and Practice, 16(1), 121-132. (DOI: 10.1039/C4RP00190G).
3. Saksri Supasorn*, Phetvilay Khattiyavong, Purim Jarujamrus, Vinich Promarak. (2014). Small-Scale Inquiry-Based Experiments to Enhance High School Students' Molecular Conceptual Understanding of electrochemistry. International Proceedings of Economics Development and Research (IPEDR) : 2014 4th International Conference on Education, Research and Innovation– ICERI 2014, 81: 85-91. Editor: Feng Tao. Held at Novotel Pratunum Bangkok, Thailand, 25-26 Setemver 2014.

Chemistry Education Research and Practice



PAPER

View Article Online
View Journal | View Issue



Cite this: *Chem. Educ. Res. Pract.*,
2015, 16, 393

Grade 12 students' conceptual understanding and mental models of galvanic cells before and after learning by using small-scale experiments in conjunction with a model kit

Saksri Supasorn

This study aimed to develop the small-scale experiments involving electrochemistry and the galvanic cell model kit featuring the sub-microscopic level. The small-scale experiments in conjunction with the model kit were implemented based on the 5E inquiry learning approach to enhance students' conceptual understanding of electrochemistry. The research tools consisted of (1) four small-scale experiments involving electrochemistry, which were oxidation and reduction reactions, galvanic cells, cathodic protection of iron nails, and connecting batteries in series, and (2) the galvanic cell model kit with the ability to generate various galvanic cells. The data collecting tools included (1) a conceptual test of electrochemistry and (2) the mental model drawing of a galvanic cell. Thirty-four grade 12 students participated in the series of four 5E learning activities for a total of 10 hours. Paired samples *T*-test analysis revealed that the mean scores of the post-conceptual test (mean 36.63, SD 7.69) was statistically higher than that of the pre-conceptual test (mean 21.51, SD 6.83) at the significance level of 0.05. In addition, the mean scores of the post-mental models in both the macroscopic (mean 3.56, SD 1.30) and sub-microscopic features (mean 5.98, SD 2.93) were statistically higher than those of the pre-mental models (mean 1.85, SD 1.11 and mean 2.20, SD 2.45) at the significance level of 0.05. Prior to intervention, most students were in the categories of less correct conceptions, Partial Understanding with Specific Misunderstanding (PMU) to No Understanding (NU). However, after the intervention, they moved to the categories of more correct conceptions, Partial Understanding (PU) to Sound Understanding (SU). This indicated that this intervention can enhance students' conceptual understanding of electrochemistry and mental models of galvanic cells.

Received 29th November 2014,
Accepted 13th March 2015

DOI: 10.1039/c4rp00247d

www.rsc.org/cerp

Introduction and background

Almost all high school students are required to study electrochemistry in both lecture and laboratory settings. Many students revealed that it is one of the difficult chemistry topics since it involves intangible concepts that cannot be accessed with direct perception. In addition, some students may hold alternative conceptions – conceptions that are not consistent with the consensus of the scientific community which may be partially right but incomplete, or just simply wrong (Mulford and Robinson, 2002). Students' misunderstandings, alternative conceptions, or misconceptions, some of which cannot be measured by traditional instruments (Stears and Gopal, 2010), influence their future learning. Therefore, instructors should encourage learning by the use of activities that promote students' conceptual change (Demirbas and Ertugrul, 2014). Requiring students

to draw and explain molecular representations of some electrochemistry experiments, such as reactions in galvanic cells, may reveal their understandings and identify some of their alternative conceptions.

Alternative conceptions in electrochemistry

Electrochemistry, including its involved concepts, is a complex subject that has considerable importance in many applications (Miller, 2014). It is one of the topics in which students tend to hold alternative conceptions since it is difficult to visualize and relate what occurs at the sub-microscopic level (also called particulate nature or molecular level) to the macroscopic (experiment observation) and symbolic levels (Çalik *et al.*, 2010; Taber, 2013). It involves both qualitative and quantitative aspects which concern the transfer of electrons between different chemical species. The amount of transfer depends on the concentration of the presented species (Miller, 2014).

There are many research studies that investigated students' alternative conceptions involving electrochemistry and utilized

Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani,
34190 Thailand. E-mail: saksri.supasorn@gmail.com

various intervention tools to improve students' conceptions. It is reported that not only high school students (Garnett and Treagust, 1992; Niaz, 2002; Niaz and Chacón, 2003; Acar and Tarhan, 2007; Osman and Tien Lee, 2014) and college (university) students (Sanger and Greenbowe, 1997a; Hawkins and Phelps, 2013), but also pre-service and in-service science and chemistry teachers (Ahtee *et al.*, 2002; Ökaya, 2002; Aydeniz and Krbulut, 2011; Ekiz *et al.*, 2011; Yakmaci-Guzel, 2013) tended to have alternative conceptions and misconceptions in electrochemistry and its related topics. These studies found that both high school and college students had learning difficulties and misconceptions about galvanic, electrolytic, and concentration cells. The identification of misconceptions is important to help learners understand these topics meaningfully (Sanger and Greenbowe, 1997a).

Sanger and Greenbowe (1997b) summarized common alternative conceptions or misconceptions in electrochemistry. Examples of these common misconceptions are that electrons move through a solution by being attracted from one ion to another, move through a solution by attaching themselves to ions at the cathode and are carried by that ion to the anode, enter a solution from the cathode, travel through a solution and the salt bridge, and emerge at the anode to complete the circuit. Other examples include the idea that electrons can flow through aqueous solutions without assistance from the ions, anions in the salt bridge, and the electrolyte transfer electrons from the cathode to the anode, and cations in the salt bridge and the electrolyte accept electrons and transfer them from the cathode to the anode, only anions constitute a flow of current in the electrolyte and the salt bridge, and the anode is positive because it has lost electrons, while the cathode is negative because it has gained electrons.

Karsli and Çalik (2012) reviewed many articles and summarized major alternative conceptions encountered in electrochemistry as follows: (1) the cathode is a negative electrode, an oxidation half-cell that loses electrons, and decreases mass over time, (2) the anode is a positive electrode, a reduction half-cell that gains electrons, and increases mass over time, (3) the salt bridge allows electrons to travel from the anode to the cathode, supplies the ions which are necessary to move from the cathode to the anode, allows the cations to migrate toward the anode electrode, whereas the anions migrate towards the cathode electrode, and (4) a lack of reporting the cell reaction correctly.

Cullen and Pentecost (2011) reported evidence that chemistry textbooks and instructors are responsible for many students' alternative conceptions involving electrochemistry. Instructors tend to use everyday language that can lead to misinterpretation by their students. They then designed a paper model to teach about galvanic (voltaic) cells to address students' alternative conceptions by adaptation of an inexpensive, portable, and flexible teaching model by Huddle *et al.* (2000). This paper model was used in conjunction with electrochemistry laboratory activities and allows students to visualize that no electrons pass into the solutions and how mass of electrodes is gained and lost. The researchers also commented that as students demonstrated and discussed the model within their groups, they were constructing their own understanding of galvanic cells.

Three levels of representations in chemistry

Previous studies reported that many alternative conceptions in some intangible concepts arose from the fact that students have difficulty in understanding the relationship among representations in chemistry (Çalik *et al.*, 2010; Cullen and Pentecost, 2011). Representations in chemistry, also called chemical representations, refer to various types of formula, structures, and symbols used to represent chemical processes and conceptual entities, such as molecules and atoms. They can be viewed as metaphors, models, and theoretical constructs of chemists' interpretations of nature and reality (Hoffmann and Laszlo, 1991). Previous research highlighted three levels of representations in chemistry (Johnstone, 1993; Chandrasegaran *et al.*, 2007; Taber, 2013):

(1) Macroscopic representation. This describes bulk properties of tangible and visible phenomena in the everyday experiences of learners when observing changes in the properties of matter, such as colour changes, formation of gases, and precipitates in chemical reactions.

(2) Sub-microscopic representation. This is also called molecular representation, and provides explanations at the particulate level in which matter is composed of atoms, molecules and ions.

(3) Symbolic representation. This involves the use of chemical symbols, formula, and equations, as well as molecular structure drawings, diagrams, and models to symbolize matter. It can provide information for both macroscopic (relative amounts or moles of involved substances) and molecular levels (numbers of formula unit of involved substances).

Çalik *et al.* (2010) considered studies of students' alternative conceptions in such topics as electrochemistry, acids and bases, chemical equilibrium, and rates of reactions. They concluded that some alternative conceptions arose because many students find it difficult to visualize chemical phenomena and/or processes at the sub-microscopic level and to link the macroscopic, sub-microscopic, and symbolic levels to each other. They also explored Turkish grade 11 students' conceptions of chemical reaction rates. Their intervention consisted of nine classes of 45 minutes using three guide sheets and 11 computer animations. The students were first given a student guide sheet containing scientific questions to promote curiosity and draw out their prior knowledge. They then were asked to interact with the animations followed by group discussions. Next, they were introduced to the concepts and processes of rates of reactions to enhance their conceptual understanding. Finally, they attempted to extend their understandings of the concept which were assessed by means of questions at the bottom of each guide sheet. The researchers reported that this teaching intervention could help students correct their alternative conceptions but may not completely eliminate them. Therefore, instructors should utilize more than one intervention model to overcome students' alternative conceptions.

Roles of mental models in learning chemistry

Students' conceptual understanding, especially intangible concepts in phenomena/processes/systems, involves the ability to relate to the three representations in chemistry. The term

'mental model' was introduced to describe how students construct a model of understanding of a specific process by the incorporation of new received information into their existing knowledge (Johnstone, 1993). Mental models are representations of objects, ideas, thinking, or processes which individuals intrinsically construct during cognitive functioning (Ibrahim and Rebello, 2013; Liu *et al.*, 2014). People use these models to reason, describe, explain, and/or predict scientific phenomena, processes, or systems. Mental models can be generated in various formats to communicate ideas to other people or to solve problems (Ibrahim and Rebello, 2013; Liu *et al.*, 2014), and can represent either physical entities *via* verbal descriptions, diagrams, simulations, and concrete models, or conceptual understanding, such as models of ideas, thinking, or intangible concepts (Coll and Treagust, 2003; Chandrasegaran *et al.*, 2011). If their mental models fail to assimilate new experiences, students may modify their existing models or generate alternative models (Glynn and Duit, 1995). Mental models are considered as an important part of learners' conceptual frameworks (Glynn and Duit, 1995) and they play a potential role in learning chemistry at the molecular level because much of the chemistry involved at this level cannot be accessed by direct perception (Briggs and Bodner, 2005). Full understanding of chemical processes involves the ability to connect events at a macroscopic level with events at the molecular level (Johnstone, 1993). Therefore, students need to transform these invisible events or phenomena into equivalent mental or conceptual models or representations, which is difficult for many students (Doyumus *et al.*, 2010; Dixon and Johnson, 2011; Duis, 2011).

Based on the information above, the term 'mental models' in this study context are the models of understanding (in form of drawings) that students use to relate and describe their understanding of how a galvanic cell functions at macroscopic, symbolic, and sub-microscopic levels.

5E inquiry learning activities

Inquiry learning activities were considered to be effective in teaching chemistry and have been highly advocated in the last few decades (Sanger, 2009). These types of activities possess more advantages over traditional approaches. These advantages include the encouragement of students to practice using learning resources and working in groups to enhance their conceptual understandings, and the opportunities for teachers to play roles as facilitators who motivate and challenge students to carry out the activities through a science inquiry process (Deters, 2005). The 5E learning cycle has been proven to be one of the most effective inquiry learning in chemistry (Bybee *et al.*, 2006). It involves students through the following steps: (1) students are engaged in inquiry questions, (2) students explore answers to the questions by planning, designing, and carrying out their experiment, and recording the experiment data, (3) students make explanations from the experimental data to answer the questions, (4) students elaborate, extend, or apply their findings in a new context, and (5) students evaluate their experimental processes and results in a variety of ways. This learning cycle is effective to support students to notice and

correct their alternative conceptions (Balci *et al.*, 2006; Bybee *et al.*, 2006).

The literature review above suggests that the implementation of corresponding experiments through the 5E inquiry learning approach is effective to enhance students' conceptual understanding of the corresponding concepts. The use of inquiry experiments in conjunction with a corresponding model featuring the sub-microscopic level could be more effective to enhance students' conceptual understanding and mental models of the corresponding concepts. As a result, the combination of 5E inquiry experiments and a galvanic cell model kit featuring the sub-microscopic level was used as the intervention tools in this study to minimize students' difficulty in visualizing and relating what occurs at the sub-microscopic level to the macroscopic and symbolic levels of galvanic cells.

Research questions

Based on results from a pilot study, the implementation of small-scale experiments *via* the 5E inquiry learning approach is effective to enhance students' conceptual understanding at the macroscopic and symbolic levels, but not at the sub-microscopic level (Supasorn *et al.*, 2014). This view arose from the fact that the implemented experiments contained insufficient information regarding sub-microscopic features. As a result, the galvanic cell model kit featuring macroscopic, sub-microscopic, and symbolic levels was developed to help students relate these representations to each other. The main purpose of this study was to investigate students' conceptual understanding of electrochemistry and mental model of a galvanic cell prior to and after the performance of corresponding experiments and the model kit based on 5E inquiry learning activities.

These research questions were posed when the small-scale experiment activities in conjunction with the use of the model kit of galvanic cells were implemented:

- (1) How do students' scores on the conceptual test of electrochemistry and on the mental model drawing of galvanic cells change before and after they performed the experiments in conjunction with the model kit of galvanic cells?
- (2) How do the percentages of students in each conceptual understanding category in the conceptual test of electrochemistry and in the mental model of galvanic cells change before and after they performed the experiments in conjunction with the model kit of galvanic cells?

Research methodology

This one group pre-test/post-test study used a quantitative method in its research paradigm. However, some qualitative data obtained from informal interview regarding students' mental models of galvanic cells were applied to fulfill the quantitative part.

Treatment tools

Two types of treatment tools were developed in this study, small-scale experiments and the galvanic cell model (zinc metal chart).

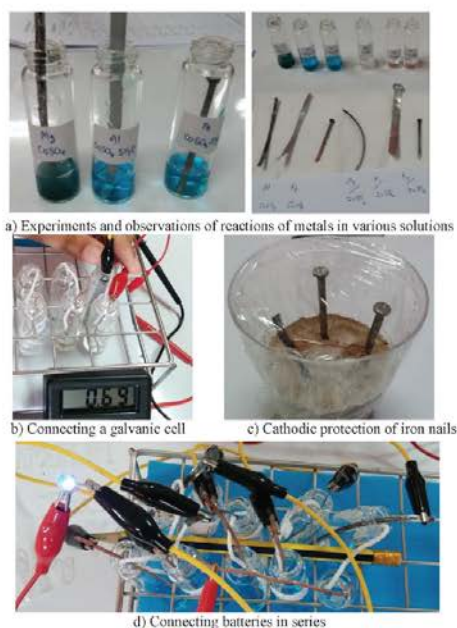
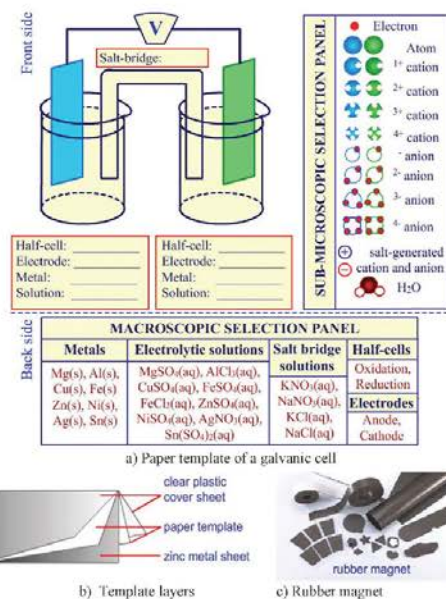


Fig. 1 Small-scale experiments involving electrochemistry.

The small-scale experiments consisted of (1) oxidation and reduction reactions (Fig. 1a), (2) galvanic cells (Fig. 1b), (3) cathodic protection of iron nails (Fig. 1c), and (4) connecting batteries (Fig. 1d).

The experiments were designed with regard to some 'green' chemistry principles, such as reducing the amounts of chemicals used, toxic chemicals, and generated wastes (Poliakoff and Licence, 2007). The concentration and volume of solutions used in this study were 2.50 mL and 0.01 M. The terms 'small-scale' and 'low-cost' were applied since these experiments reduced the scale of the normal experiments by at least 1000 or 2000 times and used inexpensive equipment, chemicals, and substances. A cotton thread (with the length of 15–20 cm) pre-treated in 5.00 mL of 0.01 M of saturated potassium nitrate solution was used as a salt bridge (Khattiyavong *et al.*, 2014). Such experiments can minimize costs and amounts of chemicals, laboratory glassware and equipment requirements, waste production, high expense for waste disposal, and time-consuming activities, while maintaining the concepts of the experiments and necessary laboratory techniques and skills (Martin and Gilbert, 2011). The experiments were tried out with grade 12 students studying in Satsirikit School in Srisaket Province of Thailand (Supasorn *et al.*, 2014). Comments and suggestions from the students were used to improve the effectiveness of the experiments.

The galvanic cell model kit featuring the sub-microscopic level, also called the model kit or a model kit of galvanic cells, was adapted from the inquiry model approach to the electrochemical cell by Cullen and Pentecost (2011). The model kit consisted of two parts (Fig. 2).

Fig. 2 The galvanic cell model kit salt-generated ions and H₂O molecules could be dismissed to focus on particles involving oxidation and reduction reactions).

The first part was a galvanic cell template containing three layers, in which a sheet of zinc metal is inserted as the core layer followed by a paper template of the galvanic cell, and then covered with a clear plastic sheet. The back side of this template contained the instructions related to the use of the model. This part was printed on A3-size paper. The second part was the package containing sets of various metal electrodes, metal cations, electrons, and salt-generated anions and cations. All templates in the second part were glued with rubber magnets (cutting by using scissors or cutters) to make it possible for students to magnetize them into the zinc metal core of the model kit. If students found it difficult to illustrate the water (H₂O) molecules and/or salt-generated ions (*i.e.*, K⁺, Na⁺, Cl⁻, NO₃⁻ ions) in the model kit, these particles were able to be omitted to allow students to concentrate on only the particles involving oxidation and reduction in galvanic cells as suggested by Cullen and Pentecost (2011). In addition, covering one out of two half-cells in the model kit can demonstrate how the oxidation or reduction reactions of metals occur in each half-cell (containing the metal ion solution).

Data collection tools

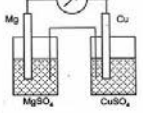
There were two types of data collection tools in this study. The first one was the conceptual test of electrochemistry containing 24 items in a two-tier three-choice test. There were 9 and 15 items regarding the concepts of oxidation–reduction reactions and galvanic cells, respectively. The concepts of batteries (3 out of 15 items) and cathodic protection (3 out of 15 items) were considered as sub-concepts of galvanic cells so they

Question 1: Consider the reaction below.
 $\text{Fe(s)} + \text{Cu}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cu(s)}$

1.1 Which statement is correct?
 A. $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ is a reducing agent, while $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ is an oxidizing agent.
 B. $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ is a reducing agent, while Fe(s) is an oxidizing agent.
 C. Fe(s) is a reducing agent, while $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ is an oxidizing agent.

1.2 Please supply your reason or explanation for your response above.

Question 2: Consider the diagram below.



2.1 Which statement is correct?
 A. Electrons transfer from Cu(s) to Mg(s) .
 B. Electrons transfer from Mg(s) to $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$.
 C. Electrons transfer from $\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ to $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$.

2.2 Please supply your reason or explanation for your response above.

Question 3: Consider the reaction below in which the reduction potential ($E^\ominus$) of the Zn/Zn^{2+} and Cd/Cd^{2+} half-cells are -0.76 and -0.40 V, respectively.
 $\text{Zn(s)} + \text{Cd}^{2+}(\text{aq}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{Cd(s)}$

3.1 What is the standard reduction potential ($E^\ominus$) of this cell?
 A. -0.36. B. -0.36. C. +1.16.

3.2 Please supply your calculation method for your response above.

Fig. 3 Examples of two-tier three choice items in electrochemistry.

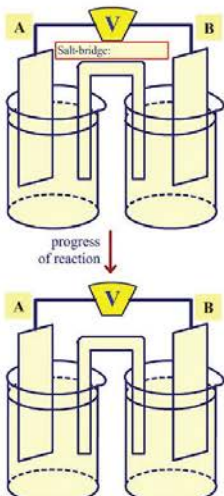
were included in the concepts of galvanic cells in this study. Students were required to make their choices of answers in the first tier and then provide their explanations for those choices in the second tier (examples of the test are shown in Fig. 3) (Treagust, 1988; Chandrasegaran *et al.*, 2007). The test was content-validated by two senior chemistry lecturers and one chemistry education professor. There were four main concepts in the test including oxidation-reduction reactions, galvanic cells, batteries, and cathodic protection.

The test items were analyzed by the use of a software called *Simple Item Analysis (SIA)* which is commonly used in Thailand. The difficulty index (P) for each item was in the range of 0.20–0.70, in which the percentages of items with P in the ranges of 0.20–0.39 (difficult), 0.40–0.59 (medium), and 0.60–0.80 (easy) were 20.00, 30.00, 40.00, and 10.00 respectively. The discrimination index (r) for each item was in the range of 0.30–0.90, in which the percentages of items with r in the ranges of 0.20–0.39 (fair), 0.40–0.59 (medium), 0.60–0.79 (good), and 0.80–1.00 (excellent) were 12.50, 20.83, 41.67, and 25.00 respectively. In addition, the reliability based on Kuder-Richardson Formula 20 or KR_{20} for the entire test was 0.87.

The second data collection tool was a mental model drawing of a galvanic cell. Students were asked to draw their understandings of what happens at the molecular level in a galvanic cell from two half-cells randomly provided Zn/Zn^{2+} , Cu/Cu^{2+} , and Ni/Ni^{2+} half-cells (see Fig. 4). For example, if students were asked to draw a mental model of a galvanic cell from Cu/Cu^{2+} and Ni/Ni^{2+} half-cells, they had to consider which one was an oxidation or a reduction half-cell, and to provide how ions and atoms in each half-cell (both in solutions and electrodes) changed regarding the progress of the reaction.

Participants

With prior permission from the school principal and the instructor of the chemistry course during the first semester of the academic year 2014, 34 students out of 41 students (one



Please fill in the blanks.

Beaker:	A	B
Half-cell:		
Electrode:		
Metal:		
Solution:		
Half reaction:		
Total reaction:		

Please illustrate what happens at a sub-microscopic level by using the following icons.

atom	electron
1^+ cation	1^- anion
2^+ cation	2^- anion
3^+ cation	3^- anion
4^+ cation	4^- anion
⊕ salt-generated cation	⊖ salt-generated anion

Fig. 4 The task for a mental model drawing of a randomly given galvanic cell (i.e., Mg/Mg^{2+} , Zn/Zn^{2+} , Fe/Fe^{2+} , Cu/Cu^{2+} and Ni/Ni^{2+} half-cells).

classroom) who attended all activities throughout the study were purposively selected as the participants of this study. They were studying grade 12 at Sriruang Wittayakhan School, a regular, large high school, in Ubon Ratchathani province of Thailand. The participants were asked for permission to use their conceptual test information and to reproduce their drawings for the study report and publication.

Notice that all research tools both treatment tools (lesson plans) and data collecting tools (conceptual tests and mental model drawings) were in Thai language. The class was taught in Thai language and all examples included in this article involved translation into English. In addition, these students had a chance to experience a two-tier conceptual test in which they were asked to explain their choices in the second tier in the previous semester. This could support students to be able to provide fruitful information in their explanation.

Implementation

Prior to the series of four 5E inquiry learning activities, the participants spent one hour to complete the conceptual test of electrochemistry and mental model drawing of a galvanic cell (pre-test and pre-mental model). The students were then divided into groups of four or five students and requested to participate in four 5E inquiry learning activities as shown in Table 1. They then started the inquiry activities in order of oxidation and reduction of metals in metal ion solutions, generation of galvanic cells, connection of series and parallel batteries, and cathodic protection of iron nails by using Zn and Mg metals. In each 5E learning activity, the students were requested to participate in the following process.

(1) *Engagement*: they were engaged in a scientifically-oriented question in regard to electrochemistry (one main question in each experiment, see Table 1).

Table 1 Key 5E learning activities of galvanic cells

Plan (hours)	Key activities
1. Pre-test (1.0)	– Pre-conceptual test and pre-mental model drawing.
2. 5E learning (10)	
2.1 Oxidation and reduction (3.0)	Main question: How do metals react with metal ion solutions? – Observing oxidation and reduction reactions of metals (Mg, Zn, Fe, Al, Cu) in metal ion solutions (Mg^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Cu^{2+}). – Demonstrating oxidation and reduction reaction by using the galvanic cell model kit.
2.2 Galvanic cells (3.0)	Main question: How can galvanic cells be generated from variety of half-cells? How do they react? – Constructing galvanic cells from various half-cells ($\text{Mg} \text{Mg}^{2+}$, $\text{Zn} \text{Zn}^{2+}$, $\text{Fe} \text{Fe}^{2+}$, $\text{Cu} \text{Cu}^{2+}$) and measuring their cell voltages. – Generating galvanic cells by interacting with the model.
2.3 Batteries (2.0)	Main question: How can series and parallel batteries be generated and how do their reactions occur? – Connecting batteries in series and in parallel using highest voltage galvanic cell obtained from previous experiment. – Demonstrating what occurs at sub-microscopic level of batteries by using the model kit.
2.4 Cathodic protection (2.0)	Main question: How can Mg and Zn metal protect iron nails from rusting? – Observing cathodic protection of iron nails by using Mg and Zn as anode. – Demonstrating how cathodic protection works by using the model kit.
3. Post-test (1.0)	– Post-conceptual test and post-mental model drawing
4. Informal interview	– Unstructured interview regarding students, explanations in conceptual tests and in mental model drawings.

(2) *Exploration*: they explored and gathered data to answer the question by planning and carrying out an experiment.

(3) *Explanation*: they formulated explanations based on their summarized data and scientific knowledge to answer the question.

(4) *Elaboration*: they elaborated, extended, related, or applied their macroscopic and symbolic findings from the experiment to the sub-microscopic level by interacting with the model kit in regard to the question “Based on your experiment results at a macroscopic level and the equation at a symbolic level, how does the reaction occur at a sub-microscopic level?”

(5) *Evaluation*: they were evaluated regarding their understanding by means of class and group discussions together with demonstration of the model kit regarding the experiment concepts.

The oxidation and reduction topic was raised as an example of 5E inquiry learning activities in this study. The students were firstly engaged with the inquiry question “How does each metal (Mg, Fe, Al, Zn, and Cu) react with various metal ion solutions?” The instructor then summarized and wrote students’ responses on the whiteboard. After that the instructor divided them into small groups and allowed them to plan and conduct an experiment to answer the engaged question by using the provided metals, solutions, and equipments. The instructors and two teaching assistants acted as facilitators during this step. After they completed their experiments, they were asked to summarize their experimental data and then formulate explanations to answer the engaged question. This step involved both macroscopic and symbolic representations. Next, they were asked to interact with the model kit to explain what happens at the sub-microscopic level based on their experiment results about how each metal (Mg, Fe, Al, Zn, and Cu) reacts with various metal ion solutions in front of the class. This step allowed students to elaborate what they experienced at the macroscopic and

symbolic levels to the sub-microscopic level. Finally, they were evaluated regarding their conceptual understanding by requesting them to generate oxidation and reaction reactions for other metals (*i.e.*, Sn, Ni and Ag) by using a model kit together with writing chemical equations. Please note that group and class discussions were encouraged during the explanation and elaboration steps.

After the completion of the four learning activities for a total of 10 hours, the students were asked to complete the conceptual test of electrochemistry (the same test with rearrangement of choice and item orders) and make changes to their mental model drawings or draw a new one (post-test and post-mental model). Finally, participants in each of “Sound Understanding: SU”, “Partial Understanding: PU”, “Partial Understanding with Specific Misunderstanding: PMU”, “Specific Misunderstanding: MU”, and “No Understanding: NU” categories were purposively selected for informal unstructured interview regarding their supplied reasons in the explanation tiers of the conceptual test and in their mental model drawings.

For the model kit part, the participants were asked to generate a specific galvanic cell out of various galvanic cells by interaction with the model of galvanic cells. For the macroscopic feature, they had to select the anode and cathode electrodes, electrolytic solution, and salt bridge solution and then put them on the oxidation and reduction half-cells of the model. For the sub-microscopic feature, they were required to choose the metal ions (with the right oxidation number), neutral atoms, electrons, and salt-generated cations and anions, and then put them into the oxidation and reduction half-cells of the model (see Fig. 5). Finally, they had to move these particles into the correct positions as the oxidation and reaction reactions progressed over time. The students also had to consider the numbers of neutral atoms, cations and anions in each half-cell, and electrons. These details were used as the criteria for grouping students into conceptual understanding categories.

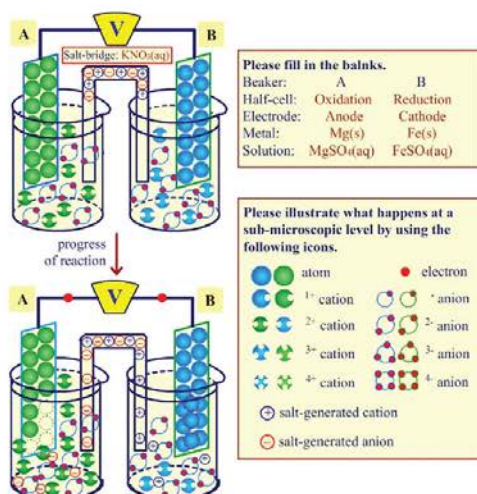


Fig. 5 Example of a student generated Mg–Fe galvanic cell in the model kit, randomly given among Mg|Mg²⁺, Zn|Zn²⁺, Fe|Fe²⁺, Cu|Cu²⁺ and Ni|Ni²⁺.

Data analysis

The data collected in this study were analyzed as follows:

(1) The pre- and post-conceptual test answers were awarded 1.00 and 0.00 point for each correct and incorrect choice, respectively, in the first tier. Please note that the first tier may not be enough to identify if students accommodate misconceptions, while the explanation tier contains more relevant information about students' conception. Each explanation provided in the second tier was awarded 0.00, 0.25, 0.50, 0.75, or 1.00 point regarding the completeness of their explanation. The total possible score for each item was 2.00 points. Considering the explanation score, the total possible score in this part was 24 points. Students were categorized into five categories according to their explanation scores. Students whose percentages of explanation scores fell in the ranges of 0–19, 20–39, 40–59, 60–79, and 80–100 were classified as 'very poor', 'poor', 'fair', 'good', and 'excellent' categories, respectively.

(2) The pre- and post-mental model drawings were categorized into five groups according to the information expressed in their drawing both macroscopic (including symbolic) and sub-microscopic (molecular) levels. The macroscopic and symbolic levels were combined in this study as MacSym criteria as sometimes they were difficult to separate symbolic information from macroscopic information in students' mental drawings. There were three criteria (5 points available) for the macroscopic and symbolic features (MacSym A1, A2, and A3) and the other three criteria (10 points available) for the sub-microscopic features (Mol B1, B2, and B3). Therefore, the total available score was 15 points. Four main scientific concepts were considered in each criterion (see Table 2). Drawings with information corresponding to none, one, two, three, and four out of four scientific concepts in each criterion were classified as "Sound

Understanding: SU", "Partial Understanding: PU", "Partial Understanding with Specific Misunderstanding: PMU", "Specific Misunderstanding: MU", and "No Understanding: NU" categories, respectively. These drawings were, respectively, awarded 100%, 75%, 50%, 25%, and 0% of the possible score in each criterion.

(3) Students' scores from the pre- and post-conceptual tests and mental model drawings were analyzed by the use of paired-samples *T*-test to identify the mean differences between the pre- and post-intervention scores at the significance level of 0.05.

(4) Class normalized learning gains or (*g*) of students' scores from pre- and post-conceptual tests and mental model drawings were applied to minimize the floor and ceiling effects calculated using the equation:

$$\langle g \rangle = \frac{(\% \text{ post-test}) - (\% \text{ pre-test})}{[(100\%) - (\% \text{ pre-test})]}$$

The floor and ceiling effects are the effects that students who begin with low pre-test scores may have more chance to have large percentage gains, while students who begin with large pre-test scores may gain only small percentage scores. In other words, it is common for students with higher pre-test scores to have results of smaller absolute gains (post-test scores minus pre-test scores). The floor and ceiling effects can be minimized by using normalized gain (*g*) analysis. The topics with $\langle g \rangle \leq 0.30$, $0.30 < \langle g \rangle < 0.70$, and $\langle g \rangle \geq 0.70$ were classified into low-, medium-, and high gain categories, respectively (Hake, 1998).

Results and discussion

There were four sections of results in this study: (1) students' scores in the conceptual tests of electrochemistry, (2) student conceptual categories in the conceptual tests of electrochemistry, (3) students' scores in the mental model drawings of a galvanic cell, and (4) students' conceptual categories in the mental models of a galvanic cell.

Students' scores in the conceptual tests of electrochemistry

Students' conceptual test scores were divided into two categories, oxidation–reduction reactions and galvanic cells. The mean pre-test scores for the first and second tiers and the totals were 4.41 (SD 1.62), 4.22 (SD 2.21), and 8.63 (SD 2.90), respectively, for the topic of oxidation–reduction reactions, and 8.09 (SD 2.75), 4.79 (SD 3.54), and 12.88 (SD 5.21), respectively, for the topic of galvanic cells, as shown in Table 3. After the completion of the four small-scale experiments, the mean post-test scores for the first and second tiers and the totals were 7.67 (SD 2.19), 6.88 (SD 1.38), and 14.32 (SD 3.32), respectively, for the topic of oxidation–reduction reactions, and 11.67 (SD 3.43), 10.32 (SD 2.80), and 22.26 (SD 5.30), respectively, for the topic of galvanic cells. The normalized learning gains or (*g*) for the first and second tiers and the totals were 0.71, 0.55, and 0.61, respectively, for the topic of oxidation–reduction reactions, and 0.52, 0.53, and 0.55, respectively, for the topic of galvanic cells. The (*g*) was in the medium gain range of 0.30 and 0.70 in all

Table 2 Criteria for categorizing students' mental models of a galvanic cell

Criteria	Scientific concepts
1. Macroscopic and symbolic 1.1 MacSym A1 (2 points)	The following concepts are considered. Electrodes, solutions and salt bridges. 1. Provide correct cathode (Mac). 2. Provide correct anode (Mac). 3. Provide correct salt-bridge (Mac). 4. Provide correct solution in each half-cell (Mac).
1.2 MacSym A2 (2 points)	Atoms, ions and electrons (particles). 1. Show right Ox. No. for metal cations in each half-cell (Sym). 2. Show right Ox. No. for electrolytic anions in each half-cell (Sym). 3. Define particles in electrodes as neutral atoms (Sym). 4. Show free electrons (e^-) only on wire (Sym).
1.3 MacSym A3 (1 point)	Oxidation and reduction half-cells. 1. Identify correct oxidation and reaction half-cells (Mac). 2. Provide right oxidation reaction for oxidation half-cell (Sym). 3. Provide right reduction reaction for reaction half-cell (Sym). 4. Provide right total oxidation-reaction reaction (Sym).
2. Molecular 2.1 Mol B1 (4 points)	The following concepts are considered. Please note that sizes of particles are not included in these criteria. Position of particles and oxidation number. 1. All neutral atoms appear only on electrodes. 2. All ions appear only in solutions or in salt-bridge. 3. Free electrons appear only on a wire. 4. Ox. No. of metal ions in each half-cell is correct.
2.2 Mol B2 (4 points)	Numbers of particles in solutions and electrodes. 1. Numbers of neutral atoms increases in cathode, while decreases in anode. 2. Numbers of metal cations increases in oxidation half-cell, while decreases in reduction half-cell. 3. Number of metal ions relate to the gain and loss of electron in each half-cell (mole concept). 4. Total number of metal atoms plus metal ions in each half-cell remains constant (conservation of mass).
2.3 Mol B3 (2 points)	Transfer (movement) of particles in solution and salt bridge. 1. Salt-generated cations transfer to reduction half-cell. 2. Salt-generated anions transfer to oxidation half-cell. 3. Electrons transfer from anode to cathode via a wire. 4. Electrolytic anions transfer from one to the other half-cell via salt-bridge.

cases except the choice tier of the topic of oxidation–reduction reactions ($\langle g \rangle = 0.72$, high gain). This arose because the oxidation–reduction reactions topic involves just one half-cell (one vial or beaker observation), while the galvanic cells topic involves two half-cells (two vials or beakers) which is more difficult to observe and understand. Therefore, the students provided clearer explanations in the oxidation–reduction section than in the galvanic cells section which involves and assumes knowledge of oxidation–reduction.

The paired-samples *T*-test analysis indicated that the differences between the mean scores of the pre- and post-conceptual tests were statistically significant in all cases. In the galvanic cells

topic, students obtained much higher percentages of scores in the choice tier than the explanation tier for both the pre- (53.92 and 31.96) and post-conceptual tests (77.78 and 68.19). This situation arose because sometimes the students knew the answers without a complete scientific conceptual explanation of galvanic cells. As a result, they may provide partial understandings, alternative understandings, or misunderstandings in their answers (Sözbilir *et al.*, 2010). The improvements in the percentages of the post-test scores indicated that the corresponding small-scale experiments of electrochemistry in conjunction with the model of galvanic cells were effective in the enhancement of students' conceptual understandings of electrochemistry.

Table 3 Students' scores assessed by the conceptual test of electrochemistry

Tiers	Available	Pre-test			Post-test			Gain		<i>T</i>
		Mean	SD	%	Mean	SD	%	%	$\langle g \rangle$	
Ox.–Red.	18	8.63	2.90	47.96	14.32	3.32	79.58	31.62	0.61	10.10 ^a
Choice	9	4.41	1.62	49.02	7.67	2.19	85.22	36.20	0.71	8.50 ^a
Explanation	9	4.22	2.21	46.90	6.88	1.38	76.47	29.57	0.55	5.99 ^a
Galvanic cells	30	12.88	5.21	42.94	22.26	5.30	74.19	31.25	0.55	6.27 ^a
Choice	15	8.09	2.75	53.92	11.67	3.43	77.78	23.86	0.52	3.95 ^a
Explanation	15	4.79	3.54	31.96	10.32	2.80	68.19	36.23	0.53	7.94 ^a
Total	48	21.51	6.83	44.82	36.63	7.69	76.39	31.57	0.57	7.58 ^a

^a Statistically different at the significance level of 0.05.

Levels of students' understanding in the explanation tier of conceptual tests of electrochemistry

The students were categorized into five levels of understanding regarding their explanations in the conceptual tests. Prior to the involvement of 5E inquiry experiments and the model kit of electrochemistry, the percentages of students in the very poor, poor, fair, good, and excellent categories were 48.37, 21.24, 20.26, 8.50, and 1.63, respectively, for the oxidation–reduction reactions topic, and 65.29, 13.73, 13.53, 6.67, and 0.78, respectively, for the galvanic cell topic (Table 4). After the intervention, the percentages of students in the very poor, poor, fair, good, and excellent categories were 6.54, 7.52, 14.38, 16.67, and 54.90, respectively, for the oxidation–reduction reactions topic, and 11.96, 11.57, 13.53, 15.29, and 47.65, respectively, for the galvanic cell topic. Notice that the percentages of students decreased in the less understanding categories but increased in the more correct categories.

Examples of students' responses in conceptual test

Consider the students' responses in the explanation tier for Question 1 in the conceptual test of electrochemistry (see also Fig. 3). Please note that if students did not supply any response in the explanation tier, they were awarded 0.00 point automatically. Some students chose the correct choice (C) but supplied incorrect explanation such as 'Fe(s) is a reducing agent because it gained electrons, while $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ is an oxidizing agent because it lost electrons'. This case was awarded 0.25 point in the explanation tier because it was considered as misunderstood. Some students chose incorrect choice (A) and provided almost correct explanation such as ' $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ is a reducing agent because its oxidation number increased from 0 to +2, while $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ is an oxidizing agent because its oxidation number decreased from +2 to 0'. This case was awarded 0.75 point in the explanation tier. Although the explanation about decreasing and increasing oxidation numbers was correct, the consideration of oxidation number of Fe(s) and $\text{Fe}^{3+}(\text{aq})$ was switched from the right to left hand-side of the chemical equation (incorrect). Some students chose incorrect choice (B) but provided correct explanation such as ' $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ is a reducing agent because it gained electrons and became Cu(s), while Fe(s) is an oxidizing

agent because it lost electrons and became $\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ '. This case was awarded 1.00 point in the explanation tier because the explanation about gaining and losing electrons of reducing and oxidizing agents was correct.

Students' alternative conceptions and misconceptions in the explanation tier of the conceptual tests were consistent with the summarized alternative conceptions in electrochemistry by Karsli and Çalik (2012). The alternative conceptions included: (1) the cathode electrode is negatively charged, which allows an oxidation reaction to occur, (2) the anode electrode is positively charged, which allows a reduction to occur, and (3) there was a lack of ability to write the correct cell reactions. The misconceptions were also consistent with the common misconceptions summarized by Sanger and Greenbowe (1997b), such as the anode is positively charged and getting smaller because it lost electrons, while the cathode is negatively charged and getting larger because it gained electrons.

The improvement of students' conceptual understanding and the conceptual changes to the more correct scientific conception categories are consistent with the studies by Cullen and Pentecost (2011) and by Huddle *et al.* (2000) who found that the use of a paper model of a galvanic cell in conjunction with electrochemistry laboratory activities allowed students to visualize what happens at the sub-microscopic level of a galvanic cell. As a result, students gained more conceptual understanding of galvanic cells.

Students' scores in the mental models of a galvanic cell

Prior to the intervention, students' mean scores for the pre-mental models in the macroscopic and symbolic (MacSym) and sub-microscopic (Mol) features were 1.85, 2.35, and 4.21 respectively. After the intervention, their mean scores for the post-models were 3.56, 5.98, and 9.55, respectively (Table 5). The percentages of the actual gains in their mental model scores were 34.20, 36.30, and 35.60 respectively. In addition, the normalized gains for their mental models were 0.54, 0.49, and 0.49, all falling in the medium gain range. The paired-samples *T*-test analysis indicated that these changes from pre- to post-drawings were statistically significant in all cases. Students obtained a percentage for

Table 4 Percentages of students in 5 levels of understanding in the explanation tier of conceptual tests ($n = 34$)

Conceptual test (no. of items)	Percentage of students (%)				
	Very poor	Poor	Fair	Good	Excellent
Pre-test (24)	58.95	16.54	16.05	7.35	1.10
Ox.-Red. (9)	48.37	21.24	20.26	8.50	1.63
Galvanic (15)	65.29	13.73	13.53	6.67	0.78
Post-test (24)	9.93	10.05	13.84	15.81	50.34
Ox.-Red. (9)	26.54	7.52	14.38	16.67	54.90
Galvanic (15)	11.96	11.57	13.53	15.29	47.65
Change (24)	-49.02	-6.50	-2.20	8.46	49.26
Ox.-Red. (9)	-41.83	-13.72	-13.72	8.17	53.27
Galvanic (15)	-53.33	-2.16	0.00	8.62	46.87

Table 5 Students' mental model scores on a galvanic cell ($n = 34$)

Criteria ^b (score)	Pre-models			Post-models			Gain		
	Mean	SD	%	Mean	SD	%	% Actual	$\bar{g}$	<i>T</i>
MacSym A1 (2)	0.82	0.71	41.00	1.41	0.55	70.50	29.50	0.50	3.37 ^a
MacSym A2 (2)	0.65	0.63	32.50	1.42	0.49	71.00	38.50	0.57	5.74 ^a
MacSym A3 (1)	0.38	0.33	38.00	0.73	0.28	73.00	35.00	0.55	4.54 ^a
MacSym total (5)	1.85	1.11	37.00	3.56	1.30	71.20	34.20	0.54	5.66 ^a
Mol B1 (4)	1.06	1.04	26.50	2.48	1.31	62.00	35.50	0.49	3.92 ^a
Mol B2 (4)	0.85	1.08	21.25	2.30	1.21	57.50	36.25	0.47	3.88 ^a
Mol B3 (2)	0.44	0.50	22.00	1.20	0.60	60.00	38.00	0.50	4.23 ^a
Mol total (10)	2.35	2.45	23.50	5.98	2.93	59.80	36.30	0.49	4.14 ^a
Grand total (15)	4.21	2.88	28.06	9.55	4.10	63.67	35.60	0.49	4.81 ^a

^a Statistically different at the significance level of 0.05. ^b Criteria MacSym A1–A3 and Mol B1–B3 are described in the data analysis.

Table 6 Percentages of students in 5 conceptual categories in mental model drawings ($n = 34$)

Mental models	Percentage of students (%)				
	NU	MU	PMU	PU	SU
Total pre-test	38.24	24.51	21.08	10.29	5.88
MacSym criteria	29.41	26.47	21.57	10.78	11.76
MacSym A1	23.53	32.35	17.65	8.82	17.65
MacSym A2	32.35	32.35	17.65	8.82	8.82
MacSym A3	32.35	14.70	29.41	14.70	8.82
Mol criteria	47.06	22.55	20.59	9.80	0.00
Mol B1	41.18	20.59	29.41	8.82	0.00
Mol B2	52.94	20.59	14.70	11.76	0.00
Mol B3	47.06	26.47	17.65	8.82	0.00
Total post-test	5.88	13.72	23.04	32.84	24.51
MacSym criteria	0.00	15.69	20.59	31.37	32.35
MacSym A1	0.00	17.65	20.59	29.41	32.35
MacSym A2	0.00	11.76	23.53	38.24	26.47
MacSym A3	0.00	17.65	17.65	26.47	38.24
Mol criteria	11.76	11.76	25.49	34.31	16.67
Mol B1	11.76	11.76	23.53	29.41	23.53
Mol B2	11.76	14.70	23.53	38.24	11.76
Mol B3	11.76	8.82	29.41	35.29	14.70
Total change	-32.35	-10.78	1.96	22.55	18.63
MacSym criteria	-29.41	-10.78	-0.98	20.59	20.59
MacSym A1	-23.53	-14.70	2.94	20.59	14.70
MacSym A2	-32.35	-20.59	5.88	29.41	17.65
MacSym A3	-32.35	2.94	-11.76	11.76	29.41
Mol criteria	-35.29	-10.78	4.90	24.51	16.67
Mol B1	-29.41	-8.82	-5.88	20.59	23.53
Mol B2	-41.18	-5.88	8.82	26.47	11.76
Mol B3	-35.29	-17.65	11.76	26.47	14.70

the pre-mental model score of 37.00 for macroscopic features, much higher than the 23.50 for sub-microscopic features. An explanation of this may be that students find sub-microscopic features difficult to understand due to their intangibility and/or invisibility (Coll and Treagust, 2003; Chandrasegaran *et al.*, 2011). However, after involvement in the corresponding experiments and models, the percentage in the mean post-mental model score regarding sub-microscopic features increased to 59.80. This improvement of 36.30 indicated that the small-scale experiments of electrochemistry in conjunction with the model kit of galvanic cells were effective in the enhancement of the students' mental models.

Students' conceptual categories in mental models of a galvanic cell

The students were categorized into five groups regarding their information expressed in their mental model drawings. When asked to draw mental models of how they understand what happens at the molecular (or sub-microscopic) level in galvanic cells, the categorization of the students' macroscopic and symbolic (MacSym) information at the pre-stage fell mostly in NU (29.41%), MU (26.47%), and PMU (21.57%), and their molecular information for the same stage was also categorized mostly in NU (47.06%), MU (22.55%), and PMU (20.59%), see Table 6. This indicated that prior to the intervention most students accommodate specific misconceptions at both macroscopic (including symbolic) and sub-microscopic levels in all

scientific concepts of galvanic cells (see also Table 2). In addition, there were no students in the SU group at the sub-microscopic level in this stage.

After the intervention, their models moved to more correct conceptual understanding categories. For macroscopic and symbolic information, most students were in SU (32.35%) and PU (31.37%) and no students in NU. MacSym A3 (oxidation and reduction half-cells) and MacSym A1 (electrodes, solutions and salt bridges) were the criteria that most students obtained sound understanding (38.24%, 32.35%) over partial understanding (26.47%, 29.41%), while MacSym A2 (particles) was the criterion that most students obtained partial understanding (38.24%) over sound understanding (26.47%). However, there were some students who fell in the MU. The scientific concepts that many students tended to accommodate misconceptions at macroscopic and symbolic levels included (1) switching anode and cathode (Mac), (2) proving incorrect oxidation number for metal ions (Sym), (3) switching oxidation and reduction half-cells (Mac), and (4) providing total oxidation-reaction equation without awareness of mole of electrons (Sym).

For sub-microscopic information, most were categorized in PU (34.31%) and PMU (25.49%), while some of them were in SU (16.67%). Most students obtained partial understanding over partial understanding with specific misconception in all criteria of molecular feature. Mol B1 (position of particles) was the criterion that students tended to have sound understanding over Mol B2 (numbers of particles) and Mol B3 (transfer of particles). However, there were some students who fell in the MU and NU. The scientific concepts that many students tended to accommodate misconceptions at the molecular level included (1) numbers of neutral atoms increases in the anode, while decreases in the cathode, (2) numbers of metal cations increases in the reduction half-cell, while decreases in the oxidation half-cell, (3) proving wrong oxidation number or oxidation state of metal ions in each half-cell, (4) no transfer of salt-generated ions from one to the other half-cell, and (5) no electrolytic anions transfer from one to the other half-cell.

For the conceptual changes, the majority of students moved from the less understanding (NU + MU) to the more understanding (PU + SU) categories in the macroscopic features. The order of NU + MU decreases was MacSym A2 (52.94%), MacSym A1 (38.23%), and MacSym A3 (29.41%), respectively. On the other hand, the order of PU + SU increases was MacSym A2 (47.06%), MacSym A3 (41.17%), and MacSym A1 (35.29%), respectively. In other words, the conceptual changes from the less understanding (NU + MU) to the more understanding (PU + SU) categories of MacSym A2, A1, and A3 were 100%, 73.52% and 70.58%. This finding indicated that this intervention promoted students' conceptual changes at the macroscopic level in scientific concepts of MacSym A2 over concepts of MacSym A1 and MacSym A3. For the sub-microscopic features, the order of NU + MU decreases was Mol B3 (52.94%), Mol B2 (47.06%), and Mol B1 (38.23%), respectively. On the other hand, the order of PU + SU increases was Mol B1 (44.12%), Mol B3 (41.17%), and Mol B2 (38.23%), respectively. In other words, the conceptual changes from the less understanding (NU + MU) to the

more understanding (PU + SU) categories of Mol B3, B2, and B1 were 94.11%, 85.29% and 82.35%. This finding indicated that this intervention promoted students' conceptual changes at the sub-microscopic level in scientific concepts of Mol B3 over concepts of Mol B2 and Mol B1.

The improvement of students' mental models of galvanic cells and the changes of their mental model categories to the more correct categories may arise from the fact that the model of galvanic cells provided students a chance to access the sub-microscopic level to direct perception. The students can construct or transform their own mental models based on the sub-microscopic information obtained from the model and macroscopic information from the experiments (Glynn and Duit, 1995; Briggs and Bodner, 2005; Doymus *et al.*, 2010; Dixon and Johnson, 2011). This supported students to relate macroscopic and symbolic information to sub-microscopic information. They then generated reasonable mental (or conceptual) models and used these models to achieve full understanding of these intangible electrochemistry concepts (Johnstone, 1993; Doymus *et al.*, 2010; Dixon and Johnson, 2011; Duit, 2011).

Examples of students' mental models of galvanic cells

Consider the mental model drawings of a Ni-Cu galvanic cell of Student A. Prior to the involvement of the experiment, Student A provided partial understanding (PU) information that Ni^{2+} and Cu^{2+} ions appear in solution, as shown in Fig. 6a.

However, she provided incomplete information, no Ni and Cu atoms present. After involvement of the corresponding experiment, she noticed her incomplete information and changed her post-mental model to the more correct understanding (Fig. 6b). However, she provided new mis-understanding (MU) information

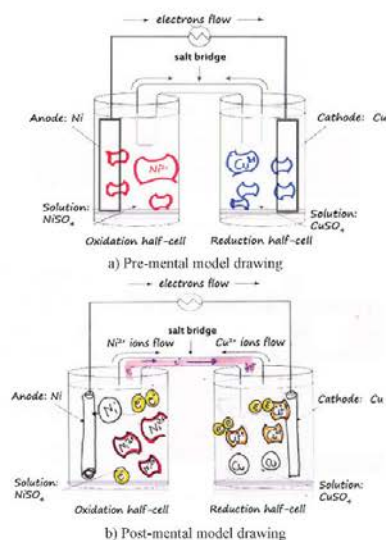


Fig. 6 Sub-microscopic mental models for a Ni-Cu galvanic cell of Student A.

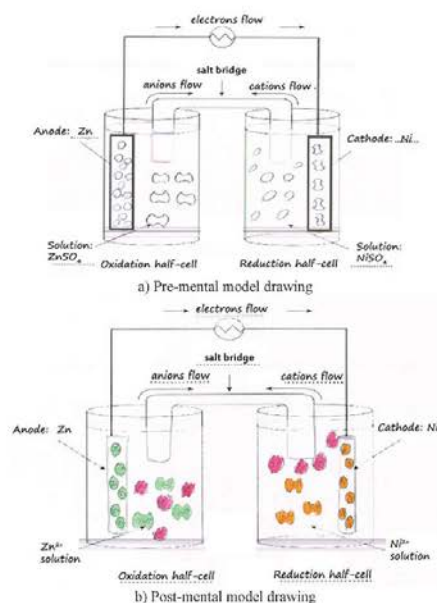


Fig. 7 Sub-microscopic mental models for a Zn-Ni galvanic cell of Student B.

that Ni^{2+} and Cu^{2+} ions transferred from one to the other half-cell and electrons transferred *via* the salt bridge. She also provided mis-understanding (MU) information that when Cu^{2+} ions received 2 electrons they became the Cu atoms and appeared in the solution instead of the cathode electrode. She provided partial understanding (PU) information that when Ni atoms gave two electrons they became Ni^{2+} ions and appeared in solution.

Consider the mental model drawings of a Zn-Ni galvanic cell of Student B. Prior to the involvement of the electrochemistry experiment, Student B provided sound understanding (SU) information in the oxidation half-cell that Zn atoms appear in the Zn anode, while Zn^{2+} ions appear in the solution, as shown in Fig. 7a. However, she provided partial understanding and mis-understanding (PMU) information in the reduction half-cell that Zn^{2+} ions appear in the Zn anode, while Zn atoms appear in the solution. After involvement of the electrochemistry experiment, she noticed her mis-understanding and changed her post-mental model to the more correct understanding (Fig. 7b).

Most students provided more complete macroscopic information than molecular information at both the pre- and post-stages as the former is not difficult to understand due to images shown in learning materials and more obvious observations of changes in the experiments. The reason for the students' higher post-stage score may be due to the fact that after the experience of the experiments, the students obtained relevant information by observation of the experiments, leading to modification of their mental models to provide more reasonable explanations of what happens at the molecular level of the given galvanic

cells. However, some students' modified models may still contain mis-conceptions (Piquette and Heikkinen, 2005).

Students' alternative- and mis-conceptions encountered in their mental model drawings of a galvanic cell at a sub-microscopic level in this study were mostly consistent with the summaries by Karsli and Çalik (2012) and by Sanger and Greenbowe (1997b). For example, they understood that the cathode is an oxidation half-cell that loses electrons, and decreases mass over time, while the anode is a reduction half-cell that gains electrons, and increases mass over time (Karsli and Çalik, 2012). Some of them thought that the salt bridge allows electrons to travel from the anode to the cathode without assistance from the ions (Sanger and Greenbowe, 1997b) and allows the electrolytic cations migrate toward the anode electrode, whereas the electrolytic anions migrate towards the cathode electrode (Karsli and Çalik, 2012). Some students understood that electrons move through solution from one to the other by attaching themselves to ions (Sanger and Greenbowe, 1997b), while cations in the electrolyte solution transfer from the cathode to the anode by accepting electrons (Sanger and Greenbowe, 1997b), and so on.

In addition, the analysis of mental models of galvanic cells together with the informal unstructured interview regarding their models revealed some potential causes that can lead to misconceptions at the sub-microscopic level of galvanic cells. These causes were shown below.

(1) Number of neutral atoms. Many students misunderstood that the number of neutral atoms increases in the anode, while it decreases in the cathode. This arose from the confusion between the changes of oxidation and reduction half-cells. Many of them thought that the number remains constant because the experiments that they conducted may not be long enough to obviously notice the change of any metal electrodes although the model kit illustrated this change.

(2) Number of metal cations. Many students misunderstood that the number of metal cations increases in the reduction half-cell, while it decreases in the oxidation half-cell. This arose from the confusion between the changes of oxidation and reduction half-cells. Some of them thought that the number remains constant in both half-cells, or changes (increases or decreases) only in the oxidation or reduction half-cell. This could arise from the fact that some galvanic cells obviously changed colour only in one half-cell (*i.e.*, the colour change can be observed only in the Cu reduction half-cell of the Zn-Cu cell). Therefore, they thought that the number of ions must be constant in the unchanged solution. The number of metal cations and electrons as well as neutral atoms model activity should be more emphasized to minimize the first and second issues.

(3) Oxidation number. Many students identified an incorrect oxidation number for metal cations in each half-cell. This occurred because they could not provide the correct dissolution equation of salt in water, which led to the incorrect oxidation states. Some of them just misremember the oxidation states or for each metal ion and electrolytic anion. The latter case was considered as a mistake rather than a misconception.

(4) Transfer of salt-generated ions. Many students misunderstood that salt-generated cations transferred from the reduction

to oxidation half-cell, while anions transferred from the oxidation to reduction half-cell. Some of them thought that no ions transfer but electrons. This arose because the model activity sometimes allowed students to omit salt-generated ions. Therefore, they may not be able to notice this change.

(5) Transfer of electrolytic anions. Many of them did not notice the transfer of electrolytic anions from the reduction to oxidation half-cell to balance the new generated metal cations. This arose because they thought that salt-generated ions already transferred from one to the other half-cell. Therefore, electrolytic anions should remain in their half-cell.

These misconceptions were consistent with the previous studies (Sanger and Greenbowe, 1997b; Karsli and Çalik, 2012). However, these encounter misconceptions will be further studied in attempt to minimize them and change them to the more correct conceptions.

The model kit demonstration together with class discussion could diminish the misconceptions about the numbers of neutral atoms and metal cations and the transfer of salt-generated ions and electrolytic anions. In addition, class discussion about the dissolution equations of common salts in water can decrease misconceptions about oxidation states or oxidation numbers. Once students can provide correct states for both cations and anions, they are expected to provide correct oxidation numbers for each metal ion.

In short, the corresponding small-scale experiments allowed students to observe what occurs at a macroscopic level and relate the macroscopic observation to a symbolic level (chemical formulas and equations). This Green chemistry based experiment can diminish the amounts of chemicals used, toxic chemicals, and generated-wastes, while preserve concepts of the experiments, and necessary laboratory techniques and skills (Poliakoff and Licence, 2007; Martin and Gilbert, 2011). Moreover, the corresponding model of galvanic cells, which was inexpensive, portable and flexible, can diminish the difficulty in sub-microscopic visualization and allow students to link the macroscopic experiment observation and symbolic levels to the sub-microscopic level. Once students were able to visualize and relate among the macroscopic, symbolic and sub-microscopic representations, their conceptual understandings of electrochemistry concepts were effectively improved (Chittleborough and Treagust, 2007; Çalik *et al.*, 2010). In addition, the 5E inquiry learning approach also actively engaged students to scientific questions and to explore the answers for these questions through an inquiry process (Deters, 2005). This study also verified that discussion in a small group and in a class with the instructor facilitation effectively enhanced students' conceptual understanding as they gained their understanding and corrected their alternative conceptions while discussing with their peers (Cullen and Pentecost, 2011).

Conclusion and implications

The study results verified that the intervention of the low-cost and small-scale experiments of electrochemistry in conjunction with the inexpensive, portable, reproducible, and flexible model

kit by using the 5E inquiry learning approach was effective to enhance students' conceptual understanding and mental models of corresponding concepts. The students obtained a mean post-conceptual test score statistically higher than the pre-conceptual test score. The majorities of the pre-conceptual test were from the choice part but after the intervention, the explanation part played a more important role in their post- than in their pre-conceptual test scores. Before the intervention, most students were in the partial understanding with specific misunderstanding (PMU) to no understanding (NU) categories, but after the intervention they moved to the more correct scientific conceptions, partial understanding (PU) to partial understanding with specific misunderstanding (PMU) categories. For the mental models, the students obtained a mean post-mental model score statistically higher than the pre-mental model score. The majorities of the pre-experiment scores were from the macroscopic part in their mental models, but the sub-microscopic part played more important role in their post-experiment scores than in the pre-experimental scores. Prior to the intervention, the majority of students were in the partial understanding with specific misunderstanding (PMU) to no understanding (NU) categories, but they moved to the better scientific conceptions, partial understanding (PU) to partial understanding with specific misunderstanding (PMU) categories, after the intervention. The major misconceptions encountered in students' mental models of galvanic cells included (1) the number of neutral atoms increases in the anode, while it decreases in the cathode, (2) the number of metal cations increases in the reduction half-cell, while it decreases in the oxidation half-cell, (3) identified incorrect oxidation state for metal cations in each half-cell, (4) salt-generated cations transferred from the reduction to oxidation half-cell, while anions transferred from the oxidation to reduction half-cell, and (5) unaware of transfer of electrolytic anions from the reduction to oxidation half-cell.

This study may have implications for chemistry instructors in that teaching or directing students to perform an experiment might be not enough to help students understand important concepts at the molecular level. Chemistry instructors should consider using a corresponding model featuring the sub-microscopic level or various tools such as jigsaws, simulations, animations, virtual laboratory (Hawkins and Phelps, 2013) or other visualization tools (Osman and Tien Lee, 2014) to help students visualize concepts at the molecular level and then connect these concepts to the corresponding macroscopic experiment observations (Doymus *et al.*, 2010). The use of a cooperative learning approach should be considered to let students learn and understand the concepts from their peers (Acar and Tarhan, 2007). As a result, students may achieve a complete and lasting conceptual understanding (Doymus *et al.*, 2010). It is advisable that numbers of neutral atoms, metal cations, and electrons should be emphasized in regard to mole concepts.

There were some limitations in this study. One of these was about the use of a two-tier multiple choice test with the open explanation/reason in the second tier. The author found it difficult to encourage students to supply their reasons for their responses in the first tier. The use of a two-tier test with

multiple choices or other forms of test may be considered to diminish this limitation. In addition, using students' explanations to construct 2-tier multiple-choice items is advisable to avoid this limitation. Another limitation was that the same pre- and post tests were used in this study. This was considered as a weak methodology because improvements could be observed with almost any other learning approach. The parallel test or equivalence test should be used to avoid this limitation. The last limitation was about one group pre-test/post-test design without control group. This could be questionable about the effectiveness of this intervention. The design with control and treatment group is advised to diminish this limitation.

For the further study, the information about students' conceptual understanding of electrochemistry and about mental models of a galvanic cell will be used in the design and development of a molecular animation to support students' acquisition to understand electrochemistry concepts or to generate the more correct mental models (Markman, 1999). The content taught to students will be designed to be more contextualized in real situations to promote students to connect between the content and everyday life contexts. The small-scale experiments incorporated with corresponding molecular animation will be implemented to investigate how they impact students' conceptual understandings and mental models of electrochemistry.

Acknowledgements

This study was part of the TRG5680024 project entitled "Development of Inquiry Chemistry Experiments in conjunction with Molecular Animations (ICEMA) to Promote High School Students' Conceptual Understanding and Conceptual Change at the Molecular Level", co-funded by Thailand Research Fund (TRF) and Ubon Ratchathani University (UBU). The author thanks Richard E. Coll at University of Fiji for a detailed review of the manuscript. The author also thanks Bob Tremayne of the Office of International Relations at Ubon Ratchathani University (UBU) for assistance with English editing and thanks Nutjaree Supasorn (class instructor) and her grade 12 students during academic year 2014 at Sriruang Wittayakhan School for their fruitful participation.

References

- Acar B. and Tarhan L., (2007), Effect of cooperative learning strategies on students' understanding of concepts in electrochemistry, *Int. J. Sci. Math. Educ.*, 5, 349–373.
- Ahtee M., Asunta T. and Palm H., (2002), Student teachers problems in teaching electrolysis with a key demonstration, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 3, 317–326.
- Aydeniz M. and Krbulut Z. D., (2011), Assessing pre-service science teachers' topic specific pedagogical content knowledge (PCK): pre-service science teachers' pck of electrochemistry, in Psillos D. and Sperandio R. M. (ed.), *Proceedings of the European Science Education Research Association (ESERA 2011): Science Learning and Citizenship (Part 12: Pre-service science teacher*

- education), ESERA, pp. 1–7, retrieved Oct. 10, 2014 from <http://www.esera.org/>.
- Balci S., Cakiroglu J. and Tekkaya C., (2006), Engagement, exploration, explanation, extension, and evaluation (5E learning cycle and conceptual change text as learning tools, *Biochem. Mol. Biol. Educ.*, 34(3), 99–102.
- Briggs M. W. and Bodner G. M., (2005), A model of molecular visualization, in Gilbert J. K. (ed.), *Visualization in science education*, Netherlands: Springer, pp. 61–73.
- Bybee R. W., Taylor J. A., Gardner A., Van Scotter P., Powell J. C., Westbrook A. and Landes N., (2006), *The BSCS 5E instructional model: origins, effectiveness, and applications*, Colorado Springs: BSCS.
- Çalik M., Kolomuc A., and Karagolge Z., (2010), The effect of conceptual change pedagogy on students' conceptions of rate of reaction, *J. Sci. Educ. Technol.*, 19(5), 422–433.
- Chandrasegaran A. L., Treagust D. F. and Mocerino M., (2007), The development of a two-tier multiple choice diagnostic instrument for evaluating secondary school students' ability to describe and explain chemical reactions using multiple levels of representation, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 8, 293–307.
- Chandrasegaran A. L., Treagust D. F. and Mocerino M., (2011) Facilitating high school students' use of multiple representations to describe and explain simple chemical reactions, *Teaching Science*, 57(4), 13–20.
- Chittleborough G. and Treagust D. F., (2007), The modelling ability of non-major chemistry students and their understanding of the sub-microscopic level, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 8(3), 274–292.
- Coll R. K. and Treagust D. F., (2003), Learners' mental models of metallic bonding: cross-age study, *Sci. Educ.*, 87, 685–707.
- Cullen D. M. and Pentecost T. C., (2011), A Model Approach to the Electrochemical Cell: An Inquiry Activity, *J. Chem. Educ.*, 88(11), 1562–1564.
- Demirbaş M. and Ertuğrul N., (2014), A study on preschoolers' conceptual perceptions of states of matter: a case study of Turkish students, *S. Afr. J. Educ.*, 34(3), 1–13.
- Deters K. M., (2005), Student opinions regarding inquiry-based labs, *J. Chem. Educ.*, 82(8), 1178–1180.
- Dixon R. A. and Johnson S. D., (2011), Experts vs. novices: differences in how mental representations are used in engineering design, *J. Technol. Educ.*, 23(1), 47–65.
- Doymus K., Karacop A. and Simsek U., (2010), Effects of Jigsaw and animation techniques on students' understanding of concepts and subjects in electrochemistry, *Educ. Technol. Res. Dev.*, 5(6), 671–691.
- Duis J. M., (2011), Organic chemistry educators' perspectives on fundamental concepts and misconceptions: an exploratory study, *J. Chem. Educ.*, 88(3), 346–350.
- Ekiz B., Kutucu E. S., Akkus H. and Boz Y., (2011), Pre-service chemistry teachers' understanding of electrolytic cells, in Psillos D. and Sperandio R. M., *Proceedings of the European Science Education Research Association (ESERA 2011): Science Learning and Citizenship (Part 12: Pre-service science teacher education)*, ESERA, pp. 51–54, retrieved Oct 10, 2014 from <http://www.esera.org/>.
- Garnett P. J. and Treagust D. F., (1992), Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: electrochemical (galvanic) and electrolytic cells, *J. Res. Sci. Teach.*, 29(10), 1079–1099.
- Glynn S. M. and Duit R., (1995), Learning science meaningfully: constructing conceptual model, in Glynn S. M. and Duit R. (ed.), *Learning science in the schools: research reforming practice*, Lawrence Erlbaum, pp. 3–33.
- Hake R. R., (1998), Interactive engagement vs. traditional methods: a six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses, *Am. J. Phys.*, 61(1), 64–74.
- Hawkins I. and Phelps A. J., (2013), Virtual laboratory vs. traditional laboratory: which is more effective for teaching electrochemistry? *Chem. Educ. Res. Pract.*, 14, 516–523.
- Hoffmann R. and Laszlo P., (1991), Representation in chemistry, *Angew. Chem., Int. Ed.*, 30(1), 1–16.
- Huddle P. A., White M. D. and Rogers F., (2000), Using a teaching model to correct known misconceptions in electrochemistry, *J. Chem. Educ.*, 77(1), 104–110.
- Ibrahim B. and Rebello N. S., (2013), Role of mental representations in problem solving: students' approaches to nondirected tasks, *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.*, 9(2), 1–16.
- Johnstone A. H., (1993), The development of chemistry teaching: a changing response to changing demand, *J. Chem. Educ.*, 70(9), 701–704.
- Karsli F. and Çalik M., (2012), Can freshman science student teachers' alternative conceptions of 'electrochemical cells' be fully diminished? *Asian J. Chem.*, 24(2), 485–491.
- Khattiyavong P., Jarujamrus P., Supasorn S. and Kulsing C., (2014), The Development of Small Scale and Low-Cost Galvanic Cells as a Teaching Tool for Electrochemistry, *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning*, 5(2), 146–154.
- Liu Y., Hou H., Chiu H. L. and Treagust D. F., (2014), An exploration of secondary students' mental state when learning about acids and bases, *Res. Sci. Educ.*, 44(1), 133–154.
- Markman A., (1999), *Knowledge representation*, Lawrence Erlbaum Associates.
- Martin S. F. and Gilbert J. C., (2011), *Organic chemistry experiments: miniscale and microscale*, 5th edn, Canada: Brooks/Cole Cengage Learning.
- Miller G., (2014), Addressing students' difficulties and misconceptions about electrochemistry, in *AP Central*, California: University of California, retrieved Oct 10, 2014 from <http://apcentral.collegeboard.com/>.
- Mulford D. R. and Robinson W. R., (2002), An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students, *J. Chem. Educ.*, 79(6), 739–744.
- Niaz M., (2002), Facilitating conceptual change in students' understanding of electrochemistry, *Int. J. Sci. Educ.*, 24(4), 425–439.
- Niaz M. and Chacón E., (2003), A conceptual change teaching strategy to facilitate high school students' understanding of electrochemistry, *J. Sci. Educ. Technol.*, 12(2), 129–134.
- Ökaya A. R., (2002), Conceptual difficulties experienced by prospective teachers in electrochemistry: half cell potential,

- cell potential, chemical, and electrochemical equilibrium in galvanic cells, *J. Chem. Educ.*, **79**(6), 735–738.
- Osman K. and Tien Lee T., (2014), Impact of interactive multi-media module with pedagogical agents on students' understanding and motivation in the learning of electrochemistry, *Int. J. Sci. Math. Educ.*, **12**, 395–421.
- Piquette J. S. and Heikkinen H. W., (2005), Strategies reported used by instructors to address student alternate conceptions in chemical equilibrium, *J. Res. Sci. Teach.*, **42**, 1112–1134.
- Poliakoff M. and Licence P., (2007), Sustainable technology (QandA): green chemistry, *Nature*, **450**(6), 810–812.
- Sanger M., (2009), How does inquiry-based instruction affect teaching majors' views about teaching and learning science? *J. Chem. Educ.*, **85**(2), 297–302.
- Sanger M. J. and Greenbowe T. J., (1997a), Common student misconceptions in electrochemistry: galvanic, electrolytic, and concentration cells, *J. Res. Sci. Teach.*, **34**(4), 377–398.
- Sanger M. J. and Greenbowe T. J., (1997b), Common student misconception in electrochemistry: current flow in electrolyte solutions and the salt bridge, *J. Chem. Educ.*, **74**(7), 819–823.
- Sözbilir M., Pınarbaşı T. and Canpolat N., (2010), Prospective chemistry teachers' conceptions of chemical thermodynamics and kinetics, *Eurasia Journal of Mathematics, Science, and Technology Education*, **6**(2), 111–120.
- Stears M. and Gopal N., (2010) Exploring alternative assessment strategies in science classrooms, *African J. Educ.*, **30**, 2014, 591–604.
- Supasom S., Khattiyavong P., Jarujamrus P. and Promarak V., (2014), Small-scale inquiry-based experiments to enhance high school students' molecular conceptual understanding of electrochemistry, *Int. Proc. Econ. Dev. Res.*, **81**, 85–91.
- Taber K., (2013), Three levels of chemistry educational research, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **14**, 151–155.
- Treagust D. F., (1988), Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science, *Int. J. Sci. Educ.*, **10**, 159–169.
- Yakmaci-Guzel B., (2013), Preservice chemistry teachers in action: an evaluation of attempts for changing high school students' chemistry misconceptions into more scientific conceptions, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **14**, 95–104.

Chemistry Education Research and Practice



PAPER

View Article Online
View Journal | View Issue



Cite this: *Chem. Educ. Res. Pract.*,
2015, 16, 121

Implementation of 5E inquiry incorporated with analogy learning approach to enhance conceptual understanding of chemical reaction rate for grade 11 students

Saksri Supasorn^a and Vinich Promarak^b

The main purpose of this study was to enhance student understanding of the scientific concepts of chemical reaction rate. Forty-four grade 11 students were the target group. The treatment tools were seven learning plans of 5E inquiry incorporated with an analogy learning approach during 15 hours of class time. In each learning plan, the students (1) addressed a scientific question regarding chemical reaction rate, (2) explored evidence to answer the question by carrying out a corresponding experiment, (3) drew explanations from collected evidence to answer the question, (4) elaborated their understanding by studying the given analogy and the target, and (5) evaluated their conceptual understandings by creating their own analogy and identifying similarities and differences of their analogies and the targets. The data collecting tool was a conceptual test of chemical reaction rate, consisting of 30 two-tier three-choice questions. The normalized learning gain for the whole conceptual test was at the medium gain level (0.64). The dependent samples *t*-test analysis indicated that the post-conceptual test score (mean 45.32, SD 6.46) was statistically higher than the pre-test score (mean 19.70, SD 3.10), but was statistically lower than the retention test score (mean 48.03, SD 9.04) at the significance level of 0.05. In the pre-conceptual test, the percentages of students in the good-, alternative-, and misconception categories were 13.69, 38.45, and 47.86, respectively. In the post-conceptual test, the percentages of students in these categories were 64.72, 24.6, and 10.63, respectively. This finding indicates that this implementation was an effective means to enhance and retain students' conceptual understanding of chemical reaction rate.

Received 12th September 2014,
Accepted 29th October 2014

DOI: 10.1039/c4rp00190g

www.rsc.org/cerp

Introduction and background

Chemical reaction rate, or chemical kinetics, has been found to be one of the most difficult chemistry topics to understand because it involves mathematical calculations and because there are many factors influencing the reaction rate (Justi, 2003). Thai students exhibit the same learning difficulties as those reported for other students (Chairam *et al.*, 2009). Some students have an alternative understanding of concepts which are not consistent with the consensus of the scientific community (Mulford and Robinson, 2002; Taber, 2002). Their understanding of concepts may be partially right, but incomplete or just simply wrong (Piquette and Heikinen, 2005). Requiring students to generate their own analogues (also called analogical models) and to identify how their analogues are similar to and/or

different from the targets (also called target concepts) of the corresponding concepts can reveal their conceptual understandings and identify some of their alternative conceptions. This information is useful for devising corresponding analogues that best support students' concept acquisition.

Chemical reaction rate

The term "reaction rate" is not a property of chemical species themselves it is a property of the extent of a reaction (Schmitz, 2005). Cunningham (2007) commented that descriptions of methods for helping students to understand reaction rate have been presented in many textbooks, but there has been little discussion of how to gain students' understanding by asking them to find their own meaning of reaction rate. He designed the following assignments to help students enhance their understanding of reaction rate and to assess that understanding:

- (1) Can the student identify a change that is clearly chemical, as opposed to physical, in nature?
- (2) Can the student identify a chemical reaction whose increased or decreased rate is of some interest or practical importance?

^a Ubon Ratchathani University, Faculty of Science, Ubon Ratchathani, 34190, Thailand. E-mail: saksri.supasorn@gmail.com

^b Suranaree University of Technology, Institute of Science, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand

(3) Can the student correctly identify the reactants and products of the chemical change they have selected?

(4) Can the student clearly and correctly explain the mechanism by which the factor identified increase, and

(5) Can the student effectively apply the standard conventions of written English?

Many studies have been carried out on students' conception of the topic of chemical reaction rate or chemical kinetics. For example, Van Driel (2002) attempted to develop grade 10 students' ideas of macroscopic chemical phenomena together with their views of the particulate nature of matter. The students were requested to carry out chemical experiments and explain their experimental results. He concluded that students of this age in the Netherlands have limited abilities for reasoning in corpuscular terms. His approach has the potential to aid students to move from primitive corpuscular to more scientifically acceptable views. Although, student explanations may be deficient from a scientific perspective, students gradually learn to become more proficient in using corpuscular models as explanatory tools.

Another example is the investigation carried out by Chairam *et al.* (2009) on the study of chemical kinetics by Thai students. They reported that chemical kinetics is an extremely important concept taught in introductory chemistry courses. The teaching of chemical kinetics to high school and undergraduate students in Thailand generally begins with an emphasis on qualitative aspects. Students are often introduced to the rate of reaction and factors (such as temperature, concentration, and catalysts) which influence the rate of a reaction. They also investigated the effect of inquiry-based learning activities in which the first year undergraduate science students at a public university in Thailand were requested to design and carry out an experiment to investigate the reaction of acids and bases. They found that the students were able to develop a good conceptual understanding of chemical kinetics from participation in this more active and enjoyable teaching approach.

The conceptual changes of Turkish grade-11 students was studied by Çalik *et al.* (2010). They examined some previous studies and identified some problems encountered in learning the concept of chemical reaction rate. Some of these problems are (1) an inability to define the rate of reaction, (2) misunderstanding, misapplying or misinterpreting of the relationship between the rate of reaction and its influencing factors, and (3) a lack of understanding of how activation energy and enthalpy relate to the rate of reaction. They also investigated the effects of conceptual change pedagogy on students' conceptions. They found that conceptual change pedagogy intervention helped students to notice and correct their alternative conceptions. They suggested that a combination of various conceptual change methods may be more effective for decreasing students' alternative conceptions. Çalik and his colleague (Kolomuç and Çalik, 2012) also explored the alternative conceptions generated by Turkish chemistry teachers and students (grade 11) for the topic of chemical reaction rate. They found that chemistry teachers and students tended to have similar alternative conceptions, which may have been transmitted from the chemistry teachers. Examples of some alternative conceptions include: (1) a lack of

understanding of the effect of enthalpy on the rate of reaction and mechanism of reaction, and (2) misunderstanding/misapplying of the relationship between temperature or concentration and the rate of reaction.

Actually there are more studies about student conceptions on the concept of 'chemical reaction rate' or 'chemical kinetics' (Bektaşlı and Cakmakci, 2011; Cakmakci *et al.*, 2006; Çalik *et al.*, 2009b; Cakmakci, 2010), however, details of these studies are not presented in this article.

5E inquiry learning activities in chemistry

There are a number of models of inquiry in learning science. The 5E learning cycle has been proven to be one of the most effective inquiry learning model for chemistry and other sciences and can be applied at several levels in the instructional sequences within lessons (Bybee *et al.*, 2006). The 5E learning cycle involves the following steps:

- (1) Engagement – students are engaged in inquiry questions,
- (2) Exploration – students plan, design, and carry out their experiment, and record the experiment data,
- (3) Explanation – students give explanations from the experimental data to answer the questions,
- (4) Elaboration – students extend and apply their findings in a new context, especially a daily life one, and
- (5) Evaluation – students evaluate their experimental process and results in a variety of ways, such as an activity report, instructor observation during the activity, and student presentations.

Although other learning cycle models (3E and 7E) have been introduced for chemistry instruction, these models are adapted directly from the 5E instructional model. The 5E learning cycle has many advantages, for example, it promotes active learning process, supports the processing of new information by students based on the extent of their personal knowledge, and improves students' attitudes to chemistry instruction. Inquiry not only supports students' understanding of science concepts but also illustrates how they can construct knowledge themselves through the inquiry learning cycle. In addition, the 5E learning cycle can help students edit their alternative conceptions rather than rely only on textbook-oriented instruction. However, students' alternative conceptions and existing knowledge prior to the inquiry instruction should be explored. This information can be used in designing inquiry activities that support student efforts to correct their alternative conceptions (Balci *et al.*, 2006; Bybee *et al.*, 2006).

Inquiry learning activities have been found to be effective in teaching chemistry and have been widely advocated in the last few decades (Sanger, 2009). These types of activities possess advantages over traditional activities. Students are challenged to practice using learning resources and working in groups to enhance their higher-order cognitive skills (HOCS) or the skills of interpretation, analysis, prediction, and synthesis (Zoller and Tsaparlis, 1997; Bybee *et al.*, 2006; Zoller and Levy Nahum, 2012). The instructors tend to play a role as facilitators who motivate and challenge students to carry out the activities through a science inquiry process (Deters, 2005). Moreover, instructors who continuously implement a 5E learning cycle tend to ask higher-order cognitive skill (HOCS) questions more

often than non-5E instructors, who ask recognition and recall questions (Bybee *et al.*, 2006).

Based on the findings of the studies detailed above, the topic of chemical reaction rate or chemical kinetics can be said to play an important role in learning subsequent related chemistry topics but students in many countries (both secondary and undergraduate students) tend to have alternative conceptions (Kolomuç and Çalik, 2012). Inquiry-based experiments or activities are proven to be effective means to help students overcome their alternative conceptions and change to more correct conceptions (Chairam *et al.*, 2009; Van Driel, 2002).

Analogies in chemistry learning

Based on the assumption of Sarantopoulos and Tsaparis (2004), an analogy is a system of relations (correspondences) between parts of the structure of two domains: the analogue and the target. The analogue domain, also called the source or base domain, is a domain that exists in memory, from which the analogy is drawn. The target domain contains the scientific concept, the learning objective of the analogy. An analogy involves the transfer of relational information from the analogue to the target, which consists of finding the correspondences between the two systems.

Previous research studies suggested some instructional models for teaching with analogies. The FAR (Focus, Action, and Reflection) guide is one of the most common models used in analogy learning in science (Harrison and Treagust, 2006; Harrison and Coll, 2007). This model was proposed to maximize the benefits and minimize the problems encountered in analogy instruction (Venille, 2008). In the *Focus* phase, the scientific (target) concept and student familiarity with the analogue are considered. This can guide pre-lesson planning by focusing attention on issues of concept complexity, prior student knowledge, and experience with the analogy. In the *Action* phase, students experience the analogical model and identify the similarities and dissimilarities (or differences) of the analogue and the target concept. Various methods can be used to help the students identify similarities and differences between the analogue and target concept. The *Reflection* phase takes place after the presentation of the analogy in this phase the instructor reflects upon the clarity and usefulness, and conclusions drawn from the analogue. This phase prompts the teacher to consider the clarity and usefulness of the analogy and to re-focus on the previous phases as necessary (Venille, 2008; Davis, 2013). The three typical phases in the FAR guide model for teaching with analogies are illustrated in Table 1 (Venille, 2008; Davis, 2013).

In previous decades many outstanding studies have been carried out on analogy learning in chemistry. For example, Çalik and Ayas (2005) devised an analogy learning activity based on students' alternative conceptions about solution chemistry from their previous study to address students' alternative conceptions of solution chemistry. They found that this alternative teaching method was generally successful, however, its applicability has not been investigated. They finally suggested that analogies can effectively make intangible concepts tangible for students when the used analogies support students to clearly connect between the analogue and target concepts. Çalik further investigated the

Table 1 The three phases in the FAR guide model (Venille, 2008; Davis, 2013)

Focus phase	Pre-lesson planning
Concept	Is the concept difficult or abstract? What is difficult about the concept?
Students	What ideas do students currently have about the concept?
Experience	What familiar experiences do students have that I can use?
Action phase	In-lesson action
Similarities	Cue the student memory of the analogy Discuss ways in which the analogue is like the target Are there surface features or deep relations?
Differences	Discuss ways in which the analogue is unlike the target
Summary	Conclude by summarising the outcomes of using the analogy
Reflection phase	Post-lesson reflection
Conclusions	Was the analogy clear and useful, or confusing?
Improvements	What changes are needed for the following lesson? What changes are needed the next time I use this analogy?

effectiveness of an analogy activity in improving students' conceptual change of solution chemistry concepts with his colleagues (Çalik *et al.*, 2009a). They used 'travel on a public bus' as the analogy activity. They found that most of the students' pre-test responses were in the No Understanding (NU) category. Some of the students' alternative conceptions were about using incorrect scientific terms (*i.e.*, use of the words 'less saturated' or 'diluted' instead of 'unsaturated', and 'concentrated' instead of 'saturated') and difficulty in differentiating the terms (*i.e.*, the terms 'melting' and 'dissolving'). However, the majority of their post-test and delayed post-test responses moved to the more understanding categories, Partial Understanding with Specific Alternative Conception (PU + AU), Partial Understanding (PU), and Sound Understanding (SU). They then suggested that in such analogy learning activities if student self-assessment is to be used, the intervention time should be planned carefully.

Orgill and Bodner (2004) reported that analogies can be powerful teaching tools because they can make new material intelligible to students. Many students enjoy, pay particular attention to, and remember the analogies that their instructors provide. Although some analogies are not as effective as others, these analogies do help students to understand, visualize, and recall what they have learned in class. This is consistent with the findings of Harrison and Coll (2007), who reported that analogies are often used in science to engage student interest and to explain difficult and abstract ideas. While some analogies effectively clarify difficult concepts, many are inadequate or can cause further confusion. Eskandar *et al.* (2013) also suggested that teaching chemistry with textual elaborated analogies can also enhance students' logical thinking ability. However, they reported that although all the students stated that they were familiar with analogy concepts in science textbooks, it is likely that some were less familiar than others.

Çalik *et al.* (2009a) reviewed previous studies on teaching chemistry with analogies and concluded that teaching using multiple analogies is better than teaching using a single analogy.

They also suggested some key features for effective analogy instruction: (1) ensuring the analogy is familiar to the students, (2) mapping as many shared attributes as possible, and (3) identifying where the analogy breaks down.

The previous studies suggested that learning chemistry by using familiar analogies is usually effective at promoting student conceptual changes (Çalik *et al.*, 2010). Analogies allow students to understand even intangible chemistry concepts since they aid students to relate between the analogue and target concepts (Çalik and Ayas, 2005).

Inquiry learning activities are effective demonstrations of tangible chemistry (*i.e.*, macroscopic) concepts, and the analogies make it possible for students to understand intangible chemistry (*i.e.*, molecular or sub-microscopic) concepts. Therefore, the combination of inquiry and analogy learning approaches could enhance students' understanding of both tangible and intangible chemistry concepts.

Research questions

The main purpose of this study was to develop inquiry activities that incorporate analogies and to use these activities as a means

of enhancing and retaining students' conceptual understanding of chemical reaction rate. When the activities were implemented, the following questions were posed:

1. How does the implementation of inquiry activities that incorporate analogies enhance and retain students' conceptual understanding of chemical reaction rate?

2. How do the percentages of students having good conceptions, alternative conceptions, or misconceptions of chemical reaction rate change after they complete inquiry activities that incorporate analogies?

Research methodology

The details of the methodology for this study are as follows.

Treatment tools

The treatment tools consisted of seven learning plans (totalling 15 hours) of inquiry combined with analogy learning activities for instruction, as shown in Table 2, while an example of the FAR guide model for the topic of "effect of a catalyst or a retarder on chemical reaction rate" is illustrated in Table 3.

Table 2 Key activities of the inquiry incorporated with analogy learning activities

Learning plans (hours)	Key activities (E = experiment, A = analogy)
1. Definition and calculation of reaction rate (3)	- A: running various distances within a limited time.
2. Theories of reaction rate (2)	- A: blowing a clay ball up various slopes.
3. Effect of nature of substances on reaction rate (2)	- E: reactions of various shells (egg, crab, or mollusc) with various acids.
4. Effect of surface area on reaction rate (2)	- A: sailing paper boats of various thickness.
	- E: reactions of acid and various-sized shells.
5. Effect of concentration on reaction rate (2)	- A: dissolving table and crystalline sugars in water.
	- E: reactions of various-concentrations of acids and a specific shell (egg, crab, or mollusc).
6. Effect of catalyst and retarder on reaction rate (2)	- Analogy: increasing number of identical images in the image matching game.
	- E: effects of manganese sulfate (MnSO_4) and sodium fluoride (NaF) on the reaction of oxalic acid ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) and sulfuric acid (H_2SO_4).
	- A: blowing a clay ball up various slopes.
7. Effect of temperature on reaction rate (2)	- E: reactions of acid and a specific shell at various temperatures.
	- A: cooking popcorn at various temperatures.

Table 3 Example of the FAR guide model for the effect of a catalyst and a retarder

Focus phase	Pre-lesson planning
Concept	- How a catalyst and retarder affect the chemical reaction rate is difficult to understand.
Students	- Already understand that a catalyzed reaction occurs faster or a non-catalyzed reaction occurs slower than a normal reaction, but do not understand the mechanism of how a catalyst or a retarder affect the rate.
Experience	- Riding a bicycle, riding a motorcycle, driving a car uphill, and walking up stairs.
Action phase	In-lesson action
Similarities	- Slope of hill and amount of activation energy (E_a).
	- Time for riding and reaction time.
	- Power used for riding and reaction energy.
Differences	- Slope of hill may remain the same but the amount of activation energy (E_a) can be decreased or increased.
	- Riding, driving, or walking to the top is a physical change (no product), but a reaction is a chemical change (product generated).
	- People who are biking and walking uphill may feel tired, but reactants do not have feelings.
Reflection phase	Post-lesson reflection
Conclusions	- Riding a motorcycle and driving a car uphill do not involve feeling tired (clear analogies).
Improvements	- Riding a bicycle uphill and walking up stairs are tiring and this should not be taken into account in these analogies.
	- More explanation about decreasing or increasing of E_a caused by a catalyst or a retarder.

In each learning plan, the intervention process of the 5E inquiry cycle incorporated an analogy with FAR guide learning as shown below:

- (1) Students were presented with a scientific question regarding chemical reaction rates.
- (2) Students explored evidence (or data) to answer the question by planning and carrying out a corresponding experiment.
- (3) Students came up with an explanation from collected evidence (or data) to answer the question.
- (4) Students elaborated their understanding through a corresponding analogy by identifying similarities and differences between the given analogue and the target, following FAR guide analogy instruction (Harrison and Coll, 2007).
- (5) Students were asked to generate their own analogy and then identify the similarities and differences between their analogues with the targets to evaluate their conceptual understanding.

Data collecting tool

The data collecting tool was a conceptual test on chemical reaction rates and consisted of 30 two-tier three-choice questions. The two-tier multiple choice questions were developed specifically for the purpose of identifying students' alternative conceptions about various concepts in limited and clearly defined content areas (Chandrasegaran *et al.*, 2007). The items were content-validated by two senior lecturers of chemistry and one professor of chemical education. Each question comprised two tiers and the students were required to make their choice of answer for the content question in the first tier, and then select the explanation or reason for that choice in the second tier (22 items out of 30 items or 73.33%). Examples of the conceptual test questions are shown in Fig. 1. For some questions, students were asked to supply calculation methods for the response that they had selected instead of selecting the explanation choice (8 items out of 30 items or 26.67%), see also Fig. 2 (Treagust, 1988).

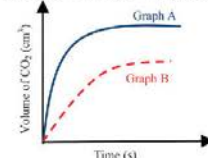
The difficulty index (P), discrimination index (r), and reliability were calculated by using the *Simple Item Analysis* or *SIA* software, which is generally used in many schools in Thailand. The difficulty index (P) for each item was in the range of 0.20–0.80, in which the percentages of items with P in the ranges of 0.20–0.39, 0.40–0.59, and 0.60–0.80 were 20.00, 70.00, and 10.00, respectively. The discrimination index (r) for each item was in the range of 0.27–1.00, in which the percentages of items with r in the ranges of 0.20–0.39, 0.40–0.59, 0.60–0.79, and 0.80–1.00 were 6.67, 36.67, 46.67, and 10.00, respectively. In addition, the reliability based on the Kuder–Richardson formula 20 or KR_{20} for the entire test was 0.85.

Note that all of the research tools including the treatment tools (lesson plans) and data collecting tools (conceptual tests, analogies, and interview) were in Thai. The class was taught in Thai and all the examples included in this article involved translation into English.

Participants

With prior permission from the school principal and the instructor of the chemistry course taught during the second semester of academic year 2013, 44 students out of 61 voluntary

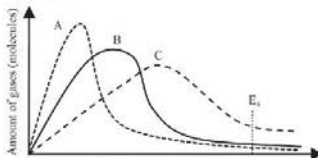
Question 1: Consider the reaction between hydrochloric acid and egg shell.
 $\text{CaCO}_3(\text{s}) + 2\text{HCl}(\text{aq}) \rightarrow \text{CaCl}_2(\text{aq}) + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$



1.1 Which change will provide the result shown as Graph B?
 A. Increasing the volume of HCl solution.
 B. Increasing the amount of egg shell.
 C. Increasing the size of egg shell fragments.

1.2 Because
 D. It increases the activation energy (E_a).
 E. It reduces the interface area between the two reactants.
 F. It makes the reaction reach its equilibrium faster.

Question 2: Graphs A, B, and C shown below indicate the changes in kinetic energy of gas molecules.



2.1 Which change will occur with Graph B when the reaction temperature increases?
 A. Graph B remains the same.
 B. Graph B shifts to Graph A.
 C. Graph B shifts to Graph C.

2.2 Because
 D. The number of high kinetic energy molecules will increase.
 E. The reaction activation energy (E_a) will decrease.
 F. Bonding energy of the reactants will decrease.

Fig. 1 Examples of two-tier three choice questions (selecting choices of answer for both content question and explanation tiers).

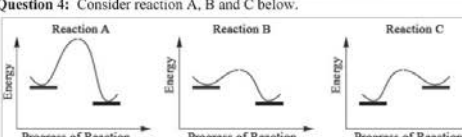
Question 3: Consider the reaction of magnesium ribbon and sulphuric acid.
 $\text{Mg}(\text{s}) + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq}) \rightarrow \text{MgSO}_4(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$
 The volume of $\text{H}_2(\text{g})$ measured from the initial to 5.00 cm^3 is shown below.

Volume (cm^3) of $\text{H}_2(\text{g})$	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
Time (s)	4.00	6.00	9.00	14.00	20.00

3.1 What is the average rate of $\text{H}_2(\text{g})$ production?
 A. 0.17 cm^3/s . B. 0.25 cm^3/s . C. 0.50 cm^3/s .

3.2 Please supply your calculation method

Question 4: Consider reaction A, B and C below.



4.1 Which statement is correct?
 A. Reaction A occurs faster than reaction B and C.
 B. Reaction B and C occur faster than reaction A.
 C. Reaction A, B and C occur with the same rate.

4.2 Please supply your reason or explanation for your response above.

Fig. 2 Examples of two-tier three choice questions (selecting choices of answer for content question tier and supply calculation method or reason for explanation tier).

students (two classrooms) who attended all of the activities throughout the study were purposively selected as the participants of this study. They were grade 11 students attending the Chiangkaew Pittayakom School, a medium-sized public high school in the Ubon Ratchathani province of Thailand.

Implementation

Prior to the implementation, the students spent an hour completing the pre-conceptual test on chemical reaction rates, also called the pre-test. They then participated in seven inquiry/analogy learning plans on chemical reaction rate for five weeks, three hours a week, totalling 15 hours. Right after the implementation, they spent an hour to completing the post-conceptual test, also called the post-test. Thirty days after the implementation, they spent another hour completing the delayed-post conceptual test, also called the retention-test. Please note that the pre-, post-, and retention-tests were the same test but the item questions and choices had been rearranged. In addition, these students were studying the topic of chemical equilibrium during the time between the post- and retention-tests. Finally, participants who provided interesting explanations in the good-, alternative-, and misconception were purposively selected for an informal interview.

Data analysis

The data collected in this study were pre-, post-, and retention-conceptual scores. Each two-tier three-choice item was worth 2 points (1 point for each tier). Therefore, the available score for each test was 60 points. The test scores were also analyzed by using the paired-samples *t*-test to identify the differences between the means of pre- and post-conceptual test scores and between the means of post- and retention conceptual test scores. Class normalized learning gain or (*g*) was applied to minimize the floor and ceiling effect. That is a student can get no less than 0% and no more than 100% correct with such an instrument. Hake (1998) explained that a student who gains a small pre-test score may have more chance of attaining a large percentage gain, while a student who begins with a large pre-test score may gain only a small percentage score. In other words, it is common for students who attain a higher pre-test score to attain a smaller absolute gain (post-test score minus pre-test score). The floor and ceiling effect can be minimized by using normalized gain (*g*) analysis. The topics with $\langle g \rangle \leq 0.30$, $0.30 < \langle g \rangle < 0.70$, and $\langle g \rangle \geq 0.70$ were classified into low-, medium-, and high gain categories, respectively (Hake, 1998).

The students were also categorized into good- (sound understanding, aligned to scientific consensus), alternative- (partial understanding, on the right track, but incomplete), and misconception (illogical or incorrect information, simply wrong) groups according to their answers, see categories of student conceptions in Fig. 3 (Mulford and Robinson, 2002; Çalik *et al.*, 2009a). Student answers were used as the criteria for categorizing them into groups. If the student answered correctly for both tiers, correctly for either the first or the second tier, or incorrectly for both tiers, they were categorized in the good-, alternative-, or misconception group, respectively.

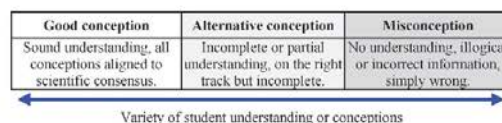


Fig. 3 Levels of student conceptions compared to scientific consensus, adapted from Çalik *et al.* (2009a) and Mulford and Robinson (2002).

Results and discussion

The study results were divided into three parts: students' pre-, post-, retention-conceptual test scores, percentages of students in the good-, alternative-, and misconception categories, and students' analogies of chemical reaction rate.

Students' pre-, post-, retention-conceptual test scores

Prior to the implementation of inquiry incorporated with analogy learning plans on chemical reaction rate, the mean of the students' pre-conceptual test score was 19.70 (SD 3.10), as shown in Table 2. The students obtained high scores for the topics of the effect of catalyst and retarder (50.25%) and the effect of concentration (43.12%), while they obtained low scores for the topics of the effect of the nature of the substance (22.75%) and the surface area (26.75%), definition and calculation (23.60%) and the theories of chemical reaction rate (23.57%). The higher scores may have arisen because these students had learned about the effects of catalysts, concentration, and temperature during the basic chemistry course taught in the previous year. Right after the implementation, the mean of the students' post-conceptual test score was 45.32 (SD 6.46). The students obtained the highest post-test percentage scores and actual gains for the topics of definition and calculation (84.50 and 60.90) and the nature of substances (79.50 and 56.75). These high actual gains may have occurred because this topic is not complicated and once the students had understood the concepts and theories, they were able to calculate the chemical reaction rate. Moreover, the analogies that the instructor used in these topics (running various distances within a limited time and sailing paper boats of various thickness) were perfectly matched to the target concepts (see Table 4). The lowest post-test percentage score was in the topic of the effect of surface area (68.50%) possibly because some students found the relation between size and surface area to be confusing. The student interviews revealed that some of them had misunderstood that an object or substance with a larger size has a larger surface area, which was correct when compared one smaller object to one larger object. However, they did not notice that the amount (weight or mole) of substances must be considered. Therefore, smaller sized substances have a larger total surface area than larger sized substances when the mole numbers were equivalent. In other words, the total surface area of equal amounts of substances increases as the size is reduced (Normand and Peleg, 2014).

The normalized learning gain for the whole conceptual test was 0.64 (medium gain). The students were classified as high gain for the topics of definition and calculation of chemical

Table 4 Students' pre- and post-conceptual test scores on chemical reaction rate

Topics (score)	Conceptual test score (points)							
	Pre-			Post-			Gain	
	Mean	SD	%	Mean	SD	%	Actual	(g)
1. Definition and calculation (10)	2.36	0.89	23.60	8.45	1.25	84.50	60.90	0.80
2. Theories (14)	3.30	1.34	23.57	9.93	2.04	70.93	47.36	0.62
3. Nature of substances (4)	0.91	0.96	22.75	3.18	0.66	79.50	56.75	0.73
4. Surface area (8)	2.14	0.95	26.75	5.48	1.41	68.50	41.75	0.57
5. Concentration (8)	3.45	0.82	43.12	6.57	1.56	82.21	39.09	0.69
6. Catalyst and retarder (8)	4.02	1.75	50.25	5.66	1.60	70.75	20.50	0.41
7. Temperature (8)	3.52	1.21	44.00	6.05	1.89	75.62	31.62	0.56
Total (60)	19.70	3.10	32.83	45.32	6.46	75.53	42.68	0.64

reaction rate (0.80) and the effect of the nature of substances (0.73), while the remaining topics were classified as medium gain. The students obtained the lowest normalized gain (0.41) for the topic of the effect of catalyst and retarder, possibly because this topic is complicated and abstract and they could not understand how the mechanism of a catalyst and retarder affect the reaction rate. It was concluded from the student interviews that some of them had misunderstood that a catalyst increases the energy of reactants, while a retarder decreases the energy so the catalyzed reaction proceeds at a faster rate than a normal reaction. Some misunderstood that catalysts and retarders affect the amount of exothermic or endothermic energy of the reaction. Some of them supplied the correct explanation that the catalyzed reaction proceeds at a faster rate than a normal reaction because the catalyst decreases the activation energy (E_a) of the reaction. This is consistent with the problems in learning about chemical reaction rates identified by Çalik *et al.* (2010) who identified that students lack an understanding of the effect of surface area and catalyst on the rate of reaction. In addition, the dependent samples *t*-test analysis indicated that the means of the post-conceptual test scores in every topic were statistically higher than those of the pre-test scores at the significance level of 0.05. This finding indicates that the incorporation of a combined inquiry and analogy learning approach was effective at enhancing students' conceptions of chemical reaction rate. This finding confirm that intervention of inquiry activities (Van Driel, 2002; Chairam *et al.*, 2009) and corresponding and familiar analogies

(Çalik and Ayas, 2005; Çalik, *et al.*, 2010) are powerful for promoting student conceptual changes and moving to the more correct conceptions of reaction rate.

Students' retention of the concept of chemical reaction rate

Thirty days after the implementation, the retention-conceptual test was administered. The mean total score of the retention-conceptual test was 48.03 (SD 9.04). The dependent samples *t*-test analysis indicated that the retention scores in the topics of the effects of surface area, concentration, and temperature were statistically higher than those for the post-conceptual scores at the significance level of 0.05. However, no statistical difference was found for the topics of effect of the nature of substances and catalysts and retarders, definition and calculation, and theories involving chemical reaction rate, as shown in Table 5.

Since the retention scores were higher than or not less than the post-test scores, the findings indicate that there was retention of knowledge of all the topics of chemical reaction rate. The high increase of performance in the retention test compared to the post-test may have arisen because analogy instruction may be one of the effective tools for promoting student conceptual changes and then storing in their long-term memories (Çalik *et al.*, 2010). The other explanation is that during the time between the post- and retention-tests the participants were studying the topic of chemical equilibrium, which is highly related to the chemical reaction rate. In addition, the participants also had access to additional instruction and did additional homework before the retention test.

Table 5 Students' post- and retention-test scores on chemical reaction rate

Topics (score)	Post-test			Retention-test			T-test	
	Mean	SD	%	Mean	SD	%	T	Sig*
1. Definition and calculation (10)	8.45	1.25	84.50	8.55	1.27	85.50	0.46	0.65
2. Theories (14)	9.93	2.04	70.93	10.68	2.92	76.29	1.96	0.06
3. Nature of substances (4)	3.18	0.66	79.50	3.34	0.83	83.50	1.16	0.25
4. Surface area (8)	5.48	1.41	68.50	6.09	1.52	76.12	2.47	0.02*
5. Concentration (8)	6.57	1.56	82.21	7.07	1.44	88.38	2.33	0.02*
6. Catalyst and retarder (8)	5.66	1.60	70.75	6.02	2.02	75.25	1.11	0.27
7. Temperature (8)	6.05	1.89	75.62	6.55	1.58	81.88	2.67	0.01*
Total (60)	45.32	6.46	75.53	48.03	9.04	80.05	2.07	0.04*

* Statistically difference at significance level of 0.05.

Table 6 Students in good-, alternative-, and misconception categories

Topics (number of items)	Pre-test categories (%)			Post-test categories (%)		
	Good-	Alternative-	Mis-	Good-	Alternative-	Mis-
1. Definition and calculation (10)	9.66	32.96	57.39	81.44	9.84	8.71
2. Theories (14)	10.06	26.95	62.99	54.87	31.49	13.64
3. Nature of substances (4)	20.45	4.55	75.00	60.23	37.50	2.27
4. Surface area (8)	1.14	51.70	47.16	56.25	24.43	19.32
5. Concentration (8)	18.75	48.86	32.39	69.89	23.86	6.25
6. Catalyst and retarder (8)	22.73	55.68	21.59	54.55	27.27	18.18
7. Temperature (8)	17.05	53.98	28.98	59.09	32.95	7.95
Total (30)	13.69	38.45	47.86	64.72	24.65	10.63

Percentages of students in the good-, alternative-, and misconception categories

Prior to the implementation of inquiry incorporated with analogy learning plans on chemical reaction rate, the percentages of students in the good-, alternative-, and misconception categories of the pre-conceptual test were 13.69, 38.45, and 47.86, respectively (Table 6). They were mostly in the alternative- and misconceptions (86.31). Most of the students were in the misconception category for the topics of the effect of the nature of substances (75.00), theories (62.99), and definition and calculation (57.39).

Right after the implementation, the percentages of students in these categories were 64.72, 24.65, and 10.63, respectively. Most students (more than 50%) were in the categories of good-conception for all of the topics. The highest percentage of students with good conceptions was in the topic of definition and calculation (81.44). However, some students (35.28%) were still classified in the alternative- and good-conceptions, especially in the topics of the effect of catalyst and retarder (45.45%), the theories of chemical reaction rate (45.13%), and the effect of surface area (43.75%). Since the percentages of students in the good conception category increased and the percentages in the alternative- and misconception categories decreased, it appears that this implementation was successful in enhancing students' conceptual understanding of chemical reaction rate.

Since the corresponding inquiry learning activities deeply engaged and challenged students in all of the steps of the activity process, their conceptual understanding was enhanced (Green *et al.*, 2004). Therefore, the instructors were no longer the main source of knowledge about activities, but were the facilitators who guided their students through the inquiry process (Deters, 2005). In addition, the analogy activities were often enjoyable and interesting for students as some students commented that they favour analogies with social relevance (Sarantopoulos and Tsaparlis, 2004) and familiar analogies from science textbooks (Eskandar *et al.*, 2013). Analogies can engage students' interest and make it possible for them to understand difficult and intangible concepts (Harrison and Coll, 2007).

Students' analogies of chemical reaction rate

Students analogies generated during each topic of chemical reaction rate were also investigated, as shown in Table 7. These analogies contain student conceptions which may be correct (good-conceptions), partially correct but incomplete

(alternative-conceptions), or simply wrong (misconception) when compared to scientific consensus about the concepts (Mulford and Robinson, 2002). However, even partially correct analogies can be powerful tools to help students to understand, visualize, and recall what they have learned in class (Orgill and Bodner, 2004).

Since there might not have been analogies which perfectly matched the target concepts, the information expressed in the generated analogies may not have been powerful enough to really identify their conceptions. However, the authors attempted to categorize their conceptions into correct (✓), partially correct or alternative- (✓/✗), or misconception (✗) to promote group discussion to be more powerful at promoting student conceptual changes (Çalik *et al.*, 2010; Davis, 2013). Examples of student identification of similarities and differences in their generated analogies are shown in Table 8.

For example, some students gave a correct analogy (✓) about boiling small and large sized starch bubbles for the effect of surface area on chemical reaction. One of the similarities of the target and analogue is that small sized and large sized starch bubbles represent large and small surface areas, respectively. Some students gave a partially correct analogy (✓/✗), which is dissolving a curry cube and powder in water. One of the differences in this case is that sugar dissolving in water is not a chemical change, but a physical change. In another example, some students gave a correct analogy (✓) about making fire balls with different amounts of gunpowder for the effect of concentration on chemical reaction. One of the similarities of the target and analogue is that the amount of gunpowder represents the concentration of gunpowder in the fire ball mixture. Some students gave a partially correct analogy (✓/✗), which is fishing for catfish in natural and farm ponds. One of the differences in this case is that it cannot be confirmed that the amount of catfish in the farm-pond is equal to the amount in the natural-pond.

Conclusion, implications and limitations

Despite the limitations of this study that involved students from a single school, this study verified that the implementation of inquiry supported by analogy learning activities was an effective means of enhancing and retaining students' conceptual understanding of chemical reaction rate. The normalized learning gain

Table 7 Examples of analogies of reaction rate generated by students^a

Topics	Students' analogies (analogue = A, target concept = T)
1. Definition and calculation	1. Driving a car at different speeds, but an equal distance. 2. Peeling palm fruits at different speeds, but equal time. 3. Marathon runners running at different speeds, but over an equal distance. ✓ A: speed of driving, peeling, or running, T: reaction rate ✓ A: driving, peeling, or running time, T: reaction time
2. Theories	1. Driving a car uphill. 2. Riding a bicycle uphill. ✓ A: slope of hill, T: amount of activation energy (E_a) ✗ A: time for driving or riding uphill, T: reaction time 3. Riding a surfboard over different heights of waves. ✓ A: heights of waves, T: amount of activation energy (E_a) ✗ A: time for driving or riding uphill, T: reaction time (partly about staying or standing still on a surfboard)
3. Nature of substances	1. Drying hair with a fan and an electronic dryer. ✓ A: a fan and an electronic dryer, T: nature of reactants ✓ A: time for hair drying, T: reaction time 2. Riding a motorcycle and biking a bicycle. ✓ A: motorcycle and biking a bicycle, T: nature of reactants ✓ A: time for riding or biking to stop point, T: reaction time 3. Running with running shoes and slippers. ✓ A: running shoes and slippers, T: nature of reactants ✓ A: time used for running to stop point, T: reaction time
4. Surface area	1. Baking small and large sized cupcakes. ✓ A: large and small cupcakes, T: small and large surface area ✓ A: raw and baked cupcake, T: reactants and products ✓ A: cooking time, T: reaction time 2. Dissolving curry cube and powder in water. ✓ A: curry cube and powder, T: small and large surface area ✗ A: curry solution (physical change), T: reaction product ✓ A: dissolving time, T: reaction time 3. Boiling small and large sizes of starch bubbles. ✓ A: large and small bubbles, T: small and large surface area ✓ A: boiling time, T: reaction time ✓ A: cooked starch bubbles, T: reaction product
5. Concentration	1. Making fire balls with different amount of gunpowder. ✓ A: amount of gunpowder, T: concentration of reactant ✗ A: power of fire balls, T: reaction rate 2. Fishing catfish in the natural and farm ponds. ✓ A: amount of catfish, T: concentration of reactant ✗ A: natural and farm ponds, T: high and low concentrations (partly about nature of substances) 3. Feeding a bird and a flock of birds with same amount of rice. ✓ A: amount of birds, T: concentration of reactant ✓ A: time used for bird-feeding, T: reaction time
6. Catalyst and retarder	1. Riding geared and non-geared bicycles over the same distance. ✓/✗ A: geared and non-geared bicycles, T: catalysed and non-catalysed reactions (partly about nature of substance) ✓ A: time for riding bike to stop point, T: reaction time 2. Driving a car on paved and unpaved roads. ✓/✗ A: paved and unpaved roads, T: catalysed and non-catalysed reactions (partly about nature of substance) ✓ A: time for driving to stop point, T: reaction time 3. Walking home with and without a shortcut. ✓ A: shortcut route, T: catalysed reaction ✓ A: time used for walking, T: reaction time
7. Temperature	1. Cooking rice at high and low temperatures. 2. Boiling eggs at high and low temperatures. 3. Baking rice popcorn at high and low temperatures. ✓ A: temperature used for cooking rice, boiling eggs, or baking rice popcorn, T: reaction temperature ✓ A: cooking, boiling, or baking time, T: reaction time ✓ A: cooked rice, eggs, or rice popcorn, T: reaction product

^a Note: ✓, ✓/✗, and ✗ indicate the analogies that are correct, partially correct but incomplete, and simply wrong, respectively, when compared to the targets.

Table 8 Examples of student identification of similarities and differences in their generated analogies

Analogy	Analogue	Target
1. Definition of reaction rate: driving a car at different speeds, but over an equal distance.		
Similarities	- Speed of driving - Driving time	- Reaction rate - Reaction time
Differences	- Physical change (no product) - People may feel tired	- Chemical change (product generated) - Reactants have no feelings
2. Theories of reaction rate: riding a bicycle uphill.		
Similarities	- Slope of hill - Time for riding - Power used for riding	- Amount of E_a - Reaction time - Reaction energy
Differences	- Slope of a hill remains the same - Physical change - People may feel tired	- Amount of E_a can be decreased or increased - Chemical change - Reactants have no feelings
3. Nature of substances: riding a motorcycle and riding a bicycle.		
Similarities	- A motorcycle and a bicycle - Time for riding	- Nature of reactants - Reaction time
Differences	- Physical change - Fuel (chemical) for riding and energy for biking	- Chemical change - Reaction energy
4. Boiling small and large sized starch bubbles.		
Similarities	- Large bubbles - Boiling time - Cooked starch bubbles	- Small surface areas - Reaction time - Reaction products
Differences	- Sticky cooked bubbles often stick together - Eatable food	- Reaction products may not stick together - Uneatable
5. Effect of concentration: making fire balls with different amounts of gunpowder.		
Similarities	- Amount of gunpowder - Power of fire balls	- Concentration of reactant - Reaction rate
Differences	- Increasing gunpowder may not increase the power of the fire balls (improper mixing ingredients) - Fire ball explosion is an exothermic process	- Increasing the concentration always increases the rate - A reaction may be an exothermic or an endothermic process
6. Effect of catalyst and retarder: driving a car on paved and unpaved roads.		
Similarities	- Paved and unpaved - Time for driving	- Catalysed and non-catalysed - Reaction time
Differences	- Slope of road is not considered - Physical change (no product) - Unreliable of paved and unpaved roads in rural districts	- Amount of E_a involved - Chemical change - Catalyzed-always faster than non-catalyzed reactions
7. Effect of temperature: boiling eggs at high and low temperatures.		
Similarities	- Temperature for boiling - Boiling time - Cooked eggs - Different types of eggs	- Reaction temperature - Reaction time - Reaction product - Different reactants
Differences	- Boiling eggs is an endothermic process, and the evaporation of water is an exothermic process	- A reaction may be an exothermic or an endothermic process

from pre- to post-conceptual tests showed a medium gain in understanding. The dependent samples *t*-test analysis indicated that the post-conceptual test score was statistically higher than the pre-test score, but was statistically lower than the retention test score at the significance level of 0.05. Prior to the implementation, students were mostly in the alternative- and misconception categories. After the implementation of the corresponding inquiry incorporated with analogy learning activities, the majority of the students moved to the good-conception categories. However, some students still held alternative- and misconceptions, which were expressed when they were asked to create their own analogy and to identify similarities and differences between their analogies and the targets for each chemical reaction rate topic.

This study may have implications for chemistry instructors, because inquiry activities may be an effective means of enhancing and retaining students' conceptual understanding, but may not be effective for helping them recognize their alternative- or misconceptions. The implementation of inquiry activities in conjunction with the corresponding analogies may be a more effective means of helping learners correct their alternative conceptions. It is advisable that instructors should design tasks or assignments to find out their students' understanding of reaction rate (Cunningham, 2007) and various cooperative learning methods (classroom discussion, argumentation, or negotiation) can enable better understanding of the concepts of reaction rate and improve students' motivation to study chemistry (Venille, 2008; Kirka and Bozb, 2012). These learning methods

could truly enhance and retain students' understanding of reaction rate. The instructors should keep in mind that while many analogies are useful and do convey useful information, the message of the analogies is not always obvious to all students. They may misinterpret the main points of the analogies which can lead students to have alternative conceptions (Orgill and Bodner, 2004). Therefore, instructors have to be assured that the students understand the scientific concepts, and do not develop alternative conceptions from the analogy (Venville, 2008). Analogy instruction can inform teachers how analogies can be used effectively in classrooms. It is advisable that providing teachers opportunities to practice and experience teaching with analogies will enhance the successful enhancement of students' conceptual understanding in their classes (Harrison and Coll, 2007; Venville, 2008).

The retention test score obtained in this study was higher than the post-test score. This limitation arose because after the implementation and post-conceptual test on chemical reaction rate, the participants had access to additional instruction and did additional homework before the retention test. In addition, they were studying the topic of chemical equilibrium which relates to the topic of chemical reaction rate, before the retention test. To avoid this limitation, the retention test should be completed before the participants begin to study the next topics which may relate to the topic being studied. The other limitation is that the instructor did not spend enough time organising a group discussion between the students having similar and different conceptions. Instructors should enable students to recognise when they have unacceptable conceptions and should help them to correct their understanding (Chandrasegaran *et al.*, 2007).

Acknowledgements

This study was part of the TRG5680024 project entitled "Development of Inquiry Chemistry Experiments in conjunction with Molecular Animations (ICEMA) to Promote High School Students' Conceptual Understanding and Conceptual Change at the Molecular Level", co-funded by the Thailand Research Fund (TRF) and Ubon Ratchathani University (UBU). The authors thank Loretta Jones of the University of Northern Colorado for assistance with English editing and a detailed review of the manuscript. The authors thank Panida Kanyakarn (class instructor) and her grade 11 students during academic year 2013 at Chiangkaew Pittayakom School for their active participation.

References

- Balci S., Cakiroglu J. and Tekkaya C., (2006). Engagement, exploration, explanation, extension, and evaluation (5E) learning cycle and conceptual change text as learning tools, *Biochem. Mol. Biol. Educ.*, **34**(3), 99–102.
- Bektaşlı O. and Cakmakci G., (2011). Consistency of students' ideas about the concept of rate across different contexts, *Educ. Sci.*, **36**(162), 273–287.
- Bybee R. W., Taylor J. A., Gardner A., Van Scotter P., Powell J. C., Westbrook A. and Landes N., (2006), *The BSCS 5E instructional model: Origins, effectiveness, and applications*, Colorado Springs: BSCS.
- Cakmakci G., (2010). Identifying alternative conceptions of chemical kinetics among secondary school and undergraduate students in Turkey, *J. Chem. Educ.*, **87**(4), 449–455.
- Cakmakci G., Leach J. and Donnelly J., (2006) Students' ideas about reaction rate and its relationship with concentration or pressure, *Int. J. Sci. Educ.*, **28**(15), 1795–1815.
- Çalik M. and Ayas A., (2005), An analogy activity for incorporating students' conceptions of types of solutions, *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, **6**(2), Article 6, 1–13.
- Çalik M., Ayas A. and Coll R. K., (2009a), Investigating the effectiveness of an analogy activity in improving students' conceptual change for solution chemistry concepts, *Int. J. Sci. Math.*, **7**, 651–676.
- Çalik M., Ayas A. and Ebenezer J., (2009b), Analogical reasoning for understanding solution rates: students' conceptual change and chemical explanations, *Research in Science and Technological Education*, **27**(3), 283–308.
- Çalik M., Kolomuc A. and Karagolge Z., (2010), The effect of conceptual change pedagogy on students' conceptions of rate of reaction, *J. Sci. Educ. Technol.*, **19**(5), 422–433.
- Chairam S., Somsook E. and Coll R. E., (2009), Enhancing Thai students' learning of chemical kinetics, *Research in Science and Technological Education*, **27**(1), 95–115.
- Chandrasegaran A. L., Treagust D. F. and Mocerino M., (2007), The development of a two-tier multiple-choice diagnostic instrument for evaluating secondary school students' ability to describe and explain chemical reactions using multiple levels of representation, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **8**(3), 293–307.
- Cunningham K., (2007), Applications of reaction rate, *J. Chem. Educ.*, **84**(3), 430–433.
- Davis J., (2013), Use of the FAR guide to present a pedagogical analogical model of gel electrophoresis in year 10 science, *Teaching Science*, **59**(1), 28–31.
- Deters K. M., (2005), Student opinions regarding inquiry-based labs, *J. Chem. Educ.*, **82**(8), 1178–1180.
- Eskandar F., Bayrami M., Vahedi S. and Ansari V., (2013), The effect of instructional analogies in interaction with logical thinking ability on achievement and attitude toward chemistry, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **14**, 566–575.
- Green W. J., Elliott C. and Cummins R. H., (2004), Prompted inquiry-based learning in the introductory chemistry laboratory, *J. Chem. Educ.*, **81**(2), 239–241.
- Hake R. R., (1998), Interactive engagement vs. traditional methods: a six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses, *Am. J. Phys.*, **61**(1), 64–74.
- Harrison A. G. and Coll R. K., (2007), *Using analogies in middle and secondary science classrooms: The far guide – an interesting way to teach with analogies*, CA: SAGE Publications.
- Harrison A. G. and Treagust D. F., (2006), Teaching and learning with analogies, in Aubusson P., Harrison A. and Ritchie S. M. (ed.), *Metaphor and analogy in science education*, Dordrecht, The Netherlands: Springer, pp. 11–24.

Paper

Chemistry Education Research and Practice

- Justi R., (2003), Teaching and Learning Chemical Kinetics, in Gilbert J. K., De Jong O., Justi R., Treagust D. F. and Van Driel J. H. (ed.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, Netherlands: Springer, pp. 293–315.
- Kırık Ö. and Bozb Y., (2012), Cooperative learning instruction for conceptual change in the concepts of chemical kinetics, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **13**, 221–236.
- Kolomuç A. and Çalik M., (2012), A comparison of chemistry teachers' and grade 11 students' alternative conceptions of 'rate of reaction', *J. Balt. Sci. Educ.*, **11**(4), 333–346.
- Mulford D. R. and Robinson W. R., (2002), An inventory for alternate conceptions among first-semester general chemistry students, *J. Chem. Educ.*, **79**(6), 739–744.
- Normand M. D. and Peleg M., (2014), Surface area increase by size reduction, *the Wolfram Demonstrations Project*, Retrieved Oct 29, 2014 from <http://demonstrations.wolfram.com/>.
- Orgill M. and Bodner G., (2004), What research tells us about using analogies to teach chemistry, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **5**, 15–32.
- Piquette J. S. and Heikkinen H. W., (2005), Strategies reported used by instructors to address student alternate conceptions in chemical equilibrium, *J. Res. Sci. Teach.*, **42**, 1112–1134.
- Sanger M., (2009), How does inquiry-based instruction affect teaching majors' views about teaching and learning science?, *J. Chem. Educ.*, **85**(2), 297–302.
- Sarantopoulos P. and Tsapalis G., (2004), Analogies in chemistry teaching as a means of attainment of cognitive and affective objectives: a longitudinal study in a naturalistic setting, using analogies with a strong social content, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **5**, 33–50.
- Schmitz G., (2005), What is a reaction rate? *J. Chem. Educ.*, **82**(7), 1091–1093.
- Taber K. S., (2002), *Chemical misconceptions – prevention, diagnosis and cure, Theoretical background*, London: Royal Society of Chemistry, vol. 1.
- Treagust D. F., (1988), Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science, *Int. J. Sci. Educ.*, **10**, 159–169.
- Van Driel J. H., (2002), Students' corpuscular conceptions in the context of chemical equilibrium and chemical kinetics, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **3**(2), 201–213.
- Venville G. J., (2008), The Focus-Action-Reflection (FAR) guide-science teaching analogies, in Harrison A. G. and Coll R. K. (ed.), *Using Analogies in Middle and Secondary Science Classrooms*, California: Corwin Press, pp. 22–31.
- Zoller U. and Levy Nahum T., (2012), From teaching to Know to learning to Think in science education, in Fraser B. J., Tobin K. and McRobbie C. J. (ed.), *The Second International Handbook of Science Education*, New York, NY: Springer, pp. 209–229.
- Zoller U. and Tsapalis G., (1997), Higher and lower-order cognitive skills: the case of chemistry, *Res. Sci. Educ.*, **27**(1), 117–130.

Small-Scale Inquiry-Based Experiments to Enhance High School Students' Conceptual Understanding of Electrochemistry

Saksri Supasorn¹⁺, Phetvilay Khattiyavong¹, Purim Jarujamrus¹ and Vinich Promarak²

¹ Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrab, Ubon Ratchathani 34190 Thailand

² School of Chemistry, Institute of Science, Suranaree University of Technology, Muang, Nakhon Ratchasima 30000 Thailand

Abstract. This study aimed to develop small-scale experiments of electrochemistry based on inquiry learning approach and to use the experiments to enhance students' conceptual understanding of electrochemistry especially at the molecular level. The experiments consisted of oxidation and reduction reactions, galvanic cells, cathodic protection, and batteries. The data collecting tools included 24 items of two-tier conceptual test and mental model drawings of a galvanic cell. Thirty-one Grade-12 students participated in the study. The paired samples T-test analysis revealed that the average post-experiment score (mean 30.68, SD 10.86) of conceptual test was statistically higher than the average pre-experiment score (mean 20.81, SD 10.95) at 0.05 level of significance. In addition, the average post-experiment score (mean 12.10, SD 5.49) of mental models was statistically higher than the average pre-experiment score (mean 7.69, SD 5.47) at 0.05 level of significance. Prior to performing the experiments, most students were in the *Partial Understanding with Specific Misunderstanding* (PU+MU) to *No Understanding* (NU) categories. After performing the experiments, the students' major categories moved to the more correct scientific conceptions, the *Partial Understanding* (PU) to *Partial Understanding with Specific Misunderstanding* (PU+MU). This indicated that the experiments can enhance students' conceptual understanding and mental models of electrochemistry.

Keywords: electrochemistry, small-scale experiment, molecular conceptual understanding.

1. Introduction

Almost all high school students are required to study electrochemistry in both lecture and laboratory settings. Many students revealed that electrochemistry is one of the difficult chemistry topics. In addition, some students may hold alternative conceptions – conceptions that are not consistent with the consensus of scientific community, which may be partially right, but incomplete, or just simply wrong [1] – about the electrochemistry. Requiring students to draw and explain molecular representations of the some electrochemistry experiments, such as reaction in galvanic cells may to reveal their understandings and identify some of their alternative conceptions.

1.1. Roles of mental models in learning chemistry

Mental models are representations of objects, ideas, thinking, or processes which individuals intrinsically construct during cognitive functioning [2], [3]. People use these models to reason, describe, explain, and/or predict scientific phenomena (processes or systems). Mental models can be generated in various formats to communicate ideas to other people or to solve problems [2], [3], and can represent either physical entities via verbal descriptions, diagrams, simulations, and concrete models, or conceptual understanding, such as models of ideas, thinking, or intangible concepts [4]. If their mental model fails to assimilate new

⁺ Corresponding author. Tel.: + (668 1854 6288); fax: +(66 45 28 8379).
E-mail address: saksri.supasorn@gmail.com.

experiences, students may modify their existing models or generate alternative models [5]. Mental models are considered as an important part of learners' conceptual frameworks [5] and they play a potential role in learning chemistry at the molecular level, because much of chemistry involved at this level and cannot access to direct perception [6]. Full understanding of chemical processes involves the ability to connect events at a macroscopic level with events at the molecular level [7]. Therefore, students need to transform these invisible events or phenomena into equivalent mental (or conceptual) models or representations which is difficult for many students [8],[9],[10].

1.2. Three levels of representations in chemistry

Representations in chemistry, also called chemical representations, refer to various types of formulas, structures, and symbols used to represent chemical processes and conceptual entities, such molecules and atoms. They can be viewed as metaphors, models, and theoretical constructs of chemists' interpretation of nature and reality [11]. Previous research highlighted three levels of representations in chemistry as follows [7],[12].

1) Macroscopic representation. This describes bulk properties of tangible and visible phenomena in the everyday experiences of learners when observing changes in the properties of matter, such as color changes, formation of gases, and precipitates in chemical reactions.

2) Microscopic Representation. This is also called sub-microscopic or molecular representation, provides explanations at the particulate level in which matter is composed of atoms, molecules and ions.

3) Symbolic Representation. This involves the use of chemical symbols, formulas, and equations, as well as molecular structure drawings, diagrams, and models to symbolize matter. It can provide information for both macroscopic (relative amounts or moles of involved substances) and molecular levels (numbers of formula unit of involved substances).

Students' conceptual understandings of electrochemistry can be investigated by using conceptual test and by drawing mental models of electrochemistry. The information about students' conceptual understanding before and after performing experiments and learning in lecture classes can be used in the design of animations with molecular features to best support students' acquisition in learning electrochemistry especially what happens at the molecular level.

2. Research Purpose and Objectives

The primary purpose of this study was to explore students' conceptual understanding of electrochemistry by using conceptual test and mental model drawings prior to and after performing corresponding experiments. The research objectives were:

1) To compare students' conceptual understanding scores before and after they performed corresponding experiments when assessed by the conceptual test and mental model drawing of electrochemistry.

2) To categorize students' conceptual understanding regarding their explanations in the conceptual test and their mental models of electrochemistry before and after they performed corresponding experiments.

3. Methodology

This one-group pre-test post-test study used a "mixed methods" design [13] that incorporated both qualitative and quantitative methods as its research paradigm.

3.1. Participants

With permission from the course instructors, 31 Grade-12 students in the Gifted in Science classroom at Satsiririket School in Srisaket Province in the first semester of academic year 2014 participated in this study.

3.2. Research tools

Two types of research tools were used in this study, treatment and data collection tools. The treatment tools consisted of four small-scale experiments based on the inquiry learning approach, oxidation and reduction reactions, galvanic cells, cathodic protection, and connecting batteries in series. The two data collecting tools were a conceptual test of electrochemistry containing 24 items of two-tier three-choice test in

which students were required to make their choices of answers in the first tier, and then provide their explanations for those choices, and mental model drawings of galvanic cells in which students were asked to draw their understandings of what happens at a molecular or particulate level in provided galvanic cells ($\text{Zn}|\text{Zn}^{2+}||\text{Cu}|\text{Cu}^{2+}$, $\text{Zn}|\text{Zn}^{2+}||\text{Ni}|\text{Ni}^{2+}$, or $\text{Ni}|\text{Ni}^{2+}||\text{Cu}|\text{Cu}^{2+}$) as shown in Fig. 1.

3.3. Implementation

The participants were requested to complete conceptual test of electrochemistry and mental model drawings of galvanic cells before participating in (four small-scale experiments of electrochemistry over a period of nine hours (three hours a week). After this period, they were asked to complete a conceptual test of electrochemistry and mental model drawings again.

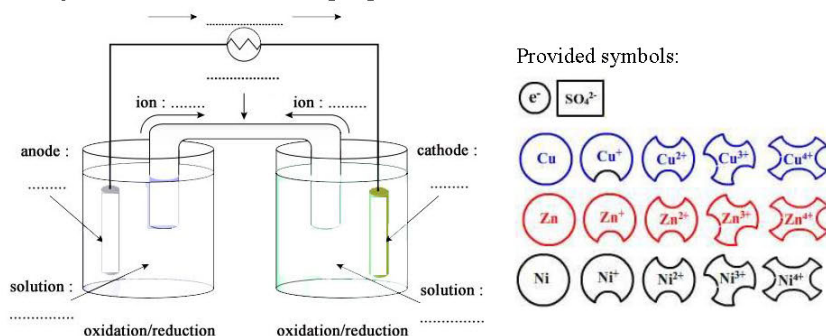


Fig. 1: Mental model drawing for a given galvanic cell ($\text{Zn}|\text{Zn}^{2+}||\text{Cu}|\text{Cu}^{2+}$, $\text{Zn}|\text{Zn}^{2+}||\text{Ni}|\text{Ni}^{2+}$, or $\text{Ni}|\text{Ni}^{2+}||\text{Cu}|\text{Cu}^{2+}$).

3.4. Data analysis

The data collected in this study were analyzed as follows:

1) Conceptual tests: The pre- and post-conceptual test answers were awarded 1 and 0 point for correct and incorrect choices respectively in the first tier. The explanations provided in the second tier were awarded 0, 0.25, 0.5, 0.75, or 1 point for their conceptual understandings (possible total score for each item was 3 points). Students' explanations were categorized into five groups as follows [14]:

- Explanations with all concepts corresponding to both scientific consensus and scientific concepts of scientists scored 1 point and were defined as "Sound Understanding: SU".
- Explanations with at least one concept corresponding to scientific consensus and scientific concepts of scientists scored 0.75 point and were defined as "Partial Understanding: PU".
- Explanations with at least one concept corresponding to scientific consensus and scientific concepts of scientists but partially alternate to scientific concepts scored 0.5 point and were defined as "Partial Understanding with Specific Misunderstanding: PU+MU".
- Explanations with no concept corresponding to scientific consensus and scientific concepts of scientists scored 0.25 point and were defined as "Specific Misunderstanding: MU".
- Explanations with no detail or no scientific concepts scored 0 point and were defined as "No Understanding: NU".

2) Mental model drawings: The pre- and post-mental model drawings were scored by using a rubric developed by the authors. These models were also categorized into five groups in the same ways as the explanations in the conceptual tests. The available score was 18 points, 6 points for the macroscopic features and labelling and 12 points for the macroscopic features.

3) Students' scores from pre- and post-conceptual tests and mental model drawings were analysed by the use of paired-samples T-test.

4. Results and Discussion

There were two main sections of results in this study: 1) students' scores of conceptual test and mental model drawings of electrochemistry, and 2) conceptual categories of electrochemistry.

4.1. Students' scores in the conceptual tests and mental model drawings

There were two types of scores in this study, those for the conceptual tests and those for the mental model drawings.

Students' pre-conceptual test scores for the means of the first and second tiers and the totals were 12.29, 8.52, and 20.81, respectively (Table 1). After the completion of the four small-scale experiments, the means of the post-test scores were 16.35, 14.32, and 30.68, respectively. The gains in the conceptual scores were 4.06, 5.81, and 9.87 respectively. The paired-samples T-test analysis indicated that these differences between means of the pre- and post-conceptual tests were statistically significant in all cases. The percentage for the means of the pre-test scores for the first tier choices (51.21%) was much higher than that for the second tier explanation parts (35.48%). After the experiments, the percentage for the mean of the post-test score in the choice part (68.15%) was still higher than that for the second tier explanation part (59.68%). This situation arose because sometimes the students knew the answers without complete scientific conceptual explanation. As a result, they were able to provide partial-, alternative-, or misunderstandings for their answers [14]. These improvements in the percentages of the post-test scores indicated that these small-scale experiments of electrochemistry were effective in the enhancement of the students' conceptual understandings.

Table 1: Students' scores assessed by using conceptual test of electrochemistry and mental model drawings

Test	Test score										T-test	
	Avai- lable	Pre-test			Post-test			Change				
		mean	SD	%	mean	SD	%	mean	SD	%	T	p
Conceptual test	48	20.81	10.95	43.35	30.68	10.86	63.91	9.87	2.47	20.56	22.22	0.00*
Choice (1 st tier)	24	12.29	4.47	51.21	16.35	4.30	68.15	4.06	1.82	16.94	12.40	0.00*
Explanation (2 nd tier)	24	8.52	6.71	35.48	14.32	6.87	59.68	5.81	1.89	24.19	17.13	0.00*
Mental model drawings	18	7.69	5.47	42.74	12.10	5.49	67.20	4.40	2.08	24.46	11.77	0.00*
Macroscopic feature	6	3.05	1.71	50.81	4.06	1.78	67.74	1.02	0.71	16.94	7.94	0.00*
Molecular feature	12	4.65	3.86	38.71	8.03	3.75	66.94	3.39	1.69	28.23	11.18	0.00*
Total	66	28.50	16.33	43.18	42.77	16.15	64.81	14.27	3.53	21.63	22.79	0.00*

* Statistical differences when performed by paired-samples T-test at 0.05 level of significance.

For the mental model drawings of galvanic cells, the students' mean pre-drawing scores in macroscopic (and labeling) features, molecular (or microscopic) features, and totals were 3.05, 4.65, and 7.69 respectively and the mean post-drawing scores were 4.06, 8.03, and 12.10 respectively. The post-drawing gains in the mental model scores were 1.02, 3.39, and 4.40 respectively. The paired-samples T-test analysis indicated that these changes from pre- to post-drawings were statistically significant in all cases.

Students obtained a percentage for the pre-mental model score of 50.81% for macroscopic features, much higher than the 38.71% for molecular features. An explanation of this may be that students find molecular features difficult to understand due to their intangibility and/or invisibility [4]. However, after involvement in the experiments, the students' percentage increase in the mean post-mental model score regarding molecular features was 66.94%. This improvement of 28.23% compared to the 38.71% for the pre-test indicated that the small-scale experiments of electrochemistry were effective in the enhancement of the students' mental models at the molecular level. Although the students obtained mean post-test scores significantly higher than the mean pre-test scores for conceptual tests and mental model drawings, these gains were not as high as they should be.

4.2. Students' conceptual categories in regard of electrochemistry

The students were categorized into five groups regarding their explanations in the conceptual tests and information expressed in their mental model drawings. Prior to their involvement in the four small-scale experiments of electrochemistry, their explanations were categorized mostly in PU+MU (32.26%), MU (25.81%), and NU (25.81%) as shown in Table 2. After the experiments and as a result of their post-conceptual test explanations the students moved to the more correct conceptual understanding categories of

PU (29.03%), PU+MU (25.82%), and MU (22.58%). When asked to draw mental models of how they understand what happens at the molecular level in galvanic cells, the categorisation of the students' macroscopic information at the pre-stage fell mostly in PU (35.48%), MU (25.81%), and PU+MU (22.58%), and their molecular information for the same stage was categorized mostly in MU (29.03%), NU (25.81%), and PU (22.58%). After the experiments, their models moved to more correct conceptual understanding categories. For macroscopic information, most were in SU (32.26%), PU (29.03%), and PU+MU (19.35%), and for molecular information, most were categorised in SU (35.48%) and PU (22.58%).

Table 2: Frequencies and percentages of students in the five conceptual categories

Frequencies (f) and %		Pre-test					Post-test				
		SU	PU	PU+MU	MU	NU	SU	PU	PU+MU	MU	NU
Conceptual tests : Explanation part	f	1	4	10	8	8	6	9	8	7	1
	%	3.23	12.90	32.26	25.81	25.81	19.35	29.03	25.81	22.58	3.23
Mental models: Macroscopic feature	f	2	11	7	8	3	10	9	6	5	1
	%	6.45	35.48	22.58	25.81	9.68	32.26	29.03	19.35	16.13	3.23
Mental models: Molecular feature	f	2	7	5	9	8	11	7	6	6	1
	%	6.45	22.58	16.13	29.03	25.81	35.48	22.58	19.35	19.35	3.23

Most students provided more complete macroscopic information than molecular information at both the pre- and post-stages as the former is not difficult to understand due to images shown in learning materials and more obvious observations of changes in the experiments. The reason for the students' higher post-stage score may be due to the fact that after the experience of the experiments, the students obtained relevant information by observations of the experiments, leading to modification of their mental models to provide more reasonable explanations of what happens at the molecular level of given galvanic cells. However, some students' modified models may still contain misconceptions [1].

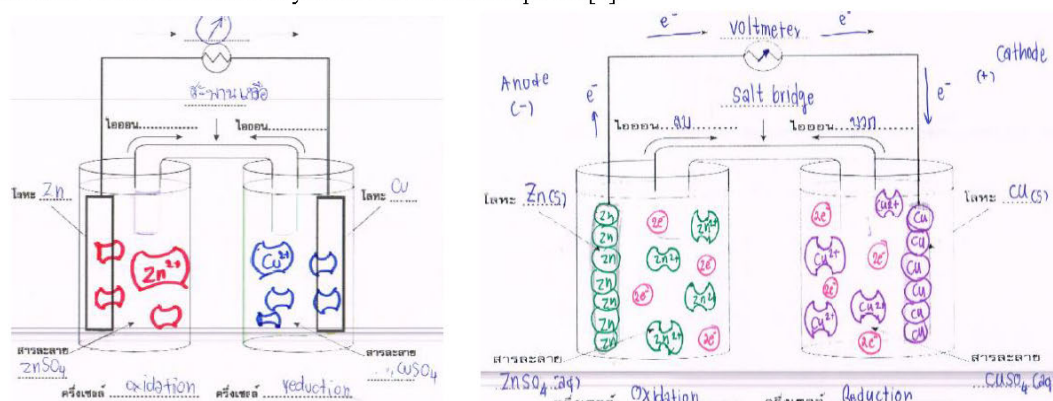


Fig. 2: Examples of students' pre- (left) and post-Mental model drawing (right) for a given galvanic cell.

5. Conclusion and Implications

The study results indicated that the small-scale experiments of electrochemistry based on inquiry learning approach was effective to enhance students' conceptual understanding and mental models of corresponding concepts. The students' obtained the post-conceptual test score statistically higher than the pre-test score. In addition, their post-mental model score was statistically higher than the pre-model score. The majorities of the pre-experiment scores were from the choice part of the conceptual test and from the macroscopic part of the mental models. However, after performing corresponding experiments, their post-experiment scores in the explanation part of the conceptual test and in the molecular part of the mental models played more important role than in the pre-experimental scores. Prior to performing corresponding experiments, the majority of students were in the partial understanding with specific misunderstanding

(PU+MU) to no understanding (NU) categories. After performing the experiments, the majority them moved to the partial understanding (PU) to partial understanding with specific misunderstanding (PU+MU) categories, which were better scientific conceptions. This indicated that the corresponding experiments can enhance students' conceptual understanding and mental models of electrochemistry.

This study may have implications for chemistry instructors in that teaching or directing students to perform an experiment might be not enough to help students understand important concepts at the molecular level. Chemistry instructors might consider using a simulation, animation, or other visualization tools to help students visualize concepts at the molecular level and then connect these concepts to the corresponding macroscopic procedure or features. As a result, students may achieve a complete and lasting conceptual understanding [10]. Students' mental models of a specific process contain rich relevant information that can be used in designing an animation or simulation to support students' acquisition or mental model [15].

6. Further Study

The information about students' conceptual understanding of electrochemistry and mental models of galvanic cells will be used in the design of a molecular animation to support students' understanding of electrochemistry. The small-scale experiments incorporated with corresponding molecular animation will be implemented to investigate how they impact students' conceptual understandings and mental models of electrochemistry. Alternative conceptions prior to and after the implementation will be indentified.

7. Acknowledgements

This study was part of the TRG5680024 project entitled *Development of Inquiry Chemistry Experiments in conjunction with Molecular Animations (ICEMA) to Promote High School Students' Conceptual Understanding and Conceptual Change at the Molecular Level*, co-funded by Thailand Research Fund (TRF) and Ubon Ratchathani University (UBU). The authors thank Bob Tremayne of the Office of International Relations at UBU for assistance with English editing.

8. References

- [1] J. S. Piquette and H. W. Heikkinen. Strategies reported used by instructors to address student alternate conceptions in chemical equilibrium. *J. Res. Sci. Teach.* 2005, **42**, pp. 1112-1134.
- [2] B. Ibrahim and N. S. Rebello. Role of mental representations in problem solving: Students' approaches to nondirected tasks. *Phys. Rev. st. Phys. Edu. Res.* 2013, **9**(2): 1-16.
- [3] Y. Liu, I. Hou, H. L. Chiu, and D. F. Treagust. An exploration of secondary students' mental state when learning about acids and bases. *Res. Sci. Edu.* 2014, **44**(1): 133-154.
- [4] A. L. Chandrasegaran, D. F. Treagust, and M. Mocerino. Facilitating high school students' use of multiple representations to describe and explain simple chemical reactions. *Teach. Sci.*, 2011, **57**(4): 13-20.
- [5] S. M. Glynn and R. Duit. Learning science meaningfully: Constructing conceptual model. In S.M. Glynn & R. Duit (Eds.), *Learning science in the schools: Research reforming practice*. Lawrence Erlbaum. 1995, pp. 3-33.
- [6] M. W. Briggs and G. M. Bodner. A model of molecular visualization. In J.K. Gilbert (Ed.), *Visualization in science education*. Springer. 2005, pp. 61-73.
- [7] A. H. Johnstone. The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *J. Chem. Edu.* 1993, **70**(9): 701-704.
- [8] R. A. Dixon, and S.D. Johnson. Experts vs. novices: differences in how mental representations are used in engineering design. *J. Tech. Edu.* 2011, **23**(1): 47-65.
- [9] J. M. Duis. Organic chemistry educators' perspectives on fundamental concepts and misconceptions: An exploratory study. *J. Chem. Edu.* 2011, **88**(3): 346-350.
- [10] K. Doymus, A. Karacop, and U. Simsek. Effects of Jigsaw and animation techniques on students' understanding of concepts and subjects in electrochemistry. *Edu. Tech. Res. and Dev.* 2010, **5**(6): 671-691.
- [11] R. Hoffmann, and P. Laszlo. Representation in chemistry. *Angewandte Chemie, Int. Ed.* 1991, **30**(1): 1-16.
- [12] A. L. Chandrasegaran, D. F. Treagust, and M. Mocerino. The development of a two-tier multiple-choice

- diagnostic instrument for evaluating secondary school students' ability to describe and explain chemical reactions using multiple levels of representation. *Chem. Edu. Res. Pract.* 2007, **8**: 293-307.
- [13] J. Creswell. *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage Publications. 2014.
- [14] M. Sözbilir, T. Pınarbaşı, and N. Canpolat. Prospective chemistry teachers' conceptions of chemical thermodynamics and kinetics. *Eurasia J. Math., Sci. Tech. Edu.* 2010, **6**(2): 111-120.
- [15] A. Markman. *Knowledge representation*. Lawrence Erlbaum Associates. 1999.