



**การพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ วิชาเคมี เรื่อง เซลล์ไฟฟ้าเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
 โดยใช้วงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชัน**

**The Development of Scientific Concept on Electrochemical Cell of Mathayomsuksa 5
 Students by Using Metacognitive Learning Cycle**

ปาริชาติ สุทธิพันธ์¹ และมังกร ศรีสะอาด²

Parichat Sutthiphan¹ and Mangkorn Srisa-ard²

สาขาการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม¹

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม²

Corresponding author, E-mail: parichat.sut19@gmail.com¹

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์ไฟฟ้าเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้วงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชัน ให้มีความเข้าใจแนวคิดอยู่ในระดับความเข้าใจที่สมบูรณ์ หรือความเข้าใจที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ กลุ่มเป้าหมายในการวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/10 จำนวน 35 คน โรงเรียนนาปีปทุม ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 ที่เลือกโดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบไปด้วย 1) แผนการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้ตามวงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชัน จำนวน 7 แผน 2) แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์แบบปรนัย 4 ตัวเลือก พร้อมการอธิบายเหตุผลเพิ่มเติม จำนวน 14 ข้อ 3) แบบสังเกตพฤติกรรม และ 4) แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง โดยสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และ ใช้ข้อมูลจากแบบสังเกตและแบบสัมภาษณ์นักเรียนในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ

ผลการวิจัยพบว่า วงจรปฏิบัติการที่ 1 นักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ผ่านเกณฑ์ระดับความเข้าใจที่สมบูรณ์ หรือความเข้าใจที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ จำนวน 13 คน คิดเป็นร้อยละ 37.14 วงจรปฏิบัติการที่ 2 นักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ระดับความเข้าใจที่สมบูรณ์ หรือความเข้าใจที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ผ่านเกณฑ์ จำนวน 24 คน คิดเป็นร้อยละ 68.57 และวงจรปฏิบัติการที่ 3 นักเรียนมีความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ระดับความเข้าใจที่สมบูรณ์ หรือความเข้าใจที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ผ่านเกณฑ์ จำนวน 32 คน คิดเป็นร้อยละ 91.43

คำสำคัญ: มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์, ความเข้าใจระดับมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์, วงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชัน



ABSTRACT

The purpose of this action research aimed to develop scientific concepts on electrochemical cell of Mathayomsuksa 5 students by using Metacognitive learning cycle, to achieve complete understanding or partial understanding level. The target group was 35 students in Mathayomsuksa 5/10 students of Wapipathum School, Thailand, studied in the second semester of the academic year 2019. The purposive sampling was used to select the target group. The research instruments were: 1) 7 lesson plans of Metacognitive learning cycle; 2) the multiple-choice test with rational explanation containing 14 questions of the electrochemical cell; 3) the observation form; and 4) the semi-structured interview. The collected data were analyzed by using percentage and mean. Moreover, the qualitative data were analyzed by using data from observation form and semi-structured interview. The research presented that in the first spiral, 13 students (37.14%) had scientific concepts understanding on complete understanding or partial understanding levels. In the second spiral, 24 students (68.57%) passed the level of scientific concept understanding on complete understanding or partial understanding levels. In the third spiral, 32 students (91.43%) achieved complete understanding or partial understanding levels.

Keywords: Scientific Concepts, Scientific Concepts Understanding Level, Metacognitive Learning Cycle



บทนำ

วิทยาศาสตร์มีบทบาทสำคัญยิ่งในสังคมโลกปัจจุบันและอนาคต เนื่องจากวิทยาศาสตร์มีความเกี่ยวข้องในการดำรงชีวิตประจำวัน เครื่องมือเครื่องใช้ตลอดจนผลผลิตต่าง ๆ ที่ใช้อำนวยความสะดวกในชีวิตและการทำงานล้วนเป็นผลจากความรู้นทางวิทยาศาสตร์ที่ร่วมกับความคิดสร้างสรรค์ และความรู้จากศาสตร์อื่น ๆ ซึ่งวิทยาศาสตร์ช่วยให้เกิดองค์ความรู้และความเข้าใจ ในปรากฏการณ์ธรรมชาติมีผลทำให้เกิดการพัฒนาทางเทคโนโลยี ในทางกลับกันเทคโนโลยีก็มีส่วนสำคัญในการสนับสนุนให้การศึกษาค้นคว้าความรู้ทางวิทยาศาสตร์ต่อไปอย่างไม่สิ้นสุด (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) การได้รับการพัฒนาให้มีความรู้ด้านวิทยาศาสตร์เป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งนอกจากทำให้มีความรู้ความเข้าใจโลกธรรมชาติ และเทคโนโลยีที่มนุษย์สร้างสรรค์ขึ้นแล้ว วิทยาศาสตร์ยังทำให้คนได้พัฒนาการคิด ทั้งความคิดที่เป็นเหตุเป็นผล คิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์ เพื่อให้มีความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ สามารถตัดสินใจใช้ข้อมูลหลากหลาย และประจักษ์พยานที่ตรวจสอบได้ (สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา, 2551)

เคมีถือเป็นรากฐานของวิทยาศาสตร์ มีความเกี่ยวข้องกับธรรมชาติของสาร และการเปลี่ยนแปลงของสาร เป็นวิชาวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่มีความเกี่ยวข้อง และสำคัญกับชีวิตประจำวันของคนเราในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างมาก เช่น ด้านอาหาร เครื่องนุ่งห่ม ยารักษาโรค ที่อยู่อาศัย และอื่น ๆ ที่จำเป็นในการดำรงชีวิตประจำวัน ล้วนเป็นผลิตภัณฑ์ที่อาศัยความรู้ และหลักการของวิชาเคมี แต่เนื้อหาส่วนใหญ่ในวิชาเคมีถือเป็นเนื้อหาที่ยากต่อการทำความเข้าใจ เพราะนักเรียนมักมีปัญหาในการมองเห็นภาพในเนื้อหาที่เป็นนามธรรมซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวิชาเคมี สำหรับเรื่อง ไฟฟ้าเคมี เป็นเนื้อหาหนึ่งในวิชาเคมีที่มีความสำคัญและถูกจัดให้เป็นหน่วยการเรียนรู้หนึ่งในรายวิชาเคมี ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับแก้ไข 2560) จากที่ผู้วิจัยทำหน้าที่จัดการเรียนการสอนรายวิชาเคมี พบว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่อยู่ในการควบคุมดูแลของผู้วิจัย มีคะแนนการทำแบบทดสอบหลังเรียนที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ คือไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 จึงได้สัมภาษณ์นักเรียนอย่างไม่เป็นทางการพบว่า

นักเรียนส่วนใหญ่มีมุมมองว่าเนื้อหาที่เรียนค่อนข้างเป็นนามธรรม มีความเกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนอิเล็กตรอนซึ่งเป็นสิ่งที่มองไม่เห็น เนื้อหาที่มีความซับซ้อนทำให้นักเรียนเกิดความสับสน และมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน และผู้วิจัยได้ทำการทดสอบนักเรียนด้วยแบบทดสอบวัดมโนคติทางวิทยาศาสตร์ ในหน่วยการเรียนรู้เรื่อง ไฟฟ้าเคมี ตามขอบเขตเนื้อหาวิชาเคมีเพิ่มเติม 4 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้แบบทดสอบวัดมโนคติทางวิทยาศาสตร์แบบปรนัย 4 ตัวเลือก พร้อมให้เหตุผลประกอบตามแนวทางของ Osborne and Freyberg (1988) พบว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/10 จำนวน 35 คน ขาดความเข้าใจมโนคติระดับความเข้าใจที่สมบูรณ์ (CU) มีนักเรียนบางคนมีความเข้าใจมโนคติระดับที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ในบางมโนคติ (PU) คิดเป็นร้อยละ 9.71 และพบว่ามโนคติทั้งหมดของนักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในระดับความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (PS) คลาดเคลื่อนบางส่วน (AC) และระดับความไม่เข้าใจ (NU) คิดเป็นร้อยละ 38.29, 24.71 และ 26.29 ตามลำดับ นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนามโนคติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ไฟฟ้าเคมี พบว่าในงานวิจัยของสนทยา บังพรหม และศักดิ์ศรี สุภาพร (2558) หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ มโนคติที่นักเรียนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนมากที่สุด คือ เรื่องเซลล์กัลวานิก และเรื่องการชุบโลหะด้วยกระแสไฟฟ้าและการป้องกันการผุกร่อนด้วยวิธีแคโทดิก คิดเป็นร้อยละ 52.35 และ 27.22 ตามลำดับ และในงานวิจัยของณัฐนันท์ กัตญ์รัตน์ (2558) พบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีมโนคติที่คลาดเคลื่อนในเรื่อง เซลล์กัลวานิก การแยกสลายด้วยไฟฟ้า และการชุบด้วยโลหะ คิดเป็นร้อยละโดยเฉลี่ยเท่ากับ 58.62, 72.41 และ 89.66 ตามลำดับ จากผลการทดสอบนักเรียนด้วยแบบทดสอบวัดมโนคติทางวิทยาศาสตร์ และการศึกษางานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่า นักเรียนกลุ่มเป้าหมายมีมโนคติในระดับที่คลาดเคลื่อนส่วนใหญ่ในเรื่องเกี่ยวกับ เซลล์ไฟฟ้าเคมี ซึ่งให้มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเร่งพัฒนาและวางแผนการจัดการกระบวนการเรียนการสอนให้เหมาะสมกับผู้เรียนในการเรียนการสอนวิชาเคมี หน่วยการเรียนรู้ไฟฟ้าเคมี เรื่อง เซลล์ไฟฟ้าเคมี เพื่อให้ให้นักเรียนมีมโนคติทางวิทยาศาสตร์ ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความเข้าใจที่ถูกต้อง สามารถที่จะนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ได้อย่างถูกต้อง และเหมาะสม รวมทั้งสามารถเชื่อมโยงความรู้



ที่หลากหลายให้เกิดเป็นความรู้แบบองค์รวมได้ (สถาบันส่งเสริมการสอบวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557)

จากการศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ เพื่อพัฒนามโนคติทางวิทยาศาสตร์ พบว่ามีผู้พยายามศึกษาหาแนวคิด และวิธีการสอนแบบต่าง ๆ มาใช้ ทฤษฎีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ ในกระบวนการจัดการเรียนรู้คือ ทฤษฎีการเปลี่ยนมโนคติ ตามแนวคิดของโพสเนอร์และคณะ (Posner, et al., 1982) ที่ประกอบไปด้วยเงื่อนไขต่าง ๆ 4 เงื่อนไข ได้แก่ 1) นักเรียนจะต้องเกิดความไม่พึงพอใจและคลายความเชื่อต่อมโนคติเดิมที่ตนเองมีอยู่ (Dissatisfaction) 2) นักเรียนจะต้องสามารถเข้าใจมโนคติใหม่นั้นได้ง่าย (Intelligible) 3) นักเรียนจะต้องมองเห็นว่ามโนคติใหม่นั้นมีเหตุผลน่าเชื่อถือ (Plausible) และ 4) มโนคติใหม่นั้นมีประโยชน์ (Fruitful) ต่อนักเรียนในบริบทอื่น จากแนวคิดของโพสเนอร์และคณะดังกล่าว ได้มีนักการศึกษาหันมาพัฒนาเป็นรูปแบบการสอนต่าง ๆ เช่น รูปแบบการสอนการเปลี่ยนแปลงมโนคติของ Kural และ KocaKulah (Kural & Kocakulah, 2016) รูปแบบการสอนด้านพุทธิพิสัยและด้านจิตพิสัยของการเปลี่ยนแปลงมโนคติ (Cognitive Affective Model of Conceptual Change, CAMCC) (Gregoire, 2003) และวงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชัน (Metacognitive Learning Cycle: MLC) (Blank, 2000) เป็นต้น จากการศึกษาพบว่า การจัดการกิจกรรมการเรียนรู้ตามวงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชันที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการจัดการเรียนการสอนในรายวิชาวิทยาศาสตร์ ภายใต้เงื่อนไขของทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงมโนคติของโพสเนอร์ เป็นรูปแบบวงจรการเรียนรู้ซึ่งมีข้อดีคือ ช่วยให้นักเรียนได้ใช้วิธีการสืบสอบทางวิทยาศาสตร์ เพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับงานและวิธีคิดของนักวิทยาศาสตร์ สามารถช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจวิทยาศาสตร์ได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ให้ความสำคัญกับการตรวจสอบมโนคติพื้นฐานก่อนที่จะศึกษามโนคติใหม่ รวมทั้งมีการตรวจสอบสถานะของมโนคติในขั้นการนำเสนอโมโนคติ และในขั้นการประยุกต์มโนคติเพื่อลดการเกิดมโนคติที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน โดยวงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชันประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นประเมินมโนคติ/ตรวจสอบสถานะ (Concept Assessment/ Status Check) มีจุดประสงค์เพื่อให้นักเรียนประเมินมโนคติพื้นฐาน โดยการตอบคำถาม

จากสถานการณ์ที่ครูกำหนดขึ้น ถ้าพบว่านักเรียนมีมโนคติพื้นฐานที่คลาดเคลื่อนอยู่ ต้องมีการแก้ไขให้เป็นมโนคติพื้นฐานที่ถูกต้องก่อนการศึกษาใหม่โมโนคติอื่นต่อไป 2) ขั้นสำรวจค้นหาโมโนคติ (Concept Exploration) มีจุดประสงค์เพื่อให้นักเรียนสำรวจ ค้นหาปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับมโนคติที่ต้องการศึกษา โดยนักเรียนออกแบบการทดลอง ดำเนินการ บันทึกผลการทดลอง และเตรียมนำเสนอโมโนคติที่ศึกษา 3) ขั้นนำเสนอโมโนคติ/ตรวจสอบสถานะ (Concept Introduction/ Status Check) ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อให้นักเรียนได้นำเสนอผลการดำเนินการ วิเคราะห์ผลสรุปผล และนำเสนอในรูปแบบต่าง ๆ พร้อมทั้งตรวจสอบมโนคติที่ได้ และ 4) ขั้นประยุกต์มโนคติ/ ตรวจสอบสถานะ (Concept Application/ Status Check) มีจุดประสงค์เพื่อให้นักเรียนใช้มโนคติที่ได้ศึกษามาแก้ไขปัญหาได้ รูปแบบการสอนนี้ได้ถูกนำไปใช้ในการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบมโนคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน พบว่านักเรียนมีมโนคติทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้น (ปิยะมาศ บุญประกอบ, 2554) สามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาให้นักเรียนมีมโนคติที่สอดคล้องกับมโนคติทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น

จากความเป็นมาและรายงานการวิจัยที่ผ่านมาดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนามโนคติทางวิทยาศาสตร์ในรายวิชาเคมี เรื่อง เซลล์ไฟฟ้าเคมี โดยใช้การจัดการกิจกรรมการเรียนรู้ตามวงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชัน มาใช้ในการจัดการเรียนการสอนกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนในรายวิชาเคมีเพิ่มเติม 4 ในปีการศึกษา 2562 ให้มีความเข้าใจมโนคติอยู่ในระดับความเข้าใจที่สมบูรณ์ (Complete Understanding: CU) หรือความเข้าใจที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (Partial Understanding: PU) โดยดำเนินการตามกรอบการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research)

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อพัฒนามโนคติทางวิทยาศาสตร์ในรายวิชาเคมี เรื่อง เซลล์ไฟฟ้าเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ให้มีความเข้าใจมโนคติอยู่ในระดับความเข้าใจที่สมบูรณ์ (CU) หรือความเข้าใจที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) โดยใช้วงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชัน



วิธีดำเนินการวิจัย

กลุ่มเป้าหมาย

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/10 โรงเรียนวชิรวิทย์ จังหวัดมหาสารคาม จำนวน 35 คน ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 ที่เลือกจากสังเกตการณ์และทำแบบทดสอบวัดความเข้าใจมโนคติทางวิทยาศาสตร์ โดยกลุ่มเป้าหมายเป็นนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนคติทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า SU และ PU

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แผนการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้ตามวงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชัน เรื่อง เซลล์ไฟฟ้าเคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 7 แผนการจัดการเรียนรู้ รวมเวลาสอน 11 ชั่วโมง แบ่งออกเป็น 3 วงจรปฏิบัติการ ดังนี้ วงจรปฏิบัติการที่ 1 ใช้แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1-3 เรื่อง เซลล์กัลวานิก แผนภาพเซลล์กัลวานิก คัดยไฟฟ้าของเซลล์และศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ วงจรปฏิบัติการที่ 2 ใช้แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4-5 เรื่อง เซลล์อิเล็กโทรไลต์ และการคำนวณค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์อิเล็กโทรไลต์ และวงจรปฏิบัติการที่ 3 ใช้แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6-7 เรื่อง การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า และการแยกสลายด้วยไฟฟ้า โดยแผนการจัดการเรียนรู้ได้ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน มีค่าความเหมาะสมเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.57-4.72 หมายถึง มีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก

2. แบบทดสอบวัดมโนคติทางวิทยาศาสตร์ ชนิดปรนัย 4 ตัวเลือก และให้เหตุผลเพิ่มเติม ในหน่วยการเรียนรู้ไฟฟ้าเคมี ใช้สำหรับสำรวจปัญหาผู้เรียนด้านความเข้าใจมโนคติทางวิทยาศาสตร์ จำนวน 1 ชุด มีจำนวน 5 ข้อ และใช้สำหรับทดสอบหลังสิ้นสุดการจัดการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการที่ 1-3 ตามลำดับ จำนวน 3 ชุด ประกอบด้วย ชุดที่ 1 เรื่องเซลล์กัลวานิก จำนวน 6 ข้อ ชุดที่ 2 เรื่องเซลล์อิเล็กโทรไลต์ จำนวน 4 ข้อ และชุดที่ 3 การชุบโลหะและการแยกสลายด้วยไฟฟ้า จำนวน 4 ข้อ โดยแบบวัดมโนคติทางวิทยาศาสตร์ได้ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน มีดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์อยู่ระหว่าง 0.8-1.0 ถือว่าข้อสอบทุกข้อสามารถวัดความเข้าใจมโนคติทางวิทยาศาสตร์ได้ตรงตามจุดประสงค์

3. แบบสังเกตพฤติกรรม ใช้สำหรับบันทึกเหตุการณ์ และพฤติกรรมของนักเรียนตลอดการจัดการเรียนรู้เพื่อใช้สะท้อนผล

การดำเนินการในแต่ละวงจรปฏิบัติการ โดยแบบสังเกตพฤติกรรม ได้ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน มีดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างข้อคำถามกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด อยู่ระหว่าง 0.6-1.0 เมื่อแปลผลถือว่าใช้ได้

4. แบบสัมภาษณ์ ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับด้านการสอนของครู ด้านรูปแบบการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้ ขั้นตอนการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้ และด้านการใช้สื่อการเรียนการสอนของแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ เพื่อเป็นข้อมูลในการสะท้อนผลการปฏิบัติเมื่อสิ้นสุดแต่ละวงจร โดยแบบสัมภาษณ์ได้ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน มีดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างข้อคำถามกับประเด็นที่วัด เท่ากับ 1.0 ถือว่าข้อคำถามตรงตามประเด็น เมื่อแปลผลถือว่าใช้ได้

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยนี้เป็นรูปแบบการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research) ดำเนินการวิจัยตามแนวคิดของ (Kemmis & Mc Taggart, 1988) โดยดำเนินการทั้งสิ้น 3 วงจรปฏิบัติการ ตามขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นวางแผน (Plan)

สำรวจปัญหาผู้เรียนด้านความเข้าใจมโนคติทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้แบบทดสอบวัดมโนคติทางวิทยาศาสตร์แบบปรนัย 4 ตัวเลือก พร้อมอธิบายเหตุผลประกอบ ในหน่วยการเรียนรู้ไฟฟ้าเคมี และวิเคราะห์ผลการทดสอบเพื่อหานักเรียนกลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนที่ยังมีความเข้าใจมโนคติทางวิทยาศาสตร์ในระดับที่ต่ำกว่า SU และ PU พร้อมทั้งหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น จากนั้นทำการศึกษานแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งรูปแบบการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้ที่เหมาะสมในการพัฒนาความเข้าใจมโนคติทางวิทยาศาสตร์ของกลุ่มเป้าหมาย แล้วกำหนดเนื้อหาที่จะใช้ในการจัดการเรียนรู้และดำเนินการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ตามวงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชัน แบบทดสอบวัดมโนคติทางวิทยาศาสตร์ แบบสังเกตพฤติกรรม และแบบสัมภาษณ์ จากนั้นนำแผนการจัดการเรียนรู้ และเครื่องมือวิจัยที่สร้างขึ้นเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เพื่อขอคำแนะนำและปรับปรุงแก้ไข จากนั้นนำแผนการจัดการเรียนรู้ และเครื่องมือวิจัยที่สร้างขึ้นเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสม แล้วจึงดำเนินการ



ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ โดยขึ้นวางแผนในวงรอบปฏิบัติการที่ 2 และ 3 เป็นการนำผลจากชั้นสะท้อนผลการทดลองในวงจรกิจกรรมก่อนหน้ามาวิเคราะห์ และวางแผนเพื่อปรับปรุงแก้ไข

2. ชั้นปฏิบัติการ (Act)

นำแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้วงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชันที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย โดยในวงจรกิจกรรมที่ 1 ประกอบด้วย แผนที่ 1 เรื่อง เซลล์กล้ามเนื้อ แผนที่ 2 เรื่อง แผนภาพเซลล์กล้ามเนื้อ แผนที่ 3 เรื่อง ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์และศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ รวมเวลาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ 5 ชั่วโมง วงจรกิจกรรมที่ 2 ประกอบด้วย แผนที่ 4 เรื่อง เซลล์อิเล็กโทรไลต์ แผนที่ 5 เรื่อง การคำนวณหาค่า E° ของเซลล์อิเล็กโทรไลต์ รวมเวลาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ 3 ชั่วโมง และวงจรกิจกรรมที่ 3 ประกอบด้วย แผนที่ 6 เรื่อง การชุบด้วยโลหะ และแผนที่ 7 เรื่อง การแยกสลายสารละลายด้วยไฟฟ้า รวมเวลาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ 3 ชั่วโมง

3. ชั้นสังเกต (Observe)

ผู้วิจัยทำการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียน โดยใช้แบบสังเกตพฤติกรรมในระหว่างดำเนินการจัดการเรียนรู้ และประเมินความเข้าใจโมเดลทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน โดยนำแบบทดสอบวัดมโนคติทางวิทยาศาสตร์ไปทดสอบกับกลุ่มเป้าหมายหลังจากสิ้นสุดการจัดการเรียนรู้ในแต่ละวงจรกิจกรรม โดยในวงจรกิจกรรมที่ 1 ใช้แบบทดสอบวัดมโนคติทางวิทยาศาสตร์ ชุดที่ 1 วงจรกิจกรรมที่ 2 ใช้แบบทดสอบวัดมโนคติทางวิทยาศาสตร์ ชุดที่ 2 และวงจรกิจกรรมที่ 3 ใช้แบบทดสอบวัดมโนคติทางวิทยาศาสตร์ ชุดที่ 3 และในแต่ละวงรอบได้ทำการสัมภาษณ์นักเรียนที่ยังมีความเข้าใจโมเดลในระดับ PS, AC และ NU โดยใช้แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างที่สร้างขึ้น

4. ชั้นสะท้อนผลการทดลอง (Reflect)

ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลและสะท้อนผลจากแบบสังเกตพฤติกรรม แบบทดสอบวัดมโนคติทางวิทยาศาสตร์ และแบบสัมภาษณ์ โดยนำข้อสรุปที่ได้ในแต่ละวงจรกิจกรรมมาใช้ในการปรับปรุง และออกแบบการจัดการเรียนรู้ตามวงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชันในวงจรกิจกรรมถัดไปให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

จากนั้นนำผลการจัดการเรียนรู้ที่ได้ทั้ง 3 วงจรกิจกรรมมาสรุปว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ข้อมูลเชิงปริมาณ ได้แก่ ระดับมโนคติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง เซลล์ไฟฟ้าเคมี วิเคราะห์โดยใช้ ร้อยละ และค่าเฉลี่ย และนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เพื่อพัฒนาการของนักเรียนตามเกณฑ์ที่ปรับมาจากงานวิจัยของ (Westbrook & Marek, 1992) ดังนี้

CU เมื่อคำตอบของนักเรียนถูกและให้เหตุผลถูกต้องสมบูรณ์

PU เมื่อคำตอบของนักเรียนถูกต้องและการให้เหตุผลถูกต้องแต่ยังไม่สมบูรณ์ ขาดองค์ประกอบที่สำคัญบางส่วน

PS เมื่อคำตอบของนักเรียนถูกต้องแต่การให้เหตุผลบางส่วนแสดงความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน หรือคำตอบถูกต้องแต่ไม่สามารถอธิบายเหตุผลได้ หรืออธิบายเหตุผลถูกต้องแต่เลือกคำตอบผิด

AC เมื่อคำตอบของนักเรียนผิด และการอธิบายเหตุผลแสดงความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนทั้งหมด

NU เมื่อคำตอบของนักเรียนไม่ตรงกับคำถามหรือนักเรียนไม่ตอบคำถาม

2. ข้อมูลเชิงคุณภาพ ได้แก่ ข้อมูลที่ได้จากแบบสังเกตพฤติกรรม และแบบสัมภาษณ์ โดยผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกการสังเกตพฤติกรรมการสอนที่ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมในระหว่างการทดลอง และข้อมูลจากการสัมภาษณ์นักเรียน มาศึกษาวิเคราะห์และประเมินผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้วงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชันว่าเหมาะสมหรือไม่อย่างไร เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาการจัดการจัดการเรียนรู้ในวงจรกิจกรรมต่อไป

ผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน โดยการจัดการเรียนรู้ตามวงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชัน (Metacognitive Learning Cycle) เพื่อพัฒนามโนคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 35 คน ให้มีความเข้าใจโมเดล



อยู่ในระดับความเข้าใจที่สมบูรณ์ (CU) หรือความเข้าใจที่ถูกต้อง แต่ไม่สมบูรณ์ (PU)

วงจรถอบปฏิบัติที่ 1 พบว่าในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามวงจรถอบเรียนรู้อาสาสมัครในชั้นการสำรวจ ค้นหาโมเมนต์นักเรียนใช้เวลาในการออกแบบวิธีการศึกษา ตามกิจกรรมที่ครูจัดให้ค่อนข้างนาน ทำให้บางกลุ่มทำงานไม่เสร็จสิ้นตามกำหนด โดยการจัดกลุ่มเป็นการจัดกลุ่มตามความสมัครใจของนักเรียน และพบว่าในกิจกรรมการทดลอง นักเรียนไม่ได้มีส่วนร่วมทุกคน นักเรียนบางกลุ่มไม่สามารถวางแผนและดำเนินการทดลองได้เอง สำหรับในกิจกรรมที่จัดให้มีการสำรวจโมเมนต์ของนักเรียน พบว่ายังมีนักเรียนที่สับสนเนื้อหา และไม่เข้าใจโมเมนต์ก่อนหน้านี้ที่เป็นโมเมนต์ที่มีความเกี่ยวเนื่องกันกับโมเมนต์ใหม่ที่ศึกษา จึงส่งผลให้เกิดปัญหาต่อโมเมนต์ที่กำลังศึกษา นอกจากนี้ยังพบว่านักเรียนไม่เข้าใจการเขียนสรุปความ และไม่สามารถเขียนอธิบายผลการทดลองได้อย่างสอดคล้องกัน ทำให้สรุปประเด็นได้ไม่ถูกต้อง เมื่อดำเนินการเสร็จสิ้นในวงจรถอบปฏิบัติที่ 1 แล้วผู้วิจัยได้ทำการวัดโมเมนต์ทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง เซลล์กัลวานิก แผนภาพเซลล์กัลวานิก และศักย์ไฟฟ้าของเซลล์และศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ ด้วยแบบทดสอบวัดโมเมนต์ทางวิทยาศาสตร์ แบบปรนัย 4 ตัวเลือกพร้อมให้เหตุผลประกอบ จำนวน 6 ข้อ กำหนดเกณฑ์ผ่าน คือ นักเรียนมีความเข้าใจโมเมนต์อยู่ในระดับ CU หรือ PU ทุกข้อ พบว่า มีนักเรียนผ่านเกณฑ์ จำนวน 13 คน คิดเป็นร้อยละ 37.14 ของนักเรียนทั้งหมด โดยจำนวนและร้อยละของนักเรียนในแต่ละระดับโมเมนต์ มีรายละเอียด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนและร้อยละของนักเรียนในแต่ละระดับความเข้าใจโมเมนต์ในวงจรถอบปฏิบัติที่ 1

มโน มติ	จำนวนและร้อยละของนักเรียนในแต่ละระดับความเข้าใจโมเมนต์						
	CU	PU	PS	AC	NU	CU+PU	PS+AC+ NU
ข้อที่ 1	18 (51.43)	16 (45.71)	1 (2.86)	0 (0.00)	0 (0.00)	34 (97.14)	1 (2.86)
ข้อที่ 2	7 (20.00)	14 (40.00)	11 (31.43)	1 (2.86)	2 (5.71)	21 (60.00)	14 (40.00)

มโน มติ	จำนวนและร้อยละของนักเรียนในแต่ละระดับความเข้าใจโมเมนต์						
	CU	PU	PS	AC	NU	CU+PU	PS+AC+ NU
ข้อที่ 3	7 (20.00)	19 (54.29)	9 (25.71)	0 (0.00)	0 (0.00)	26 (74.29)	9 (25.71)
ข้อที่ 4	9 (25.71)	17 (48.57)	9 (25.71)	0 (0.00)	0 (0.00)	26 (74.28)	9 (25.71)
ข้อที่ 5	0 (0.00)	13 (37.14)	16 (45.71)	5 (14.29)	1 (2.86)	13 (37.14)	22 (62.86)
ข้อที่ 6	6 (17.14)	11 (31.43)	11 (31.43)	7 (20.00)	0 (0.00)	17 (48.57)	18 (51.43)

จากตารางที่ 1 พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจโมเมนต์ทางวิทยาศาสตร์ระดับ CU และ PU ในเรื่อง เซลล์กัลวานิก และแผนภาพเซลล์กัลวานิก (ข้อที่ 1-4) คิดเป็นร้อยละ 60.00-97.14 และมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในระดับ PS, AC และ NU บางส่วน คิดเป็นร้อยละ 2.86-40.00 แต่ในเรื่องศักย์ไฟฟ้าของเซลล์และศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ (ข้อ 5-6) นักเรียนมีความเข้าใจโมเมนต์ทางวิทยาศาสตร์ระดับ CU และ PU คิดเป็นร้อยละ 37.14-48.57 โดยพบว่านักเรียนส่วนใหญ่มียังคงมีโมเมนต์ที่คลาดเคลื่อนระดับ PS, AC NU คิดเป็นร้อยละ 51.43-62.86

จากการวิเคราะห์แนวคำตอบจากแบบทดสอบพร้อมสัมภาษณ์นักเรียนที่มีความเข้าใจโมเมนต์ทางวิทยาศาสตร์ในระดับ PS, AC NU โดยใช้แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง พบว่า โมเมนต์ เรื่อง เซลล์กัลวานิก นักเรียนมีปัญหาเกี่ยวกับการเขียนสมการแสดงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันของสารที่เกิดขึ้นในเซลล์กัลวานิก โดยยังไม่สอดคล้องกับคำอธิบายการเกิดปฏิกิริยาและในเรื่องแผนภาพเซลล์กัลวานิก พบว่านักเรียนมีปัญหาในการระบุว่าสารใดเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารใดเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ขั้วไฟฟ้าใดเป็นขั้วแคโทด ขั้วใดเป็นขั้วแอโนด ส่งผลให้นักเรียนไม่สามารถอธิบายและเขียนแผนภาพเซลล์กัลวานิกได้ถูกต้อง และโมเมนต์ เรื่อง ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ และศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ พบว่านักเรียนมีโมเมนต์ที่คลาดเคลื่อนมากที่สุด โดยนักเรียนเข้าใจว่าค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ยังมีค่าติดลบมาก แสดงว่ามีความสามารถในการชิงอิเล็คตรอนได้ดี



ชี้ให้เห็นโมเดลใหม่ที่ศึกษาที่มีความต่อเนื่องกับโมเดลเดิม หากนักเรียนล้มเหลวหรือไม่เข้าใจในโมเดลก่อนหน้าจะส่งผลต่อความเข้าใจในโมเดลใหม่ที่นักเรียนได้เรียนรู้

ดังนั้นเพื่อปรับปรุงการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีโมเดลผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ผู้วิจัยได้สัมภาษณ์นักเรียนในประเด็นเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ สื่อการจัดการเรียนรู้ และครูผู้สอน พบว่านักเรียนมีความพึงพอใจในการจัดการเรียนรู้ แต่ครูผู้สอนยังพูดเร็วเกินไป และนักเรียนไม่ชอบอ่านใบความรู้ รวมทั้งไม่ชอบดูวิดีโอที่มีความยาวมาก ๆ ดังนั้นเพื่อให้ นักเรียนมีระดับความเข้าใจโมเดลทางวิทยาศาสตร์ผ่านเกณฑ์ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ ผู้วิจัยจึงนำประเด็นปัญหาที่ได้จากการสังเกตพฤติกรรมและการสัมภาษณ์ไปปรับปรุงการจัดการกิจกรรมในวงจรปฏิบัติการที่ 2 ต่อไป

วงจรปฏิบัติการที่ 2 ผู้วิจัยใช้ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามวงจรการเรียนรู้เมตาคognition แต่มีการปรับจากวงจรปฏิบัติการที่ 1 ตามที่ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลจากแบบทดสอบวัดโมเดลทางวิทยาศาสตร์ แบบสังเกต และแบบสัมภาษณ์นักเรียนที่ไม่ผ่านเกณฑ์ เพื่อใช้ในการจัดการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการที่ 2 โดยยังคงดำเนินกิจกรรมตาม 4 ขั้นตอน แต่เนื่องจากการที่นักเรียนขาดการมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมทุกคนในวงจรปฏิบัติการที่ 1 ผู้วิจัยจึงปรับกิจกรรมที่สามารถให้นักเรียนทุกคนได้มีส่วนร่วมมากขึ้น มีการวางเงื่อนไขเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนทุกคนเข้ามามีส่วนร่วมในกิจกรรม รวมทั้งมีการจัดกลุ่มนักเรียน โดยลดความสามารถให้นักเรียนกลุ่มเก่ง ปานกลาง และอ่อนอยู่ด้วยกัน เพื่อลดปัญหาการจัดกลุ่มตามความสมัครใจแล้วนักเรียนทำกิจกรรมที่ได้รับมอบหมายไม่ได้และไม่เสร็จสิ้นตามเวลาที่กำหนด มีการปรับกิจกรรมที่เน้นให้นักเรียนได้มีโอกาสทบทวนเนื้อหาและใช้โมเดลก่อนหน้าก่อนจะศึกษาโมเดลต่อมาที่มีความเกี่ยวข้องกันมากขึ้น เพื่อให้ นักเรียนมีความพร้อมก่อนที่จะศึกษาเพื่อค้นหาโมเดลต่อไป และลดปัญหาที่นักเรียนจะเกิดโมเดลที่ไม่ถูกต้องหรือคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากความไม่เข้าใจหรือเข้าใจผิดในโมเดลก่อนหน้านั้น นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงเลือกใช้สื่อวิดีโอที่มีลักษณะเป็นการดู ความยาววิดีโอไม่มากเกินไป และใบความรู้ที่มีความกระชับเหมาะสมเพื่อกระตุ้นความสนใจของนักเรียน และลดปัญหาความเบื่อหน่ายและไม่สนใจในกิจกรรมการเรียนรู้ที่เกิดขึ้น รวมทั้งมีการเน้นให้มีการอธิบายถึงวิธีการเขียนสรุปความ

และวิธีการอธิบายผลการทดลองที่นักเรียนไม่รู้ว่าจะต้องเขียนประเด็นใดบ้าง และเขียนอย่างไร พร้อมยกตัวอย่างประกอบให้นักเรียนได้ทำความเข้าใจก่อนลงมือปฏิบัติกิจกรรม โดยการดำเนินกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการที่ 2 พบว่า นักเรียนมีความกระตือรือร้นในกิจกรรมการทบทวนความรู้เดิมของนักเรียน และให้ความสนใจเกี่ยวกับสื่อวิดีโอและสถานการณ์ที่ครูยกมานำเสนอเพื่อตรวจสอบโมเดลพื้นฐานของนักเรียน โดยในขั้นการสำรวจ ค้นหามโนคติ พบว่านักเรียนทุกคนมีส่วนร่วมในการทำ การทดลอง ทุกคนมีบทบาทหน้าที่ในการทำกิจกรรมที่ได้รับมอบหมาย แต่นักเรียนใช้เวลาในการสืบค้นข้อมูลเพื่อออกแบบและทำการทดลองนานพอสมควร จึงมีการขยายเวลาในขั้นการทำ การทดลองออกไปอีก ส่งผลให้เวลาในการนำเสนอโมเดลที่ได้จากการสำรวจค้นหาลดลง และไม่เพียงพอต่อการนำเสนอให้ครบทุกกลุ่ม นอกจากนี้ยังพบว่านักเรียนหลายคนยังมีปัญหาเกี่ยวกับการเขียนสรุปความ และการเขียนอภิปรายผลการทดลอง โดยพบว่านักเรียนยังเขียนสรุปความได้ไม่ตรงประเด็น และ อภิปรายผลการทดลองยังไม่ถูกต้องสมบูรณ์ เมื่อสิ้นสุดการดำเนินการในวงจรปฏิบัติการที่ 2 พบว่า ผลการวัดโมเดลทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนที่ยังมีความเข้าใจโมเดลอยู่ในระดับ PS, AC และ NU ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ในวงจรปฏิบัติการที่ 1 จำนวน 22 คน มีนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์เพิ่มขึ้น จำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 50 และยังไม่ผ่านเกณฑ์จำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 50 เมื่อวิเคราะห์ระดับความเข้าใจโมเดลของนักเรียนทั้ง 22 คน ผลที่ได้มีรายละเอียด ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละของนักเรียนในแต่ละระดับความเข้าใจโมเดลในวงจรปฏิบัติการที่ 2

โมเดล	จำนวนและร้อยละของนักเรียนในแต่ละระดับความเข้าใจโมเดล						
	CU	PU	PS	AC	NU	CU+PU	PS+AC+NU
ข้อที่ 7	11 (50.00)	11 (50.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	22 (100.00)	0 (0.00)
ข้อที่ 8	8 (36.36)	13 (59.09)	1 (4.54)	0 (0.00)	0 (0.00)	21 (95.45)	1 (4.54)
ข้อที่ 9	1 (4.54)	12 (54.55)	7 (31.82)	2 (9.09)	0 (0.00)	13 (59.09)	9 (40.91)
ข้อที่ 10	6 (27.27)	9 (40.91)	4 (18.18)	3 (13.64)	0 (0.00)	15 (68.18)	7 (31.82)



จากตารางที่ 2 พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจ มโนคติทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับเรื่อง เซลล์อิเล็กโทรไลต์ อยู่ใน ระดับ CU และ PU คิดเป็นร้อยละ 59.09-100.00 แต่ยังมีบางมโนคติ ที่นักเรียนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในระดับ PS และ AC คิดเป็นร้อยละ 4.54-40.91

จากการวิเคราะห์แนวคำตอบจากแบบทดสอบพร้อม สัมภาษณ์นักเรียนที่มีความเข้าใจมโนคติทางวิทยาศาสตร์ในระดับ PS และ AC โดยใช้แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง พบว่ามโนคติ เรื่อง เซลล์อิเล็กโทรไลต์ นักเรียนยังมีความเข้าใจผิดว่าเครื่อง เซลล์ไฟฟ้าที่มีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานครึ่งเซลล์ติดลบมากกว่า จะมีความสามารถในการซิงอิเล็คตรอนดีกว่า แต่เนื่องจากครึ่งเซลล์ ที่มีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานครึ่งเซลล์สูงกว่าจะมีความสามารถในการซิงอิเล็คตรอนได้ดีกว่า ดังนั้นยังค่าติดลบมากแสดงว่า ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ยิ่งต่ำ และนักเรียนส่วนใหญ่ เข้าใจและอธิบายถึงสารที่จะเกิดปฏิกิริยาว่าการพิจารณาสาร ที่เกิดปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนด ค่า E^0 ที่จะพิจารณาต้องกลับเครื่องหมาย จากบวกเป็นลบก่อน เพราะค่า E^0 ที่กำหนดมาให้เป็นค่าศักย์ไฟฟ้า มาตรฐานของครึ่งเซลล์รีดักชัน เมื่อพิจารณาค่า E^0 ที่มีต่ำกว่า จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วแอโนด (E^0_{anode}) แทนในสมการ $E^0_{cell} = E^0_{cathode} - E^0_{anode}$

ดังนั้นเพื่อปรับปรุงการจัดการจัดการเรียนรู้อันส่งเสริมให้ ผู้เรียนมีมโนคติผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ผู้วิจัยได้สัมภาษณ์นักเรียน เพิ่มเติมในประเด็นเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้อีกรายการการจัดการเรียนรู้ และครูผู้สอน พบว่านักเรียนมีความพึงพอใจในการจัดการเรียนรู้ ที่มีการทดลอง แต่เวลาที่ต้องมีการสืบค้นข้อมูล นักเรียนไม่มั่นใจ ว่าข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องหรือไม่ เพราะข้อมูลมีหลากหลาย และ แต่ละเว็บไซต์บางครั้งก็ไม่เหมือนกัน และนักเรียนไม่รู้ว่าต้องใช้ คำค้นอย่างไรในการสืบค้นเพื่อให้สามารถหาข้อมูลที่ต้องการได้ อย่างรวดเร็วและถูกต้อง นอกจากนี้นักเรียนยังมองภาพปรากฏการณ์ ที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่ออก จึงต้องการให้ครูนำเสนอสื่อที่แสดงให้เห็นภาพได้อย่างชัดเจน ดังนั้นเพื่อให้ นักเรียนมีระดับความเข้าใจ มโนคติทางวิทยาศาสตร์ผ่านเกณฑ์ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ ผู้วิจัยจึงนำ ประเด็นปัญหาที่ได้จากการสังเกตพฤติกรรมและการสัมภาษณ์ ไปปรับปรุงการจัดการจัดการเรียนรู้อีก 3 ข้อไป

วงจรถอบปฏิบัติที่ 3 จากผลการจัดการเรียนรู้ในวงจรถอบปฏิบัติที่ 1-2 ทั้งข้อมูลเชิงปริมาณ และข้อมูลเชิงคุณภาพ ทำให้ ผู้วิจัยได้จัดกิจกรรมการเรียนรู้ 4 ขั้นตอน ตามวงจรถอบปฏิบัติ เมตาคอกนิชัน ที่ได้รับการพัฒนาและปรับปรุงการจัดการจัดการ การเรียนรู้จากวงจรถอบปฏิบัติที่ 1 และ 2 โดยมีการแนะนำหลักการ สืบค้นและแหล่งข้อมูลในการสืบค้นที่น่าเชื่อถือแก่นักเรียนก่อนจะ ลงมือปฏิบัติกิจกรรม เพื่อกระชับเวลาในการสืบค้นข้อมูล และ นักเรียนได้ข้อมูลที่ถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือมาใช้ ช่วยลดเวลา ในขั้นการสำรวจ ค้นหาโมเดล ทำให้มีเวลาเพียงพอต่อการนำเสนอ มโนคติที่ได้ของนักเรียนทุกกลุ่ม รวมทั้งมีการปรับปรุงการใช้สื่อ เพื่อนำเสนอภาพปรากฏการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นให้มีความชัดเจน ทำให้นักเรียนสามารถเข้าใจถึงสิ่งที่ครูต้องการนำเสนอ โดยเลือกใช้ภาพเคลื่อนไหวและวิดีโอแทนภาพนิ่ง เพื่อให้ นักเรียนมองเห็นภาพได้ชัดเจน สามารถลดความสับสน และ ความเข้าใจผิดที่อาจส่งผลกระทบต่อความเข้าใจมโนคติที่นักเรียนจะได้รับได้ นอกจากนี้ยังเพิ่มขั้นตอนการอธิบายแนวทางการเขียนสรุปความ และสรุปผลการทดลอง พร้อมยกตัวอย่างประกอบให้นักเรียนดู และฝึกทำให้เกิดความชำนาญ เพื่อช่วยให้นักเรียนสามารถสรุปความ และผลการทดลองได้อย่างถูกต้อง ครบถ้วน และตรงประเด็น ในการดำเนินการในวงจรถอบปฏิบัติที่ 3 พบว่า นักเรียนให้ความสนใจ เป็นอย่างมากกับการใช้ตัวอย่างอุปกรณ์จริงที่มีในชีวิตประจำวันที่ถูกนำมาชูปด้วยโลหะต่าง ๆ รวมทั้งสถานการณ์ที่ครูนำเสนอ เพื่อตรวจสอบมโนคติ โดยทุกคนให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรม เป็นอย่างดี แต่ยังมีนักเรียนบางคนเข้าห้องเรียนช้า เนื่องจากติดภารกิจการทำกิจกรรมอื่น ๆ ของโรงเรียน ทำให้มีปัญหากในการ จัดกลุ่มนักเรียนบางกลุ่ม และการเรียนรู้ในคาบนั้นเป็นไปอย่างไม่ต่อเนื่อง หลังจากเสร็จสิ้นการดำเนินการในวงจรถอบปฏิบัติที่ 3 พบว่า ผลการวัดมโนคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนที่ยังมีความเข้าใจมโนคติอยู่ในระดับที่คลาดเคลื่อนบางส่วน (PS) หรือระดับที่คลาดเคลื่อน (AC) หรือระดับความไม่เข้าใจ (NU) ซึ่ง ไม่ผ่านเกณฑ์ในวงจรถอบปฏิบัติที่ 1 และ 2 จำนวน 11 คน มีนักเรียน ที่ผ่านเกณฑ์เพิ่มขึ้น จำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 72.73 และยังไม่ผ่านเกณฑ์ จำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 27.27 เมื่อวิเคราะห์ระดับความเข้าใจ มโนคติของนักเรียนทั้ง 11 คน ผลที่ได้มีรายละเอียด ดังตารางที่ 3



ตารางที่ 3 จำนวนและร้อยละของนักเรียนในแต่ละระดับ
ความเข้าใจโมเมนต์ในวงจรปฏิบัติการที่ 3

มโน มติ	จำนวนและร้อยละของนักเรียนในแต่ละระดับความเข้าใจโมเมนต์						
	CU	PU	PS	AC	NU	CU+PU	PS+AC+NU
ข้อที่ 11	6 (54.55)	5 (45.45)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	11 (100.00)	0 (0.00)
ข้อที่ 12	8 (72.73)	3 (27.27)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	11 (100.00)	0 (0.00)
ข้อที่ 13	2 (18.18)	6 (54.55)	3 (27.27)	0 (0.00)	0 (0.00)	8 (72.73)	3 (27.27)
ข้อที่ 14	4 (40.00)	7 (70.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	11 (100.00)	0 (0.00)

จากตารางที่ 3 พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ โดยเกือบทั้งหมด ของนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย มีความเข้าใจโมเมนต์ทางวิทยาศาสตร์ ระดับ CU และ PU คิดเป็นร้อยละ 72.73-100.00 และมีนักเรียน จำนวน 3 คน ที่ยังมีโมเมนต์อยู่ในระดับ PS คิดเป็นร้อยละ 27.27

จากการวิเคราะห์แนวคำตอบจากแบบทดสอบพร้อมสัมภาษณ์ นักเรียนที่มีความเข้าใจโมเมนต์ทางวิทยาศาสตร์ที่ยังไม่ผ่านเกณฑ์ ที่ผู้วิจัยกำหนด พบว่าในโมเมนต์ เรื่อง การแยกสลายด้วยไฟฟ้า นักเรียนที่ยังมีความเข้าใจโมเมนต์ระดับ PS เข้าใจว่าสารที่มีค่า E^0 ที่สูงกว่า ซึ่งมีความสามารถเชิงอิเล็กตรอนได้ดีกว่า เมื่อเกิดปฏิกิริยา รีดักชัน จะมีการไปรับอิเล็กตรอนที่ขั้วแอโนด และเกิดเป็นของแข็ง เกาะที่ขั้วแอโนด ซึ่งกล่าวผิด เพราะสารจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ที่ขั้วแคโทด ไม่ใช่แอโนด

หลังจากผ่านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ทั้ง 3 วงจร ปฏิบัติการ จากนักเรียนกลุ่มเป้าหมายจำนวน 35 คน พบว่ามี นักเรียนที่มีระดับความเข้าใจโมเมนต์อยู่ในระดับ CU และ PU ผ่านเกณฑ์ จำนวน 32 คน คิดเป็นร้อยละ 91.43 และไม่ผ่านเกณฑ์ จำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 8.57 โดยจากการวิเคราะห์ผลการสังเกตพฤติกรรม และแบบสัมภาษณ์พบว่านักเรียนไม่ค่อยได้มีส่วนร่วมในกิจกรรมการตอบคำถาม ทั้งนี้เกิดจากการที่ครูผู้สอน ให้ความสำคัญในการคิดคำตอบน้อย และเร่งรีบในการเฉลยคำตอบ นอกจากนี้ยังพบว่านักเรียนมีความเหนื่อยล้าจากการทำกิจกรรมอื่น ๆ ทำให้ความสนใจในกิจกรรมและความสามารถในการทำกิจกรรม ในชั้นเรียนของนักเรียนลดน้อยลง จึงมีผลต่อความเข้าใจในเนื้อหา ที่เรียนและส่งผลต่อโมเมนต์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนด้วย

จากการดำเนินการวิจัยทั้งสิ้น 3 วงจรปฏิบัติการ สามารถสรุป จำนวนนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์ในแต่ละวงจรปฏิบัติการ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 จำนวนและร้อยละของนักเรียนที่มีโมเมนต์ทางวิทยาศาสตร์ ระดับความเข้าใจที่สมบูรณ์ (CU) และความเข้าใจที่ถูกต้อง แต่ไม่สมบูรณ์ (PU) ผ่านเกณฑ์ในแต่ละวงจรปฏิบัติการ

วงจรปฏิบัติการที่	ผ่านเกณฑ์		ไม่ผ่านเกณฑ์	
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ
1	13	37.14	22	62.86
2	24	68.57	11	31.43
3	32	91.43	3	8.57

จากตารางที่ 4 จากการดำเนินการทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ พบว่าวงจรปฏิบัติการที่ 1 มีนักเรียนมีความเข้าใจโมเมนต์อยู่ใน ระดับ CU และ PU ผ่านเกณฑ์ จำนวน 13 คน คิดเป็นร้อยละ 37.14 และไม่ผ่านเกณฑ์ จำนวน 22 คน คิดเป็นร้อยละ 62.86 ในวงจร ปฏิบัติการที่ 2 พบว่ามีนักเรียนผ่านเกณฑ์เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนรวม 24 คน คิดเป็นร้อยละ 68.57 และยังไม่ผ่านเกณฑ์ จำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 31.43 เมื่อสิ้นสุดวงจรปฏิบัติการที่ 3 พบว่า มีนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์ จำนวนทั้งสิ้น 32 คน คิดเป็นร้อยละ 91.43 และไม่ผ่านเกณฑ์ จำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 8.57

จากการวิเคราะห์ผลการพัฒนาโมเมนต์ทางวิทยาศาสตร์ ทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ พบว่า การจัดการเรียนรู้ตามรูปแบบวงจร การเรียนรู้เมตาคognition สามารถช่วยพัฒนาโมเมนต์ทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนให้อยู่ในระดับ CU และ PU ได้ ซึ่งเห็นได้จากจำนวน และร้อยละของนักเรียนกลุ่มเป้าหมายที่มีโมเมนต์ทางวิทยาศาสตร์ อยู่ในระดับ CU และ PU ในแต่ละวงจรปฏิบัติการมีแนวโน้ม เพิ่มขึ้นทุกวงจร

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อพัฒนาโมเมนต์ทางวิทยาศาสตร์ วิชาเคมี เรื่องเซลล์ไฟฟ้าเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/10 โดยใช้การจัดการเรียนรู้ตามวงจรการเรียนรู้เมตาคognition ให้มีความเข้าใจโมเมนต์อยู่ในระดับ CU และ PU ซึ่งหลังจาก จัดกิจกรรมการเรียนรู้เสร็จสิ้นทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ พบว่า



นักเรียนกลุ่มเป้าหมาย จำนวน 35 คน มีนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนคติอยู่ในระดับ CU และ PU ผ่านเกณฑ์ จำนวน 32 คน คิดเป็นร้อยละ 91.43 และไม่ผ่านเกณฑ์จำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 8.57 โดยเมื่อพิจารณาในแต่ละวงจรถูกปฏิบัติ ดังนี้

วงจรถูกปฏิบัติที่ 1 ผู้เรียนได้เรียนรู้โดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามวงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชัน พบว่ามีนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนคติอยู่ในระดับ CU และ PU ผ่านเกณฑ์ จำนวน 13 คน จากนักเรียนทั้งหมด 35 คน คิดเป็นร้อยละ 37.14 และมีนักเรียนที่ยังมีความเข้าใจมโนคติอยู่ในระดับที่คลาดเคลื่อนทั้งระดับ PS, AC และ NU จำนวน 22 คน คิดเป็นร้อยละ 62.86 จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าในแต่ละมโนคติที่ศึกษา นักเรียนยังเข้าใจได้ไม่ถูกต้อง และไม่สมบูรณ์ รวมทั้งยังมีความเข้าใจผิดในมโนคติที่ศึกษาเกิดขึ้น จึงทำให้ผลการวัดมโนคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนส่วนใหญ่ยังมีความเข้าใจมโนคติในระดับที่คลาดเคลื่อนอยู่ทั้งนี้อธิบายได้ว่า เป็นผลจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามวงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชัน ในขั้นที่ 1 ขั้นประเมินมโนคติ/ตรวจสอบสถานะ ซึ่งผู้เรียนได้ตอบคำถามเพื่อแสดงมโนคติพื้นฐาน และแก้ไขให้ถูกต้องก่อนที่จะเริ่มทำการศึกษามโนคติที่มีความเกี่ยวเนื่องกันต่อไป เนื่องจากผู้วิจัยใช้สื่อและสถานการณ์ในการนำเสนอปัญหาเพื่อถามคำถามที่ไม่ค่อยมีความน่าสนใจและดึงดูดความสนใจแก่นักเรียนเท่าที่ควร การมีส่วนร่วมในการตอบคำถามเพื่อแสดงมโนคติพื้นฐาน นักเรียนส่วนใหญ่ไม่กล้าตอบตามความเข้าใจของตนเองเนื่องจากกลัวตอบผิด ผู้วิจัยจึงต้องหาแนวทางต่าง ๆ ให้นักเรียนทุกคนร่วมตอบคำถามเพื่อแสดงมโนคติพื้นฐานที่ถูกต้อง เพราะการมีมโนคติพื้นฐานที่ถูกต้องจะช่วยให้ นักเรียนสามารถเรียนรู้ในเนื้อหาที่มีความเกี่ยวเนื่องกันได้ดี และมีความเข้าใจระดับมโนคติทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น สอดคล้องกับ Strike และ Posner (1985) ที่กล่าวว่า มนุษย์ใช้มโนคติพื้นฐานเป็นกรอบอ้างอิงในการรับรู้ ทำความเข้าใจ และตีความหมายข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ใหม่ ๆ ดังนั้นในวงจรถูกปฏิบัติที่ 2 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามวงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชันในขั้นที่ 1 ขั้นประเมินมโนคติ/ตรวจสอบสถานะ ผู้วิจัยต้องเน้นวิธีการนำเสนอคำถามในการตรวจสอบมโนคติพื้นฐานให้มีความน่าสนใจ โดยใช้เป็นรูปภาพสื่อวีดิโอที่มีความน่าสนใจมาใช้กับนักเรียนเพื่อกระตุ้นความสนใจ และกระตุ้นให้นักเรียนกล้าตอบคำถามเพื่อแสดงมโนคติพื้นฐานโดยมีการให้คะแนน

นักเรียนที่ตอบคำถาม ผลจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามวงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชัน ในขั้นที่ 2 ขั้นสำรวจค้นหาโมเดล ที่นักเรียนเป็นผู้ลงมือปฏิบัติและค้นหาข้อมูลด้วยตัวเองแล้วสรุปองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษา เนื่องจากในการปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ นักเรียนไม่ได้มีส่วนร่วมทุกคน นักเรียนหลายคนไม่กล้าเข้าร่วมกิจกรรมอย่างเต็มที่เนื่องจากกลัวการทำผิดพลาด และบางกลุ่มไม่สามารถทำการทดลองได้ เนื่องจากเป็นกลุ่มที่มีนักเรียนกลุ่มอ่อนอยู่ด้วยกัน รวมทั้งการอภิปรายผลการทดลองที่นักเรียนหลายคนไม่กล้าอภิปรายตามความคิดเห็นของตนเองเนื่องจากกลัวผิด ผู้วิจัยจึงต้องหาแนวทางต่าง ๆ ให้นักเรียนทุกคนมีโอกาสในการลงมือปฏิบัติกิจกรรมจริง และร่วมอภิปรายผลตามความคิดเห็นของตนเอง เพราะการเรียนรู้โดยการลงมือปฏิบัติด้วยตัวเองช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนนำประสบการณ์จากการลงมือปฏิบัติมาวิเคราะห์ และเกิดความเข้าใจในประเด็นที่ศึกษาได้อย่างลึกซึ้ง สอดคล้องกับ สอดคล้องทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism) ที่ Eggen และ Kauchak (2001) ได้กล่าวไว้ว่า ผู้เรียนจะใช้ประสบการณ์เดิมของพวกเขาในการสร้างความหมายใหม่มากกว่าการรับความรู้จากบุคคลอื่น ดังนั้นในวงจรถูกปฏิบัติที่ 2 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามวงจรการเรียนรู้ เมตาคอกนิชันในขั้นที่ 2 ขั้นสำรวจค้นหาโมเดล ผู้วิจัยต้องเน้น การแก้ปัญหาโดยออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนทุกคนได้ลงมือทำการทดลองด้วยตนเอง และเน้นให้ทุกคนมีส่วนร่วมในการอภิปรายผลการทดลอง กล่าวคือ ผู้วิจัยต้องจัดชุดอุปกรณ์การทดลองให้นักเรียนทุกคนสามารถทดลองด้วยตัวเอง และกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความมั่นใจ กล้าที่จะแสดงออก รวมทั้งจัดกลุ่มนักเรียนให้แต่ละความสามารถนักเรียนกลุ่มเก่ง ปานกลาง และอ่อนอยู่ด้วยกัน และชี้แจงว่านักเรียนทุกคนต้องมีส่วนร่วมในกิจกรรมการทดลอง นอกจากนี้ยังเป็นผลมาจากความสามารถของผู้เรียนในการสรุปองค์ความรู้ในประเด็นที่ศึกษา และการอภิปรายคำตอบจากการทำไปกิจกรรมระหว่างเรียน ผู้เรียนส่วนใหญ่ยังไม่สามารถทำได้อย่างตรงประเด็นและครบถ้วน ดังนั้นในวงจรถูกปฏิบัติที่ 2 ของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามวงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชันในขั้นที่ 2 ขั้นสำรวจค้นหาโมเดลผู้วิจัยต้องแก้ปัญหาโดยการอธิบายเทคนิค และขั้นตอนในการสรุปความ และอภิปรายผลคำตอบให้กับผู้เรียน เพื่อให้นักเรียนสามารถสรุปความ และอภิปรายคำตอบได้อย่างถูกต้อง และสมบูรณ์มากขึ้น



วงจรถอบปฏิบัติการที่ 2 ผู้วิจัยเน้นการพัฒนาโมเดลทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่ยังไม่ผ่านเกณฑ์จากวงจรถอบปฏิบัติการที่ 1 จำนวน 22 คน เมื่อทำการแก้ไขและปรับปรุงการจัดกิจกรรมตามแนวทางการแก้ไขในวงจรถอบปฏิบัติการที่ 1 พบว่านักเรียนกลุ่มเป้าหมาย มีความเข้าใจโมเดลอยู่ในระดับ CU และ PU ผ่านเกณฑ์เพิ่มขึ้นจำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 68.57 ของนักเรียนกลุ่มเป้าหมายทั้งหมด ผลเนื่องจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามวงจรถอบปฏิบัติการที่เรียนรู้อัตโนมัติในชั้นที่ 1 ชั้นประเมินโมเดล/ ตรวจสอบสถานะ มีการใช้สื่อที่เป็นวิดีโอที่มีลักษณะเป็นการ์ตูน และมีความเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันมากขึ้น มาแนะนำสถานการณ์ที่กระตุ้นให้นักเรียนตอบคำถามเพื่อแสดงโมเดลพื้นฐานของนักเรียนก่อนจะเชื่อมโยงไปสู่โมเดลต่อไป ทำให้นักเรียนทุกคนให้ความสนใจและให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรม รวมทั้งมีส่วนร่วมในการตอบคำถามเพื่อแสดงโมเดลพื้นฐานได้อย่างถูกต้องมากขึ้น สอดคล้องกับ Vasilyev (2010) ที่กล่าวว่า การใช้สื่อที่เป็นภาพนิ่ง สื่อมัลติมีเดีย หรือวิดีโอ นั้นมีส่วนช่วยให้ผู้เรียนมองเห็นภาพได้ชัดเจนมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีโมเดลทางวิทยาศาสตร์ได้มากยิ่งขึ้น เมื่อนักเรียนได้ทบทวนความรู้และตรวจสอบโมเดลพื้นฐานของตนเองตามความคิดเมตาคอกนิชันได้ถูกต้องแล้ว นักเรียนยังมีความพร้อม และสามารถเชื่อมโยงไปสู่โมเดลที่จะศึกษาต่อไปได้ สอดคล้องกับ Bruner, Goodnow & Austin (1956) ที่กล่าวว่า ในการสร้างโมเดลในสิ่งที่เรียน การเชื่อมโยงเพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ของเนื้อหาต่อเนื่องกันเป็นลำดับขั้น สามารถเชื่อมโยงโมเดลเดิมที่เป็นความรู้พื้นฐานเข้ากับโมเดลหรือความรู้ใหม่ในโครงสร้างทางสติปัญญา ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้อย่างเข้าใจ และมีความหมายในด้านเนื้อหาวิชา ผลจากการปรับกิจกรรมในชั้นที่ 2 ขึ้นสำรวจค้นหาโมเดล เพื่อให้นักเรียนทุกคนได้เป็นผู้ลงมือทำการทดลอง และค้นหาโมเดลด้วยตนเอง พบว่านักเรียนแต่ละกลุ่มสามารถออกแบบการทดลองและเลือกใช้อุปกรณ์ในการทดลองได้ถูกต้อง สมาชิกทุกคนในกลุ่มมีความกระตือรือร้น และให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรม รวมทั้งมีส่วนร่วมในการตอบคำถาม และการอภิปรายผลภายในกลุ่ม ส่งเสริมให้นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจในเนื้อหาที่ศึกษาและมีโมเดลทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น สอดคล้องกับแนวคิดที่เรียกว่า Learning by doing ของ Dewey คือ

การเรียนรู้ที่มีการลงมือปฏิบัติจริง ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนมีโมเดลทางวิทยาศาสตร์ที่สูงขึ้น (ทิศนา แคมมณี, 2547, น. 49) นอกจากนี้ นักเรียนทุกกลุ่มยังสามารถปฏิบัติกิจกรรมได้เสร็จสิ้นภายในระยะเวลาที่กำหนด เนื่องจากทุกกลุ่มมีสมาชิกเป็นนักเรียนกลุ่มเก่ง-ปานกลาง-อ่อน คณะความสามารถอยู่ด้วยกัน นักเรียนหนึ่งได้ใช้ความสามารถเฉพาะตัวของแต่ละคนในการร่วมกันทำกิจกรรมให้สำเร็จลุล่วงตามเป้าหมาย แต่ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในวงจรถอบปฏิบัติการที่ 2 พบว่ายังมีนักเรียนที่ไม่ผ่านเกณฑ์ จำนวน 11 คน เนื่องจากนักเรียนยังมีปัญหาในการอภิปรายผลการทดลอง และการเขียนสรุปความ โดยนักเรียนหลายคนยังอภิปรายผลการทดลองไม่ตรงประเด็น และนักเรียนเขียนสรุปความได้ยังไม่ถูกต้องสมบูรณ์ และยังพบว่านักเรียนใช้เวลาในการสืบค้นข้อมูลเพื่อทำการทดลองนานพอสมควร ส่งผลให้เวลาในการนำเสนอข้อมูลของนักเรียนน้อยลง การนำเสนอข้อมูลของนักเรียนยังนำเสนอข้อมูลที่ไม่ครบถ้วนจากการสัมภาษณ์นักเรียนที่ยังไม่ผ่านเกณฑ์ พบว่า นักเรียนชอบกิจกรรมการทดลอง แต่นักเรียนมีปัญหาในการสืบค้นข้อมูล คือ ไม่รู้ว่าจะสืบค้นได้ถูกต้องหรือไม่ และไม่รู้ว่าควรใช้คำในการค้นหาอย่างไรเพื่อให้สามารถหาข้อมูลที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง นอกจากนี้นักเรียนยังให้สัมภาษณ์ว่าสื่อที่นำเสนอปรากฏการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงมีความไม่ชัดเจน นักเรียนไม่สามารถมองภาพออกว่าครูต้องการจะนำเสนอสิ่งใด ดังนั้นในวงจรถอบปฏิบัติการที่ 3 ผู้วิจัยจึงต้องเน้นแก้ปัญหาการเขียนสรุปผล และการอภิปรายผลการทดลองโดยการอธิบายเทคนิค และวิธีการพร้อมยกตัวอย่างประกอบ และมีตัวอย่างสถานการณ์ให้นักเรียนได้ฝึกเพื่อให้เกิดความคุ้นชินและชำนาญมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้แล้ว ผู้วิจัยควรเน้นการใช้สื่อที่เป็นภาพเคลื่อนไหว หรือวิดีโอสั้น ๆ ที่ส่งเสริมให้นักเรียนเห็นภาพการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน และผู้วิจัยต้องมีการชี้แนะแนวทางในการสืบค้นข้อมูล รวมทั้งมีการแนะนำแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือให้แก่นักเรียน เพื่อให้ในกระบวนการสืบค้นข้อมูลเป็นไปอย่างรวดเร็ว และได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

วงจรถอบปฏิบัติการที่ 3 เมื่อทำการแก้ไขและปรับปรุงการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางการแก้ไขในวงจรถอบปฏิบัติการที่ 2 พบว่านักเรียนกลุ่มเป้าหมายที่ยังไม่ผ่านเกณฑ์จากวงจรถอบปฏิบัติการที่ 1 และ 2 จำนวน 11 คน มีนักเรียนที่มีความเข้าใจโมเดลระดับ



CU และ PU ผ่านเกณฑ์เพิ่มขึ้นจำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 91.43 ของนักเรียนกลุ่มเป้าหมายทั้งหมด เนื่องจากผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามวงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชันในวงจรปฏิบัติการที่ 3 ในขั้นตอนที่ 1 ชั้นประเมินโมเมนต์/ตรวจสอบสถานะ ที่มีการใช้สื่อที่เป็นภาพเคลื่อนไหวที่มีความชัดเจน และมีความเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันมาเสนอ ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนมองเห็นภาพได้อย่างชัดเจนและน่าสนใจ ทำให้นักเรียนสามารถตอบคำถามและเชื่อมโยงโมเมนต์พื้นฐานเดิมไปสู่โมเมนต์ใหม่ที่จะศึกษาได้อย่างถูกต้อง สอดคล้องกับ Bibokaite (2009) ที่กล่าวว่าการใช้สื่อประกอบการสอนทั้งภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวจะช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสนใจที่จะเรียนรู้ จึงสามารถช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดี และการนำตัวอย่างสิ่งที่พบเห็นในชีวิตประจำวันมาเสนอช่วยให้นักเรียนได้เห็นสิ่งที่เรียนรู้สามารถสร้างความสนใจ และความกระตือรือร้นในการทำกิจกรรมของนักเรียนมากขึ้น ส่งผลให้นักเรียนมีความเข้าใจในเนื้อหาที่เรียนนำไปสู่การมีโมเมนต์ทางวิทยาศาสตร์ที่สูงขึ้น และในขั้นตอนที่ 2 ชั้นสำรวจค้นหาโมเมนต์ ที่ผู้วิจัยได้มีการชี้แนะแนวทางในการสืบค้นข้อมูล และแหล่งสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติม ทำให้นักเรียนสามารถสืบค้นข้อมูลมาใช้ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว นักเรียนจึงสามารถสำรวจและค้นหาโมเมนต์จากการศึกษา และทำการทดลองด้วยตนเองได้เสร็จสิ้นภายในเวลาที่กำหนด จึงมีเวลาเพียงพอได้นำเสนอโมเมนต์และตรวจสอบสถานะในขั้นตอนที่ 3 จากข้อมูลที่ได้จากการสืบค้นและทำการทดลอง รวมทั้งจากการอภิปรายร่วมกันภายในกลุ่ม นอกจากนี้ในขั้นตอนที่ 2 ชั้นสำรวจค้นหาโมเมนต์ ผู้วิจัยยังได้นำอธิบายเทคนิคในการเขียนสรุปความ และการอภิปรายข้อมูล พร้อมทั้งการยกตัวอย่างประกอบ และเน้นให้ผู้เรียนได้ฝึกหัดจนเกิดความชำนาญ ทำให้นักเรียนสามารถเขียนสรุปความ และเขียนอภิปรายผลได้อย่างถูกต้องครบถ้วน สอดคล้องกับกฎแห่งการฝึกหัด (Law of Exercise) ของ Thorndike ที่กล่าวว่าการได้ฝึกหัดหรือกระทำอันใดซ้ำ ๆ บ่อย ๆ จะทำให้นักเรียนเกิดความชำนาญและส่งเสริมให้เกิดความสมบูรณ์ถูกต้อง (ทิตินา แซมมณี, 2548) โดยสิ่งที่กล่าวมานี้ช่วยทำให้นักเรียนสามารถจำแนกข้อมูลเพื่อให้เห็นองค์ประกอบหลักและองค์ประกอบย่อยที่เชื่อมโยงกันสามารถช่วยส่งเสริมให้นักเรียนมีโมเมนต์ที่เป็นโมเมนต์ทางวิทยาศาสตร์ได้ โดยเมื่อสิ้นสุดการจัดกิจกรรม

การเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการที่ 3 พบว่ายังมีนักเรียนที่มีโมเมนต์ทางวิทยาศาสตร์ไม่ผ่านเกณฑ์ที่ผู้วิจัยกำหนด จำนวน 3 คน คิดเป็นร้อยละ 8.57 ของนักเรียนกลุ่มเป้าหมายทั้งหมด โดยผลจากการสังเกตการจัดกิจกรรมการเรียนรู้พบว่านักเรียนกลุ่มนี้ยังไม่ค่อยได้มีส่วนร่วมในกิจกรรมการตอบคำถาม ซึ่งเกิดจากการที่ครูผู้สอนใช้เวลาในการคิดคำตอบน้อย และเร่งรีบในการเฉลยคำตอบ นอกจากนี้ยังพบว่ายังเป็นปัจจัยด้านส่วนตัวของผู้เรียนมีผลต่อการพัฒนามโนคติทางวิทยาศาสตร์ด้วย เนื่องจากความเหนื่อยล้าจากการทำกิจกรรมอื่น ๆ ส่งผลต่อความสนใจ และความกระตือรือร้นในกิจกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียน เมื่อความสามารถในการทำกิจกรรมในชั้นเรียนของนักเรียนลดน้อยลง จึงมีผลต่อความเข้าใจในเนื้อหาที่เรียน และส่งผลต่อมโนคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนด้วย สอดคล้องกับกฎแห่งความพร้อม (Law of Readiness) ของ Thorndike ที่กล่าวว่า การเรียนรู้จะเกิดขึ้นได้ดี ถ้าผู้เรียนมีความพร้อมทั้งทางร่างกายและจิตใจ (ทิตินา แซมมณี, 2548)

จากผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามวงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชัน เป็นกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นให้ผู้เรียนเป็นผู้สำรวจและค้นหาโมเมนต์ผ่านการลงมือทำกิจกรรมด้วยตนเอง สามารถส่งเสริมให้นักเรียนเกิดความเข้าใจในประเด็นที่ศึกษาได้อย่างลึกซึ้ง ช่วยให้ผู้เรียนมีมโนคติทางวิทยาศาสตร์ที่สูงขึ้น สอดคล้องตามแนวคิด Learning by doing ของ Dewey (1993) และกิจกรรมการเรียนรู้โดยมีการตรวจสอบสถานะมโนคติด้วยตนเองตามแนวคิดเมตาคอกนิชันที่อยู่ในขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามรูปแบบวงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชันถึง 3 ขั้นตอน จนทำให้นักเรียนสามารถตระหนักได้ว่าขณะนั้นนักเรียนมีมโนคติที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ หรือนักเรียนมีการรับรู้บางอย่างที่ผิดพลาด และนักเรียนพร้อมที่จะแก้ไขมโนคติให้ถูกต้อง สอดคล้องกับทฤษฎีการเปลี่ยนมโนคติของโพสเนอร์ ดังนั้นการจัดการเรียนรู้ตามวงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชันจึงช่วยส่งเสริมให้นักเรียนมีมโนคติทางวิทยาศาสตร์ในเรื่อง เซลล์ไฟฟ้าเคมีให้อยู่ในระดับความเข้าใจที่สมบูรณ์ (CU) หรือความเข้าใจที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ (PU) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Alrwaythi (2012) ที่ได้ศึกษาความเข้าใจมโนคติในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การเคลื่อนที่ของคลื่นและเสียง โดยใช้รูปแบบวงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชันที่พัฒนา พบว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามวงจร



การเรียนรู้เมตาคอกนิชัน มีคะแนนเฉลี่ยเมตาคอกนิชันสูงกว่ากลุ่มที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และสอดคล้องกับงานวิจัยของปิยะมาศ บุญประกอบ (2554) ที่ศึกษาการพัฒนาเมตาคอกนิชันในการเรียนวิทยาศาสตร์ โดยจัดการเรียนการสอนตามวงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชันในรายวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ พบว่านักเรียนที่เรียนด้วยวงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชันมีคะแนนเฉลี่ยเมตาคอกนิชัน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่านักเรียนกลุ่มที่เรียนแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ .05

ข้อเสนอแนะ

1. ควรจัดกลุ่มการทำกิจกรรมแบบลดความสามารถเก่ง-ปานกลาง-อ่อน เพื่อลดปัญหาที่นักเรียนกลุ่มอ่อนอยู่ด้วยกัน ทำให้ทำกิจกรรมไม่เสร็จสิ้นตามที่กำหนด รวมทั้งมีการวางแผนให้กระตุ้นให้ทุกคนมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรม
2. การตรวจสอบเมตาคอกนิชันพื้นฐานของนักเรียนในชั้นประเมินเมตาคอกนิชัน และตรวจสอบสถานะ ควรมีวิธีการที่หลากหลาย โดยในการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยใช้วิธีการถามคำถาม นักเรียนหลายคนตอบตามเพื่อน ทำให้นักเรียนขาดการแสดงเมตาคอกนิชันของตนเอง และทำให้ไม่รู้ว่าเมตาคอกนิชันพื้นฐานที่แท้จริงของนักเรียนอยู่ในระดับใด
3. การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามวงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชันในชั้นประยุกต์ใช้เมตาคอกนิชัน/ตรวจสอบสถานะ ควรนำเสนอตัวอย่างสถานการณ์ที่ใกล้ตัวนักเรียน และนำเสนอสถานการณ์ที่หลากหลาย และมีความน่าสนใจ

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *มาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และสาระภูมิศาสตร์ในกลุ่มสาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม (ฉบับปรับปรุง 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

ณัฐนันท์ กัตติรัตน์. (2558). การศึกษามโนคติทางวิทยาศาสตร์และความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ MIS เรื่อง ไฟฟ้าเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา) สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์*, 3(1), 82-92.

ทิศนา แชมมณี. (2547). *ศาสตร์การสอน*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทิศนา แชมมณี. (2548). *รูปแบบการเรียนการสอน: ทางเลือกที่หลากหลาย*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปิยะมาศ บุญประกอบ. (2554). *ผลของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้วงจรการเรียนรู้เมตาคอกนิชันที่มีต่อมโนทัศน์เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ และความสามารถในการคิดอย่างเป็นเหตุผลของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ. (2557). *ผลการประเมิน PISA 2012 คณิตศาสตร์ การอ่าน และวิทยาศาสตร์ นักเรียนรู้อะไร และทำอะไรได้บ้าง*. กรุงเทพฯ: อรุณการพิมพ์.

สนทยา บังพรม และศักดิ์ศรี สุภาพร. (2558). การพัฒนาความเข้าใจเมตาคอกนิชันวิทยาศาสตร์ เรื่อง ไฟฟ้าเคมี ด้วยวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น ผสมผสานกับเทคนิคการทำนายสังเกต-อธิบาย ในชั้นขยายความรู้ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 (น. 411-420). *รายงานสืบเนื่องการประชุมทางวิชาการระดับชาติ ม.อบ. วิจัย. ครั้งที่ 9*. อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา. (2551). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

Alrwaythi, E. M., & Sciences, S. (2012). *A Developed Teaching Model for Metacognitive Thinking: Developed Metacognitive Learning Cycle*. 637-647.



- Bilbokaite, R. (2009). Visualization in Science Education: The Results of Pilot Research in Grade 10. *Problem of Education in 21st Century*, 16, 23-29.
- Blank, Lisa M. (2000). A Metacognitive Learning Cycle: A Better Warranty for Student Understanding. *Science Education*, 84(4):486-506.
- Bruner, J. S., Goodnow J. J. and Austin G. A. (1957). *A study of Thinking*. New York: John, Wiley and Sons, Inc.
- Dewey, J. (1993). *How We Think: A Restatement of the Relation of Reflective Thinking to the Educative Process*. Boston: D. C. Heath.
- Eggen, P. and Kauchak D. (2001). *Educational Psychology Windows on Classrooms*. 5th ed. Columbus: Prentice-Hall.
- Gregoire, M. (2003). Is it a challenge or a threat? A Dual-Process model of teacher's cognition and appraisal processes during conceptual change. *Educational Psychology Review*, 15(2), 147-179.
- Kemmis, S. & McTaggart R. (1988). *The Action Research Planer*. (3rd ed). Victoria: Deakin University.
- Kural, M., & Kocakülah, S. M. (2016). Teaching for Hot Conceptual Change: Towards a New Model, Beyond the Cold and Warm Ones. *European Journal of Education Studies*, 2(8), 1-40.
- Osborne, R. and Freyberg, P. (1988). *Children's science*. In R. Osborne & P. Freyberg (Eds). *Learning in Science*. Auckland, New Zealand: Heinemann.
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. and Gerzog, W. A. (1982). *Accommodation of Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change*. New York.
- Strike, K. A., & Posner, G. J. (1985). *A conceptual change view of learning and understanding*. In L. West & L. Pines (Eds.), *Cognitive structure and conceptual change*. Orlando, FL: Academic Press.
- Vasilyev, V. (2010). Towards interactive 3D graphics in chemistry publication. *Theor Chem Acc*, 125(3), 173-176.
- Westbrook S.L. & Marek E.A. (1992). A Cross-Age Study of Student Understanding of the Concept of Diffusion. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(1), 51-61.