

การพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ร่วมกับ
การสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับภาพเคลื่อนไหว

The Development of Scientific Explanation Ability
with Scientific Model on Electrochemistry of Grade 11 Students
Using Model-Based Inquiry Combining with Animation

พิชญ ศุภศาสตร์วงศ์^{1*} และ อรุณี แสงสุวรรณ²
Pissanu Supasatwong^{1*} and Arunee Sangsuwan²

¹โรงเรียนสุรนารีวิทยา จังหวัดนครราชสีมา, pissanu@sm.ac.th
(Sura Nari Witthaya School, Nakhonratchasima)

²คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, arunsa@kku.ac.th
(Faculty of Education, Khon Kaen University)

บทคัดย่อ

การอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นสิ่งสำคัญในการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์เพื่อตอบคำถามว่าปรากฏการณ์เกิดขึ้นได้อย่างไร และนักวิทยาศาสตร์มักใช้แบบจำลองเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ หรือสิ่งที่เป็นนามธรรมให้เข้าใจง่ายขึ้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ร่วมกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์กับความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ด้วยการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับภาพเคลื่อนไหวเรื่อง เคมีไฟฟ้า กลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 32 คน โดยเลือกแบบเจาะจง วิจัยใช้รูปแบบผสมผสาน เครื่องมือวิจัย คือ 1) แผนการจัดการเรียนรู้ 2) แบบทดสอบวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ 3) ใบกิจกรรมวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ 4) แบบสัมภาษณ์ และ 5) อนุทิน สถิติที่ใช้ คือ ร้อยละ Wilcoxon Test และ Pearson Correlation ผลจากการวิจัยพบว่านักเรียนมีความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนมากกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และนักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่ปรับปรุงแก้ไขมากกว่าแบบจำลองเบื้องต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์กับความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนพบว่า หัวข้อปฏิกิริยารีดอกซ์และการชุบโลหะมีความสัมพันธ์ทางบวก ขณะที่หัวข้อเซลล์กัลวานิกมีความสัมพันธ์ทางลบ

คำสำคัญ: คำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

ABSTRACT

Scientific explanation is necessary for students to engage in scientific inquiry and answer the questions that how and why the phenomenon occurred. Moreover, scientists often use scientific model to explain phenomena or abstracts easily. The purposes of this research were to develop students' scientific explanation ability, constructing scientific model ability, and study relationship between students' constructing scientific model ability and scientific explanation ability in electrochemistry. The participants were 32 grade 11th students derived from purposive sampling. This research was conducted via mixed method. Research instruments were composed of 1) lesson plans 2) scientific explanation ability tests in topics of electrochemistry 3) constructing scientific model ability sheets in topics of electrochemistry 4) semi-structured Interview and 5) reflective journal. Descriptive statistics, e.g. percentage, Wilcoxon Test and Pearson Correlation analyze data. It was found that students' scientific explanation after learning in all topics was higher than before learning at .05 level of significance. The ability in construction of modified scientific model of students in all topics was higher than initial constructing scientific model ability at .05 level of significance. And student's constructing scientific model ability was positively correlated in low-moderate level with scientific explanations ability in redox reaction and electroplating cell. On the other hand, students' constructing scientific model was trivial negative correlated with the students' scientific explanation ability in galvanic cell.

KEYWORDS: Scientific explanation, Scientific model, Model-based inquiry

**Corresponding author, E-mail: pissanu@srn.ac.th โทร. 080-4899557*

Received: 14 May 2022 / Revised: 14 June 2022 / Accepted: 20 July 2022 / Published online: 1 September 2022

บทนำ

การสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์เป็นที่ยอมรับและถูกระบุไว้อย่างชัดเจนในหลักสูตรของหลายประเทศ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกาใช้การสืบเสาะหาความรู้ในการปฏิรูปการศึกษาวิทยาศาสตร์ทั้งในอดีตและปัจจุบัน (Abd-El-Khalic et al., 2004) และประเทศไทยได้กำหนดตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่กล่าวถึงการค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้ด้วยกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ ซึ่งการสอนให้สืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ต้องให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการสืบเสาะ โดยสิ่งสำคัญในการสืบเสาะ คือ ผู้เรียนต้องมีส่วนร่วมในคำถามที่สงสัย ผู้เรียนจะต้องออกแบบการสืบเสาะและวิเคราะห์ข้อมูล อีกทั้งต้องสร้างการทำนาย คำอธิบาย หรือแบบจำลองจากหลักฐานที่ได้โดยผ่านการคิดอย่างมีวิจารณญาณ และคิดด้วยเหตุและผล เพื่อใช้ในการสื่อสารทางวิทยาศาสตร์ (Bybee, R. W., 2004)

การสร้างคำอธิบายเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผู้เรียนในการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากสนับสนุนให้ผู้เรียนค้นหาหลักฐานและเหตุผลเพื่อสนับสนุนข้อกล่าวอ้างหรือโมเดลทางวิทยาศาสตร์ (McNeill & Krajcik, 2008) โดยผู้เรียนต้องกล่าวถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างไรและเพราะเหตุใด มิใช่การรู้เพียงผิวเผิน แต่ต้องเข้าใจปรากฏการณ์และแสดงให้เห็นเกิดความเข้าใจปรากฏการณ์ดังกล่าวได้อย่างถูกต้อง (McNeill, Lizotte, Krajcik, & Marx, 2006) การอธิบายทางวิทยาศาสตร์ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ คือ ข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และเหตุผล (McNeill et al., 2006) นอกจากนี้

การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้น (Ruiz-Primo, Tsai, & Scheneider, 2010) จากที่ผ่านมามีปัญหาว่า การส่งเสริมให้ผู้เรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นสิ่งที่ยาก เนื่องจากผู้เรียนต้องอนุมานสิ่งที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้และยังไม่เข้าใจสาเหตุ และไม่สามารถสร้างตรรกะเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานที่ปรากฏกับเหตุผล (Andrade, Freire, & Baptista, 2019) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพนิดา มีลา และร่มเกล้า อาจเดช (2560) ที่พบว่ากระบวนการและเหตุผลของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นเรื่องยากสำหรับผู้เรียน ดังนั้นเพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ได้ จำเป็นต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากการสร้างแบบจำลองสามารถส่งเสริมให้ผู้เรียนอธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ได้ (Coll & Lajium, 2011)

นักวิทยาศาสตร์มักใช้แบบจำลองเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ให้ง่ายขึ้น โดยแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เป็นตัวแทนของสิ่งที่ใหญ่กว่า สิ่งที่ยังมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า หรือนำมาใช้ในเรื่องที่เป็นนามธรรม โดยเฉพาะวิชาเคมีที่มีความเป็นนามธรรมสูง ซึ่งการสร้างและการใช้แบบจำลองทำให้นักเคมีสามารถสร้างภาพของสิ่งที่เกิดขึ้น กระบวนการต่าง ๆ และคิดเกี่ยวกับคำถามที่สงสัยได้ (Gilbert, Justi, & Queiroz, 2009) อย่างไรก็ตามในปัจจุบัน การเรียนในวิชาวิทยาศาสตร์มักไม่ได้มีโอกาสดังกล่าวให้ผู้เรียนได้พัฒนา ประเมิน และแก้ไขแบบจำลองที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์เหมือนกับนักวิทยาศาสตร์ปฏิบัติ (Cheng, Lin, Chang, Li, Wu, & Lin, 2014) ดังนั้น ครูควรนำผู้เรียนเข้าสู่กระบวนการสร้างแบบจำลอง เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถสร้าง แสดง และทดสอบแบบจำลองของตนเอง รวมทั้งให้ผู้เรียนรู้เกี่ยวกับธรรมชาติ ขอบเขต และข้อจำกัดของแบบจำลอง เข้าใจถึงบทบาทของแบบจำลองที่ได้รับการยอมรับและเผยแพร่ผลลัพธ์ที่ได้จากการสืบเสาะหาความรู้เพื่อความเข้าใจที่ถูกต้อง และเรียนรู้ว่าวิทยาศาสตร์ทำงานอย่างไร (Justi & Gilbert, 2002) จึงกล่าวได้ว่า การสร้างแบบจำลองเป็นสิ่งสำคัญในการเรียนวิทยาศาสตร์ ซึ่งในการจัดการเรียนรู้ที่สืบเสาะหาความรู้บนพื้นฐานของการสร้าง การทดสอบ และการแก้ไขแบบจำลอง เรียกว่า การจัดการเรียนรู้สืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Windschittel, Thompson & Braaten, 2008) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่ได้การยอมรับจากนักวิทยาศาสตร์ที่มุ่งเน้นการเชื่อมโยงโมเดล กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ และการสื่อสารในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้อย่างลึกซึ้ง (Neilson, Campbell & Allred, 2010) จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า สามารถพัฒนาความเข้าใจโมเดลในวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ดีขึ้น (Soulios & Psillos, 2016) และช่วยสนับสนุนให้ผู้เรียนสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ (พนิดา มีลา และร่มเกล้า อาจเดช, 2560) ดังนั้นการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในวิชาเคมี เนื่องจากแบบจำลองเป็นตัวแทนของสิ่งที่สังเกตได้และสิ่งที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ซึ่งสอดคล้องกับเนื้อหาของวิชาเคมีที่มีความเป็นนามธรรมอย่างยิ่ง

เนื้อหาในวิชาเคมีมีความเป็นนามธรรมสูง มักเป็นปัญหามากในการทำความเข้าใจของผู้เรียน อีกทั้งเนื้อหาบางส่วนเกี่ยวข้องกับอนุภาคและสิ่งที่มองไม่เห็น เช่น เรื่องไฟฟ้าเคมี โดยมีเนื้อหาเกี่ยวกับปฏิกิริยารีดอกซ์และความรู้ย่อย ๆ เช่น ปฏิกิริยารีดักชันและออกซิเดชัน ตัวรีดิวซ์ ตัวออกซิไดส์ เลขออกซิเดชัน (Treagust, Mthembu, & Chittleborough, 2014) จึงทำให้นักเรียนเกิดโมเดลที่คลาดเคลื่อนได้ เช่น อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านสารละลายและเคลื่อนที่ผ่านสะพานเกลือในเซลล์กัลวานิก การสับสัณระหว่างซัลโฟไทด์และแอนโธดในการเกิดปฏิกิริยารีดักชันและออกซิเดชัน เป็นต้น (Garnett & Treagust, 1992) เพื่อให้ให้นักเรียนมีโมเดลที่ถูกต้อง ครูต้องมีประสิทธิภาพในการจัดการเรียนรู้ ซึ่งขึ้นอยู่กับการสื่อสารและการอธิบายโมเดลที่เป็นนามธรรมและซับซ้อนให้นักเรียนเกิดความเข้าใจ (Treagust, Chittleborough, & Mamial, 2003) เพื่ออธิบายสิ่งที่มีความเป็นนามธรรมสูงให้ง่ายขึ้นได้ สามารถนำเทคโนโลยีมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ เช่น เทคโนโลยีเสมือนจริงและภาพเคลื่อนไหว เป็นต้น

ภาพเคลื่อนไหวเป็นชุดภาพที่แสดงอย่างต่อเนื่องบนหน้าจอโดยลักษณะเคลื่อนไหว สามารถนำมาเป็นสื่อเพื่ออธิบายเรื่องที่เป็นนามธรรม ภาพเคลื่อนไหวถูกนำมาใช้ในการสอนเพื่อให้เกิดการเรียนรู้ที่มีความหมายและเปลี่ยนแปลงมโนคติของผู้เรียนให้ดีขึ้น (Ozmen, 2011) เนื่องจากทำให้มองเห็นภาพและเข้าใจปฏิสัมพันธ์ของอนุภาคและการเปลี่ยนแปลงของ

ปฏิกิริยา (Suits & Sanger, 2013) ซึ่งสอดคล้องกับ Supasorn & Amatongchai (2016) ที่พบว่าภาพเคลื่อนไหวสามารถพัฒนาความเข้าใจในโมเดลและแบบจำลองทางความคิดในระดับอนุภาคได้

จากความสำคัญและความเป็นมาข้างต้น ผู้วิจัยมีความสนใจการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ภาพเคลื่อนไหวเพื่อพัฒนากลุ่มเป้าหมายที่มีปัญหาในการสร้างคำอธิบายเกี่ยวกับเรื่อง ไฟฟ้าเคมี ซึ่งไม่สามารถให้เหตุผลหรือหลักการในระดับจุลภาคได้ และไม่สามารถสร้างแบบจำลองวิทยาศาสตร์เพื่ออธิบายให้ผู้อื่นเข้าใจได้ อีกทั้งผู้วิจัยได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์กับความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนสร้างขึ้นด้วย เนื่องจากแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เป็นตัวแทนของปรากฏการณ์ที่สนใจเพื่อทำให้เข้าใจปรากฏการณ์ได้ง่ายขึ้นและนำไปสู่การพัฒนาการอธิบายได้ (Gilbert et al., 2000) ดังนั้นการที่นักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความสามารถในการสร้างคำอธิบายที่ดีขึ้นได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ภาพเคลื่อนไหว
2. เพื่อพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ภาพเคลื่อนไหว
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์กับความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง เคมีไฟฟ้า ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เมื่อจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้ภาพเคลื่อนไหว

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน หมายถึง การจัดการเรียนรู้ที่บูรณาการระหว่างการสร้างแบบจำลองและการสืบเสาะหาความรู้ ที่เน้นให้ผู้เรียนได้สืบเสาะหาความรู้โดยการสร้างคำถามหรือสร้างแบบจำลองในการสำรวจปรากฏการณ์ ประเมินและแก้ไขแบบจำลองในมุมมองเพื่อเป็นข้อสรุปจากการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์
2. ภาพเคลื่อนไหว หมายถึง ชุดภาพที่แสดงอย่างต่อเนื่องที่แสดงถึงการเคลื่อนไหวของไอออน อะตอม โมเลกุล และอิเล็กตรอน และสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับมหภาค ที่เกี่ยวข้องกับเรื่องเคมีไฟฟ้า เช่น การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน การเคลื่อนที่ของไอออนต่าง ๆ ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และ การเกิดของแข็งและการฟุ้งกระจายของขั้วไฟฟ้า เป็นต้น
3. ความสามารถในการคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถในการบรรยายปรากฏการณ์ทางเคมีไฟฟ้าว่าเกิดขึ้นได้อย่างไรและมีสาเหตุอย่างไร บนพื้นฐานข้อเท็จจริงทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วย 3 องค์ประกอบคือ ข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และเหตุผล
4. ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถสื่อสารหรืออธิบายความเข้าใจที่มีต่อปรากฏการณ์ทั้งในระดับจุลภาค มหภาค และสัญลักษณ์

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed method) โดยวิเคราะห์ข้อมูลแบบเชิงคุณภาพ เพื่อศึกษาระดับความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ก่อนและหลังเรียน และความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เบื้องต้นและที่ปรับปรุงแก้ไข และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ก่อนและหลังเรียน เปรียบเทียบความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

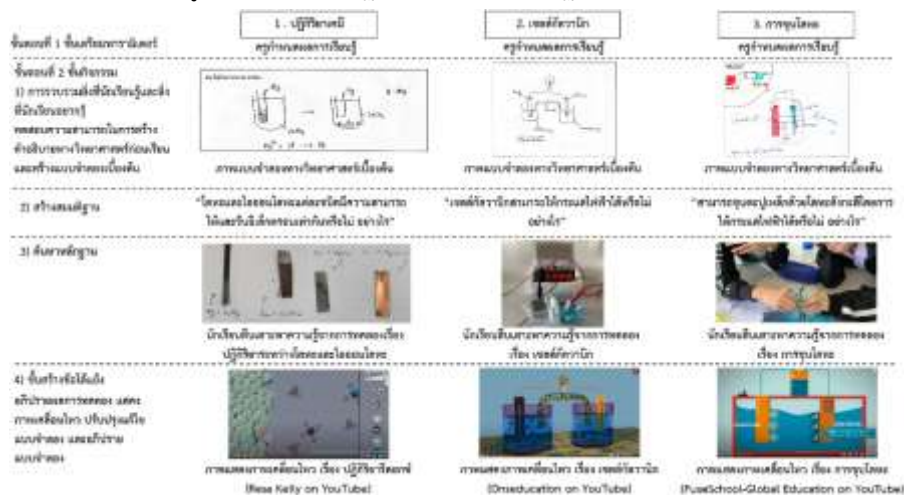
เบื้องต้นและที่ปรับปรุงแก้ไข และใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่ปรับปรุงแก้ไขกับความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์หลังการจัดการเรียนรู้

กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 32 คน ที่เรียนวิชาเคมีในโรงเรียนแห่งหนึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยนักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในระดับเก่งถึงปานกลาง โดยเลือกกลุ่มเป้าหมายแบบเจาะจง

เครื่องมือวิจัย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ ประกอบด้วยแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง เคมีไฟฟ้า จำนวน 3 แผนการจัดการเรียนรู้ ได้แก่ ปฏิภาณรีดอกซ์ เซลล์กัลวานิก และการชุบโลหะ ซึ่งแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ใช้เวลาจำนวน 2 คาบเรียน รวมทั้งหมด 6 คาบเรียน และใช้ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามกรอบแนวคิดของ Windschitl, Thompson & Braaten (2008) โดยมี 2 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นเตรียมพารามิเตอร์ และ 2) ขั้นกิจกรรม โดยขั้นกิจกรรมแบ่งออกเป็น 2.1) การรวบรวมสิ่งที่นักเรียนรู้และสิ่งที่นักเรียนอยากรู้ 2.2) สร้างสมมติฐาน 2.3) ค้นหาหลักฐาน และ 2.4) ขันสร้างข้อโต้แย้ง ดังภาพ 1



ภาพ 1 การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับภาพเคลื่อนไหว

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 แบบทดสอบความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วยแบบทดสอบจำนวน 3 ข้อ ซึ่งแต่ละข้อประกอบด้วยคำถามปลายเปิดจำนวน 3 ข้อย่อย แสดงดังรูป 1 โดยให้ระบุข้อกล่าวอ้าง (ข้อ 1.1) หลักฐาน (ข้อ 1.2) และเหตุผล (ข้อ 1.3) โดยแบบทดสอบนี้ได้รับการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ซึ่งการวิเคราะห์และระดับการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในแต่ละองค์ประกอบเป็นไปตามกรอบแนวคิดของ McNeill et al., (2006) ดังตาราง 1

ข้อ 1.1 ข้อใดต่อไปนี้คือสารประกอบไอออนิก? (เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด)			
ข้อ 1.2 ข้อใดต่อไปนี้คือสารประกอบไอออนิก? (เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด)	ข้อ 1.3 ข้อใดต่อไปนี้คือสารประกอบไอออนิก? (เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด)		
ข้อ 1.4 ข้อใดต่อไปนี้คือสารประกอบไอออนิก? (เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด)	ข้อ 1.5 ข้อใดต่อไปนี้คือสารประกอบไอออนิก? (เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด)		

ภาพ 2 แบบทดสอบความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ หัวข้อ ปฏิภาณรีดอกซ์

ตาราง 1 เกณฑ์ในการระบุองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (McNeill et al., 2006)

องค์ประกอบ	ระดับการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์		
	ระดับ 0	ระดับ 1	ระดับ 2
ข้อกล่าวอ้าง (Claim)	ไม่สามารถให้ข้อกล่าวอ้าง หรือ สร้างข้อกล่าวอ้างไม่ถูกต้อง	ให้ข้อกล่าวอ้างถูกต้องแต่ไม่ สมบูรณ์	ให้ข้อกล่าวอ้างถูกต้องสมบูรณ์
หลักฐาน (Evidence)	ไม่สามารถให้หลักฐานหรือให้ หลักฐานที่ไม่เหมาะสม	ให้หลักฐานที่เหมาะสม แต่ไม่ เพียงพอที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง หรือหลักฐานบางส่วนไม่เหมาะสม	ให้หลักฐานอย่างเหมาะสมและ เพียงพอในการสนับสนุนข้อกล่าว อ้าง
เหตุผล (Reasoning)	ไม่สามารถให้เหตุผล หรือให้ เหตุผลแต่ไม่สามารถเชื่อมโยง หลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง	ให้เหตุผลที่เชื่อมโยงหลักฐานกับ ข้อกล่าวอ้าง มีการกล่าวถึง หลักฐานและ/หรือมีหลักการทาง วิทยาศาสตร์ไม่เพียงพอ	ให้เหตุผลที่เชื่อมโยงหลักฐานกับ ข้อกล่าวอ้าง ซึ่งมีหลักการทาง วิทยาศาสตร์ที่เหมาะสมและ เพียงพอ

หลังจากการระบุระดับของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในแต่ละองค์ประกอบแล้ว ผู้วิจัยได้นำเกณฑ์แบบจำเพาะมา
 ปรับให้เป็นเกณฑ์แบบทั่วไป เพื่อประเมินความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ ซึ่งผู้วิจัย
 ได้เปลี่ยนจากระดับของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ให้กลายเป็นคะแนน เนื่องจากระดับการสร้างคำอธิบายในแต่ละ
 องค์ประกอบเป็นมาตรวัดเรียงลำดับ จึงต้องเปลี่ยนเป็นระดับคะแนน ซึ่งเป็นมาตรอันตรภาค โดยกำหนดให้ระดับ 0 เป็น 0
 คะแนน ระดับ 1 เป็น 1 คะแนน และระดับ 2 เป็น 2 คะแนน แล้วนำคะแนนในแต่ละองค์ประกอบมารวมเป็นคะแนนรวมของ
 ความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ โดยกำหนดเกณฑ์ในการประเมินที่ได้มาจากการพิจารณาค่าพิสัย โดย
 แบ่งเกณฑ์ออกเป็น 3 ระดับ คือ เกณฑ์ควรปรับปรุง (0-2 คะแนน) เกณฑ์ดี (3-4 คะแนน) และเกณฑ์ดีมาก (5-6 คะแนน)

2.2 ใบกิจกรรม ที่ให้นักเรียนแสดงแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เบื้องต้นและแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่ปรับปรุง
 แก้ไขเพื่อตอบคำถามจากปรากฏการณ์ในเรื่อง เคมีไฟฟ้า โดยใบกิจกรรมประกอบด้วย 3 ใบกิจกรรมที่ครอบคลุมในแต่ละ
 หัวข้อ ซึ่งการวิเคราะห์ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ออกเป็น 3 องค์ประกอบ โดยปรับปรุงจากเกณฑ์
 ของ Bamberger & Davis (2013) คือ 1) การอธิบาย 2) ความเป็นนามธรรม และ 3) การระบุคำสำคัญ แสดงในตาราง 2

ตาราง 2 เกณฑ์การประเมินการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

ระดับ	การอธิบาย	ความเป็นนามธรรม	การระบุคำสำคัญ
0	ไม่แสดงแบบจำลอง	ไม่แสดงแบบจำลอง	ไม่แสดงแบบจำลอง
1	แสดงแบบจำลองที่ไม่มีกระบวนการที่ เคลื่อนไหว โดยอธิบายแค่สิ่งที่เกิดขึ้น ก่อนและหลัง แต่ไม่อธิบายกระบวนการ	มีเฉพาะองค์ประกอบที่สามารถ มองเห็นได้	ไม่มีการระบุคำสำคัญ
2	แสดงแบบจำลองที่สื่อถึงการเคลื่อนไหว โดยอธิบายว่าสิ่งที่เกิดขึ้นผ่าน กระบวนการที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ แต่ไม่มี การอธิบายเหตุผล	มีองค์ประกอบที่ไม่สามารถสังเกตเห็น ได้ เช่น คลื่น การเคลื่อนที่ของโมเลกุล	มีการระบุคำสำคัญที่แสดงถึง องค์ประกอบของแบบจำลอง บางส่วน

ระดับ	การอธิบาย	ความเป็นนามธรรม	การระบุค่าสำคัญ
3	แสดงแบบจำลองที่อธิบายว่าสิ่งที่เกิดขึ้นผ่านกระบวนการ รวมถึงระบุเหตุผลที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ขึ้น	มีองค์ประกอบที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ มีการแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบ	มีการระบุค่าสำคัญที่แสดงองค์ประกอบของแบบจำลองของนักเรียนทั้งหมด

หลังจากการระบุระดับในแต่ละองค์ประกอบของการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์แล้ว ผู้วิจัยได้นำเกณฑ์แบบจำเพาะมาปรับให้เป็นเกณฑ์แบบทั่วไปสำหรับการประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ ซึ่งผู้วิจัยได้เปลี่ยนจากระดับการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในแต่ละองค์ประกอบให้กลายเป็นคะแนน โดยกำหนดให้ระดับ 0 เป็น 0 คะแนน ระดับ 1 เป็น 1 คะแนน ระดับ 2 เป็น 2 คะแนน และระดับ 3 เป็น 3 คะแนน เมื่อนำคะแนนในแต่ละองค์ประกอบมารวมเป็นความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งแบ่งเกณฑ์การประเมินออกเป็น 3 ระดับ เกณฑ์ควรปรับปรุง (0-3 คะแนน) เกณฑ์ดี (4-6 คะแนน) และเกณฑ์ดีมาก (7-9 คะแนน)

2.3 แบบสัมภาษณ์ เป็นแบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง เพื่อขยายความของคำตอบที่นักเรียนแสดงออกให้ชัดเจนมากขึ้นในบางคำตอบ โดยทำการสัมภาษณ์ผู้เรียนภายในวันที่นักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้

2.4 อนุทิน เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับภาพเคลื่อนไหว โดยให้นักเรียนได้บันทึกเมื่อจบการจัดการเรียนรู้ในแต่ละแผนการเรียนรู้

ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ผลจากการวิจัย ผู้วิจัยได้แสดงผลการวิจัยตามลำดับของวัตถุประสงค์ ดังนี้

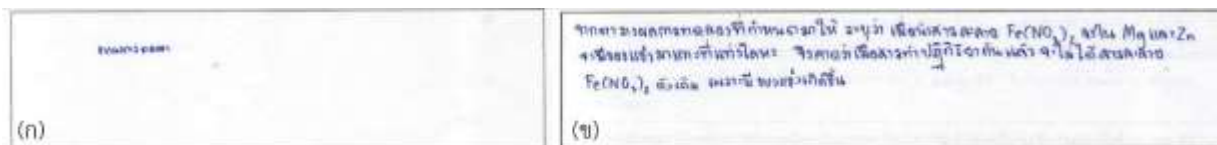
1. ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยนักเรียนสามารถระบุองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 3 องค์ประกอบในระดับต่าง ๆ แสดงดังตาราง 3

ตาราง 3 จำนวนนักเรียนในแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้

หัวข้อ	องค์ประกอบ	จำนวนนักเรียน(คน)ในแต่ละองค์ประกอบคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์					
		ระดับ 0		ระดับ 1		ระดับ 2	
		ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน
ปฏิกิริยารีดอกซ์	ข้อกล่าวอ้าง	3	0	7	3	22*	29*
	หลักฐาน	13*	5	6	9	13*	18*
	เหตุผล	27*	10	4	7	1	15*
เซลล์กัลวานิก	ข้อกล่าวอ้าง	23*	0	7	4	2	28*
	หลักฐาน	18*	9	13	3	1	20*
	เหตุผล	31*	2	1	15*	0	15*
การชุบโลหะ	ข้อกล่าวอ้าง	19*	0	0	0	13	32 *
	หลักฐาน	16*	3	12	9	4	20*
	เหตุผล	30*	9	2	5	0	18*

หมายเหตุ เครื่องหมาย * คือ จำนวนนักเรียนมากที่สุดในแต่ละองค์ประกอบ

จากตาราง 3 พบว่า ก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่ระบุองค์ประกอบคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในระดับ 0 มีเพียงข้อกล่าวอ้างในหัวข้อปฏิกิริยารีดอกซ์เท่านั้นที่อยู่ในระดับ 2 เมื่อนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ระบุองค์ประกอบคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ระดับ 2 ในทุกองค์ประกอบ และข้อกล่าวอ้างในหัวข้อปฏิกิริยารีดอกซ์มีจำนวนนักเรียนที่อยู่ในระดับ 2 เพิ่มขึ้นจากก่อนเรียน



ภาพ 3 แสดงการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในองค์ประกอบหลักฐานของนักเรียน

จากภาพ 3 (ก) ระบุว่า “จากการทดลอง” จึงจัดอยู่ในการระบุหลักฐานระดับ 0 เนื่องจากไม่มีการระบุหลักฐานใดเลย จึงไม่สามารถใช้สนับสนุนข้อกล่าวอ้างได้ และจากภาพ 3 (ข) จัดอยู่ระดับ 2 เนื่องจากมีการกล่าวถึงว่าเกิดของแข็งขึ้นเนื่องจากเกิดปฏิกิริยา จึงเป็นหลักฐานอย่างเหมาะสมและเพียงพอในการสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง

ผู้วิจัยได้เปลี่ยนจากระดับของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในแต่ละองค์ประกอบให้กลายเป็นคะแนนและนำคะแนนในแต่ละองค์ประกอบมารวมเป็นความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งแสดงดังตาราง 4

ตาราง 4 จำนวนนักเรียนจำแนกตามเกณฑ์ความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ก่อนและหลังเรียน

หัวข้อ	ความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์	ก่อนเรียน	หลังเรียน	การทดสอบ Wilcoxon signed-ranks test
ปฏิกิริยารีดอกซ์	ดีมาก	3	19*	-4.224 (p < 0.05)
	ดี	14	8	
	ควรปรับปรุง	15*	5	
เซลล์กัลวานิก	ดีมาก	0	21*	-4.919 (p < 0.05)
	ดี	3	8	
	ควรปรับปรุง	29*	3	
การชุบโลหะ	ดีมาก	1	20*	-4.861 (p < 0.05)
	ดี	7	10	
	ควรปรับปรุง	24*	2	

หมายเหตุ เครื่องหมาย * คือ จำนวนนักเรียนมากที่สุดในแต่ละระดับ

จากตาราง 4 พบว่าก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในระดับควรปรับปรุง เมื่อนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้แล้วพบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในระดับดีมากในทุกหัวข้อ และคะแนนความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในทุกหัวข้อหลังเรียนมากกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

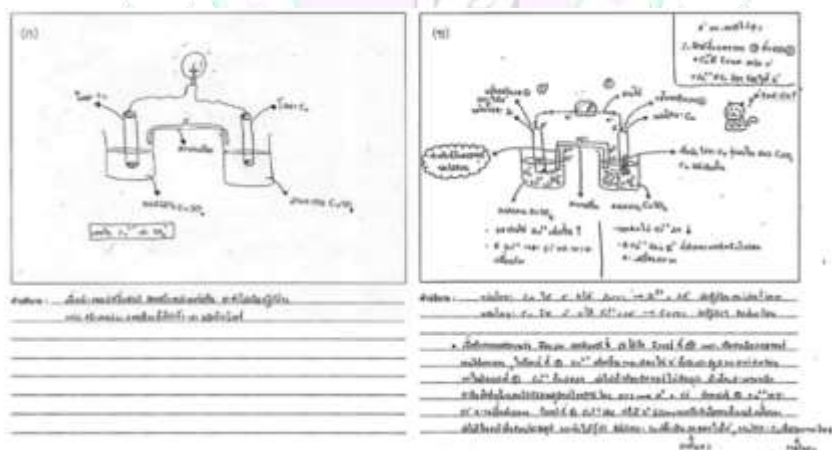
2. ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยจำนวนนักเรียนที่สามารถสร้างแบบจำลองที่ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบในระดับต่าง ๆ แสดงดังตาราง 5 และตัวอย่างแบบจำลองเบื้องต้นและแบบจำลองที่ปรับปรุงแก้ไขของนักเรียน แสดงดังภาพ 4

ตาราง 5 แสดงจำนวนนักเรียนในแต่ละองค์ประกอบของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เบื้องต้นและปรับปรุงแก้ไข

หัวข้อ	องค์ประกอบ	จำนวนนักเรียน(คน)ในแต่ละองค์ประกอบของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์							
		ระดับ 0		ระดับ 1		ระดับ 2		ระดับ 3	
		ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน
ปฏิบัติการ ดอกรี	การอธิบาย	20*	5	10	13*	2	8	0	6
	ความเป็นนามธรรม	20*	5	10	13*	2	7	0	7
	การระบุค่าสำคัญ	0	0	1	0	22*	13	9	19*
เซลล์ กัลวานิก	การอธิบาย	13*	0	8	0	6	7	5	25*
	ความเป็นนามธรรม	13*	0	8	0	3	4	8	28*
	การระบุค่าสำคัญ	0	0	4	0	23*	19*	5	13
การ อุปโลหะ	การอธิบาย	13*	0	8	0	6	7	5	25*
	ความเป็นนามธรรม	13*	0	8	0	3	4	8	28*
	การระบุค่าสำคัญ	0	0	4	0	23*	19*	5	13

หมายเหตุ เครื่องหมาย * คือ จำนวนนักเรียนมากที่สุดในแต่ละองค์ประกอบ

จากตาราง 5 พบว่าก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่ระบุองค์ประกอบของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับ 0 ในทุกหัวข้อ ยกเว้นการระบุค่าสำคัญที่นักเรียนสามารถระบุความสำคัญในระดับ 2 เมื่อจัดการเรียนรู้และนักเรียนได้ปรับปรุงแก้ไขแบบจำลอง พบว่าในทุกหัวข้อมีระดับขององค์ประกอบของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่สูงขึ้นกว่าแบบจำลองเบื้องต้น



ภาพ 4 แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เบื้องต้น (ก) และแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่ปรับปรุงแก้ไข (ข)

จากภาพ 4 ตัวอย่างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เบื้องต้นหัวข้อเซลล์กัลวานิก ซึ่งจัดอยู่ในระดับ 0 ของการอธิบาย เนื่องจากนักเรียนแสดงแบบจำลองเพียงแค่ส่วนประกอบของเซลล์กัลวานิก โดยไม่แสดงสิ่งที่จะเกิดขึ้น เช่น ของแข็งเกาะขั้ว แคโทด การผุกร่อนของขั้วแอโนด เป็นต้น อีกทั้งแสดงสะพานเกลือที่ไม่ถูกต้อง ส่วนแบบจำลองที่ปรับปรุงแก้ไขจัดอยู่ในการอธิบายระดับ 3 เนื่องจากวาดแบบจำลองที่อธิบายการให้และรับอิเล็กตรอนของอะตอมของโลหะกับไอออนของโลหะ ทิศทางการไหลของอิเล็กตรอน การเบนเข็มของโวลต์มิเตอร์ ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานรีดักชัน และการเคลื่อนที่ของไอออนในสะพานเกลืออย่างถูกต้อง และเมื่อพิจารณาถึงความเป็นนามธรรม พบว่านักเรียนได้สร้างแบบจำลองที่มีความเป็นนามธรรม

และมีการเชื่อมโยงภายในแบบแบบจำลอง จึงจัดอยู่ในระดับ 3 และนักเรียนระบุค่าสำคัญลงในแบบจำลอง เช่น ชนิดแผ่นโลหะ ชนิดสารละลาย ชนิดของแข็งที่เกาะขั้วแคโทด และสะพานเกลือ จึงจัดอยู่ในระดับ 3

ผู้วิจัยได้เปลี่ยนจากระดับของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในแต่ละองค์ประกอบให้กลายเป็นคะแนนและนำคะแนนในแต่ละองค์ประกอบมารวมเป็นความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ แสดงดังตาราง 6

ตาราง 6 จำนวนนักเรียนในแต่ละองค์ประกอบของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เบื้องต้นและปรับปรุงแก้ไข

หัวข้อ	ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์	เบื้องต้น	ปรับปรุงแก้ไข	การทดสอบ Wilcoxon signed-ranks test
ปฏิกิริยารีดอกซ์	ดีมาก	1	12	-3.982 (p < 0.05)
	ดี	11	15*	
	ควรปรับปรุง	20*	5	
เซลล์กัลวานิก	ดีมาก	4	32*	-4.879 (p < 0.05)
	ดี	12	0	
	ควรปรับปรุง	16*	0	
การชุบโลหะ	ดีมาก	8	30*	-4.418 (p < 0.05)
	ดี	11	2	
	ควรปรับปรุง	13*	0	

หมายเหตุ เครื่องหมาย * คือ จำนวนนักเรียนมากที่สุดในแต่ละองค์ประกอบ

จากตารางที่ 6 พบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีความสามารถในการสร้างแบบจำลองเบื้องต้นอยู่ในระดับควรปรับปรุงในทุกหัวข้อ เมื่อนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้และมีการปรับปรุงแก้ไขแบบจำลอง พบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีความสามารถในการสร้างแบบจำลองอยู่ในระดับดีและดีมาก และเมื่อทดสอบ Wilcoxon signed-ranks test พบว่า นักเรียนมีคะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่ปรับปรุงแก้ไขในทุกหัวข้อมากกว่าแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เบื้องต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. ผลจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เมื่อจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับภาพเคลื่อนไหว พบว่าในหัวข้อปฏิกิริยารีดอกซ์มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.128 ซึ่งมีค่าเป็นบวก แสดงว่าความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในหัวข้อปฏิกิริยารีดอกซ์ มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในหัวข้อปฏิกิริยารีดอกซ์ เมื่อพิจารณาระดับของความสัมพันธ์ตามกับของ De Vaus (2004) พบว่าทั้งสองตัวแปรความสัมพันธ์ต่ำถึงปานกลาง ส่วนหัวข้อเซลล์กัลวานิกมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -0.085 แสดงว่าความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์หัวข้อเซลล์กัลวานิกและความสัมพันธ์เชิงลบเล็กน้อยกับความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์หัวข้อเซลล์กัลวานิก และหัวข้อการชุบโลหะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.174 แสดงว่าความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในหัวข้อการชุบโลหะ มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่ำถึงปานกลางกับความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในหัวข้อ การชุบโลหะ

อภิปราย และข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัย สามารถอภิปรายผลการวิจัยตามลำดับของวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

1. จากการพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง ไฟฟ้าเคมี พบว่านักเรียนมีความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนมากกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ในทุกแผนการจัดการเรียนรู้ ซึ่งมีสาเหตุมาจากนักเรียนสามารถระบุองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ดีขึ้น ได้แก่ 1) ข้อกล่าวอ้างเป็นองค์ประกอบที่ง่ายที่สุด (McNeill & Krajcik, 2012) เนื่องจากนักเรียนเขียนตอบเพียงแค่คำสั้น ๆ ทำให้ข้อกล่าวอ้างยังเป็นองค์ประกอบที่มีจำนวนนักเรียนในระดับ 2 มากกว่าองค์ประกอบอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ McNeill & Krajcik (2008) และศศิธร ศรีกุลวงศ์ และลลภา ลดาชาติ (2564) ที่พบว่าข้อกล่าวอ้างเป็นองค์ประกอบที่มีคะแนนมากกว่าองค์ประกอบอื่น ๆ 2) หลักฐาน นักเรียนสามารถระบุหลักฐานได้ดีขึ้นเนื่องจากนักเรียนได้สืบเสาะหาความรู้ผ่านการทดลองและนำมาใช้เป็นหลักฐานในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ (McNeill et al., 2006) ซึ่งสอดคล้องกับ Windschitl et al. (2008) ที่กล่าวว่าข้อมูลที่มาจากการทดลองหรือการสังเกตจะเป็นหลักฐานที่ใช้สนับสนุนการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ และ 3) เหตุผลเป็นองค์ประกอบที่ยากที่สุด เนื่องจากเกี่ยวข้องกับการให้เหตุผลเพื่อเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานและข้อกล่าวอ้าง (McNeill & Krajcik, 2012) และเมื่อวิเคราะห์ย้อนหลังจากการจัดการเรียนรู้ที่กล่าวว่า “เข้าใจตอนวาดรูปให้เห็นโมเลกุล และมีวิธีอธิบายให้ดู ทำให้เข้าใจมากขึ้นค่ะ” ดังนั้นการที่นักเรียนสามารถระบุเหตุผลได้ดีขึ้น น่าจะมีผลจากภาพเคลื่อนไหวที่แสดงถึงการเคลื่อนที่ของไอออน โมเลกุล และอิเล็กตรอนในกระบวนการให้และรับอิเล็กตรอน จึงช่วยให้ผู้เรียนสามารถมองเห็นภาพในระดับโมเลกุล ซึ่งสอดคล้องกับโพธิศักดิ์ โพธิเสน และ ชาดรี ฝ่ายคำตา (2560) ที่กล่าวว่า ภาพเคลื่อนไหวสามารถทำให้นักเรียนเข้าใจได้มากขึ้น เพราะนักเรียนสามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงในระดับที่มองเห็นได้ และในระดับโมเลกุล จึงเกิดการเชื่อมโยงการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ อีกทั้งมีสาเหตุอื่นเนื่องมาจากนักเรียนได้มีโอกาสในการสร้างแบบจำลองเกี่ยวกับเซลล์กลวานิก ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการช่วยสนับสนุนและพัฒนาให้นักเรียนสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ (Yang & Wang, 2014)

2. จากการพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง ไฟฟ้าเคมี พบว่านักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองที่ปรับปรุงแก้ไขมากกว่าแบบจำลองเบื้องต้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ในทุกหัวข้อ โดยนักเรียนสามารถแสดงองค์ประกอบของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ได้ดีขึ้นจากแบบจำลองเบื้องต้น ดังนี้ 1) การอธิบาย นักเรียนสามารถสร้างแบบจำลองที่อธิบายได้ เนื่องจากนักเรียนได้สืบเสาะหาความรู้ผ่านการทดลองแล้ว ทำให้นักเรียนนำหลักฐานมาใช้ปรับปรุงแก้ไขแบบจำลอง ซึ่งสอดคล้องกับนักวิทยาศาสตร์ได้สังเกตและเลือกข้อมูลมาเป็นหลักฐานในการใช้แบบจำลองในการอธิบาย (Akerson et al., 2009) อีกทั้งภาพเคลื่อนไหวในขั้นตอนการโต้แย้งช่วยให้นักเรียนเชื่อมโยงสิ่งที่สืบเสาะมาได้กับกระบวนการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนที่นักเรียนไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ทำให้นักเรียนเข้าใจเกี่ยวกับการให้และรับอิเล็กตรอน ตัวออกซิไดส์และตัวรีดิวซ์ และในขั้นตอนการโต้แย้ง แบบจำลองของนักเรียนจะได้รับการประเมินอยู่บนพื้นฐานของหลักฐานและทฤษฎี (Schwarz et al., 2009) อีกทั้งการนำเสนอให้เพื่อนในชั้นเรียนได้พิจารณาแบบจำลองของตนเอง ทำให้แบบจำลองของนักเรียนได้อธิบายได้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของรัตนมา สุท่ามา และ รมเกล้า จันทราธิ (2565) ที่กล่าวว่า เมื่อนักเรียนนำแบบจำลองครั้งแรกที่สร้างขึ้นมาเปรียบเทียบกับข้อมูลใหม่ โดยการเปรียบเทียบแบบจำลองของเพื่อนในชั้นเรียน จะนำไปสู่แบบจำลองที่ดีขึ้น 2) ความเป็นนามธรรม นักเรียนสามารถสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่ปรับปรุงแก้ไขที่มีความเป็นนามธรรมได้ในระดับ 3 เป็นจำนวน 28 คน ซึ่งมีจำนวนเพิ่มขึ้นจากแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เบื้องต้น อันมีสาเหตุจากนักเรียนได้ชมภาพเคลื่อนไหวที่แสดงถึงการเคลื่อนที่ของไอออนต่างในสารละลาย ซึ่งสอดคล้องกับ Canning & Cox (2001) ที่กล่าวว่าภาพเคลื่อนไหวทำให้นักเรียนเข้าใจถึงโครงสร้างของโมเลกุลและอันตรกิริยา และสาเหตุอีกประการหนึ่ง คือ ในขั้นตอนการโต้แย้งมีการอภิปรายผลว่ามีหลักฐานใดและเหตุผลใดที่สามารถ

ใช้สนับสนุนแบบจำลอง และเพื่อนร่วมชั้นเรียนประเมินแบบจำลองที่สร้างขึ้น ทำให้นักเรียนพยายามพัฒนาแบบจำลองของตนเองให้เข้าใจยิ่งขึ้น (Coll & Lajium, 2011) และ 3) การระบุคำสำคัญ นักเรียนระบุคำสำคัญในแบบจำลองเบื้องต้นได้ดี เนื่องจากกลุ่มเป้าหมายในงานวิจัยนี้ได้เรียนวิชาชีววิทยาที่มีการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการวาดรูปทางชีววิทยา จึงทำให้ก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่จึงสามารถระบุคำสำคัญได้

3. จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์กับความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในหัวข้อปฏิกิริยารีดอกซ์และการชุบโลหะพบว่าความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับต่ำถึงปานกลางกับความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ โดยมีสาเหตุอันเนื่องมาจากการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับภาพเคลื่อนไหวมีกระบวนการสืบเสาะ การดำเนินการทดลอง สร้าง และประเมินข้อสรุปในการพยายามสำรวจปรากฏการณ์ (Wang et al., 2015) ซึ่งสนับสนุนให้นักเรียนสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ได้ดีขึ้น โดยแบบจำลองที่นักเรียนสร้างนั้นจะเป็นการเชื่อมโยงระหว่างทฤษฎีกับปรากฏการณ์ (Oh & Oh, 2011) ซึ่งคล้ายกับการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ประกอบด้วยหลักฐานและเหตุผล (McNeill et al., 2006) โดยอยู่บนพื้นฐานข้อเท็จจริงทางวิทยาศาสตร์ เพื่อบรรยายถึงปรากฏการณ์ต่าง ๆ และเมื่อนักเรียนได้รับการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้นักเรียนเกิดความเข้าใจมากขึ้น จึงส่งผลให้นักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองและการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ดีขึ้นด้วย แต่ในหัวข้อเซลล์กลไก พบว่าความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มีความสัมพันธ์ทางลบเล็กน้อยกับความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากเหตุผลต่อไปนี้ ประการที่ 1 ในการวัดความสามารถในการแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลจากใบกิจกรรมซึ่งมีคำถามเดียว แต่ในการวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบทดสอบที่ประกอบด้วย 3 ข้อย่อย คือ การระบุข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และเหตุผล ดังนั้นผู้เรียนต้องตอบคำถามในแต่ละข้อย่อยให้ถูกต้อง ทำให้นักเรียนที่มีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่สูง แต่อาจมีคะแนนความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ต่ำได้ ประการที่ 2 อาจมีตัวแปรอื่น ๆ ที่ไม่ได้ศึกษาที่เป็นสาเหตุทำให้ตัวแปรที่ศึกษาที่มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวกหรือเชิงลบ (ไพศาล วรคำ, 2559) เช่น ในการทดสอบความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการจัดการเรียนรู้ในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ และในการจัดการเรียนรู้ในแต่ละครั้งเกินจากเวลาที่กำหนด ทำให้นักเรียนรีบเร่งทำแบบทดสอบ จึงส่งผลถึงคะแนนของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งสอดคล้องกับ De Paola & Gioia (2014) ที่กล่าวว่า การกดดันทางด้านเวลาในการสอบมักส่งผลทางลบต่อความสามารถของนักเรียน และประการที่ 3 ในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับภาพเคลื่อนไหว ครูมีการฝึกฝนให้นักเรียนสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์โดยการสุ่มเรียกตอบรายบุคคลและเรียกตัวแทนแต่ละกลุ่มเพื่อตอบคำถามเกี่ยวกับข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และเหตุผล จึงทำให้นักเรียนบางคนได้รับการสะท้อนผลกลับภายในคาบเรียน แต่ทั้งนี้การสะท้อนผลคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ดังกล่าวไม่ได้สะท้อนกลับให้นักเรียนทุกคนทันที เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านเวลา ดังนั้นหมายความว่านักเรียนบางคนที่ไม่ได้รับการฝึกฝนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์อย่างเต็มที่ จึงอาจเป็นสาเหตุทำให้คะแนนความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ต่ำกว่าคะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1. การจัดการเรียนรู้ในงานวิจัยครั้งนี้มีหลายขั้นตอนที่ต้องใช้เวลา เช่น นักเรียนสร้างแบบจำลองเบื้องต้นและแก้ไขแบบจำลองโดยใช้เวลามาก ทำให้ครูต้องจำกัดทางด้านเวลา อาจส่งผลต่อแบบจำลองของนักเรียน

2. จากการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ พบว่านักเรียนบางส่วนไม่สามารถสืบเสาะได้ด้วยตนเองโดยที่ปราศจากการให้คำแนะนำของครูผู้สอน เนื่องจากผู้เรียนไม่มีทักษะการสืบเสาะและยังไม่คุ้นชินกับวิธีการจัดการเรียนรู้ในงานวิจัยครั้งนี้ ทำให้ขั้นตอนการค้นหาลักษณะพื้นฐานมีปัญหาต่าง ๆ เช่น การออกแบบวิธีการทดลองและการบันทึกผล การลงข้อสรุป เป็นต้น

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. การฝึกฝนให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในขั้นตอนการสร้างข้อโต้แย้ง โดยครูใช้วิธีการให้ตัวแทนแต่ละกลุ่มตอบคำถาม ทำให้นักเรียนบางส่วนไม่ได้รับผลสะท้อน ดังนั้นครูควรศึกษาวิธีการที่สะท้อนผลให้นักเรียนทุกคนได้ทันที
2. ควรศึกษาวิธีการและกระบวนการต่าง ๆ ในการประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในระหว่างการจัดการเรียนรู้ เพื่อทราบว่านักเรียนมีกระบวนการในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อย่างไร เพื่อหาแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับผู้เรียนและสนับสนุนการพัฒนาความสามารถดังกล่าวให้ดีขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- พัฒน์นิดา มีลา และ ร่มเกล้า อาจเดช. (2560). การสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานและการอธิบายทางวิทยาศาสตร์: การส่งเสริมการสร้างความหมายในชั้นเรียน. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์*, 19(3), 1-15.
- โพธิศักดิ์ โพธิเสน และ ชาตรี ฝ้ายคำตา. (2560). ฉันทวิวัฒนาการแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีอย่างไร: การวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, 8(1), 101-122.
- ไพศาล วรคำ. (2559). *การวิจัยทางศึกษา*. มหาสารคาม: ตักสิลาการพิมพ์.
- รัตนา สุท่ามา และ ร่มเกล้า จันทราษี. (2565). ความเข้าใจญาณวิทยาเกี่ยวกับแบบจำลองและกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนรู้ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน. *ศึกษาศาสตร์สาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 6(2), 31-45.
- ศศิเมน ศรีกุลวงศ์ และ ฤฎาภา ลดาชาติ. (2564). การใช้แบบจำลองและการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. *ศึกษาศาสตร์สาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 5(1), 12-27.
- Abd-El-Khalick, F., BouJaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D., Tuan, H.-L. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education*, 88(3), 397-419.
- Akerson, V. L., Townsend, J. S., Donnelly, L. A., Hanson, D. L., Tira, P., & White, O. (2009). Scientific Modeling for Inquiring Teachers Network (SMIT'N): The Influence on Elementary Teachers' Views of Nature of Science, Inquiry, and Modeling. *Journal of Science Teacher Education*, 20(1), 21-40.
- Andrade, V. D., Freire, S., & Baptista, M. (2019). Constructing Scientific Explanations: A System of Analysis for Students' Explanations. *Research in Science Education*, 49(3), 787-807.
- Bybee, R. W. (2004). Scientific inquiry and science teaching. In Flick, L. B., & Lederman, N. G. (Eds.). Flick, L. B., & Lederman, N. G. (Eds.), *Scientific Inquiry and Nature of Science*. (pp.1-22). Dordrecht: Springer.

- Canning, D. R., & Cox, J. R. (2001). Teaching the Structural Nature Of Biological Molecules: Molecular Visualization In The Classroom And In The Hands Of Students. *Chemistry Education: Research and Practice In Europe*, 2(2), 109-122.
- Cheng, M. F., Lin, J. L., Chang, Y. C., Li, H.-W., Wu, T. Y., & Lin, D. M. (2014). Developing Explanatory Model of Magnetic Phenomena Trough Model-Based Inquiry. *Journal of Baltic Science Education*, 13(3), 351-360.
- Coll, R. K., & Lajium, D. (2011). Modeling and the Future of Science Learning. In M. S. Khine, and I. M. Saleh (Eds.), *Models and Modeling* (pp.3-21). Dordrecht: Springer.
- De Paola, M., & Gioia, F. (2016). Who performs better under time pressure? Results from a field experiment. *Journal of Economic Psychology*, 53(C), 37–53.
- 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.
- Gilbert, J. K., Justi, R., & Queiroz, A. S. (2009). The Use of a Modelling to Develop Visualization During the Learning of Ionic Bonding. In Tasar, M. F. & Cakmakcl, G. (Eds.), *Contemporary science education research: international perspectives* (pp.43-51). Ankara: Pegem Akademi.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369–387.
- McNeill, K. L., & Krajcik J. (2008). Scientific explanation: Characterizing and Evaluating the Effects of Teachers' instructional Practices on Student Learning. *Journal of research in science teaching*, 45(1), 53-78.
- McNeill, K. L., & Krajcik J. (2012). Framework for Constructing Scientific Explanations. *Supporting Grade 5-8 Students in Constructing Explanations in Science: The Claim, Evidence, and Reasoning Framework for Talk and Writing*. New Jersey: Pearson.
- McNeill, K. L., Lizotte, D. J., Krajcik, J., & Marx, R. W. (2006). Supporting Students' Construction of Scientific Explanations by Fading Scaffolds in Instructional Materials. *The journal of the learning sciences*, 15(2), 153-191.
- Neilson, D., Campbell, T., & Allred, B. (2010). Model-Based Inquiry in Physics: A Buoyant Force Module. *The Science Teacher*, 77(8), 38-43.
- Oh, P. S., & Oh, S. J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. International. *Journal of Science Education*, 33(8), 1109–1130.
- Ozmen, H. (2011). Effect of Animation Enhanced Conceptual Change Texts on 6th Grade Students' Understanding of the Particulate Nature of Matter and Transformation during Phase Changes. *Computers & Education*, 57(1), 1114–1126.
- Ruiz-Primo, M. A., Li, M., Tsai, S. P., & Schneider, J. (2010). Testing One Premise of Scientific Inquiry in Science Classrooms: Examining Students' Scientific Explanations and Student Learning. *Journal of Research in science Teaching*, 47(5), 583-608.

- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Ache, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a Learning Progression for Scientific Modeling: Making Scientific Modeling Accessible and Meaningful for Learners. *Journal of research in science teaching*, 46(6), 632-654.
- Soulis, I., & Psillos, D. (2016). Enhancing student teachers' epistemological beliefs about models and conceptual understanding through a model-based inquiry process. *International Journal of Science Education*, 38(7), 1212-1233.
- Suits, J. P., & Sanger, M. J. (2013). Dynamic Visualizations in Chemistry Courses. In Suits, J. P. & Sanger, M. J. (Eds.), *Pedagogic Roles of Animations and Simulations in Chemistry Courses* (pp.1-13). Washington: American Chemical Society.
- Supasorn, S. & Amatongchai, M. (2016). Development of Conceptual Understanding Of Acid Base By Using Inquiry Experiments In Conjunction With Particulate Animations For Grade 8 Students. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 15(Special Issue for INTE 2016), 674-681.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2003). The Role of Submicroscopic and Symbolic Representations in Chemical Explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353-1368.
- Treagust, D. F., Mthembu, Z., & Chittleborough, A. L. (2014). Evaluation of the Predict-Observe-Explain Instructional Strategy to Enhance students' Understanding of Redox Reaction. Learning with understanding in chemistry classroom. In I. Devetak and S. A. Glazar (Eds.), *Learning with Understanding in the Chemistry Classroom* (pp.265-286). Dordrecht: Springer
- Wang, J., Guo, D., & Jou, M. (2015). A Study on the Effects of Model-Based Inquiry Pedagogy on Students' Inquiry Skills in a Virtual Physics Lab. *Computers in Human Behavior*, 49(C), 658-669.
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the Scientific Method: Model-Based Inquiry as a New Paradigm of Preference for School Science Investigations. *Journal of Science Education*, 92(5), 941-967.
- Yang, H. T., & Wang, K. H. (2014). A teaching model for scaffolding 4th grade students' scientific explanation writing. *Research in Science Education*, 44(4), 531-548.