การพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับภาพเคลื่อนไหวที่สร้างขึ้น

วนิดา เจริญ และอะรุณี แสงสุวรรณ*

คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40000

*E-mail: arunsa@kku.ac.th

รับบทความ: 20 ตุลาคม 2565 แก้ไขบทความ: 19 กุมภาพันธ์ 2566 ยอมรับตีพิมพ์: 27 กุมภาพันธ์ 2566

บทคัดย่อ

การเรียนรู้และเข้าใจแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เป็นหัวใจสำคัญอย่างหนึ่งของการเรียนวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวิชาเคมี เนื่องจากเนื้อหาวิชาเคมีส่วนใหญ่ค่อนข้างซับซ้อนยากต่อการทำความเข้าใจ หากนักเรียนเข้าใจแบบจำลองและสามารถสร้างแบบจำลองได้จะสามารถเข้าใจเนื้อหาวิชาเคมีได้ง่ายขึ้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับภาพเคลื่อนไหวที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น กลุ่มเป้าหมายคือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือ 1) แผนการจัดการเรียนรู้ 2) ภาพเคลื่อนไหว 3) แบบวัดการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ 4) แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง และ 5) อนุทิน การศึกษาในครั้งนี้เป็นวิจัยเชิงคุณภาพ โดยศึกษาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ จากการวิจัยพบว่าก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่มีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับควรปรับปรุง หลังการจัดการเรียนรู้นักเรียนส่วนใหญ่มีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดีมาก กิจกรรมการเรียนรู้ช่วยพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ดียิ่งขึ้นในทุกองค์ประกอบ และภาพเคลื่อนไหวที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นสามารถช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเข้าใจพฤติกรรมของสารในระดับโมเลกุลมากขึ้น

คำสำคัญ: แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ภาพเคลื่อนไหว

Development of Scientific Modeling on Factors Affecting Rate of a Chemical Reaction Using Based Inquiry Combining with Created Animations

Wanida Charoen and Arunee Sangsuwan*

Faculty of Education, Khon Kaen University, 40000, Thailand

*E-mail: arunsa@kku.ac.th

Received: 20 October 2022 Revised: 19 February 2023 Accepted: 27 February 2023

Abstract

Learning and understanding scientific models are the heart of learning science, especially in chemistry, since most of the chemistry content is quite complicated to understand. If students understand modeling and create modeling, it will be easier to understand the chemistry content. The purpose of this research was to develop students' construction scientific model ability. The target group was 30 grade–11 students. Research instruments were composed of: 1) lesson plans, 2) animations, 3) scientific model ability tests of factors effecting chemical reaction rate, 4) interview and 5) reflection notes. This study was qualitative research to examine students' ability to create scientific modeling before and after learning. According to the research, it was found that before studying, the students' ability to create science models was at an improved level. After the learning process, the students were able to create scientific models at an excellent level. The results showed that the quest for knowledge using model–based learning together with animation improved students' ability to create scientific models in all aspects, and the animations created by the researcher can encourage students to understand the behavior of substances at the molecular level and reaction rates.

Keywords: Scientific modeling, Factors affecting chemical reaction rate, Animations

บทนำ

การจัดการศึกษาวิทยาศาสตร์เป็นส่วนหนึ่งที่มีบทบาทในการพัฒนานักเรียนให้เป็นผู้ที่มีความพร้อมในการดำเนินชีวิตได้อย่างเท่าทันกับการเปลี่ยนแปลงของโลก มีทักษะการค้นหาหลักฐานที่ทำให้เกิดข้อสรุปทางวิทยาศาสตร์ มีความเข้าใจลักษณะสำคัญของการสร้างและการค้นหาความรู้ของมนุษย์ (OEDC, 2013) การมีความรู้และความเข้าใจในแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์สามารถช่วยให้มีความเข้าใจวิทยาศาสตร์

มากขึ้น การส่งเสริมให้นักเรียนมีความรู้เนื้อหาทางวิทยาศาสตร์เป็นพื้นฐานสำคัญที่ทำให้นักเรียนมีความเข้าใจและสามารถอธิบายหรือทำนายปรากฏการณ์ธรรมชาติที่มีความซับซ้อนได้อย่างถูกต้อง นักวิทยาศาสตร์จึงมักใช้แบบจำลองเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ให้ง่ายขึ้น ครูผู้สอนสามารถนำนักเรียนเข้าสู่กระบวนการสร้างแบบจำลองเพื่อส่งเสริมให้นักเรียนสามารถสร้างและแสดงแบบจำลองของตนได้ (Schwarz *et al*., 2009) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวิชาเคมีมักมีการนำแบบจำลองที่หลากหลายมาใช้ ทั้งนี้เพราะเนื้อหาวิชาเคมีส่วนใหญ่ค่อนข้างซับซ้อน ยากต่อการทำความเข้าใจและเนื้อหาส่วนใหญ่มีความเป็นนามธรรมสูง แต่หากนักเรียนเข้าใจแบบจำลองและสามารถสร้างแบบจำลองได้จะสามารถเข้าใจแนวคิด ปรากฏการณ์ และทฤษฎีต่าง ๆ ในวิชาเคมีได้ง่ายขึ้น

ในปัจจุบันการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร เห็นได้จากผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O–net) ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2563 พบว่านักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยในรายวิชาวิทยาศาสตร์อยู่ระดับต่ำ อีกทั้งจากการศึกษาข้อมูลผลการเรียนของนักเรียนกลุ่มเป้าหมายในรายวิชาเคมีที่ผู้วิจัยรับผิดชอบสอนและสัมภาษณ์ครูประจำวิชาเคมีที่มีประสบการณ์สอน พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ยังมีมโนมติในวิชาเคมีไม่ถูกต้อง โดยเฉพาะในเนื้อหาเรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งต้องอธิบายถึงอันตรกริยาของสารในระดับโมเลกุล สอดคล้องกับ Kaya and Geban (2012) ที่กล่าวว่า วิชาเคมีมีความเป็นนามธรรมสูงซึ่งทำให้ผู้เรียนไม่สามารถมองเห็นปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาคได้ เช่น การชนกันของอนุภาคสารตั้งต้นซึ่งส่งผลให้ผู้เรียนไม่สามารถเข้าใจปฏิกิริยาของสารในเรื่องนี้ได้ จากการสัมภาษณ์นักเรียนและครูชำนาญการซึ่งเชี่ยวชาญการสอนวิชาเคมีพบว่ารูปแบบการจัดการเรียนในห้องส่วนใหญ่เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการบรรยาย และสื่อการเรียนการสอนส่วนมากไม่แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของสารในระดับโมเลกุลและอัตราส่วนของสารในการเกิดปฏิกิริยาที่สอดคล้องกับสมการเคมี ซึ่งธรรมชาติของรายวิชาเคมีเป็นศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณสารและการเปลี่ยนแปลงของสารทั้งในระดับอะตอมและโมเลกุล เนื่องจากเนื้อหาส่วนใหญ่เป็นนามธรรมที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า อีกทั้งยังขาดสื่อการสอนที่ช่วยให้เด็กเข้าใจสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาค จึงทำให้นักเรียนไม่สามารถเกิดความเข้าใจและจินตนาการพฤติกรรมของสารในระดับอนุภาคได้

การสร้างแบบจำลองเป็นสิ่งสำคัญในการเรียนวิทยาศาสตร์ ซึ่งในการจัดการเรียนรู้ที่สืบเสาะหาความรู้บนพื้นฐานของการสร้าง การทดสอบ และการแก้ไขแบบจำลอง เรียกว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Windschitl *et al*., 2008) การสร้างแบบจำลองเป็นสิ่งสำคัญในการเรียนวิทยาศาสตร์ เพราะฝึกฝนให้นักเรียนได้สร้างแบบจำลองซึ่งช่วยให้นักเรียนเข้าใจ เกิดความชำนาญในการสร้างและประเมินความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Wang *et al*., 2015) ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนได้ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และพัฒนาความสามารถในการสื่อสารวิทยาศาสตร์ให้เป็นรูปธรรมมากขึ้น โดยกระบวนการจัดการเรียนรู้เน้นให้นักเรียนได้ฝึกคิดวางแผน ออกแบบการทดลอง ตรวจสอบสมมติฐาน รวบรวมข้อมูลหลักฐานหลัง-

จากลงมือปฏิบัติการทดลองผ่านกระบวนการสร้างแบบจำลองและปรับปรุงแบบจำลอง (Neilson *et al*., 2010) การเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานตามกรอบแนวคิดของ Windschitl *et a*l. (2008) ประกอบด้วยขั้นเตรียมพารามิเตอร์ (setting the general parameters) เป็นขั้นกำหนดขอบเขตของเรื่องที่จะสอนโดยรวบรวมมาจากความสนใจของนักเรียนและความสำคัญทางวิทยาศาสตร์ และ ขั้นกิจกรรมทางปัญญา (intellectual activity) ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนย่อย ได้แก่ 1) การรวบรวมสิ่งที่นักเรียนรู้และสิ่งที่นักเรียนอยากรู้ 2) สร้างสมมติฐาน 3) ค้นหาหลักฐาน และ 4) ขั้นสร้างข้อโต้แย้ง ผู้เรียนจะต้องสร้างข้อโต้แย้งเพื่อตรวจสอบข้อมูลเดิมที่มีอยู่ และสนับสนุนหรือปฏิเสธข้อกล่าวอ้างเกี่ยวกับกระบวนการอธิบายหรือสมมติฐานของแบบจำลองเบื้องต้น จากการศึกษาค้นคว้าพบว่าสามารถพัฒนาความเข้าใจวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ดีขึ้น (Soulios and Psillos, 2016)

การสอนวิทยาศาสตร์ในปัจจุบันมีการประยุกต์ความสามารถของคอมพิวเตอร์มาช่วยในการผลิตสื่อ โดยทำเป็นภาพเคลื่อนไหวโดยการใช้เทคนิคภาพที่เรียกว่า “แอนิเมชัน” (animation) การแสดงภาพจำลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระดับอนุภาคหรือระดับโมเลกุล สามารถทำให้นักเรียนมองเห็นภาพในระดับโมเลกุลได้ (Supasorn, 2012) การใช้ภาพเคลื่อนไหวสามารถช่วยให้นักเรียนเข้าใจปรากฏการณ์ที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าและช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเกิดความเข้าใจมโนมติที่ถูกต้องได้ (Chiu and Linn, 2014) ภาพเคลื่อนไหวที่เกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่มีอยู่ในสื่อออนไลน์ยังไม่สอดคล้องกับหลักการและทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยาไม่สอดคล้องกับปริมาณของสารในสมการเคมี อีกทั้งยังไม่ครอบคลุมทุกปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้สร้างภาพเคลื่อนไหวที่แสดงถึงปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา เพื่อแสดงให้เห็นอันตกริยาของสารในระดับอนุภาคที่สอดคล้องกับทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยา และพัฒนาให้ภาพเคลื่อนไหวดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองจริงทั้งด้านอันตรกริยาของสารในระดับอนุภาคและปริมาณสัมพันธ์ของสารในสมการเคมี เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจบทเรียนได้ง่ายขึ้น มีมโนมติที่ถูกต้องตามหลักทฤษฎี และช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ได้ถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

จากความเป็นมาดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจในการพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนเป็นผู้รู้วิทยาศาสตร์และสามารถสร้าง ประเมิน และเข้าใจแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับภาพเคลื่อนไหวที่สร้างขึ้น เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยผู้วิจัยได้สร้างภาพเคลื่อนไหวมาใช้ร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้ในขั้นตอนการโต้แย้งของการจัดการเรียนรู้ ซึ่งภาพเคลื่อนไหวที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นแสดงให้เห็นอันตรกิริยาของสารในระดับอนุภาคและอัตราส่วนของสารในในปฏิกิริยาเคมี อีกทั้งยังสอดคล้องกับทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยาเคมีและยังแสดงให้เห็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ได้แก่ ความเข้มข้น พื้นที่ผิว และอุณหภูมิ นอกจากนี้ภาพเคลื่อนไหวยังแสดงเวลาที่ใช้ในการทดลองที่สัมพันธ์กับทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยา เพื่อให้นักเรียนสามารถคำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้จากภาพเคลื่อนไหว และภาพเคลื่อน-

ไหวแสดงการเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาของแต่ละปัจจัยเพื่อให้นักเรียนให้เห็นผลของปัจจัยต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบวัดการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง และอนุทิน เพื่อศึกษาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ของนักเรียน จากนั้นนำข้อมูลมาประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนโดยใช้เกณฑ์การประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่ปรับปรุงมาจากกรอบแนวคิดของ Bamberger and Davis (2013)

วัตถุประสงค์

1. พัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

2. พัฒนาภาพเคลื่อนไหวเรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพ (qualitative Research) โดยการวิเคราะห์และตีความเก็บรวบรวมข้อมูลความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับภาพเคลื่อนไหว เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา จากแบบวัดการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ จากนั้นวิเคราะห์และตีความความสามารถในการสร้างแบบจำลอง โดยใช้เกณฑ์ที่ปรับปรุงจากเกณฑ์ของ Bamberger and Davis (2013) เพื่อจัดระดับคุณภาพ โดยวิเคราะห์คุณภาพความสามารถในการสร้างแบบจำลองเบื้องต้นและแบบจำลองที่ปรับปรุงแก้ไข วิเคราะห์ตีความร่วมกับแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างและอนุทิน

กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมายในงานวิจัยครั้งนี้คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 30 คน แผนการเรียนวิทย์–คณิต ที่เรียนวิชาเคมีเพิ่มเติม 3 ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2564 โรงเรียนแห่งหนึ่งในอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ซึ่งนักเรียนห้องนี้เป็นนักเรียนที่มีระดับผลการเรียนในระดับต่ำ กลาง สูง คละกัน

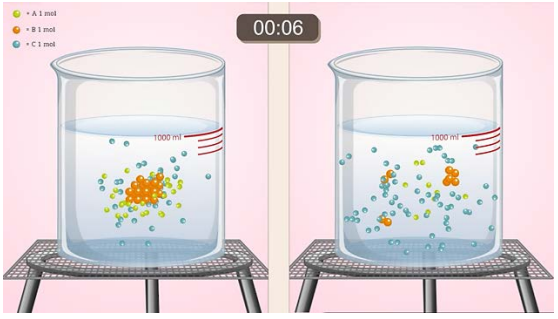
เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยแผนการจัดการเรียนรู้และภาพเคลื่อนไหว

(1) แผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จำนวน 3 แผนการจัดการเรียนรู้ ได้แก่ เรื่อง ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ผลของความเข้มข้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา และผลของพื้นที่ผิวต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ใช้เวลาจัดการเรียนรู้แผนละ 2 คาบเรียน รวมทั้งหมด 6 คาบเรียน ซึ่งแต่ละแผนการเรียนรู้ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ ขั้นเตรียมพารามิเตอร์ เป็นขั้นกำหนดขอบเขตของเรื่องที่จะสอนโดยรวบรวมมาจากความสนใจของนักเรียน และขั้นกิจกรรมทางปัญญา ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนย่อย ได้แก่ 1) การรวบรวมสิ่งที่นักเรียนรู้และสิ่งที่นักเรียนอยากรู้ 2) สร้างสมมติฐาน 3) ค้นหาหลักฐาน และ 4) ขั้น

สร้างข้อโต้แย้ง ครูผู้สอนนำเสนอภาพเคลื่อนไหวที่แสดงให้เห็นปฏิกิริยาของสารในระดับอนุภาค ผู้เรียนจะต้องสร้างข้อโต้แย้งเพื่อตรวจสอบข้อมูลเดิมที่มีอยู่ และสนับสนุนหรือปฏิเสธข้อกล่าวอ้างเกี่ยวกับกระบวนการอธิบายหรือสมมติฐานของแบบจำลองเบื้องต้น หลังจากขั้นสร้างข้อโต้แย้ง ครูผู้สอนให้นักเรียนปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองของตน โดยแผนการสอนทั้งหมดผ่านการตรวจสอบความเที่ยงตรงและความเหมาะสมของเครื่องมือจากจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

(2) ภาพเคลื่อนไหวที่สร้างขึ้นเพื่อแสดงปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาจำนวน 3 เรื่อง ได้แก่ เรื่อง ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ผลของความเข้มข้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา และผลของพื้นที่ผิวต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ภาพเคลื่อนไหวที่สร้างขึ้นเรื่อง ผลของพื้นที่ผิวต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

จากภาพที่ 1 จะแสดงให้เห็นตัวอย่างของภาพเคลื่อนไหวที่เปรียบเทียบระหว่างสารที่มีพื้นที่ผิวมากและพื้นที่ผิวน้อย ผู้วิจัยได้สร้างภาพเคลื่อนไหวเพื่อแสดงผลของพื้นที่ผิวที่แตกต่างกันสัมพันธ์กับโอกาสในการชน ซึ่งจะแสดงผลของพื้นที่ผิวของสารในปริมาณที่เท่ากันแต่มีพื้นที่ผิวแตกต่างกัน โดยโมเลกุลของสารตั้งต้นคือสีส้มและสีเขียวส่วนสีฟ้า คือ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ทั้งสองการทดลองมีความเข้มข้นเท่ากัน โดยกำหนดให้ 1 อนุภาคแทนสาร 1 โมล อยู่ในสารละลายปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร พร้อมแสดงเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา จะเห็นว่ารูปฝั่งขวามือมีผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นมากกว่าแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาเกิดได้เร็วกว่า นอกจากนี้ผู้เรียนยังสามารถใช้ข้อมูลในภาพเคลื่อนไหวคำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ทุกช่วงของการทดลอง

2. การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับภาพเคลื่อนไหวของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 30 คน โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) แบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ มีแบบวัดให้นักเรียนแสดงแบบจำลองเบื้องต้นและแบบจำลองที่ปรับปรุงแก้ไข ซึ่งเป็นคำถามปลายเปิดประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ให้นักเรียนแสดงแบบจำลองโดยการวาดภาพและส่วนที่เขียนอธิบาย ดังแสดงในภาพที่ 2–4 โดยแบบวัดนี้ได้ผ่านการตรวจสอบและการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน

(2) แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง เป็นการสัมภาษณ์ที่ผู้วิจัยถามคำถามนักเรียนเพียงบางคนที่สร้างแบบจำลองคลุมเครือและตีความยาก จึงถามเพื่อขยายความแบบจำลองของนักเรียนให้ชัดเจนมากขึ้น โดยเป็นคำถามที่สอดคล้องกับแบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลอง เป็นคำถามมุ่งเน้นเกี่ยวกับรูปภาพหรือสัญลักษณ์ที่นักเรียนแสดงในแบบจำลองไม่ชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 6 เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงคุณภาพที่ถูกต้อง โดยได้สัมภาษณ์นักเรียนที่แสดงองค์ประกอบในแบบจำลองไม่ชัดเจนหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

(3) อนุทินเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับภาพเคลื่อนไหว โดยให้นักเรียนเขียนอนุทินในช่วงสุดท้ายของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

การสร้างภาพเคลื่อนไหว

1. ขั้นตอนการสำรวจ ผู้วิจัยได้สำรวจแนวคิดของนักเรียน โดยการสัมภาษณ์และประเมินจากแบบฝึกหัด พบว่า นักเรียนยังขาดความเข้าใจเกี่ยวกับอันตรกิริยาของสารในระดับอนุภาค อีกทั้งได้สัมภาษณ์ครูผู้สอนในรายวิชาเคมีที่สอนเรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา พบว่าแนวโน้มของนักเรียนส่วนใหญ่ยังขาดความเข้าใจในระดับอนุภาค

2. ขั้นตอนการศึกษา ผู้วิจัยได้ศึกษาสื่อการสอนภาพเคลื่อนไหวที่เกี่ยวของกับเรื่องปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา จากช่องทางเว็บไซต์ทั้งในประเทศและต่างประเทศ พบว่ามีสื่อการสอนที่เป็นภาพเคลื่อนไหวและ simulation ที่เกี่ยวข้องกับเรื่องปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาแต่ยังไม่ครอบคลุมทุกปัจจัย อีกทั้งภาพเคลื่อนไหวที่มีไม่แสดงถึงอัตราส่วนของสารกับสมการเคมี ไม่แสดงเวลาในการเกิดปฏิกิริยา ไม่แสดงการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่แตกต่างกันเมื่อมีการเปลี่ยนอุณหภูมิ และไม่แสดงเปรียบเทียบผลของปัจจัยต่าง ๆ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาภาพเคลื่อนไหวที่แสดงให้เห็นถึงอันตรกิริยาของสารในระดับอนุภาคและสอดคล้องกับทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยา

3. ขั้นตอนการสร้างภาพเคลื่อนไหว ผู้วิจัยได้ศึกษาเทคนิคการสร้างภาพเคลื่อนไหว เริ่มจากการออกแบบสตอรี่บอร์ดของการเกิดปฏิกิริยา สร้างภาพกราฟิกสำหรับประกอบภาพเคลื่อนไหวโดยใช้ โปรแกรม Adobe illustrator และสร้างภาพจำลองการเคลื่อนไหวของโมเลกุลโดยใช้โปรแกรม construct 2 เพื่อจำลองการเคลื่อนไหวของโมเลกุลแบบสุ่มและกำหนดความเร็วของภาพเคลื่อนไหว จากนั้นนำภาพเคลื่อนที่ได้มาตัดต่อเพื่อเรียงลำดับ และใส่ intro หัวข้อด้วยโปรแกรม Adobe after effects ภาพเคลื่อนไหวที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นสามารถสื่อความหมายในระดับอนุภาคได้สอดคล้องกับทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยาและทฤษฎีการชน แสดงเวลาที่ใช้ในการดำเนินไปของปฏิกิริยาทำให้สามารถคำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ทุกช่วงของการทดลอง แสดงให้เห็นถึงอัตราส่วนโมลของสารในปฏิกิริยา ภาพเคลื่อนไหวเรื่องผลของอุณหภูมิต่ออัตราจะแสดงให้เห็นถึงผลของพลังงานจลน์ที่เปลี่ยนไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ผู้วิจัยได้พัฒนาให้อนุภาคของสารเคลื่อนที่เร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อแสดงถึงพลังงานจลน์ที่มากขึ้นเกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น และเมื่ออุณหภูมิลดลงพลังงานจลน์ของสารน้อยลงอนุภาคของสารจะเคลื่อนที่ช้าลงเกิดปฏิกิริยาได้ช้าลง ภาพเคลื่อนไหวเรื่อง

ผลของความเข้มข้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาจะแสดงให้เห็นถึงจำนวนอนุภาคที่แตกต่างกันเมื่อความเข้มข้นต่างกัน โดยสารที่มีความเข้มข้นมากกว่าจะมีจำนวนอนุภาคมากกว่าจึงมีโอกาสในการชนมากกว่า และทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วกว่า ภาพเคลื่อนไหวเรื่องผลของพื้นที่ผิวต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาจะแสดงให้เห็นถึงพื้นที่ผิวที่เกิดการชน โดยแสดงอนุภาคของสารที่มีปริมาณเท่ากันแต่มีขนาดต่างกันเปรียบเสมือนลักษณะที่เป็นก้อนกับเป็นผง ในภาพเคลื่อนไหวจะแสดงให้เห็นว่าสารที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีพื้นที่ผิวมากกว่ามีโอกาสในการชนมากกว่าจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาเร็วกว่า และทุกภาพเคลื่อนไหวจะแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาช่วงแรกเกิดเร็วเมื่อเวลาผ่านจะเกิดปฏิกิริยาช้าลง เนื่องจากช่วงแรกสารตั้งต้นมีความเข้มข้นมากเมื่อเวลาผ่านไปสารตั้งต้นจะมีความเข้มข้นน้อยลง อีกทั้งแสดงภาพเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาของสภาวะที่แตกต่างกันเพื่อให้เห็นภาพชัดเจน

4. ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไข ผู้วิจัยได้นำภาพเคลื่อนไหวที่สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินจำนวน 3 ท่าน และปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำจนได้ภาพเคลื่อนไหวที่สมบูรณ์และนำไปใช้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ในขั้นโต้แย้ง

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลในแบบวัดมาประเมินระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ซึ่งประกอบไปด้วยแบบจำลองเบื้องต้นและแบบจำลองที่ปรับปรุงแก้ไข โดยปรับปรุงจากเกณฑ์การพิจารณาความสามารถในการสร้างแบบจำลองมาจาก Bamberger and Davis (2013) ซึ่งแบ่งเป็น 3 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) การอธิบาย 2) ความเป็นนามธรรม และ 3) การระบุคำสำคัญในแบบจำลอง ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 เกณฑ์การวัดและประเมินการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

ระดับ	การอธิบาย	ความเป็นนามธรรม	การระบุองค์ประกอบ
ควรปรับปรุง	ไม่แสดงแบบจำลอง	ไม่แสดงแบบจำลอง	ไม่แสดงแบบจำลอง
พอใช้	แสดงแบบจำลองที่ไม่สื่อถึงการชนของอนุภาค อธิบายเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยา แต่ไม่อธิบายเหตุผล	มีเฉพาะองค์ประกอบที่สามารถมองเห็นได้	ไม่มีการระบุความหมายขององค์ประกอบ
ดี	แสดงแบบจำลองที่สื่อถึงการชนของอนุภาค อธิบายเปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยา แต่ไม่อธิบายเหตุผล	มีองค์ประกอบที่ไม่สามารถมองเห็นได้ เช่น พลังงานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของโมเลกุล	มีการระบุความหมายขององค์ประกอบบางส่วน
ดีมาก	แสดงแบบจำลองที่สื่อถึงการชนกันของอนุภาค อธิบายเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาและเหตุผลประกอบ	มีองค์ประกอบที่ไม่สามารถมองเห็นได้และมีการแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละองค์ประกอบ	มีการระบุความหมายขององค์ประกอบทั้งหมด

ผู้วิจัยได้นำเกณฑ์จากตาราง 1 มาประยุกต์ใช้ในการประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทั้ง 3 แผนการจัดการเรียนรู้ โดยปรับปรุงรายละเอียดการประเมินให้สอดคล้องกับเนื้อหาแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ เพื่อความแม่นยำในการวิเคราะห์ความสามารถในการสร้างแบบจำลองแต่ละหัวข้อ ซึ่งเกณฑ์การประเมินทุกหัวข้อผ่านการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน

หลังจากการประเมินความสามารถการสร้างแบบจำลองของแต่ละองค์ประกอบแล้ว ผู้วิจัยได้นำระดับความสามารถของแต่ละองค์ประกอบมาเปลี่ยนเป็นคะแนนเพื่อประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดยระดับควรปรับปรุง พอใช้ ดี ดีมาก เปลี่ยนเป็นคะแนน 0–3 ตามลำดับ

เมื่อรวมคะแนนการสร้างแบบจำลองแต่ละองค์ประกอบผู้วิจัยประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ได้เป็น 3 ระดับ โดยช่วงคะแนน 0–3 คะแนน คือ ควรปรับปรุง 4–6 คือดี และ 7–9 คือดีมาก

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาการพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) ที่มีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในแต่ละระดับ โดยเปรียบเทียบแบบจำลองเบื้องต้น/แบบจำลองที่ปรับปรุงแก้ไข พิจารณาแยกแต่ละองค์ประกอบ ผลเป็นดังนี้

แผนที่ 1 <u>การอธิบาย</u> ระดับควรปรับปรุง 20/0 ระดับพอใช้ 73/10 ระดับดี 7/13 และระดับดีมาก 0/77

<u>ความเป็นนามธรรม</u> ระดับควรปรับปรุง 3/0 ระดับพอใช้ 87/23 ระดับดี 10/73 และระดับดีมาก 0/3

<u>การระบุองค์ประกอบ</u> ระดับควรปรับปรุง 13/0 ระดับพอใช้ 57/13 ระดับดี 30/63 และระดับดีมาก 0/23

แผนที่ 2 <u>การอธิบาย</u> ระดับควรปรับปรุง 3/0 ระดับพอใช้ 93/0 ระดับดี 7/17 และระดับดีมาก 0/83

<u>ความเป็นนามธรรม</u> ระดับควรปรับปรุง 7/0 ระดับพอใช้ 93/0 ระดับดี 3/57 และระดับดีมาก 0/43

<u>การระบุองค์ประกอบ</u> ระดับควรปรับปรุง 7/0 ระดับพอใช้ 43/0 ระดับดี 23/13 และระดับดีมาก 27/87

แผนที่ 3 <u>การอธิบาย</u> ระดับควรปรับปรุง 0/0 ระดับพอใช้ 90/0 ระดับดี 10/20 และระดับดีมาก 0/80

<u>ความเป็นนามธรรม</u> ระดับควรปรับปรุง 0/0 ระดับพอใช้ 93/0 ระดับดี 7/47 และระดับดีมาก 0/53

<u>การระบุองค์ประกอบ</u> ระดับควรปรับปรุง 0/0 ระดับพอใช้ 20/0 ระดับดี 67/27 และระดับดีมาก 13/73

2. ผลการศึกษาการพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

จำนวนนักเรียน (ร้อยละ) ที่มีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในแต่ละระดับ เปรียบเทียบแบบจำลองเบื้องต้น/แบบจำลองที่ปรับปรุงแก้ไข เป็นดังนี้

แผนที่ 1 ระดับควรปรับปรุง 70/7 ระดับดี 30/30 และระดับดีมาก 0/63

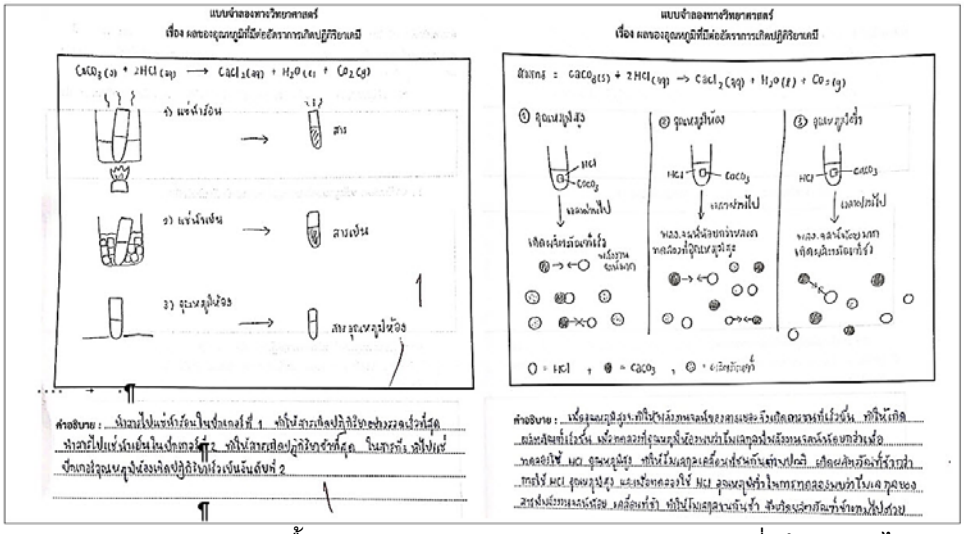
แผนที่ 2 ระดับควรปรับปรุง 50/3 ระดับดี 43/13 และระดับดีมาก 7/83

แผนที่ 3 ระดับควรปรับปรุง 43/3 ระดับดี 67/23 และระดับดีมาก 0/73

เมื่อเปรียบเทียบแบบจำลองเบื้องต้นและแบบจำลองที่ปรับปรุงแก้ไข พบว่า เมื่อจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับภาพเคลื่อนไหว นักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ดีขึ้นในทุกแผนการจัดการเรียนรู้

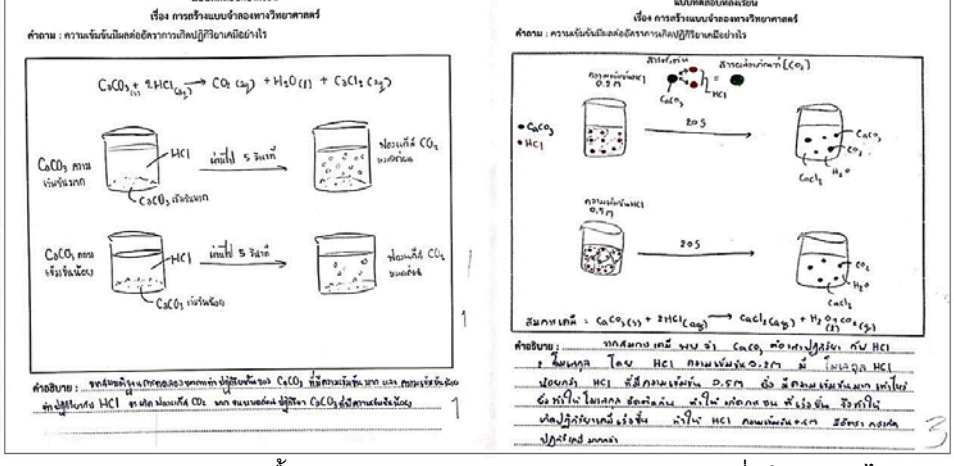
3. ภาพที่ 2–4 แสดงตัวอย่างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ก่อนและหลังจัดกิจกรรมของทั้ง 3 แผนการจัดการเรียนรู้

จากภาพที่ 2 จะเห็นว่า แบบจำลองเบื้องต้นของนักเรียนแสดงเพียงสิ่งที่ตามมองเห็นเท่านั้น ไม่มีการระบุองค์ประกอบ อีกทั้งอธิบายไม่สอดคล้องกับทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยา แต่เมื่อจัดการเรียนรู้และให้นักเรียนปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองพบว่า นักเรียนสามารถสร้างแบบจำลองในระดับอนุภาค มีการกล่าวถึงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิกับพลังงานจลน์ มีการระบุองค์ประกอบ และสามารถอธิบายได้สอดคล้องกับทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยา



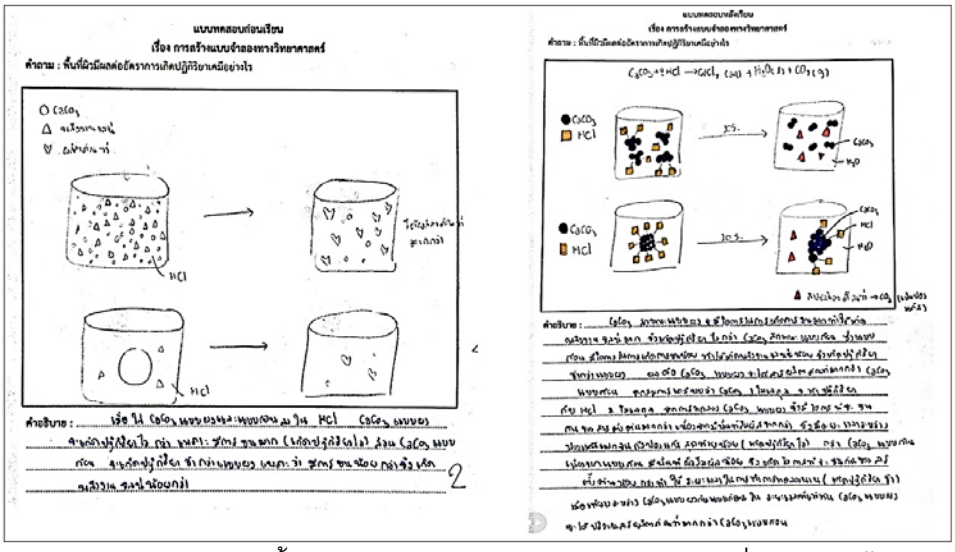
(ก) แบบจำลองเบื้องต้น (ข) แบบจำลองที่ปรับปรุงแก้ไข

ภาพที่ 2 ภาพตัวอย่างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เรื่อง ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา



(ก) แบบจำลองเบื้องต้น (ข) แบบจำลองที่ปรับปรุงแก้ไข

ภาพที่ 3 ภาพตัวอย่างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เรื่อง ผลของความเข้มข้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา



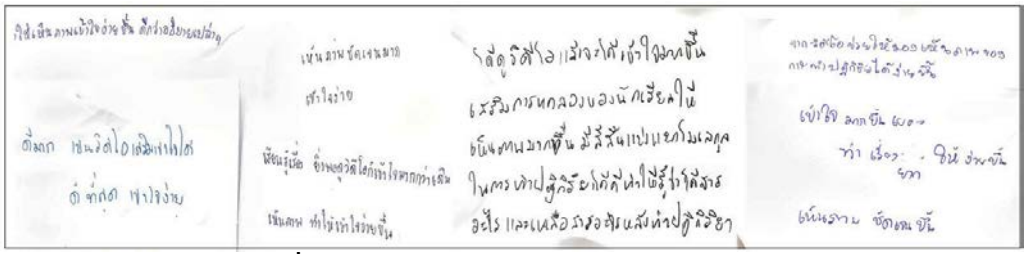
(ก) แบบจำลองเบื้องต้น (ข) แบบจำลองที่ปรับปรุงแก้ไข

ภาพที่ 4 ภาพตัวอย่างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เรื่อง ผลของพื้นที่ผิว

จากภาพที่ 3 นักเรียนสามารถสร้างแบบจำลองเบื้องต้นได้ดีกว่าภาพที่ 2 มีการระบุองค์ประกอบแต่ยังไม่สามารถแสดงอัตราส่วนของสารในระดับอนุภาคและอธิบายได้ถูกต้อง เมื่อจัดกิจกรรมการเรียนรู้และให้นักเรียนปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองพบว่า นักเรียนสามารถสร้างแบบจำลองได้สมบูรณ์ครบทุกองค์ประกอบ

จากภาพที่ 4 แบบจำลองเบื้องต้นของนักเรียนมีการระบุองค์ประกอบได้ครบถ้วน และมีการอธิบายสอดคล้องกับทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยา แต่ไม่สามารถแดงอนุภาคสารในระดับอนุภาคได้อย่างถูกต้อง เมื่อจัดกิจกรรมการเรียนรู้พบว่า นักเรียนสามารถปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองให้มีระดับดีมากครบทุกองค์ประกอบ

4. อนุทินของนักเรียนหลังจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยเมื่อจัดกิจกรรมการเรียนรู้แต่ละแผน ผู้วิจัยได้ให้นักเรียนเขียนอนุทินทุกแผนการเรียนรู้ โดยพบว่าอนุทินของนักเรียนส่วนใหญ่กล่าวถึงภาพเคลื่อนไหวว่าช่วยให้เห็นภาพปฏิกิริยาของสารทำให้มีความเข้าใจในระดับโมเลกุลมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 อนุทินของนักเรียนหลังจัดกิจกรรมการเรียนรู้

5. แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง ผู้วิจัยได้สัมภาษณ์นักเรียนเพิ่มเติม เพื่อสอบถามแนวคิดของนักเรียนในการสร้างแบบจำลอง โดยสอบถามเพิ่มเติมเกี่ยวกับแบบจำลองที่ไม่ชัดเจน ตีความยาก เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำมากขึ้น ดังตัวอย่างการสัมภาษณ์นักเรียนเพิ่มเติมจากภาพที่ 2(ข)

ผู้วิจัย: ลูกศรที่นักเรียนวาดในแบบจำลองแสดงถึงอะไรคะ

นักเรียน: แสดงถึงการชนกันของอนุภาค ที่อุณหภูมิสูงอนุภาคชนกันมากที่สุด เพราะมีพลังงานจลน์มากที่สุด และเกิดผลิตภัณฑ์มากที่สุด

ผู้วิจัย: จากสมการเคมี นักเรียนคิดว่าอัตราส่วนโมลในการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง $CaCO_3$ กับ HCl คือเท่าไหร่คะ

นักเรียน: อัตราส่วนโมลคือ 1 ต่อ 2 ค่ะ

ผู้วิจัย: นักเรียนคิดว่า $CaCO_3$ 1 โมเลกุล จะเกิดปฏิกิริยาพอดีกับ HCl กี่โมเลกุลคะ

นักเรียน: น่าจะต้องใช้ HCl 2 โมเลกุลมั้ยคะ หนูไม่มั่นใจค่ะ ลืมแล้ว

อภิปรายผล

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ซึ่งประกอบไปด้วย 3 เรื่อง ได้แก่ ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ผลของความเข้มข้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ผลของพื้นที่ผิวต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา และอนุทินหลังเรียน สามารถอภิปรายผลตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยซึ่งประกอบด้วย การพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และการพัฒนาภาพเคลื่อนไหวเรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้

1. การพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา จากการวิเคราะห์แบบจำลองวิทยาศาสตร์พบว่านักเรียนส่วนใหญ่สามารถสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เบื้องต้นมีความสามารถอธิบายได้ในระดับพอใช้ เนื่องจากนักเรียนสร้างแบบจำลองที่แสดงเพียงแค่ก่อนและหลังการเกิดปฏิกิริยาแต่ไม่สามารถแสดงการชนกันของอนุภาคในระดับโมเลกุลและไม่สามารถอธิบายผลของอุณหภูมิต่อพลังงานจลน์ได้ดังแสดงในภาพที่ 2 นักเรียนส่วนใหญ่สร้างแบบจำลองที่มีความเป็นนามธรรมอยู่ในระดับพอใช้ เนื่องจากไม่สามารถแสดงแบบจำลองในระดับอนุภาคที่แสดงถึงพลังงานจลน์ของสารเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและไม่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารในสมการเคมี นักเรียนส่วนใหญ่ไม่มีการระบุความหมายขององค์ประกอบในแบบจำลอง ดังนั้นจึงมีระดับความสามารถในการระบุองค์ประกอบในระดับพอใช้ ซึ่งสอดคล้องกับ Suits and Sanger (2013) ที่กล่าวว่า เคมีเป็นวิชาที่เข้าใจได้ยากสำหรับนักเรียน เนื่องจากนักเรียนต้องเข้าใจพฤติกรรมของอะตอม โมเลกุล และไอออน สอดคล้องกับผลการสัมภาษณ์นักเรียน ผู้วิจัยพบว่านักเรียนยังขาดความเข้าใจในระดับอนุภาค ไม่สามารถทำนายผลของอุณหภูมิที่มีต่อพลังงานงานจลน์ได้ เมื่อครูผู้สอนได้แสดงภาพเคลื่อนไหวเรื่องผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา โดยเมื่ออุณหภูมิมากขึ้นจะทำให้พลังงานจลน์ของสารมากขึ้น ภาพเคลื่อนไหวที่สร้างขึ้นจะแสดงให้เห็นว่าอนุภาคเคลื่อนที่เร็วขึ้นและมีความถี่ในการชนกันมากขึ้น ดังนั้นปฏิกิริยาจึงเกิดได้เร็วขึ้น เมื่อนักเรียนมีความเข้าใจเกี่ยวกับผลของพลังงานจลน์มากขึ้น ทำให้นักเรียนส่วนใหญ่สามารถปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองให้สามารถอธิบายการ

ชนกันของอนุภาคที่มีพลังงานจลน์แตกต่างกันได้ในระดับดีมาก ซึ่งสอดคล้องกับ Supasorn and Amatatongchai (2016) ที่กล่าวว่า การแสดงภาพจำลองเหตุการณ์หรือสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับจุลภาคหรือโมเลกุล ซึ่งมีความละเอียดที่บ่งบอกว่าสารนั้นมีโมเลกุล อะตอม หรือไอออนใดเป็นองค์ประกอบ และมองเห็นการเคลื่อนไหวของโมเลกุลนั้น อีกทั้งกระบวนการในขั้นโต้แย้งยังช่วยให้นักเรียนเห็นความสำคัญในการระบุความหมายขององค์ประกอบเพื่อสื่อความหมายให้ชัดเจน เมื่อปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองพบว่านักเรียนส่วนใหญ่ระบุความหมายองค์ประกอบได้ครบถ้วนสมบูรณ์ในระดับดีมาก แต่นักเรียนส่วนใหญ่ยังไม่สามารถสร้างแบบจำลองที่มีแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของสารในสมการเคมีได้ จากการสัมภาษณ์พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ยังไม่เข้าใจอัตราส่วนโมลของสารที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา จึงทำให้แบบจำลองที่ปรับปรุงแก้ไขของนักเรียนส่วนใหญ่มีความเป็นนามธรรมในระดับดี ซึ่งสอดคล้องกับ McNeill (2006) ที่กล่าวว่า แบบจำลองของบุคคลหนึ่งจะขึ้นอยู่กับความรู้เดิมที่มีอยู่ จากการรวมคะแนนของแต่ละองค์ประกอบ พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีความสามารถในการสร้างแบบจำลองเบื้องต้นอยู่ในระดับควรปรับปรุง เมื่อนักเรียนได้สืบเสาะด้วยตนเองและได้นำหลักฐานที่ได้จากการทดลองมาโต้แย้งกับเพื่อนในชั้นเรียนร่วมกับการรับชมภาพเคลื่อนไหวที่แสดงการเกิดปฏิกิริยาในระดับอนุภาค ทำให้นักเรียนสามารถปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองของตนให้มีคะแนนในระดับดีมาก และแบบจำลองที่นักเรียนสร้างขึ้นมีความแตกต่างจากภาพเคลื่อนไหว เช่น ในภาพเคลื่อนไหวแสดงให้เห็นว่าโมเลกุลเคลื่อนที่ช้าและเร็วแตกต่างกัน แต่ในแบบจำลองของนักเรียนใช้ลูกศรแสดงถึงพลังงานจลน์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าภาพเคลื่อนช่วยเสริมสร้างให้นักเรียนมีความเข้าใจในระดับอนุภาคและสามารถสร้างแบบจำลองขึ้นมาจากความเข้าใจของตัวนักเรียนเอง

2. การพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ผลของความเข้มข้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา จากการวิเคราะห์พบว่านักเรียนส่วนใหญ่สามารถสร้างแบบจำลองเบื้องต้นมีความสามารถในการอธิบายในระดับพอใช้ เนื่องจากนักเรียนไม่มีการแสดงถึงการชนกันของอนุภาคสารตั้งต้นและไม่แสดงถึงจำนวนอนุภาคที่มากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารตั้งต้นมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 3 ความเป็นนามธรรมของแบบจำลองเบื้องต้นของนักเรียนส่วนใหญ่ก็อยู่ในระดับพอใช้เช่นเดียวกัน เนื่องจากนักเรียนแสดงเพียงฟองแก๊สที่เกิดขึ้นและสารตั้งต้นที่หายไป แต่ไม่แสดงถึงจำนวนอนุภาคและความสัมพันธ์ของปริมาณสารกับสมการเคมี แต่นักเรียนส่วนใหญ่มีระดับความสามารถในการระบุความหมายขององค์ประกอบในแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดี จากการสัมภาษณ์เพิ่มเติมพบว่า นักเรียนมีความตระหนักถึงความสำคัญของการระบุองค์ประกอบ แต่นักเรียนส่วนใหญ่ยังไม่สามารถระบุความหมายขององค์ประกอบได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์ หลังจากจัดกิจกรรมการเรียนรู้ร่วมกับภาพเคลื่อนไหวทำให้นักเรียนเข้าใจความสัมพันธ์ของความเข้มข้นและจำนวนอนุภาคในสารละลายมากขึ้น ทำให้นักเรียนส่วนใหญ่สามารถปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ให้สามารถอธิบายได้ในระดับดีมาก และระบุความหมายของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างครบถ้วนในระดับดีมาก นอกจากนี้ครูยัง

ใช้คำถามเพื่อทบทวนความรู้เรื่องความสัมพันธ์ของปริมาณสารในสมการเคมี ทำให้นักเรียนมีความเข้าใจเรื่องอัตราส่วนโมลในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น นักเรียนส่วนใหญ่สามารถปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองให้มีความเป็นนามธรรมให้อยู่ในระดับดี และนักเรียนจำนวนใกล้เคียงกันสามารถสร้างแบบจำลองที่ความสัมพันธ์ของปริมาณสารในสมการเคมีได้อย่างถูกต้อง ซึ่งสอดคล้องกับ Treagust *et al*. (2003) ที่กล่าวว่า ประสบการณ์เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองจะช่วยพัฒนาความเข้าใจมโนมติทางวิทยาศาสตร์ และสอดคล้องกับผลการสัมภาษณ์ ผู้วิจัยพบว่านักเรียนสามารถอธิบายเกี่ยวกับทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยาและการชนกันของอนุภาคซึ่งเชื่อมโยงมาจากแผนการเรียนรู้ที่ 1 ได้ เมื่อรวมคะแนนแต่ละองค์ประกอบพบว่านักเรียนส่วนมากสามารถสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เบื้องต้นได้ระดับควรปรับปรุง และมีนักเรียนจำนวนใกล้เคียงกันสามารถสร้างแบบจำลองวิทยาศาสตร์ได้ในระดับดี ซึ่งจะเห็นว่าความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมีการพัฒนาขึ้นจากแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับ Barak and Hussein–Farraj (2013) ที่กล่าวว่า นักเรียนสามารถสร้างตัวแทนที่อยู่ภายในจิตใจของนักเรียนเมื่อได้รับประสบการเกี่ยวกับเรื่องนั้น ๆ และเมื่อจัดกิจกรรมการเรียนรู้ร่วมกับภาพเคลื่อนไหวพบว่านักเรียนส่วนมากสามารถสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในระดับดีมาก ซึ่งสอดคล้องกับ Barak and Hussein–Farraj (2013) กล่าวว่า การใช้สื่อเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการสอนเนื้อหาที่เป็นนามธรรมจะช่วยให้นักเรียนสามารถจินตนาการถึงปรากฏการณ์ได้ดีและสามารถสร้างแบบจำลองของตัวเองดีขึ้น ซึ่งภาพเคลื่อนไหวที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นแตกต่างจากปฏิกิริยาที่นักเรียนทำการทดลอง อัตราส่วนของสารในการเกิดปฏิกิริยาของภาพเคลื่อนไหวก็แตกต่างจากอัตราส่วนของสารในปฏิกิริยาที่นักเรียนทำการทดลอง แต่นักเรียนส่วนมากสามารถแสดงอัตราส่วนของสารที่ทำปฏิกิริยาได้ถูกต้อง แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความเข้าใจเรื่องอัตราส่วนของสารในการทำปฏิกิริยามากขึ้น และตระหนักถึงอัตราส่วนของสารที่แสดงในแบบจำลอง แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองมากขึ้น และสามารถสร้างแบบจำลองได้จากความเข้าใจของนักเรียนเอง

3. การพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ผลของพื้นที่ผิวอัตราการเกิดปฏิกิริยา จากการวิเคราะห์พบว่านักเรียนส่วนใหญ่สามารถสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เบื้องต้นมีความสามารถอธิบายในระดับพอใช้ เนื่องจากนักเรียนไม่สามารถแสดงแบบจำลองในระดับโมเลกุลได้ นักเรียนส่วนใหญ่แสดงแบบจำลองในระดับที่ตามองเห็นแต่ไม่แสดงถึงระดับอนุภาค อีกทั้งไม่สามารถแสดงแบบจำลองที่สอดคล้องกับความสัมพันธ์ของปริมาณสารกับสมการเคมี ดังนั้นจึงมีความเป็นนามธรรมอยู่ในระดับพอใช้ แต่ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 นักเรียนส่วนใหญ่มีการระบุความหมายขององค์ประกอบในจำลองเบื้องต้นได้ระดับดี หลังจากจัดกิจกรรมร่วมกับภาพเคลื่อนไหวทำให้นักเรียนเห็นการจัดเรียงตัวในระดับโมเลกุล ทำให้เข้าใจเรื่องผลของพื้นที่ผิวต่ออัตราและความสัมพันธ์ของปริมาณสารกับสมาการเคมี ดังนั้นหลังจากปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองทำให้นักเรียนสามารถสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ได้ในระดับดีมากทั้งสามองค์ประกอบ สอดคล้องกับ Canning and Cox (2001) ที่กล่าวว่า ภาพเคลื่อนไหวทำ-

ให้นักเรียนเข้าใจถึงโครงสร้างของโมเลกุลและอันตรกิริยาของปฏิกิริยามากยิ่งขึ้น เมื่อรวมคะแนนของแต่ละองค์ประกอบเพื่อวิเคราะห์ความสามารถของนักเรียนในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ พบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีความสามารถในการสร้างแบบจำลองวิทยาศาสตร์เบื้องต้นอยู่ในระดับดี ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทักษะการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมีการพัฒนามากขึ้นกว่าแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และเมื่อปรับปรุงแก้ไขแบบจำลอง พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่สามารถสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ได้ในระดับดีมาก ซึ่งสอดคล้องกับ Potisen and Faikhamta (2017) ที่กล่าวว่า ภาพเคลื่อนไหวสามารถทำให้นักเรียนเข้าใจได้มากขึ้น เพราะนักเรียนสามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงในระดับโมเลกุลและเกิดการเชื่อมโยงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น และจากการสัมภาษณ์พบว่านักเรียนส่วนใหญ่สามารถทำนายผลการทดลองได้ แต่ไม่สามารถจินตนาการถึงอันตรกริยาของสารในระดับอนุภาคจึงไม่สามารถสร้างแบบจำลองเบื้องต้นที่สมบูรณ์ได้จึงแสดงเพียงแบบจำลองที่ตามองเห็น เมื่อรับชมภาพเคลื่อนไหวที่แสดงอันตรกริยาของสารในระดับโมเลกุลทำให้นักเรียนมีความเข้าใจมากขึ้นและสามารถปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองได้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

4. การพัฒนาภาพเคลื่อนไหวเพื่อแสดงปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ได้แก่ ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ผลของความเข้มข้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา และผลของพื้นที่ผิวต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ภาพเคลื่อนไหวที่สร้างขึ้นสามารถสื่อความหมายในระดับอนุภาคได้สอดคล้องกับทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยาและทฤษฎีการชน โดยภาพเคลื่อนไหวจะแสดงผลของปัจจัยต่าง ๆ และมีการเปรียบเทียบให้เห็นภาพชัดเจน อีกทั้งในภาพเคลื่อนไหวยังได้กำหนดความเข้มข้นและแสดงเวลาที่ใช้ในการดำเนินไปของปฏิกิริยา ทำให้สามารถคำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้จากภาพเคลื่อนไหวได้ทุกช่วงของการทดลอง นอกจากนี้ภาพเคลื่อนไหวยังแสดงให้เห็นถึงอัตราส่วนปริมาณสารในการทำปฏิกิริยาสอดคล้องกับสมการเคมี สามารถใช้ภาพเคลื่อนไหวทบทวนความรู้เรื่องปริมาณสารในปฏิกิริยาเคมีได้ จากการจัดกิจกรรมในแผนการเรียนที่ 1–3 พบว่านักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองเบื้องต้นได้ดีขึ้นตามลำดับ แต่นักเรียนส่วนใหญ่ยังไม่สามารถสร้างแบบจำลองเบื้องต้นให้อยู่ในระดับดีมากได้ และไม่สามารถสร้างแบบจำลองในระดับอนุภาคได้ เนื่องจากขาดความเข้าใจในระดับอนุภาค เมื่อมีการนำภาพเคลื่อนไหวที่แสดงให้เห็นพฤติกรรมของสารในระดับอนุภาคมาใช้ร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้พบว่า ความสามารถในการสร้างแบบจำลองที่ปรับปรุงแก้ไขของนักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในระดับดีมาก นักเรียนสามารถสร้างแบบจำลองในระดับอนุภาคได้ ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าภาพเคลื่อนไหวเป็นหนึ่งในองค์ประกอบที่สำคัญในการช่วยพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ช่วยเสริมสร้างความเข้าใจและช่วยให้นักเรียนมีมโนติที่ถูกต้องสอดคล้องกับทฤษฎี อีกทั้งจากการสัมภาษณ์และประเมินจากอนุทินหลังเรียนพบว่า นักเรียนตอบไปในทิศทางเดียวกันว่าภาพเคลื่อนไหวที่สร้างขึ้นสามารถช่วยให้นักเรียนเข้าใจการเกิดปฏิกิริยาในระดับโมเลกุลได้ดียิ่งขึ้น ทำให้นักเรียนเห็นภาพในระดับอนุภาคชัดเจน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหา

ความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับภาพเคลื่อนไหวสามารถพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองของนักเรียนได้ สอดคล้องกับ Potisen and Faikhamta (2017) ที่กล่าวว่า ภาพเคลื่อนไหวสามารถทำให้นักเรียนเข้าใจได้มากขึ้น เพราะนักเรียนสามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงในระดับโมเลกุลจึงเกิดการเชื่อมโยงการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้

ข้อเสนอแนะ

1. ในขั้นการสร้างแบบจำลอง การโต้แย้ง และการปรับปรุงแก้แบบจำลองนักเรียนจะใช้เวลานานพอสมควร ดังนั้นครูควรอธิบายให้ชัดเจนว่าแบบจำลองที่นักเรียนวาดควรสื่อความหมายอย่างไร และควรยกตัวอย่างแบบจำลองให้สอดคล้องกับการทดลอง

2. ครูควรใช้คำถามในขั้นโต้แย้งเพื่อชี้ให้นักเรียนเห็นถึงข้อดีและข้อบกพร่องของแบบจำลองวิทยาศาสตร์ของนักเรียนอย่างทั่วถึงจะทำให้นักเรียนสามารถปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองได้ดียิ่งขึ้น

3. ภาพเคลื่อนไหวที่ใช้ความมีความยาวเหมาะสม ไม่เร็วหรือช้าเกินไป และครูควรอธิบายประกอบภาพเคลื่อนไหวเพื่อให้นักเรียนจับประเด็นและสังเกตปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจนและครบถ้วนสมบูรณ์

4. ควรศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมโนมติกับความสามารถในการสร้างแบบจำลองของนักเรียน จากการสอบถามพบว่านักเรียนส่วนใหญ่ไม่เข้าใจเรื่องปริมาณสารในสมการเคมีจึงไม่สามารถสร้างแบบจำลองที่สมบูรณ์ได้ เพื่อหาแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสม

6. ควรพัฒนาภาพเคลื่อนไหวเพิ่มเติมในบทการเรียนรู้ที่อื่นที่ยังขาด เพื่อพัฒนาความเข้าใจในระดับอนุภาคที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า

7. ตรวจสอบความคงทนของความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

การขอจริยธรรมวิจัยในมนุษย์

จริยธรรมการวิจัยของงานวิจัยนี้ คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้พิจารณาแล้วว่าเป็นโครงการที่เข้าข่ายการพิจารณาแบบยกเว้น ตามประกาศมหาวิทยาลัยขอนแก่น ฉบับที่ 2178/2563 หมายเลขสำคัญโครงการ HE653167

เอกสารอ้างอิง

Bamberger, Y. M., and Davis, E. A. (2013). Middle–school science students' scientific modelling performances across content areas and within a learning progression. **International Journal of Science Education** 35(2): 213–238.

Barak, M., and Hussein–Farraj, R. (2013). Integrating Model–Based Learning and Animations for enhancing students' understanding of proteins structure and function. **Research in Science Education** 43(1): 619–636.

Chiu, J., and Linn, M. C. (2014). Supporting Knowledge integration in chemistry with visualization enhanced inquiry unit. **Journal of Science Education and Technol-**

ogy 23(1): 37–58.

Kaya, E., and Geban, O. (2012). Facilitating conceptual change in rate of reaction concepts using conceptual change oriented instruction. **Education and Science** 37(163): 216–225.

McNeill, K. L., Lizotte, D. J., Krajcik, J., and 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., and Allred, B. (2010). Model–based inquiry in physics: A buoyant force module. **The Science Teacher** 77(8): 38-43.

Potisen, P., and Faikhamta, C. (2017). How do I develop grade–11 students' mental model in rate of reaction. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning** 8(1): 101–122.

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Ache, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., and 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.

Suits, J. P., and Sanger, M. J. (2013). Dynamic visualizations in chemistry courses. In Suits, J. P. and Sanger, M.J. (Eds.), **Pedagogic Roles of Animations and Simulations in Chemistry Courses** (pp. 1–13). Washington: American Chemical Society.

Supasorn, S. and Amatatongchai, 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., and Mamiala, T. L. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. **International Journal of Science Education** 25(11): 1353–1368.

Wang, J., Guo, D., and 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., and 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.