ฉันควรพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีอย่างไร?: การวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน

โพธิศักดิ์ โพธิเสน* และชาตรี ฝ่ายคำตา

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ 10903
*E-mail: potisak125@gmail.com

รับบทความ: 26 กันยายน 2559 ยอมรับตีพิมพ์: 22 พฤษภาคม 2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการสอนเพื่อพัฒนาแบบจำลองทางความคิดเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และศึกษาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนเมื่อได้รับการจัดการเรียนรู้แบบการสืบเสาะหาความรู้ที่ใช้แบบจำลองเป็นฐาน การวิจัยนี้อยู่บนพื้นฐานของการศึกษาตนเองและสะท้อนตนเอง (self-study and reflective-based research) ซึ่งฉันศึกษาการปฏิบัติการสอนของฉัน ฉันได้ข้อมูลงานวิจัยจากบันทึกหลังการสอนของตนเองและแบบวัดแบบจำลองทางความคิดเป็นหลัก ฉันวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพโดยการอุปนัย เช่น การจัดกลุ่ม เปรียบเทียบ ลงข้อสรุป จากการวิเคราะห์ผลพบว่าแนวทางการสอนเพื่อพัฒนาแบบจำลองทางความคิดเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้แก่ การใช้วีดีทัศน์ที่แสดงให้การเปลี่ยนแปลงในระดับมหภาคภาคและจุลภาคผ่านการอุปมาทำให้นักเรียนมีแบบจำลองทางความคิดที่เป็นแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น การจัดการเรียนรู้ โดยลำดับจากนำเข้าสู่บทเรียนด้วยคำถาม นัก-เรียนค้นหาคำตอบ สร้างแบบจำลอง อภิปรายและปรับปรุงแบบจำลอง การใช้คำถามที่ท้าทายและการถามซักไซ้ไล่เรียง (เมื่อใช้ร่วมกัน) และการจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการสร้างหรือปฏิบัติด้วยตนเองสามารถพัฒนาแบบจำลองทางความคิดได้ นอกจากนี้ฉันยังพบว่าการจัดกิจกรรมของฉันทำให้แบบจำลองทางความคิดของนักเรียนในเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มแบบจำลองความคิดที่ถูกต้องสมบูรณ์

คำสำคัญ: แบบจำลองทางความคิด การสืบเสาะหาความรู้ที่ใช้แบบจำลองเป็นฐาน อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

How do I Develop Grade-11 Students' Mental Models in the Rate of Reaction?: Classroom Action Research

Potisak Potisen* **and Chatree Faikhamta**

Division of Science Education, Department of Education, Faculty of Education
Kasetsart University, Bangkhen, Bangkok 10903, Thailand
*E-mail: potisak125@gmail.com

Received: 26 September 2016 Accepted: 22 May 2017

Abstract

This classroom action research aimed to investigate ways to develop students' mental model in the rate of reactions through model-based inquiry (MBI) approach and examine students' mental models in the rate of reaction after the lesson. This study was based on self-study and reflective-based research in which I researched my own teaching in a chemistry class of 28 grade-11 students. I collected data from my reflective journals and mental model test. Qualitative data were analyzed by inductive process such as categorizing, comparing and concluding. In the research findings, I found the ways to teach for improving students' mental models as follows: using videos to show difference between macroscopic and microscopic changes through analogy can improves students' mental models to scientific models; teaching sequences should start with engaging students with questions then find the answer, and let them build models and discuss with whole class; using challenged questions, answering with questions and discussing questions in the whole class, as well as having students getting involved with or had the experience with improves students' metal models. I also found that MBI could enhance most students' mental models in the rate of reaction in correct mental models.

Keywords: Mental models, Model-based inquiry, Rate of reaction

บทนำ

การสื่อความหมายของปรากฏการณ์ทางเคมี นักเคมีมักใช้และสร้างแบบจำลองขึ้นมาเพื่ออธิบายข้อมูล ทำนายเหตุการณ์ และช่วยสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงทางเคมี (Justi and Gilbert, 2002) แบบจำลองจะจำลองการเปลี่ยนแปลงระดับจุลภาคให้เรามองเห็นในระดับโมเลกุลเพื่อใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลง ในระดับมหภาค แบบจำลองใช้สำหรับทำสิ่งที่เป็นนามธรรมให้สามารถมองเห็นได้ชัดเจนขึ้นเป็นรูปเป็นร่างที่เข้าใจได้มากขึ้น (Francoeur, 1997) โดยนักเคมีใช้แบบจำลองเป็นตัวแทนของความคิดหรือโครงสร้างทางความคิดที่อยู่ภายในสมองของตน ซึ่งมีลักษณะเฉพาะตัวหรือที่เรียกว่าแบบจำลองทางความคิด (mental model) (Norman, 1983; Greca and Moreira, 2000)

ในฐานะที่ฉันเป็นครูผู้สอนฉันเห็นว่าแบบจำลองทางความคิดเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างมากต่อการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะในวิชาเคมี หากนักเรียนสามารถสร้างแบบจำลองทางความคิดเกี่ยวกับปรากฏการณ์ เหตุการณ์หรือสิ่งที่สนใจอื่น ๆ ขึ้นมาได้และแสดงออกมาเป็นแบบจำลองแสดงออก (expressed model) แล้วนำไปอธิบายในสิ่งที่สนใจนั้นได้ นักเรียนจะเข้าใจในเนื้อหาเคมีเรื่องนั้น ๆ ได้ แต่นักเรียนควรมีแบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้องหรือแบบจำลองวิทยาศาสตร์ด้วย จึงสามารถนำเอาแบบจำลองแสดงออกไปใช้อธิบายในสิ่งที่สนใจได้อย่างถูกต้องและเกิดความเข้าใจในเนื้อหาวิชาเคมีนั้น ๆ ได้อย่างถูกต้อง

จากการศึกษางานวิจัยในการพัฒนาแบบจำลองทางความคิด พบว่า นักการศึกษามักศึกษาและจัดกลุ่มแบบจำลองในเนื้อหาทางเคมีเรื่องหนึ่ง ๆ เท่านั้น งานที่มีการพัฒนาแบบจำลองทางความคิดนั้นมีจำนวนไม่มากนัก ดังนั้นฉันจึงได้หาแนวทางการสอนที่จะนำใช้พัฒนาแบบจำลองทางความคิดต่อไป ซึ่งการสอนที่ฉันได้ศึกษาว่าจะทำให้นักเรียนมีความเข้าใจในเนื้อหาได้ดีนั้นต้องเป็นการเรียนการสอนที่มีรูปแบบการเรียนการสอนที่ใช้ตามทฤษฎีการสร้างความรู้ (constructivism) (Dechakupt, 2011) โดยวิธีการสอนให้นักเรียนได้สืบค้นเสาะหา สำรวจตรวจสอบ และค้นคว้าหาความรู้ด้วยวิธีการต่าง ๆ ด้วยตนเอง จนทำให้นักเรียนมีความเข้าใจและมีการรับรู้ความรู้นั้นอย่างมีความหมาย จึงสามารถสร้างเป็นองค์ความรู้ของตัวนักเรียนเองและเก็บเป็นข้อมูลไว้ในสมองได้อย่างยาวนาน อีกทั้งยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขปัญหาหรือตัดสินใจในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้ (IPST, 2003) ฉันได้ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการสอน พบว่า นักเรียนที่ได้รับการสอนแบบการสืบเสาะหาความรู้ที่ใช้แบบจำลองเป็นฐาน (model-based inquiry, MBI) สามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนได้ (Khan, 2007) วิธี การสอนนี้เป็นการผสมผสานวิธีการสอนแบบการสืบเสาะหาความรู้มาเป็นหลักแล้วใช้แบบจำลองอธิบาย ซึ่งนอกจากนักเรียนจะได้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์แล้ว นักเรียนยังสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้จากการสืบเสาะหรือระหว่างการสืบเสาะมาอธิบายได้โดยใช้หลักฐาน คือ แบบจำลองซึ่งจะให้เห็นภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้นด้วย

จากการที่ฉันไปสังเกตการสอนและสอนเองที่โรงเรียนแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร ทำให้เห็นธรรมชาติของนักเรียนว่า เมื่อนักเรียนเข้าใจหรือได้เรียนสิ่งหนึ่ง ๆ แล้วครูให้นักเรียนออกมาอธิบายหรือตอบคำถามนักเรียนมักจะใช้การยก

ตัวอย่างแบบจำลองหรือบางครั้งก็ใช้อุปมาช่วยในการอธิบาย เพื่อให้ครูและเพื่อนในห้องเห็นภาพชัดเจนมากขึ้น เช่น ครูถามนักเรียนในเรื่องของปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมีในเรื่องของความเข้ม-ข้นว่า "ถ้าความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือสารผลิตภัณฑ์มากขึ้นสมดุลจะเป็นเช่นไร" นักเรียนจะใช้การวาดภาพโมเลกุลของสารตั้งต้นที่เพิ่มมากขึ้นประกอบคำอธิบายว่า "เมื่อเป็นเช่นนั้นแล้วจะทำให้สมดุลไปข้างหน้ามากขึ้นเพราะจะเกิดผลิต-ภัณฑ์มากขึ้น" การที่นักเรียนทำเช่นนี้แสดงว่านักเรียนต้องมีการสร้างแบบจำลองทางความคิดขึ้นเองและแสดงออกมาในรูปของภาพวาด และจากคำอธิบายของครูจึงทราบว่าแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนนั้นเป็นแบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้องหรือแบบจำลองทางวิทยา-ศาสตร์ แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความเข้าใจในเนื้อหาเรื่องนี้

จากที่ฉันศึกษางานวิจัย จากการสังเกตการสอน และจากประสบการณ์การสอนของตนเองดังกล่าวข้างต้น ทำให้ฉันมีความสนใจที่จะศึกษาว่า (1) ฉันจะพัฒนาแบบจำลองทางความคิดเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ได้อย่างไรด้วยการเรียนการสอนแบบการสืบเสาะหาความรู้ที่ใช้แบบจำลองเป็นฐาน และ (2) นักเรียนมีแบบจำลองทางความคิดเรื่องอัตราการเกิดปฏิ-กิริยาเคมีอย่างไร เมื่อได้เรียนรู้ด้วยการเรียนการสอนแบบการสืบเสาะหาความรู้ที่ใช้แบบจำลองเป็นฐาน

กรอบความคิดในการวิจัย

แบบจำลองทางความคิด เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นในความคิดของเรา เมื่อเราได้รับการเรียนรู้หรือแม้เพียงแค่ได้พบเห็นสิ่งใดสิ่งหนึ่ง สมองของเราจะจดจำภาพไว้และสร้างแบบจำลองขึ้นมาเพื่อเป็นตัวแทนของสิ่งที่ได้เรียนรู้หรือสิ่งที่ได้พบ (Francoeur, 1997; Gilbert et al., 1998) ส่วนการจัดการเรียนรู้แบบการสืบเสาะหาความรู้ที่ใช้แบบจำลองเป็นฐานเป็นการผสานวิธีการสอนแบบการสืบเสาะหาความรู้ (inquiry-based learning) และการสอนโดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (model-based learning) ในงานวิจัยนี้ฉันใช้การสอนแบบสืบ-เสาะหาความรู้เป็นแกนหลักในการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ (Maia and Justi, 2009; Khan, 2007) โดยนักเรียนจะมีลักษณะการเรียนรู้ที่เป็นผู้ค้นหาคำตอบด้วยตนเองและมีการนำเสนอคำ-ตอบกับเพื่อนในห้องเพื่อแปลกเปลี่ยนความรู้และอภิปรายร่วมกัน ในงานวิจัยนี้ฉันให้นักเรียนนำเสนอและอภิปรายโดยใช้แบบจำลองมาอธิบาย กล่าวคือ นักเรียนจะได้รับสถานการณ์ที่ทำให้เกิดความสงสัยและมุ่งแสวงหาคำตอบ การนำ-เสนอคำตอบนั้นจะใช้แบบจำลองมาช่วยในการนำเสนอและอภิปรายระหว่างนักเรียนกับนัก-เรียนและครูกับนักเรียนในห้องด้วย เมื่อนักเรียนนำเสนอแบบจำลองและอภิปรายเรียบร้อยแล้วนักเรียนพบว่าแบบจำลองของตนเองนั้นมีจุดเด่นและจุดด้อยอย่างไร จากนั้นจึงนำแบบจำลองมาปรับปรุงให้สามารถอธิบายคำตอบที่ตนเองพบนั้นให้ถูกต้องชัดเจนมากยิ่งขึ้น ในขั้นนี้ฉันจะสามารถประเมินได้ว่านักเรียนมีความเข้าใจในเนื้อหานั้นอย่างไรเพื่อที่จะได้เพิ่มเติมหรือแก้ไขความเข้าใจนั้นของนักเรียน

คำถามของการวิจัย

1. ฉันจะพัฒนาแบบจำลองทางความคิดเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ได้อย่างไรด้วยการเรียนการสอนแบบการสืบเสาะหาความรู้ที่ใช้

แบบจำลองเป็นฐาน

2. นักเรียนมีแบบจำลองทางความคิดเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี อย่างไรเมื่อได้เรียนรู้ด้วยการเรียนการสอนแบบการสืบเสาะหาความรู้ที่ใช้แบบจำลองเป็นฐาน

วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน (classroom action research) โดยฉันได้นำแนวคิดของงานวิจัยเชิงปฏิบัติการที่ได้รับการปรับปรุง แก้ไข จนมีกระบวนการหลักๆอยู่ 4 ขั้นตอน คือ Plan-Act-Observe-Reflect (PAOR) มาใช้ในงานวิจัยนี้ (Zuber-Skerritt and Perry, 2002) และจากการศึกษางานตัวอย่างวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียนของต่างประเทศ (Elizabeth, 2015) ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวเน้นการศึกษาตนเอง (self-study) และเพื่อให้สอดคล้องกับกรอบดังกล่าวจึงใช้คำว่า “ฉัน” ในการอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น โดยการวิจัยปฏิบัติการจะนำไปสู่การหาคำตอบของการวิจัยในเรื่องแนวทางในการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ที่ใช้แบบจำลองเป็นฐาน ซึ่งแนวทางดังกล่าวไม่ได้มาจากการศึกษาเอกสารเท่านั้น แต่มาจากขั้นตอนของการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียนประกอบด้วย 4 ขั้นตอนที่เป็นวงจรต่อเนื่องกัน ซึ่งมีทั้งหมด 4 วงจร ตามแผนการจัดการเรียนรู้ โดยแต่ละวงจรมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นวางแผนการปฏิบัติ (plan)

ฉันศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองทางความคิดแนวความคิดที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี แบบวัดแนวคิดในเรื่องรู้พื้นฐานที่จำเป็นต่อการเรียนรู้ในเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ที่ใช้แบบจำลองเป็นฐาน เพื่อหากรอบในการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ที่จะสามารถพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนในเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี นอกจากการศึกษาเอกสารแล้ว ฉันยังได้รวมกับการสะท้อนประสบการณ์การสอนของตัวฉันเองอีกด้วย และจากที่ได้กล่าวไปนั้นฉันจึงได้แนวทางที่นำมาใช้เป็นกรอบในการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ในงานวิจัย

ขั้นปฏิบัติการ (Act)

ฉันนำแผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ที่ใช้แบบจำลองเป็นฐานที่สร้างขึ้นไปใช้ในการปฏิบัติกิจกรรมการเรียนการสอนในเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีซึ่ งเริ่มดำเนินการสอนตั้งแต่วันที่ 17 มิถุนายน 2557 ถึงวันที่ 9 กรกฎาคม 2557 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2557 ใช้เวลาในการสอนทั้งหมด 12 คาบ คาบละ 50 นาที ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่ฉันไปฝึกประสบการณ์ที่โรงเรียนตามหลักสูตรของมหาวิทยาลัย

ขั้นสังเกตผลการปฏิบัติ (Observe)

ในขณะที่ดำเนินกิจกรรมการเรียนการสอนฉันจะสังเกตและบันทึกข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ขั้นนี้เป็นขั้นเกิดขึ้นไปพร้อมกับขั้นที่ 2 (คือ ขั้นปฏิบัติการ) กล่าวคือ ในขณะที่ฉันปฏิบัติการสอนหรือจัดการเรียนรู้ให้แก่นักเรียนนั้น ฉันจะสังเกตผลการปฏิบัติไปด้วยพร้อม ๆ กัน ทำให้การจัดการเรียนรู้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีความเป็นธรรมชาติ

ในขั้นนี้เพื่อตอบคำถามวิจัยข้อที่ 1 ฉันใช้เครื่องมือคือ อนุทินสะท้อนความคิดของนักเรียนและบันทึกหลังการสอน (โดยได้จากตัวฉันเป็นหลักและประกอบกับจากอาจารย์พี่เลี้ยง) และเพื่อตอบคำถามวิจัยข้อที่ 2 ฉันใช้เครื่องมือ คือ

แบบวัดแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนในเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

ขั้นสะท้อนการปฏิบัติ (Reflect)

เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากขั้นสังเกตผลการปฏิบัติมาวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ในครั้งต่อไป

บริบทของการวิจัย: ฉันทำวิจัยกับนักเรียนห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์มีจำนวนนักเรียนทั้งหมด 28 คนประกอบด้วยนักเรียนชายจำนวน 16 คน นักเรียนหญิงจำนวน 12 คน ของโรงเรียนสหศึกษาขนาดใหญ่แห่งหนึ่งใน กรุงเทพมหานคร ซึ่งนักเรียนในห้องเรียนนี้เป็นนักเรียนมีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์ และมีนักเรียนเพียงบางคนที่เป็นโรคสมาธิสั้นซึ่งอาจส่งผลต่อการเรียนรู้ในเนื้อหาวิชาเคมีของเขาได้และทั้งหมดเป็นนักเรียนที่ได้รับการเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling)

เนื้อหาที่สอนอยู่ในหน่วยการเรียนรู้เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งมีหน่วยย่อย 4 หน่วยได้แก่ ความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี แนวคิดเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี พลังงานกับการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมี และปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ได้แก่ ความเข้มข้นของสารตั้งต้น พื้นที่ผิว และอุณหภูมิ

การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

จากคำถามงานวิจัยของฉันทั้ง 2 ข้อฉันได้มีการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

(1) คำถามข้อที่ 1 “*ฉันจะพัฒนาแบบจำลองทางความคิดเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ได้อย่างไรด้วยการเรียนการสอนแบบการสืบเสาะหาความรู้ที่ใช้แบบจำลองเป็นฐาน*” เครื่องมือที่ฉันใช้ ได้แก่ บันทึกหลังการสอนและอนุทินสะท้อนความคิดของนักเรียน โดยบันทึกหลังการสอนนั้นเป็นการเขียนบันทึกเรื่องราวต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในคาบเรียนและมีการสะท้อนเรื่องราวเหล่านั้นโดยตัวของฉันเองซึ่งประกอบด้วย 4 หัวข้อหลัก คือ สิ่งที่ฉันวางแผนไว้ สิ่งที่ฉันสังเกตได้ จุดเด่นและจุดด้อยของการสอน และสิ่งที่จะปรับปรุงแก้ไขหรือข้อเสนอแนะ ส่วนอนุทินสะท้อนความคิดของนักเรียนนั้นฉันให้นักเรียนเขียนเป็นรายสัปดาห์ลงในสมุดโดยฉันได้กำหนดหัวข้อให้ 4 หัวข้อ ได้แก่ สิ่งที่นักเรียนได้เรียนรู้จากการเรียน สิ่งที่อยากให้ปรับปรุงแก้ไขในครั้งต่อไป ปัญหาและอุปสรรคที่นักเรียนมีระหว่างเรียน และความรู้สึกที่มีต่อการเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้ของฉัน ฉันวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีอุปนัยโดยฉันนำข้อมูลที่ได้จากบันทึกหลังการสอนมาทำการแยกประเด็นย่อย ๆ ในบันทึกหลังการสอนนั้น แล้วฉันจึงจัดกลุ่มใหญ่โดยพิจารณาจากกลุ่มย่อยของบันทึกหลังการสอนทุกคาบเพื่อรวมเป็นประเด็นใหญ่ จากนั้นพิจารณาร่วมกับอนุทินของนักเรียนและแบบวัดแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนว่า นักเรียนเข้าใจในเนื้อหานั้น ๆ โดยรวมเป็นอย่างไร แล้วนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ฉันจับกลุ่มไว้แล้วว่าสอดคล้องกันหรือไม่

(2) คำถามข้อที่ 2 “*นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีแบบจำลองทางความคิดเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีอย่างไรเมื่อได้เรียนรู้ด้วยการเรียนการสอนแบบการสืบเสาะหาความรู้ที่ใช้แบบจำลองเป็นฐาน*” เครื่องมือที่ฉันใช้ คือ แบบวัดแบบจำลองทางความคิดของนักเรียน เพื่อวัดแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนในหัวข้อหลัก 4 หัวข้อในเนื้อหาเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ได้แก่ ความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

แนวคิดเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี พลังงานกับการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมี และปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (ความเข้มข้นของสารตั้งต้น พื้นที่ผิว และอุณหภูมิ) ซึ่งประกอบด้วยคำถามทั้งหมด 7 ข้อ ซึ่งฉันได้เก็บรวบรวมหลังจากที่นักเรียนเรียนเนื้อหานั้น ๆ จบทีละหัวข้อ แล้วจึงเก็บข้อมูลทันทีโดยไม่รอให้นักเรียนเรียนจนจบทั้งหน่วยก่อน เมื่อได้ข้อมูลในแต่ละข้อมาแล้ว ฉันจึงนำมาวิเคราะห์เชิงเนื้อหาด้วยวิธีอุปนัย โดยนำแบบวัดแบบจำลองทางความคิดที่นักเรียนตอบ และมาแบ่งกลุ่มตามหัวข้อ ซึ่งแบ่งย่อยได้ทั้งหมด 7 หัวข้อคือ (1) ความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการคำนวณ (2) แนวคิดเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี (3) พลังงานกับการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมี (4) พลังงานก่อกัมมันต์หรือพลังงานกระตุ้น (E_a) (5) ผลของความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (6) ผลของพื้นที่ผิวที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และ (7) ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จากนั้นฉันแบ่งข้อมูลที่ได้จากแบบวัดนี้ออกเป็น 4 กลุ่ม โดยประยุกต์เกณฑ์การจัดกลุ่มแบบจำลองทางความคิดของ Chi and Roscoe (2002) และฉันจัดเป็นกลุ่มใหม่ที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ ได้แก่ (1) กลุ่มแบบจำลองทางความคิดถูกต้องสมบูรณ์นักเรียนในกลุ่มสามารถแสดงแบบจำลองได้ถูกต้องและมีคำอธิบายที่ถูกต้องครบถ้วน (2) กลุ่มแบบจำลองทางความคิดสมบูรณ์แต่ถูกต้องบางส่วนนักเรียนในกลุ่มนี้มีลักษณะคือแสดงแบบจำลองได้ถูกต้องแต่คำอธิบายนั้นยังไม่ครบถ้วนหรือมีบางจุดที่คลาดเคลื่อนไปบ้าง (3) กลุ่มแบบจำลองทางความคิดถูกต้องหรือสมบูรณ์อย่างใดอย่างหนึ่งในส่วนของกลุ่มนี้นักเรียนจะแสดงแบบจำลองถูกต้องแต่คำอธิบายคลาดเคลื่อนทั้งหมดหรือไม่ถูกต้องไปเลยหรืออาจมีคำอธิบายที่ถูกต้องแต่แสดงแบบจำลองไม่ชัดเจนคลาดเคลื่อนหรือไม่ถูกต้อง และ (4) กลุ่มแบบจำลองทางความคิดไม่ถูกต้องสมบูรณ์ กลุ่มนี้นักเรียนจะแสดงแบบจำลองทางความคิดที่ไม่ถูกต้องคลาดเคลื่อนหรือไม่แสดงแบบจำลองและมีคำอธิบายที่ไม่ถูกต้องคลาดเคลื่อนหรือไม่แสดงคำอธิบาย เมื่อได้กลุ่มใหญ่ 4 กลุ่มแล้ว ฉันได้มีการจัดกลุ่มย่อยในกลุ่มใหญ่อีกด้วยเพื่อพิจารณาว่าในกลุ่มใหญ่นั้นลักษณะคำตอบของนักเรียนเหมือนหรือต่างกันอย่างไร

ผลการวิจัย

จากคำถามที่ฉันได้ถามคือ *“ฉันจะพัฒนาแบบจำลองทางความคิดเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ได้อย่างไรด้วยการเรียนการสอนแบบการสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้แบบจำลองเป็นฐาน”* และ *“นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีแบบจำลองทางความคิดเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีอย่างไรเมื่อได้เรียนรู้ด้วยการเรียนการสอนแบบการสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้แบบจำลองเป็นฐาน”* ฉันได้นำเสนอข้อค้นพบเป็นลำดับดังนี้

1. แนวทางการสอนเพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนในเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

1.1 การใช้วีดิทัศน์แสดงการเปลี่ยนแปลงในระดับมหภาคภาคและกึ่งจุลภาคผ่านการอุปมา ทำให้นักเรียนมีแบบจำลองทางความคิดที่เป็นแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น

การใช้วีดิทัศน์แสดงการเปลี่ยนแปลงในระดับมหภาคและกึ่งจุลภาคผ่านการอุปมาเป็นการเชื่อมความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลง

ในระดับที่นักเรียนมองเห็นกับการเปลี่ยนแปลงในระดับที่นักเรียนมองไม่เห็นผ่านวีดีทัศน์ที่เป็นแอนิเมชัน ซึ่งนักเรียนมีความชื่นชอบตามวัยอยู่แล้ว เมื่อนักเรียนได้เห็นความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงทั้งสองระดับ นักเรียนจะสามารถเชื่อมโยงการเปลี่ยนแปลงทั้งสองระดับได้ และนำความสัมพันธ์นั้นไปปรับปรุงแบบจำลองทางความคิดของตนเองให้เป็นแบบจำลองทางวิทยา-ศาสตร์มากยิ่งขึ้น

แนวทางการสอนนี้เป็นแนวทางการสอนที่ได้จากแผนการจัดการเรียนรู้แผนที่ 4 เป็นหลัก ซึ่งฉันจะอธิบายผลที่ได้จากการใช้แนวทางการสอนนี้ ดังนี้

ฉันได้ใช้วีดิทัศน์ที่มีลักษณะเป็นการ์ตูนแอนิเมชันซึ่งนักเรียนส่วนใหญ่ในห้องชอบดังในภาพที่ 1 (วีดิทัศน์จาก TED Education: https://www.youtube.com/watch?v=OttRV5y kP7A) และวีดิทัศน์นี้เป็นวีดิทัศน์ที่ใช้การอุปมาในการแสดงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น โดยแสดงออกมาในรูปความสัมพันธ์ระหว่างระดับมหภาคและระดับจุลภาค ในขั้นตอนของการสรุปเนื้อหาเรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (ได้แก่ ความเข้มข้นของสารตั้งต้น พื้นที่ผิวของสารตั้งต้นที่เป็นของแข็งและอุณหภูมิ)

ภาพที่ 1 ตัวอย่างคลิปวีดีทัศน์ที่ใช้ในวิธีการจัดการเรียนรู้แผนที่ 4 (การ์ตูน)

จากบันทึกหลังการสอนของฉันพบว่า นักเรียนสนใจกับวีดิทัศน์นี้ค่อนข้างดี นอก-จากนี้ยังมีการร่วมในการสร้างเรื่องราวให้แก่แอ-นิเมชันนี้ด้วย ทั้งนี้เนื้อหาที่อยู่ในวีดิทัศน์เป็นเนื้อ-หาที่นักเรียนได้ทดลองและนำเสนอแบบจำลองไปก่อนหน้านี้แล้ว การใช้วีดิทัศน์แอนิเมชันของฉันในแผนการจัดการเรียนรู้นี้ จึงมีจุดประสงค์ที่จะเพื่อปรับแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนให้เป็นแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มากยิ่งขึ้นและเพื่อเป็นการสรุปเรื่องที่ได้เรียนไปพร้อมกันด้วย ผลที่ได้จากการใช้วีดิทัศน์นี้ นักเรียนนำไปปรับ-ปรุงแบบจำลองที่นักเรียนสร้าง (ภาพวาด) ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น และนำเสนอให้เพื่อน ๆ ในกลุ่มฟัง จากการที่ฉันไปร่วมฟังและถาม พบว่า นักเรียนมีแบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้องมากขึ้นจากเดิม และสามารถตอบคำถามของเพื่อนในกลุ่มและคำถามของฉันได้เป็นส่วนมาก

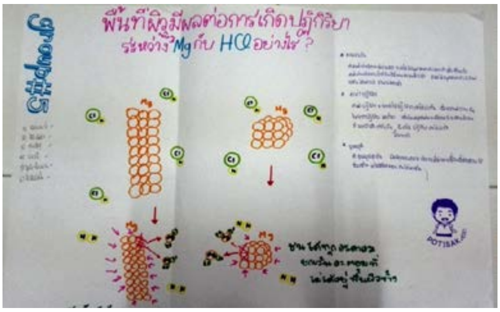
เมื่อพิจารณาจากแบบวัดแบบ

จำลองทางความคิด พบว่า ในหัวข้อผลของความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี มีนักเรียนอยู่ในกลุ่มแบบจำลองทางความคิดถูกต้องสมบูรณ์ร้อยละ 43 และหัวข้อผลของพื้นที่ผิวกับอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี มีนักเรียนอยู่ในกลุ่มแบบจำลองทางความคิดถูกต้องสมบูรณ์ถึงร้อยละ 64 ดังตัวอย่างคำตอบของนักเรียนในภาพที่ 2 ผลจากแบบวัดแบบจำลองทางความคิดดังกล่าวอาจกล่าวได้ว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีแบบจำลองทางความคิดในเนื้อหาเรื่องปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่มีความเป็นแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์นั่นเอง

ผลที่ได้จากแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 2 แผน ที่มีการใช้วีดิทัศน์การวิ่ง (แผนที่ 1) ทำให้นักเรียนสร้างแบบจำลองทางความคิดเกี่ยวกับอัตราได้ ทำให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงเข้าสู่เนื้อหาเรื่องความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ง่ายขึ้น และวีดิทัศน์ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับมหภาคและกึ่งจุลภาคผ่านการอุปมา (แผนที่ 4) ทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจในการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น มีแบบจำลองทางความคิดที่เป็นแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มากขึ้นหลังจากรับชมวีดิทัศน์และการปรับปรุงแบบจำลอง

1.2 การจัดการเรียนรู้โดยลำดับ จากนำเข้าสู่บทเรียนด้วยคำถาม นักเรียนค้นหาคำตอบ สร้างแบบจำลอง อภิปรายเกี่ยวกับแบบจำลอง และปรับปรุงแบบจำลอง สามารถพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนในเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้

การจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ที่ใช้แบบจำลองเป็นฐาน เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เป็นการผสมผสานระหว่าง



ภาพที่ 2 ตัวอย่างแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนหลังจากได้ชมวีดีทัศน์ในแผนที่ 4

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ และการจัดเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ดังนั้นจึงไม่มีขั้นตอนการสอนที่ระบุไว้อย่างชัดเจนให้ปฏิบัติตาม ฉันจึงได้นำการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้มาใช้ในการสร้างความสงสัยและให้นักเรียนหาคำตอบโดยปรับร่วมกับการใช้แบบจำลองมาอธิบายคำตอบของนักเรียน และปรับปรุงหรือตีกลับแบบจำลองเพื่อเป็นการปรับหรือเปลี่ยนแบบจำลองทางความคิดของนักเรียน จึงทำให้นักเรียนทราบความเข้าใจของตนเองและปรับให้เป็นความเข้าใจที่ถูกต้อง จึงสามารถพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนในเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้

ในแผนการจัดการเรียนรู้แผนที่ 4 (ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี: ความเข้มข้นของสารตั้งต้น พื้นที่ผิว และอุณหภูมิ) แผนนี้เป็นแผนที่มีการปรับแผนโดยอาศัยผลที่ได้จากแต่ละแผนประกอบกับเนื้อหาในแผนนี้เอื้ออำนวยให้การสอนที่ดำเนินตามขั้นตอนข้างต้นมีความเป็นไปได้สูง ดังนั้นในแผนการจัดการเรียนรู้นี้ ฉันจึงได้นำสถานการณ์จากแผนที่ 1 ที่ให้นักเรียนหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีมาใช้ประโยชน์ โดยฉันมีภารกิจให้นักเรียนว่า “*หากนักเรียนเหลือเวลาในการทำให้สารเกิดปฏิกิริยา*

น้อยมาก นักเรียนจะทำอย่างไรให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น” ทั้งนี้ฉันได้ให้นักเรียนตั้งสมมติฐาน วางแผนออกแบบการทดลองเพื่อพิสูจน์สมมติฐาน แล้วให้นักเรียนทำการทดลองตามแผนนั้น จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์และอภิปรายร่วมกันในกลุ่มและสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายสมมติฐานที่ได้รับการยืนยันด้วยหลักฐานจากการทดลองนั้น ๆ เสร็จแล้ว จึงร่วมกันอภิปรายว่าแบบจำลองที่แต่ละกลุ่มนำเสนอนั้นมีจุดเด่นจุดด้อยใดบ้างและสามารถใช้อธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นหรือสิ่งที่เปลี่ยนแปลงในขณะทำการทดลองได้หรือไม่ จนได้ข้อ สรุปในที่สุดว่าหากอยากให้ปฏิกิริยาเร็วขึ้นต้องทำอย่างไร

ผลที่ได้จากแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ตามขั้นตอนดังกล่าว พบว่า นักเรียนเกิดการเรียนรู้ที่ต่อเนื่องกันจากแต่ละขั้นตั้งแต่ขั้นนำเข้าสู่บทเรียนที่นักเรียนเกิดความสนใจ ความสงสัยในสิ่งหนึ่ง ๆ (เนื้อหาที่จะสอน) เกิดการสร้างแบบจำลองทางความคิดขึ้นมาในตัวของนัก-เรียน และได้ค้นหาคำตอบในข้อสงสัยนั้น ๆ (ในขั้นนี้เป็นขั้นหนึ่งที่นักเรียนได้พิสูจน์และปรับปรุงแบบจำลองทางความคิดของตนเอง จากนั้นนำแบบคำตอบนั้นมาสร้างเป็นแบบจำลองเพื่อตรวจสอบแบบจำลองทางความคิดร่วมกันกับเพื่อน โดยการอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้นี้จึงพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนได้)

1.3 การใช้คำถามที่ท้าทายการตอบคำถามด้วยคำถามและการถามซักไซ้ไล่เรียง เมื่อใช้ร่วมกันแล้วสามารถพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนในเรื่องอัตราการเกิดปฏิ-กิริยาเคมีได้

เมื่อมีการจัดการเรียนการสอนตามทฤษฎีสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง นักเรียนจะเป็นผู้ที่คิดและเข้าใจได้ด้วยตนเองโดยที่ครูเป็นเพียงผู้ให้คำแนะนำให้ความช่วยเหลือหรือให้คำปรึกษาเท่านั้น ฉันเองยึดในความเชื่อนี้เช่นกัน เมื่อนักเรียนสงสัยและถาม ฉันมักตอบคำถามนั้นของนักเรียนด้วยคำถาม ถามซักไซ้ไล่เรียงแล้ว จากนั้นจะพูดให้คนทั้งห้องช่วยตอบและช่วยกันอภิปรายว่าคำตอบนั้นของเพื่อนนักเรียนถูกต้องหรือไม่ หรือคำถามนั้นมีใครที่จะช่วยอธิบายได้หรือไม่อย่างไร นอกจากการตอบคำถามด้วยคำ-ถามแล้ว การถามด้วยคำถามที่ท้าทายให้นัก-เรียนอยากตอบ (เช่น จริงหรือไม่ ใช่หรือเปล่า พิจารณาให้ดีก่อน ที่กล่าวมานี้พิจารณาดีแล้วใช่ไหม จะตอบเลยไหมหรือกลับไปคิดก่อน) ทำให้นักเรียนเกิดความกระตือรือร้นที่จะทราบคำตอบ หรือต้องการที่จะตรวจสอบเพื่อยืนยันคำตอบของตนเอง จนนำไปสู่การพัฒนาแบบจำลองทางความคิดในเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้เช่นกัน

ในแผนการจัดการเรียนรู้แผนแรก ฉันใช้คำถามประเภทซักไซ้ไล่เรียง พบว่า ไม่ประสบผลสำเร็จ เนื่องจากเมื่อนักเรียนฟังฉันถามแล้ว นักเรียนจะคิดว่าฉันจะต้องมีอะไรซ่อนอยู่หรือกำลังหลอกอะไรเขาสักอย่าง เช่น

ครู: *จากคลิปแรกที่ครูเปิดนักเรียนคิดว่าใครที่วิ่งเร็วที่สุดครับ*

นร. 1: *คนที่วิ่งได้ที่ 2 ครับ*

ครู: *ทำไมคนที่ได้ที่ 2 ถึงวิ่งเร็วกว่าล่ะครับ*

นร. 1: *ก็เขาซอยเท้าเร็วกว่านี่ครับน่าจะมีอัตราเร็วมากกว่า ไม่งั้นครูก็คงไม่ถามหรอกครับ ถ้าคนที่วิ่งเข้าเส้นชัยก่อนวิ่งเร็วสุด*

นร. 2: *แต่ผมว่าคนที่วิ่งเข้าสุดท้ายครับ เพราะว่า*

เขาอยู่ในสุด (อยู่ลู่ด้านในที่ติดกับสนามกีฬา) ก็ต้องวิ่งเร็วสุดใช่ไหมครับครู

ดังนั้นในแผนการจัดการเรียนรู้แผนถัดมา ฉันจึงใช้คำถามประเภทนี้ลดลง แต่ใช้คำถามที่ถามไปเลยตรง ๆ และคำถามประเภท "ใช่หรือไม่?" พบว่า ผลที่ได้คือนักเรียนลดการตอบสนองในชั้นเรียนลง ฉันจึงได้กลับมาใช้คำถามประเภทซักไซ้ไล่เรียงร่วมกับการตอบคำถามด้วยคำถามและคำถามที่ท้าทาย พบว่า ทำให้นักเรียนได้เกิดกระบวนการคิดมากกว่าและคิดหาคำตอบเองก่อนที่จะถามมากขึ้น ดังตัวอย่าง

นร.: *ครูครับทำไมเราเอาปฏิกิริยาไปใส่น้ำร้อนอัตรามันถึงขึ้นล่ะครับ*

ครู: *เออ...นั่นสิน้ำร้อนมันไปทำอะไรได้นะ งั้นครูถามหน่อยอัตราคืออะไรครับ*

นร.: *การเปลี่ยนแปลงของสารต่อเวลาครับ*

ครู: *แล้วสารมันเปลี่ยนแปลงได้ยังไงหรือครับ*

นร: *เกิดปฏิกิริยาครับ แล้วมันก็เปลี่ยนแปลงสารตั้งต้น (เปลี่ยนจากสารตั้งต้นเป็นสารผลิตภัณฑ์)*

ครู: *อืม...ครับ แล้วปฏิกิริยามันเกิดขึ้นได้ต้องมีปัจจัยอะไรมาเกี่ยวข้องบ้างล่ะครับ*

นร.: *ก็มีสารตั้งต้นมาชนกัน ต้องชนในทิศทางที่ถูกและมีพลังงานมากพอครับ*

ครู: *ถ้าทิศทางถูกแต่พลังงานไม่พอเกิดขึ้นได้ไหมครับ*

นร.: *ไม่ได้ครับ*

ครู: *แล้วถ้าทิศทางไม่เหมาะสม แต่มีพลังงานเยอะมากเกินพอล่ะครับ เกิดปฏิกิริยาไหม*

นร.: *ก็ไม่เกิดครับ*

ครู: *ถ้าอย่างนี้ ถ้าเราต้องการให้ปฏิกิริยาเกิดเราควรทำยังไงได้บ้างครับ*

นร.: *ก็ทำทิศทางให้เหมาะสม แล้วก็ให้พลังงานให้เพียงพอครับ*

ครู: *เออ...จริงด้วย แล้วเราใส่น้ำร้อนมันทำให้ทิศทางเหมาะสมหรือว่าเพิ่มพลังงานครับ*

นร.: *อ๋อ เพิ่มพลังงานสิครับ เพิ่มพลังงานจลน์ใช่ไหมครับ มันจะได้เคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น เวลาชนก็จะมีพลังงานมากขึ้น ปฏิกิริยาก็จะเกิดมากขึ้นใช่ไหมครับ*

จากตัวอย่าง จะเห็นว่า ฉันใช้การถามซักไซ้ไล่เลียงกับการใช้คำถามที่ท้าทายนักเรียนเพื่อให้นักเรียนเกิดความรู้สึกอยากเอาชนะ โดยฉันจะถามคำถามที่ง่าย ๆ ที่คิดว่านักเรียนทราบอยู่แล้ว แล้วก็ค่อย ๆ เชื่อมโยงแนวคิดเข้ามาที่คำถามของนักเรียนนั่นเอง

1.4 การจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนมีส่วนร่วมในการสร้างหรือปฏิบัติด้วยตนเองเพื่อให้เกิดประสบการณ์ด้วยตนเองสามารถพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนได้

การจัดการเรียนรู้ของฉันทุกแผนการจัดการเรียนรู้จะมุ่งเน้นให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ไม่ว่าจะเป็นการทำการทดลองเพื่อหาคำตอบของคำถามที่นักเรียนสงสัย (เป็นทั้งการตรวจสอบแบบจำลองทางความคิดของตนเองจากในขั้นนำ หรือสร้างแบบจำลองทางความคิดของคำตอบนั้น ๆ) การสร้างแบบจำลองเพื่อใช้อธิบายคำตอบของตนเอง (เป็นการตรวจสอบแบบจำลองทางความคิดของตนเองผ่านการนำเสนอและอภิปรายร่วมกันกับเพื่อน) เหล่านี้นักเรียนจะเกิดกระบวนการคิดและลงมือปฏิบัติ โดยนักเรียนจะแสดงความเข้าใจของตนเอง (แบบจำลองทางความคิดของตนเอง) ออกมาให้คนอื่นทราบและอภิปรายร่วมกันเพื่อปรับปรุงหรือเปลี่ยน

แปลงแบบจำลองทางความคิดของตนเองให้เป็นแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง

เริ่มตั้งแต่แผนแรกฉันออกแบบกิจกรรมให้นักเรียนได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ได้สร้างแบบจำลองการเกิดของปฏิกิริยาเคมีเมื่อเวลาผ่านไป และแผนการจัดการเรียนรู้แผนที่ 2 ฉันให้นักเรียนออกแบบจำลองที่แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยา $A_2 + B_2 \longrightarrow 2AB$ โดยกำหนดให้รูปแบบจำลองเป็นแบบบทบาทสมมติเท่านั้น พบว่า มีนักเรียนแสดงบทบาทสมมติที่หลากหลายคำตอบ ซึ่งฉันพบว่านักเรียนที่ทำกิจกรรมนี้ได้ทำทุกคนและทุกคนมีหน้าที่ของตนเอง ส่งผลให้เมื่อเวลานำเสนอนั้นเกือบทั้งห้องมีการอภิปรายร่วมกันว่าของใครถูกอย่างไรและผิดอย่างไร ทำให้แผนนี้ฉันคิดว่าค่อนข้างประสบผลสำเร็จเพราะนักเรียนสามารถนำเสนอแบบจำลองทางความคิดของตนเองที่เป็นแบบจำลองทางความคิดทางวิทยาศาสตร์และนักเรียนยังได้รับความสนุกขณะทำกิจกรรมอีกด้วย ส่วนในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 – 4 นั้นฉันได้ผลเช่นเดียวกับแผนที่สอง คือ นักเรียนสนุกกับกิจกรรมที่ได้ลงมือทำและเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากแบบวัดแบบจำลองทางความคิดก็สนับสนุนว่านักเรียนมีความเข้าใจในเนื้อหาดีขึ้น เพราะมีแบบจำลองทางความคิดอยู่ในกลุ่มแบบจำลองทางความคิดถูกต้องสมบูรณ์

2. แบบจำลองทางความคิดของนักเรียนในเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

จากผลการวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนโดยการวิเคราะห์เชิงเนื้อหาด้วยวิธีอุปนัย ฉันนำคำตอบของนักเรียนแต่ละคนมาพิจารณาแบ่งกลุ่มคำตอบคร่าว ๆ ก่อนได้ 3 กลุ่มได้แก่ กลุ่มถูกต้อง ถูกต้องบางส่วน และกลุ่มคลาดเคลื่อน

ภาพที่ 3 กิจกรรมที่นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติในแนวทางที่ 5

จากนั้นฉันนำเกณฑ์ของ Chi and Roscoe (2002) มาปรับใช้กับแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนของฉันจึงได้กลุ่มออกมาเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ (1) แบบจำลองทางความคิดถูกต้องสมบูรณ์ (2) แบบจำลองทางความคิดที่สมบูรณ์แต่ถูกต้องบางส่วน (3)แบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้องหรือสมบูรณ์อย่างใดอย่างหนึ่ง และ (4) แบบจำลองทางความคิดที่ไม่ถูกต้องสมบูรณ์

จากการวิเคราะห์และจัดกลุ่มแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนโดยรวมทุกแนวคิดย่อยของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี พบว่า หัวข้อที่นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มแบบจำลองทางความคิดถูกต้องสมบูรณ์ คือ แนวคิดเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี (ร้อยละ 36) ทฤษฎีสารเชิงซ้อนก่อกัมมันต์ (ร้อยละ 61) พลังงานกับการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมี (ร้อยละ 39) ผลของความเข้มข้นที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (ร้อยละ 43) ผลของพื้นที่ผิวสัมผัสที่มีต่ออัตราการเกิด

ปฏิกิริยาเคมี (ร้อยละ64) และผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (ร้อยละ 64) มีเพียงหนึ่งหัวข้อย่อยเท่านั้นที่นักเรียนส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มแบบจำลองทางความคิดที่สมบูรณ์แต่ถูกต้องบางส่วน นั่นคือ หัวข้อความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการคำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (ร้อยละ 61) รายละเอียดดังในตาราง 1 และหัวข้อย่อยต่อไปนี้

ตาราง 1 กลุ่มแบบจำลองทางความคิดของนักเรียน

หัวข้อการเรียนรู้	จำนวนนักเรียนในกลุ่มแบบจำลองทางความคิด [คน (ร้อยละ)]			
	แบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้องสมบูรณ์	แบบจำลองทางความคิดที่สมบูรณ์แต่ถูกต้องบางส่วน	แบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้องหรือสมบูรณ์อย่างใดอย่างหนึ่ง	แบบจำลองทางความคิดที่ไม่ถูกต้องสมบูรณ์
1. ความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี 2. การคำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี	3 (11)	17 (61)	2 (7)	6 (21)
3. ทฤษฎีการชนกันของอนุภาค	10 (36)	6 (21)	9 (32)	3 (11)
4. ทฤษฎีสารเชิงซ้อนก่อกัมมันต์ 5. พลังงานกับการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมี	11 (39)	7 (25)	6 (21)	4 (14)
6. พลังงานก่อกัมมันต์	17 (61)	3 (11)	4 (14)	4 (14)
7. ปัจจัยความเข้มข้น	12 (43)	7 (25)	5 (18)	4 (14)
8. ปัจจัยพื้นที่ผิว	18 (64)	3 (11)	5 (18)	2 (7)
9. ปัจจัยอุณหภูมิ	18 (64)	5 (18)	3 (11)	2 (7)

2.1 ความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการคำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

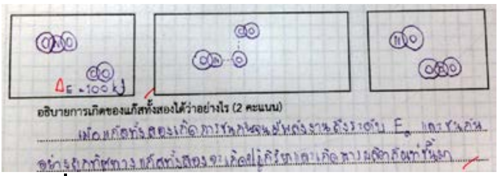
ในหัวข้อนี้ ฉันใช้ปฏิกิริยา $Zn(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow ZnCl_2(aq) + H_2(g)$ เพื่อให้นักเรียนหาอัตราการเกิดปฏิกิริยา และให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่ลดลงของกรดไฮโดรคลอริก (HCl) กับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปเพื่อให้นักเรียนหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีแบบต่าง ๆ พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ (ร้อยละ 61) มีแบบจำลองความคิดที่สมบูรณ์แต่ถูกต้องบางส่วน ซึ่งนักเรียนที่อยู่ในกลุ่มนี้ทั้งหมดสามารถแสดงวิธีการหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของปฏิกิริยาที่ได้กำหนดไว้ดังกล่าวได้อย่างถูกต้อง แต่สิ่งที่พวกเขายังขาดไปคือส่วนของการคำนวณ ซึ่งแม้นักเรียนจะคำนวณตามนิยามที่ได้เขียนอธิบายไว้ก็

ตาม แต่พวกเขาไม่ได้คิดอัตราส่วนโมลของปฏิกิริยาด้วย ทำให้ค่าอัตราที่เกิดขึ้นไม่ได้เป็นอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี แต่เป็นเพียงอัตราการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของสารนั้น ๆ เพียงอย่างเดียวจึงยังไม่ถูกต้อง

ส่วนนักเรียนที่อยู่ในกลุ่มแบบจำลองทางความคิดที่ไม่ถูกต้องสมบูรณ์ ในหัวข้อนี้มีจำนวนค่อนข้างมากถึงร้อยละ 21 โดยนักเรียนกลุ่มนี้ไม่สามารถแสดงวิธีการหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ บางคนเขียนเฉพาะปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเท่านั้นซึ่งโจทย์กำหนดไว้ให้แล้ว และนอกจากจะไม่สามารถแสดงวิธีการหาได้แล้ว นักเรียนกลุ่มนี้ยังไม่สามารถคำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาแบบต่าง ๆ ได้ด้วย

2.2 การเกิดปฏิกิริยาเคมี: ทฤษฎีการชนกันของอนุภาค

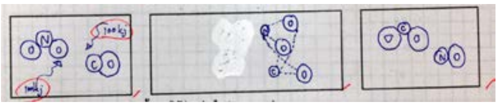
ในหัวข้อนี้ ฉันให้นักเรียนแสดงแบบจำลองทางความคิดเพื่ออธิบายการเกิดของแก๊สในปฏิกิริยาที่กำหนดคือ $NO_2(g) + CO(g) + 100\ kJ \longrightarrow NO(g) + CO_2(g)$ จากการวิเคราะห์ผล พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ (ร้อยละ 36) มีแบบจำลองความคิดที่ถูกต้องสมบูรณ์ คือ นักเรียนสามารถใช้ทฤษฎีการชนมาอธิบายการเกิดของสารผลิตภัณฑ์ได้และมีการสร้างแบบจำลอง (วาดรูป) อธิบายได้ถูกต้องตามแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ตัวอย่างคำตอบที่นักเรียนอธิบายถูกต้องแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนในแบบวัดแบบจำลองทางความคิดข้อที่ 2(1)

จากภาพที่ 4 ซึ่งแสดงตัวอย่างคำตอบของนักเรียนในกลุ่มแบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้องสมบูรณ์นั้น อาจดูเหมือนนักเรียนท่องจำเอามาจากหนังสือ แต่เมื่อพิจารณาจากแบบจำลองที่นักเรียนวาดแล้ว จะพบว่า นักเรียนคนนี้สามารถวาดรูปแสดงการเกิดปฏิกิริยาได้อย่างถูกต้อง มีการวาดทิศทางของการชนที่เหมาะสมประกอบ และภาพกับคำอธิบายสอดคล้องกัน ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่านักเรียนในกลุ่มนี้มีแบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้องสมบูรณ์ ทั้งนี้ในงานวิจัยของฉัน ฉันไม่ได้กล่าวถึงหรือให้นักเรียนพิจารณาขนาดของอะตอมแต่ละชนิดที่อาจมีผลต่อการชน ในหัวข้อนี้ฉันมุ่งศึกษาเพียงเฉพาะแรงและทิศทางที่เหมาะสมเท่านั้น

อีกกลุ่มหนึ่งที่มีสัดส่วนนักเรียนที่ตอบพอ ๆ กันกับกลุ่มแบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้องสมบูรณ์ คือ กลุ่มแบบจำลองความคิดที่ถูกต้องหรือสมบูรณ์อย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งมีนักเรียนอยู่ในกลุ่มนี้ถึงร้อยละ 32 สิ่งที่นักเรียนเข้าใจคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับกลุ่มนี้มากที่สุด คือ การสร้างแบบจำลอง (วาดรูป) เพื่อแสดงการเกิดปฏิกิริยา นักเรียนส่วนใหญ่ไม่สามารถแสดงทิศทางที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาได้ (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนในแบบวัดแบบจำลองทางความคิดข้อที่ 2(2)

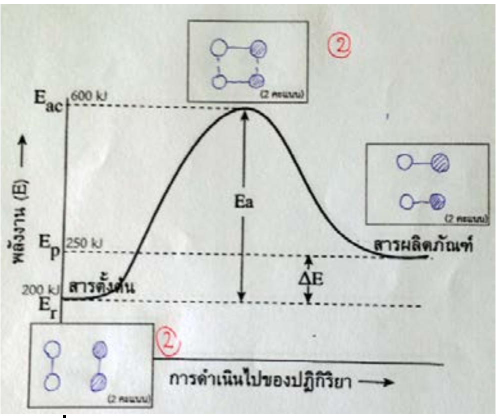
2.3 การเกิดปฏิกิริยาเคมี: ทฤษฎีสารเชิงซ้อนก่อกัมมันต์ และพลังงานกับการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมี

ในหัวข้อนี้ฉันให้ปฏิกิริยาแก่นักเรียนดังนี้ $A_2 + B_2 \longrightarrow 2AB$ พร้อมทั้งให้กราฟ

ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและการดำเนินไปของปฏิกิริยานี้ เมื่อนักเรียนจับข้างภาชนะรู้สึกว่าเย็นขึ้น แล้วให้นักเรียนอธิบายการเปลี่ยนแปลงโดยการวาดภาพโมเลกุลและอธิบายว่าทำไมจึงรู้สึกเย็น พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ (ร้อยละ 39) อยู่ในกลุ่มแบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้องสมบูรณ์ โดยนักเรียนสามารถวาดรูปแสดงลักษณะของโมเลกุล ณ ช่วงเวลาและช่วงระดับพลังงานได้ถูกต้อง รวมทั้งได้มีการอธิบายเหตุผลถูกต้องด้วย ดังตัวอย่างคำตอบเช่น

> *“เมื่อจับข้างภาชนะแล้วรู้สึกเย็นเพราะว่าเป็นปฏิกิริยาแบบดูดความร้อน เมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นแล้ว สารผลิตภัณฑ์มีพลังงานมากกว่าสารตั้งต้น เนื่องจากสารตั้งต้นได้ดูพลังงานเข้าไปทำให้พลังงานของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น E_P (พลังงานผลิตภัณฑ์) – E_R (พลังงานผลิตภัณฑ์) = 250 – 200 = 50 kJ ผลต่างพลังงานมีค่าเป็นบวกปฏิกิริยาเป็นแบบดูดพลังงาน ภาชนะจึงเย็น”*

หากคำตอบถูกต้องสมบูรณ์โดยแท้จริง นักเรียนควรเชื่อมโยงค่าพลังงานเข้ากับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของภาชนะได้



ภาพที่ 6 ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนในแบบวัดแบบจำลองทางความคิดข้อที่ 3(1)

จากคำตอบของนักเรียน จะเห็นว่า นักเรียนสามารถใช้ข้อมูลจากกราฟมาอธิบายได้ว่าเหตุใดปฏิกิริยานี้จึงเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ทั้งนี้เนื่องจากนักเรียนเข้าใจว่าการที่ผลต่างพลังงานเป็นบวก เพราะว่าสารตั้งต้นมีการใช้พลังงานใช้การสลายพันธะมากกว่าพลังงานที่คายออกมาเมื่อสร้างพันธะ และด้วยข้อมูลจากกราฟที่มีตัวเลขชัดเจน นักเรียนจึงสามารถนำข้อมูลตัวเลขมายืนยันได้ว่าสิ่งที่นักเรียนเข้าใจนั้นถูกต้อง ส่วนในกลุ่มอื่นๆนั้นสิ่งที่นักเรียนขาดไปก็คือนักเรียนไม่ได้กล่าวถึงการดูดหรือคายพลังงานว่าปฏิกิริยานี้มีการดูดหรือคายมากกว่ากันหรือแม้แต่จะนำข้อมูลจากกราฟมาประกอบ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่านักเรียนอาจจำกราฟมาว่ากราฟลักษณะเช่นนี้เป็นกราฟของปฏิกิริยาดูดความร้อน แต่ไม่ได้เข้าใจว่าเหตุใดกราฟลักษณะเช่นนี้จึงเป็นกราฟของปฏิกิริยาดูดความร้อน เช่น กลุ่มแบบจำลองทางความคิดถูกต้องหรือสมบูรณ์อย่างใดอย่างหนึ่งนั้น (มีร้อยละ 21) มีลักษณะคำตอบดังตัวอย่าง เช่น

> *“การที่จับข้างภาชนะแล้วรู้สึกเย็นหมายความว่า ระบบมีการดูดความร้อนจากสิ่งแวดล้อม เป็นการสลายพันธะที่ต้องดูดพลังงาน ทำให้พอเราจับแล้วความร้อนโดยรอบภาชนะเย็นลง”*

จากคำตอบจะเห็นว่านักเรียนพยายามเชื่อมโยงเรื่องการสลายพันธะเข้ากับการดูดหรือคายพลังงานซึ่งถูกต้อง แต่ยังไม่สามารถใช้อธิบายได้ว่าเหตุใดปฏิกิริยานี้จึงเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน เพราะการเกิดปฏิกิริยาทุกปฏิกิริยาย่อมมีการดูดพลังงานเข้าไปสลายพันธะอยู่แล้ว จึงแสดงให้เห็นว่านักเรียนคนนี้เข้าใจในเรื่องของการ

เกิดปฏิกิริยาที่ต้องมีการดูดพลังงานเข้าไปสลายพันธะแต่ยังไม่เข้าใจว่าทำไมปฏิกิริยาจึงเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน

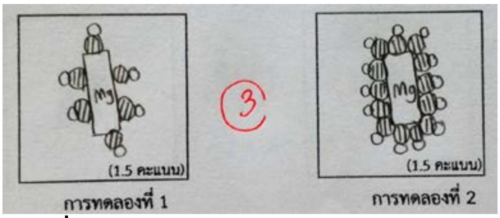
2.4 พลังงานก่อกัมมันต์

ในหัวข้อนี้ ฉันให้นักเรียนตอบคำถาม โดยใช้คำถามจากเรื่องทฤษฎีการชนมาถามต่อ ซึ่งถามว่า "หากจะวาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ระกว่างพลังงานและการดำเนินไปของปฏิกิริยากราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นอย่างไร พร้อมทั้งให้นักเรียนระบุตำแหน่งของพลังงานก่อกัมมันต์บนกราฟความสัมพันธ์นั้นด้วย และให้นักเรียนบอกความหมายหรือนิยามของพลังงานก่อกัมมันต์ด้วย"

จากการวิเคราะห์พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ (ร้อยละ 61) มีแบบจำลองทางความคิดในหัวข้อนี้ถูกต้อง โดยนักเรียนสามารถที่จะวาดกราฟความสัมพันธ์ได้อย่างถูกต้อง สามารถระบุได้ว่าพลังงานก่อกัมมันต์คือตรงไหนของกราฟ และให้นิยามถูกต้อง

2.5 ผลของความเข้มข้นที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

ในหัวข้อนี้เป็นหัวข้อย่อยหนึ่งของเรื่องปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยฉันให้การทดลอง 2 รูปแบบที่แตกต่างกัน คือ ให้สารตั้งต้นที่มีความเข้มข้นต่างกันแล้วให้นักเรียนอธิบายว่าการทดลองใดที่ให้อัตราการเกิดปฏิกิริยามากกว่า เพราะเหตุใด พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 43 อยู่ในกลุ่มแบบจำลองความคิดที่ถูกต้องสมบูรณ์โดยนักเรียนกลุ่มนี้สามารถแสดงแบบจำลอง (วาดภาพ) ในระดับโมเลกุลให้เหตุถึงความแตกต่างได้ว่าความเข้มข้นของสารตั้งต้นมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยยิ่งมีความเข้มข้นของสารตั้งต้นมาก จำนวนโมเลกุลของสารตั้งต้นจะมากขึ้น โอกาสที่จะชนกันแล้วเกิด ปฏิกิริยาจึงเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นนั่นเอง ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนแสดงดังในภาพที่ 7 และคำตอบของนักเรียนข้างล่างนี้



ภาพที่ 7 ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนในแบบวัดแบบจำลองทางความคิดข้อที่ 5(1)

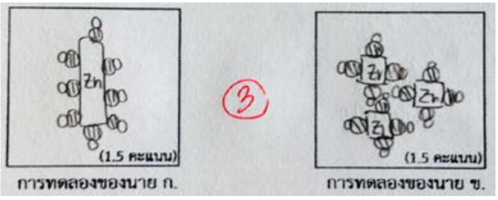
"อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของการทดลองที่มีความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 1 M มีค่ามากกว่าการทดลองที่มีความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 0.5 M เนื่องจากสารตั้งต้นมีความเข้มข้นมากกว่า หมายถึง มีเนื้อสาร มีกรดไฮโดรคลอริกมากกว่า ปฏิกิริยาจึงเกิดขึ้นได้เร็วกว่า"

แม้ว่านักเรียนส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มแบบจำลองความคิดที่ถูกต้องสมบูรณ์ แต่ก็มีเพียงร้อยละ 43 เท่านั้น ที่เป็นเช่นนี้ ฉันอธิบายโดยกล่าวถึงความสามารถในการเชื่อมโยงระดับมหภาคกับกึ่งจุลภาคของนักเรียน ทั้งนี้ในระดับมหภาค ความเข้มข้น 0.5 M กับ 1 M ของกรดไฮโดรคลอริกแทบไม่มีความแตกต่างเลย ดังนั้นหากนักเรียนไม่สามารถเชื่อมโยงเข้ากับระดับกึ่งจุลภาคได้ว่าที่ความเข้มข้น 1 M จะมีปริมาณของเนื้อกรดมากกว่า นักเรียนจะไม่สามารถแสดงแบบจำลองที่ถูกต้องได้

2.6 ผลของพื้นที่ผิวที่มีต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

ในหัวข้อนี้ก็เป็นอีกหนึ่งหัวข้อย่อยในเรื่องปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

เคมีเช่นกัน ฉันออกแบบการทดลอง 2 การทดลองที่ต่างกัน โดยที่การทดลองหนึ่งโดยใช้ของแข็งที่เป็นก้อน และของแข็งที่นำมาป่นก่อนทำปฏิกิริยา และให้นักเรียนสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายว่าการทดลองของใครที่ให้อัตราการเกิดปฏิกิริยามากกว่ากัน พร้อมทั้งให้คำอธิบายที่สอดคล้องกับแบบจำลองด้วย จากการวิเคราะห์ผลพบว่าหัวข้อนี้นักเรียนส่วนใหญ่ถึงร้อยละ 64 อยู่ในกลุ่มแบบจำลองความคิดที่ถูกต้องสมบูรณ์ นักเรียนส่วนใหญ่สามารถอธิบายได้ว่าสารตั้งต้นที่เป็นของแข็งเมื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้มากขึ้นเสมือนเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการชนของสารตั้งต้น ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้น ดังตัวอย่างคำตอบของนักเรียนในภาพที่ 8 และคำตอบของนักเรียนข้างล่างนี้



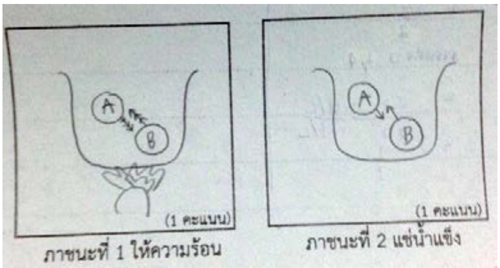
ภาพที่ 8 ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนในแบบวัดแบบจำลองทางความคิดข้อที่ 6(1)

"อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของการทดลองของนาย ข จะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีมากกว่า เนื่องจาก Zn ในการทดลองของนาย ข มีพื้นที่ผิวมากกว่า จึงทำให้ HCl ไปสัมผัสกับ Zn ได้มาก ปฏิกิริยาจึงเกิดได้ไวกว่า เพราะมีการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส"

1.7 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

ในหัวข้อนี้เป็นหัวข้อย่อยหนึ่งในเรื่องของปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเช่นกัน โดยฉันให้ปฏิกิริยาคือ Zn(s) + 2HCl(aq) $\longrightarrow$ $ZnCl_2$(aq) + H_2(g) และออกแบบการทดลอง 2 การทดลอง (อันหนึ่งอุณหภูมิต่ำ ส่วนอีกอันอุณหภูมิสูง) แล้วให้นักเรียนสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายว่าการทดลองของใครที่ให้อัตราการเกิดปฏิกิริยามากกว่ากัน พร้อมทั้งให้คำอธิบายที่สอดคล้องกับแบบจำลองด้วย พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ถึงร้อยละ 64 อยู่ในกลุ่มที่แบบจำลองความคิดที่ถูกต้องสมบูรณ์ โดยนักเรียนสามารถสร้างแบบจำลอง (วาดรูป) ในระดับโมเลกุลที่แสดงความแตกต่างของการเกิดปฏิกิริยา ณ อุณหภูมิต่าง ๆ กันได้ พร้อมทั้งอธิบายไปถึงพลังงานจลน์ได้ ดังตัวอย่างคำตอบ เช่น

"ในภาชนะร้อนจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่า เพราะเมื่อให้ความร้อนโมเลกุลของสารจะมีพลังงานจลน์มากขึ้น ทำให้เคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น จึงมีโอกาสชนกันได้มากขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงสูงกว่า"

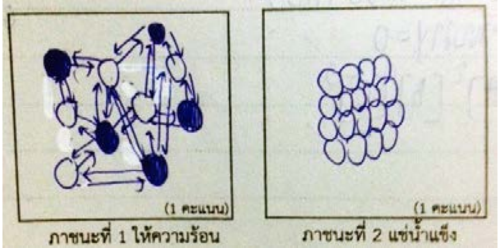


ภาพที่ 9 ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนในแบบวัดแบบจำลองทางความคิดข้อที่ 7(1)

คำตอบของนักเรียนในกลุ่มอื่น ๆ ที่เหลือมีหลายคำตอบที่น่าสนใจ เช่น คำตอบในกลุ่มแบบจำลองทางความคิดที่ไม่ถูกต้องสมบูรณ์ ซึ่งนักเรียนแสดงแบบจำลองและคำอธิบายที่คลาดเคลื่อนไปอย่างมาก เช่น

"ภาชนะที่ 1 เกิดขึ้นเร็วกว่านั่นเป็นเพราะอุณหภูมิแปรผันตรงกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี นั่นคือถ้าอุณหภูมิมาก อัตรา

การเกิดปฏิกิริยาเคมีจะมากเพราะเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอนุภาคจะสลายตัวออก ทำให้มีโอกาสชนกันมากขึ้น ส่วนในภาชนะที่ 2 เป็นการเยือกแข็งจะเกิดได้ช้า เพราะอนุภาคจะรวมตัวกันทำให้โอกาสชนน้อย"



ภาพที่ 10 ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนในแบบวัดแบบจำลองทางความคิดข้อที่ 7(2)

สรุปผลและอภิปราย

จากผลการวิจัย พบว่า การเรียนการสอนแบบการสืบเสาะหาความรู้ที่ใช้แบบจำลองเป็นฐาน สามารถส่งเสริมให้นักเรียนมีแบบจำลองทางความคิดเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ที่สมบูรณ์มากขึ้น โดยหัวข้อย่อยที่นักเรียนมีแบบจำลองทางความคิดถูกต้องสมบูรณ์มากที่สุดคือเรื่อง ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี: พื้นที่ผิวและอุณหภูมิ ทั้งนี้การที่นักเรียนสามารถเข้าใจในเนื้อหาย่อยนี้ได้ดีนั้น ประการแรก คือ เนื้อหานี้ฉันได้จัดการเรียนรู้ที่นักเรียนได้สังเกตเห็นด้วยตาตนเองว่า เมื่อนักเรียนทดลองเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวและอุณหภูมิส่งให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้นอย่างชัดเจนจนสามารถเชื่อมโยงไปได้ว่าทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเพิ่มขึ้น และประการที่สองในแผนการจัดการเรียนรู้เรื่องนี้ฉันได้ปรับปรุงและพัฒนาแผนมาจากแผนก่อนหน้านี้ เมื่อนักเรียนสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงด้วยตนเองแล้วและยังได้ดูวีดิทัศน์สรุปที่อธิบายในระดับโมเลกุลและอภิปรายร่วมกันอีกในห้องเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดความเข้าที่ชัดเจนมากขึ้นอีก ฉันจึงคิดว่านักเรียนสามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้มีแบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้องมากขึ้นนั่นเอง

ส่วนเนื้อหาที่นักเรียนอยู่ในกลุ่มแบบจำลองทางความคิดที่ไม่ถูกต้องสมบูรณ์นั้นเป็นเนื้อหาเรื่องความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการคำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เนื้อหานี้เป็นเนื้อหาแรกสุดที่ฉันทำวิจัยและเป็นแผนการจัดการเรียนรู้ที่ฉันใส่กิจกรรมเข้าไปให้มากที่สุด พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่สามารถอธิบายความหมายของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ แต่ไม่สามารถคำนวณหาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีแบบต่าง ๆ ได้ ทั้งนี้การที่นักเรียนเข้าใจในนิยามของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเพราะฉันสอนนักเรียนในขั้นนำเข้าบทเรียนด้วยการให้นักเรียนรู้จักกับคำว่าอัตราก่อนแล้วจึงเข้าสู่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี แต่ที่นักเรียนยังแสดงแบบจำลองที่คลาดเคลื่อน คือ นักเรียนไม่ได้คิดอัตราส่วนโมลเข้าไปด้วย ขณะที่คำนวณอัตราการเกิดปฏิกิริยาทำให้ค่านี้เป็นเพียงอัตราการลดหรือเพิ่มของสารตัวนั้น ๆ เท่านั้น ไม่ได้เป็นอัตราการเกิดปฏิกิริยาแต่อย่างใด สาเหตุอาจเนื่องจากตัวของฉันเองที่ขณะสอนไม่ได้เน้นย้ำจากกราฟให้นักเรียนเห็นภาพอย่างชัดเจนว่าสัดส่วนโมลมีผลต่ออัตราอย่างไรบ้าง ฉันเพียงอธิบายและเขียนสมการร่วมกันเพียงอย่างเดียว จึงส่งผลให้นักเรียนไม่ได้เกิดประสบการณ์การเรียนรู้ด้วยตนเองและไม่ได้หาคำตอบให้ตนเองว่าอัตราส่วนโมลมีผลอย่างไรกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นจึงแสดงแบบจำลองที่คลาดเคลื่อนไปนั่นเอง

จากผลแนวทางการสอนอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีนั้น การใช้วีดิทัศน์รูปภาพหรือหยิบยกเหตุการณ์ที่นักเรียนสนใจหรือเกี่ยวข้องกับนักเรียน ทำให้นักเรียนเกิดความสนใจและพัฒนาแบบจำลองทางความคิดได้ จากแนวทางในข้อนี้จะเห็นว่า นักเรียนเมื่อได้อยู่กับสิ่งที่เขาสนใจหรือเป็นส่วนหนึ่งด้วยจะทำให้นักเรียนสามารถที่เรียนได้อย่างตั้งใจและเข้าใจได้เร็วขึ้น และการใช้การ์ตูนแอนิเมชันที่มีการแสดงปรากฏการณ์ระดับมหภาคและระดับจุลภาคแล้ว นักเรียนจะสามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้น เพราะเขาเห็นการเปลี่ยนแปลงทั้งที่สามารถสังเกตด้วยตาเปล่าและที่เกิดขึ้นในระดับโมเลกุล จึงทำให้นักเรียนเกิดการเชื่อมโยงการเปลี่ยนแปลงได้และแสดงแบบจำลองที่ถูกต้องออกมา สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chiu and Lin (2007) ที่กล่าวว่า การเรียนที่มีการนำเอาวีดิทัศน์เข้ามาใช้เป็นสื่อในการเรียนด้วยนั้น วีดิทัศน์จะช่วยให้นักเรียนเข้าใจได้ง่ายขึ้น และงานวิจัยของ Harrison and de Jong (2005) ที่พบว่า การจัดการเรียนรู้ที่มีการใช้แบบจำลองกับเนื้อหาที่มีความเป็นนามธรรมร่วมการใช้แบบจำลองที่มีการอุปมาที่หลากหลาย จะทำให้นักเรียนเข้าใจในเนื้อหาที่เป็นนามธรรมมากขึ้น มีความสนุกสนานและมีความสนใจในการเรียน

การจัดการเรียนรู้โดยลำดับจากนำเข้าสู่บทเรียนด้วยคำถาม นักเรียนค้นหาคำตอบ นักเรียนสร้างแบบจำลองนักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับแบบจำลอง และนักเรียนปรับปรุงแบบจำลอง สามารถพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนในเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ โดยปกติแล้วการสอนโดยทั่วไปมักมี 3 ขั้นหลัก คือ ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน ขั้นสอน และขั้นสรุปและประเมินผล แต่ในงานวิจัยของฉัน ฉันใช้วิธีการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้เป็นหลักแล้ว สอดแทรกการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานทำให้ขั้นตอนการสอนของฉันสามารถแบ่งออกไปได้อีก แต่หลัก ๆ แล้วยังคงเริ่มต้นด้วยขั้นนำเข้าสู่บทเรียนเช่นเดิม ส่วนขั้นการสอนของฉันได้มาจากขั้นนำ คือ นักเรียนได้ปัญหาอย่างน้อย 1 ข้อที่ครูอาจเป็นผู้แนะให้เกิดเป็นปัญหาหรือปัญหาที่เกิดจากนักเรียนเอง (ปัญหาที่จะนำเข้าสู่บทเรียน) การทำให้ปัญหาเข้าไปสู่บทเรียนนั้น ทำให้เกิดเป็นเรื่องราวเกิดขึ้น โดยส่วนใหญ่เป็นเรื่องราวที่เกี่ยวข้องกับตัวของนักเรียนหรือนักเรียนเคยพบเห็นมาก่อน เช่น ในแผนสุดท้าย ที่ฉันให้สถานการณ์ว่า นักเรียนมีเวลาเหลือในการทำการทดลองน้อย นักเรียนควรทำอย่างไร ส่งผลให้นักเรียนเกิดความต้องการที่จะหาคำตอบเพื่อมาแก้ไขปัญหาที่สงสัยนั้น ซึ่งจุดนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chiu and Lin (2007) ที่กล่าวว่าแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนนั้นสามารถพัฒนาขึ้นได้จากการเรียนรู้ของนักเรียนอันเป็นผลมาจากสภาพแวดล้อมหรือเหตุการณ์ที่นักเรียนได้ประสบพบเจอ ฉันได้วางแผนต่อโดยเมื่อนักเรียนได้ปัญหาที่สงสัยแล้ว และทำการทดลองเพื่อหาคำตอบ คำตอบที่ได้ไม่ใช่แค่การพูดเล่าเรื่องแต่เป็นการสร้างคำตอบออกมาในรูปแบบของแบบจำลอง เพื่อให้ครูผู้สอนและเพื่อนในห้องได้เห็นว่านักเรียนเข้าใจสิ่งที่เรียนว่าอย่างไร จึงได้คำตอบเช่นนี้ ซึ่งครูและเพื่อนก็จะเป็นคนที่จะช่วยปรับปรุงและแก้ไขแบบจำลองที่คลาดเคลื่อนไปจากแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดยถามคำถามแล้วให้ใช้แบบจำลองอธิบายนั่นเอง การเรียงลำดับการจัดการเรียนรู้เช่นนี้ สามารถพัฒนาแบบ จำลองทางความคิดของนักเรียนได้ เนื่องจากแบบจำลองทางความคิดในหัวของนักเรียนนั้นเราไม่

อาจเห็นได้หากนักเรียนไม่แสดงออกมา การสร้างแบบจำลองเป็นวิธีการหนึ่งในการล้วงเอาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนออกมา จากนั้นเป็นหน้าที่ต่อไปของครูและเพื่อนในชั้นเรียนที่พิจารณาและแก้ไขแบบจำลองทางความคิดที่คลาดเคลื่อนนั้น ซึ่งจุดนี้เป็นสิ่งที่สำคัญมาก เนื่องจากนักเรียนส่วนใหญ่ของฉันเชื่อว่าแบบจำลองของตนเองนั้นไม่ได้มีจุดอ่อนอะไร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chittleborough et al. (2004) และ Grosslight et al. (1991) ที่พบว่า มีนักเรียนจำนวนหนึ่งที่เข้าใจว่าแบบจำลองไม่มีการเปลี่ยนแปลงและการอธิบายปรากฏการณ์นั้น แบบจำลองเพียงอันเดียวก็สามารถอธิบายได้ ดังนั้นการอภิปรายร่วมกันถึงข้อดีข้อด้อยของแบบจำลองจึงจำเป็นอย่างมาก เมื่อฉันและเพื่อนในห้องสามารถชี้ให้นักเรียนเห็นได้ว่า แบบจำลองของเขานั้นมีจุดอ่อนใดบ้างที่ยังต้องเพิ่มเติมหรือแก้ไข นักเรียนจะสามารถเข้าใจในเนื้อหานั้น ๆ และเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองได้ด้วย

การใช้คำถามที่ท้าทายการตอบคำถามด้วยคำถามและการอภิปรายคำถามและคำตอบของนักเรียนร่วมกันในห้องสามารถพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนในเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ โดยปกติแล้วเมื่อเราถามคำถามที่สงสัยกับครูผู้สอนเราจะได้รับคำตอบนั้นกลับมาเลยทันทีและเมื่อเวลาผ่านไปเราจะสงสัยในคำถามเดิมอีกและถามอีก ทั้งนี้เนื่องจากเราเองไม่ได้คิดหาคำตอบนั้นด้วยตนเอง แต่รับรู้จากการบอกกล่าวของผู้อื่น ความรู้ที่เกิดจากการสร้างด้วยตนเองนั้นจะคงทนและถาวรกว่ามาก ดังนั้นการตอบคำถามด้วยคำถามหรือการใช้คำถามที่ท้าทายกระตุ้นอารมณ์ของนักเรียนนั้น ย่อมทำให้นักเรียนเกิดประสบการณ์ร่วมกับคำถามคำตอบนั้น ทำให้นักเรียนเข้าใจคำตอบอย่างถ่องแท้และจำได้ยาวนานกว่า

การจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการสร้างหรือปฏิบัติด้วยตนเองเพื่อให้เกิดประสบการณ์ด้วยตนเองสามารถพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนได้จากทฤษฎีเรียนรู้จากการปฏิบัติ (learning by doing) การที่นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ย่อมทำให้นักเรียนเรียนรู้ได้ง่ายกว่าและเข้าใจได้มากกว่าจึงส่งผลให้แบบจำลองแสดงออกประเภทบทบาทสมมติทำให้นักเรียนสนุกกับการเรียนได้มากกว่าแบบภาพหรือแบบชิ้นงานด้วยนั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Harrison and de Jong (2005) ที่พบว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเข้าช่วย จะทำให้นักเรียนสนุกและมีความสนใจในการเรียนเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้การจัดประสบการณ์ที่ทำให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัตินั้น ยังเป็นการสร้างสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเรียนรู้ให้นักเรียนไปในตัวอีกด้วย จึงสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Chiu and Lin (2007) ที่พบว่าสิ่งแวดล้อมมีผลต่อการพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียน

ข้อเสนอแนะ

1. ในการสอนนักเรียนในเนื้อหาที่มีความเป็นนามธรรม ครูสามารถเชื่อมโยงการเปลี่ยนแปลงในระดับมหภาคกับจุลภาคได้โดยการใช้วีดิทัศน์ที่แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงในระดับมหภาคและจุลภาคผ่านการอุปมา จะทำให้นักเรียนมีความเข้าใจในเรื่องนั้นได้ง่ายขึ้น เนื่องจากนักเรียนจะมีแบบจำลองทางความคิดที่เป็นแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มากขึ้นตัวอย่างของเนื้อหาที่มีลักษณะนี้ เช่น กรด-เบส สมดุลเคมี

ไฟฟ้าเคมี

2. กระบวนการสอนที่นักเรียนได้ทำการทดลองนั้น หากครูผู้สอนให้นักเรียนได้ตั้งสมมติฐาน ออกแบบการทดลองเพื่อตอบสมมติฐานของตนเอง นักเรียนจะเกิดความเข้าใจในเนื้อหาได้ดี แต่การทำการทดลองที่นักเรียนออกแบบการทดลองและลงมือปฏิบัติเองนั้นเป็นวิธีการสอนที่ค่อนข้างใช้เวลาและนักเรียนอาจเกิดความผิดพลาดได้สูง ครูจึงต้องคอยถามและให้คำปรึกษาอยู่บ่อย ๆ จึงทำให้ใช้เวลาในการสอนนาน จากงานวิจัยนี้ ฉันให้นักเรียนได้ออกแบบการทดลองเองเช่นกัน และให้นักเรียนแต่ละกลุ่มออกมานำเสนอว่า กลุ่มของตนออกแบบการทดลองอย่างไร ใช้อุปกรณ์ใด มีขั้นตอนหรือวิธีการอย่างไร จากนั้นให้เพื่อนนักเรียนในห้องกลุ่มอื่น ๆ สอบถามและอภิปรายกันถึงวิธีนั้น ๆ ว่า มีจุดเด่นจุดด้อยอะไรบ้าง เพื่อปรับให้การทดลองที่นักเรียนออกแบบนั้นมีประสิทธิภาพมากที่สุด พบว่า นักเรียนสามารถที่จะทดลองได้รวดเร็วขึ้นและผลที่ได้มีคุณภาพ คือ สามารถอธิบายได้ว่าผลที่ได้นั้นเกิดขึ้นจากสิ่งใดในการทดลอง เนื้อหาวิชาที่เหมาะกับแนวทางการจัดการเรียนในข้อนี้ควรเป็นเนื้อหาที่มีการทดลองไม่ซับซ้อน เช่น อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี กรด–เบส

3. การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้และการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน มีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่ค่อนข้างชัดเจนในหลาย ๆ งานวิจัย ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอขั้นสอนในการจัดการเรียนรู้โดยลำดับจากนำเข้าสู่บทเรียนด้วยคำถาม ซึ่งครูอาจมีการหยิบยกเอาประเด็นที่น่าสนใจที่เกี่ยวข้องกับนักเรียนหรือนักเรียนมีส่วนร่วมอยู่ หรือแม้แต่อาจนำเอารูปภาพ วีดีทัศน์ต่าง ๆ มาให้นักเรียนดู และเกิดคำถาม ข้อสงสัย ทั้งนี้ครูอาจเป็นผู้ที่ชี้ให้เห็นประเด็นจนเกิดเป็นข้อสงสัยก็ได้ จากนั้นให้เวลานักเรียนในการค้นหาคำตอบของสิ่งที่นักเรียนสงสัย เมื่อนักเรียนได้คำตอบแล้ว จึงให้นักเรียนสร้างแบบจำลองเพื่อใช้อธิบายคำตอบของตนเอง แล้วจึงนำแบบจำลองที่นักเรียนสร้างมาอภิปรายร่วมกันกับเพื่อนในชั้นเรียน หากว่าแบบจำลองที่นักเรียนนำมาอธิบายนั้นยังไม่สามารถอธิบายได้ทั้งหมดหรือยังมีส่วนใดที่บกพร่องไป ครูก็ให้เวลานักเรียนในการปรับปรุงแบบจำลอง

เอกสารอ้างอิง

Chi, M. T. H., and Roscoe, R. D. (2002). The process and challenges of conceptual change. In Limon, M., and Mason, L. (Eds.), **Reconsidering Conceptual Change. Issues in Theory and Practice** (pp. 3–27). Netherlands: Kluwer Academic.

Chittleborough, G. D., Treagust, D. F., Mamiala, T. L., and Mocerino, M. (2005). Students' perceptions of the role models in the process of learning. **Research in Science and Technological Education** 23(2): 195–212.

Chiu, M. H., and Lin, W. N. (2007). Exploring the characteristics and diverse sources of students' mental models of acids and bases. **International Journal of Science Education** 29(6): 771–803.

Dechakupt, P. (2001). **Child-centered Learning: Strategies and Techniques**. Bangkok: Master Group Manager. (in Thai)

Francoeur, E. (1997). The forgotten tool: The design and use of molecular models. **Social Studies of Science** 27: 7–40.

Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling: routes to more authentic science education. **International Journal of Science and Mathematics Education** 2: 115–130.

Gilbert, J. K., Bouter, C. J., and Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In Gilbert, J. K., and Bouter, C. J. (Eds.), **Developing Models in Science Education** (pp. 3–17). Netherlands: Kluwer Academic.

Greca, I. M., and Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modeling. **International Journal of Science Education** 22: 1–11.

Grosslight, L., Unge, C., and Jay, E. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. **Journal of Research in Science Teaching** 28(9): 799–822.

Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology [IPST]. (2008). **Science Instruction: Basic Education Curriculum.** Bangkok: Author. (in Thai)

Johnstone, A. H. (2000). Chemical education research: Where from here? University Chemistry Education 4(1): 34–38.

Justi, R., and Gilbert, J. K. (2002). Models and modeling in chemical education**.** In Gilbert, J. K. (Ed.), **Chemical Education: Toward Research-based Practice** (pp. 47–68). Dordrecht: Kluwer Academic.

Khan, S. (2007). Model-based inquiries in chemistry. **Journal of Science Education** 91(6): 877–905.

Norman, D. N. (1983). Some observations on mental models. In D. Gentner, D., and Stevens, A. L. (Eds.), **Mental models** (pp. 7–14). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Sansook, S. (2010). **Developing Grade 9 Students' Conceptions on Heredity, Science Process Skills and Attitudes towards Science through Learning Cycle.** Master of Education Thesis (Science Education). Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)

Zuber-Skerritt, O., and Perry, C. (2002). Action research within organisations and university thesis writing. **The Learning Organization** 9(3): 171–179.