วารสารครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ปีที่ 17 ฉบับที่ 3 : กันยายน – ธันวาคม 2563

การพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลอง เรื่อง กรดและเบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐาน

Development of Modeling Skill on Entitle Acid–Base for Year 11 Students Using Model–Based Learning Activity

ARTICLE INFO

Article history:
Received 17 August 2020
Revised 28 September 2020
Accepted 6 October 2020
Available Online 6 October 2020

วัลลภ ปริญทอง[1,*]
และ ประสาท เนืองเฉลิม[2]
Wanloph Prarinthong[1,*]
and Prasart Nuangchalerm[2]

ABSTRACT

The purpose of this research was to develop of modeling skill on entitle acid–base for year 11 students by using model–based learning activity. The target group consisted of 22 students in year 11 attending in the second semester of academic year 2019, Suksasongkhortawatburi School, Roi–et province, Thailand. The research instruments were 1) 8 lesson plans of acid–base, 2) the behavior observation of science model, and 3) modeling ability in making science model. The statistical data analyzed was analyzed using percentage, mean, and standard deviation.

The result revealed that when compared the score achievement of 22 students to the criteria in the range of 21–28 score found that the first cycle process – the score achievement of 12 students (54.54%) passed the criteria, but 10 students (45.45%) did not pass the criteria. The second cycle process – all of the 22 students (100%) passed the criteria in a good range.

KEYWORDS: MODELING SKILL / ACID AND BASE / MODEL–BASED LEARNING

[1] หลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน) คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ประเทศไทย
M.Ed. Curriculum and Instruction Program, Faculty of Education, Mahasarakham University, Thailand.
[2] รองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ประเทศไทย
Association professor, Curriculum and Instruction Program, Faculty of Education, Mahasarakham University, Thailand.
[*] Corresponding author; ***E–mail address:*** 61010585510@msu.ac.th doi: 10.14456/joe.2020.82

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง กรดและเบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐาน กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ คือ นักเรียนที่กำลังศึกษาชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 โรงเรียนศึกษาสงเคราะห์ธวัชบุรี จังหวัดร้อยเอ็ด สำนักบริหารงานการศึกษาพิเศษ จำนวน 22 คน ชาย 10 คน หญิง 12 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมี 3 ชนิด ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เรื่อง กรด – เบส จำนวน 8 แผน แบบสังเกตพฤติกรรมการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และแบบวัดทักษะในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย พบว่า เมื่อนำผลคะแนนมาเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดระดับดี จัดอยู่ในช่วงคะแนน 21–28 มีนักเรียนทั้งหมด 22 คน วงจรปฏิบัติการที่ 1 พบว่า นักเรียนจำนวน 12 คน คิดเป็นร้อยละ 54.54 ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดระดับดีและนักเรียน 10 คน ไม่ผ่านเกณฑ์ คิดเป็น ร้อยละ 45.45 วงจรปฏิบัติการที่ 2 พบว่า นักเรียนจำนวน 22 คน คิดเป็นร้อยละ 100 ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดระดับดี

คำสำคัญ: ทักษะการสร้างแบบจำลอง / กรดและเบส / แบบจำลองเป็นฐาน

บทนำ

กระบวนการจัดการเรียนการสอนนับว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งกับการปฏิรูปวิทยาศาสตร์ศึกษา เพื่อให้นักเรียนได้เกิดการเรียนรู้โดยมีมโนมติที่ถูกต้องมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้สรุปแนวทางเกี่ยวกับการจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เป็นไปตามแนวปฏิรูป ตามมาตรฐาน 22 จากพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 และที่แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 4) พ.ศ. 2545 (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ, 2545) การศึกษาต้องยึดหลักว่าผู้เรียนต้องลงมือปฏิบัติจริง (hands–on learning) หรือมีบทบาทในการค้นคว้าหาความรู้ด้วยตัวเอง สร้างความรู้ต่าง ๆ ด้วยตนเอง เป็นการเรียนรู้แบบเชิงรุก (active) เพื่อทำให้การเรียนรู้ไม่เป็นเพียงแค่การฟังบรรยายในห้องเรียน ซึ่งเป็นการเรียนรู้เชิงรับ (passive) เท่านั้น จะได้ว่าการเรียนรู้ตามแนวคิด Constructivism เป็นวิธีการเรียนรู้ที่ผู้เรียนต้องแสวงหาความรู้และสร้างความรู้ ความเข้าใจด้วยตนเอง ความรู้จะเกิดขึ้นเมื่อผู้เรียนได้มีโอกาสเรียนรู้และแลกเปลี่ยนประสบการณ์กับคนอื่นหรือพบสิ่งใหม่ แล้วนำความรู้ที่มีอยู่มาตรวจสอบกับสิ่งใหม่ (ฮามีด๊ะ มูสอ, 2555)

ธรรมชาติของวิชาเคมีเป็นวิชาที่ประกอบด้วยเนื้อหาที่เป็นนามธรรมต้องใช้จินตนาการในการคิดเพื่อเชื่อมโยงเนื้อหากับประสบการณ์และชีวิตประจำวันของนักเรียน (Orgill and Bordner, 2004) การที่จะช่วยให้นักเรียนเรียนรู้ได้อย่างเต็มศักยภาพนั้น ครูผู้สอนจะต้องช่วยเสริมต่อการเรียนรู้ (Scaffolding) แก่นักเรียนอย่างเต็มที่ต้องคอยช่วยเหลือและแนะนำ ซึ่งอาจทำได้หลากหลายวิธีตามกรอบแนวคิดของ (Bordner, 1986) โดยครูต้องทำเป็นแบบอย่าง (Modeling) ครูต้องเป็นผู้ฝึกสอน (Coaching) ครูต้องจัดลำดับความยากง่ายของเนื้อหาอย่างเป็นลำดับขั้นตอน (Sequencing) ครูต้องลดความยุ่งยากซับซ้อนของเนื้อหาทำให้เรื่องยากเข้าใจง่าย (Reducing complexity) ครูต้องหาลักษณะเด่นหรือจุดสำคัญที่สามารถจดจำได้ง่ายแก่ผู้เรียน (Marking critical features) เนื้อหาส่วนใหญ่ มีความเป็นนามธรรม เนื่องจากเป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติของสารและการเปลี่ยนแปลงของสารทั้งในระดับอะตอมหรือโมเลกุล ซึ่งไม่สามารถมองเห็นจึงทำให้ยากต่อการทำความเข้าใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออธิบายปรากฏการณ์ทางเคมี จะพบว่าความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเป็นแนวคิดที่อยู่ในระดับจุลภาค และระดับสัญลักษณ์ โดยเป็นเรื่องยากที่จะทำให้นักเรียนเข้าใจอย่างถูกต้อง

และสร้างการเรียนรู้ที่มีความหมายได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chiu and Lin (2007) ที่รายงานผลการศึกษาว่าการสร้างแนวคิดของนักเรียนที่มีอายุน้อยกว่าพยายามที่จะเรียนรู้แนวคิดที่เป็นนามธรรมเป็นหลักได้ยากกว่า เนื่องจากข้อจำกัดในด้านการพัฒนาความรู้ความเข้าใจและมีประสบการณ์เดิมในความรู้วิทยาศาสตร์ไม่เพียงพอสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษา การจัดการเรียนการสอน หนังสือเรียนและสื่อวัสดุในการสอนเป็นแหล่งสำคัญของการสร้างแนวคิด ซึ่งในเนื้อหาวิชาเคมีมีแนวคิดที่เป็นนามธรรมมากมาย รวมทั้งแนวคิดเรื่องกรด-เบส เนื้อหากรด-เบส จัดอยู่ในสาระที่ 1 วิทยาศาสตร์กายภาพ ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท., 2562) และมีลักษณะเฉพาะที่มุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับประเภทและลักษณะของกรด-เบส สมบัติของกรด-เบส การเกิดปฏิกิริยาของสารและการเปลี่ยนแปลงของสสารทั้งใน 3 ระดับ (Johnstone, 2000) คือ ระดับมหภาค ระดับจุลภาค และระดับสัญลักษณ์สำหรับระดับมหภาคแสดงให้เห็นถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริงและสังเกตเห็นได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงสีของอินดิเคเตอร์ การเกิดตะกอนของเกลือ เป็นต้น ระดับจุลภาค เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริงแต่ไม่สามารถมองเห็นได้ เพราะจะกล่าวถึงอิเล็กตรอน อะตอม โมเลกุล และไอออน เช่น การให้ไฮโดรเจนไอออนในกรณีที่สารเป็นกรดตามทฤษฎีของเบรินสเตด-ลาวรี และระดับสัญลักษณ์เป็นสิ่งที่ใช้แทนปรากฏการณ์ทางเคมีที่เกิดขึ้นในระดับจุลภาค ซึ่งมีอยู่หลายชนิด ตัวอย่างเช่น แบบจำลอง สูตรและสมการเคมี เป็นต้น

การเรียนรู้และเข้าใจแบบจำลองจึงเป็นหัวใจสำคัญอย่างหนึ่งของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ซึ่งจะเห็นได้จากการนำแบบจำลองมาใช้ในการเรียนวิทยาศาสตร์แทบทุกสาขาวิชา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวิชาเคมีมีการใช้แบบจำลองที่หลากหลาย ทั้งนี้เพราะเนื้อหาวิชาเคมีส่วนใหญ่ค่อนข้างซับซ้อนยากต่อการทำความเข้าใจ แต่หากนักเรียนเข้าใจแบบจำลองและการสร้างแบบจำลองก็จะสามารถเข้าใจแนวคิดในวิชาเคมีได้ง่ายขึ้น ดังคำกล่าวของ Coll (1999) ที่ว่า “เป็นการยากที่จะเข้าใจวิชาเคมีหากปราศจากความเข้าใจแบบจำลองและกระบวนการสร้างแบบจำลอง” โดยแบบจำลองที่นักเคมีสร้างขึ้นมานั้นจะแสดงให้เห็นภาพที่อยู่ในสมองโดยจะมีลักษณะเฉพาะของแต่ละบุคคลหรือที่เรียกว่าแบบจำลองทางความคิด (Mental Model) ซึ่งแบบจำลองทางความคิดที่นักเคมีสร้างขึ้นก็จะมีการนำเสนอให้ผู้อื่นได้รับรู้ในหลายรูปแบบ เช่น สิ่งของที่เป็นรูปธรรม คำพูดหรือภาพวาด ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะเรียกว่าแบบจำลองที่แสดงออก (Expressed Model) การจัดการเรียนรู้ที่นำกระบวนการสร้างแบบจำลองมาใช้ในการจัดการเรียนการสอน คือ การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-Based Leaming) เป็นรูปแบการสอนที่ทำให้ผู้เรียนเกิดการพัฒนาให้มีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชาเคมี ซึ่งการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานเป็นกระบวนการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อสร้างแบบจำลองในการอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น โดยเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบความรู้เดิมเพื่อนำไปสู่การสร้างแบบจำลองทางความคิด (Mental model) หรือแนวคิดซึ่งเป็นแบบจำลองเริ่มต้นเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา หลังจากนั้นผู้เรียนจึงแสดงออกแบบจำลอง (Model expression) โดยสามารถแสดงออกได้หลากหลายรูปแบบ เช่น สิ่งของที่เป็นรูปธรรม ภาษาคำพูด สัญลักษณ์ หรือรูปภาพ ต่อมาผู้เรียนทำการทดสอบ (Test) และประเมิน (Evaluate) แบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยการนำไปทดลองใช้ โดยในขั้นนี้นักเรียนอาจจะพบว่า แบบจำลองที่นักเรียนสร้างขึ้นถูกปฏิเสธ เนื่องจากใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่ศึกษาได้ไม่ดีพอ นักเรียนต้องกลับไปปรับปรุง (Reision) และแก้ไขแบบจำลอง เพื่อให้สามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ได้ดีขึ้น และสุดท้ายเป็นการขยายแบบจำลอง (Elaboration) โดยนักเรียนอาจนำแบบจำลองเดิมไปสร้างเพิ่มเติมหรือนำไปรวมกับแบบจำลองอื่นเพื่อขยายแนวคิดให้กว้างขึ้น (Gobert and Buckley, 2002; Justi and Gilbert, 2002)

จากประสบการณ์การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ รายวิชาเคมีพื้นฐานและรายวิชาเคมีเพิ่มเติมระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 โรงเรียนศึกษาสงเคราะห์ธวัชบุรี จังหวัดร้อยเอ็ด สำนักบริหารงานการศึกษาพิเศษ พบปัญหาที่เกิดขึ้นเกี่ยวกับการเชื่อมโยงความรู้เดิมที่นักเรียนอภิปรายในบทเรียนรายวิชาเคมีในระดับสูงขึ้น

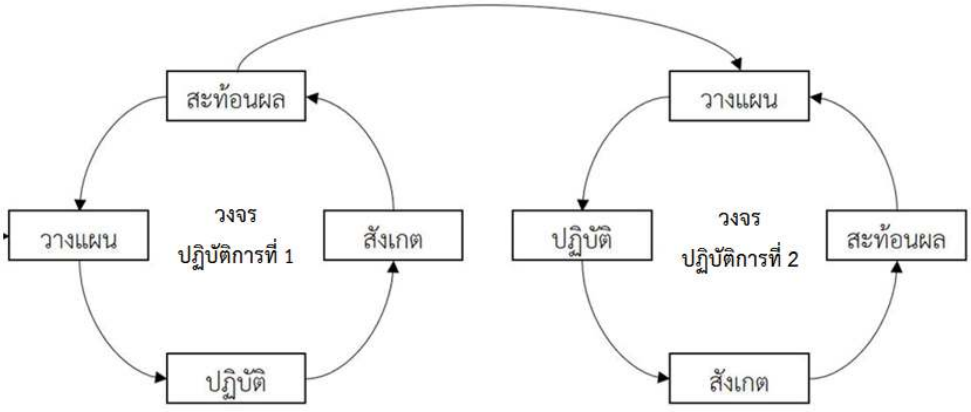
เรื่อง กรด–เบส ซึ่งกิจกรรมการเรียนรู้ส่วนใหญ่เป็นการสอนแบบบรรยาย โดยใช้คำถาม อภิปราย เพื่อให้นักเรียนเชื่อมโยงความรู้เดิม แสดงความสัมพันธ์เชิงเหตุผลทางวิทยาศาสตร์ นักเรียนไม่สามารถอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างเป็นเหตุเป็นผล จากแนวคิดสภาพปัญหาและงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (MBL) มาใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้รายวิชาเคมีเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (ทักษะที่ 14) ทักษะการสร้างแบบจำลองสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยมีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาวิชาเคมีเพิ่มเติม เรื่อง กรด–เบส ซึ่งเป็นเนื้อหาที่มีลักษณะเป็นนามธรรม ให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นและช่วยจัดระบบเนื้อหาที่มีจำนวนมากและซับซ้อนผ่านการสร้างและใช้แบบจำลองที่นักเรียนสร้างขึ้นเอง

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง กรด–เบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐาน

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยใช้รูปแบบการวิจัยปฏิบัติการเชิงคุณภาพ ซึ่งมีประโยชน์ต่อการพัฒนาผู้วิจัยในฐานะครู โดยเป็นการวิจัยเพื่อแก้ปัญหาในชั้นเรียนและพัฒนาการสอนของครู ดังนั้น บริบทของการวิจัยจึงมีความจำเพาะ และด้วยการวิจัยเชิงคุณภาพจะทำให้ผู้วิจัยได้ข้อมูลเกี่ยวกับการพัฒนาการจัดการเรียนรู้และการพัฒนาศักยภาพของนักเรียนในเชิงลึกมากขึ้น โดยอาศัยหลักฐานเชิงประจักษ์และการสะท้อนผลเป็นหลัก ได้เป็นข้อสรุปที่มีประโยชน์ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการเป็นวงจรปฏิบัติการ 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นวางแผน ขั้นปฏิบัติ ขั้นสังเกต และขั้นสะท้อนผล ดำเนินการในลักษณะเป็นวงจรที่ต่อเนื่องกัน จำนวนวงจรปฏิบัติการที่ผู้วิจัยได้กำหนดไว้สำหรับการดำเนินงานวิจัยนี้คือ 2 วงจรปฏิบัติการ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงการดำเนินการของวงจรปฏิบัติการ
ที่มา: ธีรวุฒิ เอกะกุล (2551, อ้างถึงใน Kurt, 1951)

การวิจัยในครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research) ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามแนวคิดของ Kurt (ธีรวุฒิ เอกะกุล, 2551 อ้างถึงใน Kurt, 1951) ซึ่งประกอบด้วยการวางแผนปฏิบัติ การลงมือกระทำจริง การสังเกตและสะท้อนผลการปฏิบัติ ผู้วิจัยได้นำหลักการวิจัยเชิงปฏิบัติการมาใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนมีขั้นตอนตามวงจรดังนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นวางแผน (Plan) ดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

1. สำรวจและวิเคราะห์สภาพปัญหาการเรียนการสอน ศึกษาสภาพปัญหาเพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหาในการวิจัยโดยผู้วิจัย

2. ศึกษาและวิเคราะห์หลักสูตรแกนกลางการศึกษาการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง 2560) กำหนดเนื้อหาสาระวิทยาศาสตร์ ที่จะนำมาใช้จัดกิจกรรมการเรียนการสอนกับนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย

3. ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี หลักการ เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางในการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ที่จัดกิจกรรมการเรียนรู้ใช้แบบจำลองเป็นฐาน แบบสังเกตพฤติกรรมการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และแบบวัดทักษะการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เพื่อนำมาใช้วางแผนการจัดการเรียนการสอนและเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาการวิจัย

4. ดำเนินการสร้างและพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนรู้ที่จัดกิจกรรมการเรียนรู้ใช้แบบจำลองเป็นฐาน แบบวัดทักษะการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และแบบสังเกตพฤติกรรมการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ตามขั้นตอนการสร้างเครื่องมือวิจัย

4.1 ค่าความเหมาะสมขององค์ประกอบของแผน กำหนดคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญโดยค่าดัชนีความสอดคล้องที่ยอมรับได้ ต้องมีค่าตั้งแต่ 3.51 ขึ้นไป ซึ่งผลการประเมินปรากฏว่า แผนการจัดการเรียนรู้โดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ใช้แบบจำลองเป็นฐานมีค่าความเหมาะสมเฉลี่ยเท่ากับ 4.70 และ 4.67 หมายถึง มีระดับคุณภาพดีมากและได้ปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

4.2 การประเมินที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาความเที่ยงตรงเชิงพินิจ (Face Validity) ของแบบสังเกตพฤติกรรมแต่ละข้อกับพฤติกรรมการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง กรด–เบส โดยหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) กำหนดคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญโดยค่าดัชนีความสอดคล้องที่มีค่าตั้งแต่ .50 ถึง 1.00 ซึ่งเป็นข้อสอบที่อยู่ในเกณฑ์ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาที่ใช้ได้ ผลการวิเคราะห์ได้ค่า IOC คือ 0.87 และ 0.83 ได้ปรับปรุงแบบสังเกตพฤติกรรมตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญจากการประเมินแบบสังเกตพฤติกรรมของผู้เชี่ยวชาญ

4.3 การประเมินที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาความเที่ยงตรงทางเนื้อหา (Content Validity) ของข้อคำถามแต่ละข้อกับแบบวัดทักษะในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง กรด–เบส โดยหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) โดยพิจารณาตามองค์ประกอบกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ใช้เกณฑ์ที่ปรับจากแนวคิดของ Schwarz & et al. (2009) ของข้อคำถามแต่ละข้อว่ามีความสอดคล้องหรือไม่ โดยให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณากำหนดคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญโดยค่าดัชนีความสอดคล้องของข้อสอบที่มีค่าดัชนีตั้งแต่ .50 ถึง 1.00 ซึ่งเป็นข้อสอบที่อยู่ในเกณฑ์ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาที่ใช้ได้ ผลการวิเคราะห์ ได้ค่า IOC คือ 0.76 ได้ปรับปรุงแบบวัดทักษะในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

5. นำเครื่องมือที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น เสนออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา ผู้วิจัยนำเครื่องมือในการวิจัยที่ผ่านการพิจารณาตรวจสอบ มาใช้โดยผู้วิจัยได้แบ่งแผนการจัดการเรียนรู้ตามเนื้อหาในวงจรปฏิบัติการ ดังนี้ วงจรปฏิบัติการที่ 1 ใช้การจัดการเรียนรู้ที่จัดกิจกรรมการเรียนรู้ใช้แบบจำลองเป็นฐาน แบ่งออกเป็น 4 แผน เวลา 12 ชั่วโมง ประกอบด้วย วงจรปฏิบัติการที่ 2 ใช้การจัดการเรียนรู้ที่จัดกิจกรรมการเรียนรู้ใช้แบบจำลองเป็นฐาน แบ่งออกเป็น 4 แผน เวลา 12 ชั่วโมง

ขั้นที่ 2 ขั้นปฏิบัติการการเรียนการสอน (Act)

ผู้วิจัยนำแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้น ซึ่งได้รับการปรับปรุงในขั้นที่ 1 ไปดำเนินการจัดการเรียนการสอนกับกลุ่มเป้าหมาย ผู้วิจัยลงมือปฏิบัติกิจกรรมตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่เป็นวงจรปฏิบัติการ 2 วงจร

ขั้นที่ 3 ขั้นสังเกตการณ์ (Observe)

ดำเนินการสังเกตและจดบันทึกข้อมูลพฤติกรรมนักเรียนที่เกิดขึ้นในระหว่างที่จัดกิจกรรมการเรียนการสอน ดำเนินการสอนตามวงจรปฏิบัติการที่จัดกิจกรรมการเรียนรู้ใช้แบบจำลองเป็นฐาน จำนวน 8 แผน เวลา 24 ชั่วโมง มาใช้ในการจัดการเรียนการสอน

ขั้นที่ 4 ขั้นสะท้อนผลการปฏิบัติ (Reflect)

ดำเนินการโดยการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการสังเกตมาวิเคราะห์และสรุปข้อมูลเพื่อนำไปเป็นแนวทางปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

เกณฑ์การประเมินแบบวัดทักษะการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในการสร้างเกณฑ์การให้คะแนนแบบรูบริคส์แบบแยกประเด็น (Analytic Rubrics) โดยแบ่งระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เป็น 4 ระดับ คือ ดีมาก (4) ดี (3) พอใช้ (2) ต้องปรับปรุง (1) ประเมินช่วงคะแนนและระดับคุณภาพ ดังนี้ ช่วงคะแนน 29–36 ระดับคุณภาพดีมาก ช่วงคะแนน 21–28 ระดับคุณภาพดี ช่วงคะแนน 15–20 ระดับคุณภาพพอใช้ และช่วงคะแนน 1–14 ระดับคุณภาพปรับปรุง

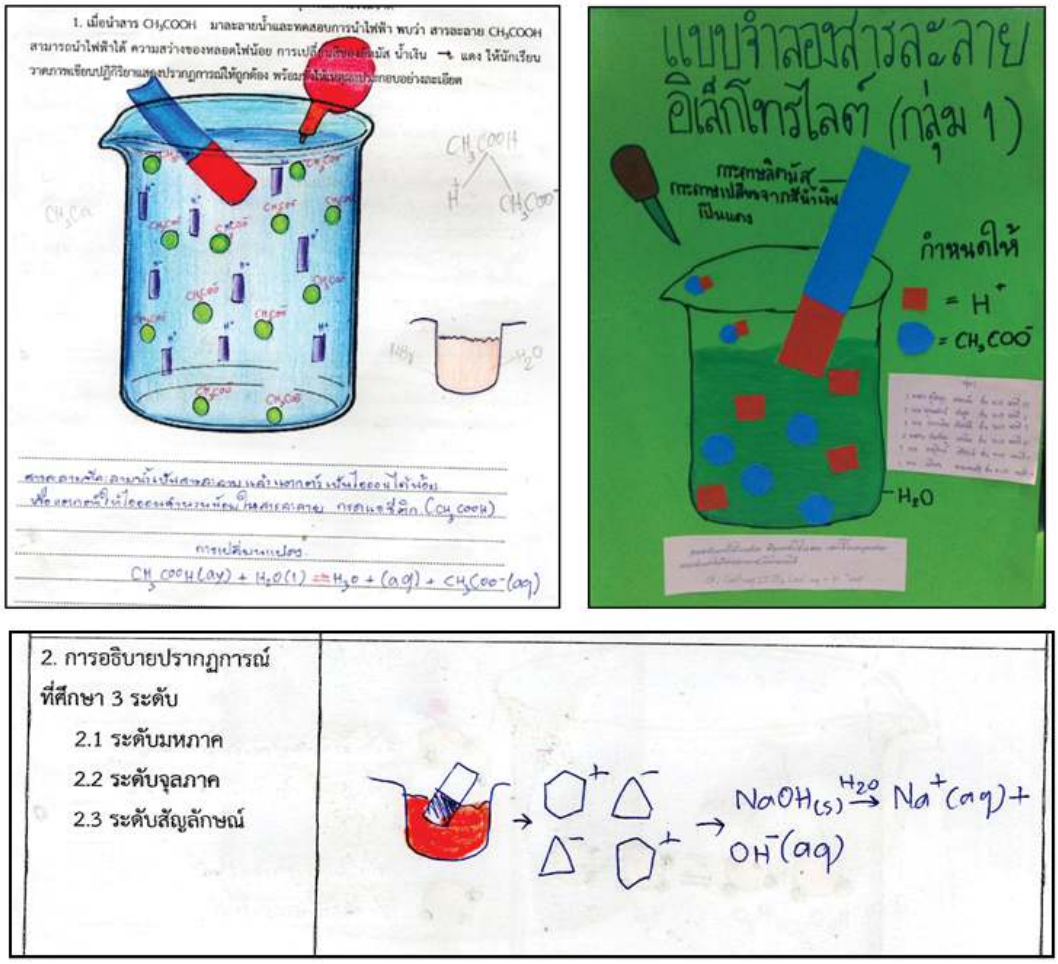
ผลการวิจัย

ผลการประเมินทักษะในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์จากแบบวัดทักษะในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง กรด–เบส ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐาน วงจรปฏิบัติการที่ 1 นำผลคะแนนมาเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดระดับดี จัดอยู่ในช่วงคะแนน 21–28 มีนักเรียนทั้งหมด 22 คน พบว่า นักเรียนจำนวน 12 คน คิดเป็นร้อยละ 54.54 ผ่านเกณฑ์กำหนดระดับดี และนักเรียน 10 คน ไม่ผ่านเกณฑ์กำหนดระดับดี คิดเป็น ร้อยละ 45.45 ดังข้อมูลตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลประเมินทักษะในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ วงจรปฏิบัติการที่ 1

นักเรียน จำนวน 22 คน	คะแนน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละ	แปลผล
รวม	430.00	35.83	12.77	1194.44	ระดับดี 12 คน (54.54%)
เฉลี่ย	19.55	1.63	0.58	54.29	ระดับพอใช้ 10 คน (45.45%)

จากตารางที่ 1 ปรากฏว่า ผลการประเมินทักษะในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง กรด–เบส โดยใช้แบบวัดทักษะการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ วงจรปฏิบัติการที่ 1 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1–4 โดยวิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ยค่าร้อยละและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของคะแนนการวัดทักษะการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์วิเคราะห์ข้อมูล โดยนำผลคะแนนมาเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดความสามารถระดับดี ช่วงคะแนน 21–28 มีนักเรียนทั้งหมด 22 คน พบว่า มีนักเรียนจำนวน 12 คน คิดเป็นร้อยละ 54.54 ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด และนักเรียนอีกจำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 45.45 ที่ไม่ผ่านเกณฑ์



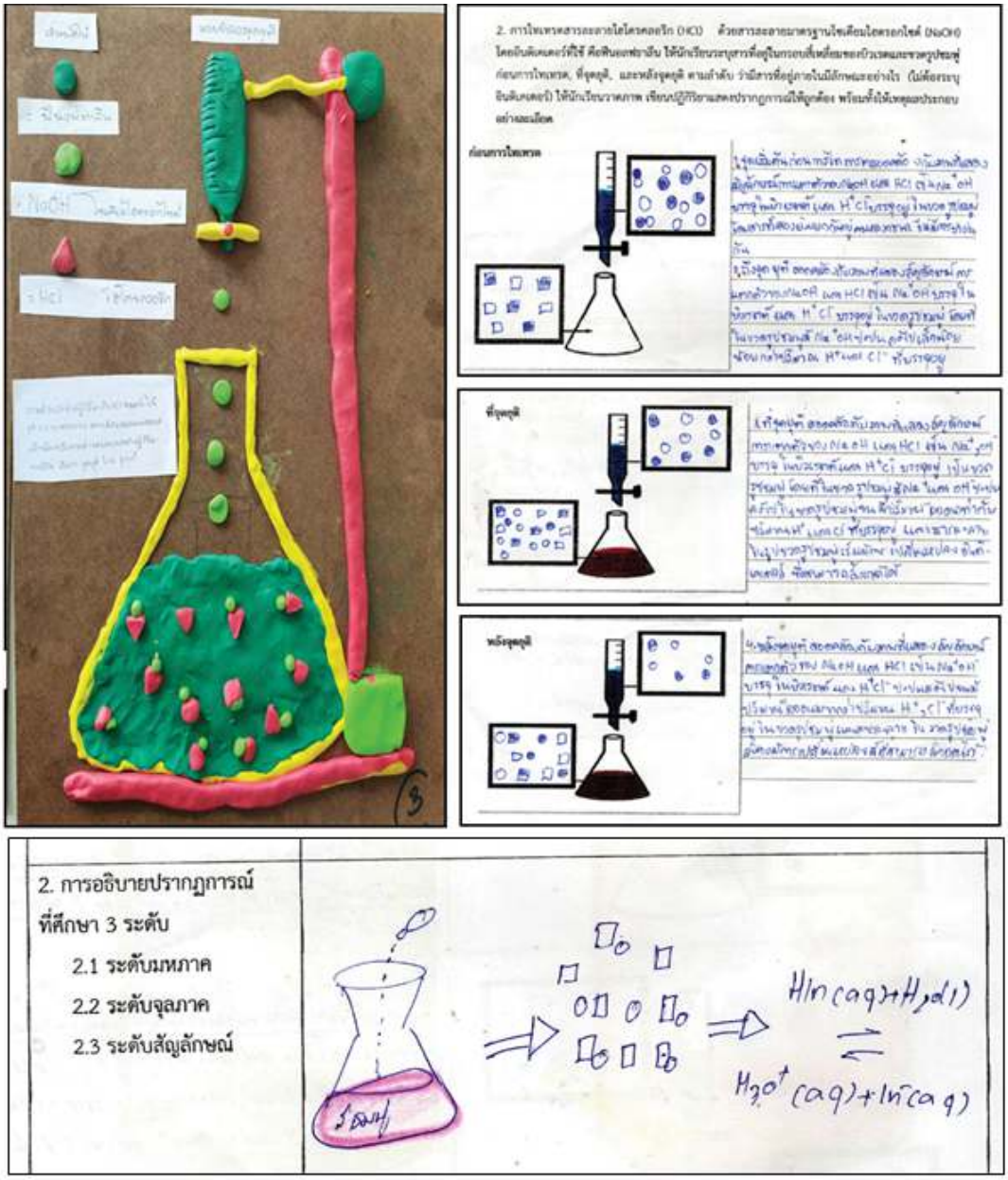
ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างผลงานนักเรียนวงจรปฏิบัติการที่ 1 ตามองค์ประกอบทักษะการสร้างแบบจำลอง การสร้างแบบจำลองทางความคิด การสร้างแบบจำลองและการนำเสนอแบบจำลอง

วงจรปฏิบัติการที่ 2 นำผลคะแนนมาเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดระดับดี จัดอยู่ในช่วงคะแนน 21–28 มีนักเรียนทั้งหมด 22 คน พบว่า นักเรียนจำนวน 22 คน คิดเป็นร้อยละ 100 ผ่านเกณฑ์กำหนดระดับดี ดังข้อมูลตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลประเมินทักษะในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ วงจรปฏิบัติการที่ 2

นักเรียน จำนวน 22 คน	คะแนน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละ	แปลผล
รวม	657.00	54.75	10.83	1825.00	ระดับดีมาก 10 คน (45.45%)
เฉลี่ย	29.86	2.49	0.49	82.95	ระดับดี 12 คน (54.54%)

จากตารางที่ 2 ปรากฏว่า ผลการประเมินทักษะในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง กรด–เบส โดยใช้แบบวัดทักษะการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ วงจรปฏิบัติการที่ 5 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5–8 โดยวิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ยค่าร้อยละและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของคะแนนการวัดทักษะการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์วิเคราะห์ข้อมูล โดยนำผลคะแนนมาเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดความสามารถระดับดี ช่วงคะแนน 21–28 มีนักเรียนทั้งหมด 22 คน พบว่า นักเรียนจำนวน 22 คน คิดเป็นร้อยละ 100 ผ่านเกณฑ์กำหนดระดับดี



ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างผลงานนักเรียนวงจรปฏิบัติการที่ 2 ตามองค์ประกอบทักษะการสร้างแบบจำลอง การสร้างแบบจำลอง การสร้างแบบจำลองทางความคิดและการนำเสนอแบบจำลอง

สรุปและอภิปรายผล

วงจรปฏิบัติการที่ 1 นำผลคะแนนมาเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดระดับดี จัดอยู่ในช่วงคะแนน 21–28 มีนักเรียนทั้งหมด 22 คน พบว่า นักเรียนจำนวน 12 คน คิดเป็นร้อยละ 54.54 ผ่านเกณฑ์กำหนดระดับดี และนักเรียน 10 คน ไม่ผ่านเกณฑ์กำหนดระดับดี คิดเป็น ร้อยละ 45.45 วงจรปฏิบัติการที่ 2 นำผลคะแนนมาเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดระดับดี จัดอยู่ในช่วงคะแนน 21–28 มีนักเรียนทั้งหมด 22 คน พบว่า นักเรียนจำนวน 22 คน คิดเป็นร้อยละ 100 ผ่านเกณฑ์กำหนดระดับดี

ผลการวิจัยปรากฏเช่นนี้ ทั้งนี้ เป็นผลมาจากการที่นักเรียนทุกคนได้ฝึกปฏิบัติตาม การจัดการเรียนการสอนอย่างต่อเนื่อง ตามแผนการจัดการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐานในวงจรปฏิบัติการที่ 1 และวงจรปฏิบัติการที่ 2 ซึ่งเป็นไปตามแนวคิดการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ที่เกิดจากความเข้าใจเกิดจากการสร้างแบบจำลองทางความคิด จากปรากฏการณ์ที่ศึกษา หลังจากได้แก้ปัญหา (Problem–Solving) การลงข้อสรุป (Inferencing) หรือการให้เหตุผล (Reasoning) นักเรียนใช้แบบจำลองตาม ภาระงานที่กำหนดได้สำเร็จกล่าวคือ แบบจำลองดังกล่าวสามารถเข้าใจ อธิบาย และทำนายได้หรือจากการที่นักเรียนได้สร้างข้อสรุปแล้ว แบบจำลองดังกล่าวที่ได้รับการเพิ่มเติมรายละเอียดจะกลายเป็นแบบจำลองที่คงที่ในที่สุด Johnson–Laird (1983 อ้างถึงใน Buckley et al., 2004) และนักเรียนจะเกิดการเรียนรู้เมื่อนักเรียนได้ใช้ความรู้เดิมบรูณาการเข้ากับสารสนเทศใหม่และได้ขยายความรู้ต่อไป Osborn and Wittrock (1985 อ้างถึงใน Buckley and Boulter, 2000; ณัฐนรี คณะเมือง และร่มเกล้า จันทราษี, 2561) ทั้งนี้เนื่องมาจาก กระบวนการเรียนการสอนโดยใช้แบบจำลองเป็นฐานช่วยกระตุ้นกระบวนการคิดสร้างแบบจำลองได้ดี รวมทั้งส่งเสริมให้นักเรียนได้พัฒนากระบวนการเรียนรู้ของตนเอง ซึ่งเป็นกระบวนการคิดเกี่ยวกับการเป็นตัวแทนที่ใช้ในการให้เหตุผลกับสิ่งต่าง ๆ และมีอิทธิพลต่อการรับรู้ปรากฏการณ์และความเข้าใจในสารสนเทศ การมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์และการเป็นตัวแทนต่างมีอิทธิพลต่อแบบจำลองทางความคิด” และแบบจำลองทางความคิดนี้จะเกิดขึ้นจากการใช้กระบวนการอุปนัย จากประสบการณ์ การสร้าง แบบจำลองจากการนำสารสนเทศมาปะติดปะต่อกันและ/หรือเขียนจากการเทียบเคียงแบบจำลองหรือปรากฏการณ์ (Buckley and Boulter, 2000)

นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ พรรณนภา อนิวรรตนวงศ์ และร่มเกล้า จันทราษี (2562), สุรชิต ชูแสง (2559), ธีระศักดิ์ ไชยสัตย์ (2560), ธีรตา ชาติวรรณ, ธิติยา บงกชเพชร และอนุสรณ์ วรสิงห์ (2560), วรวัฒน์ ศีลบุตร (2560), ราตรี ยะคำ และคณะ (2560) ที่ได้สรุปไว้ว่า วิทยาศาสตร์เป็นความสามารถที่แสดงออกจากกิจกรรมผ่านสถานการณ์หรือปัญหาโดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน นักเรียนได้ลงมือดัดแปลงแก้ไขแบบจำลองที่ตนเองสร้างขึ้นด้วยตนเอง การอภิปรายและให้นักเรียนสรุปความรู้ เพื่อให้นักเรียนได้ใช้แบบจำลองของตนเองนักเรียนสามารถระบุองค์ประกอบของการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ การเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี สามารถลดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ไม่ถูกต้องและแก้ไขแนวคิดคลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ได้ การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจึงสามารถช่วยพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนให้สอดคล้องกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ได้ กิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานพัฒนาแนวคิดที่เป็นนามธรรมและเชื่อมโยงกับแบบจำลองทางความคิดได้ทุกระดับ ส่งเสริมให้นักเรียนสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ กิจกรรมยังช่วยส่งเสริมให้นักเรียนได้แลกเปลี่ยนความคิดซึ่งกันและกัน ผู้อื่นที่ช่วยอำนวยความสะดวกให้กับนักเรียนด้วยการใช้คำถามที่กระตุ้นการเรียนรู้แสดงความคิดเห็น อภิปรายและโต้แย้งร่วมกัน นักเรียนสร้างแบบจำลองทางความคิดร่วมกับการใช้คำถามเพื่อตรวจสอบความรู้เดิมรวมไปถึงมีการใช้สื่อการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนเชื่อมโยงเนื้อหาเคมีทั้ง 3 ระดับ (จุลภาค มหภาค และสัญลักษณ์) สำหรับในแนวคิดที่เป็นนามธรรมมีการใช้กิจกรรมอุปมาในการจัดการเรียนรู้ และมีการสอดแทรกกิจกรรมที่สะท้อนธรรมชาติของแบบจำลองและกระบวนการสร้างแบบจำลองเพื่อให้นักเรียนเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองและนำไปสู่ความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะทั่วไป

1. ครูควรให้นักเรียนเข้าใจบทบาทหน้าที่ของตนเองเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองของตนเองโดยให้นักเรียนมีอิสระทางความคิดภายใต้ขอบเขตของเนื้อหา พร้อมคอยชี้แนะไม่ให้นักเรียนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน

2. การสอนตามแนวคิดแบบจำลองเป็นฐานมีข้อจำกัดในเรื่องของเวลา เนื่องด้วยบริบทของนักเรียนศึกษาสงเคราะห์ นักเรียนมีความหลากหลายในความพร้อมที่จะเรียนรู้ ครูผู้สอนควรยืดหยุ่นเรื่องระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินกิจกรรมในแต่ละขั้นตอนการจัดการเรียนการสอนตามความเหมาะสม

3. ในขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางความคิด นักเรียนสามารถวาดภาพ สื่อสารออกเป็นภาษาสัญลักษณ์ ลักษณะท่าทางหรือสิ่งของที่นักเรียนสร้างขึ้นตามความคิดของตนเพื่อเป็นตัวแทนวัตถุ รวมทั้งต้องทำการทดลอง การเลือกอุปกรณ์ที่จะใช้ในการสร้างแบบจำลองพร้อมบอกเหตุผลประกอบด้วยตัวเอง ครูผู้สอนจึงควรดูแลนักเรียนอยู่ตลอดเวลา ครูผู้สอนจึงควรใช้เทคนิคการโค้ช (Coaching) และการเป็นปฏิบัติตนเป็นต้นแบบที่ดีในการช่วยเหลือและแนะนำผู้เรียนระหว่างทำกิจกรรมเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ศักยภาพได้เต็มที่

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ควรพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนการสอนตามแนวคิดแบบจำลองเป็นฐานที่มีการบูรณาการกับกิจกรรมที่ส่งเสริมการออกแบบ การสร้างแบบจำลอง เช่น สะเต็มศึกษา กระบวนการโต้แย้ง ส่งเสริมการอธิบายและให้เหตุผลรวมทั้งกระบวนการสืบสอบจิตวิทยาศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

ณัฐนรี คณะเมือง และร่มเกล้า จันทรามี. (2561). การจัดการเรียนรู้ที่เน้นแบบจำลอง เรื่อง การระเหยที่มีต่อกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. *วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 1*(1), 86–96. https://so04.tci-thaijo.org/index.php/JSSE/article/view/194881/135521

ธีรตา ชาติวรรณ, ธิติยา บงกชเพชร และอนุสรณ์ วรสิงห์. (2560). การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับเทคโนโลยีเสมือนจริงเพื่อพัฒนา แบบจำลองทางความคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องพันธะโควาเลนต์. *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, 13*(1), 266–281.

ธีระศักดิ์ ไชยสัตย์. (2560). *ผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมีและความสามารถในการคิดเชิงผลิตภาพ เรื่อง อะตอมและโครงสร้างอะตอมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนมัธยมขยายโอกาส จังหวัดประจวบคีรีขันธ์* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ธีรวุฒิ เอกะกุล. (2551). *การวิจัยปฏิบัติการ*. ยงสวัสดิ์อินเตอร์กรุ๊ป.

พรรณนภา อนิวรรตนวงศ์ และร่มเกล้า จันทรามี. (2562). การประเมินผลของการสืบเสาะหาความรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับ การใช้การเชื่อมโยงหลักฐานและแบบจำลองที่มีต่อการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เรื่องสารละลายอิเล็กโทรไลต์และนอนอิเล็กโทรไลต์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. *วารสารนวัตกรรมการเรียนรู้, 5*(1), 65–83.

ราตรี ยะคำ, สกนธ์ชัย ชะนูนันท์ และ วิภารัตน์ เชื้อชวด ชัยสิทธิ์. (2560). การวิจัยปฏิบัติกรเพื่อพัฒนาสมรรถนะการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง เชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์และผลิตภัณฑ์. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 22*(1), 190–203. https://so06.tci-thaijo.org/index.php/edujournal_nu/article/view/91796

วรวัฒน์ ศีลบุตร. (2560). *การพัฒนาแนวคิดเรื่อง สารชีวโมเลกุล และความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับวิธีการแบบเปิด* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2562). *คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมรายวิชาเพิ่มเติม วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม 4 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ. (2545). *พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติพ.ศ. 2542 และที่แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2545*. พริกหวานกราฟิก.

สุรชิต ชูแสง. (2559). *การพัฒนาแนวคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง พันธะโคเวเลนต์ โดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการใช้มโนภาพพลวัต* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฮามีด๊ะ มูสอ. (2555). *การพัฒนาแบบจำลองทางความคิด เรื่อง กรด-เบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Bodner, G. M. (1986). Constructivism: A theory of knowledge. *Journal of Chemical Education, 63*(10), 873–877. http://dx.doi.org/10.1021/ed063p873

Buckley, B. C., and Boulter, C. J. (2000). Investigating the role of representations and expressed models in building mental models. In J. K. Gilbert, & C. J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 119–135). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0876-1_6

Buckley, B. C., Gobert, J. D., Kindfield, A. C. H., Horwitz, P., Tinker, R. F., Gerlits, B., Wilensky, U., Dede, C., and Willett, J. (2004). Model-based teaching and learning with bioLogica™: What do they learn? How do they learn? How do we know?. *Journal of Science Education and Technology, 13*(1), 23–41. https://doi.org/10.1023/B:JOST.0000019636.06814.e3

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. https://doi.org/10.1080/09500690600855559

Coll, R. K. (1999). *Learners' mental models of chemical bonding* [Doctoral dissertation]. Curtin University of Technology. http://link.library.curtin.edu.au/p?pid=CUR_ALMA21101409530001951

Gobert, J. D., and Buckley, B. C. (2002). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education, 22*(9), 891–894. https://doi.org/10.1080/095006900416839

Jonstone, A. H. (2000). Chemical education research: Where from here?. *The journal of the tertiary education group of the Royal society of Chemistry, 4*(1), 34–38.

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

Lewin, K. (1951). *Field theory in social science: selected theoretical papers (Edited by Dorwin Cartwright.)*. Harpers.

Orgill, M., and Bordner, G. (2004). What research tells us about using analogies to teaching chemistry. *Journal of Chemical Education, 5*(1), 15–32. https://doi.org/10.1039/B3RP90028B

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E A., Kenyon, L., Achér, 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. https://doi.org/10.1002/tea.20311