

การพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4
ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง พันธะโคเวเลนต์

**DEVELOPING MODELING SKILLS OF MATHAYOM 4 STUDENTS
MODEL-BASED LEARNING ON COVALENT BONDS**

สุธีมนต์ สิงห์ธนู | *Suteemon Singtanu* | **ORCID ID: 0009-0000-8135-7957**

คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี ประเทศไทย | Faculty of Education, Udon Thani Rajabhat University, Udon Thani Province, Thailand
Corresponding Author E-mail: kanun.suteemon@gmail.com

อำพนธ์ วันธงไชย | *Ampun Wunthongchai* | **ORCID ID: 0009-0009-4349-3152**

โรงเรียนอุดรพิชัยรักษ์พิทยา จังหวัดอุดรธานี ประเทศไทย | Udonpichairakpittaya School, Udon Thani Province, Thailand
E-mail: Ampun@upr.ac.th

คณิสร์ ต้นสินธุ์ | *Kantisorn Tonsinon* | **ORCID ID: 0009-0005-5359-5663**

คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี ประเทศไทย | Faculty of Education, Udon Thani Rajabhat University, Udon Thani Province, Thailand
E-mail: kanisron.to@udru.ac.th

Received: (February 27, 2025); Revised: (May 13, 2026); Accepted: (June 2, 2026)

Citation:



สุธีมนต์ สิงห์ธนู, อำพนธ์ วันธงไชย และคณิสร์ ต้นสินธุ์. (2569). การพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง พันธะโคเวเลนต์. *วารสารวิจัยและนวัตกรรมเพื่อความยั่งยืน*, 3(5), 44-61.

Singtanu, S., Wunthongchai, A., & Tonsinon, K. (2026). Developing Modeling Skills of Mathayom 4 Students Model-Based Learning on Covalent Bonds. *Journal of Research and Innovation for Sustainability*, 3(5), 44-60.

ABSTRACT

This study aimed to examine the effectiveness of Model-Based Learning in developing Grade 10 students' modeling skills on the topic of covalent bonding. A one-group pretest–posttest quasi-experimental design was employed. The participants were 39 Grade 10/3 students selected through purposive sampling, as the researcher was responsible for teaching this class. The research instruments included Model-Based Learning lesson plans, activity logs, modeling tasks, semi-structured observation forms, and a modeling skills test. Data were analyzed using mean, percentage, categorization, and pre- and post-test comparisons.

The results revealed that students' modeling skills improved after the implementation of Model-Based Learning. The activity logs indicated continuous improvement across four instructional cycles, with mean percentage scores of 66.53%, 75.00%, 82.34%, and 95.34%, respectively. The observation results also showed a progressive development of students' modeling skills from a low level in the first lesson, to low–moderate in the second, moderate in the third, and high in the fourth. In addition, the modeling skills test indicated that the mean pre-test score was 2.36 (23.59%), whereas the post-test score increased to 8.05 (80.51%). Data were analyzed individually and subsequently categorized into high, medium, and low ability levels. A statistically significant difference was found between pre-test and post-test scores at the .01 level. The findings suggest that Model-Based Learning is an effective instructional approach for enhancing students' modeling skills in chemistry education.

Keywords : Model-Based Learning; Modeling skills; Covalent bonds.

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องพันธะโคเวเลนต์ โดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-Based Learning) ดำเนินการวิจัยโดยใช้รูปแบบการวิจัยกึ่งทดลองแบบกลุ่มเดียววัดก่อนและหลังการทดลอง (One Group Pretest–Posttest Design) กลุ่มที่ศึกษา คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/3 จำนวน 39 คน ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เนื่องจากเป็นห้องเรียนที่ผู้วิจัยรับผิดชอบการจัดการเรียนรู้ เครื่องมือที่ใช้ในวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ ใบบันทึกกิจกรรม ชิ้นงานแบบจำลอง แบบสังเกตโครงสร้าง และแบบทดสอบวัดทักษะการสร้างแบบจำลอง การวิเคราะห์ข้อมูลใช้การจัดหมวดหมู่ข้อมูล การหาค่าเฉลี่ย ร้อยละ และการเปรียบเทียบผลก่อนและหลังเรียน

ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีพัฒนาการด้านทักษะการสร้างแบบจำลองเพิ่มขึ้นหลังการจัดการเรียนรู้ดังกล่าว ดังนี้ 1) ผลการประเมินทักษะการสร้างแบบจำลองจากใบบันทึกกิจกรรม

นักเรียนทั้ง 6 กลุ่มมีพัฒนาการของทักษะการสร้างแบบจำลองเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการทำใบบันทึกกิจกรรมในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ โดยแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 มีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 66.53 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 ร้อยละ 75.00 แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 ร้อยละ 82.34 และแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 ร้อยละ 95.34 2) แบบสังเกตกิ่งโครงสร้างพบว่า นักเรียนทั้ง 6 กลุ่มมีพัฒนาการด้านทักษะการสร้างแบบจำลองเพิ่มขึ้นตามลำดับของการจัดการเรียนรู้ โดยในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 นักเรียนมีระดับทักษะอยู่ในระดับต่ำ แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 อยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 อยู่ในระดับปานกลาง และแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 อยู่ในระดับสูง แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีพัฒนาการด้านทักษะการสร้างแบบจำลองเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการจัดการเรียนรู้แบบใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-Based Learning) 3) ผลการวิจัยจากแบบทดสอบวัดทักษะการสร้างแบบจำลอง พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนเท่ากับ 2.36 (ร้อยละ 23.59) และหลังเรียนเท่ากับ 8.05 (ร้อยละ 80.51) โดยวิเคราะห์ข้อมูลเป็นรายบุคคล และนำผลคะแนนมาจัดกลุ่มตามระดับความสามารถ ได้แก่ สูง ปานกลาง และต่ำ ซึ่งผลการเปรียบเทียบคะแนนก่อนและหลังเรียนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 แสดงให้เห็นว่าวิธีการจัดการเรียนรู้นี้ดังกล่าวสามารถพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน; ทักษะการสร้างแบบจำลอง; พันธะโคเวเลนต์

1. บทนำ

วิชาเคมีเป็นวิชาที่มีลักษณะเนื้อหาเป็นนามธรรมสูง โดยเฉพาะแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของสารและการเปลี่ยนแปลงในระดับอนุภาค ซึ่งไม่สามารถสังเกตได้โดยตรง ทำให้นักเรียนต้องอาศัยการจินตนาการและการเชื่อมโยงความเข้าใจระหว่างปรากฏการณ์ในระดับมหภาค จุลภาค และระดับสัญลักษณ์ เพื่อสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องและเป็นระบบ (Johnstone, 1993; Greenbowe, 2003) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยจำนวนมากพบว่านักเรียนยังมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแนวคิดพื้นฐานทางเคมี เนื่องจากความยากของการเชื่อมโยงระหว่างระดับความคิดดังกล่าว ความท้าทายของการเรียนรู้วิชาเคมีดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการใช้ “แบบจำลอง” เป็นเครื่องมือสำคัญในการจัดการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากแบบจำลองช่วยลดความเป็นนามธรรมของแนวคิด และทำให้นักเรียนสามารถสร้างภาพแทนความคิดที่ไม่สามารถสังเกตได้โดยตรง อีกทั้งยัง

ช่วยให้นักเรียนสามารถอธิบายและตีความปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีความหมายมากยิ่งขึ้น (Glynn & Duit, 1995) ในทางวิทยาศาสตร์ แบบจำลองสามารถแบ่งออกเป็นสองลักษณะสำคัญ ได้แก่ แบบจำลองทางความคิด (Mental Model) ซึ่งเป็นโครงสร้างความคิดภายในของนักเรียน และแบบจำลองที่แสดงออก (Expressed Model) ซึ่งเป็นการถ่ายทอดความคิดออกมาในรูปแบบที่สื่อสารได้ เช่น ภาพวาด แผนภาพ สัญลักษณ์ หรือคำอธิบายเชิงภาษา การพัฒนาแบบจำลองทั้งสองลักษณะนี้มีบทบาทสำคัญต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะในวิชาเคมีที่มีความซับซ้อนของแนวคิดสูง (Coll, 1999)

ทักษะการสร้างแบบจำลอง จึงเป็นทักษะสำคัญที่ควรพัฒนาในนักเรียน โดยหมายถึงความสามารถของนักเรียนในการสร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์จากความเข้าใจของตนเอง การนำแบบจำลองไปใช้อธิบายและทำนายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งความสามารถในการทดสอบ ประเมิน และปรับปรุงแบบจำลองให้สอดคล้องกับหลักฐานหรือข้อมูลเชิงประจักษ์ (Gobert & Buckley, 2000; Justi & Gilbert, 2002) กระบวนการดังกล่าวสะท้อนความสามารถในการเชื่อมโยงความรู้ทางเคมีในระดับมหภาค จุลภาค และระดับสัญลักษณ์ ซึ่งถือเป็นพื้นฐานสำคัญของการเรียนรู้วิชาเคมี จากแนวคิดดังกล่าว องค์ประกอบของทักษะการสร้างแบบจำลองจึงประกอบด้วยความสามารถในการ (1) สร้างแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (2) ใช้แบบจำลองในการอธิบายและทำนาย (3) ทดสอบและประเมินความเหมาะสมของแบบจำลอง และ (4) ปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองให้สอดคล้องกับข้อมูลหรือหลักฐานที่ได้รับ ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นกรอบในการพัฒนาเครื่องมือวัดทักษะการสร้างแบบจำลองของนักเรียนได้อย่างเป็นระบบ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงนำองค์ประกอบของทักษะการสร้างแบบจำลองมาใช้เป็นกรอบแนวคิดในการพัฒนาแบบทดสอบวัดทักษะการสร้างแบบจำลองของนักเรียน โดยมุ่งประเมินความสามารถของนักเรียนในการสร้าง ใช้ อธิบาย ทดสอบ และปรับปรุงแบบจำลองทางเคมี เพื่อสะท้อนระดับความเข้าใจของนักเรียนอย่างแท้จริง

การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-Based Learning) เป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งส่งเสริมให้ผู้เรียนมีบทบาทเชิงรุกในการสร้างและพัฒนาแบบจำลองอย่างเป็นระบบ โดยเริ่มจากการตรวจสอบความรู้เดิม การสร้างแบบจำลองทางความคิด การแสดงออกแบบจำลองในรูปแบบต่าง ๆ การอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นในชั้นเรียน ตลอดจนการทดสอบและปรับปรุงแบบจำลองอย่างต่อเนื่อง กระบวนการดังกล่าวช่วยให้นักเรียนสามารถพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีความหมาย และสามารถเชื่อมโยงความรู้ในระดับต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้น (Gobert & Buckley, 2000; Justi & Gilbert, 2002) ทั้งนี้ กระบวนการจัดการเรียนรู้นี้มีลักษณะเป็นลำดับขั้นตอนที่ชัดเจน สอดคล้องกับแนวคิดของชาตรี ฝ่ายคำตา และ ภรติพย์ สุภัทรชัยวงศ์ (2557) ที่เน้นว่าการจัดการเรียนรู้ควรดำเนินไปอย่างเป็นระบบ มีการเชื่อมโยงระหว่างการสร้างความรู้ การปฏิบัติ และการสะท้อน

คิดของผู้เรียนอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในเนื้อหาวิชาเคมี เช่น เรื่องพันธะโคเวเลนต์ ซึ่งเป็นแนวคิดที่มีความซับซ้อน และเกี่ยวข้องกับระดับอนุภาค การใช้การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานจะช่วยให้ผู้เรียนสามารถสร้างความเข้าใจจากสิ่งที่เป็นนามธรรมไปสู่รูปธรรมได้อย่างเป็นระบบ และช่วยลดปัญหาความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการเรียนรู้

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลอง เรื่อง พันธะโคเวเลนต์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-Based Learning) เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดทางเคมีที่เป็นนามธรรมอย่างมีความหมาย สามารถเชื่อมโยงความรู้ในระดับมหภาค จุลภาค และสัญลักษณ์ และพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

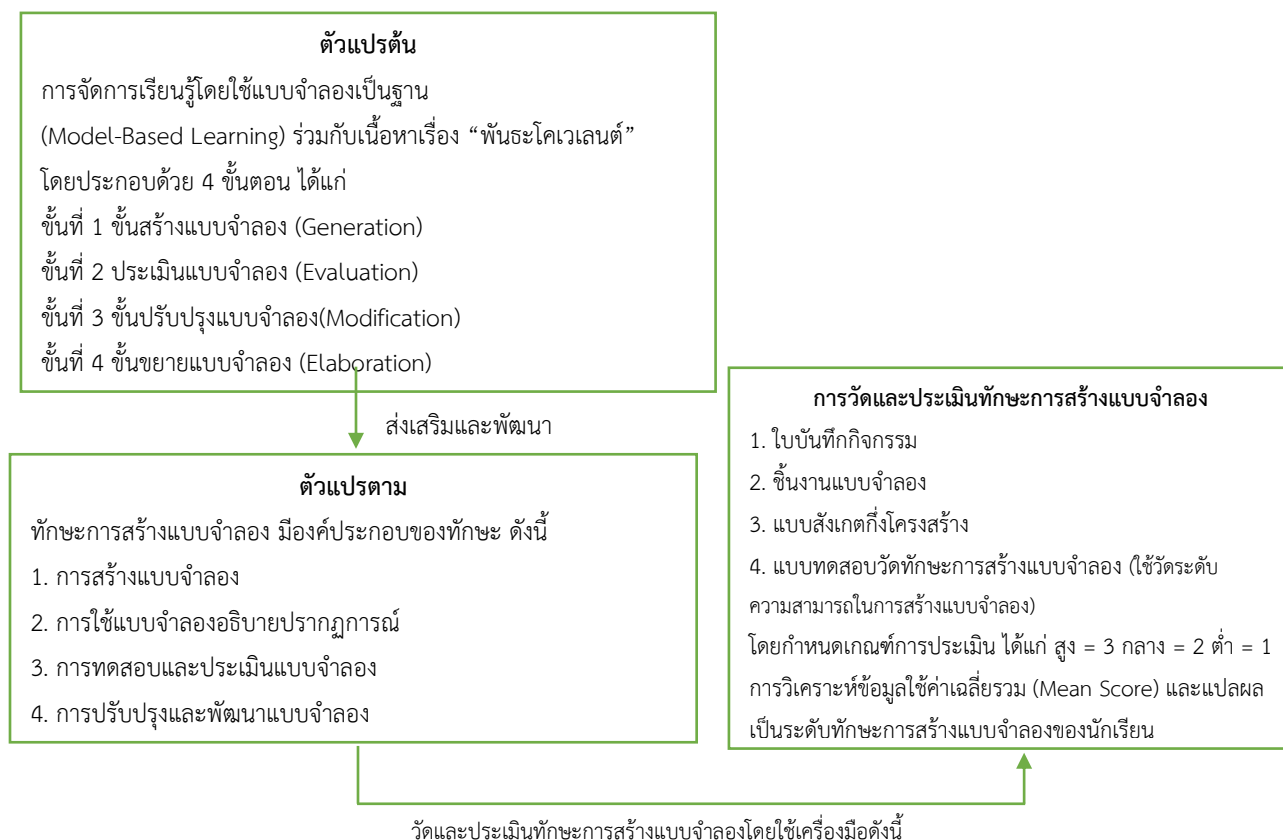
เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องพันธะโคเวเลนต์ โดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-Based Learning)

3. สมมติฐานการวิจัย

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-Based Learning) เรื่องพันธะโคเวเลนต์ มีทักษะการสร้างแบบจำลองหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

4. กรอบแนวคิดการวิจัย

ผู้วิจัยกำหนดกรอบแนวคิดการวิจัยตามแนวคิดของชาตรี ฝ่ายคำตา และ ฤทธิ์พัย สุภัทรชัยวงศ์ (2557) โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานกับทักษะการสร้างแบบจำลองของนักเรียน ดังนี้



ภาพ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

ที่มา : ชาตรี ฝ่ายคำตา และกรทิพย์ สุภัทรชัยวงศ์ (2557)

5. วิธีการวิจัย

5.1 กลุ่มที่ศึกษา

กลุ่มที่ศึกษา ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/3 โรงเรียนอุดรพิชัยรักษ์พิทยา อำเภอเมืองอุดรธานี จังหวัดอุดรธานี ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 39 คน ประกอบด้วยนักเรียนชาย 20 คน และนักเรียนหญิง 19 คน ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เนื่องจากเป็นห้องเรียนที่ผู้วิจัยรับผิดชอบการจัดการเรียนรู้ ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ผู้วิจัยแบ่งนักเรียนออกเป็น 6 กลุ่ม กลุ่มละ 6 – 7 คน เพื่อใช้ในการทำกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ทั้งนี้ การวิเคราะห์ข้อมูลดำเนินการในระดับรายบุคคล โดยใช้ข้อมูลจากใบบันทึกกิจกรรม ชิ้นงานแบบจำลอง แบบสังเกตกึ่งโครงสร้าง และแบบทดสอบวัดทักษะการสร้างแบบจำลอง จากนั้นนำผลคะแนนมาจัดกลุ่มตามระดับความสามารถ ได้แก่ สูง ปานกลาง และต่ำ เพื่อใช้ในการสรุปและนำเสนอผลการวิจัยในภาพรวมของผู้เรียน

5.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ เครื่องมือที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

5.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้

แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง พันธะโคเวเลนต์ โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-based learning) ซึ่งมี 4 ขั้นตอน คือ 1) การสร้างแบบจำลอง (Generation) 2) การประเมินและดัดแปลงแบบจำลอง (Evaluation) 3) การดัดแปลงแก้ไขแบบจำลอง (Modification) 4) การขยายแบบจำลอง (Elaboration)

การจัดการเรียนรู้ดังกล่าวมุ่งส่งเสริมให้นักเรียนเกิดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับ เรื่อง พันธะโคเวเลนต์ โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนสร้าง อธิบาย ประเมิน และปรับปรุงแบบจำลองผ่านกิจกรรมการเรียนรู้ต่าง ๆ ซึ่งมีขั้นตอนในการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ ดังนี้

1) ศึกษาลักษณะการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน จากเอกสาร ตำรา บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-based Learning) ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ประกอบด้วยขั้นตอนย่อย 4 ขั้นตอน ตามแนวคิดของชาตรี ฝ่ายคำตา และภรติพย์ สุภัทรชัยวงศ์ (2557) ได้แก่

ขั้นที่ 1 ขั้นสร้างแบบจำลอง (Generation) เปิดโอกาสให้ผู้เรียนสร้างแบบจำลองทางความคิดของตนเองให้ได้มากที่สุด โดยครูจะทำหน้าที่กระตุ้นและสร้างความสนใจให้ผู้เรียนด้วยคำถาม สื่อ หรือกิจกรรมเพื่อให้ผู้สังเกต และสร้างแบบจำลองทางความคิดจากความรู้เดิม สำหรับใช้อธิบายหรือทำนายปรากฏการณ์ต่าง ๆ

ขั้นที่ 2 ประเมินแบบจำลอง (Evaluation) ครูกระตุ้นผู้เรียนให้เกิดการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ และประเมินความสอดคล้องของแบบจำลองที่สร้างขึ้นกับหลักฐานเชิงประจักษ์ โดยใช้กระบวนการสำรวจและค้นหาข้อเท็จจริง เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้ค้นพบในระหว่างจัดการเรียนรู้กับแบบจำลองที่สร้างขึ้นในขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง

ขั้นที่ 3 ขั้นปรับปรุงแบบจำลอง (Modification) ผู้เรียนทำการปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองที่เห็นว่าไม่สามารถเป็นตัวแทนทางความคิด จนเกิดการสร้างแบบจำลองที่สมบูรณ์ สามารถอธิบายข้อมูลได้ถูกต้อง และเป็นตัวแทนในการอธิบายหรือทำนายปรากฏการณ์ได้

ขั้นที่ 4 ขยายแบบจำลอง (Elaboration) ผู้เรียนใช้แบบจำลองที่ผ่านการดัดแปลงแก้ไข ประกอบการอธิบาย และทำนายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติหรือสถานการณ์อื่น ๆ ที่ใกล้เคียง

2) ศึกษาเนื้อหาในรายวิชาเคมี (ว31221) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง พันธะโคเวเลนต์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของบทที่ 3 พันธะเคมี ในหน่วยการเรียนรู้ที่ 3

2.1) ศึกษาผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 โดยศึกษาผลการเรียนรู้ และสาระการเรียนรู้ เรื่อง พันธะโคเวเลนต์

2.2) ออกแบบแผนและสร้างการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-based learning) เรื่อง พันธะโคเวเลนต์ จำนวน 4 แผนการจัดการเรียนรู้ ใช้เวลา 12 ชั่วโมง โดยมีเนื้อหา ดังนี้

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 การเกิดพันธะโคเวเลนต์	3 ชั่วโมง
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 สูตรโมเลกุลและชื่อของสารโคเวเลนต์	3 ชั่วโมง
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 รูปร่างและสภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์	3 ชั่วโมง
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 สารโคเวเลนต์โครงสร้างตาข่าย	3 ชั่วโมง

2.3) นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อตรวจสอบความเหมาะสม ความตรงของเนื้อหา และรูปแบบการจัดการเรียนรู้

2.4) ปรับปรุงและพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ตามข้อเสนอแนะของอาจารย์ที่ปรึกษา

2.5) ผู้วิจัยนำแผนการจัดการเรียนรู้เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา ความเหมาะสมของกิจกรรมการเรียนรู้ และความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การวิจัย จากนั้นนำผลการประเมินมาหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item–Objective Congruence: IOC) พบว่าแผนการจัดการเรียนรู้มีค่า IOC เท่ากับ 1.00 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ 0.67 แสดงว่าแผนการจัดการเรียนรู้มีความเหมาะสม และได้นำข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญมาปรับปรุงก่อนนำไปใช้จริง

2.6) นำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้กับกลุ่มที่ศึกษา โดยดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ครบทั้ง 4 แผนการจัดการเรียนรู้

2.7) ภายหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ผู้วิจัยนำข้อมูลจากใบบันทึกกิจกรรมมาใช้ในการสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ และพัฒนาการด้านทักษะการสร้างแบบจำลองของผู้เรียน

5.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

ประกอบด้วยใบบันทึกกิจกรรม แบบสังเกตกึ่งโครงสร้าง ชิ้นงานแบบจำลอง และแบบทดสอบวัดทักษะการสร้างแบบจำลอง

1) ใบบันทึกกิจกรรม เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล และใช้ในช่วงการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้ให้นักเรียนได้บันทึกคำตอบหรือแสดงแนวคิดในประเด็นต่าง ๆ อาจจะสะท้อนถึงทักษะการสร้างแบบจำลองของนักเรียน ใช้ในการบันทึกกิจกรรมการทำงานของนักเรียน โดยเก็บใบบันทึกกิจกรรมที่นักเรียนทำในช่วงการจัดการเรียนรู้ทั้ง 4 แผนการจัดการเรียนรู้ และนำใบบันทึกกิจกรรมมาสะท้อนการจัดการเรียนรู้ในแต่ละครั้ง

2) ชิ้นงานแบบจำลอง เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการปฏิบัติกิจกรรมของนักเรียนในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ โดยใช้เกณฑ์การประเมินแบบรูบริกเพื่อประเมินทักษะการสร้างแบบจำลอง และใช้เป็นหลักฐานแสดงระดับความสามารถของนักเรียน

3) แบบสังเกตกึ่งโครงสร้าง เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับพัฒนาการในการสร้างแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนที่มีความน่าสนใจ และวิเคราะห์แบบสังเกตกึ่งโครงสร้าง เพื่อตรวจสอบว่านักเรียนมีพัฒนาการในทักษะการสร้างแบบจำลองอย่างไร ซึ่งผู้วิจัยจะสังเกตชิ้นงานแบบจำลองของนักเรียนจากการนำเสนอชิ้นงาน สังเกตในขณะที่ทำชิ้นงาน จากนั้นนำผลการสังเกตมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาพัฒนาการในทักษะการสร้างแบบจำลอง

4) แบบทดสอบวัดทักษะการสร้างแบบจำลอง เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความสามารถของนักเรียนในการสร้างและใช้แบบจำลอง เพื่อประเมินระดับทักษะการสร้างแบบจำลองของนักเรียน

5.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินเก็บข้อมูล โดยใช้เครื่องมือที่สร้างขึ้น มีขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลดังนี้

5.3.1 ก่อนการดำเนินการเก็บข้อมูล ผู้วิจัยปฐมนิเทศนักเรียน จากนั้นนักเรียนลงมือทำแบบทดสอบวัดทักษะการสร้างแบบจำลอง เพื่อนำคะแนนมาวิเคราะห์เป็นคะแนนก่อนเรียน ชี้แจงจุดประสงค์ในการจัดการเรียนรู้ เนื้อหาสาระ เรื่อง พันธะโคเวเลนต์ โดยจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-based learning) เพื่อดูทักษะการสร้างแบบจำลอง ซึ่งในขั้นนี้ผู้วิจัยไม่ได้นำเสนอความเข้าใจเรื่องทักษะการสร้างแบบจำลองให้นักเรียนทราบ เพื่อให้เป็นไปตามธรรมชาติหรือตามสภาพจริงที่เป็นอยู่ (Natural Setting) ของนักเรียนในช่วงจัดกิจกรรมการเรียนรู้ จากนั้นผู้วิจัยเตรียมเครื่องมือในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ได้แก่

แผนการจัดการเรียนรู้ สื่อประกอบการสอน และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ ใบบันทึกกิจกรรม การถามตอบ ผู้วิจัยเตรียมสถานที่ในการจัดการเรียนการสอน ห้องปฏิบัติการสำหรับจัดกิจกรรม

5.3.2 ขั้นตอนกิจกรรมการเรียนรู้ ผู้วิจัยศึกษารายละเอียดของแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง พันธะ โคเวเลนต์ ซึ่งจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-based learning) เพื่อศึกษาทักษะการ สร้างแบบจำลองของนักเรียนอย่างละเอียด โดยผู้วิจัยทำความเข้าใจเป้าหมายของการศึกษาทักษะการสร้าง แบบจำลอง รวมถึงพฤติกรรมของนักเรียนที่บ่งชี้ถึงความสามารถด้านดังกล่าว เพื่อนำไปใช้ในการสังเกตพฤติกรรม ของนักเรียนอย่างรอบคอบ จากนั้น ผู้วิจัยดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้แก่กลุ่มผู้เข้าร่วมการวิจัย โดยใช้ แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง พันธะโคเวเลนต์ โดยจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน จำนวน 4 แผน เวลา 12 ชั่วโมง ทั้งนี้ ผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยตนเองในฐานะนักศึกษาปฏิบัติการสอนใน สถานศึกษา และใช้แบบสังเกตถึงโครงสร้างในการบันทึกพฤติกรรมและปฏิสัมพันธ์ระหว่างการจัดกิจกรรมการ เรียนรู้ นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมใบบันทึกกิจกรรมเพื่อนำมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลจากแบบสังเกตถึง โครงสร้าง เพื่อใช้สะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ในแต่ละครั้ง และนำข้อมูลที่ได้อามาตีความทักษะการสร้างแบบจำลอง ของนักเรียนตามเกณฑ์การประเมินที่กำหนดไว้

5.3.3 ขั้นสิ้นสุดการเรียนรู้ ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลตามขั้นตอนที่กำหนด โดยให้นักเรียน ทำแบบทดสอบวัดทักษะการสร้างแบบจำลองชุดเดียวกับก่อนเรียน เพื่อนำคะแนนที่ได้มาใช้เป็นคะแนนหลังเรียน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือทั้งหมดมาวิเคราะห์ตามวิธีการที่กำหนด เพื่อศึกษาพัฒนาการด้านทักษะการ สร้างแบบจำลองของนักเรียน และสรุปผลการวิจัยในภาพรวม

5.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณจากการจัดการเรียนรู้ทั้งระหว่าง เรียนและหลังเรียน โดยแบ่งการวิเคราะห์ตามเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล (กนกภรณ์, 2563) ทั้งนี้ การวิเคราะห์ ข้อมูลยึดกรอบแนวคิดกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ 4 ด้าน ได้แก่ การสร้างแบบจำลอง การ ประเมินแบบจำลอง การปรับปรุงแบบจำลอง และการขยายแบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลจากเครื่องมือทั้ง 4 ประเภท ในการวิเคราะห์ รายละเอียดดังนี้

5.4.1 แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้

ผู้วิจัยนำข้อมูลจากแบบบันทึกและการสังเกตระหว่างการจัดการเรียนรู้มาวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content Analysis) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) จัดระเบียบและตรวจสอบความครบถ้วนของข้อมูล

2) จัดหมวดหมู่ข้อมูลตามประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน และการพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลอง

3) วิเคราะห์และตีความข้อมูลโดยเชื่อมโยงกับการปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้

4) สรุปผลในลักษณะการบรรยายเพื่อสะท้อนการพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้

5.4.2 แบบสังเกตกึ่งโครงสร้าง

ผู้วิจัยใช้แบบสังเกตกึ่งโครงสร้างในการบันทึกพฤติกรรมและปฏิสัมพันธ์ของนักเรียนระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยใช้กรอบแนวคิดกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ 4 ด้าน เป็นแนวทางในการสังเกตและวิเคราะห์พฤติกรรมของนักเรียน จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content Analysis) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) จัดระเบียบและเตรียมข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์

2) วิเคราะห์และจัดหมวดหมู่ข้อมูลตามองค์ประกอบของทักษะการสร้างแบบจำลองทั้ง 4 ด้าน

3) ตีความและจัดระดับทักษะการสร้างแบบจำลองของนักเรียน โดยปรับเกณฑ์จากแนวคิดของ Schwarz et al. (2009) แบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง ดังรายละเอียดในตาราง 1

ตาราง 1 แสดงระดับทักษะการสร้างแบบจำลอง

ระดับทักษะ การสร้างแบบจำลอง	รายละเอียด
ระดับต่ำ	นักเรียนแสดงทักษะการสร้างแบบจำลองได้ 1-2 ด้าน เช่น สามารถสร้างแบบจำลองเบื้องต้นได้ แต่ยังขาดการประเมินหรือปรับปรุงแบบจำลอง การอธิบายและการสื่อสารยังไม่ชัดเจน และต้องได้รับการช่วยเหลือในการแก้ปัญหาระหว่างการทำกิจกรรม
ระดับกลาง	นักเรียนแสดงทักษะการสร้างแบบจำลองได้ 3 ด้าน สามารถสร้างและปรับปรุงแบบจำลองได้บางส่วน มีการวางแผนและแก้ปัญหาร่วมกันภายในกลุ่ม แต่การสื่อสารและการนำเสนอแนวคิดยังไม่สมบูรณ์
ระดับสูง	นักเรียนแสดงทักษะการสร้างแบบจำลองครบทั้ง 4 ด้าน สามารถสร้าง ประเมิน ปรับปรุง และขยายแบบจำลองได้อย่างเหมาะสม มีการสื่อสาร แลกเปลี่ยนความ

ระดับทักษะ การสร้างแบบจำลอง	รายละเอียด
	คิดเห็น และนำเสนอแบบจำลองเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างชัดเจน

เกณฑ์การจัดระดับทักษะการสร้างแบบจำลองนี้พัฒนาขึ้นโดยผู้วิจัย โดยปรับจากแนวคิดกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของ Schwarz et al. (2009) ทั้งนี้ การจัดระดับทักษะดังกล่าวพิจารณาจากข้อมูลที่ได้จากแบบสังเกตกิจกรรมโครงสร้างและชิ้นงานแบบจำลองของนักเรียนเป็นหลัก

5.4.3 ชิ้นงานแบบจำลอง

ผู้วิจัยวิเคราะห์ชิ้นงานแบบจำลองของนักเรียนในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้เพื่อสะท้อนพัฒนาการของทักษะการสร้างแบบจำลอง โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) ตรวจสอบและประเมินชิ้นงานแบบจำลองของนักเรียนตามกรอบกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ 4 ด้าน
- 2) จัดหมวดหมู่ข้อมูลตามลักษณะของพัฒนาการของนักเรียน
- 3) สรุปผลในลักษณะการบรรยายเชิงพรรณนาเพื่อสะท้อนการเปลี่ยนแปลงของทักษะการสร้างแบบจำลองหลังการจัดการเรียนรู้

5.4.4 แบบทดสอบวัดทักษะการสร้างแบบจำลอง

ผู้วิจัยใช้แบบทดสอบวัดทักษะการสร้างแบบจำลองเพื่อประเมินความสามารถของนักเรียนตามกรอบกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ 4 ด้าน ได้แก่ การสร้างแบบจำลอง การประเมินแบบจำลอง การปรับปรุงแบบจำลอง และการขยายแบบจำลอง โดยดำเนินการดังนี้

- 1) ตรวจสอบให้คะแนนตามเกณฑ์การประเมินที่กำหนด
- 2) วิเคราะห์คะแนนโดยใช้ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- 3) วิเคราะห์และจัดระดับทักษะการสร้างแบบจำลองของนักเรียนตามกรอบกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ 4 ด้าน โดยใช้เกณฑ์เดียวกับเครื่องมืออื่นในการวิจัย

5.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

5.5.1 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณจากแบบทดสอบวัดทักษะการสร้างแบบจำลอง โดยใช้สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วน

เบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) เพื่ออธิบายระดับทักษะการสร้างแบบจำลองของนักเรียนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้

5.5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพจากแบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ แบบสังเกตกิจกรรม โครงสร้าง และชิ้นงานแบบจำลอง โดยใช้การวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content Analysis) ร่วมกับการตีความตามกรอบกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ 4 ด้าน ได้แก่ การสร้างแบบจำลอง การประเมินแบบจำลอง การปรับปรุงแบบจำลอง และการขยายแบบจำลอง เพื่อสะท้อนพัฒนาการของทักษะการสร้างแบบจำลองของนักเรียน

5.5.3 การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัย ผู้วิจัยตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ของเครื่องมือวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ แบบสังเกตกิจกรรม แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ และแบบทดสอบวัดทักษะการสร้างแบบจำลอง โดยให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่านประเมินความสอดคล้องระหว่างรายการประเมินกับวัตถุประสงค์การวิจัย จากนั้นนำผลการประเมินมาคำนวณค่าดัชนีความสอดคล้อง (Item Objective Congruence: IOC) ผลการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือพบว่า

- 1) แผนการจัดการเรียนรู้ มีค่า IOC เท่ากับ 1.00
- 2) แบบสังเกตกิจกรรม มีค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.80 – 1.00
- 3) แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ มีค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.78 – 1.00
- 4) แบบทดสอบวัดทักษะการสร้างแบบจำลอง มีค่า IOC เท่ากับ 1.00

ซึ่งค่าดังกล่าวสูงกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ($IOC \geq 0.67$) แสดงว่าเครื่องมือวิจัยทุกฉบับมีความสอดคล้องเชิงเนื้อหากับวัตถุประสงค์การวิจัย สามารถนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความน่าเชื่อถือ

6. ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง พันธะโคเวเลนต์ โดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-Based Learning) ผลการวิจัยนำเสนอ โดยแบ่งตามแหล่งข้อมูลและวัตถุประสงค์การวิจัย ดังนี้

6.1 ผลการพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองจากใบบันทึกกิจกรรม

ผลการวิเคราะห์ใบบันทึกกิจกรรมของนักเรียนทั้ง 6 กลุ่ม พบว่า นักเรียนมีพัฒนาการของทักษะการสร้างแบบจำลองเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกแผนการจัดการเรียนรู้

ตาราง 2 ผลคะแนนเฉลี่ยจากใบบันทึกกิจกรรมรายแผน

แผนการจัดการเรียน	คะแนนเฉลี่ยร้อยละ	ระดับพัฒนาการ
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์	66.53	ปานกลาง
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง สูตรโมเลกุลและชื่อของสารโคเวเลนต์	75.00	ค่อนข้างดี
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง รูปร่างโมเลกุลและสภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์	82.34	ดี
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 เรื่อง สารโคเวเลนต์โครงสร้างตาข่าย	95.34	ดีมาก

จากตาราง 2 ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า คะแนนเฉลี่ยของนักเรียนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสะท้อนว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานสามารถส่งเสริมพัฒนาการของทักษะการสร้างแบบจำลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6.2 ผลการพัฒนาทักษะจากแบบสังเกตกิจโครงสร้าง

ผลการวิเคราะห์แบบสังเกตกิจโครงสร้าง พบว่า นักเรียนทั้ง 6 กลุ่มมีพัฒนาการของทักษะการสร้างแบบจำลองเพิ่มขึ้นตามลำดับของการจัดการเรียนรู้ โดยสามารถสรุประดับทักษะในแต่ละแผนได้ดังนี้

ตาราง 3 ระดับทักษะจากแบบสังเกตกิจโครงสร้าง

แผนการจัดการเรียน	ระดับทักษะ
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์	ต่ำ
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง สูตรโมเลกุลและชื่อของสารโคเวเลนต์	ต่ำ - ปานกลาง
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง รูปร่างโมเลกุลและสภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์	ปานกลาง
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 เรื่อง สารโคเวเลนต์โครงสร้างตาข่าย	สูง

จากตาราง 3 ผลการวิเคราะห์สะท้อนให้เห็นว่า นักเรียนมีการพัฒนาจากระดับต่ำไปสู่ระดับสูงอย่างต่อเนื่อง แสดงถึงความก้าวหน้าของทักษะการสร้างแบบจำลองทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ การสร้างแบบจำลอง การประเมินแบบจำลอง การปรับปรุงแบบจำลอง และการขยายแบบจำลอง

6.3 ผลการพัฒนาทักษะจากแบบทดสอบวัดทักษะการสร้างแบบจำลอง

ผลการเปรียบเทียบคะแนนก่อนและหลังเรียนจากแบบทดสอบวัดทักษะการสร้างแบบจำลอง พบว่า นักเรียนมีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างชัดเจน

ตาราง 4 ผลคะแนนก่อนเรียน - หลังเรียน

การทดสอบ	N	M	SD	t	p-value
ก่อนเรียน	39	2.36	0.95	26.514**	< .001
หลังเรียน	39	8.05	1.23		

จากตาราง 4 ผลการวิเคราะห์พบว่า คะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ($p < .01$) แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานสามารถพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

7. อภิปรายผล

การพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง พันธะโคเวเลนต์ โดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-Based Learning) พบว่า นักเรียนมีพัฒนาการของทักษะการสร้างแบบจำลองเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยผลการประเมินจากแบบทดสอบวัดทักษะการสร้างแบบจำลองพบว่า คะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวสามารถส่งเสริมความสามารถของผู้เรียนในการสร้างแบบจำลอง ประเมินแบบจำลอง ปรับปรุงแบบจำลอง และขยายแบบจำลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้สะท้อนว่าการเรียนรู้ที่เน้นการลงมือปฏิบัติและการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาทักษะดังกล่าว

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพจากใบบันทึกกิจกรรม แบบสังเกตกิจโครงสร้าง และชิ้นงานแบบจำลอง พบว่า นักเรียนมีพัฒนาการจากระดับต่ำไปสู่ระดับสูงอย่างเป็นลำดับ โดยในระยะแรกผู้เรียนยังมีข้อจำกัดในการสร้างแบบจำลองและการแก้ไขปัญหาระหว่างการทำกิจกรรม แต่เมื่อได้รับการจัดการเรียนรู้แบบต่อเนื่อง นักเรียนเริ่มสามารถแลกเปลี่ยนความคิดเห็นภายในกลุ่ม ประเมินความถูกต้องของแบบจำลอง และปรับปรุงแบบจำลองให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับกรอบแนวคิดกระบวนการสร้างแบบจำลองทาง

วิทยาศาสตร์ของ Schwarz et al. (2009) ที่อธิบายว่าการสร้างแบบจำลองเป็นกระบวนการแบบวนซ้ำระหว่างการสร้างแบบจำลอง การประเมินแบบจำลอง การปรับปรุงแบบจำลอง และการขยายแบบจำลอง

ผลการวิจัยสามารถอธิบายได้ว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-Based Learning) ช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดการเผชิญปัญหาทางความคิด (cognitive conflict) และการอภิปรายเชิงเหตุผลทางวิทยาศาสตร์ภายในกลุ่ม ส่งผลให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในแนวคิดที่เป็นนามธรรมมากขึ้น โดยเฉพาะเรื่องพันธะโคเวเลนต์ ซึ่งมีลักษณะเป็นนามธรรมสูง การใช้แบบจำลองช่วยแปลงแนวคิดเชิงนามธรรมให้เป็นรูปธรรมทำให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจและเชื่อมโยงความรู้ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fortus et al. (2010) และ Lee et al. (2013) ที่พบว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานช่วยส่งเสริมทักษะการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ การคิดเชิงระบบ และการสร้างความเข้าใจเชิงแนวคิดได้ดีกว่าการเรียนรู้แบบดั้งเดิม อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชาตรี ฝ่ายคำตา และภรติพย์ สุภัทรชัยวงศ์ (2557) ที่ชี้ว่าการเรียนรู้ผ่านการสร้างแบบจำลองช่วยให้ผู้เรียนเกิดการมีส่วนร่วมทางปัญญาและเกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมาย ซึ่งสนับสนุนว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองของผู้เรียนอย่างเป็นระบบ

8. ข้อเสนอแนะ

8.1 ในการนำผลการวิจัยไปใช้

ในการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-Based Learning) ครูควรออกแบบคำถามกระตุ้นทางความคิดในขั้นสร้างแบบจำลอง (Generation) เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนสร้างแบบจำลองทางความคิดที่หลากหลายและใกล้เคียงกันมากขึ้น ทั้งนี้ในขั้นประเมินแบบจำลอง (Evaluation) สามารถใช้สื่อสนับสนุน เช่น วิดีโอหรือสื่อออนไลน์ เพื่อช่วยให้นักเรียนตรวจสอบความสอดคล้องของแบบจำลองกับปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีเหตุผล ส่วนในขั้นปรับปรุงแบบจำลอง (Modification) ครูควรให้คำแนะนำเชิงสะท้อนกลับ (feedback) เพื่อสนับสนุนการแก้ไขแบบจำลองอย่างมีทิศทาง และในขั้นขยายแบบจำลอง (Elaboration) ควรออกแบบกิจกรรมให้นักเรียนประยุกต์ใช้แบบจำลองกับสถานการณ์หรือเนื้อหาใกล้เคียง เพื่อส่งเสริมการถ่ายโอนการเรียนรู้

ผลการวิจัยชี้ว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานสามารถพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น ครูผู้สอนในรายวิชาอื่นสามารถนำแนวทางดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้ เพื่อส่งเสริมการพัฒนาทักษะการคิดเชิงวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน

การนำรูปแบบการจัดการเรียนรู้ไปใช้ควรคำนึงถึงความเข้าใจในโครงสร้างและขั้นตอนของกระบวนการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานอย่างชัดเจน เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับบริบทของผู้เรียน

8.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

ควรขยายการศึกษาการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานไปยังเนื้อหาเคมีอื่น เช่น สารละลายและเซลล์เคมีไฟฟ้า เพื่อศึกษาความคงทนและความสม่ำเสมอของผลการพัฒนาทักษะการสร้างแบบจำลองภายใต้บริบทการเรียนรู้ที่หลากหลาย

ควรนำรูปแบบการจัดการเรียนรู้ไปประยุกต์ใช้ในรายวิชาและระดับชั้นที่หลากหลาย เช่น ชีววิทยาหรือวิทยาศาสตร์ทั่วไป เพื่อศึกษาความเหมาะสมของรูปแบบในบริบทที่แตกต่างกัน

ควรพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ร่วมกับเทคโนโลยี เช่น แบบจำลองสามมิติหรือสื่อดิจิทัลเชิงโต้ตอบ เพื่อส่งเสริมความเข้าใจเชิงนามธรรมและเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้

9. เอกสารอ้างอิง

- Coll, C. (1999). Constructivismo y educación: La concepción constructivista de la enseñanza y el aprendizaje. In C. Coll, J. Palacios, & A. Marchesi (Eds.), *Desarrollo psicológico y educación II: Psicología de la educación* (pp. 157–188). Alianza Editorial.
- Fortus, D., Schwartz, Y., & Rosenfeld, S. (2016). High school students' meta-modeling knowledge. *Research in Science Education*, 46, 787–810. <https://doi.org/10.1007/s11165-015-9480-z>
- Glynn, S. M., & Duit, R. (1995). Learning science meaningfully: Constructing conceptual models. In S. M. Glynn & R. Duit (Eds.), *Learning science in the schools: Research reforming practice* (pp. 3–33). Lawrence Erlbaum Associates.
- Gobert, J. D., & Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891–894.
- Greenbowe, T. J. (2003). *Virtual chemistry laboratory simulations*. Department of Chemistry, Iowa State University.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701–705.

- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2002). Models and modelling in chemical education. In J. K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. F. Treagust, & J. H. Van Driel (Eds.), *Chemical education: Towards research-based practice* (pp. 47–68). Springer.
- Lee, H.-S., Liu, O. L., & Linn, M. C. (2013). Validating measurement of knowledge integration in science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 206–237.
<https://doi.org/10.1002/tea.21088>
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. S. (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>
- ชาตรี ฝ่ายคำตา และกรทิพย์ สุภัทรชัยวงศ์. (2557). การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-based learning). *วารสารศึกษาศาสตร์ปริทัศน์*, 29(3), 86–99.