

**การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน  
เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางความคิด  
เรื่อง โครงสร้างอะตอมและความเข้าใจธรรมชาติของ  
แบบจำลองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4**

Using Model-Based Learning for Enhancing Mental Model of  
Atomic Structure and Understandings of the Nature of Model  
of 10<sup>th</sup> Grade Students

กรทิพย์ สุภัทรชัยวงศ์<sup>1</sup> ชาตรี ฝ่ายคำตา<sup>2</sup> และพจนารถ สุวรรณรุจิ<sup>3</sup>

**บทคัดย่อ**

การวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียนนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานที่สามารถส่งเสริมแบบจำลองทางความคิดเรื่องโครงสร้างอะตอมและความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 26 คน ของโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดกลางแห่งหนึ่งทางภาคใต้ ดำเนินการจัดการเรียนรู้ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556 เก็บข้อมูลเชิงลึกโดยใช้แบบวัดแบบจำลองทางความคิดเรื่องโครงสร้างอะตอม แบบวัดความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลอง อนุทินสะท้อนความคิดของนักเรียนและบันทึกหลังสอนของผู้วิจัยซึ่งทำหน้าที่เป็นครูผู้สอน วิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยการตีความและสร้างข้อสรุปแบบอุปนัย ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อนักเรียนได้

---

<sup>1</sup> นักศึกษาปริญญาโท (วิทยาศาสตร์ศึกษา) คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

<sup>2</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

<sup>3</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Corresponding author, e-mail: supat\_suwit@hotmail.com

เรียนรู้จากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน นักเรียนส่วนใหญ่มีแบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้องและสอดคล้องกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และมีความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองอยู่ในกลุ่มที่สอดคล้องกับแนวคิดที่นักวิทยาศาสตร์ยอมรับเพิ่มขึ้นในทุกประเด็นที่ศึกษา โดยลักษณะการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานในเรื่องโครงสร้างอะตอมมีการสร้างสถานการณ์ที่น่าสนใจเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนสร้างแบบจำลองทางความคิด ร่วมกับการใช้คำถามเพื่อตรวจสอบความรู้เดิม รวมไปถึงมีการใช้สื่อการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนเชื่อมโยงเนื้อหาเคมีทั้ง 3 ระดับ (ระดับมหภาค จุลภาค และสัญลักษณ์) สำหรับในแนวคิดที่เป็นนามธรรมมีการใช้กิจกรรมอุปมาในการจัดการเรียนรู้ และมีการสอดแทรกกิจกรรมที่สะท้อนธรรมชาติของแบบจำลองร่วมกับการอภิปรายจุดเด่นและข้อจำกัดของแบบจำลองเพื่อให้นักเรียนเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองและนำไปสู่ความเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

**คำสำคัญ:** การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน, แบบจำลองทางความคิด, ความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลอง, โครงสร้างอะตอม

## Abstract

This classroom action research was aimed to investigate how model-based learning activities in the topic of atomic structure enhanced high school students' mental models and their understandings of the nature of model (NOM). The participants were 26 tenth grade students from a secondary school in the first semester of 2013 academic year. Data were gathered by Atomic Mental Model Survey (AMMS), Understandings of NOM questionnaire, student journal writing and teacher reflective journals. Inductive process was used to analyze all data. The results indicated that the model-based learning activities could enhance students' correct mental model and informed understandings of NOM. The learning process through model-based learning activities could encourage students to produce their mental models, challenge students with questions to investigate their prior knowledge. It was also found that learning media in the activities could help students to connect the three levels of chemistry (macroscopic, submicroscopic and symbolic levels) and analogy learning activities could be alternative ways for teaching the abstract concept like atomic structure. Discussion on the key features and scopes of model during model-based learning activities could reflect the nature of model.

**Keywords:** Model-Based Learning, Mental Model, Understanding of the Nature of model, Atomic Structure

## บทนำ

เคมีเป็นศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับสารและการเปลี่ยนแปลงของสารทั้งในระดับอะตอมและโมเลกุล ซึ่งเนื้อหาส่วนใหญ่เป็นนามธรรม โดยนักเคมีจะอธิบายการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของสารใน 3 ระดับ (Johnstone, 1993) ได้แก่ ระดับมหภาค ระดับจุลภาค และระดับสัญลักษณ์ โดย ระดับมหภาค (Macroscopic Level) เป็นการกล่าวถึงปรากฏการณ์ทางเคมีที่เกิดขึ้นจริงและสัมผัสได้ เช่น การเกิดสนิมเหล็ก ระดับจุลภาค (Sub-microscopic Level) เป็นการอธิบายปรากฏการณ์ทางเคมีที่เกิดขึ้นจริงแต่ไม่สามารถมองเห็นได้เพราะจะกล่าวถึงโมเลกุลอะตอมและอิเล็กตรอน เช่น การเกิดสนิมเหล็ก เกิดจากเหล็กถูกปล่อยไว้ในอากาศชื้นจะทำปฏิกิริยากับอะตอมของออกซิเจนในอากาศเกิดเป็นไฮเดรตไอร่อนออกไซด์ (สนิม) และระดับสัญลักษณ์ (Symbolic Level) จะเป็นสิ่งที่เชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างระดับมหภาคและระดับจุลภาค เช่น สัญลักษณ์ของธาตุ สูตรเคมีและสมการเคมี เช่น สมการเคมีแสดงการเกิดสนิมเหล็ก  $4\text{Fe(s)} + 3\text{O}_2\text{(g)} + 3\text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O(s)}$  ซึ่งนักเคมีมักจะสร้างแบบจำลอง (Models) ขึ้นมาเพื่ออธิบายและทำความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมของสารและการเปลี่ยนแปลงของสารเหล่านั้น (Justi and Gilbert, 2002) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระดับจุลภาคเพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น เช่น การอธิบายโครงสร้างของ DNA โดยใช้การบรรยายอาจทำให้ยากต่อการเข้าใจและไม่สามารถนึกภาพได้ชัดเจน จึงเกิดแบบจำลอง Watson and Crick ที่ใช้อธิบายโครงสร้างของ DNA ที่ทำให้เข้าใจได้ง่ายมากขึ้น หรือการใช้แบบจำลองอะตอมที่อธิบายลักษณะโครงสร้างของอะตอมให้เป็นรูปธรรมมากขึ้น (Coll, 2006) การเรียนรู้และเข้าใจแบบจำลองจึงเป็นหัวใจสำคัญอย่างหนึ่งของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ซึ่งจะเห็นได้จากการนำแบบจำลองมาใช้ในการเรียนวิทยาศาสตร์แทบทุกสาขาวิชา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวิชาเคมี มีการใช้แบบจำลองที่หลากหลายทั้งนี้เพราะเนื้อหาวิชาเคมีส่วนใหญ่ค่อนข้างซับซ้อนยากต่อการทำความเข้าใจ แต่หากนักเรียนเข้าใจแบบจำลองและการสร้างแบบจำลองก็จะสามารถเข้าใจแนวคิดในวิชาเคมีได้ง่ายขึ้น ดังคำกล่าวของ Coll (1999) ที่ว่า “เป็นการยากที่จะเข้าใจวิชาเคมี หากปราศจากความเข้าใจแบบจำลองและกระบวนการสร้างแบบจำลอง” โดยแบบจำลองที่นักเคมีสร้างขึ้นมานั้นจะแสดงให้เห็นภาพที่อยู่ในสมอง โดยจะมีลักษณะเฉพาะของแต่ละบุคคลหรือที่เรียกว่าแบบจำลองทางความคิด (Mental Model) ซึ่งแบบจำลองทางความคิดที่นักเคมีสร้างขึ้นก็จะมี การนำเสนอให้ผู้อื่นได้รับรู้ในหลายรูปแบบ เช่น

สิ่งของที่เป็นรูปธรรมคำพูดหรือภาพวาด ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะเรียกว่าแบบจำลองที่แสดงออก (Expressed Model) และถ้าหากแบบจำลองที่แสดงออกมาผ่านการตรวจสอบจนเป็นที่ยอมรับของประชาคมวิทยาศาสตร์ก็จะถูกพัฒนาไปเป็นแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Model) ที่มีความถูกต้องและสมบูรณ์ (Gilbert, 2005) ดังนั้นเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ในวิชาเคมีจึงมุ่งเน้นให้นักเรียนคิดอย่างนักเคมีหรือนักวิทยาศาสตร์ รวมทั้งให้นักเรียนเข้าใจแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อย่างถ่องแท้ กล่าวคือ มีแบบจำลองทางความคิดที่สอดคล้องกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ สร้างและใช้แบบจำลองเพื่อทำนายหรืออธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ตลอดจนเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลอง (Nature of Model) (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2546) อันเป็นแนวทางที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการพัฒนาองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Coll, France and Taylor, 2005)

ตามหลักของธรรมชาติของแบบจำลองนั้น แบบจำลองถือว่าเป็นสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อเป็นตัวแทนของสิ่งอื่นๆ ไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์จึงไม่ใช่ของจริง (Artificial) แต่สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นตัวแทนของแนวคิดหรือปรากฏการณ์ทางธรรมชาติเท่านั้น ดังนั้นการใช้แบบจำลองจึงต้องมีการตีความหมาย (Interpret) เพื่อทำความเข้าใจในสิ่งที่เป็เป้าหมายที่ต้องการศึกษา (Gilbert and Ireton, 2003) แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์จึงจัดเป็นส่วนหนึ่งขององค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ถ้าหากนักเรียนเข้าใจว่าแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์คืออะไร ได้มาอย่างไรและมีขอบเขตและข้อจำกัดอย่างไรบ้าง ก็จะทำให้นักเรียนเข้าใจลักษณะของความรู้ทางวิทยาศาสตร์ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนรู้ธรรมชาติวิทยาศาสตร์ (Lederman et al., 2002) จากความสำคัญเกี่ยวกับบทบาทธรรมชาติของแบบจำลองที่ช่วยให้นักเรียนเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ทำให้มีการศึกษาความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองของนักเรียนทั้งในประเทศและต่างประเทศซึ่งพบประเด็นต่างๆ ที่นักเรียนมีความเข้าใจไม่สอดคล้องกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ยกตัวอย่างเช่น นักเรียนมีความเข้าใจว่าแบบจำลองคือวัตถุหรือสิ่งของที่เป็นรูปธรรมเท่านั้นหรือแบบจำลองลอกเลียนแบบมาจากของจริง (ศุภกาญจน์ รัตนกร, 2552; Grosslight et al., 1991) จะเห็นได้ว่านักเรียนส่วนใหญ่ มีความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองที่ไม่สอดคล้องกับแนวคิดที่นักวิทยาศาสตร์ยอมรับ ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ครูต้องจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยการบูรณาการธรรมชาติของแบบจำลองเข้าไปในบทเรียนโดยเฉพาะอย่างยิ่งแนวคิดเรื่องโครงสร้างอะตอมซึ่งเป็น

พื้นฐานของการเรียนวิชาเคมีในเรื่องอื่นๆ และเอื้อต่อการสอดแทรกธรรมชาติของแบบจำลองเนื่องจากเนื้อหาเกี่ยวข้องกับทฤษฎีอะตอมที่มีการพัฒนาแบบจำลองมาอย่างยาวนาน สำหรับแนวคิดเรื่องโครงสร้างอะตอม ได้ถูกกำหนดไว้ในสาระที่ 3 เรื่องของสารและสมบัติของสารของหลักสูตรวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลายเป็นเนื้อหาแรก (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551) นั้นแสดงให้เห็นถึงความสำคัญและเป็นเนื้อหาที่จำเป็นสำหรับนักเรียนในการเรียนวิชาเคมีในระดับที่สูงขึ้น แต่จากการศึกษางานวิจัยพบว่าแนวคิดเรื่องโครงสร้างอะตอมเป็นแนวคิดที่ยากสำหรับนักเรียน เพราะเป็นนามธรรมและต้องอาศัยจินตนาการ ซึ่งนักเรียนยังมีแนวคิดทางเลือกและมีแบบจำลองทางความคิดที่ไม่สอดคล้องกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (ชาตรี ฝ้ายคำตา, 2551; Harrison and Treagust, 1996) ยกตัวอย่างเช่น นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจว่าอะตอมเป็นสิ่งที่มีความยืดหยุ่นบิดเบือนได้และแบ่งแยกได้เหมือนกับเซลล์ รวมถึงนักเรียนมักจะเข้าใจสับสนเกี่ยวกับคำต่างๆ เช่น คำว่า อะตอม อนุภาคและโมเลกุล ซึ่งสาเหตุที่นักเรียนมีแบบจำลองทางความคิดที่ไม่สอดคล้องกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์นี้ ส่วนหนึ่งมาจากการจัดการเรียนการสอนของครู ครูส่วนใหญ่ยอมรับว่าเนื้อหาเรื่องนี้ยากที่จะสอนให้นักเรียนมองเห็นภาพ ดังนั้นครูจึงมักสอนแนวคิดเรื่องโครงสร้างอะตอมแบบบรรยาย เพราะคิดว่าการสอนด้วยการอธิบายให้นักเรียนฟังอย่างตรงไปตรงมา น่าจะทำให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหามากขึ้น แต่กลับพบว่านักเรียนไม่ได้เข้าใจแนวคิดเรื่องนี้อย่างถ่องแท้และนักเรียนส่วนใหญ่มีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนไปจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

จากประสบการณ์ของผู้วิจัยในฐานะผู้สอนวิชาเคมีก็เผชิญกับปัญหาดังกล่าวเช่นกัน โดยผู้วิจัยได้มีโอกาสดูฝึกปฏิบัติการสอนในรายวิชาเคมีกับนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เป็นเวลา 1 ภาคการศึกษา โดยนักเรียนส่วนใหญ่ในห้องเรียนเป็นนักเรียนที่มีความสามารถในการเรียนวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดีและแทบทุกคนมักมีการเรียนกวดวิชาเพิ่มเติมจากการเรียนในห้องเรียน จึงทำให้บางครั้งนักเรียนละเลยการสอนของครูในชั้นเรียน เช่นเดียวกับในห้องเรียนของผู้วิจัยที่มักสอนวิชาเคมีแบบบรรยายเป็นหลัก โดยเฉพาะเรื่องโครงสร้างอะตอมเพราะผู้วิจัยเห็นว่าน่าจะเป็นเรื่องยากที่จะจัดกิจกรรมหรือการทดลองที่จะทำให้นักเรียนเข้าใจโครงสร้างของอะตอมและเห็นภาพเป็นรูปธรรมซึ่งหลังจากปฏิบัติการสอนพบว่านักเรียนส่วนใหญ่ไม่สามารถเชื่อมโยงกระบวนการสร้างแบบจำลองอะตอมของนักวิทยาศาสตร์แต่ละท่านได้และมองไม่เห็นความสำคัญของแบบจำลองที่นักวิทยาศาสตร์

สร้างขึ้น แต่กลับมองว่าแนวคิดเรื่องโครงสร้างอะตอมเป็นเรื่องที่ต้องใช้การท่องจำมากกว่าความเข้าใจ นักเรียนเข้ามาเรียนเพื่อรับฟังเนื้อหาตามที่ครูบอก ไม่มีโอกาสได้ใช้ความคิดสร้างสรรค์และลงมือสำรวจตรวจสอบอย่างนักเคมีหรือนักวิทยาศาสตร์ ส่งผลให้นักเรียนส่วนใหญ่ขาดความสนใจและไม่ให้ความสำคัญในการเรียนเรื่องนี้เท่าที่ควร ผู้วิจัยจึงคิดหาเหตุผลและวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยวิธีการหนึ่งที่จะช่วยแก้ปัญหา คือ การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เหมาะสม ซึ่งกระบวนการเรียนรู้เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนให้มีความถูกต้องและสอดคล้องกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดยจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน (Model-based Learning) สามารถพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนได้ และช่วยทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้จากการสร้างแบบจำลอง โดยเริ่มต้นจากการตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียนเพื่อสร้างแบบจำลองทางความคิด ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่นักเรียนสนใจศึกษา จากนั้นนักเรียนแสดงออกแบบจำลอง ในลักษณะของคำพูด รูปภาพและสัญลักษณ์ ต่อมานักเรียนทำการทดสอบและประเมินแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยการนำไปทดลองใช้ และประเมินดูว่าแบบจำลองที่นักเรียนสร้างขึ้นมานั้นสามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่ศึกษาได้หรือไม่ ถ้าแบบจำลองถูกปฏิเสธนักเรียนจะต้องกลับไปปรับปรุงหรือแก้ไขแบบจำลอง พร้อมทั้งนำแบบจำลองไปสร้างเพิ่มเติมหรือไปรวมกับแบบจำลองอื่นเพื่อขยายแนวคิดให้กว้างขึ้น (Buckley et al., 2004)

จากความสำคัญของเนื้อหาเรื่อง โครงสร้างอะตอม รวมถึงสภาพปัญหาการจัดการเรียนการสอน ประกอบกับจากการวิเคราะห์งานวิจัย ผู้วิจัยพบว่า มีการนำแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานไปใช้เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางความคิดและความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองในห้องเรียนน้อยมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานเพื่อพัฒนาแบบจำลองทางความคิดในเนื้อหาเรื่องโครงสร้างอะตอมและความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยงานวิจัยนี้จะเป็นงานวิจัยที่ศึกษาเชิงลึกไม่เพียงแต่ศึกษาผลของการนำวิธีการสอนดังกล่าวมาใช้เท่านั้น ดังนั้นผลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้จะเป็นข้อมูลในการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ให้กับครูผู้สอนวิทยาศาสตร์ นักวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา และผู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เพื่อเป็นประโยชน์แก่นักเรียนต่อไป

## คำถามการวิจัย

จุดประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ คือ การศึกษาลักษณะการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานเพื่อพัฒนาแบบจำลองทางความคิดเรื่องโครงสร้างอะตอมและความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยมีคำถามการวิจัยในงานวิจัยนี้ 2 ข้อ คือ

1. ลักษณะการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานเป็นอย่างไร ที่พัฒนาแบบจำลองทางความคิดเรื่องโครงสร้างอะตอมและความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองของนักเรียน
2. แบบจำลองทางความคิดเรื่องโครงสร้างอะตอมและความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองของนักเรียนเป็นอย่างไร เมื่อเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

## วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน (Classroom Action Research) ซึ่งผู้วิจัยในฐานะครูผู้สอนเป็นผู้ดำเนินการวิจัย โดยการวิจัยดังกล่าวเน้นการศึกษาเชิงลึกด้วยข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยมีขั้นตอนของการวิจัยประกอบด้วย 4 ขั้นตอนที่เป็นวงจรต่อเนื่องกันคือ 1) ขั้นวางแผน (Plan) โดยผู้วิจัยได้ศึกษาสภาพปัญหาการจัดการเรียนการสอนจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องรวมถึงตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียนที่ผ่านการเรียนเรื่องโครงสร้างอะตอมมาแล้วเพื่อนำข้อมูลมาพิจารณาประกอบการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน 2) ขั้นปฏิบัติ (Act) ผู้วิจัยนำแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานที่สร้างขึ้นไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน 3) ขั้นสังเกต (Observe) ในขณะที่ดำเนินกิจกรรมการเรียนการสอน ผู้วิจัยได้สังเกตพฤติกรรมต่างๆ ของนักเรียนที่มีต่อการทำกิจกรรมและการตอบคำถามในชั้นเรียนแล้วบันทึกข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในทุก ๆ ครั้งที่ดำเนินการสอน 4) ขั้นสะท้อนผล (Reflect) ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากการสังเกต การถอดบันทึกวิดีโอการจัดกิจกรรมการเรียนรู้และจากแบบบันทึกการจัดกิจกรรมการเรียนรู้รวมถึงอนุทินของนักเรียนในแต่ละครั้งมาทำการวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ในครั้งต่อไป

## กลุ่มที่ศึกษา

กลุ่มที่ศึกษาเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ จำนวน 1 ห้องเรียนของโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดกลางแห่งหนึ่งทางภาคใต้ซึ่งเป็นโรงเรียนที่มีคะแนนเฉลี่ยการทดสอบระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O-Net) ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 อยู่ในลำดับที่ 31 จาก 44 โรงเรียนของโรงเรียนในสังกัด ซึ่งเป็นคะแนนเฉลี่ยที่ต่ำกว่าคะแนนเฉลี่ยในระดับเขตพื้นที่และระดับประเทศ โดยนักเรียนกลุ่มที่ศึกษามีทั้งหมด 26 คน

## กิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานเรื่องโครงสร้างอะตอม

กิจกรรมประกอบด้วย 6 แนวคิด ได้แก่ แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และทฤษฎีอะตอมของดอลตัน แบบจำลองอะตอมของทอมสันและแบบจำลองอะตอมของรัทเทอร์ฟอร์ดเลอะอะตอม เลขมวลไอโซโทปและมวลอะตอมแบบจำลองอะตอมของโบร์ แบบจำลองอะตอมแบบกลุ่มหมอกและการจัดเรียงอิเล็กตรอนในอะตอมใช้เวลาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องโครงสร้างอะตอมจำนวนทั้งสิ้น 15 คาบ (50 นาทีต่อคาบ) รวมทั้งสิ้น 5 สัปดาห์ โดยมีรูปแบบของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ ขั้นสร้างแบบจำลองทางความคิด ขั้นแสดงออกแบบจำลอง ขั้นประเมินแบบจำลองและขั้นขยายแบบจำลอง

## เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แบบวัดแบบจำลองทางความคิดเรื่องโครงสร้างอะตอม ซึ่งเป็นข้อคำถามแบบปลายเปิดที่ให้นักเรียนวาดภาพและเขียนบรรยายพร้อมอธิบายเหตุผลประกอบกันจำนวน 9 ข้อ ซึ่งครอบคลุมแนวคิดเรื่องโครงสร้างอะตอมใน 6 ประเด็นหลัก คือ ความหมายของอะตอม ขนาดอะตอม รูปร่างของอะตอม กลุ่มหมอกอิเล็กตรอนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน และออร์บิทัล

2. แบบวัดความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองเป็นแบบวัดที่ประกอบด้วยข้อความที่ให้นักเรียนแสดงความคิดเห็นใน 3 ระดับ คือ เห็นด้วย ไม่แน่ใจและไม่เห็นด้วยพร้อมบรรยายเหตุผลประกอบ จำนวน 8 ข้อ โดยครอบคลุม 6 ประเด็น ได้แก่ ความหมายของแบบจำลอง ประเภทของแบบจำลองจุดประสงค์ของแบบจำลอง การออกแบบและการสร้างแบบจำลอง การเปลี่ยนแปลงแบบจำลองและความหลากหลายของแบบจำลอง

3. อนุทินสะท้อนความคิดของนักเรียน เป็นเครื่องมือที่ให้นักเรียนได้เขียนสิ่งที่ได้เรียนรู้และแสดงความรู้สึกและความคิดเห็นต่าง ๆ ที่มีต่อเนื้อหาที่เรียนและกิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละคาบ

4. แบบบันทึกหลังสอน ใช้ประกอบในแผนการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยเป็นผู้บันทึกผลจากการใช้กิจกรรมการเรียนรู้ภายหลังการจัดการเรียนรู้ในแต่ละแผนอย่างละเอียดโดยมีกรอบการบันทึก ดังนี้ การจัดการเรียนสอนที่นักเรียนสามารถเรียนรู้และไม่เรียนรู้หลักฐานที่แสดงว่านักเรียนเรียนรู้และไม่เรียนรู้ ปัญหาของการจัดการเรียนการสอนในแต่ละครั้ง สาเหตุของปัญหาและแนวทางการปรับปรุงการจัดการเรียนการสอนเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการปรับปรุงการจัดการเรียนการสอนครั้งต่อไป เครื่องมือทั้งหมดได้รับการตรวจสอบความตรงตามเนื้อหาจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน คือนักวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ นักวิทยาศาสตร์ศึกษาซึ่งเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาการศึกษาคณะศึกษาศาสตร์และครูผู้สอนรายวิชาเคมีระดับมัธยมศึกษาและนำไปทดลองใช้กับนักเรียนซึ่งมีบริบทคล้ายกับกลุ่มที่ศึกษาจำนวน 10 คน เพื่อตรวจสอบความเข้าใจทางด้านภาษาที่ใช้ การสื่อความหมายของคำชี้แจงต่าง ๆ ตลอดจนตรวจสอบเวลาที่เหมาะสม จากนั้นผู้วิจัยนำเครื่องมือมาปรับปรุงก่อนนำไปใช้จริง

### การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลในช่วงภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556 โดยดำเนินการดังนี้

1. ให้นักเรียนทำแบบวัดแบบจำลองทางความคิดเรื่องโครงสร้างอะตอมและแบบวัดความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองก่อนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยใช้เวลาในการทำแบบวัด 100 นาที

2. ผู้วิจัยนำแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานจำนวน 5 แผนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นไปใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน โดยมีการสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียน เมื่อสิ้นสุดการสอนในแต่ละแผน ผู้วิจัยบันทึกสิ่งที่สังเกตได้จากการจัดการเรียนรู้ โดยการถอดบันทึกภาพและเสียงจากวิดีโอรวมทั้งให้นักเรียนเขียนอนุทินสะท้อนความคิดในแต่ละคาบเพื่อนำมาเป็นแนวทางในการแก้ไขและปรับปรุงกิจกรรมการสอนในครั้งต่อไป

3. ภายหลังสิ้นสุดการจัดการเรียนการสอน ผู้วิจัยทำการวัดแบบจำลองทางความคิดเรื่องโครงสร้างอะตอมและความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองของนักเรียนอีกครั้ง หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาลักษณะของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ แบบจำลองทางความคิดเรื่องโครงสร้างอะตอมและความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองของนักเรียนเมื่อเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

### การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ข้อมูลเชิงเนื้อหา (Content Analysis) จากแบบบันทึกหลังสอน และอนุทินสะท้อนความคิดของนักเรียน โดยผู้วิจัยนำข้อมูลทั้งหมดมาตีความเพื่อหา ลักษณะร่วมของข้อมูลรูปธรรม และสร้างข้อสรุปที่เป็นนามธรรมแล้วสังเคราะห์เป็น ประเด็น (Theme) เพื่อสรุปเป็นลักษณะการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องโครงสร้างอะตอมโดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

2. หลังจากนั้นผู้วิจัยอ่านคำตอบของนักเรียนที่ได้จากแบบวัดแบบจำลองทางความคิดเรื่องโครงสร้างอะตอมและแบบวัดความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองของนักเรียนอย่างละเอียดเป็นรายข้อเพื่อตีความและจัดจำแนกคำตอบของนักเรียน ออกเป็นกลุ่มเพื่อใช้อ้างอิงคำตอบในการรายงานผลการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาแบบจำลองทางความคิดเรื่องโครงสร้างอะตอมและความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองของนักเรียนเมื่อเรียนรู้จากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

### ผลการวิจัย

การศึกษาลักษณะการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานจากการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบบันทึกหลังสอน อนุทินสะท้อนความคิดของนักเรียนและการถอดเทปจากการบันทึกวิดีโอ ผู้วิจัยนำมาวิเคราะห์จุดแข็ง จุดอ่อนและแนวทางการแก้ไขในการสอนแต่ละครั้งและสังเคราะห์เป็นประเด็นต่างๆ เกี่ยวกับลักษณะการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานดังรายละเอียดต่อไปนี้

## 1. การสร้างสถานการณ์ที่น่าสนใจสามารถกระตุ้นให้นักเรียนสร้างแบบจำลองทางความคิดเกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา

ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน ครูผู้สอนควรสร้างสถานการณ์หรือเหตุการณ์ที่ดึงดูดความสนใจให้นักเรียนได้สร้างแบบจำลองทางความคิดเพื่ออธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ที่ศึกษา เช่น สร้างสถานการณ์เชื่อมโยงเข้าสู่บทเรียน การสาธิตการทดลอง ชมคลิปวิดีโอการทดลองของนักวิทยาศาสตร์ ร่วมกับการใช้คำถามที่ทำให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความคิดของตนเองกับปรากฏการณ์เหล่านั้น เพราะจะกระตุ้นให้นักเรียนสนใจในแนวคิดที่จะเรียนมากเพราะหากผู้วิจัยใช้คำถามเพียงอย่างเดียวโดยปราศจากสถานการณ์ที่น่าสนใจจะเป็นการยากมากที่จะทำให้ให้นักเรียนแสดงออกถึงแบบจำลองทางความคิดของตนเองออกมา เช่น ในแผนที่ 1 เรื่อง แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และทฤษฎีอะตอมของดอลตัน ผู้วิจัยต้องการสำรวจแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนเกี่ยวกับแบบจำลองอะตอม โดยนำน้ำใส่บีกเกอร์มาให้ให้นักเรียนดูแล้วให้นักเรียนวาดภาพอะตอมของไฮโดรเจนและออกซิเจน พบว่านักเรียนส่วนน้อยเท่านั้นที่ให้ความสนใจในการวาดภาพแบบจำลองอะตอม อาจเพราะสถานการณ์ที่ขาดแรงจูงใจให้นักเรียนทำกิจกรรม ในการสอนครั้งต่อมาในเรื่องแบบจำลองอะตอมของโบร์ในชั้นสร้างแบบจำลองทางความคิดผู้วิจัยจึงเปลี่ยนมาใช้สถานการณ์ที่น่าตื่นเต้นมากขึ้นโดยการสาธิตการทดลองการเกิดสีเปลวไฟของสารประกอบ ( $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{BaCl}_2$ ,  $\text{SrCl}_2$  และ  $\text{NaCl}$ ) จากนั้นให้นักเรียนบันทึกสิ่งที่สังเกตเห็นจากการทดลองและอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้น ปรากฏว่านักเรียนให้ความสนใจกับกิจกรรมและมีความกระตือรือร้นในการตอบคำถามมากขึ้นรู้จักการสังเกตและบันทึกผลการทดลองแล้วนำข้อมูลที่ได้ไปวาดภาพแสดงแบบจำลองทางความคิดเพื่ออธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ที่สังเกตได้

## 2. การใช้คำถามที่ครอบคลุมความรู้เดิมและความรู้พื้นฐานเป็นสิ่งจำเป็นในการสร้างแบบจำลองทางความคิดของนักเรียน

ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยให้นักเรียนสร้างแบบจำลองทางความคิดเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องการศึกษา นักเรียนจำเป็นต้องรวบรวมข้อมูลต่างๆ ทั้งจากประสบการณ์เดิมและความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่ต้องการศึกษาเพื่อนำมาสร้างเป็นแบบจำลองทางความคิดของตนเอง ทั้งนี้ครูผู้สอนอาจใช้คำถามหรือการอภิปรายก่อนเข้าสู่

บทเรียนเพื่อตรวจสอบความรู้เดิมและความรู้พื้นฐานของนักเรียน ซึ่งคำถามควรครอบคลุมแนวคิดที่ต้องการสอนรวมถึงแนวคิดที่เป็นพื้นฐานที่จำเป็นในการเรียนแนวคิดใหม่ โดยคำถามที่ใช้ต้องมีความชัดเจนและเข้าใจง่ายเพราะหากครูใช้คำถามไม่ครอบคลุมอาจทำให้นักเรียนไม่สามารถอธิบายแบบจำลองทางความคิดของตนเองได้หรือบางครั้งอาจยึดติดกับแบบจำลองทางความคิดของตนเองที่ไม่ถูกต้องต่อไป ส่วนคำถามที่เข้าใจยากจะทำให้ให้นักเรียนไม่สามารถตอบคำถามได้และสุดท้ายจะส่งผลต่อการแสดงออกถึงแบบจำลองทางความคิดของนักเรียน ตัวอย่างเช่น ในแผนที่ 1 ผู้วิจัยจัดกิจกรรมเพื่อให้นักเรียนสร้างแบบจำลองทางความคิดเกี่ยวกับแบบจำลองอะตอม ผู้วิจัยพบว่ายังมีนักเรียนบางส่วนเข้าใจสับสนระหว่างคำว่า “อะตอม” และ “โมเลกุล” ดังนั้นครูผู้สอนควรตรวจสอบความรู้พื้นฐานของนักเรียนในเรื่องนี้ก่อน โดยอาจใช้คำถามหรือนำภาพอะตอมและโมเลกุลของธาตุ เช่น ไฮโดรเจนอะตอม (H) และแก๊สไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) มาให้นักเรียนดูและอภิปรายร่วมกันว่าไฮโดรเจนอะตอมและแก๊สไฮโดรเจนเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร ทำให้ครูสามารถตรวจสอบแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนได้และสามารถจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับความเข้าใจของนักเรียนได้

### 3. การเน้นกิจกรรมที่ช่วยให้นักเรียนได้ทดสอบแบบจำลองร่วมกับการใช้คำถามสามารถนำไปสู่การปรับปรุงแบบจำลองของนักเรียน

สำหรับในขั้นการประเมินแบบจำลอง ครูผู้สอนควรจัดกิจกรรมให้นักเรียนนำแบบจำลองที่ผ่านการนำเสนอแล้วทั้งที่เป็นภาพวาดหรือคำพูดไปใช้อธิบายผลการทดลองหรือปรากฏการณ์ที่ศึกษาแล้วประเมินแบบจำลองเพื่อดูว่าแบบจำลองที่นักเรียนสร้างขึ้นนั้นสามารถอธิบายปรากฏการณ์หรือสิ่งที่ต้องการศึกษาได้หรือไม่ หากพบว่าแบบจำลองนั้นไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่ศึกษาได้หรือไม่ดีพอ นักเรียนจะต้องปรับปรุงแบบจำลองในทันที เช่น ในการสอนเรื่องแบบจำลองอะตอมของทอมสันและรัทเทอร์ฟอร์ดผู้วิจัยให้นักเรียนสร้างแบบจำลองอะตอมขึ้นเพื่ออธิบายผลการทดลองของทอมสันซึ่งนักเรียนจะนำเสนอแบบจำลองในลักษณะที่เป็นทรงกลมมีประจุบวกและประจุลบกระจายอยู่ทั่วไป (ชั้นแสดงออกแบบจำลอง) หลังจากนั้นผู้วิจัยให้นักเรียนนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นไปทดสอบโดยนำไปวางในหลอดรังสีแคโทด แล้วใช้คำถาม ถามนักเรียนว่า “แบบจำลองของกลุ่มสามารถอธิบายผลการทดลองที่เกิดขึ้นได้หรือไม่ อย่างไร”

หรือ “แบบจำลองของกลุ่มมีจุดเด่นหรือข้อจำกัดใดอีกบ้างที่ต้องปรับปรุง” จากนั้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายภายในกลุ่มหรือระหว่างกลุ่ม ซึ่งคำถามหรือกิจกรรมในลักษณะนี้จะทำให้นักเรียนสามารถปรับปรุงและเข้าใจข้อจำกัดของแบบจำลอง เพราะเมื่อแบบจำลองที่นักเรียนสร้างขึ้นไม่สามารถอธิบายผลการทดลองได้ นักเรียนก็จำเป็นต้องพัฒนาแบบจำลองเพื่อให้สามารถอธิบายผลการทดลองให้ดียิ่งขึ้น โดยครูผู้สอนจะต้องเปิดโอกาสและให้เวลาแก่นักเรียนในการแลกเปลี่ยนการอธิบาย โดยใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้นเกี่ยวกับผลการศึกษาของตนเองกับผู้อื่นพร้อมทั้งแสดงหลักฐานที่สนับสนุนคำอธิบายเสมือนการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ที่สร้างแบบจำลองขึ้นมาเพื่อใช้อธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ

#### **4. ควรส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้การอุปมาสำหรับแนวคิดที่เป็นนามธรรม**

กิจกรรมอุปมาเป็นกิจกรรมหนึ่งที่นักเรียนให้ความสนใจเป็นอย่างมาก เพราะสามารถทำให้นักเรียนเรียนรู้ในแนวคิดที่เป็นนามธรรมได้ดีและที่สำคัญในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมอุปมานั้นครูผู้สอนต้องมีการอภิปรายขั้นตอนในการทำกิจกรรมอย่างละเอียด มีการอภิปรายเชื่อมโยงสิ่งที่นำมาเปรียบเทียบกับแนวคิดที่ต้องการสอนให้นักเรียนเข้าใจขอบเขตและข้อจำกัดอย่างแท้จริงว่าสิ่งที่นำมาเปรียบเทียบกับนั้นเพื่อใช้เป็นตัวแทนหรืออธิบายเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องการศึกษาเท่านั้น เพื่อให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดได้ง่ายขึ้น ตัวอย่างการจัดกิจกรรม เช่น ในการเรียนรู้เรื่องการจัดเรียงอิเล็กตรอนในอะตอมก่อนที่ผู้วิจัยจะนำการอุปมามาใช้ในการจัดกิจกรรม ผู้วิจัยจะให้นักเรียนทำความเข้าใจเกี่ยวกับแนวคิดเรื่องออร์บิทัลก่อนว่าคืออะไรมีความสัมพันธ์กับการจัดเรียงอิเล็กตรอนอย่างไร ซึ่งเมื่อนักเรียนเข้าใจในแนวคิดที่เป็นนามธรรมแล้ว ดังนั้นเพื่อความเข้าใจที่ง่ายขึ้นจึงให้นักเรียนทำกิจกรรมเปรียบเทียบจานจอตกับการจัดเรียงอิเล็กตรอนโดยการจัดกิจกรรมจะเป็นในลักษณะที่กำหนดให้ช่องจอตทดแทนออร์บิทัลและรถยนต์แทนอิเล็กตรอน ในการจอตทดแต่ละครั้งจะต้องจอตสลับกันซึ่งผู้วิจัยมีการอภิปรายเปรียบเทียบกิจกรรมที่ทำเพื่อเชื่อมโยงกับหลักการจัดเรียงอิเล็กตรอนซึ่งเป็นเป้าหมายที่ต้องการสอนหลังจากนั้นให้นักเรียนแบ่งกลุ่มแล้วร่วมกันทำกิจกรรมโดยผู้วิจัยกำหนดอิเล็กตรอนของธาตุสมมติมาให้แล้วให้นักเรียนออกมาสาธิตแสดงวิธีการจอตรถบนกระดานเพื่อเปรียบเทียบกับ

จัดเรียงอิเล็กทรอนิกส์ ผลการปฏิบัติการสอนพบว่าเมื่อผู้วิจัยยกตัวอย่างธาตุจริงนักเรียนสามารถนำหลักการอุปมาอุปมัยนี้ไปใช้ในการจัดเรียงอิเล็กทรอนิกส์ของธาตุได้อย่างถูกต้อง ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่านักเรียนสามารถเรียนรู้แนวคิดเรื่องการจัดเรียงอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีลักษณะเป็นนามธรรมผ่านการจัดกิจกรรมที่ใช้การอุปมาอุปมัยได้เป็นอย่างดี สอดคล้องกับข้อมูลจากอนุทินสะท้อนความคิดดังนี้ “รู้สึกสนุกเพราะคุณครูให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการสอนและเข้าใจเรื่องการจัดอิเล็กทรอนิกส์ได้ง่ายขึ้น เพราะคุณครูใช้อุปกรณ์ที่สามารถทำให้เข้าใจได้ง่าย” (นักเรียนคนที่ 15, อนุทินสะท้อนความคิดครั้งที่ 5)

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังบ่งชี้ให้นักเรียนเห็นข้อจำกัดของแบบจำลองเมื่อใช้กิจกรรมการสอนโดยใช้อุปมาเพื่อให้นักเรียนเข้าใจว่าเป็นสิ่งที่นำมาใช้เปรียบเทียบเพื่อให้นักเรียนเข้าใจในแนวคิดที่เป็นนามธรรมได้ง่ายขึ้น รวมถึงการให้นักเรียนนำแบบจำลองไปอธิบายปรากฏการณ์ที่ศึกษาเพื่อให้เข้าใจจุดประสงค์ของการสร้างแบบจำลองของนักวิทยาศาสตร์และเน้นย้ำให้นักเรียนได้อภิปรายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ผ่านชิ้นงานที่นักเรียนสร้างขึ้นเพื่อสรุปพัฒนาการของแบบจำลองอะตอม

## 5. การสอดแทรกกิจกรรมที่สะท้อนธรรมชาติของแบบจำลองเข้าไปในบทเรียน

ในแนวคิดเรื่องโครงสร้างอะตอมเป็นการศึกษาเกี่ยวกับอะตอมซึ่งเป็นสิ่งที่มีขนาดเล็กมากไม่สามารถมองเห็นได้นักวิทยาศาสตร์จึงจำเป็นต้องสร้างแบบจำลองอะตอมขึ้นมาเพื่อช่วยให้นักเรียนมองเห็นภาพดังนั้นเพื่อให้นักเรียนเข้าใจที่มาของแบบจำลองและกระบวนการสร้างแบบจำลองอะตอม ครูผู้สอนจึงจำเป็นต้องจัดกิจกรรมที่ส่งเสริมให้นักเรียนได้ลงมือสร้างแบบจำลองอย่างนักวิทยาศาสตร์ ตัวอย่างเช่น การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในแผนที่ 1 ผู้วิจัยได้นำกิจกรรม “Black Box” มาเป็นกิจกรรมเริ่มต้นบทเรียนเพื่อช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองโดยลักษณะของการทำกิจกรรมผู้วิจัยได้แบ่งเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 ให้นักเรียนได้ศึกษาวัตถุที่อยู่ในกล่องด้วยวิธีการเขย่าเพื่อฟังเสียงแล้วให้นักเรียนได้ลงมือสร้างแบบจำลองจากสิ่งที่นักเรียนมองไม่เห็นหลังจากนั้นในตอนที่ 2 ผู้วิจัยให้นักเรียนได้ศึกษาวัตถุที่อยู่ในกล่องโดยใช้อุปกรณ์ช่วยแล้วให้นักเรียนเปรียบเทียบภาพวาด

ของแบบจำลองทั้งสองครั้ง ซึ่งนักเรียนจะพบว่าเมื่อมีอุปกรณ์มาช่วยจะทำให้แบบจำลองมีรายละเอียดมากขึ้นเสมือนกับการสร้างแบบจำลองของนักวิทยาศาสตร์ หากมีเทคโนโลยีเข้ามาช่วยจะทำให้แบบจำลองนั้นมีความซับซ้อนและมีรายละเอียดของข้อมูลในเชิงลึกมากขึ้น นอกจากนี้นักเรียนยังได้ใช้การจินตนาการในการสร้างแบบจำลองอีกด้วยเนื่องวัตถุที่อยู่ภายในกล่องนักเรียนไม่สามารถมองเห็นได้เสมือนกับอะตอมที่มีขนาดเล็กมาก ดังนั้นแม้จะมีอุปกรณ์หรือเทคโนโลยีเข้ามาช่วยก็ไม่สามารถทำให้นักวิทยาศาสตร์สร้างแบบจำลองได้หากปราศจากจินตนาการ ซึ่งผลจากการปฏิบัติการสอนด้วยกิจกรรม “Black Box” พบว่าช่วยให้นักเรียนเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองได้ดีในประเด็นที่เกี่ยวกับความหมายของแบบจำลองและกระบวนการสร้างแบบจำลองซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลจากอนุทินสะท้อนความคิดของนักเรียนดังนี้ “เข้าใจเรื่องการสร้างแบบจำลองของนักวิทยาศาสตร์สมัยก่อนและได้เข้าใจถึงการจินตนาการเหมือนที่นักวิทยาศาสตร์สมัยก่อนจินตนาการโครงสร้างของอะตอมทำให้เราเข้าใจและเรียนรู้อะตอมได้ง่ายขึ้น” (นักเรียนคนที่ 15, อนุทินสะท้อนความคิดครั้งที่ 1)

แบบจำลองทางความคิดเรื่องโครงสร้างอะตอมและความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองของนักเรียนเมื่อเรียนรู้จากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

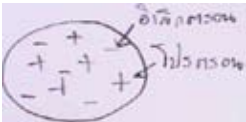
จากการวิเคราะห์แบบวัดแบบจำลองทางความคิดเรื่องโครงสร้างอะตอมของนักเรียนแล้วจัดกลุ่มคำตอบ พบว่าก่อนเรียนนักเรียนมีแบบจำลองทางความคิดที่ไม่ถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 65.9 และเมื่อผ่านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานไปแล้วพบว่านักเรียนมีแบบจำลองทางความคิดที่ไม่ถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 24.5 ซึ่งลดลงจากก่อนเรียนและมีแบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้องเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 27.9 จากก่อนเรียนที่มีแบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้องอยู่เพียงร้อยละ 8.2 โดยก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่มีแบบจำลองทางความคิดที่ไม่ถูกต้องในทุก ๆ ประเด็นที่ศึกษาซึ่งเป็นสิ่งที่สามารถเกิดขึ้นได้กับการวัดแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนก่อนเรียน เพราะนักเรียนไม่ได้เรียนรู้เรื่องนี้มาก่อนแต่มีบางประเด็นที่นักเรียนมีความเข้าใจที่ไม่ถูกต้องติดตัวมาก่อนเรียน เช่น ในประเด็นเรื่องแบบจำลองอะตอม นักเรียนเข้าใจว่าอะตอมและโมเลกุลเป็นสิ่งเดียวกัน รวมถึงในประเด็นเรื่ององค์ประกอบของสสาร นักเรียนส่วนใหญ่มีแบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้องบางส่วนและคลาดเคลื่อนบางส่วน

โดยเข้าใจว่าอะตอมคือองค์ประกอบของสิ่งไม่มีชีวิตและสิ่งมีชีวิตมีเซลล์เป็นองค์ประกอบ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเรียนรู้เรื่อง อะตอมในระดับมัธยมต้น นักเรียนได้เรียนรู้เพียงผิวเผินและไม่ได้ทำความเข้าใจในเรื่องนี้อย่างถ่องแท้สำหรับความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองก่อนการจัดการเรียนรู้ นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองอยู่ในกลุ่มที่ไม่สอดคล้องกับแนวคิดที่นักวิทยาศาสตร์ยอมรับในทุก ๆ ประเด็นศึกษา โดยในประเด็นเกี่ยวกับการออกแบบและการสร้างแบบจำลอง ประเภทของแบบจำลองและจุดประสงค์ของแบบจำลอง นักเรียนมีความเข้าใจไม่สอดคล้องกับแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์มากที่สุด ซึ่งสาเหตุอาจมาจากแบบจำลองที่นักเรียนพบเห็นในชีวิตประจำวันนั้น จะมีลักษณะเป็นรูปภาพ หรือสิ่งของเป็นส่วนใหญ่ รวมถึงนักเรียนไม่คุ้นเคยและไม่เข้าใจว่าแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์คืออะไรมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเรียนในวิชาวิทยาศาสตร์อย่างไร ทำให้นักเรียนแสดงเหตุผลที่ไม่สอดคล้องกับแนวคิดที่นักวิทยาศาสตร์ยอมรับ

เมื่อพิจารณาแบบจำลองทางความคิดเรื่องโครงสร้างอะตอมและความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองของนักเรียนเมื่อเรียนรู้จากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานแล้วพบว่า แบบจำลองทางความคิดของนักเรียนมีการพัฒนาขึ้น (ตารางที่ 1) อยู่ในกลุ่มที่มีแบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้องเพิ่มขึ้นในเรื่ององค์ประกอบของสสารและขนาดอะตอม แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความเข้าใจในระดับจุลภาคมากขึ้นและมีแบบจำลองทางความคิดสอดคล้องบางส่วนในส่วนของประเด็นที่เกี่ยวกับแบบจำลองอะตอมกลุ่มหมอกอิลีกตรอนและออร์บิทัล โดยในประเด็นย่อยเรื่องแบบจำลองอะตอมนักเรียนจะมีแบบจำลองทางความคิดที่สอดคล้องกับแบบจำลองนิวเคลียร์ โดยนักเรียนวาดภาพอะตอมและอธิบายความหมายของอะตอมสอดคล้องกับแบบจำลองอะตอมของทอมสันและรัทเทอร์ฟอร์ดเป็นส่วนใหญ่ อาจเป็นเพราะเป็นแบบจำลองที่เข้าใจได้ง่ายและไม่ซับซ้อนเหมือนกับแบบจำลองของโบร์หรือแบบจำลองกลศาสตร์ควอนตัม ในส่วนของประเด็นเรื่องกลุ่มหมอกอิลีกตรอนและออร์บิทัลนักเรียนส่วนใหญ่มีแบบจำลองทางความคิดในเชิงเปรียบเทียบ นอกจากนี้เมื่อศึกษาความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองของนักเรียนเมื่อเรียนรู้จากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานพบว่า นักเรียนมีความเข้าใจอยู่ในกลุ่มที่สอดคล้องกับแนวคิดที่นักวิทยาศาสตร์ยอมรับ เพิ่มขึ้นทั้งในประเด็นเรื่องการเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองความหมายของ

แบบจำลองจุดประสงค์ของแบบจำลอง (ด้านการสื่อสาร) ประเภทของ แบบจำลอง และความหลากหลายของแบบจำลอง ตามลำดับ

**ตารางที่ 1** ตัวอย่างการพัฒนาแบบจำลองทางความคิดเรื่องโครงสร้างอะตอมและความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองของนักเรียนเมื่อเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

| ด้าน                          | ประเด็นที่ศึกษา                                                                                                                                                                  | ตัวอย่างคำตอบ                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               |                                                                                                                                                                                  | ก่อนเรียน                                                                                                                                                                                                    | หลังเรียน                                                                                                                                                                                                                                                         |
| แบบจำลองทางความคิด            | แบบจำลองอะตอม<br>“หากกล่าวถึงอะตอม แล้วนักเรียนคิดว่าอะตอมคืออะไร ให้อธิบายอะตอมตามความเข้าใจของนักเรียนพร้อมเขียนอธิบายประกอบ”                                                  | อะตอม คือหน่วยอนุภาคที่เล็กที่สุดไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ ต้องใช้แว่นขยายหรือกล้องจุลทรรศน์<br><br>(นักเรียนคนที่ 25) | อะตอมคือหน่วยที่เล็กที่สุด ซึ่งภายในอะตอมมี p+,n และ e- อยู่ และยังมี p+ = e- ภายในอะตอมมี e- กระจายอยู่ยังอยู่ใกล้ นิวเคลียสก็จะมีโอกาสสูงที่จะพบ e-<br><br>(นักเรียนคนที่ 25) |
|                               | การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของอะตอม<br>“เมื่อให้ความร้อนแก่แท่งเหล็ก นักเรียนคิดว่าอะตอมของธาตุเหล็กจะมีรูปร่างและลักษณะเป็นอย่างไร”                                                   | ก่อนให้ความร้อนอะตอมของแท่งเหล็กจะมีขนาดเท่าเดิม หลังให้ความร้อนอะตอมของแท่งเหล็กจะหายไปเพราะแท่งเหล็กได้ทำปฏิกิริยากับความร้อนจึงทำให้มวลอะตอมที่มีอยู่ขาดหายไป<br>(นักเรียนคนที่ 23)                       | อะตอมธาตุเล็กก่อนให้ความร้อนและหลังให้ความร้อนจะมีลักษณะรูปร่างของอะตอมเหมือนกัน เพราะถึงให้ความร้อนก่อนหรือหลังอะตอมก็จะมีขนาดและลักษณะของอะตอมเหมือนเดิมเพราะมันคือธาตุชนิดเดียวกัน<br>(นักเรียนคนที่ 23)                                                       |
| ความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลอง | ประเภทของแบบจำลอง<br>นักเรียนเห็นด้วยหรือไม่ว่า “สมการเคมีต่อไปนี้ $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{aq})$ ถือว่าเป็นแบบจำลอง” | ไม่เห็นด้วย เพราะ $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{aq})$ เป็นเพียงการทำให้สมการทั้ง 2 ข้างเท่ากัน<br>(นักเรียนคนที่ 14)                                   | เห็นด้วย เพราะเป็นมโนภาพที่แทนความคิดของนักวิทยาศาสตร์<br>(นักเรียนคนที่ 14)                                                                                                                                                                                      |

หมายเหตุ: ข้อความที่ขีดเส้นใต้แสดงแบบจำลองทางความคิดที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน

## สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานช่วยให้นักเรียนมีแบบจำลองทางความคิดและความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองที่สอดคล้องกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะการจัดกิจกรรมการเรียนรู้มีการสร้างสถานการณ์ที่น่าสนใจเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนสร้างแบบจำลองทางความคิดร่วมกับการใช้คำถามเพื่อตรวจสอบความรู้เดิม เช่น การสาธิตการทดลอง แล้วให้นักเรียนสร้างแบบจำลองทางความคิดเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น หรือการให้นักเรียนชมคลิปวิดีโอการทดลองของนักวิทยาศาสตร์แล้วให้นักเรียนวาดภาพอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้น เป็นต้น ซึ่งการสร้างสถานการณ์ที่น่าสนใจประกอบกับการใช้คำถามจะช่วยให้ นักเรียนเกิดความอยากรู้อยากลองสร้างแบบจำลองทางความคิดของตนเองหรือของกลุ่มสอดคล้องกับงานวิจัยของฮามิตะ มุสอ (2555) ที่พบว่าเมื่อจัดกิจกรรมการสาธิตการทดลองในการสอนแนวคิดเรื่องการแตกตัวของกรด-เบส ทำให้นักเรียนมีแบบจำลองทางความคิดที่สอดคล้องกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้น รวมทั้งการถามคำถามจะเป็นการกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความอยากรู้อยากลอง ยิ่งนักเรียนมีโอกาสได้ตอบคำถามมากเท่าไรนักเรียนก็จะได้เรียนรู้มากขึ้น รวมไปถึงมีการจัดกิจกรรมที่หลากหลายให้นักเรียนได้แสดงออกแบบจำลองทางความคิดที่ตนเองสร้างขึ้นไม่ว่าจะเป็นการสร้างภาพวาด สัญลักษณ์ หรือภาษา เป็นต้น ซึ่งการแสดงออกแบบจำลองจะทำให้นักเรียนเกิดการเปรียบเทียบแบบจำลองของตนเองและของเพื่อนนักเรียนจะได้เห็นจุดเด่นและจุดด้อยนำไปสู่การปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองให้สามารถอธิบายแนวคิดหรือปรากฏการณ์ที่ศึกษาได้ดียิ่งขึ้น (ชัยยนต์ ศรีเชียงหา, 2554; Harrison and Treagust, 2000) มีการใช้สื่อการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนเชื่อมโยงเนื้อหาเคมีทั้ง 3 ระดับ (จุลภาค มหภาค และสัญลักษณ์) โดยครูผู้สอนจะต้องเลือกใช้สื่อการเรียนการสอนที่แตกต่างกันไป เช่น รูปภาพ แบบจำลอง คลิปวิดีโอ การทดลอง ภาพเคลื่อนไหว เป็นต้น เพราะสื่อเหล่านี้จะทำให้นักเรียนเห็นภาพและเข้าใจแนวคิดทางเคมีได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ในแนวคิดที่เป็นนามธรรมครูผู้สอนควรใช้การอุปมาอุปไมยในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยเลือกสิ่งที่น่าสนใจมาอุปมาอุปไมยให้มีการเชื่อมโยงกับชีวิตประจำวัน ซึ่งจะทำให้นักเรียนสนใจในการเรียนมากขึ้น (ชัยยนต์ ศรีเชียงหา, 2554; Clement, 2000) และมีการสอดแทรกกิจกรรมที่สะท้อนธรรมชาติของแบบจำลอง เพื่อให้นักเรียนเข้าใจความหมายของแบบจำลองทาง

วิทยาศาสตร์ รวมถึงที่มาและความสำคัญของแบบจำลองที่นำมาใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยอาจใช้คำถามที่บ่งชี้และอภิปรายร่วมกับนักเรียนเกี่ยวกับประเด็นธรรมชาติของแบบจำลอง เช่น “แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ตามความเข้าใจของนักเรียนคืออะไร” “นักเรียนคิดว่าแบบจำลองสามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากผลการทดลองได้หรือไม่ อย่างไร” หรือ “แบบจำลองมีการเปลี่ยนแปลงได้หรือไม่ ยกตัวอย่างประกอบ” แต่อย่างไรก็ตามในการอภิปรายและบ่งชี้เกี่ยวกับประเด็นธรรมชาติของแบบจำลองในแต่ละคาบครูผู้สอนควรให้นักเรียนสะท้อนความคิดด้วยว่า นักเรียนได้เรียนรู้เกี่ยวกับลักษณะของธรรมชาติของแบบจำลองในด้านใด เพื่อให้นักเรียนเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองว่าเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในการเรียนวิทยาศาสตร์

### ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยพบว่าที่ผ่านมานักเรียนมักแสดงออกถึงแบบจำลองทางความคิดในเรื่องโครงสร้างอะตอมที่หลากหลายมีทั้งถูกต้องและไม่ถูกต้อง โดยแบบจำลองทางความคิดที่ไม่ถูกต้องมักจะเกี่ยวข้องกับความรู้เดิมของนักเรียน ดังนั้นในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ครูผู้สอนควรสำรวจแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนก่อนเรียนทั้งที่เกี่ยวข้องกับความรู้เดิมและความรู้พื้นฐานของนักเรียนเพื่อที่จะได้ปรับเปลี่ยนแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนให้มีความถูกต้องและสอดคล้องกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น รวมถึงผลการวิจัยยังพบอีกว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานช่วยพัฒนาแบบจำลองทางความคิดเรื่องโครงสร้างอะตอมและความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองของนักเรียนให้สอดคล้องกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มากยิ่งขึ้น ดังนั้นครูผู้สอนจึงควรนำรูปแบบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้นี้ไปใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในเนื้อหาอื่นๆ ที่มีลักษณะเป็นนามธรรม เช่น ดาราศาสตร์ ชีววิทยาหรือฟิสิกส์ เป็นต้น สำหรับข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป จากผลการศึกษาแบบจำลองทางความคิด ในประเด็นเรื่องการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของอะตอมนักเรียนมีแบบจำลองทางที่ถูกต้องเพิ่มขึ้นจากก่อนเรียน ซึ่งเป็นที่น่าสนใจและน่าจะมีการศึกษาต่อว่ามีสาเหตุใดที่ทำให้นักเรียนในกลุ่มนี้มีแบบจำลองทางความคิดที่พัฒนาไปไม่ถึงแบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้อง ซึ่งหากทราบถึงสาเหตุดังกล่าวจะได้แนะนำแนวทางมาพัฒนาแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนในเรื่องนี้ให้มีแบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้องต่อไป

## รายการอ้างอิง

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). *หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานปีพุทธศักราช 2551*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- ชัยยนต์ ศรีเชียงหา. (2553). *การพัฒนาแนวคิดเรื่องสมดุลเคมีและเจตคติต่อวิชาเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยกิจกรรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน* (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).
- ชาติรี ฝ่ายคำตา. (2551). แนวคิดทางเลือกของนักเรียนในวิชาเคมี. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี*, 19(2), 10-28.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2546). *การจัดการเรียนรู้กลุ่มวิทยาศาสตร์หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน*. กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- ศุภกาญจน์รัตนกร. (2552). *การศึกษาแบบจำลองทางความคิดและความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องกรด-เบส* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).
- ฮามิดะ มุสอ. (2555). *การพัฒนาแบบจำลองทางความคิดเรื่องกรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์).
- Buckley, B. C., J. D. Gobert, A. C. Kindfield, P. Horwiz, R. F. Tinker, B. Gerlits, U. Wilensky, C. Dede, and J. Willett. (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.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
- Coll, R. K. (1999). *Learners' mental models of chemical bonding*. (Thesis of Doctor Degree). Curtin University of Technology.
- Coll, R. K. (2006). *Metaphor and Analogy in Science Education*. Netherlands: Springer.

- Coll, R.K., B. France, and I. Taylor. (2005). The role of models/and analogies in science education: Implications from research. *International Journal of Science Education*, 27(2), 183-198.
- Gilbert, J.K. (2005). *Visualization in science education*. Netherlands: Springer.
- Gilbert, J.K. and S.W. Ireton. (2003). *Understanding Models in Earth and Space Science*. Arlington: NSTA Press.
- Grosslight, L., C. Unge, and E. Jay. (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.
- Harrison, A.G. and D.F. Treagust. (1996). Secondary Students' Mental Models of Atoms and Molecules: Implications for Teaching Chemistry. *Science Education*, 80(5), 509-534.
- Harrison, A. G. and D.F. Treagust. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22, 1011-1026.
- Johnstone, A.H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to a changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-705.
- Justi, R.S. and J. K. Gilbert. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modeling, and implications for the education of modelers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Lederman, N. G., F. Abd-El-Khalick, R. L. Bell and R. S. Schwartz. (2002). Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521.