

## บทความวิจัย (Research Article)

ผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับการใช้แบบจำลองออร์บิทัล  
เชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะต่อการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์  
ทางการเรียน เรื่อง ปฏิกริยาการแทนที่และการกำจัดของสารแอลคิลเฮไลด์  
ของนักศึกษาวิชาชีพครูสาขาวิชาวิทยาศาสตร์

EFFECT OF LEARNING BY USING PROBLEM-BASED LEARNING TOGETHER  
WITH THE MOLECULAR ORBITAL MODEL WITH ANTI-BONDING ORBITAL  
ON DEVELOPMENT THE ANALYTICAL THINKING SKILL AND LEARNING  
ACHIEVEMENT OF SUBSTITUTION AND ELIMINATION REACTION OF  
ALKYL HALIDES OF SCIENCEPRE-SERVICE TEACHERS

Received: April 16, 2019

Revised: June 8, 2019

Accepted: June 19, 2019

กฤตภาส วงศ์มา<sup>1\*</sup>

Krittaphat Wongma<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

<sup>1</sup>Faculty of Education, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon 47000,Thailand

\*Corresponding Author, E-mail: krittaphat@snru.ac.th

## บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เปรียบเทียบทักษะการคิดวิเคราะห์ เรื่อง ปฏิกริยาการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์ ของนักศึกษาวิชาชีพครู สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ หลังจากได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับการใช้แบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะ และ 2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน เรื่อง ปฏิกริยาการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์ ของนักศึกษาศาสนาวิชาวิทยาศาสตร์ จากการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับการใช้แบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะ กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักศึกษาครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ชั้นปีที่ 2 จำนวน 23 คน เครื่องมือที่ใช้ คือ 1) แผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง ปฏิกริยาการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบแอลคิลเฮไลด์ 2) แบบทดสอบวัดทักษะการคิดวิเคราะห์ก่อนเรียนและหลังเรียนแบบอัตนัย 6 ข้อ 30 คะแนน และ 3) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนแบบปรนัย 30 ข้อ 30 คะแนน สถิติที่ใช้

ใช้วิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าร้อยละ (%) ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และการทดสอบค่า t-test แบบ Dependent ผลการวิจัย พบว่า

1. ทักษะในการคิดวิเคราะห์ เรื่อง ปฏิริยาการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์ ของนักศึกษาวิชาชีพครู สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ หลังจากได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับการใช้แบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบต้านพันธะ สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ปฏิริยาการแทนที่และการกำจัดของสารอัลคิลเฮไลด์ของนักศึกษาวิชาชีพครู สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ หลังจากได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับการใช้แบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบต้านพันธะ สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

**คำสำคัญ:** การเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน แบบจำลองโมเลกุล กลไกปฏิริยาการแทนที่และการกำจัด ทักษะการคิดวิเคราะห์

## Abstract

The purposes of this study were to 1) develop analytical thinking skills of the pre-service science teachers for substitution and elimination reactions mechanisms of alkyl halides and 2) compare between before and after learning outcomes of the pre-service science teachers by using problem-based learning together with the molecular orbital model with anti-bonding orbital. The samples of this research were 23 students of the 2<sup>nd</sup> year pre-service science teachers. The research tools used were: 1) learning management plan for the substitution and elimination reaction of alkyl halides, 2) pre-test and post-test of analytical thinking skill including 6 subjective items 30 point, and 3) pre-test and post-test in multiple-choice 30 points. Data was analyzed statistically from mean ( $\bar{X}$ ), standard deviation (S.D.) and t-test dependent. The research was found that:

1. The analytical thinking skill for the substitution and elimination reaction mechanisms of alkyl halides of the pre-service science teachers after using problem-based learning together with the molecular orbital model with anti-bonding orbital was significantly higher than before learning at .01 significance level.

2. The learning achievement in learning the substitution and elimination reaction of alkyl halides of the pre-service science teachers after using problem-based learning together with the molecular orbital model with anti-bonding orbital was significantly higher than before learning at .01 significance level.

**Keywords:** Problem-Based Learning Molecular Modeling Reaction Mechanism, Replacement and Removal, Analytical Thinking Skills

## บทนำ

รายวิชาเคมีอินทรีย์สำหรับครูวิทยาศาสตร์เป็นรายวิชาที่เน้นศึกษาเกี่ยวกับกลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารประกอบอินทรีย์ ดังคำอธิบายรายวิชาที่กำหนดไว้ว่าเป็นรายวิชาที่ “ศึกษาเกี่ยวกับการเขียนสูตรโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ ไอโซเมอริซึม หมู่ฟังก์ชัน สมบัติและปฏิกิริยาของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน สารประกอบอะโรมาติก แอลกอฮอล์ แอลดีไฮด์ คีโตน กรดคาร์บอกซิลิก เอสเทอร์ อีเทอร์ เอมีน และเอไมด์” เป็นรายวิชาที่สำคัญและจำเป็นมากสำหรับนักศึกษาวิชาชีวเคมี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ที่จะกลายไปเป็นครูสอนวิทยาศาสตร์ในอนาคต เนื่องจากรายวิชานี้อยู่ในสาระที่ 5 เคมี มาตรฐาน ว 5.1 เข้าใจโครงสร้างอะตอม การจัดเรียงธาตุในตารางธาตุ สมบัติของธาตุ พันธะเคมีและ สมบัติของสาร แก๊สและสมบัติของแก๊ส ประเภทและสมบัติของสารประกอบอินทรีย์ และพอลิเมอร์ รวมทั้งการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ (มาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551) (Ministry of Education, 2017) จากประสบการณ์สอนที่ผ่านมา ผู้วิจัยพบว่า นักศึกษาวิชาชีวเคมี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ มีผลการเรียนรายวิชาเคมีอินทรีย์สำหรับครูวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับปานกลาง โดยเฉพาะเรื่องที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมี ซึ่งสาเหตุนี้มาจากนักศึกษขาดทักษะการคิดวิเคราะห์เกี่ยวกับกลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมี ที่ต้องอธิบายถึงการทำปฏิกิริยาระหว่างสารตั้งต้นกับรีเอเจนต์ด้วยการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอน เพื่อทำลายพันธะโคเวเลนต์เดิมและสร้างพันธะโคเวเลนต์ใหม่ เพื่อให้ได้สารผลิตภัณฑ์นั้น นักศึกษาจะต้องวิเคราะห์หลักการเหตุผลในการเกิดปฏิกิริยาและต้องใช้จินตนาการเกี่ยวกับการให้อิเล็กตรอน หรือการรับอิเล็กตรอน ในการจัดการเรียนการสอนเรื่องกลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีนั้นจึงเป็นเรื่องยากและท้าทายที่จะทำให้นักศึกษาเข้าใจได้อย่างทอ้งแท้ เนื่องจากด้วยธรรมชาติของวิชาที่ว่าด้วยเรื่องอิเล็กตรอน ไม่สามารถจับต้องได้จริง ทำให้นักศึกษาเข้าใจและจินตนาการโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ผิดไปจากความเป็นจริง

ในทางเคมีได้อธิบายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของสาร เช่น การอธิบายสมบัติ การเปลี่ยนแปลงปรากฏการณ์ ปฏิกิริยาในเคมี ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 1) การแสดงออกในระดับมหภาค (Macroscopic Level) เป็นปรากฏการณ์ ที่เกิดขึ้นจริง และสังเกตเห็นได้ 2) การแสดงผลในระดับจุลภาค (Microscopic Level) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริงแต่ไม่สามารถมองเห็นได้ และ 3) การแสดงออกในระดับสัญลักษณ์ (Symbolic Level) เป็นการใช้สัญลักษณ์เคมี เช่น สูตรเคมี สมการเคมี แบบจำลอง เป็นต้น

การจัดการเรียนรู้เพื่อให้ผู้เรียนสามารถวิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงในระดับจุลภาคจนสามารถแสดงออกในระดับสัญลักษณ์ที่ถูกต้องได้นั้น ผู้เรียนต้องเข้าใจหลักการ หรือ มโนคติ (Concept) ที่เกี่ยวข้องกับวิชาเคมีอินทรีย์ที่เป็นปรากฏการณ์ในระดับที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ จับต้องไม่ได้ เช่น โครงสร้างอะตอม ออร์บิทัลของอะตอมคาร์บอน และพันธะโคเวเลนต์ เป็นต้น อีกทั้งมโนคติที่เรียนก่อนจะเป็นพื้นฐานของมโนคติในเรื่องที่เรียนถัดไปเป็นผลทำให้ผู้เรียนเกิดความคลาดเคลื่อนในมโนคติวิชาเคมีได้ง่าย เช่น ผู้เรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับพันธะโคเวเลนต์และรูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ (Chaiyen et al., 2007) และเกิดความสับสนในการทำนายรูปร่างโมเลกุลตามทฤษฎีการผลักของคู่อิเล็กตรอน (Valence Shell Electron Pair Repulsion, VSEPR) (Ozmen, 2004)

ในการอธิบายเนื้อหาที่เป็นนามธรรมให้เข้าใจมโนคติของวิชาเคมีที่ง่ายขึ้นนั้น นักเคมีจึงใช้แบบจำลองเพื่อเป็นสื่อกลางในการทำความเข้าใจกับผู้เรียน ซึ่งแบบจำลองที่นักเคมีสร้างขึ้นนั้น เพื่อเป็นตัวแทนของความคิดที่อยู่

ภายในสมองของนักเคมีเอง (Greca & Moreira, 2000; Coll & Treagust, 2001; Kuathan et al., 2011).) แบบจำลองที่สร้างขึ้นจะถูกใช้เพื่อแสดงเนื้อหาออกมาภายนอกให้บุคคลอื่นรับรู้ เช่น คำพูด สัญลักษณ์ ภาพวาด ลักษณะท่าทาง วัตถุที่จับต้องได้ โดยเรียกสิ่งเหล่านี้ว่า แบบจำลองที่แสดงออก (Expressed Models) (Gilbert, 2004) โดย Coll (1999) ได้กล่าวไว้ว่า “เป็นการยากที่จะเข้าใจวิชาเคมี หากปราศจากความเข้าใจแบบจำลองและกระบวนการสร้างแบบจำลอง” อย่างเช่น แบบจำลองโครงสร้างโมเลกุลสามมิติ ถูกใช้เป็นเครื่องมือการสอนที่มีความจำเป็นต่อผู้เรียนด้านเคมี เนื่องจากความสามารถในการอำนวยความสะดวกในการมองเห็นของโมเลกุลในสามมิติ (McCollum et al., 2014)

การคิดวิเคราะห์เป็นทักษะพื้นฐานสำคัญที่จะส่งผลให้ผู้เรียนพัฒนาทักษะการคิดด้านอื่นๆ ที่สูงขึ้น ซึ่งจะช่วยให้รู้ข้อเท็จจริง รู้เหตุผลเบื้องต้นของสิ่งที่เกิด เข้าใจความเป็นมาของเหตุการณ์ เพื่อนำมาตัดสินใจแก้ปัญหาหรือตัดสินใจในเรื่องต่างๆ ได้ถูกต้อง ด้วยความสำคัญดังกล่าวจึงจำเป็นต้องพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ให้แก่ผู้เรียนอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นครูผู้สอนจึงควรทำความเข้าใจและนำกระบวนการคิดวิเคราะห์มาบูรณาการเข้ากับกิจกรรมการเรียนรู้ให้กับผู้เรียน (Wongsaphan, 2013) แม้ว่าจะมีแบบจำลองต่างๆ เป็นสื่อการเรียนรู้ช่วยในการจัดการเรียนการสอนเพื่อช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจในโมเดลทางเคมีที่ถูกต้องและช่วยให้เกิดทักษะการคิดวิเคราะห์ง่ายขึ้นแล้ว แต่รูปแบบการจัดการเรียนรู้ก็เป็นอีกส่วนสำคัญหนึ่งในการส่งเสริมกระบวนการคิดวิเคราะห์และมีส่วนช่วยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยเช่นกัน

การจัดการเรียนรู้โดยให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติ และทำให้มีประสบการณ์เกี่ยวกับกลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีอย่างจริงจัง ตามรูปแบบการสร้างความรู้ด้วยตนเอง (Constructivist Learning Approach) โดยการจัดการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญในรูปแบบต่างๆ ส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ เช่น จัดการเรียนการสอนโดยใช้ทีมเป็นฐาน ใช้ปัญหาเป็นฐาน การแบ่งกลุ่มนักศึกษาค้นหาตัวอย่างปฏิกิริยา แล้ววิเคราะห์เชื่อมโยงเหตุผลและกลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีนั้นๆ ซึ่งเป็นการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์จึงเป็นการส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความเข้าใจกลไกการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น

การเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem-Based Learning: PBL) เป็นวิธีการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนได้เรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติ หรือ “Learning by Doing” ของ Dewey (as cited in Khammani, 2005, p. 27) บทหลักการของการใช้ปัญหาเป็นจุดเริ่มต้นในการเชื่อมโยงความรู้ที่มีอยู่เดิม ทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะในการคิดวิเคราะห์ สังเคราะห์ และแก้ปัญหา ผู้สอนมีหน้าที่เพียงคอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำ เตรียมโจทย์ปัญหาที่ครอบคลุมวัตถุประสงค์การเรียนรู้ จัดเตรียมทรัพยากรการเรียนรู้ ช่วยสนับสนุนกระบวนการเรียนรู้ของผู้เรียนไม่ได้ทำหน้าที่ให้ความรู้หรือให้ข้อมูลโดยตรง ดำเนินกิจกรรมโดยแบ่งผู้เรียนเป็นกลุ่มเล็กๆ ตั้งประธานและเลขานุการของกลุ่มหมุนเวียนกันไป ทำงานร่วมกันในการคิดคำอธิบายกลไกการเกิดของปัญหาที่ได้รับ ตั้งสมมติฐาน และวางแผนในการทดสอบสมมติฐานนั้น รวมถึงวางแผนในการค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติมเพื่อนำเสนอต่อกลุ่ม ก่อนที่จะสรุปกลไกของปัญหานั้น (Makmee, 2011)

จากสภาพปัญหาของการเรียนวิชาเคมีอินทรีย์และความสำคัญของรูปแบบวิธีการสอนดังกล่าว ผู้วิจัยเห็นว่าการปรับปรุงการจัดการเรียนรู้ของผู้เรียนโดยมุ่งเน้นให้ผู้เรียน ได้เรียนรู้ในสิ่งที่กระตุ้นตนเองให้เป็นคนที่ใฝ่การเรียนรู้ มีความสามารถในการคิดวิเคราะห์ และแก้ปัญหาในเรื่องปฏิกิริยาเคมีอินทรีย์ได้อย่างถูกต้อง ดังนั้น การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับการใช้แบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะ จะเป็นวิธีที่เหมาะสม

จากการใช้ปัญหาเป็นตัวกระตุ้นการคิดวิเคราะห์ปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหา แต่ด้วยเนื้อหาที่เป็นนามธรรม การนำแบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะ ซึ่งเป็นตัวแทนความคิดโครงสร้างสามมิติเป็นสื่อการเรียนรู้ด้วยนั้น จะช่วยเสริมให้ผู้เรียนเกิดทักษะในการคิดวิเคราะห์และคิดแก้ปัญหา จนเกิดเป็นความเข้าใจที่ผู้เรียนสร้างขึ้นเอง ซึ่งผลการวิจัยในครั้งนี้จะเป็นแนวทางของผู้สอนและบุคลากรในการพัฒนาการจัดการเรียนรู้วิชาเคมีอินทรีย์ต่อไป

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ เรื่อง ปฏิกริยาการแทนที่และการกำจัดของสารอัลคิลเฮไลด์ของนักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์
2. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษาวิชาชีพครู สาขาวิชาวิทยาศาสตร์จากการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับการใช้แบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะ

### วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขอบเขตการวิจัย การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของการวิจัยไว้ ดังนี้

#### 1.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

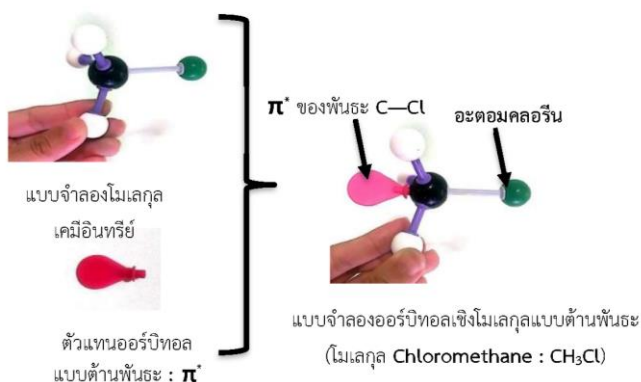
**ประชากร** เป็นนักศึกษาวิชาชีพครู สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ชั้นปีที่ 1 - 4 จำนวน 134 คน

**กลุ่มตัวอย่าง** ที่ใช้ในการวิจัยเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลได้มาจากวิธีการสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster Sampling) ได้แก่ นักศึกษาวิชาชีพครูสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ชั้นปีที่ 1 จำนวน 23 คน ซึ่งกลุ่มตัวอย่างดังกล่าวได้ลงทะเบียนเรียนรายวิชาเคมีอินทรีย์สำหรับครู

**1.2 ขอบเขตเนื้อหา** เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ รายวิชาเคมีอินทรีย์สำหรับครูวิทยาศาสตร์ 24022303 ชั้นปีที่ 2 ตามหลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ฉบับปรับปรุง พ. ศ. 2556 เรื่อง ปฏิกริยาการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์

#### 1.3 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

**ตัวแปรต้น** คือ การจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับการใช้แบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะ ซึ่งเป็นรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐาน 7 ขั้นตอน ที่ใช้แบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะเป็นสื่อการสอนเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยตนเองในขั้นตอนที่ 6 เพื่อช่วยให้ผู้เรียนเกิดกระบวนการคิดวิเคราะห์เกี่ยวกับการเกิดปฏิกริยาการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์ โดยตัวอย่างแบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะดังกล่าว แสดงในภาพ 1



ภาพ 1 แสดงแบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะ (โมเลกุล Chloromethane :  $\text{CH}_3\text{Cl}$ )

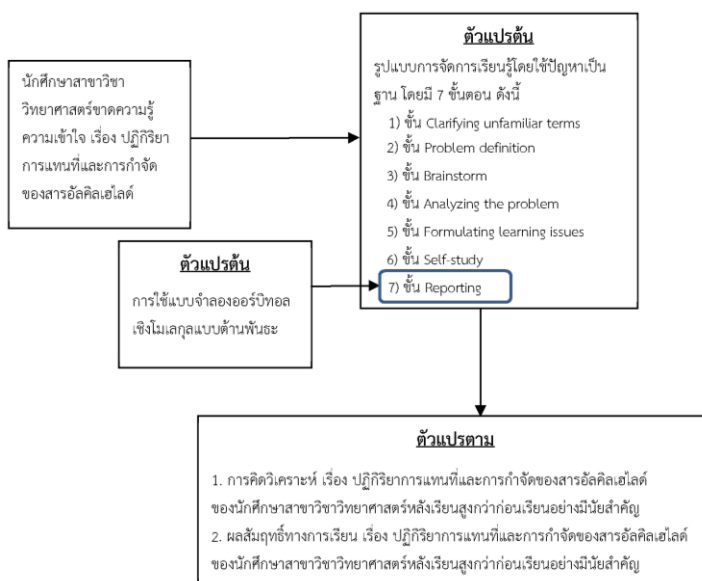
ตัวแปรตาม คือ

1) ทักษะการคิดวิเคราะห์การเกิดกลไกปฏิกิริยาเคมีของสารประกอบเคมีอินทรีย์ ซึ่งหมายถึงความสามารถของนักศึกษาวิชาชีวเคมี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ในการจำแนก แยกแยะองค์ประกอบ การหาความสัมพันธ์ของเนื้อหาหรือองค์ประกอบ และหลักการของปฏิกิริยาสารแอลคิลเฮไลด์ทั้งปฏิกิริยาการแทนที่และการกำจัด สามารถวิเคราะห์กลไกที่เกิดขึ้นได้เมื่อเปลี่ยนสารตั้งต้น (แอลคิลเฮไลด์) หรือนิวคลีโอไฟล์หรือเบส โดยวัดได้จากการทำแบบทดสอบประเมินทักษะการคิดวิเคราะห์การเกิดกลไกปฏิกิริยาเคมีของสารประกอบเคมีอินทรีย์ ซึ่งการวัดประกอบด้วย 3 ลักษณะ คือ 1) การคิดวิเคราะห์ความสำคัญหรือองค์ประกอบ 2) การคิดวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และ 3) การคิดวิเคราะห์หลักการ (Pattiyane, 2003, p. 74)

2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาเคมีอินทรีย์สำหรับครูวิทยาศาสตร์ เรื่อง ปฏิกิริยาการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบแอลคิลเฮไลด์ ซึ่งหมายถึงการแสดงออกถึงความรู้ ความเข้าใจ และการวิเคราะห์ของนักศึกษาวิชาชีวเคมี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ โดยวัดได้จากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ปฏิกิริยาการแทนที่และการกำจัดของสารแอลคิลเฮไลด์

**1.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย** ระยะเวลาในการทำวิจัยครั้งนี้ ดำเนินการในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560 ใช้เวลาในการทดลอง 8 ชั่วโมง

**1.5 กรอบแนวคิดการวิจัย** การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเห็นว่าการปรับปรุงการจัดการเรียนรู้ของผู้เรียน โดยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดทักษะการคิดวิเคราะห์และมีผลการเรียนที่ดีขึ้นเกี่ยวกับปฏิกิริยาการแทนที่และการกำจัดของสารแอลคิลเฮไลด์ จากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับการใช้แบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะ ผู้วิจัยจึงสรุปกรอบแนวของการวิจัย ดังภาพ 2



ภาพ 2 แสดงกรอบแนวคิดของการวิจัย

## 2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ในการวิจัยครั้งนี้ เครื่องมือที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ประกอบด้วย

2.1 แผนการจัดการเรียนรู้เรื่องกลไกการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ของแอลคิลเฮไลด์ จำนวน 4 คาบ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีค่าความเหมาะสมระหว่าง 4.20 – 5.00 ซึ่งอยู่ในระดับเหมาะสมมากที่สุด และมีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่าง 0.80 – 1.00

2.2 แผนการจัดการเรียนรู้เรื่องกลไกการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดของแอลคิลเฮไลด์ จำนวน 4 คาบ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีค่าความเหมาะสมระหว่าง 4.30 – 5.00 ซึ่งอยู่ในระดับเหมาะสมมากที่สุด และมีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่าง 0.70 – 1.00

2.3 แบบทดสอบวัดทักษะการคิดวิเคราะห์ เรื่อง กลไกปฏิกิริยาเคมี แบบอัตนัย 6 ข้อ 30 คะแนน ใช้เวลา 60 นาที มีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่าง 0.70 - 1.00

2.4 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง กลไกปฏิกิริยาเคมี เป็นแบบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ 30 คะแนน ใช้เวลา 60 นาที มีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่าง 0.70 - 1.00 และค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ .886

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยแบบกลุ่มทดลองกลุ่มเดียวมีการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน (One group pre-test post-test design) (Tuckman, 1999, p. 160) มีขั้นตอนต่อไปนี้

3.1 ผู้วิจัยให้กลุ่มตัวอย่างทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) โดยใช้แบบทดสอบวัดทักษะการคิดวิเคราะห์ และแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ปฏิบัติการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์

3.2 ผู้วิจัยดำเนินการจัดการเรียนรู้ด้วยตนเองโดยจัดการเรียนรู้ตามแผนการเรียนรู้ เรื่องปฏิกิริยาการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์ โดยใช้กิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานแบบ (PBL)

แบบ 7 ขั้นตอน (Suwannoi, 2015) ร่วมกับการแบบจำลองออร์บิทอลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะ มีขั้นตอน ดังนี้

- 1) ขั้น Clarifying unfamiliar terms นักศึกษาแต่ละกลุ่มได้รับโจทย์ปัญหา สมาชิกทุกคนในกลุ่มจะทำความเข้าใจ คำศัพท์หรือข้อความที่ปรากฏในโจทย์ โดยอาศัยความรู้พื้นฐานของสมาชิกในกลุ่มหรือการศึกษาค้นคว้าจากเอกสารตำรา หรือสื่ออื่นๆ เพื่อให้เข้าใจตรงกัน
- 2) ขั้น Problem definition นักศึกษาแต่ละกลุ่มระบุปัญหาหรือข้อมูลสำคัญร่วมกัน โดยทุกคนในกลุ่มเข้าใจปัญหา เหตุการณ์ หรือปรากฏการณ์ใดที่กล่าวถึงในปัญหานั้น
- 3) ขั้น Brainstorm นักศึกษาแต่ละกลุ่มระดมสมองเพื่อวิเคราะห์ปัญหา อภิปรายเพื่อหาข้ออธิบาย แต่ละประเด็นปัญหาว่าเป็นอย่างไร เกิดขึ้นได้อย่างไร มีความเป็นมาอย่างไร โดยอาศัยความรู้เดิมของสมาชิกกลุ่ม และช่วยกันคิดอย่างมีเหตุมีผล
- 4) ขั้น Analyzing the problem นักศึกษาแต่ละกลุ่มอธิบายและตั้งสมมติฐานที่เชื่อมโยงกันกับปัญหาตามที่ได้ระดมสมองกันในขั้นตอนที่ 3 โดยใช้พื้นฐานความรู้เดิมของผู้เรียน
- 5) ขั้น Formulating learning issues นักศึกษาแต่ละกลุ่มจะประเมินตนเองว่า มีความรู้เรื่องอะไรบ้าง มีเรื่องอะไรที่ยังไม่รู้หรือยัง ขาดความรู้อะไร และความรู้อะไรจำเป็นที่จะต้องใช้เพื่อพิสูจน์สมมติฐาน ซึ่งเชื่อมโยงกับโจทย์ปัญหาที่ได้
- 6) ขั้น Self-study นักศึกษาดำเนินการศึกษาด้วยตนเอง (Self-directed learning) ในเรื่องที่ต้องการเรียนรู้ จากแหล่งข้อมูลที่เตรียมไว้ให้ โดยเสริมให้นักศึกษาใช้แบบจำลองโมเลกุลแบบด้านพันธะ เพื่อช่วยให้เกิดทักษะการคิด การจินตนาการ จากนั้นเขียนสรุปความรู้ที่ตนเองศึกษา
- 7) ขั้น Reporting นักศึกษานำข้อมูลหรือความรู้ที่ได้มาสังเคราะห์ อธิบาย และประยุกต์ให้เหมาะสมกับโจทย์ที่ได้รับ พร้อมสรุปเป็นแนวคิด ซึ่งได้ใช้สื่อการเรียนรู้แบบจำลองออร์บิทอลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะควบคู่กับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในขั้นที่ 6 เพื่อเสริมการคิดวิเคราะห์ของนักศึกษา

3.3 เมื่อสิ้นสุดการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยให้กลุ่มตัวอย่างทดสอบหลังเรียน (Post-test) โดยใช้แบบทดสอบวัดทักษะการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ซึ่งเป็นชุดเดียวกับแบบทดสอบก่อนเรียน

3.4 ตรวจสอบคะแนนแบบทดสอบวัดทักษะการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จากนั้นนำผลคะแนนที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบด้วยวิธีทางสถิติต่อไป

## ผลการวิจัย

ผู้วิจัยนำคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบทักษะการคิดวิเคราะห์ และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ เรื่อง ปฏิบัติการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์ โดยผลการวิจัยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

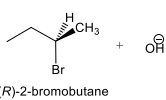
1. ทักษะในการคิดวิเคราะห์ เรื่อง ปฏิบัติการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์ ของ นักศึกษาวิชาชีพครู สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ หลังจากได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับการใช้แบบจำลองออร์บิทอลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะ สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ปฏิบัติการแทนที่และการกำจัดของสารอัลคิลเฮไลด์ของนักศึกษาวิชาชีพครู สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ หลังจากได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับการใช้แบบจำลองออร์บิทอลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะ สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

## ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ผลการเปรียบเทียบทักษะการคิดวิเคราะห์ เรื่อง ปฏิกริยาการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์ จากแบบทดสอบแบบอัตนัย 6 ข้อ 30 คะแนน ของนักศึกษาวิชาชีพครู สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ชั้นปีที่ 2 หลังจากได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับการใช้แบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะ ในการตรวจแบบทดสอบแบบอัตนัยทั้ง 6 ข้อนั้น ผู้วิจัยเป็นผู้ตรวจด้วยตนเองโดยตรวจซ้ำ 2 ครั้ง ทั้งแบบทดสอบแบบก่อนเรียนและหลังเรียน และได้เว้นช่วงเวลาในการตรวจพร้อมทั้งสลับลำดับที่ของข้อสอบ ในแต่ละครั้งที่ตรวจนั้น จะตรวจให้คะแนนข้อหนึ่งๆ ของทุกคนให้เสร็จก่อน ด้วยการตรวจให้เสร็จในคราวเดียวแล้วค่อยตรวจข้ออื่นทำอย่างนี้จนครบทุกข้อ สำหรับการให้คะแนนนั้นเป็นไปตามแบบเฉลยคำตอบที่ได้ทำไว้ก่อนให้คะแนน ด้วยการตั้งเกณฑ์จากวิเคราะห์ แยกคำตอบออกเป็นส่วนๆ แล้วกำหนดคะแนนเต็มของแต่ละส่วน ดังแสดงตัวอย่างการให้คะแนนในตาราง 1

**ตาราง 1** แสดงตัวอย่างข้อสอบและเกณฑ์การให้คะแนนแบบทดสอบวัดทักษะการคิดวิเคราะห์ เรื่อง ปฏิกริยาการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์

| เรื่อง<br>(คะแนน)                                                                                        | สัดส่วนคะแนนตามสมรรถนะด้านการคิดวิเคราะห์ (100%)                                          |                                                                                                                                                |                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                          | ความสำคัญ (30%)                                                                           | ความสัมพันธ์ (30%)                                                                                                                             | หลักการ (40%)                                                                 |
| <b>ปฏิกริยาการแทนที่ของสารอัลคิลเฮไลด์</b>                                                               | ระบุพันธะที่จะเกิดปฏิกริยา                                                                | การให้เหตุผลว่าทำไมปฏิกริยานี้ถึงเกิดแบบการแทนที่ได้ดังนี้                                                                                     | การวาดลูกศรแสดงทิศทางและกลไกการเข้าทำปฏิกริยาของนิวคลีโอไฟล์ได้นั้น           |
| จงเขียนกลไกการเกิดปฏิกริยาการแทนที่ของ                                                                   | วิเคราะห์เปรียบเทียบความแข็งแรงของพันธะโคเวเลนต์                                          | สะท้อนถึงการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างสารตั้งต้นอย่าง (R)-2-bromobutane กับนิวคลีโอไฟล์ (OH <sup>-</sup> ) ว่าส่งผลกับการเกิดปฏิกริยาอย่างไร | สะท้อนถึงการวิเคราะห์หลักการในการพิจารณาออร์บิทัลแบบสร้างพันธะและแบบด้านพันธะ |
| (R)-2-bromobutane กับ OH <sup>-</sup><br>(5.00 คะแนน)                                                    | ต่างๆได้ว่าพันธะที่ไม่แข็งแรงก็จะเกิดการแทนที่ด้วยนิวคลีโอไฟล์ (OH <sup>-</sup> ) ได้ง่าย | <u>เกณฑ์การให้คะแนน</u><br>- ได้ 0 คะแนน เมื่อไม่ตอบคำถาม หรือตอบผิด                                                                           | <u>เกณฑ์การให้คะแนน</u><br>- ได้ 0 คะแนน เมื่อไม่ตอบคำถาม หรือตอบผิด          |
| <br>(R)-2-bromobutane | 1) พันธะใดที่เกิดปฏิกริยาการแทนที่กับ OH <sup>-</sup> เพราะอะไร (1.50 คะแนน)              | - ได้ 0 คะแนน เมื่อไม่ตอบคำถาม หรือตอบถูกแต่ให้เหตุผลผิด                                                                                       | - ได้ 0.50 คะแนน เมื่อมีคำตอบถูกต้องบางส่วน                                   |
|                                                                                                          | 2) ทำไมปฏิกริยานี้ถึงเกิดแบบการแทนที่ได้ดี (1.50 คะแนน)                                   | - ได้ 0.75 คะแนน เมื่อตอบถูกแต่ไม่ให้เกิดผลประกอบ                                                                                              | - ได้ 1.00 คะแนน เมื่อมีคำตอบถูกต้องบางส่วน                                   |
|                                                                                                          | 3) จงวาดลูกศรแสดงกลไกการเกิดปฏิกริยา (2.00 คะแนน)                                         | - ได้ 1.50 คะแนน เมื่อตอบถูกและให้เหตุผลถูกต้อง                                                                                                | - ได้ 1.50 คะแนน เมื่อคำตอบถูกต้องเป็นส่วนใหญ่                                |
|                                                                                                          |                                                                                           | - ได้ 1.00 คะแนน เมื่อมีคำตอบครบถ้วนสมบูรณ์และให้เหตุผลถูกต้อง                                                                                 | - ได้ 2.00 คะแนน เมื่อคำตอบถูกต้องครบถ้วนสมบูรณ์                              |

จากนั้นวิเคราะห์ผลคะแนนก่อนและหลังจัดกิจกรรมโดยใช้สถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และการทดสอบค่า t-test แบบ Dependent ได้ผลดังตาราง 2

**ตาราง 2** เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยแบบทดสอบวัดทักษะการคิดวิเคราะห์แบบอัตนัย เรื่อง กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมี การแทนที่และการจำกัดของอัลคิลเฮไลด์ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษาวิชาชีพครู สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ ชั้นปีที่ 2 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับการใช้แบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะ

| กลุ่มตัวอย่าง | N  | $\bar{X}$ | SD   | Df | t      | P     |
|---------------|----|-----------|------|----|--------|-------|
| ก่อนเรียน     | 23 | 14.39     | 2.37 | 22 | 15.644 | 0.000 |
| หลังเรียน     | 23 | 24.35     | 1.94 |    |        |       |

\* $p < .01$

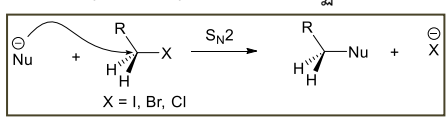
จากตาราง 2 พบว่า นักศึกษาที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ปฏิกิริยาการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์ โดยใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับการใช้แบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะ มีคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดวิเคราะห์ เรื่อง ปฏิกิริยาการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์ เท่ากับ 24.35 สูงกว่าค่าเฉลี่ยทักษะการคิดวิเคราะห์ เรื่อง ปฏิกิริยาการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์ ก่อนการจัดการเรียนรู้ ซึ่งมีค่า เท่ากับ 14.39 และเมื่อนำข้อมูลมาทดสอบค่า t-test แบบ Dependent ได้ค่า t-test เท่ากับ 15.644 และ  $P < .01$  แสดงให้เห็นว่า ทักษะการคิดวิเคราะห์ เรื่อง ปฏิกิริยาการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์ ของนักศึกษาวิชาชีพครู สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ชั้นปีที่ 2 สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

2. ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ เรื่อง ปฏิกิริยาการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์ จากแบบทดสอบแบบปรนัย 30 ข้อ 30 คะแนน ของนักศึกษาวิชาชีพครู สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ชั้นปีที่ 2 โดยแบ่งตามพฤติกรรมที่ต้องการวัด ดังนี้ ด้านความรู้ จำนวน 2 ข้อ ด้านความเข้าใจ จำนวน 7 ข้อ และด้านการวิเคราะห์ จำนวน 21 ข้อ ดังแสดงในตาราง 3 หลังจากได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับการใช้แบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะ โดยแบบทดสอบนี้ต้องแสดงให้เห็นถึงความรู้ ความเข้าใจ และการวิเคราะห์ของผู้เรียน ดังแสดงตัวอย่างในตาราง 4 ซึ่งวิเคราะห์ผลคะแนนก่อนและหลังจัดกิจกรรมโดยใช้สถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และการทดสอบค่า t-test แบบ Dependent ได้ผลดังตาราง 5

**ตาราง 3** จำนวนข้อของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวชี้วัดกับพฤติกรรมที่ต้องการวัดของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องปฏิกิริยาการแทนที่และการกำจัดของสารอัลคิลเฮไลด์

| เรื่อง                               | ตัวชี้วัด                                                                                                                                                                   | พฤติกรรมที่ต้องการวัด |            |            |           |     |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------|------------|-----------|-----|
|                                      |                                                                                                                                                                             | ความรู้               | ความเข้าใจ | การนำไปใช้ | วิเคราะห์ | รวม |
| ปฏิกิริยาการแทนที่ของสารอัลคิลเฮไลด์ | 1. วาดโครงสร้างสามมิติของแอลคิลเฮไลด์ได้                                                                                                                                    | -                     | 2          | -          | -         | 2   |
|                                      | 2. เปรียบเทียบความแข็งแรงของพันธะโคเวเลนต์ ในโครงสร้างของแอลคิลเฮไลด์ได้                                                                                                    | -                     | -          | -          | 2         | 2   |
|                                      | 3. ระบุพันธะที่จะเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ของแอลคิลเฮไลด์ได้                                                                                                                   | -                     | -          | -          | 2         | 2   |
|                                      | 4. ระบุ bonding orbital และ anti-bonding orbital ในโครงสร้างแอลคิลเฮไลด์ โดยใช้แบบจำลองโมเลกุลด้วยออร์บิทัลแบบด้านพันธะได้                                                  | 2                     | -          | -          | -         | 2   |
|                                      | 5. วิเคราะห์ทิศทางและกลไกการเข้าทำปฏิกิริยาของนิวคลีโอไฟล์กับแอลคิลเฮไลด์ โดยใช้แบบจำลองโมเลกุลด้วยออร์บิทัลแบบด้านพันธะได้                                                 | -                     | 1          | -          | 3         | 4   |
|                                      | 6. วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาการแทนที่ของแอลคิลเฮไลด์ได้                                                                                                    | -                     | -          | 1          | 3         | 4   |
| ปฏิกิริยาการกำจัดของสารอัลคิลเฮไลด์  | 1. ระบุพันธะที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดของแอลคิลเฮไลด์ได้                                                                                                      | -                     | 1          | -          | 1         | 2   |
|                                      | 2. วิเคราะห์ปัจจัยที่เอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดได้                                                                                                                    | -                     | -          | 1          | 1         | 2   |
|                                      | 3. ระบุ bonding orbital และ anti-bonding orbital ในโครงสร้างแอลคิลเฮไลด์ โดยใช้แบบจำลองโมเลกุลด้วยออร์บิทัลแบบด้านพันธะ ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาการกำจัดของแอลคิลเฮไลด์ได้ | -                     | 1          | -          | 1         | 2   |
|                                      | 4. ระบุทิศทางในการเข้าทำปฏิกิริยาของเบสกับแอลคิลเฮไลด์ได้                                                                                                                   | -                     | -          | -          | 2         | 2   |
|                                      | 5. แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดได้                                                                                                                                      |                       | 2          | -          | 4         | 6   |
| รวม                                  |                                                                                                                                                                             | 2                     | 7          | 2          | 19        | 30  |

**ตาราง 4** แสดงตัวอย่างข้อสอบและพฤติกรรมที่ต้องการวัดของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาเคมีอินทรีย์ เรื่องปฏิกิริยาการแทนที่และการกำจัดของสารอัลคิลเฮไลด์

| ข้อสอบ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | พฤติกรรมที่ต้องการวัด |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| <p>ออร์บิทัลแบบต้านพันธะ (anti-bonding orbital) ของพันธะ C—Br ในโครงสร้างสามมิติแบบสถานะพื้นได้ถูกต้อง</p> <p>ก.  ข.  ค.  ง. </p> | ความรู้               |
| <p>สารประกอบอัลคิลเฮไลด์ในข้อใดที่เป็นตัวเดียวกันกับสารต่อไปนี้</p> <p>ก.  ข.  ค.  ง. </p>                                        | ความเข้าใจ            |
| <p>อัลคิลเฮไลด์ (สารตั้งต้น) ในข้อใดที่เกิดปฏิกิริยาการแทนที่แบบ <math>S_N2</math> ได้เร็วที่สุด</p> <p></p> <p>ก. <math>(H_3C)_2HC-X</math> ข. <math>(H_3C)_3C-X</math><br/>         ค. <math>H_3CH_2CH_2C-X</math> ง. <math>(H_3C)_3CH_2C-X</math></p>                                                                                                                             | วิเคราะห์             |

**ตาราง 5** เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์แบบปรนัย เรื่อง กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการแทนที่และการกำจัดของอัลคิลเฮไลด์ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ชั้นปีที่ 2 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับการใช้แบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบต้านพันธะ

| กลุ่มทดลอง | N  | $\bar{X}$ | SD   | Df | t      | P     |
|------------|----|-----------|------|----|--------|-------|
| ก่อนเรียน  | 23 | 15.09     | 3.36 | 22 | 12.694 | 0.000 |
| หลังเรียน  | 23 | 26.04     | 2.55 |    |        |       |

\* $p < .01$

จากตาราง 5 พบว่า นักศึกษาที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ปฏิกิริยาการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์ มีคะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ เท่ากับ 26.04 สูงกว่าค่าเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ เรื่องปฏิกิริยาการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์ ก่อนการจัดการเรียนรู้ ซึ่งมีค่า เท่ากับ 15.09 และเมื่อนำข้อมูลมาทดสอบค่า t-test แบบ Dependent ได้ค่า t-test เท่ากับ 12.694 และ  $P < .01$  แสดงให้เห็นว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ของนักศึกษาวิชาชีพครู สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ชั้นปีที่ 2 สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 จากการจัดการเรียนรู้โดยให้ผู้เรียนได้มีประสบการณ์เกี่ยวกับกลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีอย่างจริงจังโดยการจัดการเรียน

การสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ใช้ปัญหาเป็นฐาน การแบ่งกลุ่มนักศึกษาค้นหาตัวอย่างปฏิกิริยา แล้ววิเคราะห์เชื่อมโยงเหตุผลและกลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีนั้นๆ ผ่านการใช้แบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะเป็นสื่อการเรียนรู้ ช่วยเสริมการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ จึงเป็นการช่วยให้ผู้เรียนมีความเข้าใจกลไกการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น

## สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาดูผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับการใช้แบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะต่อการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ เรื่อง ปฏิกิริยาการแทนที่และการกำจัดของสารแอลคิลเฮไลด์ของนักศึกษาวิชาชีวเคมี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ชั้นปีที่ 2 สามารถอภิปรายผลที่ศึกษา ดังนี้

1. ประสิทธิภาพการจัดการเรียนรู้รูปแบบปัญหาเป็นฐานร่วมกับการใช้แบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะต่อการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ เรื่อง ปฏิกิริยาการแทนที่และการกำจัดของสารแอลคิลเฮไลด์ พบว่า นักศึกษาวิชาชีวเคมี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ มีคะแนนทักษะการคิดวิเคราะห์ เรื่อง ปฏิกิริยาการแทนที่และการกำจัดของสารแอลคิลเฮไลด์ เท่ากับ 24.35 สูงกว่าก่อนจัดการเรียนรู้ ซึ่งมีคะแนน เท่ากับ 14.39 จากการทดสอบค่า t-test แบบ Dependent ได้ค่า t-test เท่ากับ 15.644 และ  $P < .01$  แสดงให้เห็นว่า ทักษะการคิดวิเคราะห์ เรื่อง ปฏิกิริยาการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์ ของนักศึกษาวิชาชีวเคมี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 แม้ว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับแบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะในแผนที่ 1 นักศึกษายังไม่สามารถดำเนินการจัดการเรียนรู้ได้เท่าที่ควร พบปัญหาในขั้นที่ 1 Clarifying unfamiliar terms ทำความเข้าใจคำศัพท์หรือข้อความที่ปรากฏในโจทย์ ขั้นที่ 3 Brainstorm ระดมสมองเพื่อวิเคราะห์ปัญหา ขั้นที่ 4 Analyzing the problem อธิบายและตั้งสมมติฐาน ขั้นที่ 5 Formulating learning issues ประเมินตนเองว่ามีความรู้เรื่องอะไรบ้าง มีเรื่องอะไรที่ยังไม่รู้ และขั้นที่ 6 Self-study ศึกษาด้วยตนเอง (Self-directed learning) ในเรื่องที่ต้องการเรียนรู้ เนื่องจากนักศึกษาไม่คุ้นเคยกับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน และมีความเคยชินกับการที่อาจารย์ผู้สอนเป็นผู้ให้ความรู้ก่อนที่นักศึกษาจะได้ทำกิจกรรมต่างๆ อีกทั้งยังไม่คุ้นเคยกับการใช้แบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะ ส่งผลทำให้ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้มากขึ้น แต่การผลการศึกษาทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักศึกษาก็ยังพบว่าสูงกว่าก่อนจัดการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญนั้น เนื่องจากผู้เรียนได้รับการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน (PBL) แบบ 7 ขั้นตอน (Suwannoi, 2015) ที่ผู้วิจัยได้ใช้ปัญหาที่ไม่สามารถหาคำตอบของปัญหาได้ทันที ต้องมีการสำรวจ ค้นหา ทดลอง และรวบรวมข้อมูล จึงจะได้คำตอบ ไม่สามารถคาดเดา หรือทำนายได้ง่ายๆ เป็นตัวกระตุ้นให้ผู้เรียนได้ดำเนินการกิจกรรมการเรียนรู้ ซึ่งนักศึกษาแต่ละคนได้ศึกษาเรื่อง ปฏิกิริยาของแอลคิลเฮไลด์ กลไกการเกิดปฏิกิริยา และปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา จากแหล่งเรียนรู้ที่ตนเองเลือกแล้ว ให้นักศึกษามารวมกลุ่มและแลกเปลี่ยนสิ่งที่ตนเองได้เรียนรู้ภายในกลุ่ม นำข้อมูลหรือความรู้มาสังเคราะห์ เพื่ออธิบาย พิสูจน์สมมติฐาน และประยุกต์ให้เหมาะสมกับโจทย์ปัญหา รวมทั้งการใช้แบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะเป็นสื่อการเรียนรู้ร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ ช่วยให้นักศึกษาสามารถวิเคราะห์จนเข้าใจโครงสร้าง 3 มิติ ของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์ได้อย่างถูกต้องมากขึ้น ส่งผลให้นักศึกษาได้วิเคราะห์ต่อจนกระทั่งรู้ว่าปฏิกิริยาการแทนที่และการกำจัดของ

สารประกอบอัลคิลเฮไลด์เกิดขึ้นตรงไหนและเกิดขึ้นได้อย่างไร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kawatkul et al. (2015) ที่ได้ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้วิชาเคมี เรื่อง สารชีวโมเลกุล ด้วยการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน เพื่อพัฒนา มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ และความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา ปีที่ 6 พบว่า มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง สารชีวโมเลกุลของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 หลังเรียนด้วยการเรียนรู้ โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Khongton et al. (2016) ที่ศึกษาการพัฒนาแนวคิดเรื่อง เคมีอินทรีย์ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยการจัดการเรียนรู้ที่ใช้แบบจำลองเป็นฐาน พบว่า การจัดการกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานโดยให้ความสำคัญกับการใช้คำถามที่ช่วยให้เกิดการอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกัน ส่งเสริมให้นักเรียนลงมือปฏิบัติจริง มีปฏิสัมพันธ์กับเพื่อนในชั้นเรียน ใช้กระบวนการสร้าง แสดงออก ทดสอบ ประเมิน และขยายแบบจำลองที่สร้างขึ้น ประกอบกับการใช้สื่อการเรียนรู้ที่หลากหลาย ทำให้นักเรียนสามารถพัฒนาแนวคิด เรื่อง เคมีอินทรีย์ ให้มีแนวคิดที่ถูกต้อง โดยหัวข้อที่นักเรียนมีแนวคิดที่ถูกต้องมากที่สุด คือ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน

2. นักศึกษาได้รับการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับการใช้แบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะ มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน เรื่อง ปฏิกริยาการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์ สูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 อาจเป็นเพราะการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานที่ใช้แบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะร่วมด้วย ช่วยให้นักศึกษาได้เรียนรู้อย่างมีความหมายมากกว่า การสอนโดยการฟังบรรยาย (Katkam et al., 2017) เนื่องจากการใช้แบบจำลองจึงต้องมีการตีความหมาย เพื่อทำความเข้าใจในสิ่งที่เป้าหมายที่ต้องการศึกษา (Gilbert & Ireton, 2003) และฝึกให้นักศึกษาสามารถค้นหาความรู้ด้วยตนเองผ่านการใช้แบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะ และเกิดทักษะด้านการแก้ปัญหา เรื่อง ปฏิกริยาการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์ ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้โจทย์ปัญหาที่เป็นปัญหาที่ไม่สามารถหาคำตอบของปัญหาได้ทันที ต้องมีการสำรวจ ค้นคว้า ทดลอง และรวบรวมข้อมูล จึงจะได้คำตอบ ไม่สามารถคาดเดา หรือทำนายได้ง่ายๆ เป็นตัวกระตุ้น ให้ผู้เรียนไปสืบค้นข้อมูลความรู้มาเพื่อตอบคำถามหรือเพื่ออธิบายปัญหานั้นๆ ผู้เรียนจะนำความรู้ที่ได้จากการสืบค้นไปอธิบายปัญหาและสรุปเป็นองค์ความรู้ใหม่ ทำให้นักศึกษาได้ค้นพบจากการเรียนรู้ด้วยตนเอง และจากการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับบุคคลอื่น ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง Khammani (2005, p. 94) กล่าวว่า ในการเรียนการสอน ผู้เรียนจะเป็นผู้รับผิดชอบในการเรียนรู้อย่างตื่นตัว (Active) ผู้เรียนจะต้องเป็นผู้จัดการกระทำข้อมูลหรือประสบการณ์ต่างๆ และจะต้องสร้างความหมายให้กับสิ่งนั้นด้วยตนเอง เปิดโอกาสให้ผู้เรียนมีปฏิสัมพันธ์กับสื่อ วัสดุ อุปกรณ์สิ่งของหรือข้อมูลต่างๆ ที่เป็นของจริง และมีความสอดคล้องกับความสนใจของผู้เรียน โดยผู้เรียนสามารถจัด กระทำศึกษา สำรวจ วิเคราะห์ ทดลอง ลองผิดลองถูกกับสิ่งนั้นๆ จนเกิดเป็นความรู้ความเข้าใจขึ้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Katkam et al. (2017) ที่ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ ความสามารถในการแก้ปัญหา และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 พบว่า การจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ หน่วยการเรียนรู้เรื่อง ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wongaiam et al. (2016) ได้ศึกษาการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

และความสามารถในการคิดแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ วิชาชีววิทยา เรื่อง สิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน พบว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาชีววิทยา เรื่อง สิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อม หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และนักเรียนมีความสามารถในการคิดแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และจากการใช้แบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะร่วมด้วยในการจัดการเรียนรู้ อาจเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ นักศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนดีกว่าก่อนเรียน เนื่องจากเรื่อง ปฏิบัติการการแทนที่และการกำจัดของสารประกอบอัลคิลเฮไลด์ การจัดการเรียนรู้ที่ใช้แบบจำลองร่วมด้วย ส่งเสริมให้นักศึกษาลงมือปฏิบัติจริง ได้ใช้กระบวนการสร้างแบบจำลอง ทำให้นักศึกษาสามารถพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ เรื่อง ปฏิบัติการดังกล่าว ให้มีแนวคิดที่ถูกต้อง ตามที่ Khongton et al. (2016) ได้รายงานไว้ในการศึกษาการพัฒนาแนวคิดเรื่อง เคมีอินทรีย์ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยการจัดการเรียนรู้ที่ใช้แบบจำลองเป็นฐาน

### ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ในการจัดการเรียนรู้ นักศึกษาส่วนใหญ่เคยชินกับการรับความรู้จากอาจารย์ผู้สอนโดยตรงผ่านการบรรยาย และไม่กล้าแสดงความคิดเห็นเท่าที่ควร ผู้สอนควรแก้ปัญหาโดยการสร้างบรรยากาศในห้องเรียนให้เป็นบรรยากาศแห่งการเรียนรู้ให้เกิดขึ้นก่อน โดยผู้สอนต้องลดช่องว่างระหว่างผู้สอนกับผู้เรียนลง เริ่มจากการมีปฏิสัมพันธ์กับผู้เรียนทุกคนอย่างเป็นกันเอง สร้างรอยยิ้มและเสียงหัวเราะในชั้นเรียน เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้แสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ กระตุ้นด้วยคำถามตลอดเวลา ซึ่งจะส่งผลทำให้ผู้เรียนแต่ละคนกล้าคิด กล้าตั้งคำถาม และแสดงความคิดเห็นในการสรุปความรู้ ซึ่งเป็นสะท้อนว่าผู้เรียนมีความเข้าใจมากขึ้นเพียงใด

2. ในการนำเอาแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับแบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะไปปรับใช้ในการจัดการเรียนรู้กับกลุ่มผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายหรือนักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมี ผู้สอนควรทำความเข้าใจขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานอย่างถ่องแท้ทุกขั้นตอน และเตรียมแบบจำลองออร์บิทัลเชิงโมเลกุลแบบด้านพันธะให้พร้อมและเพียงพอกับผู้เรียน เพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนรู้ควบคู่ในกิจกรรมแบบใช้ปัญหาเป็นฐาน และเตรียมประเด็นปัญหาที่น่าสนใจสอดคล้องกับเนื้อหา พร้อมจัดเวลาให้ผู้เรียนได้สืบค้นและใช้แบบจำลองในการแก้ปัญหาให้เพียงพอและเหมาะสม ที่สำคัญผู้สอนควรรู้จักพื้นฐานความรู้ของผู้เรียนเป็นรายบุคคล เพื่อที่ผู้สอนจะได้เข้าใจถึงศักยภาพและปัญหาในการเรียนรู้ของผู้เรียนอย่างแท้จริง เพื่อที่จะสามารถให้คำแนะนำได้อย่างถูกต้อง สำหรับการวัดและประเมินผล ควรวัดและประเมินผลตามสภาพจริง

## References

- Chaiyen, Y., Bunsawansong, P., & Yutakom, N. (2007). Thai high school students' conceptions about chemical equilibrium. *Songklanakarin Journal of Social Sciences and Humanities*, 13(4), 541–553. [in Thai]
- Coll, R. K. (1999). *Learners' mental models of chemical bonding* (Doctoral dissertation). Australia: Curtin University of Technology.
- Coll, R. K., & Treagust, D. F. (2001). Learner' mental models of chemical bonding. *Research in Science Education*, 31, 357–382.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and Modelling: Routes to More Authentic Science Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115–130.
- Gilbert, J. K., & Ireton, S.W. (2003). *Understanding models in earth and space science*. Arlington: NSTA Press.
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models and modeling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1–11.
- Katkarn, P., Srisanyong, S., & Singlop, S. (2017). The effect of problem-based learning for development science learning achievement, problem solving ability and scientific attitude of Pratomsuksa 6 students. *Journal of Education Naresuan University*, 19(1), 77-89. [in Thai]
- Kawatkul, A., Prommas, C., & Chaiprasert, P. (2015). Effects of learning on biomolecule using model-based learning to develop scientific conceptions and constructing scientific model ability for Mathayomsuksa six students. *Journal of Education*, 26(2), 42-55. [in Thai]
- Khammani, T. (2005). *Cognitive science teaching for effective learning process* (4th ed.). Bangkok: Chulalongkorn University. [in Thai]
- Khongton, T., Sukhummek, B., & Faikhamta, C. (2016). Development of grade-11 students' conceptions about organic chemistry through model-based learning. *J. Res. Unit Sci. Technol. Environ. Learning*, 7(1), 62-76. [in Thai]
- Kuathan, N., Faikhamta, C., & Sanguanruang, S. (2011). The secondary students' mental models of chemical bonding. *Songklanakarin Journal of Social Sciences and Humanities*, 17(2), 299-314. [in Thai]
- Makmee, P. (2011). Problem - based learning. *EAU Heritage Journal*, 5(1), 7-14. [in Thai]

- McCollum, B. M., Regier, L., Leong, J., Simpson, S., & Sterner, S. (2014). The effects of using touch-screen devices on students' molecular visualization and representational competence skills. *Journal of Chemical Education*, 91(11), 1810-1817.
- Ministry of Education. (2017). Indicators and core learning content science learning subject group, revised edition B.E. 2560 (2017). Bangkok: Ministry of Education. [in Thai]
- Ozmen, H. (2004). Some student misconceptions in chemistry: A literature review of chemical bonding. *Journal of Science Education and Technology*, 13(2), 147–158.
- Pattiyanee, S. (2003). *Education measurement* (4th ed.). Kalasin: Prasankanpim. [in Thai]
- Suwannoi, P. (2015). *Problem-based learning: PBL*. Retrieved May 27, 2017, from <https://ph.kku.ac.th/thai/images/file/km/pbl-he-58-1.pdf>
- Tuckman, B. W. (1999). *Conducting educational research* (5th ed.). New York: Harcourt Brace College Publishers.
- Wongaiam, S., Chaiprasert, P., & Srisangyong, S. (2016). The development of learning achievement and ability in problems solving thinking in life and environment for grade 10 students using problem based learning. *Journal of Education Naresuan University*, 18(2), 194-201. [in Thai]
- Wongsaphan, M. (2013). Elevating learning through analytical thinking. *Journal of Education Thaksin University*, 13(2), 125-139. [in Thai]