สถาบันวิจัย พัฒนาและสาธิตการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
วารสารวิจัยเพื่อการปฏิรูปการเรียนรู้
JOURNAL OF RESEARCH FOR LEARNING REFORM
ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม – ธันวาคม 2567)

**บทความวิจัย**

# การพัฒนาความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิดเรื่องการไทเทรตกรดและเบส โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

# Developing Representative Construction Ability in Acid-Base Titration through Blended Inquiry Learning for Eleventh-Grade Students

**ขวัญหทัย อาดนารี**
**Kwanhathai Ardnaree**
โรงเรียนประจันตราษฎร์บำรุง จังหวัดปราจีนบุรี
Prachantaratbamrung School, Prachinburi Province
***Email:** aom.kwanhathai@gmail.com
**Received** 22 October 2024; **Revised** 25 December 2024; **Accepted** 29 December 2024

## Abstract

The research aimed to 1) investigate representative construction ability in acid-base titration through blended inquiry learning; 2) compare learning achievement in acid-base titration before and after implementing blended inquiry learning activities, and 3) evaluate student satisfaction with blended inquiry learning activities on the topic of acid-base titration. The samples of the research included 29 eleventh-grade students by simple random sampling. The amount of time dedicated to this research was 12 hours. The research instruments consisted of 1) the blended inquiry learning lesson plans; 2) representative construction test; 3) learning achievement test; and 4) satisfaction survey. Data were analyzed by using mean, standard deviation, and t-test for dependent sample. The findings indicated that: 1) before implementation, most students (63.45% ) demonstrated a limited understanding of acid-base reactions at the zero level, specifically struggling to draw and describe the experimental procedures, the change of acid- base reactions, and the neutralization reaction/acid-base titration. After implementation, most students (75.87%) can complete representation at the three level in which they successfully constructed three levels of representation: macroscopic, submicroscopic, and symbolic; 2) the comparison of students' learning achievement found that the average scores of the post-test ($\bar{X}$ = 24.59, S.D. = 0.91) was higher than that of the pre-test ($\bar{X}$ = 11.55, S.D. = 0.79) at the statistically significant level of .05; and 3) the mean score of overall satisfaction towards learning activities was rated at a good level ($\bar{X}$= 4.43, S.D. = 0.71). The results demonstrated that blended inquiry learning activities effectively facilitated student understanding of chemistry concepts. This was achieved by providing opportunities to observe and explore the connections between macroscopic, submicroscopic, and symbolic representations.

Furthermore, these developed learning activities mitigated learning difficulties and complexities, thereby enhancing students' conceptual understanding of chemistry

**Keywords:** Representative construction; Acid and base titration; Blended inquiry learning; Laboratory; Simulation of situation

## บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิดเรื่องการไทเทรตกรดและเบสโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้ 2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียนเรื่องการไทเทรตกรดและเบสโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้ และ 3) ประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการจัดการเรียนรู้เรื่องการไทเทรตกรดและเบสโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้ กลุ่มตัวอย่างคือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 29 คน ซึ่งได้มาจากการสุ่มอย่างง่าย โดยใช้ระยะเวลาในการวิจัย 12 ชั่วโมง เครื่องมือวิจัยคือ 1) แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้ 2) แบบวัดความสามารถการสร้างตัวแทนความคิด 3) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และ 4) แบบสอบถามความพึงพอใจ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย 2 ค่าจากกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มที่ไม่เป็นอิสระจากกัน ผลวิจัยพบว่า 1) ก่อนเรียนผู้เรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 63.45 ไม่สามารถสร้างตัวแทนความคิดได้อย่างสมบูรณ์อยู่ในระดับ 0 โดยผู้เรียนไม่สามารถวาดรูปและอธิบายขั้นตอนการทดลองและการเปลี่ยนแปลงสมการกรดและเบส รวมถึงปฏิกิริยาสะเทินที่เกิดขึ้นจากการไทเทรตกรดและเบสได้ แต่หลังเรียนผู้เรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 75.87 มีความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิดอยู่ในระดับ 3 โดยผู้เรียนสามารถอธิบายปรากฏการณ์ทางเคมีทั้ง 3 ระดับ คือ มหภาค จุลภาค และสัญลักษณ์ได้อย่างสมบูรณ์ 2) การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของคะแนนทดสอบหลังเรียน ($\bar{X}$= 24.59, S.D. = 0.91) สูงกว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนทดสอบก่อนเรียน ($\bar{X}$ = 11.55, S.D. = 0.79) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 3) ค่าเฉลี่ยของคะแนนความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.43, S.D. = 0.71) ผลการวิจัยพบว่าการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้ที่เน้นการจำลองสถานการณ์นี้ ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีโอกาสสังเกตและสำรวจความเชื่อมโยงในระดับมหาภาค จุลภาคและสัญลักษณ์ สามารถพัฒนาความเข้าใจในเนื้อหาเคมีเชิงลึกของผู้เรียนได้ นอกจากนี้กิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นนี้ยังช่วยลดความยากและความซับซ้อนของเนื้อหาซึ่งส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความเข้าใจเนื้อหาเคมีได้มากยิ่งขึ้น

**คำสำคัญ:** การสร้างตัวแทนความคิด; การไทเทรตกรดและเบส; การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้; การทดลอง; การจำลองสถานการณ์

## บทนำ

จากพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับ 2) พ.ศ. 2545 (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2553 และ (ฉบับที่ 4) พ.ศ. 2562 หมวด 4 แนวการจัดการศึกษามาตรา 22 24 และ 30 ที่เน้นการจัดการศึกษา โดยยึดหลักผู้เรียนทุกคนมีความสามารถเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้ และถือว่าผู้เรียนมีความสำคัญที่สุดกระบวนการจัดการศึกษาต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาตนเองตามธรรมชาติและเต็มตามศักยภาพการจัดกระบวนการเรียนรู้ให้สถานศึกษาจัดเนื้อหาสาระและกิจกรรมให้สอดคล้องกับความสนใจและความถนัดของผู้เรียนมีการฝึกทักษะกระบวนการคิด การจัดการให้ทันต่อเหตุการณ์ปัจจุบัน ทั้งนี้ให้สถานศึกษาโดยบุคลากรได้มีการพัฒนากระบวนการเรียนการสอนที่มีประสิทธิภาพส่งเสริมให้ผู้สอนสามารถวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับผู้เรียน (Mosin el al., 2021) อีกทั้งหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551

และมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดฯ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) นั้นมีเป้าหมายในการพัฒนาคุณภาพผู้เรียน เน้นพัฒนาผู้เรียนที่มีความฉลาดแตกต่างกัน โดยพัฒนาจากความฉลาดหรือความเก่งแต่ละด้านของผู้เรียน ฉลาดด้านใดสนับสนุนด้านนั้น ถนัดเรื่องใดเน้นเรื่องนั้น ฝึกฝนจนเข้าถึงกระบวนการเรียนรู้ วิธีคิด วิธีประเมิน วิธีทำงาน วิธีแก้ปัญหาในเรื่องที่ตนเองสนใจและเข้าใจ (Understanding) ได้ง่ายผ่านวิธีการเรียนรู้แบบปฏิบัติจริง (Active learning) สามารถสร้างความรู้ได้ในระดับความคิดรวบยอดและระดับหลักการ เป็นวิธีการเรียนรู้ที่เป็นเหตุเป็นผล จากส่วนย่อยไปหาส่วนใหญ่ซึ่งเป็นหลักการทางวิทยาศาสตร์ แต่ไม่ได้เริ่มจากการเรียนวิทยาศาสตร์เหมือนในอดีต ทำให้ผู้เรียนสามารถนำหลักการไปเรียนรู้ศาสตร์อื่น ๆ ได้ (Peanpedlerd, 2022) ตามหลักการพัฒนาพหุปัญญาและเพื่อให้สอดคล้องกับยุทธศาสตร์การศึกษาขั้นพื้นฐาน 20 ปี (พ.ศ. 2561 - 2580) ยุทธศาสตร์ที่ 2 การจัดการศึกษาเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน โดยการเน้นให้ผู้เรียนมีคุณลักษณะและศักยภาพที่จาเป็นต่อการสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ มีทักษะอาชีพตามความต้องการของตลาดแรงงานและการพัฒนาประเทศ (The Secretariat of the Cabinet, 2018) ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าการเน้นให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ผ่านกิจกรรมแบบปฏิบัติจริง (Active Learning) เน้นให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมและปฏิสัมพันธ์กับกิจกรรมการเรียนรู้ในเชิงปฏิบัติที่พัฒนาทักษะของผู้เรียน (Settles, 2009; Sukjaroen, 2021; Brame, 2016; Rowles, 2012; Faikhamta, 2023; Kaesaman, 2023) ผสมผสานกับการจัดการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนสร้างองค์ความรู้และเกิดการเรียนรู้ด้วยตนเองจากประสบการณ์ของตัวเอง (Constructivism) เพื่อช่วยเพิ่มระดับความเข้าใจของผู้เรียนปรับ เปลี่ยนทักษะการคิดวิเคราะห์ของผู้เรียนให้อยู่ในระดับสูง (Walker, 2003) เน้นบทบาทของผู้เรียนให้มีความสามารถในการสืบเสาะ (Inquiry) และตรวจสอบข้อมูลของตนเอง อีกทั้งยังเป็นการพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาของผู้เรียนได้เป็นอย่างดี (Bogar, 2019; Gormally el al., 2009) เป็นแนวทางหนึ่งของการส่งเสริมการเรียนรู้อย่างเป็นขั้นตอนด้วยความเป็นเหตุเป็นผลกัน ซึ่งสอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาวิทยาศาสตร์ ซึ่งผู้วิจัยมีความสนใจจะพัฒนาความรู้ความเข้าใจของผู้เรียนโดยเฉพาะในรายวิชาเคมีที่ธรรมชาติของวิชาเคมีเป็นวิชาที่เกี่ยวข้องกับสสาร โครงสร้างและคุณสมบัติของสสาร การเปลี่ยนแปลงของสาร รวมทั้งการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารที่สอดคล้องกับอะตอมหรือโมเลกุลของสารนั้น ๆ ซึ่งเป้าหมายของการเรียนเคมี ผู้เรียนจะต้องมีความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิด (Level of representation) ทั้ง 3 ระดับ คือ ระดับมหภาค (Macroscopic level) ระดับจุลภาค (Microscopic level) และระดับสัญลักษณ์ (Symbolic level) (Johnston, 1991; Tsaparlis, 2000) ดังนั้นการจัดการเรียนรู้รายวิชาเคมีควรจะมีการเน้นให้ผู้เรียนได้มีโอกาสสร้างตัวแทนความคิดในระดับต่าง ๆ เพื่อให้ผู้เรียนสามารถสื่อความหมายและเชื่อมโยงสถานการณ์ทางเคมีกับสัญลักษณ์ทางเคมีได้ด้วยตนเอง ซึ่งจะส่งผลให้ผู้เรียนสามารถนำความรู้ทางเคมีที่มีความซับซ้อนของเนื้อหา นำมาสร้างองค์ความรู้ของตนเองได้อย่างถูกต้องและชัดเจนมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ การจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเคมี ครูผู้สอนควรจะจัดกิจกรรมที่เน้นการแสวงหาองค์ความรู้ทางเคมีและการให้ผู้เรียนมีความเข้าใจทั้งในแง่ที่เป็นประโยชน์และผลกระทบเกี่ยวกับสารเคมีในชีวิตประจำวัน (Hirun and Sudha, 2022) การสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง (Constructivism) เพื่อช่วยเพิ่มระดับความเข้าใจของผู้เรียน ปรับเปลี่ยนทักษะการคิดวิเคราะห์ของผู้เรียนให้อยู่ในระดับสูง (Amineh, 2015) เน้นบทบาทของผู้เรียนให้มีความสามารถในการสืบเสาะ (Inquiry) และตรวจสอบข้อมูลของตนเอง อีกทั้งยังเป็นการพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาของผู้เรียน (Gunawan el al., 2020)

ในการจัดการเรียนรู้ที่ผ่านมา พบว่า ผู้เรียนส่วนใหญ่จะมีปัญหาในการอธิบายการเกิดปฏิกิริยาเคมีระดับโมเลกุล โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้เรียนขาดการเชื่อมโยงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีระหว่างการทดลอง ซึ่งไม่สามารถนำผลการทดลองที่ได้ไปสร้างตัวแทนความคิด (Level of representation) ทั้ง 3 ระดับคือ ระดับมหภาค (Macroscopic level) ระดับจุลภาค (Microscopic level) และระดับสัญลักษณ์ (Symbolic level) ได้ หรืออาจกล่าวได้ว่าผู้เรียนไม่สามารถจินตนาการรูปร่างโมเลกุลในเชิงการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของสารระหว่างการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ ดังนั้นครูผู้สอนจึงได้นำเสนอการทดลองทางเคมีที่สามารถสังเกตได้ 1) ระดับมหภาค (Macroscopic level) ได้แก่ การเปลี่ยนสีของสารละลายกรดและเบสที่ผสมกัน ณ จุดยุติ 2) ระดับจุลภาค (Microscopic level) ได้แก่ การจินตนาการถึงการจัดเรียงตัวของสารละลายกรดและเบสก่อนการผสมและหลังการผสม การเกิด

สารประกอบเชิงซ้อนกับอินดิเคเตอร์เพื่อบอกจุดยุติ รวมทั้งพันธะเคมีที่เกี่ยวข้องของปฏิกิริยา และ 3) ระดับสัญลักษณ์ (Symbolic level) เป็นการใช้สัญลักษณ์ (Symbols) ตัวเลข ตัวอักษร หรือเครื่องหมาย (Signs) เพื่อแสดงแทนอะตอมโมเลกุล สารประกอบ และปฏิกิริยาเคมี เช่น การเขียนสมการการเกิดเกลือจากปฏิกิริยาระหว่างสารละลายกรดผสมเบส ซึ่งแสดงตัวแทนความคิดด้วยสัญลักษณ์ของธาตุ สูตรเคมีต่าง ๆ เป็นต้น อาจกล่าวได้ว่า การสร้างตัวแทนความคิดนั้นสามารถแสดงออกด้วยวิธีการที่หลากหลายตามระดับตัวแทนความคิด เช่น การสร้างแบบจำลอง การสังเกตปรากฏการณ์ หรือการใช้สัญลักษณ์ เป็นต้น

จากหลักการและปัญหาข้างต้น ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาเรื่องการพัฒนาความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิดเรื่องการไทเทรตกรดและเบส โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

## วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิดเรื่องการไทเทรตกรดและเบสโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้
2. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียนเรื่องการไทเทรตกรดและเบสโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้
3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการจัดการเรียนรู้เรื่องการไทเทรตกรดและเบสโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้

## ทบทวนวรรณกรรม

### ธรรมชาติของวิชาเคมี

วิชาเคมีเป็นการศึกษาและการอธิบายลักษณะของสสารและการเปลี่ยนแปลงของสสารในเชิงคุณภาพ ความรู้ทางเคมีส่วนใหญ่จะเกิดจากการศึกษาแบบแผนของสิ่งที่เกิดขึ้น เช่น หมู่และคาบในตารางธาตุ ต้องอาศัยความรู้ที่สะสมมาเกี่ยวกับสมบัติของธาตุ การเรียนเคมีเป็นการศึกษาถึงปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกี่ยวข้องถึงระดับโมเลกุล (Supatchaiyawong, 2020) แต่เนื่องจากวิชาเคมี มีคำอธิบายส่วนใหญ่ที่มีลักษณะเฉพาะไม่สามารถพบเจอได้ในชีวิตประจำวัน ดังนั้น ถ้าหากผู้เรียนไม่สามารถสร้างคำอธิบายที่เป็นนามธรรมได้ ผู้เรียนก็จะไม่สามารถทำความเข้าใจแนวคิดหลักของวิชาเคมี (Mahaffy, 2004)

### การอธิบายปรากฏการณ์ทางเคมีสามระดับและความเข้าใจคลาดเคลื่อนเรื่องการไทเทรตกรดและเบส

ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเรียนเคมีต้องอาศัยความเฉพาะเจาะจงในเนื้อหาที่เน้นศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสสาร ซึ่งการอธิบายจึงมีลักษณะที่แตกต่างกับสาขาวิชาอื่น โดยจะอธิบายปรากฏการณ์ในสามระดับ (Johnstone triangle) (Johnstone, 2000; Johnston, 1991) ได้แก่ 1) ระดับมหภาค (Macroscopic representation) หมายถึง การอธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์หรือพฤติกรรมของสารที่สังเกตได้ เช่น สถานะ อุณหภูมิ ค่า pH เป็นต้น สมบัติเหล่านี้เป็นสมบัติที่สามารถเห็นและวัดได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการหรือแม้แต่ในชีวิตประจำวัน 2) ระดับจุลภาค (Microscopic or Molecular representation) หมายถึง การอธิบายเกี่ยวกับปรากฏการณ์หรือพฤติกรรมของสสารที่ไม่สามารถสังเกตได้ เช่น การอธิบายว่าโซเดียม-ไอออนและคลอไรด์ไอออนเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลของน้ำอย่างไร หรือการอธิบายการเกิดปฏิกิริยาสะเทิน เป็นต้น 3) ระดับสัญลักษณ์ (Symbolic representation) หมายถึง การอธิบายโดยใช้สัญลักษณ์ทางเคมีเพื่อเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของการอธิบายในระดับมหภาคและระดับจุลภาค โดยใช้สัญลักษณ์ของธาตุ สมการเคมี สูตรโมเลกุล แบบจำลองอะตอมหรือสัญลักษณ์อื่น ๆ ที่แทนสสารและการเปลี่ยนแปลงของสสาร (Reid, 2021)

อย่างไรก็ตาม การอธิบายปรากฏการณ์ทางเคมีใน 3 ระดับนั้นยังคงเป็นเรื่องที่ยาก เนื่องจากผู้เรียนยังขาดการเชื่อมโยงความรู้ทางเคมีในระดับโมเลกุล โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเชื่อมโยงการทดลองกับการเปลี่ยนแปลงระดับโมเลกุลจนสามารถสร้างเป็นสมการเคมีในระดับสัญลักษณ์ได้ ดังยกตัวอย่างจากการที่ผู้เรียนเข้าใจคลาดเคลื่อนเรื่องการไทเทรตกรดและเบสในระดับมหภาคและเชิงสัญลักษณ์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเลือกใช้อุปกรณ์การไทเทรต การเลือกอุปกรณ์ในการตรวจวัดและการคำนวณการไทเทรต (Widarti, 2017) นอกจากนี้ ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (Misconception) ของการไทเทรตกรดและเบสยังเกี่ยวข้องกับการเลือกใช้อินดิเคเตอร์ เนื่องจากว่าผู้เรียนคุ้นเคยเฉพาะการใช้สารละลายฟีนอลฟ์ทาลีนเป็นอินดิเตอร์มากกว่าการเลือกใช้โบรโมไธมอลบลูและความเข้าใจคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการแยกจุดยุติและจุดสมมูลระหว่างการไทเทรตกรดและเบส ดังนั้นครูผู้สอนควรมีการเน้นย้ำความรู้เกี่ยวกับปฏิกิริยาของกรดและเบสก่อนการทดลองการไทเทรตกรดและเบส (Supatmi, 2019) อีกทั้งผู้เรียนยังคงมีความเข้าใจยากในการสังเกตปฏิกิริยาการไทเทรตกรดและเบสในระดับจุลภาคและระดับสัญลักษณ์ ซึ่งครูผู้สอนควรจะมีการพิจารณาวิธีการจัดการเรียนรู้ที่ทำให้ผู้เรียนได้เห็นความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาการไทเทรตกรดและเบสให้เกิดความเข้าใจทั้ง 3 ระดับทางเคมี (Salame, 2022)

**แนวคิดพื้นฐานในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry-based learning)**

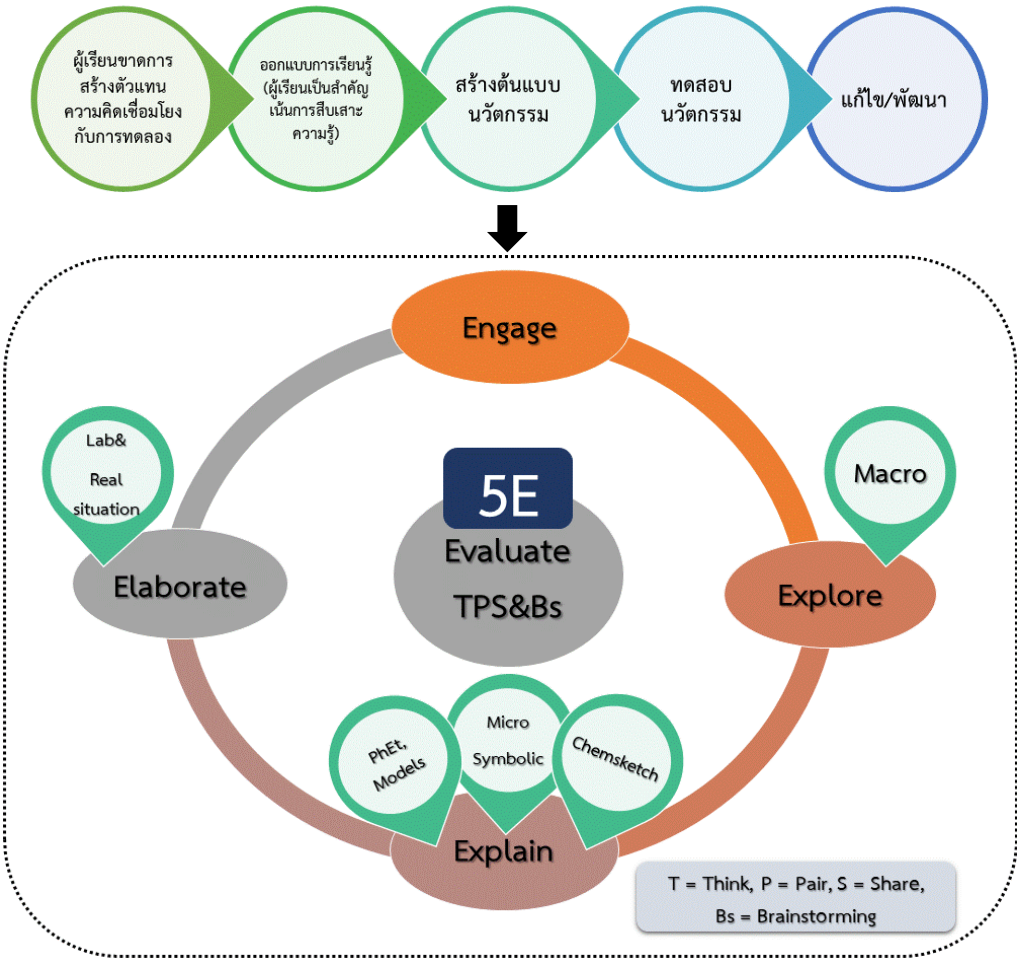
รูปแบบการเรียนการสอนแบบสืบเสาะความรู้เป็นการจัดการเรียนรู้ที่มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ (Constructivism) โดยมีรากฐานสำคัญมาจากทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของเพียเจต์ (Piaget's Theory of cognitive development) ที่เชื่อว่าคนทุกคนจะมีพัฒนาเชาว์ปัญญาเป็นลำดับขั้นจากการมีปฏิสัมพันธ์และประสบการณ์กับสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ และประสบการณ์ที่เกี่ยวกับการคิดเชิงตรรกะและคณิตศาสตร์ ซึ่งการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (Inquiry – based learning) เป็นวิธีการหรือแนวทางที่ทำให้ผู้เรียนสร้างหรือได้รับองค์ความรู้ด้วยตัวผู้เรียนเอง ผ่านกระบวนการสำรวจตรวจสอบหรือทดลอง โดยมีครูทำหน้าที่เป็นผู้ช่วย (Facilitator) (Constantinou, 2018)

นักการศึกษาจากกลุ่ม BSCS (Biological Science Curriculum Society) ได้เสนอกระบวนการสืบเสาะหาความรู้เพื่อให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ใหม่ โดยเชื่อมโยงสิ่งที่เรียนรู้เข้ากับประสบการณ์หรือความรู้เดิมเป็นความรู้หรือแนวคิดของผู้เรียนเอง เรียกรูปแบบการสอนนี้ว่า Inquiry cycle หรือ 5Es (Bybee 2009; Bybee 2014) มีขั้นตอนดังนี้ 1) การสร้างความสนใจ (Engagement) เป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการเรียนรู้ที่จะนำเข้าสู่บทเรียนทำให้ผู้เรียนสนใจ เริ่มคิดเชื่อมโยงความคิดรวบยอด กระบวนการหรือทักษะกับประสบการณ์เดิม 2) การสำรวจและค้นหา (Exploration) เป็นขั้นตอนที่ทำให้ผู้เรียนมีประสบการณ์ร่วมกันในการสร้างและพัฒนาความคิดรวบยอด กระบวนการ และทักษะ โดยการให้เวลาและโอกาสแก่ผู้เรียนในการทำกิจกรรมสำรวจสิ่งใหม่ 3) การอธิบาย (Explanation) เป็นขั้นตอนที่ให้ผู้เรียนได้พัฒนาความสามารถในการอธิบายความคิดรวบยอดที่ได้จากการสำรวจและค้นหา ผู้เรียนแลกเปลี่ยนและอธิบายความคิดรวบยอดได้อย่างเข้าใจ โดยเชื่อมโยงประสบการณ์ ความรู้เดิมและสิ่งที่เรียนรู้เข้าด้วยกัน 4) การขยายความรู้ (Elaboration) เป็นขั้นตอนที่ให้ผู้เรียนได้ยืนยันและขยายหรือเพิ่มเติมความรู้ความเข้าใจในความคิดรวบยอดให้กว้างขวางและลึกซึ้งยิ่งขึ้น 5) การประเมินผล (Evaluation) ขั้นตอนนี้ผู้เรียนจะได้รับข้อมูลย้อนกลับเกี่ยวกับการอธิบายความรู้ความเข้าใจของตนเองระหว่างการเรียนการสอน (Pedaste, 2015)

**การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับกิจกรรมการทดลอง (Inquiry-based laboratory instruction)**

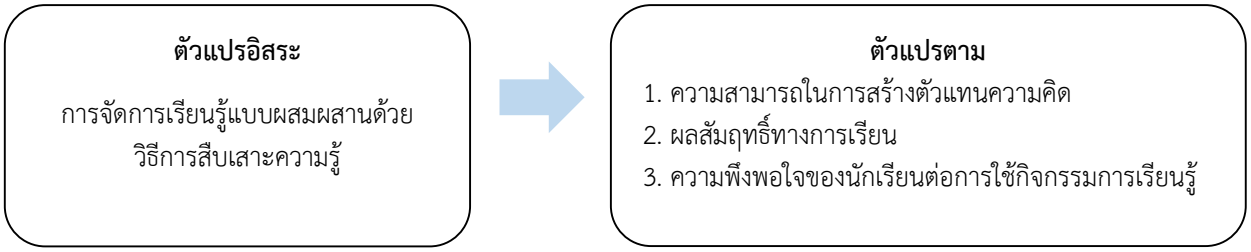
การสอนโดยการใช้กิจกรรมการทดลอง (Laboratory) เป็นธรรมชาติของการจัดการเรียนรู้รายวิชาเคมี (Hofstein, 2004) การออกแบบกิจกรรมการทดลองที่เหมาะสมกับเนื้อหาของครูผู้สอนจะมีผลต่อการพัฒนาความเข้าใจในการเรียนเคมีและทำให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงประสบการณ์เดิมกับความรู้ใหม่และสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง (Seery, 2019) ซึ่งเมื่อนำการสอนด้วยกิจกรรมการทดลองผสมผสานในกระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้จะสามารถสร้างความเข้าใจในการเรียนวิชาเคมีได้ อีกทั้งยังเป็นการพัฒนาทักษะทางด้านวิทยาศาสตร์ ความคิดสร้างสรรค์และทัศนคติที่ดีต่อการเรียนผ่านกิจกรรม

การทดลอง (Yakar, 2014) ซึ่งสอดคล้องกับการเรียนรู้ที่ทำให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง (Active learning) ส่งผลทำให้ผู้เรียนได้ฝึกการเขียนรายงานการทดลอง ทักษะและกระบวนการคิดวิเคราะห์ของตนเอง (Siddiqui, 2013) ยิ่งไปกว่านั้น ถ้ามีการนำกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับกิจกรรมการทดลองและให้ผู้เรียนเชื่อมโยงกับการสร้างแบบจำลองหรือโปรแกรมจำลองสถานการณ์ (Simulation) ก็จะสามารถทำให้ผู้เรียนสามารถมีความรู้ความเข้าใจทางด้านเคมีทั้ง 3 ระดับคือ Macro, Micro และ Symbolic ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนสามารถเข้าใจเนื้อหาที่เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Sagita, 2018; Ye, 2019) ดังนั้นในการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีสืบเสาะหาความรู้ที่มีการนำการทดลอง (Laboratory) และโปรแกรมการจำลองสถานการณ์ (Simulation) เข้ามาเป็นหนึ่งในการพัฒนาความสามารถในการเรียนรู้ของผู้เรียนจะเป็นส่วนสนับสนุนการสร้างความเข้าใจในรายวิชาเคมีให้แก่ผู้เรียนเพื่อแก้ปัญหาการอธิบายความรู้ทางเคมีทั้ง 3 ระดับ คือ Macro Micro และ Symbolic level ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังภาพที่ 1




**ภาพที่ 1** การออกแบบแนวทางการพัฒนาความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิดโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีสืบเสาะหาความรู้ (blended inquiry learning) (adapted from Bybee, 2009, 2014)

## กรอบแนวคิดในการวิจัย




**ภาพที่ 2** กรอบแนวคิดในการวิจัย

## วิธีดำเนินการวิจัย

**ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง**

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 3 ห้องเรียน มีนักเรียนรวมทั้งสิ้น 91 คน จากโรงเรียนมัธยมศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดปราจีนบุรี

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนมัธยมศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดปราจีนบุรี จำนวน 1 ห้องเรียน มีนักเรียนรวม 29 คน ซึ่งได้มาจากการสุ่มอย่างง่าย (Simple random sampling)

**ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย**

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 โดยใช้ระยะเวลา 4 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 ชั่วโมง เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ไม่รวมเวลาที่ใช้ในการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน โดยผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการทดลองด้วยตนเอง

**สมมติฐานการวิจัย**

1. ผู้เรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้เรื่องการไทเทรตกรดและเบสมีการพัฒนาความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิดหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน
2. ผู้เรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้เรื่องการไทเทรตกรดและเบสมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
3. ผู้เรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้เรื่องการไทเทรตกรดและเบสมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากขึ้นไป

**ตัวแปรในการวิจัย**

1. ตัวแปรอิสระ คือ การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้เรื่องการไทเทรตกรดและเบส
2. ตัวแปรตาม คือ ความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิด ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการใช้กิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น

**เครื่องมือในการวิจัย**

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล มีรายละเอียดดังนี้

1. แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้เรื่องการไทเทรตกรดและเบสที่ประกอบไปด้วยใบความรู้คู่กิจกรรม ซึ่งค่าดัชนีความสอดคล้องมากกว่าหรือเท่ากับ 0.50 สามารถนำมาใช้ได้ พบว่าแผนการจัดการเรียนรู้ที่ใช้มีค่า IOC มากกว่า 0.50 ทุกแผน

2. แบบวัดความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิด จำนวน 5 ข้อ พบว่ามีค่า IOC ในภาพรวมอยู่ระหว่าง 0.80-1.00 ซึ่งสามารถใช้ได้ สำหรับค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน จากสูตร KR-20 มีค่าสัมประสิทธิ์ของความเชื่อถือเท่ากับ 0.92 และ 0.97 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1.00 แสดงว่าข้อมูลในแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีความน่าเชื่อถือ

3. แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบบเลือกตอบ จำนวน 30 ข้อ ค่า IOC ในภาพรวมอยู่ระหว่าง 0.80-1.00 ซึ่งสามารถใช้ได้ ตรวจสอบความยากง่าย (Item difficulty, P) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอยู่ระหว่าง 0.38 - 0.75 ถือว่ามีความยากง่ายเหมาะสมนำไปใช้ได้ ตรวจสอบค่าอำนาจการจำแนก (Item discrimination, R) อยู่ระหว่าง 0.60 – 0.70 ถือว่าเป็นแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ใช้ได้ สำหรับค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จากสูตร KR-20 มีค่าสัมประสิทธิ์ของความเชื่อถือเท่ากับ 0.92 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1.00 แสดงว่าข้อมูลในแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีความน่าเชื่อถือ

4. แบบสอบถามเกี่ยวกับความพึงพอใจของผู้เรียนที่เรียนโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้เรื่องการไทเทรตกรดและเบส จำนวน 15 ข้อ แบบมาตราส่วนประมาณค่าของลิเคิอร์ท (Rating scale) 5 ระดับ พิจารณาค่า IOC พบว่า ข้อคำถามทั้ง 15 ข้อ สามารถนำมาใช้ได้ทุกข้อ และตรวจสอบ ความเที่ยง พบว่า มีค่าความเที่ยงเท่ากับ 0.67 แสดงให้เห็นว่าแบบวัดมีความสอดคล้องภายใน สำหรับค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน จากสูตร KR-20 มีค่าสัมประสิทธิ์ของความเชื่อถือเท่ากับ 0.97 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1.00 แสดงว่าข้อมูลในแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีความน่าเชื่อถือ

**การสร้างเครื่องมือในการวิจัย**

ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ตามลำดับขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้เรื่องการไทเทรตกรดและเบส เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบการจัดการเรียนรู้ สร้างแบบทดสอบและแบบสอบถาม

2. รวบรวมเนื้อหาสาระต่าง ๆ ที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนิยามศัพท์ ตัวแปรที่ศึกษา กำหนดขอบเขตและการออกแบบการจัดการเรียนรู้ สร้างแบบทดสอบและแบบสอบถาม

3. กำหนดกรอบแนวคิดในการการออกแบบการจัดการเรียนรู้ สร้างแบบทดสอบและแบบสอบถามเพื่อวัดทางการเรียนวิชาเคมีของผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่เรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้เรื่องการไทเทรตกรดและเบส โดยการวิเคราะห์และปรับให้มีความสอดคล้องกัน

4. กำหนดเนื้อหาและออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้เรื่องการไทเทรตกรดและเบส จำนวน 4 แผนการเรียนรู้ ซึ่งแผนการจัดการเรียนรู้ที่ออกแบบขึ้นเป็นการทำให้ผู้เรียนใช้ความรู้หรือประสบการณ์ของเนื้อหาก่อนหน้าเพื่อสร้างความเข้าใจเรื่องการไทเทรตกรดและเบส จำนวน 12 ชั่วโมง ดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้เรื่องการไทเทรตกรดและเบส

| แผนการจัดการเรียนรู้ที่ | เรื่อง | จำนวนชั่วโมง |
|---|---|---|
| 1 | อินดิเคเตอร์น่ารู้และช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ (Indicator and its range) | 2 |
| 2 | มารู้จักปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบสและการเกิดเกลือ (Acid bases and salt reactions) | 2 |
| 3 | การไทเทรตกรดแก่และเบสแก่ (Strong acid and strong base titration) | 4 |
| 4 | การเลือกใช้อินดิเคเตอร์ในการไทเทรตกรดและเบสชนิดต่าง ๆ (Indicator selectivity and Titration) | 4 |
| | **รวมจำนวนชั่วโมงเรียน** | **12** |

จากตารางที่ 1 ผู้เรียนได้เรียนรู้จากแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่องอินดิเคเตอร์น่ารู้และช่วง pH ของอินดิเคเตอร์ เพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับชนิดของอินดิเคเตอร์ สังเคราะห์อินดิเคเตอร์จากธรรมชาติ และการอ่านค่า pH ของอินดิเคเตอร์แต่ละชนิด โดยมีการทดสอบอินดิเตอร์ชนิดต่าง ๆ กับสารละลายกรดและเบส จากนั้นผู้เรียนจะเรียนรู้การนำสารละลายที่เป็นกรดและเบสมาผสมกันเพื่อระบุชนิดเกลือที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งมีการทดสอบด้วยอินดิเคเตอร์ชนิดต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับชนิดของเกลือ จากแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่องมารู้จักปฏิกิริยาระหว่างกรด-เบสและการเกิดเกลือ ซึ่งเมื่อผู้เรียนมีความเข้าใจปฏิกิริยาของเกลือที่เกิดขึ้น ผู้เรียนจะสามารถใช้ความรู้จากเรื่องดังกล่าวมาทำการทดลองตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 การไทเทรตกรดแก่เบสแก่ ซึ่งในการทดลองตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 นี้ผู้เรียนจะใช้ความรู้เดิมมาอธิบายและฝึกทักษะการทดลองการไทเทรตกรดแก่และเบสแก่ การเลือกใช้อินดิเคเตอร์สำหรับกรดแก่และเบสแก่ การเปลี่ยนสีของปฏิกิริยา (Macro Level) โดยที่ผู้เรียนจะใช้การวาดภาพและตัวแทนสัญลักษณ์ในการอธิบายปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น ตลอดจนการคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายที่ไม่ทราบค่า หรือ”Unknown” (Micro and symbolic Level) ซึ่งจะมีการใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์มาช่วยสนับสนุนการจินตนาการการเปลี่ยนแปลงระดับโมเลกุลของสาร จากนั้นผู้เรียนจะได้มีโอกาสฝึกทักษะอีกครั้งในสถานการณ์การไทเทรตกรดและเบสที่แตกต่างกันเพื่อยืนยันความเข้าใจการทดลองจากการเรียนรู้ด้วยแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 เรื่อง การเลือกอินดิเคเตอร์ในการไทเทรตกรดและเบสชนิดต่าง ๆ

5. ศึกษาการการออกแบบการจัดการเรียนรู้ สร้างแบบทดสอบและแบบสอบถามชนิดมาตรส่วนประมาณค่า (Rating Scale) มี 5 ระดับ ได้แก่ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด

6. สร้างแผนการจัดการเรียนรู้ที่ประกอบไปด้วย ใบความรู้คู่กิจกรรม ข้อคำถามเพื่อวัดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจของผู้เรียน

7. นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ประกอบไปด้วย ใบความรู้คู่กิจกรรม ข้อคำถามเพื่อวัดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจของผู้เรียน ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ แล้วนำกลับมาปรับปรุงแก้ไข

8. นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ประกอบไปด้วย ใบความรู้คู่กิจกรรม ข้อคำถามเพื่อวัดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจของผู้เรียนที่ปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน เพื่อหาความเที่ยงตรงเชิงโครงสร้างและเนื้อหาโดยวิธีเชิงประจักษ์ (Face validity) โดยตรวจสอบความถูกต้อง ความเหมาะสมและความครอบคลุมเนื้อหา ตรวจสอบความตรงตามเนื้อหา (Content validity) ความเข้าใจและการใช้ภาษาที่เหมาะสม

9. จัดทำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ประกอบไปด้วย ใบความรู้คู่กิจกรรม ข้อคำถามเพื่อวัดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจของผู้เรียนฉบับสมบูรณ์พร้อมนำไปใช้

**การเก็บรวบรวมข้อมูล**

1. ดำเนินการทดสอบก่อนเรียนกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง แล้วนำคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบมาวิเคราะห์ข้อมูล
2. ดำเนินการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้เรื่องการไทเทรตกรดและเบส
3. ดำเนินการทดสอบหลังเรียนกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้เรื่องการไทเทรตกรดและเบส แล้วนำคะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบและแบบสอบถามมาวิเคราะห์ข้อมูล
4. ดำเนินการเปรียบเทียบความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิดโดยใช้ค่าร้อยละ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนโดยใช้สถิติ t-test แบบ dependent และประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนหลังร่วมกิจกรรมโดยใช้ค่าเฉลี่ย

**การวิเคราะห์ข้อมูล**

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ มาวิเคราะห์โดยโปรแกรมสำเร็จรูปตามขั้นตอน ดังนี้

1. วิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิด โดยใช้ค่าสถิติเปรียบเทียบ คือ ร้อยละ t-test ใช้เปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูล ทดสอบและพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05
2. วิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับความพึงพอใจของผู้เรียนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป โดยหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

การแปลความหมายของระดับคะแนน ได้แปลผลระดับความพึงพอใจของผู้เรียน โดยใช้ค่าเฉลี่ยของผลคะแนนเป็นตัวชี้วัดตามเกณฑ์ในการวิเคราะห์ ตามแนวคิดของเบสท์ (Best, 1997) มีรายละเอียดดังนี้ ค่าเฉลี่ย 4.50-5.00 หมายถึง ระดับความพึงพอใจมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 3.50-4.49 หมายถึง ระดับความพึงพอใจมาก ค่าเฉลี่ย 2.50-3.49 หมายถึง ระดับความพึงพอใจปานกลาง ค่าเฉลี่ย 1.50-2.49 หมายถึง ระดับความพึงพอใจน้อย และค่าเฉลี่ย 1.00-1.49 หมายถึง ระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด

## ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลและการแปลผลการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยนำเสนอโดยแบ่งออกเป็น 3 ตอนที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ดังนี้

**ตอนที่ 1** ผลการศึกษาความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิดเรื่องการไทเทรตกรดและเบส โดยการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้

ผลการพัฒนาความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิด สามารถพิจารณาค่าร้อยละความสามารถของผู้เรียนในการสร้างตัวแทนความคิดรายข้อตามประเด็นการประเมินได้ ดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ร้อยละความสามารถของผู้เรียนในการสร้างตัวแทนความคิด

| มโนทัศน์เรื่อง การไทเทรตกรดและเบส | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ประเด็นการประเมิน** | **ก่อนเรียน** | | | | **หลังเรียน** | | | |
| | **สมบูรณ์ (3)** | **ไม่สมบูรณ์บางส่วน (2)** | **ไม่สมบูรณ์บางส่วนและคลาดเคลื่อน (1)** | **ไม่สมบูรณ์ (0)** | **สมบูรณ์ (3)** | **ไม่สมบูรณ์บางส่วน (2)** | **ไม่สมบูรณ์บางส่วนและคลาดเคลื่อน (1)** | **ไม่สมบูรณ์ (0)** |
| 1. ผู้เรียนวาดภาพและเขียนคำอธิบายเพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงที่สามารถสังเกตได้จากการทดลองหรือจากประสบการณ์เดิม เช่น การเปลี่ยนสีของสาร การเปลี่ยนแปลงปริมาตร การเกิดฟองแก๊ส เป็นต้น (Macro level) | 0 (0.00) | 2 (6.90) | 9 (31.03) | 18 (62.07) | 20 (68.97) | 9 (31.03) | 0 (0.00) | 0 (0.00) |
| 2. ผู้เรียนวาดภาพและเขียนคำอธิบายเพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงที่ไม่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่าโดยใช้รูปร่างอะตอม โมเลกุล ไอออน หรือสัญลักษณ์รูปทรงเรขาคณิตแทนได้ (Micro level) | 0 (0.00) | 7 (24.14) | 2 (6.90) | 20 (68.97) | 22 (75.86) | 7 (24.14) | 0 (0.00) | 0 (0.00) |
| 3. ผู้เรียนเขียนคำอธิบายเพื่ออธิบายการแตกตัวหรือรวมตัวโดยใช้รูปร่างอะตอม โมเลกุล ไอออน หรือสัญลักษณ์รูปทรงเรขาคณิตแทนได้ (Micro and symbolic levels) | 0 (0.00) | 3 (10.34) | 13 (44.83) | 13 (44.83) | 23 (79.31) | 6 (20.69) | 0 (0.00) | 0 (0.00) |

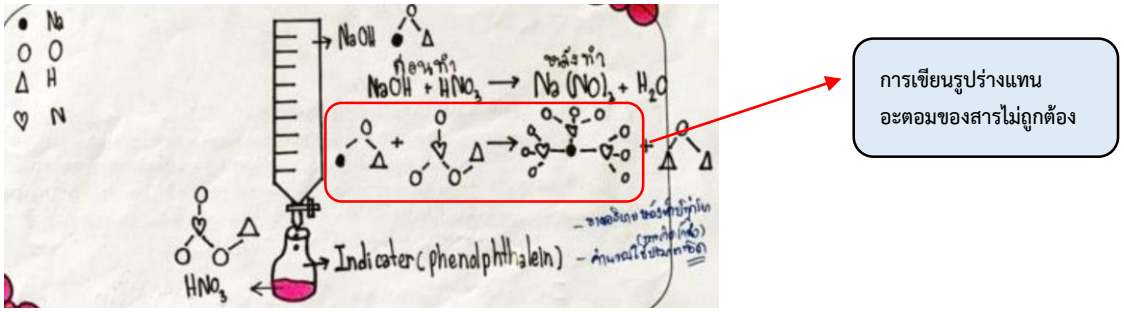
| มโนทัศน์เรื่อง การไทเทรตกรดและเบส | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ประเด็นการประเมิน** | **ก่อนเรียน** | | | | **หลังเรียน** | | | |
| | **สมบูรณ์ (3)** | **ไม่สมบูรณ์บางส่วน (2)** | **ไม่สมบูรณ์บางส่วนและคลาดเคลื่อน (1)** | **ไม่สมบูรณ์ (0)** | **สมบูรณ์ (3)** | **ไม่สมบูรณ์บางส่วน (2)** | **ไม่สมบูรณ์บางส่วนและคลาดเคลื่อน (1)** | **ไม่สมบูรณ์ (0)** |
| 4. ผู้เรียนใช้สัญลักษณ์ทางเคมีร่วมในการอธิบายภาพวาดในระดับ Macro และ Micro | 0 (0.00) | 4 (13.79) | 6 (20.69) | 19 (65.52) | 23 (79.31) | 6 (20.69) | 0 (0.00) | 0 (0.00) |
| 5. ผู้เรียนใช้สัญลักษณ์ทางเคมีในการบรรยายการเปลี่ยนแปลงที่สามารถสังเกตได้จากการทดลองหรือจากประสบการณ์เดิม เช่น การเปลี่ยนสีของสาร การเปลี่ยนแปลงปริมาตร การเกิดฟองแก๊ส เป็นต้น (Symbolic Level) | 0 (0.00) | 3 (10.34) | 4 (13.79) | 22 (75.86) | 22 (75.86) | 7 (24.14) | 0 (0.00) | 0 (0.00) |
| **ค่าเฉลี่ย** | **0.00** | **13.10** | **23.45** | **63.45** | **75.87** | **24.13** | **0.00** | **0.00** |

จากตารางที่ 2 แสดงร้อยละความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิดทั้ง 3 ระดับ (Macro, Micro and Symbolic levels) จากแบบรายงานการทดลองของผู้เรียนตามประเด็นการประเมินดังนี้

ประเด็นการประเมินที่ 1 ผู้เรียนวาดภาพและเขียนคำอธิบายเพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงที่สามารถสังเกตได้จากการทดลองหรือจากประสบการณ์เดิม เช่น การเปลี่ยนสีของสาร การเปลี่ยนแปลงปริมาตร การเกิดฟองแก๊ส เป็นต้น (Macro level) พบว่า ก่อนการเรียนรู้ผู้เรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 62.07 ไม่สามารถอธิบายการทดลองได้เนื่องจากผู้เรียนไม่มีประสบการณ์เกิดในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์การไทเทรต แต่มีผู้เรียนส่วนน้อยร้อยละ 6.09 ที่สามารถใช้ความรู้เดิมที่เกี่ยวกับปฏิกิริยาการเกิดเกลือและอินดิเคเตอร์มาอธิบายแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของการทดลองได้แต่ไม่สมบูรณ์ทั้งหมด หลังจากการจัดกิจกรรมพบว่าผู้เรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 68.97 สามารถอธิบายการทดลองได้อย่างเป็นขั้นตอนจากการเปลี่ยนแปลงการเกิดสี ตะกอน จากปฏิกิริยาระหว่างกรดผสมเบส และสามารถเลือกใช้อินดิเคเดเตอร์ได้เหมาะสม แต่ก็มีผู้เรียนส่วนน้อยร้อยละ 31.03 ที่อธิบายปฏิกิริยาการไทเทรตกรดและเบสได้ แต่ยังมีความสับสนในการเลือกอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม

ประเด็นการประเมินที่ 2 ผู้เรียนวาดภาพและเขียนคำอธิบายเพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงที่ไม่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยใช้รูปร่างอะตอม โมเลกุล ไอออน หรือสัญลักษณ์รูปทรงเรขาคณิตแทนได้ (Micro level) พบว่าหลังการเรียนด้วย

กิจกรรมผู้เรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 75.86 สามารถจินตนาการการเปลี่ยนแปลงระดับโมเลกุลที่เกิดขึ้นของปฏิกิริยาการไทเทรตกรดและเบสได้ ซึ่งผู้วิจัยได้มีการใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ (Simulation) (https://phet.colorado.edu/sims/html/acid-base-solutions/latest/acid-base-solutions_all.html) มาช่วยให้ผู้เรียนเกิดการจินตนาการระดับโมเลกุลระหว่างการทดลอง โดยการวาดภาพและเขียนโดยใช้สัญลักษณ์ทางเรขาคณิต เช่น วงกลมหรือสี่เหลี่ยมมาเขียนแทนอะตอมของสารได้ แต่ยังคงมีผู้เรียนส่วนน้อย ร้อยละ 24.13 ที่สามารถวาดภาพและอธิบายการเปลี่ยนแปลงระดับโมเลกุลได้แต่ไม่สมบูรณ์ทั้งหมด กล่าวคือผู้เรียนใช้วงกลมหรือสี่เหลี่ยมมาเขียนแทนอะตอมของสารไม่ถูกต้อง เช่น NaOH, $HNO_3$ และ $NaNO_3$ เนื่องมาจากผู้เรียนไม่ได้เชื่อมโยงความรู้เดิมในเรื่องพันธะเคมี ดังแสดงภาพที่ 3



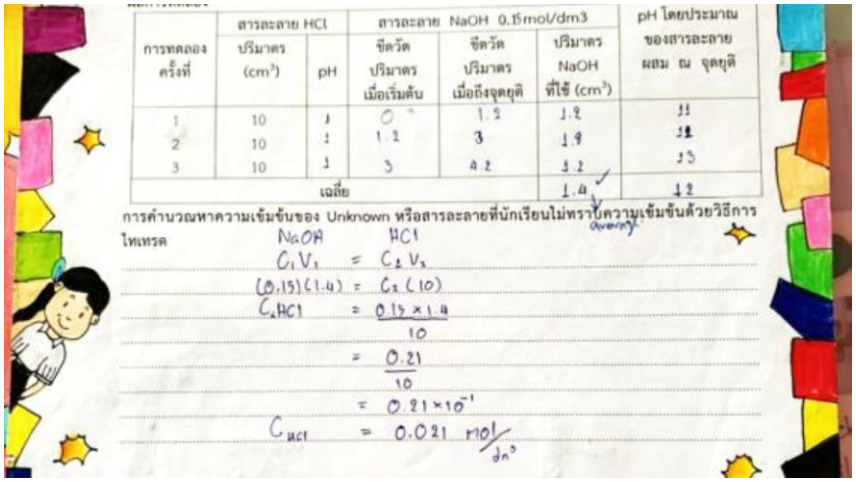

**ภาพที่ 3** ตัวอย่างคำตอบการวาดภาพและเขียนโดยใช้สัญลักษณ์ทางเรขาคณิตที่เป็นตัวแทนอะตอมของสาร

ประเด็นการประเมินที่ 3 ผู้เรียนเขียนคำอธิบายเพื่ออธิบายการแตกตัวหรือรวมตัวโดยใช้รูปร่างอะตอม โมเลกุล ไอออน หรือสัญลักษณ์รูปทรงเรขาคณิตแทนได้ (Micro and symbolic levels) พบว่าหลังจากการปฏิบัติกิจกรรม ผู้เรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 79.31 สามารถเขียนคำอธิบายและรูปแบบการแตกตัวของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งผู้เรียนได้ใช้ความรู้เดิมเรื่องสมการการเกิดเกลือร่วมกับโปรแกรมสำเร็จรูป Neutralization reaction model simulation ในการอธิบายการแตกตัวของปฏิกิริยากรดและเบส ซึ่งทำให้ผู้เรียนสามารถนำมาเชื่อมโยงกับการทดลองในระดับ Macro และจินตนาการเปลี่ยนระดับโมเลกุลและสัญลักษณ์ได้ (Micro and symbolic level) แต่มีผู้เรียนส่วนน้อยร้อยละ 20.69 ที่ไม่สามารถอธิบายการแตกตัวหรือการรวมตัวของปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากผู้เรียนยังคงมีความสับสน ไม่สามารถแยกชนิดของสารที่เป็นกรดหรือเบสได้ ทำให้เกิดความเข้าใจที่ไม่สมบูรณ์เกี่ยวกับการดึงไอออนของไฮดรอกไซด์และไฮโดรเนียมไอออนหรือโปรตอนได้

ประเด็นการประเมินที่ 4 ผู้เรียนใช้สัญลักษณ์ทางเคมีร่วมในการอธิบายภาพวาดในระดับ Macro และ Micro ได้ พบว่าหลังปฏิบัติกิจกรรมผู้เรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 79.31 ซึ่งสอดคล้องกับประเด็นการประเมินที่ 3 ที่ผู้เรียนกลุ่มนี้สามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูปร่วมกับกิจกรรมการทดลองมาเขียนสัญลักษณ์ทางเคมี และอธิบายการเปลี่ยนที่เกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์

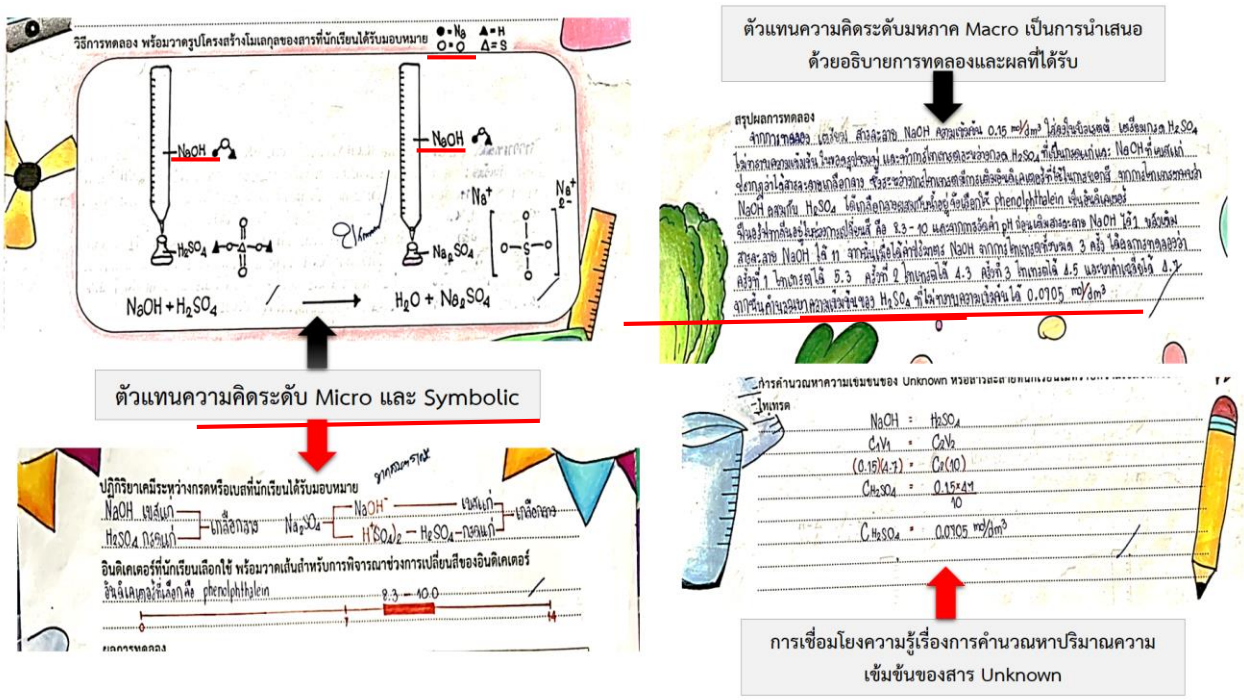
ประเด็นการประเมินที่ 5 ผู้เรียนใช้สัญลักษณ์ทางเคมีในการบรรยายการเปลี่ยนแปลงที่สามารถสังเกตได้จากการทดลองหรือจากประสบการณ์เดิม เช่น การเปลี่ยนสีของสาร การเปลี่ยนแปลงปริมาตร การเกิดฟองแก๊ส เป็นต้น (Symbolic level) พบว่าหลังปฏิบัติกิจกรรมผู้เรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 75.87 สามารถเขียนสมการเคมีของปฏิกิริยาสะเทิน (Neutralization reaction) ได้อย่างสมบูรณ์ อีกทั้งยังสามารถนำสมการเคมีที่ได้ไปคำนวณหาความเข้มข้นของสารที่ไม่ทราบค่าได้ โดยผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีการคำนวณใน 3 รูปแบบให้กับผู้เรียน คือการเทียบบัญญัติไตรยางค์ การเปลี่ยนแฟคเตอร์ และการใช้สูตร โดยผู้วิจัยเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้เลือกวิธีการคำนวณตามที่ผู้เรียนมีความถนัดและเข้าใจมากที่สุด ดังภาพที่ 4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้เรียนเกิดการเชื่อมโยงความรู้หลังจากการปฏิบัติกิจกรรมและนำความความรู้ที่ได้ไปต่อยอดในการคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย แต่มีผู้เรียน

ส่วนน้อยร้อยละ 24.13 ที่เขียนสมการเคมีได้ไม่สมบูรณ์บางส่วน เนื่องมากจากผู้เรียนไม่สามารถใช้ความรู้เดิมในเรื่องธาตุและสารประกอบ ปฏิกิริยาเคมี และการดุลสมการได้อย่างถูกต้อง ทำให้ผู้เรียนไม่สามารถเขียนสมการเคมีได้




**ภาพที่ 4** ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นของสารที่ไม่ทราบค่าด้วยวิธีการไทเทรตกรดและเบส

จากที่กล่าวมาในประเด็นการประเมินทั้ง 5 ประเด็นข้างต้นเห็นได้ชัดเจนว่าหลังปฏิบัติกิจกรรม ผู้เรียนส่วนใหญ่มีการพัฒนาการนำเสนอตัวแทนความคิดที่อธิบายปรากฏการณ์ทางเคมีทั้ง 3 ระดับ (Macro Micro and Symbolic Level) ได้สมบูรณ์โดยเชื่อมโยงความรู้เดิมตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยออกแบบขึ้นกับการสร้างองค์ความรู้ใหม่ด้วยการจินตนาการระดับโมเลกุลและสัญลักษณ์ทางเคมีเพื่อการเขียนสมการเคมี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bucat and Mocerino (2009) ที่เห็นได้ชัดเจนว่าผู้เรียนจะสามารถเกิดการเรียนรู้เคมีในเชิงลึกและวิเคราะห์ความรู้ทางเคมีได้เป็นอย่างดีเมื่อผู้เรียนสามารถอธิบายปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้ในระดับจุลภาคและระดับสัญลักษณ์ ซึ่งอาศัยกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยได้ออกแบบให้มีการนำโปรแกรมสำเร็จรูปเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงระดับโมเลกุลมาช่วยให้ผู้เรียนสามารถเห็นภาพได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Stieff and co-authors (2003) ที่มีการเชื่อมโยงความรู้ทางเคมีเรื่องสมดุลเคมีจากการใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ (Simulation) สำหรับการอธิบายระดับโมเลกุล พบว่าผู้เรียนสามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับสมดุลเคมีได้ในระดับโมเลกุลโดยการคิดแบบเป็นเหตุเป็นผลตามหลักทางวิทยาศาสตร์ เพื่อนำมาอธิบายการทดลองที่ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริงหรือปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่อยู่รอบตัวผู้เรียน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Thadison (2011) พบว่าผู้เรียนสามารถอธิบายสมการกรดและเบส การไทเทรตกรดและเบสในระดับ Macro Micro และ Symbolic จากการทดลองที่ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง ซึ่งทำให้ผู้เรียนเห็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ชัดเจนยิ่งขึ้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tsaparlis (2014) ที่ใช้วิธีการสาธิตและการทดลอง (Demonstration and laboratory) เป็นวิธีการสอนที่ทำให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจในรายวิชาเคมีและเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ผู้เรียนสามารถอธิบายความรู้เกี่ยวกับสารและอนุภาคของสารระดับโมเลกุลได้ อีกทั้งผู้เรียนที่ผ่านกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยออกแบบขึ้นยังสามารถเชื่อมโยงความรู้เดิมของตนเองเกี่ยวเรื่องปริมาณสัมพันธ์ในการคำนวณหาความเข้มข้นของสารที่ไม่ทราบความเข้มข้นได้ โดยมีการต่อยอดองค์ความรู้จากการทดลองของผู้เรียน ถึงแม้ว่าจะมีผู้เรียนบางส่วนที่เขียนรูปร่างพันธะเคมีไม่ถูกต้อง แต่ผู้วิจัยได้มีการให้ข้อเสนอแนะหลังจากที่ตรวจสอบการเขียนรายงานการทดลอง ดังตัวอย่างผลการปฏิบัติกิจกรรมภาพที่ 5




**ภาพที่ 5** ตัวอย่างคำตอบจากการประเมินความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิดโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้

**ตอนที่ 2** ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียนเรื่องการไทเทรตกรดและเบสโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้

ผลการตรวจสอบการแจกแจงของคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน มีค่า p value (sig) เท่ากับ .464 ซึ่งค่า p value มีค่ามากกว่า .05 (p > .05) จึงปฏิเสธ H1 ไปยอมรับ H0 สรุปว่าข้อมูลจากค่าความต่างของคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนสำหรับการพัฒนาความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิด มีการแจกแจงเป็นแบบปกติ ดังนั้นสถิติที่ใช้ทดสอบคือ Parametric statistics ซึ่งแสดงข้อมูลทางสถิติเบื้องต้นและเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนดังตารางที่ 3 พบว่าค่าเฉลี่ยคะแนนของการทดสอบการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียน เรื่องการไทเทรตกรดและเบสโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้ก่อนเรียนมีค่าเท่ากับ 11.55 และค่าเฉลี่ยของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนมีค่าเท่ากับ 24.59 ซึ่งได้เปรียบเทียบคะแนนหลังเรียนและก่อนเรียนโดยใช้สถิติ Paired sample T-Test โดยมีค่า t เท่ากับ 7.026 และค่า Sig. เท่ากับ .000 มีค่าน้อยกว่า .05 จังปฏิเสธ H0 แล้วยอมรับ H1 นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของการทดสอบการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนมีค่าสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยผู้เรียนทั้งหมดมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

**ตารางที่ 3** ข้อมูลทางสถิติเบื้องต้นและเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

| Paired Samples Statistics | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | N | Mean | Std. Deviation | Std. error Mean | Correlations | 95% Confidence interval of the difference | | t | df | Sig (2-tailed) |
| | | | | | | Lower | Upper | | | |
| pretest | 29 | 11.55 | 0.79 | .2192 | .453 | 3.57 | 6.50 | 7.026 | 28 | .000 |
| posttest | 29 | 24.59 | 0.91 | .7887 | | | | | | |

**ตอนที่ 3** ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้เรื่องการไทเทรตกรดและเบส

ผลความพึงพอใจทางการเรียนวิชาเคมีของผู้เรียนที่เรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้เรื่องการไทเทรตกรดและเบส ซึ่งประกอบด้วยรายการประเมิน จำนวน 15 ข้อ ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่าความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.43, S.D. = 0.71) จะเห็นได้ว่าการจัดการเรียนรู้นี้มีการออกแบบกิจกรรมที่เน้นผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริงด้วยกระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะความรู้ (Inquiry) ร่วมกับกิจกรรมการทดลอง (Laboratory) และมีการใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ (Simulation) เพื่อใช้ในการเพิ่มความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงระดับโมเลกุล ส่งผลให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ด้วยกระบวนการกลุ่มและนำความรู้ที่ได้รับไปสร้างองค์ความรู้ของตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการจัดการเรียนรู้ที่เป็นขั้นตอนที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้สำรวจความรู้ด้วยตนเองและขยายความรู้ของตนเองในสถานการณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในชีวิตประจำวันได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Madhuri et al. (2012) สรุปว่าการใช้วิธีการสอนแบบสืบเสาะความรู้จะช่วยให้ผู้เรียนพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ อีกทั้งกิจกรรมการทดลองที่ร่วมกับการสอนแบบสืบเสาะความรู้จะส่งผลให้ผู้เรียนสามารถวิเคราะห์ปัญหาจากสถานการณ์จริงในชีวิตประจำวันได้ ซึ่งสังเกตได้ชัดเจนถึงความกระตือรือร้นของผู้เรียนที่ได้มีส่วนร่วมในกิจกรรม ผู้เรียนไม่รู้สึกเบื่อหน่ายซึ่งเป็นการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความพึงพอใจ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chairam et al. (2015) สรุปว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะความรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลางช่วยทำให้ผู้เรียนปรับปรุงการเขียนสรุปเนื้อหาเคมีเรื่องจลนพลศาสตร์เคมีได้และยังทำให้ผู้เรียนสนุกกับกิจกรรมและกลายเป็นการเรียนรู้ที่ทำให้ผู้เรียนเกิดความสนใจ นอกจากนี้ผู้เรียนสามารถคิดวิเคราะห์เชิงเหตุผลในการอธิบายการทดลองที่ตนเองได้ลงมือปฏิบัติจริง (Macro) เชื่อมโยงกับความรู้เดิมประกอบกับการใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ (Simulation) ที่เป็นการแนะนำเบื้องต้นในการเขียนสมการเคมี (Micro and symbolic levels) ซึ่งความรู้ที่เกิดขึ้นทำให้มีประสิทธิผลในการเรียนอย่างฝังลึก เป็นการสร้างบรรยากาศแห่งการเรียนรู้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Khwanput et al. (2020) ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่มีต่อผลสัมฤทธิ์และความพึงพอใจของผู้เรียน ที่เห็นได้ชัดเจนว่าผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมที่เกิดการกระตุ้นต่อผู้เรียนและยังส่งผลต่อความสามารถในการเรียนรู้ของผู้เรียน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Salame and Makki (2021) การใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ (Simulation) มีผลต่อทัศนคติในเชิงบวกของการเรียนรู้ทางเคมี เนื่องจากช่วยสนับสนุนความเข้าใจเคมีในส่วนที่เป็นนามธรรมหรือระดับโมเลกุลที่ไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า อีกทั้งยังช่วยให้ผู้เรียนเกิดความท้าทายและกระตุ้นการเรียนรู้ของผู้เรียนอีกด้วย

**ตารางที่ 4** ผลการประเมินความพึงพอใจทางการเรียนวิชาเคมีหลังจากการปฏิบัติกิจกรรม

| ข้อที่ | รายการประเมิน | ระดับความพึงพอใจ | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $\bar{X}$ | S.D. | แปลผล |
| 1 | การใช้กิจกรรมการทดลองนี้ทำให้รู้สึกเกิดความสนใจในการเรียน | 4.24 | 0.69 | มาก |
| 2 | รู้สึกมีความสุขเมื่อได้ทดลองกิจกรรมวิทยาศาสตร์ตามที่ครูวางแผน | 4.76 | 0.44 | มากที่สุด |
| 3 | ความรู้ที่ได้รับจากการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมการทดลองมีความทันสมัย | 4.41 | 0.87 | มาก |
| 4 | กิจกรรมการทดลองส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ | 4.69 | 0.54 | มากที่สุด |
| 5 | การเรียนรู้วิทยาศาสตร์จากการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมการทดลองมีการท้าทายความสามารถ | 4.38 | 0.73 | มาก |
| 6 | กิจกรรมการทดลองนี้ช่วยกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาทักษะด้านการเชื่อมโยงและการสร้างมโนภาพได้ | 4.79 | 0.41 | มากที่สุด |
| 7 | กิจกรรมการทดลองนี้ทำให้มีทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ดีขึ้น | 4.24 | 0.79 | มาก |
| 8 | เมื่อทำการทดลองตามกิจกรรมการทดลองนี้ทำให้เกิดความอยากรู้อยากเห็นและต่อยอดความคิด | 4.48 | 0.91 | มาก |
| 9 | กิจกรรมการทดลองนี้ทำให้สามารถเรียนรู้ได้อย่างต่อเนื่องและเป็นขั้นตอน | 4.21 | 0.86 | มาก |
| 10 | กิจกรรมการทดลองนี้น่าสนใจ ชวนให้ติดตามไม่เบื่อหน่าย | 4.17 | 0.89 | มาก |
| 11 | กิจกรรมการทดลองนี้เหมาะสมกับเวลาที่กำหนดให้ | 3.93 | 1.07 | มาก |
| 12 | กิจกรรมการทดลองนี้มีการผสมผสานกิจกรรมใหม่ ๆ ที่ท้าทายมาสอดแทรกในการเรียนการสอนช่วยให้เกิดการเรียนรู้ตามจุดประสงค์ | 4.62 | 0.49 | มากที่สุด |
| 13 | กิจกรรมการทดลองนี้ช่วยฝึกการแก้ปัญหา | 4.52 | 0.49 | มากที่สุด |
| 14 | กิจกรรมการทดลองนี้ช่วยให้สามารถค้นพบคำตอบ หรือทำกิจกรรมสำเร็จด้วยตนเอง เป็นคู่หรือร่วมกันเป็นกลุ่ม | 4.34 | 0.72 | มาก |
| 15 | กิจกรรมการทดลองนี้ช่วยให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเองร่วมกันเป็นคู่ หรือเป็นกลุ่ม | 4.69 | 0.47 | มากที่สุด |
| | **ค่าเฉลี่ย** | **4.43** | **0.71** | **มาก** |

## สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิดเรื่องการไทเทรตกรดและเบสโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้ สรุปได้ว่าความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิดก่อนเรียนของผู้เรียนส่วนใหญ่ไม่สมบูรณ์ (ระดับ 0) กล่าวคือไม่สามารถสร้างตัวแทนความคิดได้ถูกต้องหรือผู้เรียนบางคนไม่สามารถเขียนอธิบายแนวโน้มสิ่งที่อาจเกิดขึ้นได้จากคำถามที่กำหนด แต่เมื่อจัดการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะความรู้ร่วมกับกิจกรรมการทดลองหรือการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้แล้ว พบว่าผู้เรียนส่วนน้อยที่สามารถสร้างตัวแทนความคิดได้แต่ไม่สมบูรณ์บางส่วน

(ระดับ 2) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากระยะเวลาในการเรียนรู้ของผู้เรียนไม่เพียงพอในการร่วมกันอภิปรายภายในกลุ่ม อย่างไรก็ตามผู้เรียนส่วนใหญ่มีความสามารถในการสร้างตัวแทนความคิดได้สมบูรณ์ (ระดับ 3) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ค่าเฉลี่ยของการทดสอบหลังเรียนมีค่าสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งสรุปได้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานด้วยวิธีการสืบเสาะความรู้ที่มีการสอดแทรกการใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ (Simulation) ระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้สามารถส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และสร้างความเข้าใจในเชิงลึกของการเรียนเคมีจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติหรือการทดลอง (Macro) ที่มีเนื้อหามีความเป็นนามธรรมที่เข้าใจยาก ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเชื่อมโยงและอธิบายได้ในระดับโมเลกุลและสัญลักษณ์ (Micro and Symbolic) ซึ่งเป็นตัวแทนความคิดทั้ง 3 ระดับเข้าด้วยกันซึ่งส่งผลต่อการนำความรู้ที่ได้ได้ต่อยอดในการเรียนเคมีหัวข้อต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## ข้อเสนอแนะ

### ข้อเสนอแนะเพื่อนำผลการวิจัยไปใช้

1) ส่งเสริมวิธีการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการสืบเสาะความรู้ที่มีการผสมผสานกับการทดลองและสอดแทรกโปรแกรมจำลองสถานการณ์ (Simulation) เพื่อพัฒนาศักยภาพของผู้เรียนอย่างต่อเนื่อง

2) นำวิธีการประเมินการสร้างตัวแทนความคิดทั้ง 3 ระดับ (Macro, Micro and Symbolic Level) ไปใช้ออกแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาการเรียนรู้ทางด้านเคมีในเนื้อหาที่เป็นนามธรรมอื่น ๆ ต่อไป

3) นำผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดสมรรถนะผู้เรียน เช่น ทักษะการเขียนรายงานการทดลอง ทักษะการตีความ การแก้ปัญหา และกระบวนการกลุ่มไปใช้สำหรับออกแบบการจัดการเรียนรู้เนื้อหาอื่น ๆ เพื่อเพิ่มความหลายหลายในการเรียนรู้ของผู้เรียน

### ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

1) ควรมีการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการใช้เทคโนโลยีที่หลากหลายเพิ่มมากขึ้น เพื่อทำให้การเรียนรู้ของผู้เรียนมีศักยภาพมากขึ้น

2) ควรมีการขยายขอบเขตประชากรและกลุ่มตัวอย่างเพื่อศึกษากลุ่มประชากรที่กว้างขึ้นและสามารถเปรียบเทียบความสัมพันธ์และความแตกต่างได้

3) ควรมีการเก็บข้อมูลเชิงลึกและออกแบบสอบถามเฉพาะกลุ่ม เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงคุณภาพที่มีความชัดเจนและถูกต้องตรงกับความเป็นจริงของผู้เรียนมากยิ่งขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

Amineh, R.J. (2015). Review of constructivism and social constructivism. *Journal of social sciences, literature and languages*, *1*(1), 9-16.

Best, J.W. (1997). *Research in education.* New Jersey: Printice Hall.

Bogar, Y. (2019). Literature review on inquiry-based learning in science education. *Uluslararası Bilim Ve Eğitim Dergisi*, *1*(2), 91-118.

Brame, C.J. (2016). *Active learning.* Tennessee: Vanderbilt University Center for Teaching.

Bucat, B.A. (2009). Learning at the sub-micro level: Structural representations. *In Multiple representations in chemical education*, *1*(4), 11-29.

Bybee, R.W. (2009). *The BSCS 5E instructional model and 21st century skills.* Colorado: Colorado Springs.

Bybee, R.W. (2014). The BSCS 5E instructional model: Personal reflections and contemporary implications. *Science and Children*, *51*(8), 10-13.

Chairam, S.N. (2015). Exploring secondary students' understanding of chemical kinetics through inquiry-based learning activities. *Eurasia Journal of Mathematics*, *11*(5), 937-956.

Constantinou, C.P. (2018). *Professional development for inquiry-based science teaching and learning, What is inquiry-based science teaching and learning?*. Springer International Publishing.

Faikhamta, C., Prasoplarb, T., Praisri, A., Pongsanon, K., Phurat, N., & Sa-ard, S. (2023). The development of professional learning community to foster in-service science teachers' pedagogical content knowledge for teaching higher-order thinking (PCK for teaching hots). *Science Education (JSSE)*, *6*(1), 63-37.

Gormally, C., Brickman, P., Hallar, B., & and Armstrong, N. (2009). Effects of Inquiry-based Learning on Students' Science Literacy Skills and Confidence. *International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning, 3*(2), 1-22.

Gunawan, G., Harjono, A., Nisyah, M., Kusdiastuti, M., & Herayanti, L. (2020). Improving students' problem-solving skills using inquiry learning model combined with advance organizer. *International Journal of Instruction*, *13*(4), 427-442.

Hirun, D., & Sudha, S. (2022). The development of activity set for acid-base of chemicals in daily life by using indicators made from common plants in locality. *Mahachulagajasara Journal*, *13*(2), 165-176.

Hofstein, A. (2004). The laboratory in chemistry education: Thirty years of experience with developments, implementation, and research. *Chemistry education research and practice*, *3*(1), 247-264.

Johnston, A.H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, *7*(2), 75-83.

Johnstone, A.H. (2000). Chemical education research: Where from here. *University Chemistry*, *2*(1), 34-38.

Kaesaman, N. (2023). A study of constructivist learning environment teaching performances in thai pre-service science teachers. *Journal of MCU Haripunchai Review*, *7*(2), 75-87.

Wongsuwan, K. (2023). Development of mathayomsuksa 5 student's scientific conceptual of covalent bond through 5e learning cycle with questioning. *Procedia of Multidisciplinary Research*, *1*(1), 40-40.

Madhuri, G.V. (2012). Promoting higher order thinking skills using inquiry-based learning. *European Journal of Engineering Education*, *37*(2), 117-123.

Mahaffy, P. (2004). The future shape of chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, *3*(1), 229-245.

Mosin, P., Khramjantuek, P., Leeladusadeelert, I., Suphasit, K., & Moogmaung, I. (2021). The education act: significance for learning management in the 21st century *Journal of Pacific Institute of Management Science (Humaities and Social science), 7*(1), 76-86.

Sukjaroen, N. (2021). Active Learning to develop higher order thinking: meta analysis. *Journal of Humanities and Social Sciences Thonburi University*, *16*(1), 79-92.

Peanpedlerd, S. (2022). An analysis of textbooksin science and technologyof science and teachnology learning area. *Journal of Graduate School Sakon Nakhon Rajabhat University*, *1*(1), 35-42.

Pedaste, M. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational research review*, *14*(1), 47-61.

Reid, N. (2021). The Johnstone triangle: The key to understanding chemistry. *Royal Society of Chemistry*, *6*(1), 66-88.

Rowles, C.J. (2012). *Chapter 15 strategies to promote critical thinking and active learning.* Amsterdam: Elsevier.

Sagita, R.F. (2018). Development of mole concept module based on structured inquiry with interconection of macro, submicro, and symbolic representation for grade x of senior high school. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *335*, 1-9.

Salame, I.I. (2021). Examining the use of PhEt simulations on students' attitudes and learning in general chemistry II. *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*, *17*(4), 1-9.

Salame, I.I. (2022). Examining some of the students' challenges and alternative conceptions in learning about acid-base titrations. *IJCER (International Journal of Chemistry Education Research)*, *6*(1), 1-10.

Seery, M.K. (2019). A framework for learning in the chemistry laboratory. *Israel Journal of Chemistry*, *59*(6-7), 546-553.

Settles, B. (2009). *Analysis of Active Learning. In U. o. Wisconsin–Madison, Active Learning Literature Survey*. Wisconsin: University of Wisconsin–Madison.

Siddiqui, S.Z. (2013). An inquiry-based approach to laboratory experiences: Investigating students' ways of active learning. *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, *21*(5), 45-53.

Stieff, M.A. (2003). Connected chemistry—incorporating interactive simulations into the chemistry classroom. *Journal of Science Education and Technology*, *12*(1), 285-302.

Supatchaiyawong, P. (2020). Pre-service Chemistry Teachers' Understanding of the Nature of Chemistry. *Journal of Education, Prince of Songkla University, Pattani Campus*, *31*(3), 29-44.

Supatmi, S.A. (2019). Students' misconceptions of acid-base titration assessments using a two-tier multiple-choice diagnostic test. *African Journal of Chemical Education*, *9*(1), 18-37.

Thadison, F.C. (2011). *Investigating macroscopic, submicroscopic, and symbolic connections in a college-level general chemistry laboratory.* Mississippi: The University of Southern Mississippi.

The Secretariat of the Cabinet. (2018). *The Secretariat of the Cabinet*. Retrieved on October 8, 2024 from http://www.ratchakitcha.soc.go.th: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2561/A/082/T_0001.PDF

Tsaparlis, A.G. (2000). Chemistry Teaching in Lower Secondary School with Methods based on: A) Psychological Theories ; b) The Macro Representational, and Submicro Levels of Chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, *2*(1), 217-226.

Tsaparlis, G. (2014). Linking the macro with the submicro levels of chemistry: demonstrations and experiments that can contribute to active/ meaningful/ conceptual learning. *In Learning with understanding in the chemistry classroom*, *3*(3), 41-61.

Walker, S. E. (2003). Active learning strategies to promote critical thinking. *Journal of athletic training*, *38*(3), 263–267.

Wannaprapha, K. K. (2020). A Study Effect of Inquiry-Based Learning with Computer Assisted Instruction on Learning Achievement in Chemistry and Satisfaction for Grade 11 Students. *Narkbhutparitat Journal Nakhon Si Thammarat Rajabhat University*, *12*(2), 160-172.

Widarti, H.R. (2017). Students' misconceptions on titration. *In Ideas for 21st Century Education*, *12*(1), 83-87.

Yakar, Z. (2014). Inquiry-based laboratory practices in a science teacher training program. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *10*(2), 173-183.

Ye, J. S. (2019). The effects of microcomputer-based laboratories on students macro, micro, and symbolic representations when learning about net ionic reactions. *Chemistry Education Research and Practice*, *2*(1), 288-301.