

การพัฒนารูปแบบการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงแบบสืบสอบ
และแบบเสริมต่อการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา

DEVELOPMENT OF VIRTUAL INQUIRY SCIENCE LABORATORY AND
SCAFFOLDING INSTRUCTION MODEL TO ENHANCE SCIENTIFIC
LITERACY OF SECONDARY SCHOOL STUDENTS

นภสร ศรีสมบัติ¹ และปราวีณยา สุวรรณธัญโชติ²
Napasorn Srisombat¹ and Praweenya Suwannatthachote²

^{1,2} หลักสูตรครุศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา คณะครุศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

^{1,2} Master of Education in Educational Technology and Communications, Faculty of Education,
Chulalongkorn University
E-mail: suwanmalee11@gmail.com

Received: May 8, 2024
Revised: July 15, 2024
Accepted: August 1, 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนารูปแบบการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงแบบสืบสอบและแบบเสริมต่อการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา และ 2) ศึกษาผลการใช้รูปแบบการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงแบบสืบสอบและแบบเสริมต่อการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา ตัวอย่างการวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 39 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) แบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับรูปแบบการสอนฯ 2) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามรูปแบบการสอนฯ 3) แบบทดสอบการรู้วิทยาศาสตร์ 4) เว็บไซต์ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบค่าที

ผลการวิจัยพบว่า 1) รูปแบบการสอนฯ ที่พัฒนาขึ้นมีองค์ประกอบ 4 องค์ประกอบ ได้แก่ (1) สื่อเทคโนโลยี (2) กิจกรรมการเรียนรู้ (3) การเสริมต่อการเรียนรู้ และ (4) การประเมินผล และขั้นตอนการเรียนการสอน 5 ขั้นตอน ได้แก่ (1) ขั้นตั้งประเด็นคำถาม (2) ขั้นวางแผน (3) ขั้นปฏิบัติการ (4) ขั้นนำเสนอ และ (5) ขั้นสรุปผล มีผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ประเมินคุณภาพของรูปแบบการสอนฯ ที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสม ในระดับดีมาก ($\bar{X}$ = 4.65, SD = 0.64) สามารถนำไปใช้ได้ 2. ผลของการใช้รูปแบบการสอนที่พัฒนาขึ้น พบว่า นักเรียนที่เรียนด้วยรูปแบบการสอนที่พัฒนาขึ้น มีค่าเฉลี่ยคะแนนการรู้วิทยาศาสตร์หลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

คำสำคัญ

การปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริง การเรียนรู้แบบสืบสอบ การเสริมต่อการเรียนรู้ การรู้วิทยาศาสตร์

ABSTRACT

This was a research and development study, and this study aimed to: 1) develop a virtual inquiry-based science laboratory and scaffolding instruction model to enhance scientific literacy of secondary students, and 2) study the effects of using the developed model of virtual inquiry-based science laboratory and scaffolding instruction to enhance scientific literacy of secondary students. The research sample consisted of 39 grade 10 students. The research instruments included 1) semi-structured interview form for experts, 2) lesson plans according to the developed instructional model, 3) scientific literacy tests, and 4) a virtual science laboratory website. The data were analyzed using mean, standard deviation, and t-test.

The research results showed that 1) the developed instructional model consisted of four components: (1) technology media, (2) learning activities, (3) learning scaffolding, and (4) assessment. The instructional steps consisted of five stages: (1) posing questions, (2) planning, (3) conducting laboratory work, (4) presenting results, and (5) drawing conclusions. Five experts evaluated the quality of the developed instructional model as very appropriate ($\bar{X}$ = 4.65, SD = 0.64), and it could be implemented. 2) The effects of using the developed instructional model showed that students who learned with the developed instructional model had significantly higher mean scientific literacy scores after the experiment than before the experiment at the .05 level of statistical significance.

Keywords

Virtual Science Laboratory, Inquiry-based Learning, Learning Scaffolding, Scientific Literacy

ความสำคัญของปัญหา

เป้าหมายสำคัญในการสอนวิทยาศาสตร์คือการพัฒนาให้นักเรียนเป็นผู้มีความสามารถในการเชื่อมโยงสิ่งต่าง ๆ เข้ากับประเด็นที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ และแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างไตร่ตรอง ตามสมรรถนะทางวิทยาศาสตร์ซึ่ง ประกอบด้วย 1) การอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์เป็นการรับรู้และประเมินคำอธิบายที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติและเทคโนโลยี 2) การประเมินและออกแบบกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เป็นการอธิบายและประเมินคุณค่าของการสำรวจตรวจสอบทางวิทยาศาสตร์ และนำเสนอแนวทาง

ในการตอบคำถามอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ 3) การแปลความหมายข้อมูลและการใช้ประจักษ์พยาน ในเชิงวิทยาศาสตร์ เป็นการมีความสามารถในการวิเคราะห์และประเมินข้อมูล และข้อโต้แย้ง ในหลากหลายรูปแบบ และลงข้อสรุปทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างเหมาะสม การเรียนรู้ที่ช่วยส่งเสริม การรู้วิทยาศาสตร์ต้องเป็นรูปแบบการมุ่งเน้นใช้ฐานความรู้ และระบบความคิดที่บูรณาการและ เชื่อมโยงความรู้สู่ชีวิตประจำวัน คือมีความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ความรู้ด้านคณิตศาสตร์ ระบบการคิด อย่างมีเหตุผล ความเข้าใจ และความสามารถในการใช้เทคโนโลยี เพื่อหล่อหลอมนักเรียนให้มีทักษะ การเรียนรู้ และความคิดสร้างสรรค์ รวมถึงการเรียนรู้ด้านวิชาชีพ และทักษะชีวิต โดยครูจะต้อง เปลี่ยนบทบาทจากครูผู้สอนผู้สนับสนุนการเรียนรู้ ทำหน้าที่กระตุ้น สร้างแรงบันดาลใจ ให้คำปรึกษา ชี้แนะวิธีการเรียนรู้ วิธีคิดที่สามารถบูรณาการความรู้ และเชื่อมโยงความรู้สู่ชีวิตประจำวันให้แก่ นักเรียน (The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology [IPST], 2018)

การจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบเป็นวิธีสอนที่ฝึกให้นักเรียนรู้จักค้นคว้าหาความรู้โดยใช้ กระบวนการทางความคิดหาเหตุผลด้วยตนเอง โดยผู้สอนตั้งคำถามกระตุ้นให้นักเรียนใช้ความคิดหาวิธีการ แก้ปัญหา และสามารถนำการแก้ปัญหามาใช้ในชีวิตประจำวันได้ ผู้สอนมีหน้าที่เป็นผู้สนับสนุนชี้แนะ ช่วยเหลือ ตลอดจนแก้ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการเรียนการสอน รูปแบบการสอนแบบสืบสอบเป็นการ จัดการเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนสร้างความรู้ด้วยตนเอง เน้นกระบวนการที่นักเรียนเป็นผู้คิด ลงมือปฏิบัติตาม ความสนใจความถนัดและความสามารถของนักเรียนเอง (Khamanei, 2019) การเรียนลักษณะนี้นักเรียนจะ มีส่วนร่วมรับผิดชอบในการทำงาน เป็นการเริ่มต้นด้วยปัญหาหรือคำถามและดำเนินการแก้ปัญหาโดยลงมือ ทดลองปฏิบัติจริง เพื่อจะช่วยให้ นักเรียนเกิดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและกระบวนการคิดที่สูงขึ้น สำหรับ การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์มีข้อจำกัดสำหรับเนื้อหาที่มีการทำกิจกรรมการทดลองที่อาจเกิด อันตราย อุปกรณ์ไม่เพียงพอ และเวลาที่จำกัดในการทดลอง การนำเทคโนโลยีห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เสมือนจริง (Virtual science laboratory) มาใช้ เช่น การใช้โปรแกรมจำลองในการเรียนวิชาเคมี เรื่องการ ไทเทรตและการตกตะกอน ทำให้นักเรียนออกแบบวิธีแก้ปัญหา ทำการทดลองเสมือนจริง วิเคราะห์ผลลัพธ์ และสรุปผลได้ (Liu et al., 2022; Chindanurak, 2016) กิจกรรมการทดลองผ่านการจำลองโดยอาศัย ศักยภาพของเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้แก่นักเรียนมาช่วยเสริมหรือลดข้อจำกัดใน กิจกรรมการเรียนวิทยาศาสตร์ เป็นแนวทางหนึ่งซึ่งช่วยให้กิจกรรมการเรียนการสอนบรรลุตามวัตถุประสงค์ และช่วยประหยัดเวลา สามารถดึงดูดความสนใจของนักเรียนได้ (Zurweni, Wibawa, & Erwin, 2017)

กระบวนการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์มีความซับซ้อน นักเรียนมักประสบกับความยุ่งยาก ในบางขั้นตอนของกระบวนการสืบสอบ แนวคิดหนึ่งซึ่งช่วยเสริมสร้างความสามารถในการเรียนรู้ ของนักเรียน ได้แก่ การเสริมต่อการเรียนรู้ (Scaffolding) เป็นการแนะนำของผู้ที่มีความสามารถ หรือมีศักยภาพมากกว่า หรืออาจกล่าวว่าเป็นกลวิธีให้การช่วยเหลือนักเรียนให้สามารถทำงานได้หรือ แก้ปัญหาได้ด้วยตนเอง เป็นการช่วยเหลือทั้งในแง่ของการให้แนวทางการกระตุ้น การเสริมแรง การสร้างความชัดเจน การสนับสนุน ซึ่งวิธีการช่วยเหลือดังกล่าวจะถูกลดลงหรือยกเลิกเมื่อนักเรียน ที่ได้รับการช่วยเหลือสามารถทำงานหรือแก้ปัญหาได้ด้วยตนเองแล้วช่วยให้นักเรียนทำงานที่ตน ไม่สามารถทำได้ด้วยตนเองได้สำเร็จ ช่วยให้ผู้เรียนมีพัฒนาการและมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น (Gumilar, Sunarya, & Arifin, 2017; Sharma & Hannafin, 2007)

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยมีความต้องการที่จะพัฒนารูปแบบการสอนปฏิบัติการ วิทยาศาสตร์เสมือนจริงแบบสืบสอบและแบบเสริมต่อการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการรู้วิทยาศาสตร์ ของนักเรียนมัธยมศึกษา เพื่อใช้เป็นแนวในการพัฒนาการเรียนวิทยาศาสตร์และยังช่วยพัฒนาการรู้ วิทยาศาสตร์ โดยนำเทคโนโลยีเสมือนจริงมาใช้ในการเรียนการสอน และช่วยส่งเสริมให้นักเรียนได้ กำหนดเวลาทางการเรียนรู้ของตนเองในกิจกรรมสืบสอบ เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ทบทวนความรู้ที่มี ความสำคัญต่อความสำเร็จในกิจกรรมการเรียนการสอนในชั้นเรียนต่อไป

โจทย์วิจัย/ปัญหาวิจัย

1. รูปแบบการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงแบบสืบสอบและแบบเสริมต่อการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัศึกษามีองค์ประกอบและขั้นตอนการสอน อย่างไร
2. นักเรียนที่เรียนด้วยรูปแบบการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงแบบสืบสอบและแบบเสริมต่อการเรียนรู้มีคะแนนการรู้วิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างไร

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนารูปแบบการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงแบบสืบสอบและแบบเสริมต่อการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา
2. เพื่อศึกษาผลการใช้รูปแบบการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงแบบสืบสอบและแบบเสริมต่อการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยและพัฒนาโดยแบ่งเป็น 2 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 การพัฒนารูปแบบการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงแบบสืบสอบและแบบเสริมต่อการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา

1.1 ผู้วิจัยพัฒนารูปแบบการสอนจากการวิเคราะห์ทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสอนแบบสืบสอบ แบบเสริมต่อการเรียนรู้ การปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริง และการรู้วิทยาศาสตร์

1.2 สัมภาษณ์ครูผู้สอนรายวิชาวิทยาศาสตร์ในระดับชั้นมัธยมศึกษา จำนวน 10 คน โดยเป็นครูที่มีวุฒิการศึกษาปริญญาตรี ปริญญาโท ปริญญาเอก และมีประสบการณ์ในการสอนอยู่ในช่วงระหว่าง 3-30 ปี สัมภาษณ์เกี่ยวกับขั้นตอนและองค์ประกอบ กิจกรรมการเรียนรู้ และสื่อเทคโนโลยี ในการเรียนการสอน เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการออกแบบรูปแบบการสอน ผู้วิจัยได้ร่างรูปแบบการสอน ประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) สื่อเทคโนโลยี 2) การเสริมต่อการเรียนรู้ 3) กิจกรรมการเรียนรู้ 4) การประเมินผล มีขั้นตอนการสอน 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นตอนประเด็นคำถาม 2) ขั้นตอนวางแผน 3) ขั้นตอนปฏิบัติการ 4) ขั้นนำเสนอ และ 5) ขั้นสรุปผล

1.3 ผู้วิจัยนำร่างรูปแบบการสอนไปสัมภาษณ์ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 9 คน จำแนกผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีและการสื่อสารการศึกษา จำนวน 4 คน ด้านการสอนวิทยาศาสตร์ จำนวน 5 คน โดยสัมภาษณ์เกี่ยวกับ 1) ขั้นตอนการสอนของรูปแบบฯ และองค์ประกอบ ได้รับ

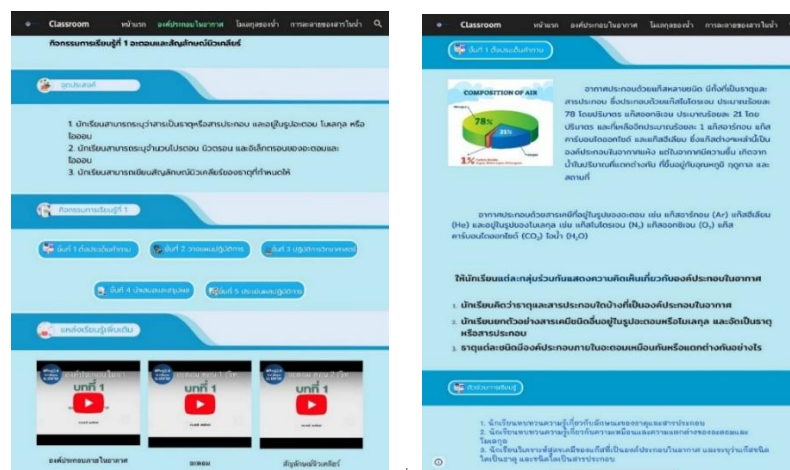
ข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ ประเด็นที่ 1 ปรับคำในขั้นตอนให้มีความสอดคล้องกับเนื้อหามากขึ้น
ประเด็นที่ 2 ควรระบุกิจกรรมปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงในรูปแบบให้ชัดเจน

1.4 ผู้วิจัยได้นำรูปแบบการสอนที่ปรับแก้แล้ว ทำการตรวจสอบคุณภาพรูปแบบการสอนฯ โดยผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 คน โดยผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาว่ารูปแบบมี ความเหมาะสมในการนำไปใช้ และได้รับข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิ คือ ในขั้นนำเสนอและสรุปผลควรมีการเพิ่มเติมความรู้ และการใช้คำถามผ่านกระบวนการสืบสอบเพื่อให้ นักเรียนสามารถสร้างความรู้จากหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ได้จากการทดลอง ผู้วิจัยจึงข้อมูลนำไปปรับปรุงรูปแบบการสอนก่อนไปใช้ทดลอง

1.5 ผู้วิจัยออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ตามรูปแบบการสอนฯ ที่พัฒนาขึ้น ในรายวิชา วิทยาศาสตร์กายภาพ (เคมี) หน่วยการเรียนรู้เรื่อง อากาศและน้ำ จำนวน 8 สัปดาห์ ทั้งหมด 24 คาบ เรียน และนำไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 คน ทำการประเมินความสอดคล้องวัตถุประสงค์ ของงานวิจัย พบว่าความสอดคล้องเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.81 SD = 0.34)

1.6 ผู้วิจัยพัฒนาแบบทดสอบการรู้วิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียน จำนวน 19 ข้อ โดยกำหนดรูปแบบข้อสอบเป็น 1) แบบปรนัย จำนวน 8 ข้อ 2) แบบเลือกตอบเชิงซ้อน จำนวน 4 ข้อ และ 3) แบบเขียนตอบปลายเปิด จำนวน 7 ข้อ นำแบบทดสอบที่พัฒนาขึ้นไปทดสอบกับ นักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 40 คน วิเคราะห์ค่าความยากง่ายได้ 0.2-0.75 ค่าอำนาจจำแนก 0.2 ขึ้นไป และค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.70 ซึ่งแสดงว่าข้อสอบสามารถนำไปใช้ได้

1.7 ผู้วิจัยออกแบบเว็บไซต์ตามรูปแบบการสอนฯ ประกอบด้วยกิจกรรม 3 กิจกรรม ได้แก่ 1) องค์ประกอบในอากาศ 2) โมเลกุลของน้ำ 3) การละลายของสารในน้ำ ในแต่ละกิจกรรมมีการ ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริง โดยใช้เครื่องมือจากเว็บ PhET Interactive Simulations ได้แก่ 1) การสร้างอะตอม 2) โมเลกุล 3) การละลายของสารในน้ำ จากนั้นประเมินคุณภาพสื่อด้านเนื้อหา และประเมินคุณภาพสื่อด้านการออกแบบเว็บไซต์ด้วยแบบประเมิน โดยมีผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 6 คน พบว่า คุณภาพสื่อด้านเนื้อหาเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.76, SD = 0.57) และคุณภาพ สื่อด้านการออกแบบเว็บไซต์มีเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.60, SD = 0.50)



ภาพที่ 1 ตัวอย่างหน้าเว็บไซต์ตามรูปแบบการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงแบบสืบสอบ และแบบเสริมต่อการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา

ระยะที่ 2 การศึกษาผลของการใช้การรูปแบบการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงแบบสืบสอบและแบบเสริมต่อการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา

การทดลองใช้รูปแบบการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงแบบสืบสอบและแบบเสริมต่อการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา เป็นวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi – Experimental Research) มีกลุ่มตัวอย่าง 1 กลุ่ม (One Group Pretest - Posttest Design) มีการวัดผลก่อนเรียนและหลังเรียน ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 39 คน ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 โดยใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง จากนักเรียนที่เรียนในรายวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ (เคมี) จำนวน 1 ห้องเรียน จาก 7 ห้องเรียน ที่เรียนในแผนการเรียน ศิลป์-ภาษา เป็นนักเรียนที่มีความสามารถในการใช้เทคโนโลยีในการเรียนรู้และมีความพร้อมด้านอุปกรณ์ คอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต โดยการทดลองรูปแบบการสอนฯ ระยะเวลา 8 สัปดาห์

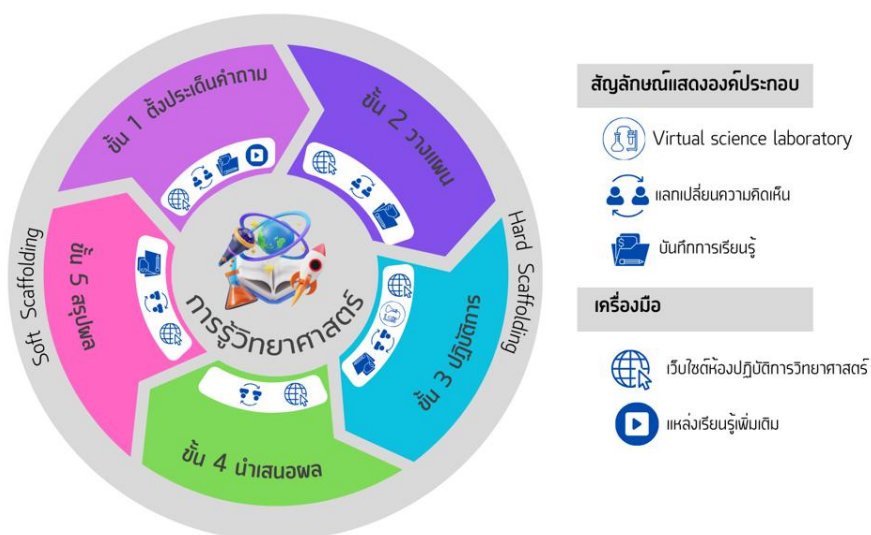
การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่ออธิบายข้อมูลทั่วไป

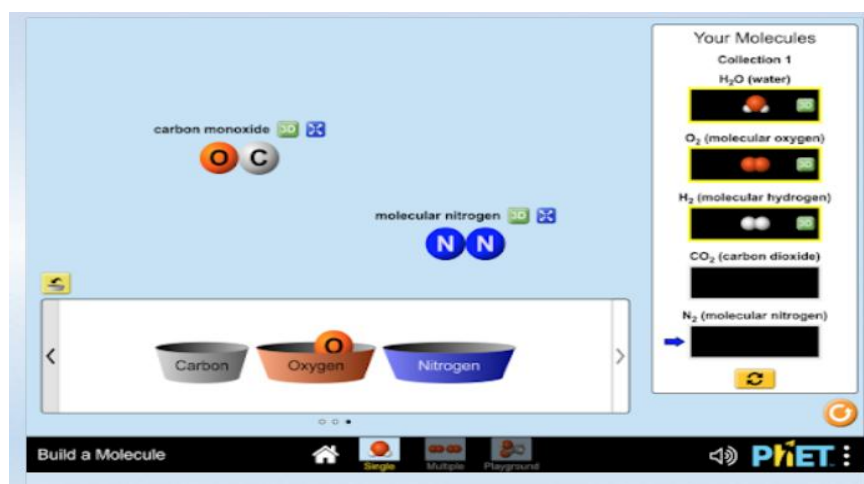
2. วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบคะแนนระหว่างการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน ของกลุ่มทดลอง โดยใช้สถิติ t-test dependent

ผลการวิจัย

1. รูปแบบการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงแบบสืบสอบและแบบเสริมต่อการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาที่พัฒนาขึ้นนี้ เป็นการเรียนการสอนในห้องเรียนร่วมกับการเรียนการสอนบนเว็บไซต์ ประกอบด้วยองค์ประกอบ 4 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) สื่อเทคโนโลยี 2) กิจกรรมการเรียนรู้ 3) การเสริมต่อการเรียนรู้ และ 4) การประเมินผล และขั้นตอนการเรียนการสอน 5 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นตั้งประเด็นคำถาม 2) ขั้นวางแผน 3) ขั้นปฏิบัติการ 4) ขั้นนำเสนอ และ 5) ขั้นสรุปผล ซึ่งผลการประเมินรูปแบบการสอนฯ ที่ได้เสนอต่อผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 คน มีความคิดเห็นว่าภาพรวมของรูปแบบการสอนฯ ที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมในระดับดีมาก สามารถนำไปใช้ได้ ($\bar{X}$ = 4.65 SD = 0.64) โดยมีกระบวนการเรียนรู้ ดังภาพที่ 2 และในการวิจัยครั้งนี้มีการใช้ PhET Interactive Simulations สำหรับใช้ในการปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงในขั้นตอนที่ 3 ซึ่งเครื่องมือนี้จะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนได้ทดลองเสมือนจริงและมีการเรียนรู้ในกิจกรรมตามรูปแบบการสอนฯ ได้ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 2 รูปแบบการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงแบบสืบสอบและแบบเสริมต่อการเรียนรู้ เพื่อส่งเสริมการรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา



ภาพที่ 3 สื่อปฏิบัติการเสมือนจริงเรื่อง การสร้างอะตอม ของ PhET Interactive Simulations ที่ใช้ในแผนการจัดการเรียนรู้ตามรูปแบบที่พัฒนาขึ้น

2. ผลการรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนด้วยรูปแบบการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงแบบสืบสอบและแบบเสริมต่อการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาโดยคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์คะแนนการรู้วิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียนของกลุ่มตัวอย่าง

คะแนนการรู้วิทยาศาสตร์	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	t	P-value
ก่อนเรียน	26	13.43	2.41	13.521	000*
หลังเรียน	26	19.18	3.70		

* P-value < 0.05

อภิปรายผล

การอภิปรายผลการวิจัย ผู้วิจัยแบ่งออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การพัฒนารูปแบบการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงแบบสืบสอบและแบบเสริมต่อการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา

รูปแบบการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงแบบสืบสอบและแบบเสริมต่อการเรียนรู้พัฒนาขึ้นเพื่อมุ่งเน้นการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่เสริมสร้างการรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนเป็นการฝึกให้นักเรียนมีทักษะการรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้กระบวนการคิดและการปฏิบัติอย่างเป็นระบบกิจกรรมการเรียนการสอนมี 4 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) สื่อเทคโนโลยี เป็นการใช้สื่อปฏิบัติการเสมือนจริงมาเพื่อประกอบการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ การออกแบบขั้นตอนในการหาคำตอบทางวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะสถานการณ์หรือการทดลองที่ไม่สามารถทดลองได้จริงในห้องทดลอง เช่น การทดลองฟิสิกส์เสมือนจริง ช่วยให้นักเรียนได้ฝึกฝนทักษะกระบวนการ ทักษะที่ครอบคลุม และทักษะการไตร่ตรองในเชิงลึกของการสืบสอบทางวิทยาศาสตร์ และยังพบความแตกต่างในการพัฒนาทักษะการหาคำตอบทางวิทยาศาสตร์ในระหว่างนั้นด้วย (Wang, Guo, & Jou, 2015; Chung Liu et al., 2022) ผู้วิจัยได้พิจารณาใช้สื่อปฏิบัติการเสมือนจริงของ PhET-Interactive Simulations เพื่อใช้ในการหาคำตอบในกระบวนการสืบสอบ (Jansoon & Rakkbarmung, 2018) การใช้สื่อปฏิบัติการเสมือนจริงช่วยให้นักเรียนเข้าใจการทดลองแต่ละขั้นตอนไม่เพียงแต่เพื่อดูจากสมมติฐาน การตีความผลการทดลอง แนวทางแบบภาพรวมจะช่วยเพิ่มความสามารถของนักเรียนในการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันที่มีความซับซ้อนได้ 2) กิจกรรมการเรียนรู้ เป็นกิจกรรมในการเรียนการสอนบนเว็บไซต์ ซึ่งในแต่ละกิจกรรมจะมีขั้นตอนการเรียนรู้ 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นตั้งประเด็นคำถาม 2) ขั้นวางแผน 3) ขั้นปฏิบัติการ 4) ขั้นนำเสนอ และ 5) ขั้นสรุปผล (Nakraksa, 2019; Styawan & Arty, 2021) การใช้ระบบจัดการการเรียนการสอนผ่านเครือข่ายมาช่วยในการจัดการเรียนการสอน ช่วยให้นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้สอนกับนักเรียน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างนักเรียนกับนักเรียน สามารถติดต่อสื่อสาร ตอบคำถาม แสดงความคิดเห็น นักเรียนสามารถเรียนรู้เพิ่มเติมได้ทุกที่ทุกเวลา 3) การเสริมต่อการเรียนรู้ ในขั้นตอนการเรียนการสอนนี้มีการจัดการเสริมต่อการเรียนรู้ 2 รูปแบบ คือแบบที่ 1 การเสริมต่อการเรียนรู้แบบปรับเปลี่ยน เป็นการปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้สอนกับนักเรียนในชั้นเรียนและการติดต่อผ่านเครื่องมือสื่อสาร เพื่อช่วยสนับสนุนการเรียนรู้ของนักเรียน รวมถึงการให้ความช่วยเหลือนักเรียนในระหว่างการเรียนการสอนหรือเมื่อนักเรียนต้องการ และแบบที่ 2 การเสริมต่อการเรียนรู้แบบคงที่ เป็นการออกแบบวิธีการ

หรือเครื่องมือในบทเรียนบนเว็บ เพื่อช่วยให้นักเรียนสามารถทำกิจกรรมในแต่ละขั้นตอนตามที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ประกอบด้วย (1) การจัดโครงสร้างของงานให้เป็นขั้นตอน (2) การจัดพื้นที่ให้นักเรียนบันทึกการเรียนรู้ (3) การใช้คำถาม การแนะนำ เพื่อช่วยให้นักเรียนทำความเข้าใจเนื้อหาได้แบบเสริมต่อการเรียนรู้ช่วยให้นักเรียนประสบความสำเร็จในการทำงานที่มีความซับซ้อนได้ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการช่วยสนับสนุนและชี้แนะในกระบวนการสืบสอบ (Mueangpud, 2019; Gonulal & Loewen, 2018) 4) การประเมินผลการรู้วิทยาศาสตร์ เป็นการประเมินโดยใช้แบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนที่ระบุถึง (1) การอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ (2) การประเมินและออกแบบกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (3) การแปลความหมายข้อมูลและการใช้ประจักษ์พยานในเชิงวิทยาศาสตร์ (IPST, 2018) รูปแบบการสอนนี้ส่งเสริมให้นักเรียนสามารถศึกษาและทำการทดลองได้ด้วยตัวเองโดยไม่จำกัดสถานที่และเวลา ช่วยกระตุ้นความสนใจทำการทดลองด้วยรูปแบบสื่อที่ทันสมัย โดยในรูปแบบการสอนนี้มีการจัดให้นักเรียนได้เผชิญกับคำถาม การวางแผน การทดสอบวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสรุปซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาการรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียน นอกจากนี้ยังมีการช่วยสนับสนุนโดยครูเพื่อให้นักเรียนสามารถทำกิจกรรมการเรียนรู้ที่เหนือระดับความสามารถของตนเอง ช่วยทำให้การทำงานในแต่ละขั้นมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

ตอนที่ 2 ศึกษาผลของการใช้การรูปแบบการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงแบบสืบสอบและแบบเสริมต่อการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา

การนำรูปแบบการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงแบบสืบสอบและแบบเสริมต่อการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา ไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นนักเรียนที่เรียนในรายวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ(เคมี) ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 39 คน ระยะเวลา 8 สัปดาห์ รวมทั้งหมด 24 คาบเรียน พบว่า นักเรียนที่เรียนด้วยรูปแบบการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงแบบสืบสอบและแบบเสริมต่อการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการรู้วิทยาศาสตร์มีค่าเฉลี่ยของคะแนนการรู้วิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัย ทั้งนี้รูปแบบการสอน ได้ใช้กระบวนการสอบแบบสืบสอบ ซึ่งมีขั้นตอนการช่วยส่งเสริมให้นักเรียนมีสมรรถนะการรู้วิทยาศาสตร์ ดังนี้

ในการเตรียมความพร้อมก่อนเรียน ครูผู้สอนได้อธิบายวิธีการใช้เครื่องมือบนเว็บไซต์เพื่อให้นักเรียนสามารถใช้เครื่องมือดังกล่าวในการศึกษาเนื้อหา และการส่งงานและมีการแลกเปลี่ยนความรู้ระหว่างนักเรียนกับครูผู้สอน และมีทดสอบก่อนเรียนวัดการรู้วิทยาศาสตร์ เพื่อจำแนกผู้เรียนเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มนักเรียนที่มีคะแนนการรู้วิทยาศาสตร์ระดับต่ำ ปานกลางและสูง จากนั้นแบ่งกลุ่มนักเรียนโดยละความสามารถของนักเรียน ในขั้นที่ 1 ตั้งประเด็นคำถาม ได้กำหนดสถานการณ์และตั้งคำถามเพื่อให้นักเรียนได้สืบสอบหาความรู้ ขั้นนี้ถือเป็นขั้นที่จะทำให้นักเรียนมีความสนใจที่จะเรียนรู้ สามารถออกแบบกระบวนการสืบสอบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ในขั้นที่ 2 ขึ้นวางแผน ขั้นนี้นักเรียนตอบคำถามที่ครูกำหนดไว้ เพื่อเป็นการวางแผนในการปฏิบัติการ ในขั้นนี้นักเรียนหาความรู้เพิ่มเติมจากแหล่งเรียนรู้อื่นได้ ทำให้นักเรียนสามารถวางแผนการออกแบบการทดลองที่เหมาะสมเพื่อตอบคำถาม ในขั้นที่ 3 ขั้นปฏิบัติการ เป็นขั้นที่นักเรียนได้ทดสอบปฏิบัติการเสมือนจริงใน PhET Interactive Simulations ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงเท่านั้น ส่งผลให้นักเรียนทำความเข้าใจในเนื้อหามากขึ้น และจากการได้

ทดสอบเสมือนจริงนี้การประเมินว่าการทดลองที่ได้ออกแบบไว้นั้นเหมาะสมสำหรับการตอบคำถามตามที่วางแผนไว้ ในขั้นที่ 4 ขั้นนำเสนอ ขั้นนี้นักเรียนนำความรู้ที่ได้จากการสืบสอบมาช่วยกันนำเสนอและแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ซึ่งเมื่อมีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันหลาย ๆ คน ทำให้นักเรียนเข้าใจได้ชัดเจนมากขึ้น นักเรียนมีการตีความและนำความรู้จากแหล่งนำเชื่อถือและข้อสรุปที่ได้จากหลักฐานที่ปรากฏในขั้นที่ 3 มาอธิบายอย่างมีเหตุผล ขั้นที่ 5 ขั้นสรุป นักเรียนนำองค์ความรู้ที่ได้จากกระบวนการสืบสอบมาสรุป จากขั้นตอนการสอนส่งเสริมสมรรถนะการรู้วิทยาศาสตร์ทั้งในด้านการอธิบายปรากฏการณ์ในเชิงวิทยาศาสตร์ ด้านการประเมินและออกแบบกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และด้านการแปลความหมายข้อมูลและการใช้ประจักษ์พยานในเชิงวิทยาศาสตร์ สอดคล้องกับงานวิจัย Chantraukrit (2013) ได้นำการสอนแบบสืบสอบโต้แย้งและแนวทางการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานเพื่อเสริมสร้างสมรรถนะการรู้วิทยาศาสตร์ พบว่านักเรียนในกลุ่มทดลองมีค่าคะแนนเฉลี่ยการรู้วิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน การใช้แบบจำลองยังช่วยส่งเสริมศักยภาพโดยใช้ข้อมูลและหลักฐานมาใช้อธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติได้อย่างมีเหตุผล วิธีการสอนแบบสืบสอบเป็นวิธีหนึ่งที่เหมาะสมความสำเร็จในการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ (Lazonder & Harmsen, 2016) จากกระบวนการหรือขั้นตอนที่ผู้วิจัยได้ออกแบบในรูปแบบการสอน นอกจากจะช่วยส่งเสริมการรู้วิทยาศาสตร์และ ยังทำให้นักเรียนมีทักษะวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้น เช่น ทักษะการตั้งสมมติฐาน ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ ทักษะการทดลอง และ ทักษะการตีความหมายและลงข้อมูล ตลอดจนสามารถกระตุ้นและเสริมสร้างให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจในองค์ความรู้อย่างชัดเจน สอดคล้องกับงานวิจัย (Nganiem & Eiamguaw, 2021) ที่ได้ศึกษา ผลการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ที่มีต่อทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 พบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 75 ของคะแนนเต็ม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เป็นการแสดงความสามารถของนักเรียนในการอธิบายปรากฏการณ์เชิงวิทยาศาสตร์ ออกแบบกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์และการแปลความหมายข้อมูลและการใช้ประจักษ์พยานในเชิงวิทยาศาสตร์เพื่อตอบสนองและแก้ปัญหาได้ ทำให้นักเรียนประสบความสำเร็จในการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย

1. นักเรียนที่เรียนด้วยรูปแบบการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงแบบสืบสอบและแบบเสริมต่อการเรียนรู้ มีค่าเฉลี่ยของคะแนนการรู้วิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ใช้เวลาทั้งสิ้น 8 สัปดาห์ นักวิจัยหรือครูผู้สอนสามารถนำรูปแบบการสอนที่พัฒนาขึ้นไปใช้โดยคำนึงถึงการให้ระยะเวลาในการจัดการเรียนการสอน และวางแผนกิจกรรมให้นักเรียนได้ปฏิบัติจริง เพื่อให้นักเรียนมีทักษะและส่งเสริมสมรรถนะการรู้วิทยาศาสตร์ได้

2. ในระหว่างการทดลองคาบปฐมนิเทศ พบว่า เป็นช่วงเวลาที่จำเป็นสำหรับทำความเข้าใจความคุ้นเคยกับเครื่องมือ ดังนั้น ควรให้เวลาและความสำคัญกับการทดลองใช้เครื่องมือ ตลอดจนการปรับลักษณะการเรียนรู้ใหม่แก่ผู้เรียนภายใต้คำแนะนำในการเรียนรู้จากครู

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. งานวิจัยนี้พัฒนารูปแบบการสอนที่ออกแบบให้นักเรียนได้เรียนรู้ทั้งในห้องเรียนและบนเว็บไซต์ออนไลน์ พบว่า สามารถส่งเสริมสมรรถนะการรู้วิทยาศาสตร์ได้ จึงควรมีการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเรียนรู้ด้วยรูปแบบการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงแบบสืบสอบและแบบเสริมต่อการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา
2. งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาโดยใช้การปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงมาใช้ ผู้วิจัยพบว่ามีตัวแปรอื่นที่น่าสนใจที่เกี่ยวกับการพัฒนานักเรียน ได้แก่ ทักษะการคิดวิเคราะห์ ทักษะการแก้ปัญหา ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เป็นต้น

References

- Chantraukrit, P. (2013). *kānphatthana rūpbāp kān rian kānsōk dōi būn nā kān rūpbāp kān sūp sōp bāp tōyāng lāe nāokhit kānrianrū dōi chai bāpchamlōng pen thān phūa sōmsāng samatthana kān rū wittayāsāt lāe khwām mī hēthphon khōng nakrian matthayommasuksā tōt ton* [Development of an instructional model by integrating the argument-driven inquiry model and model-based learning approach to promote scientific literacy competencies and rationality of lower secondary school students]. Doctoral dissertation. Chulalongkorn University.
- Chindanurak, T. (2016). *nawattakam lāe sū nai kānchatkān rian kānsōk wittayāsāt nai satawat thī yīsip* et [Innovation and Media in Science Teaching and Learning in the 21st Century]. *Veridian E-Journal, Silpakorn University*. 9(1), 1906 – 3431.
- Chung, L. et al. (2022). Augmenting the effect of virtual labs with "teacher demonstration" and "student critique" instructional designs to scaffold the development of scientific literacy. *Instructional Science*. 2022(50), 303–333.
- Gonulal, T. & Loewen, S. (2018). Scaffolding technique. *The TESOL encyclopedia of English language teaching*. (2018), 1-5.
- Gumilar, A., Sunarya, Y. & Arifin, M. (2017). *Developing Chemistry Teacher's Ability to Design Inquiry-based Lab through Scaffolding type of Teacher Training Program*. Paper presented at the Journal of Physics. Conference Series.
- Jansoon, N. & Rakbamrung, N. (2018). *khwāmru nūhā phasān withī sōk lāe theknōlōyī nai hō'ong rian khēmī dōi chai sathān kān lōng bāp mī pati samphan khōng PhET [TPACK in chemistry classroom using PhET interactive simulations]*. *Journal of Science and Science Education*. 1(1), 109-121.
- Khamanei, T. (2019). *Sātkānsōk: 'Ingkhwām rūphūākānchatkrabūān kānrianrū: thīmīprasitthipāp* [Knowledge for Learning]. ed. Bangkok: Chulalongkorn University Press.

- Lazonder, A. & Harmsen, R. (2016). Inquiry-based learning. **International Encyclopedia of Education**, 4th edition, Volume 6.
- Liu, L. et al. (2022). Supporting students' inquiry in accurate precipitation titration conditions with a virtual laboratory tool as learning scaffold. **Education for Chemical Engineers**. 38(1), 78–85.
- Mueangpud, A. (2019). **kānphatthana mō bai 'æ pō phali khōchan bāp chuāi sōm sakkayaphap kānriānrū dōi chai nāokhit kānriānrū tām sathanākān pen thān phūa sōmsāng samatthana kānchatkān thāng kāngōen samrap yaowachon** [Development of a mobile scaffolding application in scenario-based learning to promote youth financial management competency]. Doctoral dissertation. Chulalongkorn University.
- Nakraksa, R. (2019). **kānphatthana rūpbāp kānchatkān suksā nōk sathanthī sē mūr nōrōwō bok ra būan kān sūp sōp lāe phānthī bāp sām miti thāng phūmisāt phūa sōmsāng kān rūrūang phūmisāt samrap nakriān matthayommasuksā tōn plāi** [Development of virtual field trip model with geographic inquiry process and 3d map to enhance geo-literacy for upper secondary school students]. Master's thesis. Chulalongkorn University.
- Nganiem, W. & Eiamguaw, P. (2021) **phon kānchatkān riānrū bāp sūpsō hākhwām rūthī mī tō thaksa krabūānkān thāng witthayāsāt khōng nak riān namat yom suksā pī thī hā** [The effects of inquiry learning cycle on science process skills of mathayom suksa 5 students]. **Journal of graduate research**. 12(1), 55-67.
- Sharma, P. & Hannafin, M. (2007). Scaffolding in technology-enhanced learning environments. **Interactive Learning Environments**. 15(1), 27-46.
- Styawan, A. & Arty, I. (2021). **Inquiry-based learning and problem-based learning: which one has better effect on students critical thinking skills profile of thermochemistry**. Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series. The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2018). **phonkānpramoenPISASōngphansiphaWitthayāsātKāra'anlækhanitsāt** [PISA 2015 assessment results]. Retrieved from <http://www.ipst.ac.th>
- Wang, J., Guo, D. & Jou, M. (2015). A study on the effects of model-based inquiry pedagogy on students' inquiry skills in a virtual physics lab. **Computers in Human Behavior**. 49(1), 658–669.
- Zurweni, Wibawa, B. & Erwin, T. (2017). Development of collaborative-creative learning model using virtual laboratory media for instrumental analytical chemistry lectures. **Paper presented at the AIP Conference Proceedings**.