

การพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ร่วมกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนและเทคโนโลยีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

อรอุมา พันธุ์เกตุ

โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยรามคำแหง (ฝ่ายมัธยม) คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

Corresponding author: onuma.p@ru.ac.th

บทคัดย่อ

การพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์เป็นเป้าหมายสำคัญของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21 เนื่องจากเป็นพื้นฐานในการแก้ปัญหาและตัดสินใจอย่างมีเหตุผล งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ร่วมกับความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนและเทคโนโลยี (TPACK) และศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้ต่อทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียน กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 100 คน ที่ได้จากการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือวิจัย ประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง หน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต ระยะเวลา 6 สัปดาห์ และแบบทดสอบวัดทักษะการคิดวิเคราะห์ ชนิดปรนัย 30 ข้อ ครอบคลุมการจำแนก การจัดหมวดหมู่ การเชื่อมโยง การสรุปความ และการประยุกต์ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบที ผลการวิจัยพบว่า แผนการจัดการเรียนรู้มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ($E_1/E_2 = 75.36/77.96$) และทักษะการคิดวิเคราะห์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยการจำแนกมีพัฒนาการสูงที่สุด รองลงมา คือ การจัดหมวดหมู่ การเชื่อมโยง การประยุกต์ และการสรุปความ งานวิจัยชี้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ร่วมกับ TPACK มีประสิทธิภาพต่อการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : 1. ทักษะการคิดวิเคราะห์ 2. การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้
3. ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนและเทคโนโลยี

**Developing analytical thinking skills through an inquiry-based learning approach (5Es)
integrated with technological pedagogical content knowledge among seventh-grade students**

Onuma Phankhat

The Demonstration School of Ramkhamhaeng University, Faculty of Education,

Ramkhamhaeng University, Bangkok 10240, Thailand

Corresponding author: onuma.p@rumail.ru.ac.th

Abstract

Analytical thinking skills are a crucial goal of 21st-century science education, as they serve as a foundation for effective problem-solving and rational decision-making. This study aimed to develop an inquiry-based learning approach using the 5Es instructional model integrated with Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) and to examine its effects on seventh-grade students' analytical thinking skills. The sample consisted of 100 seventh-grade students enrolled in the 2023 academic year, selected through purposive sampling. The research instruments included a six-week instructional plan on the topic Basic Units of Life and a 30-item multiple-choice test designed to assess analytical thinking skills across five dimensions: classifying, specifying, matching, summarizing, and application. Data were analyzed using percentages, means, standard deviations, and t-tests. The findings revealed that the instructional plan achieved an efficiency level exceeding the predetermined criteria ($E_1/E_2 = 75.36/77.96$). Students' post-test scores in analytical thinking skills were significantly higher than their pre-test scores at the 0.05 level. Among the five dimensions, classifying showed the greatest improvement, followed by specifying, matching, application, and summarizing. The findings demonstrate that integrating the 5Es inquiry-based learning approach with TPACK is effective in enhancing analytical thinking skills and can be effectively applied to lower secondary science instruction.

Keywords: 1. Analytical thinking skills 2. Inquiry-based learning approach
3. Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)

บทนำ

ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนและเทคโนโลยี (Technological Pedagogical Content Knowledge: TPACK) เป็นความรู้ที่จำเป็นสำหรับผู้สอนในการผนวกเทคโนโลยีที่เหมาะสมและหลากหลายกับวิธีการสอนในเนื้อหาที่ตนเองสอน โดยมุ่งส่งเสริมการเรียนรู้และการสร้างองค์ความรู้ของผู้เรียนผ่านการใช้เทคโนโลยีที่สอดคล้องกับบริบทการเรียนการสอน ประกอบด้วย 1) ความรู้ด้านเนื้อหา (Content Knowledge: CK) เป็นความรู้ความเข้าใจในเนื้อหา 2) ความรู้ด้านวิธีการสอน (Pedagogical Knowledge: PK) เป็นความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการ และแนวปฏิบัติการสอน 3) ความรู้ด้านเทคโนโลยี (Technological Knowledge: TK) เป็นความรู้ความเข้าใจและความสามารถในการใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ 4) ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน (Pedagogical Content Knowledge: PCK) เป็นความรู้ความเข้าใจและความสามารถในการผนวกวิธีการสอนกับเนื้อหาที่สอน 5) ความรู้ในวิธีการสอนผนวกเทคโนโลยี (Technological Pedagogical Knowledge: TPK) เป็นความรู้ความเข้าใจและความสามารถในการใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสอน 6) ความรู้ในเนื้อหาผนวกเทคโนโลยี (Technological Content Knowledge: TCK) เป็นความรู้ความเข้าใจและความสามารถในการใช้เทคโนโลยีเพื่อจัดการเนื้อหาและแสวงหาความรู้ และ 7) ความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอนและเทคโนโลยี (TPACK) เป็นความรู้ความเข้าใจและความสามารถในการนำเทคโนโลยีด้านต่าง ๆ มาใช้สนับสนุนการจัดการเรียนรู้ในเนื้อหา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการเรียนรู้ ช่วยลดระยะเวลาการเรียนรู้ได้มากขึ้น

การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21 มุ่งเน้นพัฒนาผู้เรียนให้สามารถสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง คิดวิเคราะห์ แก้ปัญหา และประยุกต์ใช้ความรู้ในสถานการณ์ใหม่อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผู้สอนทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวก จัดบรรยากาศการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการทดลองและอภิปราย แนวทางนี้สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (inquiry-based learning) โดยเฉพาะรูปแบบ 5E Learning cycle ของ Bybee et al. (2006) ที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลางและพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นสร้างความสนใจ (engagement) กระตุ้นความสนใจของผู้เรียนโดยเชื่อมโยงประสบการณ์เดิมกับความรู้ใหม่เพื่อสร้างบริบทของปัญหา

ขั้นสำรวจและค้นหา (exploration) ผู้เรียนสำรวจ ทดลอง สืบค้นข้อมูล และรวบรวมหลักฐานเพื่อสร้างความเข้าใจเชิงลึก ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (explanation) ผู้เรียนอธิบายแนวคิดจากหลักฐานที่ค้นพบ และผู้สอนเสริมความถูกต้องทางวิชาการ ขั้นขยายความรู้ (elaboration) ผู้เรียนประยุกต์ใช้ความรู้กับสถานการณ์ใหม่เพื่อขยายความเข้าใจ และขั้นประเมินผล (evaluation) ประเมินความเข้าใจด้านมโนทัศน์ ทักษะกระบวนการ และเหตุผล พร้อมให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมประเมินตนเองและเพื่อน นักการศึกษาได้้นำการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) มาประยุกต์ร่วมกับสื่อและเทคโนโลยีการสอนหลากหลาย เพื่อพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ เช่น การใช้แผนผังมโนทัศน์ (Parneesong et al., 2017; Pakkullanan & Petsuk, 2024) สื่อสมัยใหม่ (Seedaeng et al., 2020) ผังกราฟิก (Wongsom & Pankaew, 2016; Uthaiwat et al., 2017; Taweeboot et al., 2018) และเทคนิคการตั้งคำถาม (Jadeerat et al., 2021; Phonyiam & Wongkamjan, 2023) เป็นต้น

การจัดการเรียนรู้ตามหลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2561 ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น มุ่งเน้นให้ผู้เรียนสร้างความรู้ผ่านกระบวนการคิดสืบเสาะ ค้นหา และปฏิบัติจริง โดยผู้สอนต้องออกแบบกิจกรรมที่ส่งเสริมการคิดเชิงเหตุผล การแก้ปัญหาเชิงระบบ และการใช้เทคโนโลยีอย่างเหมาะสม (The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology [IPST], 2018) แนวทางนี้สะท้อนเป้าหมายของหลักสูตรในการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ควบคู่กับทักษะการคิดระดับสูง โดยเฉพาะทักษะการคิดวิเคราะห์ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการอธิบายปรากฏการณ์ การพิจารณาข้อมูล และการใช้เหตุผลบนฐานของหลักฐาน (Ratniyom et al., 2021) Marzano (2001) กล่าวว่า ทักษะการคิดวิเคราะห์ คือ ความสามารถในการจำแนก แยกแยะ เปรียบเทียบ ตรวจสอบ และจัดระบบข้อมูล เพื่อนำไปสู่การค้นหาคำตอบสัมพันธ์เชิงเหตุผลและการตัดสินใจอย่างถูกต้อง การพัฒนาทักษะดังกล่าวจึงเป็นกลไกสำคัญที่ช่วยให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจเชิงลึกและคิดอย่างเป็นระบบ สอดคล้องกับแนวทางการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21 ที่เน้นการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองและการประยุกต์ใช้ความรู้ในสถานการณ์ใหม่อย่างมีประสิทธิภาพ

เนื้อหาเรื่อง หน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต เป็นหัวข้อสำคัญ

ในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น เนื่องจากเป็นพื้นฐานความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์ ชนิดของสิ่งมีชีวิต การจัดระบบของเซลล์ และกระบวนการลำเลียงสาร ซึ่งเชื่อมโยงไปสู่การเรียนรู้ชีววิทยาในระดับสูง เช่น ระบบร่างกายมนุษย์ พันธุศาสตร์ ความหลากหลายทางชีวภาพ และภูมิคุ้มกัน (Thiangchanthathip et al., 2016) อย่างไรก็ตาม เนื้อหาดังกล่าวเป็นความรู้เชิงนามธรรม ต้องอาศัยทักษะการสังเกต การวิเคราะห์หลักฐาน และการเชื่อมโยงโครงสร้างกับหน้าที่ของออร์แกเนลล์ หากผู้เรียนได้รับการถ่ายทอดความรู้โดยเน้นการบรรยาย ขาดประสบการณ์ตรงจากการสืบเสาะ การทดลอง หรือการใช้สื่อเทคโนโลยี อาจทำให้เกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับโครงสร้างและองค์ประกอบของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์ (Clément, 2007) การเรียนรู้เนื้อหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์หลายมิติ เช่น การจัดจำแนก การตีความข้อมูล การให้เหตุผลบนฐานของหลักฐาน และการวิเคราะห์ข้อสรุป ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของทักษะการคิดวิเคราะห์ตามกรอบ Marzano (2001) และสอดคล้องกับกรอบการประเมิน PISA ที่วัดความสามารถในการใช้หลักฐานทางวิทยาศาสตร์ เพื่ออธิบายปรากฏการณ์และประยุกต์ใช้ความรู้ในชีวิตจริง จากผลการประเมิน PISA ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่านักเรียนไทยมีทักษะการคิดวิเคราะห์ด้านวิทยาศาสตร์ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในกลุ่มประเทศ OECD โดยคะแนนเฉลี่ยวิทยาศาสตร์ในปี 2022 อยู่ที่ 409 คะแนน ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย OECD ที่ 485 คะแนน และลดลงจากปี 2018 ที่มีคะแนนเฉลี่ย 426 คะแนน (Thailand PISA National Centre, 2021) ข้อมูลดังกล่าวสะท้อนถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์และเหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนไทย

จากปัญหาดังกล่าว ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการพัฒนาการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ ดังนั้น การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) จึงเป็นแนวทางสำคัญที่ช่วยให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง ผ่านการตั้งคำถาม ตรวจสอบหลักฐาน อธิบายข้อสรุปด้วยเหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ และประเมินอย่างมีวิจารณญาณ ซึ่งสอดคล้องกับองค์ประกอบทักษะการคิดวิเคราะห์ตามกรอบ Marzano (2001) ในยุคดิจิทัล การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เน้นการผนวกเทคโนโลยีอย่างมีความหมายผ่านกรอบแนวคิด TPACK เพื่อให้ผู้สอนออกแบบสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับเนื้อหา พร้อมส่งเสริมการคิดวิเคราะห์โดยใช้

เครื่องมือเทคโนโลยีและกิจกรรมที่กระตุ้นการสืบเสาะ และ การใช้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ รวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ในเนื้อหาเชิงนามธรรม เช่น ห้องปฏิบัติการเสมือนจริง สำหรับเนื้อหาเคมี (Pellas et al., 2020; Shambare & Jita, 2024) แบบจำลองสถานการณ์สำหรับเนื้อหาฟิสิกส์ (Olimovna, 2023) และแบบจำลองคอมพิวเตอร์สามมิติ ในเนื้อหาชีววิทยา (Elangovan & Ismail, 2014; Adebayo et al., 2016)

แม้งานวิจัยด้าน TPACK จะเพิ่มขึ้น แต่ส่วนใหญ่เน้นการพัฒนาผู้สอนมากกว่าการออกแบบการเรียนรู้ที่ผนวกเทคโนโลยีกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้ในเนื้อหาวิทยาศาสตร์เชิงนามธรรม เช่น เรื่องหน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต ซึ่งยังขาดทั้งความลึกและความต่อเนื่องในบริบทโรงเรียนไทย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ผนวกการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ร่วมกับ TPACK เพื่อยกระดับทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้นอย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ร่วมกับ TPACK ที่ส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1
2. เพื่อศึกษาผลการใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ร่วมกับ TPACK ที่มีต่อทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1
 - 2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น
 - 2.2 เพื่อเปรียบเทียบทักษะการคิดวิเคราะห์ก่อนและหลังการใช้การจัดการเรียนรู้

การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องและกรอบแนวคิดการวิจัย

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (inquiry-based learning) เป็นรูปแบบการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง ส่งเสริมให้ผู้เรียนสร้างความรู้ด้วยตนเองผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ตั้งแต่การตั้งคำถาม การสืบค้นข้อมูล การทดลอง ไปจนถึงการสร้างข้อสรุปที่มีหลักฐานรองรับ (Bybee et al., 2006) รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5E instructional model) พัฒนา

มาจากหลักการเรียนรู้เชิงสืบเสาะหาความรู้ โดยเน้นให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในทุกขั้นตอน ช่วยให้ผู้เรียนเชื่อมโยงความรู้เดิมกับความรู้ใหม่ และพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ

การพัฒนาความรู้พื้นฐานของผู้สอนถือเป็นปัจจัยสำคัญต่อคุณภาพการจัดการเรียนรู้ โดยเฉพาะแนวคิดความรู้ในเนื้อหาผนวกวิธีการสอน (PCK) ของ Shulman (1986, 1987) ซึ่งเน้นการบูรณาการความรู้ด้านเนื้อหา (CK) และความรู้ด้านวิธีการสอน (PK) เพื่อให้ผู้สอนสามารถถ่ายทอดความรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แนวคิด PCK ได้รับการขยายให้ครอบคลุมองค์ประกอบด้านผู้เรียน หลักสูตรการประเมินผล

และบริบทการสอน อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีทำให้แนวคิด PCK เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอต่อการจัดการเรียนรู้ในยุคปัจจุบัน Mishra and Koehler (2006) จึงได้พัฒนาแนวคิด TPACK ด้วยการผนวกความรู้ด้านเทคโนโลยี (TK) เข้ากับ PCK เพื่อสนับสนุนการออกแบบการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับเนื้อหา วิธีสอน และสื่อเทคโนโลยีอย่างเหมาะสม กรอบแนวคิด TPACK ช่วยให้ผู้สอนเลือกและประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเพื่อส่งเสริมการสร้างองค์ความรู้ของผู้เรียนอย่างมีประสิทธิภาพ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การพัฒนาแนวคิด PCK สู่กรอบแนวคิด TPACK

นักการศึกษา	กรอบความรู้/แนวคิด	องค์ประกอบสำคัญ	สาระสำคัญ
Shulman (1986, 1987)	PCK	- ความรู้ด้านเนื้อหา (CK) - ความรู้ด้านวิธีการสอน (PK)	ผนวกเนื้อหาเกี่ยวกับวิธีสอนเพื่อให้ผู้เรียนสร้างและเชื่อมโยงความรู้ได้เอง
Geddis and Wood (1997)	PCK สำหรับครู	- วิธีการสอน - แนวคิดผู้เรียน - หลักสูตร - สื่อการเรียนรู้	เน้นการผสมผสานสื่อและวิธีการสอนเพื่อประสิทธิภาพการเรียนรู้
Mishra and Koehler (2006) Koehler and Mishra (2009)	TPACK	- ความรู้เนื้อหา (CK) - วิธีการสอน (PK) - ความรู้เทคโนโลยี (TK) - การผสมผสาน CK-PK-TK (TPACK)	ผนวกเทคโนโลยีเข้ากับ PCK เพื่อจัดการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับบริบทปัจจุบัน
Pierson (2001)	การผนวกเทคโนโลยีเข้ากับการสอน	- ICT สนับสนุน PCK	การเลือกใช้เทคโนโลยีต้องสอดคล้องกับเนื้อหาและวิธีการสอน
Voogt et al. (2013)	TPACK	- PCK + TK	TPACK เป็นความรู้พื้นฐานที่จำเป็นของผู้สอน

จากตารางที่ 1 เห็นได้ว่าความรู้พื้นฐานของผู้สอนมีการพัฒนาจากการผนวกเนื้อหาและวิธีการสอน (PCK) ไปสู่การผนวกเทคโนโลยีเข้ามาเสริมประสิทธิภาพการจัดการเรียนรู้ (TPACK) สะท้อนความจำเป็นของผู้สอนในการเลือกและประยุกต์ใช้เนื้อหา วิธีการสอน และเทคโนโลยีอย่างเหมาะสม

เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้และการสร้างองค์ความรู้ของผู้เรียนอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น กรอบแนวคิด TPACK ทำหน้าที่เป็นพื้นฐานสำคัญในการออกแบบกิจกรรมที่สอดคล้องกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ประกอบด้วย 7 องค์ประกอบ แสดงดังตารางที่ 2

ทักษะการคิดวิเคราะห์ (analytical thinking skills) เป็นความสามารถของผู้เรียนในการพิจารณา จำแนก เปรียบเทียบ และจัดกลุ่มข้อมูลอย่างเป็นระบบ แยกแยะองค์ประกอบของวัตถุ เรื่องราว หรือเหตุการณ์เพื่อระบุความสัมพันธ์เชิงเหตุผล ค้นหาสภาพความเป็นจริง และตรวจสอบข้อมูลเพื่อใช้ในการตัดสินใจอย่างถูกต้อง (Marzano, 2001) การพัฒนาทักษะดังกล่าวเกิดขึ้นจากการทำงานร่วมกัน

ของ 3 ระบบในการเรียนรู้ได้แก่ ระบบแห่งตน (self-system) ระบบบูรณาการ (metacognitive system) และระบบสติปัญญา (cognitive system) ซึ่งระบบสติปัญญาแบ่งย่อยเป็น 4 ชั้น ได้แก่ การรวบรวมข้อมูล การทำความเข้าใจ การวิเคราะห์ และการประยุกต์ใช้ความรู้ (Marzano, 2001) ประกอบด้วย 5 ด้าน แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 นิยามปฏิบัติการตามกรอบแนวคิด TPACK แยกรายด้าน 7 ด้าน

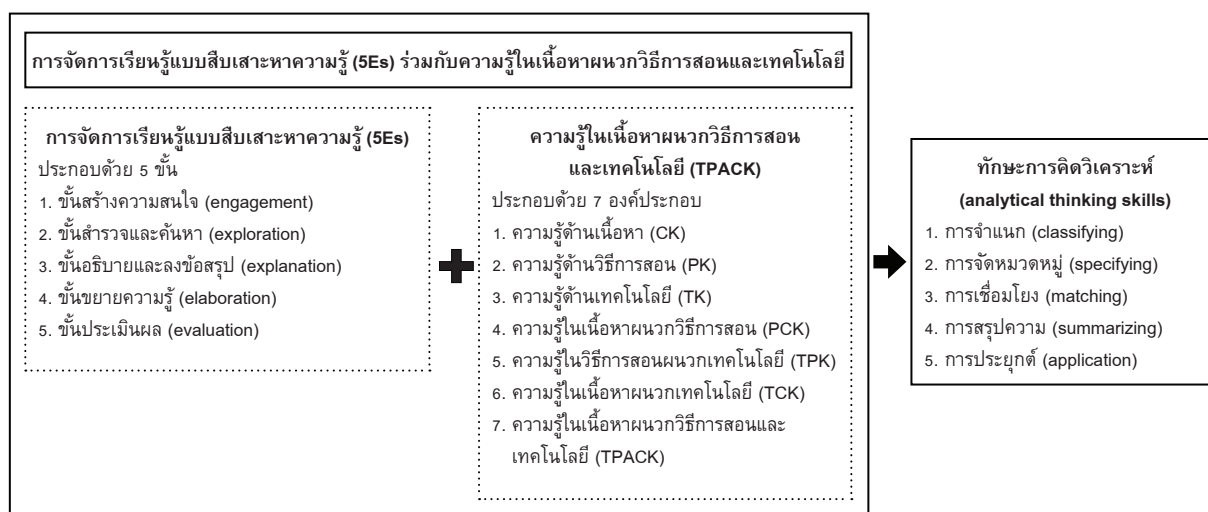
องค์ประกอบ	นิยามปฏิบัติการ
1. ด้าน TK	ความรู้ความเข้าใจ และความสามารถของผู้สอนเกี่ยวกับวิธีการใช้และประโยชน์ของเทคโนโลยีในการสนับสนุนการปฏิบัติงานสอนให้บรรลุผลตามจุดมุ่งหมายที่กำหนด
2. ด้าน CK	ความรู้ความเข้าใจของผู้สอนเกี่ยวกับเนื้อหาสาระวิทยาศาสตร์ที่สอน มโนทัศน์ที่สำคัญ หลักการ ทฤษฎี ข้อปฏิบัติ โครงสร้าง และกรอบความคิดของเนื้อหาและธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ และธรรมชาติของการสืบเสาะเพื่อให้ได้มาซึ่งองค์ความรู้ในเนื้อหาวิทยาศาสตร์ที่จะใช้ในการสอน การนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปเชื่อมโยงในชีวิตประจำวัน การรับรู้ความรู้ หรือข้อมูลข่าวสารใหม่ ๆ ทางวิทยาศาสตร์ การถามและตอบคำถาม และสามารถวาดรูปอธิบายเนื้อหาสาระวิทยาศาสตร์ได้
3. ด้าน PK	ความรู้ความเข้าใจ และความสามารถของผู้สอนเกี่ยวกับกระบวนการสอน วิธีการสอน และเทคนิคการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับธรรมชาติของผู้เรียน ระดับอายุ การจัดการชั้นเรียน การพัฒนาแผน การจัดการเรียนรู้ การวัดและประเมินผลให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้ การให้คำแนะนำ การสร้างแรงจูงใจ และการจัดประสบการณ์เสริมการเรียนรู้ให้ผู้เรียน
4. ด้าน PCK	ความรู้ความเข้าใจ และความสามารถของผู้สอนในการผนวกความรู้ในเนื้อหาวิทยาศาสตร์กับกระบวนการสอน วิธีการสอน เทคนิคการสอนอย่างเหมาะสม
5. ด้าน TPK	ความรู้ความเข้าใจ และความสามารถของผู้สอนในการผนวกความรู้ในวิธีการสอนกับความรู้ในเทคโนโลยีอย่างเหมาะสม และการใช้เทคโนโลยีที่หลากหลายเพื่อส่งเสริมการจัดการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
6. ด้าน TCK	ความรู้ความเข้าใจ และความสามารถของผู้สอนในการผนวกความรู้ในเนื้อหาวิทยาศาสตร์กับเทคโนโลยีอย่างเหมาะสม เป็นความรู้ในการใช้เทคโนโลยีสนับสนุนเนื้อหา ทำให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความเข้าใจในเนื้อหามากขึ้น และทักษะการใช้อุปกรณ์ หรือเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแบบต่าง ๆ และความสามารถในการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการศึกษา
7. ด้าน TPACK	ความรู้ความเข้าใจ และความสามารถของผู้สอนในการผนวกเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับวิธีการสอนในเนื้อหาวิทยาศาสตร์ มีการจัดการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ และสร้างองค์ความรู้ในเนื้อหาวิทยาศาสตร์ที่สอนด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม

ตารางที่ 3 นิยามปฏิบัติการของทักษะการคิดวิเคราะห์ตามองค์ประกอบรายด้าน 5 ด้าน

รายด้าน	นิยามปฏิบัติการ
การจำแนก	ความสามารถในการแยกแยะส่วนประกอบต่าง ๆ ทั้งเหตุการณ์ เรื่องราว สิ่งของ ออกเป็นส่วนย่อย ๆ ให้เข้าใจอย่างมีหลักเกณฑ์ และสามารถบอกรายละเอียดของสิ่งต่าง ๆ ได้
การจัดหมวดหมู่	ความสามารถในการจัดประเภท จัดลำดับ จัดกลุ่มของสิ่งที่มีลักษณะคล้ายคลึงเข้าด้วยกัน โดยยึดโครงสร้างลักษณะ หรือคุณสมบัติที่เป็นประเภทเดียวกัน
การเชื่อมโยง	ความสามารถในการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของข้อมูลต่าง ๆ
การสรุปความ	ความสามารถในการจับประเด็นและสรุปผลจากสิ่งที่กำหนดให้ได้
การประยุกต์	ความสามารถในการนำความรู้ หลักการ ทฤษฎีมาใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ สามารถคาดการณ์ พยากรณ์ การขยายความ และการคาดเดาส่ที่เกิดขึ้นในอนาคตได้

กรอบแนวคิดการวิจัยนี้มุ่งพัฒนาการจัดการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์เพื่อเสริมสร้างทักษะการคิดวิเคราะห์ของ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยผนวกการจัดการเรียนรู้ แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) เข้ากับกรอบแนวคิด TPACK ภายใต้พื้นฐานทฤษฎีสรคนิยม (constructivism) ทั้งในมิติ การสร้างความรู้เชิงความคิด (cognitive constructivism) และการสร้างความรู้เชิงสังคม-วัฒนธรรม (social constructivism) ซึ่งเน้นกระบวนการคิด การสะท้อนคิด และการเรียนรู้ ผ่านการลงมือปฏิบัติในบริบทจริง (situated cognition)

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ช่วยส่งเสริม การคิดวิเคราะห์ตามกรอบแนวคิดของ Marzano (2001) ที่ครอบคลุมการจำแนก การจัดหมวดหมู่ การเชื่อมโยง การสรุปความ และการประยุกต์ ขณะที่กรอบแนวคิด TPACK ชี้แนวทางการออกแบบกิจกรรมที่บูรณาการเทคโนโลยี เนื้อหา และวิธีการสอนอย่างเหมาะสม เพื่อให้ผู้เรียนเข้าถึงและ ประมวลผลข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งเสริมการสร้าง องค์ความรู้ใหม่และพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์อย่างเป็น ระบบ แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเบื้องต้น (pre-experimental research) ดำเนินการวิจัยตามแบบแผนการวิจัย One group pretest-posttest design โครงการวิจัยดำเนินการขอรับรองจริยธรรมการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์จากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ได้ใบรับรองจริยธรรมการวิจัยของข้อเสนอการวิจัย (expedited review) หมายเลขใบรับรอง RU-HRE 66/0125 หมายเลขอ้างอิงโครงการวิจัย อว 0601.24/1065 ผู้วิจัยดำเนินการวิจัย ดังนี้

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากร ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ของโรงเรียนสาธิตแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร ซึ่งอยู่ภายใต้สังกัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม จำนวน 303 คน (10 ห้องเรียน)

2. กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ของโรงเรียนสาธิตแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร จำนวน 100 คน (4 ห้องเรียน) ซึ่งคัดเลือกโดยการเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling) โดยมีคุณสมบัติเป็นนักเรียนที่กำลังศึกษาในรายวิชาวิทยาศาสตร์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 และไม่เคยได้รับการจัดการเรียนรู้ เรื่อง หน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ร่วมกับ TPACK มาก่อน กลุ่มตัวอย่างมีความหลากหลายด้านพื้นฐานความสามารถ ได้แก่ ระดับสูง ระดับปานกลาง และระดับต่ำ ทั้งนี้ นักเรียนทุกคนเข้าร่วมการวิจัยด้วยความสมัครใจและสามารถเข้าร่วมกิจกรรมได้เต็มเวลา โดยผู้วิจัยทำหน้าที่เป็นผู้สอนและดำเนินกิจกรรมทั้งหมดเพียงผู้เดียว เพื่อควบคุมความสม่ำเสมอของกระบวนการจัดการเรียนรู้ และลดความแปรปรวนที่อาจเกิดจากผู้สอนหลายคน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แผนการจัดการเรียนรู้รายวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง หน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต ใช้ระยะเวลา 6 สัปดาห์ รวม 18 ชั่วโมง ออกแบบตามการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ได้แก่ ขั้นสร้างความสนใจ ขั้นสำรวจและค้นหา ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป ขั้นขยายความรู้ และขั้นประเมินผล โดยบูรณาการกรอบแนวคิด TPACK ทั้ง 7 องค์ประกอบผ่านการตรวจสอบคุณภาพด้านความเที่ยงเชิงเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา จำนวน 7 คน (IOC อยู่ระหว่าง 0.85-1.00) และผ่านการประเมินประสิทธิภาพ

ตามเกณฑ์ E_1/E_2 กำหนดเกณฑ์ไม่ต่ำกว่า 75/75 โดยได้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 75.36/77.96

2. แบบทดสอบวัดทักษะการคิดวิเคราะห์ ชนิดปรนัย เลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ ประกอบด้วย 5 ด้าน ได้แก่ การจำแนก การจัดหมวดหมู่ การเชื่อมโยง การสรุปความ และการประยุกต์ มีคุณภาพของแบบทดสอบรายข้อ ได้แก่ ค่าความยาก (p) เท่ากับ 0.44-0.76 และค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.31-0.71 และมีค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ (KR-20) เท่ากับ 0.93

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ผู้วิจัยพัฒนาการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ร่วมกับ TPACK ที่ส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 เรื่อง หน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต ดังตารางที่ 4 จากนั้นนำไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 25 คน (กลุ่มทดลองใช้เครื่องมือ) เพื่อหาค่าประสิทธิภาพ E_1/E_2 กำหนดเกณฑ์ไม่ต่ำกว่า 75/75 กำหนดให้นักเรียนศึกษาเนื้อหาในแต่ละหน่วยการเรียนรู้ ทำใบงาน และแบบฝึกหัดระหว่างเรียนและแบบทดสอบระหว่างเรียน เพื่อหาประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1) หลังจากที่นักเรียนศึกษาเนื้อหาครบ ให้นักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียนเพื่อหาประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2)

2. ผู้วิจัยศึกษาผลการใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ร่วมกับ TPACK ที่ส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 นำไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 100 คน ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลก่อนและหลังเรียน โดยใช้แบบทดสอบวัดทักษะการคิดวิเคราะห์ และเก็บรวบรวมข้อมูลดังนี้

2.1 สภาพการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ร่วมกับ TPACK เพื่อพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

2.2 เปรียบเทียบทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ร่วมกับ TPACK

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ร่วมกับกรอบแนวคิด TPACK เรื่อง หน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยกำหนด

เกณฑ์ประสิทธิภาพมาตรฐานของแผนการจัดการเรียนรู้ (E_1/E_2) ไม่ต่ำกว่า 75/75 โดยการคำนวณค่าประสิทธิภาพ E_1 และ E_2 วิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติค่าเฉลี่ย และร้อยละ

2. วิเคราะห์ผลการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ร่วมกับ TPACK ที่ส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ดังนี้

2.1 วิเคราะห์สภาพการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ภายใต้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) บูรณาการกับกรอบแนวคิด TPACK เพื่อพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ ข้อมูลเชิงคุณภาพ ประกอบด้วย เอกสาร

การเรียนการสอน และชิ้นงานของผู้เรียน การสังเกตแบบมีส่วนร่วม และการสัมภาษณ์แบบไม่เป็นทางการ ตรวจสอบความน่าเชื่อถือโดยการตรวจสอบสามเส้าด้านข้อมูล (data triangulation) เพื่อยืนยันความถูกต้องความสมบูรณ์ และความสอดคล้องของข้อมูล ดังตารางที่ 5

2.2 เปรียบเทียบทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังเรียนโดยการวิเคราะห์คะแนนแบบทดสอบวัดทักษะการคิดวิเคราะห์ ชนิดปรนัย เลือกรับ 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ ด้วยการหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ร้อยละ และสถิติทดสอบที (t-test)

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ร่วมกับ TPACK บทบาทของผู้สอน และบทบาทของผู้เรียนในการส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ รายวิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน เรื่อง การแพร่

กิจกรรม 5Es	กิจกรรมตามแผนการจัดการเรียนรู้	การผนวกองค์ความรู้ TPACK	บทบาทของผู้สอน	บทบาทของผู้เรียน	การส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์
ขั้นสร้าง ความสนใจ (engagement)	ใช้ภาพดิจิทัล “การแพร่ของดอกอัญชันในน้ำ” และตั้งคำถามเพื่อกระตุ้นความสนใจให้ผู้เรียนคาดคะเนก่อนเรียน	TK + PK: ใช้สื่อภาพดิจิทัลสร้างบริบทการเรียนรู้ CK: เชื่อมโยงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการแพร่	ตั้งคำถามเชิงเหตุผล ใช้สื่อภาพเพื่อสร้างสถานการณ์ปัญหา	คาดคะเน สร้างสมมติฐาน เชื่อมโยงความรู้เดิมกับบริบท	ตั้งสมมติฐาน วิเคราะห์สถานการณ์ จากหลักฐานภาพ
ขั้นสำรวจและ ค้นหา (exploration)	ทำกิจกรรมปฏิบัติการเรื่อง “การเคลื่อนที่ของอนุภาคต่างทั่วมุม” ร่วมกับ AR (IPST Sci M1) และ PhET Simulation	TPK + TCK: ใช้ AR ช่วยให้เห็นโครงสร้างและแบบจำลองการแพร่ และใช้ PhET จำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาค	จัดอุปกรณ์ ชี้แนะ การทดลอง ตั้งคำถามเพื่อชี้แนะ	ลงมือทดลองใช้ AR และ PhET เพื่อสังเกตและเก็บข้อมูล	วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสังเกต เปรียบเทียบผลจริงกับแบบจำลองระบุเหตุผลจากหลักฐาน
ขั้นอธิบายและ ลงข้อสรุป (explanation)	อภิปรายผลการทดลองโดยใช้ AR, PhET และภาพจำลอง อธิบายความเข้มข้น อนุภาค และทิศทางการแพร่	TCK + PCK: ใช้เทคโนโลยีช่วยอธิบายแนวคิดนามธรรมเกี่ยวกับการแพร่	ช่วยสังเคราะห์ข้อมูล ใช้สื่อจำลองประกอบ การอธิบาย	รายงานผลการทดลอง อธิบายด้วยหลักฐาน นำเสนอข้อสรุปของกลุ่ม	อธิบายบนฐานหลักฐาน เชื่อมโยงเหตุผล เปรียบเทียบข้อมูลหลายแหล่ง
ขั้นขยาย ความรู้ (elaboration)	ใช้ PowerPoint และภาพเคลื่อนไหว เชื่อมโยงการแพร่กับสถานการณ์จริง เช่น การคายน้ำ การแพร่ของกลิ่น	TCK: ใช้เทคโนโลยีอธิบายสถานการณ์ ชับซ้อนที่ต้องใช้ภาพจำลอง	ตั้งคำถามเชื่อมโยงสู่ชีวิตจริง กระตุ้นการคิดประยุกต์	ยกตัวอย่าง สถานการณ์จริง สร้างคำอธิบายใหม่บนฐานความรู้เดิม	วิเคราะห์สถานการณ์ ชับซ้อน คิดเชิงประยุกต์

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ร่วมกับ TPACK บทบาทของผู้สอน และบทบาทของผู้เรียนในการส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ รายวิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน เรื่อง การแพร่ (ต่อ)

กิจกรรม 5Es	กิจกรรมตามแผน การจัดการเรียนรู้	การผนวก องค์ความรู้ TPACK	บทบาท ของผู้สอน	บทบาท ของผู้เรียน	การส่งเสริมทักษะ การคิดวิเคราะห์
ขั้นประเมินผล (evaluation)	ใช้เกม Kahoot ประเมินความเข้าใจ จำนวน 10 ข้อ และ ประเมินใบงานและการ อธิบายผลทดลอง	TPK: ใช้เกมออนไลน์ ประเมินผลแบบ มีปฏิสัมพันธ์	ตรวจประเมินความ เข้าใจและการให้ เหตุผล	ทำแบบทดสอบ สะท้อนผลการ เรียนรู้	ตรวจสอบความเข้าใจ ประเมินเหตุผลที่ใช้ ในการอธิบาย

ตารางที่ 5 การลงรหัสข้อมูลการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ร่วมกับ TPACK ที่มีต่อทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

องค์ประกอบ ของ TPACK	รายการประเมิน	ข้อมูลระหว่างเรียน หรือกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
1. ด้าน TK	- การใช้โปรแกรม Word-processor - การสื่อสารผ่านอินเทอร์เน็ต - การใช้โปรแกรมนำเสนองาน (เช่น MS-PowerPoint)	"ทำให้ผู้เรียนรู้จักการใช้เทคโนโลยีในปัจจุบันเพิ่มมากขึ้น รู้จักการใช้เทคโนโลยีให้เป็นประโยชน์ ใช้ค้นหาข้อมูลจาก อินเทอร์เน็ต ส่งผลดีต่อนักเรียน" (เดียร์นา และไบรท์ (นามสมมติ), วิเคราะห์เอกสาร, การสังเกตและการสัมภาษณ์)
2. ด้าน CK	- มีการตั้งคำถาม มีทักษะกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์ ตั้งสมมติฐาน ทำทดลอง และลงข้อสรุปได้	"ได้เรียนรู้การใช้งานกล้องจุลทรรศน์ ข้อควรระวัง และ วิธีการเก็บรักษา เพื่อนำไปใช้ต่อไป" (ดาว (นามสมมติ), วิเคราะห์เอกสาร, การสังเกตและการสัมภาษณ์)
3. ด้าน PK	- การใช้วิธีการเรียนรู้ในห้องเรียน ที่หลากหลายเหมาะสมกับผู้เรียน	"ทำให้มองเห็นรูปภาพที่ชัดเจน ง่าย สนุก ทำให้เวลา ในการเรียนรู้มันให้ Active เกิดขึ้น" (ชนมบึง (นามสมมติ), วิเคราะห์เอกสาร, การสังเกตและการสัมภาษณ์)
4. ด้าน PCK	- การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นให้ผู้เรียน ได้ลงมือปฏิบัติ หรือแก้ไขปัญหาเพื่อเข้าใจ ในเนื้อหาวิทยาศาสตร์	"มีการทดลองสนุก ๆ มีการตอบคำถาม ทำให้การสอนแต่ละ หน่วยเข้าใจง่ายขึ้น" (ภัทร และเมฆ (นามสมมติ), วิเคราะห์ เอกสาร, การสังเกตและการสัมภาษณ์)
5. ด้าน TPK	- การเลือกเทคโนโลยีที่ช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ ของผู้เรียนได้เหมาะสม	"จัดให้มีกิจกรรมกลุ่ม ค้นหาข้อมูล และมานำเสนอ ได้ใช้ App ที่ทำให้เห็นการเรียงตัวของสาร ทำให้เข้าใจง่ายขึ้น" (รดา และฟ้าใส (นามสมมติ), วิเคราะห์เอกสาร, การสังเกต และการสัมภาษณ์)
6. ด้าน TCK	- การเลือกรูปภาพ วิดีโอ สื่อแอนิเมชันแบบ จำลองคอมพิวเตอร์ที่สอดคล้องกับเนื้อหา วิทยาศาสตร์ที่สอน	"มีการใช้เทคโนโลยีเป็นสื่อการสอน เรียนแล้วเข้าใจเพราะ สื่อในการเรียนดี อาจารย์มีทั้งสื่อการสอนที่น่าสนใจ และ ทดลองที่หลากหลายเกี่ยวกับเนื้อหา" (ปรีชา, ดวงดาว และ ชูใจ (นามสมมติ), วิเคราะห์เอกสารและการสัมภาษณ์)

ตารางที่ 5 การลงรหัสข้อมูลการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ร่วมกับ TPACK ที่มีต่อทักษะการคิดวิเคราะห์
ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 (ต่อ)

องค์ประกอบ ของ TPACK	รายการประเมิน	ข้อมูลระหว่างเรียน หรือกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
7. ด้าน TPACK	- การเลือกใช้วิธีการสอนและสื่อเทคโนโลยี ที่เหมาะสมกับเนื้อหาวิทยาศาสตร์ในแต่ละ หัวข้อเพื่อช่วยให้เรียนรู้ได้ง่ายขึ้น	“ทำให้เข้าใจง่ายขึ้น เช่น กิจกรรมเรื่องเซลล์ ในการวาดรูป ระบายสี และใช้โทรศัพท์สแกน AR ทำให้เห็นภาพหรือ โครงสร้างได้ชัดเจนมากขึ้น ตอนใช้โปรแกรมมาช่วยทำให้ ดึงดูดความน่าสนใจ เกิดการเรียนรู้ เสริมสร้างพัฒนาการ จินตนาการด้วย” (เมอแตม, ออมสิน และรักเกย (นามสมมติ) วิเคราะห์เอกสารและการสัมภาษณ์)

ผลการวิจัย

1. การพัฒนาการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ร่วมกับ TPACK ที่ส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์
ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ได้รับข้อเสนอแนะจาก
ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา ในประเด็นการนำเสนอ
ผลงานหลังจากที่แต่ละกลุ่มทำกิจกรรมเสร็จแล้ว ถ้าสามารถ
นำผลงานของการทำกิจกรรมของแต่ละกลุ่มมาแสดงในรูปแบบ
กระดานดิจิทัลในแอปพลิเคชันต่าง ๆ เช่น Padlet จะทำให้
ผู้เรียนแต่ละกลุ่มสามารถเข้าไปศึกษา และเปรียบเทียบผลงาน
ของตนเองกับกลุ่มอื่น ซึ่งจะก่อให้เกิดการพัฒนาผลงานของ
ตนเองให้ดียิ่งขึ้น และเป็นการทบทวนความรู้ของตนเอง
อีกด้วย (อาจารย์ผู้สอนรายวิชาวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษา,
ความคิดเห็น)

ผู้วิจัยเห็นด้วยกับข้อเสนอแนะดังกล่าว เนื่องจากการนำ
แอปพลิเคชัน Padlet มาใช้ในกิจกรรมการเรียนรู้ช่วยให้
ผู้เรียนสามารถสะท้อนและปรับปรุงผลงานของตนเองอย่าง
เป็นระบบ สนับสนุนการทบทวนความรู้ และส่งเสริมกระบวนการ
คิดวิเคราะห์อย่างเป็นขั้นตอน ทั้งนี้ กระดานโน้ตดิจิทัลยังเป็น
เครื่องมือที่เอื้อต่อการระดมความคิดเห็น การแลกเปลี่ยน

ความรู้ และการแลกเปลี่ยนเอกสารในห้องเรียนได้พร้อมกัน
อย่างมีประสิทธิภาพ

2. การศึกษาผลการใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ
หาความรู้ (5Es) ร่วมกับ TPACK ที่มีต่อทักษะการคิด
วิเคราะห์ของผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ดังนี้

2.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของการจัดการเรียนรู้
ที่พัฒนาขึ้น การประเมินคุณภาพและประสิทธิภาพของ
แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ร่วมกับ
กรอบแนวคิด TPACK พบว่า แผนการจัดการเรียนรู้มีความ
เที่ยงเชิงเนื้อหาสูง จากการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน
7 คน (IOC อยู่ในช่วง 0.85-1.00) แสดงให้เห็นว่ากิจกรรม
และเนื้อหาของแผนการเรียนรู้มีความเหมาะสม และสอดคล้อง
กับวัตถุประสงค์ การเรียนรู้ การประเมินค่าประสิทธิภาพของ
การจัดการเรียนรู้ตามเกณฑ์ (E_1/E_2) ซึ่งกำหนดไว้ไม่ต่ำกว่า
75/75 พบว่า มีค่าประสิทธิภาพด้านกระบวนการ (E_1)
เท่ากับ 75.36 และด้านผลลัพธ์ (E_2) เท่ากับ 77.96 ซึ่งสูงกว่า
เกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้ สะท้อนให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้
ที่พัฒนาขึ้นสามารถส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ของ
นักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การหาประสิทธิภาพการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ร่วมกับ TPACK ที่ส่งเสริมทักษะการคิด
วิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

ประสิทธิภาพ	คะแนนเต็ม	M	ค่าเฉลี่ยร้อยละ	ประสิทธิภาพ (E_1/E_2)
ก่อนเรียน	45	32.04		
ระหว่างเรียน ครั้งที่ 1	10	8.16	75.36	75.36/77.96
ระหว่างเรียน ครั้งที่ 2	10	8.08		
ระหว่างเรียน ครั้งที่ 3	10	8.24		
หลังเรียน	45	35.08	77.96	

จากตารางที่ 6 พบว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ร่วมกับ TPACK มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนอย่างเป็นระบบ ทั้งในด้านกระบวนการเรียนรู้และผลลัพธ์หลังเรียน

2.2 ผลการเปรียบเทียบทักษะการคิดวิเคราะห์ก่อนและหลังการใช้การจัดการเรียนรู้ พบว่าทักษะการคิดวิเคราะห์ก่อนและหลังเรียนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ

0.05 (ก่อนเรียน $M = 11.02$, $S.D. = 4.257$ หลังเรียน $M = 23.53$, $S.D. = 3.875$) ดังตารางที่ 7

การเปรียบเทียบทักษะการคิดวิเคราะห์ตามองค์ประกอบรายด้านทั้ง 5 ด้าน พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนอยู่ในช่วง 2.04-2.27 คะแนน และมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนอยู่ในช่วง 4.37-5.22 คะแนน จากคะแนนเต็ม 6 คะแนน ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบทักษะการคิดวิเคราะห์ก่อนและหลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ร่วมกับ TPACK ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

การทดสอบ	N	คะแนนเต็ม	M	S.D.	t	sig
ก่อนเรียน	100	30	11.02	4.257	25.870 [*]	0.000
หลังเรียน	100	30	23.53	3.875		

^{*}นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบทักษะการคิดวิเคราะห์รายด้าน 5 ด้าน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

ทักษะการคิดวิเคราะห์	คะแนนเต็ม	ก่อนเรียน		หลังเรียน		t	sig
		M	S.D.	M	S.D.		
การจำแนก	6	2.26	1.390	5.22	1.050	18.633 [*]	0.000
การจัดหมวดหมู่	6	2.04	1.180	4.74	1.050	16.957 [*]	0.000
การเชื่อมโยง	6	2.25	1.282	4.60	1.101	15.597 [*]	0.000
การสรุปความ	6	2.04	1.197	4.37	1.220	13.952 [*]	0.000
การประยุกต์	6	2.27	1.340	4.49	0.969	16.146 [*]	0.000

^{*}นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 8 พบว่า ผลการเปรียบเทียบทักษะการคิดวิเคราะห์ตามองค์ประกอบรายด้านทั้ง 5 ด้าน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยการประยุกต์มีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนสูงเป็นอันดับหนึ่ง รองลงมา ได้แก่ การจำแนก การเชื่อมโยง การจัดหมวดหมู่ และการสรุปความ ตามลำดับ โดยการจำแนกมีคะแนนหลังเรียนเฉลี่ยสูงเป็นลำดับที่หนึ่ง รองลงมา ได้แก่ การจัดหมวดหมู่ การเชื่อมโยง การประยุกต์ และการสรุปความ ตามลำดับ

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ภายใต้กรอบแนวคิด TPACK

มีประสิทธิภาพผลสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดอย่างชัดเจน ($E_1/E_2 = 75.36/77.96$) ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่ารูปแบบการจัดกิจกรรมที่ประสานระหว่างกระบวนการสืบเสาะหาความรู้และการใช้เทคโนโลยีอย่างมีความหมายช่วยพัฒนาทั้งความเข้าใจเนื้อหาและทักษะการคิดวิเคราะห์ของผู้เรียน โดยเฉพาะความสามารถในการใช้ข้อมูลเชิงประจักษ์ และการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Bybee et al. (2006) และ Bybee (2015) ที่ชี้ว่าการดำเนินกิจกรรมตามลำดับขั้นของ 5Es ช่วยเสริมสร้างการมีส่วนร่วมของผู้เรียนตั้งแต่การตั้งคำถาม การสำรวจ การตรวจสอบ และการทดลอง ไปจนถึงการสังเคราะห์และการประยุกต์ใช้ความรู้ ซึ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดการเรียนรู้เชิงลึกมากกว่าวิธีสอนแบบบรรยาย

บทบาทของกรอบแนวคิด TPACK ในงานวิจัยนี้มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากช่วยให้ผู้สอนสามารถคัดเลือกและใช้เทคโนโลยีที่สอดคล้องกับลักษณะของเนื้อหาและกลยุทธ์การสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การใช้ภาพดิจิทัลเพื่อสร้างสถานการณ์ปัญหาในชั้นสร้างความสนใจ การใช้แบบจำลองเสมือนจริง (AR) และ PhET Simulation เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เป็นนามธรรมในชั้นสำรวจและค้นหาการใช้สื่อแบบจำลองและภาพเคลื่อนไหวเพื่อทำความเข้าใจแนวคิดที่ซับซ้อนในชั้นอธิบายและลงข้อสรุป การใช้ภาพเคลื่อนไหวและสื่อดิจิทัลช่วยให้ผู้เรียนประยุกต์ใช้ความรู้กับสถานการณ์จริงในชั้นขยายความรู้ และการใช้เกม Kahoot ช่วยให้ผู้เรียนสะท้อนคิด ตรวจสอบความเข้าใจ และให้เหตุผลประกอบคำตอบได้อย่างชัดเจนในชั้นประเมินผล การประสานองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยี วิธีการสอน และเนื้อหาอย่างมีระบบนี้ ช่วยสนับสนุนให้ผู้เรียนเกิดการตีความ วิเคราะห์ และสร้างความเชื่อมโยงได้อย่างลึกซึ้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Koehler and Mishra (2009), Chai et al. (2010), Lin et al. (2013), และ Cetin-Dindar et al. (2018) ที่กล่าวว่าผู้สอนที่มีความรู้ด้าน TPACK สามารถออกแบบกิจกรรมที่ส่งเสริมการคิดขั้นสูงและการให้เหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ได้ดียิ่งขึ้น

ผลการประเมินทักษะการคิดวิเคราะห์ พบว่า นักเรียนมีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญ โดยการจำแนกมีคะแนนหลังเรียนสูงเป็นลำดับหนึ่ง รองลงมา ได้แก่ การจัดหมวดหมู่ การเชื่อมโยง การประยุกต์ และการสรุปความตามลำดับ ซึ่งเป็นผลจากกิจกรรมการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนสังเกต ทดลอง วิเคราะห์ และอภิปรายผลจากข้อมูลที่หลากหลาย การพัฒนาเชิงทักษะดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ อรุมา พันธุ์เกตุ (Phankhat, 2018), พิชญ์สินี เจตย์รัตน์ และคณะ (Jadeerat et al., 2021), สุวิชาดา ปักกุลนันท์ และผดุง เพชรสุข (Pakkullanan & Petsuk, 2024), และพัชรา พลเยี่ยม และจิตราภรณ์ วงศ์คำจันทร์ (Phonyiam & Wongkamjan, 2023) กล่าวว่าจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) สามารถส่งเสริมการคิดวิเคราะห์ของผู้เรียนในหลายระดับชั้นและหลากหลายเนื้อหาวิทยาศาสตร์

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสำหรับการประเมินระหว่างเรียน (formative assessment) เช่น เกม Kahoot สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการประเมินผลแบบต่อเนื่อง ช่วยให้ผู้เรียน

ได้รับข้อมูลย้อนกลับทันที และช่วยให้ผู้สอนตรวจสอบความเข้าใจและแก้ไขความเข้าใจคลาดเคลื่อนของผู้เรียนได้อย่างทันท่วงที สอดคล้องกับงานวิจัยของ เจษฎา ราชวรนิยม และคณะ (Ratniyom et al., 2021), Sabandar et al. (2018), และ Wang and Tahir (2020) ที่พบว่าเครื่องมือประเมินออนไลน์ช่วยเพิ่มแรงจูงใจและคุณภาพของการประเมินระหว่างเรียนอย่างมีนัยสำคัญ

ในส่วนของเนื้อหา เรื่อง หน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีความเป็นนามธรรมสูง การใช้สื่อภาพ แบบจำลอง และสื่อจำลองดิจิทัล ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจภาพรวมของโครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์ได้ชัดเจนขึ้น ลดความคลาดเคลื่อนทางมโนทัศน์ และส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถมองความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่าง ๆ ได้เป็นระบบ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Clément (2007) และขวัญฤทัย เทียงจันทราทิพย์ และคณะ (Thiangchanthathip et al., 2016) ที่พบว่าการใช้แบบจำลองและสื่อภาพสามารถเพิ่มความเข้าใจเชิงลึกในเนื้อหาชีววิทยาที่มีลักษณะซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สรุปได้ว่า การผนวกการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) เข้ากับกรอบ TPACK สามารถพัฒนาผู้เรียนทั้งด้านผลสัมฤทธิ์ ความเข้าใจเชิงลึก และทักษะการคิดวิเคราะห์อย่างเป็นรูปธรรม อีกทั้งยังสอดคล้องกับแนวคิดของ Archambault and Barnett (2010) ที่เน้นว่าการจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ต้องผสมผสานเทคโนโลยีเข้ากับเนื้อหาและวิธีสอนอย่างเหมาะสมเพื่อพัฒนาสมรรถนะสำคัญด้านวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ร่วมกับ TPACK สามารถพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น สถานศึกษาและผู้สอนสามารถนำแนวทางนี้ไปประยุกต์ใช้ในบริบทการเรียนการสอนจริงดังนี้

1. การใช้กรอบ TPACK เป็นกรอบแนวคิดในการออกแบบการจัดการเรียนรู้ โดยผู้สอนควรกำหนดกิจกรรม วิธีสอนและเทคโนโลยีให้สอดคล้องกับโครงสร้างของเนื้อหา และผลลัพธ์การเรียนรู้ โดยเฉพาะเนื้อหาวิทยาศาสตร์ที่มีลักษณะนามธรรมสูง ซึ่งจำเป็นต้องใช้สื่อและเทคโนโลยีช่วยอธิบายเพื่อให้ผู้เรียนเข้าถึงแนวคิดสำคัญได้อย่างเป็นระบบ

2. การนำการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es) ไปประยุกต์ใช้กับเนื้อหาวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อน โดยการออกแบบกิจกรรมควรเปิดโอกาสให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในทุกขั้น ตั้งแต่การตั้งคำถาม ทดลอง วิเคราะห์ข้อมูล ไปจนถึงการสร้างข้อสรุป เพื่อพัฒนาเหตุผลเชิงประจักษ์ การคิดเป็นลำดับขั้น และทักษะการสังเคราะห์ ซึ่งเป็นหัวใจของการคิดวิเคราะห์เชิงวิทยาศาสตร์

3. การผนวกเทคโนโลยีเพื่อเสริมความเข้าใจและลดความคลาดเคลื่อนทางมโนทัศน์ โดยการใช้สื่อดิจิทัลแบบจำลองเสมือนจริง (AR) และโปรแกรมจำลองการทดลองสามารถช่วยทำให้แนวคิดที่มองเห็นได้ยากเป็นรูปธรรมมากขึ้น ส่งผลให้ผู้เรียนตรวจสอบข้อมูลได้จากหลักฐานที่หลากหลาย และเกิดความเข้าใจเชิงลึกยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

ควรขยายกรอบการศึกษาให้ครอบคลุมกลุ่มผู้เรียนที่มีความหลากหลายมากขึ้น ทั้งในด้านระดับชั้น สถานศึกษา และบริบททางสังคม และภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกัน เพื่อประเมินความเสถียรและความคงทนของประสิทธิผลของรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (5Es) ร่วมกับ TPACK ในสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่หลากหลาย นอกจากนี้ ควรเพิ่มเติมการศึกษาทักษะด้านอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น ความคิดสร้างสรรค์ การแก้ปัญหา การสื่อสารทางวิทยาศาสตร์ และ การใช้เหตุผลเชิงหลักฐาน เพื่อให้ได้องค์ความรู้ที่ครอบคลุมยิ่งขึ้นเกี่ยวกับผลกระทบของรูปแบบการจัดการเรียนรู้นี้ ต่อพัฒนาการทางสติปัญญาในมิติต่าง ๆ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยรามคำแหง ในการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณรายจ่าย จากรายได้มหาวิทยาลัยรามคำแหง ประเภทมหาวิทยาลัย งบประมาณประจำปี 2566

References

Adebayo, A. O., Olalekan, A. A., & Oladele, O. A. (2016). Effects of computer simulation on academic achievement and retention of students in biology. *International Journal of Educational Technology*, 3(1), 22–30.

Archambault, L. M., & Barnett, J. H. (2010). Revisiting technological pedagogical content knowledge: Exploring the TPACK framework. *Computers & Education*, 55(4), 1656–1662. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.07.009>

Bybee, R. W. (2015). *The BSCS 5E instructional model: Creating teachable moments*. NSTA Press.

Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Van Scotter, P., Powell, J. C., Westbrook, A., & Landes, N. (2006). *The BSCS 5E instructional model: Origins, effectiveness, and applications*. Biological Sciences Curriculum Study (BSCS).

Cetin-Dindar, A., Boz, Y., Sonmez, D. Y., & Celep, N. D. (2018). Development of pre-service chemistry teachers' technological pedagogical content knowledge. *Chemistry Education Research and Practice*, 19(1), 167–183. <https://doi.org/10.1039/C7RP00175D>

Chai, C. S., Koh, J. H. L., & Tsai, C.-C. (2010). Facilitating preservice teachers' development of technological, pedagogical, and content knowledge (TPACK). *Educational Technology & Society*, 13(4), 63–73.

Clément, P. (2007). Introducing the cell concept with both animal and plant cells: A historical and didactic approach. *Science & Education*, 16(3–5), 423–440. <https://doi.org/10.1007/s11191-006-9029-7>

Elangovan, T., & Ismail, Z. (2014). The effects of 3D computer simulation on biology students' achievement and memory retention. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 15(2), Article 10.

Geddis, A. N., & Wood, E. (1997). Transforming subject matter and managing dilemmas: A case study in teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 13(6), 611–626.

Jadeerat, P., Prasitpong, S., & Vanichanon, A. (2021). The development of analytical thinking skill of 10th grade students by using inquiry approach with

- questioning techniques (การพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับเทคนิคการใช้คำถาม). **Journal of Education, Prince of Songkla University, Pattani Campus**, 32(1), 61–75.
- Koehler, M. J., & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge? **Contemporary Issues in Technology and Teacher Education**, 9(1), 60–70.
- Lin, T.-C., Tsai, C.-C., Chai, C. S., & Lee, M.-H. (2013). Identifying science teachers' perceptions of technological pedagogical and content knowledge (TPACK). **Journal of Science Education and Technology**, 22(3), 325–336. <https://doi.org/10.1007/s10956-012-9396-6>
- Marzano, R. J. (2001). **Designing a new taxonomy of educational objectives**. Corwin Press.
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. **Teachers College Record**, 108(6), 1017–1054.
- Olimovna, M. G. (2023). The role of digital educational technologies in teaching physics. **International Scientific Journal Science and Innovation**, 2(4), 211–216. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7824362>
- Pakkullanan, S., & Petsuk, P. (2024). The learning achievement and analytical thinking ability using 5E inquiry-based learning with mind mapping technique activities on science and technology for Prathomsuksa 5 students (ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการคิดวิเคราะห์ โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ร่วมกับแผนผังความคิดวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5). **Journal for Social Sciences Research**, 15(2), 73–89.
- Parneesong, U., Naunkaew, J., & Liamtong, S. (2017). Learning management using inquiry method (5E) with concept mapping technique on life and environment towards analytical thinking ability and achievement for grade 10 students (การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (5E) เสริมด้วยเทคนิคการจัดแผนผังมโนทัศน์ เรื่อง ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม ที่มีผลต่อความสามารถในการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4). **Humanities and Social Sciences Journal of Graduate School, Pibulsongkram Rajabhat University**, 11(1), 134–147.
- Pellas, N., Dengel, A., & Christopoulos, A. (2020). A scoping review of immersive virtual reality in STEM education. **IEEE Transactions on Learning Technologies**, 13(4), 748–761.
- Phankhat, O. (2018). A study of academic achievement in science and analytical thinking skills of seventh grade students taught by the inquiry instructional method (การศึกษาค้นคว้าผลการเรียนวิทยาศาสตร์และทักษะการคิด วิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยวิธีสอนแบบสืบเสาะหาความรู้). **Journal of Education, Mahasarakham University**, 12(3), 232–247.
- Phonyiam, P., & Wongkamjan, J. (2023). Development of the 5E of inquiry-based learning combined with high level questions technique to promote analytical thinking abilities of grade 7 students (การพัฒนาการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5E) ร่วมกับเทคนิคการใช้คำถามระดับสูงเพื่อส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1). **Rajabhat Maha Sarakham University Journal**, 17(2), 281–291.
- Pierson, M. E. (2001). Technology integration practice as a function of pedagogical expertise. **Journal of Research on Computing in Education**, 33(4), 413–430. <https://doi.org/10.1080/08886504.2001.10782325>
- Ratniyom, J., Jongpungklang, K., Sudsin, M., Chuchuo, K., Tientongdee, S., & Lee, A. (2021). The effect of using Kahoot as a formative assessment tool in 4Ex2 learning management on learning achievement and analytical thinking ability (ผลของการใช้ Kahoot เป็นเครื่องมือช่วยวัดประเมินผลระหว่างเรียนในการจัดการเรียนรู้แบบ 4Ex2 ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

- และความสามารถในการคิดวิเคราะห์). **Journal of Science and Science Education**, 4(2), 264–278.
- Sabandar, G. N. C., Supit, N. R., & Suryana, H. T. E. (2018). Kahoot!: Bring the fun into the classroom! **Indonesian Journal of Informatics Education**, 2(2), 127–134.
- Seedaeng, K., Jansawang, N., & Passago, S. (2020). Using the mixed instruction between the 5Es inquiry approach and the modern instructional media for enhancing students' analytical thinking and their learning achievements on cell and cell function issue (การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ร่วมกับการสอนสมัยใหม่เพื่อพัฒนาการคิดวิเคราะห์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง เซลล์และการทำงานของเซลล์). **Rajabhat Maha Sarakham University Journal**, 14(1), 59–68.
- Shambare, B., & Jita, T. (2024). TPACK: A descriptive study of science teachers' integration of the virtual laboratory in rural school teaching. **Cogent Education**, 11(1), Article 2365110. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2365110>
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. **Educational Researcher**, 15(2), 4–14. <https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. **Harvard Educational Review**, 57(1), 1–23.
- Taweboot, C., Pansuppawat, A., & Wongchalee, P. (2018). Development of critical thinking ability using inquiry method and graphic organizers entitled “Photosynthesis” for Mathayom Suksa 5 students (การพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับผังกราฟิก เรื่อง การสังเคราะห์ด้วยแสง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5). **Journal of Curriculum and Instruction Sakon Nakhon Rajabhat University**, 10(27), 99–108.
- Thailand PISA National Centre, The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST). (2021). **PISA 2018 Assessment results: Reading, mathematics, and science (ผลการประเมิน PISA 2018 การอ่าน คณิตศาสตร์ และวิทยาศาสตร์)**. The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST).
- The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST). (2018). **Guidebook for implementing the core science curriculum: Basic science subject group (revised edition 2017) under the basic education core curriculum B.E. 2551 for lower secondary level** (คู่มือการใช้หลักสูตรรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น). The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST), Ministry of Education. <https://www.scimath.org/ebook-science/item/8923-2018-10-01-01-59-16>
- Thiangchanthathip, K., Khumwong, P., Kanyaprasith, K., & Chamrat, S. (2016). High school students' conceptions in the topic of cell and cell division (มโนทัศน์เรื่องเซลล์และการแบ่งเซลล์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย). **Journal of Education**, 27(3), 95–110.
- Uthaiwat, K., Pansuppawat, A., & Pansuppawat, T. (2017). Development of analytical thinking by using inquiry cycle (5Es) and graphic organizer on the topic of ecosystem for Mathayomsuksa 3 in the learning area of science (การพัฒนาการคิดวิเคราะห์โดยใช้การสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5Es ร่วมกับผังกราฟิก เรื่องระบบนิเวศ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์). **Journal of Curriculum and Instruction, Sakon Nakhon Rajabhat University**, 9(25), 53–62.
- Voogt, J., Fisser, P., Roblin, N. P., Tondeur, J., & van Braak, J. (2013). Technological pedagogical content knowledge — a review of the literature. **Journal of Computer Assisted Learning**, 29(2), 109–121. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2012.00487.x>
- Wang, A. I., & Tahir, R. (2020). The effect of using Kahoot! for learning — a literature review.

Computers & Education, 149, Article 103818.

<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103818>

Wongsom, J., & Pankaew, P. (2016). Science learning management through inquiry method with graphic organizers to develop analytical thinking ability of

Prathom Suksa 6 students (การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบสืบเสาะหาความรู้ที่เสริมด้วยการใช้ผังกราฟิกเพื่อพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6). **Journal of Graduate Research**, 7(2), 47–59.