

การพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ผ่านกลไกการเรียนรู้ในชั้นเรียน สำหรับนักเรียน
แผนการเรียนไม่เน้นวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์

Learning Mechanisms for Developing Scientific Explanation Skills among Students in
the Non-Science and Mathematics Program

ศราวุธ รัมศรี^{1*}

Sarawut Ramsri^{1*}

Received: November 19, 2025; Revised: April 07, 2026; Accepted: April 21, 2026

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 แผนการเรียนไม่เน้นวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ผ่านการบูรณาการจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบหาความรู้ 5 ขั้นตอน (5E) ร่วมกับกรอบการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Claim-Evidence-Reasoning: CER) ภายใต้กระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน โดยมุ่งศึกษาทั้งผลลัพธ์การพัฒนาและกลไกการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นจริงในบริบทห้องเรียน กลุ่มเป้าหมายเป็นนักเรียนจำนวน 32 คน ของโรงเรียนขยายโอกาสแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร เครื่องมือวิจัยประกอบด้วยแผนการจัดการเรียนรู้แบบประเมินทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และบันทึกการสังเกตพฤติกรรม วิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณด้วยสถิติเชิงพรรณนา และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพด้วยการวิเคราะห์เนื้อหาแบบอุปนัย พร้อมตรวจสอบความน่าเชื่อถือด้วยการตรวจสอบสามเส้าด้านข้อมูล ผลการวิจัยพบว่า ทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในแต่ละวงจรปฏิบัติการ โดยค่าเฉลี่ยคะแนนเพิ่มจาก 2.31 เป็น 2.69 โดยเฉพาะองค์ประกอบด้านการให้เหตุผลซึ่งเป็นข้อจำกัดสำคัญในระยะแรก นอกจากนี้ยังพบกลไกสำคัญที่ส่งผลต่อการพัฒนา ได้แก่ (1) การคำจูนการเรียนรู้ของครูผ่านการใช้คำถามและการจัดโครงสร้างกิจกรรม (2) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนในระดับย่อยที่เอื้อต่อการแลกเปลี่ยนและปรับปรุงคำอธิบาย และ (3) การกำกับตนเองของผู้เรียนในการจัดจ่อและจัดระเบียบความคิด ข้อค้นพบสำคัญของงานวิจัยนี้คือ แม้ว่าการคำจูนการเรียนรู้ของครูจะมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาผู้เรียน แต่การพัฒนาการ

¹ครู โรงเรียนพิบูลอุปถัมภ์

¹Teacher, Pibool Uppatham School

*Corresponding Author e-mail: sarawut.ramsri@pibool.ac.th

ให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์สามารถเกิดขึ้นได้จากปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนในลักษณะไม่เป็นทางการ โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยกิจกรรมการโต้แย้งเชิงวิทยาศาสตร์ที่ออกแบบไว้อย่างเป็นขั้นตอนหรือเป็นทางการ ข้อค้นพบดังกล่าวชวนให้พิจารณามุมมองเพิ่มเติมเกี่ยวกับกลไกการพัฒนากการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์ในห้องเรียนวิทยาศาสตร์จริง ผลการวิจัยจึงให้ข้อเสนอเชิงแนวทางในการออกแบบการเรียนรู้ที่เน้นการสร้างปฏิสัมพันธ์ การคำนวณการเรียนรู้ และการกำกับตนเองควบคู่กัน

คำสำคัญ: ทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ การจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบหาความรู้ 5 ขั้นตอน กรอบการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ การวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน

Abstract

This study aimed to develop the scientific explanation skills of Grade 12 students in a non-science–mathematics track through the integration of the 5E inquiry-based learning model and the Claim–Evidence–Reasoning (CER) framework within a classroom action research approach. The study focused on both the developmental outcomes and the learning mechanisms that emerged in an authentic classroom context. The participants consisted of 32 students from an opportunity expansion school in Bangkok. The research instruments included lesson plans, a scientific explanation skills assessment rubric, and behavioral observation records. Quantitative data were analyzed using descriptive statistics, while qualitative data were analyzed through inductive content analysis. Data triangulation was employed to ensure the trustworthiness of the findings. The results revealed that students' scientific explanation skills improved progressively across action cycles, with the mean scores increasing from 2.31 to 2.69. Notably, the reasoning component, which was initially a major limitation, showed considerable improvement. Furthermore, three key mechanisms contributing to this development were identified: (1) teacher scaffolding through questioning and structured learning activities; (2) micro-level peer interactions that facilitated the exchange and refinement of explanations; and (3) students' self-regulation in maintaining attention and organizing their ideas. A major finding of this study is that, although teacher scaffolding plays an important role in supporting learning, the development of scientific reasoning can emerge through informal peer interactions without the need for formally designed or explicitly structured scientific argumentation activities. This finding offers an additional perspective on

the mechanisms underlying the development of scientific reasoning in authentic science classrooms. The study therefore provides pedagogical implications for designing learning environments that simultaneously emphasize interaction, scaffolding, and self-regulation.

Keywords: Scientific explanation skills, The 5Es of inquiry-based learning, Scientific explanations framework, Classroom action research

บทนำ

วิทยาศาสตร์เป็นวิชาพื้นฐานที่มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาผู้เรียนให้มีความสามารถในการคิดอย่างเป็นเหตุผลและการอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติอย่างมีหลักฐานรองรับ ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของความฉลาดรู้ด้านวิทยาศาสตร์ (Scientific Literacy) โดยกรอบมาตรฐานการศึกษาวิทยาศาสตร์สมัยใหม่อย่าง Next Generation Science Standards (NGSS) ที่ได้กำหนดให้การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Scientific Explanation) เป็นหนึ่งในแนวปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ที่สำคัญ (Hoffenberg & Saxton, 2015; NGSS Lead States, 2013) เนื่องจากทักษะดังกล่าวสะท้อนความสามารถของผู้เรียนในการเชื่อมโยงข้อสรุปหลักฐาน และเหตุผลทางวิทยาศาสตร์เข้าด้วยกัน

งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า การพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์สามารถส่งเสริมได้ผ่านการจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบหาความรู้ (Inquiry-Based Learning) ร่วมกับการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ซึ่งช่วยให้ผู้เรียนสามารถจัดระเบียบความคิดและเชื่อมโยงหลักฐานกับข้อสรุปได้ (Bybee et al., 2006; McNeill & Krajcik, 2011) อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ร่วมกับการโต้แย้งเชิงวิทยาศาสตร์ในลักษณะที่มีโครงสร้างเป็นขั้นตอนอย่างชัดเจน เพื่อพัฒนาการให้เหตุผลของผู้เรียน (Krajcik & McNeill, 2015; Osborne et al., 2004) แม้แนวทางดังกล่าวจะช่วยยกระดับคุณภาพของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ แต่ยังมีข้อจำกัดในมิติขององค์ความรู้เกี่ยวกับกลไกการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นในบริบทห้องเรียนจริง กล่าวคือ มักมองการพัฒนาการให้เหตุผลเป็นผลลัพธ์ของกิจกรรมที่ถูกออกแบบไว้ล่วงหน้า มากกว่าการทำความเข้าใจกลไกการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นจริงในบริบทห้องเรียน ซึ่งมีความซับซ้อนและมีปัจจัยแทรกซ้อนจำนวนมาก ซึ่งข้อจำกัดดังกล่าวนำไปสู่คำถามสำคัญว่า การพัฒนาการให้เหตุผลทางวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องอาศัยกิจกรรมแบบใด ต้องมีการโต้แย้งเชิงโครงสร้างเสมอไปหรือไม่ หรือสามารถเกิดขึ้นเองได้จากปฏิสัมพันธ์ตามธรรมชาติของผู้เรียนในชั้นเรียน ซึ่งเป็นประเด็นที่ยังไม่ได้รับการอธิบายอย่างชัดเจนในงานวิจัยที่ผ่านมา

ในบริบทของผู้วิจัยซึ่งจัดการเรียนรู้สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 แผนการเรียนไม่เน้นวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ พบว่า แม้นักเรียนจะมีความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ในระดับหนึ่ง แต่ยัง

ไม่สามารถเชื่อมโยงข้อสรุป หลักฐาน และเหตุผลเพื่อสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ โดยผู้เรียนมักตอบคำถามในลักษณะสั้นหรือให้คำตอบสุดท้ายที่ขาดการอธิบายโดยใช้เหตุผลประกอบ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ชี้ว่าผู้เรียนจำนวนมากมีความเข้าใจเนื้อหาแต่ยังไม่สามารถจัดโครงสร้างความคิดเพื่อสร้างคำอธิบายในเชิงวิทยาศาสตร์ได้ (Novak & Treagust, 2022) ปัญหาดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า ผู้เรียนไม่ได้ขาดเพียงความรู้เชิงเนื้อหา แต่ยังขาดการคำนวณการเรียนรู้และสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการพัฒนาการให้เหตุผล

เพื่อตอบสนองต่อช่องว่างดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงออกแบบการจัดการเรียนรู้โดยบูรณาการการเรียนรู้แบบสืบสอบหาความรู้ 5 ขั้นตอนร่วมกับกรอบการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ภายใต้กระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน (Kemmis & McTaggart, 1988) ในการปรับปรุงพัฒนากระบวนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้สามารถพัฒนาผู้เรียนได้ งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายไม่เพียงเพื่อพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน แต่มีจุดมุ่งหมายเพื่ออธิบายกลไกการเรียนรู้ที่ทำให้การให้เหตุผลเกิดขึ้นในบริบทห้องเรียนจริง และเสนอว่าการพัฒนาทักษะดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้โดยที่ต้องพึ่งพากิจกรรมการโต้แย้งเชิงโครงสร้างเสมอไปหรือไม่ ซึ่งเป็นการขยายกรอบแนวคิดเดิมของงานวิจัยด้านการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 แผนการเรียนไม่เน้นวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการที่ผสมผสานการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบสอบหาความรู้ 5 ขั้นตอนร่วมกับกรอบการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ผ่านกระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการ

นิยามศัพท์เฉพาะ

ทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถของผู้เรียนในการอธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์อย่างเป็นเหตุเป็นผล โดยการสร้างข้อสรุปที่ชัดเจน ใช้หลักฐานเชิงประจักษ์ที่เกี่ยวข้อง และให้เหตุผลเชื่อมโยงข้อสรุปกับหลักฐานตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ ภายใต้กรอบ Claim-Evidence-Reasoning (CER)

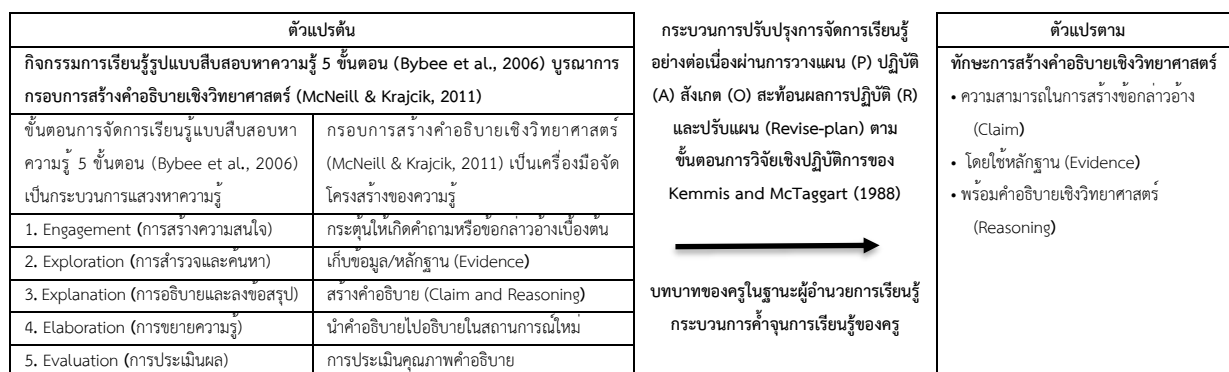
การจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบหาความรู้ 5 ขั้นตอนร่วมกับกรอบการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ หมายถึง การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ดำเนินตามขั้นตอนการสืบสอบหาความรู้ 5 ขั้นตอน ได้แก่ การสร้างความสนใจ การสำรวจและค้นหา การอธิบาย การขยายความรู้ และการประเมินผล โดยกระบวนการสืบสอบทำหน้าที่เป็นกลไกในการสร้างประสบการณ์และหลักฐานเชิงประจักษ์ของผู้เรียน ขณะที่กรอบการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ทำหน้าที่เป็นกลไกในการจัดระเบียบความคิด เพื่อเชื่อมโยงข้อสรุป หลักฐาน และเหตุผลเข้าด้วยกัน จนนำไปสู่การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่มีความสมเหตุสมผล และสอดคล้องกับหลักการทางวิทยาศาสตร์

ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 แผนการเรียนไม่เน้นวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จำนวน 33 คน โรงเรียนขยายโอกาสแห่งหนึ่งในจังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบหาความรู้ 5 ขั้นร่วมกับกรอบการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ภายใต้กระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการตามแนวคิดของ Kemmis and McTaggart (1988) เดิมกำหนด 3 วงรอบ แต่ขยายเป็น 4 วงรอบตามผลการสะท้อนคิด เพื่อพัฒนาผู้เรียนทุกคนให้อยู่ในระดับดีขึ้น กิจกรรมได้รับการออกแบบและปรับปรุงตามบริบทเฉพาะ ผลการวิจัยสามารถเทียบเคียงในบริบทใกล้เคียงไม่ได้ม่งสรุปทั่วไป

กรอบแนวคิด

การวิจัยครั้งนี้มุ่งพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน โดยบูรณาการจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบหาความรู้ 5 ขั้นตอนร่วมกับกรอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ภายใต้กระบวนการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน ซึ่งในการจัดการเรียนรู้นี้ดังกล่าว กระบวนการสืบสอบหาความรู้ 5 ขั้นตอน ทำหน้าที่เป็นกลไกในการส่งเสริมให้ผู้เรียนได้สำรวจปรากฏการณ์ ตั้งคำถาม วิเคราะห์ข้อมูล และอภิปรายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งช่วยสร้างประสบการณ์การเรียนรู้และฐานข้อมูลเชิงประจักษ์ของผู้เรียน ขณะที่กรอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือในการจัดระเบียบความรู้ที่ผู้เรียนได้รับ โดยช่วยให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงข้อสรุป หลักฐาน และเหตุผลทางวิทยาศาสตร์เข้าด้วยกันได้ ในกระบวนการดังกล่าว ครูมีบทบาทสำคัญในการcaffolding (Scaffolding) ผ่านการตั้งคำถาม การชี้นำกระบวนการคิด และการให้ข้อมูลป้อนกลับอย่างต่อเนื่อง เพื่อช่วยให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงประสบการณ์จากการสืบสอบเข้าสู่การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่มีคุณภาพ ดังนั้น การบูรณาการระหว่างการสืบสอบหาความรู้ 5 ขั้นตอน กรอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ และบทบาทของครูในการcaffolding จึงเป็นกลไกสำคัญที่ช่วยพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนในบริบทห้องเรียนจริง แสดงกรอบแนวคิดการวิจัยดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Scientific Explanation) หมายถึง การอธิบายปรากฏการณ์โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุ เงื่อนไข และผลลัพธ์ พร้อมทั้งอ้างอิงหลักฐานและเหตุผลเพื่อสร้างความน่าเชื่อถือ (Allen & Rogers, 2015; Krajcik & McNeill, 2015; McNeill & Krajcik, 2011; Romine et al., 2023; จักรพงศ์ ปนชัย และณวรา สี่ทิ, 2568) มีองค์ประกอบ 3 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ ข้อสรุป (Claim) คือข้อความที่ตอบคำถามหรือยืนยันข้อเท็จจริงทางวิทยาศาสตร์ หลักฐาน (Evidence) คือข้อมูลเชิงประจักษ์ที่ใช้สนับสนุนข้อสรุป การให้เหตุผล (Reasoning) คือการเชื่อมโยงข้อสรุปกับหลักฐานด้วยหลักการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่ง McNeill and Krajcik (2008) ชี้ว่าคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แตกต่างจากคำอธิบายทั่วไป เพราะเน้นการใช้หลักฐานและเหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์เพื่อสนับสนุนข้อสรุป

จากข้อมูลข้างต้น McNeill and Krajcik (2008) ได้ระบุถึงแนวทางการพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ด้วยกรอบการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (Claim-Evidence-Reasoning: CER) ผลวิเคราะห์พบว่า กรอบการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์สามารถบูรณาการเข้ากับกระบวนการเรียนรู้แบบสืบสอบหาความรู้ 5 ขั้นตอน (5E) ของ Bybee et al. (2006) ได้ โดยเฉพาะในขั้นตอนอธิบายที่เน้นการสร้างคำอธิบายจากหลักฐานที่ได้จากขั้นสำรวจและค้นหา และขั้นขยายความรู้ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนใช้ความรู้ในการอธิบายปรากฏการณ์ในบริบทใหม่

สำหรับวิธีการประเมินการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า Krajcik and McNeill (2015) ได้เสนอหลักเกณฑ์การประเมินไว้ ซึ่งเป็นเกณฑ์การประเมินอย่างกว้าง ๆ ทั้งนี้ งานวิจัยนี้เน้นเฉพาะส่วนของการประเมินการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เท่านั้น จึงไม่ได้พิจารณาในส่วนของการโต้แย้ง โดยเกณฑ์การประเมินมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 1 เกณฑ์การประเมินพื้นฐานสำหรับการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

องค์ประกอบ	ระดับ 0	ระดับ 1	ระดับ 2
ข้อกล่าวอ้าง (Claim) คือ การตอบคำถาม	ไม่สร้างข้อกล่าวอ้าง หรือสร้างข้อกล่าวอ้างที่ไม่ถูกต้อง	สร้างข้อกล่าวอ้างที่ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์	สร้างข้อกล่าวอ้างที่ถูกต้องและสมบูรณ์
หลักฐาน (Evidence) คือ ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง โดยข้อมูลต้องเหมาะสมและเพียงพอที่จะสนับสนุนข้อกล่าวอ้างได้	ไม่ให้หลักฐาน หรือให้หลักฐานที่ไม่เหมาะสม (หลักฐานที่ไม่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง)	ให้หลักฐานที่เหมาะสม แต่ไม่เพียงพอที่จะสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง อาจรวมถึงหลักฐานที่ไม่เหมาะสมบางส่วน	ให้หลักฐานที่เหมาะสมและเพียงพอที่จะสนับสนุนข้อกล่าวอ้าง
การให้เหตุผล (Reasoning) คือ การให้เหตุผลที่เชื่อมโยงข้อมูลกับข้อกล่าวอ้าง โดยการให้เหตุผลแสดงให้เห็นว่าข้อมูลนับเป็นหลักฐานได้อย่างไรโดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เหมาะสมและเพียงพอ	ไม่ให้เหตุผล หรือให้เหตุผลที่ไม่เชื่อมโยงหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง	ให้เหตุผลที่เชื่อมโยงหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง ช้ำหลักฐานเดิม และ/หรือรวมหลักการทางวิทยาศาสตร์บางส่วนที่ไม่เพียงพอ	ให้เหตุผลที่เชื่อมโยงหลักฐานกับข้อกล่าวอ้าง รวมถึงหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่เหมาะสมและเพียงพอ

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงปฏิบัติการตามแนวคิดของ Kemmis and McTaggart (1988) เป็นกรอบในการขับเคลื่อนการพัฒนาการจัดการเรียนรู้ โดยดำเนินการเป็นวงจรต่อเนื่อง ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ การวางแผน (Plan) การปฏิบัติ (Act) การสังเกตผล (Observe) และการสะท้อนผล (Reflect) ในการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยใช้การออกแบบการวิจัยแบบผสมวิธีในลักษณะผสมวิธีเชิงอธิบาย (Explanatory Mixed Methods Design) โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณเพื่อพิจารณาระดับผลการประเมินที่เกิดขึ้น และใช้ข้อมูลเชิงคุณภาพในการอธิบายและตีความผลการวิจัย เพื่อให้เข้าใจปรากฏการณ์การเรียนรู้ของผู้เรียน โดยกระบวนการวิจัยอธิบายตามขั้นตอนการวิจัยเชิงปฏิบัติการมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 วางแผน (Plan)

1. วิเคราะห์บริบทและกลุ่มเป้าหมาย การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการในโรงเรียนขยายโอกาสแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร โดยมีกลุ่มเป้าหมายเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 แผนการเรียนไม่เน้นวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จำนวน 33 คน จากการวิเคราะห์บริบทเบื้องต้น พบว่าผู้เรียนมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับระบบสุริยะ แต่ยังขาดความเข้าใจเชิงลึกเกี่ยวกับกำเนิดและโครงสร้างของเอกภพ ความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของปรากฏการณ์ทางดาราศาสตร์ และการประยุกต์ใช้ความรู้ในบริบทจริง อีกทั้งผู้เรียนยังมีข้อจำกัดในการเรียบเรียงคำอธิบายเชิงเหตุผลให้มีความเชื่อมโยงกัน ซึ่งสะท้อนถึงความจำเป็นในการพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

2. วางแผนและจัดทำแผนการจัดการเรียนรู้ การวิจัยในครั้งนี้จะใช้แผนการจัดการเรียนรู้เป็นเครื่องมือในการวิจัย ซึ่งแผนการจัดการเรียนรู้ประกอบไปด้วย กิจกรรมการเรียนรู้ซึ่งเป็นเครื่องมือพัฒนานักเรียน ใบกิจกรรมเป็นเครื่องมือในการรวบรวมข้อมูล เกณฑ์การประเมินเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินผล และบันทึกหลังการจัดการเรียนรู้เป็นเครื่องมือการสะท้อนคิดของผู้วิจัย มีรายละเอียดการออกแบบและพัฒนาดังนี้

2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานและกำหนดวัตถุประสงค์การเรียนรู้ มี 3 ขั้นตอนดังนี้

2.1.1 กำหนดเนื้อหาที่มุ่งพัฒนาการสร้างคำอธิบายในโมเดลเรื่องเอกภพ กาแล็กซี ระบบสุริยะ ปรากฏการณ์ดาราศาสตร์ และการประยุกต์เทคโนโลยีอวกาศในชีวิตประจำวัน

2.1.2 กำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ ในการออกแบบและพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์มาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดชั้นปีเพื่อกำหนดวัตถุประสงค์ด้านความรู้ ทักษะ/กระบวนการด้านจิตใจ และได้กำหนดวัตถุประสงค์เพิ่มเติมคือ ทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในทุกแผนการจัดการเรียนรู้

2.2 การออกแบบกลยุทธ์และการบูรณาการทฤษฎีการเรียนรู้ ผู้วิจัยออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามทฤษฎีสรณนิยม วิเคราะห์แนวคิดการจัดการเรียนรู้แบบมีชีวิตชีวา (Active Learning) โดยเลือก

กระบวนการจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบหาความรู้ 5 ขั้นตอน เป็นขั้นตอนการจัดกิจกรรม และกรอบการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (CER) เป็นกรอบในการเชื่อมโยงองค์ความรู้จากการสืบสอบ

2.3 การประเมินและการสะท้อนคิด ดำเนินการใน 3 มิติ รายละเอียดดังนี้

2.3.1 การประเมินผู้เรียน ในการประเมินนักเรียน ผู้วิจัยจะประเมินจากแบบบันทึกผลการทำกิจกรรม และประเมินโดยใช้เกณฑ์ที่มีโครงสร้างพื้นฐานจากกรอบการประเมินการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยได้นำเกณฑ์การประเมิน 3 องค์ประกอบ จากงานของ Krajcik and McNeill (2015) โดยผู้วิจัยจะปรับคำอธิบายเกณฑ์การประเมินในแต่ละระดับให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในโน้ตบุ๊กโลกในเอกภพ โดยเกณฑ์ที่ผู้วิจัยจะใช้ในการประเมินการเขียนตอบและการเขียนบันทึกผลการทำกิจกรรม และกิจกรรมการเรียนรู้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 3 กิจกรรมหลักเป็นกิจกรรมที่ให้นักเรียนวิเคราะห์ปรากฏการณ์และการใช้แบบจำลองเป็นฐานในการเรียนรู้ เพื่อส่งเสริมการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และเกณฑ์การประเมินการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้รับการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ผลการตรวจสอบพบว่า ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างเกณฑ์กับวัตถุประสงค์ของการวัด (IOC) อยู่ระหว่าง 0.67–1.00 แสดงว่าเกณฑ์การประเมินมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ในการเก็บข้อมูลได้

2.3.2 การสะท้อนคิดของครู ในการสะท้อนคิดของผู้วิจัยในฐานะครู ผู้วิจัยจะสะท้อนคิดตามกรอบการสะท้อนคิดหลังสอนของชาตรี ฝ่ายคำตา (2566) โดยมีประเด็นที่ต้องสะท้อนดังนี้ (1) มุ่งสะท้อนประเด็นท้าทาย (ผลการเรียนรู้ของผู้เรียน) (2) หลักฐานที่สอดคล้องการเรียนรู้ (3) ประเมินหรือตัดสินว่าสำเร็จมากน้อยเพียงใด (4) บอกเหตุผลว่าทำไมจึงสำเร็จหรือไม่สำเร็จอย่างมีหลักการ และ (5) เสนอแนะทางออกในครั้งต่อไปอย่างเป็นรูปธรรม หลังจากจัดทำแผนการจัดการเรียนรู้แล้ว ผู้วิจัยได้นำแผนการจัดการเรียนรู้และใบกิจกรรมในแผนการจัดการเรียนรู้ไปตรวจสอบคุณภาพ โดยครูวิทยาศาสตร์ วิทยฐานะชำนาญการพิเศษ จำนวน 3 ท่าน เพื่อพิจารณาความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์ กิจกรรม และการวัดประเมินผล ผลการประเมินพบว่าค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ระหว่าง 0.67–1.00 แสดงว่าแผนมีความเหมาะสมทั้งนี้ ผู้เชี่ยวชาญเสนอให้เพิ่มการตั้งสมมติฐานก่อนการทดลอง การอภิปรายข้อจำกัดของแบบจำลอง และการเขียนสมมติฐานให้ชัดเจนครอบคลุมตัวแปร ซึ่งผู้วิจัยได้นำไปปรับปรุงแผนก่อนนำไปใช้จริง

3. การวางแผนการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยนำข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพมาวิเคราะห์ร่วมกันเพื่อสะท้อนผล โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อพิจารณาระดับผลการประเมินที่เกิดขึ้น จากนั้นจึงวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพโดยใช้การวิเคราะห์เนื้อหาแบบอุปนัย เพื่ออธิบายและตีความสาเหตุของผลการประเมินดังกล่าว โดยดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

- (1) ถอดเทปข้อมูลที่บันทึกได้ในชั้นเรียน
- (2) อ่านข้อมูลทั้งหมดทั้งจากแบบบันทึกภาคสนามและข้อมูลที่ได้จากการถอดเทป
- (3) กำหนดรหัสข้อมูล โดยระบุประเด็นสำคัญที่สะท้อนลักษณะการให้เหตุผล การมีส่วนร่วม และปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการเรียนรู้
- (4) จัดกลุ่มรหัสข้อมูลเพื่อพัฒนาเป็นประเด็นหลักที่อธิบายลักษณะการเรียนรู้ของนักเรียน
- (5) ตีความและสังเคราะห์ข้อมูล โดยเชื่อมโยงข้อมูลเชิงคุณภาพกับผลการประเมินเชิงปริมาณ เพื่ออธิบายแนวโน้มการพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน

เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูล ผู้วิจัยใช้การตรวจสอบแบบสามเส้าด้านข้อมูล โดยการเปรียบเทียบข้อมูลจากการบันทึกเสียง บันทึกภาคสนาม และผลงานของผู้เรียน รวมถึงการยืนยันข้อมูลกับผู้ให้ข้อมูลระหว่างการจัดกิจกรรม โดยผู้วิจัยเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องในทุกครั้งของการจัดกิจกรรม และใช้แนวทางการบันทึกและให้รหัสข้อมูลในรูปแบบเดียวกัน เพื่อควบคุมความสม่ำเสมอของข้อมูลและลดอคติในการตีความ (Stahl & King, 2020)

ขั้นที่ 2 ปฏิบัติ (Act)

ผู้วิจัยนำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ออกแบบไว้ไปใช้จัดกิจกรรมการเรียนรู้กับนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย โดยใช้เวลาครั้งละ 2 คาบเรียน คาบละ 50 นาที รวมระยะเวลา 100 นาทีต่อการจัดกิจกรรม 1 ครั้ง โดยผู้วิจัยปรับจังหวะและระยะเวลาในแต่ละขั้นตามสถานการณ์การเรียนรู้ที่เกิดขึ้นจริง การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ดำเนินไปตามขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบหาความรู้ 5 ขั้นตอน เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการตั้งคำถาม สำรวจตรวจสอบ อภิปราย และสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์จากหลักฐานที่ได้จากกิจกรรมการเรียนรู้ และใช้กรอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในขั้นสำรวจและค้นหาในการระบุหลักฐานและในขั้นอธิบายในการเชื่อมโยงข้อสรุป หลักฐาน และเหตุผลทางวิทยาศาสตร์เข้าด้วยกันได้ และก่อนเริ่มกิจกรรม ผู้วิจัยได้ชี้แจงให้นักเรียนได้ทราบว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ครั้งนี้เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาการจัดการเรียนรู้ของผู้วิจัย และมีการบันทึกบทสนทนาตลอดการจัดการเรียนรู้

ขั้นที่ 3 สังเกตผล (Observe)

ในระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ทุกครั้ง ผู้วิจัยสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้และการมีส่วนร่วมของผู้เรียน โดยใช้วิธีการเก็บข้อมูล 3 ลักษณะ ได้แก่

1. การบันทึกเสียงระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เพื่อเก็บข้อมูลบทสนทนา การตั้งคำถาม การอภิปราย และการอธิบายของผู้เรียนที่เกิดขึ้นในระหว่างการเรียนรู้ โดยก่อนการบันทึกเสียง ผู้วิจัยได้ขอความยินยอมจากผู้เรียนทุกคน และชี้แจงวัตถุประสงค์ของการบันทึกเสียงเพื่อใช้ในการทบทวนกระบวนการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นในชั้นเรียน ทั้งนี้ ผู้เรียนสามารถแจ้งให้หยุดการบันทึกเสียงได้หากรู้สึกไม่สบายใจ

2. การบันทึกภาคสนาม ผู้วิจัยบันทึกพฤติกรรมและปฏิกิริยาของผู้เรียนระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยใช้คำสำคัญ ร่วมกับการระบุขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน เช่น “หัวเราะ4” หมายถึง ผู้เรียนมีปฏิกิริยาหัวเราะในชั้นขยายความรู้ หรือ “ขมวดคิ้ว2” หมายถึง ผู้เรียนมีท่าที่สงสัยในชั้นสำรวจและค้นหา

3. ผู้วิจัยในฐานะเครื่องมือการวิจัย โดยทำหน้าที่เป็นเครื่องมือหลักในการเก็บรวบรวมข้อมูลผ่านการสังเกต ตีความ ให้ความหมายกับ โทนเสียง ภาษากายของนักเรียน เพื่อให้สามารถบันทึกพฤติกรรมและปฏิกิริยาตอบสนองของผู้เรียนในมิติต่าง ๆ ในระหว่างการจัดกิจกรรม และหลังการจัดกิจกรรมผู้วิจัยจะนำข้อมูลจากการบันทึกเสียงมาถอดเทป และพิจารณาพร้อมกับข้อมูลจากการบันทึกภาคสนาม เพื่อช่วยให้การตีความพฤติกรรมของผู้เรียนมีความครบถ้วนมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังใช้การซักถามผู้เรียนระหว่างกิจกรรม เช่น “อันนี้ใหม่” หรือ “ที่หัวเราะนี่คือตลกหรือ” เพื่อยืนยันความหมายของพฤติกรรมที่ผู้วิจัยสังเกตเห็น ซึ่งช่วยลดความคลาดเคลื่อนจากการตีความของผู้วิจัย

ขั้นที่ 4 การสะท้อนผล (Reflect)

ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้มาวิเคราะห์เพื่อสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ และใช้เป็นข้อมูลสำหรับการปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ในวงจรถัดไป ประกอบด้วย (1) ข้อมูลเชิงปริมาณ ใช้เพื่ออธิบายระดับผลการประเมินที่เกิดขึ้นจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ และใช้ประกอบการพิจารณาความจำเป็นในการดำเนินการวิจัยในวงจรถัดไป และ (2) ข้อมูลเชิงคุณภาพ ใช้เพื่อสรุปประเด็นสำคัญในการปรับแผนการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งสองส่วนร่วมกัน ช่วยให้ผู้วิจัยเข้าใจปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในชั้นเรียนได้อย่างครอบคลุม ทั้งในด้านระดับความสำเร็จของการจัดการเรียนรู้และเหตุผลเชิงลึกที่ส่งผลต่อการเรียนรู้ของนักเรียน อันจะนำไปสู่การปรับปรุงการจัดการเรียนรู้ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นในวงจรถัดไป

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยนำเสนอเป็น 2 ตอน ได้แก่ ตอนที่ 1 ผลลัพธ์ของการพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ตามวัตถุประสงค์การวิจัย และตอนที่ 2 กระบวนการพัฒนาที่เกิดขึ้นในแต่ละวงจรของการวิจัยเชิงปฏิบัติการ มีรายละเอียดดังนี้

ตอนที่ 1 ผลลัพธ์ของการพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ตามวัตถุประสงค์การวิจัย

1.1 ข้อมูลเชิงปริมาณ เพื่อตอบวัตถุประสงค์การวิจัยที่มุ่งพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการประเมินทักษะดังกล่าวในแต่ละวงจรปฏิบัติการ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

วงจรปฏิบัติการ	จำนวนนักเรียน (N)	ค่าเฉลี่ยคะแนน (M)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D)
1	32	2.31	0.83
2	32	2.28	0.82
3	32	2.53	0.77
4	32	2.69	0.47

จากตารางที่ 2 พบว่า ค่าเฉลี่ยคะแนนทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับวงจรปฏิบัติการ โดยลดลงเล็กน้อยในวงจรที่ 2 ก่อนจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในวงจรที่ 3 และ 4 ขณะเดียวกัน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะในวงจรที่ 4 ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าผลการเรียนรู้ของนักเรียนมีความสม่ำเสมอมากขึ้น เพื่ออธิบายแนวโน้มของผลการพัฒนาดังกล่าว ผู้วิจัยนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพแยกตามธีม ดังนี้

ธีมที่ 1 การคำจุนการเรียนรู้ผ่านคำถามเชิงโครงสร้าง ในระยะแรก ผู้เรียนแม้มีความเข้าใจเนื้อหา แต่ไม่สามารถเรียบเรียงคำอธิบายได้อย่างเป็นระบบ ดังสะท้อนจากคำกล่าวของนักเรียนว่า “ผมเข้าใจแต่เรียบเรียงไม่ถูก” แต่เมื่อผู้วิจัยใช้คำถามที่มีโครงสร้างชัดเจนและค่อย ๆ ปรับไปสู่คำถามปลายเปิด ผู้เรียนเริ่มสามารถเชื่อมโยงข้อสรุป หลักฐาน และเหตุผลได้ดีขึ้น ส่งผลให้คะแนนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในวงจรถัดมา

ธีมที่ 2 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนช่วยพัฒนาความสมเหตุสมผลของคำอธิบาย การแลกเปลี่ยนความคิดเห็นในระดับย่อย โดยเฉพาะกิจกรรมเพื่อนคู่คิดช่วยให้ผู้เรียนได้ตรวจสอบและปรับปรุงความเข้าใจของตนเอง เช่น การแก้ความเข้าใจผิดระหว่าง “น้ำหนัก” และ “มวล” ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาการให้เหตุผล และส่งผลต่อคุณภาพของคำอธิบายที่ดีขึ้นในวงจรหลัง

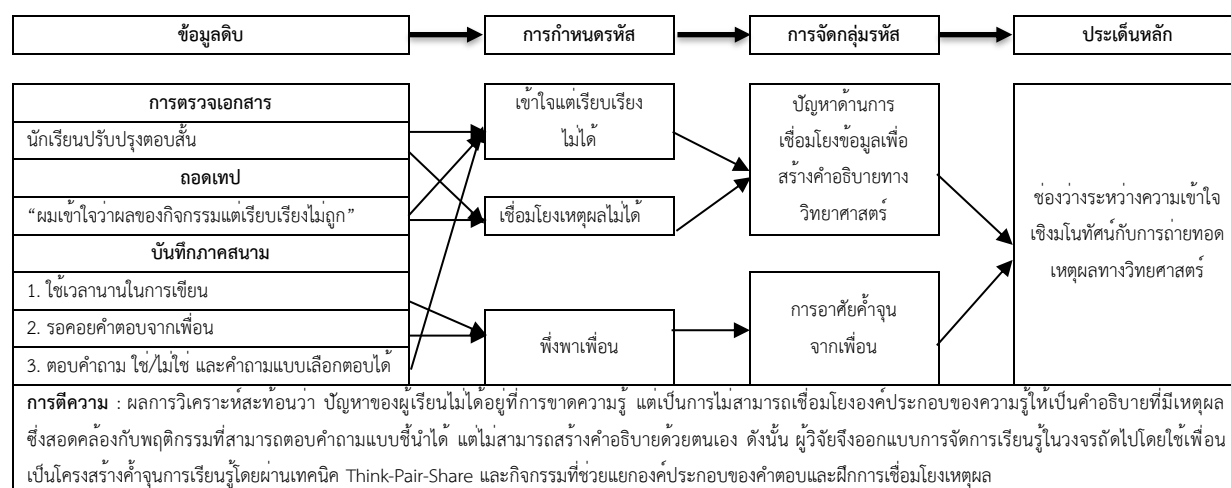
ธีมที่ 3 การกำกับตนเองเป็นปัจจัยสำคัญต่อความต่อเนื่องของการพัฒนา ผลการวิจัยในวงจรที่ 2 และ 3 แสดงให้เห็นว่าการถูกรบกวนจากสื่อดิจิทัลและการพึ่งพาปัญญาประดิษฐ์ส่งผลให้คะแนนไม่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการจัดสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการจดจ่อ เช่น การจำกัดการใช้โทรศัพท์ และกำหนดช่วงเวลาให้คิดด้วยตนเอง ผู้เรียนสามารถพัฒนาการสร้างคำอธิบายได้อย่างชัดเจนในวงจรที่ 4

ตอนที่ 2 กระบวนการพัฒนาที่เกิดขึ้นในแต่ละวงจรของการวิจัยเชิงปฏิบัติการ

ผู้วิจัยนำเสนอผลการวิจัยในแต่ละวงจรปฏิบัติการ เพื่อสะท้อนกระบวนการพัฒนาและการปรับปรุงการจัดการเรียนรู้ในบริบทจริง ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

ผลการวิจัยวงจรที่ 1 พบว่า นักเรียนที่มีผลการประเมินในระดับดี 16 คน ปานกลาง 10 คน และปรับปรุง 6 คน วิเคราะห์ว่า ความสามารถอยู่ในช่วงพอใช้ มีความแตกต่างในกลุ่มสูง เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ จากการเขียนตอบในเอกสารประกอบการทำกิจกรรม พบว่า นักเรียนกลุ่มปรับปรุง จะตอบคำถาม

สั้น ๆ ไม่สามารถเชื่อมโยงเหตุผลได้ สอดคล้องกับบทสนทนาระหว่างนักเรียนกับครูที่ว่า “ผมเข้าใจผลของกิจกรรมแต่เรียบเรียงไม่ถูก” นอกจากนี้ จากข้อมูลบันทึกภาคสนาม ยังพบว่า นักเรียนกลุ่มนี้มักใช้เวลาในการเริ่มต้นเขียน และมีพฤติกรรมรอคอยคำตอบจากเพื่อนมากกว่าการคิดด้วยตนเอง แต่เมื่อผู้วิจัยตั้งคำถามและให้นักเรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้องหรือเป็นคำถามในลักษณะใช่หรือไม่ นักเรียนทั้งห้องสามารถตอบคำถามดังกล่าวได้อย่างถูกต้อง จากข้อมูลดังกล่าวสะท้อนว่า ผู้เรียนยังไม่สามารถเชื่อมโยงองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ ข้อสรุป หลักฐาน และเหตุผล ในวงจรถัดไปผู้วิจัยจึงให้นักเรียนกลุ่มที่มีผลการประเมินระดับดี ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างคำถามการเรียนรู้ ของนักเรียนที่มีผลการประเมินระดับปานกลางและปรับปรุงผ่านเทคนิคเพื่อนคู่คิด (Think-pair-Share) เนื่องจากผลการสังเกตแสดงให้เห็นว่านักเรียนกลุ่มปรับปรุงมักจะถามเพื่อนมากกว่าครู และผู้วิจัยจะออกแบบกิจกรรมเพื่อช่วยให้นักเรียนแยกองค์ประกอบของสิ่งที่โจทย์ต้องการและการฝึกเขียนแยกและการใช้คำเชื่อมโยงข้อมูลที่แยกเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาการสร้างความอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ดีขึ้นในวงจรถัดไป เพื่อแสดงกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ ผู้วิจัยแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ตัวอย่างกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ

ผลการวิจัยในวงจรที่ 2 พบว่า มีนักเรียนระดับดี 13 คน ปานกลาง 13 คน และปรับปรุง 6 คน วิเคราะห์ว่า ค่าเฉลี่ยลดลงเล็กน้อย การแทรกแซงยังไม่เห็นผลชัดเจน เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพจากบันทึกภาคสนาม พบว่า นักเรียนกลุ่มปรับปรุงมักจะก้มหน้าเล่นโทรศัพท์ เนื่องจากวางโทรศัพท์ไว้ใต้โต๊ะเพื่อหลบสายตาครู นอกจากนี้เมื่อฟังเสียงที่บันทึกได้จากเครื่องบันทึกเสียง จะได้ยินเสียงบทสนทาระหว่างนักเรียนที่มีผลการประเมินระดับปรับปรุงและเพื่อนคู่คิด (นักเรียนที่มีผลการประเมินระดับดี) เกี่ยวกับคลิปวิดีโอที่เป็นกระแส ไม่ได้สนทนาเกี่ยวกับข้อสรุปทางวิทยาศาสตร์ พฤติกรรมดังกล่าวส่งผลให้การเรียบเรียงเหตุผลขาดตอนและทำให้เสียเวลาไปกับการตอบโต้ในโลกออนไลน์มากกว่าการคิดเชิงสังเคราะห์เพื่อสร้าง

คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ทำให้เมื่อวิเคราะห์การเขียนตอบในเอกสารประกอบการทำกิจกรรม คำตอบของนักเรียนคู่ดังกล่าวจึงมีลักษณะเป็นการตัดแปะประโยคหรือเป็นการจดตามคำบอกเพื่อนเพื่อให้สามารถส่งงานได้ตามกำหนดเวลาเท่านั้น คะแนนในส่วนการให้เหตุผลของนักเรียนกลุ่มที่มีผลการประเมินระดับดีบางส่วนจึงมีค่าลดลงเล็กน้อยในวงรอบนี้ สะท้อนให้เห็นว่า สิ่งรบกวนจากสื่อดิจิทัลและการขาดการกำกับตนเองส่งผลกระทบต่อการจัดจ้อและการเชื่อมโยงเหตุผลของผู้เรียน ในวงจรถัดไปผู้วิจัยจะตัดสิ่งรบกวนและสร้างข้อตกลงร่วม โดยเปลี่ยนจากการใช้อินเทอร์เน็ตในการสืบค้นข้อมูลเป็นการใช้หนังสือและเอกสารประกอบการทำกิจกรรมเท่านั้น และกำหนดช่วงเวลา 10 นาที หลังจากการพูดคุยให้นักเรียนคิดและจัดจ้อกับการเรียบเรียงคำอธิบายด้วยตนเอง เนื่องจากปัญหาไม่ได้เกิดจากการที่นักเรียนขาดทักษะการเชื่อมโยงข้อมูลเท่านั้น แต่ยังขาดทักษะการกำกับตนเองอีกด้วย นอกจากนี้การสืบค้นจากเอกสารและหนังสือจะให้นักเรียนฝึกค้นหาข้อมูลและสังเคราะห์ข้อมูลขึ้นเอง และในหนังสือเรียนนักเรียนจะเห็นตัวอย่างของการเรียบเรียงประโยคและการเชื่อมโยงมโนทัศน์ย่อยอีกด้วยซึ่งส่งผลให้ผู้เรียนสามารถจัดจ้อและพัฒนาการให้เหตุผลได้ดีขึ้นในวงจรถัดไป

ผลการวิจัยในวงจรที่ 3 พบว่า มีนักเรียนระดับดี 19 คน ปานกลาง 10 คน และปรับปรุง 3 คน วิเคราะห์ว่า ค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพจากการเขียนตอบในเอกสารประกอบการทำกิจกรรม พบว่า นักเรียนที่มีผลการประเมินดีบางส่วนมีผลการประเมินในระดับปานกลาง ในวงจรนี้ เมื่อผู้วิจัยสอบถามเพิ่มเติมนักเรียนกล่าวกับผู้วิจัยว่า “ผม (นักเรียน) ใช้เอไอในการหาคำตอบ” โดยคำตอบของนักเรียนสะท้อนถึงความท้าทายในการจัดการเรียนการสอนในยุคดิจิทัล นักเรียนบางส่วนมีแนวโน้มที่จะใช้ปัญญาประดิษฐ์เป็นทางลัดในการหาคำตอบมากกว่าการฝึกฝนทักษะการคิดของตนเอง ประเด็นดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า การพึ่งพาปัญญาประดิษฐ์ทำให้ผู้เรียนข้ามกระบวนการคิดและไม่เกิดการเชื่อมโยงเหตุผลด้วยตนเอง นอกจากนี้ยังสะท้อนให้เห็นถึงกระบวนการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ต้องอาศัยกระบวนการคิดและการเรียบเรียงทำความเข้าใจด้วยตนเองอีกด้วย ประเด็นนี้บ่งชี้ว่าการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในปัจจุบันไม่เพียงเกี่ยวข้องกับการเสริมสร้างความเข้าใจในเนื้อหาเท่านั้น แต่ยังต้องส่งเสริมให้นักเรียนตระหนักถึงคุณค่าของกระบวนการคิดและสร้างคำอธิบายด้วยตนเองในสภาพแวดล้อมที่มีเครื่องมือดิจิทัลสนับสนุน และในวงจรนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการครบ 3 วงจรตามที่ได้ออกแบบไว้ อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยมีเป้าหมายที่จะพัฒนาผู้เรียนให้มีผลการประเมินระดับปานกลางขึ้นไป จึงตัดสินใจดำเนินการต่อในวงจรที่ 4 โดยออกแบบกิจกรรมเรื่อง กำเนิดและวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ ซึ่งเป็นกิจกรรมที่จะให้นักเรียนวิเคราะห์แผนภาพการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดาวฤกษ์ เพื่อสร้างคำอธิบายเกี่ยวกับจุดจบของดาวฤกษ์ที่มีมวลเริ่มต้นแตกต่างกัน โดยผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์หลักสูตร กำหนดกลยุทธ์และเทคนิคการจัดการเรียนรู้ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมในชุมชนการเรียนรู้ทางวิชาชีพ (PLC) โดยในวงจรที่ 4 ผู้วิจัยจะใช้เหตุการณ์พึ่งพาปัญญาประดิษฐ์ของนักเรียนเป็นบทเรียนในการสร้างความตระหนักรู้ในคุณค่าของกระบวนการคิดมากกว่า

ผลลัพธ์ การเดินให้คำแนะนำรายคู่ในระหว่างการปฏิบัติกิจกรรมเพื่อนคู่คิด และจัดเวลาให้มีการคิดรายคู่มากขึ้น เพื่อสามารถให้ข้อมูลตอบกลับเป็นไปอย่างทั่วถึงและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกระบวนการสร้างคำอธิบายด้วยตนเองมากขึ้นในวงจรถัดไป

ผลการวิจัยวงจรที่ 4 พบว่า มีนักเรียนระดับดี 22 คน ปานกลาง 10 คน และไม่พบนักเรียนที่มีผลการประเมินระดับปรับปรุง วิเคราะห์ว่า ค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นต่อเนื่องและเกาะกลุ่มมากขึ้น บรรลุวัตถุประสงค์เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพจากบันทึกภาคสนาม พบว่า บรรยากาศในห้องเรียนเป็นการถกเถียงกันในเนื้อหาที่กำลังเรียนรู้ โดยเมื่อถอดเทปบันทึกการสนทนา พบตัวอย่างของบทสนทนาของนักเรียนคู่ที่ 3 ที่นักเรียนคนแรกถามนักเรียนคนที่สองว่า “ดาวฤกษ์น้ำหนัมากจะเป็นหลุมดำหรือ” นักเรียนคนที่สองตอบว่า “ใช่ ๆ แต่น้ำหนักไม่ใช่ละ ต้องบอกวามวล มันต่างกัน” หรือจะเป็นการตั้งคำถามของนักเรียนคู่ที่ 1 คนที่ 1 ที่พูดด้วยน้ำเสียงสงสัยปนตื่นเต้นว่า “จารย์ (อาจารย์) หลุมดำไม่ใช่หลุมหรือ แล้วมันดูดได้ไงอะไม่ใช่หลุม” นอกจากนี้ในขั้นสร้างคำอธิบายที่ผู้วิจัยตั้งคำถามเพื่อสรุปผลการทำกิจกรรม นักเรียนสามารถอธิบายเหตุผลได้ว่า “มวลที่ต่างกันนำไปสู่จุดจบที่แตกต่างกัน เพราะถ้ามวลมากแรงโน้มถ่วงก็จะมากตาม เมื่อแรงโน้มถ่วงมากก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชันได้เร็ว ดาวดับเร็ว และถ้ามวลยิ่งยวดจะกลายเป็นหลุมดำซึ่งมีแรงโน้มถ่วงมหาศาลสามารถดึงดูดได้แม้กระทั่งแสง” เมื่อพิจารณาระดับการประเมินและข้อมูลเชิงคุณภาพสะท้อนให้เห็นว่า นักเรียนสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเองได้ ผ่านกระบวนการสืบสอบตั้งคำถาม ค้นหาคำตอบจากหลักฐาน และเมื่อผ่านการฝึกฝนกับการใช้กรอบการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่ช่วยจัดระเบียบข้อมูลทำให้นักเรียนสามารถเรียบเรียงคำอธิบาย และให้คำอธิบายของนักเรียนเป็นเหตุเป็นผลภายใต้หลักฐานที่รวบรวมได้ ผลการดำเนินการวิจัยในวงรอบนี้ ผู้วิจัยได้เรียนรู้ว่าการพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนแผนการเรียนที่ไม่เน้นวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์นั้น นอกจากจะต้องชวนนักเรียนตั้งคำถามเพื่อการสืบสอบเพื่อหาหลักฐานและลงข้อสรุป มีเครื่องมือการจัดระเบียบข้อมูลเพื่อสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์แล้ว ครูต้องเข้าใจและลดบทบาทการนำกิจกรรมหน้าชั้นเรียนลง และทำหน้าที่เป็นผู้ชี้แนะ ผู้ค้ำจุนกระบวนการเรียนรู้ให้มากขึ้น สิ่งสำคัญคือการสร้างวินัยในชั้นเรียนและข้อตกลงในชั้นเรียนเพื่อลดสิ่งรบกวน และสร้างบรรยากาศที่เอื้อต่อการจดจ่อกับสิ่งที่กำลังทำ สิ่งนี้ส่งผลต่อนักเรียนอย่างชัดเจนคือ นักเรียนตระหนักถึงความสำคัญของกระบวนการคิด นอกจากนี้ผู้วิจัยได้เรียนรู้ว่าการตั้งคำถามในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์นั้นเป็นสิ่งที่สำคัญในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์อย่างไรก็ตาม การกระตุ้นให้นักเรียนตั้งคำถามในชั้นเรียนทำได้ค่อนข้างจำกัด อาจจะด้วยวัฒนธรรมในชั้นเรียนหรือเกิดจากสาเหตุใดนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาต่อไป แต่ผลการวิจัยในวงจรที่ 4 ชี้ให้เห็นว่าการตั้งคำถามของนักเรียนสามารถทำให้นักเรียนสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ดีขึ้น เนื่องจากในวงจรที่ 4 มีคำถามเกิดขึ้นมากกว่าทุกวงจร โดยเริ่มจากเพื่อนถามเพื่อน เพื่อนถามครู นักเรียนถามครู เมื่อพิจารณาผลการวิจัย

จะเห็นได้ว่าการดำเนินการวิจัยตอบวัตถุประสงค์แล้ว จึงยุติการวิจัยในวงจรนี้ แสดงการสรุปผลการวิเคราะห์ปัญหาและแนวทางการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการแต่ละวงจрдังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ปัญหาและแนวทางการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการแต่ละวงจร

วงจร	ปัญหาหลัก	การปรับ (เพิ่ม/ลด)	เหตุผล	ผลที่เกิด
1	เขียนเหตุผลไม่ได้	เพิ่มการคำจุนการเรียนรู้	เชื่อม CER ไม่ได้	เริ่มเขียนได้
2	วอกแวก/มือถือ	ลดสิ่งรบกวน	สมาธิไม่พอ	ยังไม่ได้ดีขึ้น
3	ใช้ AI	ปรับกิจกรรม	ไม่เห็นคุณค่าของกระบวนการ	ดีขึ้น
4	คำแนะนำไม่ทั่วถึง	เพิ่มโค้ชรายคู่	ข้อมูลตอบกลับไม่ทั่วถึง	บรรลุผล

จากผลการวิจัยสามารถสังเคราะห์เป็นรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ดังนี้

1. การคำจุนการเรียนรู้ผ่านคำถามเชิงโครงสร้าง โดยเริ่มจากคำถามที่มีโครงสร้างชัดเจน เช่น คำถามแบบใช่-ไม่ใช่ ไปสู่คำถามปลายเปิด เพื่อช่วยให้ผู้เรียนค่อย ๆ เชื่อมโยงข้อสรุป หลักฐาน และเหตุผล
2. การออกแบบปฏิสัมพันธ์แบบมีโครงสร้างผ่านกิจกรรมเพื่อนคู่คิด ที่กำหนดบทบาทและลำดับขั้นตอนของการสนทนาอย่างชัดเจน เพื่อส่งเสริมการโต้แย้งและปรับปรุงคำอธิบายของนักเรียน
3. การจัดสภาพแวดล้อมเพื่อส่งเสริมการกำกับตนเองโดยการลดสิ่งรบกวน เช่น การจำกัดการใช้โทรศัพท์มือถือ และกำหนดช่วงเวลาให้ผู้เรียนได้คิดและเรียบเรียงคำอธิบายด้วยตนเอง

รูปแบบดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าการพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องออกแบบทั้งในระดับกิจกรรม ปฏิสัมพันธ์ และสภาพแวดล้อมควบคู่กัน

อภิปรายผล

ผลการวิจัยครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่า การพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนไม่ได้ขึ้นอยู่กับความรู้เชิงเนื้อหา แต่เป็นผลจากความสามารถในการจัดโครงสร้างความคิดและการกำกับตนเองในการเรียนรู้ โดยในระยะแรกผู้เรียนแม้มีความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ แต่ไม่สามารถเชื่อมโยงองค์ประกอบของคำอธิบายให้มีความสัมพันธ์เชิงเหตุผลได้ สะท้อนลักษณะของความรู้ที่ยังไม่ถูกจัดระเบียบในระดับโครงสร้าง (Novak & Treagust, 2022) ซึ่งสอดคล้องกับกรอบการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่เน้นการเชื่อมโยงข้อสรุป หลักฐาน และเหตุผล อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นมิติที่แตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา กล่าวคือ แม้งานวิจัยส่วนใหญ่อย่างงานของ Osborne et al. (2004) และ Krajcik & McNeill (2015) จะเน้นว่าการพัฒนาการให้เหตุผลจำเป็นต้องอาศัยการจัดกิจกรรมการโต้แย้งเชิงวิทยาศาสตร์

อย่างเป็นขั้นตอน แต่ผลการวิจัยนี้พบว่า ผู้เรียนสามารถพัฒนาการให้เหตุผลผ่านปฏิสัมพันธ์แบบไม่เป็นทางการระหว่างผู้เรียนได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้ประเด็นการโต้แย้งที่กำหนดไว้อย่างชัดเจน

ในการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้ออกแบบกิจกรรมที่บูรณาการเทคนิคเพื่อนคู่คิดร่วมกับการใช้กรอบการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นโครงสร้างคำจูนการเรียนรู้ ช่วยให้ผู้เรียนสามารถแยกองค์ประกอบของคำอธิบายและเชื่อมโยงหลักฐานกับข้อสรุปได้มากขึ้น กระบวนการดังกล่าวสะท้อนการเรียนรู้ผ่านปฏิสัมพันธ์ทางสังคมตามแนวคิดของ Vygotsky (1978) ที่ชี้ว่าการแลกเปลี่ยนความคิดระหว่างผู้เรียนช่วยยกระดับการให้เหตุผลได้ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ไม่ได้ยืนยันบทบาทของปฏิสัมพันธ์ทางสังคมเท่านั้น แต่ยังขยายความเข้าใจเพิ่มเติมโดยชี้ให้เห็นว่า ปฏิสัมพันธ์ที่มีประสิทธิภาพต่อการพัฒนาการให้เหตุผลไม่จำเป็นต้องอยู่ในรูปแบบกิจกรรมที่มีขั้นตอนอย่างชัดเจนเสมอไป หากแต่สามารถเกิดขึ้นได้ในระดับย่อยผ่านการสนทนาในกลุ่มย่อย เช่น เพื่อนคู่คิด ซึ่งมีลักษณะเป็นพื้นที่ปลอดภัยทางความคิดที่เอื้อต่อการแสดงแนวคิดและการปรับเปลี่ยนความเข้าใจของผู้เรียน

ขณะเดียวกันผลการวิจัยในครั้งนี้ ทำหน้าที่เป็นข้อมูลเชิงประจักษ์ที่ช่วยยืนยันว่า แม้ครูจะเตรียมกิจกรรมมาดีเพียงใด แต่หากผู้เรียนขาดความสามารถในการควบคุมความสนใจ กระบวนการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ย่อมเกิดขึ้นได้ยาก โดยจะเห็นได้ชัดเจนจากวงจรที่ 2 และ 3 ที่นักเรียนมักพึ่งพาคำตอบสำเร็จรูปเมื่อเผชิญกับสิ่งรบกวนดิจิทัล สอดคล้องกับแนวคิดการกำกับตนเองของ Zimmerman (2002) ที่ชี้ว่าการควบคุมกระบวนการคิดและสภาพแวดล้อมของตนเองเป็นกลไกหลักของการเรียนรู้ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ขยายความให้เห็นว่า ในบริบทห้องเรียนยุคใหม่ การสร้างพื้นที่ที่เอื้อต่อการจดจ่อ คือปัจจัยพื้นฐานที่ต้องถูกจัดกระทำควบคู่ไปกับการฝึกทักษะทางสติปัญญาเสมอ

ดังนั้น ผลการวิจัยนี้จึงเสนอกรอบและมุมมองใหม่ว่า การพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ไม่ได้เป็นผลจากการใช้กรอบการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์หรือการจัดกิจกรรมแบบสืบสอบเพียงลำพัง แต่เป็นผลจากการทำงานร่วมกันของ 3 กลไก ได้แก่ (1) การคำจูนการเรียนรู้ของครู (2) ปฏิสัมพันธ์ทางสังคมในระดับย่อย และ (3) การกำกับตนเองของผู้เรียน ซึ่งเป็นการขยายจากแนวคิดเดิมที่มักศึกษาปัจจัยเหล่านี้แยกส่วน ไปสู่การมองเป็นห้องเรียนวิทยาศาสตร์ที่มีปัจจัยแทรกซ้อนอื่น ๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้มากมาย

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะการนำผลการวิจัยไปใช้

ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า แม้ผู้เรียนจะมีความเข้าใจในเนื้อหา แต่ยังขาดทักษะการกำกับตนเอง และมักถูกรบกวนจากสื่อดิจิทัล รวมถึงการพึ่งพาปัญญาประดิษฐ์ในการหาคำตอบสำเร็จรูป ซึ่งส่งผลกระทบต่อสมาธิและการเชื่อมโยงองค์ประกอบของคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ดังนั้น ควรออกแบบสภาพแวดล้อมการเรียนรู้

ที่เอื้อต่อการจัดจ่อ โดยผสมผสานกลวิธีการตั้งคำถามเชิงโครงสร้าง ร่วมกับการสร้างปฏิสัมพันธ์ทางสังคมผ่านเทคนิคเพื่อนคู่คิด และเน้นการวัดผลที่กระบวนการสร้างคำอธิบายมากกว่าคำตอบสุดท้าย เช่น การสะท้อนคิดหรือการอธิบายปากเปล่า ควบคู่กับการใช้เทคโนโลยีอย่างรู้เท่าทัน แนวทางดังกล่าวจะช่วยยกระดับทักษะการให้เหตุผลเชิงตรรกะ ส่งเสริมการกำกับตนเอง และสนับสนุนให้ผู้เรียนสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะการทําวิจัยในครั้งต่อไป

1. จากผลการวิจัยที่พบว่า นักเรียนบางส่วนใช้ปัญญาประดิษฐ์เป็นทางลัดในการหาคำตอบ งานวิจัยในอนาคตควรศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับการออกแบบกิจกรรมที่เปลี่ยนบทบาทของปัญญาประดิษฐ์จากเครื่องมือหาคำตอบ มาเป็นเครื่องมือกระตุ้นการคิดขั้นสูง โดยเน้นกระบวนการที่ผู้เรียนต้องวิเคราะห์และตรวจสอบความสมเหตุสมผลของข้อมูลก่อนสร้างคำอธิบายด้วยตนเอง
2. จากผลการวิจัยที่พบว่า การแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างผู้เรียนในลักษณะไม่เป็นทางการมีส่วนสำคัญต่อการพัฒนาการให้เหตุผล งานวิจัยในอนาคตควรศึกษารูปแบบและกลไกการโต้แย้งเชิงวิทยาศาสตร์ที่เกิดขึ้นผ่านปฏิสัมพันธ์ดังกล่าวในระดับย่อย เพื่อให้เข้าใจวิธีการที่นักเรียนแลกเปลี่ยนและปรับปรุงองค์ประกอบของเหตุผลในสถานการณ์จริง
3. จากผลการวิจัยที่พบว่า การกำกับตนเองมีบทบาทต่อการพัฒนาคำอธิบายของผู้เรียน งานวิจัยในอนาคตควรมุ่งพัฒนาเครื่องมือหรือนวัตกรรมที่ส่งเสริมการกำกับตนเองควบคู่กับการฝึกทักษะการสร้างคำอธิบาย เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการจัดจ่อและการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองอย่างยั่งยืน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- จักรพงษ์ ปนชัย และณวรา สีสี่. (2568). การพัฒนาแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์เรื่องแก๊ส สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. *Journal of Educational Measurement Mahasarakham University*, 31(1), 121–137.
- ชาตรี ฝ่ายคำตา. (2566, 5 ตุลาคม). *บันทึกหลังสอนกับประเด็นท้าทายของครู* [โพสต์บน Facebook].
<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=699900195503041&set=pb.100064492008003.-2207520000&type=3>

ภาษาอังกฤษ

- Allen, J., & Rogers, M. P. (2015). Putting ideas on paper: Formulating scientific explanations using the claim, evidence, and reasoning (CER) framework. *Science and Children*, 53(3), 32–37.
- 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 and effectiveness*. BSCS.
- Hoffenberg, R., & Saxton, E. (2015). Scientific explanations: A comparative case study of teacher practice and student performance. *Electronic Journal of Science Education*, 19(5), Article EJ1188291. <http://ejse.southwestern.edu>
- Kemmis, S., & McTaggart, R. (1988). *The action research planner*. Deakin University Press.
- Krajcik, J., & McNeill, K. L. (2015). Designing and assessing scientific explanation tasks. In R. Gunstone (Ed.), *Encyclopedia of science education* (pp. 285–291). Springer.
- McNeill, K. L., & Krajcik, J. S. (2008). Inquiry and scientific explanations: Helping students use evidence and reasoning. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning, and teacher education* (pp. 121–134). Springer.
- McNeill, K. L., & Krajcik, J. S. (2011). *Supporting grade 5–8 students in constructing explanations in science: The claim, evidence, and reasoning framework for talk and writing*. Pearson.
- NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18290>
- Novak, A. M., & Treagust, D. F. (2022). Supporting the development of scientific understanding when constructing an evolving explanation. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 4(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s43031-021-00042-2>
- Osborne, J., Erduran, S., & Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994–1020.
- Romine, W. L., Lannin, A., Agarwal, A., Kareem, M., & Burwell, E. (2023, April). Measuring claim–evidence–reasoning using scenario-based assessments grounded in real-world issues [Conference presentation]. NARST 2023 Annual International Conference. <https://corescholar.libraries.wright.edu/biology/899>

- Stahl, N. A., & King, J. R. (2020). Expanding approaches for research: Understanding and using trustworthiness in qualitative research. *Journal of Developmental Education*, 44(1), 26–28.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: Development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory Into Practice*, 41(2), 64–70. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4102_2