

Research article

การพัฒนาสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ เรื่อง พอลิเมอร์ เพื่อส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทาง
วิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

DEVELOPMENT OF ONLINE INTERACTIVE SIMULATION MEDIA ON POLYMERS TO
PROMOTE SCIENTIFIC EXPLANATION SKILLS OF GRADE 12 STUDENTS

ธนพัฒน์ ทับไธสง*

Thanaphat Tabthaisong*

t.tabthasong@gmail.com*

โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย มุกดาหาร จังหวัดมุกดาหาร 49000 ประเทศไทย

Princess Chulabhorn Science High School Mukdahan, Mukdahan 49000 Thailand

Journal of Industrial Education. 2025, Vol. 24 (No. 3), <https://doi.org/10.55003/JIE.24309>

Received: December 1, 2025, | Revised: December 19, 2025, | Accepted: December 22, 2025

Citation reference :

Tabthaisong T. (2025). Development of online interactive simulation media on polymers to promote scientific explanation skills of grade 12 students. *Journal of Industrial Education*, 24(3), 65-78.

ABSTRACT

The development of online interactive simulation media on polymers is to promote scientific explanation skills of grade 12 students. This research was to develop an online interactive simulation learning media that enables students to collaboratively access and participate through the Internet by applying Open AI and Canva AI to promote scientific explanation skills on the topic of polymers, with instructional efficiency meeting; to compare the scientific explanation skills of grade 12 students after learning through the online interactive simulation; to investigate the learning progress of grade 12 students who learned through the online interactive simulation; and to examine students' satisfaction toward learning through the online interactive simulation learning media. The participants were 72 Grade 12 students, selected using a cluster random sampling method. The research instruments consisted of: (1) the online interactive simulation media comprising four learning scenarios, (2) a scientific explanation skills assessment consisting of five situational tasks, each containing three open-ended questions aligned with the components of scientific explanation skills, totaling 15 items with a maximum score of 45 points, and (3) a satisfaction questionnaire using a five-point Likert scale with 15 items. The data were analyzed using mean, percentage, standard deviation, normalized gain (<g>), and One-sample t-test statistics. The findings revealed that the online interactive simulation media on polymers demonstrated an effectiveness index (E_1/E_2) of 83.72/89.97, meeting the established criteria. After participating in the learning activities, students' overall and component-based scientific explanation skills were significantly higher than the 80% benchmark. The students' overall learning progress was at a high level, with two scenarios classified as high and two as moderate. Moreover, students expressed the highest level of satisfaction with learning through the online interactive simulation media on polymers, both overall and across individual scenarios.

*Corresponding author E-mail: t.tabthasong@gmail.com

Keywords: Online interactive simulation media, Scientific explanation skills, Claim-evidence-reasoning, Polymers concepts, Upper secondary science education

บทคัดย่อ

การพัฒนาสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ เรื่อง พอลิเมอร์ เพื่อส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในการพัฒนาสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์บนระบบออนไลน์ เรื่อง พอลิเมอร์ ที่นักเรียนสามารถเข้าถึงร่วมกันผ่านอินเทอร์เน็ต โดยการประยุกต์ใช้ Open AI และ Canva AI ในการส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพ เปรียบเทียบความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังจัดการเรียนรู้ ศึกษาค้นคว้าหาหนทาง การเรียนของนักเรียน และ ศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 72 คน ได้มาโดยการสุ่มแบบกลุ่ม เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ (1) สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ จำนวน 4 สถานการณ์ (2) แบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เป็นแบบอัตนัยเขียนตอบตามโจทย์ สถานการณ์ จำนวน 5 สถานการณ์ สถานการณ์ละ 3 ข้อคำถามตามองค์ประกอบของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ คำถามละ 3 คะแนน รวม 15 ข้อ คิดเป็น 45 คะแนน และ 3) แบบสอบถามความพึงพอใจ เป็นมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ จำนวน 15 ข้อ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน Normalized gain และ One-sample t-test ผลการศึกษาพบว่าสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ เรื่อง พอลิเมอร์ มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ E_1/E_2 เท่ากับ 83.72/89.97 หลังจัดการเรียนรู้ นักเรียนมีความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์โดยรวมและรายองค์ประกอบสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนโดยรวมอยู่ในระดับสูง แยกเป็นรายสถานการณ์มี 2 สถานการณ์ที่อยู่ในระดับสูงและ 2 สถานการณ์ที่อยู่ในระดับปานกลาง และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อการเรียนโดยใช้สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ เรื่อง พอลิเมอร์ โดยรวมและรายสถานการณ์ในระดับมากที่สุด

คำสำคัญ: สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์, การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์, ข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผล, พอลิเมอร์, การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษา

1. บทนำ

การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21 มุ่งเน้นให้นักเรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านการลงมือปฏิบัติและการสืบสอบทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งทักษะการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (Scientific explanation) เป็นหัวใจสำคัญที่ช่วยให้นักเรียนเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างหลักฐานและเหตุผลได้อย่างมีระบบ โดยกระบวนการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ (1) ข้อกล่าวอ้าง (Claim) คือ ข้อสรุปที่นักเรียนเสนอเพื่อตอบคำถามทางวิทยาศาสตร์ (2) หลักฐาน (Evidence) คือ ข้อมูลหรือผลการทดลองที่สนับสนุนข้อกล่าวอ้าง และ (3) การใช้เหตุผล (Reasoning) ซึ่งเชื่อมโยงหลักฐานกับข้อกล่าวอ้างด้วยหลักการหรือทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ (McNeill & Krajcik, 2008, pp. 121-134) การฝึกให้นักเรียนสร้างคำอธิบายตามกระบวนการดังกล่าวช่วยพัฒนาให้ผู้เรียนมีความสามารถในการคิดวิเคราะห์อย่างมีเหตุผล รู้จักใช้หลักฐานเชิงประจักษ์ในการอธิบายปรากฏการณ์ เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางวิทยาศาสตร์ และสามารถสื่อสารแนวคิดของตนเองอย่างมีตรรกะและน่าเชื่อถือ ทั้งยังเป็นทักษะสำคัญที่สอดคล้องกับมาตรฐานการเรียนรู้กลุ่มสาระวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (Office of the Basic Education Commission, 2020, pp. 4-5) ที่มุ่งพัฒนาให้ผู้เรียนสามารถใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการอธิบายปรากฏการณ์อย่างมีเหตุผลและนำไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้มีดำเนินการผ่านแนวทางการจัดการเรียนรู้หลากหลายรูปแบบ ตัวอย่างเช่น การเรียนรู้แบบสืบเสาะ (Inquiry-based Learning), การเรียนรู้แบบอธิบายและให้เหตุผล (Claim-Evidence-Reasoning: CER) และการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา (STEM education) ซึ่งช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้จากการตั้งคำถาม การรวบรวมหลักฐาน และการใช้เหตุผลอย่างมีระบบ (Osborne & Patterson, 2011, pp. 627-638) Diola et al. (2025, pp. 203-214) พบว่าการใช้กรอบแนวคิด CER ในการสอนช่วยให้นักเรียนสามารถอธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีเหตุผลและสอดคล้องกับหลักฐาน ขณะที่ Faize et al. (2018, pp. 475-483) รายงานว่าการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการโต้แย้งเชิงวิทยาศาสตร์ (Scientific argumentation) ทำให้ผู้เรียนเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเชิงประจักษ์กับข้อสรุปได้ดียิ่งขึ้น ในบริบทประเทศไทยได้นำแนวคิดดังกล่าวมาปรับใช้ในการพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษา เช่น Aungchan and Worakham (2023, pp. 84-94) ใช้กระบวนการสืบเสาะร่วมกับกิจกรรมเชิงสถานการณ์เพื่อฝึกให้นักเรียน

อธิบายปรากฏการณ์อย่างมีเหตุผล พบว่านักเรียนมีทักษะการใช้หลักฐานและเหตุผลสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติส่วน Kamfukfon and Naruponjirakul (2023, pp. 29-42) นำแนวทางการเรียนรู้แบบ CER มาใช้ในการสอนวิชาวิทยาศาสตร์ พบว่า ผู้เรียนสามารถสร้างข้ออ้างและเชื่อมโยงหลักฐานได้อย่างถูกต้องมากขึ้น และมีทักษะการคิดวิเคราะห์ที่ดีขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งสะท้อนว่าการพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์สามารถบรรลุผลได้ทั้งจากกิจกรรมสืบเสาะ การเรียนรู้เชิงอธิบาย และกระบวนการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์

กิจกรรมการทดลองจริงถือเป็นแนวทางสำคัญที่ช่วยพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เพราะผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง เห็นผลของการเปลี่ยนแปลง และเชื่อมโยงข้อมูลเชิงประจักษ์กับหลักการทางทฤษฎี (Chinn & Malhotra, 2002, pp. 175-218) ซึ่งส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และเหตุผลได้อย่างเป็นระบบ อย่างไรก็ตาม การทดลองจริงในชั้นเรียนมักมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ข้อจำกัดด้านเวลา อุปกรณ์ไม่เพียงพอ ความปลอดภัยของผู้เรียน รวมถึงความยากในการควบคุมตัวแปรให้ได้ผลลัพธ์ที่ชัดเจน ทำให้ผู้เรียนบางคนไม่สามารถสังเกตปรากฏการณ์หรือเข้าใจกลไกเชิงลึกของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างครบถ้วน ดังนั้นสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ (Interactive simulation) จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในการแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว โดยช่วยจำลองสถานการณ์หรือการทดลองที่ซับซ้อนให้ผู้เรียนสามารถสังเกตปรับเปลี่ยนตัวแปร และเห็นผลได้ทันทีอย่างปลอดภัย อีกทั้งยังช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจแนวคิดเชิงนามธรรมผ่านการมีปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองได้อย่างเป็นรูปธรรม (Rutten et al., 2012, pp. 136-153) ตัวอย่างเช่น PhET interactive simulations ของมหาวิทยาลัยโคโลราโด ซึ่งใช้จำลองการทดลองทางเคมี ฟิสิกส์ และชีววิทยา เพื่อให้นักเรียนสร้างคำอธิบายจากการทดลองเสมือนจริงได้อย่างเป็นเหตุเป็นผล หรือ Scratch simulation ที่ใช้สร้างสถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบในการเรียนรู้คลื่นและแสง พบว่าช่วยให้ผู้เรียนสามารถอธิบายเรื่องคลื่นและแสงได้อย่างเข้าใจมากขึ้น (Bunrangsri, 2025, p. 136) โดยเฉพาะในปัจจุบันเทคโนโลยีดิจิทัลได้พัฒนาไปสู่การสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริงที่ผู้เรียนสามารถเข้าร่วมได้ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่เรียกว่า จักรวาลกฤตภูมิเพื่อการศึกษา (Educational metaverse) โดยสภาพแวดล้อมดังกล่าวเปิดโอกาสให้ผู้เรียนสามารถมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้แบบจำลองเสมือนจริง (Virtual simulation) ผ่านระบบออนไลน์ในลักษณะมีปฏิสัมพันธ์กับวัตถุและเนื้อหาได้เสมือนอยู่ในสถานการณ์จริง (Lakul et al., 2025, p. 27) การใช้สื่อเหล่านี้จึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการส่งเสริมทักษะการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ให้พัฒนาได้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น ดังตัวอย่างการศึกษาของ Jitpraserta et al. (2022, p. 36) พบว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ในระดับสมบูรณ์บางส่วน และ Chotimuk (2022, p. 100) พบว่านักเรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมสืบเสาะร่วมกับห้องปฏิบัติการเสมือนจริงมีความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดี และมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 75 อย่างมีนัยสำคัญ จากตัวอย่างงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์มีความสำคัญต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียน โดยเฉพาะในเนื้อหาฟิสิกส์ที่มีลักษณะเป็นนามธรรม ต้องอาศัยการเชื่อมโยงระดับโครงสร้างโมเลกุล สมบัติ และการประยุกต์ใช้ในชีวิตจริง นักเรียนจำนวนมากจึงประสบปัญหาในการอธิบายความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลของเนื้อหาได้ไม่ครบถ้วน ซึ่งสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์เป็นเครื่องมือที่ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์บนระบบออนไลน์ เรื่อง ฟิสิกส์ ที่นักเรียนสามารถเข้าถึงร่วมกันผ่านอินเทอร์เน็ต โดยการประยุกต์ใช้ Open AI และ Canva AI ในการส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ E_1/E_2 เท่ากับร้อยละ 80/80 (2) เปรียบเทียบความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 หลังจัดการเรียนรู้ด้วยสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์กับเกณฑ์ร้อยละ 80 (3) ศึกษาความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่จัดการเรียนรู้ด้วยสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ และ (4) ศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่มีต่อการเรียนโดยใช้สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ เรื่อง ฟิสิกส์

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเกี่ยวกับการใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงหรือสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ในการจัดการเรียนรู้ที่ผ่านมามีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนามโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์และทักษะทางวิทยาศาสตร์หลากหลายด้าน ทั้งการคิดวิเคราะห์ การสืบสอบทางวิทยาศาสตร์ และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยสามารถจำแนกได้เป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่ 1 คือ การนำสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ที่มีอยู่แล้วมาใช้จัดการเรียนรู้ เช่น PhET interactive simulations, Yenka เป็นต้น ตัวอย่างงานวิจัยของ Soruttayatorn and Jantakoon (2022, pp. 15-26) ได้สร้างกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบสอบร่วมกับห้องทดลองเสมือน พบว่ากิจกรรมมีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 75/75 และผู้เรียนมีมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วน Singhasena (2022, pp. 118-119) ได้พัฒนาและทดลองใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์

จำลองเสมือนจริงทางวิทยาศาสตร์บนแพลตฟอร์มออนไลน์เพื่อพัฒนาสมรรถนะการสืบสอบทางวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มทดลองมีสมรรถนะการสืบสอบสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับ Nirutmeteekul and Thongdaenglua (2023, pp. 39-51) ใช้วัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้นร่วมกับสถานการณ์จำลองแบบมีปฏิสัมพันธ์ พบว่านักเรียนมีโมโนมิติทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างชัดเจน ซึ่งการนำสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ที่มีอยู่แล้วมาใช้ในการเรียนรู้มีข้อดี คือ ประหยัดเวลาและทรัพยากร สื่อผ่านการทดสอบและใช้งานจริงจึงมีความเสถียรและมาตรฐาน อีกทั้งเข้าถึงง่ายและนำไปใช้ได้ทันที แต่มีข้อจำกัดที่สำคัญ คือ อาจไม่ตรงกับบริบทผู้เรียนและเนื้อหาไม่สอดคล้องกับหลักสูตร รูปแบบที่ 2 คือ สร้างและพัฒนาสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์มาใช้ในการเรียนรู้เองด้วยโปรแกรมต่าง ๆ ตัวอย่างเช่นงานวิจัยของ Singsuk (2022, pp. 111-112) ได้พัฒนาห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงบนโมไบล์ร่วมกับการเรียนรู้แบบผสมผสาน พบว่านักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด ส่วน Jantakun and Jantakun (2024, pp. 85-97) ได้พัฒนารูปแบบการเรียนรู้ปฏิสัมพันธ์ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริงตามแนวสะเต็มศึกษา ซึ่งได้รับการประเมินว่ามีคุณภาพในระดับสูงและเหมาะสมต่อการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 และ Bunrangsri (2025, pp. 124-136) ที่พัฒนาสื่อการทดลองเสมือนจริงเรื่อง คลื่นและแสงด้วยโปรแกรม Scratch พบว่าสื่อมีประสิทธิภาพ 83.07/82.67 และผู้เรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงเพิ่มขึ้น พร้อมทั้งมีความพึงพอใจในระดับมาก ซึ่งการสร้างและพัฒนาสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์มาใช้ในการเรียนรู้เองมีข้อดี คือ สื่อสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้ ตรงตามหลักสูตร สามารถออกแบบสื่อให้ตรงกับตัวชี้วัดหรือทักษะเป้าหมาย เช่น การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ อีกทั้งสามารถปรับระดับความยาก ความลึก และลำดับกิจกรรมได้ตรงกับบริบทผู้เรียน แต่มีข้อจำกัด คือ ใช้เวลาและทรัพยากรมาก ต้องมีความรู้และทักษะด้านเทคโนโลยี และอาจเกิดข้อจำกัดด้านความเสถียรหรือความสมจริง

การศึกษาที่ผ่านมาสะท้อนให้เห็นศักยภาพของการใช้สถานการณ์จำลองและเทคโนโลยีเสมือนจริงในการสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ที่สอดคล้องกับบริบทการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 แต่งานวิจัยส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นผลลัพธ์ด้านทักษะกระบวนการหรือโมโนทัศน์มากกว่าการพัฒนาทักษะการอธิบายเชิงเหตุผลอย่างเป็นระบบ โดยทักษะการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ คือความสามารถของนักเรียนในการเสนอข้อสรุป (Claim) ที่อธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้หลักฐาน (Evidence) จากการสังเกตหรือการทดลอง และเชื่อมโยงหลักฐานดังกล่าวกับหลักการหรือทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ด้วยเหตุผลเชิงตรรกะ (Reasoning) ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เชิงลึก (McNeill & Krajcik, 2012, pp. 15-18) ซึ่งมีความสำคัญต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เนื่องจากช่วยให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงข้อเท็จจริง หลักฐาน และเหตุผลอย่างมีตรรกะ อีกทั้งยังส่งเสริมการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 อื่น ๆ เช่น การคิดวิเคราะห์ การคิดอย่างมีวิจารณญาณ และการคิดเชิงระบบ เป็นต้น งานวิจัยของ Jitpraserta et al. (2022, pp. 29-36) ได้ศึกษาความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง พบว่าการจัดการเรียนรู้รูปแบบนี้ช่วยส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้ในระดับสมบูรณ์บางส่วน และ Chotimuk (2022, pp. 100-101) ได้พัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับห้องปฏิบัติการเสมือนจริง พบว่านักเรียนมีความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดี และมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 75 อย่างมีนัยสำคัญ ผลการวิจัยดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์สามารถส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนให้สูงขึ้นได้ จากการทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยในครั้งนี้ใช้แนวคิดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของ McNeill and Krajcik (2012, pp. 19-27) และแนวคิดการสร้างและพัฒนาสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ของ de Jong et al. (2013, pp. 306-307) ซึ่งกล่าวว่าสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์มีศักยภาพสูงในการส่งเสริมกระบวนการเรียนรู้ของนักเรียน โดยต้องมีการออกแบบกิจกรรมและโครงสร้างที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดผลการเรียนรู้ที่มีคุณภาพ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยมีรูปแบบการวิจัยแบบกลุ่มเดียววัดผลหลังการทดลอง (One group posttest only design) (Warakham, 2015, p. 292)

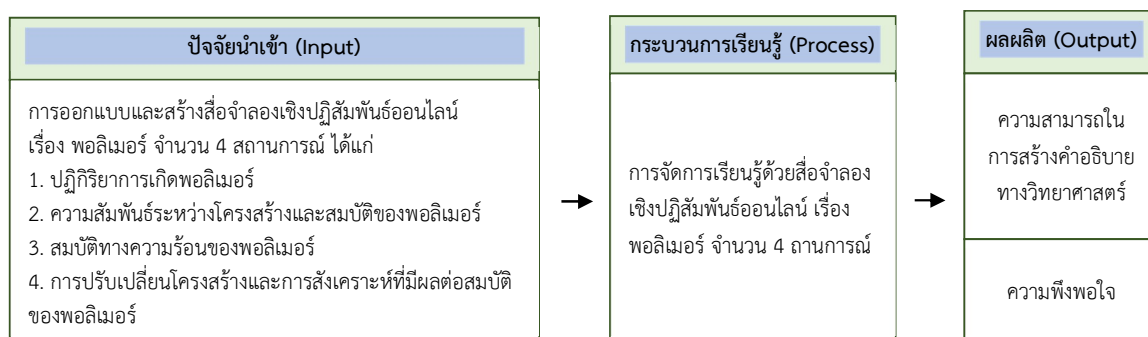
แบบแผนการวิจัย : (R)	X	O	(1)
C			

โดย (R) คือ กลุ่มตัวอย่างที่ได้มาโดยการสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster sampling)
X คือ จัดการเรียนรู้ด้วยสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ เรื่อง พอลิเมอร์ กับกลุ่มตัวอย่าง
O คือ วัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ และประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่าง
C คือ การควบคุมตัวแปรแทรกซ้อน ได้แก่ การใช้เนื้อหาในสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ที่นักเรียนยังไม่เคยได้เรียนมา ก่อน การใช้สถานการณ์หรือปรากฏการณ์ที่นักเรียนเคยมีประสบการณ์มาก่อน
โดยผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตการวิจัย กรอบแนวคิดการวิจัย และขั้นตอนการวิจัย ดังนี้

3.1 ขอบเขตการวิจัย

1. ประชากรที่ใช้ในการวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 6 ห้อง ห้องละ 24 คน รวม 144 คนที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2568 จากโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารณราชวิทยาลัย มุกดาหาร อำเภอเมืองมุกดาหาร จังหวัดมุกดาหาร เนื่องจากเป็นโรงเรียนที่จัดการศึกษาสำหรับนักเรียนที่มีศักยภาพสูงหรือมีความสามารถพิเศษทางด้านวิทยาศาสตร์ เพื่อพัฒนานักเรียนให้มีพื้นฐานของการเป็นนักวิจัยและนักประดิษฐ์คิดค้น ซึ่งใช้เป็นต้นแบบในการยกระดับคุณภาพการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ให้กับโรงเรียนอื่น ๆ ในแต่ละส่วนภูมิภาคของประเทศไทย
2. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 3 ห้อง ห้องละ 24 คน รวม 72 คนที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2568 จากโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารณราชวิทยาลัย มุกดาหาร อำเภอเมืองมุกดาหาร จังหวัดมุกดาหาร ได้มาโดยการสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster sampling)
3. เนื้อหาสาระเพิ่มเติมเคมี เรื่อง พอลิเมอร์ ผลการเรียนรู้ ม.6 ข้อ 11-15 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2561) และหลักสูตรโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารณราชวิทยาลัย พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2566)
4. ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง
 - ตัวแปรต้น คือ สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ เรื่อง พอลิเมอร์
 - ตัวแปรตาม คือ ความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ และความพึงพอใจ

3.2 กรอบแนวคิดการวิจัย



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

จากแผนผังกรอบแนวคิดในการวิจัย ได้ออกแบบและสร้างสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ เรื่อง พอลิเมอร์ จำนวน 4 สถานการณ์ เป็นปัจจัยนำเข้า (Input) เข้าสู่กระบวนการเรียนรู้ (Process) ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ เรื่อง พอลิเมอร์ และประเมินประสิทธิภาพของสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ เพื่อให้เกิดผลผลิต (Output) ได้แก่ ความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ และความพึงพอใจของนักเรียน

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย มีรายละเอียดดังนี้

1. สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ ออกแบบและสร้างสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ที่ผู้เรียนสามารถเข้าร่วมเรียนรู้ได้ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จำนวน 4 สถานการณ์ ตามแนวคิดของ de Jong et al. (2013, pp. 306–307) ด้วยการใช้ Prompt ที่เหมาะสมจากการศึกษา สังเคราะห์มาตรฐานสาระการเรียนรู้ ตัวชี้วัด และสาระการเรียนรู้แกนกลางตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) และหลักสูตรโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารณราชวิทยาลัย พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2566) เพื่อให้ ChatGPT Open AI สร้างโค้ดสำหรับการสร้างสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ ตามโครงสร้าง Prompt (Hernández et al., 2024, pp. 49–69) ดังสมการ (2)

Prompt = Task + Context + Instruction/Constraints + Output format + Style/Tone (2)

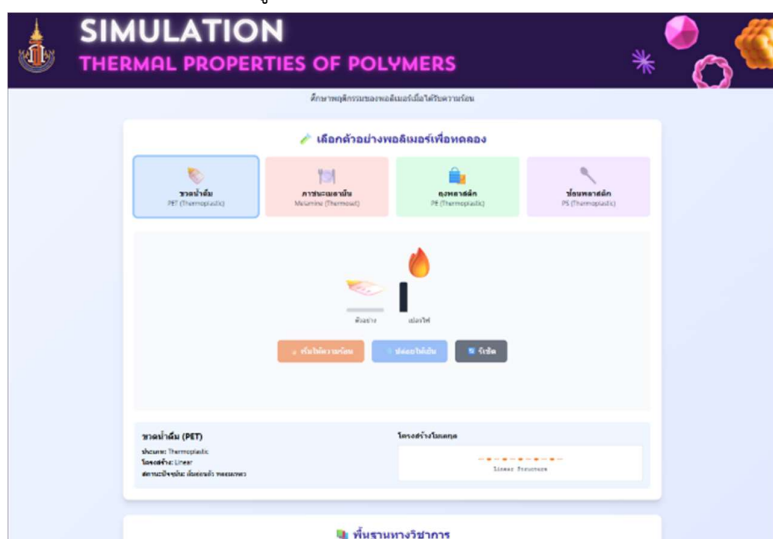
Prompt = สิ่งที่ต้องการให้ AI ทำ + ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับบริบท + รูปแบบผลลัพธ์ + โทนภาษาที่ต้องการ

เมื่อใช้ Prompt ตามโครงสร้างดังกล่าว จะได้ Prompt ที่มีรายละเอียดสำหรับให้ ChatGPT Open AI สร้างโค้ดสำหรับการสร้างสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ ดังตัวอย่างสถานการณ์สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 โครงสร้าง Prompt สร้างโค้ดสำหรับสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ สถานการณ์สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์

โครงสร้าง Prompt	รายละเอียด
Task	ออกแบบสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์บนระบบออนไลน์ที่ผู้เรียนเข้าถึงบนอินเทอร์เน็ต เรื่อง สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์
Context	สื่อนี้ใช้ในการเรียนการสอนรายวิชา พอลิเมอร์และไฟฟ้าเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจ (1) การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของพอลิเมอร์ประเภทเทอร์มอพลาสติกและพลาสติกเทอร์มอเซตเมื่อสัมผัสความร้อน (2) การเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของพอลิเมอร์ประเภทเทอร์มอพลาสติกและพลาสติกเทอร์มอเซตเมื่อสัมผัสความร้อน และ (3) ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างของพอลิเมอร์ประเภทเทอร์มอพลาสติกและพลาสติกเทอร์มอเซตกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพเมื่อสัมผัสความร้อน
Instruction/Constraints	ให้สร้างสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ที่ในโครงสร้างมี 4 สถานการณ์ ได้แก่ 1. การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของพอลิเมอร์ประเภทเทอร์มอพลาสติกและพลาสติกเทอร์มอเซตเมื่อสัมผัสความร้อน 2. การเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของพอลิเมอร์ประเภทเทอร์มอพลาสติกและพลาสติกเทอร์มอเซตเมื่อสัมผัสความร้อน โดยในแต่ละสถานการณ์ให้ผู้เรียนสามารถปรับตัวแปร (เช่น อุณหภูมิ ชนิดพอลิเมอร์ เป็นต้น) ผ่านปุ่ม และเห็นผลการเปลี่ยนแปลงแบบเรียลไทม์ให้มีภาพเคลื่อนไหวของโครงสร้างโมเลกุล ที่เปลี่ยนไปตามตัวแปร และมีคำอธิบายภาษาไทยสั้น ๆ แสดงผลลัพธ์ของการทดลองเสมือนจริง จำกัดระยะเวลาการเรียนรู้ในแต่ละสถานการณ์ไม่เกิน 5 นาที และสามารถทำซ้ำได้
Output format	ให้แสดงออกมาในรูปแบบของ Simulation ที่ประกอบด้วย (1) เนื้อหาที่ปรากฏ (2) ปุ่มหรือวัตถุที่ผู้เรียนสามารถกดได้ (3) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น
Style/Tone	ใช้โทนการนำเสนอที่เป็น เชิงการศึกษา เข้าใจง่าย สื่อสารด้วยภาษาไทยชัดเจน ดีไซน์ให้มีความ ทันสมัย สีสันสดใสแต่ไม่รกจนสายตา และเน้นการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วมเหมาะสำหรับการนำไปใช้สร้างใน Canva AI ด้านการออกแบบสื่อการสอน

จากนั้นนำโค้ดที่ได้ไปใช้สร้างสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ใน Canva AI จะได้สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ดังตัวอย่างสถานการณ์สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ สถานการณ์สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์

ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดประเมินผล ด้านการสอนและด้านเนื้อหา จำนวน 5 ท่าน ผลการประเมินพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.78 – 0.86 ทำการปรับปรุงแก้ไขตามที่ผู้เชี่ยวชาญแนะนำ จากนั้นนำไปทดลองใช้ (Try out) และหาประสิทธิภาพของสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ตามเกณฑ์ E_1/E_2 มีค่าเท่ากับ 83.72/89.97

2. แบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ได้ศึกษาเอกสารและวิเคราะห์ความหมาย ตัวชี้วัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในแต่ละองค์ประกอบตามแนวคิดของ McNeill and Krajcik (2012, pp. 19–27) แล้วสร้างแบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบทดสอบอัตนัยเขียนตอบโดยมีโจทย์สถานการณ์ จำนวน 5 สถานการณ์ สถานการณ์ละ 3 ข้อคำถาม วัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์องค์ประกอบละ 1 คำถาม ได้แก่ (1) ข้อกล่าวอ้าง (2) หลักฐาน และ (3) การให้เหตุผล คำถามละ 3 คะแนน รวม 15 ข้อ คิดเป็น 45 คะแนน จากนั้นนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน ประเมินความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับพฤติกรรมที่วัด ผลการประเมินพบว่ามีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.72 – 0.91 โดยทำการปรับปรุงแก้ไขแบบวัดตามจากผู้เชี่ยวชาญแนะนำ แล้วนำไปทดลองใช้ (Try out) เมื่อวิเคราะห์แบบวัดพบว่ามีความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.39 – 0.65 ค่าอำนาจจำแนก (Item total correlation) อยู่ระหว่าง 0.76 – 0.84 และค่าความเชื่อมั่น (Reliability) โดยการหาค่า Cronbach's alpha มีค่าเท่ากับ 0.94

3. แบบสอบถามความพึงพอใจ ได้ศึกษาเอกสารและสร้างแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนด้วยสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ ซึ่งเป็นมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด แล้วนำแบบสอบถามความพึงพอใจไปให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน ประเมิน โดยผลการประเมินพบว่ามีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.81 – 0.98 แล้วทำการปรับปรุงแก้ไขแบบวัดตามจากผู้เชี่ยวชาญแนะนำ

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

1. ดำเนินการจัดการเรียนรู้โดยใช้สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ กับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 72 คน โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 24 คน โดยให้นักเรียนแต่ละกลุ่มเรียนรู้ระบบออนไลน์ผ่านอินเทอร์เน็ต จำนวน 4 สถานการณ์ เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง ในระหว่างจัดการเรียนรู้แต่ละสถานการณ์ ทำการวัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียน ก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้แบบฝึกหัด ซึ่งเป็นแบบอัตนัยเขียนตอบ โดยมีโจทย์สถานการณ์ จำนวน 1 สถานการณ์ สถานการณ์ละ 3 ข้อคำถาม วัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์องค์ประกอบละ 1 คำถาม ได้แก่ (1) ข้อกล่าวอ้าง (2) หลักฐาน และ (3) การให้เหตุผล คำถามละ 3 คะแนน รวม 3 ข้อ คิดเป็น 9 คะแนน และทำการวัดความรู้ในเนื้อหาของนักเรียนโดยใช้แบบฝึกหัดหลังเรียน ซึ่งเป็นแบบปรนัยเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 10 ข้อ (E_1)

2. หลังจัดการเรียนรู้ครบ 4 สถานการณ์ วัดความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้แบบวัดการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (E_2)

3. ให้กลุ่มตัวอย่างทำแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการเรียนโดยใช้สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติต่าง ๆ ดังนี้

1. หาประสิทธิภาพของสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ โดยการหาค่าประสิทธิภาพตามเกณฑ์ E_1/E_2 โดย E_1 (ประสิทธิภาพของกระบวนการ) วิเคราะห์จากคะแนนแบบฝึกหัดหลังเรียนในสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ทั้ง 4 สถานการณ์ และ E_2 (ประสิทธิภาพของผลลัพธ์) วิเคราะห์จากคะแนนความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้ค่าสถิติ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. วิเคราะห์คะแนนความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้ค่าสถิติ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของกลุ่มตัวอย่างกับเกณฑ์ร้อยละ 80 โดยใช้สถิติ One-sample t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น เท่ากับ .95

3. วิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียน (Normalized gain: $<g>$) ของกลุ่มตัวอย่าง โดยคำนวณจากสมการ (3)

$$\text{Normalized gain } <g> = \frac{\text{Posttest-Pretest}}{\text{Total-Pretest}} \quad (3)$$

โดย Pretest	คือ	คะแนนความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนก่อนเรียน จากแบบฝึกหัด ในแต่ละสถานการณ์จำลอง
Posttest	คือ	คะแนนความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังเรียน จากแบบฝึกหัด ในแต่ละสถานการณ์จำลอง
Total	คือ	คะแนนเต็มของแบบฝึกหัด ในแต่ละสถานการณ์จำลอง

และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ระดับความก้าวหน้า 3 ระดับ ตาม Kamcharean and Kuadnok (2022, pp. 56) ได้แก่ ระดับสูง (ค่ามากกว่า 0.70) หมายถึง นักเรียนมีความก้าวหน้าในการเรียนรู้ในระดับสูงมาก สามารถพัฒนาความรู้หรือทักษะได้เกินกว่าร้อยละ 70 ของศักยภาพที่ควรจะได้จากการจัดการเรียนรู้ แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมหรือสื่อที่ใช้มีประสิทธิภาพสูงในการส่งเสริมการเรียนรู้ และนักเรียนสามารถปรับเปลี่ยนความเข้าใจหรือทักษะจากก่อนเรียนได้อย่างชัดเจน ระดับปานกลาง (ค่าอยู่ระหว่าง 0.30 - 0.70) หมายถึง นักเรียนมีความก้าวหน้าในการเรียนรู้ในระดับปานกลาง สามารถพัฒนาความรู้หรือทักษะได้บางส่วนตามเป้าหมายการเรียนรู้ แสดงว่าสื่อหรือกิจกรรมการเรียนรู้ช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ได้ในระดับที่น่าพอใจ แต่ยังมีบางประเด็นที่นักเรียนอาจต้องได้รับการเสริมแรงหรือการสนับสนุนเพิ่มเติม และระดับต่ำ (ค่าน้อยกว่า 0.30) หมายถึง นักเรียนมีความก้าวหน้าในการเรียนรู้ในระดับต่ำ การพัฒนาความรู้หรือทักษะจากก่อนเรียนไปหลังเรียนมีน้อย แสดงว่าสื่อหรือกิจกรรมที่ใช้ยังไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของนักเรียนได้อย่างเพียงพอ หรือนักเรียนอาจมีข้อจำกัดด้านพื้นฐานความรู้ แรงจูงใจ หรือเงื่อนไขในการเรียนรู้

4. วิเคราะห์คะแนนความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อการเรียน โดยใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ ของ Prommanee et al. (2020, pp. 59-66) คือ พึงพอใจมากที่สุด (4.51 - 5.00) พึงพอใจมาก (3.51 - 4.50) พึงพอใจปานกลาง (2.51 - 3.50) พึงพอใจน้อย (1.51 - 2.50) และพึงพอใจน้อยที่สุด (1.00 - 1.50)

4. ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ เรื่อง พอลิเมอร์ จำนวน 4 สถานการณ์ โดยการประสิทธิภาพของกระบวนการต่อประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_1/E_2) เทียบกับเกณฑ์ที่ร้อยละ 80/80 ผลการประเมินประสิทธิภาพ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพของสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์

ประสิทธิภาพ	คะแนนเต็ม	$\bar{X}$	SD	ร้อยละ
1. ประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1)	40	33.49	0.90	83.72
1.1 ปฏิบัติการเกิดพอลิเมอร์	10	8.15	0.92	81.53
1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์	10	8.32	1.03	83.20
1.3 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์	10	8.43	0.77	84.27
1.4 การปรับเปลี่ยนโครงสร้างและการสังเคราะห์ที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์	10	8.59	0.87	85.88
2. ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2)	45	40.49	0.46	89.97
ประสิทธิภาพ (E_1/E_2) เท่ากับ 83.72/89.97				

จากตารางที่ 2 สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์มีประสิทธิภาพของกระบวนการ (E_1) ร้อยละ 83.72 เมื่อแยกพิจารณาเป็นรายสถานการณ์ พบว่าสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ทั้ง 4 สถานการณ์มีประสิทธิภาพสูงกว่าร้อยละ 80 และประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E_2) มีค่าเท่ากับร้อยละ 89.97 ดังนั้นประสิทธิภาพตามเกณฑ์ E_1/E_2 จึงเท่ากับ 83.72/89.97 ซึ่งมากกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ดังนั้นสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์จึงมีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

เมื่อนำสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างในรายวิชา พอลิเมอร์และไฟฟ้าเคมี พบว่านักเรียนมีความสนใจและมีส่วนร่วมในการเรียนรู้มากขึ้นอย่างชัดเจน นักเรียนสามารถใช้สื่อร่วมกันบนระบบออนไลน์ผ่านอินเทอร์เน็ตเพื่อทดลองปรับเปลี่ยนตัวแปร และสังเกตผลการเปลี่ยนแปลงของพอลิเมอร์ทั้งทางกายภาพและภายในโครงสร้างได้ด้วยตนเองและมีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างการใช้สื่อ ทำให้เข้าใจแนวคิดเรื่องโครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์ทางความร้อนได้อย่างเป็นรูปธรรม สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ช่วยลดข้อจำกัดของการทดลองจริงที่ไม่สามารถแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงภายในโครงสร้างของพอลิเมอร์ได้ และนักเรียนสามารถทบทวนการทดลองได้หลายครั้งจนเกิดความเข้าใจที่ถูกต้องมากขึ้น นอกจากนี้ บรรยากาศในชั้นเรียนมีความสนุกสนานและนักเรียนได้ร่วมมือกันวิเคราะห์ผลการทดลองและแลกเปลี่ยนความคิดเห็น สามารถแสดงบรรยากาศการใช้สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่างการใช้สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ประกอบการเรียนรู้ของนักเรียน

2. ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังจัดการเรียนรู้ด้วยสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์กับเกณฑ์ร้อยละ 80 โดยใช้ One-sample t-test ผลปรากฏดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 80

การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์	คะแนนเต็ม	$\bar{X}$	SD	%	df	t	p-value
ข้อกล่าวอ้าง	15	13.54	0.54	90.28	71	4.83	0.00*
หลักฐาน	15	14.31	0.35	95.37		11.23	0.00*
การให้เหตุผล	15	12.64	0.50	84.26		2.16	0.02*
เฉลี่ย	45	40.49	0.46	89.97		8.55	0.00*

* นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 3 พบว่าความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์หลังการจัดการเรียนรู้ของนักเรียน มีค่าเท่ากับ 40.49 คิดเป็นร้อยละ 89.97 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อแยกวิเคราะห์เป็นรายองค์ประกอบของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ พบว่าหลังจัดการเรียนรู้ นักเรียนมีความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในองค์ประกอบข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผล เท่ากับ 13.54, 14.31 และ 12.64 คิดเป็นร้อยละ 90.28, 95.37 และ 84.26 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. ผลการศึกษาความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียนที่จัดการเรียนรู้ด้วยสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ เรื่อง พอลิเมอร์ โดยการวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียน (Normalized gain: <g>) ของกลุ่มตัวอย่างผลปรากฏดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียน

สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ย ($\bar{X}$)		ค่าความก้าวหน้าทางการเรียน <g>	การแปลผล
		ก่อนเรียน	หลังเรียน		
1. ปฏิริยาการเกิดพอลิเมอร์	9	2.79	6.25	0.56	ระดับปานกลาง
2. ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์	9	3.23	7.00	0.65	ระดับปานกลาง
3. สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์	9	4.73	8.00	0.77	ระดับสูง
4. การปรับเปลี่ยนโครงสร้างและการสังเคราะห์ที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์	9	5.43	8.50	0.86	ระดับสูง
เฉลี่ย	9	4.05	7.11	0.71	ระดับสูง

จากตารางที่ 4 พบว่าเมื่อจัดการเรียนรู้ด้วยสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ เรื่อง พอลิเมอร์ นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับสูง เมื่อแยกวิเคราะห์เป็นรายสถานการณ์จำลอง พบว่ามีสถานการณ์จำลองที่นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับสูง จำนวน 2 สถานการณ์ ได้แก่ สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ และการปรับเปลี่ยนโครงสร้างและการสังเคราะห์ที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ สถานการณ์จำลองที่นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับปานกลางมี 2 สถานการณ์ ได้แก่ ปฏิริยาการเกิดพอลิเมอร์ และความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์

4. ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนโดยใช้สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ เรื่อง พอลิเมอร์ วิเคราะห์โดยค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลปรากฏดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนโดยใช้สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ (n = 72)

รายการประเมิน	สถานการณ์ที่ 1	สถานการณ์ที่ 2	สถานการณ์ที่ 3	สถานการณ์ที่ 4
ด้านการจัดการเรียนการสอน	4.76	4.91	4.85	4.94
ด้านความเป็นนวัตกรรม	4.82	4.88	4.97	4.91
ด้านการออกแบบ	4.76	4.91	4.91	4.85
ด้านการใช้งานบนระบบอินเทอร์เน็ต	5.00	5.00	5.00	5.00
ด้านระยะเวลา	4.87	4.86	4.90	4.87
เฉลี่ย	4.84	4.91	4.94	4.91
ระดับความพึงพอใจ	มากที่สุด	มากที่สุด	มากที่สุด	มากที่สุด

จากตารางที่ 5 พบว่าความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนโดยใช้สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ เรื่อง พอลิเมอร์ สถานการณ์ที่ 1 ปฏิบัติการเกิดพอลิเมอร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.84 สถานการณ์ที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.91 สถานการณ์ที่ 3 สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ 4.94 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ สถานการณ์ที่ 4 การปรับเปลี่ยนโครงสร้างและการสังเคราะห์ที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.91 ซึ่งอยู่ในระดับมากที่สุดทั้ง 4 สถานการณ์

5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ เรื่อง พอลิเมอร์ มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ E_1/E_2 เท่ากับ 83.72/89.97 โดยเมื่อแยกพิจารณาเป็นรายสถานการณ์ ทั้ง 4 สถานการณ์มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 ซึ่งส่งเสริมให้นักเรียนมีความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์หลังการจัดการเรียนรู้สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 (ร้อยละ 89.97) เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบข้อกล่าวอ้างหลักฐาน และการให้เหตุผล สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 (ร้อยละ 90.28, 95.37 และ 84.26 ตามลำดับ) นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับสูง ($<g> = 0.71$) เมื่อแยกวิเคราะห์เป็นรายสถานการณ์ สถานการณ์สมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ และสถานการณ์การปรับเปลี่ยนโครงสร้างและการสังเคราะห์ที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับสูง สถานการณ์ปฏิบัติการเกิดพอลิเมอร์ และสถานการณ์ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับปานกลาง และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อการเรียนโดยใช้สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ เรื่อง พอลิเมอร์ ทั้ง 4 สถานการณ์ ในระดับมากที่สุด (4.84 - 4.94)

การที่สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ เรื่อง พอลิเมอร์ ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ เนื่องมาจากสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์เปิดโอกาสให้นักเรียนได้มีปฏิสัมพันธ์กับสถานการณ์จำลองอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดการสังเกต วิเคราะห์ และเชื่อมโยงแนวคิดได้ด้วยตนเอง ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Rutten et al. (2012, pp. 136-153) ที่ชี้ว่าสื่อจำลองเสมือนจริงช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจแนวคิดเชิงนามธรรมได้ดีขึ้นเมื่อได้มีส่วนร่วมในการควบคุมและสังเกตผลจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปร เนื่องมาจากผู้เรียนสามารถเรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติจริงในสภาพแวดล้อมเสมือนจริง การศึกษาของ Punin (2025, p. 291) พบว่าสื่อการจัดการเรียนรู้ในโลกเสมือนจริงบนระบบออนไลน์ไม่เพียงแต่ช่วยเชื่อมโยงความรู้ทฤษฎีผ่านปฏิบัติการทดลองเสมือนจริงเท่านั้น แต่ยังส่งเสริมการคิดเชิงระบบที่มีความลึกซึ้ง ช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจเนื้อหาได้ดียิ่งขึ้น ช่วยแก้ปัญหามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนและสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ในบริบทที่หลากหลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การมีปฏิสัมพันธ์กับสื่อยังช่วยกระตุ้นความสนใจและแรงจูงใจภายในของผู้เรียน ส่งผลให้เกิดการมีส่วนร่วมทางปัญญา (Cognitive engagement) ที่สูงขึ้น ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้เดิมกับประสบการณ์ใหม่ได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งนำไปสู่การสร้างองค์ความรู้และการอธิบายเชิงเหตุผลด้วยตนเอง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bunrangsri (2025, pp. 124-136) ที่พัฒนาสื่อการทดลองเสมือนจริงด้วยโปรแกรม Scratch แล้วพบว่าสื่อช่วยพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงได้อย่างมีนัยสำคัญ และสอดคล้องกับแนวคิดของ De Jong et al. (2013, pp. 307-308) ที่กล่าวว่ากรอบการออกแบบสื่อจำลองให้มีโครงสร้างสนับสนุนการสืบสอบและการเชื่อมโยงผลการทดลองกับหลักการทางวิทยาศาสตร์ จะส่งผลให้ผู้เรียนสามารถสร้างความเข้าใจเชิงมโนทัศน์และอธิบายปรากฏการณ์ได้อย่างมีเหตุผล ความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังจัดการเรียนรู้ด้วยสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์โดยรวมและรายองค์ประกอบสูงกว่าเกณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์สามารถส่งเสริมให้ผู้เรียนสร้างคำอธิบายได้อย่างมีเหตุผล โดยผู้เรียนได้มีโอกาสสังเกตปรากฏการณ์ จำลองการทดลอง ปรับเปลี่ยนตัวแปร

และเห็นผลของการเปลี่ยนแปลงด้วยตนเอง ทำให้เข้าใจแนวคิดเชิงนามธรรมของพอลิเมอร์ เช่น การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโมเลกุล และความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างกับความร้อนได้อย่างเป็นรูปธรรมมากขึ้น ซึ่งกระบวนการดังกล่าวช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่าง ข้อกล่าวอ้าง (Claim) หลักฐาน (Evidence) และเหตุผล (Reasoning) อย่างเป็นระบบ ผู้เรียนสามารถนำข้อมูลที่ไดจากการจำลองมาใช้เป็นหลักฐานสนับสนุนข้อสรุปของตน และอธิบายกลไกหรือสาเหตุของปรากฏการณ์ได้อย่างมีตรรกะมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Hansena and Jumrusprasert (2024, pp. 26-36) ที่พบว่าสื่อสถานการณ์จำลองช่วยส่งเสริมการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนให้เพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับแนวคิดของ McNeill and Krajcik (2012, pp. 121-134) ที่อธิบายว่าการเรียนรู้โดยใช้กรอบ CER จะช่วยพัฒนาความสามารถในการอธิบายทางวิทยาศาสตร์ เพราะผู้เรียนได้ฝึกคิดเชื่อมโยงข้อเท็จจริงกับหลักการทางทฤษฎีอย่างมีเหตุผล อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานของ Chotimuk (2022, p. 100) ที่พบว่านักเรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมสืบเสาะร่วมกับห้องปฏิบัติการเสมือนจริงสามารถสร้างคำอธิบายที่มีโครงสร้างและเหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ได้ดีกว่าก่อนเรียน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ช่วยกระตุ้นกระบวนการคิดระดับสูง (Higher-order thinking) เช่น การคิดวิเคราะห์ ดังตัวอย่างการศึกษาของ Nilsri et al. (2015, pp. 1282-1298) ที่พบว่าสื่อสถานการณ์จำลองสามารถช่วยส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนให้สูงขึ้นได้ และส่งเสริมการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การศึกษาของ Jitpraserta et al. (2022, pp. 29-36) พบว่าผู้เรียนสามารถสร้างคำอธิบายได้อย่างเป็นระบบมากขึ้นเมื่อใช้สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ประกอบการสืบสอบทางวิทยาศาสตร์ การเรียนรู้ผ่านสื่อประเภทย่อยนี้จึงช่วยให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และเหตุผล (Claim-evidence-reasoning framework) ได้อย่างชัดเจน ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ (McNeill & Krajcik, 2008, pp. 121-134) ด้านความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียน พบว่าโดยรวมอยู่ในระดับสูง โดยเฉพาะในบางสถานการณ์การเรียนรู้ที่มีการเชื่อมโยงเนื้อหากับสถานการณ์ในชีวิตจริง เช่น การนำสมบัติของพอลิเมอร์ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน ทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจเชิงลึกและสามารถอธิบายผลการทดลองได้อย่างมีเหตุผล สอดคล้องกับการศึกษาของ Eiamtharachai and Promratana (2025, pp. 1-14) และ Joysriket et al. (2024, pp. 1-12) ที่พบว่าสื่อการทดลองเสมือนจริงหรือสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์สามารถพัฒนาให้นักเรียนมีมีโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องเพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับแนวคิดของ Bybee (2014, pp. 211-221) ที่กล่าวว่า การเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับประสบการณ์จริงจะช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ใหม่จากการลงมือปฏิบัติ ความพึงพอใจของนักเรียน พบว่าอยู่ในระดับมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์สามารถสร้างบรรยากาศการเรียนรู้ที่น่าสนใจ สนุก และมีส่วนร่วมสูง ผู้เรียนรู้สึกมีอิสระในการทดลองและค้นพบคำตอบด้วยตนเองโดยไม่รู้สึกกดดัน สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Singhasena (2022, p. 200) และ Singsuk (2022, p. 112) ที่พบว่านักเรียนมีความพึงพอใจในระดับมากจากการเรียนรู้ผ่านสื่อเสมือนจริงเนื่องจากสามารถเรียนรู้เข้าใจตามจังหวะของตนเองและเข้าใจเนื้อหาที่ยากได้ง่ายขึ้น อีกทั้งสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ที่พัฒนาขึ้นในครั้งนี่ยังมีลักษณะของนวัตกรรมการเรียนรู้ (Learning innovation) ที่ผสมเทคโนโลยีดิจิทัลกับกระบวนการสืบสอบทางวิทยาศาสตร์ ช่วยให้ผู้เรียนเรียนรู้จากการมีปฏิสัมพันธ์โดยตรงกับสถานการณ์จำลองเสมือนจริง ซึ่งไม่เพียงเพิ่มความเข้าใจในเนื้อหา แต่ยังสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ใหม่ที่กระตุ้นความคิดสร้างสรรค์และแรงจูงใจในการเรียนรู้ด้วยตนเอง สอดคล้องกับการศึกษาของ Artswang (2015, pp. 58-62) ผลลัพธ์ทั้งหมดนี้สะท้อนว่าสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ออนไลน์ เรื่อง พอลิเมอร์ ที่พัฒนาขึ้นไม่เพียงตอบสนองต่อการเรียนรู้เชิงลึกทางวิทยาศาสตร์เท่านั้น แต่ยังเป็นนวัตกรรมการเรียนรู้ที่มีศักยภาพสูงในการส่งเสริมทักษะการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

6. ข้อเสนอแนะ

สื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์บนระบบออนไลน์สามารถส่งเสริมความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์และความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นครูผู้สอนสามารถนำสื่อดังกล่าวไปใช้ในการจัดการเรียนรู้รายวิชาเคมี เรื่อง พอลิเมอร์ ควบคู่กับการออกแบบกิจกรรมที่มีคำถามชี้แนะและโครงสร้างสนับสนุนการเรียนรู้เพื่อกระตุ้นการเชื่อมโยงหลักฐานและเหตุผลอย่างเป็นระบบ สำหรับการวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาผลของสื่อจำลองเชิงปฏิสัมพันธ์ในกลุ่มตัวอย่างและระดับชั้นที่หลากหลาย รวมถึงเปรียบเทียบรูปแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อขยายองค์ความรู้เกี่ยวกับการพัฒนาทักษะการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ในบริบทที่แตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

- Artswang, P. (2015). *The Development of Virtual Chemistry Laboratory For The Properties of Elements And Compound For Mathayomsuksa 4 Students* [Master's thesis]. Silpakorn University. (in Thai)
- Aungchan, S. & Worakham, P. (2023). Learning Management Using Virtual Laboratory Simulation on 'Radiation Light' to Promote Scientific Competencies and Scientific Attitudes of Grade 11 Learners. *Journal of Education Rajabhat Maha Sarakham University*, 20(2). 84-94. (in Thai)
- Bunrangsri, K. (2025). Development of Learning Achievement, Learning Progress and Advanced Science Process Skills of Grade 9 Students through Inquiry-Based Learning with Virtual Experimental Media on the Topic of Waves and Light. *Journal of Science and Science Education*, 8(1). 123-139. (in Thai)
- Bybee, R. W. (2014). NGSS and the Next Generation of Science Teachers. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 211-221.
- Chinn, C. A. & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2). 175-218.
- Chotimuk, A. (2023). *The Development of Learning Activity based on Inquiry Method coopered with Virtual Laboratory for Improving Scientific Explanation for Matthayom Suksa 5 Students* [Master's thesis]. Mahasarakham University. (in Thai)
- De Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). *Physical and virtual laboratories in science and engineering education*. *Science*, 340(6130), 305-308. <https://doi.org/10.1126/science.1230579>.
- Diola, W. Y., Jalon, J. B. & Prudente, M. S. (2025). Exploring the Use of Claim-Evidence-Reasoning in Promoting Scientific Reasoning Skills of Elementary School Students. *Anatolian Journal of Education*, 10(1). 203-214.
- Eiamtharachai, K. & Promratana, P. L. (2025). Development of an Innovative Virtual Reality Laboratory Media for Promoting Concepts on the Relation Between Force, Mass, and Acceleration of Upper Secondary School Students. *Journal of Education Studies, Chulalongkorn University*, 53(2). 1-14. (in Thai)
- Faize, F. A., Husain, W. & Nisar, F. (2018). A Critical Review of Scientific Argumentation in Science Education. *Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(1). 475-483.
- Hansena, S. & Jumrusprasert, P. (2024). Learning Management Based on Inquiry Method And Simulations to Improve Critical Thinking Skills And Problem-solving Skills of Mathayomsuksa 1 Students. *Journal of Graduate School Sakon Nakhon Rajabhat University*, 21(93). 26-36. (in Thai)
- Hernández, J. A., Conde, J., Querol, B., Martínez, G. & Reviriego, P. (2024). *ChatGPT: Learning Prompt Engineering with 100+ Examples*. <https://www.amazon.com/ChatGPT-Learning-promptengineering-examples-ebook/dp/B0CYQLM4HH>.
- Jantakun, K. & Jantakun, T. (2024). The Development of Interactive Learning Media with STEM Education Augmented Reality Technology For The 21st Century Classroom. *PaññaPanithan Journal*, 9(2). 85-98. (in Thai)
- Jitpraserta, T., Tanaka, A. & Akkarachaneeyakornb, K. (2021). Using interactive simulation to support inquiry-based teaching for enhancing grade 11 students' evidence based explanations in the topic of rate of reaction. In P. Lehmongkol, C. Faikhamta, & C. Chuntra (Eds.), *Next Normal KASETSART: Turning Crisis into Sustainability: Vol.3. Proceedings of the 60th Kasetsart University Annual Conference* (pp. 29-38). (in Thai)

- Joysriket, N., Wongwanwattana, P. & Jomhongbhibhat, B. (2024). The Development of Scientific Concepts about Refraction of Mathayomsuksa 5 Students Using Predict-Observe-Explain with Interactive Simulation Media. *Ubon Ratchathani Journal of Research and Evaluation*, 13(2). 1-12. (in Thai)
- Kamcharean, C. & Kuadnok, K. (2023). Development of Fundamental Physics Laboratory by using Interactive Simulations. *Journal of Library and Information Science Srinakharinwirot University*, 16(2). 51-61. (in Thai)
- Kamfukfon, T & Naruponjirakul, S. (2023). Development of Analytical Thinking Skills and Scientific Concepts Using Game-Based Learning with the CER Technique for Grade 9 Students. *Journal of Educational Technology and Communications, Faculty of Education, Mahasarakham University*, 6(19). 29-42. (in Thai)
- Lakul, N., Chaijaroen, S., Adisaksodsai, G. & Jitpilai, S. (2025). Developing a Constructivist Metaverse Learning Environment to Foster Creative Thinking in Environmental Management for Grade 5 Students. *NEU ACADEMIC AND RESEARCH JOURNAL*, 15(2), 24–39. (in Thai)
- McNeill, K. L., & Krajcik, J. S. (2008). Inquiry and scientific explanations: Helping students use evidence and reasoning. In J. Luft, R. L. Bell, & J. Gess-Newsome (Eds.), *Science as Inquiry in the Secondary Setting* (pp. 121-134).
- McNeill, K. L., & Krajcik, J. (2012). *Supporting grade 5–8 students in constructing explanations in science: The Claim, Evidence, and Reasoning framework for talk and writing*. Pearson.
- Nilsri, S., Satiman, A., Jaroenjittakam, S. & Paiwithayasiritham, S. (2015). Effects of Simulation Multimedia Lesson in Science Subject on Analytical Thinking Ability of Phatomsuksa 4 Students. *Veridian E-Journal, Slipakorn University*, 8(2). 1282-1298. (in Thai)
- Nirutmeteekul, N., & Thongdaengjua, A. (2023). Development of scientific concepts using the 5Es inquiry-based instructional model combined with the interactive PhET simulation of grade 10th students. *Journal of Education Studies*, 1(1). 39-53. (in Thai)
- Office of the Basic Education Commission. (2020). *Indicators and Core Science Learning Content (Revised Edition B.E. 2560 [2017]) According to the Basic Education Core Curriculum B.E. 2551 (2008)*. The Cooperative League of Thailand Printing House. (in Thai)
- Osborne, J. F. & Patterson, A. (2011). Scientific Argument and Explanation: A Necessary Distinction. *Science Education*, 95(4). 627-638.
- Prommanee, P., Pitayavatanachai, Y. & Tappha, J. (2020). Concepts of Satisfaction and Construction of Job Satisfaction Questionnaire. *APHEIT Journals*, 26(1), 59-66. (in Thai)
- Punin, W. (2025). Developing Learning Concepts in Physics on Force and Motion During the Covid-19 Pandemic Through the Innovation of a Metaverse Classroom. *Journal of Education and Innovation*, 27(3), 290-360. (in Thai)
- Rutten, N., van Joolingen, W. R. & van der Veen, J. T. (2012). The Learning Effects of Computer Simulations in Science Education. *Computers & Education*, 58(1). 136-153.
- Singhasena, S. (2022). *Effects of Virtual Science Simulation-based Learning in Online Collaboration Platform on Scientific Inquiry Competency of Lower Secondary Students* [Master's thesis]. Chulalongkorn University. (in Thai)

- Singsuk, N. (2022). *Designing a Mobile Virtual Science Laboratory in Blended Learning to Enhance Secondary School Students' Science Process Skills* [Master's thesis]. Chulalongkorn University. (in Thai)
- Soruttayatorn, J. & Jantakoon, J. (2022). The Development of Inquiry Learning Activities with Virtual Labs to Enhance Scientific Concepts Under the Epidemic Situation of Covid-19 for Grade Sixth Students. *Western University Research Journal of Humanities And Social Science*, 8(3). 15-28. (in Thai)
- Warakham, P. (2015). *Educational Research* (7th ed.). Taksila Printing. (in Thai)

“ข้อคิดเห็น เนื้อหา รวมทั้งการใช้ภาษาในบทความถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียน”