



Synthesis and Development of Interactive Simulation-Based Learning Activities on Gas Laws

Nattharuja Sokudrua

Rajabhat Maha Sarakham University

E-mail: Nattharuja.so@rmu.ac.th

Kwanyuen Leamsamrong

Rajabhat Maha Sarakham University

E-mail: kwanyuen.le@rmu.ac.th

Patcharaporn Pimchan

Rajabhat Maha Sarakham University

E-mail: patcharaporn@rmu.ac.th

Dutchanee Pholharn

Rajabhat Maha Sarakham University

E-mail: dutchanee.ph@rmu.ac.th

Somsuk Trisupakitti

Rajabhat Maha Sarakham University

E-mail: somsuk.tr@rmu.ac.th

Received	Reviewed	Revised	Accepted
12/07/2026	20/07/2026	18/09/2026	25/09/2026

Abstract

Background and Aims: The topic of gas properties is highly abstract and complex, so students often find it difficult to understand and may develop misconceptions about the relationships among pressure, volume, temperature, and the number of particles; therefore, active learning activities and interactive simulations such as PhET should be used to help students visualize phenomena, manipulate variables, construct conceptual understanding, and improve learning achievement. The objectives of this research were to: 1) synthesize a conceptual framework for interactive simulation-based learning on Gas Properties; 2) develop learning activity models; and 3) investigate the effects of implementing these models to enhance students' learning achievement.



Methodology: This research employed a Research and Development (R&D) methodology, using the Active Learning approach integrated with Interactive Simulations as the research framework. The target group consisted of 31 science education students at the Faculty of Education, Rajabhat Maha Sarakham University, selected through purposive sampling. The research instruments included: 1) the developed learning activity model, 2) activity sheets, 3) a learning achievement test, and 4) a student satisfaction questionnaire. Data were analyzed using basic statistics, including percentage, mean (M), and standard deviation (S.D.).

Results: The research results were 1) The synthesized conceptual framework, based on the Input-Process-Output (IPO) model, was assessed as highly appropriate by experts 2) The developed learning activity model consisted of six stages: Preparation, Software Tutorial, Simulation Exploration, Variable Correlation Testing, Summary and Discussion, and Post-Learning Assessment 3) The implementation of the model showed that students' post-learning achievement scores were significantly higher than their pre-learning scores. Furthermore, students expressed high levels of satisfaction with the learning management, particularly regarding the benefits gained and the learning media utilized.

Conclusion: The key contribution of this research is the 6-Stage Interactive Simulation (PhET) Learning Model, an innovative and effective approach for enhancing learning achievement, scientific process skills, and positive attitudes toward chemistry for learners in the Digital 5.0 era.

Keywords: Interactive Simulation; Gas Properties; Learning Achievement



การสังเคราะห์และพัฒนารูปแบบกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องสมบัติของแก๊สด้วย สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบ

นัฐารุจา สร้อยกุดเรือ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

อีเมล: Nattharuja.so@rmu.ac.th

ขวัญยืน เลี่ยมสำโรง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

อีเมล: kwanyuen.le@rmu.ac.th

พัชรภรณ์ พิมพ์จันทร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

อีเมล: patcharaporn@rmu.ac.th

ดรรชนี พหลาญ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

อีเมล: dutchanee.ph@rmu.ac.th

สมสุข ไตรศุภกิตติ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

อีเมล: somsuk.tr@rmu.ac.th

บทคัดย่อ

ภูมิหลังและวัตถุประสงค์: เนื้อหาเรื่องสมบัติของแก๊สมีลักษณะเป็นนามธรรมและซับซ้อน ผู้เรียนจึงมักเข้าใจยากและเกิดความคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างความดัน ปริมาตร อุณหภูมิ และจำนวนอนุภาค ดังนั้นจึงควรจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมเชิงรุกและสถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบ เช่น PhET Simulation เพื่อช่วยให้ผู้เรียนเห็นภาพ ทดลองเปลี่ยนตัวแปร สร้างความเข้าใจเชิงมโนทัศน์ และพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้ดียิ่งขึ้น บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) สังเคราะห์กรอบแนวคิดการจัดการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบ เรื่อง สมบัติของแก๊ส 2) พัฒนารูปแบบกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ และ 3) ศึกษาผลการทดลองใช้รูปแบบดังกล่าวเพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน

ระเบียบวิธีวิจัย: รูปแบบการวิจัยเป็นการวิจัยและพัฒนาใช้แนวคิดการจัดการเรียนรู้เชิงรุกร่วมกับสถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบเป็นกรอบการวิจัย กลุ่มเป้าหมายคือ นักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จำนวน 31 คน โดยใช้วิธีเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้



ในการวิจัยมี 4 ชนิด คือ 1) รูปแบบการจัดการเรียนรู้ 2) ใบกิจกรรม 3) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และ 4) แบบประเมินความพึงพอใจ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย: ผลการวิจัย พบว่า 1) กรอบแนวคิดการจัดการเรียนรู้ที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นแบบจำลอง Input-Process-Output ซึ่งมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากจากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ 2) รูปแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมความพร้อม การสอนใช้โปรแกรม การสำรวจสถานการณ์จำลอง การทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปร การสรุปและอภิปรายผล และการประเมินผลหลังเรียน 3) ผลการทดลองใช้รูปแบบพบว่า ผู้เรียนมีคะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ในระดับมาก โดยเฉพาะด้านประโยชน์ที่ได้รับและสื่อการเรียนรู้

สรุป: องค์ความรู้จากงานวิจัยนี้ คือ รูปแบบการจัดการเรียนรู้ด้วยสถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบ 6 ขั้นตอน ซึ่งเป็นนวัตกรรมที่มีประสิทธิภาพในการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และสร้างเจตคติที่ดีต่อวิชาเคมีสำหรับผู้เรียนในยุคดิจิทัล 5.0

คำสำคัญ: สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบ; สมบัติของแก๊ส; ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

บทนำ

การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษา โดยเฉพาะในรายวิชาเคมี มีความสำคัญต่อการพัฒนาความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติและ การอธิบายด้วยแบบจำลองเชิงวิทยาศาสตร์ อย่างไรก็ตาม เนื้อหาเคมีจำนวนมากมีลักษณะเป็นนามธรรมและเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงในระดับอนุภาค ซึ่งผู้เรียนไม่สามารถสังเกตได้โดยตรง ส่งผลให้เกิดความยากในการสร้างมโนทัศน์ที่ถูกต้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องสมบัติของแก๊สซึ่งต้องอาศัยความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างความดัน ปริมาตร อุณหภูมิ และจำนวนอนุภาค แนวคิดคลาดเคลื่อนในเรื่องช่องว่างระหว่างอนุภาค การเคลื่อนที่ของอนุภาค และการถ่ายโอนพลังงานเมื่อเกิดการชนกัน เป็นอุปสรรคสำคัญต่อการเรียนรู้เรื่องนี้ในระดับมัธยมศึกษา (Novick & Nussbaum, 1981; Nakhleh, 1992)

ปัญหาดังกล่าวสอดคล้องกับข้อค้นพบจากงานวิจัยด้านการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่ระบุว่า ผู้เรียนมักประสบปัญหาในการเชื่อมโยงสิ่งที่สังเกตได้ในระดับมหภาคกับสิ่งที่เกิดขึ้นในระดับจุลภาค (Johnstone, 1982) และการสอนแบบบรรยายเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอต่อการทำให้ผู้เรียนเข้าใจมโนทัศน์เชิงลึกได้ (Prince, 2004) เมื่อเนื้อหามีความซับซ้อน การจัดการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติ ทดลอง เปลี่ยนตัวแปร สังเกตผล และอภิปรายความสัมพันธ์ จึงเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับธรรมชาติของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์มากกว่าแนวทางเชิงรับ (Hofstein, 2004)



เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์จำลองสถานการณ์เป็นเครื่องมือสำคัญที่ถูกนำมาใช้เพื่อแก้ข้อจำกัดดังกล่าว โดยเฉพาะ PhET Simulation ซึ่งพัฒนาโดย University of Colorado Boulder และได้รับการกล่าวถึงว่าเป็นสื่อที่ช่วยให้ปรากฏการณ์ที่มองไม่เห็นกลายเป็นภาพที่เรียนรู้ได้ Wieman et al. (2008) อธิบายว่าสถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบสามารถช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นนามธรรมได้ดีขึ้น ขณะที่งานของ Wieman et al. (2023) ยังสนับสนุนว่า PhET ช่วยส่งเสริมความเข้าใจเรื่องสมบัติของแก๊สและความสัมพันธ์ P-V-T ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ Clark and Chamberlain (2014) ชี้ว่าสื่อประเภท simulation ช่วยลดความซับซ้อนของแนวคิดนามธรรมและสนับสนุนการสร้างความเข้าใจเชิงมนทัศน์ได้ดี

ในเชิงทฤษฎี การใช้ PhET Simulation มีความสอดคล้องกับแนวคิดการสร้างความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism) ซึ่งมองว่าผู้เรียนสร้างความหมายจากประสบการณ์ตรงและการมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ แนวคิดนี้ยังสัมพันธ์กับการเรียนรู้ผ่านประสบการณ์ (Experiential Learning) ที่เน้นการเรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติ สังเกต และสะท้อนคิด รวมทั้งสอดคล้องกับ 5E Learning Cycle ที่ใช้ลำดับขั้นตอนการเรียนรู้ตั้งแต่การสร้างความรู้ความสนใจ การสำรวจ การอธิบาย การขยายความรู้ ไปจนถึงการประเมินผล Bloom (1956) ยังช่วยอธิบายการออกแบบกิจกรรมจากระดับความรู้ความเข้าใจพื้นฐานไปสู่การวิเคราะห์และประเมิน ซึ่งเหมาะกับการจัดการเรียนรู้เรื่องสมบัติของแก๊สที่ต้องใช้ทั้งความเข้าใจเชิงมนทัศน์และการประยุกต์ใช้ ขณะเดียวกัน Vygotsky (1978) สนับสนุนการเรียนรู้ผ่านปฏิสัมพันธ์ทางสังคมและการช่วยพุงการเรียนรู้ในเขตพัฒนาการใกล้เคียง (ZPD) ซึ่งเหมาะกับกิจกรรมแบบร่วมมือและการอภิปรายในชั้นเรียน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องจำนวนมากรายงานไปในทิศทางเดียวกันว่า การใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบช่วยยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและลดความเข้าใจคลาดเคลื่อนในวิชาเคมีและฟิสิกส์ได้จริง Dubson et al. (2006) พบว่ากิจกรรมสืบเสาะที่ใช้แบบจำลอง (simulation) ช่วยเสริมการคิดเชิงเหตุผลและการแก้ปัญหา ขณะที่ Moore et al. (2014) รายงานว่าการใช้ใบงานและการสืบค้นด้วยแบบจำลองช่วยพัฒนาความสามารถในการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบผลลัพธ์ได้ดีขึ้น Clark & Chamberlain (2014) ยังชี้ว่าการใช้แบบจำลองแบบโต้ตอบช่วยให้ผู้เรียนตรวจสอบสมมติฐานและทบทวนความเข้าใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในด้านการประเมินผลการเรียนรู้ แนวคิดการประเมินเพื่อการเรียนรู้ของ Black and Wiliam (1998) สนับสนุนว่าการมีข้อมูลย้อนกลับระหว่างเรียนจะช่วยให้ผู้เรียนปรับปรุงการเรียนรู้ได้ต่อเนื่อง Brookhart (2024) ยังเน้นว่าการประเมินที่ชัดเจนและมีโครงสร้างจะช่วยยกระดับคุณภาพการเรียนรู้และทำให้ครูสามารถพัฒนาการจัดกิจกรรมได้ตรงจุดมากขึ้น เมื่อพิจารณาพร้อมกับแนวคิดของ Gagne (1985) ที่เน้นการกระตุ้นความสนใจ การให้คำแนะนำ การฝึกปฏิบัติ และการประเมินผล จะเห็นได้ว่า



การจัดการเรียนรู้โดยใช้ PhET Simulation สามารถออกแบบให้สอดคล้องกับหลักการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพได้อย่างเป็นระบบ

นอกจากนี้ งานวิจัยของ Salame and Makki (2021) และ Rahmawati et al. (2022) ยังรายงานว่ PhET Simulation ช่วยเพิ่มความสนใจ ความเข้าใจ และเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ของ ผู้เรียน เมื่อพิจารณาจากแนวโน้มดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเห็นความจำเป็นในการพัฒนารูปแบบการจัดการ เรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบเรื่องสมบัติของแก๊ส เพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ผ่านการสำรวจ ทดลอง วิเคราะห์ และอภิปรายอย่างเป็นระบบ ซึ่งคาดว่าจะช่วยส่งเสริมทั้งผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติที่ดีต่อการเรียนวิทยาศาสตร์

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อสังเคราะห์กรอบแนวคิดการจัดการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบเรื่องสมบัติ ของแก๊ส
2. เพื่อพัฒนารูปแบบกิจกรรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบเรื่องสมบัติ ของแก๊ส
3. เพื่อศึกษาผลการใช้การจัดการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบเรื่องสมบัติของแก๊ส

สมมติฐานการวิจัย

กรอบแนวคิดการจัดการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบเรื่องสมบัติของแก๊สที่ สังเคราะห์ขึ้น มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากขึ้นไป

การทบทวนวรรณกรรม

การทบทวนวรรณกรรมของงานวิจัยนี้ควรเริ่มจากการอธิบายลักษณะของเนื้อหาวิชาสมบัติ ของแก๊สว่าเป็นเนื้อหาที่มีความเป็นนามธรรมสูงและยากต่อการทำความเข้าใจของผู้เรียน โดยเฉพาะ อย่างยิ่งเมื่อผู้เรียนต้องเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างความดัน ปริมาตร อุณหภูมิ และจำนวนอนุภาค ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่ไม่สามารถมองเห็นได้โดยตรงในระดับปรากฏการณ์จริง ผู้เรียนจำนวนมากจึงมัก เกิดความเข้าใจคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของอนุภาค ช่องว่างระหว่างอนุภาค และผลของการ เปลี่ยนแปลงตัวแปรต่าง ๆ ต่อพฤติกรรมของแก๊ส ส่งผลให้การเรียนรู้เนื้อหาี้เกิดความยากและไม่ สามารถสร้างมโนทัศน์ที่ถูกต้องได้อย่างลึกซึ้ง อีกทั้งการสอนแบบบรรยายเพียงอย่างเดียวมักไม่เพียงพอที่จะช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจความสัมพันธ์เชิงเหตุผลของสมบัติของแก๊สได้อย่างแท้จริง (Novick & Nussbaum, 1981; Nakhleh, 1992)



จากข้อจำกัดดังกล่าว วรณกรรมที่เกี่ยวข้องจึงชี้ให้เห็นความสำคัญของการจัดการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติ ทดลอง เปลี่ยนตัวแปร สังเกตผล และอภิปรายร่วมกัน เพราะลักษณะการเรียนรู้เช่นนี้สอดคล้องกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์มากกว่าการรับรู้แบบเชิงรับ การใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบจึงกลายเป็นแนวทางที่ได้รับความนิยมอย่างมาก โดยเฉพาะ PhET Simulation ซึ่งถูกพัฒนาให้ช่วยจำลองปรากฏการณ์ที่มองไม่เห็นให้กลายเป็นภาพที่ผู้เรียนสามารถทดลองควบคุมและสังเกตได้ด้วยตนเอง งานวิจัยที่อ้างถึงในบทความระบุว่าสถานการณ์จำลองประเภทนี้ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจแนวคิดเชิงนามธรรมได้ดีขึ้น ลดความซับซ้อนของเนื้อหา และส่งเสริมการเรียนรู้เชิงโน้มน้าวในวิชาเคมีและฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญ (Wieman et al., 2008)

นอกจากนี้ การทบทวนวรรณกรรมของงานนี้ยังเชื่อมโยงกับแนวคิดทางทฤษฎีหลายแนว ซึ่งช่วยรองรับการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ให้มีความเป็นระบบและมีเหตุผลทางวิชาการมากขึ้น แนวคิด Constructivism อธิบายว่าผู้เรียนสร้างความรู้จากประสบการณ์ตรงและการมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมการเรียนรู้ (Piaget, 1970) ดังนั้นการใช้ PhET Simulation จึงเอื้อต่อการสร้างความหมายด้วยตนเอง แนวคิด Experiential Learning สนับสนุนการเรียนรู้จากการลงมือทำ การสังเกต และการสะท้อนคิด (Kolb, 1984) ขณะที่ 5E Learning Cycle ช่วยจัดลำดับกิจกรรมการเรียนรู้ตั้งแต่การสร้าง ความสนใจ การสำรวจ การอธิบาย การขยายความรู้ ไปจนถึงการประเมินผล (Bybee, 1997) นอกจากนี้ Bloom's Taxonomy ยังช่วยอธิบายการพัฒนาทักษะจากการจำและเข้าใจไปสู่การ วิเคราะห์และประเมิน (Anderson & Krathwohl, 2001) ส่วนแนวคิดของ Vygotsky เน้นการเรียนรู้ผ่านปฏิสัมพันธ์ทางสังคมและการช่วยพยุงในเขตพัฒนาการใกล้เคียง ซึ่งสอดคล้องกับกิจกรรมการ อภิปราย การทำงานคู่ และการแลกเปลี่ยนความคิดในชั้นเรียน (Vygotsky, 1978)

อีกประเด็นสำคัญในวรรณกรรมคือบทบาทของการประเมินเพื่อการเรียนรู้และการให้ข้อมูลย้อนกลับระหว่างเรียน แนวคิดของ Black และ Wiliam (1998) รวมถึง Brookhart (2024) ชี้ว่า การประเมินที่ต่อเนื่อง ชัดเจน และมีโครงสร้าง จะช่วยให้ผู้เรียนปรับปรุงการเรียนรู้อย่างเป็นระบบ และช่วยให้ครูมองเห็นจุดแข็งจุดอ่อนของผู้เรียนเพื่อนำไปปรับกิจกรรมได้ตรงจุด เมื่อพิจารณาร่วมกับแนวคิดของ Gagné (1985) จะยิ่งเห็นว่าการออกแบบกิจกรรมที่มีขั้นตอนชัดเจน ตั้งแต่การกระตุ้นความสนใจ การให้คำแนะนำ การฝึกปฏิบัติ ไปจนถึงการประเมินผล เป็นแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการจัดการเรียนรู้ด้วยแบบจำลอง เพราะทำให้ผู้เรียนไม่เพียงได้รับประสบการณ์เท่านั้น แต่ยังได้รับการชี้นำให้เรียนรู้อย่างมีเป้าหมายและตรวจสอบความเข้าใจของตนเองได้ด้วย

ดังนั้น การทบทวนวรรณกรรมของงานนี้จึงไม่ได้จำกัดอยู่เพียงการกล่าวถึงชื่อ PhET Simulation เท่านั้น แต่ยังครอบคลุมถึงปัญหาการเรียนรู้เรื่องสมบัติของแก๊ส แนวคิดการเรียนรู้เชิงรุก ฐานทฤษฎีทางการศึกษา และแนวทางประเมินผลที่ส่งเสริมการเรียนรู้เชิงลึก ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นรากฐานสำคัญที่นำไปสู่การพัฒนาารูปแบบกิจกรรมการเรียนรู้ในงานวิจัยนี้



ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development: R&D) มุ่งพัฒนาและทดลองใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบเรื่องสมบัติของแก๊ส เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน โดยดำเนินการวิจัยเป็นลำดับขั้นตอนตั้งแต่การสังเคราะห์กรอบแนวคิด การพัฒนารูปแบบกิจกรรม และการทดลองใช้รูปแบบกับผู้เรียนจริง

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในการวิจัยคือผู้เรียนระดับมัธยมศึกษาที่เรียนเนื้อหาเรื่องสมบัติของแก๊ส ส่วนกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้เรียนจำนวน 31 คน ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเจาะจงตามความพร้อมของบริบทการจัดการเรียนรู้และการเข้าร่วมกิจกรรมตลอดกระบวนการวิจัย ผู้เรียนกลุ่มนี้ใช้เป็นกลุ่มทดลองในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วย PhET Simulation เรื่องสมบัติของแก๊ส ดังภาพที่ 1

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบเรื่องสมบัติของแก๊ส

2.2 ใบกิจกรรมการเรียนรู้จำนวน 2 ชุด สำหรับกิจกรรมสำรวจสมบัติของแก๊สและกิจกรรมทดสอบความสัมพันธ์ P-V-T

2.3 ใบกิจกรรมระหว่างเรียนและแบบทดสอบหลังเรียน เพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียน

2.4 แบบประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการจัดการเรียนรู้

3. การสร้างและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

ผู้วิจัยดำเนินการสังเคราะห์แนวคิดจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาพัฒนากรอบแนวคิดแบบ Input-Process-Output (IPO) และออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับแนวคิดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ การเรียนรู้เชิงประสบการณ์ และ 5E Learning Cycle จากนั้นนำเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นเสนอให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความเหมาะสม ความสอดคล้อง และความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ แล้วจึงนำข้อเสนอแนะมาปรับปรุงแก้ไขก่อนนำไปทดลองใช้จริง โดยเครื่องมือวิจัยผ่านการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน มีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์ (Index of Item-Objective Congruence, IOC) ตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป

4. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

4.1 การสังเคราะห์กรอบแนวคิดการจัดการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบเรื่องสมบัติของแก๊ส

4.2 การพัฒนารูปแบบกิจกรรมการเรียนรู้และตรวจสอบความเหมาะสมโดยผู้เชี่ยวชาญ



4.3 การทดลองใช้รูปแบบกิจกรรมกับผู้เรียนกลุ่มตัวอย่างจริง โดยดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามขั้นตอน 6 ขั้น ได้แก่ เตรียมความพร้อม สอนการใช้โปรแกรม กิจกรรมสำรวจสมบัติของแก๊ส กิจกรรมทดสอบความสัมพันธ์ สรุปและอภิปราย และประเมินหลังเรียน

5. การเก็บรวบรวมข้อมูล

5.1 คำนวณใบกิจกรรมระหว่างเรียนและหลังเรียนเพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

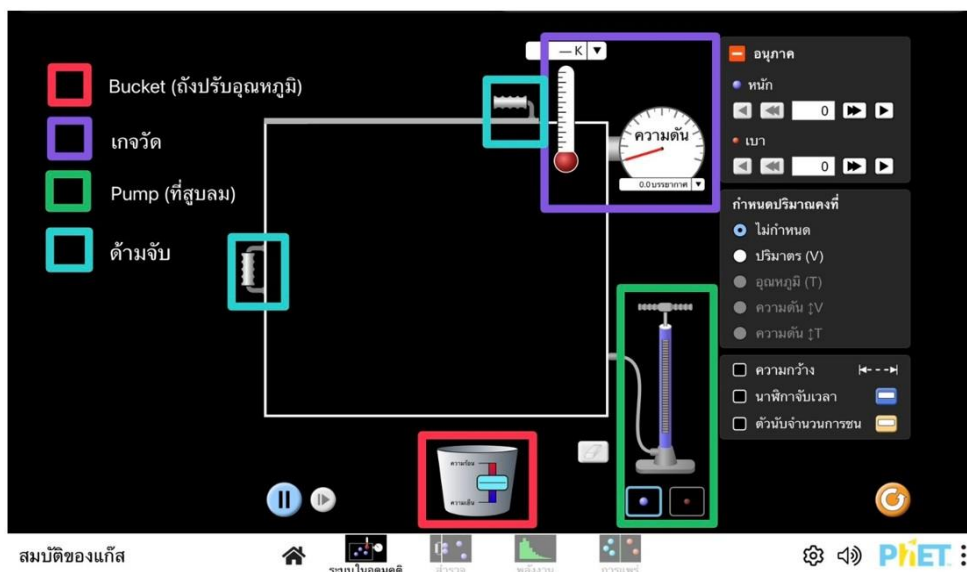
5.2 คำนวณระหว่างเรียนจากกิจกรรมในใบงาน เพื่อประเมินการเรียนรู้ระหว่างกระบวนการ

5.3 ผลการประเมินความเหมาะสมของรูปแบบจากผู้เชี่ยวชาญ

5.4 ผลความพึงพอใจของผู้เรียนหลังเสร็จสิ้นกิจกรรม

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลเชิงปริมาณวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สำหรับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน มีการเปรียบเทียบคะแนนระหว่างเรียนและหลังเรียน รวมถึงสรุปพัฒนาการของผู้เรียนแต่ละคน ผลจากการประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือและความพึงพอใจของผู้เรียนก็รายงานในรูปค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ ยังมีการพิจารณาความก้าวหน้าของผลการเรียนรู้จากคะแนนระหว่างเรียนและหลังเรียนเพื่อตีความประสิทธิผลของรูปแบบที่พัฒนาขึ้น



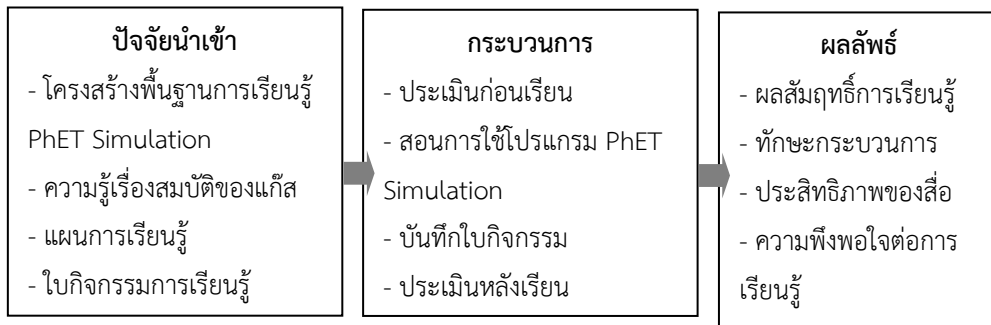
ภาพที่ 1 แสดงฟังก์ชันของโปรแกรม PhET Simulation เรื่องสมบัติของแก๊ส



ผลการวิจัย

1. ผลการสังเคราะห์กรอบแนวคิดการวิจัยโดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบเรื่องสมบัติของแก๊ส

กรอบแนวคิด Input-Process-Output (IPO) สำหรับการจัดการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบเรื่องสมบัติของแก๊ส ซึ่งสังเคราะห์จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Wieman et al., 2008) กรอบนี้แบ่งเป็นสามองค์ประกอบหลัก ได้แก่ (1) **ปัจจัยนำเข้า (Input)** ประกอบด้วยโครงสร้างพื้นฐานการเรียนรู้ เช่น โปรแกรม PhET Simulation เรื่องสมบัติของแก๊ส ที่ช่วยให้ผู้เรียนสำรวจตัวแปรความดัน (Pressure) ปริมาตร (Volume) อุณหภูมิ (Temperature) และจำนวนโมเลกุล (Number of particles) อย่างเป็น interactive (Moore et al., 2014) นอกจากนี้ ยังรวมกรอบคุณสมบัติผู้เรียน เช่น แบบทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) 20 ข้อ เกณฑ์ $\geq 70\%$ ตาม Bloom's Taxonomy เพื่อประเมินความรู้พื้นฐาน (Bloom, 1956; Gagne, 1985) เนื้อหาการจำลองจะมีกิจกรรมการเรียนรู้ทดลอง P-V-T ซึ่งออกแบบตาม inquiry-based learning และ 5E Model เพื่อส่งเสริม active exploration (2) **กระบวนการ (Process)** เริ่มด้วยการประเมินก่อนเรียน แบบทดสอบ 20 ข้อ (Cronbach $\alpha \geq 0.80$) เพื่อวิเคราะห์จุดอ่อน-แข็ง ตาม formative assessment (Black & Wiliam, 1998; Brookhart, 2024) ตามด้วยการสอนใช้โปรแกรม (15-20 นาที) เน้น interface PhET ตาม constructivism theory ที่ผู้เรียนสร้างความรู้เองผ่าน Hands-on learning กิจกรรมหลักคือทดลองเปลี่ยนตัวแปร บันทึกกราฟทำงานคู่ ตาม collaborative learning และเขตพัฒนาการ (Zone of Proximal Development: ZPD) (Vygotsky, 1978) การอภิปรายสรุปเชื่อม P-V-T กับชีวิตจริง ตาม discussion-based learning ปิดด้วยประเมินหลังเรียน t-test $p < 0.05$ และ (3) **ผลลัพธ์** คาดหวังคะแนนสอบเฉลี่ยมุ่งผลสัมฤทธิ์ $\geq 70\%$ ขึ้นไป (Hake, 1998) นักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สะเต็มศึกษา เจตคติต่อวิทยาศาสตร์ และชอบใช้โปรแกรม PhET มาก (คะแนนเฉลี่ย $\geq 4.0/5.0$) ตามแบบวัดความยอมรับเทคโนโลยี ผู้วิจัยได้เสนอกรอบแนวคิดการจัดการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบเรื่องสมบัติของแก๊สในลักษณะ Input-Process-Output (IPO) ซึ่งถูกนำเสนอไว้ในภาพที่ 2 โดยตารางดังกล่าวแสดงความเชื่อมโยงระหว่างปัจจัยนำเข้า กระบวนการเรียนรู้ และผลลัพธ์ที่คาดหวังอย่างเป็นระบบ ซึ่งปัจจัยนำเข้า ได้แก่ โปรแกรม PhET Simulation: Gas Properties อุปกรณ์คอมพิวเตอร์/แท็บเล็ต การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต เนื้อหาเรื่องความดัน ปริมาตร อุณหภูมิ และจำนวนโมเลกุล ตลอดจนใบกิจกรรมการเรียนรู้ ซึ่งสะท้อนว่ากรอบแนวคิดนี้ไม่ได้มุ่งเพียงการใช้สื่อดิจิทัล แต่เป็นการออกแบบการเรียนรู้แบบบูรณาการที่เชื่อมโยงเนื้อหา เทคโนโลยี และกิจกรรมการเรียนรู้เข้าด้วยกัน แนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับงานของ Wieman et al. (2023) และ Clark & Chamberlain (2014) ที่ชี้ว่าสถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบช่วยทำให้มีทัศนคติที่เป็นนามธรรมมีลักษณะเป็นรูปธรรมมากขึ้น และเอื้อต่อการเรียนรู้เชิงสร้างความรู้ด้วยตนเอง



ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดการจัดการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบเรื่องสมบัติของแก๊ส

2. ผลการประเมินความเหมาะสมของกรอบแนวคิดการวิจัยโดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบเรื่องสมบัติของแก๊ส

ผลการประเมินความเหมาะสมของกรอบแนวคิดโดยผู้เชี่ยวชาญได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยผลการประเมินภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.43 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.57 ซึ่งสะท้อนว่ากรอบแนวคิดที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมในเชิงเนื้อหา โครงสร้าง และการนำไปใช้ในระดับสูง เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านปัจจัยนำเข้า มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 4.53 แสดงว่าผู้เชี่ยวชาญเห็นว่าองค์ประกอบต้นทางของรูปแบบมีความพร้อมและสอดคล้องกันมากที่สุด โดยเฉพาะความเหมาะสมของโปรแกรม PhET กับเนื้อหาสมบัติของแก๊ส และความเพียงพอของอุปกรณ์และสิ่งอำนวยความสะดวก ส่วน ด้านกระบวนการ มีค่าเฉลี่ย 4.40 และ ด้านผลลัพธ์ มีค่าเฉลี่ย 4.33 แสดงให้เห็นว่าแม้ทุกด้านอยู่ในระดับมาก แต่ผู้เชี่ยวชาญมองว่ากระบวนการและผลลัพธ์ยังมีพื้นที่สำหรับการปรับปรุงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับปัจจัยนำเข้า นอกจากนี้ยังแสดงว่าหมวด ทฤษฎีพื้นฐาน และการนำไปใช้ในทางปฏิบัติ ได้ค่าเฉลี่ย 4.40 และ 4.53 ตามลำดับ ซึ่งสนับสนุนว่ารูปแบบนี้ตั้งอยู่บนฐานทฤษฎีที่มั่นคงและมีความเป็นไปได้สูงในการใช้จริงในห้องเรียน เมื่อพิจารณารายข้อในตารางที่ 1 จะพบว่า ข้อที่ได้คะแนนสูงสุดหลายรายการมีค่าเฉลี่ย 4.67 เช่น ความเหมาะสมของ PhET Simulation กับเนื้อหา ความเพียงพอของอุปกรณ์ ความชัดเจนของขั้นตอนการสอน และความชัดเจนในการนำเสนอกรอบแนวคิด ซึ่งสะท้อนความเห็นสอดคล้องกันของผู้เชี่ยวชาญว่า รูปแบบนี้มีความพร้อมทั้งเชิงเนื้อหาและเชิงการปฏิบัติ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับ Black & William (2023) และ Brookhart (2024) ที่เสนอว่าการออกแบบการเรียนรู้ที่มีโครงสร้างชัดเจนและมีการประเมินอย่างต่อเนื่องจะช่วยให้การจัดการเรียนรู้มีคุณภาพและตอบสนองต่อเป้าหมายการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น



ตารางที่ 1 ความเหมาะสมต่อองค์ประกอบสำหรับการจัดการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบ เรื่องสมบัติของแก๊ส

เกณฑ์การประเมิน	M	S.D.	แปลผล
ส่วนที่ 1 องค์ประกอบของกรอบแนวคิด			
1.1 ปัจจัยนำเข้า			
1.1.1 โปรแกรม PhET Simulation มีความเหมาะสมกับเนื้อหา	4.67	0.58	มากที่สุด
1.1.2 อุปกรณ์และสิ่งอำนวยความสะดวกเพียงพอ	4.67	0.58	มากที่สุด
1.1.3 แนวคิดเรื่องสมบัติของแก๊สครอบคลุมและชัดเจน	4.33	0.58	มาก
1.1.4 ใบกิจกรรมสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	4.33	0.58	มาก
1.1.5 ปัจจัยนำเข้าทั้งหมดเชื่อมโยงกันอย่างเป็นระบบ	4.67	0.58	มากที่สุด
1.2 กระบวนการ			
1.2.1 การประเมินก่อนเรียนมีความเหมาะสมและครอบคลุม	4.00	0.00	มาก
1.2.2 การสอนการใช้โปรแกรมมีความชัดเจน	4.67	0.58	มากที่สุด
1.2.3 กิจกรรมการเรียนรู้ส่งเสริมการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ	4.67	0.58	มากที่สุด
1.2.4 การอธิบายและสรุปมีความเหมาะสม	4.33	0.58	มาก
1.2.5 การประเมินหลังเรียนวัดผลได้ตรงตามจุดประสงค์	4.33	0.58	มาก
1.3 ผลลัพธ์			
1.3.1 ผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้วัดผลได้และมีความชัดเจน	4.33	0.58	มาก
1.3.2 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ระบุได้ชัดเจน	4.33	0.58	มาก
1.3.3 เจตคติต่อการเรียนวิทยาศาสตร์สามารถประเมินได้	4.33	0.58	มาก
1.3.4 ประสิทธิภาพของสื่อการสอนมีความเหมาะสม	4.33	0.58	มาก
1.3.5 ผลลัพธ์ทั้งหมดสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การวิจัย	4.33	0.58	มาก
เฉลี่ยองค์ประกอบของ IPO	4.42	0.55	มาก
ส่วนที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน			
2.1 กรอบแนวคิดมีพื้นฐานทางทฤษฎีที่แข็งแกร่ง	4.33	0.58	มาก
2.2 ทฤษฎีการเรียนรู้แบบ Constructivism สอดคล้องกับกิจกรรม	4.33	0.58	มาก



เกณฑ์การประเมิน	M	S.D.	แปลผล
2.3 การใช้ Simulation ตามทฤษฎี Experiential Learning	4.33	0.58	มาก
2.4 การออกแบบการสอนตาม 5E Learning Cycle	4.67	0.58	มากที่สุด
2.5 เอกสารอ้างอิงครอบคลุมและทันสมัย	4.33	0.58	มาก
เฉลี่ยทฤษฎีพื้นฐาน	4.40	0.58	มาก
ส่วนที่ 3 การนำไปใช้ในทางปฏิบัติ			
3.1 กรอบแนวคิดสามารถนำไปปฏิบัติได้จริงในห้องเรียน	4.67	0.58	มากที่สุด
3.2 ระยะเวลาในการจัดกิจกรรมมีความเหมาะสม	4.33	0.58	มาก
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานชัดเจนและทำตามได้	4.67	0.58	มากที่สุด
3.4 ครูสามารถปรับใช้ได้กับบริบทต่างๆ	4.67	0.58	มากที่สุด
3.5 มีแนวทางแก้ไขปัญหที่อาจเกิดขึ้น	4.33	0.58	มาก
เฉลี่ยการนำไปใช้ในทางปฏิบัติ	4.53	0.58	มากที่สุด
ส่วนที่ 4 นวัตกรรมและความคิดสร้างสรรค์			
4.1 การใช้ PhET Simulation เป็นนวัตกรรมทางการศึกษา	4.67	0.58	มากที่สุด
4.2 การบูรณาการเทคโนโลยีกับการสอนวิทยาศาสตร์	4.33	0.58	มาก
4.3 แนวทางพัฒนาทักษะศตวรรษที่ 21	4.33	0.58	มาก
4.4 สามารถเป็นต้นแบบสำหรับงานวิจัยอื่นได้	4.33	0.58	มาก
4.5 มีศักยภาพสร้างผลกระทบเชิงบวกต่อการศึกษาวิทยาศาสตร์	4.33	0.58	มาก
เฉลี่ยนวัตกรรมและความคิดสร้างสรรค์	4.40	0.58	มาก
ส่วนที่ 5 คุณภาพของกรอบแนวคิด			
5.1 ครอบคลุมและสมบูรณ์ของกรอบแนวคิด	4.33	0.58	มาก
5.2 ความสอดคล้องและเชื่อมโยงระหว่างองค์ประกอบ	4.33	0.58	มาก
5.3 ความชัดเจนในการนำเสนอและสื่อสาร	4.67	0.58	มากที่สุด
5.4 ความสามารถในการตอบโจทย์ผู้เรียน	4.33	0.58	มาก
5.5 ศักยภาพในการนำไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพ	4.33	0.58	มาก
เฉลี่ยคุณภาพของกรอบแนวคิด	4.40	0.58	มาก



เกณฑ์การประเมิน	M	S.D.	แปลผล
เกณฑ์การประเมิน	M	S.D.	แปลผล
เฉลี่ยรวมทั้งหมด	4.43	0.57	มาก

ค่า IOC รายข้ออยู่ในช่วง 0.67 ถึง 1.00 ถือว่า ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (คือ ≥ 0.50) ทุกข้อ

3. ผลการพัฒนารูปแบบกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบเรื่องสมบัติของแก๊ส

การพัฒนารูปแบบกิจกรรมการเรียนรู้ได้สรุปไว้ในตารางที่ 2 และรายละเอียดปัจจัยสนับสนุนปรากฏในตารางที่ 3 โดยรูปแบบดังกล่าวประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมความพร้อม การสอนการใช้โปรแกรม กิจกรรมสำรวจสมบัติของแก๊ส กิจกรรมทดสอบความสัมพันธ์ การสรุปและอภิปราย และการประเมินหลังเรียน โครงสร้างของกิจกรรมในตารางที่ 2 และตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าผู้วิจัยได้ออกแบบลำดับการเรียนรู้จากง่ายไปยาก จากการรับรู้ไปสู่การวิเคราะห์ และจากการสังเกตไปสู่การอธิบายความสัมพันธ์เชิงเหตุผล ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Bloom (1956) และ Vygotsky (2023) โดยเฉพาะขั้นกิจกรรมที่ 1 และ 2 ในตารางที่ 3 เป็นจุดสำคัญที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนทดลองเปลี่ยนตัวแปร บันทึกข้อมูล และวิเคราะห์กราฟด้วยตนเอง ซึ่งเป็นกระบวนการที่สอดคล้องกับการเรียนรู้แบบสืบเสาะและการเรียนรู้เชิงประสบการณ์ แนวทางนี้สอดคล้องกับงานของ Moore et al. (2023) และ Finkelstein et al. (2023) ที่ระบุว่าการใช้ PhET Simulation ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจความสัมพันธ์ P-V-T ได้ดีขึ้น และลดความเข้าใจคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับทฤษฎีแก๊สได้อย่างมีนัยสำคัญ

4. ผลการรับรองรูปแบบการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบเรื่องสมบัติของแก๊ส

ผลการประเมินความเหมาะสมของรูปแบบที่พัฒนาขึ้นแสดงไว้ในตารางที่ 4 โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.61 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58 อยู่ในระดับมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 1 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยรวม 4.43 จะเห็นได้ว่ารูปแบบที่พัฒนาขึ้นภายหลังได้รับการปรับปรุงมีคุณภาพสูงขึ้น 0.18 คะแนน สะท้อนว่าการสังเคราะห์ช่วยยกระดับรูปแบบทั้งในด้านเนื้อหา ความเป็นไปได้ และคุณภาพของเครื่องมือ ในตารางที่ 4 หมวดความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ ได้คะแนนสูงสุดเท่ากับ 4.70 และหมวดคุณภาพของเครื่องมือ ได้ค่าเฉลี่ย 4.67 โดยเฉพาะรายการเกี่ยวกับโปรแกรม PhET ใช้งานง่าย กราฟและภาพชัดเจน และช่วยให้เข้าใจเนื้อหาได้ดีกว่าการบรรยาย ได้คะแนน 4.67 ทุกข้อ ผลดังกล่าวสะท้อนว่าผู้เชี่ยวชาญเห็นว่ารูปแบบนี้ไม่เพียงเหมาะสมเชิงทฤษฎี แต่ยังพร้อมต่อการนำไปใช้จริงในชั้นเรียน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิด TPACK และ TAM ที่เน้นการบูรณาการเทคโนโลยีอย่างมีประสิทธิภาพ



5. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบเรื่องสมบัติของแก๊ส

ผลการทดลองใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยผู้เรียนจำนวน 31 คน มีคะแนนระหว่างเรียน (E1) เฉลี่ย 17.11 จาก 20 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 85.56 และคะแนนหลังเรียน (E2) เฉลี่ย 22.65 จาก 30 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 75.48 หากพิจารณาเชิงตัวเลข จะเห็นว่าคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 5.54 คะแนน ซึ่งแสดงถึงพัฒนาการทางการเรียนรู้ของผู้เรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยสถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบ แม้ร้อยละของคะแนนหลังเรียนจะน้อยกว่าร้อยละของคะแนนระหว่างเรียน แต่ต้องตีความบนฐานของจำนวนคะแนนเต็มที่แตกต่างกัน คือ E1 เต็ม 20 คะแนน ขณะที่ E2 เต็ม 30 คะแนน จึงไม่สามารถเปรียบเทียบโดยตรงในรูปของร้อยละเพียงอย่างเดียวได้ นอกจากนี้ยังพบว่า 24 คนจาก 31 คน หรือคิดเป็น 77% มีคะแนนหลังเรียนสูงขึ้น ซึ่งสะท้อนว่าแนวทางนี้ส่งผลเชิงบวกต่อผู้เรียนส่วนใหญ่ โดยเฉพาะผู้เรียนที่มีพื้นฐานน้อยซึ่งสามารถพัฒนาได้อย่างเห็นได้ชัด ตัวอย่างที่เด่นชัดของผู้เรียนคนหนึ่งซึ่งมีคะแนนก่อนเรียนเพียง 9.50 คะแนนจาก 20 หรือ 47.50% แต่หลังเรียนเพิ่มเป็น 25.00 คะแนนจาก 30 หรือ 83.33% แสดงให้เห็นว่า PhET Simulation ช่วยยกระดับความเข้าใจของผู้เรียนที่มีจุดเริ่มต้นน้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการค้นพบนี้สอดคล้องกับ Wieman et al. (2023) และ Adams et al. (2023) ที่รายงานว่าสถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบช่วยยกระดับการเข้าใจแนวคิดในเรื่องแก๊สและกฎของแก๊สได้จริง รวมทั้งสอดคล้องกับแนวคิดของ Hake (1998) ว่าการเรียนรู้แบบมีปฏิสัมพันธ์จะส่งผลต่อค่าความก้าวหน้าเชิงสัมฤทธิ์ที่ดีกว่าวิธีสอนแบบดั้งเดิม

6. ผลความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบเรื่องสมบัติของแก๊ส

ผลความพึงพอใจของผู้เรียนปรากฏในตารางที่ 5 โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.03 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.80 ซึ่งอยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านประโยชน์ที่ได้รับ มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 4.32 แสดงว่าผู้เรียนมองเห็นคุณค่าของการจัดการเรียนรู้รูปแบบนี้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะรายการที่ระบุว่า “นักเรียนสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้หรืออธิบายปรากฏการณ์จริงได้” ได้ค่าเฉลี่ย 4.43 ซึ่งเป็นคะแนนสูงที่สุดในตารางที่ 5 ด้านสื่อการเรียนรู้ มีค่าเฉลี่ย 4.14 โดยผู้เรียนเห็นว่าสถานการณ์จำลองช่วยให้มองเห็นภาพได้ชัดเจนและใช้งานง่าย สะท้อนคุณลักษณะเด่นของ PhET ที่ทำให้สิ่งที่ป็นนามธรรมกลายเป็นภาพที่เข้าใจได้ง่าย ด้านกิจกรรม มีค่าเฉลี่ย 3.90 ซึ่งยังอยู่ในระดับมาก แต่น้อยกว่าด้านอื่นเล็กน้อย โดยข้อ “รูปแบบการสอนมีความสนุกสนาน ไม่น่าเบื่อ” ได้เพียง 3.40 และ “เวลาที่ใช้ในการทำกิจกรรมมีความเหมาะสม” ได้ 3.63 สะท้อนว่ากิจกรรมยังอาจปรับให้กระชับและเพิ่มความหลากหลายได้อีก เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 4 พบว่า ผู้เชี่ยวชาญประเมินรูปแบบในระดับสูงกว่า โดยเฉพาะด้านคุณภาพเครื่องมือและความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ ขณะที่ผู้เรียนให้คะแนนต่ำลงเล็กน้อยแต่ยังคงอยู่ในระดับมาก ซึ่งเป็นลักษณะที่พบได้ในงานวิจัยลักษณะนี้ เพราะผู้เชี่ยวชาญมักประเมินจากความครบถ้วนเชิงโครงสร้าง ส่วนผู้เรียนประเมินจากประสบการณ์จริงระหว่างใช้งาน ผล



ความพึงพอใจดังกล่าวสอดคล้องกับ Salame & Makki (2021) และ Rahmawati et al. (2022) ที่รายงานว่า PhET Simulation ช่วยเพิ่มทั้งความสนใจ ความเข้าใจ และเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์

ตารางที่ 2 กรอบกระบวนการจัดการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบเรื่องสมบัติของแก๊ส

บทความ อ้างอิง	การประเมิน ก่อนเรียน	การสอนการ ใช้โปรแกรม	กิจกรรมการ เรียนรู้	การอภิปราย และสรุป	การประเมิน หลังเรียน
Wieman et al. (2023)	แบบทดสอบก่อนเรียน 20 ข้อ (Cronbach $\alpha=0.82$)	สาธิตการใช้งาน PhET 15 นาที	สำรวจการจำลองสมบัติของแก๊ส	อภิปรายความสัมพันธ์ P-V-T	แบบทดสอบหลังเรียน 20 ข้อ
Adams et al. (2023)	การประเมินเพื่อวินิจฉัย	ฝึกปฏิบัติควบคุมตัวแปร	กิจกรรมสืบเสาะแบบมีคำแนะนำ	นำเสนอผลการค้นพบต่อชั้นเรียน	แบบทดสอบมโนทัศน์และแก้ปัญหา
Moore et al. (2023)	ตรวจสอบความรู้พื้นฐาน	คำแนะนำที่ละขั้นตอน	การสืบค้นด้วยใบงานแนะนำ	เปรียบเทียบผลลัพธ์กับเพื่อน	การประเมินสมรรถนะ
บทความ อ้างอิง	การประเมิน ก่อนเรียน	การสอนการ ใช้โปรแกรม	กิจกรรมการ เรียนรู้	การอภิปราย และสรุป	การประเมิน หลังเรียน
Finkelstein et al. (2023)	แบบทดสอบก่อนและแบบสำรวจเจตคติ	การสาธิตแบบโต้ตอบ	กิจกรรมทดสอบสมมติฐาน	ไตร่ตรองการเรียนรู้	แบบทดสอบหลังและทดสอบความคงทน
Vygotsky (2023)	ระบุ ZPD	การสาธิตโดยครู	การร่วมมือกับเพื่อน	การเจรจาต่อรองความหมาย	การปฏิบัติอย่างอิสระ
Bloom's Taxonomy (1956)	จำ/เข้าใจ	เข้าใจ / ประยุกต์	ประยุกต์/วิเคราะห์	วิเคราะห์/ประเมิน	ประเมิน/สร้างสรรค์



บทความ อ้างอิง	การประเมิน ก่อนเรียน	การสอนการ ใช้โปรแกรม	กิจกรรมการ เรียนรู้	การอภิปราย และสรุป	การประเมิน หลังเรียน
Gagne (2023)	เรียกคืนพื้นฐาน	นำเสนอสิ่ง เร้า	ให้คำแนะนำ	กระตุ้นให้ แสดงออก	ประเมิน สมรรถนะ
Black & Wiliam (2023)	ประเมินเพื่อ การเรียนรู้	ข้อ มูล ป้อนกลับเชิง ก่อเกิด	กิจกรรมการ เรียนรู้	ประเมินโดย เพื่อน/ตนเอง	ประเมินผล การเรียนรู้

ตารางที่ 3 ปัจจัยสนับสนุนการจัดการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบเรื่องสมบัติของแก๊ส

ขั้นตอน	วัตถุประสงค์	กิจกรรม	บทบาท ผู้สอน	บทบาท ผู้เรียน	เครื่องมือ	การวัด และ ประเมิน ผล	ทักษะที่ พัฒนา
1. เตรียม ความพร้อม	- สร้างแรงจูงใจ - เชื่อมโยงความรู้เดิม - แนะนำเป้าหมาย	- ชมคลิปปรากฏการณ์แก๊สในชีวิตจริง - ตั้งคำถาม "ทำไมลูกโป่งจึงแตกในรถ" - อธิบายภาพรวมกิจกรรม	- ผู้กระตุ้นความสนใจ - ผู้เชื่อมโยงกับชีวิตจริง - ผู้อธิบายเป้าหมาย	- ผู้ตั้งคำถาม - ผู้แสดงความคิดเห็น - ผู้รับฟังและจดบันทึก	- วิดีโอปรากฏการณ์แก๊ส - โปรแกรมโปรเจคเตอร์ - ใบความรู้เบื้องต้น	- สังเกตความสนใจ - ความพร้อมเข้าร่วม (ไม่ให้คะแนน)	- ความสนใจใฝ่รู้ - การเชื่อมโยงความรู้ - แรงจูงใจในการเรียน
2. สอน การใช้ โปรแกรม	แนะนำ PhET Simulati	เปิดเว็บไซต์ PhET:	- ผู้สาธิต - ผู้อธิบาย	- ผู้สังเกตการสาธิต - ผู้ฝึก	โปรแกรม PhET	สังเกตความสามารรถใช้	- ทักษะดิจิทัล - การใช้



ขั้นตอน	วัตถุประสงค์	กิจกรรม	บทบาทผู้สอน	บทบาทผู้เรียน	เครื่องมือ	การวัดและประเมินผล	ทักษะที่พัฒนา
	on • สาธิตการใช้งาน • ฝึกปฏิบัติเบื้องต้น	Gas Properties • สาธิตการควบคุม P, V, T • อธิบายแต่ละปุ่มและฟังก์ชัน • ให้นักเรียนทดลองใช้ 5 นาที	ขั้นตอน • ผู้ช่วยเหลือเมื่อติดขัด	ปฏิบัติตาม • ผู้ตั้งคำถาม	Simulation • คู่มือการใช้งานย่อ • คอมพิวเตอร์ต่อนักเรียน 1:1	งาน • ตรวจสอบความเข้าใจ • (ไม่ให้คะแนน)	เทคโนโลยี • การปฏิบัติตามคำสั่ง
3. กิจกรรมที่ 1 สำรวจสมบัติแก๊ส	• สำรวจตัวแปร P, V, T • สังเกตและบันทึก • ค้นพบความสัมพันธ์เบื้องต้น	• เปิด Simulation: Ideal Gas • เปลี่ยนตัวแปรทีละตัวและสังเกต • บันทึกข้อมูลใน	• ผู้อำนวยความสะดวก • ผู้ตั้งคำถามกระตุ้น • ผู้สังเกตการเรียนรู้	• ผู้ทดลอง • ผู้สังเกตและบันทึก • ผู้อภิปรายกับคู่	• ใบกิจกรรมที่ 1 • PhET: Ideal Gas • ตารางบันทึกข้อมูล	• ความถูกต้องข้อมูล 70% • ความสมบูรณ์ใบงาน • การมีส่วนร่วม	• ทักษะการสังเกต • การบันทึกข้อมูล • การค้นพบ



ขั้นตอน	วัตถุประสงค์	กิจกรรม	บทบาท ผู้สอน	บทบาท ผู้เรียน	เครื่องมือ	การวัด และ ประเมิน ผล	ทักษะที่ พัฒนา
		ตาราง • ตอบ คำถามใน ใบ กิจกรรม					
4. กิจกรรม ที่ 2 ทดสอบ ความสัมพันธ์	• ทดสอบ สมมติฐาน • หา ความสัมพันธ์ P- V, P-T, V-T • วิเคราะห์ กราฟ	• ตั้งสมมติ ฐาน: "ถ้า P เพิ่ม V จะเป็น อย่างไร" • ทดลอง และ บันทึก 10 ชุด ข้อมูล • พล็อต กราฟ ความสัมพันธ์ • สรุป ความสัมพันธ์ใน รูป สมการ	• ผู้ชี้แนะ • ผู้ ตรวจสอบ ความ ถูกต้อง • ผู้ให้ feedback	• ผู้ ตั้งสมมติ ฐาน • ผู้ ทดลอง อย่างเป็น ระบบ • ผู้ วิเคราะห์ ข้อมูล	• ใบ กิจกรรม ที่ 2 • กระดาษ กราฟ/ Excel • เครื่อง คิดเลข	• ความ ถูกต้อง ของกราฟ • การ ตีความ ข้อมูล • คะแนน ใบงาน	• ทักษะ การ ทดลอง • การ วิเคราะห์ ข้อมูล • การ สรุปผล



ขั้นตอน	วัตถุประสงค์	กิจกรรม	บทบาทผู้สอน	บทบาทผู้เรียน	เครื่องมือ	การวัดและประเมินผล	ทักษะที่พัฒนา
5. สรุปและอภิปราย	- นำเสนอผลการทดลอง - อภิปรายร่วมกัน - เชื่อมโยงชีวิตจริง	- แต่ละคู่นำเสนอ 1 ความสัมพันธ์ - ซักถามและแลกเปลี่ยน - เชื่อมโยงยกตัวอย่างในชีวิตจริง - ครูสรุปเนื้อหาหลัก	- ผู้ดำเนินกร - อภิปราย - ผู้สรุปประเด็นสำคัญ - ผู้เชื่อมโยงกับชีวิต	- ผู้นำเสนอ - ผู้ซักถาม - ผู้แสดงความคิดเห็น	- ผลงานนักเรียน - PowerPoint/Poster - ตัวอย่างในชีวิตจริง	- การนำเสนอ - การมีส่วนร่วมอภิปราย - การตอบคำถาม	- การสื่อสาร - การคิดวิเคราะห์ - การประยุกต์ใช้
6. ประเมินหลังเรียน	- วัดผลสัมฤทธิ์ - เปรียบเทียบก่อน-หลัง - ประเมินความพึงพอใจ	- ทำแบบทดสอบหลังเรียน - แบบสอบถามความพึงพอใจ - เขียน Reflection	- ผู้คุมสอบ - ผู้เก็บข้อมูล - ผู้ให้กำลังใจ	- ผู้ทำแบบทดสอบ - แสดงความรู้ที่เรียนมา - ให้ข้อเสนอแนะ	- แบบทดสอบ - Google Forms - แบบสอบถามความพึงพอใจ - แบบฟอร์ม	- คะแนนหลังเรียน (E2) - เกณฑ์ผ่าน $\geq 70\%$ - เปรียบเทียบ E1 vs E2 (t-test)	- ความรู้ความเข้าใจ - การนำความรู้ไปใช้ - การไตร่ตรองตนเอง



ขั้นตอน	วัตถุประสงค์	กิจกรรม	บทบาท ผู้สอน	บทบาท ผู้เรียน	เครื่องมือ	การวัด และ ประเมิน ผล	ทักษะที่ พัฒนา
					ม Reflecti on		

ตารางที่ 4 ผลการรับรองรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบเรื่องสมบัติของแก๊ส

เกณฑ์การประเมิน	M	S.D.	แปลผล
ส่วนที่ 1 ความเหมาะสมของรูปแบบ			
1.1 ความเหมาะสมของขั้นตอนการเรียนการสอน			
1.1.1 ขั้นเตรียมความพร้อมมีความเหมาะสม	4.67	0.58	มากที่สุด
1.1.2 ขั้นสอนการใช้โปรแกรมมีความชัดเจน	4.67	0.58	มากที่สุด
1.1.3 กิจกรรมที่สอดคล้องกับจุดประสงค์	4.67	0.58	มากที่สุด
1.1.4 ขั้นสรุปและอภิปรายส่งเสริมการเรียนรู้	4.67	0.58	มากที่สุด
1.1.5 ขั้นประเมินหลังเรียนวัดผลได้ตรงตามจุดประสงค์	4.67	0.58	มากที่สุด
1.1.6 ลำดับขั้นตอนมีความต่อเนื่องและเหมาะสม	4.67	0.58	มากที่สุด
1.1.7 ระยะเวลาแต่ละขั้นตอนมีความเหมาะสม	4.67	0.58	มากที่สุด
1.2 ความเหมาะสมของเนื้อหา			
1.2.1 เนื้อหาสอดคล้องกับหลักสูตร	4.33	0.58	มาก
1.2.2 เนื้อหามีความถูกต้องและทันสมัย	4.33	0.58	มาก
1.2.3 เนื้อหามีความครอบคลุมและสมบูรณ์	4.33	0.58	มาก
1.2.4 เนื้อหาสามารถนำไปใช้ในชีวิตจริงได้	4.33	0.58	มาก
เฉลี่ยความเหมาะสมของรูปแบบ	4.50	0.58	มากที่สุด
ส่วนที่ 2 ความเป็นไปได้ในการนำไปใช้			
2.1 อุปกรณ์และสิ่งอำนวยความสะดวก			



เกณฑ์การประเมิน	M	S.D.	แปลผล
2.1.1 โปรแกรม PhET Simulation หาได้ง่ายและใช้ฟรี	5.00	0.00	มากที่สุด
2.1.2 อุปกรณ์คอมพิวเตอร์เพียงพอในโรงเรียน	4.67	0.58	มากที่สุด
2.1.3 ระบบอินเทอร์เน็ตมีเสถียรภาพ	4.33	0.58	มาก
2.1.4 ห้องเรียนเหมาะสมกับการจัดกิจกรรม	4.67	0.58	มากที่สุด
2.2 ความสามารถของผู้สอน			
2.2.1 ผู้สอนสามารถใช้โปรแกรม PhET ได้	5.00	0.00	มากที่สุด
2.2.2 ผู้สอนเข้าใจเนื้อหาสมบัติของแก๊สอย่างลึกซึ้ง	4.67	0.58	มากที่สุด
2.2.3 ผู้สอนสามารถจัดกิจกรรมตามขั้นตอนได้	4.67	0.58	มากที่สุด
2.2.4 ผู้สอนสามารถจัดการชั้นเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ	4.67	0.58	มากที่สุด
2.3 ระยะเวลาและการบริหารจัดการ			
2.3.1 ระยะเวลา 2 ชั่วโมงเหมาะสมกับเนื้อหา	4.67	0.58	มากที่สุด
2.3.2 สามารถดำเนินกิจกรรมได้ตามเวลาที่กำหนด	4.67	0.58	มากที่สุด
2.3.3 สามารถปรับเวลาได้ตามบริบทโรงเรียน	4.67	0.58	มากที่สุด
2.3.4 การเตรียมการล่วงหน้าไม่ยุ่งยากเกินไป	4.67	0.58	มากที่สุด
เฉลี่ยความเป็นไปได้ในการนำไปใช้	4.70	0.48	มากที่สุด
ส่วนที่ 3 ประสิทธิภาพของรูปแบบ			
3.1 ด้านผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้			
3.1.1 นักเรียนมีความเข้าใจสมบัติของแก๊สเพิ่มขึ้น	4.67	0.58	มากที่สุด
3.1.2 นักเรียนสามารถอธิบายความสัมพันธ์ P-V-T ได้	4.67	0.58	มากที่สุด
3.1.3 นักเรียนสามารถแก้ปัญหาเกี่ยวกับแก๊สได้	4.67	0.58	มากที่สุด
3.1.4 คะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญ	4.33	0.58	มาก
3.2 ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์			
3.2.1 นักเรียนมีทักษะการสังเกตที่ดีขึ้น	4.33	0.58	มาก
3.2.2 นักเรียนมีทักษะการทดลองที่เป็นระบบ	4.33	0.58	มาก
3.2.3 นักเรียนสามารถวิเคราะห์ข้อมูลและกราฟได้	4.67	0.58	มากที่สุด



เกณฑ์การประเมิน	M	S.D.	แปลผล
3.2.4 นักเรียนสามารถสรุปผลและนำเสนอได้	4.67	0.58	มากที่สุด
3.3 ด้านเจตคติและความพึงพอใจ			
3.3.1 นักเรียนมีความสนใจในการเรียนวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้น	4.67	0.58	มากที่สุด
3.3.2 นักเรียนมีทัศนคติที่ดีต่อการใช้เทคโนโลยี	4.67	0.58	มากที่สุด
3.3.3 นักเรียนมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนรู้	4.67	0.58	มากที่สุด
เฉลี่ยประสิทธิภาพของรูปแบบ	4.58	0.58	มากที่สุด
ส่วนที่ 4 คุณภาพของเครื่องมือ			
4.1 แบบทดสอบ			
4.1.1 ข้อสอบมีความตรงตามจุดประสงค์	4.67	0.58	มากที่สุด
4.1.2 ข้อสอบมีความเชื่อมั่น	4.67	0.58	มากที่สุด
4.2 ใบกิจกรรมการเรียนรู้			
4.2.1 ใบกิจกรรมมีความชัดเจนและเข้าใจง่าย	4.67	0.58	มากที่สุด
4.2.2 คำถามกระตุ้นให้ผู้เรียนคิดวิเคราะห์	4.67	0.58	มากที่สุด
4.2.3 ตารางบันทึกข้อมูลเหมาะสมและใช้งานง่าย	4.67	0.58	มากที่สุด
4.2.4 ใบกิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้ด้วยตนเอง	4.67	0.58	มากที่สุด
4.3 โปรแกรม PhET Simulation			
4.3.1 โปรแกรมใช้งานง่ายและเข้าใจได้ทันที	4.67	0.58	มากที่สุด
4.3.2 กราฟและภาพแสดงผลชัดเจนและสวยงาม	4.67	0.58	มากที่สุด
4.3.3 การควบคุมตัวแปรทำได้สะดวกและรวดเร็ว	4.67	0.58	มากที่สุด
4.3.4 โปรแกรมช่วยให้เข้าใจเนื้อหาได้ดีกว่าการบรรยาย	4.67	0.58	มากที่สุด
เฉลี่ยคุณภาพของเครื่องมือ	4.67	0.58	มากที่สุด
เฉลี่ยรวมทั้งหมด	4.61	0.58	มากที่สุด

ค่า IOC รายข้ออยู่ในช่วง 0.67 ถึง 1.00 ถือว่า ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (≥ 0.50) ทุกข้อ



ตารางที่ 5 ความพึงพอใจหลังเรียนการจัดการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบเรื่องสมบัติของแก๊ส

รายการ	M	S.D.	แปลผล
ด้านที่ 1 ด้านเนื้อหา			
1.1 เนื้อหามีความยากง่ายเหมาะสมกับระดับชั้นของผู้เรียน	3.83	0.87	มาก
1.2 เนื้อหามีความถูกต้อง ชัดเจน และเข้าใจง่าย	3.50	0.82	มาก
1.3 การลำดับเนื้อหาเป็นขั้นตอน ต่อเนื่องกันอย่างเหมาะสม	3.97	0.72	มาก
เฉลี่ยด้านเนื้อหา	3.77	0.8	มาก
ด้านที่ 2 ด้านสื่อการเรียนรู้			
2.1 สื่อสถานการณ์จำลองมีความน่าสนใจ ดึงดูดให้อยากเรียนรู้	4.07	0.91	มาก
2.2 สื่อช่วยให้มองเห็นภาพได้ชัดเจนเป็นรูปธรรม	4.20	0.76	มาก
2.3 สื่อใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน สะดวกต่อการเรียนรู้	4.17	0.83	มาก
2.4 ตัวอักษร สีเส้น และภาพกราฟิก มีความชัดเจนสวยงาม	4.10	0.92	มาก
เฉลี่ยด้านสื่อการเรียนรู้	4.14	0.86	มาก
ด้านที่ 3 ด้านกิจกรรม			
3.1 รูปแบบการสอนมีความสนุกสนาน ไม่น่าเบื่อ	3.40	0.97	มาก
3.2 เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติและทดลองด้วยตนเอง	4.47	0.78	มาก
3.3 บรรยากาศในการเรียนส่งเสริมให้กล้าซักถามและแสดงความคิดเห็น	4.10	0.71	มาก
3.4 เวลาที่ใช้ในการทำกิจกรรมมีความเหมาะสม	3.63	0.76	มาก
เฉลี่ยด้านกิจกรรม	3.90	0.81	มาก
ด้านที่ 4 ด้านประโยชน์ที่ได้รับ			
4.1 นักเรียนมีความเข้าใจในบทเรียนมากยิ่งขึ้น	4.20	0.76	มาก
4.2 นักเรียนสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้หรืออธิบายปรากฏการณ์จริงได้	4.43	0.73	มาก
4.3 นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์	4.33	0.66	มาก
เฉลี่ยด้านประโยชน์ที่ได้รับ	4.32	0.72	มาก



รายการ	M	S.D.	แปลผล
รวมเฉลี่ยทั้งหมด	4.03	0.80	มาก

ค่า IOC รายข้ออยู่ในช่วง 0.67 ถึง 1.00 ถือว่า ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (≥ 0.50) ทุกข้อ

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้บรรลุวัตถุประสงค์ทั้ง 3 ข้ออย่างครบถ้วน ประการแรก ผู้วิจัยได้สังเคราะห์กรอบแนวคิดแบบ Input-Process-Output โดยใช้ PhET Simulation เรื่องสมบัติของแก๊สเป็นสื่อหลัก และเชื่อมโยงกับใบกิจกรรม การประเมินก่อนเรียน และผลลัพธ์ด้านผลสัมฤทธิ์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติต่อวิทยาศาสตร์อย่างเป็นระบบ ประการที่สอง รูปแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นมี 6 ขั้นตอน ได้แก่ เตรียมความพร้อม สอนการใช้โปรแกรม กิจกรรมสำรวจสมบัติของแก๊ส กิจกรรมทดสอบความสัมพันธ์ สรุปและอภิปราย และประเมินหลังเรียน โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินว่ามีความเหมาะสมและเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในระดับมากถึงมากที่สุด และประการที่สาม ผลการทดลองใช้กับผู้เรียนจำนวน 31 คน พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นอย่างชัดเจน โดยคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเพิ่มจาก 17.11 เป็น 22.65 คะแนน และผู้เรียนส่วนใหญ่มีพัฒนาการดีขึ้น ขณะเดียวกันความพึงพอใจหลังเรียนอยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยรวม 4.03 โดยสรุป รูปแบบการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวมีศักยภาพในการยกระดับการเรียนรู้เรื่องสมบัติของแก๊สได้ทั้งในด้านความรู้ ทักษะ และเจตคติ

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยสะท้อนว่าการใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจโมเดลทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นนามธรรมได้ดีขึ้น โดยเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างความดัน ปริมาตร และอุณหภูมิ พบว่าคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเพิ่มขึ้นจาก 17.11 เป็น 22.65 คะแนน หรือเพิ่มขึ้น 5.54 คะแนน ซึ่งแสดงว่ากระบวนการเรียนรู้ด้วย PhET Simulation ช่วยส่งเสริมการเรียนรู้เชิงมนทัศน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับ Wieman et al. (2023), Adams et al. (2023) และ Moore et al. (2023) ที่รายงานว่าสถานการณ์จำลอง PhET ช่วยเพิ่มความเข้าใจเรื่องกฎของแก๊ส ลดความเข้าใจคลาดเคลื่อน และส่งเสริมการอ่านกราฟความสัมพันธ์ตัวแปรได้ดีขึ้น นอกจากนี้ การที่ผู้เรียน 24 คนจาก 31 คน หรือร้อยละ 77 มีคะแนนหลังเรียนสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่ารูปแบบนี้ช่วยผู้เรียนส่วนใหญ่ได้จริง โดยเฉพาะผู้เรียนที่มีพื้นฐานน้อยซึ่งสามารถพัฒนาได้เด่นชัด

ในด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การที่ผู้เรียนได้ทดลอง เปลี่ยนตัวแปร บันทึกข้อมูล และวิเคราะห์กราฟ ทำให้เกิดการเรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติจริง ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิด Constructivism, Inquiry-based learning และ 5E Learning Model ผลในตารางที่ 5 ยังสะท้อนว่า



ผู้เรียนเห็นคุณค่าของสื่อและประโยชน์ของกิจกรรม โดยด้านประโยชน์ที่ได้รับมีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 4.32 และด้านสื่อการเรียนรู้มีค่าเฉลี่ย 4.14 แสดงว่าสถานการณ์จำลองช่วยให้ผู้เรียนมองเห็นภาพเข้าใจง่าย และประยุกต์ใช้ความรู้ได้ อย่างไรก็ตาม ด้านกิจกรรมมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าด้านอื่นเล็กน้อย โดยเฉพาะข้อเกี่ยวกับความสนุกสนานและความเหมาะสมของเวลา ซึ่งบ่งชี้ว่าควรปรับให้กิจกรรมมีความกระชับและหลากหลายมากขึ้น ผลนี้สอดคล้องกับ Black & Wiliam (2023) และ Brookhart (2024) ที่เสนอว่าการประเมินระหว่างเรียนและการให้ข้อมูลป้อนกลับอย่างต่อเนื่องจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ได้

ในเชิงเปรียบเทียบตารางที่ 1 ซึ่งเป็นผลประเมินจากผู้เชี่ยวชาญมีค่าเฉลี่ยรวม 4.43 ขณะที่ตารางที่ 4 มีค่าเฉลี่ยรวม 4.61 แสดงว่าหลังจากมีการปรับปรุงรูปแบบและเครื่องมือแล้ว คุณภาพของรูปแบบดีขึ้นอย่างชัดเจน ด้านตารางที่ 5 แม้คะแนนความพึงพอใจของผู้เรียนจะน้อยกว่าคะแนนของผู้เชี่ยวชาญ แต่ยังคงอยู่ในระดับมากและสะท้อนแนวโน้มเดียวกันว่า PhET Simulation และรูปแบบกิจกรรมนี้มีคุณค่าทางการเรียนรู้จริง ดังนั้น ผลวิจัยนี้จึงสนับสนุนแนวคิดว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบเป็นแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการสอนวิทยาศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษา โดยเฉพาะหัวข้อที่เป็นนามธรรมและต้องอาศัยการเชื่อมโยงระหว่างแบบจำลองกับปรากฏการณ์จริง

องค์ความรู้ที่ได้รับจากการวิจัย

องค์ความรู้ใหม่ที่ได้จากงานวิจัยนี้คือการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ด้วยสถานการณ์จำลองเชิงโต้ตอบแบบ 6 ขั้นตอนที่ออกแบบเฉพาะสำหรับเนื้อหาเรื่องสมบัติของแก๊ส ซึ่งสามารถใช้เป็นต้นแบบของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในบริบทดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพ รูปแบบดังกล่าวไม่ได้เป็นเพียงการนำ PhET Simulation มาใช้ประกอบการสอนเท่านั้น แต่เป็นการออกแบบกระบวนการเรียนรู้ทั้งระบบ ตั้งแต่การเตรียมความพร้อม การฝึกใช้โปรแกรม การสำรวจและทดลอง การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ การอภิปรายผล ไปจนถึงการประเมินผลหลังเรียน ทำให้เกิดลำดับการเรียนรู้ที่ต่อเนื่องและสอดคล้องกับพัฒนาการทางความคิดของผู้เรียน

องค์ความรู้ใหม่นี้ยังสะท้อนว่า การใช้ simulation อย่างมีโครงสร้างสามารถช่วยยกระดับคุณภาพของการเรียนรู้ได้จริง โดยเฉพาะเมื่อบูรณาการกับใบกิจกรรม การถามตอบเชิงสืบเสาะ และการอภิปรายร่วมกัน ผู้เรียนไม่ได้เพียง “ดู” การจำลอง แต่ได้ “ทดลอง” “คิด” และ “สรุป” ด้วยตนเอง จึงช่วยให้เกิดความเข้าใจเชิงลึกในความสัมพันธ์ P-V-T ของแก๊สและลดความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่มักเกิดในเนื้อหา นี้ ผลการทดลองใช้รูปแบบยังชี้ให้เห็นว่าผู้เรียนส่วนใหญ่มีคะแนนหลังเรียนสูงขึ้น และมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมในระดับมาก ซึ่งยืนยันว่ารูปแบบที่พัฒนาขึ้นมีคุณค่าทั้งในเชิงการเรียนรู้และเชิงปฏิบัติจริง



นอกจากนี้ องค์ความรู้ใหม่จากงานนี้ยังอยู่ที่การแสดงให้เห็นว่าการออกแบบการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในยุคดิจิทัลไม่ควรเน้นเพียงการใช้เทคโนโลยีเป็นสื่อเสริม แต่ควรออกแบบให้เทคโนโลยีเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการสร้างความรู้ของผู้เรียนอย่างแท้จริง กล่าวคือ เทคโนโลยีควรทำหน้าที่เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้ผู้เรียนมองเห็นสิ่งที่มองไม่เห็น ทดลองสิ่งที่ทำได้ยากในห้องเรียนจริง และใช้ข้อมูลจากการทดลองไปสู่การอธิบายเชิงเหตุผลได้อย่างเป็นระบบ ข้อค้นพบนี้จึงช่วยขยายความเข้าใจเกี่ยวกับบทบาทของ PhET Simulation ในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับหัวข้ออื่นที่มีลักษณะนามธรรมคล้ายคลึงกันได้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มสื่อเสริม เช่น ภาพเคลื่อนไหว 3 มิติ แอนิเมชัน หรือกิจกรรม gamification เพื่อกระตุ้นแรงจูงใจและเพิ่มการมีส่วนร่วมของผู้เรียน
2. การศึกษาประสิทธิภาพของรูปแบบนี้เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีสอนแบบอื่น เช่น การสอนแบบบรรยาย การทดลองจริง หรือการเรียนรู้แบบผสมผสาน เพื่อให้เห็นความแตกต่างเชิงประจักษ์ชัดเจนยิ่งขึ้น
3. ควรขยายกลุ่มตัวอย่างไปยังโรงเรียนและระดับชั้นที่หลากหลาย เพื่อทดสอบความเป็นไปได้ของการนำรูปแบบนี้ไปใช้ในบริบทที่แตกต่างกัน
4. สำหรับบริบทโรงเรียนที่มีข้อจำกัดด้านอุปกรณ์ ควรพิจารณาพัฒนา PhET เวอร์ชันภาษาไทยหรือเวอร์ชันออฟไลน์ เพื่อให้การเข้าถึงสื่อการเรียนรู้สะดวกและทั่วถึงมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Anderson, L.W., & Krathwohl, D.R. (Eds.) (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Longman.
- Black, P., & Wiliam, D. (1998). Assessment and Classroom Learning. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 5(1), 7–74.
<https://doi.org/10.1080/0969595980050102>
- Bloom, B.S., Engelhart, M.D., Furst, E.J., Hill, W.H., & Krathwohl, D.R. (1956). *Taxonomy of Educational Objectives, Handbook I: The Cognitive Domain*. New York: David McKay Co Inc.
- Brookhart, S.M. (2024). Educational Assessment Knowledge and Skills for Teachers Revisited. *Education Sciences*, 14(7), 751.
<https://doi.org/10.3390/educsci14070751>



- Bybee, R.W. (1997). *Achieving scientific literacy: From purposes to practical action*. Heinemann.
- Clark, T.M., & Chamberlain, J.M. (2014). Use of a PhET Interactive Simulation in General Chemistry Laboratory: Models of the Hydrogen Atom. *Journal of Chemical Education*, 91(8), 1198–1202. <https://doi.org/10.1021/ed400454p>
- Dubson, M., Perkins, K., Adams, W., Finkelstein, N.D., Reid, S., Wieman, C.E., & LeMaster, R. (2006). PhET: Interactive Simulations for Teaching and Learning Physics. *The Physics Teacher*, 44(1), 18–23. <https://doi.org/10.1119/1.2150754>
- Gagné, R.M. (1985). *The Conditions of Learning and Theory of Instruction* (4th ed.). Holt, Rinehart and Winston.
- Hake, R. (1998). Interactive-Engagement versus Traditional Methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Hofstein, A. (2004). The laboratory in chemistry education: Thirty years of experience with developments, implementation, and research. *Chemistry Education Research and Practice*, 5(3), 247-264.
- Johnstone, A. (1982). Macro- and micro-chemistry. *School Science Review*, 64, 377-379.
- Kolb, D.A. (1984). *Experience: Experience as the source of learning and development*. Prentice-Hall.
- Moore, E.B., Chamberlain, J.M., Parson, R., & Perkins, K.K. (2014). PhET Interactive Simulations: Transformative Tools for Teaching Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 91(8), 1191–1197. <https://doi.org/10.1021/ed4005084>
- Nakhleh, M.B. (1992). Why some students don't learn chemistry: Chemical misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 69(3), 191. <https://doi.org/10.1021/ed069p191>
- Novick, S., & Nussbaum, J. (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of gas: A cross-age study. *Science Education*, 65(2), 187-196.
- Piaget, J. (1970). *Science education and the psychology of the child*. New York: Viking Press.
- Prince, M. (2004). Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education*, 93(3), 223-231.



- Rahmawati, Y., Zulhipri, Z., Hartanto, O., Falani, I., & Iriyadi, D. (2022). Students' conceptual understanding in chemistry learning using PhET interactive simulations. *Journal of Technology and Science Education*, 12(2), 303–326. <https://doi.org/10.3926/jotse.1597>
- Salame, I.I., & Makki, J. (2021). Examining the u of PhET simulations on students' attitudes and learning in general chemistry II. *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*. 17(4), e2247. <https://doi.org/10.21601/ijese/10966>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Wieman, C.E., Adams, W.K., & Perkins, K.K. (2008). PhET: Simulations that enhance learning. *Science*, 322(5902), 682–683. <https://doi.org/10.1126/science.1161948>

