JAE: Journal of Applied Education, 2026. 4(5): 93-104.

PANYAPAT
ปัญญาพัฒน์

JAE
Journal of Applied Education
https://so16.tci-thaijo.org/index.php/JAE/index

Research Article

Enhancing Grade 12 Students' Academic Achievement and Integrated Science Process Skills in Chemistry on Galvanic Cells Through Inquiry-Based Learning with Interactive Virtual Simulations at Thanakhon Yanwarophat Uthit School

Pranitsorn Rattanamanee[1*] and Surawee Peanpedlerd[2]

[1] *Master of Education in Innovative Curriculum and Learning Management, Faculty of Education, Ramkhamhaeng University, Thailand*

[2] *Department of Curriculum and Instruction, Faculty of Education, Ramkhamhaeng University, Thailand*

[*] *Corresponding author. E-mail: 6724440016@rumail.ru.ac.th*

ABSTRACT

This study aimed to (1) compare Grade 12 students' chemistry achievement on galvanic cells before and after inquiry-based learning with interactive virtual simulations, (2) study the integrated science process skills of Grade 12 students after inquiry-based learning with interactive virtual simulations, and (3) study the satisfaction of Grade 12 students with inquiry-based learning with interactive virtual simulations. This study employed a pre-experimental research design using a one-group pretest–posttest design. The sample consisted of 20 Grade 12/1 students at Thanakhon Yanwarophat Uthit School in the first semester of the 2026 academic year. They were selected through purposive sampling. The data collection instruments included (1) inquiry-based lesson plans, (2) interactive virtual simulations, (3) an academic achievement test, (4) an integrated science process skills assessment form, and (5) a satisfaction questionnaire. Data were analyzed using descriptive statistics and a paired-samples t-test. The results of the study revealed that (1) the academic achievement in galvanic cells of Grade 12 students after inquiry-based learning with interactive virtual simulations was significantly higher than before learning at the .05 level of statistical significance; (2) the overall integrated science process skills of Grade 12 students after inquiry-based learning with interactive virtual simulations were at a very good level ($\bar{x}$ = 4.51, S.D. = 0.64); and (3) the satisfaction of Grade 12 students with inquiry-based learning with interactive virtual simulations was at the highest level ($\bar{x}$ = 4.93, S.D. = 0.20).

Keywords: Inquiry-Based Learning, Interactive Virtual Simulations, Galvanic Cells, Academic Achievement, Integrated Science Process Skills

Received: 19 August 2026;
Revised: 19 October 2026;
Accepted: 30 October 2026

© 2026 JAE: Journal of Applied Education
ISSN: 2985-2307 (Online)

การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง รายวิชาเคมี เรื่อง เซลล์กัลวานิก ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนท่านครญาณวโรภาสอุทิศ

ปราณิศศร รัตนมณี[1*] และ สุรวีร์ เพียรเพชรเลิศ[2]

[1] *ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานวัตกรรมหลักสูตรและการจัดการเรียนรู้ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ประเทศไทย*

[2] *ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ประเทศไทย*

* *Corresponding author. E-mail: 6724440016@rumail.ru.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง เซลล์กัลวานิก ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง 2) ศึกษาระดับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 หลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง และ 3) ศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองขั้นต้น โดยใช้แบบแผนการทดลองกลุ่มเดียวทดสอบก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/1 โรงเรียนท่านครญาณวโรภาสอุทิศ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2569 จำนวน 20 คน ซึ่งได้จากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ 1) แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 2) สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง 3) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 4) แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และ 5) แบบสอบถามความพึงพอใจ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบทีสำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน (Paired-Samples t-test) ผลการศึกษาพบว่า 1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง เซลล์กัลวานิก ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 หลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงสูงกว่าก่อนการจัดการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 2) ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 หลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง โดยรวมอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}$ = 4.51, S.D. = 0.64) และ 3) ความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.93, S.D. = 0.20)

คำสำคัญ: การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ, สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง, เซลล์กัลวานิก, ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน, ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ

© 2026 JAE: Journal of Applied Education

บทนำ

หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) กำหนดเป้าหมายในการพัฒนาผู้เรียนให้มีความฉลาดรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยมุ่งเน้นการบ่มเพาะทักษะการสืบเสาะผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่เข้มข้น การจัดการเรียนรู้ในยุคปัจจุบันจึงก้าวข้ามการถ่ายโอนข้อเท็จจริงในลักษณะนิรนัยไปสู่การส่งเสริมสมรรถนะการคิดขั้นสูงและการเรียนรู้เชิงรุก (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) ซึ่งการบูรณาการเทคโนโลยีดิจิทัลทำหน้าที่เป็นเครื่องมือทางพุทธิปัญญาที่ช่วยขยายขอบเขตการรับรู้และช่วยให้ผู้เรียนสามารถสร้างมโนภาพเชิงวิทยาศาสตร์ในปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนได้อย่างเป็นรูปธรรม สอดรับกับธรรมชาติของสาระเคมีที่ครอบคลุมการศึกษาธรรมชาติของสสาร โครงสร้าง และปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลง โดยอาศัยการเชื่อมโยงมโนทัศน์ระหว่างระดับมหภาค ระดับอนุภาค และระดับ

สัญลักษณ์ ซึ่งถือเป็นหัวใจสำคัญของการสร้างความเข้าใจทางเคมีที่สมบูรณ์ (นินนาท์ จันทร์สูรย์ และนวศิษฏ์ รักษ์บำรุง, 2561)

ทั้งนี้รายวิชาเคมีในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายมักถูกระบุว่าเป็นเนื้อหาที่มีความซับซ้อนและเป็นนามธรรมสูง โดยเฉพาะเรื่อง “เซลล์กัลวานิก” ซึ่งผู้เรียนจำเป็นต้องอาศัยจินตภาพเชิงวิทยาศาสตร์เพื่อทำความเข้าใจกระบวนการทางพลวัตที่ไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า สภาพปัญหาดังกล่าวมักส่งผลให้ผู้เรียนเกิดความสับสนและแนวคิดคลาดเคลื่อนได้ง่าย หากกระบวนการเรียนรู้ยังคงยึดโยงอยู่กับการบรรยายเชิงทฤษฎี (กมลชนก จันทร และคณะ, 2565) นอกจากนี้สถานศึกษายังเผชิญข้อจำกัดทางกายภาพ ทั้งวัสดุอุปกรณ์ เวลาในการทดลองที่จำกัด และปัจจัยความเสี่ยงจากการปฏิบัติการจริง ส่งผลให้ผู้เรียนขาดโอกาสในการฝึกปฏิบัติและขัดขวางการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ

จากการศึกษาสภาพปัญหาการจัดการเรียนรู้ รายวิชาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในปีการศึกษา 2568 ที่ผ่านมา พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนในเรื่อง เซลล์กัลวานิก อยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์ที่สถานศึกษากำหนด ซึ่งสถานศึกษาได้กำหนดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยของนักเรียนในรายวิชาเคมีต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 โดยนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยเพียงร้อยละ 58.50 นอกจากนี้ยังพบว่านักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการทั้ง 5 ด้านต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด สภาพการณ์ดังกล่าวยังสัมพันธ์กับรายงานผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O-NET) กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของสถานศึกษา ที่พบว่าคะแนนเฉลี่ยยังคงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยระดับประเทศอย่างต่อเนื่อง (สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ, 2569) รวมถึงผลการประเมิน PISA 2022 ที่ระบุว่าผู้เรียนไทยมีสมรรถนะการคิดเชิงวิทยาศาสตร์ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศสมาชิก OECD (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2568; OECD, 2023) โดยเฉพาะในเนื้อหาเรื่อง เซลล์กัลวานิก ซึ่งมีความซับซ้อน เป็นนามธรรม และมีกระบวนการเคลื่อนที่ของอนุภาคในระดับจุลภาคที่เข้าใจได้ยาก ผู้เรียนส่วนใหญ่มักประสบปัญหาในการเชื่อมโยงมโนทัศน์กับสถานการณ์จริง มีสาเหตุสำคัญจากการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการท่องจำทฤษฎีมากกว่าการฝึกทักษะกระบวนการคิด และการขาดแคลนสื่อการสอนที่สามารถสร้างปฏิสัมพันธ์หรือสื่อสารมโนทัศน์ระดับจุลภาคได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญของการนำรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้บนรากฐานทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism) มาใช้ในการจัดการเรียนรู้ ถือเป็นแนวคิดที่เน้นให้ผู้เรียนได้มีบทบาทสำคัญในการสร้างความรู้ด้วยตนเองผ่านกระบวนการคิดวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ ซึ่งช่วยยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีนัยสำคัญ (ณัฐณิชากร ศรีบริบูรณ์, 2564) เมื่อนำมาบูรณาการร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง ซึ่งทำหน้าที่เป็นห้องปฏิบัติการเสมือนในการลดภาระทางปัญญาและช่วยให้ผู้เรียนสามารถมองเห็นพฤติกรรมในระดับจุลภาคได้โดยปราศจากข้อจำกัดทางกายภาพ (นาตยา ช่วยชูเชิด, 2569) การผสานสองแนวทางนี้จึงเป็นการยกระดับจากการทดลองเสมือนขั้นพื้นฐานทั่วไปสู่การสร้างโมเดลการเรียนรู้เชิงรุกที่เชื่อมโยงมโนทัศน์ทางเคมีทั้งระดับมหภาค จุลภาค และสัญลักษณ์ ในเนื้อหาเรื่องเซลล์กัลวานิกได้อย่างเป็นรูปธรรม ซึ่งถือเป็นนวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ที่มีศักยภาพในการขจัดแนวคิดคลาดเคลื่อนและส่งเสริมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ธัชชา ศุกระจันทร์ และคณะ, 2567)

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงในรายวิชาเคมี เรื่อง เซลล์กัลวานิก สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เพื่อยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของผู้เรียนให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

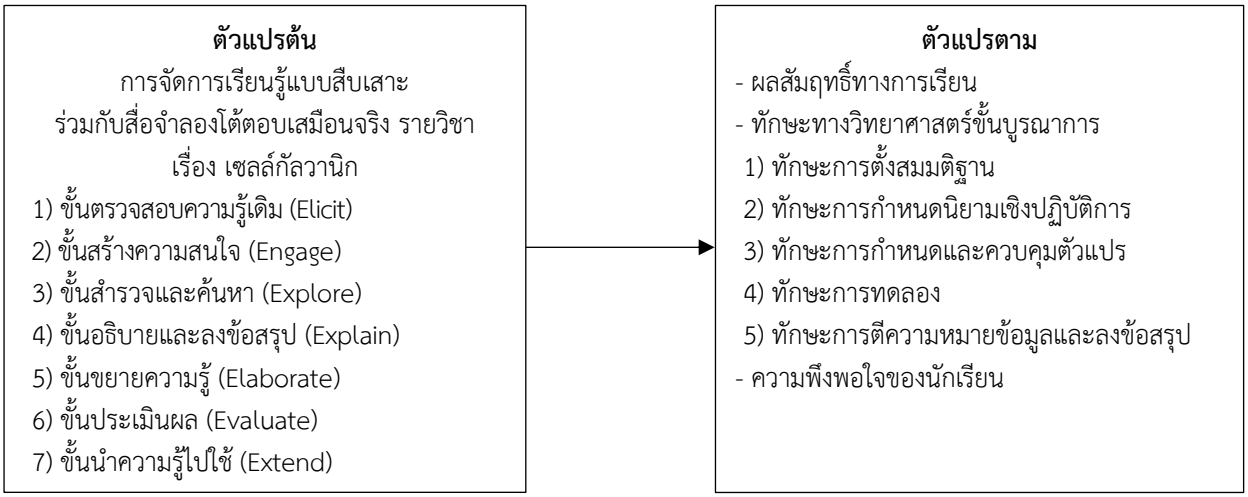
1. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่อง เซลล์กัลวานิก ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง

2. เพื่อศึกษาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 หลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง

3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง

การทบทวนวรรณกรรมและกรอบแนวคิดในการวิจัย

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง เป็นการผสานองค์ประกอบของกระบวนการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์บนรากฐานทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง เข้ากับเทคโนโลยีสื่อจำลองเสมือนจริง เพื่อช่วยลดภาระทางปัญญา ช่วยให้ผู้เรียนมองเห็นพฤติกรรมในระดับจุลภาคโดยปราศจากข้อจำกัดทางกายภาพ (นภสร ศรีสมบัติ, 2566) โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองเสมือนจริงสามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ยกระดับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งช่วยขจัดแนวคิดคลาดเคลื่อนของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ธัชชา ศุกระจันทร์ และคณะ, 2567) จากแนวคิดและผลการศึกษาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงนำแนวคิดการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะมาประยุกต์ร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง และกำหนดขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับเนื้อหา เรื่อง เซลล์กัลวานิก ประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นตรวจสอบความรู้เดิม 2) ขั้นสร้างความสนใจ 3) ขั้นสำรวจและค้นหา 4) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป 5) ขั้นขยายความรู้ 6) ขั้นประเมินผล และ 7) ขั้นนำความรู้ไปใช้ โดยมุ่งพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียน ซึ่งนำไปสู่การกำหนดกรอบแนวคิดการวิจัยดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงกรอบแนวคิดการวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองขั้นต้น (Pre-Experimental Designs) โดยใช้แผนการทดลองแบบกลุ่มทดลองเดียว ทดสอบทั้งก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ (The One-Group Pretest-Posttest Design) (บุญชม ศรีสะอาด, 2560) โดยมีขั้นตอนการวิจัย ดังนี้

1. ประชากร และกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรการวิจัย คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่กำลังศึกษาอยู่ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2569 โรงเรียนท่านครญาณวโรภาสอุทิศ 2 ห้องเรียน ประกอบด้วยแผนการสอนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ และแผนการเรียนทั่วไป จำนวน 60 คน

กลุ่มตัวอย่างการวิจัย คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 กำลังศึกษาอยู่ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2569 ห้อง 6/1 จำนวน 20 คน ได้มา โดยการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เนื่องจาก นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการต่ำ

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1 แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง เซลล์กัลวานิก โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง ทั้งนี้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นที่ 1 ขั้นตรวจสอบความรู้เดิม ขั้นที่ 2 ขั้นสร้างความสนใจ ขั้นที่ 3 ขั้นสำรวจและค้นหา ขั้นที่ 4 ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป ขั้นที่ 5 ขั้นขยายความรู้ ขั้นที่ 6 ขั้นประเมินผล และขั้นที่ 7 ขั้นนำความรู้ไปใช้ แผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นนั้น มีจำนวน 4 แผน ใช้ระยะเวลาในการจัดการเรียนรู้รวมทั้งสิ้น 12 ชั่วโมง ประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่องความหมายและหลักการพื้นฐานของไฟฟ้าเคมี แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน–รีดักชัน และการถ่ายโอนอิเล็กตรอน แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 องค์ประกอบของเซลล์ไฟฟ้าเคมี แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 หลักการทำงานของเซลล์กัลวานิก ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นไปให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ประเมินความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ผลการประเมินพบว่า แผนการจัดการเรียนรู้มีคุณภาพ และมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.77, S.D. = 0.19)

2.2 สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง เรื่อง เซลล์กัลวานิก ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์หลักสูตรและเนื้อหาที่มีความนามธรรมสูงเพื่อมองหาแนวทางในการแปลงเนื้อหาให้เป็นรูปธรรม ต่อด้วยการออกแบบสื่อให้สอดคล้องกับกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 7 ขั้นตอน ที่เน้นการปฏิสัมพันธ์เชิงรุกและการให้ข้อมูลย้อนกลับทันที จากนั้นดำเนินการพัฒนาสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง และนำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านเพื่อประเมินความเหมาะสม โดยสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 6 ส่วน ได้แก่ 1) ภาพรวม (Overview) ที่นำเสนอแนวคิดพื้นฐานเรื่องไฟฟ้าเคมี การทำงานของเซลล์กัลวานิกในสภาวะจริง ปฏิกิริยารีดอกซ์ และการประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน 2) ส่วนหลักการ (Principles) ที่อธิบายเนื้อหาทฤษฎีเชิงลึก ได้แก่ ขั้วแอโนด-แคโทด สะพานเกลือ ทิศทางการไหลของอิเล็กตรอนและกระแสไฟฟ้า ขั้นตอนการพิจารณาเลขออกซิเดชัน การเขียนแผนภาพเซลล์ และตารางศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ 3) การทดลองในห้องปฏิบัติการเสมือนจริง (Virtual Laboratory) ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนเลือกกำหนดตัวแปรด้วยการเลือกชนิดของสารละลายและขั้วไฟฟ้าแอโนดและแคโทด จากนั้นสังเกตการไหลของอิเล็กตรอนและการเคลื่อนที่ของไอออนในระดับจุลภาคผ่านสะพานเกลือ พร้อมทั้งอ่านค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์จากโวลต์มิเตอร์จำลองได้ด้วยตนเอง 4) การคำนวณค่าศักย์ไฟฟ้าที่แสดงการคำนวณและวิเคราะห์ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ตามหลักการทางเคมีไฟฟ้า 5) สรุปผลการทดลองเสมือน (Conclusion) ที่ประมวลและสรุปผลการทดลองเสมือนจริง เพื่อเชื่อมโยงผลการสังเกตเชิงประจักษ์เข้ากับหลักการทางทฤษฎี และ 6) แบบทดสอบ (Evaluation) ซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องมือวัดและประเมินผลความรู้ความเข้าใจเชิงแนวคิดของผู้เรียนหลังจากการเรียนรู้ผ่านสื่อจำลอง ทั้งนี้ สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง เรื่อง เซลล์กัลวานิก ได้ผ่านการตรวจสอบและหาคุณภาพโดยเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน เพื่อประเมินความเหมาะสมในด้านเนื้อหาและทฤษฎีด้านการออกแบบสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง ด้านการจัดการเรียนรู้ และด้านการใช้งานและเทคโนโลยี ซึ่งผลการประเมินพบว่าสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงมีคุณภาพและความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.92, S.D. = 0.09)

2.3 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง เซลล์กัลวานิก ซึ่งเป็นแบบทดสอบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ โดยผู้วิจัยได้ศึกษามาตรฐานการเรียนรู้ เนื้อหา จุดประสงค์การเรียนรู้ของหลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาระเคมี โดยเป็นเนื้อหาในเรื่อง เซลล์กัลวานิก ซึ่งครอบคลุมเนื้อหา ดังนี้ 1) ความหมายและหลักการพื้นฐานของไฟฟ้าเคมี 2) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน–รีดักชันและการถ่ายโอนอิเล็กตรอน 3) องค์ประกอบของเซลล์ไฟฟ้าเคมี และ 4) หลักการทำงานของเซลล์กัลวานิก และศึกษาวิธีการสร้างแบบทดสอบการวิเคราะห์พฤติกรรมด้านพุทธิพิสัย 6 ระดับ คือ ความรู้จำ ความเข้าใจ การประยุกต์ใช้ การวิเคราะห์ การประเมินค่า และการคิดสร้างสรรค์ ตามแนวคิดของ Bloom taxonomy เพื่อนำมาสร้างข้อคำถามจำนวน 35 ข้อ ต่อมาผู้วิจัยจึงตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของข้อคำถามด้วยการให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ประเมินความถูกต้องและความสัมพันธ์กับจุดประสงค์การเรียนรู้ จากนั้นผู้วิจัยจึงแก้ไขข้อคำถามตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญและนำไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่เคยได้รับการจัดการเรียนรู้เรื่องเซลล์กัลวานิก มาแล้ว จำนวน 19 คน ซึ่งแบบทดสอบนี้มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ตั้งแต่ 0.67 – 1.00 มีค่าความยาก-ง่าย (p) ในช่วงตั้งแต่ 0.42 – 0.79 และค่าอำนาจจำแนก (r) อยู่ระหว่าง 0.22 - 0.77 และมีค่าความเชื่อมั่นโดยใช้สูตรของ Kuder Richardson (KR-20) เท่ากับ 0.78

2.4 แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ผู้วิจัยใช้แบบประเมินประเภทรูบริคสำหรับประเมินผลการปฏิบัติงานเป็นรายบุคคล 5 ระดับ ประกอบด้วย 5 รายการประเมิน ได้แก่ ทักษะการตั้งสมมติฐาน ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร ทักษะการทดลอง และทักษะการตีความหมายข้อมูล ซึ่งประเมินจากภาระงานในใบกิจกรรมและการบันทึกผลการทดลองด้วยสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง เช่น การเขียนระบุสมมติฐาน การกำหนดตัวแปร และการแปลความหมายตัวแปรทางเคมีไฟฟ้าออกมาเป็นข้อความที่ระบุวิธีการวัดหรือข้อสังเกตในรูปแบบของนิยามเชิงปฏิบัติการจากสถานการณ์การทดลองเรื่องเซลล์กัลวานิกที่กำหนดให้ โดยกำหนดเกณฑ์ระดับคุณภาพออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ คะแนน 1.00 – 1.80 หมายถึง มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการระดับน้อยที่สุด คะแนน 1.81 – 2.60 หมายถึง มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการระดับน้อย คะแนน 2.61 – 3.40 หมายถึง มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการระดับปานกลาง คะแนน 3.41 – 4.20 หมายถึง มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการระดับดี และคะแนน 4.21 – 5.00 หมายถึง มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการระดับดีมาก ทั้งนี้ แบบประเมินฉบับนี้ได้รับการประเมินความถูกต้องและความสอดคล้องจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน โดยมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ในระดับ 1.00 ทุกข้อ

2.5 แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงมีลักษณะเป็นมาตรประมาณค่า 5 ระดับ ซึ่งมีการกำหนดประเด็นในการสร้างแบบประเมิน 5 ด้าน คือ 1) ด้านการจัดการเรียนรู้ 2) ด้านบรรยากาศในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ 3) ด้านประสิทธิภาพของสื่อ 4) ด้านการวัดและประเมินผล และ 5) ด้านประโยชน์ที่ได้รับ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามดังกล่าวไปให้คณะผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่าน ประเมินความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ผลปรากฏว่าแบบประเมินฉบับนี้ มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่าง 0.67 ถึง 1.00 เป็นต้น

3. สมมติฐานการวิจัย

3.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่อง เซลล์กัลวานิก ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงหลังทดลองสูงกว่าก่อนทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1. ผู้วิจัยติดต่อประสานงานและขออนุญาตทดลองใช้เครื่องมือและรวบรวมข้อมูล รวมทั้งชี้แจงวัตถุประสงค์และรายละเอียดให้นักเรียนกลุ่มเป้าหมายทราบ

4.2 ให้นักเรียนกลุ่มตัวอย่างเข้ารับการทดสอบก่อนทดลองด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่อง เซลล์กัลวานิกจำนวน 30 ข้อ ใช้เวลา 50 นาที ในเดือน มิถุนายน พ.ศ. 2569

4.3 ดำเนินการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง เรื่อง เซลล์กัลวานิก สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ตามแผนการจัดการเรียนรู้และบันทึกคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจากแบบประเมินทักษะที่สร้างขึ้น ระยะเวลา 12 ชั่วโมง

4.4 เมื่อดำเนินการจัดการเรียนรู้ครบตามกำหนดแล้ว ให้นักเรียนกลุ่มตัวอย่างเข้ารับการทดสอบหลังทดลองโดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง เซลล์กัลวานิก (ชุดเดิม) จำนวน 30 ข้อ ใช้เวลา 50 นาที ในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2569

4.5 นักเรียนกลุ่มเป้าหมายตอบแบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนได้รับ

4.6 ในการประมวลผลข้อมูล ผู้วิจัยนำคะแนนสอบก่อนทดลองและหลังทดลองที่ได้จากการทำแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ เรื่อง เซลล์กัลวานิก เข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ผลผ่านโปรแกรมทางสถิติ เพื่อตรวจสอบสมมติฐาน และนำเสนอผลการศึกษาตามกรอบแนวคิดของงานวิจัย

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนทดลองและหลังทดลองด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง เรื่อง เซลล์กัลวานิก ใช้ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนทดลองและหลังทดลอง ด้วยใช้สถิติทดสอบ t-test กลุ่มตัวอย่างไม่เป็นอิสระต่อกัน (Paired-Samples t-test)

5.2 การวิเคราะห์ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการหลังทดลองด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง เรื่อง เซลล์กัลวานิก โดยใช้ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แล้วแปลผลคะแนนตามเกณฑ์ที่กำหนด

5.3 การวิเคราะห์ความพึงพอใจจากแบบประเมินความพึงพอใจต่อรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง เรื่อง เซลล์กัลวานิก โดยใช้ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แล้วแปลผลคะแนนตามเกณฑ์ที่กำหนด

ผลการวิจัย

จากการศึกษาวิจัย พบว่า

1. ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/1 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง รายวิชาเคมี เรื่อง เซลล์กัลวานิก

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/1 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง รายวิชาเคมี เรื่อง เซลล์กัลวานิก แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/1 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง รายวิชาเคมี เรื่อง เซลล์กัลวานิก

นักเรียน	N	$\bar{X}$	*S.D.*	t	df	Sig.
ก่อนทดลอง	20	*7.65*	*1.84*	27.19	19	.000
หลังทดลอง	20	*21.10*	*2.13*			

หมายเหตุ : *มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 1 พบว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/1 จำนวน 20 คน มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนทดลองเฉลี่ยเท่ากับ 7.65 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.84 และหลังทดลองมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 21.10 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.13 เมื่อเปรียบเทียบคะแนนก่อนทดลองและหลังทดลอง โดยใช้การทดสอบ t-test ชนิด Dependent

Samples พบว่า ค่า t เท่ากับ 27.19 แสดงว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังทดลองสูงกว่าก่อนทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ผลการศึกษาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/1 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง รายวิชาเคมี เรื่อง เซลล์กัลวานิก

ผลการศึกษาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/1 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง รายวิชาเคมี เรื่อง เซลล์กัลวานิก ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/1 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง รายวิชาเคมี เรื่อง เซลล์กัลวานิก

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ	$\bar{X}$	*S.D.*	แปลผล
1. ทักษะการตั้งสมมติฐาน	*4.70*	*0.57*	ดีมาก
2. ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ	*4.25*	*0.79*	ดีมาก
3. ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร	*4.30*	*0.73*	ดีมาก
4. ทักษะการทดลอง	*4.80*	*0.41*	ดีมาก
5. ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป	*4.50*	*0.69*	ดีมาก
เฉลี่ยรวม	***4.51***	***0.64***	**ดีมาก**

จากตารางที่ 2 พบว่า นักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}$ =.51, S.D. = 0.64) เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า ทักษะการทดลองอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}$ = 4.80, S.D. = 0.41) ทักษะการตั้งสมมติฐานอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}$ = 4.70, S.D. = 0.57) ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุปอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}$ =.50, S.D. = 0.69) ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปรอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}$ = 4.30, S.D. = 0.73) และทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}$ = 4.25, S.D. = 0.79)

3. ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/1 ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง รายวิชาเคมี เรื่อง เซลล์กัลวานิก

ความพึงพอใจของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/1 ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง รายวิชาเคมี เรื่อง เซลล์กัลวานิก แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/1 ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง รายวิชาเคมี เรื่อง เซลล์กัลวานิก

รายการประเมินความพึงพอใจ	$\bar{X}$	*S.D.*	แปลผล
ด้านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้	*4.95*	*0.16*	มากที่สุด
ด้านบรรยากาศในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้	*4.98*	*0.13*	มากที่สุด
ด้านประสิทธิภาพของสื่อ	*4.98*	*0.13*	มากที่สุด
ด้านการวัดและประเมินผล	*4.87*	*0.28*	มากที่สุด
ด้านประโยชน์ที่ได้รับ	*4.85*	*0.28*	มากที่สุด
เฉลี่ยรวม	***4.93***	***0.20***	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 3 พบว่า ความพึงพอใจของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6/1 ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง รายวิชาเคมี เรื่อง เซลล์กัลวานิก อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.93, S.D. = 0.20) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านบรรยากาศในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ และด้านประสิทธิภาพของสื่อมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.98, S.D. = 0.13) ด้านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้มีความพึงพอใจอยู่ในระดับ

มากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.95, S.D. = 0.16) ด้านการวัดและประเมินผลมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.87, S.D. = 0.28) และด้านประโยชน์ที่ได้รับมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.85, S.D. = 0.28)

อภิปรายผล

จากผลการศึกษา สามารถอภิปรายผลได้ ดังนี้

1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังทดลองของนักเรียนสูงกว่าก่อนทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 อาจอธิบายได้จาก กระบวนการสืบเสาะเปิดโอกาสให้ผู้เรียนแสวงหาความรู้ตามความสนใจผ่านเนื้อหาที่จัดเรียงอย่างเป็นระบบ ขณะที่สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงช่วยแปลงเนื้อหาเรื่องเซลล์กัลวานิกซึ่งมีความเป็นนามธรรมสูง ให้เห็นภาพการถ่ายโอนอิเล็กตรอนและการเคลื่อนที่ของไอออนในระดับอนุภาคได้อย่างเป็นรูปธรรม ช่วยเร้าความสนใจและเปิดโอกาสให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติจริงด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยนี้สัมพันธ์กับทฤษฎีการเรียนรู้สื่อประสมของ Mayer, R.E. (2009) และทฤษฎีภาระทางปัญญาของ Sweller et al. (2019) ที่ระบุว่าการเรียนรู้ผ่านภาพจำลองควบคู่กับสัญลักษณ์ช่วยลดภาระการประมวลผลของสมอง และส่งเสริมการสร้างความเข้าใจในเนื้อหาที่ซับซ้อน อีกทั้งยังสัมพันธ์กับงานวิจัยของ สุเมธ เนาว์รุ่งโรจน์ (2567) และ ธัชชา ศุกระจันทร์ และคณะ (2567) ที่พบว่าการใช้สื่อจำลองหรือแบบจำลองคอมพิวเตอร์ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

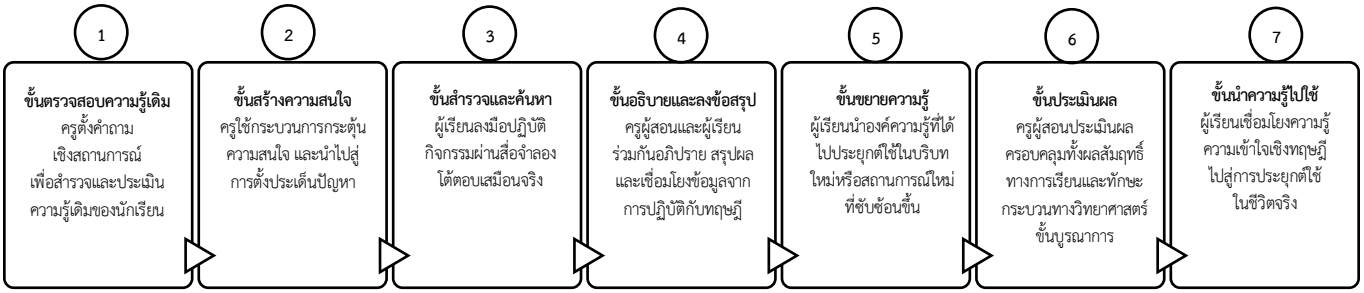
2) ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการโดยรวมของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้พบว่าอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}$ = 4.51, S.D. = 0.64) ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นการทำงานกลุ่มร่วมกับการลงมือปฏิบัติผ่านสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ฝึกฝนทักษะการตั้งสมมติฐาน การกำหนดและควบคุมตัวแปร การกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ การทดลอง ตลอดจนการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุปด้วยตนเองได้อย่างปลอดภัยและทำซ้ำได้ไม่จำกัด จึงส่งผลดีต่อการส่งเสริมกระบวนการคิดแก้ปัญหาและการคิดวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ ทั้งนี้ เมื่อพิจารณารายทักษะ พบว่า ทักษะการทดลองมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับสูงสุด เนื่องจากลักษณะเด่นของสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงช่วยให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริงในการเลือกชนิดของสารละลาย ขั้วไฟฟ้า และสังเกตปรากฏการณ์การไหลของอิเล็กตรอนรวมถึงการเคลื่อนที่ของไอออนผ่านสะพานเกลือได้ทันทีในห้องปฏิบัติการเสมือน ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดความคุ้นเคยและสามารถดำเนินกิจกรรมการทดลองได้อย่างคล่องแคล่ว ในทางตรงกันข้าม ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการกลับมีคะแนนเฉลี่ยต่ำที่สุด เนื่องจากเป็นทักษะการคิดขั้นสูงที่ผู้เรียนต้องแปลงมโนทัศน์ทางเคมีไฟฟ้าที่มีความเป็นนามธรรม เช่น พฤติกรรมหรือกระบวนการเกิดปฏิกิริยาในเซลล์กัลวานิก ให้กลายเป็นข้อความที่ระบุวิธีการวัดหรือข้อสังเกตเชิงประจักษ์ได้อย่างชัดเจน ซึ่งต้องอาศัยการวิเคราะห์เชิงลึกมากกว่าการปฏิสัมพันธ์ผ่านหน้าจอ จึงเป็นธรรมดาที่ผู้เรียนจะเผชิญความท้าทายในการกำหนดนิยามให้รัดกุม สอดคล้องกับแนวคิดของ Smetana et al. (2012) ที่ระบุว่าการใช้สื่อจำลองเสมือนจริงช่วยเพิ่มการปฏิสัมพันธ์กับตัวแปรทดลองและส่งเสริมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Akaygun et al. (2014) ที่พบว่าการใช้สื่อจำลองโต้ตอบในรายวิชาเคมีช่วยยกระดับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และการลงข้อสรุปเชิงวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนได้อย่างมีนัยสำคัญ

3) ความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.93, S.D. = 0.20) ทั้งนี้เนื่องจากสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงช่วยแสดงภาพการถ่ายโอนอิเล็กตรอนและโครงสร้างภายในเซลล์กัลวานิกได้อย่างชัดเจน สะดวกต่อการใช้งาน ช่วยลดข้อจำกัดด้านความปลอดภัย มีระบบที่ไม่ซับซ้อน และช่วยกระตุ้นบรรยากาศการเรียนรู้ให้น่าสนใจ กระตือรือร้น ตลอดจนเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ทำกิจกรรมร่วมกันและสร้างความเข้าใจเชิงมโนทัศน์ที่คงทน ซึ่งการจัดการเรียนรู้ลักษณะนี้เป็นการเปลี่ยนบทบาทของผู้เรียนให้เป็นผู้มีส่วนร่วมในการสร้างความรู้ด้วยตนเอง (Active Learning) ส่งผลให้นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ในระดับมากที่สุด

องค์ความรู้ใหม่

การจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับการใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาเป็นกระบวนการเรียนรู้แบบเชิงรุกที่ส่งเสริมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ การเข้าใจมโนทัศน์เคมีไฟฟ้า และการสร้างความรู้ผ่านการปฏิสัมพันธ์กับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง ทั้งนี้ การเรียนรู้ตามแนวคิดทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยกระบวนการสืบเสาะผ่านสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง ช่วยให้ผู้เรียนเกิดการสร้างความรู้ในตนเอง โดยผู้สอนออกแบบกระบวนการเรียนรู้ให้ผู้เรียนได้มีโอกาสทดลองเสมือนจริง ควบคุมตัวแปร และปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ทางเคมีไฟฟ้าที่เป็นนามธรรมและซับซ้อน ให้สามารถมองเห็นเป็นภาพเคลื่อนไหวเชิงประจักษ์ในระดับจุลภาคของการไหลของอิเล็กตรอนและการเคลื่อนที่ของไอออนผ่านสะพานเกลือได้อย่างชัดเจน

นอกจากนี้ การที่สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงช่วยให้ผู้เรียนได้รับข้อมูลย้อนกลับทันที (Immediate Feedback) ขณะปรับเปลี่ยนตัวแปร ยังส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถประเมินและกำกับความเข้าใจของตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ นำไปสู่การแก้ไขแนวคิดคลาดเคลื่อน ตลอดจนปรับเปลี่ยนบทบาทผู้เรียนจากการรับรู้เชิงรับในรูปแบบการบรรยาย ไปสู่การเป็นผู้สร้างสรรค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านกระบวนการสืบค้น ทดลองเชิงรุก และสะท้อนให้ผู้เรียนสามารถสร้างความเข้าใจเชิงมโนทัศน์ที่ถูกต้องผ่านการมีปฏิสัมพันธ์กับสื่อดิจิทัลขึ้นในตนเองอย่างแท้จริง



ภาพที่ 2 องค์ความรู้ใหม่ของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง

สรุปผลการวิจัย

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง รายวิชาเคมี เรื่อง เซลล์กัลวานิก หลังทดลองสูงกว่าก่อนทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งสอดคล้องตามสมมติฐาน นอกจากนี้ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนหลังทดลองโดยภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก และความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบดังกล่าว ภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

1.1 ควรออกแบบและพัฒนาสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงที่มีลักษณะการปฏิสัมพันธ์ที่หลากหลายและเชื่อมโยงปรากฏการณ์ระดับจุลภาคได้อย่างเหมาะสม เพื่อกระตุ้นความสนใจในการใฝ่รู้ใฝ่เรียน ช่วยลดความนามธรรมของเนื้อหาเคมี และควรคำนึงถึงความแตกต่างด้านความสามารถในการเรียนรู้ของผู้เรียนแต่ละบุคคล

1.2 การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับการใช้สื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเนื้อหาสาระเคมีหัวข้ออื่น ๆ หรือนักเรียนในระดับชั้นอื่น ๆ ได้ แต่จะต้องคำนึงถึงการออกแบบสื่อจำลองและการจัดกิจกรรมให้เหมาะสมกับเนื้อหาวิชาและระดับชั้นของผู้เรียน เพื่อพัฒนาการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพต่อไป

1.3 จากผลการวิจัยพบว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง ส่งผลให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นและเกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ดังนั้น ครูผู้สอนควรนำแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงไปปรับใช้ในการจัดการเรียนการสอน เพื่อเปิด

โอกาสให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติการทดลองเสมือนจริง ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และพัฒนาความเข้าใจเชิงมโนทัศน์ตามศักยภาพของผู้เรียนแต่ละคน

2. ข้อเสนอแนะด้านการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรมีการศึกษาการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริง ในเนื้อหารายวิชาเคมี หรือกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในระดับชั้นอื่นๆ หรือเรื่องอื่นๆ เช่น เรื่อง กรดเบสหรือ พันธะเคมี เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ให้ครอบคลุมยิ่งขึ้น

2.2 ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบผลการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ ร่วมกับสื่อจำลองโต้ตอบเสมือนจริงกับการจัดการเรียนรู้ โดยใช้การทดลองจริงในห้องปฏิบัติการ (Hands-on Labs) ในประเด็นของทักษะการปฏิบัติการ ความคงทนในการเรียนรู้ และเจตคติต่อวิชาเคมีของผู้เรียน เพื่อนำผลการวิจัยมาบูรณาการการสอนทั้งสองรูปแบบให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารอ้างอิง

กมลชนก จันทร, เชษฐ์ ศิริสวัสดิ์ และ ปริญญา ทองสอน. (2565). ผลของการจัดการเรียนรู้วิชาเคมีโดยใช้ปัญหาเป็นฐานที่มีต่อสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมีของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร*, *20*(1), 164–178.

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

ณัฐณิชากร ศรีบริบูรณ์. (2564). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมีและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบ 7E และการจัดการเรียนรู้เชิงรุก. *วารสารมหาจุฬาคชสาร, 12*(1), 59–70.

ธัชชา ศุกระจันทร์, สุมาลี เทียนทองดี และ ยุตพงศ์ สำเภาแก้ว. (2567). การพัฒนาสื่อเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม (AR) ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ปฏิกิริยาเคมี. *วารสารวิชาการ ครุศาสตร์อุตสาหกรรมและวิศวกรรมศึกษา*, *15*(2), 40–55.

นภสร ศรีสมบัติ. (2566). *การพัฒนารูปแบบการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เสมือนจริงแบบสืบสอบและแบบเสริมต่อการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการรู้วิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษา*. (ครุศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).

นาตยา ช่วยชูเชิด. (2569). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้แบบ 5E ร่วมกับสื่อจำลองเสมือนจริง. *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 45*(2), 439-441.

นินนาท์ จันทร์สูรย์ และ นวศิษฏ์ รักษ์บำรุง. (2561). ความรู้เนื้อหาผสานวิธีสอนและเทคโนโลยีในห้องเรียนเคมีโดยใช้สถานการณ์จำลองแบบมีปฏิสัมพันธ์ของ PhET. *วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 1*(1), 109–121.

บุญชม ศรีสะอาด. (2560). *การวิจัยเบื้องต้น*. (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2568). *ผลการประเมิน PISA 2022 คณิตศาสตร์ การอ่าน และวิทยาศาสตร์ (ฉบับสมบูรณ์)*. กรุงเทพฯ: ศูนย์ดำเนินงาน PISA แห่งชาติ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

สุเมธ เนาว์รุ่งโรจน์. (2567). การการพัฒนาการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้สื่อเมตาเวิร์ส เรื่อง ระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์, 4*(2), 41-51.

Akaygun, S., & Jones, L. L. (2014). How does level of guidance affect understanding when students use a dynamic simulation of liquid–vapor equilibrium?. In I. Devetak & S. A. Glažar (Eds.), *Active Learning and Understanding in the Chemistry Classroom* (pp. 243–263). Dordrecht: Springer.

Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning*. (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

OECD. (2023). *PISA 2022 Results (Volume I): The State of Learning and Equity in Education*. Paris: OECD Publishing.

Smetana, L. K., & Bell, R. L. (2012). Computer simulations to support science instruction and learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education, 34*(9), 1337-1370.

Sweller, J., Van Merriënboer, J. J., & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 years later. *Educational psychology review, 31*(2), 261-292.