



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

Karnpitcha Bunrangsri^{1,*}

¹Hatyaiwittayalai School, Hatyai District, Songkhla Province

*Email: pitcha21312_1@hotmail.com

Received <3 May 2025>; Revised <28 May 2025>; Accepted <4 June 2025>

Abstract

This research aimed to (1) develop and evaluate the efficiency of virtual experimental media on the topic waves and light using Scratch, for Grade-9 students, based on the 80/80 criterion, (2) investigate students' post-instruction learning achievement against a 70% benchmark, (3) compare students' pre- and post-instruction achievement, (4) examine students' learning progress, (5) evaluate students' advanced scientific process skills, (6) explore the relationship between their learning achievement and the advanced science process skills, and (7) assess students' satisfaction with the media. The samples included two groups, (1) 45 Grade-9 students for evaluating the media's efficiency, and (2) 159 Grade-9 students for evaluating learning outcomes, selected via cluster sampling from Hatyaiwittayalai School, Songkhla Province. The research instruments included (1) virtual experimental media on the topic of waves and light, (2) inquiry-based learning lesson plans integrated with the media, (3) pre- and post-tests of learning achievement, (4) a science process skills assessment and (5) a student satisfaction questionnaire. Data were analyzed using mean, percentage, standard deviation, t- test for dependent samples, and Pearson's correlation coefficient. The results revealed that (1) the developed virtual experimental media had an efficiency of 83.07/82.67, exceeding the 80/80 standard. (2) the students' average post-test score was 24.23 out of 30, significantly exceeding the 70% benchmark (21 points) at the .05 significance level, (3) students' post-test scores were significantly higher than their pre- test scores at the .05 significance level, (4) over 80% of students demonstrated moderate to high learning gains (gain = 0.62), (5) 77.36% of students achieved good to excellent levels of advanced science process skills, (6) students' learning achievement was positively correlated with advanced science process skills ($r = 0.774$) at the .05 significance level and (7) students reported high levels of satisfaction with the media.

Keywords: Virtual experimental media; Scratch program; Waves and light; Learning achievement; Advanced science process skills

การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความก้าวหน้าทางการเรียน และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ด้วยรูปแบบการเรียนรู้แบบสืบสอบร่วมกับสื่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง คลื่นและแสง

กานต์พิชชา บุญรังศรี^{1,*}

¹โรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัย อำเภหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

*Email: pitcha21312_1@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยและพัฒนาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) สร้างและหาประสิทธิภาพของสื่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง คลื่นและแสง ที่พัฒนาด้วยโปรแกรม Scratch สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 (2) ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน เทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70 (3) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน (4) ศึกษาความก้าวหน้าทางการเรียน (5) ศึกษาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง (6) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง และ (7) ศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อสื่อการทดลองเสมือนจริง กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วย (1) กลุ่มตัวอย่างสำหรับหาประสิทธิภาพของสื่อ เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 45 คน (2) กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 159 คน โรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัย จังหวัดสงขลา ปีการศึกษา 2567 ได้มาจากการสุ่มแบบกลุ่ม ซึ่งเป็นคนละกลุ่มกับกลุ่มที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของสื่อ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ (1) สื่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง คลื่นและแสง ที่พัฒนาด้วยโปรแกรม Scratch (2) แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบร่วมกับสื่อการทดลองเสมือนจริง (3) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน (4) แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง และ (5) แบบประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อสื่อการทดลองเสมือนจริง สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบค่าที แบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน และค่าสหสัมพันธ์เพียร์สัน ผลการวิจัยพบว่า (1) สื่อการทดลองเสมือนจริงมีประสิทธิภาพ 83.07/82.67 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 80/80 (2) นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 24.23 คิดเป็นร้อยละ 80.77 จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 (21คะแนน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (3) นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (4) นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียน ในระดับปานกลางขึ้นไป (gain = 0.62) มากกว่าร้อยละ 80 (5) นักเรียนร้อยละ 77.36 มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงในระดับดีขึ้น (6) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง ($r=0.774$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ (7) นักเรียนมีความพึงพอใจต่อสื่อการทดลองเสมือนจริงในระดับมาก

คำสำคัญ: สื่อการทดลองเสมือนจริง; โปรแกรม Scratch; คลื่นและแสง; ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน; ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง

บทนำ

หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 มุ่งเน้นการจัดการเรียนรู้ที่ยึดผู้เรียนเป็นสำคัญและส่งเสริมการพัฒนาศักยภาพตามธรรมชาติ (Ministry of Education, 2017) อย่างไรก็ตาม ผลการประเมินความสามารถด้านวิทยาศาสตร์ระดับนานาชาติ (PISA) และระดับชาติ (O-NET) (OECD, 2019; National PISA Center, Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2021; National Institute of Educational Testing Service (Public Organization), 2023) สะท้อนให้เห็นว่านักเรียนไทยยังมีคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่าเกณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสาระวิทยาศาสตร์ ภายภาพ เรื่อง คลื่นและแสง ซึ่งเป็นเนื้อหาที่มีความซับซ้อน เข้าใจยาก แต่เป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการต่อยอดความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในระดับสูง และเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเข้าใจปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวัน ผลการประเมิน O-NET ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ปีการศึกษา 2565-2566 ของโรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัย จังหวัดสงขลา พบว่านักเรียนยังมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนในเรื่องการเกิดภาพ การหักเหของแสงผ่านเลนส์ และการเขียนแผนภาพรังสีของแสง โดยในปีการศึกษา 2565 นักเรียนตอบคำถามเกี่ยวกับ 1) การเกิดภาพจากกระจกเงาราบ และ 2) การเขียนรังสีของแสงแสดงการเกิดภาพจากเลนส์นูน ถูกต้องเพียงร้อยละ 22.44 และ 56.89 ตามลำดับ และในปีการศึกษา 2566 นักเรียนตอบคำถามเกี่ยวกับ 1) แว่นขยาย และ 2) การเคลื่อนที่ของแสงผ่านเลนส์เว้า ถูกต้องเพียงร้อยละ 18.82 และ 6.86 ตามลำดับ โดยสาเหตุอาจเกิดจากข้อจำกัดของปรากฏการณ์ทางแสงซึ่งไม่สามารถสังเกตได้โดยตรงด้วยตาเปล่า อีกทั้งการทดลองในห้องเรียนทั่วไปมักไม่สามารถแสดงผลการทดลองได้อย่างชัดเจน หรืออาจแสดงผลที่คลาดเคลื่อนไปจากข้อเท็จจริงทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งความซับซ้อนของเนื้อหา เวลา และข้อจำกัดด้านทรัพยากรที่สามารถทำซ้ำหรือนำไปใช้นอกห้องเรียนได้ ทำให้ครูมักเน้นการสอนแบบบรรยาย (Mazur, 1997; Roberts and Lau, 2017; Smith and Johnson, 2018; OECD, 2019) ซึ่งไม่เอื้อต่อการส่งเสริมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการใช้สื่อการทดลองเสมือนจริง (Virtual Experimental Media) เรื่อง คลื่นและแสง ที่พัฒนาด้วยโปรแกรม Scratch เพื่อส่งเสริมความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ และปรากฏการณ์ทางแสง โดยสื่อการทดลองเสมือนจริงออกแบบให้ผู้เรียนสามารถปรับเปลี่ยนตัวแปรสำคัญต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับคลื่นและแสงได้ด้วยตนเอง เช่น ความยาวคลื่น แอมพลิจูด ชนิดของตัวกลาง หรือตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง แล้วสังเกตผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นได้ทันที ในรูปแบบของภาพเคลื่อนไหวและกราฟอย่างชัดเจน นักเรียนสามารถทบทวนหรือทำซ้ำได้ตามต้องการ จึงช่วยลดข้อจำกัดด้านทรัพยากรและความปลอดภัย อีกทั้งยังเพิ่มความน่าสนใจและแรงจูงใจภายในของผู้เรียน เนื่องจากผู้เรียนสามารถมีปฏิสัมพันธ์กับสื่อได้อย่างอิสระ (Dalgarno *et al.*, 2009; Smetana and Bell, 2012; Makransky, Borre-Gude and Myer, 2019; Chiu, DeJaegher and Chao, 2015) ซึ่งงานวิจัยก่อนหน้านี้สนับสนุนว่า สื่อการทดลองเสมือนจริงสามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน มโนทัศน์ทางการเรียน และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ให้สูงขึ้นกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (Siripattanakulkhajorn, 2004; Maneekham, 2008; Kaewkoy, 2011; Boonlert, 2013; Artswang, 2015; Boonchaiyuthasak, 2021; Soratyatorn, 2022; Assawasowan *et al.*, 2024)

การวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่มีคุณภาพ เป็นปัจจัยสำคัญที่สะท้อนผลการเรียนรู้ของผู้เรียน ทั้งยังเอื้อต่อการวางแผนพัฒนาและปรับปรุงการจัดการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวัดผลไม่เพียงแต่ชี้วัดระดับความรู้ในแต่ละช่วงเวลาเท่านั้น แต่ยังช่วยให้ครูสามารถติดตามและส่งเสริมความก้าวหน้าทางการเรียนได้อย่างต่อเนื่องและเป็นระบบ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ นอกจากการศึกษา เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแล้ว ยังได้นำแนวคิดการวัดความก้าวหน้าทางการเรียน (Gain) ของ Hake (1998) มาใช้ในการศึกษาผู้เรียนว่าสามารถพัฒนาการเรียนรู้ไปจากจุดเริ่มต้นมากน้อยแค่ไหนจากศักยภาพทั้งหมดที่พัฒนาได้ อีกทั้งยังเป็นดัชนีที่ใช้ประเมินว่า สื่อหรือรูปแบบการสอนที่ใช้มีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด โดยความก้าวหน้าทางการเรียน วัดจากค่าการเพิ่มขึ้นของคะแนนหลังเรียนเทียบกับคะแนนที่สามารถพัฒนาได้จากคะแนนก่อนเรียนถึงคะแนนเต็ม

ในขณะเดียวกัน ความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อสื่อหรือรูปแบบการจัดการเรียนรู้ ถือเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อแรงจูงใจ การมีส่วนร่วม และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยผู้เรียนที่มีความพึงพอใจต่อสื่อและกระบวนการเรียนรู้อาจเกิดแรงจูงใจในการเรียนสูงขึ้น ใช้กลยุทธ์การเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และพร้อมเรียนรู้ด้วยตนเองอย่างต่อเนื่อง ทั้งยังลด

ความวิตกกังวล ส่งเสริมความกล้าแสดงออก และส่งผลให้เกิดการเรียนรู้เชิงลึก ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อความสำเร็จในการเรียนรู้ (Fredricks, Blumenfeld and Paris, 2004; Artino, 2009; Chiu, DeJaegher and Chao, 2015) งานวิจัยของ Kamcharean and Kuadnok (2023) พบว่า ความก้าวหน้าทางการเรียนและความพึงพอใจของผู้เรียนต่อสื่อการทดลองเสมือนจริง ช่วยพัฒนาความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของคะแนนหลังเรียน หรือ ความก้าวหน้าทางการเรียน อย่างมีนัยสำคัญ

งานวิจัยนี้นำสื่อการทดลองเสมือนจริงมาใช้ร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้แบบสืบสอบ (Inquiry-Based Learning, IBL) ซึ่งเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมความเข้าใจของผู้เรียน โดยเน้นให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการตั้งคำถาม สังเกต ทดลอง ปรับเปลี่ยนตัวแปร และค้นหาคำตอบด้วยตนเอง อันเป็นหัวใจสำคัญของการเรียนรู้ผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ (Bell et al., 2010; Lazonder and Harmsen, 2016) หนึ่งในแนวทางที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายคือ การเรียนรู้แบบสืบสอบ 5E (5E Model) ซึ่งพัฒนาโดย Roger Bybee และทีมงานที่ Biological Sciences Curriculum Study (BSCS) (Bybee et al., 2006) การจัดการเรียนรู้รูปแบบนี้ได้รับการสนับสนุนจากงานวิจัยว่า ช่วยพัฒนาความเข้าใจเชิงลึกในแนวคิดเชิงวิทยาศาสตร์ ส่งเสริมการคิดวิเคราะห์ และเสริมสร้างทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ผู้เรียนสามารถมีส่วนร่วมในการตั้งคำถาม ทดลอง วิเคราะห์ผล และสรุปองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง ส่งเสริมการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา นำไปสู่การเรียนรู้เชิงรุก (Active learning) ที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อความสำเร็จในการเรียนรู้ (Bell et al., 2010; Lazonder and Harmsen, 2016) งานวิจัยหลายฉบับยืนยันว่าการใช้สื่อการทดลองเสมือนจริงร่วมกับการเรียนรู้แบบสืบสอบ 5E ส่งผลทางบวกต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในเนื้อหาที่มีความซับซ้อน ยากต่อการเข้าใจ นักเรียนสามารถทดลองและเข้าใจแนวคิดได้ง่ายขึ้นเมื่อมีปฏิสัมพันธ์กับสื่อ และสามารถปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของการทดลองได้ด้วยตนเอง (Siripattanakulkhajorn, 2004; Boonchaiyuthasak, 2021; Kamcharean and Kuadnok, 2023) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาและศึกษาผลของการใช้สื่อการทดลองเสมือนจริงร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบ ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความก้าวหน้าทางการเรียน และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพของสื่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง คลื่นและแสง สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80
2. เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบร่วมกับสื่อการทดลองเสมือนจริง เทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70
3. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบร่วมกับสื่อการทดลองเสมือนจริง
4. เพื่อศึกษาความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบร่วมกับสื่อการทดลองเสมือนจริง
5. เพื่อศึกษาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบร่วมกับสื่อการทดลองเสมือนจริง
6. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบร่วมกับสื่อการทดลองเสมือนจริง
7. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่มีต่อสื่อการทดลองเสมือนจริง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. แบบแผนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) โดยประยุกต์ใช้แนวคิดของ Borg and Gall (1983) เพื่อพัฒนาสื่อการทดลองเสมือนจริงที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับการเรียนรู้ โดยจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบร่วมกับสื่อการทดลองเสมือนจริง และศึกษาผลของการใช้สื่อต่อผลลัพธ์การเรียนรู้ของนักเรียน โดยมีขั้นตอนหลักดังนี้

ขั้นที่ 1 การวิจัยและรวบรวมข้อมูล ศึกษาทฤษฎี งานวิจัย และหลักสูตรที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นพื้นฐานในการออกแบบสื่อและแผนการจัดการเรียนรู้ ขั้นที่ 2 การวางแผน กำหนดวัตถุประสงค์ ตัวแปร ประชากร กลุ่มตัวอย่าง ออกแบบสื่อและเครื่องมือวิจัย ขั้นที่ 3 การพัฒนารูปแบบขั้นต้น สร้างสื่อ แผนการจัดการเรียนรู้ คู่มือ เครื่องมือวัดผล แล้วนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ ขั้นที่ 4-7 การทดลองและปรับปรุง ทดลองใช้สื่อ เครื่องมือ และแผนการจัดการเรียนรู้กับกลุ่มตัวอย่างย่อย และปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ ขั้นที่ 8 การหาประสิทธิภาพ ทดลองใช้สื่อ และเครื่องมือ กับกลุ่มตัวอย่างสำหรับหาประสิทธิภาพของสื่อ และหาประสิทธิภาพของสื่อตามเกณฑ์ที่กำหนด ขั้นที่ 9 การดำเนินการและการประเมินผล จัดกิจกรรมการเรียนรู้กับกลุ่มตัวอย่าง และศึกษาผลของการใช้สื่อต่อผลลัพธ์การเรียนรู้ ขั้นที่ 10 การเผยแพร่และรายงานผล สรุปและรายงานผลการวิจัย

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

2.1 ประชากร นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 โรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัยอาชีวศึกษาใหญ่ จังหวัดสงขลา ที่เรียนรายวิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน 5 จำนวน 204 คน (5 ห้องเรียน)

2.2 กลุ่มตัวอย่าง

2.2.1 กลุ่มตัวอย่างสำหรับหาประสิทธิภาพของสื่อ เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 โรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัย จำนวน 45 คน ได้มาโดยการสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster Sampling) โดยใช้ห้องเรียนเป็นหน่วยในการสุ่ม

2.2.2 กลุ่มตัวอย่างสำหรับการวิจัย เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 โรงเรียนหาดใหญ่วิทยาลัย จำนวน 159 คน ได้มาโดยการสุ่มแบบกลุ่ม เป็นห้องเรียนที่ความสามารถ มีผลการเรียนไม่ต่างกัน และเป็นคนละกลุ่มกับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการหาประสิทธิภาพของสื่อ

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1 สื่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง คลื่นและแสง พัฒนาโดยใช้โปรแกรม Scratch เป็นสื่อเชิงโต้ตอบ ที่จำลองอุปกรณ์การทดลองให้ใกล้เคียงกับห้องทดลองจริง ผู้เรียนสามารถมีปฏิสัมพันธ์ผ่านกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ การออกแบบการทดลอง การสังเกตปรากฏการณ์ การปรับเปลี่ยนค่าตัวแปร การวัดค่าต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงนั้น และบันทึกผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองเสมือนจริง โดยแสดงผลการทดลองด้วยภาพเคลื่อนไหว สามารถสังเกตผลลัพธ์จากการทดลองได้ทันที และนักเรียนควบคุมการทดลองด้วยตนเอง เช่น การเลือก ลาก วาง ปรับค่าตัวแปร วัดค่า ควบคุมตัวละคร มีปุ่มควบคุมชัดเจน ไม่ซับซ้อน เช่น ปุ่มเริ่ม-หยุดการทดลอง ปรับค่า รีเซ็ตฯ นักเรียนสามารถเรียนรู้หรือทำการทดลองได้ไม่จำกัดสถานที่และเวลา โดยสามารถทดลองซ้ำหรือลองผิดลองถูกได้ในสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัย และสามารถใช้งานได้ทั้งในรูปแบบออนไลน์และออฟไลน์ บนคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต หรือสมาร์ทโฟน

สื่อการทดลองเสมือนจริงประกอบกิจกรรมการทดลอง จำนวน 19 กิจกรรม ซึ่งถูกออกแบบให้สอดคล้องกับมาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัด และสาระการเรียนรู้ เรื่องคลื่นและแสง ดังตารางที่ 1

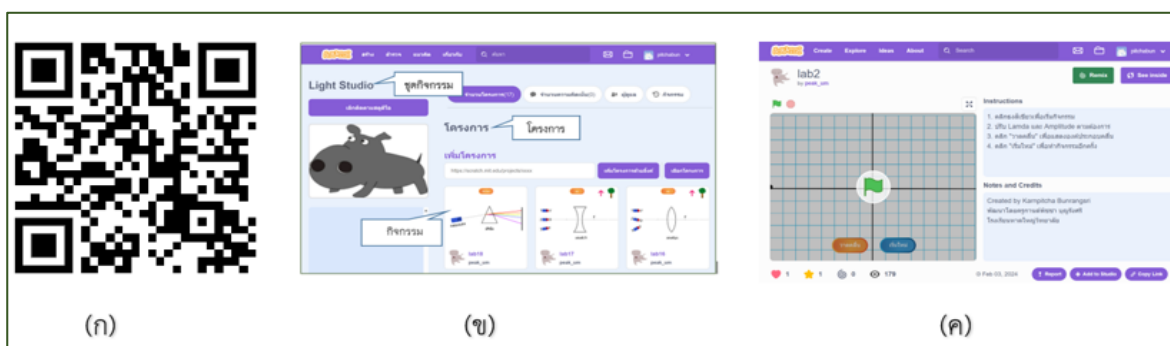
การใช้งาน สื่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง คลื่นและแสง

1. สามารถเข้าใช้งานผ่านลิงก์ <https://scratch.mit.edu/studios/27624077> หรือ QR Code ดังภาพที่ 1(ก)

2. เมื่อเข้ามาแล้วจะปรากฏหน้าต่างชุดกิจกรรมชื่อ Light Studio ดังภาพที่ 1(ข) ซึ่งมีโครงการ ที่ประกอบด้วยกิจกรรมทั้งหมด 19 กิจกรรม คลิกเลือกกิจกรรมที่ต้องการใช้งาน ดังภาพที่ 1(ค)

ตารางที่ 1 โครงสร้างกิจกรรม เนื้อหาและปฏิสัมพันธ์ของสื่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง คลื่นและแสง

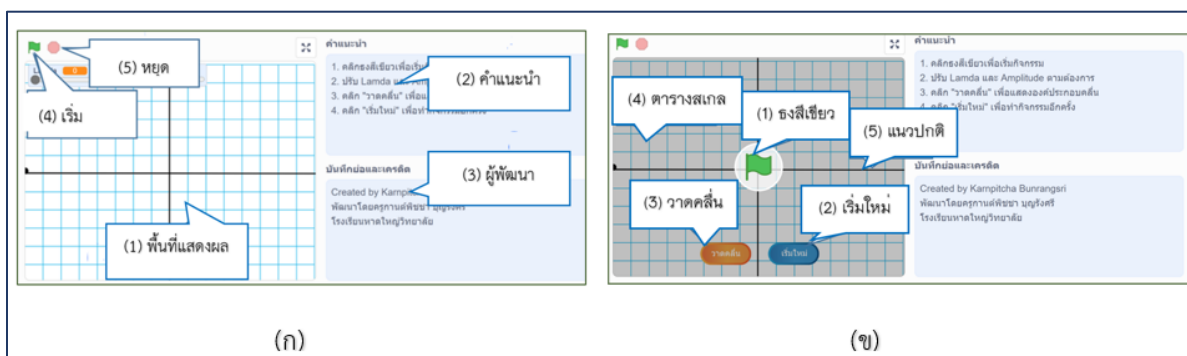
ลำดับ ที่	ตัวชี้วัด	สาระการเรียนรู้	สื่อการทดลอง เสมือนจริง	ลักษณะปฏิสัมพันธ์ ของผู้เรียน
1	สร้างแบบจำลองที่อธิบาย การเกิดคลื่นและบรรยาย ส่วนประกอบของคลื่น	การเกิดคลื่น และ ส่วนประกอบของคลื่น	การทดลองการเกิด คลื่นตามยาวและคลื่น ตามขวาง และ ส่วนประกอบของคลื่น จำนวน 2 กิจกรรม	นักเรียนออกแบบการทดลอง เลือกหรือเปลี่ยนค่าตัวแปรต้น (แอมพลิจูด, ทิศทางสปริง) และสังเกตผลของตัวแปร (ลักษณะของคลื่น, ทิศทาง ของคลื่น)
2	ออกแบบการทดลองและ ดำเนินการทดลองด้วยวิธี ที่เหมาะสมในการอธิบาย กฎการสะท้อนของแสง	กฎการสะท้อนของ แสง	การทดลองการสะท้อน ของแสง จำนวน 1 กิจกรรม	นักเรียนออกแบบการทดลอง ปรับค่าตัวแปรต้น (มุมตก กระทบ) สังเกตและวัดค่าของ ตัวแปรตาม (มุมหักเห)
3	เขียนแผนภาพการ เคลื่อนที่ของแสงแสดงการ เกิดภาพจากกระจกเงา	การเกิดภาพจาก กระจกเงา	การทดลองการเกิดภาพ จากกระจกเงาราบและ กระจกเงาโค้ง จำนวน 7 กิจกรรม	1. นักเรียนปรับค่าตัวแปรต้น (ระยะวัตถุ, ขนาดวัตถุ) สังเกตและวัดค่าตัวแปรตาม (ระยะภาพ, ขนาดภาพ) 2. นักเรียนทดลอง ปรับค่า ระยะวัตถุ แล้วสังเกตขนาด และชนิดของภาพที่เกิดขึ้น
4	อธิบายการหักเหของแสง เมื่อผ่านตัวกลางโปร่งใสที่ แตกต่างกัน และอธิบาย การกระจายแสงของแสง ขาวเมื่อผ่านปริซึมจาก หลักฐานเชิงประจักษ์	1. การหักเหของแสง เมื่อผ่านตัวกลาง โปร่งใส 2. การกระจายของ แสงขาวเมื่อผ่านปริซึม	การทดลองการหักเห ของแสง และ การ กระจายของแสง จำนวน 5 กิจกรรม	1. นักเรียนทดลอง ปรับเปลี่ยนตัวแปรต้น (ขนาด มุมตกกระทบหรือชนิดของ ตัวกลางตัวกลาง) สังเกตตัว แปรตาม(มุมหักเห) วัดขนาด ของมุมตกกระทบและมุมหัก เห บันทึกผล 2. ทดลองสังเกต ปรากฏการณ์การกระจายของ แสงขาว
5	เขียนแผนภาพการ เคลื่อนที่ของแสง แสดง การเกิดภาพจากเลนส์บาง	การเกิดภาพจากเลนส์ นูนและเลนส์เว้า	การทดลองการหักเห ของแสงผ่านเลนส์และ การเกิดภาพจากเลนส์ จำนวน 4 กิจกรรม	นักเรียนทดลอง ปรับค่าตัว แปรต้น (แนวรังสีตกกระทบ ตำแหน่งวัตถุ) สังเกตตัวแปร ตาม(แนวรังสีหักเห, ชนิดและ ขนาดของภาพ)



ภาพที่ 1 QR Code (ก) ชุดกิจกรรม Light Studio (ข) กิจกรรมส่วนประกอบของคลื่น (ค)

3. เมื่อเข้าสู่กิจกรรม แต่ละกิจกรรมจะมีองค์ประกอบ ดังนี้ 1) พื้นที่แสดงผล เป็นพื้นที่สำหรับทำกิจกรรม และแสดงผลการทำกิจกรรม 2) คำแนะนำ เป็นพื้นที่แนะนำการใช้แถบเครื่องมือต่าง ๆ ที่ปรากฏในกิจกรรม สำหรับผู้ใช้งาน 3) ผู้พัฒนา เป็นพื้นที่สำหรับแสดงข้อมูลหรือรายละเอียดของผู้พัฒนากิจกรรม 4) เริ่ม คลิกเพื่อเริ่มทำกิจกรรม 5) หยุด คลิกหยุดการทำกิจกรรม ดังภาพที่ 2(ก)

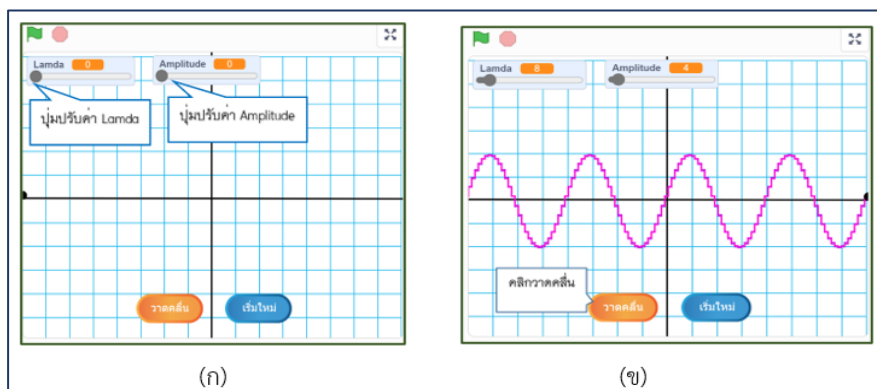
4. ตัวอย่างการเข้าใช้งานกิจกรรม การทดลอง เรื่อง ส่วนประกอบของคลื่น (Lab 2) เครื่องมือที่กำหนดไว้ในกิจกรรมประกอบด้วย 1) ธงสีเขียว คลิกเพื่อเริ่มทำกิจกรรม 2) เริ่มใหม่ คลิกเมื่อต้องการเคลียร์พื้นที่แสดงผลแล้วเริ่มทำกิจกรรมใหม่ 3) วาดคลื่น คลิกเพื่อวาดคลื่น 4) ตารางสเกล สำหรับวัดขนาดของความยาวคลื่น (Lambda) และแอมพลิจูด (Amplitude) และ 5) แนวปกติ แนวระดับเมื่อไม่มีคลื่น ดังภาพที่ 2 (ข)



ภาพที่ 2 องค์ประกอบของกิจกรรม (ก) หน้าต่างของกิจกรรม (ข)

5. คลิกธงเขียวเพื่อเข้าสู่กิจกรรม เลื่อนแถบเพื่อปรับ Lambda และ Amplitude ให้มีขนาดตามต้องการ ดังภาพที่ 3 (ก)

6. คลิกวาดคลื่นเพื่อศึกษา Lambda และ Amplitude ของคลื่น ดังภาพที่ 3 (ข)



ภาพที่ 3 เครื่องมือทำกิจกรรม (ก) ผลการทำกิจกรรม (ข)

หาคุณภาพและประสิทธิภาพของสื่อ โดยนำสื่อ คู่มือ และวิดีโอแนะนำการใช้งาน ให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาวิทยาศาสตร์ และด้านเทคโนโลยี จำนวน 3 ท่าน ประเมินคุณภาพของสื่อ โดยใช้มาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ตามรูปแบบของ Likert 5 ระดับ (Joshi *et al.*, 2015) ผลการประเมินโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ดีมาก (ค่าเฉลี่ย = 4.87, SD = 0.18) นำสื่อที่ผ่านการประเมินคุณภาพ และปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญแล้วไปทดสอบประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 (Phromwong, 2013) ใน 3 ขั้นตอน ได้แก่ การทดสอบแบบรายบุคคล (3 คน) แบบกลุ่ม (9 คน) และแบบภาคสนาม (45 คน) เมื่อสื่อผ่านเกณฑ์ประสิทธิภาพแล้ว จัดทำสื่อและคู่มือฉบับสมบูรณ์ นำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยจำนวน 159 คน เพื่อศึกษาผลของการใช้สื่อต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความก้าวหน้าทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง และความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อสื่อ

3.2 แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบร่วมกับสื่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง คลื่นและแสง มี 5 ขั้นตอน (Bybee *et al.*, 2006; Soratyatorn, 2022) ได้แก่ ขั้นกระตุ้นความสนใจ ขั้นสำรวจ ขั้นอธิบาย ขั้นขยายความ และขั้นสรุป นักเรียนจะใช้สื่อการทดลองเสมือนจริงในขั้นของการสำรวจ และ ขั้นขยายความ โดยแผนการจัดการเรียนรู้มีทั้งหมด 11 แผน ใช้เวลา 18 คาบ หาคุณภาพของแผนการจัดการเรียนรู้ โดยนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปให้ผู้เชี่ยวชาญ ทางด้านหลักสูตรและการสอน และด้านวิทยาศาสตร์ จำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความสอดคล้องของแผนกับรูปแบบ จากนั้นนำกลับมาปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ผลการประเมินพบว่า แผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 11 แผน มีดัชนีความสอดคล้องของความคิดเห็น (IOC) เท่ากับ 1.0

3.3 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง คลื่นและแสง เป็นแบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก ผู้วิจัยสร้างข้อสอบจำนวน 60 ข้อ ให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับตัวชี้วัดรายวิชา พร้อมให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงข้อคำถามให้เหมาะสม ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ และการวัดและประเมินผล ผลการตรวจสอบพบว่า แบบทดสอบมีค่าดัชนีความสอดคล้อง ตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป จำนวน 58 ข้อ ซึ่งถือว่าผ่านเกณฑ์ความสอดคล้องทางเนื้อหา จึงเลือกข้อสอบดังกล่าวมาปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ และนำไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 45 คน ซึ่งเคยเรียนเนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง คลื่นและแสงมาแล้ว และนำผลมาวิเคราะห์คุณภาพของข้อสอบ โดยพิจารณาความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของข้อสอบแต่ละข้อ คัดข้อสอบที่มีค่าความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.44 ถึง 0.80 และมีค่าอำนาจจำแนก (r) อยู่ระหว่าง 0.22 ถึง 0.57 ไว้จำนวน 30 ข้อ จัดทำเป็นแบบทดสอบฉบับสมบูรณ์ คะแนนเต็ม 30 คะแนน หาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบทดสอบทั้งฉบับโดยใช้สูตรของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน 20 (KR-20) ได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.92 ซึ่งอยู่ในระดับสูงมาก

3.4 แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง ประกอบด้วยแบบบันทึกการทำกิจกรรม การทดลองและเกณฑ์การประเมิน ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยอ้างอิงจากกรอบแนวคิดของ Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (2021) จำนวน 6 ทักษะ ได้แก่ 1) ทักษะการตั้งสมมติฐาน 2) ทักษะการกำหนดและ

ควบคุมตัวแปร 3) ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ 4) ทักษะการทดลอง 5) ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป และ 6) ทักษะการสร้างแบบจำลอง ซึ่งผ่านการตรวจสอบคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ พิจารณาความสอดคล้องของเกณฑ์การประเมินกับระดับคุณภาพของทักษะ (คะแนน) ผลการพิจารณา พบว่า แบบประเมินมีค่าดัชนีความสอดคล้อง 0.985 แสดงถึงความเหมาะสมในระดับสูง สำหรับเกณฑ์การให้คะแนนใช้รูปแบบ Scoring Rubric (Nitko and Brookhart, 2014) ระดับคุณภาพ 4 ระดับ ได้แก่ 0, 1, 2 และ 3 คะแนน ตามลำดับความสามารถจากระดับต่ำสุดไปสู่ระดับสูงสุด โดยพิจารณาจากผลการปฏิบัติกิจกรรมและความบกพร่องที่ปรากฏในแต่ละทักษะ ดังตารางที่ 2 นำแบบประเมินไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 45 คน ในขั้นตอนการหาประสิทธิภาพของสื่อการทดลองเสมือนจริง เพื่อหาความเชื่อมั่นของแบบประเมิน โดยคำนวณค่าสัมประสิทธิ์อัลฟาของครอนบาค (Cronbach, 1951) พบว่า แบบประเมินมีค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.81 แสดงถึงความเชื่อมั่นในระดับดี การแปลผลคะแนนใช้เกณฑ์ร้อยละเพื่อจัดระดับความสามารถทางทักษะของนักเรียนแบ่งเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ดีมาก ($\geq 80\%$), ดี (70–79%), ปานกลาง (60–69%) และต้องปรับปรุง ($< 59\%$)

ตารางที่ 2 เกณฑ์การประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง

ทักษะ	ระดับคุณภาพ (คะแนน)			
	3	2	1	0
1. ทักษะการตั้งสมมติฐาน	ตั้งสมมติฐานที่สอดคล้องกับปัญหาอย่างชัดเจนและครอบคลุมทุกประเด็นสำคัญ	ตั้งสมมติฐานที่สอดคล้องกับปัญหา แต่ยังไม่ครอบคลุมทุกประเด็น	ตั้งสมมติฐานที่ไม่สอดคล้องกับปัญหา หรือมีความคลุมเครือ	ไม่สามารถตั้งสมมติฐานได้
2. ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ	กำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการของตัวแปรสำคัญทุกตัวได้อย่างชัดเจน ครอบคลุม และวัดได้จริง	กำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการของตัวแปรสำคัญได้ถูกต้อง แต่ยังไม่ครบถ้วนหรือไม่ชัดเจน	ระบุตัวแปรที่ต้องกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการได้ แต่ไม่สามารถให้นิยามตัวแปรเหล่านั้นได้	ไม่สามารถระบุตัวแปรหรือกำหนดนิยามนิยามเชิงปฏิบัติการได้เลย
3. ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร	ระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมทั้งหมดได้อย่างถูกต้องและชัดเจน	ระบุตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมได้ถูกต้อง แต่ไม่ครบถ้วน	ระบุตัวแปรได้บางประเภท หรือมีข้อผิดพลาดในการกำหนดตัวแปร	ไม่สามารถระบุตัวแปรใดๆได้หรือระบุผิดพลาด
4. ทักษะการทดลอง	1. ออกแบบและปฏิบัติการทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ 2. บันทึกข้อมูลจากการทดลองอย่างเป็นระบบ ครบถ้วน ถูกต้อง และชัดเจนโดยใช้ตารางหรือวิธีการจัดกระทำข้อมูลที่เหมาะสม และแสดงหน่วยของข้อมูลอย่างถูกต้อง	1. ออกแบบและปฏิบัติการทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดได้ถูกต้องเกือบทั้งหมด มีข้อผิดพลาดเพียงเล็กน้อย 2. บันทึกข้อมูลจากการทดลองได้ แต่ยังมีบางส่วนที่ขาดหายไป ไม่ถูกต้องหรือไม่ชัดเจน โดยใช้ตารางหรือวิธีการจัดกระทำข้อมูลได้ แต่ยังไม่เหมาะสมที่สุด	1. ออกแบบและปฏิบัติการทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดได้บางขั้นตอน หรือมีข้อผิดพลาดมาก 2. บันทึกข้อมูลจากการทดลองได้ไม่ครบถ้วนและไม่ชัดเจน โดยไม่สามารถใช้ตารางหรือวิธีการจัดกระทำข้อมูลได้	1. ไม่สามารถออกแบบการทดลอง 2. ไม่สามารถบันทึกข้อมูลหรือจัดกระทำข้อมูลได้
5. ทักษะการตีความหมายและลงข้อสรุป	วิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองได้อย่างมีเหตุผล สรุปผลสอดคล้องกับข้อมูลและสมมติฐาน	วิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองได้แต่สรุปผลยังไม่สอดคล้องหรือยังไม่เชื่อมโยงสมมติฐาน	วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล ไม่สัมพันธ์กับข้อมูล หรือแปลความผิดพลาด	ไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลหรือลงข้อสรุปได้เลย
6. การสร้างแบบจำลอง	สร้างแบบจำลองที่สามารถอธิบายแนวคิด กระบวนการหรือปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้องและสื่อความหมายชัดเจน	สร้างแบบจำลองที่สามารถอธิบายแนวคิด กระบวนการหรือปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ได้ถูกต้อง แต่สื่อสารไม่ชัดเจน	สร้างแบบจำลองที่ไม่ตรงกับแนวคิด หรือมีข้อผิดพลาดชัดเจน	ไม่สามารถสร้างแบบจำลองได้เลยหรือไม่พยายามทำ

3.5 แบบประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง คลื่นและแสง เป็นมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ จำนวน 16 ข้อ แบ่งเป็น 4 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านเนื้อหา 2) ด้านภาพ ภาษา ตัวอักษร และสี 3) ด้านความรู้สึกรู้สึกคิดต่อการทดลองเสมือนจริง 4) ด้านการแสดงออกต่อกิจกรรมการเรียนรู้ นำแบบประเมินเสนอผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน เพื่อประเมินความสอดคล้องของแบบประเมินกับข้อคำถาม พบว่าแบบประเมินมีดัชนีความสอดคล้อง เท่ากับ 1.0 แสดงถึงความสอดคล้องในระดับสูงทุกข้อ จากนั้นนำแบบประเมินความพึงพอใจไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างในขั้นตอนการหาประสิทธิภาพของสื่อ และหาความเชื่อมั่นของแบบประเมินด้วยสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค มีความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.939 ซึ่งอยู่ในระดับสูงมาก การแปลผลความพึงพอใจใช้เกณฑ์ 5 ระดับ (Srisa-ard, 2010) ได้แก่ มากที่สุด (4.50-5.00) มาก (3.50-4.49) ปานกลาง (2.50-3.49) น้อย (1.50-2.49) และ น้อยที่สุด (1.00-1.49)

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1 ดำเนินการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของสื่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง คลื่นและแสง ตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 โดยนำไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ใน 3 ขั้นตอน ได้แก่ การทดสอบแบบรายบุคคล (3 คน) แบบกลุ่ม (9 คน) และแบบภาคสนาม (45 คน) เพื่อวัดค่า E1 (ระหว่างเรียน) และ E2 (หลังเรียน)

4.2 ทำการทดสอบก่อนเรียน โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง คลื่นและแสง ซึ่งเป็นแบบปรนัยชนิด 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ ใช้เวลา 50 นาที ดำเนินการกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่างจำนวน 159 คน (4 ห้องเรียน) ก่อนเริ่มกิจกรรมการเรียนรู้

4.3 จัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบสอบรวมกับการใช้สื่อการทดลองเสมือนจริง โดยดำเนินการตามแผนการจัดการเรียนรู้จำนวน 11 แผน พร้อมทั้งประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงของนักเรียนจากแบบบันทึกกิจกรรมการทดลองในแต่ละแผน

4.4 ดำเนินการทดสอบหลังเรียน โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชุดเดียวกับที่ใช้ก่อนเรียน จำนวน 30 ข้อ ใช้เวลา 50 นาที กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่างเดียวกัน เพื่อวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียน และเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียน

4.5 ประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการทดลองเสมือนจริง โดยใช้ประเมินความพึงพอใจ เพื่อรวบรวมข้อมูลด้านความคิดเห็น ความรู้สึก และข้อเสนอแนะของนักเรียน

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของสื่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง คลื่นและแสง โดยพิจารณาค่าประสิทธิภาพกระบวนการ (E1) จากผลการทำแบบฝึกหัดระหว่างเรียน และค่าประสิทธิภาพผลสัมฤทธิ์ (E2) จากคะแนนแบบทดสอบหลังเรียน โดยคำนวณเป็นร้อยละตามสูตร E1/E2 เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน 80/80

5.2 วิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน โดยหาค่าเฉลี่ย ร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แล้วทดสอบสมมติฐานทางสถิติ เปรียบเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70 โดยใช้สถิติทดสอบค่าที แบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (One Sample t-test)

5.3 วิเคราะห์ความแตกต่างของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้สถิติทดสอบค่าที แบบกลุ่มตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (Paired Samples t-test)

5.4 วิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียน (Average Normalized Gain) จากคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน โดยคำนวณจากสูตรของ Hake (1998)

5.5 วิเคราะห์ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง โดยหาค่าเฉลี่ย ร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากแบบประเมินในแต่ละด้าน

5.6 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง โดยใช้สถิติ Pearson Product Moment Correlation Coefficient

5.7 วิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนรู้ด้วยสื่อการทดลองเสมือนจริง โดยหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแบบสอบถามความพึงพอใจในแต่ละด้าน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการหาประสิทธิภาพของสื่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง คลื่นและแสง

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสื่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง คลื่นและแสง โดยใช้เกณฑ์ 80/80 พบว่าสื่อมีประสิทธิภาพเท่ากับ 83.07/82.67 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยประสิทธิภาพของกระบวนการ (E1) และผลลัพธ์ (E2) ในขั้นตอนภาคสนามอยู่ที่ 83.07 และ 82.67 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสื่อมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนจริง ทั้งนี้สอดคล้องกับแนวคิดของ Borg and Gall (1983) ที่เน้นการพัฒนาสื่อด้วยกระบวนการอย่างเป็นระบบและมีการประเมินคุณภาพในแต่ละขั้นตอน เพื่อให้มั่นใจว่าสื่อที่พัฒนามีคุณภาพและส่งผลต่อการเรียนรู้ของผู้เรียนอย่างแท้จริง นอกจากนี้ Mery *et al.* (2024) ได้ศึกษาการใช้สื่อจาก Scratch ในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น พบว่าสื่อ Scratch มีศักยภาพในการช่วยให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ได้ดีขึ้น โดยเฉพาะเนื้อหาที่เป็นนามธรรม และยังช่วยกระตุ้นความสนใจและแรงจูงใจในการเรียนรู้

ตารางที่ 3 ผลการหาประสิทธิภาพของสื่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง คลื่นและแสง ในขั้นตอนการทดลองรายบุคคล กลุ่มย่อย และภาคสนาม

ขั้นตอนการทดลอง	ประสิทธิภาพของกระบวนการ (E ₁)	ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ (E ₂)	ประสิทธิภาพ E1/E2
รายบุคคล	77.78	71.11	77.78/71.11
กลุ่มย่อย	79.63	79.26	79.63/79.26
ภาคสนาม	83.07	82.67	83.07/82.67

* เกณฑ์มาตรฐานที่ใช้คือ 80/80

4.2 ผลการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน เทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70

ผลการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน โดยใช้ One Sample t-test เพื่อทดสอบสมมติฐานทางสถิติพบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 24.23 คะแนน จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 80.77 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 (21 คะแนน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($t = 18.65$, $df = 158$, $p < .05$) ดังแสดงในตารางที่ 4 แสดงว่าสื่อการเรียนรู้ที่ใช้ในการทดลองสามารถส่งเสริมให้นักเรียนบรรลุผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในระดับที่สูงกว่ามาตรฐานได้อย่างชัดเจน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chotimuk and Khochon (2024) ที่พบว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับห้องปฏิบัติการทดลองเสมือนจริง ช่วยพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนจากแบบทดสอบ อยู่ในระดับดี และมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 75 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนกับเกณฑ์ร้อยละ 70

ตัวแปร	คะแนนเต็ม	ค่าสถิติ			ค่าเกณฑ์ 70%
		$\bar{X}$	S.D.	t	
ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน	30	24.23	2.18	18.65*	21

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05, $df = 158$

4.3 ผลการศึกษาเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน

การเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังเรียนโดยใช้ Paired Sample t-test พบว่า คะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนอยู่ที่ 14.86 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 49.53 ขณะที่หลังเรียนเพิ่มขึ้นเป็น 24.22 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 80.73 จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังแสดงในตารางที่ 5 แสดงว่าการจัดการ

เรียนรู้ด้วยรูปแบบสืบสอบร่วมกับสื่อการทดลองเสมือนจริง สามารถยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Srirasa, Chaiprasert and Sirisawat (2021) ที่พบว่า การเรียนรู้แบบสืบสอบร่วมกับสื่ออิเล็กทรอนิกส์ ช่วยพัฒนานักเรียนให้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 และมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สะท้อนให้เห็นว่าสื่อการทดลองเสมือนจริงที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในการส่งเสริมความเข้าใจและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยรูปแบบสืบสอบร่วมกับสื่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง คลื่นและแสง

การทดสอบ	จำนวน (คน)	คะแนนเต็ม	ค่าสถิติ		
			$\bar{X}$	S.D.	t
ก่อนเรียน	159	30	14.86	2.33	37.30*
หลังเรียน	159	30	24.22	2.17	

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05, df = 158

4.4 ผลการวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียน

ผลการวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียน (Average Normalized Gain) จากคะแนนก่อนและหลังเรียน พบว่านักเรียนมีค่าเฉลี่ยก่อนเรียนอยู่ที่ 14.86 คะแนน (ร้อยละ 49.53) และหลังเรียนอยู่ที่ 24.22 คะแนน (ร้อยละ 80.73) โดยมีค่า Gain เท่ากับ 0.62 ซึ่งจัดอยู่ในระดับปานกลางค่อนข้างสูง ตามเกณฑ์ของ Hake (1998) ($0.30 \leq g \leq 0.70$) ดังตารางที่ 6 ความแตกต่างระหว่างคะแนนก่อนและหลังเรียนนี้ สะท้อนให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการมีปฏิสัมพันธ์ ด้วยสื่อการทดลองเสมือนจริงร่วมกับการเรียนรู้แบบสืบสอบ ส่งผลให้นักเรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ใหม่ผ่านการมีส่วนร่วมอย่างกระตือรือร้น เกิดการพัฒนาความเข้าใจในเนื้อหาวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลต่อความก้าวหน้าทางการเรียน ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของการเรียนรู้แบบสร้างองค์ความรู้ (Constructivism) ที่ผู้เรียนมีปฏิสัมพันธ์กับสื่อหรือกิจกรรมและเกิดการเรียนรู้อย่างแท้จริง (Bybee et al., 2006) โดยเชื่อว่าความรู้เกิดจากการลงมือปฏิบัติ การมีประสบการณ์ตรง และการสะท้อนคิดของผู้เรียนเอง (Zacharia and Olympiou 2011) เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Smetana and Bell (2012) ซึ่งรายงานว่าการใช้สื่อการทดลองเสมือนจริงในวิชาวิทยาศาสตร์สามารถเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์เพิ่มขึ้นจาก 62% เป็น 81% ภายหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยสื่อการทดลองเสมือนจริง เนื่องจากสื่อการทดลองเสมือนจริงช่วยให้ผู้เรียนสามารถสังเกตผลการทดลองที่ซับซ้อนได้อย่างชัดเจน ส่งเสริมการคิดวิเคราะห์ และช่วยให้เกิดความเข้าใจแนวคิดเชิงลึกมากยิ่งขึ้น ในขณะที่ Herga and Dinevski (2012) และ Rutten, van Joolingen and van der Veen (2012) ระบุว่าการใช้สื่อการทดลองเสมือนจริง ช่วยพัฒนาความเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะแนวคิดที่เป็นนามธรรมของนักเรียนให้สูงขึ้นได้เทียบเท่าหรือดีกว่าการทดลองในห้องปฏิบัติการจริง โดยสื่อช่วยให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติ ทดลองซ้ำ เข้าใจแนวคิดและเกิดการเรียนรู้ที่ลึกซึ้งยิ่งขึ้น โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองจริงซึ่งมีข้อจำกัดด้านการแสดงผล อุปกรณ์และเวลา ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยฉบับนี้ที่พบว่า นักเรียนที่เรียนด้วยสื่อการทดลองเสมือนจริงมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนและมีความก้าวหน้าทางการเรียนระดับปานกลาง ($g=0.62$)

ตารางที่ 6 ความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 159 คน

การทดสอบ	คะแนนเต็ม	$\bar{X}$	ร้อยละ	S.D.	<g>	ระดับความก้าวหน้า
ก่อนเรียน	30	14.86	49.53	2.33	0.62	ปานกลาง
หลังเรียน	30	24.22	80.73	2.17		

4.5 ผลการวิเคราะห์ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง

ผลการประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงของนักเรียนโดยใช้ One Sample t-test พบว่า คะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 74.73 (S.D. = 8.44) ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้คือร้อยละ 70 ดังตารางที่ 7 สามารถแปลผลตามเกณฑ์ระดับคุณภาพได้ว่า นักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงอยู่ในระดับ ดี และเป็นไปตามเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ ในขณะที่ค่า S.D. = 8.44 หมายความว่า คะแนนของผู้เรียนส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 74.73±8.44 คะแนน มีการกระจายตัวในระดับปานกลางถึงน้อย ผู้เรียนส่วนใหญ่มีผลสัมฤทธิ์ใกล้เคียงกัน คุณภาพของการเรียนรู้มีความเสถียรและน่าเชื่อถือ แสดงว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบร่วมกับสื่อการทดลองเสมือนจริง ช่วยพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Gunawan *et al.* (2019) ที่พบว่า นักเรียนที่เรียนด้วยสื่อการทดลองเสมือนจริงมีคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีคะแนนอยู่ที่ร้อยละ 87.72 ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีคะแนนร้อยละ 77.93 โดยเฉพาะทักษะด้านการตั้งสมมติฐาน การปฏิบัติการทดลอง และการสื่อสารผลลัพธ์ เช่นเดียวกับ Biswal and Behera (2023) ที่พบว่าการเรียนรู้แบบสืบสอบมีผลเชิงบวกต่อการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงของผู้เรียนในระดับต่าง ๆ และแนะนำให้มีการบูรณาการกับสื่อการทดลองเสมือนจริงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์คะแนนเฉลี่ยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยรูปแบบสืบสอบร่วมกับสื่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง คลื่นและแสง

ตัวแปร	คะแนนเต็ม	ค่าสถิติ			ค่าเกณฑ์
		$\bar{X}$	S.D.	t	
ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง	100	74.73	8.44	7.05*	70

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05, df = 158

4.6 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson's r) แสดงให้เห็นว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับสูงกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($r = 0.774$, $p < .001$) ดังแสดงในตารางที่ 9 แสดงว่านักเรียนที่มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูง มักมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงตามไปด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Suman (2020) ที่พบว่าทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางถึงสูง โดยสื่อและกิจกรรมที่ส่งเสริมทักษะเหล่านี้ ได้แก่ การเรียนรู้แบบสืบเสาะและการใช้สื่อการเรียนรู้ที่เหมาะสม ซึ่งมีผลช่วยยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางวิทยาศาสตร์อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ Dolapcioglu and Subasi (2022) ยังรายงานว่าการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มีผลเชิงบวกต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในภาพรวม เช่นเดียวกับ Klankeson (2017) ที่พบว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับชุดการทดลองเสมือนจริงช่วยพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจาก สื่อการทดลองเสมือนจริง ทำให้การทดลองมีประสิทธิภาพ ชัดเจน และปลอดภัย ช่วยพัฒนาความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์และการคิดเชิงวิพากษ์ ดังนั้นจึงส่งเสริมทั้ง ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ไปพร้อมกัน

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง

ตัวแปร	r (Pearson)	p-value	ความสัมพันธ์
ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์	0.774	< .0001	เชิงบวก ระดับสูง (strong)

4.7 ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่มีต่อการทดลองเสมือนจริง

จากตารางที่ 10 แสดงให้เห็นว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 มีความพึงพอใจต่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง คลื่นและแสง โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย = 4.24 , S.D. = 0.75) โดยนักเรียนมีความพึงพอใจ ด้านความรู้สึกรักนึกคิดถึงสื่อ (ค่าเฉลี่ย=4.46) เป็นลำดับที่ 1 สะท้อนว่าสื่อมีความเหมาะสมในการกระตุ้นแรงจูงใจและการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม นักเรียนสามารถเรียนรู้ได้ตามความสนใจ มีความยืดหยุ่นในการใช้งาน อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าด้านการแสดงออกต่อกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยสื่อการทดลองเสมือนจริง (ค่าเฉลี่ย=4.07) ได้รับความพึงพอใจต่ำที่สุด แต่ก็ยังอยู่ในระดับพอใจมาก แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความพึงพอใจที่ได้มีส่วนร่วมในการทดลองทุกขั้นตอน ได้ค้นพบความรู้ด้วยตนเอง สนใจเรียนมากขึ้น มีความกระตือรือร้น มีความสนุกสนาน และตื่นตัวกับการเรียนด้วยสื่อการทดลองเสมือนจริง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Artswang (2015) ที่พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการเรียนรู้ด้วยห้องปฏิบัติการเคมีเสมือนในระดับมาก ซึ่งเป็นการยืนยันว่า สื่อการทดลองเสมือนจริงส่งผลต่อการเรียนรู้ของผู้เรียนและได้รับการยอมรับในระดับมาก

ตารางที่ 9 ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ต่อสื่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง คลื่นและแสง

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ	ลำดับที่
1. ด้านเนื้อหา	4.12	0.75	มาก	3
2. ด้านภาพ ภาษา ตัวอักษร และสี	4.32	0.73	มาก	2
3. ด้านความรู้สึกรักนึกคิดถึงสื่อการทดลองเสมือนจริง	4.46	0.67	มาก	1
4. ด้านการแสดงออกต่อกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยการทดลองเสมือนจริง	4.07	0.84	มาก	4
เฉลี่ยรวม	4.24	0.75	มาก	-

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า 1) สื่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง คลื่นและแสง ที่สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม Scratch มีประสิทธิภาพ เท่ากับ 83.07/82.67 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด 80/80 2) นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 3) นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน สูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 4) นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนในระดับปานกลางขึ้นไปมากกว่าร้อยละ 80 (gain = 0.62) 5) นักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงในระดับดีขึ้นไปร้อยละ 77.36 ของนักเรียนทั้งหมด โดยมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 74.15 6) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($r=0.774$) และ 7) นักเรียนมีความพึงพอใจต่อสื่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง คลื่นและแสง อยู่ในระดับมาก ดังนั้น การจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบร่วมกับสื่อการทดลองเสมือนจริงมีประสิทธิภาพในการส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูงของนักเรียนอย่างมีนัยสำคัญ

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเพื่อการนำผลการวิจัยไปใช้

1) การใช้สื่อการทดลองเสมือนจริงเหมาะสมสำหรับบริบทของห้องเรียนที่ขาดแคลนอุปกรณ์จริง โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่ต้องส่งเสริมการเรียนรู้แบบ Anywhere Anytime Learning (AAL)

2) การจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบ ควรส่งเสริมให้ครูมีบทบาทในฐานะผู้อำนวยความสะดวก (facilitator) โดยใช้คำถามกระตุ้นความคิดอย่างมีเป้าหมาย เพื่อให้ นักเรียนได้ฝึกการตั้งสมมติฐาน วิเคราะห์ และค้นหาคำตอบจากกิจกรรมการทดลอง

3) ครูผู้สอนควรจัดอบรมหรือแนะแนวเบื้องต้น แก่นักเรียนเกี่ยวกับวิธีใช้สื่อการทดลองเสมือนจริง เพื่อเสริมสร้างความเข้าใจ ลดอุปสรรคในการใช้งาน และเพิ่มประสิทธิภาพของกิจกรรมการเรียนรู้ เป็นการเตรียมความพร้อมให้ผู้เรียนมีทักษะดิจิทัลที่จำเป็นในยุคเทคโนโลยี

4) ควรมีการออกแบบกิจกรรมที่มีความน่าสนใจมากขึ้น เช่น เกมวิทยาศาสตร์ การจำลองสถานการณ์ หรือการเรียนรู้แบบแข่งขัน (Gamification) เพื่อกระตุ้นการมีส่วนร่วมและเพิ่มแรงจูงใจในการเรียนรู้

5) ควรศึกษาการประยุกต์ใช้สื่อการทดลองเสมือนจริงร่วมกับรูปแบบการเรียนรู้ที่หลากหลาย เช่น การเรียนรู้แบบร่วมมือ (Cooperative Learning) การใช้เกมเพื่อการเรียนรู้ (Game-Based Learning) หรือการจัดการเรียนการสอนในรูปแบบออนไลน์ (Online Learning) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ในบริบทการเรียนรู้ที่แตกต่างกัน

6) ควรขยายการวิจัยไปยังบทเรียนวิทยาศาสตร์หัวข้ออื่น โดยเฉพาะหัวข้อที่มีลักษณะนามธรรม ซับซ้อน หรือยากต่อการทดลองจริง เช่น เรื่อง ไฟฟ้า หรือ แรงและการเคลื่อนที่ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของสื่อในบริบทที่กว้างขึ้น

References

- Artino, A. R. Jr. (2009). Think, feel, act: Motivational and emotional influences on military students' online academic success. *Journal of Computing in Higher Education*, 21(2), 146–166.
- Artswang, P. (2015). The Development of Virtual Chemistry Laboratory for the Properties of Elements and Compound for Mathayomsuksa 4 Students (in Thai). *Master's Thesis*. Nakhon Pathom: Silpakorn University.
- Assawasowan, A., Butsayanon, K., Laksana, K., Phakhaphol, P., Mahaman, Y., Kulamat, K. and Phonrat, T. (2024). Effects of learning activities using inquiry-based learning with virtual museums on learning achievement and knowledge construction ability of social studies major students (in Thai). *Journal of Roi Kaensarn Academy*, 9(3), 249–264.
- Bell, T., Urhahne, D., Schanze, S. and Ploetzner, R. (2010). Collaborative Inquiry Learning: Models, Tools, and Challenges. *International Journal of Science Education*, 32(3), 349–377.
- Biswal, S. and Behera, B. (2023). Enhancing Science Process Skills through Inquiry-Based Learning: A Comprehensive Literature Review and Analysis. *International Journal of Science and Research*, 12(8), 1583–1589.
- Boonchaiyuthasak, J. (2021). The effectiveness of learning management using virtual laboratory on acid and base solutions for Mathayomsuksa 1 students (in Thai). *The 1st National Conference on Sarattaprasanmit Research: Educational Research and Innovation Under the New Normal* (pp. 125-135). Bangkok: Srinakharinwirot University.
- Boonlert, S. (2013). The study of learning achievement and satisfaction for Mathayomsuksa 1 students using virtual laboratory for acid – base solution (in Thai). *Master's Thesis*. Bangkok: Srinakharinwirot University.
- Borg, W. R. and Gall, M. D. (1983). *Educational research: An introduction* (4th ed.). Longman.
- Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Van Scotter, P., Powell, J. C., Westbrook, A. and Landes, N. (2006). *The BSCS 5E instructional model: Origins, effectiveness, and applications*. Colorado Springs, CO: BSCS.

- Chiu, J. L., DeJaegher, C. J. and Chao, J. (2015). The effects of augmented virtual science laboratories on middle school students' understanding of gas properties. **Computers & Education**, 85, 59–73.
- Chotimuk, A. and Khochon, K. (2024). The development of inquiry-based learning activities integrated with a virtual laboratory to enhance scientific explanation ability of Grade 11 students (in Thai). **Journal of Mahasarakham Rajabhat University**, 18(1), 252–266.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. **Psychometrika**, 16(3), 297–334.
- Dalgarno, B., Bishop, A. G., Adlong, W. and Bedgood, D. R. Jr. (2009). Effectiveness of a virtual laboratory as a preparatory resource for distance education chemistry students. **Computers & Education**, 53(3), 853–865.
- Dolapcioglu, S. and Subasi, M. (2022). The relationship between scientific process skills and science academic achievement: A meta-analysis study. **Journal of Science Learning**, 5(2), 363–372
- Fredricks, J. A., Blumenfeld, P. C. and Paris, A. H. (2004). School engagement: Potential of the concept, state of the evidence. **Review of Educational Research**, 74(1), 59–109.
- Gunawan, G., Harjono, A., Sahidu, H. and Suranti, N. M. Y. (2019). Guided Inquiry Model through Virtual Laboratory to Enhance Students' Science Process Skills on Heat Concept. **International Journal of Instruction**, 12(2), 307–318.
- Hake, R. 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.
- Herga, N. R. and Dinevski, D. (2012). Virtual laboratory in the role of visualization of chemistry experimental work. **Turkish Online Journal of Educational Technology**, 1(4), 113–120.
- Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2021). **A teacher's manual for assessing science process skills**. Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology
- Joshi, A., Kale, S., Chandel, S. and Pal, D. K. (2015). Likert Scale: Explored and explained. **British Journal of Applied Science & Technology**, 7(4), 396–403.
- Kaewkoy, J. (2011). Effects of inquiry-based virtual laboratory with and without guidance on analytical thinking and science learning achievement of secondary school students. **Journal of Science Education**, 53(3), 321–334.
- Kamcharean, C., Kuadnok, K. (2023). Development of Fundamental Physics Laboratory by using Interactive Simulations (in Thai). **Journal of Library and Information Science Srinakharinwirot University**, 16(2), 51–61
- Klankeson, P. (2017). The development of science activity packages to enhance scientific process skills using inquiry-based learning with virtual media (in Thai). **Master's thesis**. Srinakharinwirot University.
- Lazonder, A. W. and Harmsen, R. (2016). Meta-Analysis of Inquiry-Based Learning: Effects of Guidance. **Review of educational research**, 86(3), 681–718
- Maneekham, S. (2008). Effects of using virtual field trips through virtual classrooms, Strand 4: History, Social Studies, Religion and Culture Learning Area for lower secondary school students (in Thai). **Master's Thesis**. Bangkok: Srinakharinwirot University.
- Makransky, G., Borre-Gude, S. and Mayer, R. E. (2019). Motivational and cognitive benefits of training in immersive virtual reality based on multiple assessments. **Journal of Computer Assisted Learning**, 35(6), 691–707.

- Mazur, E. (1997). **Peer instruction: A user's manual**. Pearson Education.
- Mery, B., Nurazidawati, M. A., Dilva, H., Yovita. and Nasution, D. N. (2024). Development of Scratch Learning Media to Improve Scientific Literacy and Computational Thinking in Primary Education in The Society 5.0 Era. **Journal of Natural Science and Integration**, 7(1), 94-110.
- Ministry of Education. (2017). **Indicators and core science content (Revised Edition 2017) according to the Basic Education Core Curriculum B.E. 2551 (A.D. 2008)** (in Thai). Bangkok: Cooperative League of Thailand Press
- National Institute of Educational Testing Service (Public Organization). (2023). O-NET 2023 examination results report (in Thai). Retrieved 12 December 2023, from **NIETS**; <https://www.niets.or.th>
- National PISA Center, Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2021). **PISA 2018 assessment results: Reading, mathematics, and science** (in Thai). Bangkok: Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST).
- Nitko, A. J. and Brookhart, S. M. (2014). **Educational Assessment of Students** (7th ed.). Pearson Education.
- OECD. (2019). **PISA 2018 results (Volume I): What students know and can do**. Paris: OECD Publishing.
- Phromwong, C. (2013). Testing the efficiency of media or teaching kits. **Silpakorn Educational Research Journal**, 5(1), 7–20.
- Rutten, N., van Joolingen, W. R. and van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. **Computers & Education**, 58(1), 136–153.
- Roberts, D. and Lau, T. (2017). The effects of hands-on activities on students' science achievement: A meta-analysis. **Journal of Research in Science Teaching**, 54(8), 1033-1052
- Siripattanakulhajorn, S. (2004). The development of a virtual classroom model using simulation with practice on television program production (in Thai). **Doctoral Dissertation**. Bangkok: Srinakharinwirot University.
- Smetana, L. K. and 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
- Smith, J. and Johnson, R. (2018). **Challenges and opportunities in science education reform**. Routledge.
- Soratyatorn, J. (2022). Development of inquiry-based learning activities with virtual laboratory to enhance science concepts under the COVID-19 pandemic situation for Prathomsuksa 6 students (in Thai). **Master's Thesis**. Phitsanulok: Naresuan University.
- Srirasa, N., Chaiprasert. P. and Sirisawat, C. (2021). The Learning Achievement and Satisfaction of Upper Secondary School Students on Learning Management of Inquiry-Based Learning (5E) with an Electronic Book (in Thai). **Journal of Education Studies**, 49(4), 1-13
- Srisa-ard, B. (2010). **Introduction to research** (8th ed.). Bangkok: Suwiriyasarn.
- Suman, S. (2020). Relationship between science process skills and achievement in science of secondary school students. **International Journal of Creative Research Thoughts**, 8(10), 3719–3725.
- Zacharia, Z. C. and Olympiou, G. (2011). Physical versus virtual manipulative experimentation in physics learning. **Learning and Instruction**, 21(3), 317-331.