Journal of Applied Science Innovation and Materials Technology
Vol. 1, No. 5, 2026, pp. 30-41

Research Article

SCIENCE PROCESS SKILLS AND LEARNING ACHIEVEMENT THROUGH TRACKER ASSISTED OPTICS ACTIVITIES FOR GRADE 9 STUDENTS

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากชุดกิจกรรมเรื่องแสงร่วมกับโปรแกรม Tracker สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

Received: October 11, 2026 **Revised:** October 25, 2026 **Accepted:** October 30, 2026

Atitiya Wongrian[1], Kotchakorn Mangmee[2], Duangduean Thepnuan[3], and Jiraporn Poonyawatpornkul[3]*
อฐิติญา วงษ์เรียน[1] กชกร มั่งมี[2] ดวงเดือน เทพนวล[3] และจิราภรณ์ ปุณยวัจน์พรกุล[3]*

[1] โรงเรียนบ้านแม่ปูนหลวง อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย ประเทศไทย
[1] Ban Mae Poon Luang School, Wiang Pa Pao District, Chiang Rai, Thailand
[2] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย
[2] Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand
[3]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย
[3]Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai, Thailand

*Corresponding Author, E-mail: Jiraporn.poon@g.cmru.ac.th

Abstract

This study aimed to develop Tracker-assisted optics activities and examine changes in science process skills test scores and learning achievement among Grade 9 students. A one-group pretest–posttest design was conducted with an intact class of 15 students at Ban Mae Poon Luang School, Chiang Rai, Thailand. Four activity sets addressed refraction, reflection, convex and concave lenses, and interference, connecting hands-on experiments with measurements of angles and distances from images using Tracker. The activities were planned for 12 instructional hours. Research instruments comprised the activity sets, a 20-item multiple-choice science process skills test covering prediction, experimentation, inference from data, and hypothesis formulation with five items per domain, and a separate 20-item achievement test. Data were analyzed using descriptive statistics and individual normalized gains. The activities received a mean suitability rating of 4.63 out of 5, corresponding to the highest category. All 15 students showed moderate or high gains in test scores across the four skill domains. Experimentation had the largest number of students with high gains, at eight, whereas hypothesis formulation had the smallest, at four. Mean achievement increased from 5.07 to 15.47 out of 20, and all

students reached the posttest criterion of 70%. These findings indicate increased test scores following participation in the classroom studied and inform further refinement of skill practice, particularly hypothesis formulation. However, multiple-choice scores do not establish practical performance, and the absence of a control group precludes conclusions about a causal effect of Tracker.

Keywords: Optics activities, Tracker software, Science process skills, Learning achievement

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องแสงร่วมกับโปรแกรม Tracker และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ดำเนินการวิจัยแบบกลุ่มเดียววัดก่อนและหลังกับนักเรียนทั้งชั้นเรียนจำนวน 15 คน โรงเรียนบ้านแม่ปูนหลวง จังหวัดเชียงราย ชุดกิจกรรมประกอบด้วยการหักเห การสะท้อน เลนส์นูนและเลนส์เว้า และการแทรกสอดของแสง โดยเชื่อมโยงการทดลองจริงกับการวัดมุมและระยะจากภาพด้วยโปรแกรม Tracker กำหนดเวลาจัดกิจกรรมรวม 12 ชั่วโมง แบบทดสอบปรนัยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ 20 ข้อ แบ่งเป็นการพยากรณ์ การทดลอง การลงความเห็นจากข้อมูล และการตั้งสมมติฐาน ด้านละ 5 ข้อ และแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 20 ข้อ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนาและค่าความก้าวหน้าแบบปรับฐานรายบุคคล ผลการวิจัยพบว่า ชุดกิจกรรมมีความเหมาะสมในระดับมากที่สุด โดยมีคะแนนเฉลี่ย 4.63 จาก 5 คะแนน นักเรียนทั้ง 15 คนมีความก้าวหน้าของคะแนนทักษะทั้งสี่ด้านในระดับปานกลางหรือสูง ทักษะการทดลองมีผู้ที่มีความก้าวหน้าระดับสูงมากที่สุดจำนวน 8 คน ขณะที่การตั้งสมมติฐานมีจำนวนน้อยที่สุดคือ 4 คน สำหรับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน คะแนนเฉลี่ยเพิ่มจาก 5.07 เป็น 15.47 จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน และนักเรียนทุกคนมีคะแนนหลังเรียนถึงเกณฑ์ร้อยละ 70 การเพิ่มขึ้นของคะแนนภายหลังเข้าร่วมกิจกรรมในชั้นเรียนที่ศึกษา และให้ข้อมูลสำหรับปรับการฝึกทักษะ โดยเฉพาะการตั้งสมมติฐาน อย่างไรก็ตาม ผลจากข้อสอบปรนัยยังไม่ยืนยันความสามารถในการปฏิบัติจริง และการไม่มีกลุ่มควบคุมทำให้ไม่สามารถสรุปผลเชิงสาเหตุของโปรแกรม Tracker ได้

คำสำคัญ: ชุดกิจกรรมเรื่องแสง โปรแกรม Tracker ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

บทนำ

การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาตอนต้นควรทำให้ผู้เรียนอธิบายปรากฏการณ์โดยอาศัยหลักฐาน ควบคู่กับการเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ การจำกฎหรือแทนค่าในสมการได้จึงยังไม่เพียงพอหากผู้เรียนไม่สามารถคาดการณ์ผล ตั้งสมมติฐาน ออกแบบการตรวจสอบและใช้ข้อมูลสนับสนุนข้อสรุปได้ หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560 ให้ความสำคัญกับการเชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการเรียนรู้และการสืบเสาะหาความรู้ (Ministry of Education, 2017) การจัดกิจกรรมและการประเมินจึงควรครอบคลุมทั้งความเข้าใจเนื้อหาและทักษะที่ใช้สร้างความรู้นั้น

เรื่องแสงเป็นบริบทที่เหมาะกับการฝึกกระบวนการดังกล่าว เพราะผู้เรียนสามารถตั้งคำถามเกี่ยวกับการเปลี่ยนทิศทางของรังสี วัดมุมหรือระยะและตรวจสอบความสัมพันธ์กับกฎทางฟิสิกส์ได้ อย่างไรก็ตาม ภาพรังสีในหนังสือเรียนเป็นภาพอุดมคติ ขณะที่ภาพจากการทดลองจริงมีความหนาของลำแสง ขอบเขตของภาพและความไม่แน่นอนของการกำหนดตำแหน่ง การให้ผู้เรียนตรวจสอบหลักฐานจากภาพจริงจึงเปิดโอกาสให้ฝึกการใช้เครื่องมือ การเลือกข้อมูลและการอธิบายความคลาดเคลื่อนร่วมกับการเรียนรู้แนวคิดเรื่องแสง ในบริบทของโรงเรียนบ้านแม่ปูนหลวง จังหวัดเชียงราย รายงานคะแนนเฉลี่ย O-NET วิชาวิทยาศาสตร์ของ

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ในปีการศึกษา 2563–2565 เท่ากับ 29.89, 31.45 และ 24.39 ตามลำดับ ข้อมูลนี้เป็นเหตุผลเชิงบริบทให้คณะผู้วิจัยพัฒนาการจัดการเรียนรู้ อย่างไรก็ตามคะแนนจากการทดสอบระดับชาตินี้เป็นผลรวมหลายเนื้อหา อาจไม่ใช่หลักฐานโดยตรงว่าผู้เรียนบกพร่องด้านแสงหรือทักษะเฉพาะทั้งสี่ด้าน การศึกษาครั้งนี้จึงใช้แบบทดสอบก่อนเรียนที่สัมพันธ์กับเนื้อหาและทักษะเป้าหมาย เพื่อพิจารณาจุดเริ่มต้นและการเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่มที่ศึกษา

การเรียนรู้แบบสืบเสาะช่วยจัดความสัมพันธ์ระหว่างคำถาม การตรวจสอบ และการอธิบายผล Pedaste et al. (2015) สังเคราะห์กระบวนการสืบเสาะเป็นการเข้าสู่ปัญหา การสร้างแนวคิด การตรวจสอบ การสรุปและการอภิปราย โดยการสื่อสารและสะท้อนคิดสามารถเกิดได้ตลอดกระบวนการ แนวคิดนี้ช่วยอธิบายว่าเทคโนโลยีควรทำหน้าที่สนับสนุนการคิดจากหลักฐาน โปรแกรม Tracker เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ภาพและวิดีโอที่มีเครื่องมือวัดมุมและระยะ จึงสามารถนำภาพการทดลองกลับมาตรวจสอบซ้ำและเชื่อมค่าที่วัดกับการอธิบายปรากฏการณ์ได้ (Brown et al., n.d.) ในการศึกษานี้ Tracker ใช้กับภาพจากการทดลองจริง ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นสถานการณ์จำลองที่สร้างข้อมูลแทนการทดลอง

หลักฐานจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องชี้ว่าทักษะแต่ละด้านอาจพัฒนาไม่เท่ากัน Hodosyová et al. (2015) ศึกษานักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น 120 คน และพบผลการตอบโจทย์ด้านการตั้งสมมติฐานต่ำกว่าด้านอื่นที่ศึกษา ส่วน Ramayanti et al. (2017) ใช้การออกแบบการสอนเรื่องงานและพลังงานกับนักเรียนมัธยมศึกษา 32 คน พบพัฒนาการด้านการระบุตัวแปร การตั้งสมมติฐาน และการทดลอง แต่การพยากรณ์ยังพัฒนาไม่เต็มที่ ผลเหล่านี้สนับสนุนการวิเคราะห์ทักษะแยกรายด้าน แทนการพิจารณาคะแนนรวมเพียงค่าเดียว สำหรับการใช้สื่อคอมพิวเตอร์ Siahaan et al. (2017) รายงานว่ากิจกรรมสถานการณ์จำลองเรื่องการเคลื่อนที่แนวตรงสัมพันธ์กับการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์โดยรวมในระดับปานกลาง ขณะที่ Kotu**ľ**áková et al. (2020) ศึกษานักเรียนชั้นปีที่ 8 จำนวน 80 คนโดยมีกลุ่มเปรียบเทียบ และพบว่ากิจกรรมสืบเสาะช่วยพัฒนาทักษะ โดยเฉพาะการเสนอวิธีทดสอบสมมติฐานและการลงความเห็น งานทั้งสองสนับสนุนการออกแบบกิจกรรมให้ผู้เรียนทำงานกับหลักฐาน แต่มีเนื้อหา เครื่องมือ และเงื่อนไขการเรียนต่างจากการใช้ Tracker วิเคราะห์ภาพการทดลองเรื่องแสง

การศึกษานี้มุ่งศึกษาในบริบทเฉพาะเกี่ยวกับ ชุดกิจกรรมเรื่องแสงที่ผสานการทดลองจริงกับการวัดจากภาพด้วย Tracker จะมีความเหมาะสมต่อผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ในโรงเรียนที่ศึกษาอย่างไร และการเปลี่ยนแปลงด้านการพยากรณ์ การทดลอง การลงความเห็นจากข้อมูล และการตั้งสมมติฐานจะมีรูปแบบแตกต่างกันหรือไม่ งานที่ทบทวนข้างต้นยังไม่ตอบคำถามนี้โดยตรง การศึกษาจึงเน้นทั้งการพัฒนาชุดกิจกรรมและผลการใช้ในกลุ่มเป้าหมาย พร้อมจำกัดข้อสรุปตามรูปแบบการวิจัยกลุ่มเดียว คุณูปการที่คาดหวังคือแนวทางจัดกิจกรรมที่เชื่อมภาพจริงกับหลักฐานเชิงปริมาณ และข้อมูลสำหรับปรับปรุงการฝึกทักษะแต่ละด้าน

วัตถุประสงค์

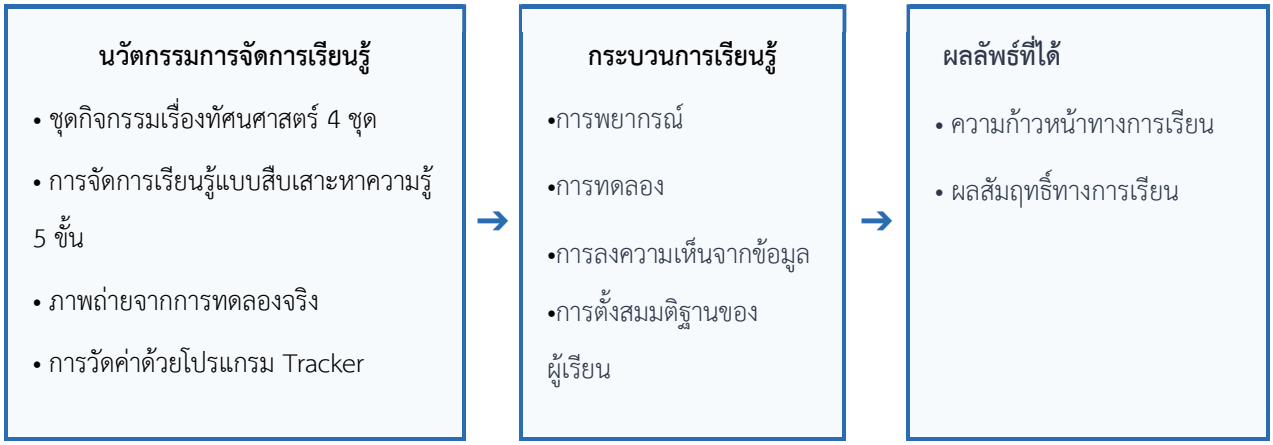
1. เพื่อพัฒนาและประเมินความเหมาะสมของชุดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องแสงร่วมกับโปรแกรม Tracker สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

2. เพื่อศึกษาความก้าวหน้าด้านการพยากรณ์ การทดลอง การลงความเห็นจากข้อมูล และการตั้งสมมติฐานของผู้เรียนหลังใช้ชุดกิจกรรม

3. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังใช้ชุดกิจกรรม และพิจารณาคะแนนหลังเรียนเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม

กรอบแนวคิดการวิจัย

ตัวแปรจัดกระทำคือการเรียนด้วยชุดกิจกรรมเรื่องแสง 4 ชุดร่วมกับ Tracker และแผนการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น ตัวแปรผลลัพธ์คือคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ 4 ด้านและคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยวัดก่อนและหลังการจัดกิจกรรม กระบวนการเรียนรู้ที่เสนอในภาพที่ 1 ได้แก่ การคาดการณ์ การตั้งสมมติฐาน การทดลอง การวัด และการตีความหลักฐาน เป็นเหตุผลเชิงแนวคิดของการออกแบบ มิได้เป็นตัวแปรสื่อกลางที่ได้รับการทดสอบแยกในงานนี้



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดของการใช้ชุดกิจกรรมเรื่องแสงร่วมกับ Tracker กระบวนการระหว่างทางและผลลัพธ์ที่วัด

วิธีดำเนินการวิจัย

แบบแผนการวิจัยและกลุ่มที่ศึกษา

การดำเนินงานประกอบด้วยการพัฒนาชุดกิจกรรมและเครื่องมือ แล้วศึกษาผลการใช้ด้วยแบบแผนการทดลองเบื้องต้นกลุ่มเดียววัดก่อนและหลัง (one-group pretest–posttest design) เขียนเป็น $O_1 \longrightarrow X \longrightarrow O_2$ โดย O_1 คือการทดสอบก่อนเรียน X คือการจัดกิจกรรม และ O_2 คือการทดสอบหลังเรียน

กลุ่มทดลองใช้เครื่องมือเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนป่างิ้ววิทยา อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย จำนวน 15 คน เคยเรียนเนื้อหาที่เกี่ยวข้องแล้ว ส่วนกลุ่มเป้าหมายในการศึกษาผลเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนบ้านแม่ปูนหลวง อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 15 คน ตามบริบทชั้นเรียนที่คณะผู้วิจัยเลือกศึกษา กลุ่มทดลองใช้เครื่องมือและกลุ่มเป้าหมายเป็นคนละกลุ่มกัน

การพัฒนาชุดกิจกรรมและแผนการดำเนินงาน

คณะผู้วิจัยศึกษาหลักสูตรและตัวชี้วัด วิเคราะห์เนื้อหาเรื่องแสงและทดลองใช้ Tracker ตรวจวัดมุมและระยะจากภาพการทดลอง จากนั้นจัดทำแผนการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้นจำนวน 4 แผนและชุดกิจกรรม 4 ชุด ได้แก่ การหักเหของแสง การสะท้อนของแสง เลนส์นูนและเลนส์เว้าและการแทรกสอดของแสง แต่ละแผนกำหนดเวลา 3 ชั่วโมง รวมเวลาสำหรับกิจกรรมตามแผน 12 ชั่วโมง

(1) องค์ประกอบของชุดกิจกรรมประกอบด้วยคำชี้แจง แนวคิดสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ คู่มือครูและนักเรียน เวลา ใบกิจกรรมการทดลอง สื่อและเครื่องมือประเมินผล อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจความครอบคลุมของเนื้อหา ผู้เชี่ยวชาญ

3 คนประเมินความเหมาะสมและให้ข้อเสนอแนะ ก่อนปรับปรุง ทดลองใช้และจัดทำฉบับสำหรับกลุ่มเป้าหมาย การประเมินใช้มาตรประมาณค่า 5 ระดับ โดยกำหนดค่าเฉลี่ย 3.51 ขึ้นไปเป็นเกณฑ์ยอมรับ และ 4.51–5.00 เป็นระดับมากที่สุด

(2) แผนการดำเนินงานแบ่งเป็นการวัดก่อนเรียน การจัดกิจกรรมตามลำดับเนื้อหา 4 ชุด และการวัดหลังเรียน ดังตารางที่ 1 กิจกรรมการเรียนรู้กำหนดเวลารวม 12 ชั่วโมง โดยมีการทดสอบก่อนเริ่มและหลังสิ้นสุดกิจกรรม เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผู้เรียน

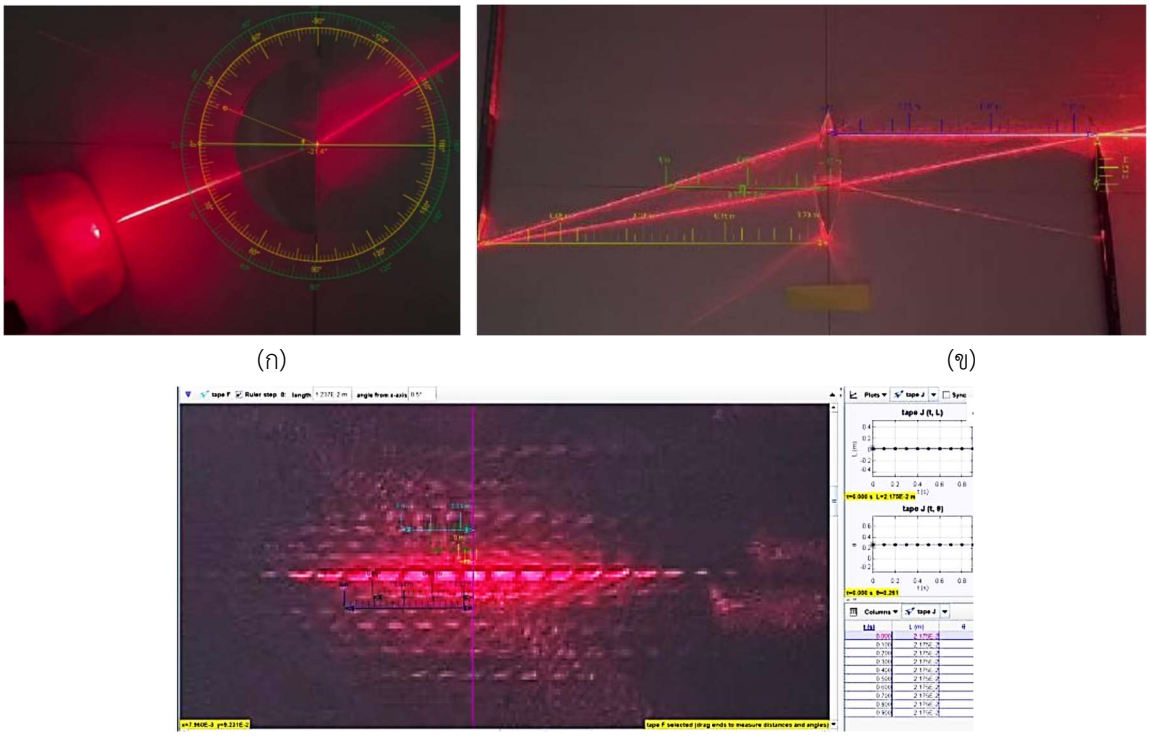
ตารางที่ 1 แผนการดำเนินกิจกรรมและการเก็บข้อมูล

ลำดับ	กิจกรรมและหลักฐาน	เวลาตามแผน
ก่อนเรียน	เตรียมความพร้อมและทดสอบก่อนเรียนทั้งสองฉบับ	แยกจากกิจกรรม
ชุดที่ 1 การหักเห	ทดลองผ่านแท่งพลาสติกและวัดมุมด้วย Protractor	3 ชั่วโมง
ชุดที่ 2 การสะท้อน	บันทึกแนวรังสีและเปรียบเทียบมุมตกกระทบกับมุมสะท้อน	3 ชั่วโมง
ชุดที่ 3 เลนส์	พิจารณารังสี ระยะวัตถุและระยะภาพด้วย Tape Measure	3 ชั่วโมง
ชุดที่ 4 การแทรกสอด	บันทึกแถบแสงและวัดระยะจากแนวกลาง	3 ชั่วโมง
หลังเรียน	ทดสอบด้วยฉบับเดิมและจับคู่คะแนนตามรหัสนักเรียน	1 ชั่วโมงตามขั้นตอนหลังทดลอง

ลักษณะกิจกรรมและการใช้โปรแกรม Tracker

การเรียนรู้ใช้การสืบเสาะ 5 ขั้นเป็นหลักในการจัดกิจกรรม ได้แก่ การสร้างความสนใจ การสำรวจและค้นหา การอธิบายและลง ข้อสรุป การขยายความรู้ และการประเมินผล ในส่วนปฏิบัติ ผู้เรียนศึกษาคำถามและเงื่อนไขของการทดลอง ดำเนินการตามใบ กิจกรรม บันทึกภาพ และนำข้อมูลจากภาพมาพิจารณาร่วมกับหลักการทางฟิสิกส์ หลังกิจกรรมมีการอภิปรายผลอย่างมีหลักการ

ในกิจกรรมการหักเหใช้แสงเลเซอร์ผ่านแท่งพลาสติกใส บันทึกภาพแนวรังสีและใช้ Protractor ในโปรแกรม Tracker เพื่อวัดมุมตกกระทบกับมุมหักเห ส่วนกิจกรรมการสะท้อนใช้ภาพแนวรังสีตกกระทบและสะท้อนเพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของมุม สำหรับกิจกรรมเลนส์ใช้แนวรังสีและ Tape Measure ประกอบการหาระยะวัตถุและระยะภาพ และกิจกรรมการแทรกสอดใช้ภาพแถบแสงบนฉาก และการวัดระยะห่างจากแนวกลาง ดังแสดงในภาพที่ 2 กิจกรรมทั้งสี่ให้โอกาสฝึกทักษะร่วมกัน เช่น การใช้ข้อมูลคาดการณ์ผลเมื่อเปลี่ยนเงื่อนไข การระบุคำตอบที่ตรวจสอบ ขณะทำการทดลองและการใช้ค่าที่วัดสนับสนุนคำอธิบาย



(ก) (ข)

(ค)

ภาพที่ 2 ตัวอย่างการทดลองและการวิเคราะห์ภาพ (ก) การหักเหและสะท้อนผ่านแท่งพลาสติกและการวัดมุมใน Tracker (ข) การตรวจแนวรังสีและระยะของเลนส์และ (ค) การตรวจแถบมือและสว่างของการแทรกสอด

เครื่องมือวัดและการตรวจสอบคุณภาพ

แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์เป็นข้อสอบปรนัย 4 ตัวเลือก เริ่มสร้าง 40 ข้อ ครอบคลุมการหักเห การสะท้อน เลนส์ และการแทรกสอดอย่างละ 10 ข้อ แล้วคัดเลือกให้เหลือ 20 ข้อหรือเนื้อหาละ 5 ข้อ คะแนนเต็ม 20 คะแนน ผู้เชี่ยวชาญ 3 คนตรวจความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ด้วย IOC โดยให้คะแนน +1, 0 และ −1 ตามระดับความแน่ใจ และกำหนด IOC ตั้งแต่ 0.50 เป็นเกณฑ์คัดเลือก หลังทดลองใช้กับนักเรียนโรงเรียนป่างิ้ววิทยา พิจารณาค่าความยาก 0.20–0.80 และค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.20

แบบทดสอบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้วิเคราะห์ผลมี 20 ข้อ คะแนนเต็ม 20 คะแนน แบ่งเป็นการพยากรณ์ข้อ 1–5 การทดลองข้อ 6–10 การลงความเห็นจากข้อมูลข้อ 11–15 และการตั้งสมมติฐานข้อ 16–20 แต่ละด้านมีคะแนนเต็ม 5 คะแนน ขั้นตอนสร้างระบุข้อสอบปรนัย 4 ตัวเลือก การตรวจ IOC และการทดลองใช้ก่อนคัดเลือกข้อสอบ ผลการตรวจคุณภาพได้ค่าความเชื่อมั่น 0.66 สำหรับแบบทดสอบทักษะฉบับดังกล่าว จึงต้องพิจารณาความคลาดเคลื่อนของการวัดประกอบการตีความผลรายด้าน

การประเมินความเหมาะสมของชุดกิจกรรมพิจารณาสาระสำคัญ จุดประสงค์ การจัดกิจกรรม สื่อและแหล่งเรียนรู้ และการวัดประเมินผล การประเมินจากผู้เชี่ยวชาญใช้พิจารณาคุณภาพของการออกแบบและความเหมาะสมก่อนใช้งาน ส่วนหลักฐานผลการเรียนรู้มาจากคะแนนผู้เรียนหลังนำไปใช้ การประเมินทั้งสองจึงตอบคนละคำถามและไม่ใช้คะแนนความเหมาะสมแทนค่าประสิทธิภาพหรือผลเชิงสาเหตุของการสอน

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลเริ่มต้นจากเตรียมความพร้อมและสร้างความคุ้นเคยกับกลุ่มเป้าหมาย ก่อนให้ทำแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์และแบบทดสอบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จากนั้นดำเนินกิจกรรมตามแผนและประเมินในแต่ละชุด เมื่อสิ้นสุดการจัดกิจกรรมให้ทำแบบทดสอบหลังเรียนโดยใช้แบบทดสอบฉบับเดิม ขั้นตอนหลังทดลองระบุเวลาทดสอบ 1 ชั่วโมง คะแนนก่อนและหลังจับคู่ตามรหัสนักเรียนเพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลง

การวิเคราะห์ข้อมูล

ความเหมาะสมของชุดกิจกรรมรายงานค่าเฉลี่ยและค่า SD ตามผลการประเมินคะแนนผลสัมฤทธิ์รายงานค่าเฉลี่ยร้อยละของคะแนนเต็มและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแบบประชากร (**σ**) เพื่อให้สอดคล้องกับวิธีคำนวณในข้อมูลต้นทาง ความแตกต่างของร้อยละก่อนและหลังรายงานเป็นจุดร้อยละและพิจารณาเกณฑ์ 70% หรือ 14 จาก 20 คะแนน แยกเป็นการผ่านเกณฑ์ ตั้งแต่ 14 คะแนนขึ้นไป

ทักษะรายด้านประเมินด้วย normalized gain (Hake, 1998) ของผู้เรียนแต่ละคนตามสมการ

$$\langle g \rangle = (\text{คะแนนหลังเรียน} - \text{คะแนนก่อนเรียน})/(\text{คะแนนเต็ม} - \text{คะแนนก่อนเรียน})$$

กำหนดเกณฑ์ ระดับสูงเมื่อ $g \geq 0.70$ ระดับปานกลางเมื่อ $0.30 \leq g < 0.70$ และระดับต่ำเมื่อ $g < 0.30$ โดยวิเคราะห์ผู้เรียน แยกตามทักษะ

ผลการวิจัย

ชุดกิจกรรมที่พัฒนาและความเหมาะสม

ผลผลิตของการพัฒนาคือชุดกิจกรรม 4 ชุดพร้อมแผนการเรียนรู้ 4 แผน ที่นำภาพการทดลองจริงเข้าสู่การวัดและการตีความด้วย Tracker ความเหมาะสมของชุดกิจกรรมจากผู้เชี่ยวชาญมีค่าเฉลี่ย 4.58–4.72 อยู่ในระดับมากที่สุดทุกชุด ค่าเฉลี่ยรวมที่รายงานเท่ากับ 4.63 และค่าเฉลี่ย SD รายชุดเท่ากับ 0.31 ดังตารางที่ 2 ชุดเลนส์นูนและเลนส์เว้าได้ค่าเฉลี่ยสูงสุด 4.72 อย่างไรก็ดี ความต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างชุดเป็นผลเชิงพรรณนา ไม่ใช่หลักฐานว่าชุดหนึ่งให้ผลการเรียนรู้สูงกว่าอีกชุดหนึ่ง

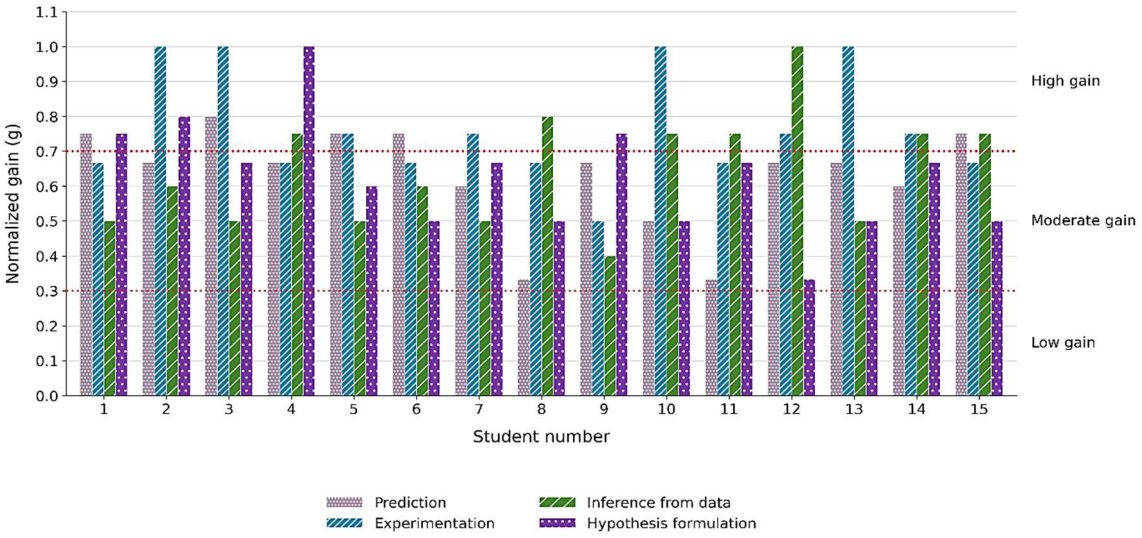
ผลการประเมินแผนการเรียนรู้ประกอบชุดกิจกรรม ซึ่งเป็นรายการประเมินแยกจากตัวชุดกิจกรรม มีค่าเฉลี่ยรายแผน 4.58, 4.40, 4.40 และ 4.19 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยรวมที่รายงาน 4.39 ผลนี้อยู่ในระดับมากและผ่านเกณฑ์ยอมรับ 3.51 ทุกแผน

ตารางที่ 2 ความเหมาะสมของชุดกิจกรรมจากผู้เชี่ยวชาญ 3 คน

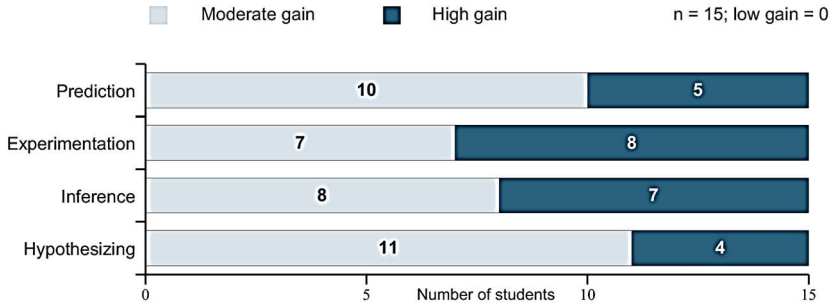
ชุดกิจกรรม	ค่าเฉลี่ย	SD ที่รายงาน	ระดับ
การหักเหของแสง	4.61	0.30	มากที่สุด
การสะท้อนของแสง	4.58	0.33	มากที่สุด
เลนส์นูนและเลนส์เว้า	4.72	0.30	มากที่สุด
การแทรกสอดของแสง	4.62	0.30	มากที่สุด
ภาพรวมตามต้นฉบับ	4.63	0.31	มากที่สุด

ความก้าวหน้าทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

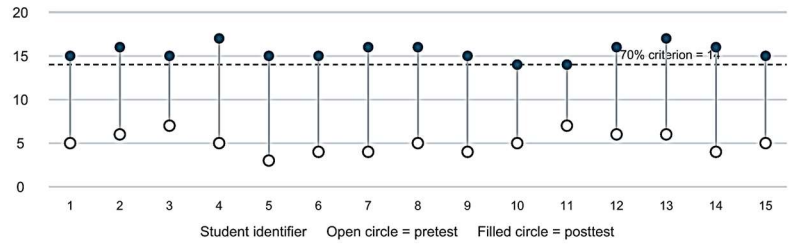
ผู้เรียนทั้ง 15 คนอยู่ในระดับความก้าวหน้าปานกลางหรือสูงในทักษะทั้งสี่ด้าน ไม่มีผู้เรียนอยู่ในระดับต่ำ ทักษะการทดลองมีจำนวนผู้เรียนระดับสูงมากที่สุด 8 คน (53.33%) และระดับปานกลาง 7 คน (46.67%) รองลงมาคือการลงความเห็นจากข้อมูล มีระดับสูง 7 คน (46.67%) และปานกลาง 8 คน (53.33%) การพยากรณ์มีระดับสูง 5 คน (33.33%) และปานกลาง 10 คน (66.67%) ส่วนการตั้งสมมติฐานมีระดับสูง 4 คน (26.67%) และปานกลาง 11 คน (73.33%) ภาพระดับความก้าวหน้ารายบุคคลแสดงดังภาพที่ 3 และเมื่อแยกวิเคราะห์ตามทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ แสดงดังภาพที่ 4 (ก)



ภาพที่ 3 ระดับความก้าวหน้ารายบุคคลของกลุ่มเป้าหมาย



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 ผลการเรียนรู้ของกลุ่มเป้าหมาย 15 คน (ก) จำนวนผู้เรียนตามระดับความก้าวหน้ารายทักษะ ไม่พบระดับต่ำ (ข) คะแนนผลสัมฤทธิ์ก่อนและหลังของผู้เรียนแต่ละคน เส้นประคือเกณฑ์ 14 จาก 20 คะแนน

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

คะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนเท่ากับ 5.07 จาก 20 คะแนน (25.33%, **σ** = 1.12) และหลังเรียนเท่ากับ 15.47 คะแนน (77.33%, **σ** = 0.88) คะแนนเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 10.40 คะแนน หรือ 52.00 จุดร้อยละ ดังตารางที่ 3 การตรวจคะแนนรายบุคคลพบว่าผู้เรียนทั้ง 15 คนมีคะแนนเพิ่มขึ้น โดยเพิ่มขึ้น 7–12 คะแนนต่อคน ภาพที่ 4(ข) แสดงข้อมูลจับคู่และเส้นเกณฑ์ 14 คะแนน เพื่อให้เห็นทั้งทิศทางและความแตกต่างระหว่างบุคคล

ตารางที่ 3 ผลสัมฤทธิ์ก่อนและหลังเรียนของกลุ่มเป้าหมาย 15 คน

ตัวชี้วัด	ก่อนเรียน	หลังเรียน
คะแนนเต็ม	20	20
ค่าเฉลี่ย	5.07	15.47
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานประชากร (**σ**)	1.12	0.88
ร้อยละของคะแนนเต็ม	25.33	77.33
ช่วงคะแนน	3–7	14–17
จำนวนที่ได้ตั้งแต่ 14 คะแนน	0	15

หมายเหตุ ตรวจคำนวณจากคะแนนรายบุคคลในตารางที่ 4.14 ผลต่างเฉลี่ย 10.40 คะแนน หรือ 52.00 จุดร้อยละ

จากตารางพบว่าหลังเรียน นักเรียน 15 คนได้คะแนนตั้งแต่ 14 คะแนนขึ้นไป จึงผ่านเกณฑ์ 70% ทุกคน โดย 13 คน (86.67%) ได้คะแนนสูงกว่าเกณฑ์ และ 2 คน (13.33%) ได้คะแนนเท่ากับเกณฑ์ คะแนนเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ 7.33 จุดร้อยละ

อภิปรายผล

การออกแบบชุดกิจกรรมและบทบาทของหลักฐานจากภาพจริง

ความเหมาะสมระดับมากที่สุดสะท้อนการยอมรับการออกแบบจากผู้เชี่ยวชาญ ภาพการทดลองและเครื่องมือวัดใน Tracker ทำให้กิจกรรมมีความเชื่อมโยงระหว่างปรากฏการณ์ที่มองเห็น ค่าที่วัด และคำอธิบายทางฟิสิกส์ ผู้เรียนสามารถกลับมาตรวจ แนวรังสีและตำแหน่งวัดในภาพเดิมได้ เหตุผลเชิงการออกแบบนี้สอดคล้องกับกรอบการสืบเสาะของ Pedaste et al. (2015) ที่เชื่อมการตรวจสอบกับการตีความข้อมูลและการสื่อสารผล อย่างไรก็ตาม งานนี้ไม่ได้เก็บข้อมูล เพื่อทดสอบว่าการกลับมาวัดภาพซ้ำเป็นกลไกที่ทำให้คะแนนเพิ่มขึ้น จึงเสนอคำอธิบายที่เป็นไปได้เท่านั้น

เมื่อเปรียบเทียบกับ Siahaan et al. (2017) ซึ่งใช้สถานการณ์จำลองคอมพิวเตอร์เรื่องการเคลื่อนที่ การศึกษานี้ใช้ข้อมูลจากการจัดอุปกรณ์จริงในหัวข้อแสง ความต่างอยู่ที่ผู้เรียนต้องเผชิญกับการเลือกแนวรังสี การวางอุปกรณ์ และความไม่แน่นอนของการวัด การอภิปรายข้อคลาดเคลื่อนจึงสามารถเป็นส่วนหนึ่งของการเรียนรู้จากหลักฐานได้ แต่ไม่อาจสรุปว่าวิธีใดดีกว่ากัน เพราะการศึกษาทั้งสองใช้เนื้อหาและเครื่องมือประเมินต่างกัน และการศึกษาปัจจุบันไม่ได้จัดกลุ่มเปรียบเทียบ

เหตุใดทักษะการทดลองและการตั้งสมมติฐานจึงให้ผลต่างกัน

ทักษะการทดลองมีผู้เรียนระดับความก้าวหน้าสูง 8 คน เทียบกับการตั้งสมมติฐาน 4 คน ผลนี้สอดคล้องเชิงประเด็นกับ Hodosyová et al. (2015) ที่พบว่าการตั้งสมมติฐานเป็นด้านที่ผู้เรียนทำได้ต่ำในกลุ่มทักษะที่ศึกษา แต่ตัวชี้วัดต่างกัน งานดังกล่าวพิจารณาความสำเร็จในการตอบโจทย์ ขณะที่งานนี้นับระดับ normalized gain จึงไม่ควรนำร้อยละมาจัดอันดับขนาดผลข้ามงานโดยตรง ข้อค้นพบร่วมคือการลงมือทดลองยังต้องประกอบด้วย การฝึกสร้างคำอธิบายที่ตรวจสอบได้

Ramayanti et al. (2017) พบว่าการออกแบบกิจกรรมเรื่องงานและพลังงานสามารถฝึกการระบุตัวแปร การตั้งสมมติฐาน และการทดลอง แต่การพยากรณ์ยังพัฒนาได้ไม่เต็มที่ เมื่อเทียบกับงานนี้ซึ่งการตั้งสมมติฐานมีผู้เรียนระดับสูงน้อยที่สุด แสดงว่าทักษะที่ยังต้องพัฒนาอาจต่างกันตามโจทย์กิจกรรม บริบท และวิธีวัด การออกแบบครั้งถัดไปจึงควรวิเคราะห์คำตอบและชิ้นงานเพื่อระบุว่าผู้เรียนติดขัดในการเชื่อมตัวแปร การอธิบายเหตุผล หรือการกำหนดวิธีตรวจสอบมากกว่าถือว่าทักษะทุกด้านจะพัฒนาพร้อมกันจากการทำกิจกรรมชุดเดียว

ข้อเสนอเชิงปฏิบัติที่ตามจากผลนี้คือ เพิ่มช่วงให้ผู้เรียนเขียนสมมติฐานก่อนเห็นผลทดลอง ระบุตัวแปรที่เปลี่ยน สิ่งที่จะวัด และเงื่อนไขที่ควบคุม แล้วกลับมาประเมินสมมติฐานด้วยข้อมูลที่เก็บได้ คำถามชี้นำอาจช่วยแยก “การคาดเดาคำตอบ” ออกจาก “ข้อความความสัมพันธ์ที่ตรวจสอบได้” ข้อเสนอนี้เป็นแนวทางปรับปรุงจากผลการวิจัย ไม่ใช่กิจกรรมเพิ่มเติมที่มีหลักฐานว่าดำเนินการแล้วในกลุ่มปัจจุบัน

ผลสัมฤทธิ์และความสัมพันธ์กับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ

คะแนนผลสัมฤทธิ์เพิ่มขึ้นทุกคนและค่าเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ 70% สนับสนุนว่ากลุ่มเป้าหมายมีความรู้ เรื่องแสงเพิ่มขึ้น หลังเข้าร่วมกิจกรรม การเรียนรู้ที่ประกอบด้วยการสังเกต การวัด และการอธิบายผลอาจช่วยให้ผู้เรียนเชื่อมแนวคิดนามธรรมกับปรากฏการณ์ที่ตรวจสอบได้ ผลนี้เป็นแนวโน้มที่สอดคล้องกับงานของ Kotuľáková et al. (2020) ซึ่งพบการพัฒนา ทักษะของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นที่ได้รับกิจกรรมสืบเสาะเช่นกัน

การตรวจข้อมูลรายบุคคลช่วยให้ข้อสรุปชัดกว่าการรายงานค่าเฉลี่ยเพียงค่าเดียว นักเรียนทุกคนมีคะแนนเพิ่มขึ้นและถึงเกณฑ์อย่างน้อย 14 คะแนน แต่ยังมี 2 คนที่อยู่ตรงเกณฑ์พอดี ผู้สอนจึงควรทบทวนข้อคำถามที่ตอบผิดและจัดกิจกรรมเสริมตามความเข้าใจที่ยังขาด ส่วนการกระจายคะแนนหลังเรียนที่ลดลงจาก σ = 1.12 เป็น 0.88 อธิบายได้ว่าคะแนนในกลุ่มมีกระจายแคบลง แสดงถึงความสามารถทุกด้านของผู้เรียนใกล้เคียงกันมากขึ้น

การใช้แบบทดสอบเดิมก่อนและหลังอาจมีผลจากความคุ้นเคยกับคำถาม ขณะเดียวกัน การได้ฝึกซ้ำ การได้รับคำแนะนำ จากผู้สอน และการเรียนเนื้อหาเพิ่มเติมเกิดพร้อมกันกับการใช้ Tracker ร่วมกัน จึงเป็นสาเหตุหลักของคะแนนที่เปลี่ยนแปลง หรือกล่าวได้ว่าชุดกิจกรรมทั้งระบบสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตในกลุ่มนี้ และควรนำไปทดสอบต่อด้วยแบบแผนที่ควบคุมคำอธิบายทางเลือกได้ดีขึ้น

ข้อจำกัดและขอบเขตการนำผลไปใช้

ข้อจำกัดสำคัญคือกลุ่มเป้าหมาย 15 คนจากโรงเรียนเดียวและไม่มีกลุ่มควบคุม ทำให้ยังอ้างอิงผลไปยังประชากรนักเรียนชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 3 ทั้งหมดไม่ได้ แบบทดสอบทักษะรายด้านมีเพียง 5 ข้อและค่าความเชื่อมั่นรวมที่รายงาน 0.66 จึงยังมีข้อจำกัด ในการแยกความสามารถย่อย อีกทั้งคะแนนจากข้อสอบปรนัย ไม่ใช่การสังเกตพฤติกรรมทดลองโดยตรง ควรใช้รูบริก ชิ้นงาน หรือการสัมภาษณ์ร่วมในการศึกษาถัดไป

สรุปผล

การวิจัยได้ชุดกิจกรรมเรื่องแสงร่วมกับโปรแกรม Tracker จำนวน 4 ชุด และแผนการเรียนรู้ 4 แผน ครอบคลุมการหักเห การสะท้อน เลนส์นูนและเลนส์เว้า และการแทรกสอด โดยกำหนดเวลากิจกรรมรวม 12 ชั่วโมง ชุดกิจกรรมได้รับการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ 3 คนในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยรวม 4.63 ขณะที่แผนการเรียนรู้มีค่าเฉลี่ยรวม 4.39 ในระดับมาก ผลดังกล่าวสนับสนุนความเหมาะสมของการออกแบบสำหรับบริบทที่ศึกษา หลังนำไปใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนบ้านแม่ปูนหลวง 15 คน ผู้เรียนทุกคนมีความก้าวหน้าทักษะทั้งสี่ด้านในระดับปานกลางหรือสูง โดยการทดลองมีจำนวนผู้เรียนระดับสูงมากที่สุด 8 คน และการตั้งสมมติฐานน้อยที่สุด 4 คน ข้อค้นพบนี้ชี้ถึงความจำเป็นในการเพิ่มการฝึกสร้างและตรวจสอบสมมติฐานอย่างชัดเจน ควบคู่กับการดำเนินการทดลองและการอ่านค่าจากภาพ

คะแนนผลสัมฤทธิ์เฉลี่ยเพิ่มจาก 5.07 เป็น 15.47 จาก 20 คะแนน หรือเพิ่มขึ้น 52.00 จุดร้อยละ นักเรียนทุกคนผ่านเกณฑ์ 70% โดย 13 คนสูงกว่าเกณฑ์และ 2 คนเท่ากับเกณฑ์ ผลนี้เป็นหลักฐานการเปลี่ยนแปลงเชิงบวกในกลุ่มเป้าหมายภายใต้ข้อจำกัดของแบบแผนกลุ่มเดียว จึงยังไม่ยืนยันความเหนือกว่าวิธีสอนอื่นหรือผลของ Tracker โดยลำพัง สาระสำคัญสำหรับการจัดการเรียนรู้คือการเชื่อมการทดลองจริง การวัดจากภาพ และการอธิบายด้วยหลักฐานให้อยู่ในกิจกรรมเดียวกัน พร้อมใช้ผลรายทักษะกำหนดกิจกรรมเสริม งานนี้จึงให้ทั้งชุดกิจกรรมที่นำไปปรับใช้ได้และข้อมูลเฉพาะบริบทสำหรับพัฒนาการสอนต่อไป โดยการขยายผลควรมีการตรวจคุณภาพเครื่องมือและประเมินผลในกลุ่มที่หลากหลายขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 ครูควรเตรียมตัวอย่างภาพและให้ผู้เรียนฝึกกำหนดแนวอ้างอิงก่อนวัดมุมหรือระยะ รวมทั้งตรวจว่าแนวรังสีและมาตราส่วนในภาพเหมาะกับการวัด รวมทั้ง ใช้คำถามให้ผู้เรียนอธิบายเหตุผลในการเลือกตำแหน่งวัดและเปรียบเทียบค่าที่ได้กับคำตอบที่คาดไว้ เพื่อให้การใช้โปรแกรมเป็นส่วนหนึ่งของการสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์

1.2 ควรเพิ่มใบงานสำหรับสมมติฐานที่แยกตัวแปร เงื่อนไข และผลที่คาดว่าจะพบ พร้อมให้ข้อมูลย้อนกลับจากคำตอบจริง ของผู้เรียน โดยเฉพาะผู้ที่มีคะแนนอยู่ใกล้เกณฑ์ผ่าน การกำหนดเวลาควรเผื่อการตั้งอุปกรณ์ การบันทึกภาพและการอภิปราย ซึ่งเป็นงานคนละส่วนกับการคลิกใช้เครื่องมือในโปรแกรม และควรชี้แจงการใช้เลเซอร์อย่างปลอดภัยก่อนปฏิบัติ

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรเปรียบเทียบกลุ่มที่ทดลองจริงร่วมกับ Tracker กับกลุ่มที่ใช้การทดลองจริงแบบเดียวกันแต่ใช้วิธีวัดอื่น โดยควบคุมเวลา เนื้อหา และบทบาทผู้สอนให้ใกล้เคียงกัน เพื่อศึกษาคุณูปการของการวิเคราะห์ภาพให้ชัดขึ้น เพิ่มจำนวนผู้เรียนและโรงเรียน และวัดความคงทนของการเรียนรู้ด้วยการทดสอบติดตามผล

2.2 ควรพัฒนาแบบประเมินทักษะรายด้านให้มีหลักฐานความเที่ยงและความตรงเพียงพอ เสริมการประเมินการปฏิบัติจริงและคำตอบอธิบายเหตุผล รวมทั้งตรวจความสอดคล้องของผู้ประเมินหากใช้รูบริก การวิเคราะห์ข้อผิดพลาดในการตั้งสมมติฐานจะช่วยออกแบบกิจกรรมเสริมให้ตรงสาเหตุ และตรวจได้ว่าพัฒนาการถ่ายโอนไปสู่เนื้อหาใหม่หรือไม่

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่ให้การสนับสนุน ตลอดจนขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญ คณะครู และนักเรียนโรงเรียนป่างิ้ววิทยา และโรงเรียนบ้านแม่ปูนหลวง ที่ให้ความอนุเคราะห์และความร่วมมือในการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

Brown, D., Christian, W., & Hanson, R. M. (n.d.). *Tracker video analysis and modeling tool*. Open Source Physics. https://opensourcephysics.github.io/tracker-website/

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. https://doi.org/10.1119/1.18809

Hodosyová, M., Útla, J., Vanyová, M., Vnuková, P., & Lapitková, V. (2015). The development of science process skills in physics education. *Procedia – Social and Behavioral Sciences, 186*, 982–989. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.184

Kotuľáková, K., Dlholucký, D., Palicová, L., & Šprláková, L. (2020). Effect of inquiry instruction on lower secondary students' science process skills. *Scientia in Educatione, 10*(2), 2–19. https://doi.org/10.14712/18047106.1324

Ministry of Education. (2017). *Indicators and core learning content for the science learning area under the Basic Education Core Curriculum B.E. 2551 (Revised B.E. 2560)* [In Thai]. Office of the Basic Education Commission. https://www.academic.obec.go.th/web/document/view/286

Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review, 14*, 47–61. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003

Ramayanti, S., Utari, S., & Saepuzaman, D. (2017). Training students' science process skills through didactic design on work and energy. *Journal of Physics: Conference Series, 895*(1), 012110. https://doi.org/10.1088/1742-6596/895/1/012110

Siahaan, P., Suryani, A., Kaniawati, I., Suhendi, E., & Samsudin, A. (2017). Improving students' science process skills through simple computer simulations on linear motion conceptions. *Journal of Physics: Conference Series, 812*(1), 012017. https://doi.org/10.1088/1742-6596/812/1/012017