



บทความวิจัย

## โมเดลอย่างง่ายจากหนังยางเพื่อสืบเสาะกฎของสเนลล์

อิสสระ พิมวัน<sup>1</sup> และสุระ วุฒิพรหม<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

<sup>2</sup>ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

\*Email: sura.w@ubu.ac.th

รับบทความ: 23 ธันวาคม 2564 แก้ไขบทความ: 11 กุมภาพันธ์ 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 14 กุมภาพันธ์ 2565

### บทคัดย่อ

การทดลองเป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการค้นหาความรู้ ทดสอบสมมติฐาน หรือศึกษาปรากฏการณ์ การทดลอง การหักเหของคลื่นแสงจำเป็นต้องใช้วัสดุอุปกรณ์ที่แสดงให้เห็นปรากฏการณ์ได้อย่างชัดเจน เพื่อให้ผู้เรียนเกิดแนวคิด คลาดเคลื่อน ผู้วิจัยจึงพัฒนาแบบจำลองการหักเหของคลื่นแสงอย่างง่ายจากหนังยาง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาความ เข้าใจแนวคิดเรื่องการหักเหของคลื่นแสงของนักเรียน ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแบบจำลอง การหักเหของคลื่นแสงอย่างง่าย กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 จำนวนนักเรียน 36 คนได้มาโดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วยแผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบ เสาะหาความรู้ จำนวน 2 แผน และ แบบทดสอบความเข้าใจเรื่องการหักเหของแสง วิเคราะห์ข้อมูลโดยการทดสอบที (t-test) และค่าความก้าวหน้าทางการเรียนตามวิธีของ Hake ผลการวิจัยพบว่าผู้เรียนมีคะแนนจากแบบทดสอบเรื่องการหักเหของคลื่น แสงหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ค่าความก้าวหน้าทางการเรียน เท่ากับ 0.71 จัดอยู่ใน ระดับสูง และยังพบอีกว่าหลังเรียนนักเรียนให้เหตุผลถูกต้องเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับ แบบจำลองการหักเหของแสงอย่างง่ายสามารถพัฒนาความเข้าใจแนวคิดเรื่องการหักเหของคลื่นแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**คำสำคัญ:** การหักเหของคลื่นแสง แบบจำลองการหักเหอย่างง่าย กฎของสเนลล์ หนังยาง

Research Article

## A Simple Model from Rubber to Investigate Snell's law

Itsara Phimwan<sup>1</sup> and Sura Wuttirom<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Science Education Program, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

<sup>2</sup>Department of Physics, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

\*Email: sura.w@ubu.ac.th

Received <23 December 2021>; Revised <11 February 2022>; Accepted <14 February 2022>

---

### Abstract

An experiment is a scientific procedure used to discover knowledge, test hypotheses, or demonstrate phenomena. To avoid concepts being misunderstood, refraction of light wave experiments necessitates materials that clearly demonstrate the phenomenon. As a result, researchers created a simple model of light wave refraction by rubber bands. The goal of this study is to improve students' conceptual understanding of light wave refraction before and after teaching an inquiry-based learning approach with a simple model of light wave refraction. A purposive sample of 36 students in grade 11 in the second semester of the academic year 2020 was used to establish the sample. The research tools include two inquiry-based learning approach learning plans, a simple model of light wave refraction and a light wave refraction conceptual test. The t-test statistic and Hake's method for learning gain were used to analyse the data. At a confidence level of .05, the results indicate that students' post-test scores on the refraction of light waves conceptual test were significantly higher than their pre-test scores. The Hake's method for learning gain value is 0.71, which is a high gain. It was also discovered that after studying, students provided more accurate reasoning. An inquiry-based learning approach combined with a simple model of light wave refraction has been shown to effectively improve understanding of the concept of light wave refraction.

**Keywords:** Light wave refraction, Simple model of light wave refraction, Snell's law, Rubber band

---

## บทนำ

ฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์กายภาพที่ศึกษาและอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ ความรู้ทางฟิสิกส์ที่ถูกค้นพบเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ รวมถึงอุตสาหกรรม วิชาฟิสิกส์จึงปรากฏในหลักสูตรทุกระดับ ตั้งแต่ประถมศึกษาถึงมหาวิทยาลัย (Prongsamrong, 2006) อย่างไรก็ตาม วิชาฟิสิกส์เป็นวิชาหนึ่งที่ผู้เรียนมีปัญหาในการเรียน และมีทัศนคติเชิงลบ ในประเทศไทยรูปแบบการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์ส่วนใหญ่เน้นการบรรยาย (lecture based-teaching หรือ traditional teaching) จากงานวิจัยทางฟิสิกส์ศึกษาตลอดระยะเวลากว่า 50 ปี ชี้ให้เห็นว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวไม่ช่วยให้ผู้เรียนพัฒนาความเข้าใจแนวคิดเชิงโมโนติ (conceptual understanding) ฟิสิกส์อย่างแท้จริง ต่างจากรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก (active learning) ที่ทำให้ผู้เรียนเข้าใจทั้งแนวคิดและแก้ไขแนวคิดคลาดเคลื่อน (misconception) ไปพร้อมกัน (Bunloet *et al.*, 2019; Feemuasarn *et al.*, 2017)

การประยุกต์ใช้สื่อ เช่น วัสดุ อุปกรณ์ นวัตกรรม ในจัดกิจกรรมการเรียนรู้มีความจำเป็น เนื่องจากสื่อเป็นตัวกลางของการสื่อสารระหว่างผู้สอนและผู้เรียน ทำให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาได้ลึกซึ้ง เพิ่มการมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ ทำเรื่องยากให้เป็นเรื่องง่าย เปลี่ยนความรู้จากนามธรรมเป็นรูปธรรม เป็นต้น วิชาฟิสิกส์จำเป็นต้องอาศัยสื่อประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อใช้ในการศึกษาและอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เช่น การพัฒนาความเข้าใจเรื่องการหักเหของแสงของ Sokolowski (2013) ใช้สื่อการวาดรูปแสดงเส้นรังสี เส้นแนวฉาก และมุมระหว่างเส้นรังสีกับเส้นปกติ (Maneechan 2010) ใช้สื่อวัสดุ อุปกรณ์ เรื่อง ลึกลับลึกปรากฏ และ Deephad and Jongsala (2008) ใช้สื่อวัสดุ อุปกรณ์ ทาคาต์ชนิดหักเห

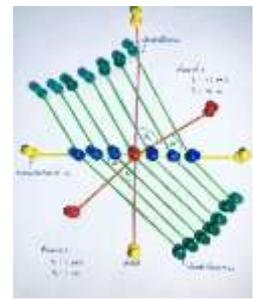
นอกจากสื่อประกอบการจัดการเรียนรู้ การจัดการเรียนรู้เชิงรุก ก็เป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และบรรลุวัตถุประสงค์การเรียนรู้ได้ เช่น การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry based learning) ที่เน้นให้นักเรียนได้รับประสบการณ์ตรงในการสร้างองค์ความรู้ของตนเองผ่านการลงมือปฏิบัติ ดังนั้นจึงมีนักวิจัยทางการศึกษาได้นำเอาการจัดการเรียนรู้เชิงรุกนี้ไปผนวกกับการใช้สื่อ (Kamluamee and Duangkumnoi, 2019; Parneesong, 2017) ผลวิจัยชี้ให้เห็นว่า ช่วยให้นักเรียนบรรลุวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้ได้ง่าย กระตุ้นการเข้าร่วมกิจกรรมและมีความร่วมมือในการทำกิจกรรมมากขึ้น พัฒนากิจกรรมกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ได้ดี รวมทั้งพัฒนาความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์และสามารถลดแนวคิดคลาดเคลื่อนได้เป็นอย่างดี



(a) การทดลองการหักเหจากภาตกลีน



(b) การทดลองการหักเหจากแหล่งกำเนิดแสง



(c) แบบจำลองการหักเหของแสงอย่างง่าย

รูปที่ 1 เปรียบเทียบการทดลองเรื่องการหักเหตามกฎของสเนลล์

การสะท้อนและการหักเหของแสง เป็นอีกหนึ่งหัวข้อที่พบแนวคิดคลาดเคลื่อนตรงกันของผู้เรียนระดับมัธยมศึกษาและมหาวิทยาลัยของผู้เรียนได้ และสอดคล้องกับผู้เรียนในต่างประเทศ (Kaewkhong *et al.*, 2010; Dido *et al.*, 2020; John, Molepo and Chirwa, 2015) จากประสบการณ์สอนของผู้นี้พบแนวคิดคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการสะท้อนและการหักเหของแสงกับผู้เรียนเช่นเดียวกัน โดยผู้วิจัยได้สันนิษฐานสาเหตุเบื้องต้นของแนวคิดคลาดเคลื่อน ดังนี้ (1) ผู้วิจัยใช้สื่อวิดีโอการทดลองแทนการทดลองจริง เนื่องจากที่โรงเรียนไม่มีห้องปฏิบัติการทางแสง (ห้องมืด) (2) ข้อจำกัดของอุปกรณ์การทดลอง เช่น การใช้ภาตกลีน (รูปที่ 1a) มีข้อจำกัดคือ ไม่ปรากฏเส้นรังสี การใช้ปริซึม (รูปที่ 1b) มีข้อจำกัด คือ ต้องใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มแสงสูง และต้องการห้องปฏิบัติการทางแสง เพื่อให้สามารถสังเกตการเกิดการหักเหของแสงได้อย่างชัดเจน อีกทั้งการหักเหของแสงก็ไม่ได้ปรากฏเส้นหน้าคลื่นหักเห และเส้นหน้าคลื่นตกกระทบ ส่งผลให้นักเรียนเข้าใจหลักการหักเหจากการทดลองได้ยาก

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการพัฒนาความเข้าใจและแก้ไขแนวคิดคลาดเคลื่อนของผู้เรียนในเรื่องการหักเหของคลื่นแสงโดยได้นำการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้สื่อ วัสดุ อุปกรณ์ สร้างแบบจำลองการหักเหของแสงอย่างง่าย รูปที่ 1c) แบบจำลองการหักเหของคลื่นแสงอย่างง่าย มีจุดเด่นคือ นักเรียนสามารถสร้างแบบจำลองการหักเหตามเงื่อนไขที่กำหนด และคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการหักเหของแสงตามกฎของสเนลล์ (Snell's law) จนสามารถสรุปเป็นกฎของสเนลล์ได้ด้วยตนเอง แบบจำลองการหักเหของคลื่นแสงอย่างง่ายนี้ มีราคาถูก สามารถหาซื้อได้ตามร้านขายอุปกรณ์เครื่องเขียนทั่วไป และถือเป็นนวัตกรรมทางการศึกษา วัสดุ อุปกรณ์ ประกอบด้วย แผ่นพลาสติกหรือแผ่นโฟมแข็ง กระดาษสีขาว

ขนาด A4 หนึ่งยางคละสี เข็มหมุด ไม้บรรทัด ชุดไม้โปรแทรกเตอร์และดินสอ วัสดุ อุปกรณ์ทั้งหมดสามารถบรรจุในกล่อง (portable) สามารถสร้างแบบจำลองนี้ได้เองที่บ้านในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019

### วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาความเข้าใจแนวคิดเชิงโมดิมิต (conceptual understanding) เรื่องการหักเหของคลื่นแสง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแบบจำลองการหักเหของคลื่นแสงอย่างง่าย

### วิธีดำเนินการวิจัย

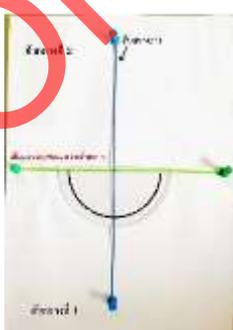
- 1) รูปแบบการวิจัย ผู้วิจัยได้ใช้แผนการวิจัยแบบ ใช้กลุ่มตัวอย่างเพียงกลุ่มเดียวทดสอบก่อนและหลังเรียน
- 2) กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 โรงเรียนพณิชยการวิเทศอาชีวศึกษา อำเภอยักษ์ภูมิพิสัย จังหวัดมหาสารคาม จำนวนนักเรียน 36 คนได้มาโดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling)
- 3) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ และ แบบทดสอบความเข้าใจเรื่องการหักเหของแสง

แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ จำนวน 2 แผน ซึ่งประกอบแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่องลักษณะการหักเหของแสงจำนวน 2 ชั่วโมง แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง ดรรชนีหักเหและการหักเหของแสง จำนวน 2 ชั่วโมง สำหรับกิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละแผนมีความคล้ายกันผู้วิจัยจึงขอยกตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 โดยมีรายละเอียดดังนี้

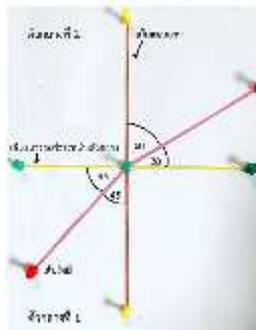
ขั้นที่ 1 การสร้างความสนใจ (15 นาที) ครูใช้ 2 สถานการณ์ นำเข้าสู่บทเรียนดังนี้ สถานการณ์ที่ 1 ครูใช้โปรแกรม PHET สร้างสถานการณ์จำลอง การหักเหของแสงผ่านตัวกลางชนิดเดียวกัน (ลำแสงจะไม่หักเห) ให้นักเรียนสังเกต พร้อมทั้งตั้งคำถามว่า “ถ้าเปลี่ยนตัวกลางที่ 2 ลำแสงจะเปลี่ยนหรือไม่อย่างไร” สถานการณ์ที่ 2 ครูเพิ่มคำถามว่า “ถ้าเปลี่ยนตัวกลางที่ 2 เส้นที่แสดงความเร็วคลื่น ความเร็วคลื่นและทิศทางของคลื่นจะเปลี่ยนแปลงหรือไม่อย่างไร”

ขั้นที่ 2 สำรวจและค้นหา (40 นาที) นักเรียนจัดเป็น 5 กลุ่ม คุลละความสามารถในการเรียนรู้ เก่ง ปานกลาง อ่อน และ ทำกิจกรรมจากใบกิจกรรมที่ 1 เรื่อง ลักษณะการหักเหของแสง โดยใช้ชุดแบบจำลองการหักเหของคลื่นแสงอย่างง่าย เพื่อศึกษาการหักเหของแสง ดังนี้

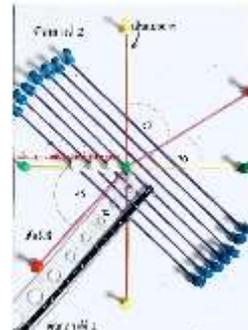
- 1) ใช้หนึ่งยางสร้างเส้นแนวรอยต่อระหว่างตัวกลางที่ 1 และ 2 พร้อมกับเส้นแนวฉาก ดังรูปที่ 2 ลำดับการสร้างแบบจำลอง (a) สร้างเส้นแนวรอยต่อระหว่างตัวกลางและเส้นแนวฉาก
- 2) ใช้หนึ่งยางสร้างเส้นรังสีตกกระทบและเส้นรังสีหักเห พร้อมทั้งระบุมุมตกกระทบและมุมหักเห ดังรูปที่ 2 ลำดับการสร้างแบบจำลอง (b) สร้างเส้นรังสีตกกระทบและรังสีหักเห
- 3) ใช้หนึ่งยางสร้างเส้นหน้าคลื่นตกกระทบ และเส้นหน้าคลื่นหักเห ในขั้นตอนนี้เพื่อง่ายต่อการวัดระยะห่างของหน้าคลื่น ควรยังไม่ให้เกิดเส้นหน้าคลื่นหักเหดังรูปที่ 2 ลำดับการสร้างแบบจำลอง (c) สร้างเส้นหน้าคลื่น
- 4) สร้างเส้นหน้าคลื่นหักเห โดยการเอียงหนึ่งยางหน้าคลื่นหักเหให้ทำมุมตั้งฉากกับเส้นรังสีหักเห ดังรูปที่ 2 ลำดับการสร้างแบบจำลอง (d) แบบจำลองลักษณะการหักเหของคลื่นแสง สังเกต วัตถุประสงค์ต่างๆ บันทึกผล และตอบคำถาม (ครูทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวกระหว่างนักเรียนทำกิจกรรม)



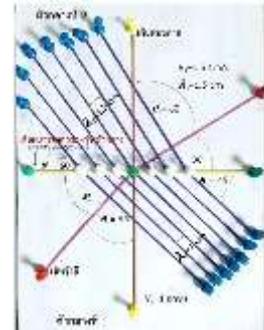
(a) สร้างเส้นแนวรอยต่อระหว่างตัวกลางและเส้นแนวฉาก



(b) สร้างเส้นรังสีตกกระทบและรังสีหักเห



(c) สร้างเส้นหน้าคลื่น



(d) แบบจำลองลักษณะการหักเหของคลื่นแสง

รูปที่ 2 ลำดับการสร้างแบบจำลอง

ขั้นที่ 3 อธิบายและลงข้อสรุป (30 นาที) ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลในประเด็นดังต่อไปนี้ จากการทดลองใน 2 สถานการณ์แรก เส้นที่แสดงความยาวคลื่น ความเร็วคลื่นและทิศทางของคลื่น มีความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร ครูอธิบายและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพิ่มเติมว่า “ถ้าเราให้แสงเคลื่อนที่จากน้ำไปสู่อากาศ ความยาวคลื่น อัตราเร็วคลื่น การหักเหของแสงจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร” และได้เชื่อมโยงการหักเหจากโปรแกรมทดลอง PhET กับแบบจำลองการหักเหของแสงอย่างง่ายที่นักเรียนสร้างขึ้น โดยอธิบายให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของมุมตกกระทบ มุมหักเห ความเร็วคลื่น และความยาวคลื่น เมื่อตัวกลางเปลี่ยนไป

ขั้นที่ 4 ขยายความรู้ (20 นาที) ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปผลการทำกิจกรรมอีกครั้ง เรื่อง ลักษณะการหักเหของแสง ในประเด็นที่ว่า “แสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อย (อากาศ) ไปยังตัวกลางที่มีความหนาแน่นมาก (แท่งแก้วพลาสติก) จะส่งผลต่อความเร็วคลื่น ความยาวคลื่น ความถี่ มุมตกกระทบและมุมหักเห หรือไม่อย่างไร

ขั้นที่ 5 การประเมินผล (15 นาที) ครูประเมินจากใบกิจกรรมที่ เรื่อง ลักษณะการหักเหของแสง และสัมภาษณ์นักเรียนที่ยังคงมีประเด็นคำตอบที่ไม่ชัดเจน

**แบบทดสอบความเข้าใจเรื่องการหักเหของแสง** เป็นข้อสอบ 2 ลำดับชั้น เป็นแบบปรนัย 4 ตัวเลือก และอธิบายเหตุผลประกอบ จำนวน 10 ข้อ โดยผู้วิจัยเลือกมาจากงานวิจัยของ Deephad (2010) ค่าความยากง่ายอยู่ในช่วง 0.20 - 0.80 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป มีความเหมาะสมและครอบคลุมจุดประสงค์การเรียนรู้ เกณฑ์การให้คะแนนแบ่งเป็น 1 และ 0 คะแนน ได้ 1 คะแนน เมื่อตอบถูกทั้ง 2 ลำดับชั้น (เลือกตัวเลือกถูกและอธิบายเหตุผลประกอบถูก) ได้ 0 คะแนน เมื่อตอบผิดทั้ง 2 ลำดับชั้น (เลือกตัวเลือกผิดและอธิบายเหตุผลประกอบผิด) หรือ ตอบถูกเฉพาะลำดับชั้นที่ 1 (เลือกตัวเลือกถูก แต่อธิบายเหตุผลประกอบผิด)

4) การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยให้นักเรียนทำแบบทดสอบความเข้าใจเรื่องการหักเหของแสง จำนวน 10 ข้อ ภายในเวลา 30 นาที ก่อนและหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

#### 5) การวิเคราะห์ข้อมูล

1) การวิเคราะห์คะแนนด้วยการทดสอบค่าทีแบบตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (dependent samples t-test)

2) วิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียน normalized gain <g> ตามแนวทางของ Hake (1998) โดยหาได้จากสัดส่วนระหว่างผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริง (actual gain) ทหารด้วยผลการเรียนรู้สูงสุดที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นไปได้ (maximum possible gain) ดังสมการ Normalized gain <g> = (%post-test - %pre-test) ÷ (100% - %pre-test) ความก้าวหน้าทางการเรียน มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ Low gain (ค่า <g> น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.3) Medium gain (ค่า <g> มากกว่า 0.30 แต่น้อยกว่า 0.70) และ High gain (<g> มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.70)

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากคะแนนแบบทดสอบความเข้าใจเรื่องการหักเหของแสง ผู้วิจัยนำมาวิเคราะห์ ดังนี้

#### 1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความก้าวหน้าทางการเรียน

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าที และค่าความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย Normalized gain <g>

คะแนนทดสอบ	$\bar{x}$	S.D.	t	Normalized gain <g>	แปลผล
ก่อนเรียน	3.44	0.73	36.44*	0.71	High gain
หลังเรียน	8.14	0.42			

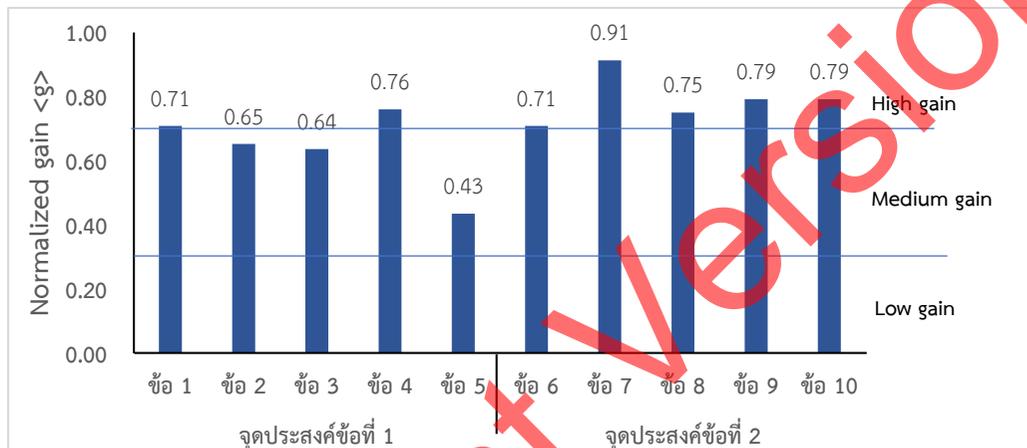
\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 1 นักเรียนมีคะแนนทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน เท่ากับ 3.44 คะแนน และ 8.14 คะแนนตามลำดับ เมื่อทดสอบค่า t พบว่า คะแนนสอบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การหักเหของคลื่นแสง หลังจากนักเรียนผ่านการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแบบจำลองการหักเหของแสงอย่างง่ายเพิ่มขึ้น เนื่องจากเรียนได้สร้างแบบจำลองและได้สืบเสาะหาความรู้ของสนลล์ด้วยตนเอง ตามทฤษฎีการเรียนรู้ constructivism ผลวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Deephad (2010) ที่สามารถพัฒนาความเข้าใจเรื่องการหักเหของแสง ของนักเรียนให้อยู่ในระดับ Medium gain โดยใช้ชุดการเรียนรู้ร่วมกับการสอบแบบสืบเสาะ และ

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Supatchaiyawong (2020) ที่สามารถพัฒนานักเรียนส่วนใหญ่ให้มีแบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้องตรงตามแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับการใช้แบบจำลองเป็นฐาน

## 2) ความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียน

จากตารางที่ 1 ค่าความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย เท่ากับ 0.71 จัดอยู่ในระดับ High gain แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความเข้าใจแนวคิด (conceptual understanding) เรื่องการหักเหของคลื่นแสง และเมื่อวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนรายจุดประสงค์การเรียนรู้ (Conceptual dimensional normalized gain) พบว่า ในจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 1 (วัดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับแนวทางการเดินทางของคลื่นแสง ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นหน้าคลื่น เส้นแนวฉาก แนวรอยต่อระหว่างตัวกลาง) มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย อยู่ในระดับ Medium gain และ ในจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 2 (วัดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างดรรชนีหักเห มุมตกกระทบและมุมหักเหตามกฎของสเนลล์) อยู่ในระดับ High gain



รูปที่ 2 ค่าความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียนรายข้อและจุดประสงค์

เมื่อพิจารณาความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยรายข้อพบว่าในข้อที่ 2, 3 และ 5 ค่า <g> อยู่ระดับ Medium gain และ ในข้อที่ 1, 4, 6, 7, 8, 9 และ 10 ค่า <g> อยู่ระดับ High gain

<p>ข้อที่ 7. บทบาทของเส้นทางการเคลื่อนที่ของตัวกลางที่ 1 ไปในตัวกลางที่ 2 และตัวกลางที่ 3 ซึ่งมีค่าดรรชนีหักเหของตัวกลางเป็น <math>n_1</math>, <math>n_2</math> และ <math>n_3</math> ตามลำดับ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่า <math>n_1 &gt; n_2 &gt; n_3</math> มีลักษณะเป็นรูป</p> <p>เลือก</p> <p>ก. <math>n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 = n_3 \sin \theta_3</math> ข. <math>n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 = n_3 \sin \theta_3</math></p>	<p>ข้อที่ 5. การหักเหของแสงที่ขอบเขตตัวกลางที่ 1 ไปในตัวกลางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าตัวกลางใดควรเป็นตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า ข้อใดมีค่าดัชนีหักเหที่ถูกต้อง</p> <p>ก. ตัวกลางที่ 1 เป็นน้ำ ตัวกลางที่ 2 เป็นแก้ว ข. ตัวกลางที่ 1 เป็นแก้ว ตัวกลางที่ 2 เป็นน้ำ ค. ตัวกลางที่ 1 และ ตัวกลางที่ 2 เป็นแก้วเหมือนกัน ง. ข้อมูลไม่เพียงพอ</p> <p>เลือก</p>
(a) ข้อสอบข้อที่ 7	(b) ข้อสอบข้อที่ 5

รูปที่ 3 ตัวอย่างข้อสอบข้อที่ 7 และข้อสอบข้อที่ 5

## 3) กลุ่มคำตอบของนักเรียน

ผู้วิจัยได้จัดกลุ่มเหตุผลประกอบการเลือกตอบของนักเรียนโดยละเอียด โดยเลือกมา 2 ข้อ คือแบบทดสอบข้อที่ 7 (รูปที่ 3) ความก้าวหน้าสูงที่สุด เท่ากับ 0.91 (High gain) และแบบทดสอบข้อที่ 5 (รูปที่ 3) มีความก้าวหน้าทางการเรียนต่ำสุด เท่ากับ 0.43 (Medium gain) ดังตารางที่ 2

แบบทดสอบข้อที่ 7 วัดการคิดวิเคราะห์ “แสงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีค่าดรรชนีหักเหจากน้อยไปยังตัวกลางที่มีค่าดรรชนีหักเหสูง เส้นรังสีหักเหจะเบนเข้าหาเส้นปกติ” จากตารางที่ 2 พบว่าก่อนและหลังเรียนนักเรียนเกือบทุกคนได้ให้เหตุผลสนับสนุนคำตอบคิดเป็น ร้อยละ 80.55 และ 94.44 ตามลำดับ โดยเหตุผลประกอบที่ถูกต้องก่อนเรียนคิดเป็นร้อยละ 36.10 และหลังเรียนร้อยละ 91.66 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 55.56 จากกลุ่มเหตุผลประกอบ ทำให้ผู้วิจัยพบแนวคิดคลาดเคลื่อน ดังนี้ (1)

เมื่อตรรกะนี้หักเหมีค่ามากเส้นรังสีจะเบนห่างจากเส้นปกติมาก (2) ตรรกะนี้หักเหไม่มีผลต่อการหักเหของแสง หลังเรียนพบว่าแนวคิดคลาดเคลื่อนดังกล่าวลดลง เป็นไปได้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับการใช้แบบจำลองช่วยให้นักเรียนเข้าใจถึงหลักของความสัมพันธ์ของตรรกะนี้หักเหและการหักเหเส้นรังสี สามารถประยุกต์ใช้กฎของสนลล์อธิบายมุมตกกระทบที่มีความสัมพันธ์กับตรรกะนี้หักเหได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามหลังเรียนพบว่าแนวคิดคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการเรียงลำดับตรรกะนี้หักเหจากน้อยไปมาก เส้นรังสีจะเบนห่างจากเส้นปกติมากขึ้นหายไปและยังมีแนวคิดคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการเรียงลำดับตรรกะนี้หักเหจากน้อยไปมาก ส่งผลให้เส้นรังสีหักเหเบนเข้าหาเส้นปกติในทุกตัวกลางยังคงอยู่

ตารางที่ 2 กลุ่มคำตอบแบ่งตามตัวเลือกและเหตุผลประกอบก่อนเรียนและหลังเรียนสำหรับแบบทดสอบข้อที่ 7

ก่อนเรียน				หลังเรียน			
ตัวเลือก	เหตุผลประกอบ	จำนวน (คน)	ร้อยละ	ตัวเลือก	เหตุผลประกอบ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ก	ตรรกะนี้หักเหมีค่ามากเส้นรังสีจะเบนมาก	8	22.22	ก	ตรรกะนี้หักเหเรียงลำดับน้อยไปมาก ทำให้เส้นรังสีหักเหเบนเข้าหาเส้นปกติในทุกตัวกลาง	1	2.78
	ตรรกะนี้หักเหจะทำให้เส้นเบนลงล่างตามลำดับตัวกลาง	5	13.89		ไม่อธิบายเหตุผล	1	2.78
	ไม่อธิบายเหตุผล	4	11.11				
ข (คำตอบที่ถูกต้อง)	พิจารณามุมโดยถ้า $n$ มาก มุมตกกระทบจะน้อย $n$ น้อยมุมจะมาก ถ้า $n$ เท่ากันมุมจะเท่าเดิม	13	36.10	ข (คำตอบที่ถูกต้อง)	แสงเคลื่อนที่จากตรรกะนี้หักเหค่อยไปมาก รังสีหักเหจะเบนเข้าหาเส้นปกติ และเส้นรังสีไม่เบนเมื่อค่าตรรกะนี้หักเหมีค่าเท่ากัน	18	50.00
					$n_1$ น้อยกว่า $n_2$ เพราะมุมตกกระทบมากกว่ามุมหักเห และเส้นรังสีไม่หักเหแสดงว่า $n_2$ เท่ากับ $n_3$	15	41.66
	ไม่อธิบายเหตุผล	1	2.78		ไม่อธิบายเหตุผล	1	2.78
ค	ตรรกะนี้หักเหก็มีค่าลดลงเส้นลูกศรจะชี้ลงล่างตามลำดับ	1	2.78				
	ไม่อธิบายเหตุผล	1	2.78				
ง	ตรรกะนี้หักเหเท่ากันเพราะแสงผ่านได้เท่ากันทั้ง 3	1	2.78				
	ค่า $n$ ทั้ง 3 ชนิดเท่ากันเพราะเส้นรังสีหักเหได้ทั้ง 3 เส้น	1	2.78				
	ไม่อธิบายเหตุผล	1	2.78				

แบบทดสอบข้อที่ 5 วัดการคิดวิเคราะห์เนื้อหาที่ว่า “ตัวกลางที่มีความยาวคลื่นมาก ความหนาแน่นจะน้อย และคลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากไปน้อยเส้นรังสีหักเหจะเบนเข้าหาเส้นปกติ” ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งจะพบว่านักเรียนได้ให้เหตุผลประกอบก่อนเรียนเท่ากับหลังเรียน คือ ร้อยละ 83.33 เมื่อพิจารณาเฉพาะเหตุผลประกอบที่ถูกต้องพบว่าหลังเรียนสูงกว่า (ร้อยละ 47.22) ก่อนเรียน (ร้อยละ 36.11) จากกลุ่มเหตุผลประกอบ ทำให้ผู้วิจัยพบแนวคิดคลาดเคลื่อน ดังนี้ (1) นำมีความหนาแน่นของเส้นหน้าคลื่นมากกว่าแก้ว (2) เส้นหน้าคลื่นที่มีความถี่มากเป็นค่าที่บ่งบอกความหนาแน่นของตัวกลางได้ นอกจากนี้ยังมีข้อค้นพบแนวคิดที่ความคลาดเคลื่อนอีกอย่างคือนำมีความโปร่งแสงเหมือนกันกับแก้วจึงไม่เกิดการหักเหเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางทั้งสอง ซึ่งแนวคิดที่คลาดเคลื่อนนี้จะมาจากการที่นักเรียนพบเจอในชีวิตประจำวัน อีกทั้งในกิจกรรมที่ 2 เรื่อง แบบจำลองตรรกะนี้หักเหของแสงผ่านตัวกลางต่างชนิดกัน นักเรียนได้เห็นลักษณะการเบนของเส้นรังสีหักเหจากตัวกลางที่มีตรรกะนี้หักเหต่างกันเท่านั้น แต่ยังไม่เข้าใจเกี่ยวกับตรรกะนี้หักเหที่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของตัวกลาง จึงส่งผลให้นักเรียนยังมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในเรื่องนี้อยู่ อย่างไรก็ตามหลังเรียนพบว่าแนวคิดคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับตัวกลางทั้งสองถ้ามีเส้นหน้าคลื่นปรากฏเหมือนกันจะเป็นตัวกลางเดียวกันหายไป และยังมีแนวคิดคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเส้นหน้าคลื่นในน้ำมากกว่าเส้นหน้าคลื่นในแก้วยังคงอยู่

ตารางที่ 3 กลุ่มคำตอบแบ่งตามตัวเลือกและเหตุผลประกอบก่อนเรียนและหลังเรียนสำหรับแบบทดสอบข้อที่ 5

ตัวเลือก	ก่อนเรียน			หลังเรียน			
	อธิบายเหตุผล	จำนวน (คน)	ร้อยละ	ตัวเลือก	อธิบายเหตุผล	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ก	น้ำเป็นตัวกลางที่ 1 เพราะ จำนวน เส้นหน้าคลื่นในน้ำมากกว่าเส้น หน้าคลื่นในแก้ว	8	22.22	ก	ตัวกลางที่ 1 เป็นน้ำ เพราะ ความเร็ว หน้าคลื่นมากกว่าตัวกลางที่ 2	3	8.33
	น้ำเป็นตัวกลางที่ 1 เพราะ ความหนาแน่นของเส้นหน้าคลื่นในน้ำ มากกว่าเส้นหน้าคลื่นในแก้ว	4	11.11		ไม่อธิบายเหตุผล	2	5.56
	ไม่อธิบายเหตุผล	3	8.33				
ข (คำตอบที่ ถูกต้อง)	ตัวกลางที่ 1 เป็นแก้ว เพราะ มีความยาวคลื่นน้อยกว่าแสดงว่า ตัวกลางมีความหนาแน่นมาก	8	22.22	ข (คำตอบที่ ถูกต้อง)	ตัวกลางที่ 1 เป็นแก้ว เพราะ มีความยาวคลื่นน้อยกว่าแสดงว่าตัวกลางมีความหนาแน่นมาก	9	25.00
	ตัวกลางที่ 1 เป็นแก้ว เพราะความยาวคลื่นในแก้วมีค่าน้อยกว่าน้ำ	5	13.89		ตัวกลางที่ 1 เป็นแก้ว 1 เพราะค่ามุมตกกระทบน้อย ความเร็วในตัวกลางที่ 1 ก็น้อย เมื่อเทียบกับตัวกลางที่ 2 ซึ่งเป็นน้ำ	8	22.22
	ไม่อธิบายเหตุผล	1	2.78				
ค	เพราะทั้งสองตัวกลางมีเส้นหน้าคลื่นเหมือนกันคลื่นผ่านได้เหมือนกัน	2	5.56	ค	ตัวกลางที่ 1 เป็นแก้ว เพราะ ความยาวคลื่นน้อยและมีความเร็วในแก้วน้อยกว่า	6	16.67
	ไม่อธิบายเหตุผล	1	2.78		ไม่อธิบายเหตุผล	2	5.56
ง	ไม่ควรเกิดการหักเห เพราะ แก้วกับน้ำมีความโปร่งแสงเหมือนกัน	3	8.33	ง	เพราะไม่ระบุข้อมูลความหนาแน่นของตัวกลางมาให้	4	11.11
	ไม่อธิบายเหตุผล	1	2.78		ไม่อธิบายเหตุผล	2	5.56

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแบบจำลองการหักเหของคลื่นแสงอย่างง่าย เรื่อง การหักเหของคลื่นแสงตามกฎของสเนลล์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 พบว่า นักเรียนมีคะแนนสอบหลังเรียนเฉลี่ยสูง (8.14 คะแนน) กว่าก่อนเรียนเฉลี่ย (3.44 คะแนน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ค่าความก้าวหน้าทางการเรียน เท่ากับ 0.71 จัดอยู่ในระดับ High gain แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแบบจำลองการหักเหของคลื่นแสงอย่างง่าย เป็นเครื่องมือในการจัดการเรียนการสอนที่ช่วยในการพัฒนาความเข้าใจเรื่องการหักเหของคลื่นแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้นักเรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเองจากการลงมือปฏิบัติ นักเรียนได้เรียนรู้จากรูปร่างมากกว่านามธรรม ส่งผลให้นักเรียนมีการเปลี่ยนแปลงองค์ความรู้ที่ได้รับจากประสบการณ์ใหม่ ทั้งนี้เป็นเพราะการจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้เป็นวิธีการสอนที่ครูใช้คำถามให้เกิดข้อสงสัยและกระตุ้นการเรียนรู้ (ขั้นการสร้างความสนใจ) นักเรียนได้แสวงหาความรู้ด้วยตนเอง (ขั้นสำรวจและค้นหา) สรุปเป็นข้อค้นพบจากกิจกรรมและผนวกเข้ากับองค์ความรู้เดิมเกิดเป็นองค์ความรู้ใหม่ (ขั้นอธิบายและสรุป) นำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้และแก้ปัญหาในสถานการณ์ที่ต่างกัน (ขั้นอธิบายและสรุป) และประเมินผลการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นหลังได้รับความรู้ใหม่ (การประเมินผล) อีกทั้งแบบจำลองการหักเหของแสงอย่างง่ายเป็นกิจกรรมที่ผู้เรียนได้สร้างแบบจำลองขึ้นเองช่วยให้ผู้เรียนเห็นภาพการหักเหของคลื่นแสงสามารถจับต้องได้ นักเรียนได้ฝึกทักษะสังเกต การตั้งคำถามและสรุปความรู้การหักเหของแสงและค้นพบการหักเหตามกฎของสเนลล์ด้วยตนเอง ส่งผลให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้อย่างแท้จริง สามารถประยุกต์ใช้ความรู้ในการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสม

ผู้วิจัยมีข้อเสนอในการวิจัยครั้งต่อไป ดังนี้ 1) แบบจำลองการหักเหของแสงอย่างง่ายสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในเรื่องปรากฏการณ์สีจริง-สีปรากฏ ได้ 2) ในการใช้แบบจำลองการหักเหของแสงอย่างง่ายควรระวังหนึ่งข้างขาดขณะปักหมุดลงบนกระดาษและไม่ควรให้หนึ่งข้างตั้งจนเกินไป 3) การใช้งานแบบจำลองต้องสร้างระยะห่างระหว่างหนึ่งข้าง (เส้นหน้าคลื่น) ต้องเท่ากันและต้องตั้งฉากกับเส้นรังสีเสมอเพราะจะส่งผลให้เกิดค่ามุมตกกระทบ มุมหักเหของเส้นหน้าคลื่นและความยาวคลื่นคลาดเคลื่อนได้ 4) แบบจำลองนี้ควรนำไปประยุกต์ใช้ได้กับตัวกลางมากกว่า 2 ตัวกลางและควรระบุตัวกลางเช่น น้ำ แก้ว หรืออากาศ เพื่อลดแนวคิดคลาดเคลื่อนและเพิ่มความเข้าใจในเรื่องการหักเหของแสงผ่านตัวกลางมากกว่า 2 ตัวกลาง

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความกรุณา และความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำแก้ไขและติดตามการวิจัยครั้งนี้ด้วยดีเสมอมา นับตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณผู้บริหารและคณะครูโรงเรียนพยุหะวิทยาคารทุกท่านที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจด้วยดี ตลอดการทำการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณนักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษาทุกท่านที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจร่วมทุกข์ ร่วมสุข และให้ความช่วยเหลือเกื้อกูลตลอดมา

## เอกสารอ้างอิง

- Bunloet, T., Promma, S., Fakcharoenphol, W. and Wannagatesiri, T. (2019). Development of active learning to fix the misconceptions in basic circuit topic for K-9 students (in Thai). **Journal of Education and Human Development Sciences**, 3(1), 1-14
- Deephad, S. (2010). Development of understanding of light refraction for Mathayomsuksa 5 by using a set of learning model with 5Es inquiry cycles (in Thai). **Master's thesis**. Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- Dido, F., Mongan, S., Mandang, T., Palilingan, R., Mondolang, A. and Poluakan, C. (2021, July). Analysis of student difficulties in learning refraction of light. **Journal of Physics: Conference Series**, 1968(1), 012033.
- Feemuasarn, T., Limpanont Phommarata, P., Hengpanya, V. (2017). Effects of four-step constructivist-based teaching strategy on physics concepts and attitudes toward physics learning of eleventh grade students (in Thai). **Online Journal of Education**, 12(1), 384-401.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement vs traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. **American Journal of Physics**. 61(1), 64-74.
- John, M., Molepo, J. M. and Chirwa, M. (2015). Exploring grade 11 learners' conceptual understanding of refraction: A South African case study. **International Journal of Educational Sciences**, 10(3), 391-398.
- Jongsala, S. and Seebut, S. (2008). Using Geometric Optics Kit (GO-Kit) to promote student's learning in lenses and optical instrument (in Thai). **Parichart Journal, Thaksin University**, 21(1), 8-18
- Kaewkhong, K., Mazzolini, A., Emarat, N. and Arayathanitkul, K. (2010). Thai high-school students' misconceptions about and models of light refraction through a planar surface. **Physics Education**, 45(1), 97.
- Kamluamee, P. and Duangkumnoi, S. (2019). Developing Grade 11 students' learning achievement in the mathematics topics of sequence and series through the 5E learning cycle model (in Thai). **Rajabhat Rambhai Barni Research Journal**, 13(2), 181-190.
- Maneechan, N. (2010). The development of experimental set on real depth and apparent depth in refraction of light for developing experimental skill and learning achievement (in Thai). **Master's thesis**. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University.
- Parneesong, U., Naunkaew, J. and Liamtong, S. (2017). Learning management using inquiry method (5E) with concept mapping technique on life and environment towards analytical thinking ability and achievement for grade 10 students (in Thai). **Humanities and Social Sciences Journal of Pibulsongkram Rajabhat University**, 11(1), 134-147.
- Perkins, K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., Wieman, C. and LeMaster, R. (2006). PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics. **The physics teacher**, 44(1), 18-23.

Prongsamrong, P. (2006). Effects of using the 7E instructional model in physics on learning achievement and problem solving ability of upper secondary school students (in Thai) **Master's thesis**. Bangkok: Chulalongkorn University.

Sokolowski, A. (2013). Conceptualization of light refraction. **The Physics Teacher**, 51(2), 110-111.

Supatchaiyawong, P. (2020). Pre-service chemistry teachers understanding of the nature of chemistry (in Thai). **Journal of Education, Prince of Songkla University, Pattani Campus**, 31(3), 29-44.

Online-First Version