

ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนเกี่ยวกับการหักเหของแสง เรื่อง ลึกจริง ลึกปรากฏ Students' Misconception of Light Refraction about Real and Apparent Depth

จิราพร ใจแสน¹ แสงกฤษ กลั่นบุศย์^{2*} และ ขวัญ อารยะธนิตกุล³
Chiraporn Chaisaen¹ Saengkrit Klunboot^{2*} and Kwan Arayathanitkul³

¹นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี , chirapornmoji@gmail.com

²ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี , saengkrit.klu@mail.kmutt.ac.th

(Faculty of Science; King Mongkut's University of Technology Thonburi)

³ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล , kwan.ara@mahidol.ac.th

(Faculty of Science, Mahidol University)

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน เรื่อง ลึกจริง ลึกปรากฏ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 49 คน โดยวิธีเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง โดยใช้แบบทดสอบวัดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนจำนวน 3 ข้อ เป็นแบบอัตนัย ซึ่งมีลักษณะการตอบคำถามโดยใช้การลากเส้นทางเดินของแสงจากวัตถุเข้าสู่ตา ซึ่งครอบคลุมเนื้อหา 3 ประเด็นคือ 1) การเกิดภาพลึกจริง ลึกปรากฏ ในกรณีที่วัตถุอยู่ในน้ำและผู้สังเกตอยู่ในอากาศเหนือผิวน้ำ 2) การเกิดภาพลึกจริง ลึกปรากฏ ในกรณีที่วัตถุอยู่ในน้ำและเปลี่ยนตำแหน่งผู้สังเกตที่อยู่ในอากาศเหนือผิวน้ำ 3) การเกิดภาพลึกจริง ลึกปรากฏ ในกรณีที่วัตถุอยู่ในอากาศและผู้สังเกตอยู่ใต้ผิวน้ำ จากการศึกษาพบว่านักเรียนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการลากเส้นทางเดินของแสงจากวัตถุเข้าสู่ตาเพื่อระบุตำแหน่งภาพลึกจริง ลึกปรากฏ กรณีวัตถุอยู่ในน้ำและผู้สังเกตอยู่ในอากาศเหนือผิวน้ำ กรณีวัตถุอยู่ในน้ำและเปลี่ยนตำแหน่งผู้สังเกต และกรณีวัตถุอยู่ในอากาศและผู้สังเกตอยู่ใต้ผิวน้ำ คิดเป็นร้อยละ 83.7, 24.5 และ 8.2 ตามลำดับ จากผลการศึกษาสามารถนำไปพัฒนาการจัดการเรียนรู้เพื่อแก้ไขความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนไปสู่การเข้าใจที่ถูกต้องและจำเป็นต่อการเรียนรู้ต่อไป

คำสำคัญ: การเกิดภาพ การหักเหของแสง ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน ลึกจริง ลึกปรากฏ

ABSTRACT

This research objective to explore the misunderstandings of real and apparent depth of 49 grade 12 students. The researcher test to survey the understanding of the occurrence of images real and apparent depth, 3 items. It consists of answering questions by dragging a path of light from an object into the eye. Which covers 3 topics: image formation on real and apparent depth when the object is in the water and the observer is in the air, image formation when the object is in the water and change the position of the observer in the water surface. The study found that students had misconceptions about how the path of light from an object enters the eye to locate the real depth of the image, where the object was in the water and the observer was in the air above the water surface. If the object is in the water and changes the position of the observer and if the object is in the air and the observer is below the surface 83.7%, 24.5% and 8.2% respectively. The results of this study could lead to the development of learning management to resolve misunderstandings to understanding and need to learn.

KEYWORDS: Image Formation, Refraction, Misconception, Real and apparent depth

**Corresponding author, E-mail: saengkrit.klu@mail.kmutt.ac.th โทร. 086-343-9558*

Received: 1 December 2020 / Revised: 10 February 2021 / Accepted: 15 February 2021 / Published online: 24 January 2022

บทนำ

เป้าหมายสำคัญของการจัดการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ที่หลักสูตรแกนกลาง กลุ่มสาระวิทยาศาสตร์ระดับชาติของประเทศไทยได้กำหนดไว้คือการมุ่งหวังให้นักเรียนได้เข้าใจในปรากฏการณ์ธรรมชาติ หลักการ ทฤษฎีและกฎที่เป็นพื้นฐานของ วิชาฟิสิกส์ สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่สังเกตได้จากปรากฏการณ์จริงเชื่อมโยงกับคำอธิบายทางทฤษฎี อย่างมีเหตุและผล (กระทรวงศึกษาธิการ, 2552) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลการทดสอบทางด้านฟิสิกส์ของประเทศไทยกลับพบว่าผลการทดสอบยังอยู่ในระดับต่ำกว่าค่าเฉลี่ยนานาชาติ ดังเช่น รายงานการศึกษาแนวโน้มการจัดการศึกษาคณิตศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ระดับนานาชาติ พ.ศ. 2558 (trends in international mathematics and science study 2015: TIMSS 2015) โดยนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 437 คะแนน จากคะแนนเต็ม 1000 คะแนน (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2558) จากรายงานข้างต้นแสดงให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ในประเทศไทย ยังไม่ประสบผลสัมฤทธิ์ที่ดีนัก ซึ่งสาเหตุของปัญหาดังกล่าวอาจเกิดจากการที่นักเรียนส่วนใหญ่คิดว่าฟิสิกส์เป็นวิชาที่มีเนื้อหาซับซ้อน ยากต่อการทำความเข้าใจ (ขจรศักดิ์ บัวระพันธ์ เพ็ญจันทร์ ชิงห์ และวรรณทิพา รอดแรงคำ, 2548) ส่งผลให้ เกิดการเรียนรู้แบบท่องจำเพื่อนำไปแก้โจทย์ปัญหาแทนการเข้าใจในเนื้อหาวิชาแบบเชิงลึก ไม่สามารถอธิบายการได้มา ซึ่งคำตอบที่เกิดขึ้นได้ (ชาญวิทย์ คำเจริญ, 2562) รวมไปถึงการเรียนการสอนในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง สิกจริง สิกปรากฏ ที่มีลักษณะเนื้อหาเชิงทัศนศาสตร์เกี่ยวกับการหักเหของแสง เป็นการอธิบายปรากฏการณ์ด้วยหลักการทางแสงเชิงเรขาคณิต ที่ค่อนข้างเป็นนามธรรมไม่สามารถรับรู้ได้ด้วยประสาทสัมผัสยากต่อการทำความเข้าใจ (Keawkong, Mazzolini, Emarat & Arayathanitkul, 2010) และในบางครั้งคำตอบที่ได้มาจากนักเรียนพบว่าเกิดจากความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน เช่น นักเรียนมีความเข้าใจว่าการมองเห็นวัตถุต่างต่าง เกิดจากมีบางอย่างออกจากดวงตาไปหาวัตถุ (ลือชา ลดาชาติ สุนิสา ยะโกะ และ หวันบัสรี วาเต็ง, 2557) โดยลักษณะคำตอบของนักเรียนที่ได้มานั้น เกิดจากความรู้ความเข้าใจเดิมหรือประสบการณ์เดิม

ที่นักเรียนมีอยู่แล้วถูกยึดติดเป็นความเข้าใจของตนเอง (สมศักดิ์ เพ็ชรรัตน์ ชาติรี ฝ่ายคำตา และสุรศักดิ์ เชิงกา, 2557) ซึ่งปัญหาความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนดังกล่าวอาจส่งผลให้การเรียนรู้ดำเนินไปอย่างยากลำบาก อีกทั้งความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเหล่านี้จะทำให้นักเรียนไม่เข้าใจเนื้อหาวิชาเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาแนวคิดของตนเองในลำดับถัดไป (ธีรพงษ์ แสงประดิษฐ์ และวรรณทิพา รอดแรงคำ, 2552) จากเหตุผลข้างต้นทำให้ผู้วิจัยตระหนักถึงความสำคัญของการศึกษาความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในเรื่องดังกล่าว จึงได้นำแบบทดสอบวัดความเข้าใจ เรื่อง ลีกริจริง ลีกรปรากฎ จำนวน 3 ข้อ ที่ผ่านการกลั่นกรองและประเมินความถูกต้องจากผู้เชี่ยวชาญมาใช้ในการสำรวจความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน ทั้งนี้ลักษณะแบบทดสอบจะเป็นการให้นักเรียนเขียนเส้นทางเดินของแสง การสำรวจความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนในครั้งนี้ สำรวจเพื่อหาความเข้าใจคลาดเคลื่อนของผู้เรียนที่เกิดขึ้น อีกทั้งผลการสำรวจดังกล่าวผู้สอนสามารถนำไปเป็นแนวทางในการพัฒนาการจัดการเรียนการสอนเพื่อช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนลดน้อยลงได้

วัตถุประสงค์

เพื่อสำรวจความเข้าใจเกี่ยวกับการหักเหของแสง เรื่อง ลีกริจริง ลีกรปรากฎ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ คือ ความคิด การรวบรวมข้อสรุปบนพื้นฐานของเหตุและผลซึ่งต้องอาศัยข้อเท็จจริงที่อยู่บนพื้นฐานหลักเกณฑ์ทางวิทยาศาสตร์ หมายถึงข้อสรุปของบุคคลเกี่ยวกับลักษณะบางอย่างทางกายภาพและชีวภาพโดยอาศัยข้อเท็จจริง หลักการเหตุการณ์ หรือปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์
2. ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน คือ ความเข้าใจ ความรู้ ที่ไม่สมบูรณ์ คลุมเครือ หรือความคิดรวบยอดที่แตกต่างไปจากความเป็นจริง และเป็นความคิดที่ต่างไปจากแนวคิดที่ได้รับการยอมรับกันในสังคม อาจได้มาจากประสบการณ์ที่ไม่ถูกต้องไม่ชัดเจนของแต่ละบุคคลหรือไม่สอดคล้องกับหลักการทางวิทยาศาสตร์

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. สามารถนำข้อมูลจากการสำรวจความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการหักเหของแสง เรื่อง ลีกริจริง ลีกรปรากฎ มาออกแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ถูกต้องได้
2. สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการปรับปรุงวิธีการจัดการเรียนรู่วิทยาศาสตร์ในหัวข้ออื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกันได้
3. ผลการวิจัยในครั้งนี้สามารถนำไปเป็นแนวทางสำหรับค้นคว้าและวิจัยเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ได้

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ(survey research) เพื่อศึกษาความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน เรื่อง ลีกริจริง ลีกรปรากฎ ซึ่งได้ผ่านการประเมินจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ใบรับรองเลขที่ KMUTT-IRB-COE-2020-033 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ประชากร และตัวอย่างวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จำนวน 49 คน โรงเรียนบ่อพลอยรัชดาภิเษก ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2562 ที่ผ่านการเรียน เรื่อง ลีกริจริง ลีกรปรากฎ มาแล้วในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง

ขอบเขตด้านเนื้อหา ผู้วิจัยได้มุ่งเน้นศึกษาความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการหักเหของแสง เรื่อง ลึกจริง ลึกปรากฏ โดยศึกษา 3 ประเด็น ดังนี้ การเกิดภาพลึกจริง ลึกปรากฏ ในกรณีที่วัตถุอยู่ในน้ำและผู้สังเกตอยู่ในอากาศเหนือผิวน้ำ การเกิดภาพลึกจริง ลึกปรากฏ ในกรณีที่วัตถุอยู่ในน้ำและเปลี่ยนตำแหน่งผู้สังเกตที่อยู่ในอากาศเหนือผิวน้ำ และการเกิดภาพลึกจริง ลึกปรากฏ ในกรณีที่วัตถุอยู่ในอากาศและผู้สังเกตอยู่ในน้ำ

เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ แบบทดสอบวัดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการหักเหของแสง เรื่อง ลึกจริง ลึกปรากฏ จำนวน 3 ข้อ ซึ่งลักษณะแบบทดสอบจะเป็นโจทย์คำถามตามสถานการณ์ต่าง ๆ ครอบคลุมเนื้อหาเกี่ยวกับการหักเหของแสง เรื่อง ลึกจริง ลึกปรากฏ ในการทำแบบทดสอบ นักเรียนจะแสดงวิธีทำออกมาในลักษณะของการลากเส้นทางเดินของแสงร่วมกับการระบุตำแหน่งภาพที่เกิดขึ้นจากการหักเหของแสงตามแต่ละสถานการณ์ที่โจทย์กำหนด ทั้งนี้แบบทดสอบวัดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการหักเหของแสง เรื่อง ลึกจริง ลึกปรากฏ ได้รับการตรวจสอบความตรงเนื้อหา ความเหมาะสมของภาษา โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ดังแสดงในขั้นตอนการวิจัยขั้นที่ 1

ขั้นตอนการวิจัย

แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นสำรวจและสร้างเครื่องมือวิจัย เป็นขั้นสำรวจและสร้างแบบทดสอบวัดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการหักเหของแสง เรื่อง ลึกจริง ลึกปรากฏ จำนวน 3 ข้อ แบบทดสอบแต่ละข้อกำหนดให้นักเรียนลากเส้นทางเดินของแสงและระบุตำแหน่งภาพที่เกิดขึ้นจากการหักเหของแสง ลักษณะข้อสอบจะมีตารางกริดที่ช่วยประกอบในการลากเส้นทางเดินของแสง โดยนักเรียนจะเป็นผู้เลือกเส้นแนวฉากจากเส้นกริดในโจทย์คำถาม นำไปสู่เส้นแนวฉากที่สามารถไขข้ออธิบายปรากฏการณ์การหักเหของแสงเมื่อผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นแตกต่างกันได้ถูกต้องและยังสามารถระบุตำแหน่งของภาพลึกปรากฏที่เกิดจากการหักเหของแสงได้ ทั้งนี้แบบทดสอบดังกล่าวได้รับการกลั่นกรองและประเมินความถูกต้อง โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ซึ่งเป็นอาจารย์ของภาควิชาฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มหาวิทยาลัยมหิดล และ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แบบทดสอบมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (Item Objective Congruence Index: IOC) เท่ากับ 1.0 จากสมการ (1) ได้ตรวจสอบหาความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.5 – 0.8 จากสมการ (2) และค่าอำนาจจำแนก 0.5 – 0.9 จากสมการ (3) ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ มีประเด็นที่ต้องการวัดความเข้าใจในแต่ละข้อ ดังแสดงในตาราง 1

ค่าดัชนีความสอดคล้อง (Item Objective Congruence Index: IOC)

$$IOC = \frac{\sum R}{N_i} \quad (1)$$

ค่าความยากง่าย (p)

$$p = \frac{R}{N_p} \quad (2)$$

ค่าอำนาจจำแนก (D)

$$D = \frac{\frac{R_H - R_L}{N_D}}{2} \quad (3)$$

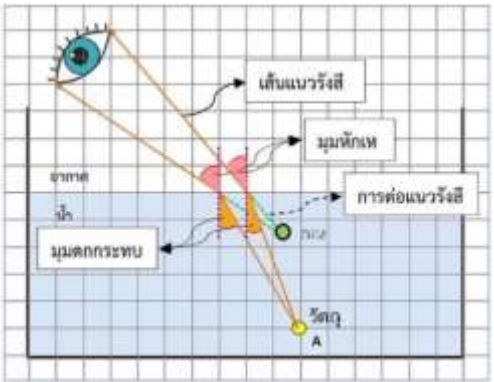
2. ขั้นเก็บรวบรวมข้อมูล เป็นขั้นนำแบบทดสอบวัดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการหักเหของแสง เรื่อง ลึกจริง ลึกปรากฏ ไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่าง เป็นเวลา 30 นาที

ตาราง 1 แสดงประเด็นที่ต้องการวัดความเข้าใจเกี่ยวกับการหักเหของแสง เรื่อง ลีจจรง ลีจปรากฏ

ข้อ	ประเด็นที่ต้องการวัดความเข้าใจ
1.	การเขียนภาพการหักเหของแสงในปรากฏการณ์ลีจจรง ลีจปรากฏ ในกรณีทีวัตถุอยู่ในน้ำและผู้สังเกตอยู่ในอากาศเหนือผิวน้ำ
2.	การเขียนภาพการหักเหของแสงในปรากฏการณ์ลีจจรง ลีจปรากฏ ในกรณีทีวัตถุอยู่ในน้ำและเปลี่ยนตำแหน่งผู้สังเกตที่อยู่ในอากาศเหนือผิวน้ำ
3.	การเขียนภาพการหักเหของแสงในปรากฏการณ์ลีจจรง ลีจปรากฏ ในกรณีทีวัตถุอยู่ในอากาศและผู้สังเกตอยู่ในน้ำ

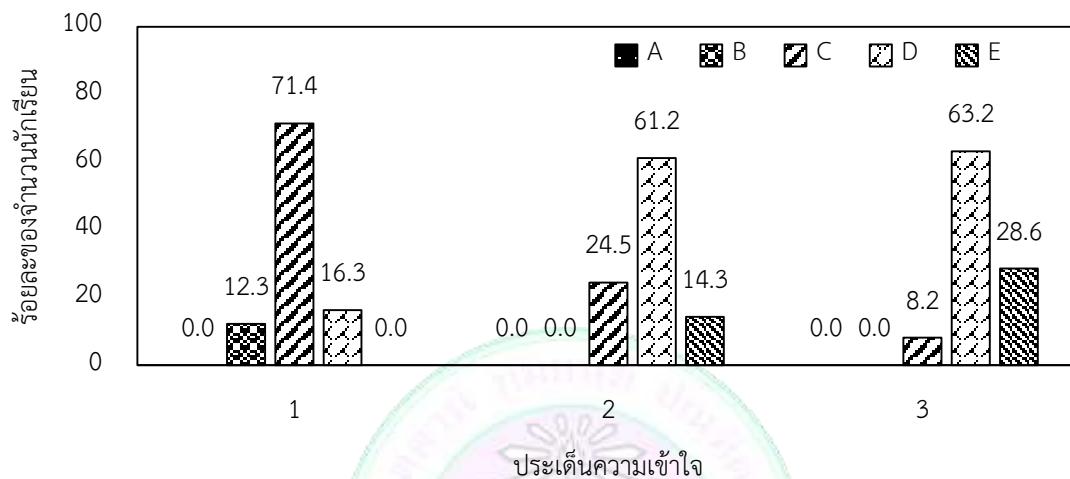
3. ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยวิเคราะห์ลักษณะคำตอบของนักเรียนจากการลากเส้นทางเดินของแสงและการระบุตำแหน่งภาพโดยละเอียด นำมาจัดระดับความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้เกณฑ์การจัดระดับความเข้าใจทีประยุกต์มาจากแนวคิด Mustafa และ Mehmet (Mustafa & Mehmet, 2010) ซึงเป็นแนวคิดทีมีการวิเคราะห์จัดกลุ่มคำตอบของนักเรียนเกี่ยวกับการอธิบายการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่โดยผ่านการใช้แบบทดสอบแบบอัตนัย ผู้วิจัยจึงใช้แนวคิดดังกล่าวเป็นแนวทางในการจัดระดับความเข้าใจของนักเรียนและนำมาประยุกต์ให้มีความสอดคล้องกับบริบทของงานวิจัยนี้ ดังแสดงในตาราง 2 ทีทั้งการวิเคราะห์ลักษณะการจัดกลุ่มคำตอบจะพิจารณาจากการระบุตำแหน่งภาพทีเกิดขึ้นและการเขียนแผนภาพรังสีของแสง 2 เงื่อนไข คือ 1) การใช้กฎการหักเหของแสง ซึงการหักเหของแสงเกิดจากการทีคลื่นแสงเดินทางผ่านตัวกลางทีมีความหนาแน่นแตกต่างกัน โดยลักษณะการหักเหทีเกิดขึ้นสามารถเกิดได้สองลักษณะ คือ แสงจะหักเหเข้าหาเส้นแนวฉากเมื่อแสงเคลื่อนทีจากตัวกลางทีมีความหนาแน่นน้อยไปยังตัวกลางทีมีความหนาแน่นมาก และเมื่อแสงเคลื่อนทีจากตัวกลางทีมีความหนาแน่นมากไปยังตัวกลางทีมีความหนาแน่นน้อยนั้นรังสีของแสงจะหักเหออกจากเส้นแนวฉาก 2) การเขียนรังสีของแสงเข้าสู่เนยน์ตาอย่างน้อย 2 เส้นร่วมกับการต่อแนวรังสีของแสงอย่างน้อย 2 เส้น ไปตัดกันจนเกิดภาพลีจปรากฏ จากนั้นนำข้อมูลทีได้จากการจัดระดับความเข้าใจไปนำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินและกลั่นกรองความถูกต้องและปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ จากนั้นนำมาคำนวณร้อยละของจำนวนนักเรียนในแต่ละระดับความเข้าใจ

ตาราง 2 เกณฑ์ในการจัดระดับความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์

สัญลักษณ์	การเขียนแผนภาพรังสีของแสง	การระบุตำแหน่งภาพ	ลักษณะตัวอย่างคำตอบทีถูกต้องทุกเงื่อนไข (A)
A	ถูกต้อง เงื่อนไข 2	ถูกต้อง	
B	ถูกต้อง เงื่อนไข 1	ถูกต้อง	
C	ถูกต้อง เงื่อนไข 1	ไม่ถูกต้อง	
D	ไม่ถูกต้องทุกเงื่อนไข	ไม่ถูกต้อง	
E	ไม่เขียนหรือเขียนโดยไม่มีหลักการทางวิทยาศาสตร์	ไม่ตอบ	

ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ระดับความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนบ่อพลอยรัชดาภิเษก เรื่อง ลีกจริง ลีกปรากฏ ในส่วนของการลากเส้นทางเดินของแสงและการระบุตำแหน่งภาพ โดยใช้เกณฑ์ในการจัดระดับความเข้าใจที่ประยุกต์จากแนวคิดของ Mustafa และ Mehmet ดังแสดงในตาราง 2 สามารถจำแนกร้อยละของนักเรียนออกเป็นกลุ่มตามระดับความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ได้ดังแสดงในภาพ 1



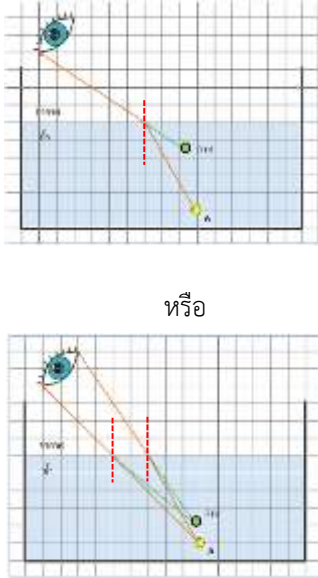
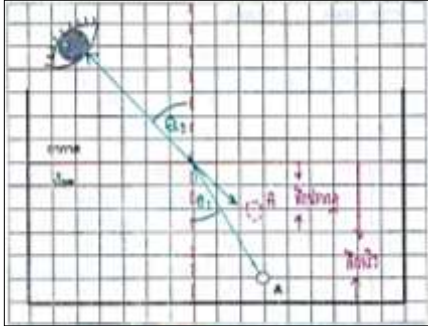
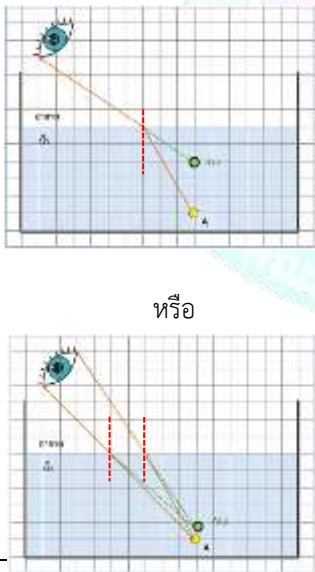
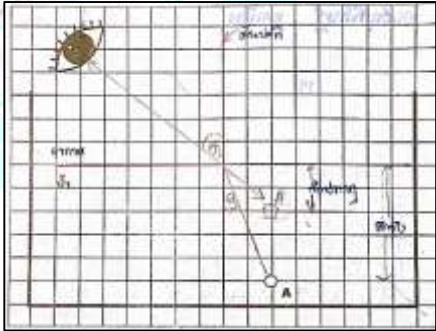
ภาพ 1 ร้อยละของจำนวนนักเรียนที่มีความเข้าใจในแต่ละระดับ

จากผลการวิจัยพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจคลาดเคลื่อนในการเขียนแผนภาพรังสีในเรื่อง ลีกจริง ลีกปรากฏ แต่ละข้อสูงเกินร้อยละ 50 และไม่พบการเขียนแผนภาพรังสีที่ถูกต้องทุกเงื่อนไขตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ แสดงให้เห็นว่า นักเรียนส่วนใหญ่ยังมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในเรื่อง ลีกจริง ลีกปรากฏ

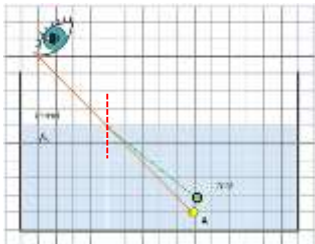
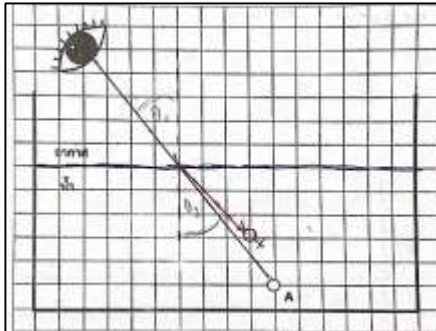
การจัดกลุ่มลักษณะคำตอบของนักเรียนในแต่ละประเด็นสามารถวิเคราะห์ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนได้ดังนี้

ประเด็นที่ 1 การเกิดภาพลีกจริง ลีกปรากฏ ในกรณีที่วัตถุอยู่ในน้ำและผู้สังเกตอยู่ในอากาศเหนือผิวน้ำ

ตาราง 3 ลักษณะคำตอบของนักเรียนที่มีความเข้าใจคลาดเคลื่อนในประเด็นที่ 1

ระดับ	ลักษณะตัวอย่างคำตอบตามเกณฑ์	ลักษณะตัวอย่างคำตอบนักเรียน	ร้อยละ
B	 หรือ	- นักเรียนลากเส้นทางเดินแสงเพียงเส้นเดียว 	12.3
C	 หรือ	- นักเรียนลากเส้นทางเดินของแสงเป็นไปตามกฎการหักเหแต่ไม่สามารถระบุตำแหน่งภาพที่เกิดขึ้นได้ถูกต้อง 	71.4

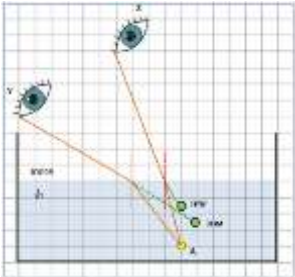
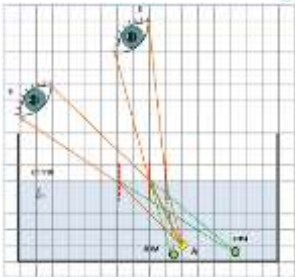
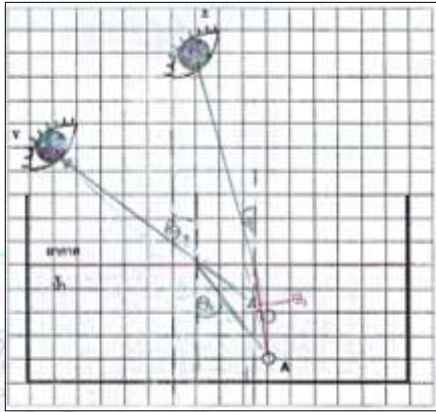
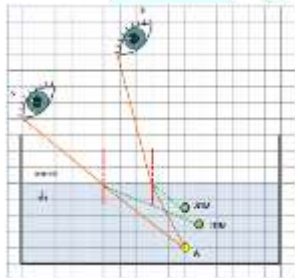
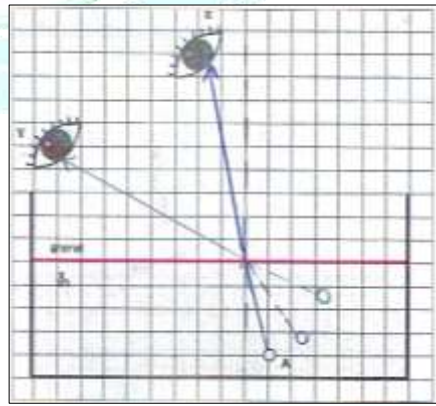
ตาราง 3 ลักษณะคำตอบของนักเรียนที่มีความเข้าใจคลาดเคลื่อนในประเด็นที่ 1 (ต่อ)

ระดับ	ลักษณะตัวอย่างคำตอบตามเกณฑ์	ลักษณะตัวอย่างคำตอบนักเรียน	ร้อยละ
D		- นักเรียนไม่สามารถใช้กฎการหักเหได้ถูกต้อง 	16.3

จากตาราง 3 พบว่าการศึกษาความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับการระบุตำแหน่งภาพและการลากเส้นทางเดินของแสง พบนักเรียนร้อยละ 83.7 มีความเข้าใจคลาดเคลื่อน โดยสามารถแบ่งนักเรียนที่มีความเข้าใจคลาดเคลื่อนนี้ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มร้อยละ 12.3 เป็นนักเรียนที่สามารถระบุตำแหน่งการเกิดภาพโดยใช้กฎการหักเหของแสงได้ แต่ไม่สามารถเขียนเส้นทางเดินของแสงได้ครบ 2 เส้น (B) เมื่อพิจารณาความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนดังกล่าวพบว่านักเรียนมีการวาดเส้นทางเดินของแสงเพียงเส้นเดียวซึ่งอาจเกิดจากการที่นักเรียนขาดความเข้าใจว่าการเขียนเส้นทางเดินของแสงจากจุดใดจุดหนึ่งของวัตถุจะต้องเขียนอย่างน้อยสองเส้นแล้วพิจารณาจุดที่แนวเส้นทางเดินแสงทั้งสองเส้นตัดกันเกิดเป็นตำแหน่งภาพ (ลือชา ลดาชาติ และคณะ, 2557) และมีนักเรียนอีกร้อยละ 71.4 เขียนเส้นทางเดินโดยใช้กฎการหักเหได้ถูกต้อง แต่มีการลากเส้นทางเดินของแสงได้เพียงเส้นเดียวเท่านั้นและไม่สามารถระบุตำแหน่งภาพที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง (C) จากความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนกลุ่มตัวอย่างดังกล่าวกับงานวิจัยของธีรพงษ์ (ธีรพงษ์ แสงประดิษฐ์ และวรรณทิพา รอดแรงคำ, 2552) มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันซึ่งมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนในประเด็นเกี่ยวกับการระบุตำแหน่งของภาพลึกปรากฏกล่าวคือนักเรียนร้อยละ 84 มีความเข้าใจคลาดเคลื่อนว่าการมองเห็นปลาในสระน้ำจะอยู่ลึกกว่าความเป็นจริงหรือมองเห็นปลาอยู่ที่ระดับเดิมตามความเป็นจริงอีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ suleyman (Suleyman & Mehmet, 2012) ที่พบความเข้าใจคลาดเคลื่อนของกลุ่มตัวอย่างเมื่อมองปลาที่อยู่ในน้ำจะเห็นปลาอยู่ไกลออกไปหรือจะเห็นปลาอยู่ที่ตำแหน่งเดิม ทั้งนี้เมื่อพิจารณาตาราง 3 ยังพบว่ามีนักเรียนอีกร้อยละ 16.3 ที่มีลักษณะคำตอบแสดงถึงความไม่เข้าใจซึ่งคือนักเรียนกลุ่มที่ไม่ระบุตำแหน่งภาพและลากเส้นทางเดินของแสงโดยไม่มีหลักการ (D) ดังนั้นในการแก้ปัญหาเพื่อลดความเข้าใจในกลุ่มความเข้าใจคลาดเคลื่อนและกลุ่มไม่เข้าใจ สามารถทำได้โดยการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับจุดประสงค์การเรียนรู้หรือการนำเสนอ เทคโนโลยีภาพเคลื่อนไหว เข้ามาช่วยในการจัดการเรียนการสอนเพื่อที่จะแสดงให้เห็นนักเรียนเห็นภาพและอธิบายชัดเจนและเห็นเป็นรูปธรรมได้

ประเด็นที่ 2 การเกิดภาพลึกลับจริง สักปรากฏ ในกรณีที่วัตถุอยู่ในน้ำและเปลี่ยนตำแหน่งผู้สังเกตที่อยู่ในอากาศเหนือผิวน้ำ

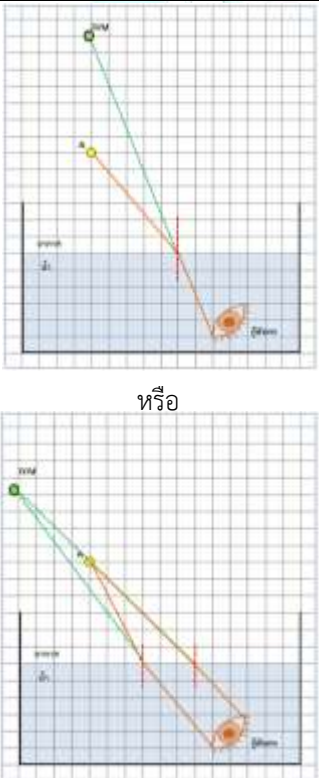
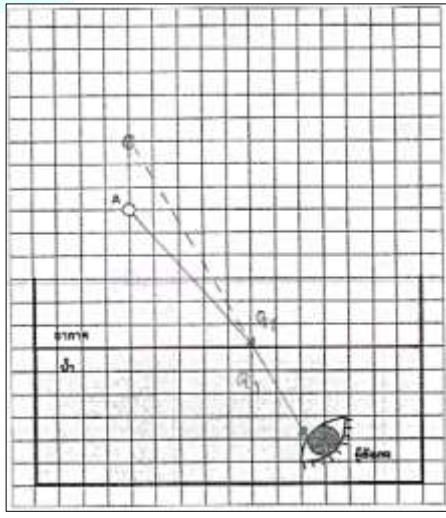
ตาราง 4 ลักษณะคำตอบของนักเรียนที่มีความเข้าใจคลาดเคลื่อนในประเด็นที่ 2

ระดับ	ลักษณะตัวอย่างคำตอบตามเกณฑ์	ลักษณะตัวอย่างคำตอบนักเรียน	ร้อยละ
C	 หรือ 	- นักเรียนไม่เข้าใจถึงหลักการการเขียนแผนภาพรังสีของแสงที่ถูกต้อง 	24.5
D		- นักเรียนไม่เข้าใจในการใช้กฎการหักเห 	61.2
E	ไม่เขียน หรือเขียนโดยไม่ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์	- นักเรียนไม่เขียนคำตอบใดใดลงไปบนกระดาษ - นักเรียนวาดรูปที่ไม่เกี่ยวข้องกับโจทย์คำถาม	14.3

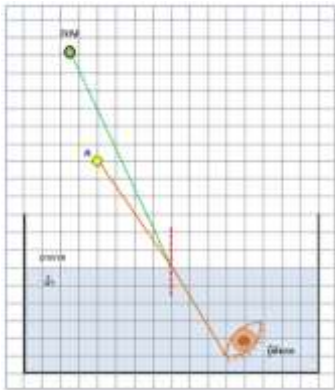
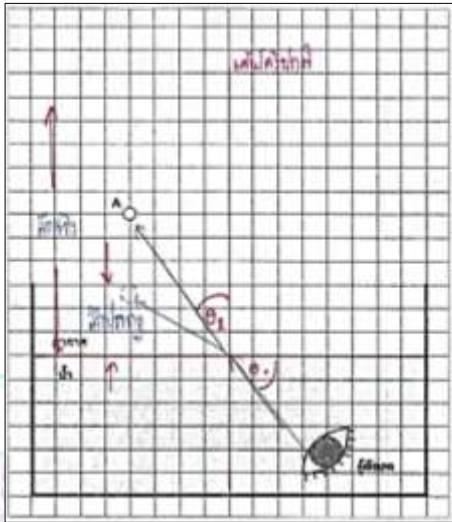
จากตาราง 4 พบนักเรียนที่มีความเข้าใจคลาดเคลื่อนร้อยละ 24.5 โดยนักเรียนที่มีความเข้าใจคลาดเคลื่อนดังกล่าวไม่สามารถระบุตำแหน่งภาพที่เกิดขึ้นได้หรือมีการระบุตำแหน่งภาพไม่ถูกต้อง แต่ยังสามารถเขียนเส้นทางเดินแสงเส้นเดียวโดยใช้กฎการหักเหได้ (C) เมื่อพิจารณาความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนดังกล่าวกับงานวิจัยของ keawkong (Keawkong et al., 2010) พบว่าการที่นักเรียนไม่สามารถระบุตำแหน่งภาพเมื่อเปลี่ยนมุมมองไปที่มุมต่าง ๆ ได้นั้น อาจเกิดจากการจดจำเพราะในหนังสือแบบเรียนบางเล่มจะพิจารณาการเกิดภาพลึกลับจริง ลึกลับปรากฏ เฉพาะสถานการณ์ที่ผู้สังเกตอยู่ในแนวตั้งลงไปยังวัตถุโดยตรง ซึ่งการเกิดตำแหน่งภาพในสถานการณ์นี้จะอยู่เหนือวัตถุขึ้นมาโดยตรง ซึ่งเมื่อเราทำการเปลี่ยนมุมมองในมุมอื่นนอกเหนือออกไปจึงทำให้ผู้เรียนเกิดความสับสนและไม่เข้าใจถึงการเกิดภาพลึกลับปรากฏที่แท้จริงได้ ดังนั้นครูผู้สอนจึงควรเน้นย้ำทำความเข้าใจในการแผนภาพรังสีเพื่อสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องจนนำไปสู่การเชื่อมโยงในสถานการณ์อื่น ๆ ต่อไป นอกจากนี้ยังมีนักเรียนที่ไม่เข้าใจอีกจำนวนร้อยละ 75.5 ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มนักเรียนที่ไม่ระบุตำแหน่งภาพและลากเส้นทางเดินของแสงโดยไม่มีหลักการคิดเป็นจำนวนนักเรียนร้อยละ 61.2 (D) และกลุ่มที่ไม่ตอบคำถามใดเลยอีกร้อยละ 14.3 แต่ถึงอย่างไรความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนหรือไม่เข้าใจนี้สามารถทำให้ลดลงได้โดยการเปลี่ยนแปลงกระบวนการสอนที่เหมาะสมให้นักเรียน ตามมารายงานผลงานวิจัยของนุจรี มณีจันทร์และคณะ (นุจรี มณีจันทร์ และโชคศิลป์ ธนเอียง, 2554) ได้ทำการพัฒนาชุดการทดลอง เรื่อง ลึกลับจริง ลึกลับปรากฏ เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนเรื่องการหักเหของแสงพบว่านักเรียนกลุ่มที่เรียนด้วยชุดการทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่ากลุ่มที่เรียนแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญ จากงานวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการทดลองสามารถทำให้นักเรียนเข้าใจถึงปรากฏการณ์ลึกลับจริง ลึกลับปรากฏ จนนำไปสู่การระบุตำแหน่งภาพได้ถูกต้องเพิ่มขึ้น

ประเด็นที่ 3 การเกิดภาพลึกลับจริง ลึกลับปรากฏ ในกรณีที่วัตถุอยู่ในอากาศและผู้สังเกตอยู่ใต้ผิวน้ำ

ตาราง 5 ลักษณะคำตอบของนักเรียนที่มีความเข้าใจคลาดเคลื่อนในประเด็นที่ 3

ระดับ	ลักษณะตัวอย่างคำตอบตามเกณฑ์	ลักษณะตัวอย่างคำตอบนักเรียน	ร้อยละ
C	 หรือ	- นักเรียนสามารถเขียนรังสีของแสงโดยใช้กฎการหักเหได้ 1 เส้น แต่ไม่สามารถระบุตำแหน่งภาพที่ถูกต้องได้ 	8.2

ตาราง 5 ลักษณะคำตอบของนักเรียนที่มีความเข้าใจคลาดเคลื่อนในประเด็นที่ 3 (ต่อ)

ระดับ	ลักษณะตัวอย่างคำตอบตามเกณฑ์	ลักษณะตัวอย่างคำตอบนักเรียน	ร้อยละ
D		- นักเรียนคิดว่าไม่เกิดการหักเหของแสง เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่แตกต่างกัน 	63.2
E	ไม่เขียน หรือเขียนโดยไม่ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์	- นักเรียนไม่เขียนคำตอบใดใดลงไปในกระดาษ - นักเรียนวาดรูปที่ไม่เกี่ยวข้องกับโจทย์คำถาม	28.6

จากตาราง 5 วิเคราะห์ความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับกรณีที่เปลี่ยนตำแหน่งการสังเกตโดยเปลี่ยนให้ผู้สังเกตอยู่ใต้น้ำและวัตถุอยู่ในอากาศ พบว่า มีนักเรียนร้อยละ 8.2 ที่มีความเข้าใจคลาดเคลื่อน (C) ที่ไม่สามารถระบุตำแหน่งภาพที่เกิดขึ้นได้ แต่ยังเขียนเส้นทางเดินของแสงโดยใช้กฎการหักเหได้ 1 เส้นทาง นอกจากนี้ยังมีนักเรียนไม่เข้าใจถึงการเกิดภาพเมื่อเปลี่ยนตำแหน่งผู้สังเกต โดยนักเรียนร้อยละ 63.2 เขียนเส้นทางเดินของแสงแบบไม่มีหลักการ (D) และอีกร้อยละ 28.6 ไม่มีการตอบคำถามใดใดในข้อดังกล่าว จากการศึกษาพบว่านักเรียนที่ไม่เข้าใจในประเด็นนี้เป็นจำนวนมากเนื่องจากนักเรียนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนในประเด็นพื้นฐานเกี่ยวกับหลักการอธิบายการเกิดภาพลึกลับจริง ลึกปรากฏ ทำให้นักเรียนไม่สามารถนำมาประยุกต์ในการอธิบายเมื่อเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุจากอยู่ในน้ำไปอยู่ในอากาศได้ แต่ถึงอย่างไรก็ตามสามารถแก้ไขพัฒนาให้เกิดความเข้าใจที่ถูกต้องได้ด้วยวิธีการเรียนรู้ที่เหมาะสม ดังที่ สายสุณี (สายสุณี ดีผาด, 2560) ได้ศึกษาเพื่อพัฒนาความเข้าใจเรื่องการหักเหของแสงก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นร่วมกับชุดการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 พบว่า หลังจากการได้รับการจัดการเรียนรู้ ด้วยวิธีดังกล่าวทำให้มีจำนวนนักเรียนที่ระบุตำแหน่งภาพได้ถูกต้องเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 19.36 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวสามารถแก้ไขความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนนำไปสู่ความเข้าใจที่ถูกต้องได้ เมื่อนักเรียนมีความเข้าใจพื้นฐานที่ดีแล้วก็จะช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการอธิบายสถานการณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องได้อย่างถูกต้อง

อภิปราย และข้อเสนอแนะ

จากการสำรวจความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง ลีกลิง ลีกลิง ที่เคยได้รับการจัดการเรียนการสอนมาแล้วในปีการศึกษาที่ผ่านมา ซึ่งผู้วิจัยได้อภิปรายผลการศึกษาไว้ดังนี้

ผู้วิจัยได้สำรวจและสร้างแบบทดสอบวัดความเข้าใจ จำนวน 3 ข้อ แบ่งเป็น 3 ประเด็น จากการศึกษพบว่านักเรียนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการเกิดภาพลีกลิง ลีกลิง ในกรณีที่เกิดอยู่ในน้ำและผู้สังเกตอยู่ในอากาศเหนือผิวน้ำมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 83.7 รองลงมาคือการเกิดภาพลีกลิง ลีกลิง ในกรณีที่เกิดอยู่ในน้ำและเปลี่ยนตำแหน่งผู้สังเกตที่อยู่ในอากาศเหนือผิวน้ำคิดเป็นร้อยละ 24.5 ท้ายสุดคือนักเรียนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนการเกิดภาพลีกลิง ลีกลิง ในกรณีที่เกิดอยู่ในอากาศและผู้สังเกตอยู่ในน้ำคิดเป็นร้อยละ 8.2 ซึ่งในแต่ละประเด็นมีนักเรียนที่ไม่สามารถระบุตำแหน่งภาพที่เกิดขึ้นได้คิดเป็นร้อยละ 87.7, 100 และ 100 ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการจัดระดับความเข้าใจพบว่านักเรียนที่ไม่เข้าใจเกี่ยวกับการเกิดภาพลีกลิง ลีกลิง มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 91.8 เกี่ยวกับสถานการณ์การเกิดภาพลีกลิง ลีกลิง ในกรณีที่เกิดอยู่ในอากาศและผู้สังเกตอยู่ในน้ำ

จากการวิเคราะห์ลักษณะคำตอบของนักเรียนที่ได้จากการลากเส้นทางเดินของแสง พบว่านักเรียนสามารถใช้กฎการหักเหในการเขียนเส้นทางเดินรังสีได้เพียง 1 เส้น เท่านั้น ซึ่งความจริงแล้วในการลากเส้นทางเดินของแสงเพื่อแสดงการเกิดภาพลีกลิง จะต้องใช้เส้นแนวรังสีอย่างน้อย 2 เส้น ตัดกัน ผู้สอนจึงควรเน้นย้ำให้นักเรียนตระหนักถึงหลักการพื้นฐานในการลากเส้นทางเดินของแสงดังที่กล่าวมา ทั้งนี้เส้นแนวรังสีที่นักเรียนตอบมานั้นสะท้อนถึงการขาดความเข้าใจที่ถูกต้องในเรื่องการหักเหของแสงเมื่อผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน สังเกตได้จากการคำตอบของนักเรียนที่ลากเส้นทางเดินของแสงระหว่างวัตถุเข้าสู่ดวงตาเป็นเส้นตรง โดยไม่ได้คำนึงถึงปรากฏการณ์การหักเหของแสง ผลการศึกษาข้างต้นสนับสนุนข้อสรุปที่ได้จากงานวิจัยของ keawkong (Keawkong et al., 2010) ที่ว่า นักเรียนยังขาดความเข้าใจพื้นฐานที่ต้องเกี่ยวข้องกับหลักการทางทัศนศาสตร์ เนื่องจากพบนักเรียนแสดงการลากเส้นทางเดินของแสงเมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าไปยังตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่าแล้วเกิดการเบนออกไปจากแนวปกติ หรือนักเรียนเขียนเส้นทางเดินของแสงพุ่งจากดวงตาไปยังวัตถุความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนนี้อาจเกิดจากการขาดความเข้าใจในเรื่องการมองเห็นวัตถุ ว่าการที่เรามองเห็นวัตถุได้นั้น ต้องมีแสงจากวัตถุพุ่งเข้าสู่ดวงตาเรา จากความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในเรื่องการลากเส้นทางเดินของแสงนี้ส่งผลให้เกิดการระบุตำแหน่งภาพที่คลาดเคลื่อนเช่นเดียวกัน

ผลของความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนและไม่เข้าใจของนักเรียนจะส่งผลกระทบต่อการศึกษาในระดับที่สูงต่อไป ดังนั้นการสำรวจความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนจึงถือเป็นสิ่งสำคัญแรกที่ครูผู้สอนสามารถนำไปใช้ในวางแผนและออกแบบการจัดการเรียนการสอนให้สอดคล้องกับความรู้ความเข้าใจของตัวนักเรียน นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจได้นั้นครูผู้สอนสามารถนำไปเป็นข้อมูลในการพัฒนาการจัดการเรียนการสอนเพื่อให้สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ได้

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

ผลการสำรวจความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนนี้ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบการจัดการเรียนการสอน ตลอดจนสามารถนำไปปรับประยุกต์ใช้ในการพัฒนาสื่อการจัดการเรียนการสอนเพื่อลดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน เกิดเป็นความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องสมบูรณ์มากขึ้น

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ศึกษากระบวนการจัดการเรียนรู้แบบต่าง ๆ ที่จะสามารถนำมาใช้แก้ไขความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการหักเหของแสง เรื่อง ลีกลิง ลีกลิง ที่ค้นพบจากการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2552). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551*. กรุงเทพฯ: สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน.
- ขจรศักดิ์ บัวระพันธ์, เพ็ญจันทร์ ชิงห์ และวรรณทิพา รอดแรงคำ. (2548). การสำรวจแนวคิดของนักศึกษาครุวิชาเอกฟิสิกส์ ชั้นปีที่ 3 เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่. *วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์*, 1, 46-69.
- ชาญวิทย์ คำเจริญ. (2562). การศึกษาความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเรื่องพลังงานและโมเมนตัมโดยใช้แบบทดสอบความเข้าใจเรื่องพลังงานและโมเมนตัม. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีเตียน*, 25, 1-10.
- ธีรพงษ์ แสงประดิษฐ์ และวรรณทิพา รอดแรงคำ. (2552). การสำรวจมโนทัศน์เรื่องแสงของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. ใน *โรงเรียนสังกัดกรุงเทพมหานคร. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 14, 310-315.
- นุจริย์ มณีจันทร์ และโชคศิลป์ ธนเอื้อง. (2554). การพัฒนาชุดการทดลองการหักเหของแสง เรื่อง ลีกลิง ลีกลิง เพื่อพัฒนาทักษะการทดลองและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน. ใน *การประชุมวิชาการการวิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 3* (น.41-45). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร
- ลือชา ลดาชาติ, สุนิสา ยะโกะ และหวันบัสรี วาเต็ง. (2557). ความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เกี่ยวกับการเขียนแผนภาพรังสีของแสง. *วารสารศรีนครินทรวิโรฒวิจัยและพัฒนา (สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์)*, 6, 109-121.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2558). *รายงานผลการวิจัยโครงการ TIMSS 2015*. เข้าถึงจาก <http://timssthailand.ipst.ac.th/timss/reports/2015>.
- สมศักดิ์ เพ็ชรรัตน์, รศ.ดร.ชาตรี ฝ้ายคำตา และรศ.ดร.สุศักดิ์ เชียงกา. (2557). *การศึกษาแนวคิดคลาดเคลื่อนในวิชาฟิสิกส์ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น*. เข้าถึงจาก http://www.northern.ac.th/north_research/p/document/file_14919687980.docx.
- สายสุณี ดีผาด. (2560). *การพัฒนาความเข้าใจเรื่องการหักเหของแสงสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้ชุดการเรียนรู้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น* (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). ภาควิชาวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาฟิสิกส์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- Suleyman, A., & Mehmet, A. (2012). Establishment for misconception that science teacher candidates have about Geometric optics. *The online Journal of New Horizons in Education*, 2, 7-15.
- Keawkong, K., Mazzolini, A., Emarat, N. & Arayathanitkul, K. (2010). Thai high-school students' misconception about and models of light refraction through a planar surface, *Physic Education*, 45(1), 97-107.
- Mustafa, S.K. & Mehmet, K. (2010). Investigation of Conceptual Change About Double-slit Interference in Secondary School Physics. *International Journal of Environmental & Science Education*, 5, 435-460.