วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีที่ 44 ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม – มีนาคม 2564) หน้า 50-64
Journal of Education Khon Kaen University, Volume 44 No. 1 (January – March 2021) Page 50-64
บทความวิจัย (Research Article)

วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
https://www.tci-thaijo.org/index.php/edkkuj
ดำเนินการวารสารโดย คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

การพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง โมเมนตัมและการชน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ

Development of the Physics Problem-Solving Ability on the Topic of Momentum and Collisions for Mathayomsuksa 4 Students by Using Logical Problem-Solving Strategy

วุฒิชัย จารุตัน[1*] และ อุฤทธิ์ เจริญอินทร์[2]
Woottichai Jarutun[1*] and Urit Charoen-In[2]

นิสิตหลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม[1*], ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม[2]
M. Ed. Student in Teaching of Science and Mathematics, Faculty of Education, Mahasarakham University, Thailand[1*], Department of Physics, Faculty of Science, Mahasarakham University, Thailand[2]

Received: November 02, 2020 Revised: January 13, 2021 Accepted: January 21, 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง โมเมนตัมและการชน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ให้ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม โดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ กลุ่มเป้าหมายในการวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 22 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1) แผนการจัดการเรียนรู้ตามกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ เรื่อง โมเมนตัมและการชน จำนวน 6 แผน 2) แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง โมเมนตัมและการชน 3) แบบสังเกตพฤติกรรมการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ และ 4) แบบสัมภาษณ์นักเรียน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า ในวงจรปฏิบัติการที่ 1 มีนักเรียนผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม 13 คน และในวงจรปฏิบัติการที่ 2 มีนักเรียนผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม 21 คน

คำสำคัญ: ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ การวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน

Abstract

The purpose of this classroom action research was to develop Mattayomsuksa 4 students' Physics problem-solving ability of "Momentum and Collisions" in order to pass the criterion of 70 percent of the full score using logical problem-solving strategy. The target group was 22 students of Mattayomsuksa 4 students. The tools used in the study included 1) 6 lesson plans on the subject of "Momentum and Collisions" based on logical problem-solving strategy, 2) a problem-solving ability test on the Physics subject of "Momentum

*Corresponding author. Tel.: 098 609 3381
Email address: 61010556026@msu.ac.th

and Collisions", 3) a students' behavior observation form in Physics problem-solving and 4) a student interview form. The data were analyzed by using mean, percentage, and standard deviation. The results of classroom action research revealed that: In cycle 1, there were 13 students passed their criteria of 70% of the full score and in cycle 2, there were 21 students passed their criteria of 70% of the full score.
Keywords: Physics problem-solving ability, Logical problem-solving strategy, Classroom action research

■ บทนำ

วิทยาศาสตร์มีบทบาทสำคัญอย่างมากในสังคมโลกปัจจุบันและในอนาคต เพราะเกี่ยวข้องกับทุกคนทั้งในชีวิตประจำวันและการงานอาชีพต่าง ๆ ตลอดจนอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องใช้ที่มนุษย์ใช้เพื่ออำนวยความสะดวกในการทำงานต่าง ๆ ล้วนเป็นผลของความรู้ทางวิทยาศาสตร์ทั้งสิ้น (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) นอกจากนี้วิทยาศาสตร์ยังมีความสำคัญต่อการพัฒนาความคิดของมนุษย์ ทำให้มนุษย์มีความคิดสร้างสรรค์ คิดอย่างมีเหตุผล เป็นระบบ ระเบียบ มีแบบแผน สามารถวิเคราะห์ปัญหาและสถานการณ์ได้อย่างถี่ถ้วนรอบคอบ (ธันยากร ช่วยทุกข์เพื่อน, 2559)

ฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่ศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นรอบตัวเรา และมีบทบาทสำคัญอย่างมากในชีวิตประจำวัน ทั้งยังเน้นให้นักเรียนเกิดกระบวนการคิด เกิดความเข้าใจ สามารถนำความรู้ไปใช้ในการแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ (กมลชนก ชัยชนะและปกรณ์ ประจัญบาน, 2561) แต่นักเรียนส่วนใหญ่ยังไม่ประสบความสำเร็จในการเรียนฟิสิกส์ เนื่องจากฟิสิกส์เป็นวิชาที่ต้องอาศัยความสามารถในการแปลความจากโจทย์ปัญหาไปเป็นประโยคสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ กราฟ เชื่อมโยงความสัมพันธ์ของตัวแปร พีชคณิต สมการต่าง ๆ ทางฟิสิกส์และทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง โดยปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้นักเรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ต่ำ (Redish, 1994) จากที่ผู้วิจัยทำหน้าที่จัดการเรียนการสอนรายวิชาฟิสิกส์ พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ไม่สามารถแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ได้เนื่องจากขาดความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาและกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทำให้นักเรียนไม่สามารถนำเอาแนวคิดทางฟิสิกส์ไปประยุกต์ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาได้ โดยนักเรียนส่วนใหญ่จะแก้โจทย์ปัญหาโดยเริ่มจากสมการและการแทนค่าลงในสมการโดยไม่คำนึงถึงแนวคิดทางฟิสิกส์หรือการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ เพื่อเชื่อมโยงไปสู่สมการ ซึ่งถือว่าเป็นการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ที่ไม่มีประสิทธิภาพ (Heller & Heller, 2010) ส่งผลให้นักเรียนไม่เข้าใจแนวคิดทางฟิสิกส์อย่างแท้จริงและไม่สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในสถานการณ์อื่นได้อย่างหลากหลาย นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ในเบื้องต้น พบว่า นักเรียนกลุ่มที่มีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาต่ำกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 39.09 ของคะแนนเต็ม ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เป็นสิ่งสำคัญต่อการศึกษาด้านฟิสิกส์ที่จำเป็นต้องพัฒนาให้กับนักเรียนซึ่งจะเป็นส่วนช่วยให้นักเรียนประสบความสำเร็จในการเรียนฟิสิกส์ทั้งในปัจจุบันและในระดับที่สูงขึ้น

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ พบว่า กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ (Logical Problem-Solving Strategy) ของ Heller & Heller (2010) ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นพิจารณาปัญหา (Focus the Problem) 2) ขั้นอธิบายหลักการทางฟิสิกส์ (Describe the Physics) 3) ขั้นวางแผนแก้ปัญหา (Plan the Solution) 4) ขั้นดำเนินการตามแผน (Execute the Plan) และ 5) ขั้นประเมินคำตอบ (Evaluate the Answer) ซึ่งเป็นกลวิธีที่ให้ความสำคัญกับแนวคิดทางฟิสิกส์ที่ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาและเชื่อมโยงไปสู่สมการที่ใช้ ทั้งยังฝึกให้นักเรียนวางแผนก่อนการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับขั้นตอนก่อนดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา นอกจากนี้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาดังกล่าวนั้นได้ให้ความสำคัญกับการเขียนแผนภาพแสดงสถานการณ์ที่โจทย์กำหนดให้ซึ่งถือว่ามีความจำเป็นต่อการทำความเข้าใจโจทย์ปัญหาฟิสิกส์อย่างมาก ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเห็นว่ากลวิธีแก้โจทย์ปัญหาดังกล่าวมีความเหมาะสมที่จะทำให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดทางฟิสิกส์ สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาได้อย่างหลากหลายและมี

ประสิทธิภาพ และสามารถพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนให้สูงขึ้นได้ โดยงานวิจัยของรมิตา ชื่นเปรมชีพ, พรเทพ จันทราอุกฤษฎ์ และวรากร เฮ้งปัญญา (2560) ได้ทำการเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยมีนักเรียนที่เป็นกลุ่มทดลองจำนวน 44 คนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้กลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ และมีนักเรียนกลุ่มควบคุมจำนวน 46 คนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้กลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์สูงว่าเกณฑ์ร้อยละ 75 และสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และจากงานวิจัยของวิรัตน์ ขันเขตศรัณย์ ภิ , บาลชนม์ และกิตติมา พันธ์พฤกษา (2562) ที่ได้ทำการพัฒนาความสามารถในในการแก้โจทย์ปัญหาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การเคลื่อนที่แบบหมุน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที 4 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นร่วมกับกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์คะแนนพัฒนาการของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาวิชาฟิสิกส์ระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นร้อยละ 51.58 ซึ่งมีพัฒนาการอยู่ในระดับสูง และมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์สูงขึ้นร้อยละ 71.04 ซึ่งมีพัฒนาการอยู่ในระดับสูง นอกจากนี้ในงานวิจัยของอมราลักษณ์ ฤทธิเดช (2553) ซึ่งได้ทำการศึกษาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

จากความเป็นมาและรายงานการวิจัยที่ผ่านมาดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่ากลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะเป็นกลวิธีที่สามารถส่งเสริมความสามารถในการแก้โจทย์ฟิสิกส์ของนักเรียนให้สูงขึ้นได้ งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง โมเมนตัมและการชน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ให้ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม โดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ ผู้วิจัยเชื่อย่างยิ่งว่ากลวิธีแก้โจทย์ปัญหาดังกล่าวจะสามารถพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนให้สูงขึ้น

■ จุดประสงค์การวิจัย

เพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง โมเมนตัมและการชน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ให้ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม โดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ

■ หลักการ แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ คือ โจทย์ปัญหาที่พบได้ทั่วไปในแบบเรียนฟิสิกส์ที่ใช้สำหรับการฝึกให้นำทฤษฎี หลักการและสูตรทางฟิสิกส์ไปใช้ มีความซับซ้อนและยากที่จะแก้ในทันที จำเป็นต้องใช้ความรู้ทางฟิสิกส์และหลักการคำนวณทางคณิตศาสตร์มาใช้ร่วมกันในการแก้ปัญหา (Redish & Kuo, 2015; Niss, 2017; เกริก ศักดิ์สุภาพ, 2562) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) โจทย์ปัญหาพื้นฐาน เป็นปัญหาเพื่อใช้มุ่งให้เกิดความเข้าใจและฝึกทักษะพื้นฐานของการแก้โจทย์ปัญหา การใช้สมการและการดำเนินการทางคณิตศาสตร์ ทำให้นักเรียนมองเห็นภาพและเข้าใจการแก้โจทย์ปัญหา และ 2) โจทย์ปัญหาประยุกต์ เป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน ต้องใช้ความคิดในการวิเคราะห์และการประยุกต์ใช้ทักษะความรู้เพื่อจัดระบบข้อมูลจำแนกข้อมูลและหาความสัมพันธ์ของข้อมูลโดยมีการปฏิบัติอย่างเป็นลำดับขั้นตอน (Gok & Silay, 2008; เกริก ศักดิ์สุภาพ, 2562)

ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ คือ ความสามารถในการทำความเข้าใจ ตีความ วิเคราะห์โจทย์ปัญหาและเลือกใช้ทฤษฎีหรือสมการได้อย่างถูกต้อง รวมถึงการวางแผนในการแก้

วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 44(1), 50-64
doi: 10.14456/edkkuj.2020.x

โจทย์ปัญหา การคำนวณทางคณิตศาสตร์และการสรุปคำตอบให้สอดคล้องกับโจทย์ ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับสติปัญหา ความพร้อม ความสนใจ ประสบการณ์ และสภาพแวดล้อม ของแต่ละบุคคล (Krulik and Rudnick,1989; Docktor et al., 2016; ธันยากร ช่วยทุกข์เพื่อน, 2559)

กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ เป็นกลวิธีที่ฝึกให้นักเรียนนำความรู้ แนวคิดหรือหลักการทางฟิสิกส์ไปประยุกต์ใช้ในการโจทย์แก้ปัญหาซึ่ง เนื่องจากการได้ใช้ความรู้หรือหรือกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับโจทย์ปัญหาจะช่วยให้นักเรียนแก้ปัญหาได้อย่างมีระบบและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (De Jong & Ferguson-Hessler, 1996) เพราะการที่นักเรียนไม่สามารถแก้โจทย์ปัญหาได้นั้นมีสาเหตุมาจากการที่นักเรียนไม่สามารถนำความรู้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาและไม่สามารถประยุกต์ใช้ความรู้กับสถานการณ์ที่แปลกใหม่หรือมีความซับซ้อน (Mathan & Koedinger, 2005) แต่ครูควรมีความเข้าใจและเลือกเนื้อหาที่มีความเหมาะสมกับกลวิธีดังกล่าว เนื่องจากมีความจำเพาะต่อเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับฟิสิกส์ (Pol, Harskamp, Suhre, & Goedhart, 2008)

จากที่ผู้วิจัยได้ศึกษากลวิธีแก้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะของ (A Logical Problem-Solving Strategy) ของ Heller & Heller (2010) ซึ่งเป็นกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาที่เน้นการฝึกคิดวิเคราะห์ การคิดเชิงเหตุผล ซึ่งเป็นสิ่งที่ยากที่สุดของการแก้โจทย์ปัญหาและถือเป็นส่วนสำคัญที่จะเป็นเครื่องมือในการดำเนินการแก้ปัญหาให้สำเร็จลุล่วงไปได้ ในการแก้โจทย์ปัญหาต่าง ๆ นั้นหากนักเรียนสามารถมองเห็นและเข้าใจลักษณะของปัญหาก่อนและมีความพร้อมที่จะแก้ปัญหาก็จะสามารถแก้ปัญหานั้นได้โดยใช้ประสบการณ์หรือความรู้เดิมที่มีอยู่ การแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ก็เช่นเดียวกัน หากนักเรียนสามารถมองเห็นและเข้าใจลักษณะของปัญหา ประกอบกับการมีทักษะความรู้เดิมในการแก้ปัญหาก็จะสามารถนำความรู้และวิธีการเหล่านั้นไปใช้ในการแก้ปัญหาได้ ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาจะขึ้นอยู่กับความรู้ที่นำมาใช้เพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการแก้ปัญหาที่ถูกต้อง และถ้ามีวิธีการแก้ปัญหาที่เป็นระบบ เป็นขั้นตอน ก็จะช่วยให้การแก้ปัญหานั้นง่ายและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะจึงได้ให้ความสำคัญกับการเขียนแผนภาพแสดงสถานการณ์ที่โจทย์กำหนดให้และให้ความสำคัญกับแนวคิดหรือหลักการทางฟิสิกส์ที่จะนำไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา รวมถึงให้ความสำคัญกับกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีส่วนที่จำนำไปสู่ผลลัพธ์ของปัญหานั้น โดยขั้นตอนสำคัญของกลวิธีแก้ปัญหาเชิงตรรกะ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นพิจารณาปัญหา (Focus the Problem) เป็นขั้นตอนแรกที่จะนำไปสู่การเริ่มต้นการแก้โจทย์ปัญหาเนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ต้องทำความเข้าใจโจทย์ปัญหาให้ชัดเจนโดยการวาดรูปแสดงสถานการณ์ต่าง ๆ ของโจทย์ พร้อมอธิบายข้อมูลที่โจทย์กำหนดให้ และสิ่งที่โจทย์ถาม

2. ขั้นอธิบายหลังการทางฟิสิกส์ (Describe the Physics) เป็นขั้นการอธิบายแนวคิดทางฟิสิกส์ที่ต้องนำมาใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา พร้อมทั้งเลือกสมการที่ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา

3. ขั้นวางแผนแก้ปัญหา (Plan the Solution) เป็นขั้นการวางแผนโดยการเขียนลำดับขั้นตอนในการแก้โจทย์ปัญหาตั้งแต่เริ่มต้นจนได้มาซึ่งคำตอบของปัญหา

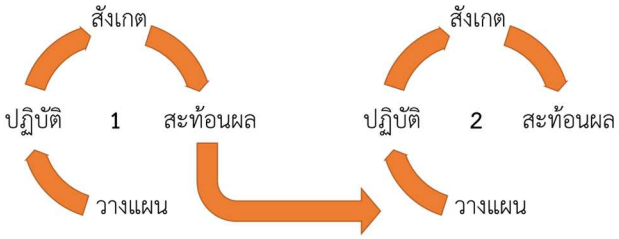
4. ขั้นดำเนินการตามแผน (Execute the Plan) เป็นขั้นตอนสุดท้ายที่จะทำให้ได้คำตอบของโจทย์ปัญหา ซึ่งเป็นการดำเนินการหาคำตอบตามแผนที่วางไว้ในขั้นที่ 3 โดยการแทนค่าตัวแปรต่าง ๆ ลงในสมการ และดำเนินการทางคณิตศาสตร์จนได้มาซึ่งคำตอบของโจทย์ปัญหา

5. ประเมินคำตอบ (Evaluate the Answer) ขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบคำตอบที่ได้ว่ามีความสมเหตุสมผลหรือไม่ และคำตอบที่ได้นั้นจะต้องมีความถูกต้องตรงตามสิ่งที่โจทย์ถาม จากนั้นเขียนสรุปคำตอบให้สอดคล้องกับโจทย์ปัญหาพร้อมระบุหน่วยให้ถูกต้อง

วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 44(1), 50-64
doi: 10.14456/edkkuj.2020.x

■ วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน (Classroom Action Research) ตามแนวคิดของ Kemmis and McTaggart (Kemmis and McTaggart, 1992 อ้างอิงถึงใน ประสาท เนืองเฉลิม, 2561) โดยมีกระบวนการหลักอยู่ 4 ขั้นตอน คือ ขั้นวางแผน (Plan) ขั้นปฏิบัติ (Act) ขั้นสังเกต (Observe) และขั้นสะท้อนผล (Reflect) แบ่งเป็น 2 วงจรปฏิบัติการ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1. ขั้นตอนการวิจัยเชิงปฏิบัติการ

กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/10 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 ได้มาโดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จากห้องเรียนที่ผู้วิจัยทำหน้าที่จัดการเรียนการสอนรายวิชาฟิสิกส์ในฐานะนิสิตฝึกประสบการณ์วิชาชีพครู จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ พบว่า มีนักเรียนที่มีคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม รายละเอียดดังตารางที่ 1

ตาราง 1

คะแนนเฉลี่ยและจำนวนนักเรียนที่มีคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็มก่อนได้รับการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาโดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ

นักเรียนทั้งหมด (คน)	กลุ่มที่คะแนนผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม		กลุ่มที่คะแนนไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม	
45	จำนวน (คน)	ร้อยละคะแนนเฉลี่ย	จำนวน (คน)	ร้อยละคะแนนเฉลี่ย
	23	82.90	22	39.09

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกนักเรียนที่มีคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม จำนวน 22 คน มาเป็นกลุ่มเป้าหมายในการพัฒนาความสามารถในการการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ให้มีคะแนนผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม ตามนโยบายของโรงเรียนและบันทึกข้อตกข้อตกลง (MOU) การยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างผู้บริหารกับครูผู้สอน

วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 44(1), 50-64
doi: 10.14456/edkkuj.2020.x

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ เรื่อง โมเมนตัมและการชน จำนวน 6 แผน โดยแบ่งเป็น 2 วงจรปฏิบัติการ ดังนี้ วงจรปฏิบัติการที่ 1 ใช้แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1-3 เรื่อง โมเมนตัม แรงและการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัม และการดลและแรงดล และวงจรปฏิบัติการที่ 2 ใช้แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4-6 เรื่อง กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม การชนในหนึ่งมิติ และการดีดตัวแยกออกจากกันในหนึ่งมิติ โดยแผนการจัดการเรียนรู้ได้ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน และมีค่าความเหมาะสมอยู่ระหว่าง 4.33-4.46 ถือว่าแผนการจัดการเรียนรู้ทุกแผนมีความเหมาะสมที่ระดับมาก

2. แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง โมเมนตัมและการชน มีลักษณะเป็นแบบอัตนัยตามกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ จำนวน 2 ชุด ชุดละ 3 ข้อ ใช้สอบหลังสิ้นสุดการจัดการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ โดยแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ได้ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่านและมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างโจทย์ปัญหากับจุดประสงค์เท่ากับ 1.00 ทุกข้อ ถือว่าโจทย์ปัญหาทุกข้อสามารถวัดได้ตรงตามจุดประสงค์การเรียนรู้ และมีค่าความเหมาะสมของเกณฑ์ในการให้คะแนนอยู่ระหว่าง 3.80-4.00 ถือว่าเกณฑ์ในการให้คะแนนมีความเหมาะสมของอยู่ในระดับมาก

3. แบบสังเกตพฤติกรรมการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ มีลักษณะเป็นแบบรูบริค (Rubric) ครอบคลุมประเด็นการแก้โจทย์ปัญหาตามกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ โดยแบบสังเกตพฤติกรรมการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ได้ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่านและมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างพฤติกรรมกับประเด็นการแก้โจทย์ปัญหาอยู่ระหว่าง 0.80-1.00 ถือว่าพฤติกรรมที่สังเกตตรงตามประเด็นการแก้โจทย์ปัญหา

4. แบบสัมภาษณ์นักเรียน มีคำถามครอบคลุมประเด็นการแก้โจทย์ปัญหาตามกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ โดยแบบสัมภาษณ์นักเรียนได้ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่านและมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างข้อคำถามกับประเด็นการแก้โจทย์ปัญหาอยู่ระหว่าง 0.60-1.00 ถือว่าข้อคำถามตรงตามประเด็นการแก้โจทย์ปัญหา

การเก็บรวบรวมข้อมูล

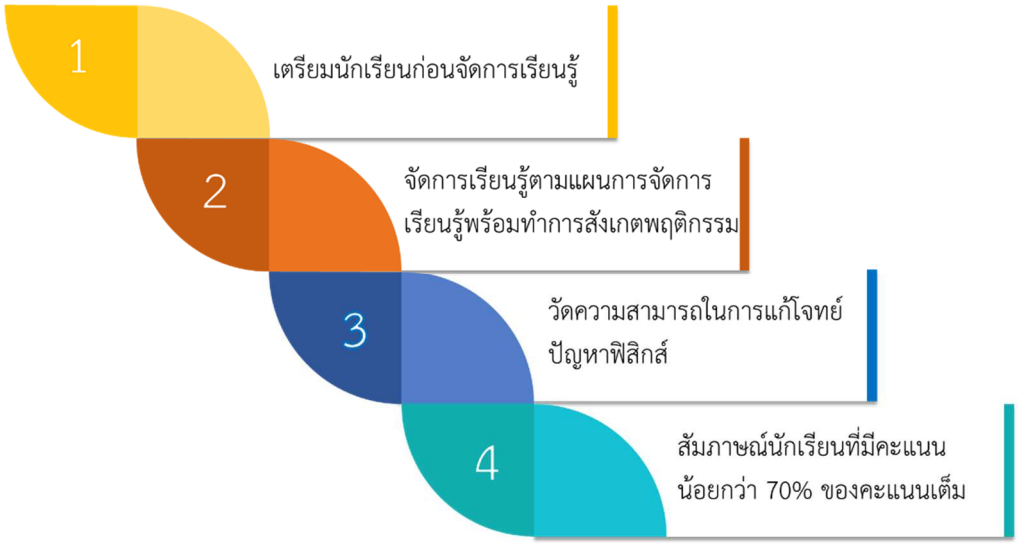
ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยเป็นผู้ดำเนินการจัดการเรียนรู้กับนักเรียนกลุ่มเป้าหมายด้วยตนเอง ตามลำดับขั้นตอน ดังนี้

1. เตรียมนักเรียนก่อนการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนเข้าใจในขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ

2. ดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นในแต่ละวงจรปฏิบัติการ และทำการสังเกตพฤติกรรมนักเรียนโดยใช้แบบสังเกตพฤติกรรมการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

3. เมื่อสิ้นสุดการจัดการเรียนรู้ในแต่ละวงจรปฏิบัติการ ผู้วิจัยดำเนินการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เรื่อง โมเมนตัมและการชน โดยใช้แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

4. สัมภาษณ์นักเรียนที่มีคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ต่ำกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2. ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์คะแนนจากแบบสังเกตพฤติกรรมการแก้โจทย์ปัญหาและคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์จากแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง โมเมนตัมและการชน โดยใช้ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ร้อยละ (%) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เพื่อเทียบกับเกณฑ์ที่ตั้งไว้

2. วิเคราะห์ผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะจากแบบสังเกตพฤติกรรมการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์และแบบสัมภาษณ์นักเรียนโดยการวิเคราะห์เนื้อหา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงการจัดการเรียนรู้ให้ดีขึ้นในวงจรปฏิบัติการต่อไป

■ ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียนเพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง โมเมนตัมและการชน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ให้ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม โดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ จำนวน 2 วงจรปฏิบัติการ พบว่า นักเรียนมีคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เฉลี่ยสูงขึ้นและมีจำนวนนักเรียนที่มีคะแนนผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็มเพิ่มขึ้นในแต่ละวงจรปฏิบัติการ รายละเอียดดังตาราง 2

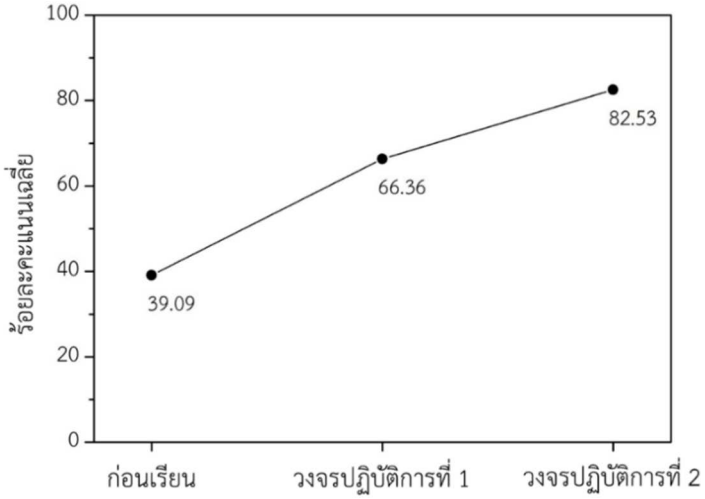
วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 44(1), 50-64
doi: 10.14456/edkkuj.2020.x

ตารางที่ 2

คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาและจำนวนนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะในแต่ละวงจรปฏิบัติการ

ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์	คะแนนเฉลี่ย	S.D.	ร้อยละคะแนนเฉลี่ย	จำนวนนักเรียน			
				ผ่าน	%	ไม่ผ่าน	%
ก่อนเรียน (15 คะแนน)	5.86	2.34	39.09	0	0	22	100
วงจรปฏิบัติการที่ 1 (45 คะแนน)	29.86	8.02	66.36	13	59.09	9	40.91
วงจรปฏิบัติการที่ 2 (45 คะแนน)	37.14	4.04	82.53	21	95.45	1	4.55

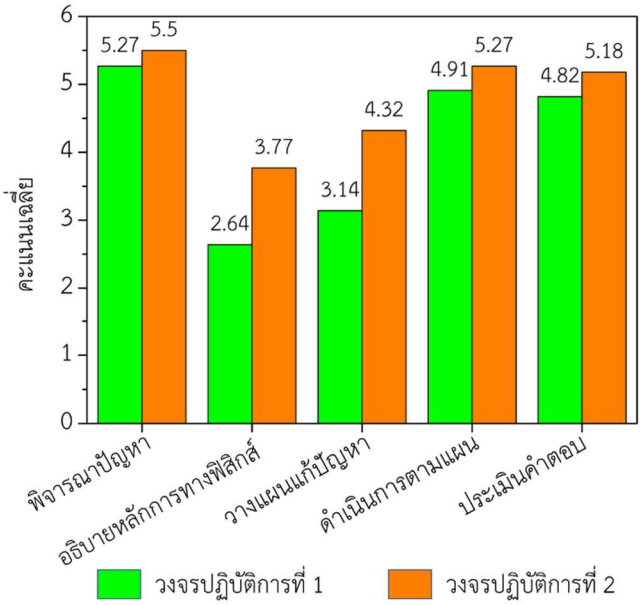
จากตาราง 2 พบว่า ก่อนการจัดการเรียนรู้โดยกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ย 5.86 คะแนน (S.D.=2.34) จากคะแนนเต็ม 15 คะแนนคิดเป็นร้อยละ 39.09 ของคะแนนเต็ม และหลังการจัดการเรียนรู้โดยกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ ในวงจรปฏิบัติการที่ 1 นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ย 29.86 คะแนน (S.D.=8.02) จากคะแนนเต็ม 45 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 66.36 ของคะแนนเต็ม และในวงจรปฏิบัติการที่ 2 นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ย 37.14 คะแนน (S.D.=4.04) จากคะแนนเต็ม 45 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 82.53 ของคะแนนเต็ม จะเห็นว่านักเรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เฉลี่ยสูงขึ้นตามลำดับ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3. ร้อยละของค่าเฉลี่ยคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะในแต่ละวงจรปฏิบัติการ

จากที่ผู้วิจัยได้ทำการสังเกตพฤติกรรมการแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียนขณะที่จัดการเรียนรู้ โดยใช้แบบสังเกตที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นตามกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบรูบริค โดยผู้วิจัยได้ทำการสังเกตวงจรปฏิบัติการละ 3 ครั้ง ตามจำนวนครั้งที่จัดการเรียนรู้ โดยแต่ครั้งจะมีคะแนนเต็ม 2 คะแนนในแต่ละขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหา จากนั้นจึงนำคะแนนทั้ง 3 ครั้งมารวมกัน คะแนนเฉลี่ยของนักเรียนกลุ่มเป้าหมายปรากฏดังภาพที่ 4

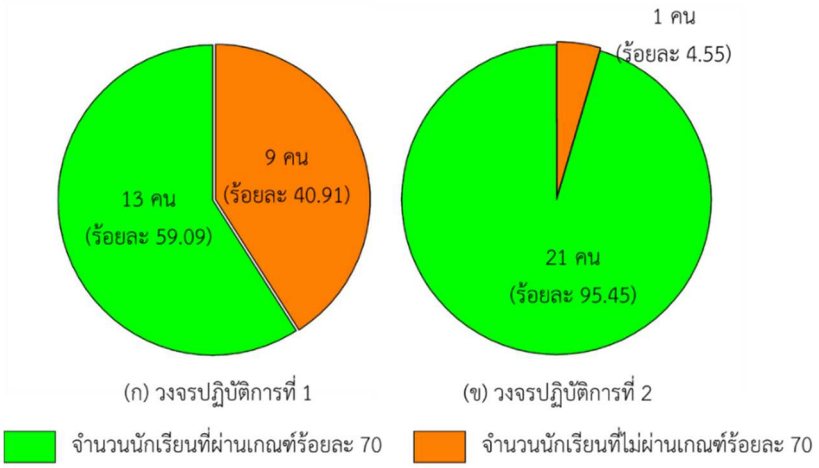
วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 44(1), 50-64
doi: 10.14456/edkkuj.2020.x



ภาพที่ 4. คะแนนเฉลี่ยจากแบบสังเกตพฤติกรรมการแก้โจทย์ปัญหาในแต่ละวงจรปฏิบัติการ

จากภาพที่ 4 แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีปัญหาในขั้นอธิบายหลักการทางฟิสิกส์และขั้นวางแผนแก้ปัญหา และจะเห็นว่าในวงจรปฏิบัติการที่ 2 นักเรียมีพฤติกรรมในการแก้โจทย์ปัญหาดีขึ้นจากวงจรปฏิบัติการที่ 1 ในทุกขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหา แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์สูงขึ้น ทั้งนี้ผู้วิจัยได้การวิเคราะห์เนื้อหาจากแบบสังเกตพฤติกรรมการแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียน สามารถสรุปได้ดังนี้ วงจรปฏิบัติการที่ 1 พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ไม่เขียนอธิบายแนวคิดทางฟิสิกส์โดยจะระบุเพียงสมการที่ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาเท่านั้น และยังเขียนลำดับการแก้โจทย์ปัญหาในขั้นของการวางแผนแก้ปัญหาไม่ละเอียดเท่าที่ควร นอกจากนี้ก็มีนักเรียนบางส่วนที่ไม่สามารถระบุข้อมูลที่โจทย์ให้มาได้ครบถ้วน จำตัวแปรของบางปริมาณไม่ได้ทำให้ไม่สามารถแทนค่าตัวแปรในสมการได้ ทั้งยังมีปัญหาด้านการดำเนินการทางคณิตศาสตร์และไม่สรุปคำตอบที่สอดคล้องกับโจทย์ปัญหา และวงจรปฏิบัติการที่ 2 พบว่า นักเรียนให้ความสำคัญของการเขียนแนวคิดที่ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาและการวางแผนแก้ปัญหามากขึ้น โดยนักเรียนพยายามพยายามค้นคว้าและแลกเปลี่ยนแนวคิดทางฟิสิกส์ที่ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาระหว่างผู้เรียนมากยิ่งขึ้น มีความรอบคอบโดยการตรวจสอบรายละเอียดด้วยตนเอง และตรวจสอบความถูกต้องโดยการสอบถามจากผู้สอนในแต่ละขั้นตอนมากยิ่งขึ้น แต่ยังมีนักเรียนบางส่วนที่ยังเขียนอธิบายแนวคิดที่ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาไม่ครบถ้วนสมบูรณ์และเขียนลำดับการแก้โจทย์ปัญหาในขั้นของการวางแผนแก้ปัญหาไม่ละเอียด

เมื่อพิจารณาจำนวนนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม พบว่า หลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะในวงจรปฏิบัติการที่ 1 มีนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็มจำนวน 13 คน คิดเป็นร้อยละ 59.09 ของนักเรียนทั้งหมดและไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็มจำนวน 9 คน คิดเป็นร้อยละ 40.91 ของนักเรียนทั้งหมด ในวงจรปฏิบัติการที่ 2 มีนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็มจำนวน 21 คน คิดเป็นร้อยละ 95.45 ของนักเรียนทั้งหมด และไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็มจำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 4.55 ของนักเรียนทั้งหมด จะเห็นว่านักเรียนที่มีคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็มมีจำนวนเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5. จำนวนนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์และไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม หลังได้รับรับการจัดการเรียนรู้โดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ ในแต่ละวงจรปฏิบัติการ

นอกจากนนี้ผู้วิจัยได้ทำการสัมภาษณ์นักเรียนทีมีคะแนนจากแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ต่ำกว่าผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็มในแต่ละวงจรปฏิบัติการ ซึ่งจากการวิเคราะห์เนื้อหาของแบบสัมภาษณ์นักเรียนสามารถสรุปได้ดังนี้ วงจรปฏิบัติการที่ 1 นักเรียนยังไม่เข้าใจและไม่เห็นความสำคัญของกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ โดยเฉพาะขั้นตอนการเขียนอธิบายหลักการทางฟิสิกส์และการวางแผนแก้ปัญหา เนื่องจากนักเรียนคิดว่าการแก้โจทย์ปัญหาแบบเดิมที่นักเรียนเคยทำก็สามารถนำไปสู่ผลลัพธ์ได้เช่นเดียวกัน และวงจรปฏิบัติการที่ 2 นักเรียนเข้าใจและเห็นความสำคัญของกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะมากขึ้น โดยพยายามทำทุก ๆ ขั้นตอนและละเอียดมากยิ่งขึ้น

อภิปรายผล

การวิจัยในครั้งนี้ดำเนินการตามขั้นตอนการวิจัยเชิงปฏิบัติการตามแนวคิดของ Kemmis and McTaggart จำนวน 2 วงจรปฏิบัติการ เพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง โมเมนตัมและการชน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ให้ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม โดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

วงจรปฏิบัติการที่ 1 จากการดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นตามกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ และเมื่อสิ้นสุดการจัดการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการที่ 1 ผู้วิจัยได้ทำการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ พบว่า นักเรียนนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ย 29.86 คะแนน (S.D.=8.02) จากคะแนนเต็ม 45 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 66.36 ของคะแนนเต็ม โดยมีนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็มจำนวน 13 คน คิดเป็นร้อยละ 59.09 ของนักเรียนทั้งหมดและไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็มจำนวน 9 คน คิดเป็นร้อยละ 40.91 ของนักเรียนทั้งหมด ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะที่ผู้วิจัยนำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้เป็นวิธีที่เน้นให้นักเรียนแสวงหาคำตอบด้วยตนเอง หรือสร้างความรู้ด้วยตนเองโดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ผ่านกิจกรรมต่าง ๆ ที่น่าสนใจ โดยครูเป็นผู้อำนวยความสะดวกเพื่อให้นักเรียนบรรลุเป้าหมาย ทั้งเป็นส่วนสำคัญที่จะพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียน โดยกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะได้ให้ความสำคัญกับการเขียนแผนภาพแสดงสถานการณ์ของโจทย์ปัญหาเพื่อให้นักเรียนนั้นสามารถเห็นภาพรวมของโจทย์ปัญหาอย่างชัดเจน เพราะการวาดภาพแทนข้อความนั้นจะช่วยให้เข้าใจสิ่งนั้น ๆ มากยิ่งขึ้นโดยเฉพาะข้อความที่เป็นนามธรรมและมีความซับซ้อน นักเรียนยิ่งตีความหมายของโจทย์ได้ยาก ภาพจึงเป็นตัวช่วยสำคัญที่ทำให้นักเรียนเข้าใจข้อความนั้น ๆ มากขึ้น (รมิตา ชื่นเปรมชีพ, พรเทพ จันทราอุกฤษฎ์ และว

รากร เฮ้งปัญญา, 2560) และนอกจากนี้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะยังให้ความสำคัญกับการนำเอาหลักการ แนวคิดหรือทฤษฎีทางฟิสิกส์เข้ามาใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาส่งผลให้นักเรียนเข้าใจมโนทัศน์ทางฟิสิกส์มากยิ่งขึ้น ทั้งยังส่งเสริมให้นักเรียนรู้จักวางแผนในการแก้ปัญหา (เอกวิทย์ ดวงแก้วศรัณย์ , ภิบาลชนม และเชษฐ์ ศิริสวัสดิ์, 2559) ทำให้นักเรียนแก้โจทย์ปัญหาอย่างเป็นระบบแบบแผนและเป็นลำดับขั้นตอน ดังนั้นกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะจึงมีความเหมาะสมกับการแก้โจทย์ปัญหาวิชาฟิสิกส์ (วิรัตน์ ขันเขต, ศรัณย์ ภิบาลชนม์, และกิตติมา พันธ์พฤกษา, 2562) ส่งผลให้นักเรียนกลุ่มเป้าหมายมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ในภาพรวมสูงขึ้น จากที่ผู้วิจัยได้วิเคราะห์เนื้อหาจากการสังเกตพฤติกรรมการแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียนในวงจรปฏิบัติการที่ 1 พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ไม่เขียนอธิบายแนวคิดทางฟิสิกส์โดยจะระบุเพียงสมการที่ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาเท่านั้น และยังเขียนลำดับการแก้โจทย์ปัญหาในขั้นของการวางแผนแก้ปัญหาไม่ละเอียดเท่าที่ควร นอกจากนี้ก็มีนักเรียนบางส่วนที่ไม่สามารถระบุข้อมูลที่โจทย์ให้มาได้ครบถ้วน จำตัวแปรของบางปริมาณไม่ได้ทำให้ไม่สามารถแทนค่าตัวแปรในสมการได้ ทั้งยังมีปัญหาด้านการดำเนินการทางคณิตศาสตร์และไม่สรุปคำตอบที่สอดคล้องกับโจทย์ปัญหา ซึ่งจากผลการสัมภาษณ์นักเรียนสามารถสรุปได้ว่า นักเรียนยังไม่เข้าใจและไม่เห็นความสำคัญของการอธิบายหลักการทางฟิสิกส์และการวางแผนแก้ปัญหาเท่าที่ควร เนื่องจากยังไม่เคยแก้โจทย์ปัญหาด้วยวิธีการนี้มาก่อนและเคยชินกับการแก้ปัญหาแบบเดิม ส่งผลให้นักเรียนบางคนไม่เขียนอธิบายหลักการ แนวคิดหรือทฤษฎีที่ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาและยังเขียนลำดับขั้นตอนในการแก้ปัญหาไม่ละเอียดเท่าที่ควร แต่เมื่อดำเนินการตามแผนมีความละเอียดมากกว่าทำให้คะแนนในขั้นดำเนินการตามแผนสูงกว่าขั้นวางแผนแก้ปัญหาสอดคล้องกับสุธิดา แสนวัง (2562) กล่าวว่า นักเรียนบางส่วนเขียนขั้นตอนการวางแผนแก้ปัญหาไม่ครบทุกขั้นตอน แต่เมื่อดำเนินการตามแผนที่วางไว้กลับสามารถหาคำตอบของโจทย์ปัญหาได้ถูกต้อง เนื่องจากนักเรียนมีการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหาไปพร้อมกัน ทำให้ทราบถึงขั้นตอนที่ไม่ครบถ้วน จึงเพิ่มเติมลงในการดำเนินตามแผนแต่ไม่ได้เพิ่มในขั้นตอนการวางแผนแก้ปัญหา ทำให้นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยให้ขั้นการอธิบายหลักการทางฟิสิกส์และการวางแผนแก้ปัญหายังไม่ดีเท่าที่ควร และเพื่อให้การดำเนินการในวงจรปฏิบัติการที่ 2 บรรลุความมุ่งหมายของการวิจัยที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยจึงได้ปรับปรุงการจัดการเรียนรู้ ดังนี้ 1) ขั้นพิจารณาปัญหา ผู้วิจัยได้เน้นย้ำให้นักเรียนเขียนข้อมูลที่โจทย์ให้มาพร้อมระบุตัวแปรให้ครบทุกตัว และบอกถึงความสำคัญของข้อมูลที่โจทย์กำหนดให้ว่าจะทำให้เราสามารถแทนค่าตัวแปรได้ถูกต้อง และถ้ากลัวระบุไม่ครบนักเรียนก็ควรอ่านโจทย์ซ้ำหลาย ๆ รอบ 2) ขั้นอธิบายหลักการทางฟิสิกส์ ผู้วิจัยได้ปรับกิจกรรมเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนมีค้นคว้าการหลักการ แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับโจทย์ปัญหาโดยใช้คำถาม จากนั้นมีการอภิปรายแลกเปลี่ยนแนวคิดและร่วมกันสรุปแนวคิดที่ถูกต้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้โจทย์ปัญหาต่อไป 3) ขั้นวางแผนแก้ปัญหา ผู้วิจัยได้ปรับกิจกรรมให้นักเรียนมีการอภิปรายแลกเปลี่ยนแนวทางในการแก้ปัญหาและแนะนำให้นักเรียนเขียนขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาตามที่นักเรียนจะทำในขั้นต่อไปอย่างละเอียดทุกขั้นตอนเป็นข้อ ๆ และเมื่อดำเนินการแก้ปัญหาไม่สามารถนำไปสู่คำตอบหรือมีส่วนเพิ่มเติมจากการวางแผนให้นักเรียนวนกลับมาเขียนขั้นตอนการวางแผนให้สอดคล้องกัน 4) ขั้นดำเนินการตามแผน ผู้วิจัยได้แนะนำนักเรียนว่า ถ้านักเรียนเขียนข้อมูลที่ได้จากโจทย์และระบุตัวแปรครบก็จะสามารถแทนค่าตัวแปรได้ถูกต้องพร้อมทั้งระบุตัวแปรของปริมาณต่าง ๆ ในแบบฝึกทักษะเพื่อให้นักเรียนสามารถจดจำตัวแปรต่าง ๆ ได้ดีขึ้น และ 5) ขั้นประเมินคำตอบ ผู้วิจัยได้ปรับกิจกรรมให้มีการอภิปรายแลกเปลี่ยนการสรุปคำตอบของปัญหา และแนะนำให้นักเรียนกลับไปอ่านโจทย์ซ้ำอีกครั้งเพื่อตรวจสอบว่าสิ่งที่ดำเนินการอยู่สอดคล้องกับสิ่งที่โจทย์ถาม

วงจรปฏิบัติการที่ 2 จากที่ผู้วิจัยได้ปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้และได้ดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามแผนที่วางไว้และเมื่อสิ้นสุดการจัดการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการที่ 2 ผู้วิจัยได้ทำการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์โดยใช้แบบวัดที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ย 37.14 คะแนน (S.D.=4.04) จากคะแนนเต็ม 45 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 82.53ของคะแนนเต็ม โดยมีนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะเต็มจำนวน 21 คน คิดเป็นร้อยละ 95.45 ของนักเรียนทั้งหมด และไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็มจำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 4.55 ของนักเรียนทั้งหมด จะเห็นได้ว่าในวงจรปฏิบัติการที่ 2 นักเรียนมีคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เฉลี่ยสูงขึ้นและมีจำนวนนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็มเพิ่มขึ้นจากวงจรปฏิบัติการที่ 1 ซึ่งสอดคล้อง

กับผลการสังเกตพฤติกรรมการแก้โจทย์ปัญหา และจากที่ผู้วิจัยได้วิเคราะห์เนื้อหาจากการสังเกตพฤติกรรมนักเรียนในวงจรปฏิบัติการที่ 2 พบว่านักเรียนให้ความสำคัญของการเขียนแนวคิดที่ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาและการวางแผนแก้ปัญหามากขึ้น มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนกับผู้เรียนและผู้เรียนกับผู้สอนมากยิ่งขึ้น โดยนักเรียนพยายามพยายามค้นคว้าและแลกเปลี่ยนแนวคิดทางฟิสิกส์ที่ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาของตนเองกับผู้อื่น มีความรอบคอบโดยการตรวจสอบรายละเอียดด้วยตนเอง และตรวจสอบความถูกต้องโดยการสอบถามจากครูผู้สอนในแต่ละขั้นตอนมากยิ่งขึ้น และซึ่งจากการสัมภาษณ์นักเรียนสามารถสรุปได้ว่า นักเรียนเข้าใจและเห็นความสำคัญของกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะมากขึ้น โดยพยายามทำทุก ๆ ขั้นตอนและละเอียดมากยิ่งขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากผู้วิจัยได้นำผลการจัดการเรียนรู้และปัญหาในวงจรปฏิบัติการที่ 1 มาปรับปรุงแก้ไขแผนการจัดการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการที่ 2 โดยได้เน้นย้ำและชี้ให้นักเรียนเห็นความสำคัญของการเขียนข้อมูลที่โจทย์ถาม นอกจากนี้ยังฝึกให้นักเรียนรู้จักค้นคว้า แลกเปลี่ยนหลักการ แนวคิดหรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโจทย์ปัญหา รวมถึงแนะนำให้นักเรียนอ่านโจทย์ซ้ำอีกรอบก่อนสรุปคำตอบเพราะจะทำให้นักเรียนได้ตรวจสอบและประเมินคำตอบที่ได้ว่าเป็นสิ่งโจทย์ถามหาและมีหน่วยถูกต้องหรือไม่ ด้วยองค์ประกอบดังกล่าวจึงส่งผลให้นักเรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเพิ่มขึ้น โดยนักเรียนสามารถวาดรูปได้สอดคล้องกับปัญหาและมีการเขียนข้อมูลที่โจทย์ถามหรือโจทย์กำหนดให้ได้อย่างละเอียดและถูกต้องมากขึ้น ให้ความสำคัญกับการอธิบายแนวคิดที่ใช้ในการแก้ปัญหามากขึ้นโดยสามารถเขียนอธิบายแนวคิดได้เชื่อมโยงกับแผนภาพที่เขียน การลำดับขั้นตอนได้อย่างละเอียด ถูกต้องและเข้าใจง่าย ทำให้นักเรียนดำเนินการแก้ปัญหาได้ตามขั้นตอนการดำเนินการที่เขียนและสรุปคำตอบได้ถูกต้องสอดคล้องกับสิ่งที่โจทย์ถาม เมื่อสิ้นสุดวงจรปฏิบัติการที่ 2 พบว่า มีนักเรียนที่มีคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม จำนวน 1 คน ซึ่งสังเกตพฤติกรรมในชั้นเรียนของนักเรียนคนดังกล่าวพบว่า นักเรียนยังให้ความสนใจในการทำกิจกรรมและการทำแบบฝึกหัดค่อยข้างน้อย อาจเป็นเพราะนักเรียนคนดังกล่าวค่อนข้างที่จะเรียนรู้ช้าและอ่อนการคำนวณ อีกทั้งในการจัดการเรียนสอนมีเวลาที่จำกัดและมีนักเรียนจำนวนมากในชั้นเรียน ทำให้ครูผู้สอนตรวจสอบและให้ความช่วยเหลือไม่ทั่วถึงในบางครั้ง ส่งผลให้นักเรียนคนดังกล่าวลอกคำตอบจากเพื่อนแทนการพยายามทำด้วยตนเอง เพื่อให้ทันเพื่อนและทันต่อเวลา การจะพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียนคนนี้นั้น ครูควรที่จะใส่ใจและให้คำแนะนำอย่างละเอียดใกล้ชิดตลอดเวลา ให้เวลามากพอที่จะได้ฝึกคิดพิจารณาพอสมควร จึงจะสามารถพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียนคนดงกล่าวให้สูงขึ้นได้ อย่างไรก็ตามการจัดการเรียนรู้โดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาอย่างมีลำดับขั้นตอนชัดเจน สามารถพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนในสูงขึ้นได้ และจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อนักเรียนได้รับการฝึกฝนอย่างสม่ำเสมอกับสถานการณ์ปัญหาที่หลากหลาย (รมิตา ชื่นเปรมชีพ, พรเทพ จันทราอุกฤษฎ์ และวรากร เฮ้งปัญญา, 2560) จะทำให้นักเรียนได้ความรู้ที่ใช้ในการแก้ปัญหา คุ้นชินกับวิธีการแก้ปัญหาที่ต่างจากประสบการณ์เดิมของนักเรียน สอดคล้องกับงานวิจัยวิรัตน์ ขันเขต, ศรัณย์ ภิบาลชนม์, และกิตติมา พันธ์พฤกษา (2562) ซึ่งได้ทำการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง การเคลื่อนที่แบบหมุน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที 4 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะ ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์คะแนนพัฒนาการผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน ผลการวิจัยพบว่านักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นร้อยละ 51.58 ซึ่งมีพัฒนาการอยู่ในระดับสูง และมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาสูงขึ้นร้อยละ 71.04 ซึ่งมีพัฒนาการอยู่ในระดับสูง

■ บทสรุปจากการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียนเพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง โมเมนตัมและการชน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ให้ผ่านเกณฑ์ โดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ พบว่า นักเรียนกลุ่มเป้าหมายมีคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เฉลี่ยสูงขึ้น และมีจำนวนกลุ่มเป้าหมายที่มีคะแนนผ่านเกณฑ์

ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็มเพิ่มขึ้นในแต่ละวงจรปฏิบัติการ ดังนั้น กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะมีความเหมาะสมที่จะสามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ โดยมีสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละคาบเรียนควรมีระยะเวลาตั้งแต่ 1.5 ชั่วโมงขึ้นไป และควรมีการเตรียมนักเรียนให้เข้าใจถึงวิธีการจัดการเรียนรู้ขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาดังกล่าวและชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาแต่ละขั้นตอน นอกจากนี้ควรใช้วิธีการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวกับเนื้อหาที่เน้นการแก้โจทย์ปัญหาและการคำนวณเป็นหลัก

■ ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. ข้อเสนอแนะทั่วไป

1.1 เนื่องจากเป็นกิจกรรมที่ต้องใช้เวลามากในการทำกิจกรรมแต่ละขั้นตอน ควรเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำกิจกรรมให้พร้อม ชี้แจง ทำความเข้าใจ และกำหนดเวลาให้ชัดเจน เพื่อให้ทำกิจกรรมได้ทันเวลา

1.2 ควรอธิบายขั้นตอนในการแก้โจทย์ปัญหาอย่างละเอียดและยกตัวอย่างประกอบ เพื่อให้นักเรียนได้เข้าใจกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาอย่างชัดเจน โดยเฉพาะขั้นอธิบายหลักการทางฟิสิกส์และวางแผนแก้ปัญหาเพราะเป็นขั้นตอนที่นักเรียนยังไม่คุ้นเคย

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ค่อนข้างน้อย ดังนั้นควรเพิ่มระยะเวลาในการวิจัย เพื่อให้ผู้เรียนเกิดทักษะในการแก้โจทย์ปัญหาอย่างแท้จริงและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.2 ควรมีการสอดแทรกเทคนิคต่าง ๆ ในการจัดการเรียนรูโดยใช้กลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะ อาจส่งเสริมความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียนได้ดียิ่งขึ้น

2.3 ควรนำกลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะไปใช้ในการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหากับเนื้อหาอื่น ๆ หรือกลุ่มเป้าหมายอื่น

■ References

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

กมลชนก ชัยชนะและปกรณ์ ประจันบาน. (2561). การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้การแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์โดยประยุกต์แนวคิดของโรจาส์ เรื่อง การเคลื่อนที่แนวตรง สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปี ที่ 4. *วารสารการวิจัยเพื่อพัฒนาชุมชน (มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์), 11*(3), 130–138.

เกริก ศักดิ์สุภาพ. (2562). การแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 13*(2), 7–21.

ธันยากร ช่วยทุกข์เพื่อน. (2559). การศึกษาข้อบกพร่องของกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ โดยใช้กลวิธี แก้ปัญหาเชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี : กรณีศึกษานักศึกษามหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย. *วารสารวิจัยทางการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 11*(1), 26–35

ประสาท เนืองเฉลิม. (2561). *การวิจัยปฏิบัติการทางการเรียนการสอน.* ขอนแก่น: คลังนานาวิทยา.

รมิตา ชื่นเปรมชีพ, พรเทพ จันทราอุกฤษฎ์ และวรากร เฮ้งปัญญา (2560). ผลของกลยุทธ์การแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. *วารสารอิเล็กทรอนอกส์ทางการศึกษา, 12*(1), 155-171.

วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 44(1), 50-64
doi: 10.14456/edkkuj.2020.x

วิรัตน์ ขันเขต ศรัณย์ ภิบาลชนม์ และกิตติมา พันธ์พฤกษา (2562). การจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 21*(4), 286–300.

สุธิดา แสนวัง. (2562). การพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง ปริมาณสารสัมพันธ์ โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น ร่วมกับเทคนิคการแก้ปัญหาของโพลยา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

อมราลักษณ์ ฤทธิเดช. (2553). *ศึกษาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่สอนโดยใช้กลวิธีแก้ปัญหาเชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์*. วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาเชียงใหม่.

เอกวิทย์ ดวงแก้ว ศรัณย์ ภิบาลชนม และเชษฐ์ ศิริสวัสดิ์. (2559). การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 18*(1), 202-210.

De Jong, T., & Ferguson-Hessler, M. G. M. (1996). Types and qualities of knowledge. *Journal of Educational Psychologist*, *31*(2), 105–113.

Docktor, J. L., Dornfeld, J., Frodermann, E., Heller, K., Hsu, L., Jackson, K. A., Yang, J. (2016). Assessing student written problem solutions: A problem-solving rubric with application to introductory physics. *Physical Review Physics Education Research*, *12*(1), 010130.

Gok, T., & Silay, L. (2008). Effects of Problem-Solving Strategies Teaching on The Problem- Solving Attitudes of Cooperative Learning Groups In Physics Education. *Journal of Theory and Practice in Education*, *4*(2), 253–266.

Heller, K., & Heller, P. (2010). *Cooperative problem solving in physics a user's manual*. Retrieved November 1, 2019, from https://www.aapt.org/Conferences/newfaculty/upload/Coop-Problem-Solving-Book.pdf

Krulik, S. and Rudnick, J. A. (1989). *Problem Solving: A Handbook for Senior High School Teacher*. Boston: Allyn and Bacon.

Mathan, S., & Koedinger, K. (2005). Fostering the Intelligent Novice: Learning From Errors With Metacognitive Tutoring. *Journal of Educational Psychologist*, *40*(4), 257–265.

Niss, M. (2017). Obstacles Related to Structuring for Mathematization Encountered by Students when Solving Physics Problems. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *15*(8), 1441–1462.

Pol, H. J., Harskamp, E. G., Suhre, C. J. M., & Goedhart, M. J. (2008). The effect of hints and model answers in a student-controlled problem-solving program for secondary physics education. *Journal of Science Education and Technology*, *17*(4), 410–425.

Redish, E. F. (1994). The Implications of Cognitive Studies for Teaching Physics. *American Journal of Physics*, *62*(6), 796–803.

วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 44(1), 50-64
doi: 10.14456/edkkuj.2020.x

Redish, E. F., & Kuo, E. (2015). Language of Physics, Language of Math: Disciplinary Culture and Dynamic Epistemology. *Science and Education*, *24*(5–6), 561–590.