มโนมติแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบอุปนัยเสริมด้วยกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา

อรนุช โวหารกล้า และพัดตาวัน นาใจแก้ว*

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี เมือง อุดรธานี 41000

*E-mail: pattawan.na@udru.ac.th

รับบทความ: 7 กุมภาพันธ์ 2561 ยอมรับตีพิมพ์: 16 พฤษภาคม 2561

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบมโนมติแรงและกฎการเคลื่อนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที 4 การวิจัยนี้ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงแบบกลุ่มเดียวทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 1 ห้องเรียน จำนวน 42 คน ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยแผนการจัดการแบบอุปนัยเสริมด้วยกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา จำนวน 9 แผน แบบทดสอบวัดมโนมติแรงและกฎการเคลื่อนที่ซึ่งเป็นข้อสอบแบบตัวเลือก 2 ลำดับขั้น วิเคราะห์โดยใช้เกณฑ์ของ *Costu* et al. (2012) วิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณใช้ค่าเฉลี่ย ความถี่ ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดสอบทีแบบไม่อิสระ การทดสอบของ McNemar และการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยเทคนิคการวิเคราะห์เนื้อหา ผลการวิจัยพบว่านักเรียนมีมโนมติแรงและการเคลื่อนที่หลังเรียน ($\bar{x}$ = 27.69 หรือ 92.30%) สูงกว่าก่อนเรียน ($\bar{x}$ = 5.69 หรือ18.97%) โดยหลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติแรงและการเคลื่อนที่ที่ความเข้าใจสมบูรณ์ (SU) และความเข้าใจบางส่วน (PU) เพิ่มขึ้นและมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน (SM) และไม่เข้าใจ (NU) ลดลงกว่าก่อนเรียน

คำสำคัญ: มโนมติแรงและการเคลื่อนที่ วิธีการสอนแบบอุปนัย กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา ความสามารถในการคิดแก้ปัญหา

Force and Motion Conception of Grade 10 Students Learning through Inductive Instructional Model Supplemented with Polya's Problem Solving Process

Oranood Wohankla and Pattawan Narjaikaew*

Udon Thani Rajabhat University, Muang, Udon Thani 41000, Thailand

*E-mail: pattawan.na@udru.ac.th

Received: 7 February 2017 Accepted: 16 May 2018

Abstract

The purposes of this research were to compare force and motion concept of Matthayomsuksa 4 (grade 10) students. The study was conducted by one–group pretest–posttest design. The samples were 42 grade 10 students in the 1st semester of academic year 2016. A classroom was selected by cluster random sampling technique. The research instruments were 9 lesson plans based on the inductive teaching model supplemented with Polya's problem–solving process, and a two–tier diagnostic test. The student responses to each two–tier test item were categorized following criteria used by Costu et al. (2012). The quantitative data were analyzed by using mean, frequency, percentage, standard deviation, *t*–test for dependent samples, and McNemar's test for significance of change. In addition, content analysis was used for qualitative data. The findings of the study found that after learning, they showed understanding of force and motion concepts ($\bar{x}$ = 27.69 or 92.30%) higher than before learning ($\bar{x}$ =5.69 or 18.97%). In addition, they showed an increase in sound understanding (SU) and partial understanding (PU) of force and motion concepts, whereas they showed a decreased in the specific misconception (SM) and no understanding (NU).

Keywords: Force and motion concept, Inductive teaching model, Polya's problem–solving process, Problem–solving thinking ability

บทนำ

วิชาฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์กายภาพแขนงหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาส่วนประกอบของสสาร และอันตรกิริยาระหว่างส่วนประกอบของสสาร (Bureau of Academic Affairs and Educational Standards, 2014) และยังเป็นพื้นฐานของ

วิทยาศาสตร์สาขาอื่น ๆ เช่น ชีววิทยา เคมี ธรณีวิทยา อุตุนิยมวิทยา ดังนั้นวิชาฟิสิกส์จึงเป็นพื้นฐานสำคัญในการเรียนรู้และการทำความเข้าใจวิชาอื่น ๆ เป็นวิชาที่ช่วยพัฒนาคนให้คิดอย่างมีเหตุผล มีระเบียบขั้นตอนในการคิด สามารถแก้โจทย์ปัญหาได้ นอกจากนั้นยังช่วยสร้างเสริมคุณลักษณะที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตอื่น ๆ เช่น การสังเกต การทดลอง การเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อสรุปเป็นความรู้ใหม่ เป็นทฤษฎี กฎ การเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์จึงมุ่งเน้นให้ผู้เรียนค้นพบความรู้ด้วยตัวเอง สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2005) ได้ระบุถึงเป้าหมายสำคัญของการเรียนการสอนฟิสิกส์ดังนี้ 1) เพื่อให้เข้าใจหลัก การทฤษฎีที่เป็นพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ 2) เพื่อ ให้เข้าใจขอบเขตธรรมชาติและข้อจำกัดของวิทยาศาสตร์ 3) เพื่อให้มีทักษะที่สำคัญในการศึกษาค้นคว้าและคิดค้นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 4) เพื่อพัฒนากระบวนการคิดจินตนาการ ความ สามารถในการแก้ปัญหา และการจัดการทักษะการสื่อสาร และความสามารถในการตัดสินใจ 5) เพื่อให้ตระหนักถึงความสัมพันธ์ระหว่างวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี มวลมนุษย์ และภาวะแวดล้อมในเชิงที่มีอิทธิพลและผลกระทบซึ่งกันและกัน 6) เพื่อนำความรู้ความเข้าใจในเรื่องวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและการดำรงชีวิต 7) เพื่อให้เป็นคนมีจิตวิทยาศาสตร์ มีคุณธรรม จริยธรรม และค่านิยมในการใช้วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีอย่างสร้างสรรค์ ดังนั้นการสอนฟิสิกส์จึงไม่ใช่เพียงเพื่อให้นักเรียนเกิดความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาหลักที่เป็นมโนมติ กฎ และทฤษฎีเท่านั้น แต่ผู้สอนวิชาฟิสิกส์จำเป็นต้องสอนให้นักเรียนเห็นคุณค่าและเกิดทักษะในการคิดแก้ปัญหา จนสามารถนำไป ใช้ในชีวิตประจำวันได้

อย่างไรก็ตาม จากรายงานผลการวิจัยด้านฟิสิกส์ศึกษา พบว่า นักเรียนทั้งระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน อุดมศึกษา หรือแม้กระทั่งครูผู้สอนวิทยาศาสตร์ยังคงมีมโนมติวิทยาศาสตร์คลาดเคลื่อนถึงแม้ว่าจะได้รับการจัดการเรียนรู้ในเนื้อหาเหล่านั้น (Narjaikaew and Jeeravipoonvarn, 2014; Tipjoi and Narjaikaew, 2013) มโนมติแรงและการเคลื่อนที่เป็นมโนมติพื้นฐานสำคัญในรายวิชาฟิสิกส์เพราะเป็นพื้นฐานสำหรับการนำไปใช้อธิบายปรากการณ์ต่าง ๆ ในธรรมชาติ ดังนั้นนักเรียนจึงควรมีมโนมติที่ถูกต้องหรือสอดคล้องกับมโนมติวิทยาศาสตร์ อย่างไรก็ตามนักเรียนนักศึกษาและครูผู้สอนมีมโนมติแรงและการเคลื่อนที่คลาดเคลื่อนในหลายประเด็น (Narjaikaew, 2013) โดยเฉพาะเรื่องกลศาสตร์นิวตัน (Newtonian Mechanics) ซึ่งเป็นเรื่องที่จำเป็นต้องเรียนรู้ให้เข้าใจก่อนเรื่องอื่น ๆ ความเข้าใจที่คาดเคลื่อนโดยทั่วไปเกี่ยวกับมโนมติแรงและการเคลื่อนที่ คือ วัตถุเคลื่อนที่ได้ต้องมีแรงกระทำเสมอ ถ้าไม่มีแรงวัตถุจะไม่เคลื่อนที่ วัตถุที่เบากว่าจะตกถึงพื้นช้ากว่าวัตถุที่หนักกว่า (Halloun and Hestenes, 1985) วัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่าจะออกแรงกระทำมากกว่าต่อวัตถุขนาดเล็กกว่าเสมอ (Clement, 1982; Hestenes *et al*., 1992) วัตถุที่เคลื่อนที่เร็วกว่าจะออกแรงกระทำมากกว่าวัตถุที่เคลื่อนที่ช้ากว่า (Brown, 1989) ในการโยนเหรียญหลังจากเหรียญหลุดออกไปจากมือขณะที่เคลื่อนที่ขึ้นนั้นมีแรงส่งจากมือมากกว่าแรงดึงลงสู่พื้นทำให้เหรียญเคลื่อนที่ขึ้นไปได้ระดับหนึ่ง (Clement, 1982; Gamble, 1989; Shelley and Marjon, 2000)

บทบาทหน้าที่ที่สำคัญของครูที่จัดการ

เรียนรู้ในรายวิชาฟิสิกส์คือการพัฒนากิจกรรมการเรียนการสอนในรายวิชาฟิสิกส์ให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ผ่านกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยซึ่งปฏิบัติการสอนในรายวิชาฟิสิกส์มาเป็นระยะเวลาหนึ่ง พบว่า นักเรียนจำนวนมากที่ไม่อยากเรียนวิชาฟิสิกส์ เมื่อสอบถามนักเรียนเหล่านั้นมีความคิดเห็นค่อนข้างตรงกันคือวิชาฟิสิกส์เน้นแต่การคำนวณ เนื้อหายาก จากการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น ครูผู้สอนกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และการสังเกตพฤติกรรมการเรียนของนักเรียนโดยครูผู้สอน พบว่า นักเรียนขาดความเข้าใจมโนมติฟิสิกส์หลักหลายประเด็น ขาดความกระตือรือร้น ขาดทักษะการคิดแก้ปัญหา ไม่สามารถวิเคราะห์สถานการณ์ที่กำหนดให้ได้ และขาดการเชื่อมโยงเนื้อหาเดิมและเนื้อหาใหม่ ครูผู้สอนใช้วิธีสอนและเทคนิคการสอนไม่หลากหลาย ใช้สื่อการสอนน้อยเกินไป สอนโดยการบรรยายมากกว่าการลงมือปฏิบัติ ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้เองได้น้อย จากการวิเคราะห์ข้อมูลคะแนนผลการทดสอบ (O–net) ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 พ.ศ. 2558 พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยระดับโรงเรียนต่ำว่าระดับประเทศ ผลจากการวิเคราะห์ผู้เรียน พบว่า ยังขาดความเข้าใจมโนมติฟิสิกส์หลัก เชื่อมโยงเนื้อหาเดิมและเนื้อหาใหม่ไม่ได้ และวิเคราะห์สถานการณ์ที่ครูกำหนดให้ไม่ได้

การจัดการเรียนรู้แบบอุปนัยเป็นหนึ่งในวิธีการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่ให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด โดยผู้สอนต้องนำเสนอตัวอย่างหลาย ๆ ตัวอย่างที่มีหลักฐานที่ผู้สอนต้องการเพื่อให้นักเรียนได้เห็นรูปแบบและได้เรียนรู้โดยอาศัยการสังเกตเปรียบเทียบดูสิ่งที่มีลักษณะร่วมกันแล้วสามารถสรุปเป็นความคิดรวบยอดจากตัวอย่างต่าง ๆ ได้ด้วยตนเอง ซึ่งเป็นวิธีการที่มีความสอดคล้องกับกระบวนการสร้างองค์ความรู้ของนักวิทยาศาสตร์เชิงทดลอง และมีงานวิจัยที่นำการจัดการเรียนรู้แบบอุปนัยไปใช้กับนักเรียนแล้วทำให้นักเรียนมีมโนมติฟิสิกส์สูงขึ้น (Narjaikaew *et al*., 2009, 2016) อย่างไรก็ตาม จุดมุ่งหมายของการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาฟิสิกส์คือนักเรียนควรนำองค์ความรู้ที่ได้ไปแก้ปัญหาในสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา (Polya, 1985) ซึ่งเป็นกระบวนการแก้ปัญหาที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนเข้าใจปัญหาอย่างถ่องแท้ มีการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ ทำให้ได้คำตอบที่ถูกต้องหรือผลเฉลยที่เป็นเหตุเป็นผลจากการแก้ปัญหา ขั้นตอนของกระบวนการดังกล่าวมี 4 ขั้น ดังนี้ 1) การทำความเข้าใจปัญหา 2) การวางแผนแก้ปัญหา 3) การดำเนินการตามแผน และ 4) การตรวจย้อนกลับ มีงานวิจัยที่นำการจัดการเรียนรู้แบบอุปนัยไปใช้กับนักเรียนแล้วพบว่า นักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาสูงขึ้น (Arunpeam *et al*., 2013; Frank, 1988; Putt, 1979)

จากความเป็นมาและปัญหาดังกล่าว จึงทำให้ผู้วิจัยต้องการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบอุปนัยเสริมด้วยกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาเพื่อนำมาจัดกิจกรรมการเรียนรู้แก้ปัญหาวิชาฟิสิกส์ให้ประสบความสำเร็จมากยิ่งขึ้น โดยต้องการศึกษาว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบอุปนัยเสริมด้วยกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา ทำให้มโนมติแรงและการเคลื่อนที่หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนหรือไม่ อย่างไร เพื่อนำผลการวิจัยที่ได้มา

เป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบมโนมติแรงและการเคลื่อนที่ก่อนเรียนและหลังเรียน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบอุปนัยเสริมด้วยกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการศึกษาตามรูปแบบการทดลอง ใช้รูปแบบการทดลองกลุ่มเดียวทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน (one–group pretest–posttest design) โดยมีรายละเอียดดังนี้

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนกาฬสินธุ์พิทยาสรรพ์ อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ จำนวน 13 ห้องเรียน จำนวน 488 คน ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 ซึ่งการจัดนักเรียนในแต่ละห้องเรียนเป็นแบบคละความสามารถ

กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 1 ห้องเรียน จำนวน 42 คน ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 โรงเรียนกาฬสินธุ์พิทยาสรรพ์ อำเภอเมือง จังหวัดกาฬสินธุ์ ได้มาจากการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม (cluster random sampling) โดยใช้ห้องเรียนเป็นหน่วยสุ่ม

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แผนการจัดการเรียนรู้โดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบอุปนัยเสริมด้วยกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 9 แผน รวมเวลา 27 ชั่วโมง ในแต่ละแผนผู้สอนต้องนำเสนอตัวอย่างหลาย ๆ ตัวอย่างที่มีหลักฐานเพื่อให้นักเรียนสามารถสรุปเป็นความคิดรวบยอดหรือหลักการ โดยอาศัยการสังเกต การเปรียบเทียบดูสิ่งที่มีลักษณะร่วมกันแล้วสามารถสรุปเป็นความคิดรวบยอดจากตัวอย่างต่าง ๆ ได้ด้วยตนเอง มีขั้นตอนในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ 5 ขั้นตอนและในขั้นตอนที่ 5 ผู้วิจัยได้นำกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยามาใช้ มีการดำเนินการดังนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นเตรียมการ เตรียมความพร้อมผู้เรียน ทบทวนความรู้เดิมหรือเตรียมพื้นฐาน ความรู้ใหม่

1) ครูนำเสนอสถานการณ์เกี่ยวกับเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ประเด็นคำถาม

2) นักเรียนแสดงความคิดเห็นต่อสถานการณ์ และประเด็นคำถาม

3) ครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้เกี่ยวกับเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่ให้นักเรียนทุกคนทราบ

ขั้นที่ 2 ขั้นสอนและเสนอตัวอย่าง เป็นขั้นที่ผู้สอนนำเสนอตัวอย่างหลาย ๆ ตัวอย่างเพื่อให้นักเรียนศึกษา

1) แบ่งกลุ่มนักเรียน กลุ่มละ 4 คน

2) ครูนำเสนอสถานการณ์เกี่ยวกับปรากฏการณ์การเคลื่อนที่แบบที่ 1 ในเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

2.1) นักเรียนศึกษา สังเกต เพื่อรวบรวมข้อมูลว่าในสถานการณ์ที่ 1 นั้น มีข้อมูลอะไรบ้าง ซึ่งครูอาจใช้คำถามเพื่อช่วยให้นักเรียนแต่ละกลุ่มช่วยกันรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง (วัตถุคืออะไร วัตถุเคลื่อนที่หรือไม่ อย่างไร อะไรทำให้วัตถุมีสภาพเช่นนั้น)

2.2) นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอข้อ-

มูลจากปรากฏการณ์ที่ 1 ร่วมกัน

2.3) ครูนำเสนอสถานการณ์เกี่ยวกับปรากฏการณ์การเคลื่อนที่แบบที่ 2 ในเรื่องที่จะเรียน และดำเนินกิจกรรมเป็นเช่นเดียวกับข้อ 2.1–2.2

2.4) ครูนำเสนอสถานการณ์เกี่ยวกับปรากฏการณ์การเคลื่อนที่แบบที่ 3 ในเรื่องที่จะเรียน และดำเนินกิจกรรมเป็นเช่นเดียวกับข้อ 2.1–2.2

ขั้นที่ 3 ขั้นเปรียบเทียบ เป็นขั้นที่ผู้เรียนสังเกต ค้นหา วิเคราะห์ รวบรวม เปรียบเทียบจากตัวอย่างหรือสถานการณ์

1) นักเรียนทั้งชั้นร่วมกันนำเสนอข้อมูลจากทั้ง 3 ตัวอย่างร่วมกัน

2) นักเรียนร่วมกันบอกลักษณะความเหมือนความต่าง หรือองค์ประกอบที่สังเกตได้หรือหลักการที่แฝงอยู่ในตัวอย่างหรือปรากฏการณ์ที่มีร่วมกัน

ขั้นที่ 4 ขั้นสรุป เป็นขั้นที่ให้ผู้เรียนนำข้อสังเกตต่าง ๆ จากตัวอย่างมาสรุปเป็นหลักการ กฎเกณฑ์ หรือนิยามด้วยตัวผู้เรียนเอง

1) นักเรียนรวมกันสรุปลักษณะร่วมของทั้ง 3 ตัวอย่าง เป็นหลักการหรือกฎเกณฑ์ทั่วไป

2) ครูใช้คำถามเพื่อให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงข้อสรุปที่เป็นกฎเกณฑ์ทั่วไปนั้นเชื่อมโยงสู่ตัวแทนความคิดของนักวิทยาศาสตร์ ที่เป็นความสัมพันธ์หรือสมการทางคณิตศาสตร์ในเนื้อหานั้น

ขั้นที่ 5 ขั้นนำไปใช้ ผู้สอนนำเสนอสถานการณ์ปัญหาที่หลากหลายมาให้ผู้เรียนใช้ในการนำความรู้หรือข้อสรุปที่ได้ไปใช้ในการแก้ปัญหา

1) ครูกำหนดสถานการณ์ เหตุการณ์ ปรากฏการณ์

2) นักเรียนแต่ละกลุ่มพิจารณาสถานการณ์ เหตุการณ์ ปรากฏการณ์ ว่าถามอะไร กำหนดข้อมูลอะไรมาให้บ้าง

3) นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันหาสิ่งที่โจทย์กำหนดมาให้ และสิ่งที่โจทย์ต้องการหาร่วมกันวางแผนการแก้ปัญหาโดยเลือกวิธีการแก้ปัญหา

4) นักเรียนแต่ละกลุ่มลงมือแก้โจทย์ปัญหาตามแผนที่แต่ละกลุ่มวางแผนไว้และมีการตรวจสอบแต่ละขั้นย่อย ๆ

5) ครูให้นักเรียนนำเสนอและอภิปรายแนวคิดและวิธีการแก้โจทย์ปัญหาโดยเชื่อมโยงแนวคิดต่าง ๆ ของนักเรียนแล้วร่วมกันตรวจคำตอบ

แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ 9 แผน มีค่าการประเมินวิเคราะห์ความเหมาะสมขององค์ประกอบของแผนการจัดการเรียนรู้จากผู้เชี่ยวชาญ 3 คน ได้ค่าความเหมาะสมอยู่ระหว่าง 4.67–5.00 (ตัวอย่างขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบอุปนัยเสริมด้วยกระบวน การแก้ปัญหาของโพลยาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่แสดงใน *ภาคผนวก ก*)

แบบวัดมโนมติแรงและกฎการเคลื่อนที่เป็นแบบ 2 ระดับ คือระดับที่ 1 เป็นปรนัย 4 ตัวเลือก และระดับที่ 2 เป็นการให้เหตุผลจากการตอบระดับที่ 1 จำนวน 10 ข้อ (แสดงเฉพาะคำถาม ไม่ขอแสดงรูปภาพและตัวเลือกในรายงานนี้) มีค่า IOC มีค่าเท่ากับ 1.00 ทุกข้อค่าความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.38–0.78 และหาค่าอำนาจจำแนก (r) อยู่ระหว่าง 0.20–0.67 ค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับเท่ากับ 0.96 และหาค่าความเชื่อมั่นของการให้คะแนนระหว่างผู้ตรวจ 2 คน เท่ากับ 0.96 (ตัวอย่างแบบวัดมโนมติแรงและกฎการเคลื่อนที่และการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงใน *ภาคผนวก ข*)

แบบวัดมโนมติเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

ข้อ 1. จากข้อมูลจากแถบกระดาษที่ได้จากเครื่องเคาะสัญญาณด้านบน กราฟในข้อใดนำเสนอข้อมูลอัตราเร็วในหนึ่งหน่วยเวลาได้ถูกต้อง

ข้อ 2. จากภาพที่กำหนดให้ เด็กชายทั้งสองคนออกแรงดึงวัตถุเท่ากัน วัตถุจะเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร

ข้อ 3. ขณะที่เรานั่งอยู่บนรถโดยสารที่กำลังเคลื่อนที่ไปบนถนนในแนวเส้นตรง เมื่อคนขับรถ เหยียบเบรกกะทันหัน เกิดอะไรขึ้นกับเรา

ข้อ 4. ออกแรงผลักเลื่อนน้ำแข็งให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นน้ำแข็งซึ่งแรงเสียดทานมีขนาดน้อยมากจนไม่ต้องนำมาคิด แสดงดังภาพ หลังจากที่เลื่อนน้ำแข็งพ้นจากมือของคนออกแรงผลักการเคลื่อนที่ของเลื่อนน้ำแข็งเป็นอย่างไร

ข้อ 5. โยนเหรียญ ๆ หนึ่งขึ้นไปตรง ๆ หลังจากที่เหรียญหลุดมือ เหรียญเคลื่อนที่ขึ้นไปจนถึงจุดสูงสุดมีแรงกระทำต่อเหรียญหรือไม่ อย่างไร ไม่ต้องคำนึงถึงผลเนื่องจากแรงต้านอากาศ

ข้อ 6. เปรียบเทียบความเร่งของรถบรรทุกจากทั้ง 3 กรณี คือ A B และ C เมื่อแท็งก์ที่บรรทุก แต่ละแท็งก์มีขนาดเท่ากันทุกประการ

ข้อ 7. ถ้ารถบรรทุกหนักกว่ารถยนต์มาก ๆ รถทั้งคู่กำลังเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเท่ากันขณะที่ชนกัน ข้อใดต่อไปนี้กล่าวถูกต้อง

ข้อ 8. ลูกบอลเหล็กผูกติดกับเชือกและแกว่งเป็นวงกลมในแนวระนาบ แสดงดังรูปด้านล่าง ณ จุด p เชือกขาดทันทีทันใด เส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอลหลังจากที่เชือกขาดเป็นไปตามข้อใด เมื่อมองดูจากด้านบน

ข้อ 9. ถ้ามีทรงกลม A B และ C ที่ทำมาจากวัสดุชนิดเดียวกันดังภาพ แรงดัน (N) ที่พื้นโต๊ะทำกับวัตถุทั้ง 3 เป็นอย่างไร

ข้อ 10. ถ้าการเคลื่อนที่ในภาพ A B และ C ดังภาพ แรงเสียดทาน (f) และทิศการเคลื่อนที่เป็นไปตามข้อใด

การเก็บรวมรวมข้อมูล

1. ผู้วิจัยดำเนินการประชุมชี้แจงวัตถุประสงค์แก่นักเรียนกลุ่มตัวอย่างและทดสอบก่อนเรียนด้วยการแบบวัดมโนมติแรงและกฎการเคลื่อนที่ก่อนเรียนจำนวน 10 ข้อ

2. จัดกิจกรรมการเรียนการสอนด้วยตนเอง โดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้แบบอุปนัยเสริมด้วยกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาที่สร้างขึ้น จำนวน 9 แผน

3. ทดสอบหลังเรียนด้วยการแบบวัดมโนมติแรงและกฎการเคลื่อนที่ฉบับเดียวกับก่อนเรียน จำนวน 10 ข้อ

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงมโนมติก่อนและหลังเรียน การวิจัยครั้งนี้ใช้เกณฑ์ที่ปรับมาจากงานวิจัยของ Costu *et al*. (2012) ดังในตาราง 1 นำคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนแต่ละคนที่ได้จากการตรวจของผู้ตรวจ 2 คน ตามเกณฑ์ที่ได้จัดทำขึ้น แล้วรวมคะแนนของนักเรียนแต่ละคนมาหาร้อยละคะแนนนักเรียนแต่ละคน ความถี่ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนโดยการทดสอบทีแบบไม่อิสระต่อกัน (*t*–test for dependent samples)

2. เปรียบเทียบความถี่ของมโนมติที่สอดคล้องกับแนวคิดวิทยาศาสตร์รายข้อ ซึ่งมโนมติที่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วยมโนมติในกลุ่ม SU กับ PU และมโนมติที่ไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วยมโนมติในกลุ่ม SM NU และ NR จากก่อนเรียนและหลังเรียนโดยการทดสอบทดสอบของ McNemar

ตาราง 1 การตัดสินมโนมติเสียงตามเกณฑ์ของ Costu *et al*. (2012)

ระดับที่ 1 (ตัวเลือก)	ระดับที่ 2 (การแสดงเหตุผล)	คะแนน	การแปลผล
✓	✓	3	มีความเข้าใจเชิงวิทยาศาสตร์ (sound understanding, SU)
✗	✓	2	มีความเข้าใจบางส่วน (partial understanding, PU)
✓	ไม่ตอบ	2	มีความเข้าใจบางส่วน (partial understanding, PU)
✓	✗	1	มีความเข้าใจคลาดเคลื่อน (specific misconception, SM)
✗	ไม่ตอบ	0	ไม่มีความเข้าใจ (no understanding, NU)
✗	✗	0	ไม่มีความเข้าใจ (no understanding, NU)
ไม่ตอบ	ไม่ตอบ	0	ไม่ตอบ (no response: NR)

ผลการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูลมโนมติแรงและกฎการเคลื่อนที่ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่า จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน เท่ากับ 5.69 มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.27 คิดเป็นร้อยละ 18.97 และมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 27.69 มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.85 คิดเป็นร้อยละ 92.30 เมื่อนำมาเปรียบเทียบโดยการทดสอบทีแบบไม่อิสระต่อกัน พบว่า นักเรียนมีมโนมติแรงและกฎการเคลื่อนที่หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ($p < 0.01$) (ตาราง 2)

ตาราง 2 เปรียบเทียบมโนมติแรงและกฎการเคลื่อนที่ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนโดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบอุปนัยเสริมด้วยกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

การทดสอบ	คะแนนเฉลี่ย	SD	ร้อยละ	*t*
ก่อนเรียน	5.69	3.27	18.97	28.89**
หลังเรียน	27.69	1.85	92.30	

**แตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

เพื่อพิจารณาว่ามีการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้าใจมโนมติแรงและการเคลื่อนที่ก่อนและหลังเรียนอย่างไร ความถี่ของนักเรียนที่มีความเข้าใจมโนมติแต่ละระดับ (SU PU SM NU NR) จากแบบวัดมโนมติทั้ง 10 ข้อ ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยการแจกแจงแบบตารางไขว้ (crosstab) ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงใน *ภาคผนวก ค* จากนั้นเปรียบเทียบความถี่ของมโนมติที่สอดคล้องกับแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU และ PU) และมโนมติที่ไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (SM NU และ NR) จากก่อนเรียนและหลังเรียน ผลการทดสอบของ McNemar แสดงในตาราง 3

ตาราง 3 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้าใจมโนมติระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยการทดสอบของ McNemar

ข้อที่	ก่อนเรียน	หลังเรียน		รวม	χ^2
		มโนมติที่ไม่สอดคล้อง	มโนมติที่สอดคล้อง		
1.	มโนมติที่ไม่สอดคล้อง	0 (0.0%)	27 (64.3%)	27 (64.3%)	27.00*
	มโนมติที่สอดคล้อง	0 (0.0%)	15 (35.7%)	15 (35.7%)	
	รวม	0 (0.0%)	42 (100%)	42 (100%)	
2.	มโนมติที่ไม่สอดคล้อง	0 (0.0%)	29 (69.0%)	29 (69.0%)	29.00*
	มโนมติที่สอดคล้อง	0 (0.0%)	13 (31.0%)	13 (31.0%)	
	รวม	0 (0.0%)	42 (100%)	42 (100%)	
3.	มโนมติที่ไม่สอดคล้อง	0 (0.0%)	35 (83.3%)	35 (83.3%)	35.00*
	มโนมติที่สอดคล้อง	0 (0.0%)	7 (16.7%)	7 (16.7%)	
	รวม	0 (0.0%)	42 (100%)	42 (100%)	
4.	มโนมติที่ไม่สอดคล้อง	0 (0.0%)	38 (90.5%)	38 (90.5%)	38.00*
	มโนมติที่สอดคล้อง	0 (0.0%)	4 (9.5%)	4 (9.5%)	
	รวม	0 (0.0%)	42 (100%)	42 (100%)	
5.	มโนมติที่ไม่สอดคล้อง	0 (0.0%)	29 (69.0%)	29 (69.0%)	29.00*
	มโนมติที่สอดคล้อง	0 (0.0%)	13 (31.0%)	13 (31.0%)	
	รวม	0 (0.0%)	42 (100%)	42 (100%)	
6.	มโนมติที่ไม่สอดคล้อง	0 (0.0%)	33 (78.6%)	33 (78.6%)	33.00*
	มโนมติที่สอดคล้อง	0 (0.0%)	9 (21.4)	9 (21.4)	
	รวม	0 (0.0%)	42 (100%)	42 (100%)	
7.	มโนมติที่ไม่สอดคล้อง	0 (0.0%)	38(90.5%)	38(90.5%)	38.00
	มโนมติที่สอดคล้อง	0 (0.0%)	4 (9.5%)	4 (9.5%)	
	รวม	0 (0.0%)	42 (100%)	42 (100%)	
8.	มโนมติที่ไม่สอดคล้อง	0 (0.0%)	33 (78.6%)	33 (78.6%)	33.00*
	มโนมติที่สอดคล้อง	0 (0.0%)	9 (21.4)	9 (21.4)	
	รวม	0 (0.0%)	42 (100%)	42 (100%)	
9.	มโนมติที่ไม่สอดคล้อง	0 (0.0%)	33 (78.6%)	33 (78.6%)	33.00*
	มโนมติที่สอดคล้อง	0 (0.0%)	9 (21.4)	9 (21.4)	
	รวม	0 (0.0%)	42 (100%)	42 (100%)	
10.	มโนมติที่ไม่สอดคล้อง	0 (0.0%)	35 (83.3%)	35 (83.3%)	35.00*
	มโนมติที่สอดคล้อง	0 (0.0%)	7 (16.7%)	7 (16.7%)	
	รวม	0 (0.0%)	42 (100%)	42 (100%)	

*แตกต่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตาราง 3 แสดงค่าสถิติทดสอบ Chi–square test แสดงว่า ระดับมโนมติแรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบอุปนัยเสริมด้วยกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาก่อนเรียนและหลังเรียนมีการเปลี่ยนแปลง ($p < 0.05$) โดยหลังเรียนนักเรียนมีการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้าใจมโนมติที่ไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไปสู่ความเข้าใจที่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

อภิปรายผลการวิจัย

การที่นักเรียนมีความเข้าใจมโนมติแรงและกฎการเคลื่อนที่หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และหลังเรียนนักเรียนมีความเข้าใจมโนมติเสียงที่ความเข้าใจสมบูรณ์ (SU) และความเข้าใจบางส่วน (PU) เพิ่มขึ้น และมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน (SM) และไม่เข้าใจ (NU) ลดลงกว่าก่อนเรียน ทั้งนี้อาจเป็นผลนักเรียนได้เป็นผู้สร้างความรู้หรือสรุปความคิดรวบยอดของเนื้อหาที่เรียนโดยอาศัยการสังเกต คุณสมบัติ หรือลักษณะร่วมกันของตัวอย่างต่าง ๆ โดยเป็นตัวอย่างที่นักเรียนสามารถสังเกตและรวบรวมข้อมูลจากประจักษ์พยาน และนำข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างย่อย ๆ เหล่านั้น มาเปรียบเทียบดูสิ่งที่มีลักษณะร่วมกัน ทำให้นักเรียนได้เห็นรูปแบบ (pattern) ของข้อมูล แล้วสามารถสรุปเป็นความคิดรวบหรือหลักการได้ โดยครูผู้สอนมีบทบาทในการวางแผนเลือกตัวอย่างและจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมกับเนื้อหาและเวลาในแต่ละแผนและใช้คำถามเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลหรือข้อเท็จจริงที่ได้จากตัวอย่างย่อย ๆ มาสร้างเป็นความคิดรวบยอด หลักการ หรือกฎได้ โดยกระบวนการจัดกิจกรรมดังกล่าวนั้นในกระบวนการนำเสนอตัวอย่าง ข้อมูลหรือข้อเท็จจริงที่นักเรียนต้องรวบรวมมาเปรียบเทียบกันได้จากการทำการทดลอง ซึ่งกระบวนการดังกล่าวมีความสอดคล้องกับกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ของนักวิทยาศาสตร์เชิงทดลอง ซึ่งโดยมีลำดับขั้นตอนที่สำคัญตั้งแต่การให้นักเรียนได้ทบทวนความรู้เดิมก่อนที่จะมีการนำเสนอตัวอย่าง ซึ่งเป็นการเตรียมความพร้อมตามกฎการเรียนรู้ของธอร์นไดค์ จากนั้นนักเรียนใช้วิธีการสืบเสาะหาความรู้โดยการวิเคราะห์ปรากฏการณ์ตัวอย่างจำนวนหนึ่งเพื่อหาข้อสรุปเป็นความคิดรวบยอดได้ โดยการให้รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อที่จะลงข้อสรุปจนสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของข้อมูลว่าอะไรเป็นสาเหตุ (cause) ที่ส่งผลให้เกิดสิ่งที่คุณลักษณะ/คุณสมบัติที่แสดงออกมา (effect) นำไปสู่ผลสรุปเป็นกรณีทั่วไป ซึ่งเนื้อหาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่นี้ นักเรียนสามารถเข้าใจที่มาของกฎการเคลื่อนที่ที่นำเสนอในรูปสมการได้จากข้อมูลที่รวบรวมมาจากปรากฏการณ์ตัวอย่างที่สังเกตจากตอนต้น จากนั้นเป็นการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในเหตุการณ์ในชีวิตประจำวันหรือแก้ปัญหา จะเห็นได้ว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบอุปนัยเสริมด้วยกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาเป็นการฝึกให้นักเรียนเป็นผู้สร้างความรู้ด้วยตนเองผ่านกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้แบบ constructivism โดยผู้เรียนมีกระบวนการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม ซึ่งประกอบด้วยกลไกพื้นฐาน 2 อย่าง คือ การดูดซึมเข้าสู่โครงสร้าง (assimilation) และการปรับโครงสร้าง (accommodation) ในกรณีที่ผู้เรียนประสบปัญหาที่ต้องแก้ การดูดซึมเข้าสู่โครงสร้าง ก็คือ ความสามารถในการตี

ความปัญหาหรือจัดปัญหาให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถแก้ได้ด้วยมโนมติหรือวิธีการเดิมที่มีอยู่ ส่วนการปรับโครงสร้างก็คือความสามารถในการหาวิธีใหม่หรือคำอธิบายใหม่มาแก้หรือตีความปัญหา เมื่อวิธีเดิมหรือมโนมติเดิมที่มีอยู่ไม่สามารถแก้ปัญหาที่ประสบอยู่ได้ (Piaget, 1969) และในระหว่างการสร้างความรู้ นักเรียนยังได้ร่วมมือกันในการทำกิจกรรม เพื่ออภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นสรุปความรู้เพื่อที่นำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาได้อย่างถูกต้อง ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี social constructivism ของ Vygotsky ซึ่งมีแนวคิดที่สำคัญที่ว่า "ปฏิสัมพันธ์ทางสังคมมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาด้านพุทธิปัญญา" รวมทั้งแนวคิดเกี่ยวกับศักยภาพในการพัฒนาด้านพุทธิปัญญาที่อาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับช่วงของการพัฒนาที่เรียกว่า zone of Proximal Deขvelopment ถ้าผู้เรียนอยู่ต่ำกว่า zone of Proximal development จำเป็นต้องได้รับการช่วยเหลือในการเรียนรู้ผ่านกระบวนการเรียนรู้โดยมีการแลกเปลี่ยนแนวคิดกับเพื่อน ครูผู้สอน รวมทั้งการนำเสนอเนื้อหาที่มีลำดับขั้นตอนที่เหมาะสมที่เรียกว่า scaffolding และ Vygotsky เชื่อว่าผู้เรียนสร้างความรู้โดยผ่านทางการมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคมกับผู้อื่น ทำให้ผู้เรียนได้รับการฝึกฝนการคิดเชิงเหตุผลอย่างมีระบบได้เรียนรู้ขั้นตอนการทำงานที่เกี่ยวกับจิตวิทยาอย่างแท้จริงและจดจำได้ยาวนาน (Lardizabal *et al*., 1970) ช่วยให้ผู้เรียนได้ทั้งเนื้อหาความรู้และกระบวนการคิด เป็นวิธีการที่ฝึกให้ผู้เรียนได้พัฒนาทักษะการสังเกต ให้คิดอย่างมีตรรกะและเป็นวิทยาศาสตร์และหลักวิทยาศาสตร์ สรุปด้วยตนเองอย่างมีเหตุผล อันจะเป็นเครื่องมือสำคัญของการเรียนรู้ซึ่งใช้ได้ดีกับการสอนวิทยาศาสตร์ (MolKham and MolKham, 2004) ผลการวิจัยในครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mourad (2005) ที่พบว่านักเรียนกลุ่มที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการสอนแบบอุปนัยมีการให้เหตุผลเชิงอุปนัยได้ดีกว่ากลุ่มควบคุม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Haight *et al*., 2007) ที่พบว่าผู้เรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยวิธีสอนแบบอุปนัยมีคะแนนหลังเรียนแต่ละครั้งของเนื้อหาแตกต่างจากเนื้อหาที่ได้รับการจัดการเรียนการสอนด้วยวิธีนิรนัย ซึ่งผลที่พบแสดงให้เห็นว่าผู้เรียนที่ได้รับจัดการเรียนการสอนด้วยวิธีสอนแบบอุปนัยสามารถจดจำเนื้อหาได้นาน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Narjaikaew, *et al*. (2009, 2016) ที่นำการจัดการเรียนรู้แบบอุปนัยไปใช้กับนักเรียนแล้วพบว่านักเรียนมีมโนมติฟิสิกส์สูงขึ้น

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเพื่อนำผลการวิจัยไปใช้

1. ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบอุปนัยเสริมด้วยกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาไปใช้ครูผู้สอนต้องเตรียมจำนวนเหตุการณ์หรือตัวอย่างที่จะนำเสนอในขั้นที่ 2 ให้เหมาะสมกับเวลาในแต่ละแผน เพราะตัวอย่างบางเรื่องต้องใช้เวลานานโดยเฉพาะตัวอย่างที่เป็นการทดลองเพื่อให้นักเรียนสามารถสรุปความคิดรวบยอดได้

2. การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบอุปนัยเสริมด้วยกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาในขั้นเปรียบเทียบ นักเรียนที่เรียนปานกลางและเรียนอ่อนอาจไม่กล้าแสดงความคิดเห็นและไม่กล้านำเสนอ เนื่องจากขาดความมั่นใจในตัวเอง ดังนั้นครูผู้สอนควรส่งเสริมให้นักเรียนในกลุ่มได้ผลัดเปลี่ยนกันนำเสนอทุกคน เพื่อช่วยให้ครูผู้สอนได้ตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียน ทำให้ทราบ

ปัญหาและข้อบกพร่องในการเรียนรู้ของนักเรียนและช่วยเหลือแก้ไขได้ทันท่วงที

3. การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบอุปนัยเสริมด้วยกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาในขั้นนำไปใช้ นักเรียนที่เรียนเก่งสามารถแก้โจทย์ปัญหาตามขั้นตอนได้ถูกต้องและทำเสร็จเร็วกว่าเวลาที่กำหนด ครูควรให้นักเรียนกลุ่มดังกล่าวช่วยเพื่อนคนอื่นในกลุ่ม ซึ่งเป็นการส่งเสริมให้นักเรียนรู้จักช่วยเหลือซึ่งกันและกัน

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรศึกษาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบอุปนัยเสริมด้วยกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในระดับชั้นอื่น ๆ หรือในเรื่องอื่นที่มีลักษณะการรวบรวมข้อมูลที่เป็นข้อเท็จจริงจากเหตุการณ์/ปรากฏการณ์ก่อนการนำเสนอหลักการ กฎ หรือ สมการ ที่เป็นตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์

2. ควรศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบอุปนัยเสริมด้วยกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาเกี่ยวกับตัวแปรด้านอื่น ๆ เช่น ทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เจตคติทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากในกระบวนการรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปสู่ข้อสรุปความรู้สำคัญนั้นนักเรียนต้องมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการศึกษาจากโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) และมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

เอกสารอ้างอิง

Arunpeam, R., Narjaikaew, P. and Vallakitkasemsakul,S. (2013). **The Effects of 5Es Learning Cycle Supplemented with Predict–Observe–Explain Technique and Polya's Problem Solving Process on Physics Achievement and Problem Solving Thinking Abilities of Matthayomsuksa 5 Students.** (Unpublished master's thesis). Udon Thaini Rajabhat University, Udon Thani, Thailand. (in Thai)

Brown, D. E. (1989). Students' concept of force: The importance of understanding Newton's third law. **Physics Education** 24: 353–358.

Bureau of Academic Affairs and Educational Standards. (2014). **Learning Activities with Scientific Inquiry**. Bangkok: Aksornthai. (in Thai)

Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. **American Journal of Physics** 50(1): 66–71.

Costu, B.; Ayas, A.; and Niaz, M. (2012). Investigating the effectiveness of a POE–based teaching activity on students' understanding of condensation. **Instruction Science** 40: 47–67.

Frank, M. L. (1988). Problem solving and mathematical beliefs. **Arithmetic Teacher** 35(5): 32–34.

Gamble, R. (1989). Force. **Physics Education** 24: 79–82.

Haight, C. E., Herron, C., and Steven, P. C. (2007). The Effects of deductive and guided inductive instructional approaches on the learning of grammar in the elementary foreign language college class room. **Foreign Language Annals** 40(2): 288–310.

Halloun, I. A., and Hestenes, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. **American Journal of Physics** 53(11):1043–1048.

Hestenes, D., and Wells, M. (1992). A mechanics baseline test. **The Physics Teacher** 30(3): 159–166.

Lardizabal, A., Bustos, A., Bucu, L., and Tangco, M. (1970). **Methods and Principles of Teaching**. Quezon City: Alemar–Phoenix.

Mourad, N.M. (2005). **Inductive Reasoning in the Algebra Classroom**. (Unpublished Doctoral Dissertation) California, USA: San Jose State University.

Molkham, S. and Molkham, O. (2004). **21 Learning Management Method for Develop the Thinking Process.** Bangkok: Pappim. (in Thai)

Narjaikaew, P., and Jeeravipoonvarn, V. (2014). Using inquiry–based learning supplemented with predict–observe–explain and analogy teaching strategies enhancing electric DC circuit conceptions of elementary school teachers. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning** 5(1): 1–10. (in Thai)

Narjaikaew, P., Emarat, N., Arayathanitkul, K. and Cowie, B. (2009). Magnetism teaching sequences based on an inductive approach for first–year Thai university science students. **International Journal of Science and Mathematics Education** 8(5): 891–910.

Narjaikaew, P. (2013). Alternative conceptions of primary school teachers of science about force and motion. **Procedia – Social and Behavioral Sciences** 88: 250–257.

Narjaikaew, P., Jeeravipoonvarn, V., and Pongpisanou, K. and Lamb, D. (2016). Designing inductive instructional activities in a teacher training program to enhance conceptual understandings in science for Thai science and non–science teachers. **Universal Journal of Educational Research** 4(6): 1366–1377.

Piaget, J. (1969). **The Origins of Intelligence in Children**. New York: W.W. Norton.

Polya, G. (1985). **How to solve it?** 2nd ed. Princeton, NJ: Princeton University.

Putt, J. (1979). **An Exploratory Investigation of Methods of Instruction in Mathematical Problem Solving at the Fifth Grade Level**. (Unpublished Doctoral Dissertation). Indiana, USA: Indiana University.

The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology [IPST]. (2005). **Published Expand Result and Training**

Documentation about Leaning and Teching Inquiry (5Es) Model. Bangkok: Khurusapaladpao. (in Thai)

Tipjoi, W., and Narjaikaew, P. (2013). The effect of short–course training program on scientific concepts of the primary school non–science teacher. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning** 4(2): 143–156. (in Thai)

Shelley, Y., and Marjan, Z. (2000). Newton, we have a problem. **Australian Science Teachers Journal** 46(1): 9–17.

ภาคผนวก ก ตัวอย่างขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบอุปนัยเสริมด้วยกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่

1. เตรียมการหรือเตรียมความพร้อม

1.1 นำเสนอชุดทดลองเครื่องเคาะสัญญาณว่าทำอย่างไร (เครื่องเคาะสัญญาณเวลาเป็นอุปกรณ์ที่ใช้หาอัตราเร็วของวัตถุ เมื่อต่อเครื่องเคาะสัญญาณเวลาเข้ากับความต่างศักย์ 4–6 โวลต์ ของหม้อแปลงโวลต์ต่ำ จะทำให้คันเคาะสั่นด้วยความถี่เท่ากับความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้คือ 50 ครั้งต่อวินาที เมื่อดึงแถบกระดาษที่สอดใต้กระดาษคาร์บอนจะทำให้เกิดจุดต่าง ๆ เรียงกันบนแถบกระดาษ จุดเหล่านี้ช่วยให้ทราบระยะทางกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ เพราะเวลาระหว่างจุด 2 จุดที่เรียงกัน เท่ากับ 1/50 วินาที ข้อมูลเวลาและระยะทางช่วยให้วิเคราะห์หาอัตราเร็วได้

1.2 ครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนให้นักเรียนทุกคนทราบ

2. ขั้นเสนอตัวอย่าง นำภาพจากแถบกระดาษมาทีละชุด มาแปลความหมายตั้งแต่ระยะทางเปลี่ยนไปอย่างไร

2.1 ครูแบ่งกลุ่มนักเรียนกลุ่มละ 4 คน โดยให้นักเรียนทำกิจกรรมที่ 1–3 ดังนี้

1) ตอนที่ 1 ปริมาณที่เกี่ยวกับอัตราเร็วการเคลื่อนที่ ให้แล้วเสร็จภายในเวลาที่กำหนด โดยเขียนวัสดุอุปกรณ์ จุดประสงค์ และผลการสังเกตจากการทำกิจกรรม โดยมีกิจกรรมดังนี้

1.1) ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มวางแผนการดำเนินกิจกรรมที่ 1 จากอุปกรณ์เครื่องเคาะสัญญาณเวลา และให้นักเรียนแต่ละกลุ่มออกแรงดึงแถบกระดาษคาร์บอน ผ่านเครื่องด้วยอัตราเร็วช้า ๆ เปรียบเทียบกับผลที่เกิดจากการดึงอย่างเร็ว

1.2) ครูกระตุ้นให้นักเรียนแต่ละกลุ่มสังเกตแถบกระดาษที่ดึงออกมา โดยครูใช้คำถามสำคัญเพื่อช่วยให้นักเรียนรู้จุดประสงค์ของการทำกิจกรรมว่าจะได้เรียนรู้อะไรจากการทำกิจกรรม

2) หลังจากที่นักเรียนทุกกลุ่มทำกิจกรรมตอนที่ 1 เสร็จเรียบร้อยแล้ว ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มรับใบกิจกรรม ตอนที่ 2 วัตถุเคลื่อนที่ได้อย่างไร

2.1) ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มวางแผนดำเนินกิจกรรมที่ 2 จากอุปกรณ์เครื่องเคาะสัญญาณเวลา และให้นักเรียนนำถุงทรายที่มีขนาดต่างกัน 2 ถุงห้อยตรงปลายแถบกระดาษคาร์บอนแล้วปล่อย

2.2) ครูกระตุ้นให้นักเรียนแต่ละกลุ่มสังเกต วัตถุเคลื่อนที่ได้อย่างไร โดยครูใช้คำถามสำคัญเพื่อช่วยให้นักเรียนรู้จุดประสงค์ของการทำกิจกรรมว่าจะได้เรียนรู้อะไรจากการทำกิจกรรม

2.2 นักเรียนแต่ละกลุ่มดำเนินการสำรวจตรวจสอบปริมาณที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ จากอุปกรณ์ที่กำหนดให้ พร้อมบันทึกผลการสำรวจ

3. ขั้นเปรียบเทียบ นำข้อมูลที่เป็นแถบกระดาษจากข้างต้นมาเปรียบเทียบ ความเร็ว และความเร่ง

3.1 นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอผลการสำรวจจากกิจกรรมทั้ง 3 ตอน โดยนำผลแต่ละตอนติดไว้บนผนัง เพื่อให้นักเรียนแต่ละกลุ่มเดินดูผลการสำรวจของแต่ละกลุ่ม

3.2 ให้นักเรียนเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการศึกษาจากตัวอย่างที่แต่ละกลุ่มได้ศึกษาในแต่ละตอนว่าได้เรียนรู้อะไร

1) ปริมาณที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่

เมื่อนำแถบกระดาษจากกิจกรรมที่ 1 → ระยะทาง อัตราเร็ว เป็นอย่างไร (ระยะห่างระหว่างจุดที่ดึงกระดาษอย่างช้า ๆ ห่างกันน้อยกว่ากรณีที่ดึงกระดาษอย่างเร็ว เมื่อดึงกระดาษด้วยอัตราเร็วคงที่ระยะห่างระหว่างจุดต่อหนึ่งด้วยเวลาห่างกันคงที่)

2) วัตถุเคลื่อนที่ได้อย่างไรภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก

เมื่อนำแถบกระดาษจากกิจกรรมที่ 2 → ระยะห่างระหว่างจุดที่เกิดบนแถบกระดาษที่ห้อยกับมวลขนาดต่างกัน 2 อัน เป็นอย่างไรบ้าง (ระยะห่างระหว่างจุดบนแถบกระดาษจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยระยะห่างระหว่างจุดบนแถบกระดาษที่ห้อยกับมวลมากกว่าจะห่างมากกว่าที่ห้อยกับมวลน้อยกว่า)

4. ขั้นสรุป สรุป เป็นอัตราเร็ว และอัตราเร่งด้วยกราฟ

ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปข้อมูลตามกรอบแนวคิดที่ได้และอภิปรายสรุปกฎเกณฑ์เป็นนิยาม หลักการ จากกิจกรรมดังนี้

4.1 นำผลการสังเกตสรุปองค์ความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ ดังนี้

1) จากการเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างจุดที่เกิดบนแถบกระดาษที่ดึงด้วยอัตราเร็วต่างกัน เป็นอย่างไรบ้าง (ระยะห่างระหว่างจุดที่ดึงกระดาษอย่างช้า ๆ ห่างกันน้อยกว่ากรณีที่ดึงกระดาษอย่างเร็ว เมื่อดึงกระดาษด้วยอัตราเร็วคงที่ระยะห่างระหว่างจุดต่อหนึ่งด้วยเวลาห่างกันคงที่)

2) จากการเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างจุดที่เกิดบนแถบกระดาษที่ห้อยกับมวลขนาดต่างกัน 2 อัน เป็นอย่างไรบ้าง (ระยะห่างระหว่างจุดบนแถบกระดาษจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยระยะห่างระหว่างจุดบนแถบกระดาษที่ห้อยกับมวลมากกว่าจะห่างมากกว่าที่ห้อยกับมวลน้อยกว่า)

3) กรณีที่นำถุงทรายมาห้อยกับแถบกระดาษ มีแรงเข้ามาเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่หรือไม่ อย่างไร (มี แรงที่โลกดึงถุงทราย)

4.2 ครูนำสรุปว่า ปริมาณที่ทำให้ความเร็วของการเคลื่อนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดหรือทิศทางในหนึ่งหน่วยเวลา เรียกว่า วัตถุมีการเคลื่อนที่ด้วย “ความเร่ง” จากนั้นนำเสนอคำถาม ดังนี้

1) ความเร่ง สัมพันธ์กับความเร็วอย่างไร (เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง)

2) วัตถุที่ความเร็วที่คงที่เกิดความเร่งหรือไม่ (ความเร่งเท่ากับศูนย์)

3) สาเหตุที่ทำให้วัตถุเกิดอัตราเร่ง คืออะไร (แรง)

4) วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่มีแรงกระทำอย่างไร (แรงกระทำมีค่าเท่ากับศูนย์)

4.3 ครูนำอภิปรายเพื่อเสนอกราฟความเร็วกับเวลาและความเร่งกับเวลาของแถบกระดาษ

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความเร็วขณะหนึ่ง (v) กับเวลา (t) มีลักษณะเป็นเส้นตรงแสดงว่าขนาดความเร็วขณะหนึ่งแปรผันตรงกับเวลา

1) ความชันของกราฟ คือ ความเร่งเฉลี่ย นั่นเอง

2) ความเร่งในการเคลื่อนที่ของถุงทรายคือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

3) เมื่อแรงกระทำต่อวัตถุมีทิศทางเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุจะทำให้วัตถุเคลื่อนที่เร็วขึ้น

4) เมื่อมีแรงที่มีทิศทางตรงข้ามกับทิศการเคลื่อนที่มากระทำต่อวัตถุจะทำให้วัตถุเคลื่อนที่ช้าลง

5. ขั้นนำไปใช้ นำข้อค้นพบมาเสนอเป็นสูตร และนำไปอธิบายแก้โจทย์ปัญหา

5.1 ครูนำเสนอแนวคิดวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ ที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการอธิบายเกี่ยว-กับแรงและการเคลื่อนที่ในประเด็นเพิ่มเติมที่เป็นเชิงกฎเกณฑ์ สัญลักษณ์ สูตร/สมการ ดังนี้

ปัจจัยที่ใช้อธิบายปริมาณที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ ประกอบด้วย ระยะทางและช่วงเวลาที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ นักเรียนสรุปเป็นสมการ $V_{av} = \frac{s}{t}$ จากนั้นครูให้นักเรียนคำนวณหาอัตราเร็วและความเร็ว และความเร็วของการเคลื่อนที่มีค่าไม่สม่ำเสมอ เพราะระยะห่างระหว่างจุดบนแถบกระดาษมีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดการเคลื่อนที่ กล่าวได้ว่าการเคลื่อนที่นี้เป็นการเคลื่อนที่แบบมีความเร่ง นักเรียนสรุปเป็นสมการ $a_{av} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ จากนั้นครูให้นักเรียนคำนวณหาอัตราเร่งและความเร่ง เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุ แล้ววัตถุมีการเคลื่อนที่จะทำให้วัตถุมีความเร็วเปลี่ยนไป ซึ่งอาจเปลี่ยนเฉพาะขนาดของความเร็วหรือเปลี่ยนเฉพาะทิศทางของความเร็ว หรือเปลี่ยนทั้งขนาดและทิศทางของความเร็วก็ได้ เรียกการเปลี่ยนความเร็วของวัตถุว่า การเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ จึงอาจกล่าวได้อีกแบบหนึ่งว่า แรงสามารถทำให้วัตถุเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่

5.2 ครูกำหนดสถานการณ์เกี่ยวกับเรื่องแรงและกฎการเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันโดยให้นักเรียนระบุกรอบหรือแนวคิดที่ใช้การแก้ปัญหา วิธีการแก้ปัญหา และคำตอบของปัญหา ดังต่อไปนี้

1) พิจารณาสถานการณ์ ว่าถามอะไร กำหนดข้อมูลอะไรมาให้บ้าง

2) แต่ละกลุ่มร่วมกันหาสิ่งที่โจทย์กำหนดมาให้ และสิ่งที่โจทย์ต้องการหา ร่วมกันวางแผนการแก้ปัญหาโดยเลือกวิธีการแก้ปัญหา

3) แต่ละกลุ่มลงมือแก้โจทย์ปัญหาตามแผนที่แต่ละกลุ่มวางแผนไว้และมีการตรวจสอบแต่ละขั้นย่อย ๆ

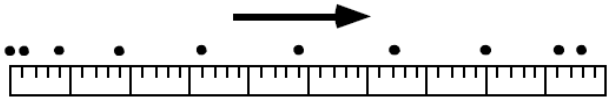
4) นำเสนอและอภิปรายแนวคิดและวิธีการแก้โจทย์ปัญหาโดยเชื่อมโยงแนวคิดต่าง ๆ ของนักเรียนแล้วร่วมกันตรวจคำตอบ

5.3 นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันทำแบบฝึกหัดเรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่

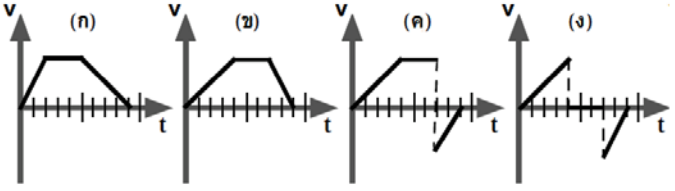
5.4 ครูและนักเรียนร่วมกันเฉลยแบบฝึกหัดเกี่ยวกับเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ กรอบหรือแนวคิดที่ใช้ในการแก้ปัญหา วิธีการแก้ปัญหา และคำตอบของปัญหา

ภาคผนวก ข ตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบวัดมโนมติแรงและกฎการเคลื่อนที่

มโนมติแรงและกฎการเคลื่อนที่ข้อ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่



จากข้อมูลจากแถบกระดาษที่ได้จากเครื่องเคาะสัญญาณด้านบน กราฟในข้อใดนำเสนอข้อมูลอัตราเร็วในหนึ่งหน่วยเวลาได้ถูกต้อง (Hestenes and Wells, 1992)



เหตุผล .....

ภาคผนวก ค ตัวอย่างคำตอบนักเรียนที่มีมโนมติในระดับ NR NU SM PU SU ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

รหัส	ก่อนเรียน			หลังเรียน		
		เลือก	เหตุผล		เลือก	เหตุผล
S16	NU	✗	ไม่ตอบ	PU	✗	ความเร็วของการเคลื่อนที่ไม่สม่ำเสมอ (✓)
S2	NU	✗	มีความถี่ตามอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ (✗)	SU	✓	ความเร็วเคลื่อนที่จากช้าไปเร็วจากนั้นคงที่และลดลง(✓)
S1	PU	✗	ความเร็วของการเคลื่อนที่ไม่สม่ำเสมอ(✓)	SU	✓	ความเร็วของการเคลื่อนที่ไม่สม่ำเสมอ (✓)
S14	SU	✓	ความเร็วช้าและเริ่มเร็วขึ้นจากนั้นเริ่มคงที่และลดลงเรื่อย ๆ (✓)	SU	✓	ความเร็วของการเคลื่อนที่ไม่สม่ำเสมอ (✓)

การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงมโนมติแรงและกฎการเคลื่อนที่ข้อ 1 ในประเด็นแรงและการเคลื่อนที่ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบอุปนัยเสริมด้วยกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา

		หลังเรียน				รวม	ทิศทางการเปลี่ยนมโนมติ		
		NU	SM	PU	SU		+	0	-
ก่อนเรียน	NU	0	0	12	14	26	26	0	0
	SM	0	0	0	0	0	0	0	0
	PU	0	0	2	5	7	5	2	0
	SU	0	0	2	7	9	0	7	2
รวม		0	0	0	16	26	31	9	2