มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

THE UPPER SECONDARY SCHOOL STUDENTS' MISCONCEPTION OF FORCE AND MOTION

Received: April19, 2020 Revised: May 30, 2020 Accepted: June16, 2020

กิตติมา พันธ์พฤกษา[1*]
Kittima Panprueksa[1*]
[*]Corresponding Author, E-mail: kittima@go.buu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ของโรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2561 จำนวน 90 คน ซึ่งได้มาด้วยวิธีการสุ่มแบบกลุ่ม ระดับชั้นละ 1 ห้องเรียน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือแบบวัด Force Concept Inventory (FCI) ซึ่งเป็นแบบวัดมาตรฐาน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ย และร้อยละ

ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีมโนทัศน์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่เฉลี่ยร้อยละ 30.81 โดยมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงคู่กิริยา/ปฏิกิริยา มากที่สุด (ร้อยละ 24.58) รองลงมาคือการเรียงต่อกันของอิทธิพลอื่นๆ (ร้อยละ 22.50) แรงขับดันภายใน (ร้อยละ 20.58) จลศาสตร์ (ร้อยละ 20.49) แรงกระทำ (ร้อยละ 16.90) และมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับอิทธิพลอื่นๆ ต่อการเคลื่อนที่น้อยที่สุด (ร้อยละ 14.81)

คำสำคัญ: มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน แรงและการเคลื่อนที่นักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

Abstract

The purpose of this research was to study upper secondary school students' misconception of force and motion. The samples were 90 upper secondary school students who were studying in the first semester of 2018 academic year at a school in Chonburi Province using cluster sampling technique, one class from each grade. The research instrument was Force Concept Inventory (FCI) which is a standardized test. Data were analyzed by mean and percentage.

[1] อาจารย์ ดร., คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

The results indicated that the percentage of students' conceptionof force and motion was 30.81%, which misconception in the topic of Action/reaction pairs was the most (24.58%) followed by Concatenation of influences (22.50%), Impetus (20.58%), Kinematics (20.49%), Active forces (16.90%), and misconception in the topic of Other influences of motion was the least (14.81%).

Keywords: Misconception, Force and Motion, Upper Secondary School Students

บทนำ

การจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์มีเป้าหมายหนึ่งที่สำคัญ คือ ให้ผู้เรียนเข้าใจหลักการ ทฤษฎี และกฎที่เป็นพื้นฐานในวิชาวิทยาศาสตร์ และสามารถนำความรู้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมและการดำรงชีวิตประจำวันได้ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) ซึ่งมโนทัศน์เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ โดยเฉพาะเรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน เป็นพื้นฐานของการเรียนกลศาสตร์ในระดับอุดมศึกษา หากนักเรียนขาดความรู้ความเข้าใจเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ ก็อาจพบปัญหาในการเรียนกลศาสตร์ ทำให้กลศาสตร์เป็นสิ่งที่ไร้ความหมาย (Hestenes, Wells, & Swackhamer, 1992)

จากการศึกษาผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O-NET) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในปีการศึกษา 2558-2560 พบว่าในสาระที่ 4 แรงและการเคลื่อนที่ นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 28.59, 28.84 และ 29.84 ตามลำดับ (สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ (องค์การมหาชน) [สทศ.], 2559; สทศ., 2560; สทศ., 2561) และเมื่อพิจารณาคะแนนในสาระที่ 4 ของนักเรียนในโรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี ปีการศึกษา 2557-2559 พบว่ามีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 26.97, 31.82 และ 34.57 ซึ่งเป็นสาระที่มีคะแนนเฉลี่ยน้อยที่สุดเกือบทุกปีการศึกษา จากผลการประเมินนี้แสดงให้เห็นว่า นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ อยู่ในระดับที่ไม่น่าพอใจ ซึ่งสาเหตุประการหนึ่งอาจมาจากการขาดความเข้าใจมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ หรือมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ทำให้ไม่สามารถนำความรู้พื้นฐานไปวิเคราะห์ แก้ปัญหา และประยุกต์ใช้กับสถานการณ์ต่างๆ ได้ (Panprueksa, Phonphok, Boonprakob, & Dahsah, 2012)

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน(Misconception) เป็นความรู้ความเข้าใจที่ได้จากประสบการณ์ส่วนตัวของแต่ละบุคคลซึ่งไม่สอดคล้องกับมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ (Halloun & Hestenes, 1985) สามารถปรับให้เกิดความถูกต้องได้ยาก และเมื่อเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแล้วจะคงอยู่กับผู้เรียนเป็นเวลานาน ซึ่งหากไม่ทำการแก้ไข มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนก็จะส่งผลต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ทำให้ผู้เรียนเกิดการยอมรับมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ในระดับมโนทัศน์ที่สูงขึ้นลดลง (Treagust & Duit, 2008) ดังนั้นการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่ได้ผลจะต้องมุ่งเน้นให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจและมีมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง ถ้าผู้เรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในเรื่องใด ผู้สอนจะต้องวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนนั้นและเสนอมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องให้แก่ผู้เรียน

การจัดการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ในปัจจุบันพบว่าใช้วิธีการสอนแบบบรรยาย ส่งผลให้นักเรียนเรียนด้วยความไม่เข้าใจ และเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (Panprueksaet al., 2012;Fadaei & Mora, 2015) จากการศึกษางานวิจัยพบว่า นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ และแต่ละคนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในบริบทที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ในหลายประเด็นดังนี้ ถ้าวัตถุเคลื่อนที่แสดงว่า มีแรงกระทำถ้าวัตถุไม่เคลื่อนที่แสดงว่าไม่มีแรงกระทำ วัตถุที่หนักกว่าจะตกถึงพื้นเร็วกว่าวัตถุที่เบาความโน้มถ่วงเป็นแรงขับดันภายในของวัตถุที่

ตกลงสู่พื้นโลก (Halloun & Hestenes, 1985) วัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่เป็นเพราะมีแรงคงที่มากระทำวัตถุที่ตกภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกจะมีความเร่งเพิ่มขึ้น (Panprueksa et al., 2012) วัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่าจะออกแรงกระทำมากกว่าวัตถุที่มีขนาดเล็ก (Hesteneset al., 1992) แรงปฏิกิริยาของน้ำหนักของวัตถุคือแรงที่พื้นกระทำกับวัตถุ เมื่อโยนวัตถุขึ้นในแนวดิ่งขณะที่วัตถุเคลื่อนที่พ้นมือไปแล้วยังคงมีแรงจากการโยนกระทำต่อวัตถุ (ขจรศักดิ์ บัวระพันธ์, เพ็ญจันทร์ ชิงห์, และวรรณทิพา รอดแรงค้า, 2548)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่องแรง และการเคลื่อนที่ ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้กรอบการวิเคราะห์ข้อมูลตามอนุกรมวิธานของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของแบบวัด Force Concept Inventory (FCI) (Halloun, Hake, Mosca, & Hestenes, 1995) เพื่อตรวจสอบว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนหรือไม่และในประเด็นใด ซึ่งจะสามารถเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับผู้สอนในการวางแผนแก้ไขมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน และปรับปรุงการจัดการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนมีมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

ขอบเขตการวิจัย

การศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย มีขอบเขตของการวิจัย ดังนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2561 จำนวน 12 ห้องเรียน รวมทั้งสิ้น 364 คน โดยแต่ละห้องเรียนมีการจัดนักเรียนแบบคละความสามารถ ประกอบด้วย

- นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 4 ห้องเรียน รวม 133 คน
- นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 4 ห้องเรียน รวม 115 คน
- นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 4 ห้องเรียน รวม 116 คน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2561 ระดับชั้นละ 1 ห้องเรียน รวม 90 คน ซึ่งได้มาโดยวิธีการสุ่มแบบกลุ่ม (Custer Sampling) ประกอบด้วย

- นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 1 ห้องเรียน รวม 33 คน
- นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 1 ห้องเรียน รวม 28 คน
- นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 1 ห้องเรียน รวม 29 คน

2. ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่

วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

3. เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ใช้เนื้อหาเรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ครอบคลุม 6 มโนทัศน์ของนิวตัน ซึ่งประกอบด้วย 1) จลศาสตร์ 2) กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 13) กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 4) กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 5) หลักการรวมแรง และ 6) ชนิดของแรงตามโครงสร้างของแบบวัด Force Concept Inventory (FCI) (Hallounet al., 1995)

4. ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการเก็บข้อมูลในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2561

วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้ใช้แบบวัด Force Concept Inventory (FCI) เป็นเครื่องมือในการวิจัย ซึ่งเป็นแบบวัดที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Hesteneset al. (1992) เพื่อประเมินความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับกลศาสตร์นิวตัน และได้ทำการปรับปรุงในปี ค.ศ. 1995 (Halloun et al., 1995) ซึ่งถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายเพื่อประเมินมโนทัศน์ของนิวตัน มีลักษณะเป็นแบบเลือกตอบ 5 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ โดยแต่ละข้อมีมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง 1 ตัวเลือก และมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน 4 ตัวเลือก ซึ่งมีโครงสร้างของข้อสอบแบ่งตามมโนทัศน์ของนิวตัน 6 มโนทัศน์ ประกอบด้วย 1) จลศาสตร์ 2) กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 13) กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 24) กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 35) หลักการรวมแรง และ 6) ชนิดของแรง แสดงดังตารางที่ 1

นอกจากนี้ Halloun et al. (1995) ได้เสนออนุกรมวิธานของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของแบบวัด FCI ซึ่งวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของตัวลวงแต่ละข้อจำแนกได้ 6 มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ประกอบด้วย 1) จลศาสตร์ 2) แรงขับดันภายใน3) แรงกระทำ 4) แรงคู่กิริยา/ปฏิกิริยา 5) การเรียงต่อกันของอิทธิพลอื่น ๆ และ 6) อิทธิพลอื่น ๆต่อการเคลื่อนที่ แสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งจะใช้เป็นกรอบในการวิเคราะห์และจำแนกมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนในการวิจัยครั้งนี้

การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย มีขั้นตอนในการพัฒนาดังนี้

1. ติดต่อขออนุญาตใช้แบบวัด FCI ของ Halloun et al. (1995) ซึ่งเป็นแบบเลือกตอบ 5 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ มีค่าความเชื่อมั่นโดยใช้สูตร KR-20 เท่ากับ0.80

2. ดำเนินการแปลแบบวัด FCI เป็นภาษาไทย

3. นำแบบวัด FCI ฉบับภาษาไทย ไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้านฟิสิกส์ศึกษาและภาษาอังกฤษ จำนวน 5 ท่าน ตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และความเหมาะสมของภาษา แล้ววิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 0.60-1.00 และปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญในส่วนของความถูกต้องของภาษา และความถูกต้องตามหลักการทางฟิสิกส์เพื่อให้แบบวัด FCI มีความถูกต้องสมบูรณ์มากขึ้น

4. นำแบบวัด FCI ไปทดลองใช้กับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 45 คน ประกอบด้วย นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4, 5 และ 6 ระดับชั้นละ 15 คน

5. นำแบบวัด FCI มาตรวจให้คะแนน โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนแบบถูก 1 ผิด 0 แล้วนำมาวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่นของคูเดอร์ ริชาร์ดสัน (Kuder Richardson) โดยใช้สูตร KR-20 ได้แบบวัดที่มีค่าความเชื่อมั่น 0.75

6. จัดพิมพ์แบบวัด FCI ฉบับสมบูรณ์เพื่อนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลต่อไป

ตารางที่ 1 มโนทัศน์ของนิวตันของแบบวัด FCI (Halloun et al., 1995)

มโนทัศน์	ข้อสอบที่ประเมิน (ตัวเลือกที่ถูกต้อง)
1. จลศาสตร์	
ความเร็วต่างจากตำแหน่ง	19(E)
ความเร่งต่างจากความเร็ว	20(D)
ความเร่งคงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบพาราโบลา	12(B), 14(D), 21(E)
การเปลี่ยนอัตราเร็ว	22(B)
การรวมกันแบบเวกเตอร์ของความเร็ว	9(E)
2. กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1	
กรณีไม่มีแรงกระทำ	6(B), 7(B), 8(B), 11(D)
ทิศทางของความเร็วคงที่	23(B)
อัตราเร็วคงที่	10(A), 24(A)
กรณีแรงหักล้างกัน	17(B), 25(C)
3. กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2	
แรงดล	8(B), 9(E)
แรงคงที่ทำให้ความเร่งคงที่	21(E), 22(B), 26(E)
4. กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3	
สำหรับแรงดล	4(E), 28(E)
สำหรับแรงต่อเนื่อง	15(A), 16(A)
5. หลักการรวมแรง	
การรวมแบบเวกเตอร์	8(B), 9(E)
การหักล้างของแรง	11(D), 17(B), 25(C)
6. ชนิดของแรง	
6S. การสัมผัสกับของแข็ง	
กรณีอยู่นิ่ง	11(D), 29(B)
กรณีเกิดการดล	5(B), 18(B)
กรณีมีการต้านการเคลื่อนที่	27(C)
6F. การสัมผัสกับของไหล	
กรณีมีแรงต้านอากาศ	30(C)
6G. ความโน้มถ่วง	3(C), 5(B), 11(D), 12(B), 13(D), 17(B), 18(B), 29(B), 30(C)
ความเร่งไม่ขึ้นกับน้ำหนัก	1(C), 2(A)
เส้นทางการเคลื่อนที่แบบพาราโบลา	12(B), 14(D)

ตารางที่ 2 อนุกรมวิธานของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของแบบวัด FCI (Halloun et al., 1995)

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน	ข้อสอบที่ประเมิน (ตัวเลือก)
1. จลศาสตร์ (Kinematics: K)	
K1. ไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างตำแหน่งกับความเร็วได้	19(B,C,D)
K2. ไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างความเร็วกับความเร่งได้	19(A), 20(B,C)
K3. การรวมกันของความเร็วไม่เป็นเวกเตอร์	9(C)
K4. การใช้กรอบอ้างอิงของตนเอง	14(A,B)
2. แรงขับดันภายใน (Impetus: I)	
I1. แรงขับดันภายในได้จากการตี	5(C,D,E), 11(B,C), 27(D), 30(B, D, E)
I2. การสูญเสีย/ได้รับแรงขับดันภายในเดิม	7(D), 8(C,E), 21(A), 23(A,D)
I3. การสูญเสียแรงขับดันภายใน	12(C, D), 13(A, B, C), 14(E), 23(D), 24(C, E), 27(B)
I4. การเพิ่ม/ลดลงของแรงขับดันภายในที่สร้างขึ้น	8(D), 10(B, D), 21(D), 23(E), 26(C),27(E)
I5. แรงขับดันภายในเชิงวงกลม	5(C,D,E), 6(A), 7(A,D), 18(C,D)
3. แรงกระทำ (Active Forces: AF)	
AF1. เฉพาะผู้ให้แรงกระทำเท่านั้นที่ออกแรง	15(D), 16(D), 17(E), 18(A), 28(B),30(A)
AF2. มีการเคลื่อนที่แสดงว่ามีแรงกระทำ	5(C, D, E), 27(A)
AF3. ไม่มีการเคลื่อนที่แสดงว่าไม่มีแรงกระทำ	29(E)
AF4. ความเร็วแปรผันตามแรงที่กระทำ	22(A), 26(A)
AF5. มีความเร่งแสดงว่ามีแรงกระทำเพิ่มขึ้น	3(B)
AF6. แรงเป็นสาเหตุที่เร่งให้เกิดความเร็วปลาย	3(A), 22(D), 26(D)
AF7. แรงกระทำหมดไป	22(C,E)
4. แรงคู่กิริยา/ปฏิกิริยา (Action/Reaction Pairs)	
AR1. มวลมากจะออกแรงกระทำมาก	4(A,D), 15(B), 16(B), 28(D)
AR2. สิ่งที่ออกแรงกระทำมากที่สุดจะให้แรงมากที่สุด	15(C), 16(C), 28(D)
5. การเรียงต่อกันของอิทธิพลอื่นๆ (Concatenation of Influences)	
CI1. แรงที่มากที่สุดกำหนดการเคลื่อนที่	17(A, D), 25(E)
CI2. แรงลัพธ์กำหนดการเคลื่อนที่	6(D), 7(C), 12(A), 14(C), 21(C)
CI3. แรงสุดท้ายที่กระทำกำหนดการเคลื่อนที่	8(A), 9(B), 21(B), 23(C)

ตารางที่ 2 อนุกรมวิธานของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของแบบวัด FCI (Halloun et al., 1995) **(ต่อ)**

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน	ข้อสอบที่ประเมิน (ตัวเลือก)
6. อิทธิพลอื่นๆ ต่อการเคลื่อนที่ (Other Influences on Motion)	
CF. แรงหนีศูนย์กลาง	5(E), 6(C, D, E), 7(C, D, E), 18(E)
Ob. สิ่งกีดขวางไม่ออกแรงกระทำ	4(C), 5(A), 11(A, B), 15(E), 16(E), 18(A), 29(A)
ความต้านทาน	
R1. มวลทำให้วัตถุหยุด	27(A, B)
R2. มีการเคลื่อนที่เมื่อแรงเอาชนะความต้านทาน	25(A, B, D), 26(B)
R3. ความต้านทานมีทิศตรงข้ามกับแรง/แรงขับดันภายใน	26(B)
ความโน้มถ่วง	
G1. ความดันอากาศช่วยความโน้มถ่วง	3(E), 11(A), 17(D), 29(C), 29(D)
G2. ความโน้มถ่วงเป็นลักษณะธรรมชาติของมวล	3(D), 11(E), 13(E), 29(C)
G3. วัตถุที่หนักกว่าจะตกเร็วกว่า	1(A), 2(B, D)
G4. ความโน้มถ่วงเพิ่มขึ้นขณะวัตถุตก	3(B), 13(B)
G5. ความโน้มถ่วงจะกระทำหลังแรงขับดันภายในหมดลง	12(D), 13(B), 14(E),

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวบข้อมูลในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2561 โดยดำเนินการดังนี้

1. ทำหนังสือถึงผู้อำนวยการโรงเรียน เพื่อขออนุญาตเก็บข้อมูลวิจัย

2. นัดหมายวันเวลาในการทำแบบวัด FCI ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

3. นำแบบวัด FCI ไปให้กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 90 คน ดำเนินการสอบ

4. ตรวจแบบวัด FCI ของนักเรียนแต่ละคน โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนแบบถูก 1 ผิด 0 เพื่อวิเคราะห์มโนทัศน์เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ของนักเรียน

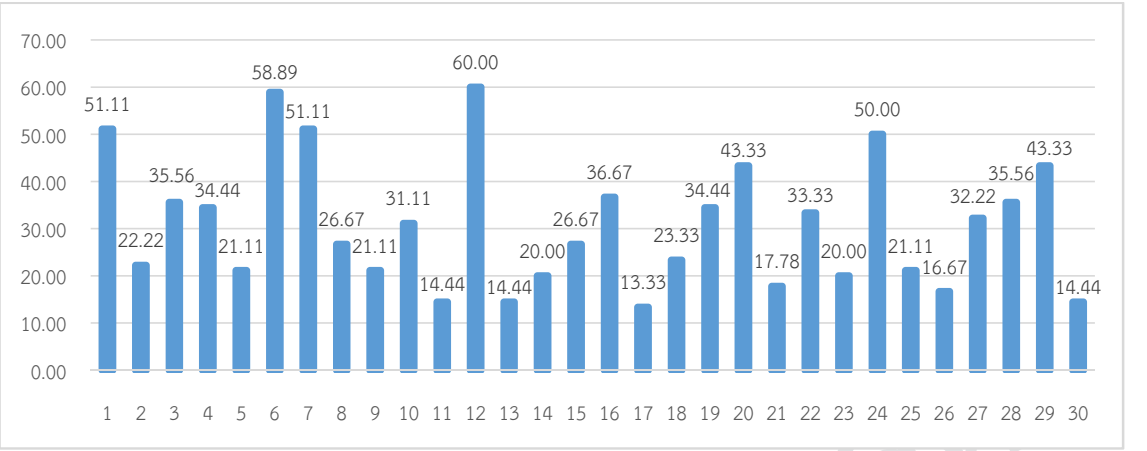
5. วิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง ตามอนุกรมวิธานของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของแบบวัด FCI (Halloun et al., 1995)โดยใช้ค่าเฉลี่ย และร้อยละ

ผลการวิจัย

การศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย สามารถนำเสนอผลการวิจัย ได้ดังนี้

1. ผลการวิเคราะห์มโนทัศน์ เรื่องแรงและการเคลื่อนที่พบว่า นักเรียนมีมโนทัศน์เฉลี่ยร้อยละ 30.81 โดยร้อยละของจำนวนนักเรียนที่ตอบถูกต้องในแต่ละข้อ แสดงดังภาพที่ 1

วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา



ภาพที่ 1 ร้อยละของจำนวนนักเรียนที่ตอบถูกต้องรายข้อ

จากภาพที่ 1 พบว่า นักเรียนมีมโนทัศน์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ถูกต้องร้อยละ 50 ขึ้นไปจำนวน 5 ข้อ ประกอบด้วยข้อ 12, 6, 7, 1 และ 24 โดยแต่ละข้อวัดมโนทัศน์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ดังนี้

- ข้อ 12 (ร้อยละ 60) วัด 3 มโนทัศน์ คือ 1) มโนทัศน์จลศาสตร์ มโนทัศน์ย่อยความเร่งคงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบพาราโบลา 2) มโนทัศน์ชนิดของแรงมโนทัศน์ย่อยความโน้มถ่วง และ 3) มโนทัศน์ชนิดของแรงมโนทัศน์ย่อยเส้นทางการเคลื่อนที่แบบพาราโบลา

- ข้อ 6 (ร้อยละ 58.89) และ ข้อ 7 (ร้อยละ 51.11) วัดมโนทัศน์กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 มโนทัศน์ย่อยกรณีไม่มีแรงกระทำ

- ข้อ1 (ร้อยละ 51.11) วัดมโนทัศน์ชนิดของแรง มโนทัศน์ย่อยความเร่งไม่ขึ้นกับน้ำหนัก

- ข้อ 24 (ร้อยละ 50) วัดมโนทัศน์กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1มโนทัศน์ย่อยอัตราเร็วคงที่

นอกจากนี้ยังพบว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่ถูกต้องน้อยกว่าร้อยละ 15 จำนวน 4 ข้อ ประกอบด้วย ข้อ 11, 13, 30 และ 17 โดยแต่ละข้อวัดมโนทัศน์เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ดังนี้

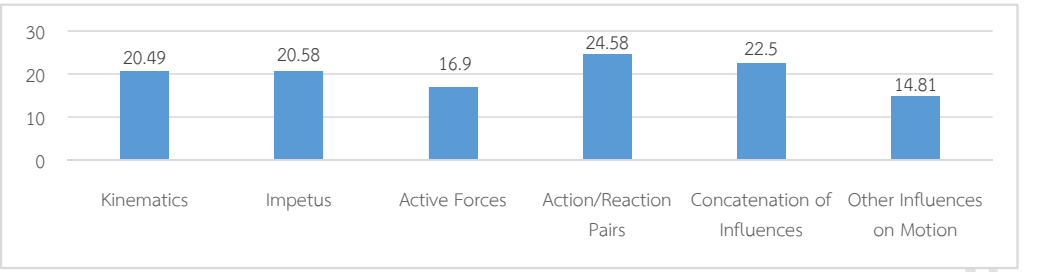
- ข้อ11 (ร้อยละ 14.45) วัด 4 มโนทัศน์ คือ 1) มโนทัศน์กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 มโนทัศน์ย่อยกรณีไม่มีแรงกระทำ 2) มโนทัศน์หลักการรวมแรง มโนทัศน์ย่อยการหักล้างของแรง 3) มโนทัศน์ชนิดของแรง มโนทัศน์ย่อยการสัมผัสกับของแข็งกรณีอยู่นิ่งและ 4) มโนทัศน์ชนิดของแรง มโนทัศน์ย่อยความโน้มถ่วง

- ข้อ 13 (ร้อยละ 14.44) วัดมโนทัศน์ชนิดของแรง มโนทัศน์ย่อยความโน้มถ่วง

- ข้อ 30 (ร้อยละ 14.44) วัด 2 มโนทัศน์ คือ 1) มโนทัศน์ชนิดของแรง มโนทัศน์ย่อยการสัมผัสกับของไหลกรณีมีแรงต้านอากาศ และ 2) มโนทัศน์ชนิดของแรง มโนทัศน์ย่อยความโน้มถ่วง

- ข้อ 17 (ร้อยละ 13.33) วัด 3 มโนทัศน์ คือ 1) มโนทัศน์กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 มโนทัศน์ย่อยกรณีแรงหักล้างกัน 2) มโนทัศน์หลักการรวมแรงมโนทัศน์ย่อยการหักล้างของแรง และ 3) มโนทัศน์ชนิดของแรงมโนทัศน์ย่อยความโน้มถ่วง

2. ผลการวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ของนักเรียนจำแนกตามอนุกรมวิธานมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของแบบวัด FCI แสดงดังภาพที่ 2

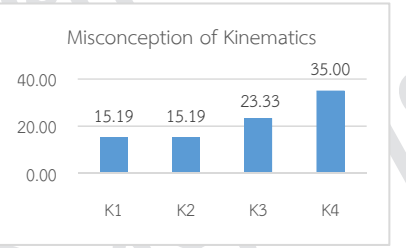


ภาพที่ 2 ร้อยละของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแยกตามอนุกรมวิธานมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของแบบวัด FCI

จากภาพที่ 2 พบว่า นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา มากที่สุด (ร้อยละ 24.58) รองลงมาคื อการเรียงต่อกันของอิทธิพลอื่นๆ (ร้อยละ 22.50) แรงขับดันภายใน (ร้อยละ 20.58) จลศาสตร์ (ร้อยละ 20.49) แรงกระทำ (ร้อยละ 16.90) และอิทธิพลอื่นๆ ต่อการเคลื่อนที่ (ร้อยละ 14.81)

3. ผลการวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ แยกตามอนุกรมวิธานมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของแบบวัด FCI

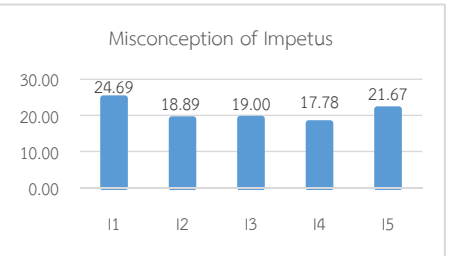
3.1 ผลการวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับจลศาสตร์ (Kinematics: K) ซึ่งมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน 4 มโนทัศน์ย่อยแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ร้อยละของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับจลศาสตร์

จากภาพที่ 3 พบว่า ในมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับจลศาสตร์ นักเรียนมีการใช้กรอบอ้างอิงของตนเอง (K4) มากที่สุด (ร้อยละ 35.00) รองลงมาคือ การรวมกันของความเร็วไม่เป็นเวกเตอร์ (K3) (ร้อยละ 23.33) ส่วนการไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างตำแหน่งกับความเร็วได้ (K1) และการไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างความเร็วกับความเร่งได้ (K2) มีค่าเท่ากัน (ร้อยละ 15.19)

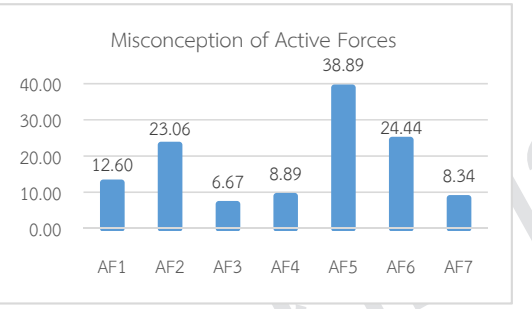
3.2 ผลการวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงขับดันภายใน (Impetus: I) ซึ่งมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน 5 มโนทัศน์ย่อยแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ร้อยละของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงขับดันภายใน

จากภาพที่ 4 พบว่า ในมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงขับดันภายใน นักเรียนเชื่อว่าแรงขับดันภายในได้จากการตี (I1) มากที่สุด (ร้อยละ 24.69) รองลงมาคือ แรงขับดันภายในเชิงวงกลม (I5) (ร้อยละ 21.67) ส่วนการสูญเสีย/ได้รับแรงขับดันภายในเดิม (I2) (ร้อยละ 18.89) การสูญเสียแรงขับดันภายใน (I3) (ร้อยละ 19) และการเพิ่ม/ลดลงของแรงขับดันภายในที่สร้างขึ้น (I4) (ร้อยละ 17.78) มีค่าใกล้เคียงกัน

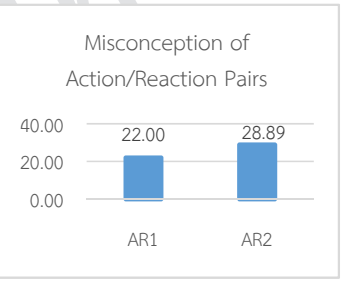
3.3 ผลการวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงกระทำ (Active Force: AF) ซึ่งมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน 7 มโนทัศน์ย่อยแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ร้อยละของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงกระทำ

จากภาพที่ 5 พบว่าในมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงกระทำนักเรียนเชื่อว่า เมื่อมีความเร่งแสดงว่า มีแรงกระทำเพิ่มขึ้น (AF5) มากที่สุด (ร้อยละ 38.89) รองลงมาคือ แรงเป็นสาเหตุที่เร่งให้เกิดความเร็วปลาย (AF6) (ร้อยละ 24.44) มีการเคลื่อนที่แสดงว่ามีแรงกระทำ (AF2) (ร้อยละ 23.06) เฉพาะผู้ให้แรงกระทำเท่านั้นที่ออกแรง (AF1) (ร้อยละ 12.60) ความเร็วแปรผันตามแรงที่กระทำ (AF4) (ร้อยละ 8.89) แรงกระทำหมดไป (AF7) (ร้อยละ 8.34) และไม่มีการเคลื่อนที่แสดงว่าไม่มีแรงกระทำ(AF3) (ร้อยละ 6.67)

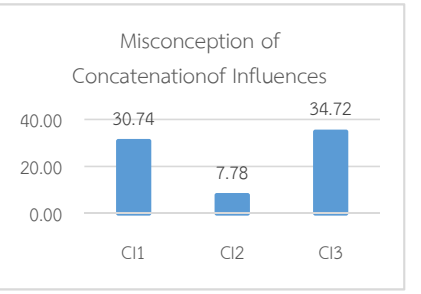
3.4 ผลการวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงคู่กิริยา/ปฏิกิริยา (Action/Reaction Pairs: AR) ซึ่งมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน 2 มโนทัศน์ย่อยแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ร้อยละของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงคู่กิริยา/ปฏิกิริยา

จากภาพที่ 6 พบว่าในมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงคู่กิริยา/ปฏิกิริยา นักเรียนเชื่อว่าสิ่งที่ออกแรงกระทำมากที่สุดจะให้แรงมากที่สุด(AR2) ร้อยละ 28.89 และมวลมากจะออกแรงกระทำมาก (AR1) ร้อยละ 22

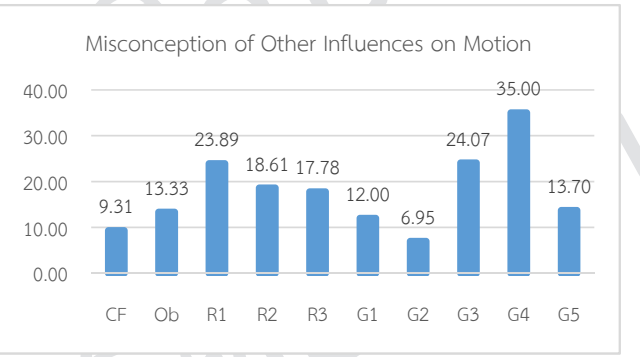
3.5 ผลการวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการเรียงต่อกันของอิทธิพลอื่นๆ (Concatenation of Influences: CI) ซึ่งมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน3 มโนทัศน์ย่อยแสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ร้อยละของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการเรียงต่อกันของอิทธิพลอื่นๆ

จากภาพที่ 7 พบว่าในมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการเรียงต่อกันของอิทธิพลอื่นๆ นักเรียนเชื่อว่า แรงสุดท้ายที่กระทำกำหนดการเคลื่อนที่ (CI3) มากที่สุด (ร้อยละ 34.72) รองลงมาคือ แรงที่มากที่สุดกำหนดการเคลื่อนที่ (CI1) (ร้อยละ 30.74) และแรงลัพธ์กำหนดการเคลื่อนที่ (CI2) (ร้อยละ 7.78)

3.6 ผลการวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับอิทธิพลอื่นๆ ต่อการเคลื่อนที่ (Other Influences on Motion: OI) ซึ่งมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน 10 มโนทัศน์ย่อยแสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ร้อยละของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับอิทธิพลอื่นๆ ต่อการเคลื่อนที่

จากภาพที่ 8 พบว่า ในมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับอิทธิพลอื่นๆ ต่อการเคลื่อนที่นักเรียนเชื่อว่า ความโน้มถ่วงเพิ่มขึ้นขณะวัตถุตก (G4) มากที่สุด (ร้อยละ 35.00) รองลงมาคือ วัตถุที่หนักกว่าจะตกเร็วกว่า (G3) (ร้อยละ 24.07) มวลทำให้วัตถุหยุด (R1) (ร้อยละ 23.89) มีการเคลื่อนที่เมื่อแรงเอาชนะความต้านทาน (R2) (ร้อยละ 18.61)ความต้านทานมีทิศตรงข้ามกับแรง/ แรงขับดันภายใน (R3) (ร้อยละ 17.78) ความโน้มถ่วงจะกระทำหลังแรงขับดันภายในหมดลง (G5) (ร้อยละ 13.70) สิ่งกีดขวางไม่ออกแรงกระทำ (Ob) (ร้อยละ 13.33) ความดันอากาศช่วยความโน้มถ่วง (G1) (ร้อยละ 12.00) แรงหนีศูนย์กลาง (CF) (ร้อยละ 9.31) และความโน้มถ่วงเป็นลักษณะธรรมชาติของมวล (G2) (ร้อยละ 6.95)

4. ผลการวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนในข้อสอบแต่ละข้อ โดยพิจารณาจากร้อยละของการเลือกตอบแต่ละตัวเลือกในข้อสอบแต่ละข้อ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ร้อยละของการเลือกตอบแต่ละตัวเลือกในข้อสอบแต่ละข้อ

ข้อที่	A	B	C	D	E	ข้อที่	A	B	C	D	E
1	11.11	5.56	51.11*	27.78	4.44	16	36.67*	21.11	32.22	6.67	3.33
2	22.22*	17.78	8.89	43.33	7.78	17	55.56	13.33*	7.78	14.44	8.89
3	11.11	38.89	35.55*	6.67	7.78	18	7.78	23.33*	16.67	24.44	27.78
4	51.11	7.78	2.22	4.44	34.45*	19	20.00	21.11	5.56	18.89	34.44*
5	12.22	21.11*	33.34	22.22	11.11	20	17.78	8.89	16.67	43.33*	13.33
6	35.56	58.89*	3.33	2.22	0	21	6.67	41.11	14.44	20.00	17.78*
7	18.89	51.11*	7.78	11.11	11.11	22	12.22	33.33*	10.00	37.78	6.67
8	40.00	26.67*	2.22	26.67	14.44	23	31.11	20.00*	20.00	23.33	5.56
9	7.78	37.78	23.33	10.00	21.11*	24	50.00*	8.89	25.56	7.78	7.78
10	31.11*	8.89	7.78	37.78	14.44	25	5.56	18.89	21.11*	32.22	22.22
11	13.33	36.67	33.33	14.44*	2.22	26	26.67	17.78	14.44	24.44	16.67*
12	4.44	60.00*	25.56	6.67	3.33	27	25.56	22.22	32.22*	8.89	11.11
13	10.00	31.11	34.45	14.44*	10.00	28	5.55	25.56	14.44	18.89	35.56*
14	57.78	12.22	6.67	20.00*	3.33	29	25.56	43.33*	8.89	15.55	6.67
15	26.67*	14.44	35.56	17.78	5.55	30	8.89	13.33	14.44*	7.78	55.56

* คือ ตัวเลือกที่ถูกต้อง

จากตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาร้อยละของการเลือกตอบตัวลวงในข้อสอบแต่ละข้อด้วยวิธีการรวมร้อยละของตัวลวงที่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเดียวกันจำแนกตามอนุกรมวิธานของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของแบบวัด FCI พบว่า นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมากกว่า ร้อยละ 50 ในหลายข้อ ซึ่งสามารถสรุปประเด็นที่นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนได้ดังนี้

- ข้อ 30(B,D,E) (ร้อยละ 76.67) I1: แรงขับดันภายในได้จากการตี
- ข้อ 13(A, B, C) (ร้อยละ 75.56) I3: การสูญเสียแรงขับดันภายใน
- ข้อ 17(A,D) (ร้อยละ 70) CI1: แรงที่มากที่สุดกำหนดการเคลื่อนที่
- ข้อ 14(A,B) (ร้อยละ 70) K4: การใช้กรอบอ้างอิงของตนเอง
- ข้อ 11(B,C) (ร้อยละ 70) I1: แรงขับดันภายในได้จากการตี
- ข้อ 5(C,D,E) (ร้อยละ 66.67) I1: แรงขับดันภายในได้จากการตี, I5: แรงขับดันภายในเชิงวงกลม และ AF2: มีการเคลื่อนที่แสดงว่ามีแรงกระทำ
- ข้อ 2(B,D) (ร้อยละ 61.11) G3: วัตถุที่หนักกว่าจะตกเร็วกว่า
- ข้อ 25(A,B,D) (ร้อยละ 56.67) R2: มีการเคลื่อนที่เมื่อแรงเอาชนะความต้านทาน
- ข้อ 4(A,D) (ร้อยละ 55.55) AR1: มวลมากจะออกแรงกระทำมาก

วารสารวิชาการศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผลจากการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้พบว่า นักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายมีมโนทัศน์ เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ เฉลี่ยร้อยละ 30.81 ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 40 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fadaei & Mora (2015), Azzopardi (2019), Usawinchai (2003), Azman, Ali, & Mohtar (2013) และ Narkaikaew (2013) โดย Hestenes & Halloun (1995) ได้เสนอการแปลความหมายคะแนนจากแบบวัด FCI ว่าถ้าผู้เรียนได้คะแนนร้อยละ 60 แสดงว่าเริ่มมีการคิดหรือการให้เหตุผลสอดคล้องเชื่อมโยงกับการใช้มโนทัศน์ของนิวตันและถ้าได้คะแนนร้อยละ 85 แสดงว่ามีความรอบรู้และเข้าใจในมโนทัศน์ของนิวตัน แต่จากผลการวิจัยส่วนใหญ่แสดงให้เห็นว่า กลุ่มตัวอย่างทั้งในระดับมัธยมศึกษา อุดมศึกษา และครูประจำการ มีมโนทัศน์เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ไม่ถึงเกณฑ์ที่แสดงว่า เริ่มมีความคิดสอดคล้องกับมโนทัศน์ของนิวตันซึ่งจะส่งผลต่อการเรียนฟิสิกส์ในระดับที่สูงขึ้น

จากผลวิจัยที่พบว่า นักเรียนมีมโนทัศน์เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ถูกต้องน้อยกว่าร้อยละ 15 จำนวน 4 ข้อ ประกอบด้วยข้อ 11, 13, 30 และ 17 โดยเมื่อพิจารณาแต่ละข้อพบว่ามีการวัดมโนทัศน์ชนิดของแรง มโนทัศน์ย่อยความโน้มถ่วงทุกข้อซึ่งสอดคล้องกับผลวิจัยของ Usawinchai (2003) ที่พบว่านิสิตชั้นปีที่1 มีมโนทัศน์ที่ถูกต้องน้อยกว่าร้อยละ 15 ในข้อ 30 และ 13 และผลวิจัยของ Fadaei & Mora (2015) ที่พบว่า นักเรียนเกรด 10 มีมโนทัศน์ที่ถูกต้องน้อยกว่าร้อยละ 15 ในข้อ 11 และ 13 ซึ่งเป็นข้อมูลสนับสนุนว่าผู้เรียนมีมโนทัศน์ชนิดของแรง มโนทัศน์ย่อยความโน้มถ่วงน้อย ซึ่งควรได้รับการพัฒนาให้มีความเข้าใจที่ถูกต้องมากขึ้น

เมื่อพิจารณามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนตามอนุกรมวิธานของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของแบบวัด FCI พบว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงคู่กิริยา/ปฏิกิริยามากที่สุด (ร้อยละ 24.58) และอิทธิพลอื่นๆ ต่อการเคลื่อนที่น้อยที่สุด (ร้อยละ 14.81) สอดคล้องกับผลวิจัยของ Usawinchai (2003) ที่พบว่า นิสิตชั้นปีที่ 1 มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงคู่กิริยา/ปฏิกิริยามากที่สุด (ร้อยละ 21) และอิทธิพลอื่นๆ ต่อการเคลื่อนที่น้อยที่สุด (ร้อยละ 15)

จากผลการวิเคราะห์ร้อยละของการเลือกตอบตัวลวงแต่ละข้อ พบว่า นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมากกว่าร้อยละ 50ในหลายประเด็น ซึ่งสามารถวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในแต่ละประเด็นได้ดังนี้

ข้อ 30 เมื่อวัตถุถูกตีให้เคลื่อนที่อยู่ในอากาศและมีแรงต้านอากาศ แรงที่กระทำต่อวัตถุขณะที่ลอยอยู่ในอากาศจะมีแค่ “แรงดึงดูดของโลกและแรงต้านอากาศ” เท่านั้น แต่นักเรียนร้อยละ 76.67 เลือกตัวเลือก 30(B,D,E) ซึ่งระบุว่ามี “แรงเนื่องจากการตี” กระทำกับวัตถุด้วยสอดคล้องกับข้อ 11 ที่นักเรียนร้อยละ 70 เลือกตัวเลือก 11(B,C) ซึ่งระบุว่ามี “แรงในแนวราบมีทิศเดียวกับการเคลื่อนที่” กระทำกับวัตถุขณะที่ลอยอยู่ในอากาศและข้อ 5 ที่นักเรียนร้อยละ 66.67 เลือกตัวเลือก 5(C,D,E) ซึ่งระบุว่ามี “แรงในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่” กระทำกับวัตถุขณะที่เคลื่อนที่ในรางวงกลม ซึ่งทั้ง 3 ข้อนี้เป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับ “I1: แรงขับดันภายในได้จากการตี” โดยผู้เรียนเชื่อว่ามีแรงจาก “*ผู้ให้แรงกระทำ (active agent)*” แฝงอยู่ในวัตถุเพื่อทำให้วัตถุเคลื่อนต่อไปได้หลังจากผู้ให้แรงกระทำออกแรงกระทำไปแล้ว เรียกว่า “*แรงขับดันภายใน (Impetus)*” ซึ่งการออกกระทำนี้ ได้แก่ การตี การโยน การผลัก การดึง หรือการปล่อย เป็นต้น (ขจรศักดิ์ บัวระพันธ์ และคณะ, 2548) โดยในความเป็นจริง เมื่อวัตถุได้รับแรงกระทำไปแล้วถือว่า “*อันตรกิริยา (interaction)*” ระหว่างผู้กระทำกับวัตถุสิ้นสุดลง จึงไม่มีแรงกระทำกับวัตถุอีกต่อไปมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงขับดันภายในนี้เกิดจากประสบการณ์การสังเกตการเคลื่อนที่ของ

วัตถุในชีวิตประจำวันของผู้เรียนซึ่งถ้าผู้เรียนเชื่อว่ามีแรงขับดันภายในแสดงว่าผู้เรียนไม่เข้าใจกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 (Hesteneset al., 1992) ดังนั้นผู้สอนควรอธิบายมโนทัศน์ของแรงให้ผู้เรียนเข้าใจอย่างชัดเจนก่อนว่า แรงเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างวัตถุ เมื่ออันตรกิริยาสิ้นสุดลงจะไม่มีแรงกระทำระหว่างวัตถุอีกต่อไป จึงไม่มีแรงขับดันภายในวัตถุที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ต่อไปหลังจากอันตรกิริยาสิ้นสุดลง

นอกจากนี้ การที่นักเรียนร้อยละ 66.67 เลือกตัวเลือก 5(C,D,E) ยังแสดงให้เห็นว่ามีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับ “I5: แรงขับดันภายในเชิงวงกลม” โดยเชื่อว่าการที่วัตถุมีแนวโน้มจะเคลื่อนที่เป็นวงกลม เนื่องจากผู้เรียนใช้ “*การอุปมาอุปไมยแบบฝึกฝน (training metaphor)*” โดยวัตถุมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ในลักษณะเดียวกับที่เคยเกิดขึ้นมาก่อนเนื่องจากมีการ “ฝึกฝน” (Hesteneset al., 1992) ยิ่งไปกว่านั้นข้อนี้ยังแสดงว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับ “AF2: มีการเคลื่อนที่แสดงว่ามีแรงกระทำ” โดยผู้เรียนใช้ “*กฎของสาเหตุ (causal law)*” ที่กล่าวว่า “*ทุกผลของการกระทำมีสาเหตุ การเคลื่อนที่เป็นผลของการกระทำดังนั้นการเคลื่อนที่มีสาเหตุ*” ทำให้เชื่อว่าผู้ให้แรงกระทำเป็น “*ผู้ให้สาเหตุ (causal agents)*” ที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แล้วเกิดแรงขับดันภายในและถ่ายทอดไปยังวัตถุอื่น (Hesteneset al., 1992) สอดคล้องกับผลวิจัยของ Mildenhall & Williams (2001) ที่ผู้เรียนเชื่อว่า 1) แรงต้องมีขนาดมากพอเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนที่ และ 2) แรงที่มีขนาดมากพอทำให้เกิดการเคลื่อนที่มากกว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ดังนั้น ผู้สอนจึงควรอธิบายและให้ความสำคัญเกี่ยวกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเคลื่อนที่ให้ถูกต้อง

ข้อ 13 เมื่อโยนวัตถุขึ้นในแนวดิ่ง โดยไม่คิดแรงต้านอากาศ แรงที่กระทำกับวัตถุขณะที่ลอยอยู่ในอากาศมีเพียง “แรงดึงดูดของโลก” เท่านั้นแต่นักเรียนร้อยละ 75.56 เลือกตัวเลือก 13(A,B,C) ซึ่งระบุว่ามี “แรงจากการโยนกระทำกับวัตถุซึ่งมีขนาดลดลงอย่างสม่ำเสมอจนกระทั่งวัตถุถึงจุดสูงสุด” ซึ่งเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับ “I3: การสูญเสียแรงขับดันภายใน” โดยผู้เรียนใช้ *“การอุปมาอุปไมยแบบภาชนะ (container metaphor)”* กับแรงขับดันภายใน (impetus) ซึ่งเชื่อว่า “*วัตถุเป็นเหมือนภาชนะที่สามารถเก็บแรงขับดันภายในไว้เป็นพลังงานชนิดหนึ่งในการเคลื่อนที่ เหมือนรถที่เก็บน้ำมันไว้*” (Hesteneset al., 1992) โดยจะมีการสูญเสียแรงขับดันภายในขึ้นในระหว่างที่วัตถุเคลื่อนที่ เมื่อแรงขับดันภายในลดลงวัตถุจะเคลื่อนที่ช้าลง และเมื่อแรงขับดันภายในหมดวัตถุจะหยุดเคลื่อนที่ (ขจรศักดิ์ บัวระพันธ์และคณะ, 2548) ดังนั้นผู้สอนควรอธิบายให้ผู้เรียนเข้าใจว่า แรงขับดันภายในของวัตถุนั้นไม่มีอยู่จริง

ข้อ 17 ในขณะที่ลิฟท์กำลังเคลื่อนที่ขึ้นด้วยอัตราเร็วคงที่และไม่มีแรงเสียดทาน “แรงเนื่องจากลวดสลิงในทิศขึ้นจะมีขนาดเท่ากับแรงดึงดูดของโลกในทิศลง” แต่นักเรียนร้อยละ 70 เลือกตอบตัวเลือก 17(A,D) ซึ่งระบุว่า “แรงในทิศขึ้นมีขนาดมากกว่าแรงในทิศลง” ซึ่งเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับ “CI1: แรงที่มากที่สุดกำหนดการเคลื่อนที่” โดยผู้เรียนจะใช้ “*หลักการของความเด่น (dominance principle)*” ที่อธิบายว่า “*การรวมกันของแรงสองแรงที่กระทำกับวัตถุเดียวกันจะมีแรงหนึ่งชนะอีกแรงเสมอ*” ซึ่งเป็นความสับสนระหว่างมโนทัศน์ “แรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา” กับ “หลักการรวมแรงกรณีที่แรงกระทำกับวัตถุมีทิศตรงข้ามกัน”(Hesteneset al., 1992) ซึ่งหลักการนี้มีพื้นฐานมาจากประสบการณ์ของผู้เรียนที่พบว่า การทำให้วัตถุที่หนักเคลื่อนที่ได้จะต้องออกแรงผลักให้มากขึ้น จนกระทั่งแรงผลักสามารถเอาชนะแรงเสียดทานได้ หลังจากนั้นจะใช้แรงเพียงเล็กน้อยในการทำให้วัตถุเคลื่อนที่ต่อไป นอกจากนี้การที่หนังสือเรียนระบุว่า “*ไม่สนใจแรงต้านทาน*” ยิ่งทำให้นักเรียนนำหลักการของความเด่นมาใช้อธิบายเหตุการณ์ต่างๆ มากยิ่งขึ้น (Halloun & Hestenes, 1985) ดังนั้นผู้สอนควรจัดประสบการณ์ให้ผู้เรียนได้เผชิญกับเหตุการณ์เหล่านี้แล้วตีความหมายใหม่ เพื่อทำให้เข้าใจและยอมรับทฤษฎีของนิวตันมากขึ้น

ข้อ 14 เมื่อปล่อยวัตถุให้ตกอย่างอิสระภายใต้แรงดึงดูดของโลกจากเครื่องบินที่กำลังเคลื่อนที่ในแนวราบ “วัตถุจะมีแนวการเคลื่อนที่แบบพาราโบลาไปทางด้านหน้าของเครื่องบิน” แต่นักเรียนร้อยละ 57.78 (14A) เชื่อว่า วัตถุจะตกเป็นแนวโค้งไปทางด้านหลังของเครื่องบิน เนื่องจากขณะที่เครื่องบินกำลังเคลื่อนที่ไปข้างหน้า วัตถุไม่ได้เคลื่อนที่ไปด้วยเพราะอยู่นิ่งบนเครื่องบินก่อนถูกปล่อย และร้อยละ 12.22 (14B) เชื่อว่าวัตถุจะตกเป็นเส้นตรงในแนวดิ่งตามแรงดึงดูดของโลกเนื่องจากวัตถุอยู่นิ่งบนเครื่องบินและตกภายใต้แรงดึงดูดของโลกเพียงแรงเดียว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fadaei & Mora (2015) ที่พบว่า นักเรียนเลือกตอบข้อ 14A ร้อยละ 50 และ ข้อ 14B ร้อยละ 40 ซึ่งเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับ “K4: การใช้กรอบอ้างอิงของตัวเอง” โดยเป็นการมองว่าปริมาณทางฟิสิกส์บางชนิดไม่ปรากฏอยู่ในสถานการณ์ที่ศึกษา จนกว่าจะสังเกตเห็นปริมาณเหล่านั้นอย่างชัดเจน (Osborne & Gilber, 1980) ดังนั้นผู้สอนควรจัดกิจกรรมที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติการทดลองหรือมีการสาธิตปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวัน เพื่อแสดงให้นักเรียนเห็นเป็นรูปธรรมว่าปริมาณทางฟิสิกส์เหล่านั้นมีอยู่จริง (Buaraphan, 2018)

ข้อ 2 เมื่อวัตถุที่มีน้ำหนักต่างกันกลิ้งตกจากโต๊ะในแนวราบด้วยอัตราเร็วเท่ากัน “วัตถุทั้งสองจะตกถึงพื้นโดยมีระยะห่างจากขาโต๊ะเท่าๆ กัน” แต่นักเรียนร้อยละ 61.11 เลือกตอบตัวเลือก 2(B,D) ซึ่งระบุว่า“วัตถุที่หนักกว่าจะตกถึงพื้นโดยมีระยะห่างใกล้กับขาโต๊ะมากกว่าวัตถุที่เบา” ซึ่งเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับ “G3: วัตถุที่หนักกว่าจะตกเร็วกว่า” ซึ่งเกิดจากการเชื่อว่า “*ความโน้มถ่วง (gravity)*” ไม่จำเป็นต้องเหมือนกับ“*แรงโน้มถ่วง (gravitational force)*” แต่ถ้าเมื่อปริมาณทั้งสองนี้เหมือนกันจะทำให้เกิดความเชื่อว่า “วัตถุที่หนักกว่าจะตกเร็วกว่า” ความเชื่อนี้อาจเป็นจริงภายใต้มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับขนาด (scale) ที่เห็นว่า ความโน้มถ่วงจะเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเมื่อระยะไม่มาก ในขณะที่ความเป็นจริงมีการเปลี่ยนแปลงประมาณ $1/10^{13}$ (Hesteneset al., 1992) ดังนั้น ผู้สอนควรอธิบายให้ผู้เรียนเข้าใจมโนทัศน์ที่ถูกต้องของความโน้มถ่วงก่อน

ข้อ 25 เมื่อออกแรงกระทำในแนวราบกับวัตถุด้วยค่าคงที่ แล้วทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ “แรงที่กระทำจะมีขนาดเท่ากับผลรวมของแรงทั้งหมดที่ต้านการเคลื่อนที่” แต่นักเรียนร้อยละ 56.66 เลือกตอบตัวเลือก 25(A,B,D) ซึ่งระบุว่า “แรงที่กระทำจะมีขนาดมากกว่าน้ำหนักหรือมากกว่าผลรวมของแรงทั้งหมดที่ต้านการเคลื่อนที่” ซึ่งเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับ “R2: มีการเคลื่อนที่เมื่อแรงเอาชนะความต้านทาน” โดยน้ำหนักถูกมองว่าเป็นแรงต้านทานชนิดหนึ่งเพราะต่อต้านความพยายามของผู้ให้แรงกระทำ การเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นเมื่อแรงกระทำเอาชนะแรงต้านทานได้เท่านั้น (ซึ่งเป็นการใช้การอุปมาอุปมัย) และการเคลื่อนที่จะหยุดลงเมื่อแรงน้อยเกินไป (Hesteneset al., 1992) ดังนั้น ผู้สอนควรอธิบายให้ผู้เรียนเข้าใจว่าแรงต้านทานคืออะไร และมีความสัมพันธ์กันการเคลื่อนที่อย่างไร

ข้อ 4 เมื่อวัตถุที่มีขนาดต่างกันชนกัน “วัตถุทั้งสองจะออกแรงที่เท่ากันกระทำต่อกัน” แต่นักเรียนร้อยละ 51.11 (4A) เชื่อว่าวัตถุที่มีขนาดใหญ่จะออกแรงกระทำมากกว่า และนักเรียนร้อยละ 4.44 (4D) เชื่อว่า วัตถุที่มีขนาดใหญ่ ออกแรงกระทำแต่วัตถุขนาดเล็กไม่ออกแรงกระทำ โดยความเชื่อนี้เป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับ “AR1: มวลมากจะออกแรงกระทำมาก” ซึ่งเกิดจากการตีความอันตรกิริยา (interaction) โดยใช้ “*การอุปมาอุปไมยแบบขัดแย้ง (conflict metaphor)*” โดยผู้เรียนเชื่อว่า “*อันตรกิริยาเป็นการต่อสู้กันของแรงที่มีทิศตรงข้ามกัน*” ซึ่งเกิดจากการอุปมาอุปไมยว่า “*ชัยชนะเป็นของผู้ที่แข็งแรงกว่า*” ส่งผลให้ผู้เรียนเชื่อว่ากฎการเคลื่อนที่ข้อ 3 ไม่สมเหตุสมผล และในทางตรงกันข้ามผู้เรียนใช้ “*หลักการของความเด่น (dominance principle)*” ซึ่งอธิบายว่า “*วัตถุที่ใหญ่กว่ามวลที่มากกว่า หรือการกระทำที่มากกว่าจะให้แรงกระทำมากกว่า*” ในการอธิบายอันตรกิริยาของวัตถุแทน (Hesteneset

al., 1992) ดังนั้นผู้สอนควรอธิบายความแตกต่างของ “กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3” และ “หลักการรวมแรง” ให้ผู้เรียนเข้าใจอย่างชัดเจน

จากข้อมูลทั้งหมดจะเห็นได้ว่า นักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ มากกว่าร้อยละ 50 ในหลายมโนทัศน์ ประกอบด้วย แรงขับดันภายในได้จากการตีวัตถุ การสูญเสียแรงขับดันภายใน แรงที่มากที่สุดกำหนดการเคลื่อนที่ การใช้กรอบอ้างอิงของตัวเอง แรงขับดันภายในเชิงวงกลม มีการเคลื่อนที่แสดงว่ามีแรงกระทำวัตถุที่หนักกว่าจะตกเร็วกว่า มีการเคลื่อนที่เมื่อแรงเอาชนะความต้านทานและมวลมากจะออกแรงกระทำมากเป็นต้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Halloun & Hestenes (1985), Hesteneset al. (1992), ขจรศักดิ์ บัวระพันธ์และคณะ (2548), Usawinchai (2003),Panprueksaet al. (2012), Azman, Ali, & Mohtar (2013),Narkaikaew (2013), Fadaei & Mora (2015), Buaraphan (2018) และ Azzopardi (2019) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้เรียนที่มีความแตกต่างด้านอายุ เพศ ความสามารถ และวัฒนธรรม มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ สอดคล้องและคล้ายคลึงกัน (Gunstone, 1987) โดยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนนี้เปลี่ยนแปลงได้ยาก เนื่องจากสามารถช่วยให้ผู้เรียนตีความหมาย ทำนาย และอธิบายปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันได้ดี ทำให้ผู้เรียนพึงพอใจ ในขณะที่มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ไม่สามารถอธิบายได้สอดคล้องกับปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวัน (Hesteneset al., 1992) ดังนั้นผู้สอนควรเปลี่ยนจากการสอนแบบบรรยายซึ่งไม่ประสบความสำเร็จในการช่วยให้ผู้เรียนเปลี่ยนแปลงมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเหล่านี้ได้ เป็นวิธีสอนอื่นๆ ที่ทำให้ผู้เรียนได้แก้ไขประสบการณ์ที่ไม่ถูกต้องของตนเอง

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1. ผู้สอนควรนำผลวิจัยนี้ไปเป็นข้อมูลเบื้องต้น ในการวางแผนออกแบบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนมีความเข้าใจมากขึ้นโดยเฉพาะมโนทัศน์ความโน้มถ่วงซึ่งนักเรียนมีความเข้าใจน้อย และแก้ไขมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนโดยเฉพาะมโนทัศน์แรงคู่กิริยา/ปฏิกิริยาซึ่งมีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด และให้ความสำคัญกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเหล่านี้ในขณะสอน รวมทั้งยกตัวอย่างมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในลักษณะต่างๆ พร้อมทั้งอธิบายมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องให้นักเรียนเข้าใจอย่างชัดเจน

2.จากผลวิจัยพบว่า แบบวัด FCI มีประสิทธิภาพและสามารถวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ของนักเรียนได้ ดังนั้นผู้สอนสามารถนำแบบวัด FCI ไปใช้ในการตรวจสอบมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนได้ทั้งก่อนเรียนและหลังเรียน

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1.จากการวิจัยพบว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่ความคลาดเคลื่อนในหลายมโนทัศน์ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลยังไม่ปรากฏชัดเจน จึงควรทำการศึกษาปัจจัยและสาเหตุของการเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน เพื่อหาแนวทางในการแก้ไขและป้องกันการเกิดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนอย่างมีประสิทธิภาพ

2. การศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนจากการใช้แบบทดสอบแบบเลือกตอบอย่างเดียวอาจได้ข้อมูลที่ไม่ชัดเจน นักเรียนอาจเดาคำตอบได้ ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการสัมภาษณ์เพิ่มเติมร่วมกับการใช้แบบวัด FCI เพื่อให้ได้รายละเอียดข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน

3. จากการวิจัยพบว่าการสอนแบบบรรยายทำให้นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในหลายมโนทัศน์ ดังนั้น การวิจัยครั้งต่อไปมีควรศึกษาวิธีการสอนหรือกลยุทธ์ที่เหมาะสม เพื่อแก้ไขมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียน

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551.* กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

ขจรศักดิ์ บัวระพันธ์, เพ็ญจันทร์ ซิงห์, และวรรณทิพา รอดแรงค้า.(2548). การสำรวจแนวคิดของนักศึกษาครูวิชาเอกฟิสิกส์ชั้นปีที่ 3 เกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่. *วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์*. 11 (พิเศษ), 45-69.

สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ (องค์การมหาชน). (2559).*สรุปผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O-NET) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2558.* สืบค้นเมื่อ 12 มิถุนายน 2560 จาก http://www.newonetresult.niets.or.th/AnnouncementWeb/PDF/SummaryONETM6_2558.pdf

สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ (องค์การมหาชน). (2560). *สรุปผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O-NET) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2559.* สืบค้นเมื่อ 12 มิถุนายน 2560 จากhttp://www.newonetresult.niets.or.th/AnnouncementWeb/PDF/SummaryONETM6_2559.pdf

สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ (องค์การมหาชน). (2561). *สรุปผลการทดสอบทางการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O-NET) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ปีการศึกษา 2560.* สืบค้นเมื่อ 6 สิงหาคม 2561 จาก http://www.newonetresult.niets.or.th/AnnouncementWeb/PDF/SummaryONETM6_2560.pdf

Azman, N., Ali, M., & Mohtar, L. (2013). The level of misconceptions on force and motion among physics pre-services teachers in UPSI. In *Proceedings of 2nd International Semenar on Quality and Affordable Education.* 128-132.

Azzopardi, C. (2019). Diagnosis of misconceptions about force and motion held by first-year post-secondary students. *Symposium Melitensia*. 15, 29-39.

Buaraphan, K. (2018). The prior conceptions about force and motion held by grade 8 students in educational opportunity expansion schools of Thailand. *American Institute of Physics Conference Proceedings. 1923*(1): 030006.

Fadaei, A., & Mora, C. (2015). An investigation about misconception in force and motion in high school. *US-China Education Review A*. *5*(1), 38-45.

Gunstone, F. (1987). Student understanding in mechanics: A large population survey. *American Journal of Physics*. *55*(8), 691-696.

Halloun, I., Hake, R., Mosca, E., & Hestenes, D. (1995). *Force concept inventory (revised 1995).* Retrieved from http://modeling.la.asu.edu/R&E/Research.html.

Halloun, I., & Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics. 53*(11), 1056-1065.

Hestenes, D., & Halloun, I. (1995). Interpreting the force concept inventory: A response to Huffman and Heller. *The Physics Teacher*. *33*(8), 502-506.

Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *Physics Teacher. 30*(3), 141-158.

Mildenhall, P., & Williams, J. (2001). Instability in students' use of intuitive and Newtonian models to predict motion: The critical effect of the parameters involved. *International Journal of Science Education*. *23*(6), 643-660.

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

Osborne, R., & Gilber, J. (1980). A technique for exploring students' views of the world. *Physics Education*. *15*(6), 376-379.

Panprueksa, K., Phonphok, N., Boonprakob, M., & Dahsah, C. (2012). Thai students' conceptual understanding on force and motion. In *Proceedings of the 2012 International Conference on Education and Management Innovation. 30,* 275-279.

Treagust, D.,& Duit, R. (2008). Conceptual change: A discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. *Cultural Studies of Science Education. 3*, 297-328.

Usawinchai, C. (2003). *Understanding on concepts of force of Thai freshmen*. Dissertation, Western Michigan University, USA.

วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา