

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน
โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

วรศักดิ์ ประโรกิจจักร์, ณัฐวัฒน์ วัชรจิตตานนท์ และอิสรพงษ์ เชื้อสันติยะ*
คณะวิทยาการเรียนรู้และศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

วันที่รับบทความ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2566

วันที่แก้ไขบทความ 21 กันยายน พ.ศ. 2566

วันที่ตอบรับบทความ 28 กันยายน พ.ศ. 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจและวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน และเพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่อง แรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตันกับเพศ ระดับชั้นเรียน ความสนใจในอาชีพ ระดับคะแนนวิชาวิทยาศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ระดับคะแนนวิชาคณิตศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น และความชอบในรายวิชาฟิสิกส์ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ อาสาสมัครนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี ปีการศึกษา 2563 จำนวน 40 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือ แบบทดสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตันที่ปรับปรุงจากแบบวัด Force Concept Inventory (FCI) ซึ่งเป็นแบบทดสอบวินิจัยที่ได้รับการยอมรับและได้มาตรฐาน วิเคราะห์โดยใช้ค่าเฉลี่ยและร้อยละ และแบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง

ผลการวิจัยพบว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตันของนักเรียนมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 70.51 มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนมากที่สุดเรื่อง จลศาสตร์ (ร้อยละ 42.50) และน้อยสุดในเรื่อง แรงกระทำ (ร้อยละ 21.04) ทั้งนี้ ระดับชั้นและความสนใจในอาชีพมีผลต่อมโนทัศน์ โดยนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนน้อยกว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 นักเรียนที่สนใจต่อกลุ่มอาชีพด้านวิทยาศาสตร์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนน้อยที่สุด (Med = 8.00 คะแนน) รองลงมาเป็นกลุ่มด้านสังคมและวิทยาศาสตร์ (Med = 6.00 คะแนน) และลำดับสุดท้ายเป็นกลุ่มอาชีพด้านสังคมศาสตร์ (Med = 4.00 คะแนน) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

คำสำคัญ: มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน; แรงและการเคลื่อนที่จากกฎของนิวตัน; มัธยมศึกษา

* ผู้รับผิดชอบบทความ: itsarapong.ch@sed.tu.ac.th

DOI: 10.14456/tujournal.2024.22

**High School Student Misconceptions about
Force and Motion Related to Newton's Laws of Motion
at Thammasat Secondary School**

Worasak Prarokijjak, Nattawat Watcharajittanont and Itsarapong Chuasontia*
Faculty of Learning Sciences and Education, Thammasat University

Received 28 June 2023

Received in revised 21 September 2023

Accepted 28 September 2023

Abstract

This research explored and analyzed misconceptions about force and motion, based on Newton's laws of motion; and compared the influence of gender, class level, career interest, science and mathematics scores at the junior high school level, and interest in physics on misconceptions about Newton's laws of motion. The volunteer research population was 40 students enrolled during the 2020 academic year at Thammasat Secondary School, Pathum Thani. Data were gathered using a diagnostic test from the Force Concept Inventory (FCI) test and analyzed by percentage and mean, as well as using semi-structured interviews.

The study revealed that students scored an average of 70.51% in the survey, with the most misconceptions about kinetics (42.50%) and the least about active forces (21.04%). In addition, class level and career interest affected misconceptions about Newton's laws of motion. Mathayom Suksa 5 level students had fewer misconceptions than those in Mathayom Suksa 4, while students interested in science-related careers had the least misconceptions, with a median score of 8.00. Students interested in social science and science careers had a median score of 6.00, and those interested in social science careers had a median score of 4.00, with a 95% confidence level.

Keywords: misconceptions; forces and Newton's laws of motion; secondary school

* Corresponding author: itsarapong.ch@lsed.tu.ac.th DOI: 10.14456/tujournal.2024.22

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันวิทยาศาสตร์เป็นวิชาที่มีความสำคัญอย่างยิ่งและถูกกำหนดไว้ในหลักสูตรแกนกลางศึกษาขั้นพื้นฐาน เพื่อให้ผู้เรียนสามารถนำความรู้ไปใช้ในการดำรงชีวิตหรือศึกษาต่อในวิชาชีพที่ต้องใช้วิทยาศาสตร์ได้ ให้ความความคิดวิเคราะห์อย่างเป็นเหตุเป็นผล และคิดสร้างสรรค์ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) ซึ่งวิชาฟิสิกส์ เป็นสาขาหนึ่งในวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในธรรมชาติที่เกิดขึ้น โดยใช้แนวคิด ทฤษฎี หลักการหรือกฎทางฟิสิกส์ สามารถจำแนกได้เป็นสาขาต่าง ๆ เช่น กลศาสตร์ คลื่น ไฟฟ้าและแม่เหล็ก ความร้อน ฟิสิกส์อะตอม ฟิสิกส์นิวเคลียร์และอนุภาค เป็นต้น สำหรับวิชาฟิสิกส์กลศาสตร์หนึ่งในหัวข้อเรื่องที่สำคัญของวิชา คือ แรงและการเคลื่อนที่ เป็นหัวข้อที่อธิบายพฤติกรรมและการเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้แรงกระทำต่าง ๆ ซึ่งเป็นพื้นฐานองค์ความรู้ทางฟิสิกส์ที่สำคัญและนำไปใช้ประโยชน์อย่างมาก ก่อให้เกิดการพัฒนาของเทคโนโลยีซึ่งพัฒนาไปอย่างก้าวกระโดดในหลายด้าน ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกัน เช่น ทางด้านวิศวกรรม ทางด้านการแพทย์ ด้านเกษตรกรรม ด้านชีววิทยา ด้านดนตรี หรือแม้กระทั่งทางด้านศิลปะ เป็นต้น

อุปสรรคหนึ่งที่มีผลอย่างมากต่อการเรียนและทำความเข้าใจในวิชาฟิสิกส์ คือ ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของมโนทัศน์ (misconception) ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นความรู้และความเข้าใจที่ไม่ถูกต้อง ซึ่งเกิดจากประสบการณ์ที่ได้รับของแต่ละบุคคล (Halloun & Hestenes, 1985) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของแรงและกฎของนิวตัน ซึ่งมีเนื้อหาที่พยายามอธิบายปรากฏการณ์ที่เป็นผลมาจากแรงต่อสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งต้องอาศัยความรู้ ความเข้าใจและการจินตนาการของนักฟิสิกส์ที่สร้างขึ้นเพื่ออธิบายปรากฏการณ์เหล่านั้น รวมถึงการใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์เข้ามาร่วมด้วยเพื่อเป็นเครื่องมือในการบรรยายการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น (ปีทมาพร ณ น่าน และคณะ, 2558) โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มีแนวทางในการออกแบบและพัฒนาระบบการจัดการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากความเชื่อที่ว่า ผู้เรียนแต่ละคนมีความแตกต่างกัน ทุกคนมีเป้าหมายและต้องการพัฒนาตนเองไปสู่เป้าหมายนั้น มุ่งเน้นให้ผู้เรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายได้เข้าใจและเชื่อมโยงพื้นฐานความรู้ที่หลากหลาย ต่อยอดลงลึกในศาสตร์ที่ตนสนใจ ซึ่งแบ่งเป็นความรู้เฉพาะด้าน 5 สายอาชีพ (โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2563)

1. กลุ่มการเรียนรู้เฉพาะทางวิทยาศาสตร์สุขภาพและวิทยาศาสตร์ชีวภาพ (health and bio-sciences)
2. กลุ่มการเรียนรู้เฉพาะทางวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี (engineering and technology)
3. กลุ่มการเรียนรู้เฉพาะทางสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ (social sciences and humanities)
4. กลุ่มการเรียนรู้เฉพาะทางการสื่อสารและภาษา (communication and languages)
5. กลุ่มการเรียนรู้เฉพาะทางธุรกิจและการเป็นผู้ประกอบการ (media, arts, and creativity)
6. กลุ่มการเรียนรู้เฉพาะทางศิลปะ สื่อ และความคิดสร้างสรรค์ (business and entrepreneurship)

จากหลักสูตรของโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์เป็นหลักสูตรที่และยังไม่เคยมีข้อมูลเกี่ยวกับการสำรวจมโนทัศน์เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนพื้นฐานของกฎของนิวตัน หากมีข้อมูลเหล่านี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการออกแบบการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับผู้เรียนที่มีความสนใจในสาขาอาชีพที่ต่างกัน อีกทั้งเนื้อหาเรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนพื้นฐานของกฎของนิวตันนั้นเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการเรียนวิทยาศาสตร์ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรายวิชาฟิสิกส์ ซึ่งเป็นหัวข้อที่เป็นพื้นฐานในเรื่องอื่น ๆ และในระดับที่สูงขึ้นไปอีกด้วย ด้วยเหตุนี้ความคลาดเคลื่อนของมโนทัศน์ที่เกิดขึ้นย่อมส่งผลในระยะยาวต่อการเรียน และการทำความเข้าใจในฟิสิกส์อย่างแท้จริง ซึ่งจากงานวิจัยที่มีมาก่อนหน้าพบว่ามโนทัศน์ของผู้เรียนมีความคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกันหลายมิติ ตั้งแต่คลาดเคลื่อนมากไปจนถึงความเข้าใจที่สมบูรณ์ (ไอนิง เจ๊ะเหลาะ และคณะ, 2558)

ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงต้องการที่จะเพื่อสำรวจและวิเคราะห์มโนทัศน์ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือแบบทดสอบวินิจฉัยที่ปรับปรุงจากแบบวัด Force Concept Inventory (FCI) (Hestenes et al., 1992) ซึ่งเป็นแบบวัดมาตรฐาน ในการวิเคราะห์ ซึ่งถูกพัฒนามาเพื่อตรวจสอบมโนทัศน์ของผู้เรียนเรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตันเพื่อให้ทราบถึงมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของผู้เรียน และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตันกับกับเพศ ระดับชั้นเรียน ความสนใจในอาชีพ ระดับคะแนนวิชาวิทยาศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ระดับคะแนนวิชาคณิตศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น และความชอบในรายวิชาฟิสิกส์ เพื่อเก็บเป็นข้อมูลในการปรับปรุงพัฒนาการเรียนการสอนในชั้นเรียนให้มีประสิทธิภาพต่อรายวิชาฟิสิกส์พื้นฐาน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานของนิวตัน ให้เกิดความรู้ความเข้าใจ ในระดับพื้นฐานและสามารถต่อยอดองค์ความรู้ในระดับที่สูงขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสำรวจและวิเคราะห์มโนทัศน์ฟิสิกส์พื้นฐาน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตันต่อนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
2. เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตันกับเพศ ระดับชั้นเรียน ความสนใจในอาชีพ ระดับคะแนนวิชาวิทยาศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ระดับคะแนนวิชาคณิตศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น และความชอบในรายวิชาฟิสิกส์

ขอบเขตการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตการวิจัยไว้ดังนี้

1. ประชากร คือ นักเรียนโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2563

กลุ่มตัวอย่าง คือ อาสาสมัครนักเรียนโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 40 คน

2. ด้านเนื้อหา คือ เนื้อหาตามโครงสร้างของแบบทดสอบวินิจัยที่ปรับปรุงจาก The force concept inventory (FCI) (Hestenes et al., 1992) เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ 6 มโนทัศน์ ได้แก่ 1) จลศาสตร์ 2) กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 3) กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 4) กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 5) หลักการรวมแรง และ 6) ชนิดของแรง

3. ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น คือ เพศ ระดับชั้นเรียน ความสนใจในอาชีพ ระดับคะแนนวิชาวิทยาศาสตร์ ระดับคะแนนคณิตศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ความชอบในรายวิชาฟิสิกส์ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน

ตัวแปรตาม คือ 1) มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน 2) มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตันแยกตามประเด็นเนื้อหา 3) มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตันแยกตามโครงอนุกรมวิธานมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

นิยามศัพท์เฉพาะ

แบบทดสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน หมายถึง แบบทดสอบวินิจัยที่ปรับปรุงจากแบบวัด Force Concept Inventory (FCI) ประกอบด้วยคำถามจำนวน 23 ข้อ 4 ตัวเลือก ใช้เวลา 50 นาที

แรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน หมายถึง การอธิบายความสัมพันธ์ของแรงที่มากกระทำกับวัตถุให้เคลื่อนที่หรือเปลี่ยนแปลงสภาพ โดยกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันทั้ง 3 ข้อ

กฎข้อที่ 1 : $\sum F = 0$ หรือ กฎของความเฉื่อย “วัตถุจะรักษาสภาพหยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ในทิศทางเดิมก็ต่อเมื่อ แรงลัพธ์ที่มากกระทำต่อวัตถุมีค่าเท่ากับศูนย์”

กฎข้อที่ 2 : $\sum F = ma$ หรือ กฎของความเร่ง “เมื่อมีแรงลัพธ์ที่ไม่เป็นศูนย์มากกระทำกับวัตถุ วัตถุจะมีความเร่งในทิศทางเดียวกับแรงลัพธ์นั้น”

กฎข้อที่ 3 : แรงกิริยา = แรงปฏิกิริยา “แรงกิริยา-แรงปฏิกิริยาเป็นแรงที่มีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงกันข้าม และกระทำกับวัตถุคนละชนิด”

มโนทัศน์ (concept) หมายถึง ความคิด หรือความเข้าใจ ที่เกิดจากประสบการณ์ การกระทำหรือสภาพแวดล้อมในลักษณะที่รวมกันเป็นข้อสรุป หลักการ คำจำกัดความ ตามความเข้าใจในแต่ละบุคคล

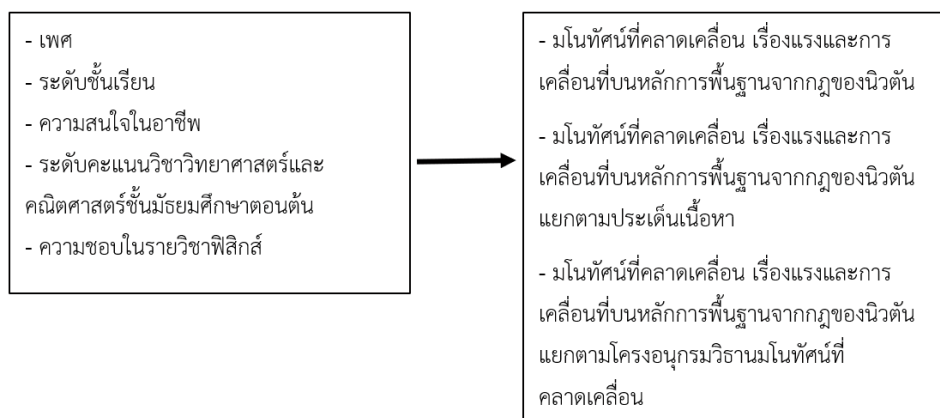
มโนทัศน์ที่ถูกต้อง หมายถึง เป็นความรู้ ความเข้าใจ หรือความคิดที่ตรงกับแนวความคิดเรื่อง แรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน ที่ถูกต้องสมบูรณ์แล้วตรงกับกฎของนิวตัน

มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (misconceptions) หมายถึง เป็นความรู้ ความเข้าใจ หรือความคิด ที่ไม่สมบูรณ์และแตกต่าง ไปจากแนวความคิดเรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน

ความเข้าใจที่ถูกต้อง หมายถึง ความรู้ความเข้าใจเรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐาน จากกฎของนิวตัน โดยพิจารณาจากการเลือกตัวเลือกที่ถูกต้อง ซึ่งถือว่ามีความเข้าใจที่ถูกต้องสมบูรณ์ หรือที่เรียกว่า “มโนมติที่ถูกต้อง” หรือ “มโนทัศน์ที่ถูกต้อง”

ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน หมายถึง ความรู้ความเข้าใจเรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการ พื้นฐานจากกฎของนิวตัน โดยพิจารณาจากการเลือกตัวเลือกที่ไม่ถูกต้อง โดยจะถือว่ามีความเข้าใจ ที่ไม่ถูกต้องสมบูรณ์ หรือที่เรียกว่า “มโนมติที่คลาดเคลื่อน” หรือ “มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน”

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ที่มา: ผู้วิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากร คือ นักเรียนโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2563

กลุ่มตัวอย่าง คือ อาสาสมัครนักเรียนโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 40 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบทดสอบวินิจฉัน เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตันที่ปรับปรุงจากแบบวัด Force Concept Inventory (FCI) แบบปรนัยประกอบด้วยคำถามจำนวน 23 ข้อ 4 ตัวเลือก ใช้เวลา 50 นาที ที่ผ่านการพิจารณาความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (IOC) (Rovinelli & Hambleton, 1977) การตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน และมีค่า IOC มากกว่า 0.67

โครงสร้างของเครื่องมือ

1. แบบทดสอบวินิจฉันโมดูลที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ หลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน (ข้อเขียน) ที่ปรับปรุงจากแบบวัด Force Concept Inventory (FCI) ประกอบไปด้วย 2 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 แบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของอาสาสมัครนักเรียน แบ่งเป็น 4 ส่วน

1. ข้อมูลทั่วไป (ชื่อ-สกุล เพศ อายุ ข้อมูลติดต่อ)
2. สายกลุ่มอาชีพที่สนใจ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่

2.1 อาชีพด้านวิทยาศาสตร์ 2 กลุ่ม ได้แก่ สายสุขภาพ เช่น แพทย์ พยาบาล ทันตแพทย์ สัตวแพทย์ เกษตรกร นักจิตวิทยา สายวิศวกรรมและเทคโนโลยี เช่น วิศวกร โปรแกรมเมอร์ นักวิทยาศาสตร์

2.2 อาชีพด้านสังคมศาสตร์ 4 กลุ่ม ได้แก่ สายธุรกิจ เช่น นักการตลาด นักบัญชี ธุรกิจส่วนตัว ค้าขาย สายสังคม เช่น หน่วยงาน อัยการ นักการทูต ครู ทหาร ตำรวจ สายภาษาและบริการ เช่น นักแปล เซฟ พนักงานในโรงแรม สายนิเทศและสื่อสารมวลชน นักออกแบบ สถาปนิก นักแสดง นักดนตรี นักข่าว นักเขียน

3. ระดับคะแนนวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น
4. ความชอบในรายวิชาฟิสิกส์

ตอนที่ 2 แบบทดสอบวินิจฉันโมดูลที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตันที่ปรับปรุงจากแบบวัด Force Concept Inventory (FCI) แบบปรนัยประกอบด้วยคำถามจำนวน 23 ข้อ 4 ตัวเลือก ใช้เวลา 50 นาที โดยแบบทดสอบวินิจฉันจะแบ่งตามโมดูลของนิวตันแบ่งออกเป็น 6 โมดูล (ตารางที่ 1) ประกอบด้วย 1) จลศาสตร์ 2) กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 3) กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 4) กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 5) หลักการรวมแรง 6) ชนิดของแรง

ตารางที่ 1 มโนทัศน์ของนิวตันของแบบทดสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ปรับปรุงจาก FCI

มโนทัศน์	ลำดับข้อสอบ(คำตอบที่ถูกต้อง)
1. จลศาสตร์	
ความเร่งต่างจากความเร็ว	16(ง)
ความเร่งคงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบพาราโบลา	17(ง) 18(จ)
ความเร่งคงที่การเปลี่ยนความเร็ว	19(ข)
2. กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1	
กรณีไม่มีแรงกระทำ	4(ข) 5(ข) 7(ข)
ทิศทางของความเร็วคงที่	20(ข)
อัตราเร็วคงที่	6(ก) 21(ก)
กรณีแรงหักล้างกัน	14(ข) 22(ค)
3. กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2	
แรงดล	5(ข)
แรงคงที่ทำให้ความเร่งคงที่	18(จ) 22(ค)
4. กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3	
สำหรับแรงดล	2(จ) 8(จ)
สำหรับแรงต่อเนื่อง	10(ก) 11(ก)
5. หลักการรวมแรง	
การรวมกันแบบเวกเตอร์	15(ข)
6. ชนิดของแรง	
กรณีอยู่นิ่ง	9(ข)
กรณีมีการต้านการเคลื่อนที่	22(ค)
6F. การสัมผัสกับของไหล	
แรงกดอากาศ	12(ข)
6G. ความโน้มถ่วง	12(ข) 13(ค) 18(ข)
ความเร่งไม่ขึ้นกับน้ำหนัก	1(ค) 3(ก)
เส้นทางการเคลื่อนที่แบบพาราโบลา	12(ข) 17(ง)

ที่มา: (Hestenes et al., 1992)

ทั้งนี้ยังมีการจัดอนุกรมวิธาน (Taxonomy) ของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของแบบวัด FCI ซึ่งสามารถวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนหรือความเข้าใจที่ผิดได้จากตัวลงแต่ละข้อโดยแบ่งมโนทัศน์คลาดเคลื่อนออกเป็น 6 มโนทัศน์ (ตามตารางที่ 2) ดังนี้ 1. จลศาสตร์ (Kinematics: K) 2. แรงขับเคลื่อนภายใน (Impetus: I) 3. แรงกระทำ (Active Forces: AF) 4. แรงคู่กิริยา/ปฏิกิริยา (Action/Reaction Pairs: AR) 5. การเรียงต่อกันของอิทธิพลอื่น ๆ (Concatenation of Influences: CI) 6. อิทธิพลอื่น ๆ ต่อการเคลื่อนที่ (Other Influences on Motion)

ตารางที่ 2 โครงอนุกรมวิธาน (Taxonomy) แบบทดสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ปรับปรุงจาก FCI

หัวข้อเนื้อหา	ข้อที่
1. จลศาสตร์ (Kinematics; K)	
K1. ไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างความเร็วกับความเร่งได้	16(ข, ค)
2. แรงขับเคลื่อนภายใน (Impetus; I)	
I1. แรงขับเคลื่อนภายในได้จากการตี	23(ง)
I2. การสูญเสีย/ได้รับแรงขับเคลื่อนภายในเดิม	4(ง) 5(ค, จ) 18(ก) 20(ก, ง, จ)
I3. การสูญเสียแรงขับเคลื่อนภายใน	6(ค) 12(ค, ง) 17(จ) 21(ค, จ) 23(ข)
I4. การเพิ่ม/ลดลงของแรงขับเคลื่อนภายในที่สร้างขึ้น	5(ง) 6(ข, ง) 18(ง) 23(จ)
I5. แรงขับเคลื่อนภายในเชิงวงกลม	4(ก, ง) 7(ก)
3. แรงกระทำ (Active Forces; AF)	
AF1. เฉพาะผู้ให้แรงกระทำเท่านั้นที่ออกแรง	8(ข) 9(ข) 13(ง) 11(ง) 14(ง)
AF2. มีการเคลื่อนที่แสดงว่ามีแรงกระทำ	23(ก)
AF3. ไม่มีการเคลื่อนที่แสดงว่าไม่มีแรงกระทำ	9(จ)
AF4. ความเร็วแปรผันตามแรงที่กระทำ	19(ก) 22(ก)
AF5. มีความเร่งแสดงว่ามีแรงกระทำเพิ่มขึ้น	13(ข)
AF6. แรงเป็นสาเหตุที่เร่งให้เกิดความเร็วปลาย	13(ก) 21(ง)
AF7. แรงกระทำหมดไป	21(ค, จ)
4. แรงคู่กิริยา/ปฏิกิริยา (Action/Reaction Pairs; AR)	
AR1. มวลมากจะออกแรงกระทำมาก	2(ก, ง) 8(ง) 10(ข) 11(ข)
AR2. สิ่งที่ออกแรงกระทำมากที่สุดจะให้แรงมากที่สุด	10(ค) 8(ง) 11(ค)
5. การเรียงต่อกันของอิทธิพลอื่น ๆ (Concatenation of Influences : CI)	
CI1. แรงที่มากที่สุดกำหนดการเคลื่อนที่	14(ก, จ) 15(ก)
CI2. แรงลัพธ์กำหนดการเคลื่อนที่	4(ค) 7(ง) 12(ก) 15(ค, ง) 17(ค) 18(ค)
CI3. แรงสุดท้ายที่กระทำกำหนดการเคลื่อนที่	5(ค) 18(ข) 20(ค)
6. อิทธิพลอื่น ๆ ต่อการเคลื่อนที่ (Other Influences on Motion:)	
CF. แรงหนีศูนย์กลาง	4(ค, ง, จ) 7(ค, ง, จ)
Ob. สิ่งกีดขวางไม่ออกแรงกระทำ	2(ค) 9(ก) 20(ข)
ความต้านทาน	
R1. มวลทำให้วัตถุหยุด	23(ก, ข) 17(ก, ข)

ตารางที่ 2 โครงอนุกรมวิธาน (Taxonomy) แบบทดสอบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ปรับปรุงจาก FCI (ต่อ)

หัวข้อเนื้อหา	ข้อที่
R2. มีการเคลื่อนที่เมื่อแรงเอาชนะความต้านทาน	22(ข, ง)
R3. ความต้านทานมีทิศตรงข้ามกับแรง/แรงขับเคลื่อนภายใน	22(จ)
ความโน้มถ่วง	
G1. ความดันอากาศช่วยความโน้มถ่วง	9(ค) 13(จ) 18(จ)
G2. ความโน้มถ่วงเป็นลักษณะธรรมชาติของมวล	13(ง)
G3. วัตถุที่หนักกว่าจะตกเร็วกว่า	1(ก) 3(ข, ง)
G4. ความโน้มถ่วงเพิ่มขึ้นขณะวัตถุตก	13(ข)
G5. ความโน้มถ่วงจะกระทำหลังแรงขับเคลื่อนภายในหมดลง	12(ง) 23(จ)

ที่มา: (Hestenes et al., 1992)

2. แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง เพื่อวินิจฉัยความเข้าใจ เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน เป็นแบบสัมภาษณ์ที่คำถามเป็นประเด็นมาจากผลของการทำแบบทดสอบวินิจฉัยของนักเรียน ทั้งนี้คำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์จะมีลักษณะเป็นการถามถึงแนวคิดของนักเรียนที่มีต่อการตอบคำถามในแบบวัดมโนทัศน์ เช่น 1) เพราะอะไรเราถึงเลือกตอบข้อนี้ 2) อะไรทำให้วัตถุเคลื่อนที่พร้อมทั้งให้นักเรียนได้อธิบาย เป็นต้น ซึ่งเป็นการชวนนักเรียนพูดคุยกับประเด็นและคำตอบที่นักเรียนตอบ ทั้งข้อที่ถูกและข้อที่ผิด โดยในการสัมภาษณ์นี้จะใช้เวลาเฉลี่ยคนละ 15 นาที โดยคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ได้จากการเก็บข้อมูลจากแบบทดสอบวินิจฉัยในข้อหัวเรื่องที่นักเรียนมีความคลาดเคลื่อน

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน

- คะแนนจากการแบบทดสอบวินิจฉัยความเข้าใจเรื่อง แรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน เลือกคำตอบถูกได้ 1 คะแนน และเลือกคำตอบผิดได้ 0 คะแนน
- การวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนวิเคราะห์จากตัวลงตามโครงอนุกรมวิธาน (Taxonomy) แบบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนตามตารางที่ 2

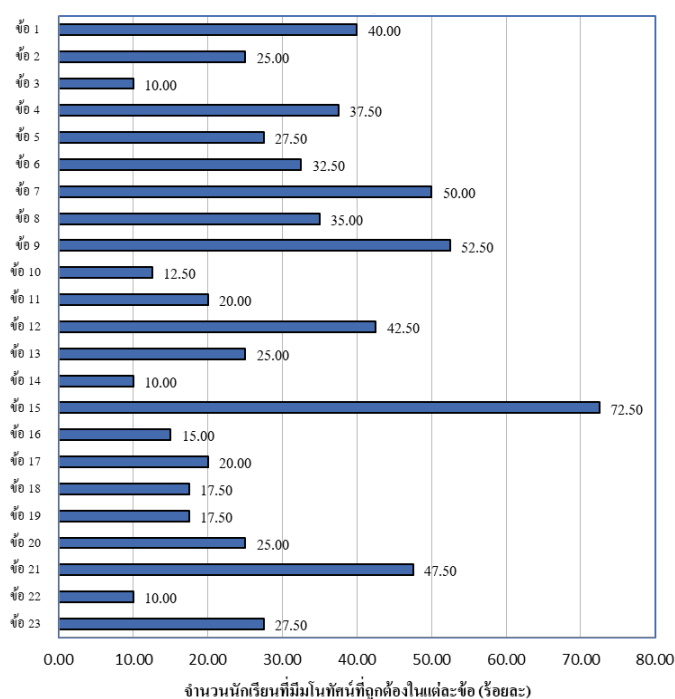
สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล

- ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) และร้อยละ (percentage) ในการวิเคราะห์ข้อมูล
- วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรต้น โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการวิจัย

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์หัตถ์โนทัศน์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน ตามแบบทดสอบวินิจัยที่ปรับปรุงจาก FCI พิจารณาจากจำนวนนักเรียนทั้งหมด 40 คน

1. ผลการวิเคราะห์หัตถ์โนทัศน์ของนิวตัน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน โดยพิจารณาตัวเลือกที่ถูกต้องโดยอ้างอิงจากตารางที่ 1 นักเรียนมีหัตถ์โนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน เฉลี่ยร้อยละ 70.51 (มีหัตถ์โนทัศน์ที่ถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 29.49) โดยร้อยละของจำนวนนักเรียนที่ตอบถูกต้องในคำถามแต่ละข้อ แสดงดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 จำนวนนักเรียนที่มีหัตถ์โนทัศน์ที่ถูกต้องในแต่ละข้อ (ร้อยละ)

ที่มา: ผู้วิจัย

จากภาพประกอบ 2 พบว่า มีจำนวนนักเรียนมากกว่าร้อยละ 50 ($N = 40$) ที่มีหัตถ์โนทัศน์ที่ถูกต้อง (ตอบถูก) ในข้อ 15 9 และ 7 โดยแต่ละข้อวัดหัตถ์โนทัศน์ เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน ดังนี้

- ข้อ 15 พิจารณามโนทัศน์เรื่องการรวมแรง ที่มีหัตถ์โนทัศน์ย่อยเรื่องการรวมกันแบบเวกเตอร์ มีนักเรียนร้อยละ 72.50 มีหัตถ์โนทัศน์ที่ถูกต้อง

- ข้อ 9 พิจารณามโนทัศน์เรื่องชนิดของแรง ที่มีมโนทัศน์ย่อยเรื่องการสัมผัสกับของแข็ง
กรณีอยู่นิ่ง มีนักเรียนร้อยละ 52.50 มีมโนทัศน์ที่ถูกต้อง

- ข้อ 7 พิจารณามโนทัศน์เรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ที่มีมโนทัศน์ย่อยเรื่องกรณีไม่มีแรงกระทำ
มีนักเรียนร้อยละ 50.00 มีมโนทัศน์ที่ถูกต้อง

สำหรับนักเรียนที่มีมโนทัศน์ที่ถูกต้อง น้อยกว่าร้อยละ 15 พบในข้อ 3 14 22 และ 10 โดย
แต่ละข้อวัดมโนทัศน์ เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน ดังนี้

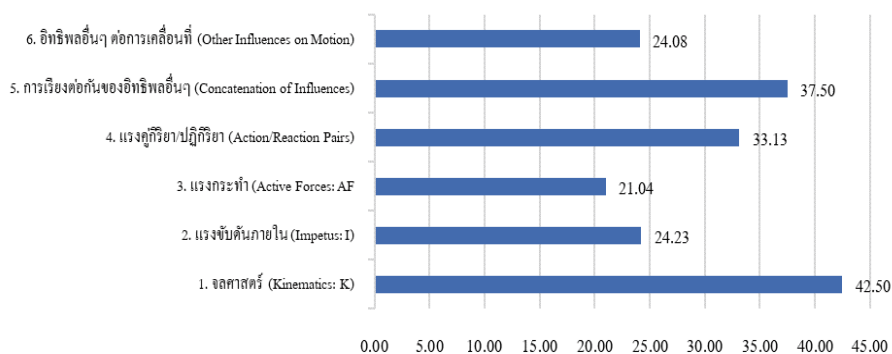
- ข้อ 3 พิจารณามโนทัศน์เรื่องชนิดของแรง ที่มีมโนทัศน์เรื่องย่อยความเร่งไม่ขึ้นกับน้ำหนัก
มีนักเรียนร้อยละ 10.00 มีมโนทัศน์ที่ถูกต้อง

- ข้อ 14 พิจารณามโนทัศน์เรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ที่มีมโนทัศน์ย่อยเรื่องกรณีแรง
หักล้างกัน มีนักเรียนร้อยละ 10.00 มีมโนทัศน์ที่ถูกต้อง

- ข้อ 22 พิจารณามโนทัศน์เรื่องชนิดของแรง ที่มีมโนทัศน์ย่อยเรื่องกรณีมีการดำเนินการเคลื่อนที่
มีนักเรียนร้อยละ 10.00 มีมโนทัศน์ที่ถูกต้อง

- ข้อ 10 พิจารณามโนทัศน์เรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ที่มีมโนทัศน์ย่อยเรื่องสำหรับแรง
ต่อเนื่อง มีนักเรียนร้อยละ 12.50 มีมโนทัศน์ที่ถูกต้อง

2. ผลการวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแยกตามโครงอนุกรมวิชามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน
ของแบบวัดปรับปรุงจาก FCI (ตารางที่ 2) แสดงตามภาพประกอบ 3



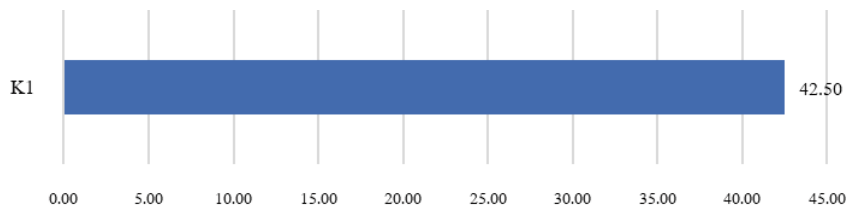
ภาพประกอบ 3 ร้อยละของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแยกตามโครงอนุกรมวิชามโนทัศน์
ที่คลาดเคลื่อนของแบบวัดปรับปรุงจาก FCI

ที่มา: ผู้วิจัย

ภาพประกอบ 3 แสดงจำนวนนักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนโดยแยกตามโครงอนุกรมวิชา
ของมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของแบบวัด ปรับปรุงจาก FCI มากที่สุด คือ จลศาสตร์ (ร้อยละ 42.50)
ถัดไปคือ การเรียงต่อกันของอิทธิพลอื่น ๆ (ร้อยละ 37.50) แรงคู่กิริยา/ปฏิกิริยา (ร้อยละ 33.13)
แรงขับเคลื่อนภายใน (ร้อยละ 24.23) อิทธิพลอื่น ๆ ต่อการเคลื่อนที่ (ร้อยละ 24.08) และน้อยที่สุด
คือ แรงกระทำ (ร้อยละ 21.04)

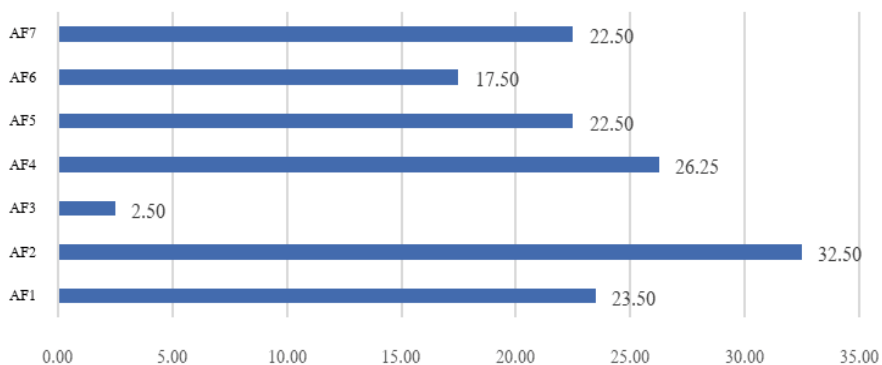
จากการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนหรือความเข้าใจที่ผิดได้จากตัวลงแต่ละข้อโดยแบ่ง มโนทัศน์คลาดเคลื่อนมากที่สุด คือ จลศาสตร์ (Kinematics; K) และน้อยสุด คือ แรงกระทำ (Active Forces: AF) ตามตารางที่ 2 พบว่า

2.1 ผลการวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่อง จลศาสตร์ (Kinematics; K) ซึ่งมี 1 มโนทัศน์ย่อยดังภาพประกอบ 4 พบว่า นักเรียนไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างความเร็ว กับความเร่งได้ (K1) ร้อยละ 42.50



ภาพประกอบ 4 ร้อยละมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่อง จลศาสตร์
ที่มา: ผู้วิจัย

2.2 ผลการวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่อง แรงกระทำ (Active Forces; AF) มี 7 มโนทัศน์ย่อยแสดงดังภาพประกอบ 5 พบว่า นักเรียนมีความคลาดเคลื่อนในหัวข้อ จากมากไป น้อย ตามลำดับ ดังนี้ มีการเคลื่อนที่แสดงว่ามีแรงกระทำ (AF2) ร้อยละ 32.50 ความเร็วแปรผันตามแรง ที่กระทำ (AF4) ร้อยละ 26.25 เฉพาะผู้ให้แรงกระทำเท่านั้นที่ออกแรง (AF1) ร้อยละ 23.50 มีความเร่งแสดงว่ามีแรงกระทำเพิ่มขึ้น (AF5) ร้อยละ 22.50 แรงกระทำหมดไป (AF7) ร้อยละ 22.50 แรงเป็นสาเหตุที่เร่งให้เกิดความเร็วปลาย (AF6) ร้อยละ 17.50 และไม่มีการเคลื่อนที่แสดงว่า ไม่มีแรงกระทำ (AF3) ร้อยละ 2.50



ภาพประกอบ 5 ร้อยละมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่องแรงกระทำ
ที่มา: ผู้วิจัย

ตอนที่ 2 ผลวิเคราะห์คะแนนของนักเรียนเปรียบเทียบกับเพศ ระดับชั้นเรียน ความสนใจในอาชีพ ระดับคะแนนวิชาวิทยาศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ระดับคะแนนคณิตศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ความชอบในรายวิชาฟิสิกส์ ด้วยโปรแกรมประมวลผลข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS (statistical package for the social sciences) ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

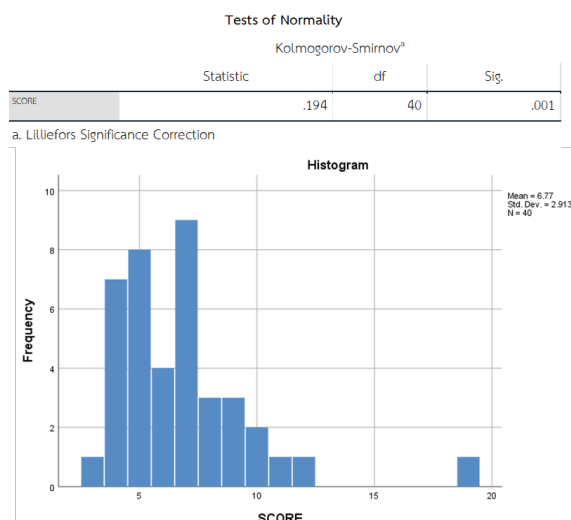
1. ผลการวิเคราะห์การแจกแจงแบบปกติของคะแนนนักเรียน จากตารางที่ 3 แสดงที่ได้จากการทำแบบทดสอบวินิจัยมโนทัศน์ เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตันโดยวิธีการทดสอบ Kolmogorov - Smirnov Test พบว่าค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (significance; sig.) ของคะแนนนักเรียน เท่ากับ 0.001 ซึ่งน้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ตั้งไว้ที่ระดับ .05 ดังแสดงในภาพประกอบ 6 ดังนั้นคะแนนของนักเรียนมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ (non-normal distribution)

เนื่องจากผลการวิเคราะห์คะแนนของนักเรียนที่มีการแจกแจงแบบไม่ปกติเพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตันกับเพศ ระดับชั้นเรียน ความสนใจในอาชีพ ระดับคะแนนวิชาวิทยาศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ระดับคะแนนคณิตศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ความชอบในรายวิชาฟิสิกส์คะแนนเปรียบเทียบกับคะแนนแบบทดสอบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตันโดยวิธี Kruskal-Wallis Test

ตารางที่ 3 คะแนนของนักเรียนจากแบบทดสอบวินิจัยมโนทัศน์ เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน

คะแนนที่ได้	จำนวนนักเรียน (คน)
3	1
4	7
5	8
6	4
7	9
8	3
9	2
10	1
11	1
12	1
19	1
รวม	40

ที่มา: ผู้วิจัย



ภาพประกอบ 6 การวิเคราะห์การแจกแจงตัวของคะแนนนักเรียนจากแบบทดสอบวินิจฉัยผ่านโปรแกรม SPSS โดยวิธี Kolmogorov-Smirnova
ที่มา: โปรแกรม IBM SPSS Statistics (IBM, 2021)

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตันกับ เพศ ระดับชั้นเรียน ความสนใจในอาชีพ ระดับคะแนนวิชาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนต้น ระดับคะแนนคณิตศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ความชอบในรายวิชาฟิสิกส์คะแนนกับคะแนนแบบวินิจฉัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตันด้วยวิธี Kruskal-Wallis Test

เปรียบเทียบคะแนนจากแบบทดสอบวินิจฉัยมโนทัศน์กับ	ข้อมูล	ค่ามัธยฐาน (คะแนน)	Sig.	ผลของการเปรียบเทียบ
1. เพศ	ชาย หญิง	6.00 7.00	.436	ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
2. ระดับชั้น	มัธยมศึกษาปีที่ 4 มัธยมศึกษาปีที่ 5	6.00 8.00	.006	แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
3. ความสนใจในด้านอาชีพ	กลุ่มสายวิทยาศาสตร์ อย่างเดียว กลุ่มสายด้าน สังคมศาสตร์อย่างเดียว ทั้งสายวิทยาศาสตร์ และสังคมศาสตร์	8.00 4.00 6.00	.001	แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตันกับ เพศ ระดับชั้นเรียน ความสนใจในอาชีพ ระดับคะแนนวิชาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนต้น ระดับคะแนนคณิตศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น ความชอบในรายวิชาฟิสิกส์คะแนนกับคะแนนแบบวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตันด้วยวิธี Kruskal-Wallis Test (ต่อ)

เปรียบเทียบคะแนนจากแบบทดสอบวินิจัยมโนทัศน์กับ	ข้อมูล	ค่ามัธยฐาน (คะแนน)	Sig.	ผลของการเปรียบเทียบ
4. ระดับคะแนนวิชาคณิตศาสตร์ ม.ต้น	2.00-2.50	5.50	.813	ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
	2.51-3.00	6.50		
	3.01-3.50	7.00		
	3.51-4.00	6.00		
5. ระดับคะแนนวิชาวิทยาศาสตร์ ม.ต้น	2.00-2.50	5.50	.409	ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
	2.51-3.00	4.00		
	3.01-3.50	6.50		
	3.51-4.00	7.00		
6. ระดับความชอบในรายวิชาฟิสิกส์	ชอบน้อย	5.50	.056	ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
	ชอบปานกลาง	6.00		
	ชอบมาก	8.00		

ที่มา: ผู้วิจัย

จากตารางที่ 4 พบว่า ผลการวิจัยของตัวแปรอิสระที่ส่งผลต่อมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน พบว่าเพศ ระดับคะแนนวิชาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนต้น ระดับคะแนนคณิตศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น และความชอบในรายวิชาฟิสิกส์ ด้วยวิธี Kruskal-Wallis Test มีค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ ที่น้อยกว่า .05 (ค่านัยสำคัญที่ตั้งไว้) ไม่ส่งผลต่อมโนทัศน์เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน ระดับคะแนนเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน ในระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สำหรับตัวแปรที่มีผลต่อมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน ซึ่งมีค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ ที่มากกว่า .05 จากงานวิจัยครั้งนี้ คือ ระดับชั้นของนักเรียนและความสนใจทางด้านอาชีพของนักเรียนมีผลต่อความคลาดเคลื่อนของมโนทัศน์ของนักเรียนเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน โดยนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 (มัธยฐาน = 8.00) มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนน้อยกว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 (มัธยฐาน = 6.00) และความสนใจในอาชีพของนักเรียนโดยเฉพาะต่อกลุ่มสายอาชีพวิทยาศาสตร์

มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดด้วย (มัธยฐาน = 8.00) รองลงมาเป็นนักเรียนที่สนใจทั้งกลุ่มสายสังคมและวิทยาศาสตร์ (มัธยฐาน = 6.00) และท้ายที่สุดเป็นนักเรียนที่สนใจกลุ่มอาชีพสายสังคมศาสตร์เพียงอย่างเดียวด้วย (มัธยฐาน = 4.00) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตอนที่ 3 ผลจากการสัมภาษณ์ข้อคำถามแบบทดสอบวินิจัยมโนทัศน์ เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน ประเด็นที่ได้จากการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างกับอาสาสมัครนักเรียน 14 คน ของนักเรียนตามประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

1. จลศาสตร์ (ข้อ 6) มีนักเรียนให้เหตุผลที่ถูกต้องร้อยละ 50 และให้เหตุผลที่ไม่ถูกต้องร้อยละ 50 โดยระบุว่า “ระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่มีขนาดเท่ากันแต่ระยะระหว่างตำแหน่งที่ยาวกว่าจะมีความเร่งที่มากกว่า”

2. กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 (ข้อ 4) มีนักเรียนให้เหตุผลที่ถูกต้องร้อยละ 60 และให้เหตุผลที่ไม่ถูกต้องร้อยละ 40 โดยระบุว่า “เมื่อเชือกขาดขณะลูกตุ้มหมุนเป็นวงกลมจะมีแรงทำให้ลูกตุ้มยังคงหมุนในลักษณะโค้งอยู่”

3. กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 (ข้อ 18) มีนักเรียนให้เหตุผลที่ถูกต้องร้อยละ 75 และให้เหตุผลที่ไม่ถูกต้องร้อยละ 25 โดยระบุว่า “จรวดมีการเคลื่อนที่ตรงเป็นแนวฉากอยู่แล้วเมื่อดับเครื่องลงก็จะเคลื่อนที่เป็นแนวตั้งฉาก”

4. กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 (ข้อ 3) มีนักเรียนให้เหตุผลที่ถูกต้องร้อยละ 37.5 และให้เหตุผลที่ไม่ถูกต้องร้อยละ 40 โดยระบุว่า “รถเล็กคันรถบรรทุกคันใหญ่จะต้องใช้แรงกระทำที่มากกว่าแรงที่รถบรรทุกกระทำกลับมากับรถคันเล็กถึงจะยับคันใหญ่ไปได้”

5. หลักการรวมแรง (ข้อ 15) มีนักเรียนให้เหตุผลที่ถูกต้องร้อยละ 80 และให้เหตุผลที่ไม่ถูกต้องร้อยละ 20 โดยระบุว่า “ผู้ชายมีแรงมากกว่าก๊วตจึงเคลื่อนที่ไปทางผู้ชายมากกว่าเด็กผู้ชาย”

6. ชนิดของแรง (ข้อ 13) มีนักเรียนให้เหตุผลที่ถูกต้องร้อยละ 50 และให้เหตุผลที่ไม่ถูกต้องร้อยละ 50 โดยระบุว่า “ความเร็วจะไม่เพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงไม่มีแรงกระทำ”

สำหรับข้อเสนอแนะของนักเรียนต่อรายวิชาฟิสิกส์

1. อยากให้มีการยกตัวอย่างเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเข้าใจ เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน

2. เพิ่มสื่อการสอนเพื่อให้นักเรียนเห็นภาพมากขึ้น

3. เรียงลำดับความยากง่ายของโจทย์ปัญหา

4. สร้างแรงบันดาลใจให้การเรียนรู้และค้นคว้าให้นักเรียน

อภิปรายผลการวิจัย

ผลจากการวิจัยครั้งนี้พบว่านักเรียนโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2563 มีคะแนนมโนทัศน์ที่ถูกต้อง เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน เฉลี่ยร้อยละ 29.49 จากการแปลความหมายจากคะแนนจากแบบวัด FCI ที่ว่าหากได้คะแนนมากกว่าร้อยละ 85 เป็นผู้ที่มีความเข้าใจในมโนทัศน์เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ของนิวตัน และหากได้คะแนนมากกว่าร้อยละ 60 เป็นผู้ที่เริ่มมีการคิดสอดคล้องกับมโนทัศน์ของนิวตัน สำหรับผลการวิจัยในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าอาสาสมัครนักเรียนมีระดับคะแนนที่ไม่ถึงเกณฑ์ที่ผู้เรียนจะมีความคิดที่สอดคล้องกับมโนทัศน์ของนิวตัน ซึ่งผลระดับของอาสาสมัครนักเรียนสอดคล้องกับหลายงานวิจัย (Bani-Salameh, 2017; กิตติมา, 2563; นิคม, 2542; สุพรรณา และ ชนินันท์ 2560; อารียา และพัทธวัน, 2563)

จากการวิเคราะห์การตอบคำถามของนักเรียน พบว่านักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ($N = 40$) มากกว่าร้อยละ 85 จำนวน 4 ข้อ ซึ่งสามารถวิเคราะห์มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในแต่ละประเด็นดังนี้ (3, 10, 14 และ 22)

ข้อ 3 เมื่อวัตถุมีน้ำหนักที่ไม่เท่ากันกลิ้งตกจากโต๊ะในแนวราบด้วยความเร็วที่เท่ากัน “วัตถุทั้งสองจะตกกระทบพื้นได้ระยะห่างในแนวราบห่างจากฐานของโต๊ะด้วยระยะทางที่เท่ากัน” แต่นักเรียนร้อยละ 45.00 เลือกตอบ 3 (ข, ง) ระบุว่า “วัตถุที่มีน้ำหนักที่มากกว่าจะตกกระทบพื้นได้ระยะห่างจากฐานโต๊ะที่ไกลกว่าวัตถุที่น้ำหนักที่เบากว่า” ซึ่งเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับ “วัตถุที่หนักกว่าจะตกเร็วกว่า ($G3$)” ซึ่งเกิดจากความเข้าใจว่า “ความโน้มถ่วง (gravity)” ไม่จำเป็นต้องเหมือนกับ “แรงโน้มถ่วง (gravitational force)” หากเชื่อว่าทั้งสองเหมือนกันจะนำไปสู่ความเข้าใจที่ว่า “วัตถุที่หนักกว่าจะตกเร็วกว่า” ความเข้าใจนี้อาจดูเหมือนจริงภายใต้มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับขนาด (Scale) ที่เห็นว่าความโน้มถ่วงจะเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนในระยะที่ไม่มาก $1/10^{13}$ เมตร (Hestenes et al., 1992; Gang Liu, 2016; Kaniawati et al., 2019)

ข้อ 10 เมื่อวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่าออกแรงดันวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่าให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า “แรงต้านที่วัตถุขนาดเล็กกระทำกับวัตถุขนาดใหญ่มีค่าเท่ากับแรงต้านที่วัตถุขนาดใหญ่ทำกับวัตถุขนาดเล็ก” แต่นักเรียนร้อยละ 42.50 เลือกตอบ 10(ค) ระบุว่า แรงต้านที่วัตถุขนาดเล็กกระทำวัตถุขนาดใหญ่มีค่ามากกว่าแรงต้านกลับของวัตถุขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่กล่าวว่า “สิ่งที่ออกแรงกระทำมากที่สุดจะให้แรงมากที่สุด ($AR2$)” และนักเรียนร้อยละ 22.50 เลือกตอบ 10(ข) ระบุว่า แรงต้านที่วัตถุขนาดเล็กกระทำต่อวัตถุขนาดใหญ่มีค่าน้อยกว่าแรงต้านกลับของวัตถุขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่กล่าวว่า “มวลมากจะออกแรงกระทำมาก ($AR1$)” ซึ่งเกิดจากการตีความอันตรกิริยา (interaction) โดยใช้ “การอุปไมยแบบขัดแย้ง (conflict metaphor)” ซึ่งบอกว่า แรงอันตรกิริยาเป็นการต่อสู้กันของแรงที่มีทิศตรงข้ามกัน “โดยฝ่ายที่ชนะจะเป็นฝ่ายที่แข็งแกร่งกว่า” ส่งผลให้นักเรียนคิดวากฎข้อที่ 3 ของนิวตันไม่สมเหตุสมผล และในทางกลับกันนักเรียนใช้ “หลักการของความเด่น (dominance principle)” ซึ่งกล่าวว่า “วัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่าจะให้แรงกระทำที่มากกว่า” ในการอธิบายอันตรกิริยาของวัตถุแทน (Hestenes et al., 1992; Gang Liu, 2016; Kaniawati et al., 2019)

ข้อ 14 ในขณะที่ลิฟต์กำลังเคลื่อนที่ขึ้นด้วยอัตราเร็วคงที่และไม่มีแรงเสียดทาน “แรงจากสายเคเบิลที่อยู่ในทิศขึ้นจะมีขนาดที่เท่ากับแรงดึงดูดของโลก (g) ที่อยู่ในทิศลง” แต่นักเรียนร้อยละ 80 เลือกตอบ 14(ก, จ) ที่ระบุว่า “แรงในทิศขึ้นจะมีขนาดที่มากกว่าแรงในทิศลง” ซึ่งเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนที่กล่าวว่า “แรงที่มากที่สุดจะเป็นตัวกำหนดการเคลื่อนที่ (CI1)” โดยนักเรียนใช้ “หลักการของความเด่น (dominance principle)” ที่บอกว่า “การรวมกันระหว่างแรงที่กระทำบนวัตถุเดียวกันจะมีเพียงแรงเดียวที่ชนะอีกแรงเสมอ” ซึ่งเป็นความสับสนระหว่างเรื่อง “หลักการรวมแรงกรณีที่แรงกระทำกับวัตถุมีทิศตรงข้ามกัน” กับ “แรงคู่กิริยาปฏิกิริยา” (Hestenes et al., 1992; Gang Liu, 2016; Ida, 2019) โดยความเชื่อนี้มาจากประสบการณ์ของผู้เรียนที่เมื่อต้องการทำให้วัตถุเคลื่อนที่ จะต้องออกแรงผลักให้มากขึ้น จนเอาชนะแรงเสียดทานได้

ข้อ 22 เมื่อออกแรงในแนวราบขนาดคงที่กับวัตถุ แล้วทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ “แรงที่กระทำกับวัตถุจะมีขนาดเท่ากับผลรวมของแรงทั้งหมดที่ต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ” แต่นักเรียนร้อยละ 57.50 เลือกตอบข้อ 22(ข, ง) ระบุว่า “แรงที่กระทำจะมีขนาดมากกว่าน้ำหนักหรือมากกว่าผลรวมของแรงทั้งหมดที่ต้านการเคลื่อนที่” ซึ่งเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ เมื่อแรงเอาชนะความต้านทาน (R2) นักเรียนร้อยละ 22.50 เลือกตอบ 22(ก) ระบุว่า ถ้าออกแรงเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า อัตราเร็วจะเพิ่มขึ้น 2 เท่า ซึ่งเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับความเร็วแปรผันตามแรงที่กระทำ (AF4) และนักเรียนร้อยละ 10 เลือกตอบ 22(จ) ระบุว่า จะมีแรงที่ทำให้กล่องเคลื่อนที่ แต่เป็นแรงภายนอก ซึ่งเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับความต้านทานมีทิศตรงข้ามกับแรง/แรงขับเคลื่อนภายใน (R3) เกิดจากความเข้าใจที่ว่าน้ำหนักเป็นแรงต้านทานชนิดหนึ่งเพราะต่อต้านความพยายามของผู้ให้แรงกระทำ การเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นเมื่อแรงกระทำเอาชนะแรงต้านทานได้เท่านั้น และการเคลื่อนที่จะหยุดลงเมื่อแรงน้อยเกินไป (Hestenes et al., 1992; Gang Liu, 2016; Kaniawati et al., 2019)

จากผลการวิจัยของตัวแปรอิสระที่ส่งผลต่อมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน พบว่าเพศ (สอดคล้องกับงานวิจัย Faiqah, Ali, & Mohtar, 2013; Savinainen & Viiri, 2008) ระดับคะแนนวิชาวิทยาศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษา ระดับคะแนนคณิตศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นและความชอบในรายวิชาฟิสิกส์ ไม่ส่งผลต่อมโนทัศน์ เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน ระดับคะแนนเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน ในระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สำหรับตัวแปรที่มีผลต่อมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน จากงานวิจัยครั้งนี้ คือ ระดับชั้นของนักเรียน (สอดคล้องกับงานวิจัย Savinainen & Viiri, 2008) และความสนใจทางด้านอาชีพของนักเรียนมีผลต่อความคลาดเคลื่อนของมโนทัศน์ของนักเรียนเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน โดยนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 (มัธยม = 8.00) มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนน้อยกว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 (มัธยม = 6.00) และความสนใจในอาชีพของนักเรียนโดยเฉพาะต่อกลุ่มสายอาชีพวิทยาศาสตร์มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด (มัธยม = 8.00) รองลงมาเป็นนักเรียนที่สนใจทั้งกลุ่มสายสังคมและวิทยาศาสตร์ (มัธยม = 6.00) และท้ายที่สุดเป็นนักเรียนที่สนใจกลุ่มอาชีพสายสังคมศาสตร์เพียงอย่างเดียว (มัธยม = 4.00) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลการวิจัยจากการสัมภาษณ์ข้อความแบบทดสอบวินิจัยมโนทัศน์ เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน ประเด็นที่ได้จากการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างกับอาสาสมัครนักเรียน 14 คน ซึ่งการระบุสาเหตุของการเลือกคำตอบในแบบทดสอบวินิจัยของนักเรียนตรงกับโครงอนุกรมวิธาน (Taxonomy) ของแบบวัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน ปรับปรุงจาก ประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

1. จลศาสตร์ (ข้อ 6) นักเรียนไม่สามารถบอกความแตกต่างระหว่างความเร็วกับความเร่งได้
2. กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 (ข้อ 4) นักเรียนมีความคิดคลาดเคลื่อน เรื่องแรงดันภายในเชิงวงกลม และแรงหนีศูนย์กลาง
3. กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 (ข้อ 18) นักเรียนมีความคิดคลาดเคลื่อน เรื่องแรงสุดท้ายที่กระทำกำหนดการเคลื่อนที่
4. กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 (ข้อ 3) นักเรียนมีความคิดคลาดเคลื่อน เรื่องมวลมากจะออกแรงกระทำมาก
5. หลักการรวมแรง (ข้อ 15) นักเรียนมีความคิดคลาดเคลื่อน เรื่องแรงที่มากที่สุดกำหนดการเคลื่อนที่
6. ชนิดของแรง (ข้อ 13) มีนักเรียนมีความคิดคลาดเคลื่อน เรื่องแรงเป็นสาเหตุที่เร่งให้เกิดความเร็วปลาย

ข้อเสนอแนะ

1. การวิจัยครั้งนี้เป็นการสำรวจมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน กับนักเรียนที่เคยเรียนวิชาแรงและการเคลื่อนที่มาแล้วซึ่งไม่ได้มีการสำรวจก่อนเรียนและหลังเรียน ดังนั้นการศึกษาค้างต่อไปควรทำการสำรวจก่อนเรียนและหลังเรียนเพื่อดูผลของการจัดการเรียนการสอนและปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพ
2. การศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน มีกลุ่มตัวอย่างเฉพาะนักเรียนโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ซึ่งมีหลักสูตรที่แตกต่างจากหลายโรงเรียน ดังนั้นครั้งต่อไปควรขยายกลุ่มตัวอย่างไปตามโรงเรียนอื่น ๆ
3. ผู้วิจัยจะนำข้อบกพร่องจากแบบทดสอบวินิจัยไปจัดการเรียนรู้และออกแบบการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับผู้เรียนรวมทั้งแบบฝึกหัด เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ชัดเจน ตระหนักถึงมโนทัศน์ที่ถูกต้องต่อเรื่องแรงและการเคลื่อนที่บนหลักการพื้นฐานจากกฎของนิวตัน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้สนับสนุนทุนวิจัยจากกองทุนวิจัยคณะวิทยาการเรียนรู้และศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือเพื่อให้งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

เอกสารจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

งานวิจัยนี้ได้รับการอนุมัติและดำเนินการตามหลักการที่กำหนดโดยคณะกรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สาขาสังคมศาสตร์ รหัสโครงการวิจัย 050/2564 หนังสือรับรองเลขที่ 048/2564

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *มาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และสาระภูมิศาสตร์ ในกลุ่มสาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- กิตติมา พันธุ์ฤทธา. (2563). มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ของนักเรียน ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา*, 31(2), 189-106.
- นิคม ทองบุญ. (2542). *มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่อง มวล แรง และกฎการเคลื่อนที่ ของนักเรียนชั้น มัธยมศึกษาตอนปลาย จังหวัดพัทลุง*. [วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์
- ปัทมาพร ณ น่าน, เชษฐ ศิริสวัสดิ์ และสมพงษ์ ปันหุ่น. (2558). การสร้างแบบทดสอบวินิจฉัย มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนแบบสามขั้นวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและกฎการเคลื่อนที่สำหรับนักเรียน ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร*, 16(1), 198-208.
- โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. (2563). *หลักสูตรโรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัย-ธรรมศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย พ.ศ. 2563*. (ม.ป.ท.)
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2563). *ฟิสิกส์ เล่ม 1*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ สกสค.ลาดพร้าว.
- สุพรรณา หอมฤทธิ์ และชนินทร์ พงษ์ประมุข. (2560). การศึกษาแนวคิดคลาดเคลื่อนและการขาด ความรู้ เรื่อง แรงและกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนชั้น มัธยมศึกษาตอนปลาย จังหวัดสิงห์บุรี โดยใช้แบบทดสอบวินิจฉัยสี่ลำดับขั้น. *วารสารวิจัยทางการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 11(2), 220-231.
- อารียา ไชยศักดิ์ และพัทธาวิน นาใจแก้ว. (2563). ความเข้าใจมโนติเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนด้วยการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานเสริมด้วย โปรแกรมซิโมเลชั่น [การประชุมวิชาการ]. The 7th NEU National Conference 2020 (NEUNC 2020), มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, ประเทศไทย.
- ไอนิง เจ๊ะเหลาะ, อนุมติ เดชนะ และสรณ เสนาสวัสดิ์. การศึกษามโนมติที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรง และกฎการเคลื่อนที่ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ หาความรู้. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์*, 2(1), 1-11.

ภาษาอังกฤษ

- Bani-Salameh, H. N. (2017). Using the method of dominant incorrect answers with the FCI test to diagnose misconceptions held by first year college students. *Physics Education*, 52(1), 015006. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/52/1/015006>
- Bayraktar, Ş. (2008). Misconceptions of Turkish Pre-Service Teachers about Force and Motion. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7, 273-291. <https://doi.org/10.1007/s10763-007-9120-9>
- Faiqah, N., Ali, M., & Mohtar, L. (2013). *The Level of Misconceptions on Force and Motion among Physics Pre-Services Teacher in UPSI*. [Conference presentation]. KSL Hotel & Resort, Johor Bahru, Johor. https://www.researchgate.net/publication/269806265_The_Level_of_Misconceptions_on_Force_and_Motion_among_Physics_Pre-Services_Teacher_in_UPSI
- Halloun, I., & Hestenes, D. (1985a). Common Sense Concepts About Motion. *American Journal of Physics - AMER J PHYS*, 53, 1056-1065. <https://doi.org/10.1119/1.14031>
- Halloun, I., & Hestenes, D. (1985b). The Initial Knowledge State of College Physics Students. *American Journal of Physics*, 53, 1043-1055. <https://doi.org/10.1119/1.14030>
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141-158. <https://doi.org/10.1119/1.2343497>
- IBM. (2021). *IBM SPSS Statistics for Windows, version 28.0* [ซอฟต์แวร์]. IBM Corporation.
- Kaniawati, I., Janeusse Fratiwi, N., Danawan, A., Suyana, I., Samsudin, A., & Suhendi, E. (2019). Analyzing students' misconceptions about Newton's laws through Four-Tier Newtonian Test (FTNT). *Journal of Turkish Science Education*, 16, 110-122. <https://doi.org/10.12973/tused.10269a>
- Liu, G., & Fang, N. (2016). Student Misconceptions about Force and Acceleration in Physics and Engineering Mechanics Education. *International Journal of Engineering Education*, 32, 19-29.
- Rovinelli, R. J., & Hambleton, R. K. (1977). On the use of content specialists in the assessment of criterion-referenced test item validity. *Tijdschrift voor Onderwijsresearch*, 2(2), 49-60.