



การพัฒนาสื่อนวัตกรรมการทดลองเสมือนจริงเพื่อส่งเสริมโน้ตส์ เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่าง
แรง มวล และความเร่ง ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

Development of an Innovative Virtual Reality Laboratory Media for Promoting
Concepts on the Relation Between Force, Mass, and Acceleration of
Upper Secondary School Students

กุลภัทร เอี่ยมธราชัย¹ และ ปริณดา ลิมปานนท์ พรหมรัตน์^{2*}

Kulaphat Eiamtharachai¹ and Parinda Limpanont Promratana^{2*}

บทคัดย่อ

แม้การทดลองจะเป็นกระบวนการสำคัญในการพัฒนานวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์ แต่การทดลองจริงเรื่องแรงและการเคลื่อนที่มีข้อจำกัดในชั้นเรียน งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยและพัฒนาสื่อเพื่อ 1) พัฒนาสื่อนวัตกรรมการทดลองเสมือนจริง เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง และ 2) ศึกษาผลการพัฒนาระดับโน้ตส์กับตัวอย่างนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียน วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จำนวน 14 คน โดยเลือกนักเรียนด้วยวิธีเลือกแบบอาสาสมัคร เครื่องมือในการเก็บข้อมูล ได้แก่ แบบสนทนากลุ่มผู้เชี่ยวชาญ แบบสนทนากลุ่มผู้ใช้สื่อ แบบประเมินความเหมาะสมและสอดคล้องของสื่อ และแบบวัดมโนทัศน์แบบเลือกตอบสองระดับ จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า สื่อที่พัฒนาขึ้นมีค่าเฉลี่ยความเหมาะสมและความสอดคล้องที่ 4.41/5.00 มีลักษณะเป็นการทดลองเสมือนจริงบนแอปพลิเคชันติดตั้งบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ร่วมกับอุปกรณ์สวมศีรษะเพื่อแสดงภาพ ใช้สถานการณ์การทดลองการเคลื่อนที่ของยานอวกาศ ในมุมมองแบบบุคคลที่ 2 ค่าจากการวัดมีความคลาดเคลื่อน 5% ที่ใกล้เคียงการทดลองจริงและสามารถสรุปผลการทดลองอย่างมีประสิทธิภาพ และสื่อนี้สามารถพัฒนาระดับโน้ตส์ของนักเรียน โดยความถี่ของระดับโน้ตส์ไม่มีมโนทัศน์ (NU) และ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (SM) ลดลงร้อยละ 18.58 และ 2.14 ตามลำดับ ในขณะที่ระดับโน้ตส์ที่ถูกต้องบางส่วน (PU) และ มโนทัศน์ที่ถูกต้อง (SU) เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.14 และ 18.58 ตามลำดับ

คำสำคัญ : สื่อการทดลอง, สื่อเสมือนจริง, สื่อนวัตกรรม, มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์

Article Info: Received 26 January 2025; Received in revised form 30 May 2025; Accepted 04 June, 2025

¹ นิสิตมหาบัณฑิตสาขาการศึกษาวิทยาศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อีเมล : kulaphateiamtharachai@gmail.com
Graduate Student in Division of Science Education, Department of Curriculum and Instruction, Faculty of Education, Chulalongkorn University
Email: kulaphateiamtharachai@gmail.com

² อาจารย์ประจำสาขาการศึกษาวิทยาศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อีเมล : parinda.l@chula.ac.th
Lecturer in Division of Science Education, Department of Curriculum and Instruction, Faculty of Education, Chulalongkorn University
Email: parinda.l@chula.ac.th

* Corresponding author

Abstract

Experimentation is a key process in promoting scientific conceptual understanding. However, when studying physics concepts related to force and motion, real classroom experiments face several limitations. This research aimed to 1) develop innovative virtual experimental media on the relationship between force, mass, and acceleration, and 2) study the conceptual development of 14 grade 10 students in the science-mathematics program, selected through voluntary sampling. Data collection tools included expert focus group discussions, user focus group discussions, media suitability and consistency evaluation forms, and a two-tier multiple-choice conceptual test. Data analysis revealed that the developed media received an average suitability and consistency rating of 4.41 out of 5.00. The medium was designed as a virtual experiment using a mobile application paired with a headset. It the situation of a spacecraft motion experiment from a second-person point of view. The measurements obtained had an error margin of 5%, offering a realistic experimental experience and enabling effective interpretation of the results. The findings indicated that the media contributed to the development of students' conceptual understanding. The frequencies of the No Understanding (NU) and Specific Misconception (SM) levels decreased by 18.58% and 2.14%, respectively, while the Partial Understanding (PU) and Sound Understanding (SU) levels increased by 2.14% and 18.58%, respectively.

Keywords: laboratory media, virtual reality, innovative media, scientific concepts

บทนำ

แรงและการเคลื่อนที่เป็นหัวใจสำคัญของวิชากลศาสตร์ หากนักเรียนไม่ได้เรียนรู้และทำความเข้าใจมโนทัศน์นี้อย่างถูกต้อง ย่อมส่งผลให้ไม่สามารถเรียนรู้กลศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Hestenes et al., 1992) นอกจากนี้ยังส่งผลต่อเนื่องต่อการเรียนรู้ฟิสิกส์แขนงอื่น การมีมโนทัศน์ทางฟิสิกส์ที่ถูกต้องในแต่ละสาขา เป็นรากฐานสำคัญสำหรับการประกอบอาชีพด้านวิทยาศาสตร์ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี [สสวท.], 2561ก) ตลอดจนเป็นพื้นฐานสำคัญในการออกแบบและพัฒนาเทคโนโลยีต่าง ๆ โดยเฉพาะในงานด้านวิศวกรรมศาสตร์ (Young & Freedman, 2016)

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ งานวิจัยของ กิตติมา พันธุ์พุกษา (2563) พบว่า นักเรียนมีมโนทัศน์คลาดเคลื่อนสูงสุด เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเร่ง สอดคล้องกับ ผลการวิจัยของ กิตติทัศน์ หวานน้ำ (2563) ที่พบว่า นักเรียนมีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนในประเด็นกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 สูงถึงร้อยละ 72.99 แสดงว่า การจัดการเรียนรู้ เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง ต้องได้รับการพัฒนา

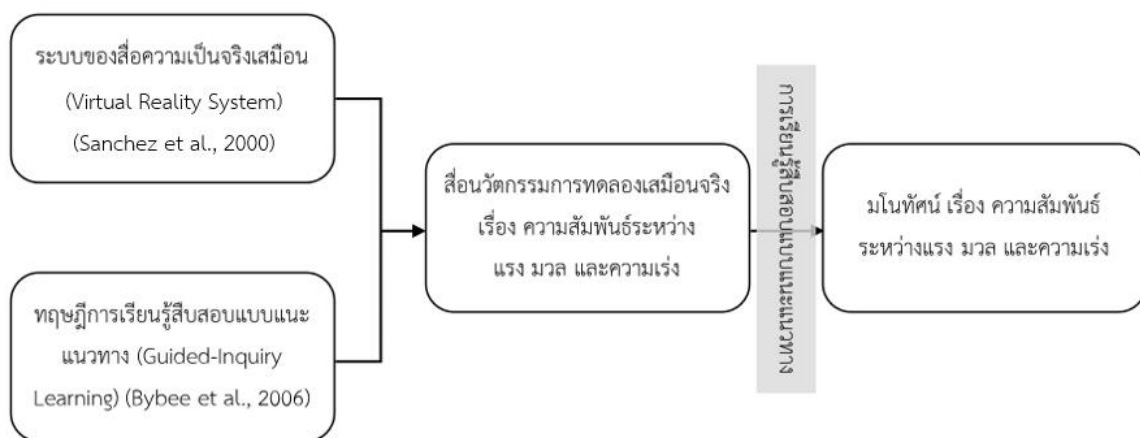
เมื่อพิจารณาการจัดการเรียนรู้ในหนังสือแบบเรียนมาตรฐานภายในประเทศและต่างประเทศ พบว่า หัวข้อดังกล่าวใช้วิธีการสอนด้วยการทดลอง (สสวท., 2561ก; Hewitt, 2002; Sang, 2014) หากอุปกรณ์ไม่มีคุณภาพหรือไม่เพียงพอ นักเรียนจะขาดอิสระในการทดลอง (สมศักดิ์ เตชะโกสิต และ ณมน จีรังสุวรรณ, 2556) การศึกษาของ นฤมล เอมะรัตน์ และคณะ (2562) พบว่า การทดลองทางฟิสิกส์ในห้องเรียนมีอุปสรรค

ด้านขนาดพื้นที่ทำการทดลอง การเอียงพื้นที่ไม่ถูกต้องเพื่อชดเชยแรงเสียดทาน อุปสรรคด้านการวัดค่าที่มีความคลาดเคลื่อนสูง เช่น การวัดด้วยเครื่องเคาะสัญญาณเวลาที่ใช้การจุดบนกระดาษอาจคลาดเคลื่อนจากการส่ายของแถบกระดาษ อุปสรรคเหล่านี้ส่งผลให้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจริงมีช่วงที่ไม่ครอบคลุมและคลาดเคลื่อนจนไม่สามารถหาความสัมพันธ์ได้ สอดคล้องกับผลการวิจัยของ ภารดี รัตนจามิตร และคณะ (2564) ที่แสดงให้เห็นว่า นักเรียนไม่สามารถนำข้อมูลจากการทดลองที่มีความคลาดเคลื่อนที่กว้างเกินไปมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้อย่างถูกต้อง ส่งผลให้ไม่สามารถระบุความสัมพันธ์จากการทดลองได้ ซึ่งหากนักเรียนไม่สามารถระบุความสัมพันธ์จากการทดลองจะทำให้เกิดความเข้าใจที่ผิดพลาดและเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนานโนทัศน์แรงและการเคลื่อนที่ (Larkin & Reif, 1979)

แม้ว่าการทดลองจริงมีความสำคัญต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ แต่มโนทัศน์เรื่องแรงและการเคลื่อนมีลักษณะเฉพาะ เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง การวัดค่าเหล่านี้ให้แม่นยำเป็นสิ่งที่ทำได้ยากในห้องเรียน จึงจำเป็นต้องใช้สื่อการทดลองเสมือนจริงเพื่อสนับสนุนกระบวนการสืบสอบช่วยให้นักเรียนเข้าใจความสัมพันธ์ของตัวแปรทางฟิสิกส์ได้ชัดเจน สื่อชนิดนี้จึงสามารถส่งเสริมการเรียนรู้มโนทัศน์แรงและการเคลื่อนที่อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากสามารถแสดงลักษณะธรรมชาติของปรากฏการณ์ได้ชัดเจน (Youngblut, 1998) และเชื่อมโยงข้อมูลจากการทดลองไปสู่ข้อสรุปของความสัมพันธ์ได้ (Brown et al., 2019) สอดคล้องกับแนวคิดของ ทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์ (2559) ที่ชี้ว่า สื่อการเรียนรู้ในปัจจุบันสามารถจำลองการทดลองผ่านสื่อเสมือนจริงได้ อีกทั้งจากงานวิจัยของ Ngema and Motlhabane (2025) ที่ศึกษาประสิทธิภาพของการใช้สื่อการทดลองเสมือนจริงกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 พบว่า การใช้สื่อนี้สามารถพัฒนาระดับมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ได้ เหมาะกับเนื้อหาที่ซับซ้อนและการจัดการเรียนการสอนที่มีข้อจำกัดด้านอุปกรณ์ อย่างไรก็ตาม ยังต้องการความหลากหลายของมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกพัฒนาจากการใช้สื่อ ด้วยแนวคิดดังกล่าวจึงเป็นที่มาของการวิจัยตามกรอบแนวคิดการวิจัย (ภาพ 1)

ภาพ 1

กรอบแนวคิดการวิจัย



วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาสื่อวัตกรรมการทดลองเสมือนจริง เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง
2. เพื่อศึกษาผลการพัฒนาระดับมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่งของนักเรียน โดยใช้สื่อวัตกรรมการทดลองเสมือนจริง

วิธีการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเพื่อพัฒนาสื่อวัตกรรมการทดลองเสมือนจริง เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง และแผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบแนะแนวทาง โดยใช้รูปแบบการวิจัยและพัฒนา แบ่งระยะการวิจัยเป็น 4 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 การศึกษาข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับสื่อวัตกรรมการทดลองเสมือนจริง (R1) วิเคราะห์สภาพปัญหาและความสำคัญของมโนทัศน์ เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสื่อวัตกรรมการทดลองเสมือนจริง รวบรวมข้อมูลจากเอกสารทางวิชาการ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และศึกษาลักษณะของสื่อวัตกรรมการทดลองเสมือนจริง ผ่านการเก็บข้อมูลจากครูฟิสิกส์ที่สอนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีประสบการณ์ในการสอน เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง เป็นเวลาอย่างน้อย 5 ปี จำนวน 3 ท่าน และ ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิคการผลิตสื่อ ที่เป็นผู้ที่มีประสบการณ์ด้านการผลิตและหรือพัฒนาสื่อทางฟิสิกส์ เป็นเวลาอย่างน้อย 5 ปี จำนวน 2 ท่าน โดยใช้เครื่องมือแบบบันทึกบทสนทนากลุ่ม ผู้เชี่ยวชาญหัวข้อ ลักษณะของสื่อวัตกรรมการทดลองเสมือนจริง เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง ที่เหมาะสมต่อนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ค่าดัชนี IOC 1.00/1.00

ระยะที่ 2 การออกแบบและพัฒนาสื่อวัตกรรมการทดลองเสมือนจริง (D1) โดยกระบวนการออกแบบสื่อใช้หลักการของระบบสื่อเสมือนจริง กับการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ที่ใช้รูปแบบการเรียนรู้แบบสืบสอบ 5Es (BSCS 5E Instructional Model) (Bybee et al., 2006) ให้สอดคล้องกับขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง ในคู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 1 (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี [สสวท.], 2561ข) จากนั้นจึงใช้เครื่องมือแบบประเมินความเหมาะสมและความสอดคล้องของแผนการจัดการเรียนรู้และสื่อวัตกรรมการทดลองเสมือนจริงเก็บข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาฟิสิกส์ที่มีประสบการณ์ในการสอน เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง เป็นเวลาอย่างน้อย 5 ปี จำนวน 3 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิคการผลิตสื่อที่มีประสบการณ์ด้านการผลิตและหรือพัฒนาสื่อการทดลองเสมือนจริง เป็นเวลาอย่างน้อย 5 ปี จำนวน 2 ท่าน ซึ่งได้ผลการประเมินความเหมาะสมและความสอดคล้องของแผน การจัดการเรียนรู้และสื่อวัตกรรมการทดลองเสมือนจริงที่ 4.41/5.00 หลังจากนั้นนำสื่อวัตกรรมการพัฒนาขึ้นไปทดลองใช้กับนักเรียนที่มีประสบการณ์การเรียนรู้ในหัวข้อดังกล่าว จำนวน 5 ท่าน โดยมีครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์ จำนวน 2 ท่าน ร่วมสังเกตการณ์ และเก็บข้อมูลการสนทนากลุ่ม โดยใช้เครื่องมือแบบบันทึกการสนทนากลุ่มหัวข้อความคิดเห็นที่มีต่อสื่อวัตกรรมการทดลองเสมือนจริง เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง ที่มีค่าดัชนี IOC 0.96/1.00 เพื่อรวบรวมข้อเสนอแนะสำหรับการปรับปรุงสื่อ

ระยะที่ 3 การทดลองใช้สื่อนวัตกรรมการทดลองเสมือนจริง (R2) จัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ออกแบบในระยะเวลาวิจัยก่อนหน้า ประชากร คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ และ ตัวอย่าง คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จำนวน 14 คน โดยเลือกนักเรียนด้วยวิธีเลือกแบบอาสาสมัคร (voluntary sampling) และมีครูผู้สอนวิชาฟิสิกส์ จำนวน 1 ท่าน ร่วมสังเกตการณ์ โดยประเมินประสิทธิภาพของสื่อผ่านการพิจารณาการพัฒนาระดับมโนทัศน์ของนักเรียน เก็บข้อมูลระดับมโนทัศน์ของนักเรียนด้วยแบบวัดมโนทัศน์ เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง แบบเลือกตอบสองระดับ ที่มีค่าความเที่ยง 0.75 ค่าความยาก 0.21 ค่าอำนาจจำแนกที่ 0.17 ค่าดัชนี IOC 0.84 โดยแบ่งระดับมโนทัศน์ออกเป็น 4 ระดับ (Abraham et al., 1992 as cited in Ayas et al., 2010) ได้แก่ มโนทัศน์ที่ถูกต้อง (SU) คือ นักเรียนเลือกตอบถูกต้องและสอดคล้องกันทั้งสองระดับ มโนทัศน์ที่ถูกต้องบางส่วน (PU) คือ นักเรียนเลือกตอบในระดับเหตุผลถูกต้องแต่ระดับคำตอบไม่ถูกต้อง มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (SM) คือ นักเรียนเลือกตอบในระดับเหตุผลและคำตอบที่สอดคล้องกันแต่ไม่ถูกต้อง และไม่มีมโนทัศน์ (NU) คือ นักเรียนเลือกตอบในระดับเหตุผลและคำตอบไม่ถูกต้องและไม่สอดคล้องกัน และพิจารณาโมทัศน์โดย แบ่งเป็น มโนทัศน์รองที่ 1 ความเร่งของวัตถุแปรผันตรงกับแรงลัพธ์ที่กระทำกับวัตถุ มโนทัศน์รองที่ 2 ความเร่งของวัตถุแปรผกผันกับมวลของวัตถุ และมโนทัศน์หลัก ความเร่งแปรผันตรงกับแรงลัพธ์และแปรผกผันกับมวลของวัตถุ (Newton, 1999)

ระยะที่ 4 การประเมินและปรับปรุงสื่อนวัตกรรมการทดลองเสมือนจริง (D2) เก็บข้อมูลจากการสนทนากลุ่มกับนักเรียนและครูผู้สอนหลังจากได้รับการจัดการเรียนรู้และสังเกตการณ์จัดการเรียนรู้ในระยะเวลาวิจัยก่อนหน้า โดยใช้เครื่องมือแบบบันทึกการสนทนากลุ่มผู้ใช้สื่อหัวข้อ ความคิดเห็นที่มีต่อสื่อนวัตกรรมการทดลองเสมือนจริง เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง ที่มีค่าดัชนี IOC 0.96/1.00 รวบรวมข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาและปรับปรุงสื่อ และได้กำหนดการเก็บข้อมูลประชากรและตัวอย่างด้วยเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลตามระยะเวลาวิจัย (ตาราง 1)

ตาราง 1

การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละระยะการวิจัย

ระยะการวิจัย	การเก็บรวบรวมข้อมูล	การวิเคราะห์ข้อมูล
R1	บันทึกบทสนทนากลุ่ม จำนวน 1 ครั้งโดยใช้ระยะเวลา 3 ชั่วโมง	สรุปพรรณนาเรียบเรียงและวิเคราะห์สาระ
D2	1. ประเมินความเหมาะสมและสอดคล้องของสื่อนวัตกรรมการทดลองเสมือนจริง และแผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบสอบแนะแนวทาง 2. จัดการเรียนรู้ด้วยสื่อนวัตกรรมการทดลองเสมือนจริง เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง จำนวน 1 ครั้ง ใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 40 นาที และการบันทึกบทสนทนากลุ่มจำนวน 1 ครั้ง ใช้ระยะเวลา 50 นาที	1. คำนวณค่าเฉลี่ย (M) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) รายข้อ แปลผลเทียบเกณฑ์ 2. สรุปพรรณนาเรียบเรียงและวิเคราะห์สาระ

ตาราง 1 (ต่อ)

การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละระยะการวิจัย

ระยะการวิจัย	การเก็บรวบรวมข้อมูล	การวิเคราะห์ข้อมูล
R2	แนะนำการใช้สื่อวัตกรรมการทดลองเสมือนจริง จำนวน 1 ครั้ง โดยใช้ระยะเวลา 30 นาที จัดการเรียนรู้ด้วยสื่อ จำนวน 1 ครั้ง โดยใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 40 นาทีและทดสอบด้วยแบบวัด มโนทัศน์ เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง แบบเลือกตอบสองระดับ ก่อนเรียนและหลังเรียน จำนวน 1 ครั้ง โดยใช้ระยะเวลา 30 นาที	เปรียบเทียบ ร้อยละความถี่ของระดับ มโนทัศน์ของนักเรียน ก่อนเรียนและ หลังเรียน โดยจำแนกเป็นรายข้อ และ จำแนกเป็นรายมโนทัศน์
D2	บันทึกบทสนทนากลุ่ม จำนวน 1 ครั้งโดยใช้ระยะเวลา 50 นาที	สรุปพรรณนาเรียบเรียงและวิเคราะห์ สาระ

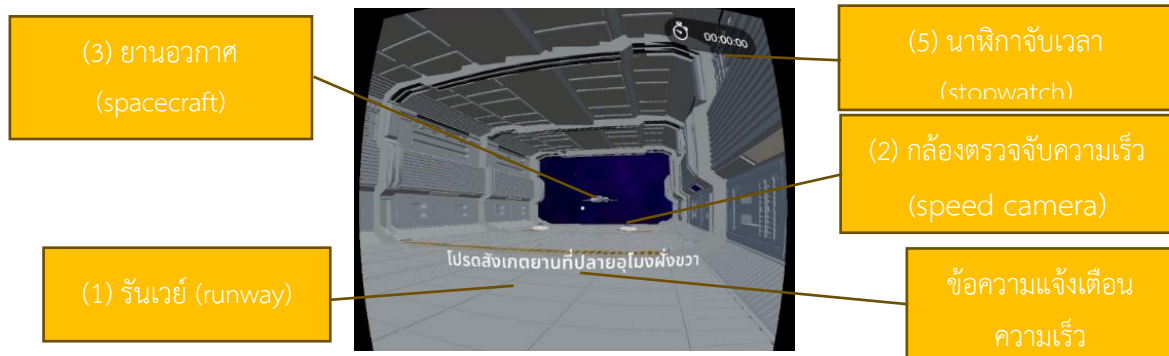
ผลการวิจัย

1. ผลพัฒนาสื่อวัตกรรมการทดลองเสมือนจริง เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง จากแบบสนทนากลุ่มผู้เชี่ยวชาญให้ข้อเสนอแนะด้านระบบแสดงข้อมูลให้ใกล้เคียงความเป็นจริง ลด ความเสมือนจริงส่วนที่ไม่จำเป็น ใช้สถานการณ์ที่ไม่สามารถทดลองจริงหรือทดลองจริงได้ยาก ในห้องปฏิบัติการ เมื่อพัฒนาสื่อแล้ว สื่อที่พัฒนาขึ้นมีค่าเฉลี่ยความเหมาะสมและสอดคล้องที่ 4.41/5.00 หลังการทดลองใช้ ผู้ใช้ให้ข้อเสนอแนะด้านระบบแสดงข้อมูล ให้เน้นความชัดเจนในการสังเกต การเก็บข้อมูลที่ ครบคลุม และลดภาระการประมวลผลของอุปกรณ์มือถือพร้อมทั้งกำหนดข้อควรระวังด้านสุขภาพสายตา และการดูแลนักเรียนระหว่างการใช้งานเพื่อประสิทธิภาพในการเรียนรู้ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการพัฒนาและ ปรับปรุง ได้จึงสื่อวัตกรรมการทดลองเสมือนจริง เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง เป็นสื่อ ชนิดใช้แอปพลิเคชันที่ติดตั้งบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ร่วมกับอุปกรณ์สวมศีรษะเพื่อแสดงภาพ ประกอบไปด้วย 5 ส่วน ดังนี้

1) ส่วนโลกเสมือน (virtual world) ใช้สถานการณ์การควบคุมยานอวกาศภายในสถานีอวกาศ โดยแบ่งการทดลองภายในสถานีอวกาศออกเป็น 2 ตอน เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งและแรงใน ตอนที่ 1 และความเร่งและมวลในตอนที่ 2 โดยมีมุมมองของผู้ใช้แบบบุคคลที่ 2 มมองประกอบภายใน ได้แก่ (1) รันเวย์ (runway) เส้นทางในการเคลื่อนที่ของยานอวกาศที่ใช้สำหรับสังเกตการเคลื่อนที่ในการทดลอง มี ลักษณะเป็นเส้นทางตรง (2) กล้องตรวจจับความเร็ว (speed camera) เครื่องมือวัดขนาดของความเร็ว จะ แสดงค่าขนาดของความเร็วเมื่อยานอวกาศเคลื่อนที่ผ่านแนวกล้องตรวจจับความเร็วทั้งสองฝั่ง (3) ยานอวกาศ (spacecraft) ยานพาหนะในการดำเนินการทดลอง จะแสดงลักษณะการเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงตามแนวรันเวย์ และปริมาณต่าง ๆ ที่กำหนด (4) จอแสดงผล (monitor) จอแสดงผลสำหรับการควบคุมการเคลื่อนที่ของยาน อวกาศ สามารถกำหนดปริมาณต่าง ๆ ตามลักษณะการทดลองแต่ละตอน ระบุข้อมูล และสรุปผลการทดลอง (5) นาฬิกาจับเวลา (stopwatch) จะแสดงผลการจับเวลาตั้งแต่ยานอวกาศเคลื่อนที่ผ่านแนวกล้องจับความเร็ว แนวแรกจนถึงแนวหลัง และ (6) ปุ่มตั้งค่า (settings button) สำหรับกดเพื่อแสดงจอแสดงผล (ภาพ 2)

ภาพ 2

โลกเสมือนภายในสื่อนวัตกรรมเกมการทดลองเสมือนจริง เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง ส่วนที่ 1



ส่วนการประมวลผลและแสดงผลการเคลื่อนที่ ปริมาณเวลา ความเร็ว และความเร่งที่แสดงบนจอแสดงผล ได้แก่ V_1 คือ ปริมาณความเร็วผ่านแนวกล้องจับความเร็วแรก แปรตามสมการ $V_1 = (40 \cdot (F/m))^{(1/2)}$ สมการนี้พิจารณาโดยให้ระยะในสถานีอวกาศตั้งแต่นานอวกาศเริ่มเคลื่อนที่ความเร็วเท่ากับ 0 ถึงแนวกล้องจับความเร็วแรก มีระยะ 20 เมตร จะให้ค่าความคลาดเคลื่อน ตั้งแต่ 0-5% อย่างสุ่ม V_2 คือ ปริมาณความเร็วผ่านแนวกล้องจับความเร็วหลัง แปรตามสมการ $V_2 = (240 \cdot (F/m))^{(1/2)}$ สมการนี้พิจารณาโดยให้ระยะในสถานีอวกาศตั้งแต่นานอวกาศเริ่มเคลื่อนที่ความเร็วเท่ากับ 0 ถึงแนวกล้องจับความเร็วถัดมา มีระยะ 120 เมตร จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนจากทฤษฎี ตั้งแต่ 0-5% อย่างสุ่ม t คือ เวลา แปรตามสมการ $t = ((240 \cdot (m/F))^{(1/2)}) - ((40 \cdot (m/F))^{(1/2)})$ a คือ ปริมาณความเร่ง แปรตามสมการ $a = (V_2 - V_1)/t$ (ภาพ 3)

ภาพ 3

โลกเสมือนภายในสื่อนวัตกรรมเกมการทดลองเสมือนจริง เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง ส่วนที่ 2

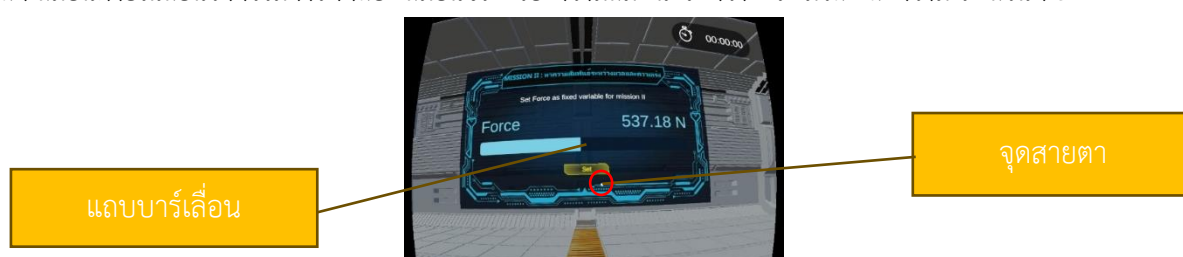


2) ส่วนระบบการตอบสนองระหว่างสื่อกับผู้ใช้ (user interaction with virtual world) สั่งการผ่านจุดสายตา (ภาพ 4) ใช้จอแสดงผลในการนำเข้าสู่ข้อมูลปริมาณต่าง ๆ และใช้แถบบาร์เลื่อนในการระบุค่าปริมาณต่าง ๆ (ภาพ 4) ในการทดลอง ดังนี้ (1) ปริมาณมวลของยานอวกาศ เป็นปริมาณที่ระบุค่าระหว่าง 1,000–9,999 กิโลกรัม โดยในการทดลองตอนที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร่ง หลังจากกำหนดค่ามวลครั้งแรกแล้วตลอดการทดลองตอนที่ 1 จะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดของมวลได้ ในขณะที่

ในการทดลองตอนที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับความเร่ง สามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณมวลได้หลังจากแสดงผลการเคลื่อนที่ในแต่ละครั้งที่ทดลอง และ (2) ปริมาณแรง ปริมาณที่ระบุค่า 100–999 นิวตัน โดยในการทดลองตอนที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร่ง สามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณแรงได้หลังจากแสดงผลการเคลื่อนที่ในแต่ละครั้งที่ทดลอง ในขณะที่ในการทดลองตอนที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับความเร่ง หลังจากกำหนดค่าแรงครั้งแรกแล้วตลอดการทดลองตอนที่ 1 จะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าแรงได้นำทางผู้ใช้โดยใช้ลักษณะการทดลองทางเดียว ใช้คำบรรยายแนะนำการทดลองผ่านข้อความด้านล่าง (ภาพ 3) ข้อความแจ้งเตือนกลางหน้าจอให้นักเรียนสังเกตการเคลื่อนที่ที่สำคัญ (ภาพ 2) และสามารถทดลองซ้ำได้

ภาพ 4

โลกเสมือนภายในสถานการณ์การทดลองเสมือนจริง เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง ส่วนที่ 3



3) ส่วนระบบแสดงข้อมูล (display) แสดงความสามารถในการเคลื่อนที่ของวัตถุ (degree of freedom) และระดับความใกล้เคียงความเป็นจริง อยู่ที่ใกล้เคียงความเป็นจริง (indexed) ให้มีความสำคัญกับส่วนที่เกี่ยวข้องกับประสบการณ์ที่สร้างขึ้น ลดความเสมือนขององค์ประกอบที่ไม่จำเป็น แสดงข้อมูลเชิงปริมาณทางฟิสิกส์บนจอแสดงผล เพื่อระบุค่าปริมาณต่าง ๆ และเก็บข้อมูลการทดลอง แสดงผลข้อมูลการทดลองและแสดงระยะทางและขนาดของตัวอักษรให้เหมาะสม รวมถึงปรับความสว่างของหน้าจอให้อยู่ในระดับต่ำสุด การสรุปผลการทดลองในโลกความเป็นจริง (ภาพ 5) มีองค์ประกอบ ได้แก่ (1) ปุ่ม Mission I เมื่อกดจะแสดงผลการทดลองตอนที่ 1 หาความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเร่ง แสดงปริมาณมวลที่เป็นค่าคงที่ในตอนต้น และแสดงปริมาณแรงที่ระบุและปริมาณความเร่งที่ได้ในแต่ละครั้งในการทดลอง ในรูปแบบตาราง (2) ปุ่ม Mission II เมื่อกดจะแสดงผลการทดลองตอนที่ 2 หาความสัมพันธ์ระหว่างมวลและความเร่ง แสดงปริมาณแรงที่เป็นค่าคงที่ในตอนต้น และแสดงปริมาณมวลที่ระบุและปริมาณความเร่งที่ได้ในแต่ละครั้งในการทดลอง ในรูปแบบตาราง 3 ปุ่ม Exit สำหรับกลับไปหน้าแรกของการทดลองทั้งหมด

ภาพ 5

โลกเสมือนภายในสถานการณ์การทดลองเสมือนจริง เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง ส่วนที่ 4

สรุปผลการทดลอง

#	F (N)	a (m/s ²)
1	500.00	0.51
2	567.56	0.56
3	639.97	0.67
4	707.79	0.72
5	815.03	0.84

Mass 1,000.00 kg

4) ส่วนระบบนำข้อมูลเข้า (tracking/sensor) ใช้สื่อวัตกรรมการทดลองเสมือนจริงประเภท โทรศัพท์เคลื่อนที่ติดตั้งในอุปกรณ์เฉพาะ นำข้อมูลเข้าโดยการตรวจจับการเคลื่อนไหวของศีรษะกำกับจุดสายตาในการสั่งการ ตอบสนองต่อการสั่งการอยู่ที่ 1.5 วินาทีเพื่อป้องกันการสั่งการจากจุดสายตาโดยบังเอิญ

5) ส่วนประสบการณ์ของผู้ใช้ (life experience) ควรมีขั้นตอนการใช้สื่อหากไม่เคยใช้สื่อลักษณะนี้

2. ผลการพัฒนาระดับมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง ของนักเรียน โดยใช้สื่อวัตกรรมการทดลองเสมือนจริง ได้ประเมินระดับมโนทัศน์ของนักเรียนก่อนและหลัง การจัดการเรียนรู้ โดยพิจารณามโนทัศน์โดย แบ่งเป็น มโนทัศน์รองที่ 1 ความเร่งของวัตถุแปรผันตรงกับแรงลัพธ์ที่กระทำกับวัตถุ มโนทัศน์รองที่ 2 ความเร่งของวัตถุแปรผกผันกับมวลของวัตถุ และมโนทัศน์หลัก ความเร่งแปรผันตรงกับแรงลัพธ์และแปรผกผันกับมวลของวัตถุ (Newton, 1999) แบ่งระดับมโนทัศน์ออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ NU, SM, PU และ SU

เมื่อพิจารณามโนทัศน์รองที่ 1 ความเร่งของวัตถุแปรผันตรงกับแรงลัพธ์ที่กระทำกับวัตถุ ในข้อ 1-5 มโนทัศน์รองที่ 2 ความเร่งของวัตถุแปรผกผันกับมวลของวัตถุ ในข้อ 6-10 และมโนทัศน์หลัก ความเร่งแปรผันตรงกับแรงและแปรผกผันกับมวลของวัตถุ โดยเปรียบเทียบจำนวนนักเรียนที่มีระดับมโนทัศน์ในระดับต่าง ๆ ก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ พบว่า ความถี่ของระดับมโนทัศน์ NU, SM, PU และ SU ก่อนและหลัง ได้รับการจัดการเรียนรู้ (ตาราง 2)

ตาราง 2

จำนวนนักเรียนที่มีระดับมโนทัศน์ในแต่ละระดับในประเด็นมโนทัศน์หลัก ความเร่งแปรผันตรงกับแรงและแปรผกผันกับมวลของวัตถุ ก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้และหลังได้รับการจัดการเรียนรู้

ข้อ	ก่อน								หลัง							
	NU		SM		PU		SU		NU		SM		PU		SU	
	คน	%	คน	%	คน	%	คน	%	คน	%	คน	%	คน	%	คน	%
1	5	35.71	4	28.57	3	21.43	2	14.29	1	7.14	8	57.14	2	14.29	3	21.43
2	6	42.86	2	14.29	0	0.00	6	42.86	5	35.71	3	21.43	0	0.00	6	42.86
3	6	42.86	8	57.14	0	0.00	0	0.00	6	42.86	7	50.00	0	0.00	1	7.14
4	3	21.43	9	64.29	0	0.00	2	14.29	2	14.29	5	35.71	0	0.00	7	50.00
5	3	21.43	5	35.71	6	42.86	0	0.00	2	14.29	7	50.00	5	35.71	0	0.00
6	5	35.71	4	28.57	3	21.43	2	14.29	1	7.14	8	57.14	2	14.29	3	21.43
7	6	42.86	2	14.29	0	0.00	6	42.86	5	35.71	3	21.43	0	0.00	6	42.86
8	6	42.86	8	57.14	0	0.00	0	0.00	6	42.86	7	50.00	0	0.00	1	7.14
9	3	21.43	9	64.29	0	0.00	2	14.29	2	14.29	5	35.71	0	0.00	7	50.00
10	3	21.43	5	35.71	6	42.86	0	0.00	2	14.29	7	50.00	5	35.71	0	0.00
มโนทัศน์รองที่ 1	23	32.86	28	40.00	9	12.86	10	14.29	16	22.86	30	42.86	7	10.00	17	24.29
มโนทัศน์รองที่ 2	32	45.71	9	12.86	9	12.86	20	28.57	13	18.57	4	5.71	14	20.00	39	55.71
มโนทัศน์หลัก	55	39.29	37	26.43	18	12.86	30	21.43	29	20.71	34	24.29	21	15.00	56	40.00

อภิปรายผล

1. การอภิปรายผลพัฒนาสื่อวัตกรรมการทดลองเสมือนจริง เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่งโดยลักษณะของสื่อวัตกรรมการทดลองเสมือนจริง เรื่อง ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง ประกอบไปด้วย 5 ส่วน ตามระบบของสื่อเสมือนจริง ดังนี้

1) ส่วนโลกเสมือน ใช้สถานการณ์การควบคุมยานอวกาศภายในสถานีอวกาศเนื่องจากเป็นสถานการณ์ที่ยากต่อการให้นักเรียนได้มีประสบการณ์ทดลองจริง ทำให้เกิดความตื่นเต้นและสนุกสนานในการเรียนรู้ สอดคล้องกับ Brown et al. (2019) กล่าวไว้ในผลการวิจัยว่า นักเรียนให้ความสนใจกับการเรียนรู้จากสื่อการทดลองเสมือนจริงโดยเฉพาะหัวข้อที่เป็นนามธรรม โดยสื่อที่ออกแบบอย่างมีบริบทและการมีปฏิสัมพันธ์กับนักเรียนสามารถส่งเสริมความเข้าใจและประสบการณ์ที่ชัดเจน สอดคล้องกับลักษณะของสื่อที่พัฒนาขึ้น ที่มีสถานการณ์เพื่อนำสู่บริบทการทดลองหนึ่ง ๆ แสดงผลการเคลื่อนที่ตรงตามหลักการทางฟิสิกส์ตัดปัจจัยที่ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อน และ ทำให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงกับโลกความเป็นจริงได้ ใช้มุมมองของผู้ใช้แบบบุคคลที่ 2 เพื่อให้นักเรียนสามารถสังเกตการเคลื่อนที่ได้จากมุมมองที่อยู่ในกรอบเนื้อเยื่อ และแสดงค่าจากการวัดที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 5 เพื่อให้ใกล้เคียงกับการทดลองจริงที่มีความคลาดเคลื่อนจากอุปกรณ์ บุคคล และสภาพแวดล้อม ทำให้สามารถสรุปผลการทดลองได้ง่าย (นฤมล เอมะรัตน์ และคณะ, 2562) โดยสื่อนี้ได้ลดความคลาดเคลื่อนจากสภาพแวดล้อมและบุคคลลง คงความคลาดเคลื่อนจากอุปกรณ์ไว้

2) ส่วนระบบการตอบสนองระหว่างสื่อกับผู้ใช้ ใช้การสั่งการผ่านจุดสายตา ควบคุมการทดลองผ่านจอแสดงผลที่สามารถกำหนดปริมาณต่าง ๆ ทดลองซ้ำ และสรุปผลการทดลอง โดยแสดงผลผ่านการกดปุ่มตั้งค่า ขอบเขตของค่าที่ระบุได้อิงตามธรรมชาติของยานอวกาศ โดยระบุค่าปริมาณต่าง ๆ ได้ดังนี้ (1) ปริมาณมวลของยานอวกาศ (2) ปริมาณแรง และการนำทางโดยใช้ลักษณะการทดลองทางเดียว แนะนำการทดลองผ่านข้อความด้านล่างในมุมมองของผู้ใช้ และข้อความแจ้งเตือนกลางหน้าจอให้นักเรียนสังเกตการเคลื่อนที่ที่สำคัญและสามารถทดลองซ้ำได้ เพื่อเพิ่มอิสระในการทดลองของนักเรียน สอดคล้องกับ Sampson and Schleigh (2013) กล่าวไว้ในการศึกษาคุณภาพในการโต้แย้งทางวิทยาศาสตร์ โดยนักเรียนจะสามารถมีวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลได้เหมาะสมก็ต่อเมื่อนักเรียนใช้เวลาที่เหมาะสม และทดลองซ้ำได้

3) ส่วนระบบแสดงผลข้อมูล แสดงความสามารถในการเคลื่อนที่ของวัตถุ และระดับความใกล้เคียงความเป็นจริง โดยให้ความสำคัญกับส่วนที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง ลดความเสมือนขององค์ประกอบแวดล้อมที่ไม่ใช่องค์ประกอบหลัก เพื่อคงความเสมือนจริงแต่ลดการใช้งานทรัพยากรภายในโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อประสิทธิภาพในการประมวลผลของโทรศัพท์เคลื่อนที่ แสดงข้อมูลเชิงปริมาณทางฟิสิกส์บนจอแสดงผล และเก็บข้อมูลการทดลอง แสดงผลข้อมูลการทดลอง และแสดงระยะห่างและขนาดของตัวอักษรให้เหมาะสม รวมถึงปรับความสว่างของหน้าจอให้อยู่ในระดับต่ำสุด แสดงการสรุปผลการทดลองในโลกความเป็นจริง

4) ส่วนระบบนำข้อมูลเข้า ใช้สื่อการทดลองเสมือนจริงประเภทโทรศัพท์เคลื่อนที่ติดตั้งในอุปกรณ์เฉพาะ ใช้ระบบนำข้อมูลเข้าแบบการตรวจจับการเคลื่อนไหวของร่างกายส่วนหัวในการกำกับจุดสายตาในการสั่งการ โดยระยะเวลาในการตอบสนองต่อการสั่งการไม่ควรน้อยจนเกิดการตอบสนองโดยบังเอิญ และไม่ควรมากจนทำให้กระทบระยะเวลาในการจัดการเรียนรู้ โดยระยะเวลาที่เหมาะสมอยู่ที่ 1.5 วินาที

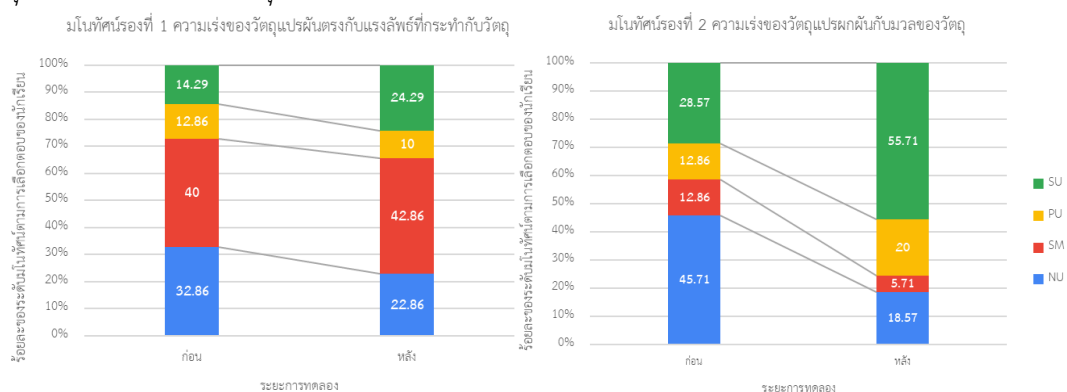
5) ส่วนประสบการณ์ของผู้ใช้ กรณีที่นักเรียนไม่เคยมีประสบการณ์การใช้งาน ควรมีขั้นตอนการลองใช้สื่อเสมือนจริง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้โดยไม่เกิดปัญหาจากการความไม่คุ้นชินกับการใช้งานสื่อ

2. การอภิปรายผลการพัฒนาระดับมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง ของนักเรียน โดยใช้สื่อวัตกรรมการทดลองเสมือนจริง ในประเด็นมโนทัศน์รองที่ 1 ความเร่งของวัตถุแปรผันตรงกับแรงลัพธ์ที่กระทำกับวัตถุ ความถี่ของระดับมโนทัศน์ NU และ PU ลดลงร้อยละ 10.00 และ 2.86 ตามลำดับ เนื่องจากหากนักเรียน NU ทำให้การพัฒนาระดับมโนทัศน์นั้นเป็นไปได้ง่าย (Hestenes et al., 1992) อีกทั้งเมื่อพิจารณาข้อมูลโดยละเอียด พบว่า นักเรียนที่ก่อนเรียนมีระดับมโนทัศน์ PU จำนวน 4 คนจาก 9 คน ได้เปลี่ยนระดับมโนทัศน์เป็น SM “เมื่อแรงลัพธ์ที่กระทำกับวัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงวัตถุจึงจะเกิดความเร่ง” ซึ่งหากเป็นการทดลองจริงการรับรู้ขนาดของแรงเกิดจากการสัมผัสจริง แสดงให้เห็นว่าแม้สื่อนี้จะลดข้อจำกัดปัจจัยที่ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อน และ ทำให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงกับโลกความเป็นจริง แต่อาจทำให้เกิดความสับสนขึ้น กรณีเป็นตัวแปรที่ใช้การรับรู้จากการสัมผัสเป็นหลัก ในขณะที่ระดับมโนทัศน์ SM และ SU เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.86 และ 10.00 ตามลำดับ (ภาพ 6) และแสดงให้เห็นว่า ก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่มีระดับมโนทัศน์นี้อยู่ที่ระดับ มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (SM) ทำให้การพัฒนาระดับมโนทัศน์นั้นเป็นไปได้ง่ายกว่ากรณีที่นักเรียนมีระดับมโนทัศน์ที่ไม่มีระดับมโนทัศน์ (NU) (Hestenes et al., 1992)

ประเด็นมโนทัศน์รองที่ 2 ความเร่งของวัตถุแปรผกผันกับมวลของวัตถุ ความถี่ของระดับมโนทัศน์ NU และ SM ลดลงร้อยละ 27.14 และ 7.14 ตามลำดับ ในขณะที่ระดับมโนทัศน์ PU และ SU เพิ่มขึ้นร้อยละ 7.14 และ 27.14 ตามลำดับ (ภาพ 6) ซึ่งมาจากลักษณะของสื่อที่แสดงผลการเคลื่อนที่ภายในโลกเสมือนให้ตรงตามหลักการทางฟิสิกส์ ตัดปัจจัยที่ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทดลอง ทำให้สามารถสรุปความสัมพันธ์ ส่งเสริมความเข้าใจและให้ประสบการณ์ที่ชัดเจน (Brown et al., 2019) และแสดงให้เห็นว่า ก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่มีระดับมโนทัศน์นี้อยู่ที่ระดับ ไม่มีมโนทัศน์ (NU) ทำให้การพัฒนาระดับมโนทัศน์นั้นเป็นไปได้ง่ายกว่ากรณีที่นักเรียนมีระดับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (SM) (Hestenes et al., 1992)

ภาพ 6

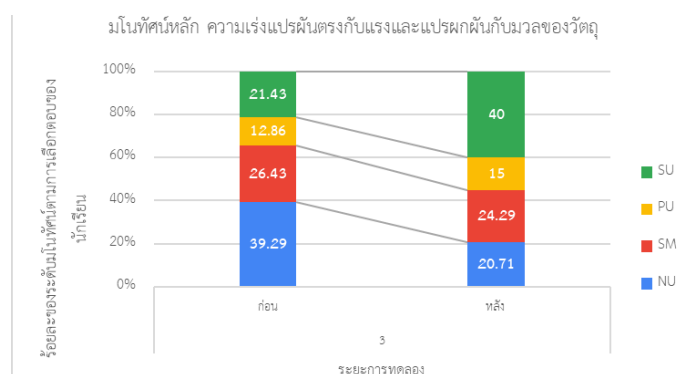
การพัฒนาระดับมโนทัศน์รองที่ 1 ความเร่งของวัตถุแปรผันตรงกับแรงลัพธ์ที่กระทำกับวัตถุ และมโนทัศน์รองที่ 2 ความเร่งของวัตถุแปรผกผันกับมวลของวัตถุ



ประเด็นโน้ตหลัก ความเร่งแปรผันตรงกับแรงลัพธ์และแปรผกผันกับมวลของวัตถุ ความถี่ของระดับโน้ต NU และ SM ลดลงร้อยละ 18.57 และ 2.14 ตามลำดับ ในขณะที่ระดับโน้ต PU และ SU เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.14 และ 18.57 ตามลำดับ (ภาพ 7) และแสดงให้เห็นว่า สื่อนวัตกรรมการทดลองเสมือนจริงสามารถพัฒนาระดับโน้ตหลักของนักเรียน เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่งได้

ภาพ 7

การพัฒนาระดับโน้ตหลัก ความเร่งแปรผันตรงกับแรงและแปรผกผันกับมวลของวัตถุ



ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลวิจัยไปใช้

สื่อนวัตกรรมการทดลองเสมือนจริงที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการช่วยนักเรียนพัฒนาระดับโน้ตหลักเกี่ยวกับความเร่งที่แปรผันตรงกับแรงลัพธ์และแปรผกผันกับมวลของวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพ เห็นได้จากระดับโน้ตที่ถูกต้องบางส่วน (PU) และ มโนทัศน์ที่ถูกต้อง (SU) ที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.14 และ 18.57 ตามลำดับ (ภาพ 7) อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดหากการทดลองนี้วัดเป็นตัวแปรที่ใช้การรับรู้จากการสัมผัสเป็นหลัก การจัดการเรียนรู้ผ่านประสบการณ์ตรงจึงยังคงมีความสำคัญ ดังนั้นควรพิจารณาใช้สื่อเสมือนจริงในการเรียนการสอนในกรณีที่เกี่ยวข้องกับมโนทัศน์ที่มีการใช้การทดลองที่มีความซับซ้อนสูง มีขั้นตอนการทดลองที่ยุ่งยาก หรือมีข้อจำกัดในการวัดผลการทดลอง นอกจากนี้ ควรมีการออกแบบกิจกรรมที่ส่งเสริมให้นักเรียนได้เปรียบเทียบผลการเรียนรู้ระหว่างการทดลองผ่านสื่อเสมือนจริงกับการทดลองในสถานการณ์จริง เพื่อวิเคราะห์ความเหมือนหรือความแตกต่างในกระบวนการเรียนรู้และผลลัพธ์ที่ได้ และเพิ่มการรับรู้จากการสัมผัส ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มความเข้าใจและประยุกต์ใช้มโนทัศน์ได้อย่างลึกซึ้งยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรพัฒนาสื่อนวัตกรรมการทดลองเสมือนจริงที่มีความเฉพาะเจาะจงสำหรับการเปลี่ยนแปลงมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ไขมโนทัศน์ที่ผิดพลาดและส่งเสริมความเข้าใจที่ถูกต้อง
2. ควรออกแบบโลกเสมือนที่มีฟังก์ชันการนำทางและการแจ้งเตือนที่ชัดเจน เพื่อช่วยให้นักเรียนสามารถสังเกตจุดสำคัญในการทดลองได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กิตติทัศน์ หวานฉ่ำ. (2563). การพัฒนาระบบสร้างข้อสอบอัตโนมัติเพื่อวินิจัยมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางกลศาสตร์โดยใช้การประเมินเชิงวินิจัยทางพุทธิปัญญา [วิทยานิพนธ์ปริญญาคุชฎบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/76733>
- กิตติมา พันธุ์พุกษา. (2563). มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา*, 31(2), 189-206. <https://ojs.lib.buu.ac.th/index.php/education2/article/view/7044>
- ทวีศักดิ์ จินดานำรักษ์. (2559). นวัตกรรมและสื่อในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในศตวรรษ ที่ 21. *Veridian E-Journal Silpakorn University*, 9(1), 560-581. <https://he02.tci-thaijo.org/index.php/Veridian-E-Journal/article/view/61503>
- นฤมล เอมะรัตน์, ขวัญ อารยะธนิษฐกุล, และ ธเนศ พงุทธิวรสิน. (2562). ทักษะปฏิบัติการฟิสิกส์ : การวัดค่าคลาดเคลื่อน การเขียนกราฟ. นิวแลมบ์ดา ไซเอนทิฟิก.
- ภารดี รัตนจามิตร, สิงหา ประสิทธิพงศ์, และ เสาวรส ยิ่งวรรณ. (2564). การพัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง แรงและกฎการเคลื่อนที่ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย (POE): ทฤษฎีจากการปฏิบัติการในชั้นเรียน. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี*, 32(2), 53-70. <https://so02.tci-thaijo.org/index.php/edupsu/article/download/238968/169542/912294>
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2561ก). หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 (เล่ม 1). ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2561ข). คู่มือครู รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 (เล่ม 1). ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. <https://myipst.ipst.ac.th/medias/physics-advanced-m4-1-teacher-guide>
- สมศักดิ์ เตชะโกสิต และ ฌมณ จีรังสุวรรณ. (2556). แนวทางในการจัดการเรียนรู้ในห้องปฏิบัติการ วิทยาศาสตร์โดยใช้เทคโนโลยีเสมือนจริง. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, 4(2), 117-123. <https://ejournals.swu.ac.th/index.php/JSTEL/article/view/4437>

ภาษาอังกฤษ

- Ayas, A., Özmen, H., & Çalik, M. (2010). Students' conceptions of the particulate nature of matter at secondary and tertiary level. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8(1), 165-184. <https://doi.org/10.1007/s10763-009-9167-x>

- Brown, T., Lomsdalen, J., Humer, I., & Eckhardt, C. (2019). Immersive learning for scale and order of magnitude in Newtonian mechanics. In D. Beck, A. Peña-Rios, T. Ogle, D. Economou, M. Mentzelopoulos, L. Morgado, C. Eckhardt, J. Pirker, R. KoitzHristov, J. Richter, C. Gütl, & M. Gardner (Eds.), *Immersive learning research network. iLRN 2019. Communications in computer and information science*, Vol. 1044 (pp. 30-42). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23089-0_3
- Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Van Scotter, P., Powell, J. C., Westbrook, A., & Landes, N. (2006). *The BSCS 5E instructional model: Origins and effectiveness*. BSCS. https://bscs.org/wp-content/uploads/2022/01/bscs_5e_full_report-1.pdf
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141-158. <https://doi.org/10.1119/1.2343497>
- Hewitt, P. G. (2002). *Conceptual physics*. Pearson.
- Larkin, J. H., & Reif, F. (1979). Understanding and teaching problem-solving in physics. *European Journal of Science Education*, 1(2), 191-203. <https://doi.org/10.1080/0140528790010208>
- Newton, I. (1999). *Philosophiae naturalis principia mathematica* [The principia: mathematical principles of natural philosophy]. University of California Press.
- Ngema, M., & Motlhabane, A. (2025). Virtual labs in life sciences education: A case study of grade 10 learners in selected South African rural schools. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(2), 2-12. <https://doi.org/10.29333/ejmste/15925>
- Sampson, V., & Schleigh, S. (2013). *Scientific argumentation in biology: 30 classroom activities*. NSTA.
- Sanchez, A., María Barreiro, J., & Maojo, V. (2000). Design of virtual reality systems for education: A cognitive approach. *Education and information technologies*, 5, 345-362. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1023/A:1012061809603.pdf>
- Sang, D. (2014). *Cambridge IGCSE® physics coursebook with CD-ROM* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2016). *University physics with modern physics* (14th ed.). Pearson.
- Youngblut, C. (1998). *Educational uses of virtual reality technology*. Institute for Defense Analyses. <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA339438.pdf>