



บทความวิจัย

การสร้างและการใช้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ สำหรับแนวคิดเรื่องการเคลื่อนที่และแรงของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ทิวากร แก่นษา¹ กานต์ตระกูลรัตน์ วุฒิสเลา² และสุระ วุฒิพรหม^{3,*}¹หลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี²ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี³ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

*E-mail: sura.w@ubu.ac.th

รับบทความ: 11 กันยายน 2564 แก้ไขบทความ: 14 ตุลาคม 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 15 ตุลาคม 2564

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและใช้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์สำหรับแนวคิดเรื่องการเคลื่อนที่และแรง ตามกรอบแนวคิดของ McNeill และ Krajcik หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ กลุ่มตัวอย่างถูกเลือกแบบเจาะจงจากชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 67 คนที่เรียนรายวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ (ฟิสิกส์) ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้การทดลองแบบสืบเสาะหาความรู้จำนวน 3 แผน และแบบประเมินการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ 4 ข้อ ได้แก่ (1) การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตั้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก (2) ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง (3) การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรง และ (4) การเคลื่อนที่แนวโค้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ผลการวิจัยพบว่า เกณฑ์การวิเคราะห์การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จากกระบวนการของกลุ่มผู้เรียนมีประสิทธิภาพ และมีความเป็นปรนัยและแปรผลง่ายในการนำไปใช้ เมื่อนำเกณฑ์การวิเคราะห์การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์นี้ไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างพบว่านักเรียนได้คะแนนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผลร้อยละ 75.2 3.92 และ 66.2 ตามลำดับ

คำสำคัญ: เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ คำอธิบายแบบข้อสรุป-หลักฐาน-เหตุผล การทดลองแบบสืบเสาะ

อ้างอิงบทความนี้

ทิวากร แก่นษา กานต์ตระกูลรัตน์ วุฒิสเลา และสุระ วุฒิพรหม. (2564). การสร้างและการใช้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์สำหรับแนวคิดเรื่องการเคลื่อนที่และแรงของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 4(2), 244 - 254.

Development and use of the scientific explanation rubrics for motion and force concepts of grade-11 students

Tiwagorn Kansa¹ Karntarat Wuttisela² and Sura Wuttiprom^{3*}

¹Graduate Programs in Science Education, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

²Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

³Department of Physics, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

*E-mail: sura.w@ubu.ac.th

Received <11 September 2021>; Revised <14 October 2021>; Accepted <15 October 2021>

Abstract

The goal of this study was to develop and use the scientific explanation rubrics for motion and force concept based on McNeill and Krajcik's framework after teaching with inquiry-based learning. Sixty-seven samples were purposively chosen among grade-11 students participating in the Physical Science (Physics) course during the first semester of academic year 2020. Three lesson plans and four scientific explanation questions were included in the research materials. Four scientific explanation questions were (1) motion along a straight line under the gravitational pull the earth, (2) the relationship between force, mass, and acceleration, (3) finding magnitude and direction net force of two forces, and (4) projectile motion. The findings of the study demonstrated that the expert-panel process created scientific explanation rubric was an effective tool that was simple to use and interpret. The scientific explanation rubric was used to evaluate a student sample. Students received the scientific explanation scores of 75.2 percent, 3.92 percent, and 66.2 percent for their claims, reasoning, and evidence, respectively.

Keywords: Scientific Explanation Rubrics, Claim-Evidence-Reasoning explanation, Inquiry experiments

Cite this article:

Kansa, T., Wuttisela, K. and Wuttiprom, S. (2021). Development and use of the scientific explanation rubrics for motion and force concepts of grade-11 students (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 4(2), 244 - 254.

บทนำ

คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (scientific explanation) คือ คำอธิบายหรือบรรยายปรากฏการณ์ธรรมชาติ สร้างขึ้นจากกระบวนการให้เหตุผลเชิงตรรกะที่สอดคล้องกับหลักฐานที่ได้จากกระบวนการสำรวจตรวจสอบของนักวิทยาศาสตร์ (National Research Council [NRC], 1996) สิ่งที่จะนำมาเป็นหลักฐานในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ต้องมาจากการวัด การสังเกต หรือข้อค้นพบที่ได้มีการบันทึก วิเคราะห์ และตีความ การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จึงจัดเป็นแนวปฏิบัติ (practice) ที่ครูวิทยาศาสตร์ให้ความสำคัญและนำมาใช้เป็นมาตรฐานของการจัดการเรียนรู้ (American Association for the Advancement of Science [AAAS], 1991; NRC, 1996; NRC, 2000; NRC, 2013) เนื่องจากการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ (1) ช่วยให้นักเรียนมีความรู้เนื้อหาที่ดีขึ้น ขณะเดียวกัน (2) ช่วยให้นักเรียนเปลี่ยนมุมมองที่มีต่อวิชาวิทยาศาสตร์ จากวิชาที่ต้องท่องจำไปเป็นวิชาที่ใช้สร้างองค์ความรู้ (3) ช่วยเตรียมความพร้อมนักเรียนสำหรับการแก้ปัญหาใหม่ของโลกในอนาคต (Phornphisutthimas, 2013; Bell and Linn, 2000; Driver, Newton and Osborne, 2000; Zohar and Nemet, 2002) และ (4) ช่วยให้นักเรียนเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ว่าความรู้ทางวิทยาศาสตร์อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้เมื่อมีข้อมูลและประจักษ์พยานใหม่

ด้วยเหตุนี้ครูและนักการศึกษาจำนวนมากจึงได้ศึกษาและพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิดของ McNeill and Krajcik (2006) คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แบ่งออกเป็น 3 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง (Claim) เป็นคำตอบหรือข้อสรุปเบื้องต้นของคำถามที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่นักเรียนต้องการค้นคว้าหาคำตอบ 2) หลักฐาน (Evidence) เป็นข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง ซึ่งได้มาจากการสำรวจตรวจสอบ การทดลอง หรือการศึกษาค้นคว้าจากแหล่งข้อมูล โดยนักเรียนจะต้องคัดเลือกหลักฐานที่มีความน่าเชื่อถือมาสนับสนุนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างของตน 3) การให้เหตุผล (Reasoning) เป็นข้อความที่แสดงความเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างอย่างสมเหตุสมผลโดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์

การสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ไม่ใช่เรื่องง่ายสำหรับนักเรียนไทย (Wongchaiya, 2016; Juthanarupakit, Jantarakantee, and Chiangka, 2018; Liwkongsatapond, 2021) สำหรับในรายวิชาฟิสิกส์มีงานวิจัยเรื่องการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม ผลการประเมิน PISA ในปี 2018 นักเรียนไทยมีคะแนนวิชาวิทยาศาสตร์อยู่ที่ 426 คะแนน ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยขององค์กรเพื่อความร่วมมือพัฒนาเศรษฐกิจ (Organization for Economic Cooperation and Development) ซึ่งวิชาวิทยาศาสตร์ PISA ได้กำหนดกรอบการประเมินเรื่องความรู้วิทยาศาสตร์ (Scientific literacy) ใน 3 ด้าน ได้แก่ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ทักษะทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติเชิงวิทยาศาสตร์ ซึ่งการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์อยู่ในด้านทักษะทางวิทยาศาสตร์

องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาได้ง่ายที่สุดคือ การสร้างข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง ขณะที่องค์ประกอบที่พัฒนายากที่สุดคือการระบุหลักฐานและการให้เหตุผล กล่าวคือนักเรียนไม่สามารถให้ข้อมูลที่หลักฐานมาสนับสนุนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างของตนเอง อีกทั้งไม่สามารถนำความรู้วิทยาศาสตร์มาอธิบายหรือเชื่อมโยงหลักฐานของตนเองไปสู่ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างได้ (Ruiz-Primo et al., 2010; Peker and Wallace, 2011)

นักการศึกษาได้เสนอแนวทางในการส่งเสริมการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนผ่านการจัดการเรียนรู้ที่หลากหลาย ได้แก่ การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (Scientific inquiry) ซึ่งเป็นการส่งเสริมให้นักเรียนได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์เช่นเดียวกับแนวทางที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการพัฒนาองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ การได้วาที่ การใช้คำถาม การสร้างแบบจำลอง และการทดลอง (Wuttirom, 2013; Ladachart, et al., 2015; Frensley, 2019)

สำหรับการวิเคราะห์คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนตามกรอบแนวคิดของ McNeil and Krajcik (2006) จะจัดกลุ่มคำตอบของนักเรียนรายข้ออย่างละเอียด โดยแบ่งเกณฑ์แปลผลคะแนนในแต่ละองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ออกเป็น 3 ระดับ ซึ่งมีคะแนนเต็มเท่ากับ 2 คะแนน ได้แก่ ระดับดี (2 คะแนน) ระดับพอใช้ (1 คะแนน) และระดับปรับปรุง (0 คะแนน) แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ตามเกณฑ์ดังกล่าวต้องใช้ความสามารถในการจัดกลุ่มคำตอบและแปลผลคะแนน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงพยายามสร้างเครื่องมือในการวิเคราะห์คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่มีความเป็นปรนัย โดยผู้วิจัยได้เลือกเนื้อหาจากหนังสือเรียนวิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม 2 ม.5 บทที่ 1 เรื่องการเคลื่อนที่และแรง ของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) และผู้วิจัยได้ยึดรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry based learning) ตามแนวทางของ สสวท. เพื่อให้ครูทั่วประเทศสามารถนำเกณฑ์การวิเคราะห์การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์นี้ไปใช้ได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อสร้างและใช้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์สำหรับแนวคิดเรื่องการเคลื่อนที่และแรง หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปฏิบัติการทดลองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ตามกรอบแนวคิดของ McNeill and Krajcik (2006)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากร คือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 – 5/13 จำนวน 543 คน ที่เรียนรายวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ (ฟิสิกส์) ปีการศึกษา 1/2563 โรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่งในจังหวัดกรุงเทพมหานคร
2. กลุ่มตัวอย่าง เป็นการเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) จากห้องที่ผู้วิจัยเป็นผู้สอน คือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/7 5/10 และ 5/13 ที่เรียนรายวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ (ฟิสิกส์) ปีการศึกษา 1/2563 จำนวน 67 คน
3. เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย ประกอบด้วย

3.1 แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ตามแนวทาง สสวท. โดยมีขั้นตอน 5 ขั้นตอนได้แก่ ชี้นำเข้าสู่บทเรียน ขั้นสำรวจและค้นหา ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป ขั้นขยายความรู้ และขั้นประเมินผล จำนวน 3 แผน ดังนี้

แผนที่ 1 เรื่องการเคลื่อนที่ในแนวตรงจำนวน 2 ชั่วโมง (การทดลองที่ 1 เรื่องการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตั้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก)

แผนที่ 2 เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ จำนวน 4 ชั่วโมง (การทดลองที่ 2 เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง และการทดลองที่ 3 เรื่องการหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน)

แผนที่ 3 เรื่องการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ จำนวน 2 ชั่วโมง (การทดลองที่ 4 เรื่องการเคลื่อนที่ในแนวโค้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก)

3.2 การทดลองเรื่องการเคลื่อนที่และแรง จำนวน 4 การทดลอง ได้แก่

การทดลองที่ 1 เรื่องการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตั้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ให้นักเรียนทำการทดลองโดยนำจุดที่ปรากฏบนแถบกระดาษที่ผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาชนิดเคาะ 50 ครั้งต่อวินาที เมื่อผูกถุงทรายแล้วปล่อยให้ตกในแนวตั้งมาเขียนกราฟเพื่อคำนวณหาค่าความเร่งของถุงทราย

การทดลองที่ 2 เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง โดยให้นักเรียนอธิบายความสัมพันธ์ของแรง มวล และความเร่ง จากการทดลองเมื่อใช้รถทดลองที่ผูกติดกับแถบกระดาษผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาชนิดเคาะ 50 ครั้งต่อวินาที แล้วพิจารณาจุดที่ปรากฏบนแถบกระดาษเมื่อเพิ่มแรงให้รถทดลอง

การทดลองที่ 3 เรื่องการหาขนาดของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน ให้นักเรียนอธิบายแรงลัพธ์ของแรงย่อยสองแรงที่ทำมุมต่อกัน โดยการผูกเครื่องชั่งสปริง 3 ตัวกับปมเชือก แล้วให้ปมเชือกอยู่นิ่ง

การทดลองที่ 4 เรื่องการเคลื่อนที่แนวโค้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ให้นักเรียนอธิบายเวลาในการตกถึงพื้นของเหรียญเมื่อเหรียญหล่นลงตรง ๆ ในแนวตั้ง และเหรียญเคลื่อนที่แบบโค้งลงในแนวตั้ง เมื่อเหรียญมีลักษณะเหมือนกันทุกประการและความสูงจากพื้นระยะเท่ากัน

4. กระบวนการเก็บข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่าง

4.1 อธิบายการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ให้กับนักเรียน

4.2 จัดกิจกรรมในชั้นเรียนตามแผนการจัดการเรียนรู้ โดยนักเรียนทำการทดลองทั้งหมด 4 การทดลอง

4.3 เมื่อนักเรียนทำการทดลองแต่ละการทดลองเสร็จสิ้น ครูผู้สอนให้นักเรียนทำใบงานการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

4.4 ตรวจใบงาน (ให้คะแนน) การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยใช้เกณฑ์ที่สร้างขึ้นประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

5. วิเคราะห์ข้อมูล

5.1 เปรียบเทียบคะแนนที่ได้กับคะแนนเต็มจากการหาค่าร้อยละ (percentage)

5.2 หาค่าเฉลี่ยคะแนนรวมของนักเรียนโดยแยกเป็น 3 องค์ประกอบ ได้แก่ ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง (Claim) หลักฐาน (Evidence) และการให้เหตุผล (Reasoning)

5.3 หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนเฉลี่ย

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัยแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ คุณภาพของเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ (Expert panel) เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และ วิเคราะห์คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

1. คุณภาพของเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ

ผู้วิจัยได้หาคุณภาพของเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยใช้กลุ่มผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน โดยแบ่งผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษาจำนวน 2 ท่าน (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์) และ ครูที่มีประสบการณ์ในการสอนฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายไม่น้อยกว่า 10 ปี จำนวน 3 ท่าน มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ได้รับเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ทางอีเมลล่วงหน้า 2 สัปดาห์ เพื่อพิจารณา ความถูกต้องของเนื้อหา การใช้ภาษาที่ชัดเจน และความครอบคลุม จากนั้นผู้วิจัยกับอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ได้แสดงความคิดเห็น อภิปรายร่วมกันจนได้ข้อสรุป และปรับปรุงเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

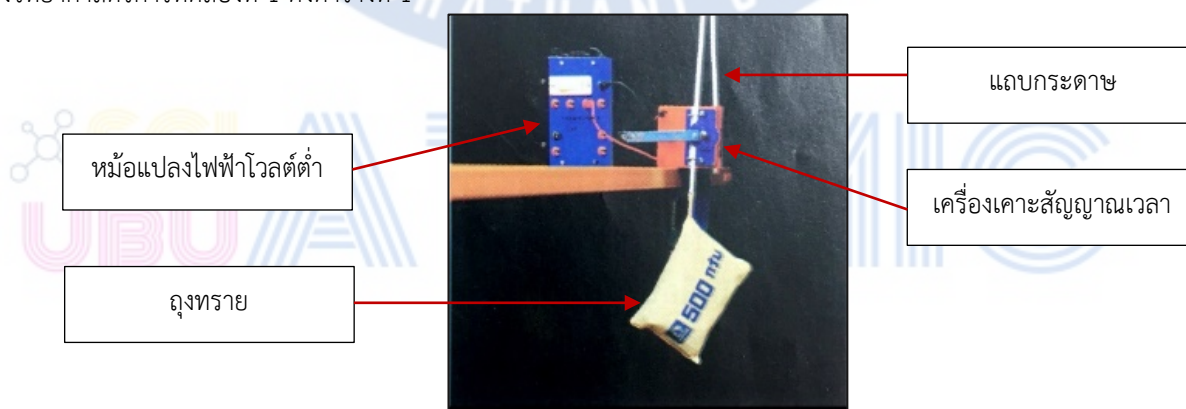
ขั้นตอนที่ 2 ครูที่มีประสบการณ์ในการสอนฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายไม่น้อยกว่า 10 ปี จำนวน 3 ท่าน จะได้รับเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ได้ปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์แล้ว และแบบตรวจสอบคุณภาพของเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เพื่อวัดความเป็นปรนัย (objectivity) จากดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item Objective Congruence : IOC) ใน 3 ประเด็น ได้แก่ ความหมายของคำถาม ความถูกต้องของเนื้อหา และภาษาที่ใช้ โดยผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านต้องให้คะแนนในแต่ละประเด็นพร้อมเขียนข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการนำไปพิจารณาปรับปรุงต่อไป แล้วนำผลคะแนนที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญมาคำนวณหาค่า IOC ตามสูตร พบว่า เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มีค่า IOC เท่ากับ 0.62 แสดงถึง ความเที่ยงตรง ที่อยู่ในระดับใช้ได้ และสามารถนำเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ได้

2. เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

ผู้วิจัยได้สร้างเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ตามกรอบแนวคิดของ McNeill and Krajcik (2006) เป็น 3 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง (Claim) 2) หลักฐาน (Evidence) และ 3) การให้เหตุผล (Reasoning) การสร้างเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์นี้ใช้กระบวนการของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษาจำนวน 5 ท่าน เพื่อถกเถียง ท้าทาย และสรุปออกมาเป็นเกณฑ์ในแต่ละการทดลอง ได้แก่

การทดลองที่ 1 การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตั้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก

การทดลองนี้เป็นการศึกษาความเร็วเฉลี่ยและความเร่งของถุงทรายที่เคลื่อนที่ในแนวตั้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก โดยผูกถุงทรายกับแถบกระดาษที่สอดผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา ดังภาพที่ 1 โดยที่นักเรียนต้องเปลี่ยนจำนวนถุงทรายจาก 1 เป็น 2 และ 3 ถุง ตามลำดับ ในการทดลองนี้นักเรียนต้องวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุจากจุดบนแถบกระดาษ และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ย-เวลา และ ความเร่ง-เวลา จากข้อสรุปของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ ได้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 1 ดังตารางที่ 1



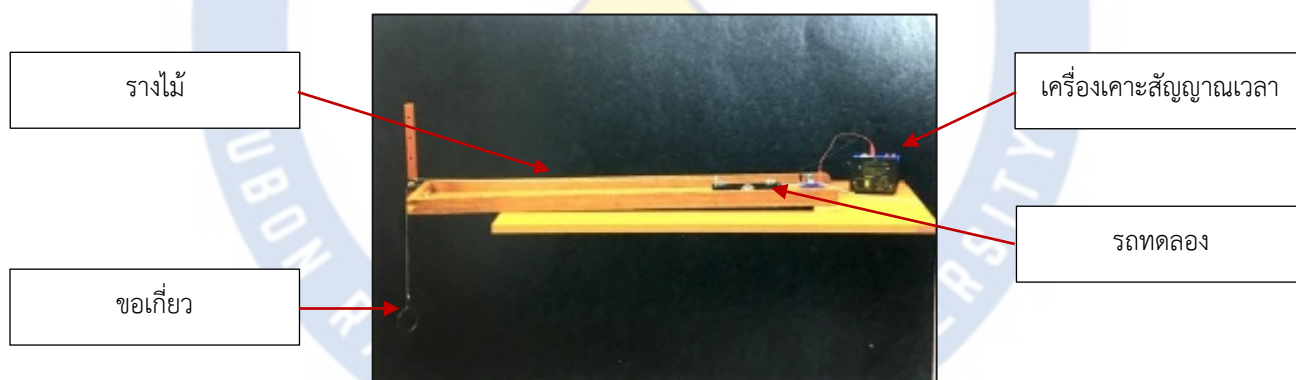
ภาพที่ 1 แขนงถุงทรายมวล 500 กรัมผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา

ตารางที่ 1 เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 1

องค์ประกอบ	รายการ	คะแนน
ข้อสรุป (C)	☐ ค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกที่คำนวณได้มีค่าระหว่าง 9.3 – 10.3 เมตรต่อวินาที ²	1 คะแนน
	☐ ระบุหน่วยของความเร่งคือ เมตรต่อวินาที ² ได้ถูกต้อง	1 คะแนน
หลักฐาน (E)	☐ แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความเร็วเฉลี่ยกับเวลาทั้งกลางแต่ละช่วง พร้อมระบุหน่วยได้ถูกต้อง	1 คะแนน
	☐ แสดงวิธีหาค่าความเร่งจากความชันของกราฟพร้อมระบุหน่วยได้ถูกต้อง	1 คะแนน
การให้เหตุผล (R)	☐ ระบุระหว่างจุดสองจุดที่อยู่ติดกันเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ	1 คะแนน
	☐ ความเร่งมีค่าคงที่	1 คะแนน

การทดลองที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง

การทดลองนี้แบ่งเป็น 2 ตอน การทดลองตอนที่หนึ่งเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร่งเมื่อมวลของวัตถุมีค่าคงตัว โดยนักเรียนจะผูก รถทดลองติดกับนอตด้วยแถบกระดาษที่สอดผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา ดังภาพที่ 2 การทดลองนี้นักเรียนต้องเปลี่ยนจำนวนนอตจาก 1 ตัว เป็น 2, 3 และ 4 ตัวตามลำดับ ส่วนการทดลองตอนที่สองเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับความเร่งเมื่อแรงมีค่าคงตัว โดยนักเรียนจะผูก รถทดลองกับนอต 4 ตัวด้วยแถบกระดาษที่สอดผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา โดยนักเรียนต้องเปลี่ยนมวลของรถที่ใช้ในการทดลองโดยการวางแท่งเหล็กมวล 500 กรัม เป็น 1000, 1500 และ 2000 กรัม ตามลำดับ จากการทดลองทั้งสองตอนนี้นักเรียนต้องวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุจากจุดบนแถบกระดาษ จากข้อสรุปของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญได้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 2 ดังตารางที่ 2



ภาพที่ 2 รถทดลองที่ผูกติดกับเครื่องเคาะสัญญาณเวลา

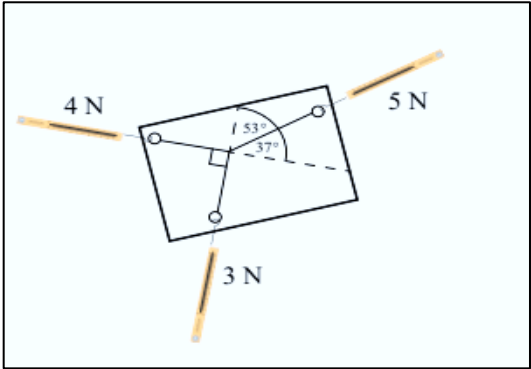
ตารางที่ 2 เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 2

องค์ประกอบ	รายการ	คะแนน
ข้อสรุป (C)	☐ แรงแปรผันตรงกับความเร่ง	1 คะแนน
	☐ มวลแปรผกผันกับความเร่ง	1 คะแนน
หลักฐาน (E)	☐ เปรียบเทียบระยะห่างระหว่างจุดบนแถบกระดาษทั้ง 4 (เมื่อเพิ่มจำนวนนอต)	1 คะแนน
	☐ เปรียบเทียบระยะห่างระหว่างจุดบนแถบกระดาษทั้ง 4 (เมื่อเพิ่มแท่งเหล็ก)	1 คะแนน
การให้เหตุผล (R)	☐ เมื่อเพิ่มจำนวนนอต (แรงดึงเพิ่มขึ้น) รถทดลองมีความเร่งเพิ่มขึ้น	1 คะแนน
	☐ เมื่อเพิ่มแท่งเหล็กกับรถทดลอง (แรงดึงคงตัว) รถทดลองมีความเร่งลดลง	1 คะแนน

การทดลองที่ 3 การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน

การทดลองนี้นักเรียนจะนำปลายเชือก 3 เส้น มาผูกรวมกันเป็นปม ส่วนปลายของเชือกที่เหลือทำเป็นห่วงแล้ววางบนกระดาษขาว จากนั้นใช้เครื่องชั่งสปริง 3 อัน เกี่ยวกับห่วงเชือกแล้วดึงเครื่องชั่งสปริงทั้งสามในแนวระดับ โดยเริ่มจากดึงเครื่องชั่งสปริงสองอันให้ทำมุมค่าหนึ่ง จากนั้นพยายามดึงเครื่องชั่งสปริงที่ 3 จนปมของเชือกหยุดนิ่ง (ภาพที่ 3) การทดลองนี้

นักเรียนต้องวิเคราะห์แรงลัพธ์ทั้งขนาดและทิศทาง จากข้อสรุปของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญได้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 3 ดังตารางที่ 3



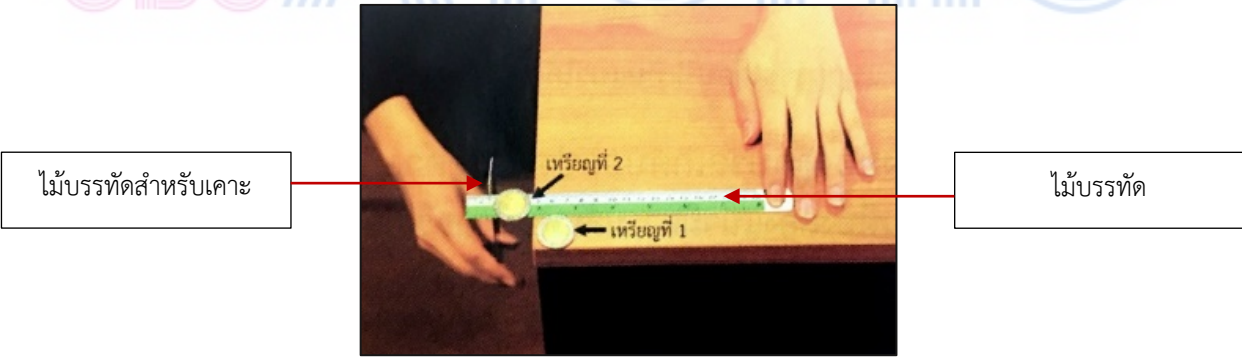
ภาพที่ 3 ภาพจำลองการดึงปมเชือกด้วยเครื่องซึ่งสปริง 3, 4 และ 5 นิวตัน

ตารางที่ 3 เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 3

องค์ประกอบ	รายการ	คะแนน
ข้อสรุป (C)	☐ แรงลัพธ์ของแรง 3 และ 4 นิวตัน มีขนาด 5 นิวตัน	1 คะแนน
	☐ แรงลัพธ์มีทิศ 45 องศา กับแรง 3 นิวตัน หรือ แรงลัพธ์มีทิศ 45 องศา กับแรง 4 นิวตัน หรือ บอกทิศทางของแรงลัพธ์โดยการวาดรูป	1 คะแนน
หลักฐาน (E)	☐ แสดงการหาขนาดของแรงลัพธ์โดยการวาดรูป หรือ การคำนวณ	1 คะแนน
	☐ แสดงการหาทิศทางของแรงลัพธ์โดยการวาดรูป หรือ การคำนวณ	1 คะแนน
การให้เหตุผล (R)	☐ เมื่อออกแรงดึง 3 และ 4 นิวตัน ปมของเชือกหยุดนิ่ง แสดงว่าขนาดของแรงลัพธ์ระหว่างแรงดึง 3 และ 4 นิวตัน มีขนาดเท่ากับ 5 นิวตัน	1 คะแนน
	☐ ทิศทางของแรงลัพธ์ระหว่าง 3 และ 4 นิวตัน จะตรงข้ามกับแนวแรง 5 นิวตัน	1 คะแนน

การทดลองที่ 4 การเคลื่อนที่แนวโค้งภายใต้แรงโน้มถ่วง

การทดลองนี้นักเรียนจะเปรียบเทียบการตกของเหรียญแนวโค้งภายใต้แรงโน้มถ่วงกับการตกอิสระ โดยใช้เหรียญ 2 เหรียญ วางเหรียญที่ 1 ไว้บริเวณมุมโต๊ะโดยให้เหรียญชิดกับขอบโต๊ะด้านหนึ่ง วางไม้บรรทัดให้ขนานกับขอบโต๊ะด้านที่วางเหรียญที่ 1 ไว้และให้ไม้บรรทัดสัมผัสกับเหรียญนี้ โดยให้ปลายไม้บรรทัดด้านหนึ่งยื่นออกไปนอกโต๊ะ จากนั้นใช้มือกดปลายไม้บรรทัดด้านที่อยู่บนโต๊ะไว้เพื่อให้ปลายนี้เป็นจุดหมุน วางเหรียญที่ 2 ไว้บนปลายไม้บรรทัดด้านที่ยื่นออกมาจากโต๊ะ ดังภาพที่ 4 จากนั้นใช้ไม้บรรทัดอีกอันเคาะปลายไม้บรรทัดด้านที่ยื่นออกมาจากโต๊ะโดยเร็ว สังเกตและบันทึกการเคลื่อนที่ของเหรียญที่ตกลงมา โดยอาจใช้นาฬิกาจับเวลา กล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหว หรือฟังเสียงกระทบพื้นของเหรียญทั้งสอง การทดลองนี้นักเรียนต้องวิเคราะห์ความเหมือนและแตกต่างของการตกของเหรียญทั้งสอง จากข้อสรุปของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญได้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 4 ดังตารางที่ 4



ภาพที่ 4 การติดเหรียญให้เคลื่อนที่แนวโค้ง และลงตรง ๆ ในแนวตั้ง

ตารางที่ 4 เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 4

องค์ประกอบ	รายการ	คะแนน
ข้อสรุป (C)	☐ กรณีที่ 1 และ 2 ตกถึงพื้นพร้อมกัน	1 คะแนน
	☐ วัตถุตกภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกค่าเดียวกัน	1 คะแนน
หลักฐาน (E)	☐ คลิปวิดีโอหรือรูปถ่ายการตกถึงพื้นของเหรียญในกรณีที่ 1 และ 2	1 คะแนน
	☐ ความเร็วของเหรียญที่ 1 และ 2 จากเริ่มต้นจนกระทั่งตกถึงพื้นจากหนังสือเรียน หน้า 30	1 คะแนน
การให้เหตุผล (R)	☐ กรณีที่ 1 เหรียญเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัวในแนวตั้ง (ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก)	1 คะแนน
	☐ กรณีที่ 2 เหรียญเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวในแนวระดับ และความเร่งคงตัวในแนวตั้ง (ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก)	1 คะแนน

จากเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 1 – 4 ที่ได้จากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญสามารถสรุปออกมาเป็นหลักในการสร้างเกณฑ์ดังนี้ ในส่วนของข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างจะสร้างเกณฑ์ตามแนวคิดวิทยาศาสตร์ (scientific concept) ในส่วนของหลักฐาน จะสร้างเกณฑ์ตามข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง ซึ่งได้มาจากการสำรวจ ตรวจสอบ การทดลอง หรือการศึกษาค้นคว้าจากแหล่งข้อมูล โดยนักเรียนจะต้องคัดเลือกหลักฐานที่มีความน่าเชื่อถือมาสนับสนุนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างของตน และในส่วนของ การให้เหตุผล จะสร้างเกณฑ์เพื่อแสดงให้เห็นความเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างอย่างสมเหตุสมผลโดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์

3. วิเคราะห์คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

การวิเคราะห์คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนแต่ละคนในงานวิจัยนี้ใช้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ได้จากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จากกลุ่มตัวอย่าง 67 คน แสดงเป็นร้อยละแยกตามองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

ข้อ	เรื่อง	คะแนน (ร้อยละ)		
		ข้อสรุป	หลักฐาน	การให้เหตุผล
1	การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตั้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก	95.50	0.75	87.30
2	ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง	92.50	2.99	45.50
3	การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน	56.00	7.46	88.80
4	การเคลื่อนที่แนวโค้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก	56.70	4.48	43.30
	เฉลี่ย (ร้อยละ)	75.20	3.92	66.20
	S.D.	21.80	2.82	25.20

จากตารางที่ 5 พบว่า องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนทำได้ดีที่สุดคือ ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง (ร้อยละ 75.20) รองลงมาคือการให้เหตุผล (ร้อยละ 66.20) และ หลักฐาน (ร้อยละ 3.92) ตามลำดับ ซึ่งค่าร้อยละของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในแต่ละการทดลองเทียบกับคะแนนเต็มของนักเรียนทุกคนในคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในการทดลองนั้น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 – 4 ยกตัวอย่างเช่น ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง (claim) ของการทดลองที่ 1 เรื่องการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตั้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก คะแนนเต็ม 2 คะแนน ถ้านักเรียนทุกคนตอบถูกหมดจะได้คะแนน 134 คะแนน แต่คะแนนรวมของนักเรียนได้ 128 คะแนน จึงคิดเป็นร้อยละ 95.50 ของคะแนนเต็ม เป็นต้น

ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง เป็นองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ง่ายที่สุดสำหรับนักเรียนซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ruiz-Primo et al. (2010) และ Peker and Wallace (2011) ที่เป็นเช่นนั้นเพราะข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างนั้นเป็นการประเมินความสามารถของนักเรียนในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ตามแนวคิดวิทยาศาสตร์ (scientific concept) ซึ่งนักเรียนจะให้ความตระหนักและใส่ใจกับแนวคิดวิทยาศาสตร์อยู่แล้ว ตั้งแต่ตอนเริ่มต้นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ที่นักเรียนทุกคนต้องรู้วัตถุประสงค์ของการทดลอง และในตอนท้าย นักเรียนต้องสรุปผลการทดลอง แต่อย่างไรก็ตามในเกณฑ์ประเมิน

คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 3 และ 4 นักเรียนได้คะแนนอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ประมาณร้อยละ 50 เมื่อพิจารณาคำตอบของนักเรียนพบว่า การทดลองที่ 3 เป็นการหาแรงลัพธ์ ซึ่ง แรง เป็นปริมาณเวกเตอร์ ซึ่งมีทั้งขนาดและทิศทาง แต่ส่วนใหญ่ักเรียนตอบแรงลัพธ์มาเฉพาะขนาดโดยไม่ได้นึกถึงทิศทาง ส่วนในการทดลองที่ 4 เนื่องจากการตกของวัตถุในกรณีที่ 1 และ 2 อยู่ภายใต้ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเดียวกัน เหยี่ยุตต้องตกถึงพื้นพร้อมกัน แต่จากการทดลองพบว่าความคลาดเคลื่อนจากผู้ทำการทดลองส่งผลทำให้นักเรียนสร้างข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างไม่ถูกต้องใน 2 จุด ได้แก่ จุดแรกนักเรียนปล่อยเหยี่ยุตที่ 1 และ 2 ไม่พร้อมกัน ทำให้เหยี่ยุตทั้งสองตกถึงพื้นไม่พร้อมกัน จุดที่สองนักเรียนใช้ประสาทสัมผัสตาและหูเพียงอย่างเดียวในการสังเกตการการตกพร้อมกันของเหยี่ยุตทำให้เกิดพลาด นักเรียนควรใช้เครื่องมือช่วยให้การสังเกตที่มีความถูกต้องแม่นยำ เช่น การถ่ายวิดีโอความเร็วสูง เป็นต้น

การให้เหตุผล เป็นข้อความที่แสดงความเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างอย่างสมเหตุสมผล โดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ จากเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์พบว่า มี 2 การทดลองที่นักเรียนได้คะแนนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ต่ำกว่าร้อยละ 50 โดยการทดลองที่ 2 เป็นการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง นักเรียนส่วนใหญ่จะแสดงความเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างได้ในประเด็นที่ว่า เมื่อเพิ่มจำนวนนอต (แรงดึงดูดเพิ่มขึ้น) รถทดลองจะมีความเร่งเพิ่มขึ้น แต่นักเรียนส่วนใหญ่ไม่แสดงเชื่อมโยงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มแท่งเหล็กกับรถทดลอง (แรงดึงดูด) ส่งผลทำให้รถทดลองมีความเร่งลดลง ส่วนการทดลองที่ 4 นั้นเนื่องจากนักเรียนส่วนใหญ่ให้ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างผิด (บอกว่าเหยี่ยุตตกถึงพื้นไม่พร้อมกัน เพราะใช้เครื่องมือในการสังเกตจากประสาทสัมผัสเท่านั้น) จึงส่งผลให้การให้เหตุผลผิด แม้นักเรียนบางคนจะรู้ว่าตามทฤษฎีเหยี่ยุตทั้งสองจะตกถึงพื้นพร้อมกัน นอกจากนี้นักเรียนยังมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนเรื่องการเคลื่อนที่ในแนวโค้งของเหยี่ยุต โดยมองว่าเหยี่ยุตมีความเร็วเพิ่มขึ้นทั้งในแนวระดับและแนวตั้ง ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว เหยี่ยุตมีความเร็วคงตัว (ความเร็วเป็นศูนย์) ในแนวระดับ แต่มีความเร่งเพิ่มขึ้น (มีความเร่ง) ในแนวตั้ง

หลักฐาน คือ ข้อมูลหรือสิ่งที่นำมาสนับสนุนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง ซึ่งได้มาจากการสำรวจตรวจสอบ การทดลอง หรือการศึกษาค้นคว้าจากแหล่งข้อมูล โดยนักเรียนจะต้องคัดเลือกหลักฐานที่มีความน่าเชื่อถือมาสนับสนุนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างของตน คะแนนจากเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ได้สร้างความประหลาดใจให้กับผู้วิจัยเป็นอย่างมากว่าทำไมนักเรียนจึงได้คะแนนน้อยที่สุด (ร้อยละ 3.92) ทั้ง ๆ ที่หลักฐาน คือ สิ่งที่นักเรียนปรากฏอยู่ต่อหน้านักเรียนขณะทำการทดลองในแต่ละเรื่อง เมื่อวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนในส่วนของหลักฐานพบว่า นักเรียนส่วนมากไม่แสดงหลักฐาน หรือแสดงหลักฐานไม่ถูกต้อง เช่น นำการให้เหตุผลไปเขียนเป็นหลักฐาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Juthanarupakit, Jantarakantee, and Chiangka (2018) ส่วนการทดลองที่ 4 ที่เป็นการติดเหยี่ยุต มีข้อจำกัดในการเก็บหลักฐาน แต่สามารถเก็บหลักฐานจากความเร็วของเหยี่ยุตได้เช่นกัน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์วิดีโอและโปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอที่เรียกว่า Tracker ที่ใช้ศึกษาการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ ซึ่งสามารถหาความเร็วของวัตถุจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตามแนวแกน y กับเวลาได้ (Ruangbun and Wuttiprom, 2016)

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากผลการวิจัยข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนไม่ใช่เรื่องง่าย เป็นทักษะที่ต้องได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง (Frensley, 2019) ปัญหาและอุปสรรคในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ได้แก่ ประการแรก นักเรียนยังไม่ได้รับประสบการณ์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เน้นการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มาก่อน หรือมีประสบการณ์ไม่มากพอ (Pornsurirong and Sungthong, 2020) ประการที่สอง นักเรียนไม่สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ว่าประกอบด้วยข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผล ประการที่สาม การจัดการเรียนรู้ส่วนใหญ่เป็นแบบบรรยายนักเรียนเป็นผู้รับความรู้โดยไม่ผ่านการคิดวิเคราะห์ (Ladachart, et al., 2015)

คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ คือ ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผล ถึงแม้ว่าหลายงานวิจัยจะแสดงให้เห็นว่า ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่นักเรียนทำได้ดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตามทุกองค์ประกอบมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งองค์ประกอบหลักฐานและการให้เหตุผล หากองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งด้อยก็จะส่งผลต่อองค์ประกอบอื่น ๆ การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เป็นทักษะต้องได้รับการฝึกฝนอย่างสม่ำเสมอ

เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพเป็นอีกหนึ่งเครื่องมือที่จะช่วยพัฒนาการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ให้กับนักเรียน จากผลการนำเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นไปใช้พบว่า เป็นเครื่องมือที่ดีในแง่ของ ความเป็นปรนัย และแปลผลได้ง่าย นอกจากนี้ยังเหมาะสำหรับครูที่ต้องการจะเริ่มทำงานวิจัยเกี่ยวกับคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์สามารถนำเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์นี้ไปใช้ได้

เนื่องจากคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในแต่ละองค์ประกอบมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกัน ดังนั้นในการจัดการเรียนรู้ครูควรอธิบายจนได้ข้อสรุปตรงกันในแต่ละขั้นตอนของการทดลอง เริ่มตั้งแต่ วิธีการทดลอง ผลการทดลอง การวิเคราะห์ผลการทดลอง สรุปผลการทดลอง และการอธิบายผลการทดลอง เพราะหากขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งที่นักเรียนเข้าใจผิดก็จะส่งผลต่อคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เป็นไปได้ว่าในบางครั้งที่ผลการทดลองไม่เป็นไปตามทฤษฎี ครูและนักเรียนต้องอภิปรายร่วมกันจนเห็นว่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวเกิดจากอะไร หากครูไม่สามารถทำการทดลองซ้ำเพื่อให้การทดลองตรงตามทฤษฎี แนะนำให้ครูใช้วิดีโอหรือการจำลองสถานการณ์ (simulation)

เอกสารอ้างอิง

- American Association for the Advancement of Science. (1991). *Science for all Americans*. New York: Oxford University.
- Bell, P. and Linn, M. C. (2000). Scientific arguments as learning artifacts: Designing for learning from the web with KIE. *International journal of science education*, 22(8), 797-817.
- Driver, R., Newton, P. and Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science education*, 84(3), 287-312.
- Frensey, J. (2019). ABCD's of explaining your reasoning. *The Physics Teacher*, 57(3), 202-202.
- Juthanarupakit, K., Jantarakantee, A. and Chiangka, S. (2018). Implementing scientific inquiry approaches to develop grade 10th students' scientific explanation in the topic of circular motion (in Thai). *Rangsit Graduate Research Conference* (pp. 1741-1753). Bangkok: Rangsit University.
- Ladachart, L., Chimphali, K., Aryowong, N., Ngaewkoodrua, N., Srakhao, S., Wangead, C. and Thammapruteep, J. (2015). Ninth Grade Student' Making Scientific Inferences and Explanations (in Thai). *Silpakorn University Journal*, 171-206.
- Limpijumong, C. (2019). *Physical Science 2* (in Thai). Bangkok: Chulalongkorn University Press.
- Liwkongsatopond, W. (2021). Scientific explanation (In Thai). Retrieved 1 May 2021, from **Library.IPST**: <https://library.ipst.ac.th/handle/ipst/1365>.
- McNeill, K. L. and Krajcik, J. (2006). Supporting students' construction of scientific explanation through generic versus context-specific written scaffolds. *Annual Meeting of the American Educational Research Association*. San Francisco: American Educational Research Association.
- National Research Council. (1996). *National science education standards*. Washington, D.C.: National Academy of Science.
- National Research Council. (2013). *Next generation science standards: For state, by state*. Washington, D.C.: National Academy of Science.
- National Research Council. (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, D.C.: National Academy of Science.
- Peker, D. and Wallace C.S. (2011). Characterizing high school students' written explanations in biology laboratories. *Research in Science Education*, 41(2), 169-191.
- Phornphisutthimas, S. (2013). Learning management of science in 21st century (In Thai). *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning*, 4(1), 55-63.
- Pornsuriwong, S. and Sungthong, A. (2020). The results of learning activities using STEM education of motion in physics for grade-11 students (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 3(1), 30-40.
- Ruangbun, T. and Wuttirom, S. (2016). Designing and Developing Electromagnetic Induction Projectile Launcher (In Thai). *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for learning*, 7(1), 191-203.
- Ruiz-Primo, M. A., Li, M., Tsai, S. P. and Schneider, J. (2010). Testing one premise of scientific inquiry in science classrooms: Examining students' scientific explanations and student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(5), 583-608.

- Wongchaiya, K. (2016). Effects of predict-explain-observe-explain-discuss of Galvanic cells on the improvement of Grade 12 student' science process skills (in Thai). **Master's Thesis**. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University.
- Wuttiptom, S. (2013). A Comparison of Teaching Experiments between Videotaped and Demonstrative Approaches in Developing Scientific Concepts about Buoyant Force (in Thai). **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for learning**, 4(1), 7-17.
- Zohar, A. and Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. **Journal of Research in Science Teaching**, 39(1), 35-62.

