การอธิบายแบบ ข้อสรุป-หลักฐาน-เหตุผล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จากการทดลอง เรื่องแรงและการเคลื่อนที่

ทิวากร แก่นษา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

THE CLAIM-EVIDENCE-REASONING EXPLANATION OF GRADE 11 STUDENTS BY FORCE AND MOTION EXPERIMENTS

TIWAGORN KANSA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
MAJOR IN SCIENCE EDUCATION
FACULTY OF SCIENCES
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2020

COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์

เรื่อง การอธิบายแบบ ข้อสรุป-หลักฐาน-เหตุผล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จากการทดลอง เรื่องแรงและการเคลื่อนที่

ผู้วิจัย นายทิวากร แก่นษา

คณะกรรมการสอบ

ดร.ธนิดา สุจริตธรรม	ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุระ วุฒิพรหม	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กานต์ตะรัตน์ วุฒิเสลา	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

……..……..……

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุระ วุฒิพรหม)

…….....	…….....
(ศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร จึงสุทธิวงษ์)	(รองศาสตราจารย์ ดร.อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์	รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2563

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเพราะได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุระ วุฒิพรหม และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กานต์ตะรัตน์ วุฒิเสลา ที่ให้คำปรึกษา แนะนำอันมีคุณค่ายิ่ง ตลอดจนให้ข้อเสนอแนะในการดำเนินงาน และการเขียนรายงานการวิจัย การแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่ สนับสนุนให้กำลังใจ และความช่วยเหลือในการวิจัยแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ดร.ธนิดา สุจริตธรรม ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ให้คำแนะนำ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่กรุณาให้ความรู้และสละเวลาให้คำปรึกษา ชี้แนะในการศึกษาตลอดระยะเวลาการศึกษาในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พร้อมทั้งให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา ทำให้วิทยานิพนธ์นี้มีคุณค่าสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณคณะผู้บริหาร คณะครู โรงเรียนเทพศิรินทร์ร่มเกล้า เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ พร้อมทั้งเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนนักเรียนที่ให้ความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล

คุณค่าอันพึงมีจากการศึกษาวิทยานิพนธ์นี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ และคุณครูที่เคารพอย่างสูงยิ่ง หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้ด้วยความขอบคุณยิ่ง

ทิวากร แก่นษา

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

เรื่อง	:	การอธิบายแบบ ข้อสรุป-หลักฐาน-เหตุผล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จากการทดลอง เรื่องแรงและการเคลื่อนที่
ผู้วิจัย	:	ทิวากร แก่นษา
ชื่อปริญญา	:	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	:	วิทยาศาสตร์ศึกษา
อาจารย์ที่ปรึกษา	:	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุระ วุฒิพรหม
คำสำคัญ	:	เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์, คำอธิบายแบบ ข้อสรุป-หลักฐาน-เหตุผล, การทดลองแบบสืบเสาะ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและใช้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์สำหรับแนวคิดเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ ตามกรอบแนวคิดของ McNeill และ Krajcik หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ และศึกษาการอธิบายแบบ ข้อสรุป-หลักฐาน-เหตุผล ของนักเรียนจากการทดลองเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ กลุ่มตัวอย่างถูกเลือกแบบเจาะจงจากชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 52 คน ที่เรียนรายวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ (ฟิสิกส์) ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้การทดลองแบบสืบเสาะหาความรู้จำนวน 3 แผน และแบบประเมินการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ 4 ข้อ ได้แก่ 1) การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวดิ่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก 2) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร่ง และมวลกับความเร่ง 3) การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรง และ 4) การเคลื่อนที่แนวโค้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ผลการวิจัยพบว่า เกณฑ์การวิเคราะห์การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จากกระบวนการของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญมีประสิทธิภาพ และมีความเป็นปรนัยและแปรผลง่ายในการนำไปใช้ เมื่อนำเกณฑ์การวิเคราะห์การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์นี้ไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างพบว่านักเรียนได้คะแนนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผล ร้อยละ 66.73, 39.42 และ 55.58 ตามลำดับ

ABSTRACT

TITLE : THE CLAIM-EVIDENCE-REASONING EXPLANATION OF GRADE 11 STUDENTS BY FORCE AND MOTION EXPERIMENTS
AUTHOR : TIWAGORN KANSA
DEGREE : MASTER OF SCIENCE
MAJOR : SCIENCE EDUCATION
ADVISOR : ASST. PROF. SURA WUTTIPROM, Ph.D.
KEYWORDS : SCIENTIFIC EXPLANATION, CLAIM-EVIDENCE-REASONING EXPLANATION, INQUIRY EXPERIMENTS

The purpose of this research was to establish and implement scientific explanation criteria for the concept of force and motion based on McNeill and Krajcik's framework, after students' inquiry-based learning and their explanation of the claim-evidence-reasoning (CER) approach through force and motion experiments. Fifty-two samples were purposively chosen among grade 11 students studying Physical Science (Physics) during the first semester of the academic year 2020. The research instruments involved 3 lesson plans, an exploratory experiment, and a 4 question scientific explanation assessment form: (1) the vertical motion of an object under the gravitational pull of the earth, (2) the relationship among force, mass, and acceleration, (3) determination of the magnitude and direction of the resultant force of two forces, and (4) arc motion under Earth's gravity. The results showed that the analytical criteria for creating scientific explanations from the expert group process are effective, easy to implement and use. When this scientific explanation-building analysis was applied to the student sample, the students achieved scores of 66.73%, 39.42%, and 55.58%, for claims, evidence, and reasoning respectively.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	**ก**
บทคัดย่อภาษาไทย	**ข**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**ค**
สารบัญ	**ง**
สารบัญตาราง	**ฉ**
สารบัญภาพ	**ช**
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 ขอบเขตการศึกษาค้นคว้า	3
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
บทที่ 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์	4
2.2 องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้	5
2.3 การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (Inquiry)	6
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 ประชากรกลุ่มตัวอย่าง	13
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล	13
3.3 การดำเนินการรวบรวมข้อมูล	15
3.4 คุณภาพของเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ	15
3.5 เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์	16
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล	22
3.7 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
4.1 ผลการวิเคราะห์คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์	25
4.2 เปรียบเทียบคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์	27
บทที่ 5 สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	40
5.2 อภิปรายผลการวิจัย	40
5.3 ข้อเสนอแนะ	41
เอกสารอ้างอิง	**43**
ภาคผนวก	
ก รายนามผู้เชี่ยวชาญ	49
ข เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล	51
ค ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้	58
ง คุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	66
ประวัติผู้วิจัย	**69**

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบของการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้	5
2.2	ขั้นตอนสำคัญ เป้าหมาย บทบาทของครูและนักเรียนตามขั้นตอนการสอนโดยการสืบเสาะหาความรู้แบบ 5E	7
3.1	เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 1	17
3.2	เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 2.1	18
3.3	เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 2.2	19
3.4	เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 3	20
3.5	เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 4	21
3.6	รายละเอียดการแบ่งกลุ่มนักเรียน	22
4.1	ผลการวิเคราะห์คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จากกลุ่มตัวอย่าง 52 คน แสดงเป็นร้อยละแยกตามองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์	25
4.2	ผลการวิเคราะห์คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จากกลุ่มตัวอย่าง 52 คน แสดงเป็นร้อยละแยกตามองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และแยกตามกลุ่ม Online – Onsite	26
4.3	เปรียบเทียบคำอธิบายแบบ ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง	27
4.4	จำนวนนักเรียนที่ตอบได้ตรง	27
4.5	จำนวนนักเรียนที่ตอบได้คลาดเคลื่อน/ไม่ครบ	30
4.6	จำนวนนักเรียนคิดเป็นร้อยละที่ได้คะแนนในการทดลองที่ 1	38
4.7	จำนวนนักเรียนคิดเป็นร้อยละที่ได้คะแนนในการทดลองที่ 2.1	38
4.8	จำนวนนักเรียนคิดเป็นร้อยละที่ได้คะแนนในการทดลองที่ 2.2	39
4.9	จำนวนนักเรียนคิดเป็นร้อยละที่ได้คะแนนในการทดลองที่ 3	39
4.10	จำนวนนักเรียนคิดเป็นร้อยละที่ได้คะแนนในการทดลองที่ 4	39
ง.1	ค่าความสอดคล้อง (IOC) รูบริกการให้คะแนนคำอธิบายข้อกล่าวอ้างหรือข้อสรุป-หลักฐาน-เหตุผล (CER Explanation)	68

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
3.1	แขวนถุงทรายมวล 500 กรัมผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา	17
3.2	รถทดลองที่ผูกติดกับเครื่องเคาะสัญญาณเวลา	18
3.3	ภาพจำลองการดึงปมเชือกด้วยเครื่องชั่งสปริง 3, 4 และ 5 นิวตัน	19
3.4	การดีดเหรียญให้เคลื่อนที่แนวโค้ง และลงตรง ๆ ในแนวดิ่ง	21
4.1	คำตอบข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างในการทดลองที่ 1 ที่ถูกต้อง	28
4.2	คำตอบการให้เหตุผลได้ตรงในการทดลองที่ 1	28
4.3	คำตอบข้อสรุปได้ตรงในการทดลองที่ 2	28
4.4	การตอบหลักฐานได้ตรงในการทดลองที่ 2	29
4.5	คำตอบการให้เหตุผลได้ตรงในการทดลองที่ 2	29
4.6	คำตอบการให้เหตุผลที่ตรงในการทดลองที่ 3	30
4.7	คำตอบข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 1	30
4.8	คำตอบหลักฐานที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 1	31
4.9	คำตอบการให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 1	31
4.10	คำตอบข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 2	32
4.11	คำตอบหลักฐานที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 2	32
4.12	คำตอบการให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 2	32
4.13	คำตอบข้อสรุปที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 3	33
4.14	คำตอบหลักฐานที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 3	33
4.15	คำตอบการให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 3	33
4.16	คำตอบข้อสรุปที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 4	34
4.17	คำตอบหลักฐานที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 4	34
4.18	คำตอบการให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 4	34
4.19	คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในการทดลองที่ 1 ที่ไม่ได้คะแนน	35
4.20	การสรุปที่ไม่ครบถ้วนในการทดลองที่ 3	36
4.21	การสรุปในการทดลองที่ 4	36
4.22	การเขียนหลักฐานในการทดลองที่ 4	37
4.23	การให้เหตุผลในการทดลองที่ 2	37
4.24	การให้ข้อสรุปในการทดลองที่ 4 ที่ส่งผลให้การให้เหตุผลผิดไปด้วย	38

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

ค.1 สไลด์แนะนำการสร้างคำอธิบายแบบข้อกล่าวอ้างหรือสรุป-หลักฐาน-การให้เหตุผล (CER Explanation) 65

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

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) ช่วยให้นักเรียนมีความรู้เนื้อหาที่ดีขึ้นขณะเดียวกัน 2) ช่วยให้นักเรียนเปลี่ยนมุมมองที่มีต่อวิชาวิทยาศาสตร์จากวิชาที่ต้องท่องจำไปเป็นวิชาที่ใช้สร้างองค์ความรู้ 3) ช่วยเตรียมความพร้อมนักเรียนสำหรับการแก้ปัญหาใหม่ของโลกในอนาคต (สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ, 2557; Bell and Linn, 2000; Driver, Newton and Osborne, 2000; Zohar and Nemet, 2002) และ 4) ช่วยให้นักเรียนเข้าใจธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ว่าความรู้ทางวิทยาศาสตร์อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้เมื่อมีข้อมูล และประจักษ์พยานใหม่

ด้วยเหตุนี้ครูและนักการศึกษาจำนวนมากจึงได้ศึกษาและพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ตามกรอบแนวคิดของ 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 (กาญจนา วงค์ไชยา, 2559; เขมรัฐ จุฑานฤปกิจ, เอกภูมิ จันทรขันตี และสุรศักดิ์ เชียงกา, 2561; วิโรจน์ ลิ่วคงสถาพร, 2552) สำหรับในรายวิชาฟิสิกส์ มีงานวิจัยเรื่องการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เรื่อง การเคลื่อนที่

แบบวงกลม ผลการประเมิน PISA ในปี 2018 นักเรียนไทยมีคะแนนวิชาวิทยาศาสตร์อยู่ที่ 426 คะแนน ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยขององค์กรเพื่อความร่วมมือพัฒนาเศรษฐกิจ (Organization for Economic Cooperation and Development) ซึ่งวิชาวิทยาศาสตร์ PISA ได้กำหนดกรอบการประเมินเรื่องการรู้วิทยาศาสตร์ (Scientific literacy) ใน 3 ด้าน ได้แก่ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ทักษะทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติเชิงวิทยาศาสตร์ ซึ่งการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์อยู่ในด้านทักษะทางวิทยาศาสตร์

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

นักการศึกษาได้เสนอแนวทางในการส่งเสริมการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนผ่านการจัดการเรียนรู้ที่หลากหลาย ได้แก่ การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (Scientific inquiry) ซึ่งเป็นการส่งเสริมให้นักเรียนได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์เช่นเดียวกับแนวทางที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการพัฒนาองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ การโต้วาที การใช้คำถาม การสร้างแบบจำลอง และการทดลอง (สุระ วุฒิพรหม, 2556; ลือชา ลดาชาติ และคณะ, 2558; 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

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อสร้างและใช้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์สำหรับแนวคิดเรื่องการเคลื่อนที่และแรง หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปฏิบัติการทดลองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ตามกรอบแนวคิดของ McNeill and Krajcik (2006)

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้สร้างเกณฑ์การประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แนวคิดเรื่องการเคลื่อนที่และแรง

1.3.2 ได้ทราบคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน

1.4 ขอบเขตการศึกษาค้นคว้า

1.4.1 ประชากรที่ใช้ในการศึกษา เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 – 5/13 จำนวน 543 คน ที่เรียนรายวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ (ฟิสิกส์) ปีการศึกษา 1/2563 โรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่งในจังหวัดกรุงเทพมหานคร

1.4.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา เป็นการเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) จากห้องที่ผู้วิจัยเป็นผู้สอน คือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/7, 5/10 และ 5/13 ที่เรียนรายวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ (ฟิสิกส์) ปีการศึกษา 1/2563 จำนวน 52 คน

1.4.3 เนื้อหาที่ใช้ในการศึกษา คือเรื่องการเคลื่อนที่และแรง จากหนังสือเรียนวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ 2 สสวท.

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ หมายถึง ข้อความที่ใช้สำหรับให้ความหมาย หรืออธิบาย ซึ่งมีองค์ประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และเหตุผล

1.5.2 เกณฑ์การประเมิน หมายถึง การพิจารณาเพื่อตัดสิน และให้ค่าของความหมาย หรือคำอธิบาย โดยการเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้

บทที่ 2
เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการสร้างและการใช้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์สำหรับแนวคิดเรื่องการเคลื่อนที่และแรงของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ดังนี้

2.1 คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

2.2 องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้

2.3 การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (Inquiry)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เป็นทักษะจำเป็นสำหรับนักเรียนในศตวรรษที่ 21 ซึ่งนักเรียนจะต้องอธิบายปรากฏการณ์ว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร ซึ่งประกอบด้วย

2.1.1 ข้อกล่าวอ้างหรือข้อสรุป (Claim) เป็นข้อยืนยัน หรือคำตอบสุดท้ายของปรากฏการณ์

2.1.2 หลักฐาน (Evidence) นักเรียนสามารถคัดเลือกข้อมูล หรือการทดลองมาสนับสนุนข้อกล่าวอ้างหรือข้อสรุปของตนเองได้

2.1.3 การให้เหตุผล (Reasoning) เป็นสิ่งที่ใช้เชื่อมโยงว่า หลักฐานสนับสนุนข้อกล่าวอ้างหรือข้อสรุปได้อย่างไร (อรณิชา หงส์เกิด, ศศิเทพ ปิติพรเทพิน และปราโมทย์ ชำนาญปืน, 2561)

นอกจากนี้ การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ยังช่วยให้นักเรียนเข้าใจธรรมชาติวิทยาศาสตร์และทักษะทางวิทยาศาสตร์ในหลายประการ องค์ประกอบสำคัญของการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ คือ การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ สถานการณ์ เหตุการณ์หรือกระบวนการ ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือมนุษย์สร้างขึ้น จากนั้นก็เชื่อมโยงและขยายความรู้ รวมทั้งสื่อสารให้ความรู้กับผู้อื่นผ่านการสะท้อนความคิด และการประเมินตนเอง (นภาไลย์ ต๊ะเสาร์ และสุทธิดา จำรัส, 2564)

เมื่อครูออกแบบกิจกรรมในชั้นเรียนให้นักเรียนได้สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แล้วครูควรมุ่งเน้นกิจกรรมที่ส่งเสริมการวิพากษ์เกี่ยวกับหลักฐานที่มีหลากหลาย และให้โอกาสนักเรียนปรับปรุงการใช้หลักฐานของตนเอง รวมถึงการมุ่งเน้นเปรียบเทียบ หรือการยกตัวอย่างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ดี

และไม่ดี เพื่อให้นักเรียนได้ทำการวิพากษ์วิจารณ์ และควรมีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงจุดยืนต่อประเด็นทางสังคมเกี่ยวเนื่องกับวิทยาศาสตร์ของนักเรียน นักเรียนสามารถสืบค้นข้อมูลตามแนวทางที่ตนเองยึดถือปฏิบัติได้ และนักเรียนควรมีการจดบันทึกข้อมูลที่ใช้ในกิจกรรมอย่างเป็นระบบเพื่อไปใช้ในการอภิปรายในชั้นเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (อรณิชา หงส์เกิด, ศศิเทพ ปิติพรเทพิน และปราโมทย์ ชำนาญปืน, 2561)

2.2 องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้

องค์ประกอบของการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์	การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้
1. ข้อกล่าวอ้างหรือข้อสรุป (Claim) คือข้อความที่นำเสนอสาระสำคัญที่ต้องการให้นักเรียนค้นพบ	1. ครูกำหนดสาระสำคัญที่ต้องการให้นักเรียนค้นพบและเรียนรู้ 2. ครูคิดสถาณการณ์ให้นักเรียนเกิดความสงสัยเพื่อนำไปหาคำตอบเป็นสาระสำคัญ
2. หลักฐาน (Evidence) คือข้อมูลเชิงประจักษ์ที่ได้จากการสังเกต ทดลอง หรือสืบเสาะด้วยวิธีต่าง ๆ นำมาใช้ยืนยันคำตอบที่ค้นพบ	3. ครูจัดสถานการณ์/แนะนำ/เปิดโอกาสให้นักเรียนใช้วิธีการต่าง ๆ เพื่อให้นักเรียนได้ค้นพบข้อมูลเชิงประจักษ์ ที่จะนำมาใช้ตอบคำถามที่สงสัย 4. ครูจัดการให้นักเรียนบันทึกข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ และค้นหาอย่างมีระบบ
3. การให้เหตุผล (Reasoning) คือการใช้ข้อความที่เป็นความรู้เชิงวิทยาศาสตร์หรือข้อมูลเชิงตรรกะเพื่อเชื่อมโยง ข้อกล่าวอ้างหรือข้อสรุป (Claim) กับหลักฐาน (Evidence)	5. ครูถามกระตุ้น นำทางให้นักเรียนใช้ความรู้เชิงวิทยาศาสตร์ ความคิดเชิงตรรกะนำมาเชื่อมโยงกับข้อมูลที่ค้นพบจากการสืบเสาะหาความรู้เป็นหลักฐานในการสร้างคำอธิบาย ข้อกล่าวอ้างหรือข้อสรุป ได้เป็นคำตอบของสิ่งที่นักเรียนสงสัย

จากข้อมูลในตาราง หากครูต้องการให้นักเรียนสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ ต้องออกแบบกิจกรรมสืบเสาะหาความรู้ในขั้นสร้างความสนใจที่มีความชัดเจนว่า นักเรียนต้องการค้นหาอะไร นำไปสู่

การออกแบบกิจกรรมให้นักเรียนได้ค้นพบคำตอบที่ต้องการค้นหา และสามารถใช้เป็นหลักฐานในการเชื่อมโยงให้เหตุผลได้ในขั้นอธิบายและเขียนเป็นข้อสรุปและแนวทางการปฏิบัติของครูมีดังนี้

2.2.1 ครูควรได้ทบทวนความรู้ความเข้าใจบทบาทของตนในการจัดการเรียนรู้ด้วยการสืบเสาะหาความรู้

2.2.2 ครูควรวิเคราะห์และจัดลำดับสาระสำคัญที่ต้องการสอนในแต่ละครั้งเพื่อนำทางให้นักเรียนตั้งเป็นข้อสงสัย นำไปสู่การสืบเสาะและสร้างคำอธิบายได้

2.2.3 ครูควรคิดวิธีการนำทางนักเรียนให้สร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ โดยใช้การวิเคราะห์ CER (Claim, Evidence, Reasoning) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

แนวทาง 3 ประการข้างต้น จะช่วยให้ครูสามารถออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่จะนำทางให้นักเรียนสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ในขั้นการอธิบายและลงข้อสรุปซึ่งเป็นขั้นตอนในกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์, 2563)

2.3 การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (Inquiry)

นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์ (2563) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ การจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry-based learning) กล่าวว่าเป็นการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับขั้นตอนการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ มีหลักการดังนี้

2.3.1 ในการเรียนวิทยาศาสตร์ นักเรียนจะเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้นเมื่อได้มีโอกาสได้ค้นหาความรู้ด้วยตนเองมากกว่าการได้บอกความรู้

2.3.2 การเรียนรู้จะเกิดได้ดี เมื่อสถานการณ์แวดล้อมในการเรียนรู้นั้น ยั่วยุให้นักเรียนอยากรู้ และครูต้องจัดกิจกรรมที่นำไปสู่ความสำเร็จด้วยการให้นักเรียนได้สืบค้นด้วยวิธีต่าง ๆ

2.3.3 วิธีการนำเสนอของครูต้องส่งเสริมให้นักเรียนรู้จักใช้ความคิดสร้างสรรค์ โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงออกตามความคิดของตนเองมากที่สุด

หลักการดังกล่าว มีความสอดคล้องกับหลักการจัดการเรียนรู้แบบคอนสตรัคติวิสท์ (Constructivism) การเรียนรู้ด้วยการปฏิบัติ (Learning by doing) และสอดคล้องกับการแสดงพฤติกรรมตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ จึงมีความเหมาะสมที่ครูวิทยาศาสตร์จะใช้เป็นแนวทางในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ให้นักเรียนได้เรียนรู้เพื่อหาความรู้วิทยาศาสตร์ และได้ฝึกฝนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปด้วยพร้อม ๆ กัน ขั้นตอนสำคัญที่เป็นพื้นฐานของกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ประกอบด้วย 3 กิจกรรมได้แก่ 1) การทำให้นักเรียนเกิดความสนใจครูตั้งคำถามเพื่อให้นักเรียนมีการทบทวนความรู้เดิม เช่น ความรู้เกี่ยวกับองค์ประกอบของแผนการสอน และการจัดการเรียนรู้โดยทั่วไป แล้วให้นักเรียนระบุปัญหาที่เชื่อมโยงระหว่างแผนการสอน และการจัดการเรียนรู้ จนนำไปสู่ขั้นเกิดความสงสัย 2) ขั้นสำรวจ การจัดการให้นักเรียนได้รับประสบการณ์เพื่อให้ได้คำตอบของสิ่งที่สนใจ

หรือคำตอบของสิ่งที่สงสัยโดยนักเรียนได้ปฏิบัติงานเป็นกลุ่มและร่วมกันพิจารณากำหนดปัญหาของกลุ่ม มีการตั้งสมมติฐาน รวบรวมข้อมูลและการบันทึกข้อมูลจากสื่อที่หลากหลาย เช่น เว็บไซต์ต่าง ๆ ตำรา เป็นต้น และ 3) ขั้นอธิบาย เป็นการการจัดการให้นักเรียนได้ตอบคำถาม หรือแสดงข้อมูลของสิ่งที่ตนสนใจตามความเข้าใจของตนเองโดยการนำข้อมูลมาแปลความหมายและสรุปหาคำตอบและสร้างคำอธิบายร่วมกันแต่ละกลุ่ม และปฏิสัมพันธ์ระหว่างกลุ่ม คือ การอภิปรายทั้งห้องจนเกิดความคิดรวบยอด เป็นการนำสิ่งที่รับรู้มาอธิบายจนกลายเป็นความสามารถในการอธิบายความรู้ใหม่ ถ้านักเรียนได้แสดงออกตามขั้นตอนหลักของกิจกรรม 3 ขั้นนี้แล้ว ถือว่าครบวงจรของการสืบเสาะหาความรู้เป็นพื้นฐาน แต่ถ้ายังมีสาระสำคัญอื่นที่ต้องการสอนและเป็นเรื่องที่ต่อยอดเพิ่มเติมบนฐานเดียวกับสาระสำคัญที่นักเรียนได้เรียนรู้ใน 3 ขั้นที่เป็นพื้นฐานแล้ว ครูก็สามารถเพิ่มกิจกรรมในขั้นขยายความรู้เป็นกิจกรรมขั้นที่ 4) ขั้นขยายความรู้ นักเรียนได้ร่วมกันอภิปรายมีการซึมซับและจัดกระทำข้อมูลเกิดการเชื่อมโยงความรู้เดิม กับความรู้ใหม่ ซึ่งเป็นความสามารถในการจัดกระทำข้อมูลเมื่อนักเรียนได้มีโอกาสประเมินหรือตัดสินสิ่งใดที่เกี่ยวข้องกับการสืบเสาะหาความรู้ที่ได้ดำเนินการไปแล้ว นักเรียนก็จะได้ทำกิจกรรมที่ 5) ต่อไป คือ การประเมินครูทดสอบความรู้ความเข้าใจของนักเรียนโดยใช้เครื่องมือที่หลากหลาย เช่น แบบฝึกหัด จึงเป็นที่มาของการสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5E) (นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์, 2563; พรรณราย เทียมทัน, พรสิริ เอี่ยมแก้ว และนิเวศน์ คำรัตน์, 2564) ซึ่งมีรายละเอียดของ 5 ขั้นตอน ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนสำคัญ เป้าหมาย บทบาทของครูและนักเรียนตามขั้นตอนการสอนโดยการสืบเสาะหาความรู้แบบ 5E

ขั้นตอนสำคัญ	เป้าหมาย	บทบาทของครู	บทบาทของนักเรียน
1. สร้างความสนใจ (Engage)	กระตุ้นให้นักเรียนแสดงความสนใจ/สงสัย/อยากรู้คำตอบของข้อมูลที่เป็นความรู้ใหม่ ในขั้นนี้ นักเรียนจะต้องระบุประเด็นของสิ่งที่สนใจ/สงสัยได้	จัดกิจกรรม/สร้างสถานการณ์เพื่อกระตุ้นยั่วยุให้นักเรียนเกิดความอยากรู้อยากเห็น กระตุ้นให้นักเรียนตั้งคำถามโดยการสาธิตการทดลอง/นำเสนอข้อมูลที่น่าสงสัย/การนำเสนอข่าวเหตุการณ์ที่น่าสงสัย	ตั้งคำถาม/กำหนดประเด็นปัญหาที่จะศึกษา

ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนสำคัญ เป้าหมาย บทบาทของครูและนักเรียนตามขั้นตอนการสอนโดยการสืบเสาะหาความรู้แบบ 5E (ต่อ)

ขั้นตอนสำคัญ	เป้าหมาย	บทบาทของครู	บทบาทของนักเรียน
2. สำรวจและค้นหา (Explore)	ให้นักเรียนได้ทำงานในลักษณะต่าง ๆ เพื่อค้นหาคำตอบของสิ่งที่สนใจ/สงสัยที่ระบุไว้ในขั้นสร้างความสนใจ	อำนวยความสะดวก/ให้คำแนะนำส่งเสริมให้นักเรียนตั้งสมมติฐานและวางแผนการทดลอง/สืบค้นและรวบรวมข้อมูล เพื่อสำรวจตรวจสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้	สำรวจข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหาตั้งสมมติฐานทดลอง/สืบค้นข้อมูลด้วยวิธีต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบสมมติฐาน
3. อธิบายและลงข้อสรุป (Explain)	ให้นักเรียนนำคำตอบที่เป็นข้อมูลจากการทำงานในขั้นสำรวจและค้นหามาประมวล/สังเคราะห์เพื่อตอบคำถามสิ่งที่สนใจ/สงสัยที่ตั้งประเด็นไว้ในขั้นสร้างความสนใจ	ส่งเสริมให้นักเรียนนำข้อมูลจากการสำรวจ และค้นหามาวิเคราะห์ แนะนำวิธีการจัดกระทำข้อมูลในรูปของตาราง กราฟ แผนภาพ ฯลฯ ใช้คำถามกระตุ้นให้นักเรียนแสดงแนวโน้ม/แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล โดยตั้งคำถามนำทางให้นักเรียนได้สรุปและอภิปรายผลการทดลอง/ข้อมูลที่ได้จากการสืบค้น อย่างมีเหตุผลกระตุ้นให้นักเรียนตรวจสอบความสอดคล้องของ	สร้างองค์ความรู้ใหม่ของตนเองโดยการอธิบายความคิดของตนเองพร้อมแสดงหลักฐานประกอบคำอธิบายแสดงผลการตรวจสอบ ผลการทดลองว่าสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่

ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนสำคัญ เป้าหมาย บทบาทของครูและนักเรียนตามขั้นตอนการสอนโดยการสืบเสาะหาความรู้แบบ 5E (ต่อ)

ขั้นตอนสำคัญ	เป้าหมาย	บทบาทของครู	บทบาทของนักเรียน
		ผลการทดลองกับสมมติฐานที่นักเรียนตั้งไว้	
4. ขั้นขยายความรู้ (Elaborate)	ให้นักเรียนได้ศึกษาข้อมูลใหม่เพิ่มเติมจากฐานความรู้ที่ได้ค้นพบเป็นความรู้ที่ต่อเนื่องกัน ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ประเด็นเดิมแต่มีขอบเขตกว้างขวางมากขึ้นหรือตรวจสอบความรู้เดิมให้มีความชัดเจนสมบูรณ์มากขึ้น	จัดสถานการณ์เพื่อกระตุ้นและอำนวยความสะดวกให้นักเรียนได้ตรวจสอบ/เพิ่มความสมบูรณ์/ขยายกรอบความคิดของความรู้ที่สร้างขึ้น โดย 1) ตั้งประเด็นให้นักเรียนอภิปรายแสดงความคิดเห็นเพิ่มเติมเกี่ยวกับความรู้ใหม่ที่นักเรียนได้เสนอไว้ หรือ 2) ซักถามให้นักเรียนเกิดความชัดเจนหรือกระจ่างในความรู้/ข้อค้นพบที่นักเรียนนำเสนอไว้ หรือ 3) ตั้งคำถาม/ประเด็นให้นักเรียนได้เชื่อมโยงความรู้ใหม่ที่สร้างขึ้นกับความรู้เดิมหรือ 4) กระตุ้นให้เกิดข้อสงสัยใหม่ในเรื่องที่ต่อเนื่องกับความรู้ที่ได้ค้นพบ และ	แสดงการตรวจสอบ/เพิ่มเติมความสมบูรณ์/ขยายกรอบความคิดของความรู้ที่สร้างขึ้นใหม่

ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนสำคัญ เป้าหมาย บทบาทของครูและนักเรียนตามขั้นตอนการสอนโดยการสืบเสาะหาความรู้แบบ 5E (ต่อ)

ขั้นตอนสำคัญ	เป้าหมาย	บทบาทของครู	บทบาทของนักเรียน
		เปิดโอกาสให้ทำการสำรวจและค้นหาและอธิบายลงข้อสรุปใหม่อีกรอบ	
5. ประเมินผล (Evaluate)	ให้นักเรียนได้ประเมินผลการเรียนรู้ของตนเองและกระบวนการที่ทำให้เกิดการเรียนรู้	จัดสถานการณ์เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนได้ประเมินจุดเด่นจุดด้อยในกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ของตนเองโดย 1) ให้นักเรียนตรวจสอบความรู้ของตนเองกับผู้เรียนคนอื่น ๆ หรือ 2) ให้นักเรียนพูดถึงวิธีการสืบเสาะหาความรู้ของตนเอง หรือ 3) ให้นักเรียนนำความรู้หรือแบบจำลองหรือแบบแผนผังความรู้ไปอธิบายหรือประยุกต์ใช้กับเหตุการณ์หรือเรื่องอื่น ๆ	แสดงการประเมินตรวจสอบ/ประยุกต์ใช้ความรู้ที่สร้างขึ้น/เริ่มต้นความสนใจในการเสาะแสวงหาความรู้ใหม่

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

การพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ได้มีผู้ศึกษามากมาย เช่น การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ และธรณีพิบัติภัย (เมธินี ทาระวัน และเมษา นวลศรี, 2564) พบว่าหลังการจัดการเรียนรู้นักเรียนมีความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะโดยเน้นการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่องลมฟ้าอากาศ (ภัทรสุด หาดขุนทด, นวลจิต เชาวกีรติพงศ์ และดวงเดือน สุวรรณจินดา, 2563) พบว่าการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 พัฒนาการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบต่อไร้ท่อ (อรณิชา หงส์เกิด, ศศิเทพ ปิติพรเทพิน และปราโมทย์ ชำนาญปืน, 2561) พบว่า แนวปฏิบัติที่ดีในการพัฒนาความสามารถการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ได้แก่ 1) ให้นักเรียนจดบันทึกข้อมูลที่ใช้ในกิจกรรมอย่างเป็นระบบเพื่อนำไปใช้ในการอธิบายในชั้นเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ 2) ให้นักเรียนเปลี่ยนแปลงจุดยืนของตนเองได้ และให้โอกาสนักเรียนที่มีความคิดเห็นต่างจากผู้อื่นได้มีการค้นคว้าอย่างอิสระด้วยตนเองเพื่อมาเป็นส่วนหนึ่งของการอภิปรายในห้องเรียน 3) จัดกิจกรรมที่ช่วยให้นักเรียนเห็นตัวอย่างของการใช้หลักฐานและเหตุผลของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ดี เพื่อช่วยให้นักเรียนสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้เหมาะสมยิ่งขึ้น และ 4) กำหนดกฎกติกาสำหรับการทำกิจกรรมในชั้นเรียนเพื่อส่งเสริมการประนีประนอมและกระตุ้นให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการอภิปราย การพัฒนาการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ในบทเรียนเรื่องการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ (สุชาดา ศรีศกุน, 2564) ผลการวิจัยพบว่า ภาพรวมของความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนจากแบบวัดอยู่ในระดับที่พอใช้ คือ 0.95 (คะแนนเต็ม 2.00 คะแนน) เมื่อพิจารณาในแต่ละองค์ประกอบพบว่านักเรียนมีความสามารถในการสร้างข้อกล่าวอ้างมากที่สุดคือ 1.10 คะแนน และสามารถแสดงหลักฐานรองลงมาคือ 1.00 คะแนน และคะแนนด้านการให้เหตุผลต่ำสุด คือ 0.75 คะแนน

2.4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่และแรง

การเคลื่อนที่และแรงได้มีผู้ศึกษามากมาย เช่น การเปรียบเทียบความสามารถในการแก้ปัญหา และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การเคลื่อนที่และแรง ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) กับการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐาน (PBL) (พงศกร ลอยล่อง, เยาวเรศ ใจเย็น และปวริศา จรดล, 2564) พบว่า 1) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) และการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐาน (PBL) มีความสามารถในการแก้ปัญหาหลังเรียนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 2) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) และการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐาน (PBL) มีผลสัมฤทธิ์

ทางการเรียนหลังเรียนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามวัฏจักรการเรียนรู้ 7E ที่เน้นการปฏิบัติ เรื่อง การเคลื่อนที่และแรง ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ และความสามารถในการนำความรู้วิทยาศาสตร์ไปใช้ในชีวิตประจำวัน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 (พัชรินทร์ บัวทา, ดวงเดือน สุวรรณจินดา และทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์, 2564) พบว่า 1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเคลื่อนที่และแรงของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่เรียนโดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนตามวัฏจักรการเรียนรู้ 7E ที่เน้นการปฏิบัติมีคะแนนหลังเรียนสูงกว่านักเรียนที่เรียนตามปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 2) ความสามารถในการนำความรู้วิทยาศาสตร์ไปใช้ในชีวิตประจำวันหลังเรียนของนักเรียนที่เรียนโดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนตามวัฏจักรการเรียนรู้ 7E ที่เน้นการปฏิบัติ สูงกว่านักเรียนที่เรียนตามปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 การพัฒนาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับเทคนิค POE เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ เรื่อง การเคลื่อนที่และแรง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 (กนิษฐา ภูดวงจิตร และประเสริฐ เรือนนะการ, 2564) พบว่า 1) ผลการจัดกิจกรรมการสอนโดยจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับเทคนิค POE เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 วิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง การเคลื่อนที่และแรง มีประสิทธิภาพเท่ากับ 80.07 / 82.98 2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องการเคลื่อนที่และแรงของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 หลังเรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับเทคนิค POE สูงกว่าเกณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยเรื่องการอธิบายแบบข้อสรุป-หลักฐาน-เหตุผล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จากการทดลองเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

3.1 ประชากรกลุ่มตัวอย่าง

3.1.1 ประชากร คือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 – 5/13 จำนวน 543 คน ที่เรียนรายวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ (ฟิสิกส์) ปีการศึกษา 1/2563 โรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่งในจังหวัดกรุงเทพมหานคร

3.1.2 กลุ่มตัวอย่าง เป็นการเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) จากห้องที่ผู้วิจัยเป็นผู้สอน คือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/7, 5/10 และ 5/13 ที่เรียนรายวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ (ฟิสิกส์) ปีการศึกษา 1/2563 จำนวน 52 คน

3.1.3 ในปีการศึกษา 1/2563 โรงเรียนแห่งนี้จัดรูปแบบการเรียนการสอนแบบสลับกลุ่มเรียน Online – Onsite โดยจากกลุ่มตัวอย่างการวิจัย แบ่งเป็นนักเรียนกลุ่ม A จำนวน 25 คน และกลุ่ม B จำนวน 27 คน โดยในสัปดาห์แรกนักเรียนกลุ่ม A เรียนรูปแบบ Onsite และกลุ่ม B เรียนรูปแบบ Online และในสัปดาห์ถัดไปนักเรียนกลุ่ม A เรียนรูปแบบ Online และกลุ่ม B เรียนรูปแบบ Onsite

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.2.1 แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ตามแนวทาง สสวท. โดยมีขั้นตอน 5 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน ขั้นสำรวจและค้นหา ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป ขั้นขยายความรู้ และขั้นประเมินผล จำนวน 3 แผน ดังนี้

แผนที่ 1 เรื่องการเคลื่อนที่ในแนวตรงจำนวน 2 ชั่วโมง (การทดลองที่ 1 เรื่องการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวดิ่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก)

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

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

3.2.2 การทดลองเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ จำนวน 4 การทดลอง ได้แก่

การทดลองที่ 1 เรื่องการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวดิ่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ให้นักเรียนทำการทดลองโดยนำจุดที่ปรากฏบนแถบกระดาษที่ผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา ชนิดเคาะ 50 ครั้งต่อวินาที เมื่อผูกถุงทรายแล้วปล่อยให้ตกในแนวดิ่งมาเขียนกราฟเพื่อคำนวณหาขนาดความเร่งของถุงทราย

การทดลองที่ 2 เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร่ง และมวลกับความเร่ง โดยให้นักเรียนอธิบายความสัมพันธ์ของแรง มวล และความเร่ง จากการทดลองเมื่อใช้รถทดลองที่ผูกติดกับแถบกระดาษผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาชนิดเคาะ 50 ครั้งต่อวินาที แล้วพิจารณาจุดที่ปรากฏบนแถบกระดาษเมื่อเพิ่มแรงให้รถทดลอง

การทดลองที่ 3 เรื่องการหาขนาดของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน ให้นักเรียนอธิบายแรงลัพธ์ของแรงย่อยสองแรงที่ทำมุมต่อกัน โดยการผูกเครื่องชั่งสปริง 3 ตัวกับปมเชือก แล้วให้ปมเชือกอยู่นิ่ง

การทดลองที่ 4 เรื่องการเคลื่อนที่แนวโค้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ให้นักเรียนอธิบายเวลาในการตกถึงพื้นของเหรียญเมื่อเหรียญหล่นลงตรง ๆ ในแนวดิ่ง และเหรียญเคลื่อนที่แบบโค้งลงในแนวดิ่ง เมื่อเหรียญมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ และความสูงจากพื้นระยะเท่ากัน

3.2.3 ใบงานการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แบบข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง - หลักฐาน - การให้เหตุผล (CER Explanation) โดยประกอบด้วย

3.2.3.1 ข้อที่ 1 สอดคล้องกับการทดลองที่ 1 เพื่อหาปริมาณของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

3.2.3.2 ข้อที่ 2 สอดคล้องกับการทดลองที่ 2 เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร่ง และมวลกับความเร่ง

3.2.3.3 ข้อที่ 3 สอดคล้องกับการทดลองที่ 3 เพื่อหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน

3.2.3.4 ข้อที่ 4 สอดคล้องกับการทดลองที่ 4 เพื่อหาว่าเหรียญทั้งสองตกถึงพื้นพร้อมกันหรือไม่

3.3 การดำเนินการรวบรวมข้อมูล

3.3.1 อธิบายการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ให้กับนักเรียน โดยใช้ตัวอย่างการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ทั้งหมด 2 ตัวอย่าง หลังจากนั้นได้ตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียนโดยการถามแล้วให้นักเรียนตอบคำถาม

3.3.2 จัดกิจกรรมในชั้นเรียนตามแผนการจัดการเรียนรู้ โดยนักเรียนทำการทดลองทั้งหมด 4 การทดลอง

3.3.3 เมื่อนักเรียนทำการทดลองแต่ละการทดลองเสร็จสิ้น ครูผู้สอนให้นักเรียนทำใบงานการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

3.3.4 ตรวจใบงาน (ให้คะแนน) การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยใช้เกณฑ์ที่สร้างขึ้นประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

3.4 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 และ ภาษาที่ใช้ โดยผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านต้องให้คะแนนในแต่ละประเด็นพร้อมเขียนข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการนำไปพิจารณาปรับปรุงต่อไปซึ่งผู้เชี่ยวชาญได้ให้ข้อเสนอแนะไว้ดังต่อไปนี้

(1) ในการทดลองที่ 1 การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวดิ่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ควรใช้คำว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วขณะหนึ่งกับเวลา แทนคำว่าความเร็วเฉลี่ยกับเวลา และควรใช้คำว่าปริมาณของความเร่ง แทนคำว่าคำตอบของความเร่ง

(2) ในการทดลองที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร่ง และมวลกับความเร่ง ควรใช้คำว่า ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร่ง และมวลกับความเร่ง แทนคำว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงมวล และความเร่ง

(3) ในการทดลองที่ 3 การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน ภาพที่ใช้ควรเป็นภาพที่ชัดเจน และในคำอธิบายประเภทหลักฐาน (Evidence) ควรใช้คำว่า แสดงการหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์โดยการวาดรูป และการคำนวณ แทนคำว่าแสดงการหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์โดยการวาดรูป หรือการคำนวณ

(4) ในการทดลองที่ 4 การเคลื่อนที่ในแนวโค้งภายใต้แรงโน้มถ่วง ในคำอธิบายประเภทข้อสรุป (Claim) ควรใช้คำว่า เหรียญที่ 1 และ 2 ตกถึงพื้นพร้อมกัน แทนคำว่ากรณีที่ 1 และ 2 ตกถึงพื้นพร้อมกัน และคำอธิบายประเภทหลักฐาน (Evidence) ควรใช้คำว่า เวลาของเหรียญที่ 1 และ 2 จากเริ่มต้นจนกระทั่งตกถึงพื้นจากหนังสือเรียนหน้า 30 แทนคำว่า ความเร็วของเหรียญที่ 1 และ 3 จากเริ่มต้นจนกระทั่งตกถึงพื้นจากหนังสือเรียนหน้า 30

แล้วนำผลคะแนนที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญมาคำนวณหาค่า IOC ตามสูตร พบว่า เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มีค่า IOC เท่ากับ 0.91 แสดงถึง ความเที่ยงตรง ที่อยู่ในระดับใช้ได้ และสามารถนำเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ไปใช้การจัดการเรียนรู้ได้

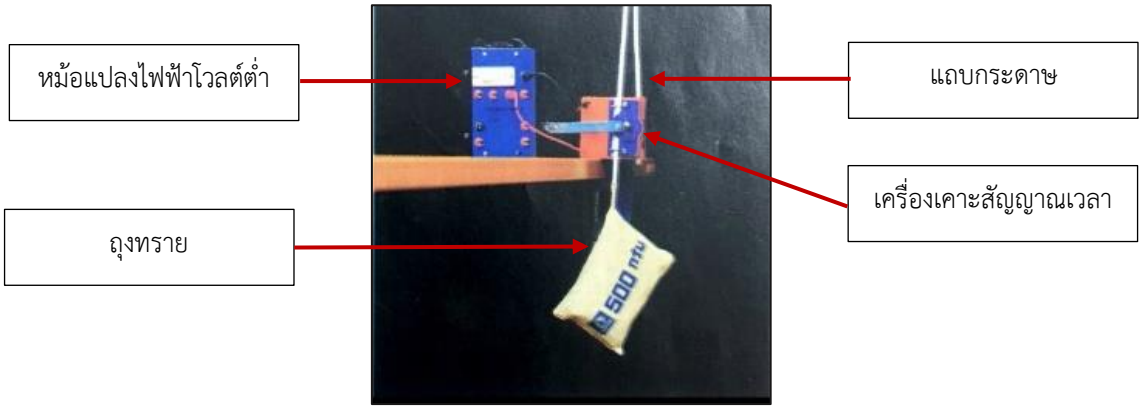
3.5 เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

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

การทดลองที่ 1 การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวดิ่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก

การทดลองนี้เป็นการศึกษาความเร็วขณะหนึ่งและความเร่งของถุงทรายที่เคลื่อนที่ในแนวดิ่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก โดยผูกถุงทรายกับแถบกระดาษที่สอดผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา ดังภาพที่ 3.1 โดยที่นักเรียนต้องเปลี่ยนจำนวนถุงทรายจาก 1 เป็น 2 และ 3 ถุง ตามลำดับ ในการทดลองนี้นักเรียนต้องวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุจากจุดบนแถบกระดาษ และเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วขณะหนึ่ง-เวลา และ ความเร่ง-เวลา ซึ่งการเขียนกราฟดังกล่าวครูผู้สอนได้อธิบายการหาค่าความชันจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วขณะหนึ่ง กับเวลา เพื่อให้ได้มาซึ่งขนาดของความเร่ง เนื่องจากรายละเอียดดังกล่าวเพิ่มเติมนอกเหนือจากหนังสือเรียนวิทยาศาสตร์

กายภาพ 2 ของ สสวท. ซึ่งการทดลองนี้ นักเรียนจะต้องหาปริมาณของความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก จากข้อสรุปของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ ได้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 1 ดังตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แขวนถุงทรายมวล 500 กรัมผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา

ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2562)

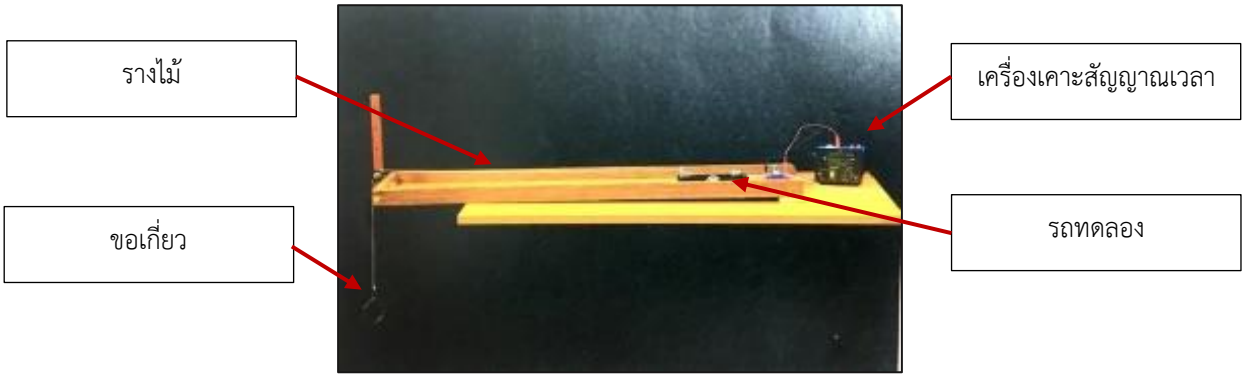
ตารางที่ 3.1 เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 1

ข้อสรุป (C)	☐ ค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลกที่คำนวณได้มีค่าระหว่าง 9.3 – 10.3 เมตรต่อวินาที^{2} ☐ ระบุหน่วยของความเร่งคือ เมตรต่อวินาที^{2} ได้ถูกต้อง	1 คะแนน 1 คะแนน
หลักฐาน (E)	☐ แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความเร็วขณะหนึ่งกับเวลากึ่งกลางแต่ละช่วง พร้อมระบุหน่วยได้ถูกต้อง ☐ แสดงวิธีหาค่าความเร่งจากความชันของกราฟพร้อมระบุหน่วยได้ถูกต้อง	1 คะแนน 1 คะแนน
การให้เหตุผล (R)	☐ ระยะระหว่างจุดสองจุดที่อยู่ติดกันเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ☐ ความเร่งมีค่าคงที่	1 คะแนน 1 คะแนน

การทดลองที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร่ง และมวลกับความเร่ง

การทดลองนี้แบ่งเป็น 2 ตอน การทดลองตอนที่หนึ่งเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร่งเมื่อมวลของวัตถุมีค่าคงตัว โดยนักเรียนจะผูกรถทดลองติดกับนอตด้วยแถบกระดาษที่สอดผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา ดังภาพที่ 3.2 การทดลองนี้นักเรียนต้องเปลี่ยนจำนวนนอต

จาก 1 ตัว เป็น 2, 3 และ 4 ตัวตามลำดับ นักเรียนต้องวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุจากจุดบนแถบกระดาษ เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร่ง จากข้อสรุปของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญได้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 2.1 ดังตารางที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 รถทดลองที่ผูกติดกับเครื่องเคาะสัญญาณเวลา

ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2562)

ตารางที่ 3.2 เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 2.1

ข้อสรุป (C)	☐ แรงแปรผันตรงกับความเร่ง	1 คะแนน
หลักฐาน (E)	☐ เปรียบเทียบระยะห่างระหว่างจุดบนแถบกระดาษทั้ง 4 (เมื่อเพิ่มจำนวนนอต)	1 คะแนน
การให้เหตุผล (R)	☐ เมื่อเพิ่มจำนวนนอต (แรงดึงเพิ่มขึ้น) รถทดลองมีความเร่งเพิ่มขึ้น	1 คะแนน

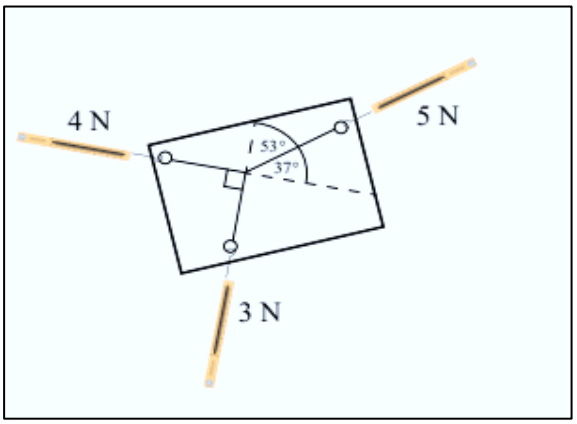
ส่วนการทดลองตอนที่สองเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับความเร่งเมื่อแรงมีค่าคงตัว โดยนักเรียนจะผูกรถทดลองกับนอต 4 ตัวด้วยแถบกระดาษที่สอดผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา โดยนักเรียนต้องเปลี่ยนมวลของรถที่ใช้ในการทดลองโดยการวางแท่งเหล็กบนรถทดลองมวล 500 กรัม เป็น 1000, 1500 และ 2000 กรัม ตามลำดับ จากการทดลองทั้งสองตอนนี้นักเรียนต้องวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุจากจุดบนแถบกระดาษเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับความเร่ง จากข้อสรุปของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญได้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 2.2 ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 2.2

ข้อสรุป (C)	☐ มวลแปรผกผันกับความเร่ง	1 คะแนน
หลักฐาน (E)	☐ เปรียบเทียบระยะห่างระหว่างจุดบนแถบกระดาษทั้ง 4 (เมื่อเพิ่มแท่งเหล็ก)	1 คะแนน
การให้เหตุผล (R)	☐ เมื่อเพิ่มแท่งเหล็กกับรถทดลอง (แรงดึงคงตัว) รถทดลองมีความเร่งลดลง	1 คะแนน

การทดลองที่ 3 การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน

การทดลองนี้นักเรียนจะนำปลายเชือก 3 เส้น มาผูกรวมกันเป็นปม ส่วนปลายของเชือกที่เหลือทำเป็นห่วงแล้ววางบนกระดาษขาว จากนั้นใช้เครื่องชั่งสปริง 3 อัน เกี่ยวกับห่วงเชือกแล้วดึงเครื่องชั่งสปริงทั้งสามในแนวระดับ โดยเริ่มจากดึงเครื่องชั่งสปริงสองอันให้ทำมุมค่าหนึ่ง จากนั้นพยายามดึงเครื่องชั่งสปริงที่ 3 จนปมของเชือกหยุดนิ่ง ดังภาพที่ 3.3 การทดลองนี้นักเรียนต้องวิเคราะห์แรงลัพธ์ทั้งขนาดและทิศทาง เพื่อหาแรงลัพธ์ของแรง 3 นิวตัน และ 4 นิวตัน จากข้อสรุปของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญได้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 3 ดังตารางที่ 3.4



ภาพที่ 3.3 ภาพจำลองการดึงปมเชือกด้วยเครื่องชั่งสปริง 3, 4 และ 5 นิวตัน

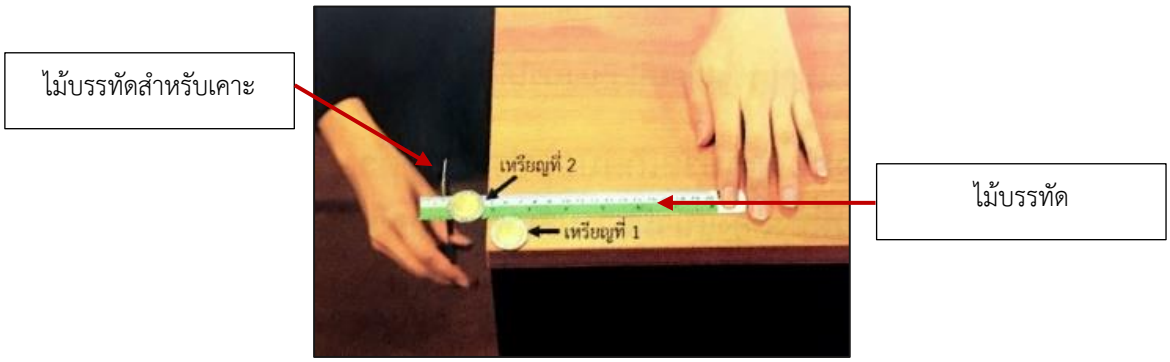
ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2562)

ตารางที่ 3.4 เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 3

ข้อสรุป (C)	☐ แรงลัพธ์ของแรง 3 และ 4 นิวตัน มีขนาด 5 นิวตัน ☐ แรงลัพธ์มีทิศ 53 องศากับแรง 3 นิวตัน หรือ แรงลัพธ์มีทิศ 37 องศากับแรง 4 นิวตัน หรือ บอกทิศทางของแรงลัพธ์โดยการวาดรูป	1 คะแนน 1 คะแนน
หลักฐาน (E)	☐ แสดงการหาขนาดของแรงลัพธ์โดยการวาดรูป และ การคำนวณ ☐ แสดงการหาทิศทางของแรงลัพธ์โดยการวาดรูป และ การคำนวณ	1 คะแนน 1 คะแนน
การให้เหตุผล (R)	☐ เมื่อออกแรงดึง 3 และ 4 นิวตัน ปมของเชือกหยุดนิ่ง แสดงว่าขนาดของแรงลัพธ์ระหว่างแรงดึง 3 และ 4 นิวตัน มีขนาดเท่ากับ 5 นิวตัน ☐ ทิศทางของแรงลัพธ์ระหว่าง 3 และ 4 นิวตัน จะตรงข้ามกับแนวแรง 5 นิวตัน	1 คะแนน 1 คะแนน

การทดลองที่ 4 การเคลื่อนที่แนวโค้งภายใต้แรงโน้มถ่วง

การทดลองนี้นักเรียนจะเปรียบเทียบการตกของเหรียญแนวโค้งภายใต้แรงโน้มถ่วงกับการตกอิสระ โดยใช้เหรียญ 2 เหรียญ วางเหรียญที่ 1 ไว้บริเวณมุมโต๊ะโดยให้เหรียญชิดกับขอบโต๊ะด้านหนึ่ง วางไม้บรรทัดให้ขนานกับขอบโต๊ะด้านที่วางเหรียญที่ 1 ไว้และให้ไม้บรรทัดสัมผัสกับเหรียญนี้ โดยให้ปลายไม้บรรทัดด้านหนึ่งยื่นออกไปนอกโต๊ะ จากนั้นใช้มือกดปลายไม้บรรทัดด้านที่อยู่บนโต๊ะไว้เพื่อให้ปลายนี้เป็นจุดหมุน วางเหรียญที่ 2 ไว้บนปลายไม้บรรทัดด้านที่ยื่นออกมาจากโต๊ะดังภาพที่ 3.4 จากนั้นใช้ไม้บรรทัดอีกอันเคาะปลายไม้บรรทัดด้านที่ยื่นออกมาจากโต๊ะโดยเร็ว สังเกตและบันทึกการเคลื่อนที่ของเหรียญที่ตกลงมา โดยอาจใช้นาฬิกาจับเวลา กล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหวหรือฟังเสียงกระทบพื้นของเหรียญทั้งสอง การทดลองนี้นักเรียนต้องวิเคราะห์ความเหมือนและแตกต่างของการตกของเหรียญทั้งสอง เพื่อหาว่าเหรียญทั้งสองตกถึงพื้นพร้อมก้นหรือไม่ จากข้อสรุปของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญได้เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 4 ดังตารางที่ 3.5



ภาพที่ 3.4 การดีดเหรียญให้เคลื่อนที่แนวโค้ง และลงตรง ๆ ในแนวดิ่ง

ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2562)

ตารางที่ 3.5 เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 4

ข้อสรุป (C)	☐ เหรียญที่ 1 และ 2 ตกถึงพื้นพร้อมกัน ☐ วัตถุตกภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกค่าเดียวกัน	1 คะแนน 1 คะแนน
หลักฐาน (E)	☐ คลิปวิดีโอหรือรูปถ่ายการตกถึงพื้นของเหรียญในกรณีที่ 1 และ 2 ☐ เวลาที่เหรียญที่ 1 และ 2 จากเริ่มต้นจนกระทั่งตกถึงพื้น จากหนังสือเรียนหน้า 30	1 คะแนน 1 คะแนน
การให้เหตุผล (R)	☐ เหรียญที่ 1 เหรียญเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงตัวในแนวดิ่ง (ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก) ☐ เหรียญที่ 2 เหรียญเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวในแนวระดับ และความเร่งคงตัวในแนวดิ่ง (ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก)	1 คะแนน 1 คะแนน

จากเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 1 – 4 ที่ได้จากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ สามารถสรุปออกมาเป็นหลักในการสร้างเกณฑ์ดังนี้ ในส่วนของข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างจะสร้างเกณฑ์ตามแนวคิดวิทยาศาสตร์ (scientific concept) ในส่วนของหลักฐาน จะสร้างเกณฑ์ตามข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์ที่สนับสนุนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง ซึ่งได้มาจากการสำรวจตรวจสอบ การทดลอง หรือการศึกษาค้นคว้าจากแหล่งข้อมูล โดยนักเรียนจะต้องคัดเลือกหลักฐานที่มีความน่าเชื่อถือมาสนับสนุนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างของตน และในส่วนของการให้เหตุผล จะสร้างเกณฑ์เพื่อแสดงให้เห็นความเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างอย่างสมเหตุสมผลโดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.6.1 เปรียบเทียบคะแนนที่ได้กับคะแนนเต็มจากการหาค่าร้อยละ (percentage)

3.6.2 หาค่าเฉลี่ยคะแนนรวมของนักเรียนโดยแยกเป็น 3 องค์ประกอบ ได้แก่ ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง (Claim) - หลักฐาน (Evidence) - การให้เหตุผล (Reasoning) พร้อมหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนเฉลี่ยซึ่งค่าร้อยละของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในแต่ละการทดลองเทียบกับคะแนนเต็มของนักเรียนทุกคนในคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในการทดลองนั้น ๆ ยกตัวอย่างเช่น ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง (claim) ของการทดลองที่ 1 เรื่องการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวดิ่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก คะแนนเต็ม 2 คะแนน ถ้านักเรียนทุกคน (52 คน) ตอบถูกหมดจะได้คะแนน 104 คะแนน แต่คะแนนรวมของนักเรียนได้ 85 คะแนน จึงคิดเป็นร้อยละ 81.73 ของคะแนนเต็ม เป็นต้น

3.6.3 หาค่าเฉลี่ยคะแนนรวมของนักเรียนในแต่ละการทดลองโดยแยกคำอธิบายแบบ ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง (Claim) - หลักฐาน (Evidence) - การให้เหตุผล (Reasoning) และแบ่งกลุ่ม Online – Onsite พร้อมหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน รายละเอียดดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 รายละเอียดการแบ่งกลุ่มนักเรียน

การทดลอง	กลุ่ม Online (คน)	กลุ่ม Onsite (คน)
1 การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวดิ่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก	27	25
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร่ง	25	27
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับความเร่ง	25	27
3 การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน	27	25
4 การเคลื่อนที่ในแนวโค้งภายใต้แรงโน้มถ่วง	25	27

3.6.4 เปรียบเทียบคำอธิบายแบบ ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง (Claim) - หลักฐาน (Evidence) - การให้เหตุผล (Reasoning) กับนักเรียนกลุ่มเก่ง ปานกลาง อ่อน โดยดูจากผลการเรียนรายวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ 1 สำหรับนักเรียนชั้น ม.5/7 และ ม.5/10 และรายวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพสำหรับนักเรียนชั้น ม.5/13 ในภาคเรียนที่ 2/2562

3.6.5 หาจำนวนนักเรียนที่ตอบได้ตรง ตอบได้คลาดเคลื่อนหรือตอบไม่ครบ และตอบผิดในแต่ละการทดลอง พร้อมแสดงตัวอย่างคำตอบของนักเรียน

3.6.6 หาค่าร้อยละคะแนนของนักเรียนที่ได้คะแนน 2 คะแนน, 1 คะแนน และ 0 คะแนน ของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในแต่ละการทดลอง

3.7 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.7.1 สูตรการหาค่าร้อยละ (Percentage) ของคะแนน ดังนี้ (บุญชม ศรีสะอาด, 2543)

สูตร $$P = \frac{f \times 100}{n} \quad (3.1)$$

เมื่อ P แทน ค่าร้อยละ

f แทน ความถี่ที่ต้องการแปลงให้เป็นร้อยละ

n แทน จำนวนความถี่ทั้งหมด

3.7.2 หาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean) ของคะแนน ดังนี้ (บุญชม ศรีสะอาด, 2543)

สูตร $$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad (3.2)$$

เมื่อ $\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ย

$\sum X$ แทน ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด

n แทน จำนวนข้อมูล

3.7.3 หาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation หรือ SD) ของคะแนน ดังนี้ (บุญชม ศรีสะอาด, 2543)

สูตร $$SD = \frac{\sqrt{n\sum X^2} - (\sum X)^2}{n(n-1)} \quad (3.3)$$

เมื่อ SD แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X แทน คะแนนแต่ละกลุ่มในกลุ่มตัวอย่าง

n-1 แทน จำนวนตัวแปรอิสระ

n แทน ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

$(\sum X)^2$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมดยกกำลังสอง

$\sum X^2$ แทน ผลรวมของคะแนนแต่ละตัวยกกำลังสอง

3.7.4 หาค่าดัชนีความสอดคล้องของเกณฑ์การให้คะแนนการทดลองเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ (พวงรัตน์ ทวีรัตน์, 2543)

สูตร $IOC = \frac{\sum R}{N}$ (3.4)

เมื่อ IOC แทน ดัชนีความสอดคล้องระหว่างเกณฑ์กับจุดประสงค์

$\sum R$ แทน ผลรวมคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

N แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยศึกษาการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง-หลักฐาน-การให้เหตุผล เรื่องการเคลื่อนที่และแรง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีผลการวิจัยตามลำดับ ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

4.1.1 ผลการวิเคราะห์คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จากกลุ่มตัวอย่าง 52 คน แสดงเป็นร้อยละแยกตามองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

ผลการวิเคราะห์คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แบบ ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง - หลักฐาน - การให้เหตุผล หลังทำการทดลองเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ จำนวน 4 การทดลอง ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จากกลุ่มตัวอย่าง 52 คน แสดงเป็นร้อยละแยกตามองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

ข้อ	เรื่อง	คะแนน (ร้อยละ)		
		ข้อสรุป	หลักฐาน	เหตุผล
1	การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวดิ่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก	81.73	2.88	78.85
2.1	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร่ง	94.23	76.92	90.38
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับความเร่ง	71.15	65.38	13.46
3	การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน	44.23	49.04	50.00
4	การเคลื่อนที่แนวโค้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก	42.31	2.88	45.19
เฉลี่ย (ร้อยละ)		66.73	39.42	55.58
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		22.93	34.80	30.27

จากตารางที่ 4.1 พบว่า องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนทำได้ดีที่สุด คือ ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง (ร้อยละ 66.73) รองลงมาคือการให้เหตุผล (ร้อยละ 55.58) และหลักฐาน (ร้อยละ 39.42) ตามลำดับ ซึ่งพบว่า ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง เป็นองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ง่ายที่สุดสำหรับนักเรียนซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ruiz-Primo et al. (2010); Peker and Wallace (2011)

4.1.2 ผลการวิเคราะห์คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จากกลุ่มตัวอย่าง 52 คน แสดงเป็นร้อยละแยกตามองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และแยกตามกลุ่ม Online – Onsite

ผลการวิเคราะห์คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แบบ ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง - หลักฐาน - การให้เหตุผล หลังทำการทดลองเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ จำนวน 4 การทดลอง แยกตามกลุ่ม Online – Onsite ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์จากกลุ่มตัวอย่าง 52 คน แสดงเป็นร้อยละแยกตามองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ และแยกตามกลุ่ม Online – Onsite

การทดลองที่	คะแนน (ร้อยละ)					
	ข้อสรุป		หลักฐาน		เหตุผล	
	Online	Onsite	Online	Onsite	Online	Onsite
1 (Online 27 คน, onsite 25 คน)	79.63	84.00	0.00	6.00	74.07	84.00
2.1 (Online 25 คน, onsite 27 คน)	96.00	92.59	76.00	77.78	96.00	85.19
2.2 (Online 25 คน, onsite 27 คน)	80.00	62.96	76.00	55.56	12.00	14.81
3 (Online 27 คน, onsite 25 คน)	46.30	42.00	50.00	48.00	46.30	54.00
4 (Online 25 คน, onsite 27 คน)	48.00	37.04	4.00	1.85	44.00	46.30
เฉลี่ย	69.99	63.72	41.20	37.84	54.47	56.86
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	21.88	24.64	37.35	32.87	31.97	29.27

4.2 เปรียบเทียบคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

4.2.1 เปรียบเทียบคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แบบ ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง (Claim) - หลักฐาน (Evidence) - การให้เหตุผล (Reasoning) กับนักเรียนกลุ่มเก่ง ปานกลาง อ่อน โดยดูจากผลการเรียนรายวิชาวิทยาศาสตร์กายภาพ 1 สำหรับนักเรียนชั้น ม.5/7 และ ม.5/10 และรายวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ สำหรับนักเรียนชั้น ม.5/13 ในภาคเรียนที่ 2/2562 ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบคำอธิบายแบบ ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง

กลุ่ม	คะแนนเฉลี่ย (ร้อยละ)		
	ข้อสรุป	หลักฐาน	เหตุผล
เก่ง (21 คน)	68.10	38.10	56.19
ปลานกลาง (25 คน)	66.40	44.40	55.20
อ่อน (6 คน)	63.33	23.33	55.00

4.2.2 เปรียบเทียบจำนวนนักเรียนที่ตอบคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ตรง และได้คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในแต่ละการทดลอง

จำนวนนักเรียนที่ตอบคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แต่ละประเภทได้ตรงแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 จำนวนนักเรียนที่ตอบได้ตรง

การทดลอง	ตอบได้ตรง (คน)		
	ข้อสรุป	หลักฐาน	เหตุผล
1. การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวดิ่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก	37	0	35
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร่ง	49	40	47
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับความเร่ง	37	34	7
3. การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน	0	0	3
4. การเคลื่อนที่แนวโค้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก	0	0	0

จากตารางที่ 4.4 พบว่านักเรียนที่ตอบข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างในการทดลองที่ 1 ได้ตรงมีจำนวน 37 คน ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนแสดงดังภาพที่ 4.1

Claim (ข้อสรุป)

ความเร่งของถุงทรายมีค่าเท่ากับ 10 m/s^2

Claim (ข้อสรุป)

- ความเร่งโน้มถ่วงมีค่าประมาณ 9.8 เมตรต่อวินาที^{2}

ภาพที่ 4.1 คำตอบข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างในการทดลองที่ 1 ที่ถูกต้อง

จากตารางที่ 4.4 พบว่านักเรียนที่ตอบหลักฐานในการทดลองที่ 1 ได้ตรงมีจำนวน 0 คน และนักเรียนที่ตอบการให้เหตุผลในการทดลองที่ 1 ได้ตรงมีจำนวน 35 คน นักเรียนส่วนมากให้เหตุผลได้ตรง ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนแสดงดังภาพที่ 4.2

Reasoning (ให้เหตุผล)

จากการทดลองลักษณะจุดบนแถบกระดาษมีระยะห่างระหว่างจุดที่เพิ่มมากขึ้นแสดงว่าเกิดความเร่งและมีค่าคงตัวซึ่งความเร่งนั้นคือความเร่งแรงโน้มถ่วง

ภาพที่ 4.2 คำตอบการให้เหตุผลได้ตรงในการทดลองที่ 1

จากตารางที่ 4.4 พบว่านักเรียนที่ตอบข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างในการทดลองที่ 2 ได้ตรง โดยแบ่งเป็นการทดลองที่ 2.1 มีจำนวน 49 คน และการทดลองที่ 2.2 จำนวน 37 คน ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนแสดงดังภาพที่ 4.3

Claim (ข้อสรุป)

มวลและแรงมีผลต่อการเคลื่อนที่และความเร่งของวัตถุ โดยเมื่อแรงมากขึ้น ความเร่งก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน โดยที่มวลของวัตถุมีค่าคงที่ แต่ถ้ามวลของวัตถุเพิ่มมากขึ้น ความเร่งของวัตถุจะลดลง โดยที่แรงของวัตถุเท่าเดิมและคงที่

ภาพที่ 4.3 คำตอบข้อสรุปได้ตรงในการทดลองที่ 2

จากตารางที่ 4.4 พบว่านักเรียนที่ตอบหลักฐานในการทดลองที่ 2 ได้ตรงโดยแบ่งเป็นการทดลองที่ 2.1 มีจำนวน 40 คน และการทดลองที่ 2.2 จำนวน 34 คน ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนแสดงดังภาพที่ 4.4

Evidence (หลักฐาน)

- **ติดตั้งอุปกรณ์และสอดแถบกระดาษที่ติดกับวัตถุให้ผ่านเครื่องเคาะสัญญาณ**
- **ถ่วงนอตตัวที่หนึ่งที่ขอเกี่ยวโลหะและจับรถทดลองไว้ให้อยู่นิ่ง เปิดสวิตช์ให้เครื่องเคาะสัญญาณเวลาทำงาน แล้วปล่อยวัตถุให้เคลื่อนที่**
- **ทำซ้ำโดยเปลี่ยนจำนวนนอต**
- **วิเคราะห์จุดบนแถบกระดาษและเปรียบเทียบระยะห่างของจุดบนแถบกระดาษ**

ภาพที่ 4.4 การตอบหลักฐานได้ตรงในการทดลองที่ 2

จากตารางที่ 4.4 พบว่านักเรียนที่ตอบการให้เหตุผลในการทดลองที่ 2 ได้ตรงโดยแบ่งเป็นการทดลองที่ 2.1 มีจำนวน 47 คน และการทดลองที่ 2.2 จำนวน 7 คน ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนแสดงดังภาพที่ 4.5

Reasoning (ให้เหตุผล)

รถยนต์คันแรกมีมวลคงที่ แต่มีแรงดึงรถที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีความเร่งเพิ่มขึ้น ส่วนรถยนต์คนที่สองนั้นมีมวลเพิ่มขึ้น แต่งแรงดึงรถมีค่าคงตัว ทำให้ค่าความเร่งลดลง เนื่องจากขนาดของแรงที่กระทำกับรถยนต์คันแรกมีการแปรผันตรงกับความเร่ง

ภาพที่ 4.5 คำตอบการให้เหตุผลได้ตรงในการทดลองที่ 2

จากตารางที่ 4.4 พบว่านักเรียนที่ตอบข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง และหลักฐาน ในการทดลองที่ 3 ได้ตรงมีจำนวน 0 คน และนักเรียนที่ตอบการให้เหตุผลในการทดลองที่ 3 ได้ตรงมีจำนวน 3 คน ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนแสดงดังภาพที่ 4.6

Reasoning (ให้เหตุผล)

ถ้ามีแรงตั้งแต่ 2 แรงกระทำต่อวัตถุในแนวเดียวกันสามารถหาแรงลัพธ์โดยวิธีการนำขนาดของแรงมารวมกันได้โดยตรงถ้าแรงทั้ง 2 ที่กระทำต่อวัตถุมีทิศทางเดียวกันแรงลัพธ์จะมีขนาดเท่ากับผลบวกระหว่างขนาดของแรงทั้งสองและมีทิศทางเดียวกับแรงทั้งสองถ้าแรงทั้ง 2 ที่กระทำต่อวัตถุมีทิศทางตรงกันข้ามแรงลัพธ์จะมีขนาดเท่ากับผลต่างของขนาดของแรงทั้งสองและมีทิศทางเดียวกับทิศของแรงที่มีขนาดมากกว่า

ภาพที่ 4.6 คำตอบการให้เหตุผลที่ตรงในการทดลองที่ 3

จากตารางที่ 4.4 พบว่านักเรียนที่ตอบข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และกรให้เหตุผลในการทดลองที่ 4 ได้ตรงมีจำนวน 0 คน จำนวนนักเรียนที่ตอบคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์แต่ละประเภทได้คลาดเคลื่อน/ไม่ครบ แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 จำนวนนักเรียนที่ตอบได้คลาดเคลื่อน/ไม่ครบ

การทดลอง	ตอบได้คลาดเคลื่อน (คน)		
	ข้อสรุป	หลักฐาน	เหตุผล
1. การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวดิ่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก	11	3	12
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร่ง	0	9	2
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับความเร่ง	12	15	42
3. การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน	46	51	46
4. การเคลื่อนที่แนวโค้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก	44	3	47

จากตารางที่ 4.5 พบว่านักเรียนที่ตอบข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง ในการทดลองที่ 1 ได้คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบ มีจำนวน 11 คน ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนแสดงดังภาพที่ 4.7

Claim (ข้อสรุป)

ลักษณะของจุดบนแถบกระดาษทั้งสามแถบเหมือนกันและมีระยะห่างระหว่างจุดตัดกันเพิ่มขึ้น การเคลื่อนที่ของถุงทรายทั้งสาม มีความเร่งเท่ากัน ความเร่งโน้มถ่วงมีค่าประมาณ 3.85 เมตรต่อวินาทีกำลัง 2

ภาพที่ 4.7 คำตอบข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 1

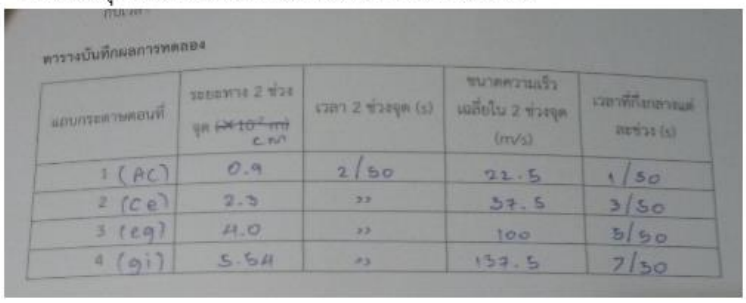
จากตารางที่ 4.5 พบว่านักเรียนที่ตอบหลักฐานในการทดลองที่ 1 ได้คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบ มีจำนวน 3 คน ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนแสดงดังภาพที่ 4.8

Evidence (หลักฐาน)

-ผูกถุงทรายกับแถบกระดาษที่สอดผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาและถือถุงทรายไว้

-เปิดสวิตช์และปล่อยถุงทรายให้ตกลงมา

-วิเคราะห์จุดบนแถบกระดาษเพื่อวิเคราะห์หาความเร่ง



แถบกระดาษตอนที่	ระยะทาง 2 ช่วงจุด (cm)	เวลา 2 ช่วงจุด (s)	ขนาดความเร็วเฉลี่ยใน 2 ช่วงจุด (m/s)	เวลาที่ถึงกลางแต่ละช่วง (s)
1 (AC)	0.9	2/50	22.5	1/50
2 (Ce)	2.3	"	57.5	3/50
3 (eg)	4.0	"	100	5/50
4 (gi)	5.54	"	137.5	7/50

ภาพที่ 4.8 คำตอบหลักฐานที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 1

จากตารางที่ 4.5 พบว่านักเรียนที่ตอบการให้เหตุผลในการทดลองที่ 1 ได้คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบ มีจำนวน 12 คน ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนแสดงดังภาพที่ 4.9

Reasoning (ให้เหตุผล)

ที่จุดในแถบกระดาษที่มีระยะห่างจุดสองจุด
เพราะถุงทรายมีการเคลื่อนทีด้วยความเร่งเท่ากันแต่มีอัตราเร็วเพิ่มขึ้น

ภาพที่ 4.9 คำตอบการให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 1

จากตารางที่ 4.5 พบว่านักเรียนที่ตอบข้อสรุปในการทดลองที่ 2 ได้คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบ โดยแบ่งเป็นการทดลองที่ 2.1 มีจำนวน 0 คน และการทดลองที่ 2.2 มีจำนวน 12 คน ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนแสดงดังภาพที่ 4.10

Claim (ข้อสรุป)

ในกรณีที่มวลของรถทดลองมีค่าคงตัว และแรงที่กระทำต่อรถมีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้รถทดลองเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเพิ่มขึ้น มวลของรถจะขึ้นอยู่กับแท่งเหล็ก

ภาพที่ 4.10 คำตอบข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 2

จากตารางที่ 4.5 พบว่านักเรียนที่ตอบหลักฐานในการทดลองที่ 2 ได้คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบ โดยแบ่งเป็นการทดลองที่ 2.1 มีจำนวน 9 คน และการทดลองที่ 2.2 มีจำนวน 15 คน ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนแสดงดังภาพที่ 4.11

Evidence (หลักฐาน)

เมื่อเปรียบเทียบความเร่งของรถทดลองจากแถบกระดาษที่ถ่วงด้วยนอต1 ตัว 2 ตัว 3 ตัว และ 4 ตัว รถทดลองจะมีความเร่งไม่เท่ากัน รถทดลองจะมีแรงมากขึ้นอยู่กับจำนวนนอต มวลของรถทดลองจะขึ้นกับแท่งเหล็ก

ภาพที่ 4.11 คำตอบหลักฐานที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 2

จากตารางที่ 4.5 พบว่านักเรียนที่ตอบการให้เหตุผลในการทดลองที่ 2 ได้คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบ โดยแบ่งเป็นการทดลองที่ 2.1 มีจำนวน 2 คน และการทดลองที่ 2.2 มีจำนวน 42 คน ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนแสดงดังภาพที่ 4.12

Reasoning (ให้เหตุผล)

จากการทดลองถ้ามวลของวัตถุมีค่าคงที่และมีค่าแรงที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเพิ่มขึ้น

ภาพที่ 4.12 คำตอบการให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 2

จากตารางที่ 4.5 พบว่านักเรียนที่ตอบข้อสรุปในการทดลองที่ 3 ได้คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบ มีจำนวน 46 คน ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนแสดงดังภาพที่ 4.13

Claim (ข้อสรุป)

แรงลัพธ์จะมีขนาด 5นิวตัน

ภาพที่ 4.13 คำตอบข้อสรุปที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 3

จากตารางที่ 4.5 พบว่านักเรียนที่ตอบหลักฐานในการทดลองที่ 3 ได้คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบ มีจำนวน 51 คน ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนแสดงดังภาพที่ 4.14

Evidence (หลักฐาน)

การหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงสามารถทำได้ด้วยหารเขียนแผนภาพที่เรียกว่า การรวมแบบเวกเตอร์ ซึ่งการรวมแบบเวกเตอร์โดยการเขียนแผนภาพมี2 วิธีคือการสร้างรูปสามเหลี่ยม และการสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน

ภาพที่ 4.14 คำตอบหลักฐานที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 3

จากตารางที่ 4.5 พบว่านักเรียนที่ตอบการให้เหตุผลในการทดลองที่ 3 ได้คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบ มีจำนวน 46 คน ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนแสดงดังภาพที่ 4.15

Reasoning (ให้เหตุผล)

เมื่อนำผลรวมของแรงย่อย 2 แรง คือ แรงที่ 1 และแรงที่ 2 ซึ่งเรียกว่า แรงลัพธ์จะมีขนาดเท่ากับแรงที่ 3 แต่มีทิศทางตรงกันข้ามกัน

ภาพที่ 4.15 คำตอบการให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 3

จากตารางที่ 4.5 พบว่านักเรียนที่ตอบข้อสรุปในการทดลองที่ 4 ได้คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบ มีจำนวน 44 คน ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนแสดงดังภาพที่ 4.16

Claim (ข้อสรุป)

เหรียญทั้งสองเคลื่อนที่ในแนวดิ่งด้วยความเร่งโมถ่วงเท่านั้น หากเคลื่อนที่ในแนวโค้ง ความเร็วในแนวระดับจะคงที่ วัตถุจะตกถึงพื้นใกล้เคียงกัน

ภาพที่ 4.16 คำตอบข้อสรุปที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 4

จากตารางที่ 4.5 พบว่านักเรียนที่ตอบหลักฐานในการทดลองที่ 4 ได้คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบ มีจำนวน 3 คน ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนแสดงดังภาพที่ 4.17

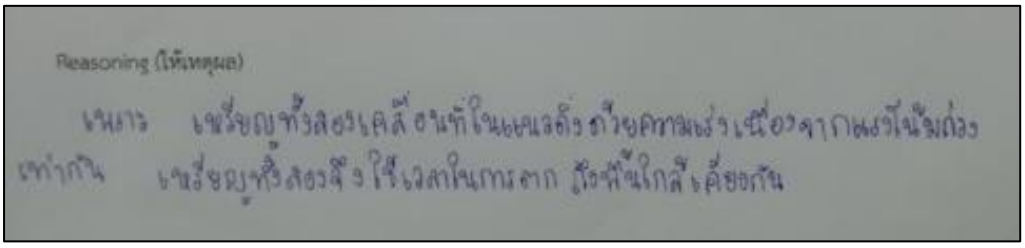
Evidence (หลักฐาน)

กรณีที่ 1 วัตถุปล่อยให้ตกแบบเสรีเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนวดิ่ง

กรณีที่ 2วัตถุโยนออกไปข้างหน้ามีการเคลื่อนที่ในแนวระดับความเร็วลงตัวเคื่อนที่เป็นเส้นโค้งวัตถุทั้งสองปล่อยในเวลาเดียวกันผลปรากฏว่าวัตถุทั้งสองตกพร้อมกัน

ภาพที่ 4.17 คำตอบหลักฐานที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 4

จากตารางที่ 4.5 พบว่านักเรียนที่การให้เหตุผลในการทดลองที่ 4 ได้คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบ มีจำนวน 47 คน ตัวอย่างคำตอบของนักเรียนแสดงดังภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 คำตอบการให้เหตุผลที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในการทดลองที่ 4

จะเห็นได้ว่าหลักฐานในแต่ละการทดลองของนักเรียนได้คะแนนน้อย เพราะส่วนใหญ่นักเรียนนำข้อสรุป หรือวิธีการทดลองมาตอบเป็นหลักฐาน นักเรียนไม่ได้นำสิ่งที่ได้จากการทดลองหรือคำนวณมาตอบเป็นหลักฐานเพื่อสนับสนุนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง นอกจากนี้ยังมีการตอบคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ไม่ได้คะแนนดังแสดงในภาพที่ 4.19

Claim (ข้อสรุป)

ถุงทรายจะได้ค่าหรือผลลัพธ์ตามแรงที่กระทำหรือแรงโน้มถ่วงของโลกถ้าแรงโน้มถ่วงยิ่งมากการเกิดจุดบนแถบกระดาษก็จะน้อยลงไปตาม

Evidence (หลักฐาน)

รูปแถบกระดาษถุงทรายที่ทำการทดลอง

Reasoning (ให้เหตุผล)

ถ้าแรงโน้มถ่วงมาก การที่วัตถุจะเกิดจุดบนแถบกระดาษก็จะมากขึ้นไปด้วย

ภาพที่ 4.19 คำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในการทดลองที่ 1 ที่ไม่ได้คะแนน

ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง เป็นองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ง่ายที่สุดสำหรับนักเรียนซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ruiz-Primo et al. (2010) และ Peker and Wallace (2011) ที่เป็นเช่นนี้เพราะข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างนั้นเป็นการประเมินความสามารถของนักเรียนในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ตามแนวคิดวิทยาศาสตร์ (scientific concept) ซึ่งนักเรียนจะให้ความตระหนักและใส่ใจกับแนวคิดวิทยาศาสตร์อยู่แล้ว ตั้งแต่ตอนเริ่มต้นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ที่นักเรียนทุกคนต้องรู้วัตถุประสงค์ของการทดลอง และในตอนท้าย นักเรียนต้องสรุปผลการทดลอง แต่อย่างไรก็ตามในเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 3 และ 4 นักเรียนได้คะแนนอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ประมาณร้อยละ 50 เมื่อพิจารณาคำตอบของนักเรียนพบว่าการทดลองที่ 3 เป็นการหาแรงลัพธ์ ซึ่ง แรง เป็นปริมาณเวกเตอร์ ซึ่งมีทั้งขนาดและทิศทาง แต่ส่วนใหญ่นักเรียนตอบแรงลัพธ์มาเฉพาะขนาดโดยไม่ได้สนใจทิศทาง ดังแสดงในภาพที่ 4.20

Claim (ข้อสรุป)

แรงลัพธ์จะมีขนาดเท่ากับ 5 นิวตัน

ภาพที่ 4.20 การสรุปที่ไม่ครบถ้วนในการทดลองที่ 3

ส่วนในการทดลองที่ 4 เนื่องจากการตกของวัตถุในกรณีที่ 1 และ 2 อยู่ภายใต้ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเดียวกัน เหรียญต้องตกถึงพื้นพร้อมกัน แต่จากการทดลองพบว่าความคลาดเคลื่อนจากผู้ทำการทดลองส่งผลทำให้นักเรียนสร้างข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างไม่ถูกต้อง ใน 2 จุด ได้แก่ จุดแรกนักเรียนปล่อยเหรียญที่ 1 และ 2 ไม่พร้อมกัน ทำให้เหรียญทั้งสองตกถึงพื้นไม่พร้อมกัน จุดที่สองนักเรียนใช้ประสาทสัมผัสตาและหูเพียงอย่างเดียวในการสังเกตการการตกพร้อมกันของเหรียญทำให้ผิดพลาด นักเรียนควรใช้เครื่องมือช่วยให้การสังเกตที่มีความถูกต้องแม่นยำ เช่น การถ่ายวิดีโอความเร็วสูง เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 4.21

Claim (ข้อสรุป)

ตกลงพร้อมกันในเวลาใกล้เคียงกัน

ภาพที่ 4.21 การสรุปในการทดลองที่ 4

หลักฐาน คือ ข้อมูลหรือสิ่งที่นำมาสนับสนุนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง ซึ่งได้มาจากการสำรวจตรวจสอบ การทดลอง หรือการศึกษาค้นคว้าจากแหล่งข้อมูล โดยนักเรียนจะต้องคัดเลือกหลักฐานที่มีความน่าเชื่อถือมาสนับสนุนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างของตน คะแนนจากเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ ได้สร้างความประหลาดใจให้กับผู้วิจัยเป็นอย่างมากว่าทำไมนักเรียนจึงได้คะแนนน้อยที่สุด (ร้อยละ 39.42) ทั้ง ๆ ที่หลักฐาน คือ สิ่งที่นักเรียนปรากฏอยู่ต่อหน้านักเรียนขณะทำการทดลองในแต่ละเรื่อง เมื่อวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนในส่วนของหลักฐานพบว่า นักเรียนส่วนมากไม่แสดงหลักฐาน หรือแสดงหลักฐานไม่ถูกต้อง เช่น นำการให้เหตุผลไปเขียนเป็นหลักฐาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เขมรัฐ จุฑานฤปกิจ, เอกภูมิ จันทรขันตี และสุรศักดิ์ เชียงกา (2561) ส่วนการทดลองที่ 4 ที่เป็นการดีดเหรียญ มีข้อจำกัดในการเก็บหลักฐาน แต่สามารถเก็บหลักฐานจากความเร็วของเหรียญได้เช่นกัน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์วิดีโอและโปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอที่เรียกว่า Tracker ที่ใช้ศึกษาการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ซึ่งสามารถหาความเร็วของวัตถุจากกราฟ

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตามแนวแกน y กับเวลา ได้ (ถาวร เรืองบุญ และสุระ วุฒิพรหม, 2559) ซึ่งนักเรียนอธิบายหลักฐานโดยการบรรยายเป็นข้อความ ตัวอย่างแสดงในภาพที่ 4.22

Evidence (หลักฐาน)

กรณีที่ 1 วัตถุถูกปล่อยให้ตกแบบอิสระ โดยเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงในแนวดิ่ง

กรณีที่ 2 วัตถุถูกโยนออกไปข้างหน้า โดยมีการเคลื่อนที่ในแนวระดับ ความเร็วคงตัว เคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งวัตถุทั้งสองปล่อยในเวลาเดียวกัน ผลสรุปว่าวัตถุทั้งสองกรณีตกถึงพื้นพร้อมกันในเวลาใกล้เคียงกัน

ภาพที่ 4.22 การเขียนหลักฐานในการทดลองที่ 4

การให้เหตุผล เป็นข้อความที่แสดงความเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างอย่างสมเหตุสมผลโดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ จากเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์พบว่ามี 2 การทดลองที่นักเรียนได้คะแนนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ต่ำกว่าร้อยละ 50 โดยการทดลองที่ 2 เป็นการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง นักเรียนส่วนใหญ่จะแสดงความเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างได้ในประเด็นที่ว่าเมื่อเพิ่มจำนวนนอต (แรงดึงเพิ่มขึ้น) รถทดลองจะมีความเร่งเพิ่มขึ้น แต่นักเรียนส่วนใหญ่ไม่แสดงเชื่อมโยงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มแท่งเหล็กกับรถทดลอง (แรงดึงคงตัว) ส่งผลทำให้รถทดลองมีความเร่งลดลง ดังภาพที่ 4.23

Reasoning (ให้เหตุผล)

จากการทดลอง ถ้ามวลของวัตถุมีค่าคงที่และมีค่าแรงที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเพิ่มมากขึ้น จะทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเพิ่มขึ้น

ภาพที่ 4.23 การให้เหตุผลในการทดลองที่ 2

ส่วนการทดลองที่ 4 นั้นเนื่องจากนักเรียนส่วนใหญ่ให้ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างผิด (บอกว่าเหรียญตกถึงพื้นไม่พร้อมกัน เพราะใช้เครื่องมือในการสังเกตจากประสาทสัมผัสเท่านั้น) จึงส่งผลให้การให้เหตุผลผิด แม้นักเรียนบางคนจะรู้ว่าตามทฤษฎีเหรียญทั้งสองจะตกถึงพื้นพร้อมกัน นอกจากนี้นักเรียนยังมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนเรื่องการเคลื่อนที่ในแนวโค้งของเหรียญ โดยมองว่า

เหรียญมีความเร็วเพิ่มขึ้นทั้งในแนวระดับและแนวดิ่ง ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว เหรียญมีความเร็วคงตัว (ความเร่งเป็นศูนย์) ในแนวระดับ แต่มีความเร่งเพิ่มขึ้น (มีความเร่ง) ในแนวดิ่ง ดังภาพที่ 4.24

Claim (ข้อสรุป)

ตกลงพร้อมกันในเวลาใกล้เคียงกัน

ภาพที่ 4.24 การให้ข้อสรุปในการทดลองที่ 4 ที่ส่งผลให้การให้เหตุผลผิดไปด้วย

จากการเปรียบเทียบจำนวนนักเรียนที่ตอบคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ตรง และได้คลาดเคลื่อนหรือไม่ครบในแต่ละการทดลอง ดังข้อมูลข้างต้น สามารถสรุปจำนวนนักเรียนเป็นร้อยละดังข้อมูลต่อไปนี้

ตารางที่ 4.6 จำนวนนักเรียนคิดเป็นร้อยละที่ได้คะแนนในการทดลองที่ 1

คำอธิบาย	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		
	2 คะแนน	1 คะแนน	0 คะแนน
ข้อสรุป	71.15	21.15	7.69
หลักฐาน	0.00	5.77	94.23
เหตุผล	67.31	23.08	9.62

ตารางที่ 4.7 จำนวนนักเรียนคิดเป็นร้อยละที่ได้คะแนนในการทดลองที่ 2.1

คำอธิบาย	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)	
	1 คะแนน	0 คะแนน
ข้อสรุป	94.23	5.77
หลักฐาน	76.92	23.08
เหตุผล	90.38	9.62

ตารางที่ 4.8 จำนวนนักเรียนคิดเป็นร้อยละที่ได้คะแนนในการทดลองที่ 2.2

คำอธิบาย	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)	
	1 คะแนน	0 คะแนน
ข้อสรุป	71.15	28.85
หลักฐาน	65.38	34.62
เหตุผล	13.46	86.54

ตารางที่ 4.9 จำนวนนักเรียนคิดเป็นร้อยละที่ได้คะแนนในการทดลองที่ 3

คำอธิบาย	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		
	2 คะแนน	1 คะแนน	0 คะแนน
ข้อสรุป	0.00	88.46	11.54
หลักฐาน	0.00	98.08	1.92
เหตุผล	5.77	88.46	5.77

ตารางที่ 4.10 จำนวนนักเรียนคิดเป็นร้อยละที่ได้คะแนนในการทดลองที่ 4

คำอธิบาย	จำนวนนักเรียน (ร้อยละ)		
	2 คะแนน	1 คะแนน	0 คะแนน
ข้อสรุป	0.00	84.62	15.38
หลักฐาน	0.00	5.77	94.23
เหตุผล	0.00	90.38	9.62

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนทำได้ดีที่สุดคือ ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง (ร้อยละ 75.20) รองลงมาคือการให้เหตุผล (ร้อยละ 66.20) และ หลักฐาน (ร้อยละ 3.92) ตามลำดับ

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง เป็นองค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ง่ายที่สุดสำหรับนักเรียนซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ruiz-Primo et al. (2010); Peker and Wallace (2011) ที่เป็นเช่นนี้เพราะข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างนั้นเป็นการประเมินความสามารถของนักเรียนในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ตามแนวคิดวิทยาศาสตร์ (scientific concept) ซึ่งนักเรียนจะให้ความตระหนักและใส่ใจกับแนวคิดวิทยาศาสตร์อยู่แล้ว ตั้งแต่ตอนเริ่มต้นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่นักเรียนทุกคนต้องรู้วัตถุประสงค์ของการทดลอง และในตอนท้าย นักเรียนต้องสรุปผลการทดลอง แต่อย่างไรก็ตามในเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์การทดลองที่ 3 และ 4 นักเรียนได้คะแนนอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ประมาณร้อยละ 50 เมื่อพิจารณาคำตอบของนักเรียนพบว่า การทดลองที่ 3 เป็นการหาแรงลัพธ์ ซึ่ง แรง เป็นปริมาณเวกเตอร์ ซึ่งมีทั้งขนาดและทิศทาง แต่ส่วนใหญ่นักเรียนตอบแรงลัพธ์มาเฉพาะขนาดโดยไม่ได้สนใจทิศทาง

ส่วนในการทดลองที่ 4 เนื่องจากการตกของวัตถุในกรณีที่ 1 และ 2 อยู่ภายใต้ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเดียวกัน เหรียญต้องตกถึงพื้นพร้อมกัน แต่จากการทดลองพบว่าความคลาดเคลื่อนจากผู้ทำการทดลองส่งผลทำให้นักเรียนสร้างข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างไม่ถูกต้องใน 2 จุด ได้แก่ จุดแรก นักเรียนปล่อยเหรียญที่ 1 และ 2 ไม่พร้อมกัน ทำให้เหรียญทั้งสองตกถึงพื้นไม่พร้อมกัน จุดที่สอง นักเรียนใช้ประสาทสัมผัสตาและหูเพียงอย่างเดียวในการสังเกตการการตกพร้อมกันของเหรียญทำให้ผิดพลาด นักเรียนควรใช้เครื่องมือช่วยให้การสังเกตที่มีความถูกต้องแม่นยำ เช่น การถ่ายวิดีโอความเร็วสูง เป็นต้น

หลักฐาน คือ ข้อมูลหรือสิ่งที่นำมาสนับสนุนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง ซึ่งได้มาจากการสำรวจตรวจสอบ การทดลอง หรือการศึกษาค้นคว้าจากแหล่งข้อมูล โดยนักเรียนจะต้องคัดเลือกหลักฐานที่มีความน่าเชื่อถือมาสนับสนุนข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างของตน คะแนนจากเกณฑ์ประเมินคำอธิบาย

เชิงวิทยาศาสตร์ ได้สร้างความประหลาดใจให้กับผู้วิจัยเป็นอย่างมากว่าทำไมนักเรียนจึงได้คะแนนน้อยที่สุด (ร้อยละ 3.92) ทั้ง ๆ ที่หลักฐาน คือ สิ่งที่นักเรียนปรากฏอยู่ต่อหน้านักเรียนขณะทำการทดลองในแต่ละเรื่อง เมื่อวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนในส่วนของหลักฐานพบว่า นักเรียนส่วนมากไม่แสดงหลักฐาน หรือแสดงหลักฐานไม่ถูกต้อง เช่น นำการให้เหตุผลไปเขียนเป็นหลักฐาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เขมรัฐ จุฑานฤปกิจ, เอกภูมิ จันทรขันตี และสุรศักดิ์ เชียงกา (2561) ส่วนการทดลองที่ 4 ที่เป็นการดีดเหรียญ มีข้อจำกัดในการเก็บหลักฐาน แต่สามารถเก็บหลักฐานจากความเร็วของเหรียญได้เช่นกัน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์วิดีโอและโปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอที่เรียกว่า Tracker ที่ใช้ศึกษาการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ซึ่งสามารถหาความเร็วของวัตถุจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตามแนวแกน y กับเวลา ได้ (ถาวร เรืองบุญ และสุระ วุฒิพรหม, 2559) ซึ่งนักเรียนอธิบายหลักฐานโดยการบรรยายเป็นข้อความ

การให้เหตุผล เป็นข้อความที่แสดงความเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างอย่างสมเหตุสมผลโดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ จากเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์พบว่ามี 2 การทดลองที่นักเรียนได้คะแนนคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ต่ำกว่าร้อยละ 50 โดยการทดลองที่ 2 เป็นการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง นักเรียนส่วนใหญ่จะแสดงความเชื่อมโยงระหว่างหลักฐานกับข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างได้ในประเด็นที่ว่า เมื่อเพิ่มจำนวนนอต (แรงดึงเพิ่มขึ้น) รถทดลองจะมีความเร่งเพิ่มขึ้น แต่นักเรียนส่วนใหญ่ไม่แสดงเชื่อมโยงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มแท่งเหล็กกับรถทดลอง (แรงดึงคงตัว) ส่งผลทำให้รถทดลองมีความเร่งลดลง

ส่วนการทดลองที่ 4 นั้นเนื่องจากนักเรียนส่วนใหญ่ให้ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้างผิด (บอกว่าเหรียญตกถึงพื้นไม่พร้อมกัน เพราะใช้เครื่องมือในการสังเกตจากประสาทสัมผัสเท่านั้น) จึงส่งผลให้การให้เหตุผลผิด แม้นักเรียนบางคนจะรู้ว่าตามทฤษฎีเหรียญทั้งสองจะตกถึงพื้นพร้อมกัน นอกจากนี้นักเรียนยังมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนเรื่องการเคลื่อนที่ในแนวโค้งของเหรียญ โดยมองว่าเหรียญมีความเร็วเพิ่มขึ้นทั้งในแนวระดับและแนวดิ่ง ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว เหรียญมีความเร็วคงตัว (ความเร่งเป็นศูนย์) ในแนวระดับ แต่มีความเร่งเพิ่มขึ้น (มีความเร่ง) ในแนวดิ่ง

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนไม่ใช่เรื่องง่าย เป็นทักษะที่ต้องได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ปัญหาและอุปสรรคในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้แก่ ประการแรก นักเรียนยังไม่ได้รับประสบการณ์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เน้นการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์มาก่อนหรือมีประสบการณ์ไม่มากพอ ประการที่สอง นักเรียนไม่สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบของคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ได้ว่าประกอบด้วย

ข้อสรุปหรือข้อกล่าวอ้าง หลักฐาน และการให้เหตุผล ประการที่สาม การจัดการเรียนรู้ส่วนใหญ่เป็นแบบบรรยายนักเรียนเป็นผู้รับความรู้โดยไม่ผ่านการคิดวิเคราะห์

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

เกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพเป็นอีกหนึ่งเครื่องมือที่จะช่วยพัฒนาการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ให้กับนักเรียน จากผลการนำเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นไปใช้พบว่าเป็นเครื่องมือที่ดีในแง่ของ มีความเป็นปรนัย และแปลผลได้ง่าย นอกจากนี้ยังเหมาะสำหรับครูที่ต้องการจะเริ่มทำงานวิจัยเกี่ยวกับคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์สามารถนำเกณฑ์ประเมินคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์นี้ไปใช้ได้

เนื่องจากคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในแต่ละองค์ประกอบมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกัน ดังนั้นในการจัดการเรียนรู้ครูควรอภิปรายจนได้ข้อสรุปตรงกันในแต่ละขั้นตอนของการทดลอง เริ่มตั้งแต่วิธีการทดลอง ผลการทดลอง การวิเคราะห์ผลการทดลอง สรุปผลการทดลอง และการอภิปรายผลการทดลอง เพราะหากขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งที่นักเรียนเข้าใจผิดก็จะส่งผลต่อคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เป็นไปได้ว่าในบางครั้งที่ผลการทดลองไม่เป็นไปตามทฤษฎี ครูและนักเรียนต้องอภิปรายร่วมกันจนเห็นว่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวเกิดจากอะไร หากครูไม่สามารถทำการทดลองซ้ำเพื่อให้การทดลองตรงตามทฤษฎี แนะนำให้ครูใช้วิดีโอหรือการจำลองสถานการณ์ (simulation)

จากบทที่ 4 นักเรียนได้คะแนนหลักฐานน้อยที่สุด ดังนั้นต้องมีการวิจัยต่อเนื่องเพื่อให้คะแนนหลักฐานเพิ่มขึ้น และให้นักเรียนต้องมีความรู้เรื่อง CER และเรื่องแรงและการเคลื่อนที่ก่อนทำ CER

ในการทดลองที่ 3 การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรง ควรอธิบายการหาทิศทางของแรงลัพธ์เพิ่มเติม โดยนำเชือกที่ดึงสปริงชี้กลับฝั่งตรงข้ามจะได้ทิศทางของแรงลัพธ์

ในงานวิจัยครั้งหน้า ควรมีการให้คะแนนแบบ 0.5 คะแนนด้วยเพื่อความละเอียดของการให้คะแนน เพราะแนวคำตอบของนักเรียนอาจมีส่วนถูก เพียงแต่ถูกต้องไม่ครบถ้วน

นักเรียนควรมีความรู้ในการสร้างคำอธิบายแบบ CER และแนวคิดแรงและการเคลื่อนที่มาก่อน เพราะความรู้พื้นฐานมีผลต่อการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

กนิษฐา ภูดวงจิตร และประเสริฐ เรือนนะการ. “การพัฒนาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับเทคนิค POE เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ เรื่อง การเคลื่อนที่และแรง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2”, **วารสารเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม**. 4(10): 113-122; มกราคม-เมษายน, 2564.

กาญจนา วงค์ไชยา. **ผลการจัดการเรียนรู้แบบทำนาย-อธิบาย-สังเกต-อภิปราย เรื่องเซลล์กัลป์วานิกเพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2559.

เขมรัฐ จุฑานฤปกิจ, เอกภูมิ จันทรขันตี และสุรศักดิ์ เชียงกา. “การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์แบบ 5 ขั้น เพื่อพัฒนาการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ในวิชาฟิสิกส์เรื่องการเคลื่อนที่แบบวงกลม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4”, ใน **การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 13 ปีการศึกษา 2561**. น. 1741-1753. ปทุมธานี: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยรังสิต, 2561.

ถาวร เรืองบุญ และสุระ วุฒิพรหม. “การออกแบบและพัฒนาชุดยิงโพรเจกไทล์ด้วยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า”, **วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้**. 7(1): 191-203; มกราคม-มิถุนายน, 2559.

นภาไลย์ ต๊ะเสาร์ และสุทธิดา จำรัส. “ผลของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้อินโฟกราฟิกที่มีต่อความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มชาติพันธุ์”, **วารสารวิทยาศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ศึกษา**. 4(2): 190-203; กรกฎาคม-ธันวาคม, 2564.

นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์. “การพัฒนาความสามารถในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียน สำหรับนักศึกษาครู วิชาเอกวิทยาศาสตร์ศึกษา สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช”, **วารสารศึกษาศาสตร์ปริทัศน์**. 35(2): 1-14; พฤษภาคม-สิงหาคม, 2563.

บุญชม ศรีสะอาด. **การวิจัยเบื้องต้น**. กรุงเทพมหานคร: สุวีริยาสาสน์, 2543.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

พงศกร ลอยล่อง, เยาวเรศ ใจเย็น และปวริศา จรดล. “การเปรียบเทียบความสามารถในการแก้ปัญหา และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การเคลื่อนที่และแรง ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) กับการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐาน (PBL)”, **วารสารวิจัยรำไพพรรณี**. 15(2): 109-117; พฤษภาคม-สิงหาคม, 2564.

พัชรินทร์ บัวทา, ดวงเดือน สุวรรณจินดา และทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์. “ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามวัฏจักรการเรียนรู้ 7E ที่เน้นการปฏิบัติเรื่องการเคลื่อนที่และแรงที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ และความสามารถในการนำความรู้วิทยาศาสตร์ไปใช้ในชีวิตประจำวันของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนน้ำโสมพิทยาคม จังหวัดอุดรธานี”, **วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ**. 21(1): 105-117; มกราคม-มิถุนายน, 2564.

พรรณราย เทียมทัน, พรสิริ เอี่ยมแก้ว และนิเวศน์ คำรัตน์. “ผลการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ที่มีต่อทักษะการสร้างความรู้ ของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา”, **วารสารวิจัยรำไพพรรณี**. 15(2): 79-86; พฤษภาคม-สิงหาคม, 2564.

พวงรัตน์ ทวีรัตน์. **วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์**. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2543.

ภัทรสุด หาดขุนทด, นวลจิต เชาวกีรติพงศ์ และดวงเดือน สุวรรณจินดา. “ผลการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น โดยเน้นการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่อง ลม ฟ้า อากาศ และการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนนวมินทราชินูทิศสวนกุหลาบวิทยาลัยปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี”, **วารสารศึกษาศาสตร์ปริทัศน์**. 35(1): 35-47; มกราคม-เมษายน, 2563.

เมธินี ทาระวัน และเมษา นวลศรี. “การพัฒนาความสามารถในการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐาน เรื่อง ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติและธรณีพิบัติภัยของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6”, **Journal of Roi Kaensarn Academi**. 6(6): 20-33; มิถุนายน, 2564.

ลือชา ลดาชาติ และคณะ “การลงข้อสรุปและสร้างคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3”, **วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร**. 35(1): 171-206; มกราคม-เมษายน, 2558.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

วิโรจน์ ลิ่วคงสถาพร. (2552). “การอธิบายทางวิทยาศาสตร์”, **การส่งเสริมการเขียนคำอธิบายทางวิทยาศาสตร์**. https://library.ipst.ac.th/handle/ipst/1365. 1 พฤษภาคม, 2564.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ. **การเคลื่อนที่และแรง**. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2562.

สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ. “การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21”, **วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้**. 4(1): 55-63; มกราคม-มิถุนายน, 2556.

สุชาดา ศรีศกุน. “การพัฒนาการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในบทเรียน เรื่อง การเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ โดยการจัดการเรียนรู้ที่ใช้บริบทเป็นฐาน”, **วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้**. 13(1): ม.ป.น.; มกราคม-มิถุนายน, 2565.

สุระ วุฒิพรหม. “การเปรียบเทียบรูปแบบการสอนระหว่างวิดีโอเทปกับการทดลองแบบสาธิตเพื่อพัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์เรื่องแรงลอยตัว”, **วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้**. 4(1): 7-17; มกราคม-มิถุนายน, 2556.

เสาวภาค พรสุริยวงศ์ และอภิชาติ สังข์ทอง. “ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่องการเคลื่อนที่ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4”, **วารสารวิทยาศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ศึกษา**. 3(1): 30-40; มกราคม-มิถุนายน, 2563.

อรณิชา หงส์เกิด, ศศิเทพ ปิติพรเทพิน และปราโมทย์ ชำนาญปืน. “แนวปฏิบัติที่ดีในการใช้ประเด็นทางสังคมที่เกี่ยวเนื่องกับวิทยาศาสตร์เพื่อพัฒนาการสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์เรื่องระบบต่อมไร้ท่อ”, **วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้**. 9(2): 211-226; 14 มิถุนายน, 2561.

American Association for the Advancement of Science. **Science for all Americans**. Oxford: University of Oxford, 1991.

Bell, P. and Linn, M. C. “Scientific arguments as learning artifacts: Designing for learning from the web with KIE”, **International journal of science education**. 22(8): 797-817; August, 2000.

Driver, R., Newton, P. and Osborne, J. “Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms”, **Science education**. 84(3): 287-312; May, 2000.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Frensley, J. “ABCD’s of explaining your reasoning”, **The Physics Teacher**. 57(3): 202-202; March, 2019.

McNeill, K. L. and Krajcik, J. “Supporting students’ construction of scientific explanation through generic versus context-specific written scaffolds”, In **the Annual Meeting of the American Educational Research Association**. San Francisco: American Educational Research Association, 2006.

National Research Council (NRC). **National science education standards**. Washington, D.C.: National Academy of Science, 1996.

_____. **Next generation science standards: For state, by state**. Washington, D.C.: National Academy of Science, 2013.

_____. **Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning**. Washington, D.C.: National Academy of Science, 2000.

Peker, D. and Wallace C.S. “Characterizing high school students’ written explanations in biology laboratories”, **Research in Science Education**. 41(2): 169-191; March, 2011.

Ruiz-Primo and et al. “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; May, 2010.

Zohar, A. and Nemet, F. “Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics”, **Journal of Research in Science Teaching**. 39(1): 35-62; January, 2002.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
รายนามผู้เชี่ยวชาญ

รายนามผู้เชี่ยวชาญ

รายนามผู้เชี่ยวชาญในการแนะนำ และตรวจเครื่องมือวิจัยในครั้งนี้ คือ

1. นายไชยจิตร ศรีมุล โรงเรียนเทพศิรินทร์ร่มเกล้า กรุงเทพมหานคร
2. นางสาวสุภัทราภรณ์ เบ็ญจวรรณ์ โรงเรียนเทพศิรินทร์ร่มเกล้า กรุงเทพมหานคร
3. นางสายชล ธนานุวงศ์ โรงเรียนเทพศิรินทร์ร่มเกล้า กรุงเทพมหานคร

ภาคผนวก ข
เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

	CER Explanation
	เรื่อง การเคลื่อนที่และแรง บทที่ 1 การเคลื่อนที่และแรง
	รายวิชา วิทยาศาสตร์กายภาพ (ฟิสิกส์) วันที่ .....
	ชื่อ ..... ชั้น ..... เลขที่ .....

คำสั่ง ให้นักเรียนเขียนตอบในรูแบบ CER Explanation

1. จากการทดลองที่ 1.1 การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวดิ่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก เมื่อพิจารณาแถบกระดาษจากการติดถุงทราย 1 ถุงแล้ว ถุงทรายมีความเร่งขนาดเท่าใด

   Claim (ข้อสรุป)

   Evidence (หลักฐาน)

   Reasoning (ให้เหตุผล)

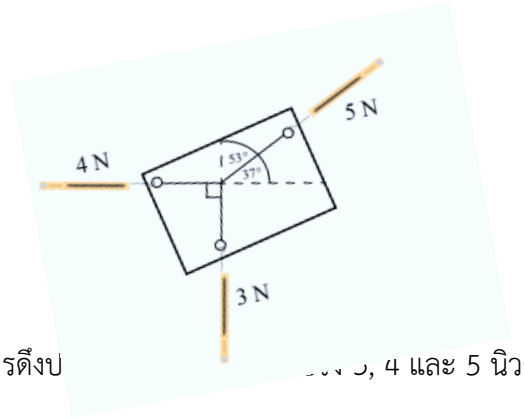
2. จากการทดลองที่ 1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับความเร่งเมื่อมวลคงตัว และมวลกับความเร่งเมื่อแรงคงตัว เป็นอย่างไรอย่างไร

   Claim (ข้อสรุป)

Evidence (หลักฐาน)

Reasoning (ให้เหตุผล)

3. จากรูป เมื่อนำแรง 3 นิวตัน รวมกับแรง 4 นิวตัน แรงลัพธ์ (ผลรวมของแรงแบบเวกเตอร์) จะเป็นเท่าใด



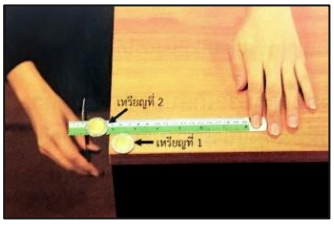
รูป การดึงป[illegible] 3, 4 และ 5 นิวตัน

Claim (ข้อสรุป)

Evidence (หลักฐาน)

Reasoning (ให้เหตุผล)

4. จากการทดลองที่ 1.4 เหรียญทั้งสองตกถึงพื้นพร้อมกันหรือไม่



ภาพการดีดเหรียญออกจากขอบโต๊ะ ประกอบการทดลองที่ 1.4

Claim (ข้อสรุป)

Evidence (หลักฐาน)

Reasoning (ให้เหตุผล)

ตัวอย่างแบบรายงานการทดลอง

การทดลอง 1.1 การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวดิ่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก

วันที่ .....

ชื่อ ..... ชั้น ..... เลขที่ .....

จุดประสงค์การทดลอง

1. วิเคราะห์จุดบนแถบกระดาษเพื่ออธิบายความเร่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก
2. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าความเร่งแรงโน้มถ่วงของโลก

บทนำ/ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สมมติฐานการทดลอง

.....

ตัวแปรต้น

.....

ตัวแปรตาม

.....

ตัวแปรควบคุม (สิ่งที่เหมือนกันตลอดการทดลอง .....

วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องเคาะสัญญาณเวลา	1 ชุด
2. หม้อแปลงไฟฟ้าโวลต์ต่ำ	1 เครื่อง
3. ถุงทราย	3 ถุง
4. แถบกระดาษ	3 แถบ

วิธีการทดลอง

1. ผูกถุงทราย 1 ถุง กับแถบกระดาษที่สอดผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลา และถือถุงทรายไว้ดังรูปในหนังสือเรียนหน้า 11
2. เปิดสวิตซ์และปล่อยถุงทรายให้ตกลงมา
3. ทำซ้ำข้อ 1 และ 2 โดยเปลี่ยนถุงทรายเป็น 2 ถุง และ 3 ถุง
4. เปรียบเทียบจุดบนแถบกระดาษทั้งสามแถบ เพื่อวิเคราะห์ความเร่งในการตกของถุงทราย
5. เลือกแถบกระดาษมา 1 แถบ แล้วบันทึกผล ลงในตารางบันทึกผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาค่าความเร่งแรงดึงดูดของโลกจากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วเฉลี่ยใน 2 ช่วงจุดกับเวลา

ตารางบันทึกผลการทดลอง

แถบกระดาษตอนที่	ระยะทาง 2 ช่วงจุด ($\times 10^{-2}$ m)	เวลา 2 ช่วงจุด (s)	ขนาดความเร็วเฉลี่ยใน 2 ช่วงจุด (m/s)	เวลาที่กึ่งกลางแต่ละช่วง (s)
1				
2				
3				
4				

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ยใน 2 ช่วงจุดกับเวลา

แสดงการหาค่าความชันของกราฟ

คำถามท้ายการทดลอง

1. ขณะที่ถุงทรายเคลื่อนที่ ความเร็วของถุงทรายมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร

.....

.....

2. ถุงทรายจำนวน 1 ถุง 2 ถุง และ 3 ถุง เคลื่อนที่ด้วยความเร่งเท่ากันหรือไม่ อย่างไร

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ค
ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้

ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง การเคลื่อนที่และแรง
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ จำนวน 4 ชั่วโมง
รหัสวิชา ว30101 รายวิชา วิทยาศาสตร์กายภาพ (ฟิสิกส์) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
กลุ่มสาระการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563
ผู้สอน นายทิวากร แก่นษา

---

1. มาตรฐานการเรียนรู้/ตัวชี้วัด

1.1 มาตรฐานการเรียนรู้

ว 2.2 เข้าใจธรรมชาติของแรงในชีวิตประจำวัน ผลของแรงที่กระทำต่อวัตถุ ลักษณะการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ ของวัตถุรวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

1.2 ตัวชี้วัด

ว 2.2 ม.5/2 สังเกตและอธิบายการหาแรงลัพธ์ที่เกิดจากแรงหลายแรงที่อยู่ในระนาบเดียวกันที่กระทำต่อวัตถุโดยการเขียนแผนภาพการรวมแบบเวกเตอร์

ว 2.2 ม.5/3 สังเกต วิเคราะห์ และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งของวัตถุกับแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุและมวลของวัตถุ

ว 2.2 ม.5/4 สังเกตและอธิบายแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาระหว่างวัตถุคู่หนึ่ง ๆ

2. สาระสำคัญ

ปริมาณที่ทำให้วัตถุมีการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ คือ แรง (force) โดยเราสามารถพบเห็นได้จากเหตุการณ์ทั่วไปในชีวิตประจำวัน เช่น การออกแรงผลักรถของเล่นที่วางนิ่งอยู่บนพื้นโต๊ะ รถจะเริ่มเคลื่อนที่ ซึ่งถ้าเราออกแรงผลักต่อไปในแนวเดิม รถก็จะเคลื่อนที่เร็วขึ้น แต่ถ้าเราต้องการให้รถที่กำลังเคลื่อนที่หยุด ก็จะต้องออกแรงผลักในทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของรถ แรงเป็นปริมาณที่มีทั้งขนาดและทิศทาง แรงจึงเป็นปริมาณเวกเตอร์ หน่วยของแรง คือ นิวตัน (N)

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

3.1 ด้านความรู้ ความเข้าใจ (K)

3.1.1 อธิบายและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง

3.1.2 อธิบายและแสดงการหาแรงลัพธ์จากแรงหลายแรงที่กระทำกับวัตถุในระนาบเดียวกัน

3.1.3 อธิบายแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาระหว่างวัตถุคู่หนึ่ง ๆ

3.2 ด้านทักษะและการปฏิบัติ (P)

3.2.1 ทักษะการแก้ปัญหาและการใช้จำนวน จากการคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแรงและการเคลื่อนที่

3.3 ด้านคุณลักษณะ (A)

3.3.1 จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผลและความรอบคอบจากการอภิปรายร่วมกัน

4. สาระการเรียนรู้

4.1 เมื่อมีแรงหลายแรงกระทำต่อวัตถุหนึ่ง โดยแรงทุกแรงอยู่ในระนาบเดียวกันสามารถหาแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุนั้นได้โดยการรวมแบบเวกเตอร์

4.2 เมื่อแรงลัพธ์มีค่าไม่เท่ากับศูนย์กระทำต่อวัตถุจะทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งมีทิศทางเดียวกับแรงลัพธ์โดยขนาดของความเร่งขึ้นอยู่กับขนาดของแรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุและมวลของวัตถุ

5. สมรรถนะ

5.1 สมรรถนะสำคัญของผู้เรียน

5.1.1 ความสามารถในการสื่อสาร

5.1.2 ความสามารถในการคิด

5.2 สมรรถนะสำคัญของผู้เรียนของโรงเรียนมาตรฐานสากล

5.2.1 เป็นเลิศทางวิชาการ

5.2.2 ร่วมกันรับผิดชอบต่อสังคมโลก

6. คุณลักษณะอันพึงประสงค์

6.1 คุณลักษณะอันพึงประสงค์ (ตามหลักสูตรแกนกลาง)

6.1.1 ซื่อสัตย์สุจริต

6.1.2 มีวินัย

6.1.3 ใฝ่เรียนรู้

6.2 คุณลักษณะตามหลักสูตรมาตรฐานสากล

6.2.1 สามารถคิดประดิษฐ์อย่างสร้างสรรค์ ปรับตัว ใฝ่รู้ใฝ่เรียน วิเคราะห์ สังเคราะห์ สรุปสร้างองค์ความรู้

6.2.2 มีทักษะการสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพ

6.2.3 มีความสามารถในการใช้ทักษะชีวิต

7. ทักษะของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21

R1 – (R)eading (อ่านออก) R2 – W(R)iting (เขียนได้) R3 – A(R)ithemetic (คิดเลขเป็น)

7.1 Critical thinking and problem solving (ทักษะด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณและทักษะในการแก้ปัญหา)

7.2 Collaboration, teamwork and leadership (ทักษะด้านความร่วมมือการทำงานเป็นทีมและภาวะผู้นำ)

8. การบูรณาการตามพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ

8.1 บูรณาการกับค่านิยม 12 ประการ

9. กิจกรรมการเรียนรู้

ใช้ทฤษฎี Constructivism การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5Es)

9.1 ขั้นสร้างความสนใจ

9.1.1 ครูออกแรงผลักรถทดลองแล้วถามนักเรียนว่า “ทำไมรถทดลองจึงเคลื่อนที่” (เพราะครูออกแรงผลักรถทดลอง)

9.1.2 ครูถามนักเรียนว่า “ถ้าครูต้องการจะหยุดรถทดลองครูจะต้องทำอย่างไร” (จะต้องออกแรงกระทำกับรถทดลองในทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของรถ)

9.2 ขั้นสำรวจและค้นหา

9.2.1 นักเรียนทำกิจกรรม 1.2 ในหนังสือเรียนหน้า 16

9.2.2 นักเรียนทำกิจกรรม 1.3 ในหนังสือเรียนหน้า 20

9.2.3 นักเรียนทำกิจกรรม 1.4 ในหนังสือเรียนหน้า 24

9.3 ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป

ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปดังนี้ “เมื่อมีแรงที่อยู่ในระนาบเดียวกันหลายแรงกระทำต่อวัตถุ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุสามารถหาได้โดยการรวมแบบเวกเตอร์ เมื่อแรงลัพธ์มีค่าไม่เท่ากับศูนย์กระทำต่อวัตถุจะทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งที่มีทิศทางเดียวกับแรงลัพธ์ โดยขนาดของความเร่งขึ้นอยู่กับขนาดของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุและมวลของวัตถุ และแรงกิริยาและแรงปฏิกิริยาเป็นแรง

กระทำระหว่างวัตถุคู่หนึ่ง ๆ โดยแรงทั้งสองมีขนาดเท่ากัน เกิดขึ้นพร้อมกัน แต่มีทิศทางตรงข้าม และกระทำกับวัตถุคนละก้อน”

9.4 ขั้นขยายความรู้

9.4.1 นักเรียนทำแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1 ข้อ 8-12 ในหนังสือเรียนหน้า 39

9.5 ขั้นประเมินผล

9.5.1 การตอบคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 1.2

9.5.2 ทักษะการแก้ปัญหาและการใช้จำนวน จากการคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแรงและการเคลื่อนที่

9.5.3 จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผลและความรอบคอบจากการอภิปรายร่วมกัน

10. สื่อการเรียนรู้

10.1 สื่อการเรียนรู้

10.1.1 หนังสือเรียนวิทยาศาสตร์กายภาพ 2 ชั้น ม.5 สสวท.

10.2 แหล่งเรียนรู้

10.1.2 ศึกษาหาความรู้ด้วยตนเองทางอินเตอร์เน็ต

11. การวัดประเมินผล

การวัดผลประเมินผล	**วิธีการวัด**	**เครื่องมือวัด**	**เกณฑ์การผ่าน**
1.ด้านความรู้ความเข้าใจ (K)	ตรวจคำถามตรวจสอบความเข้าใจ 1.2	คำถาม	ทำถูกต้องร้อยละ 70 ขึ้นไป
2. ด้านทักษะกระบวนการ (P)	● ทักษะการแก้ปัญหา ● การใช้จำนวนจากการคำนวณปริมาณต่าง ๆ	แบบวัดทักษะ	ได้คะแนนในระดับ 2 ขึ้นไป
3. ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์ (A)	จิตวิทยาศาสตร์ด้านความมีเหตุผลและความรอบคอบจากการอภิปรายร่วมกัน	แบบสังเกตพฤติกรรม	ได้คะแนนในระดับ 2 ขึ้นไป

บันทึกหลังการใช้แผนการจัดการเรียนรู้ที่..... เรื่อง.....
หน่วยการเรียนรู้ที่..... เรื่อง..... จำนวน.....ชั่วโมง
ระดับมัธยมศึกษาปีที่ ...../..... วัน/เดือน/ปี ที่สอน.....

ผลการจัดการเรียนรู้

ด้านความรู้ ความเข้าใจ (K) .....

.....

.....

ด้านทักษะและการปฏิบัติ (P) .....

.....

.....

ด้านคุณลักษณะ (A) .....

.....

.....

ปัญหาและอุปสรรค

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ/แนวทางแก้ไข

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้สอน
(นายทิวากร แก่นษา)

บันทึกหลังการใช้แผนการจัดการเรียนรู้ที่..... เรื่อง.....
หน่วยการเรียนรู้ที่..... เรื่อง..... จำนวน.....ชั่วโมง

ความคิดเห็น/ข้อเสนอแนะ

.....
.....
.....

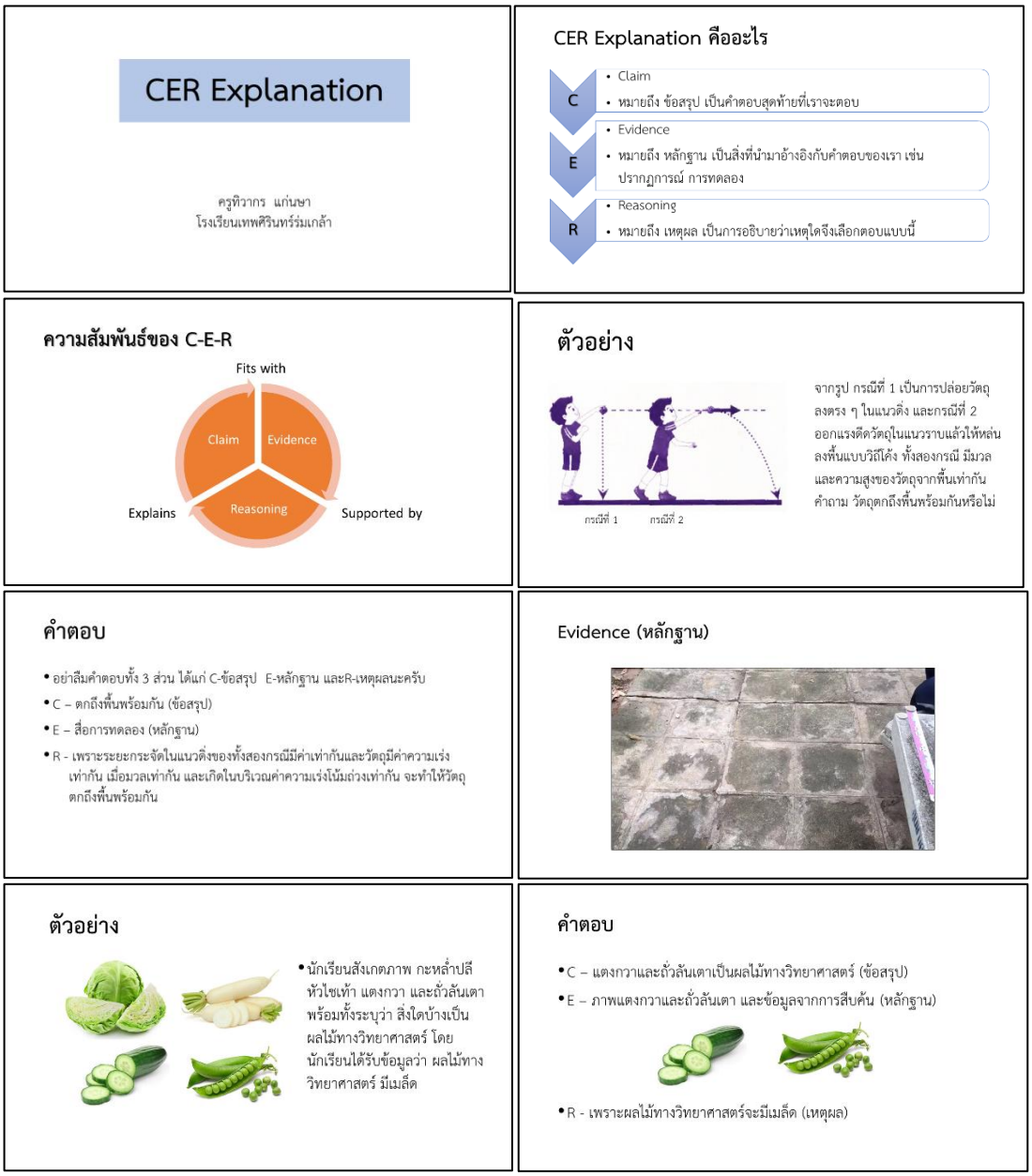
ลงชื่อ.....หัวหน้ากลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
(นางสาวปัณฑิตา น้อยผาติ)

ความคิดเห็น/ข้อเสนอแนะ

.....
.....
.....

ลงชื่อ.....ผู้บริหารสถานศึกษา/ผู้ได้รับมอบหมาย
(นายพิทักษ์ เอ็นดู)

ตัวอย่างการนำเสนอ CER Explanation



ภาพที่ ค.1 สไลด์แนะนำการสร้างคำอธิบายแบบข้อกล่าวอ้างหรือสรุป-หลักฐาน-การให้เหตุผล (CER Explanation)

ภาคผนวก ง
คุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบตรวจสอบคุณภาพของเกณฑ์การวิเคราะห์การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
ของผู้เชี่ยวชาญ

การวัดความเป็นปรนัย (Objectivity) ของเกณฑ์การวิเคราะห์การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์
จากดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item Objective Congruence: IOC)

คำชี้แจง ขอให้ท่านผู้เชี่ยวชาญได้กรุณาแสดงความคิดเห็นของท่านที่มีต่อเกณฑ์การวิเคราะห์การสร้างคำอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ โดยใส่เครื่องหมาย (✓) ลงในช่องความคิดเห็นของท่าน พร้อมเขียนข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการนำไปพิจารณาปรับปรุงต่อไป

การทดลอง	รายการพิจารณา	ความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ			ข้อเสนอแนะ
		เหมาะสม +1	ไม่แน่ใจ 0	ไม่เหมาะสม -1	
1. การเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวดิ่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก	ชัดแจ้งในความหมายของคำถาม				
	ความถูกต้องของเนื้อหา				
	ภาษาที่ใช้ชัดเจน				
2. ความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง	ชัดแจ้งในความหมายของคำถาม				
	ความถูกต้องของเนื้อหา				
	ภาษาที่ใช้ชัดเจน				
3. การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน	ชัดแจ้งในความหมายของคำถาม				
	ความถูกต้องของเนื้อหา				
	ภาษาที่ใช้ชัดเจน				
4. การเคลื่อนที่แนวโค้งภายใต้แรงโน้มถ่วง	ชัดแจ้งในความหมายของคำถาม				
	ความถูกต้องของเนื้อหา				
	ภาษาที่ใช้ชัดเจน				

(ลงชื่อ) ..... ผู้ประเมิน

(.....)

ตารางที่ ง.1 ค่าความสอดคล้อง (IOC) รูบริกการให้คะแนนคำอธิบายข้อกล่าวอ้างหรือข้อสรุป-หลักฐาน-เหตุผล (CER Explanation)

ข้อที่	คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ			รวม	ค่าเฉลี่ย	สรุปผล
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3			
1.1	1	1	1	3	1	ใช้ได้
1.2	1	1	1	3	1	ใช้ได้
1.3	1	1	1	3	1	ใช้ได้
2.1	1	1	1	3	1	ใช้ได้
2.2	1	1	1	3	1	ใช้ได้
2.3	1	1	1	3	1	ใช้ได้
3.1	1	1	1	3	1	ใช้ได้
3.2	1	0	1	2	0.67	ใช้ได้
3.3	0	1	1	2	0.67	ใช้ได้
4.1	1	1	0	2	0.67	ใช้ได้
4.2	1	1	1	3	1	ใช้ได้
4.3	1	1	1	3	1	ใช้ได้

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายทิวากร แก่นษา
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2553 - 2557 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ศึกษาศาสตร์ สาขาวิชาฟิสิกส์
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2560 - ปัจจุบัน โรงเรียนเทพศิรินทร์ร่มเกล้า สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา กรุงเทพมหานคร เขต 2
ตำแหน่ง	ครู
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนเทพศิรินทร์ร่มเกล้า แขวงคลองสามประเวศ เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร