



การพัฒนาความเข้าใจแนวคิดและการวิเคราะห์พฤติกรรมการเรียนรู้
ด้วยการสอนแบบ ILDs เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์
และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล

ศักดิ์ชัย ราชนิยม

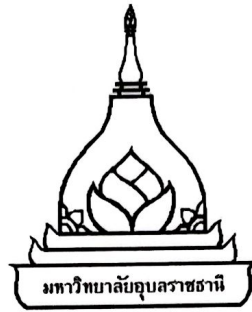
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



THE CONCEPTUAL UNDERSTANDING DEVELOPMENT
AND BEHAVIORAL LEARNING ANALYSIS BASED ON ILDs TEACHING
IN PROJECTILE MOTION AND LAW OF CONSERVATION
OF MECHANICAL ENERGY

SAKCHAI RACHNIYOM

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



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์

เรื่อง การพัฒนาความเข้าใจแนวคิดและการวิเคราะห์พฤติกรรมการเรียนรู้ด้วยการสอน
แบบ ILDs เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล

ผู้วิจัย นายศักดิ์ชัย ราชนิยม

คณะกรรมการสอบ

ดร.ธนิดา สุจริตรธรรม	ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุระ วุฒิพรหม	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุดม ทิพราช	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ศรี สุภาพร	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กานต์ตะวัน วุฒิเสลา	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุระ วุฒิพรหม)

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร จิงสุทธินวงษ์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและอนุเคราะห์อย่างยิ่ง จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุระ วุฒิพรหม และอาจารย์ ดร.ธนิดา สุจริตธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ แก้ไข และติดตามการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้อย่างใกล้ชิดเสมอมา นับตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จเรียบร้อยสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านเป็นอย่างดียิ่ง จึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ และขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ธนิดา สุจริตธรรม ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุดม ทิพราช รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ศรี สุภาธร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กานต์ตะวัน วุฒิเสลา ซึ่งเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้พร้อมทั้งคำแนะนำที่ดีสำหรับการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สายชล พิมพ์มงคล ผู้ช่วยศาสตราจารย์มัลลิกา หล้าพันธ์ คุณครู โชคชัย แจวจิราณ คุณครูพสงค์ แร่งสิงห์ คุณครูขันติ เทติธัญญา และคุณครูฮานาฟี เหมตระกูลวงศ์ ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือทำให้การปรับปรุงและพัฒนาเครื่องมือวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบพระคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ (Thailand Center of Excellence in Physics: ThEP) ที่ช่วยเหลือและสนับสนุนทุนสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณคณะผู้บริหาร คณะครูโรงเรียน มหรรณพารามทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือรวมถึงอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิจัย ตลอดจนนักเรียนโรงเรียนมหรรณพารามที่ให้ความร่วมมืออย่างดียิ่งในการเก็บรวบรวมข้อมูล

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคณาจารย์หลักสูตรวิทยาศาสตร์ศึกษาและคณาจารย์ภาควิชา ฟิสิกส์ทุกท่าน รวมทั้งนักศึกษาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทุกคนที่ให้คำแนะนำและให้กำลังใจเสมอมา และขอน้อมระลึกถึงพระคุณบิดา มารดา คุณอา คุณย่าและครอบครัว ผู้ที่คอยเป็นกำลังใจรวมทั้งให้การสนับสนุนในการศึกษาและทำวิจัยในครั้งนี้

ศักดิ์ชัย ราชนิยม

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

เรื่อง : การพัฒนาความเข้าใจแนวคิดและการวิเคราะห์พฤติกรรมการเรียนรู้ด้วยการสอนแบบ ILDs เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล

ผู้วิจัย : ศักดิ์ชัย ราชนิยม

ชื่อปริญญา : ปรัชญาดุชนันท์

สาขาวิชา : วิทยาศาสตร์ศึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุระ วุฒิพรหม

คำสำคัญ : การจัดการเรียนรู้แบบบรรยายสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์, ฟิสิกส์, โปรเจกไทล์, กฎอนุรักษ์พลังงาน, ความรู้คงทน

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) สร้างและหาประสิทธิภาพชุดการทดลองเอนกประสงค์สำหรับการบูรณาการสอน เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล (2) ออกแบบและพัฒนากิจการการเรียนรู้ด้วยวิธีการสอนแบบ ILDs และ (3) พัฒนาความเข้าใจในแนวคิดเรื่อง การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 จำนวน 40 คน ซึ่งได้มาโดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบไปด้วย ชุดการทดลองเอนกประสงค์ แผนการจัดการเรียนรู้ แบบทดสอบวัดความเข้าใจ แบบสังเกตพฤติกรรม ผลการวิจัยพบว่า ชุดการทดลองเอนกประสงค์ที่ผู้วิจัยสร้างและพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพทางวิทยาศาสตร์เท่ากับ 96.33 เปอร์เซนต์ นักเรียนมีความเข้าใจในแนวคิดฟิสิกส์ เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล สูงขึ้นที่ระดับนัยสำคัญ .05 มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยทั้งชั้นอยู่ในระดับปานกลาง $<g>$ เท่ากับ 0.64) และมีความรู้ที่คงทน พฤติกรรมโดยรวมของนักเรียนและครูผู้สอนตลอดการจัดการเรียนรู้มีลักษณะแบบเชิงรุก

ABSTRACT

TITLE : THE CONCEPTUAL UNDERSTANDING DEVELOPMENT AND BEHAVIORAL
LEARNING ANALYSIS BASED ON ILDS TEACHING IN PROJECTILE MOTION
AND LAW OF CONSERVATION OF MECHANICAL ENERGY

AUTHOR : SAKCHAI RACHNIYOM

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : SCIENCE EDUCATION

ADVISOR : ASST. PROF. SURA WUTTIPROM, Ph.D.

KEYWORDS : INTERACTIVE LECTURE DEMONSTRATIONS (ILDS), PHYSICS, PROJECTILE,
LAW OF CONSERVATION OF ENERGY, RETENTION

The objective of this research is to (1) design and assess the efficiency of simple experimental sets for integrated teaching on projectile motion and the law of the conservation of mechanical energy, (2) design and develop learning activities through the Interactive Lecture Demonstrations (ILDs) method, and (3) develop students' understanding of projectile motion and the law of the conservation of energy. The study involved 40 students who were purposively selected from grade 11 students during the second semester of the 2019 academic year. The research tools consisted of learning lesson plans, a multiple choice learning achievement test and classroom observation protocol. The results showed that the experimental set worked perfectly and served as suitable learning activities for these topics. The efficiency of the simple experimental set was 96.33 percent. The average students' achievement score was significantly increased with a statistical level of .05 and the average students' normalized gain was 0.64, categorized at the medium gain level. The students' retention rate was 0.64, categorized at the medium level. The behavior of the students and the teacher demonstrated active learning behavior.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 สมมติฐานการวิจัย	3
1.4 ตัวแปรที่ศึกษา	3
1.5 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	3
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 แนวคิดทฤษฎีการจัดการเรียนรู้	5
2.2 โปรแกรม Tracker	9
2.3 แบบสังเกต COPUS	19
2.4 ความคงทนของความรู้ (Retention)	22
2.5 การประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย (Normalized gain)	24
2.6 เนื้อหาและทฤษฎีทางฟิสิกส์	25
บทที่ 3 การสร้างเครื่องมือและการดำเนินการวิจัย	
3.1 การสร้างเครื่องมือ	30
3.2 การดำเนินการวิจัย	50
3.3 แบบแผนวิธีวิจัย	50
3.4 ระเบียบวิธีวิจัย	51
3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล	51
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลและค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	52

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

4.1 ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ ILD เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล	53
4.2 ความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียน	54
4.3 ความรู้คงทนของนักเรียนที่เรียนโดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ ILD	60
4.4 การวิเคราะห์พฤติกรรมของนักเรียนและครูผู้สอน	61

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย	75
5.2 ข้อเสนอแนะ	77

เอกสารอ้างอิง	79
---------------	----

ภาคผนวก

ก เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล	88
ข เครื่องมือที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้	101
ค งานวิจัยที่ตีพิมพ์	114

ประวัติผู้วิจัย	121
-----------------	-----

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	วัฏจักรการเรียนรู้ (Learning Cycle) ของการสอนแบบ ILD 8
2.2	รหัส (Code) และคำอธิบายของแบบสังเกต COPUS ของนักเรียน 19
2.3	รหัส (Code) และคำอธิบายของแบบสังเกต COPUS ของครูผู้สอน 20
2.4	ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ 27
2.5	ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น เรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล 29
3.1	ผลการทดลอง 38
3.2	จำแนกข้อสอบภายในแบบทดสอบวัดความเข้าใจในแนวคิด เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล 39
3.3	ข้อสอบที่ต้องแก้ไขเล็กน้อยเกี่ยวกับข้อคำถามและตัวเลือก 40
3.4	ข้อสอบที่ต้องแก้ไขเกี่ยวกับรูปภาพและข้อคำถาม 43
3.5	ค่าความยากง่ายของข้อสอบรายข้อ 47
3.6	ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบรายข้อ 48
3.7	ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล 52
4.1	เปรียบเทียบคะแนนความเข้าใจทางการเรียน เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ และ กฎการอนุรักษ์พลังงานกล ก่อนเรียนและหลังเรียน ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบ ILD 53
4.2	ผลการวิเคราะห์ความเข้าใจในแนวคิดของนักเรียนทั้งชั้นโดยใช้วิธี average normalized gain, <g> 55
4.3	ผลการวิเคราะห์ความก้าวหน้าของข้อสอบรายข้อ 57
4.4	ผลการวิเคราะห์ความก้าวหน้าของแต่ละแนวคิดรวบยอด 58
4.5	ผลการวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางเรียนเฉลี่ยรายหัวข้อ 59
4.6	ผลคะแนนเฉลี่ยจากการทดสอบด้วยแบบทดสอบวัดความเข้าใจทางการเรียนทันทีที่เรียนเสร็จกับทดสอบหลังจากการเรียนเสร็จแล้ว 14 วัน 60
4.7	จำนวนครั้งของพฤติกรรมที่แสดงออกตลอดการจัดการเรียนรู้หัวข้อเรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ 61
4.8	จำนวนครั้งของพฤติกรรมที่แสดงออกตลอดการจัดการเรียนรู้หัวข้อเรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล 65
4.9	จำนวนครั้งของพฤติกรรมที่แสดงออกตลอดการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ ILD 69

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของการสร้างความรู้	6
2.2	องค์ประกอบของการเรียนรู้เชิงรุก	6
2.3	กระบวนการในการจัดการเรียนรู้แบบ ILD	9
2.4	หน้าต่างของโปรแกรม Tracker	10
2.5	หน้าต่างแสดงขั้นตอนการ Import video file	10
2.6	หน้าต่างแสดง Folder สำหรับเลือกไฟล์วิดีโอที่ต้องการวิเคราะห์	11
2.7	การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกบอลไม้	11
2.8	แถบเครื่องมือด้านบนมุมมองหลัก	12
2.9	แถบเครื่องมือด้านล่างมุมมองหลัก	13
2.10	การตั้งค่าคลิปวิดีโอที่ต้องการ Track	14
2.11	การกำหนดค่าความยาวอ้างอิง	14
2.12	การสร้างแกนอ้างอิง	15
2.13	การสร้างรอยตามวัตถุ	16
2.14	การเพิ่มค่ามวลของวัตถุ	16
2.15	การระบุตำแหน่งและกราฟการเคลื่อนที่ของวัตถุ	17
2.16	การกำหนดจำนวนกราฟและการเปลี่ยนค่าในแนวแกน x และ แกน y	18
2.17	การวิเคราะห์ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ	18
2.18	แบบสังเกตพฤติกรรม (COPUS)	20
2.19	พีรามิดการเรียนรู้ ร้อยละของการจดจำได้ของความรู้ที่ได้รับโดยวิธีต่าง ๆ	23
3.1	ชุดทดลองเอนกประสงค์รูปแบบที่ 1	30
3.2	การทดสอบชุดทดลองเอนกประสงค์รูปแบบที่ 1	31
3.3	ชุดการทดลองเอนกประสงค์รูปแบบที่ 2	32
3.4	หน้าต่างของโปรแกรม Tracker	34
3.5	หน้าต่างแสดงขั้นตอนการ Import video file	34
3.6	หน้าต่างแสดง Folder สำหรับเลือกไฟล์วิดีโอที่ต้องการวิเคราะห์	35
3.7	การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกบอลไม้	35
3.8	การกำหนดเฟรม (clip setting)	36
3.9	กำหนดแกนพิกัดและความยาวอ้างอิง	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.10	การสร้างรอยตามวัตถุหรือการระบุตำแหน่งแต่ละเฟรมของวัตถุ	37
3.11	การระบุตำแหน่งและกราฟการเคลื่อนที่ของวัตถุ	38
3.12	แบบแผนการวิจัย	50
4.1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % pretest กับ % gain ของนักเรียนที่ได้รับ การจัดการเรียนรู้แบบ ILD	56
4.2	ร้อยละของพฤติกรรมนักเรียนในหัวข้อเรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์	63
4.3	ร้อยละของพฤติกรรมครูผู้สอนในหัวข้อเรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์	64
4.4	ร้อยละของพฤติกรรมนักเรียนในหัวข้อเรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล	67
4.5	ร้อยละของพฤติกรรมครูผู้สอนในหัวข้อเรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล	68
4.6	ร้อยละของพฤติกรรมนักเรียนตลอดการจัดการเรียนรู้	71
4.7	ร้อยละของพฤติกรรมครูผู้สอนตลอดการจัดการเรียนรู้	72

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องมีความสำคัญอย่างมากที่จะอธิบายได้อย่างถูกต้องเกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เช่นเดียวกับแนวคิดทางฟิสิกส์ ซึ่งฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่ศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางกายภาพของธรรมชาติ ถ้าหากผู้ที่สนใจศึกษาวิชาฟิสิกส์หรือนักเรียนที่เรียนวิชาฟิสิกส์มีความเข้าใจในแนวคิดได้อย่างถูกต้องแล้ว จะสามารถนำสิ่งที่ตนเองเข้าใจไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้ นอกจากนี้ความเข้าใจที่ถูกต้องจะเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการนำไปต่อยอดและนำไปในการเรียนในระดับการศึกษาที่สูงขึ้นหรือเรียนในหัวข้อที่มีความซับซ้อนทางแนวคิดมากขึ้นได้ แต่ในปัจจุบันมีงานวิจัยที่พบว่านักเรียนยังคงมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (Alternative Conceptions) เกี่ยวกับแนวคิดที่ถูกต้องของวิชาฟิสิกส์ในทุกๆ เนื้อหา เช่น เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ แสงและการมองเห็น การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ งาน พลังงาน เสียง ไฟฟ้า คลื่นและปรากฏการณ์คลื่น กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน เป็นต้น (Twigger et al., 1994; Galili and Bar, 1992; McCloskey, 1983; Watts, 1982; Salley, 1996a; Feher and Meyer, 1992; Refik, D. et al., 2009)

จากความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในเนื้อหาของนักเรียนย่อมส่งผลและเป็นอุปสรรคสำหรับการเรียนการสอนเนื้อหาใหม่หรือเนื้อหาที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เนื่องจากการจัดการเรียนการสอนนั้นผู้สอนจะมีความเชื่อว่า นักเรียนที่เข้ามาเรียนย่อมมีความรู้พื้นฐานหรือความรู้เดิม (Prior Knowledge conceptions) อยู่ส่วนหนึ่งแล้ว (Hewson and Hewson, 1988; Phomphisutthimas, 2013) โดยความรู้เหล่านั้นอาจจะได้มาจากประสบการณ์ที่เกิดขึ้นกับตัวผู้เรียนเองหรืออาจจะได้รับมาจากการจัดการเรียนรู้ของครูผู้สอน โดยนักเรียนไม่เข้ามาห้องเรียนด้วยสมองที่ว่างเปล่า (Gokalp, 2016) ความรู้พื้นฐานหรือประสบการณ์เดิมของนักเรียนจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเรียนรู้ใหม่และถ้าหากนักเรียนมีความรู้ความเข้าใจพื้นฐานที่คลาดเคลื่อนมาแล้ว ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนนี้จะมีความคงทนและยากต่อการเปลี่ยนแปลงด้วยวิธีการจัดการเรียนการสอนแบบดั้งเดิม (Griffiths and Preston, 1992) ดังนั้น การพัฒนาการจัดการเรียนรู้หรือการจัดการเรียนการสอนด้วยวิธีต่าง ๆ ของครูผู้สอนจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการแก้ปัญหาเกี่ยวกับความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน นอกจากนี้วิธี

การจัดการเรียนรู้ของครูผู้สอนจะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวแล้ว ยังสามารถช่วยส่งเสริมหรือพัฒนานักเรียนให้มีความเข้าใจที่ถูกต้องมากขึ้น

ในปัจจุบันวิธีการจัดการเรียนรู้จะเน้นให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนการสอน มุ่งสร้างความกระตือรือร้นให้แก่ผู้เรียน เพิ่มบทบาทของผู้เรียนในกิจกรรมการเรียนการสอนและลดบทบาทของครูผู้สอนหรือที่เรียกว่าสอนน้อยแต่เรียนรู้มาก “Teach less, Learn more” (อุดม ทิพรราช, 2552) ซึ่งวิธีการสอนลักษณะนี้เรียกว่า การเรียนการสอนแบบเชิงรุก (Active Learning) วิธีการสอนนี้จะช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนได้สร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (เนาวนิตย์ สงคราม, 2555) ได้พัฒนาทักษะการแสวงหาความรู้รวมทั้งทักษะการคิดขั้นสูง เช่น การคิดวิเคราะห์ การคิดสังเคราะห์และการประเมินผล มีทัศนคติที่อยากเรียนรู้ (ศักดิ์ ไวกิจภิญญ, 2548) และเนื่องจากผู้สอนได้เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในการลงมือปฏิบัติจริง (active learning) ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความตื่นตัวกระตือรือร้นด้านความรู้คิดมากกว่าการฟังผู้สอนในห้องเรียนและการท่องจำ ทำให้ได้การเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพสูง (Sweeller, 2006) สำหรับการจัดการเรียนรู้แบบเชิงรุกที่นิยมใช้ในวิชาฟิสิกส์นั้นมีอยู่หลายรูปแบบ ได้แก่ การจัดการเรียนรู้แบบใช้คำถาม (Questioning Method) การจัดการเรียนรู้แบบซิปปา (CIPPA MODEL) การจัดการเรียนรู้แบบโครงงาน (Project Method) การจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem base learning) การจัดการเรียนรู้แบบทำนาย สังเกต อธิบาย (POE) และการจัดการเรียนรู้แบบบรรยายประกอบการสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์ (Interactive Lecture demonstrations: ILD) เป็นต้น โดยครูผู้สอนจะใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบใดนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ ความเหมาะสม และผู้เรียน เพราะทุกวิธีการสอนแบบเชิงรุกนั้นผู้เรียนได้ลงมือกระทำเอง สามารถสร้างความเข้าใจและเชื่อมโยงความรู้ทางฟิสิกส์กับเหตุการณ์ชีวิตประจำวันได้ ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนสูงขึ้น นักเรียนเกิดความพึงพอใจในการเรียน (Sweeller, 2006) รวมทั้งนักเรียนยังสามารถเข้าใจโมโนทัศน์ (conceptual understanding) ที่สอนได้ถูกต้องและเกิดความคงทนของความรู้ (Renner and Abraham, 2008) รวมทั้งจุดประกายความสนใจให้เกิดกับผู้เรียนและส่งเสริมให้ผู้เรียนมีทักษะสำหรับการเรียนรู้ในยุคสังคมสารสนเทศ

ด้วยเหตุผลข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะช่วยแก้ปัญหาความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนด้วยการใช้ชุดทดลองอเนกประสงค์ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมา โดยชุดทดลองนี้จะนำมาใช้สอนในเนื้อหา เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล และการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดทดลองดังกล่าวผู้วิจัยจะเลือกวิธีการบรรยายประกอบการสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์ (ILDs) เนื่องจากกลุ่มทดลองในการวิจัยครั้งนี้จะเป็นนักเรียนที่ผ่านการเรียนในเนื้อหาการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์และกฎการอนุรักษ์พลังงานกลมาแล้วแต่ยังมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนอยู่ ประกอบกับวิธีการสอนนี้จะมีกระบวนการหลักอยู่ 3 ขั้นตอน คือ ขั้นทำนาย ขั้นสร้างประสบการณ์ และขั้นสะท้อนผล ที่คอยกระตุ้นให้ผู้เรียนมีความกระตือรือร้นในการเรียนรู้ตลอดเวลา ดังนั้น วิธีการสอนนี้

จึงมีความเหมาะสมกับชุดการทดลองเอนกประสงค์และใบกิจกรรมที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นสำหรับการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการทดลองเอนกประสงค์สำหรับการบูรณาการสอน เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล

1.2.2 เพื่อออกแบบและพัฒนากิจการการเรียนรู้บูรณาการ เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล ด้วยวิธีการสอนแบบ ILDs

1.2.3 เพื่อพัฒนาความเข้าใจแนวคิด เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล จากการจัดการเรียนรู้แบบ ILDs ด้วยชุดทดลองเอนกประสงค์

1.3 สมมติฐานการวิจัย

นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยชุดทดลองเอนกประสงค์ สำหรับการบูรณาการสอนในเรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล โดยใช้การจัดการกิจกรรมการเรียนรู้แบบ ILDs มีความเข้าใจในแนวคิดหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

การออกแบบและการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ชุดทดลองเอนกประสงค์สำหรับการบูรณาการสอนในเรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล สามารถส่งเสริมการเรียนการสอนแบบเชิงรุก (Active Learning) ได้

1.4 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น ได้แก่ การจัดการกิจกรรมการเรียนรู้แบบ ILDs เรื่อง การเคลื่อนที่โพรเจกไทล์และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล โดยใช้ชุดทดลองเอนกประสงค์

ตัวแปรตาม ได้แก่ ความเข้าใจในแนวคิด ความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียน และรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก

1.5 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 จำนวน 151 คน ของโรงเรียนมหารณพาราม ซึ่งเป็นโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดกลาง สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 1 กรุงเทพมหานคร

กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/2 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 โรงเรียนมหารณพาราม สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาเขต 1 กรุงเทพมหานคร

จำนวน 40 คน ซึ่งกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์ ที่มีผลการเรียนในรายวิชาฟิสิกส์ไม่แตกต่างกัน

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.6.1 ชุดทดลองอเนกประสงค์ คือ ชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ซึ่งประกอบไปด้วย ท่อพีวีซีใส (PVC) ลูกบอลไม้ และโดร์เปาผม ซึ่งใช้ในการบูรณาการจัดการเรียนรู้เรื่อง การเคลื่อนที่โพรเจกไทล์ และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล

1.6.2 ประสิทธิภาพทางวิทยาศาสตร์ของชุดทดลอง หมายถึง ผลการทดสอบชุดทดลอง ซึ่งพิจารณาจากค่าที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎีเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker ซึ่งค่าที่ได้จะต้องมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ หรือมีประสิทธิภาพอย่างน้อยร้อยละ 95

1.6.3 แบบสังเกตพฤติกรรม คือ The Classroom Observation Protocol for Undergraduate STEM (COPUS) ซึ่งเป็นแบบสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนและครูผู้สอน โดยรหัส (codes) สังเกตของนักเรียนมี 13 รหัส ได้แก่ L, Ind, CG, WG, OG, AnQ, SQ, WC, Prd, SP TQ, W และ O รหัส (codes) สังเกตของครูผู้สอนมี 12 รหัส ได้แก่ Lec, RtW, FUp, PQ, CQ, AnQ, MG, 1o1, D/V, Adm, W และ O

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ได้แนวทางในการสร้างชุดทดลองอเนกประสงค์ที่สามารถใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน

1.7.2 ได้แนวทางในการพัฒนารูปแบบการสอน เรื่อง การเคลื่อนที่โพรเจกไทล์และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล

1.7.3 ได้แนวทางในการพัฒนานักเรียนให้มีความเข้าใจในแนวคิด เรื่อง การเคลื่อนที่โพรเจกไทล์และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล

1.7.4 ได้รูปแบบการส่งเสริมนักเรียนและครูผู้สอนให้มีพฤติกรรมในการเรียนและการจัดการเรียนรู้แบบเชิงรุก

บทที่ 2

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทำวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการทำวิจัย โดยได้รวบรวมข้อมูลดังหัวข้อต่อไปนี้

- 2.1 แนวคิดทฤษฎีการจัดการเรียนรู้
- 2.2 โปรแกรม Tracker
- 2.3 แบบสังเกต COPUS
- 2.4 ความคงทนของความรู้ (Retention)
- 2.5 การประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย (Normalized gain)
- 2.6 เนื้อหาและทฤษฎีทางฟิสิกส์

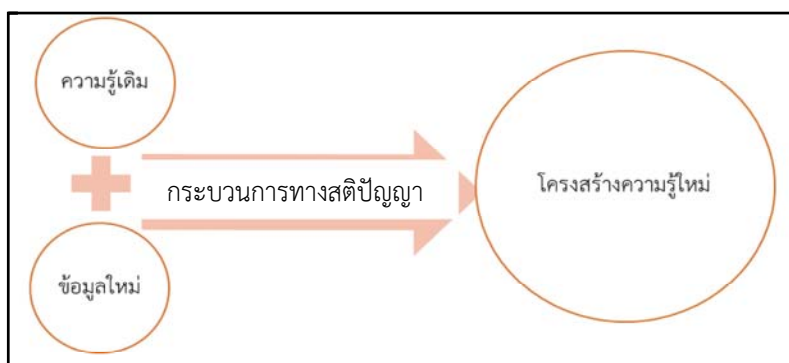
2.1 แนวคิดทฤษฎีการจัดการเรียนรู้

2.1.1 แนวคิดทฤษฎีการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)

การจัดการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) เป็นวิธีการจัดการเรียนรู้รูปแบบหนึ่งที่มีลักษณะส่งเสริมให้ผู้เรียนตื่นตัวต่อการเรียนรู้และมีส่วนร่วมในกระบวนการจัดการเรียนรู้ โดยให้ผู้เรียนมีบทบาทหลักในการปฏิบัติกิจกรรมหรือแสวงหาความรู้และได้ใช้กระบวนการคิดเกี่ยวกับสิ่งที่ตนเองได้กระทำลงไป (Bonwell, 1991) นำความรู้มาวิเคราะห์ สังเคราะห์จนสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง (เนาวนิตย์ สงคราม, 2555) ซึ่งบทบาทของผู้เรียนจะถูกเปลี่ยนไปจากผู้รับความรู้ (passive learning) กลายเป็นผู้มีส่วนร่วมในการสร้างความรู้ (co-creators) (Fedler and Brent, 1996)

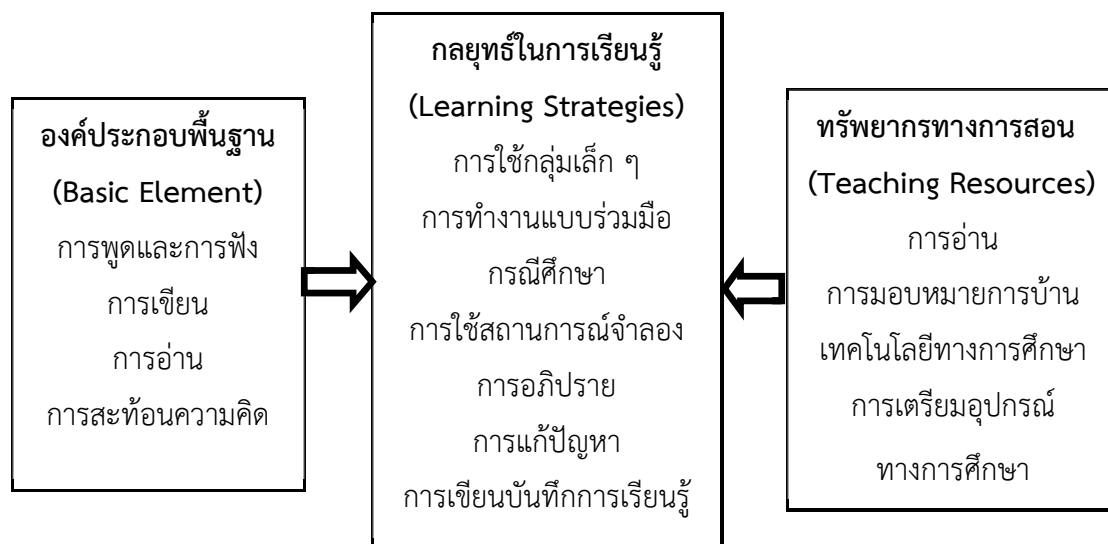
การเรียนรู้เชิงรุกจึงเป็นการจัดการเรียนรู้ตามแนวการสร้างความรู้ของทฤษฎีคอน - สตรัคติวิสต์ ที่เน้นกระบวนการการสร้างความรู้มากกว่าการรับความรู้ โดยผู้เรียนนั้นเป็นผู้สร้าง (Construct) ความรู้ด้วยตนเองโดยผ่านประสบการณ์ด้วยการลงมือปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้จริง ซึ่งประสบการณ์จากความรู้เดิม ข้อมูลใหม่ จะกระตุ้นให้ผู้เรียนสร้างโครงสร้างทางปัญญาหรือเรียกว่า สกีม (Schemas) กลายเป็นรูปแบบการทำความเข้าใจ จนได้โครงสร้างของความรู้ใหม่ (ชนาธิป พรกุล, 2554) ดังภาพที่ 2.1 ส่วนบทบาทของครูผู้สอน คือ การจัดสภาพแวดล้อม บริบท และส่งเสริม

กิจกรรมที่จะกระตุ้นการเรียนรู้ของผู้เรียน รวมทั้งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในกิจกรรมการเรียนรู้ คอยแนะนำเมื่อผู้เรียนประสบปัญหา (บุญเลี้ยง ทุมทอง, 2556)



ภาพที่ 2.1 ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของการสร้างความรู้

สำหรับการเรียนรู้เชิงรุกนั้นจะมีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) องค์ประกอบพื้นฐาน (Basic Element) 2) กลยุทธ์ในการเรียนรู้ (Learning Strategies) และ 3) ทรัพยากรทางการสอน (Teaching Resources) ที่สัมพันธ์กัน (Meyers; & Jones, 1993) ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 องค์ประกอบของการเรียนรู้เชิงรุก

จากรายงานการวิจัยพบว่าการจัดการเรียนรู้เชิงรุกช่วยพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนให้สูงขึ้น (สุติเทพ ศิริพิพัฒน์กุล, 2553; นิวัฒน์ บุญสม, 2556; Gardner et al., 2012; Freeman et al., 2014) นักเรียนมีความกระตือรือร้นและให้ความสนใจในการเรียนรวมถึงมีพฤติกรรมด้านการเรียนอยู่ในเกณฑ์ดีมาก (สุภัทรา ภูษิตรัตน์วาลี, 2560; Freeman et al., 2014; Jensen et al., 2015; Caron et al., 2004) นอกจากนี้ยังทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจเนื้อหาที่สอนได้ถูกต้องลึกซึ้ง เกิดความคงทนและเชื่อมโยงความรู้ได้ดี (ปรียา สมพีช, 2559; Renner and Abraham, 2008; Mazzolini, A. et al., 2011) ดังนั้น การจัดการเรียนรู้เชิงรุกจึงเหมาะกับชั้นเรียนที่มีผู้เรียนทั้งเก่งและอ่อน (ศิริพร มโนพิเชษฐวัฒนา, 2547) เพราะจะทำให้ผู้เรียนเกิดการสร้างแรงจูงใจ เป็นการเรียนรู้ที่มีคุณค่า ทำทลายความรู้ความสามารถและความสนใจของผู้เรียน (บุญเลี้ยง ทุมทอง, 2556; อ้างอิงจาก Shenker; Goss; and Bernstein, 1996) จนทำให้ผู้เรียนประสบความสำเร็จในการเรียนรู้

2.1.2 การสอนแบบบรรยายประกอบการสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์ (Interactive Lecture demonstrations: ILD)

การสาธิตประกอบการบรรยายเชิงปฏิสัมพันธ์ (Interactive Lecture Demonstrations; ILD) เป็นวิธีการสอนเชิงรุกรูปแบบหนึ่ง (Paosawatanyong, B. and Wattanakasiwich, P., 2010) ถูกนำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์และวิชาอื่น ๆ ทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากเป็นรูปแบบการสอนที่สามารถช่วยสร้างกระบวนการเรียนรู้และบรรยากาศของการเรียนรู้ โดยที่ไม่ต้องมีการปรับเปลี่ยนห้องเรียนมากมาย วิธีการสอนนี้ถูกพัฒนาโดย Thornton และ Sokoloff (Sokoloff & Thornton, 1997) ลักษณะเด่นของวิธีการสอนนี้คือ เป็นการสอนบรรยายที่มีชุดสาธิต และแบบทำนายผล (Prediction Sheet) เพื่อให้ผู้เรียนทำการคาดการณ์คำตอบ และสังเกตผลจากชุดสาธิตแล้วให้ผู้เรียนเขียนบันทึกผลการสังเกตลงในแบบบันทึกผลการสาธิต (Result Sheet) ในระหว่างการเรียนการสอนนั้นก็จะให้มีการอภิปรายกันระหว่างผู้เรียนกับผู้สอนและผู้เรียนด้วยกันเอง โดยอาจมีคอมพิวเตอร์ช่วยในการแสดงข้อมูลจากการสาธิตเพื่อสร้างบรรยากาศในการเรียนรู้ของผู้เรียน การสอนแบบ ILD ประกอบด้วย 8 ขั้นตอน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 วัฏจักรการเรียนรู้ (Learning Cycle) ของการสอนแบบ ILD

	ขั้นที่ 1	ผู้สอนอธิบายวิธีการสาธิตให้ผู้เรียนฟังก่อนสาธิต
Prediction	ขั้นที่ 2	ผู้สอนให้ผู้เรียนทำนายผลลงในแบบทำนายผล
Prediction	ขั้นที่ 3	ผู้สอนถามผลการทำนาย
Discussion	ขั้นที่ 4	ผู้สอนให้ผู้เรียนร่วมกลุ่มเล็ก ๆ กับเพื่อนแล้วช่วยกันอภิปรายผลการทำนาย
Prediction	ขั้นที่ 5	ผู้สอนให้ผู้เรียนแต่ละคนเขียนผลทำนายลงในแบบทำนายผลอีกครั้ง
Observation	ขั้นที่ 6	ผู้สอนแสดงผลการสาธิตให้ผู้เรียนดู
Discussion	ขั้นที่ 7	ผู้สอนและผู้เรียนช่วยกันอภิปรายผลการสาธิตที่เกิดขึ้น
Synthesis	ขั้นที่ 8	ผู้สอนยกสถานการณ์ในชีวิตประจำวันที่คล้ายคลึงกับปรากฏการณ์ที่สาธิต

จากตารางที่ 2.1 สามารถสรุปเป็นกระบวนการในการจัดการเรียนรู้แบบ ILD อย่างง่าย ได้ 3 ขั้นตอน คือ ขั้นทำนาย ขั้นสร้างประสบการณ์ และขั้นสะท้อนผล (Rachniyom S., 2017; Rachniyom S., 2019) แสดงดังภาพที่ 2.3 ซึ่งแต่ละขั้นตอนสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

ขั้นทำนาย (Predict) เป็นขั้นตอนที่ครูอธิบายเกี่ยวกับการชุดอุปกรณ์การทดลองรวมไปถึงสถานการณ์จำลอง จากนั้นให้นักเรียนแต่ละคนได้คาดการณ์หรือทำนายผลจากการทดลองหรือการสาธิตพร้อมทั้งเขียนคำทำนายลงในแบบบันทึกผลที่ 1 (Prediction sheet I) หลังจากทำนายเสร็จให้นักเรียนแต่ละคนเข้ากลุ่มย่อยแล้วอภิปรายกับสมาชิกในกลุ่มเกี่ยวกับผลที่จะเกิดขึ้นจากการสาธิตหรือทดลอง จากนั้นให้เลือกข้อสรุปของการทำนายสำหรับกลุ่มของตนเองแล้วให้นักเรียนแต่ละคนเขียนผลการทำนายอีกครั้งลงในบันทึกผลที่ 2 (Prediction sheet II)

ขั้นสร้างประสบการณ์ (Experience) ขั้นนี้ครูจะเป็นผู้สาธิตการทดลองหรืออาจจะให้นักเรียนในแต่ละกลุ่มได้ปฏิบัติการทดลองด้วยตนเองเพื่อศึกษาปรากฏการณ์หรือผลจากการทดลองที่เกิดขึ้น โดยให้นักเรียนนำผลที่ได้จากการทดลองมาบันทึกลงในแบบบันทึกผล (Result sheet) สำหรับในขั้นตอนนี้ นักเรียนจะค้นพบถึงความเหมือน ความคล้ายคลึง และความแตกต่าง ระหว่างสิ่งที่ทำนายไว้กับผลที่เกิดจากการทดลองจริง

ขั้นสะท้อนผล (Reflect) เป็นขั้นตอนที่ให้นักเรียนได้นำผลที่ได้จากการทดลองจริงมาช่วยกันอภิปรายว่ามีความเหมือน ความคล้ายคลึง หรือความแตกต่าง กับสิ่งที่ได้ทำนายไว้อย่างไรบ้าง โดยเป็นการอภิปรายร่วมกันระหว่างนักเรียนกับนักเรียนและนักเรียนกับครูผู้สอน จากนั้น

สรุปร่วมกันเกี่ยวกับคำตอบและสิ่งที่นักเรียนได้เรียนรู้ นอกจากนี้ครูผู้สอนจะยกตัวอย่างเพิ่มเติม ซึ่งสถานการณ์ที่ยกตัวอย่างนั้นควรจะเชื่อมโยงหรือพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน



ภาพที่ 2.3 กระบวนการในการจัดการเรียนรู้แบบ ILD

ด้วยวิธีการและขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้แบบ ILD นั้น พบว่า นักเรียนที่เรียนด้วยวิธีนี้ มีความเข้าใจในแนวคิดทางฟิสิกส์และความก้าวหน้าทางการเรียนที่เพิ่มขึ้น (Sokolff & Tornton, 1997; Wattanakasiwich P., 2013; Georgiou, H., & Sharma, M. D., 2014; Kurniawan Y. et al., 2016) เกิดการเรียนรู้อย่างมีคุณค่าส่งผลให้นักเรียนและครูมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ (Mazzolini, A. et al., 2011; Efthimiou, C. et al., 2011)

2.2 โปรแกรม Tracker

โปรแกรม Tracker เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่พัฒนาขึ้นโดย Douglas Brown สร้างจาก Open Source Physics: OSP ที่ใช้ภาษาคอมพิวเตอร์จาวา (Java) เป็นหลัก วัตถุประสงค์การใช้งานของ Tracker คือ วิเคราะห์ภาพเคลื่อนที่ไหวหรือลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุ (VDO Clip Analysis) สำหรับโปรแกรม Tracker นั้นจะทำงานร่วมกับ Quick Time ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับเปิด/เล่นไฟล์วิดีโอ โดยไฟล์วิดีโอที่สามารถใช้งานกับโปรแกรมนี้นี้จะต้องเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล .mov, .avi, .mp4, .wav และ .apeg

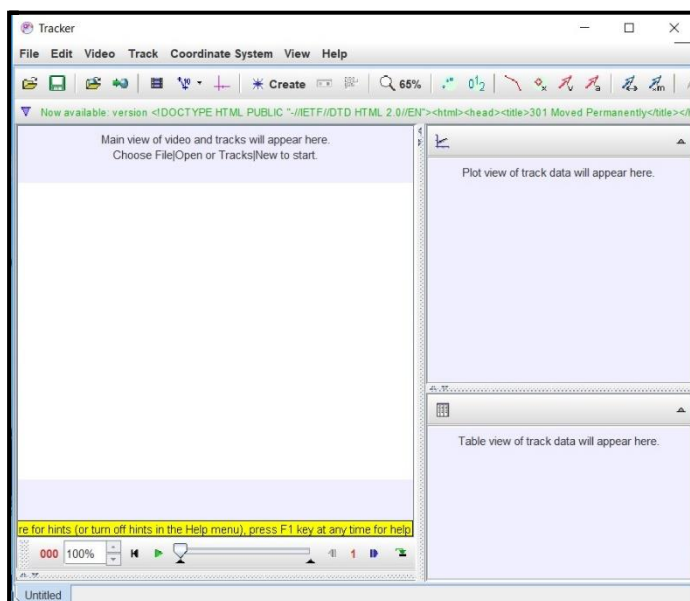
ดังนั้นการใช้งาน Tracker จะต้องดำเนินการติดตั้งโปรแกรมต่างๆ ได้แก่ 1) Java Runtime Environment (JRE) สามารถดาวน์โหลดได้จาก <http://www.java.com> 2) QuickTime สามารถดาวน์โหลดได้จาก <http://www.apple.com/quicktime/download> และ 3) Tracker สามารถดาวน์โหลดได้จาก <https://physlets.org/tracker/> ปัจจุบันเวอร์ชันล่าสุดของ Tracker คือ 5.1.4

สำหรับองค์ประกอบ หน้าที่ใช้งานและการตั้งค่าของวิดีโอที่จะวิเคราะห์ด้วยของโปรแกรม มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) เปิดโปรแกรมด้วยไอคอน

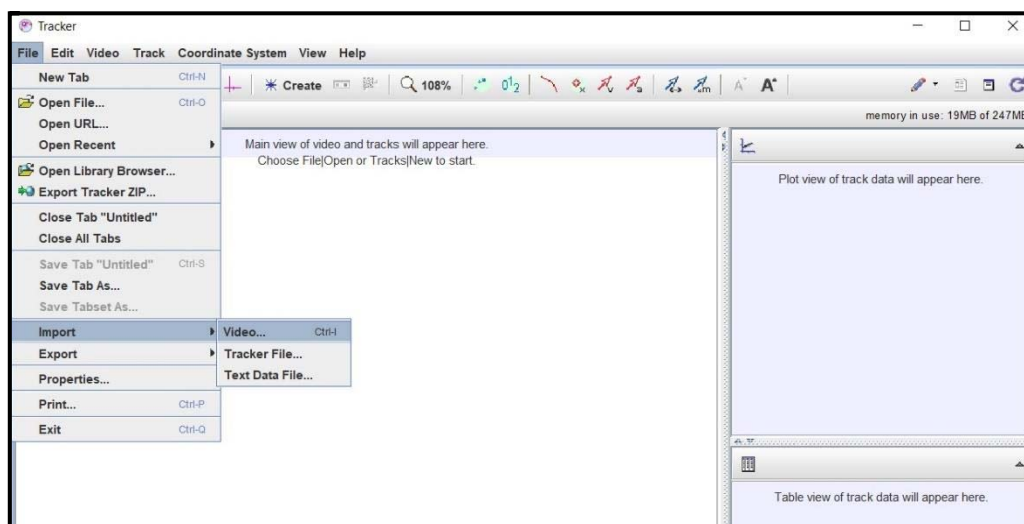


(2) เมื่อโปรแกรมถูกเปิดจะปรากฏหน้าต่างดังภาพที่ 2.4

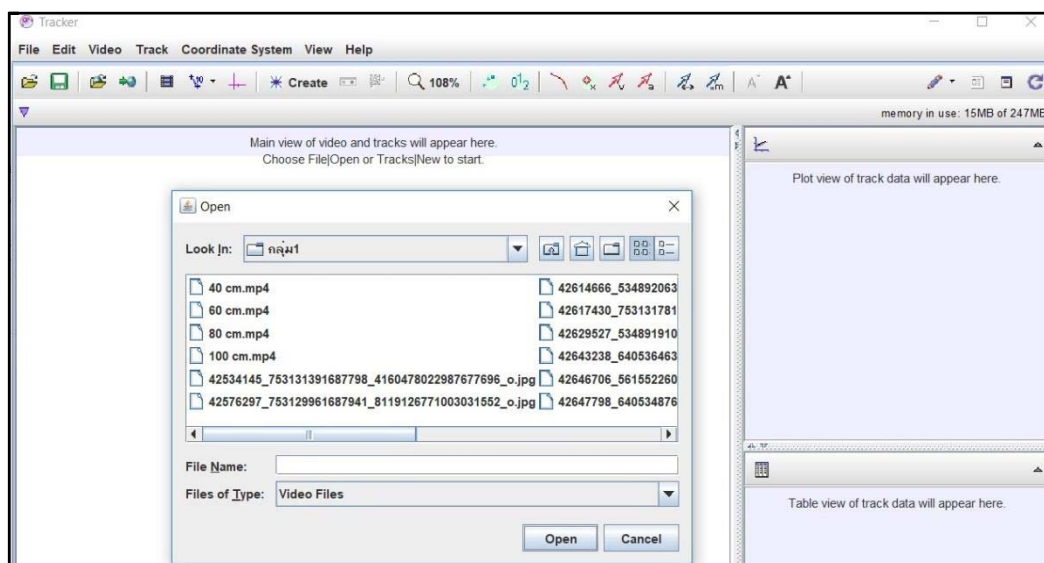


ภาพที่ 2.4 หน้าต่างของโปรแกรม Tracker

(3) เปิดไฟล์วิดีโอที่ต้องการวิเคราะห์ โดยเลือกที่ File > Import > Video แสดงดังภาพที่ 2.5 จากนั้นจะปรากฏ Folder ดังภาพที่ 2.6 ให้เลือกไฟล์ที่ต้องการวิเคราะห์ > Click Open

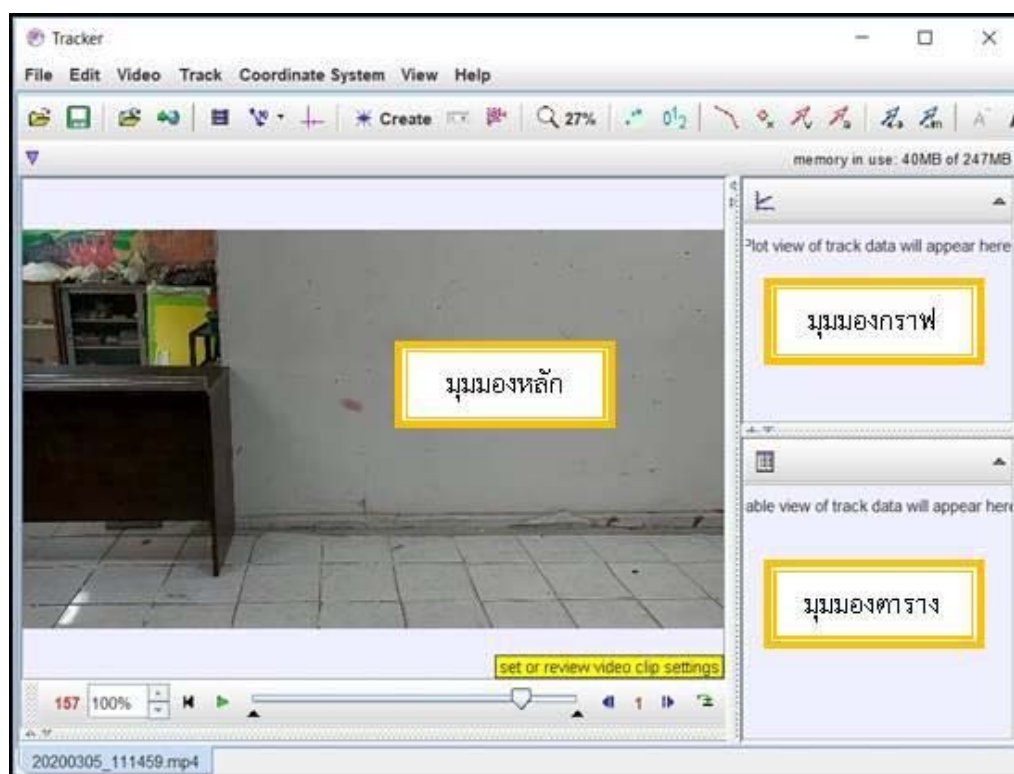


ภาพที่ 2.5 หน้าต่างแสดงขั้นตอนการ Import video file



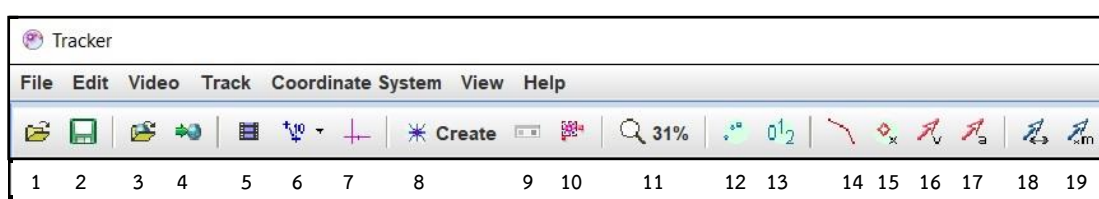
ภาพที่ 2.6 หน้าต่างแสดง Folder สำหรับเลือกไฟล์วิดีโอที่ต้องการวิเคราะห์

(4) เมื่อเลือกไฟล์วิดีโอที่ต้องการวิเคราะห์แล้วจะปรากฏหน้าต่างดังภาพที่ 2.7 ซึ่งภาพที่ 2.7 จะเป็นตัวอย่างการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกบอลไม้



ภาพที่ 2.7 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกบอลไม้

จากภาพที่ 2.7 จะแสดงส่วนประกอบแต่เครื่องมือต่าง ๆ ของโปรแกรม Tracker ได้แก่ ส่วนที่เป็นมุมมองวิดีโอหลัก ซึ่งส่วนนี้จะแสดงภาพถ่ายของวิดีโอที่มีการตามรอยการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยวางซ้อนอยู่ด้านบน video view โดยจะแสดงภาพวิดีโอที่เปลี่ยนแปลงไม่ได้ สามารถตามการเคลื่อนที่ของวัตถุ (track) โดยการสร้างเครื่องหมายและสามารถแก้ไขได้ที่ video view นี้ ในส่วนของมุมกราฟและมุมมองตารางจะเป็นการแสดงผลที่ได้มาจากการ track มุมมองตารางนั้นจะแสดงค่าที่เป็นตัวเลขเกี่ยวกับปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ นอกจากนี้ยังมีแถบเครื่องมือที่จำเป็นต้องใช้ซึ่งปรากฏอยู่ด้านบนดังภาพที่ 2.8 และด้านล่างของมุมมองหลักดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.8 แถบเครื่องมือด้านบนมุมมองหลัก

แถบเครื่องมือด้านบนจากภาพที่ 2.8 ประกอบไปด้วยปุ่มต่าง ๆ ตามหมายเลข ดังนี้

- (1) เปิด (open) สำหรับเปิดไฟล์วิดีโอการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือไฟล์ที่ต้องการจะ tracker
- (2) บันทึก (save) สำหรับบันทึกไฟล์วิดีโอปัจจุบันที่ tracker
- (3) Open the OSP Digital Library Browser
- (4) Export a ZIP resource for the OSP Digital Library Browser
- (5) ตั้งค่าคลิปวิดีโอสำหรับช่วงที่ต้องการ track (video clip setting / frame setting)
- (6) เทปวัด (Tape Measure) แสดงและซ่อนเทปวัด
- (7) แกน (Axes) แสดงและซ่อนแกนอ้างอิง
- (8) Create คือ การสร้างหรือ track รอยใหม่
- (9) Track Control คือปุ่มสำหรับควบคุมการตามรอย
- (10) Auto tracker คือปุ่มสำหรับแสดงหรือซ่อน
- (11) Zoom คือปุ่มสำหรับย่อหรือขยายคลิปวิดีโอ
- (12) Trail คือ ปุ่มแสดงร่องรอยการเคลื่อนที่ของวัตถุ
- (13) Labels คือ ปุ่มเครื่องหมายใช้แสดงและซ่อนเครื่องหมาย
- (14) Path ปุ่มสำหรับใช้แสดงเส้นทางหรือซ่อนเส้นทางของการเคลื่อนที่
- (15) Positions ปุ่มสำหรับแสดงหรือซ่อนตำแหน่งของจุดของมวล
- (16) Velocities คือ ปุ่มสำหรับใช้ในการแสดงหรือซ่อนเวกเตอร์ความเร็วของจุดมวล

- (17) Accelerations คือ ปุ่มสำหรับใช้แสดงหรือซ่อนเวกเตอร์ความเร่งของจุดมวล
- (18) ยืด (Stretch) ทำการยืดเวกเตอร์ต่าง ๆ
- (19) พลศาสตร์ (Dynamics) ทำการคูณเวกเตอร์การเคลื่อนที่ด้วยมวล



ภาพที่ 2.9 แถบเครื่องมือด้านล่างมุมมองหลัก

แถบเครื่องมือด้านล่างจากภาพที่ 2.9 ประกอบไปด้วยปุ่มต่าง ๆ ตามหมายเลข ดังนี้

- (1) ลำดับเฟรม ใช้ลำดับของเฟรมขณะที่วัตถุกำลังเคลื่อนที่
- (2) ขนาดวิดีโอคลิปที่ Track
- (3) ปุ่มตั้งค่าให้อยู่ในตำแหน่งเริ่มต้นใหม่ (Reset to step zero)
- (4) ปุ่มเล่นวิดีโอ
- (5) แถบเลื่อนเฟรม (Drag slider to scan the video)
- (6) ปุ่มย้อนกลับ (step back)
- (7) จำนวนเฟรมที่จะย้อนกลับหลังหรือไปข้างหน้า (Step size)
- (8) ปุ่มเลื่อนไปข้างหน้า (step forward)
- (9) เล่นวนซ้ำ (Looping)

(5) การตั้งค่าคลิปวิดีโอที่ต้องการ Track เมื่อเปิดไฟล์คลิปวิดีโอขึ้นมาในโปรแกรม โปรแกรมจะเริ่มเล่นภาพที่เฟรม 000 เสมอ ถ้าหากไม่ต้องการ track เฟรมลำดับที่ 000 สามารถตั้งค่าเฟรมตามที่ต้องการได้โดยไปเลือกปุ่มกำหนดเฟรม (หมายเลข 1) จะปรากฏตารางกำหนดเฟรม (หมายเลข 2) แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 2.10 จากภาพที่ 2.10 ในส่วนของการกำหนดเฟรม (clip setting) นั้นสามารถอธิบายเกี่ยวกับข้อมูลที่จะใส่ได้ดังนี้

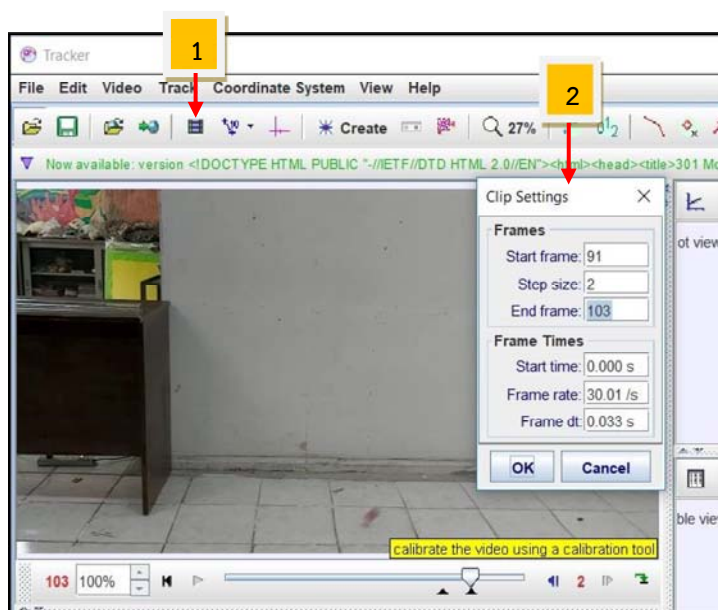
(5.1) Start frame and End frame คือ เฟรมเริ่มต้นและเฟรมสุดท้ายที่จะวิเคราะห์ หรือ track

(5.2) Step size คือ การเลื่อนลำดับเฟรม สำหรับการวิเคราะห์แต่ละครั้งจะมีการลำดับเฟรมตามที่กำหนด เช่น จากตัวอย่างในรูปที่ 2.10 จะเลื่อนลำดับครั้งละ 2 เริ่มต้นวิเคราะห์เฟรมที่ 91 ลำดับต่อไปคือ 93, 95,103 ตามลำดับ

(5.3) Start time คือ การกำหนดเวลาเริ่มต้นที่ใช้วิเคราะห์

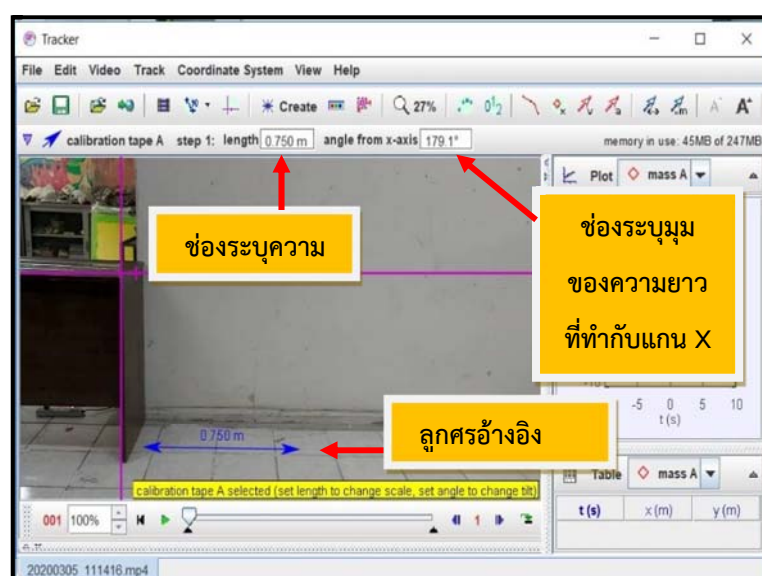
(5.4) Frame rate คือ อัตราเร็วของวิดีโอที่ใช้วิเคราะห์ ซึ่งค่าตั้งต้นของโปรแกรมคือ 30 fps

(5.5) Frame dt (s) คือ การกำหนดค่าระยะห่างของเวลาที่เลื่อนไปแต่ละ step size เช่น ในตัวอย่างภาพที่ 2.10 ภาพ 1 เฟรมจะใช้เวลา 0.0033 วินาที ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนเฟรมทีละสอง ช่วงเวลาจึงเป็น $2 \times 0.0033 = 0.0066$ วินาที



ภาพที่ 2.10 การตั้งค่าคลิปวิดีโอที่ต้องการ Track

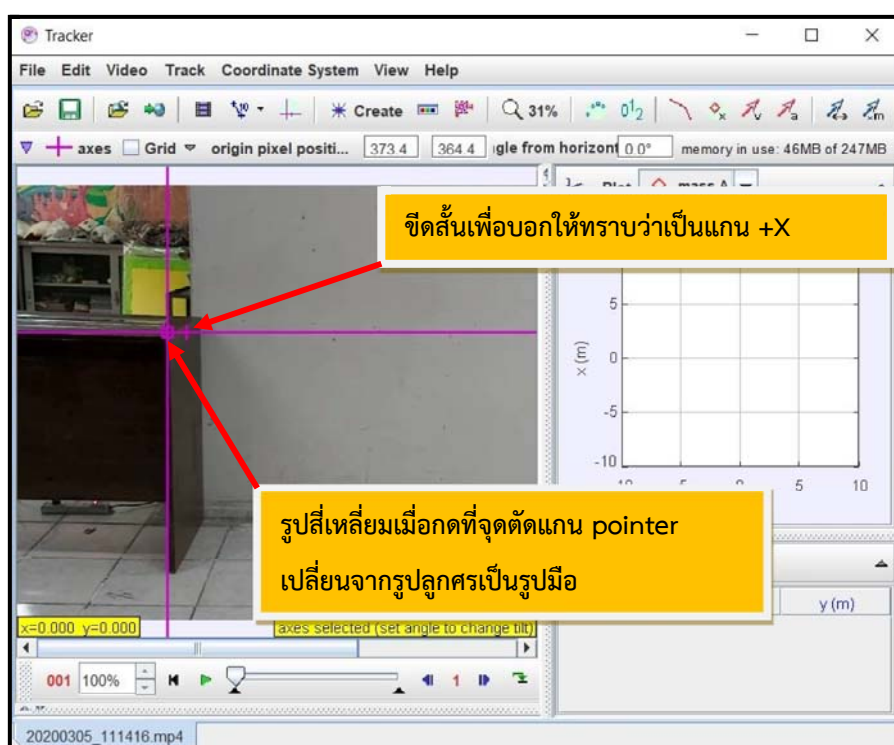
(6) การกำหนดความยาวอ้างอิง ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 การกำหนดค่าความยาวอ้างอิง

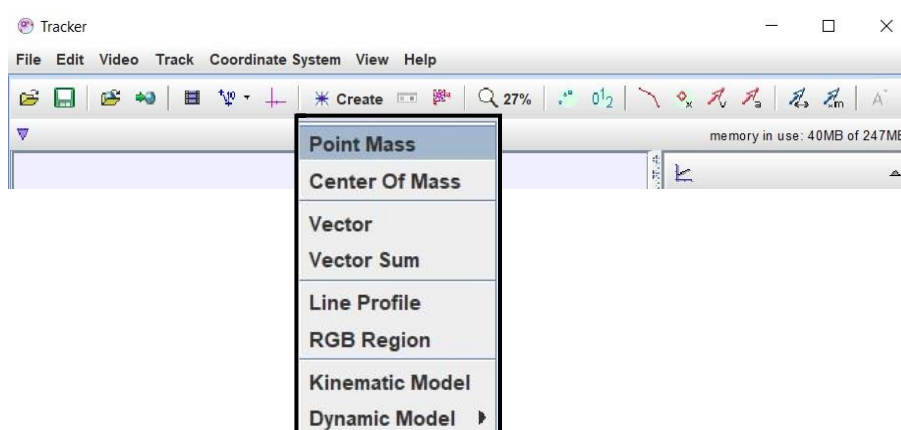
ก่อนการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุนั้น จำเป็นต้องกำหนดความยาวอ้างอิงเพื่อใช้ในการวัดระยะ โดยเริ่มจากเลือก tack > tape > visible ซึ่งจะปรากฏสัญลักษณ์ลูกศรหัวท้ายสีน้ำเงิน พร้อมช่องระบุตัวเลขความยาว หรืออาจจะกดที่สัญลักษณ์  ถ้ากดเลือกที่หัวลูกศรด้านใด ด้านหนึ่งจะเป็นการหมุนลูกศรให้ทำมุม θ ใด ๆ กับแนวแกนระดับ (X) สำหรับตำแหน่งของลูกศรนั้น สามารถเลื่อนได้โดยการกดลูกศรแล้วลากไปวางในตำแหน่งที่ต้องการวัดความยาว หากต้องการระบุความยาวก็สามารถเปลี่ยนได้ที่ช่อง scaled length โดยระบุหน่วยเป็นเมตร หากต้องการเปลี่ยนหรือกำหนดมุมให้ใส่ที่ช่อง angle from x-axis โดยมุมที่เปลี่ยนหรือใส่ไปนั้นจะมีดีกรีเป็นองศาเทียบกับแนวระดับ (แนวแกน X)

(7) การกำหนดแกนพิกัดและจุดกำเนิด ก่อนจะทำการวิเคราะห์ทุกครั้งมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการอ้างอิงตำแหน่งของวัตถุที่จะทำการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงต้องทำการกำหนดพิกัด และจุดกำเนิดตามขั้นตอนดังนี้ เลือก tracks > axis > visible หรือกดปุ่มสัญลักษณ์  จากนั้นจะปรากฏเส้นตั้งฉาก ดังภาพที่ 2.12 คือ เส้นสีม่วง โดยเส้นตรงในแนวนอนจะมีเส้นขีดสั้นหนึ่งเส้น ซึ่งเป็นสัญลักษณ์บอกให้ทราบว่าแกน +X ถ้าไป click เลือกบริเวณที่เส้นตรงตัดกันหรือจุดตัดของเส้นตรงจะปรากฏรูปสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ ขึ้นมาซึ่งจะทำให้สามารถย้ายแกนไปยังตำแหน่งที่ต้องการให้เป็นจุดกำเนิด ดังภาพที่ 2.12

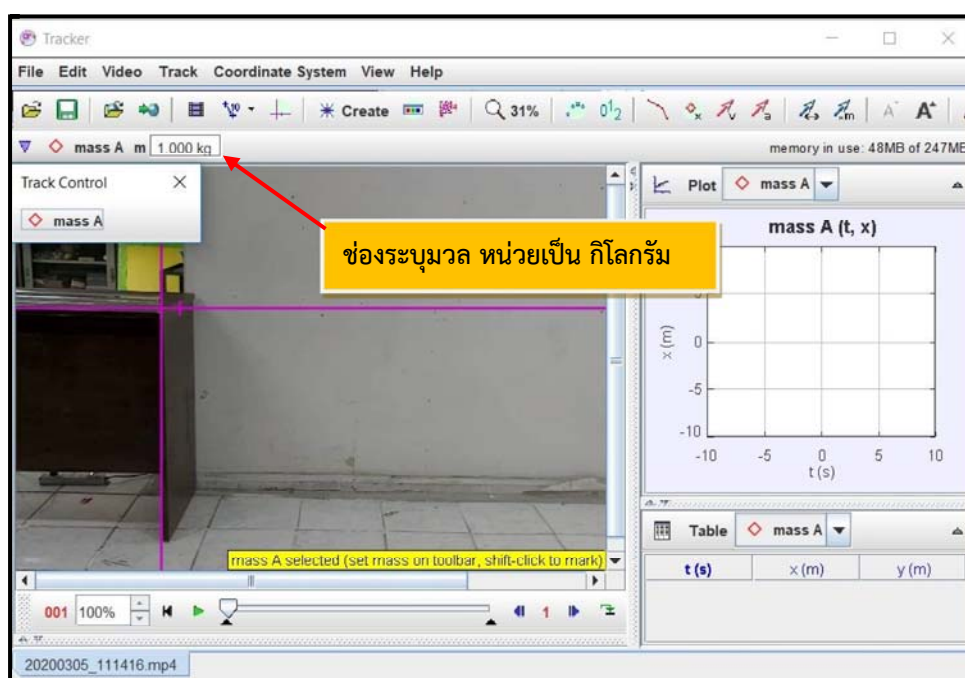


ภาพที่ 2.12 การสร้างแกนอ้างอิง

(8) การระบุตำแหน่งของวัตถุ สำหรับการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุหรือการ tracker นั้น เป็นการพิจารณาตำแหน่งต่าง ๆ ขณะที่วัตถุเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงต้องทำการระบุตำแหน่งในแต่ละเฟรมของวัตถุ การระบุตำแหน่งให้กดปุ่มที่มีสัญลักษณ์  จากนั้นเลือก Point Mass ซึ่งเป็นการพิจารณาวัตถุที่มีมวลให้เป็นจุด ดังภาพที่ 2.13 และปรากฏปุ่ม Mass A โดยที่แถบเครื่องมือจะมีช่องให้ระบุค่ามวลมีหน่วยเป็นกิโลกรัม ดังภาพที่ 2.14

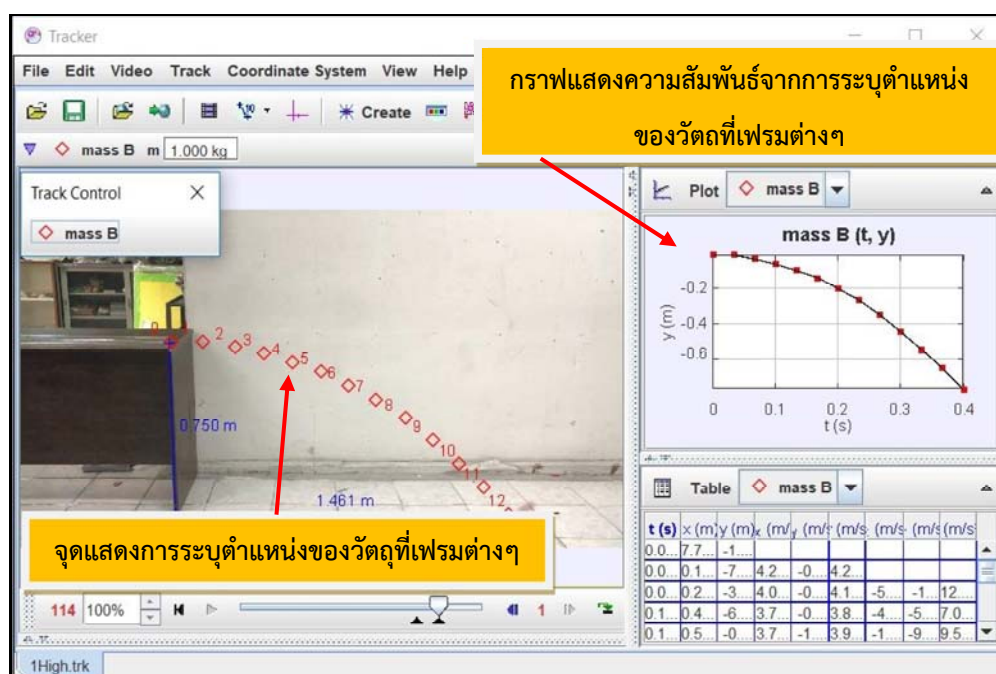


ภาพที่ 2.13 การสร้างรอยตามวัตถุ



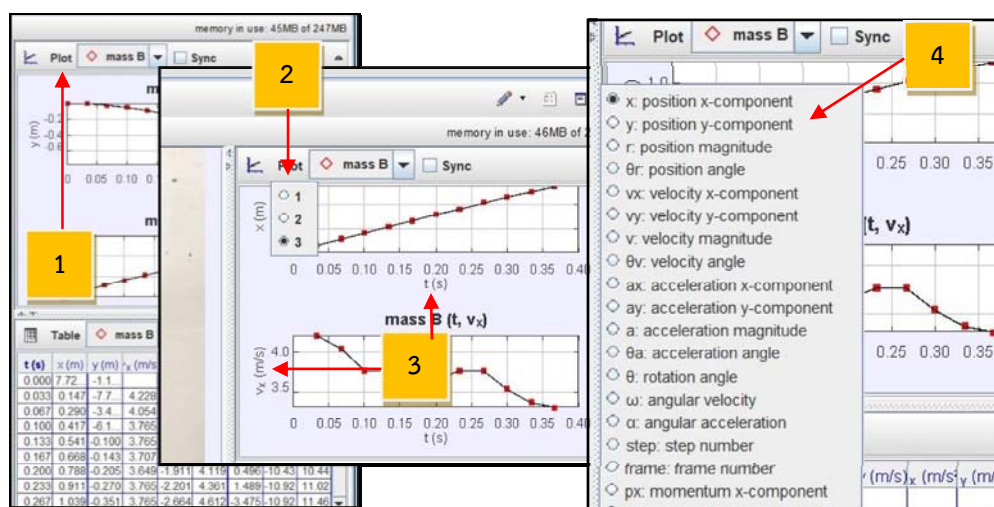
ภาพที่ 2.14 การเพิ่มค่ามวลของวัตถุ

ในการระบุตำแหน่งของวัตถุสามารถเอาแกนที่ใช้ระบุพิกัดและลูกศรระบุความยาวออกก่อนได้โดยการกดปุ่มเหล่านั้นอีกครั้ง ทั้งนี้เพื่อความสะดวกของการกหนดตำแหน่ง สำหรับการกำหนดหรือระบุตำแหน่งของวัตถุทำได้โดยกดคีย์ shift ค้างไว้ตรงตำแหน่งของวัตถุ สังเกตได้จาก point จะเปลี่ยนเป็นรูปสี่เหลี่ยมที่มีเครื่องหมาย + ตรงกลาง เมื่อกดเลือกตำแหน่งแรกแล้ว วัตถุจะเลื่อนไปอยู่ตำแหน่งใหม่ในเฟรมถัดไปโดยอัตโนมัติและจะปรากฏจุดเพื่อให้สามารถเห็นแนวการเคลื่อนที่ของวัตถุตลอดการกหนดตำแหน่ง นอกจากนี้การระบุตำแหน่งจะแสดงผลในรูปแบบของกราฟซึ่งจะแสดงให้เห็นอยู่ทางขวามือ ดังภาพที่ 2.15 จากภาพเป็นตัวอย่างกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ของระยะในแนวแกน y (m) กับเวลา t (s)



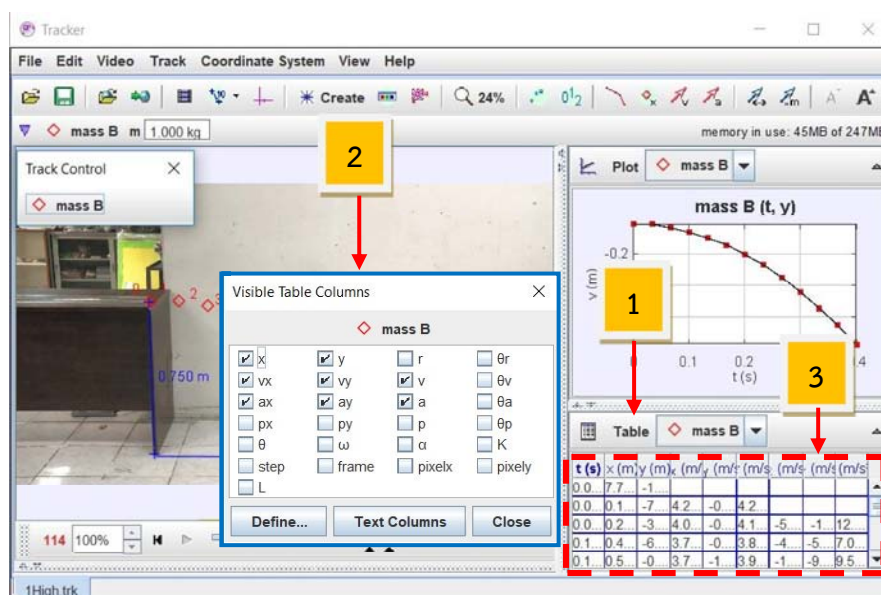
ภาพที่ 2.15 การระบุตำแหน่งและกราฟการเคลื่อนที่ของวัตถุ

สำหรับการแสดงค่าด้วยกราฟนั้นสามารถแสดงให้เห็นได้ทั้งสิ้น 3 กราฟด้วยกัน ถ้าต้องการแสดงกราฟมากกว่า 1 กราฟ ให้ Click > Plot (หมายเลข 1) และจะปรากฏช่องให้เลือกจำนวนกราฟ (หมายเลข 2) และสามารถเปลี่ยนค่าตัวแปรของแต่ละแกน (หมายเลข 3) ได้โดยการเลือกกดตัวแปรที่ต้องการจะเปลี่ยนจากนั้นจะขึ้นหน้าจอแสดงดังหมายเลข 4 ดังภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 การกำหนดจำนวนกราฟและการเปลี่ยนค่าในแนวนอน x และ แกน y

นอกจากนี้การระบุตำแหน่งของวัตถุยังสามารถวิเคราะห์ปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุได้อีกด้วย ดังตัวอย่างในภาพที่ 2.17 ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากการ Click > Table (หมายเลข 1) จากนั้นจะแสดงหน้าต่าง Visible Table Columns (หมายเลข 2) ให้ทำการเลือกปริมาณที่ต้องการวิเคราะห์ หลังจากเลือกปริมาณแล้วผลการวิเคราะห์จะปรากฏดังหมายเลข 3



ภาพที่ 2.17 การวิเคราะห์ปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ

2.3 แบบสังเกต COPUS

แบบสังเกต The Classroom Observation Protocol for Undergraduate STEM (COPUS) พัฒนาขึ้นในปี 2013 โดย Michelle K. Smith และคณะ เป็นแบบสังเกตที่ใช้สังเกตพฤติกรรมของนักเรียนและครูผู้สอนในชั้นเรียนขณะจัดการเรียนรู้ แบบสังเกตนี้ถูกนำมาใช้ในชั้นเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ โดยวัตถุประสงค์หลักของการสร้างแบบสังเกตนี้ คือ 1) เพื่อใช้อธิบายเกี่ยวกับลักษณะทั่วไปของการสอน 2) เพื่อให้ข้อเสนอแนะหรือข้อมูลแก่ครูผู้สอนเกี่ยวกับการสอนหรือวิธีการจัดการเรียนรู้สำหรับนักเรียน 3) เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาวิชาชีพ (Michelle K. Smith et al., 2013)

ลักษณะของพฤติกรรมในแบบสังเกต COPUS แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ส่วนที่ 1 เป็นลักษณะหรือพฤติกรรมของนักเรียนที่จะแสดงออกมาให้เห็นในช่วงเวลาของการจัดการเรียนรู้ ซึ่งในส่วนนี้จะมีรหัส (Code) ของพฤติกรรมต่าง ๆ อยู่ทั้งหมด 13 รหัส ส่วนที่ 2 เป็นลักษณะ หรือพฤติกรรมของครูผู้สอนที่จะแสดงออกมาขณะจัดการเรียนรู้ สำหรับรหัส (Code) ของครูผู้สอนนั้นมีอยู่ทั้งหมด 12 รหัส ดังนั้น รหัสสังเกตพฤติกรรมของแบบสังเกตนี้จะมีทั้งสิ้น 25 รหัส ซึ่งแต่ละรหัสจะมีคำอธิบายถึงพฤติกรรมที่สามารถสังเกตได้ ดังตารางที่ 2.2 และ 2.3

ตารางที่ 2.2 รหัส (Code) และคำอธิบายของแบบสังเกต COPUS ของนักเรียน

รหัส	คำอธิบายของแบบสังเกต COPUS ของนักเรียน
L	ฟังอาจารย์ผู้สอน/จดบันทึก ฯลฯ
Ind	ความคิดส่วนบุคคล/การแก้ปัญหาเฉพาะบุคคล (ทำเครื่องหมายเฉพาะเมื่อผู้สอนขอให้เด็กเรียนคิดเกี่ยวกับคำถามเท่านั้น/แก้ปัญหาอื่นด้วยตนเอง)
CG	อภิปรายคำถามภายในกลุ่ม (นักเรียนตั้งแต่ 2 คนขึ้นไป ร่วมอภิปราย)
WG	ทำงานเป็นกลุ่มด้วยใบกิจกรรม
OG	ทำกิจกรรมกลุ่มที่มอบหมายอื่น ๆ เช่นตอบคำถามของผู้สอน
AnQ	นักเรียนกำลังตอบคำถามของอาจารย์ผู้สอนหลังจากที่ได้ฟังคำถาม
SQ	นักเรียนถามคำถาม
WC	มีส่วนร่วมในการอภิปรายทั้งชั้นเรียน โดยผู้สอนเสนอคำอธิบาย ความคิดเห็นและอื่น ๆ ให้กับชั้นเรียน
Prd	การคาดการณ์เกี่ยวกับผลลัพธ์ของการสาธิตหรือการทดสอบ
SP	การนำเสนอโดยนักเรียน
TQ	ทดสอบหรือตอบคำถาม
W	กำลังรอ (ผู้สอนดำเนินกิจกรรมช้า/แก้ไขปัญหาเกี่ยวกับอุปกรณ์/ผู้สอนไม่ว่าง ฯลฯ)
O	อื่น ๆ

ตารางที่ 2.3 รหัส (Code) และคำอธิบายของแบบสังเกต COPUS ของครูผู้สอน

รหัส	คำอธิบายของแบบสังเกต COPUS ของครูผู้สอน
Lec	การบรรยาย (นำเสนอเนื้อหาหรือผลลัพธ์ทางคณิตศาสตร์ นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ฯลฯ)
RtW	เขียนบนกระดานหรือโปรเจคเตอร์ ในขณะที่สอน ฯลฯ
FUp	ติดตาม/ให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับคำถามหรือกิจกรรมเพื่อทั้งชั้นเรียน
PQ	การวางคำถามที่ไม่ใช่ คำถาม Clicker ให้กับนักเรียน (ไม่ใช่คำถามเชิงพรรณนา)
CQ	การถามคำถาม Clicker (ทำเครื่องหมายตลอดเวลาที่ผู้สอนใช้คำถาม Clicker ไม่ใช่เฉพาะตอนที่ถามครั้งแรก)
AnQ	การฟังและการตอบคำถามนักเรียนด้วยการฟังทั้งชั้นเรียน
MG	การเคลื่อนย้ายในชั้นเรียน เพื่อชี้้นำการทำงานของนักเรียนอย่างต่อเนื่อง เป็นการเรียนรู้เชิงรุก
1o1	การสนทนาแบบตัวต่อตัวกับบุคคลหนึ่งหรือสองสามคนโดยไม่ให้ความสนใจกับส่วนที่เหลือของชั้นเรียน (สามารถทำพร้อมกับ MG หรือ AnQ)
D/V	แสดงหรือดำเนินการสาธิตทดลองจำลองวิดีโอหรือภาพเคลื่อนไหว
Adm	การบริหาร/การจัดการ (มอบหมายการบ้าน แบบฝึกหัด ฯลฯ)
W	ผู้สอนรอโอกาส สำหรับที่จะมีปฏิสัมพันธ์หรือสังเกต/ฟังกิจกรรมนักเรียนหรือกลุ่มและผู้สอนไม่ทำเช่นนั้น
O	อื่น ๆ (เขียนอธิบายในช่องความคิดเห็น)

รหัสที่บ่งบอกถึงพฤติกรรมของนักเรียนและครูผู้สอนทั้ง 25 รหัสนี้ จะอยู่ในแบบสังเกต COPUS ดังตัวอย่างภาพที่ 2.18 จากภาพที่ 2.18 เป็นตัวอย่างของแบบสังเกต COPUS แสดงให้เห็นองค์ประกอบ

เวลา (นาที)	1. พฤติกรรมนักเรียน														2. พฤติกรรมครูผู้สอน														ข้อเสนอแนะ
	L	Ind	CG	WG	OG	AnQ	SQ	WC	Prd	SP	TQ	W	O	Lec	RtW	FUp	PQ	CQ	AnQ	MG	1o1	D/V	Adm	W	O				
0-2																													
2-4																													
4-6																													
6-8																													

ภาพที่ 2.18 แบบสังเกตพฤติกรรม (COPUS)

3 องค์ประกอบ คือ 1) เวลา ในส่วนของเวลาที่ใช้สำหรับการสังเกตนั้นจะใช้ในหน่วยนาที เวลาสำหรับการบันทึกพฤติกรรมที่แสดงออกมาจะถูกแบ่งช่วงออกเป็นทุก ๆ 2 นาที โดยระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ใน

การสังเกตแต่ละครั้งขึ้นอยู่กับจำนวนเวลาของการจัดการเรียนรู้ในครั้งนั้น ๆ 2) รหัสพฤติกรรมของนักเรียนและของครูผู้สอน จำนวน 25 รหัส และ 3) ข้อเสนอแนะ/สิ่งที่เห็นเพิ่มเติม สำหรับข้อนี้จะถูกบันทึกเมื่อผู้สังเกตได้สังเกตเห็นพฤติกรรมที่ไม่ตรงตามรหัสที่กำหนดไว้ จะเรียกพฤติกรรมเหล่านั้นว่า “พฤติกรรมอื่น ๆ” ซึ่งถ้าผู้สังเกตเห็น “พฤติกรรมอื่น ๆ” จะต้องบันทึกลงในรหัส “o” พร้อมทั้งเขียนสิ่งที่สังเกตเห็นในช่องเสนอแนะ สำหรับแบบสังเกต COPUS 1 แผ่น ที่ใช้จริงจะแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 25 ช่วง ช่วงละ 2 นาที รวมเวลาในการสังเกตชั้นเรียนต่อการจัดการเรียนรู้ใน 1 คาบเรียน เท่ากับ 50 นาที

การใช้แบบสังเกต COPUS สำหรับการสังเกตชั้นเรียนนั้นจะต้องใช้ผู้สังเกตจำนวน 2 คน เพื่อทำการบันทึกข้อมูล (ใส่เครื่องหมายถูกในแบบสังเกต) ก่อนจะเริ่มการสังเกตครูผู้สอนจะต้องอธิบายเกี่ยวกับจุดประสงค์ กระบวนการเรียนรู้ และเวลาที่ใช้สำหรับการจัดการเรียนรู้ นอกจากนี้จะต้องอธิบายความหมายและสัญลักษณ์ของรหัส (Code) ทุกรหัส เพื่อให้ผู้สังเกตและครูผู้สอนเข้าใจตรงกัน ผู้สังเกตจะต้องสังเกตตั้งแต่เริ่มการจัดการเรียนรู้จนถึงสิ้นสุดกระบวนการจัดการเรียนรู้ โดยผู้สังเกตทั้งสองคนควรจะอยู่คนละตำแหน่งกัน เช่น คนที่ 1 ยืนบริเวณส่วนด้านของหน้าชั้นเรียน คนที่ 2 ยืนบริเวณส่วนด้านหลังของชั้นเรียน ทั้งสองตำแหน่งของการยืนจะต้องสามารถเห็นนักเรียนและครูผู้สอนได้อย่างชัดเจน แต่อย่างไรก็ตามสำหรับตำแหน่งของการยืนนั้นสามารถปรับเปลี่ยนได้ตลอดเวลาตามความเหมาะสมแต่สิ่งสำคัญผู้สังเกตจะต้องไม่เข้าไปมีส่วนร่วมหรือให้ข้อเสนอแนะขณะจัดการเรียนรู้

ในส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสังเกต COPUS นั้น สามารถแบ่งการวิเคราะห์ได้เป็น 2 กรณี คือ 1) วิเคราะห์เพื่อดูค่าความถี่ของแต่ละพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในการจัดการเรียนการสอน โดยค่าที่ได้จะคิดเป็นร้อยละ สำหรับวิธีคิด พิจารณาจากข้อมูลของผู้สังเกตทั้งสองคน ดังนี้

$$\text{ร้อยละความถี่ของพฤติกรรม} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผู้สังเกตทั้งสองคนเห็นเหมือนกัน}}{\text{จำนวนช่วงเวลาทั้งหมด}} \times 100$$

$$\text{หรือ} \quad \%B = \frac{N_o}{N_p} \times 100 \quad (2.1)$$

ตัวอย่างเช่น หากผู้สังเกตทั้งสองคนทำเครื่องหมายว่า “ผู้สอน: แสดงหรือดำเนินการสาธิตทดลองจำลองวิธีโอหรือภาพเคลื่อนไหว (D/V)” ในช่วงเวลาเดียวกัน 13 ครั้ง (N_o) ในคาบเรียน 50 นาที โดยแบ่งช่วงเวลาออกเป็นช่วงละ 2 นาที จะได้จำนวนช่วงเวลาทั้งหมด (N_p) เท่ากับ 25 ช่วง จะได้ว่า

$$\%B = \frac{N_o}{N_p} \times 100$$

$$%B = \frac{13}{25} \times 100$$

$$%B = 52$$

ดังนั้น สรุปได้ว่าในระยะเวลาเรียน 50 นาที “ผู้สอน: แสดงหรือดำเนินการสาธิตทดลองจำลองวิดีโอ หรือภาพเคลื่อนไหว (D/V)” คิดเป็นร้อยละ 52 ของจำนวนช่วงเวลาทั้งหมด 2) วิเคราะห์เพื่อดู พฤติกรรมทั้งหมดที่เกิดขึ้นในตลอดช่วงเวลาของการจัดการเรียนรู้ สามารถพิจารณาได้จาก

$$\% \text{ของพฤติกรรมแต่ละรหัส} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผู้สังเกตทั้งสองคนเห็นเหมือนกัน}}{\text{จำนวนความถี่ของพฤติกรรมทุกรหัสที่เห็นเหมือนกัน}} \times 100$$

$$\%B_i = \frac{N_o}{N_t} \times 100 \quad (2.2)$$

2.4 ความคงทนของความรู้ (Retention)

ความคงทนของความรู้เป็นความสามารถของการคงไว้ซึ่งความรู้ โดยจะระลึกถึงสิ่งที่เรียนรู้ได้ หลังจากที่ผ่านมาการเรียนรู้อย่างมาแล้วในช่วงระยะเวลาหนึ่ง สำหรับความคงทนของความรู้จะมีความสัมพันธ์กับระบบของความจำ เนื่องจากเป็นพฤติกรรมภายในที่เกิดขึ้นจากการจัดกระทำ ข้อมูลของสมอง สำหรับระบบความจำของมนุษย์แบ่งออกเป็น 3 หน่วยความจำ (Atkinson and Shiffrin, 1968) ดังนี้

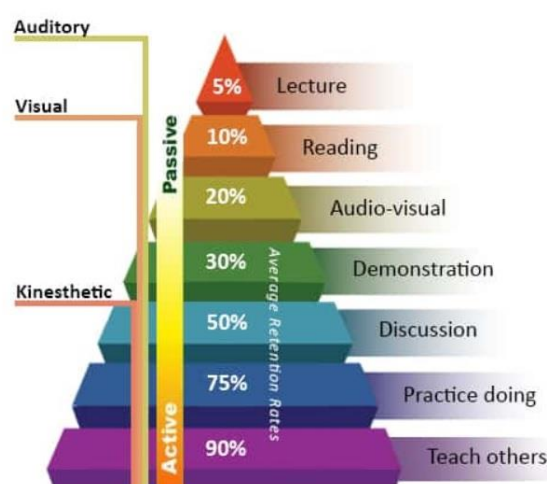
2.4.1 หน่วยความจำที่ประสาทสัมผัส (sensory memory) เป็นหน่วยความจำที่เก็บข้อมูล จากประสาทสัมผัสทั้งห้า หน่วยความจำนี้มีระยะเวลาในการจำสั้นมาก ๆ

2.4.2 หน่วยความจำระยะสั้น (short – term memory) เป็นความจำชั่วคราว มีระยะเวลา ในการจำนานกว่าความจำที่ประสาทสัมผัส ข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำนี้หากได้รับการทบทวน ตลอดเวลาจะสามารถป้องกันไม่ให้ความจำสลายตัวได้และถ้าหากข้อมูลอยู่ในหน่วยความจำนี้เป็น เวลานานจะมีโอกาสฝังตัวกลายเป็นความจำระยะยาวซึ่งช่วงระยะเวลาที่จะสามารถฝังตัวกลายเป็น ความจำระยะยาวนั้นประมาณ 14 วัน หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าความคงทนในการจำ

2.4.3 หน่วยความจำระยะยาว (long – term memory) เป็นหน่วยความจำที่เกิดจาก การทบทวน (rehearsal) ข้อมูลของหน่วยความจำระยะสั้นอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ข้อมูลเข้าสู่ กระบวนการฝังตัว กลายเป็นความจำระยะยาว สำหรับหน่วยความจำนี้สามารถเก็บข้อมูลได้ในปริมาณ มากรวมไปถึงมีระยะเวลาในการจดจำไม่จำกัด

นอกจากนี้ยังมีขั้นตอนการเรียนรู้ที่สามารถส่งผลต่อความคงทนของความรู้และทำให้การเรียนรู้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งหมด 8 ขั้นตอน Gravibinger (2006) ได้แก่ 1) การกระตุ้นความสนใจ และชักจูงให้ผู้เรียนอยากรู้ 2) การให้ข้อมูลแก่ผู้เรียนเกี่ยวกับจุดประสงค์การเรียนรู้ 3) กระตุ้นให้ผู้เรียนระลึกสิ่งที่ได้เรียนรู้มาแล้ว 4) การนำเสนอบทเรียนที่เร้าความสนใจ 5) การจัดหาสื่อหรือตัวชี้้นำการเรียนรู้แก่ผู้เรียน 6) การกระตุ้นหรือก่อให้เกิดการปฏิบัติแก่ผู้เรียน 7) การแสดงผลย้อนกลับเกี่ยวกับการปฏิบัติของผู้เรียน 8) การประเมินเกี่ยวกับปฏิบัติของผู้เรียน

จากขั้นตอนการเรียนรู้สามารถนำมาพิจารณาร่วมกับวิธีการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมให้เกิดความคงทนของความรู้ ซึ่งวิธีของการเรียนรู้แต่ละวิธีก็จะส่งผลให้เกิดความคงทนที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 พีระมิดการเรียนรู้ ร้อยละของการจดจำได้ของความรู้ที่ได้รับโดยวิธีต่าง ๆ

ที่มา: ดัดแปลงจาก Nation Learning Laboratories, Bethel, Maine, U.S.A. (1969)

จากภาพที่ 2.19 เป็นลักษณะของการเรียนรู้แบบต่าง ๆ ซึ่งอยู่ในรูปแบบที่เรียกว่า พีระมิดการเรียนรู้ โดยจะแสดงข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของการเรียนรู้ ลักษณะที่เป็นแบบ Passive - Active Learning ความสัมพันธ์ของลักษณะการเรียนรู้ที่เกี่ยวกับการฟัง การมองและการใช้ท่าทางหรือการเคลื่อนไหวร่างกาย รวมไปถึงแสดงข้อมูลเกี่ยวกับความคงทนของความรู้จากการจัดการเรียนรู้ด้วยลักษณะต่าง ๆ ซึ่งสามารถพิจารณาได้ ดังนี้ การเรียนรู้ที่เกิดจากการบรรยาย (Lecture) จะมีความคงทนร้อยละ 5 เกิดจากการอ่าน (Reading) ร้อยละ 10 เกิดจากการเห็นและการได้ยิน (Audiovisual) ร้อยละ 20 เกิดจากการสาธิตให้ดู (Demonstration) ร้อยละ 30 เกิดจากการอภิปราย (Discussion) ร้อยละ 50 เกิดจากการเรียนแบบลงมือทำหรือฝึกปฏิบัติ (Practice doing) ร้อยละ 75 และจะความคงทนของความรู้ถึงร้อยละ 90 ถ้าหากว่าได้สอนผู้อื่นหรือได้นำความรู้ไปใช้ทันที (Teach other and immediate use) ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าการจัดการเรียนรู้ที่ดีควรจะให้แก่นักเรียนได้แสดง

บทบาทของตนเองอย่างเต็มศักยภาพ จัดการเรียนรู้ด้วยการลงมือปฏิบัติจริงเพื่อที่จะได้เกิดการอภิปรายหรืออาจจะได้มีโอกาสในการสอนเพื่อนนักเรียนด้วยตนเอง ส่วนบทบาทของครูผู้สอนคือช่วยสนับสนุน ส่งเสริมหรือกระตุ้น พร้อมทั้งอำนวยความสะดวกให้แก่นักเรียน ซึ่งจะส่งผลให้ความรู้ของนักเรียนเกิดความคงทน ดังคำกล่าวที่ว่า “Teach less, Learn more” หรือสอนน้อยเรียนรู้มาก (อุดม ทิพราช, 2552)

2.5 การประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย (Normalized gain)

Normalized gain เป็นการประเมินผลการเรียนรู้ คำว่า normalized มาจากคำศัพท์ทางควอนตัมฟิสิกส์ หมายถึง การทำให้มีโอกาสความเป็นไปได้เท่า ๆ กัน ซึ่งค่าที่เป็นไปได้สูงสุดจะเท่ากับ 1 วิธีการประเมินนี้คิดค้นโดย Richard R. Hake นักฟิสิกส์แห่ง University of Indiana (Hake, 1998) นิยมใช้กันมากในกลุ่มวิจัยฟิสิกส์ศึกษา (อภิสิทธิ์ ธงไชย และคณะ, 2550) โดยพิจารณาจากคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนเทียบกับคะแนนสูงสุดที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นได้ เขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\langle g \rangle = \frac{(\%post - test) - (\%pre - test)}{(100) - (\%pre - test)} \quad (2.3)$$

โดยที่ $\langle g \rangle$ คือ ค่า Normalized gain

%pre-test คือ ค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบก่อนเรียนเป็นเปอร์เซ็นต์*

%post-test คือ ค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบหลังเรียนเป็นเปอร์เซ็นต์*

*หมายเหตุ คิดเฉพาะนักเรียนคนที่สอบทั้งก่อนเรียนและหลังเรียนเท่านั้น

จากสมการค่าของ (%posttest - %pretest) เรียกว่า Actual gain คือ ผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริงของนักเรียน และ (100% - %pretest) เรียกว่า Maximum possible gain คือ ผลการเรียนรู้สูงสุดที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นได้ ดังนั้น ค่าของ Normalized gain จะมีค่าอยู่ในช่วง 0.0 - 1.0 และแบ่งระดับของค่า normalized gain ออกเป็นกลุ่มได้ 3 ระดับ คือ

High gain (H) ระดับสูง ผลการเรียนรู้เพิ่มขึ้นในช่วง $0.7 \leq \langle g \rangle \leq 1$

Medium gain (M) ระดับกลาง ผลการเรียนรู้เพิ่มขึ้นในช่วง $0.3 \leq \langle g \rangle < 0.7$

Low gain (L) ระดับต่ำ ผลการเรียนรู้เพิ่มขึ้นในช่วง $0.0 \leq \langle g \rangle < 0.3$

นอกจากนี้การคำนวณหาค่า Normalized gain สามารถใช้คะแนนสอบจริงแทนการคิดแบบเปอร์เซ็นต์ได้อีกด้วย (ไม่ต้องเปลี่ยนคะแนนที่ได้เป็นเปอร์เซ็นต์) โดยพิจารณาจากคะแนนสอบ

ก่อนเรียน (Pre – test) กับคะแนนสอบหลังเรียน (Post – test) และใช้คะแนนเต็มของข้อสอบชุดนั้นแทน 100%

ประเภทของ Normalized gain ออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

2.5.1 Class normalized gain หรือ Class average normalized gain คือ การพิจารณาผลการเรียนรู้ของนักเรียนทั้งชั้นเพื่อดูว่าผลการเรียนการสอนโดยภาพรวมของทั้งชั้นนั้นมีพัฒนาการขึ้นมากน้อยเพียงใด

2.5.2 Single student normalized gain คือ การพิจารณาผลการเรียนรู้เพื่อดูพัฒนาการของนักเรียนรายบุคคลว่ามีการเรียนรู้เป็นอย่างไร สำหรับข้อมูลที่ได้จากกรณีนี้สามารถช่วยให้ครูผู้สอนทราบว่านักเรียนแต่ละคนควรได้รับการช่วยเหลือหรือส่งเสริมมากน้อยเพียงใด

2.5.3 Single test item normalized gain คือ การพิจารณาข้อสอบรายข้อจากคะแนนสอบของนักเรียนทั้งก่อนเรียนและหลังเรียน ในกรณีนี้จะทำให้สามารถทราบว่านักเรียนมีความเข้าใจต่อข้อสอบข้อนั้น ๆ เป็นอย่างไร รวมทั้งเป็นข้อมูลให้แก่ครูผู้สอนสำหรับการพัฒนาข้อสอบแต่ละข้อในโอกาสต่อไป

2.5.4 Conceptual dimensional normalized gain คือ การพิจารณาพัฒนาการต่อการเรียนในแต่ละหัวข้อเพื่อดูว่านักเรียนมีผลการเรียนต่อหัวข้อนั้นอย่างไร ข้อมูลในส่วนนี้สามารถช่วยให้ครูผู้สอนพัฒนาการจัดการเรียนรู้ให้แก่นักเรียนได้ตรงประเด็น

ดังนั้น วิธีการประเมินแบบ normalized gain จะสามารถบอกได้ว่าพัฒนาการทางด้านการเรียนของนักเรียนเพิ่มขึ้นหรือลดลงมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะแตกต่างจากวิธีการประเมินผลแบบทั่วไป เช่น t – test และ z – test เพราะจะทราบเพียงว่านักเรียนมีพัฒนาทางด้านการเรียนเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่านั้น

2.6 เนื้อหาและทฤษฎีทางฟิสิกส์

สำหรับเนื้อหาและแนวคิดที่สำคัญทางฟิสิกส์ที่ใช้สำหรับการวิจัยในครั้งนี้จะใช้ตามรูปแบบของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) กระทรวงศึกษาธิการ โดยเนื้อหาและแนวคิดจะตรงตามผลการเรียนรู้ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.6.1 แนวคิดสำคัญ เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

ในกรณีที่วัตถุถูกยิง ขว้างหรือปาออกไป เช่น การขว้างลูกบอล การเคลื่อนที่ของกระสุนปืน การปาก่อนหินออกจากหน้าผา จะส่งผลให้วัตถุเหล่านั้นเคลื่อนที่อย่างอิสระด้วยแรงโน้มถ่วงคงที่ทำให้เส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นแนวโค้ง เรียกการเคลื่อนที่ลักษณะนี้ว่า การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ (Projectile Motion) ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ในสองมิติ มีลักษณะที่สำคัญ ดังนี้

2.6.1.1 มีแนวการเคลื่อนที่ของวัตถุเป็นเส้นโค้งพาราโบลา

2.6.1.2 มีการเคลื่อนที่ทั้งในแนวระดับและแนวดิ่งพร้อม ๆ กัน โดยเป็นอิสระต่อกัน ทำให้วัตถุมีการกระจัดในแนวระดับ (แกน x) และแนวดิ่ง (แกน y) เกิดขึ้นพร้อมกัน

2.6.1.3 การเคลื่อนที่ในแนวระดับจะเหมือนกับลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวเส้นตรงด้วยความเร็วคงตัว (ความเร็วเป็นศูนย์)

2.6.1.4 การเคลื่อนที่ในแนวดิ่งจะเหมือนกับการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกอย่างอิสระด้วยความเร็วตัว

2.6.1.5 เมื่อไม่คิดแรงต้านอากาศ ความเร่งในแนวดิ่งของวัตถุจะมีค่าเท่ากับความเร็วโน้มถ่วงของโลก (g) เพราะมีเฉพาะแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุ ส่วนในแนวระดับวัตถุไม่มีความเร่ง

2.6.1.6 เวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ทั้งในแนวระดับและแนวดิ่งมีค่าเท่ากัน เพราะเป็นวัตถุก้อนเดียวกัน

2.6.1.7 กรณีที่วัตถุเคลื่อนที่ไปถึงตำแหน่งสูงสุด ความเร็วลัพธ์ ณ ตำแหน่งสูงสุดของวัตถุมีค่าไม่เป็นศูนย์ เนื่องจากมีค่าองค์ประกอบของความเร็วในแนวระดับ ซึ่งมีค่าคงตัวตลอดการเคลื่อนที่ ส่วนค่าองค์ประกอบของความเร็วในแนวดิ่งมีค่าเป็นศูนย์

กรณีวัตถุเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ที่มีความเร่งในแนวแกน y คงตัว และมีความเร็วในแนวแกน x คงตัว สามารถอธิบายได้ด้วยสมการ ดังนี้

แนวแกน x $s_x = u_x t$ เมื่อ s_x คือ ระยะในแนวแกน x หน่วย เมตร (m)
 u_x คือ ความเร็วต้นในแนวแกน x หน่วย เมตร/วินาที (m/s)
 t คือ เวลา หน่วย วินาที (s)

แนวแกน y	$v_y = u_y + a_y t$	เมื่อ s_y คือ ระยะในแนวแกน y หน่วย เมตร (m) u_y คือ ความเร็วต้นในแนวแกน y หน่วย เมตร/วินาที (m/s) v_y คือ ความเร็วปลายในแนวแกน y หน่วย เมตร/วินาที (m/s) a_y คือ ความเร่งในแนวแกน y หน่วย เมตร/วินาที² (m/s^2) t คือ เวลา หน่วย วินาที (s)
	$s_y = u_y t + \frac{1}{2} a_y t^2$	
	$v_y^2 = u_y^2 + 2a_y s_y$	
และ	$s_y = \left(\frac{u_y + v_y}{2} \right) t$	

สำหรับเนื้อหาภายในคู่มือครูของหนังสือเรียนวิชาฟิสิกส์ เล่ม 2 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ที่สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้จัดทำขึ้นมาเพื่อเป็นแนวทางสำหรับการจัดการเรียนรู้ให้นักเรียนยังได้ระบุจุดประสงค์หลักของการเรียนรู้ไว้ 3 ข้อ คือ 1) ทดลองการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการจัดในแนวระดับกับการกระจัดในแนวตั้ง 2) อธิบายหลักการของการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ และ 3) นำหลักการของการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ไปคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ นอกจากนี้ยังมีข้อมูลเกี่ยวกับความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นกับนักเรียน (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560) แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.4 ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. เมื่อไม่คิดแรงต้านของอากาศ วัตถุที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เป็นการเคลื่อนที่ที่มีความเร่งทั้งในแนวตั้งและแนวระดับ	1. เมื่อไม่คิดแรงต้านของอากาศ วัตถุที่เคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์จะมีความเร่งในแนวตั้งเท่ากับความเร่งโน้มถ่วงของโลก หรือ g แต่ไม่มี ความเร่งในแนวระดับ เนื่องจากมีเฉพาะแรงโน้มถ่วงกระทำต่อวัตถุเท่านั้น
2. ความเร็วของวัตถุที่จุดสูงสุดของการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์มีค่าเป็นศูนย์	2. ความเร็วของวัตถุที่จุดสูงสุดของการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์มีค่าไม่เป็นศูนย์ เฉพาะองค์ประกอบของความเร็วในแนวตั้งเท่านั้นที่มีค่าเป็นศูนย์ ส่วนองค์ประกอบของความเร็วในแนวระดับมีค่าคงตัวตลอดการเคลื่อนที่

ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2560)

2.6.2 แนวคิดสำคัญ เรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล

ในด้านกลศาสตร์จะเรียกค่าของความสามารถในการทำงานว่า พลังงาน (Energy) โดยกำหนดสัญลักษณ์ของพลังงานคือ E หน่วยของพลังงานในระบบหน่วยระหว่างชาติ หรือ เอสไอ คือ จูล (J) สำหรับพลังงานนั้นจะเป็นปริมาณสเกลาร์ซึ่งจะมีเพียงขนาดอย่างเดียวและไม่มีทิศทาง

สำหรับในหัวข้อนี้จะศึกษาและพิจารณาเฉพาะพลังงานกล (Mechanical Energy) โดยพลังงานกลนั้นพิจารณาจาก ผลรวมของพลังงานจลน์กับพลังงานศักย์ แต่เนื่องจากพลังงานศักย์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ พลังงานศักย์โน้มถ่วงและพลังงานศักย์ยืดหยุ่น ดังนั้น พลังงานกล

ในที่นี้จะเลือกพิจารณาแค่ 1 กรณี คือ ผลรวมของพลังงานจลน์กับพลังงานศักย์โน้มถ่วง เท่านั้น ซึ่งจะให้ความหมายและสมการของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์โน้มถ่วง ดังนี้

(1) พลังงานจลน์ (Kinetic Energy) เป็นพลังงานที่เกิดขึ้นเมื่อวัตถุกำลังเคลื่อนที่ โดยค่าของพลังงานจลน์จะเปลี่ยนแปลงตามความเร็วของวัตถุ ส่วนพลังงานจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับมวลและความเร็วของวัตถุนั้น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \text{ เมื่อ } E_k \text{ คือ พลังงานจลน์ หน่วย จูล (J)}$$

m คือ มวล หน่วย กิโลกรัม (kg)

v คือ ความเร็ว หน่วย เมตร/วินาที (m/s)

(2) พลังงานศักย์โน้มถ่วง (Gravitational Potential Energy) เป็นพลังงานที่สะสมอยู่ในวัตถุเมื่อวัตถุอยู่บนที่สูงและถูกแรงดึงดูดของโลกกระทำอยู่ ดังนั้น พลังงานศักย์โน้มถ่วงจะเป็นพลังงานที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของวัตถุ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$E_p = mgh \text{ เมื่อ } E_p \text{ คือ พลังงานศักย์โน้มถ่วง หน่วย จูล (J)}$$

m คือ มวล หน่วย กิโลกรัม (kg)

h คือ ความสูงหรือระยะ หน่วย เมตร (m)

จากสมการจะพบว่าค่าของพลังงานศักย์โน้มถ่วงจะเปลี่ยนแปลงตามความสูงหรือตำแหน่งของวัตถุ ส่วนพลังงานจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับมวลและตำแหน่งของวัตถุนั้น

ในกรณีที่วัตถุเคลื่อนที่หรือตกอย่างอิสระภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกโดยไม่มีแรงอื่นมากระทำ พลังงานกลรวมของวัตถุ ณ ตำแหน่งใดๆ จะมีค่าคงที่เสมอ นั่นคือ ผลรวมของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์โน้มถ่วงของวัตถุจะไม่สูญหายไปไหนแต่จะเปลี่ยนจากพลังงานหนึ่งไปเป็นอีกพลังงานหนึ่ง ซึ่งเป็นไปตาม กฎการอนุรักษ์พลังงานกล (Law of Conservation of Mechanical Energy) ดังสมการแสดงความสัมพันธ์

$$\Delta E_k = \Delta E_p \quad (2.4)$$

ทั้งนี้ความรู้ เรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล สามารถนำไปใช้ในการคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุรวมไปถึงการพยากรณ์หรือการอธิบาย เช่น การเคลื่อนที่ของวัตถุติดสปริง การเคลื่อนที่ภายใต้สนามโน้มถ่วง เป็นต้น

สำหรับในเรื่องกฎการอนุรักษ์พลังงานกลนั้นเป็นหัวข้อหนึ่งในวิชาฟิสิกส์ที่นักเรียนยังมีความเข้าใจคลาดเคลื่อน ซึ่งภายในคู่มือครูของหนังสือเรียนวิชาฟิสิกส์ เล่ม 2 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ได้ระบุเกี่ยวกับประเด็นนี้เอาไว้ แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.5 ความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น เรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล

ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน	แนวคิดที่ถูกต้อง
1. วัตถุจะมีพลังงานกลเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อมีการเคลื่อนที่เร็วขึ้นเรื่อย ๆ	1. พลังงานกลของวัตถุมีค่าคงตัว แต่พลังงานศักย์และพลังงานจลน์ของวัตถุมีการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น ในการตกแบบเสรี วัตถุมีการเคลื่อนที่เร็วขึ้นเรื่อย ๆ แต่พลังงานกลยังเท่าเดิม เนื่องจากพลังงานศักย์ได้เปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์
2. กฎการอนุรักษ์พลังงานกลใช้ได้ทุกสถานการณ์	2. กฎการอนุรักษ์พลังงานกลใช้ได้ สถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับแรงอนุรักษ์เท่านั้น
3. พลังงานของวัตถุจะใช้หมดไป เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่	3. เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ อาจจะมีพลังงานในวัตถุเท่าเดิม หรือพลังงานของวัตถุอาจเปลี่ยนไปเป็นพลังงานชนิดอื่นและถ่ายโอนไปที่อื่น เช่น ความร้อน เสียง โดยพลังงานไม่ได้สูญหายไป ตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน

ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2560)

บทที่ 3

การสร้างเครื่องมือและการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้เป็นการสร้างชุดอุปกรณ์อย่างง่ายที่สามารถประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้เพื่อทบทวนความรู้และพัฒนาความเข้าใจในแนวคิดรวมถึงความคงทนของความรู้ โดยอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสำหรับวิจัยนี้จะนำไปประยุกต์ใช้ในเนื้อหา เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์และกฎอนุรักษ์พลังงานกล โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการ 2 ขั้นตอน คือ การสร้างเครื่องมือ และการดำเนินการวิจัย

3.1 การสร้างเครื่องมือ

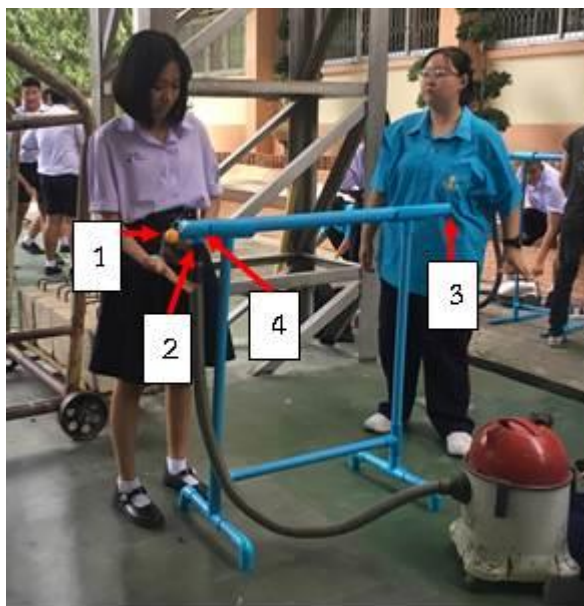
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน มีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 การสร้างชุดทดลอง เพื่อพัฒนาความเข้าใจ เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์และกฎอนุรักษ์พลังงานกล ผู้วิจัยได้สร้างชุดการทดลองโดยใช้วัสดุอุปกรณ์อย่างง่าย โดยมีอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ตรวจสอบความถูกต้องของชุดการทดลอง เมื่อผ่านการตรวจสอบแล้วผู้วิจัยนำชุดการทดลองไปทดสอบ นำผลที่ได้จากการทดสอบมาปรับปรุง ซึ่งได้ออกแบบและพัฒนาชุดทดลองเอนกประสงค์ ดังนี้

การออกแบบและพัฒนาครั้งที่ 1 ผู้วิจัยได้ออกแบบชุดทดลองดังภาพที่ 3.1 โดยใช้วัสดุอย่างง่ายซึ่งประกอบไปด้วย 1) ท่อพีวีซีทึบสีฟ้า ขนาดความยาว 1 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อขนาด 1.5 นิ้ว ซึ่งขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่เลือกใช้มีความพอดีกับขนาดของลูกปิงปอง 2) ข้อต่อท่อพีวีซีชนิด 3 ทาง 3) ลูกปิงปอง 4) ถังพลาสติกใสชนิดบาง และ 5) เครื่องดูดฝุ่น



ภาพที่ 3.1 ชุดทดลองเอนกประสงค์รูปแบบที่ 1



ภาพที่ 3.2 การทดสอบชุดทดลองเอนกประสงค์รูปแบบที่ 1

สำหรับการประกอบชุดทดลองเอนกประสงค์ตามรูปแบบที่ 1 ดังภาพที่ 3.2 เริ่มต้นจากนำท่อพีวีซีมาต่อเข้ากับข้อต่อชนิด 3 ทาง ใช้แผ่นพลาสติกใสติดบริเวณปลายท่อ โดยการติดแผ่นพลาสติกใสนั้นจะติดเฉพาะบริเวณขอบด้านบน (หมายเลข 1) ส่วนช่องด้านล่างของข้อต่อชนิด 3 ทาง ใช้ต่อเข้ากับเครื่องดูดฝุ่น (หมายเลข 2) เริ่มทำการทดลองโดยการเปิดเครื่องดูดฝุ่น จากนั้นปล่อยลูกปิงปองจากปลายท่อพีวีซี ณ ตำแหน่งหมายเลข 3 ให้ลูกปิงปองเคลื่อนที่ เมื่อลูกปิงปองเคลื่อนที่มาถึงปากท่อพีวีซี ณ ตำแหน่งหมายเลข 1 ลูกปิงปองจะตกลงสู่พื้นด้านล่าง จากการทดลองในครั้งนี้จะศึกษาเกี่ยวกับเส้นทางการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์และวิเคราะห์ค่าของความเร็วต้นขณะหลุดจากปากท่อ ซึ่งขณะสังเกตเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกปิงปองจะทำบันทึกคลิปวิดีโอของการเคลื่อนที่ด้วย จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker ผลจากการทดสอบชุดการทดลองในครั้งนี้พบว่า เมื่อลูกปิงปองเคลื่อนที่มาถึงบริเวณจุดเชื่อมต่อของท่อพีวีซีกับข้อต่อ 3 ทาง ลูกปิงปองจะเคลื่อนที่ชนกับขอบของรอยต่อด้านใน (หมายเลข 4) นอกจากนี้เกิดการชนขึ้นอีกครั้งในขณะที่ลูกปิงปองเคลื่อนที่มาถึงบริเวณปากท่อที่มีพลาสติกใสติดอยู่ การชนทั้งสองครั้งนี้ส่งผลให้ลูกปิงปองมีเส้นทางการเคลื่อนที่ของการตกลงสู่พื้นในระยะที่ใกล้และเมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker พบว่าผลของความเร็วที่ลูกปิงปองหลุดจากปากท่อที่ได้จากการวิเคราะห์มีค่าน้อย ซึ่งไม่สอดคล้องกับแรงลมจากเครื่องดูดฝุ่น เนื่องจากแรงลมที่ใช้ในการดูดอากาศภายในท่อเพื่อให้ลูกปิงปองเคลื่อนที่นั้นเป็นแรงลมจากเครื่องดูดฝุ่นที่มีระดับความแรงของลมมาก จะส่งผลให้ความเร็วขณะหลุดจากปากท่อต้องมีค่ามากและระยะของการตกของลูกปิงปองจะต้องตกไปได้ระยะที่ห่างออกจากปากท่อมากด้วย นอกจากนี้พบว่าท่อพีวีซีสีฟ้าที่ใช้ในการทดลองนั้นไม่สามารถทำให้เห็นการเคลื่อนที่ภายในท่อของ

ลูกปิงปอง ส่งผลให้การกำหนดตำแหน่งแรกของการ Track หรือการระบุตำแหน่งของวัตถุมีความคลาดเคลื่อน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงนำผลจากการทดสอบชุดการทดลองและข้อมูลที่ได้ดังกล่าวมาปรึกษากับอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้เชี่ยวชาญ จากนั้นผู้วิจัยได้ปรับและพัฒนาชุดการทดลองให้มีความถูกต้องเหมาะสมกับการใช้ในการจัดการเรียนการสอนในห้องเรียน โดยชุดการทดลองที่ปรับใหม่จะแสดงดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ชุดการทดลองเอนกประสงค์รูปแบบที่ 2

จากภาพที่ 3.3 เป็นการติดตั้งชุดการทดลองเอนกประสงค์ โดยชุดการทดลองนี้จะประกอบไปด้วยวัสดุ อุปกรณ์อย่างง่าย ได้แก่

(1) ท่อพีวีซีใส (PVC) ผู้วิจัยเลือกใช้ท่อพีวีซีใสขนาดความยาว 1 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อขนาด 1.5 นิ้ว ซึ่งขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่เลือกใช้มีความพอดีกับขนาดของลูกบอล ส่วนความยาวที่เลือกใช้มีความเหมาะสมกับโต๊ะนักเรียนขนาดมาตรฐานของโรงเรียน และการใช้ท่อพีวีซีใสสามารถทำให้มองเห็นการเคลื่อนที่ของลูกบอลขณะอยู่ในท่อ รวมไปถึงการมองเห็นตำแหน่งลูกบอลก่อนที่จะหลุดจากปลายท่อ ส่งผลให้การ Tracker ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทำได้ง่ายและมีความแม่นยำของตำแหน่งเริ่มต้นสำหรับการวิเคราะห์ผลด้วย

(2) ไดรฟ์เป่าลม ขนาด 1200 วัตต์ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถปรับระดับของแรงลมที่ใช้เป่าได้ 2 ระดับ และในส่วนของบริเวณปากไดรฟ์เป่าลมมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเหมาะสมและพอดีกับท่อพีวีซีใส จึงทำให้ลมเป่าทั้งหมดเข้าไปดันลูกบอลให้เคลื่อนที่ ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้ไดรฟ์ชนิดนี้และใช้แรงลมทั้ง 2 ระดับสำหรับกิจกรรมการทดลอง

(3) ลูกบอลไม้ทรงกลม (ทาสีเป็นสีแดง) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตรหนัก 22 กรัม เป็นลูกบอลไม้ที่ทำมาจากไม้ยางพารา มีน้ำหนักเบา ผิวเรียบ ขนาดเท่ากับ

ลูกปิงปอง ลูกบอลไม้ที่มีขนาดเล็กกว่าท่อพีวีซีเล็กน้อย เมื่อใช้ไทร์เป่า แรงลมจากไทร์เป่าจะทำให้ลูกบอลเคลื่อนที่ภายในท่อพีวีซีได้อย่างสะดวก กำลังของไทร์เป่าลมและน้ำหนักของลูกบอลไม้ที่ผู้วิจัยใช้ทำการทดลองมีความเหมาะสมกันเนื่องจากลูกบอลไม้ที่หลุดจากปลายท่อตรงตำแหน่ง B จากรูปที่ 3.3 เมื่อตกลงมาสู่พื้นจะตกในระยะที่ไม่ไกลจากขอบโต๊ะมากเกินไป และขณะทดลองนั้นผู้วิจัยทำการบันทึกวิดีโอเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอลไม้เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลด้วย Tracker ดังนั้น การใช้ลูกบอลไม้ทำให้สังเกตและสามารถ Tracker ตำแหน่งต่าง ๆ ของการเคลื่อนที่ได้สะดวก และถูกต้องมากขึ้น

3.1.2 การทดสอบประสิทธิภาพของชุดทดลอง

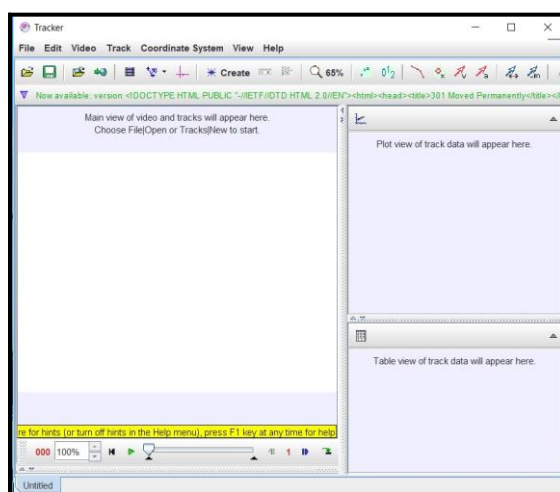
ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของชุดทดลองที่สร้างขึ้น สำหรับขั้นตอนการทดลองนี้ผู้วิจัยจะบันทึกวิดีโอขณะทำการทดลองด้วย เริ่มต้นจากการนำลูกบอลไม้ไปใส่ไว้ในท่อพีวีซีที่ตำแหน่ง A ดังภาพที่ 3.3 แล้วใช้ลมระดับสูงจากไทร์เป่าลมเป่าให้ลูกบอลเคลื่อนที่ภายในท่อ เมื่อลูกบอลเคลื่อนที่มาถึงปลายท่อที่ตำแหน่ง B ลูกบอลจะหลุดจากปลายท่อแล้วตกลงบริเวณพื้นด้านล่าง ทำการวัดระยะตามแนวราบโดยใช้ตำแหน่ง B เป็นจุดอ้างอิงวัดไปยังตำแหน่งที่ลูกบอลตกลงพื้น ซึ่งค่าที่วัดได้นี้จะกำหนดให้เป็นระยะในแนวแกน X (S_x) และวัดระยะในแนวแกน Y (S_y) โดยวัดจากตำแหน่ง B ลงมาตามเส้นตรงในแนวดิ่ง นำค่าที่ได้จากการวัดไปคำนวณหาความเร็วต้นในแนวระดับขณะลูกบอลหลุดออกมาจากปลายท่อพีวีซี โดยใช้สมการ $U_x = \sqrt{\frac{gS_x^2}{2S_y}}$ นอกจากนี้ผู้วิจัยนำวิดีโอการเคลื่อนที่ของลูกบอลไปวิเคราะห์หาความเร็วต้นโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Tracker ตามขั้นตอนดังนี้

(1) นำไฟล์วิดีโอที่บันทึกไว้จากการทดลองมาไว้ในคอมพิวเตอร์ สำหรับนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker

(2) เปิดโปรแกรมด้วยไอคอน

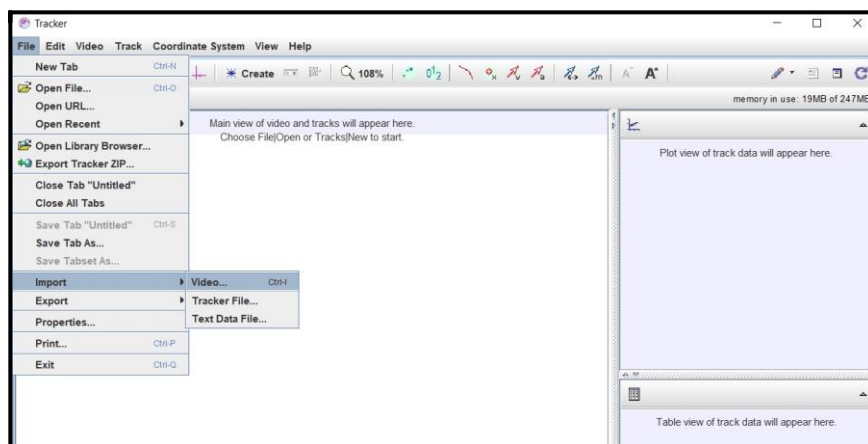


(3) เมื่อโปรแกรมถูกเปิดจะปรากฏหน้าต่างดังภาพที่ 3.4

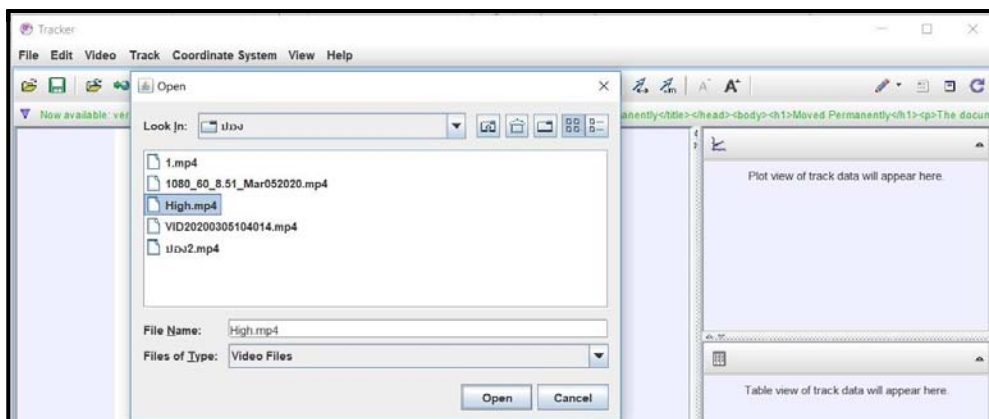


ภาพที่ 3.4 หน้าต่างของโปรแกรม Tracker

(4) เปิดไฟล์วิดีโอที่ต้องการวิเคราะห์ โดยเลือกที่ File > Import > Video แสดงดังภาพที่ 3.5 จากนั้นจะปรากฏ Folder ดังภาพที่ 3.6 ซึ่งจะเลือกไฟล์ชื่อ High.mp4 สำหรับการวิเคราะห์ในครั้งนี้ > Click Open

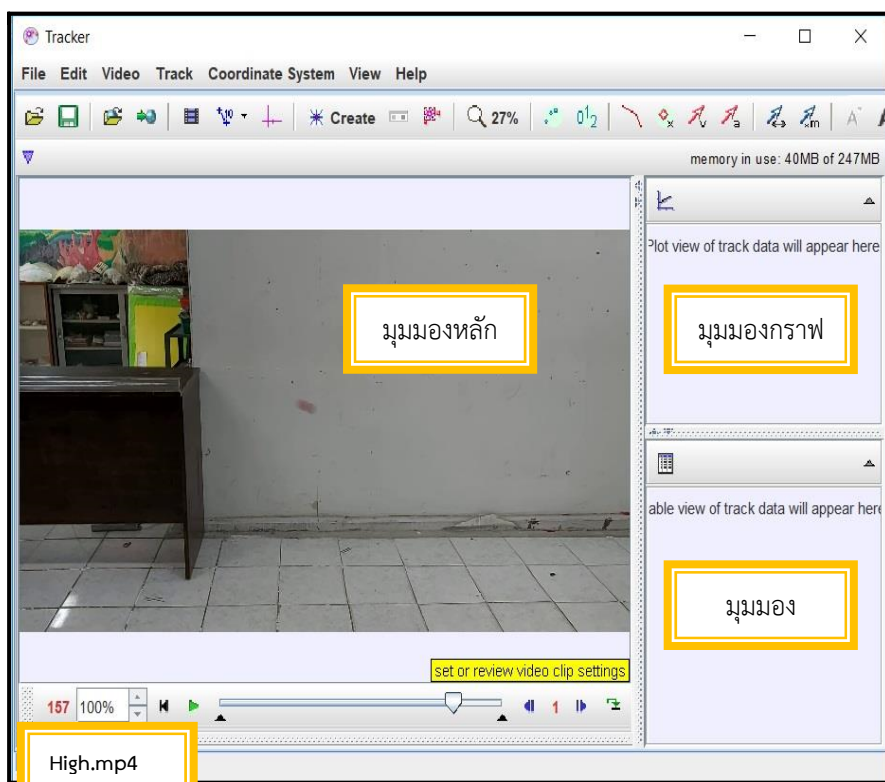


ภาพที่ 3.5 หน้าต่างแสดงขั้นตอนการ Import video file



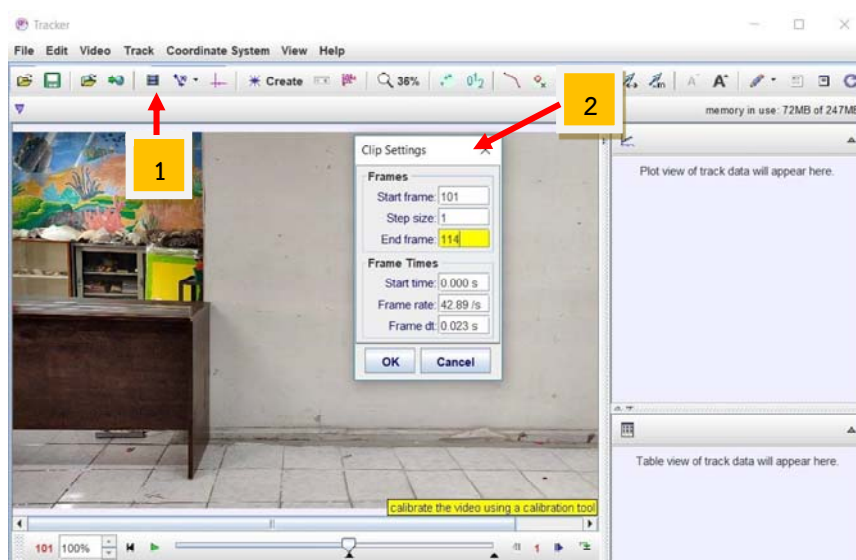
ภาพที่ 3.6 หน้าต่างแสดง Folder สำหรับเลือกไฟล์วิดีโอที่ต้องการวิเคราะห์

(5) เมื่อเลือกไฟล์วิดีโอที่ชื่อ High.mp4 แล้วจะปรากฏหน้าต่างดังภาพที่ 3.7 ซึ่งภาพที่ 3.7 จะเป็นการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกบอลไม้



ภาพที่ 3.7 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของลูกบอลไม้

(6) ตั้งค่าเฟรมของคลิปวิดีโอสำหรับการวิเคราะห์ โดยไปเลือกปุ่มกำหนดเฟรม (หมายเลข 1) จะปรากฏตารางกำหนดเฟรม (หมายเลข 2) ดังภาพที่ 3.8



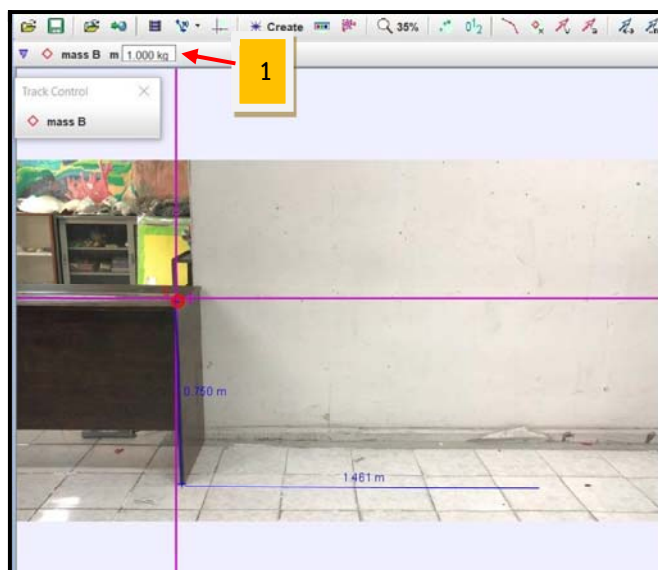
ภาพที่ 3.8 การกำหนดเฟรม (clip setting)

จากภาพที่ 3.8 ในส่วนของการกำหนดเฟรม (clip setting) ของคลิปวิดีโอไฟล์นี้ จะกำหนดเฟรมเริ่มต้น (Start frame) สำหรับการวิเคราะห์ คือ เฟรมที่ 101 มีค่าของการเลื่อนเฟรม (Step size) เท่ากับ 1 และเฟรมสุดท้ายที่กำหนดคือเฟรมที่ 114 ดังนั้นจะได้ลำดับเฟรมของการวิเคราะห์ในครั้งนี้คือ 101, 102, 103,, 114

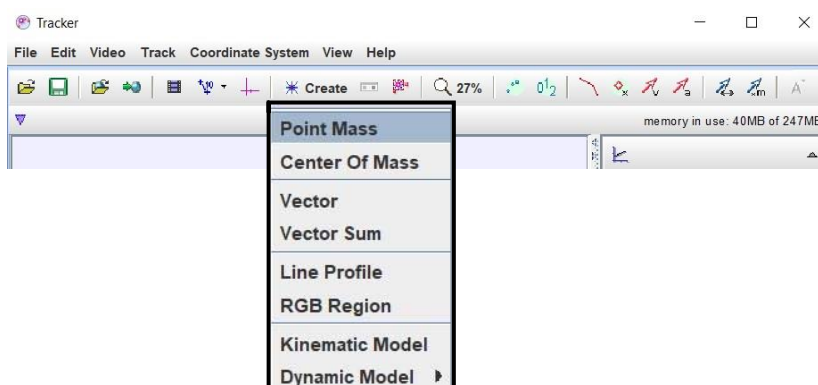
(7) กำหนดแกนพิกัดและจุดกำเนิดตามขั้นตอนดังนี้ เลือก tracks > axis > visible หรือ กดปุ่มสัญลักษณ์  จากนั้นจะปรากฏเส้นตั้งฉาก ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 3.9 คือ เส้นสีม่วง โดยเส้นตรงในแนวนอนจะมีเส้นขีดสั้นหนึ่งเส้นซึ่งเป็นสัญลักษณ์บอกให้ทราบว่าแกน +X

(8) กำหนดความยาวอ้างอิงเพื่อใช้ในการวัดระยะ โดยเริ่มจากเลือก tack > tape > visible ซึ่งจะปรากฏสัญลักษณ์ลูกศรหัวท้ายสีน้ำเงินพร้อมช่องระบุตัวเลขความยาว หรืออาจจะกดที่สัญลักษณ์  ในที่นี้จะกำหนดความยาวอ้างอิงจากความสูงของโต๊ะ(เส้นสีน้ำเงิน) ดังภาพที่ 3.9 เท่ากับ 0.75 เมตร

(9) ระบุตำแหน่งในแต่ละเฟรมของวัตถุ ให้กดปุ่มที่มีสัญลักษณ์  จากนั้นเลือก Point Mass ซึ่งเป็นการพิจารณาวัตถุที่มีมวลให้เป็นจุด ดังภาพที่ 3.10 และปรากฏปุ่ม Mass B โดยที่แถบเครื่องมือจะมีช่องให้ระบุค่ามวลมีหน่วยเป็นกิโลกรัมดังหมายเลข 1 ในภาพที่ 3.9

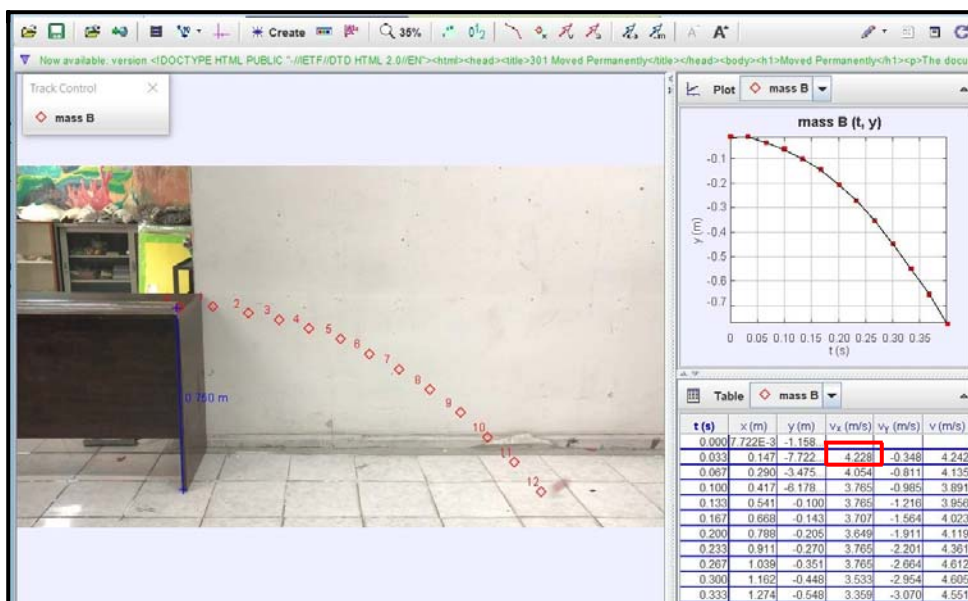


ภาพที่ 3.9 กำหนดแกนพิกัดและความยาวอ้างอิง



ภาพที่ 3.10 การสร้างรอยตามวัตถุหรือการระบุตำแหน่งแต่ละเฟรมของวัตถุ

ในการระบุตำแหน่งของวัตถุสามารถเอาแกนที่ใช้ระบุพิกัดและลูกศรระบุความยาวออกก่อนได้โดยการกดปุ่มเหล่านั้นอีกครั้ง ทั้งนี้เพื่อความสะดวกของการกหนดตำแหน่ง สำหรับการกำหนดหรือระบุตำแหน่งของวัตถุทำได้โดยกดคีย์ shift ค้างไว้ตรงตำแหน่งของวัตถุ สังเกตได้จาก point จะเปลี่ยนเป็นรูปสี่เหลี่ยมที่มีเครื่องหมาย + ตรงกลาง เมื่อคลิกเลือกตำแหน่งแรกแล้ว วัตถุจะเลื่อนไปอยู่ตำแหน่งใหม่ในเฟรมถัดไปโดยอัตโนมัติและจะปรากฏจุดเพื่อให้สามารถเห็นแนวการเคลื่อนที่ของวัตถุตลอดการกหนดตำแหน่ง นอกจากนี้การระบุตำแหน่งจะแสดงผลในรูปแบบของกราฟซึ่งจะแสดงให้เห็นอยู่ทางขวามือ ดังภาพที่ 3.11 จากภาพเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ของระยะในแนวแกน y (m) กับเวลา t (s)



ภาพที่ 3.11 การระบุตำแหน่งและกราฟการเคลื่อนที่ของวัตถุ

วิเคราะห์ค่าความเร็วต้นในแนวแกน x (u_x)

ตารางที่ 3.1 ผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์จากการทดลอง	ผลการวิเคราะห์จาก Tracker
คำนวณหาค่าความเร็วต้น จากสมการ $U_x = \sqrt{\frac{gS_x^2}{2S_y}}$ $g = 9.88 \text{ m/s}^2$, $S_x = 1.59 \text{ m}$, $S_y = 0.75 \text{ m}$ จะได้ว่า $U_x = \sqrt{\frac{9.88(1.59)^2}{2(0.75)}} = U_x = \sqrt{\frac{24.98}{1.5}}$ ดังนั้น $U_x = 4.08 \text{ m/s}$	จากการวิเคราะห์ด้วย Tracker ค่าของความเร็วต้น (u_x) แสดงให้ดังภาพที่ 3.9 ซึ่งมีค่า $U_x = 4.228 \approx 4.23 \text{ m/s}$
เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน = $\frac{\text{ค่าจาก Tracker} - \text{ค่าทฤษฎี}}{\text{ค่าทฤษฎี}} \times 100$ $= \frac{4.23 - 4.08}{4.08} \times 100 = 3.67\%$	

จากตารางที่ 3.1 แสดงวิธีการค่าของความเร็วต้นในแกน x (u_x) 2 วิธี คือ

- นำข้อมูลจริงที่ได้จากการทดลองมาแทนค่าลงในสมการแล้วคำนวณค่าความเร็วต้นได้เท่ากับ

4.08 เมตรต่อวินาที 2) นำคลิปปวีดีโอการทดลองมาวิเคราะห์ด้วย Tracker ได้ค่าของความเร็วต้นเท่ากับ 4.23 เมตรต่อวินาที เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับหาค่าความคลาดเคลื่อนดังแสดงในตารางที่ 3.1 พบว่า ค่าความเร็วต้นในแนวแกน x มีค่าคลาดเคลื่อนเท่ากับ 3.67 % แสดงให้เห็นว่าชุดการทดลองที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้สำหรับการทดลองได้และสามารถให้ค่าที่ออกมามีความถูกต้อง ผนวกกับโปรแกรมสำเร็จรูป Tracker ที่ผู้วิจัยนำมาใช้นี้สามารถแสดงผลปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของลูกบอล ดังนั้น ผู้วิจัยจึงใช้ข้อมูลที่ได้จากการใช้ชุดการทดลองนี้มาออกแบบกิจกรรมสำหรับการเรียนการสอนใน 2 เนื้อหา คือ การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล

3.1.3 การสร้างแบบทดสอบ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์เนื้อหาและจุดประสงค์การเรียนรู้ จากนั้นได้สร้างแบบทดสอบให้ครอบคลุมเนื้อหาและวัตถุประสงค์ในการเรียนรู้ โดยแบบทดสอบที่สร้างขึ้นเป็นแบบปรนัย จำนวน 18 ข้อ ข้อละ 1 คะแนน ภายในแบบทดสอบจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน ข้อสอบทั้งสองส่วนนี้เป็นข้อสอบที่วัดความเข้าใจในแนวคิด ส่วนที่ 1 เป็นข้อสอบ เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ จำนวน 9 ข้อ และส่วนที่ 2 เรื่องกฎการอนุรักษ์พลังงานกล จำนวน 9 ข้อซึ่งข้อสอบภายในแบบทดสอบฉบับนี้มาจากข้อสอบมาตรฐานและมาจากการพัฒนาขึ้นโดยผู้วิจัย สามารถจำแนกได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 จำแนกข้อสอบภายในแบบทดสอบวัดความเข้าใจในแนวคิด เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล

แนวคิดเรื่อง	ข้อสอบข้อที่	แหล่งที่มา
การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์	1, 2, 3	Force Concept Inventory (FCI)
	4, 5, 6, 7, 8	พัฒนาโดยผู้วิจัย
	9	ข้อสอบโควตา มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปี 2531
กฎการอนุรักษ์พลังงานกล	10, 11, 12, 13	พัฒนาโดยผู้วิจัย
	14, 15	Energy and Momentum Conceptual Survey (EMCS)
	16, 17, 18	พัฒนาโดยผู้วิจัย

จากตารางที่ 3.2 ข้อสอบข้อที่ 1, 2 และ 3 เป็นข้อสอบที่ผู้วิจัยเลือกมาจากแบบทดสอบ Force Concept Inventory (FCI) ซึ่งข้อสอบในแบบทดสอบ FCI นี้เป็นข้อสอบแบบปรนัย 5 ตัวเลือก สร้างโดย Hestenes และคณะในปี 1992 ต่อมามีการปรับปรุงพัฒนาในปี 1995 โดย Halloun และคณะเป็นแบบทดสอบที่สร้างและพัฒนาขึ้นมาเพื่อวัดความเข้าใจในแนวคิด เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ทางกลศาสตร์ โดยมีทั้งหมด 30 ข้อ แต่ผู้วิจัยเลือกมาใช้สำหรับงานวิจัยนี้เพียง 3 ข้อ เนื่องจากข้อสอบ

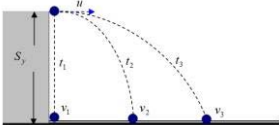
ทั้ง 3 ข้อนั้นเป็นโจทย์และสถานการณ์ที่ตรงกับหัวข้อเรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ สำหรับข้อสอบข้อที่ 4, 5, 6, 7, และ 8 เป็นข้อสอบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น ซึ่งเป็นข้อสอบที่วัดความเข้าใจในแนวคิดเรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ และ ข้อสอบข้อที่ 9 เป็นข้อสอบที่ผู้วิจัยเลือกมาจากข้อสอบคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในระดับอุดมศึกษาของมหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีพุทธศักราช 2531 นอกจากนี้ ยังมีข้อสอบที่ผู้วิจัยใช้สำหรับวัดความเข้าใจในแนวคิด เรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล ได้แก่ข้อสอบข้อที่ 10, 11, 12, 13, 16, 17 และ 18 ซึ่งพัฒนาโดยผู้วิจัย และข้อสอบข้อที่ 14 และข้อที่ 15 ผู้วิจัยได้คัดเลือกมาจากแบบทดสอบ Energy and Momentum Conceptual Survey (EMCS) สำหรับแบบทดสอบ EMCS เป็นแบบทดสอบชนิดปรนัย 5 ตัวเลือก สร้างขึ้นในปี 2016 โดย David Rosengrant และ Chandralekha Singh สำหรับแบบทดสอบนี้มีจุดประสงค์หลักคือวัดความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาทางกลศาสตร์ เรื่อง พลังงานและโมเมนตัม

3.1.3.1 การพัฒนาคุณภาพของแบบทดสอบ

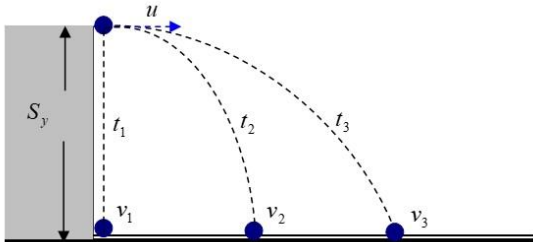
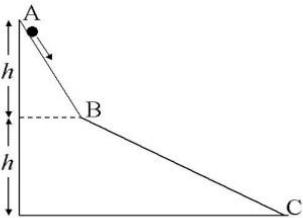
หลังจากสร้างแบบทดสอบแล้วผู้วิจัยได้นำไปให้อาจารย์ที่ปรึกษาและผู้เชี่ยวชาญตรวจพิจารณาความถูกต้องเหมาะสมของแบบทดสอบทั้งฉบับ ซึ่งผู้วิจัยจะวิเคราะห์และพัฒนาคุณภาพของแบบทดสอบด้วยการนำคำแนะนำ ข้อเสนอแนะหรือข้อคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญและอาจารย์ที่ปรึกษามาปรับปรุง แก้ไขในรายละเอียดต่าง ๆ ของแบบทดสอบ งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน โดยเป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านฟิสิกส์และฟิสิกส์ศึกษาที่มีประสบการณ์ทางด้านการสอนหรือการพัฒนาแบบทดสอบ และเป็นผู้ที่สอนอยู่ในระดับอุดมศึกษาและระดับมัธยมศึกษามากกว่า 5 ปีในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบทดสอบ

เมื่อผู้วิจัยได้รับข้อเสนอแนะและคำแนะนำของข้อสอบแต่ละข้อภายในแบบทดสอบจากผู้เชี่ยวชาญแล้ว ผู้วิจัยได้นำข้อเสนอแนะและคำแนะนำต่าง ๆ มาจัดกลุ่ม ซึ่งสามารถจัดกลุ่มได้ 2 กลุ่ม คือ 1) กลุ่มข้อสอบที่ต้องแก้ไขเล็กน้อยเกี่ยวกับข้อคำถามและตัวเลือก สำหรับข้อสอบที่ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ข้อ 8, 10 และ 14 โดยจะแสดงตัวอย่างของข้อสอบดังตารางที่ 3.3 2) กลุ่มข้อสอบที่ต้องแก้ไขเกี่ยวกับรูปภาพและข้อคำถาม ได้แก่ ข้อ 4, 5, 6, 7, 9 และ 13 โดยจะแสดงตัวอย่างของข้อสอบดังตารางที่ 3.4

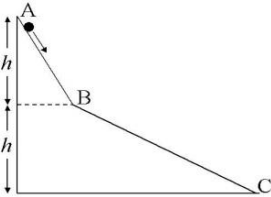
ตารางที่ 3.3 ข้อสอบที่ต้องแก้ไขเล็กน้อยเกี่ยวกับข้อคำถามและตัวเลือก

ข้อที่	โจทย์เดิม
8	เหรียญที่มีขนาดเท่ากัน ถูกปล่อยให้ตกในแนวตั้งและดีดออกไปตามแนวระดับพร้อม ๆ กัน โดยมี t_1, t_2 และ t_3 แทนเวลาการเคลื่อนที่ และ v_1, v_2 และ v_3 แทนความเร็วขณะกระทบพื้น ดังภาพ 

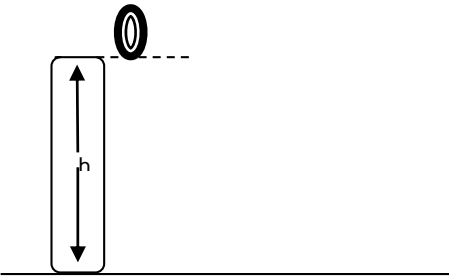
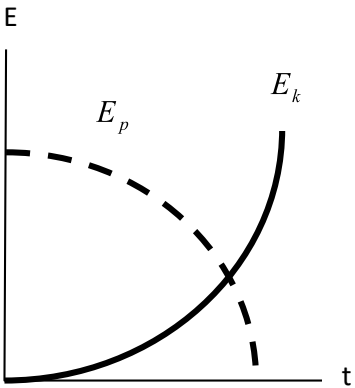
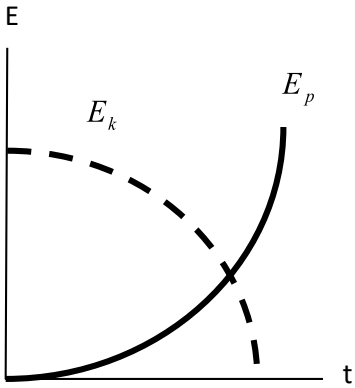
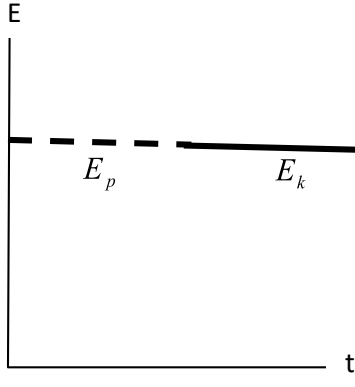
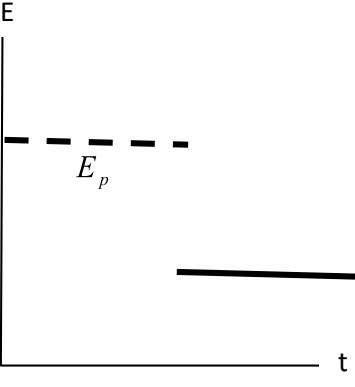
ตารางที่ 3.3 ข้อสอบที่ต้องแก้ไขเล็กน้อยเกี่ยวกับข้อความและตัวเลือก (ต่อ)

ข้อที่	โจทย์เดิม
	ข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ - ควรระบุจำนวนเหรียญในโจทย์ว่ามีจำนวนกี่เหรียญ - ความเร็วต้นที่ติดเหรียญออกไปเท่ากันหรือไม่ ควรมีข้อมูลเกี่ยวกับความเร็วต้นด้วย โจทย์ที่แก้ไข/ปรับปรุงแล้ว เหรียญ 3 เหรียญที่มีขนาดเท่ากัน ถูกปล่อยให้ตกในแนวดิ่ง 1 เหรียญ และดีดออกไปตามแนวระดับด้วยความเร็ว u ที่แตกต่างกัน 2 เหรียญ โดยเหรียญทั้งสามออกจากจุดเริ่มต้นที่ระดับเดียวกันและพร้อม ๆ กัน โดยมี t_1, t_2 และ t_3 แทนเวลาการเคลื่อนที่ และ v_1, v_2 และ v_3 แทนความเร็วขณะกระทบพื้น ดังภาพ 
14	โจทย์เดิม
	ปล่อยก้อนน้ำแข็งลงจากทางลาดชันที่มีลักษณะดังรูป ซึ่งมีแรงเสียดทานน้อยมาก กำหนดความสูงในแนวดิ่งเป็น h โดยระยะความสูงตามแนวดิ่งทั้งสองครั้งที่เลื่อนมีค่าเท่ากัน แสดงดังภาพ จงพิจารณาว่าข้อความใดต่อไปนี้เป็นข้อถูกต้อง (Singh, C., & Rosengrant, D., 2003) 
	1. การเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของการเคลื่อนที่ จากจุด A ไป จุด B และจากจุด B ไปจุด C มีค่าเท่ากัน 2. งานเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของวัตถุที่เคลื่อนที่จาก A ไป B มีค่าน้อยกว่าจาก B ไป C 3. งานเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของวัตถุที่เคลื่อนที่จาก A ไป B มีค่ามากกว่าจาก B ไป C

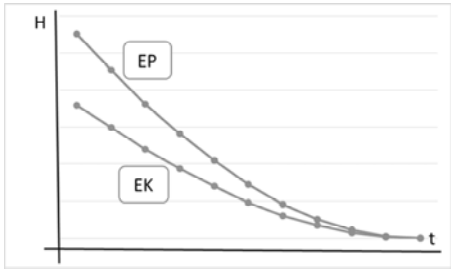
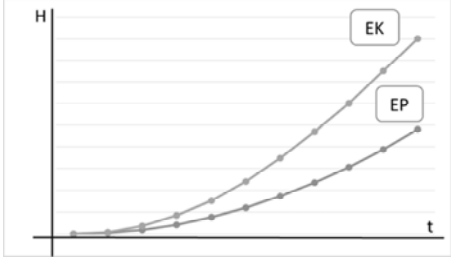
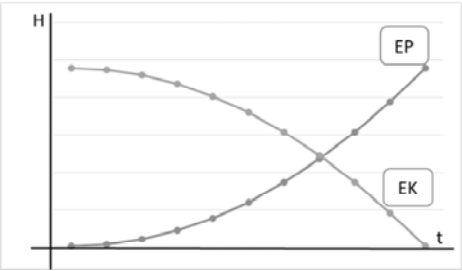
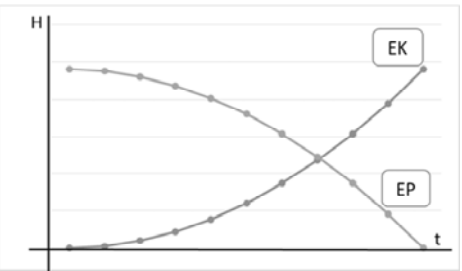
ตารางที่ 3.3 ข้อสอบที่ต้องแก้ไขเล็กน้อยเกี่ยวกับข้อความและตัวเลือก (ต่อ)

ข้อที่	โจทย์เดิม
	ก. ข้อ 1 ถูก** ข. ข้อ 2 ถูก ค. ข้อ 3 ถูก ง. ข้อ 1 และ 2 ถูก จ. ข้อ 1 และ 3 ถูก
	ข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ - ปรับและจัดรูปแบบของตัวเลือกให้มีเพียง 4 ตัวเลือก โดยเปลี่ยนจากรูปแบบเดิมที่ให้เลือกตอบข้อที่ถูก มาเป็นข้อความหรือประโยคที่ถูกในตัวเลือกนั้น ๆ
	โจทย์ที่แก้ไข/ปรับปรุงแล้ว ปล่อยก้อนน้ำแข็งลงจากทางลาดชันที่มีลักษณะดังรูป ซึ่งมีแรงเสียดทานน้อยมาก กำหนดความสูงในแนวดิ่งเป็น h โดยระยะความสูงตามแนวดิ่งทั้งสองครั้งที่เลื่อนมีค่าเท่ากัน แสดงดังภาพ จงพิจารณาว่าข้อความใดต่อไปนี้ถูกต้อง (Singh, C., & Rosengrant, D., 2003)  1. การเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์จากจุด A ไป จุด B มีค่าเท่ากับจากจุด B ไปจุด C ** 2. การเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์โน้มถ่วงจากจุด A ไป จุด B มีค่าเท่ากับจากจุด B ไปจุด C 3. งานเนื่องจากแรงโน้มถ่วงจากจุด A ไป จุด B มีค่าเท่ากับจากจุด B ไป จุด C 4. พลังงานกลรวมจากจุด A ไป จุด B มีค่าเท่ากับจากจุด B ไปจุด C

ตารางที่ 3.4 ข้อสอบที่ต้องแก้ไขเกี่ยวกับรูปภาพและข้อความ (ต่อ)

ข้อ	โจทย์เดิม
13	ปล่อยไข่ไก่ลงอย่างอิสระจากที่ระดับความสูง h กราฟตามรูปใดที่แสดงความสัมพันธ์ของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์กับเวลาของไข่ไก่ฟองนี้ได้ดีที่สุด  ก  ข  ค  ง 

ตารางที่ 3.4 ข้อสอบที่ต้องแก้ไขเกี่ยวกับรูปภาพและข้อความ (ต่อ)

ข้อ	โจทย์เดิม
	ข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ - ขอนี้อยากให้ใช้ข้อมูลจริง ๆ ในการเขียนกราฟ เพื่อให้กราฟที่ได้ออกมามีความคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ๆ
	โจทย์ที่แก้ไข/ปรับปรุงแล้ว ปล่อยลูกบอลทรงกลมตันมวล 20 กรัม ลงมาอย่างอิสระจากที่ระดับความสูง H เมื่อเวลา t ผ่านไป กราฟตามรูปใดแสดงความสัมพันธ์ของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ได้ถูกต้อง ก  ข  ค  ง 

จากข้อมูลในตารางที่ 3.3 และ 3.4 แสดงตัวอย่างของข้อสอบที่ผู้วิจัยได้ปรับปรุงในแต่ละข้อตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ แต่จะมีข้อสอบบางข้อที่ผู้วิจัยยังคงไว้เหมือนเดิม โดยมีรายละเอียดดังนี้ ส่วนที่ 1 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ข้อสอบข้อที่ 2 ได้มีผู้เชี่ยวชาญให้ข้อเสนอแนะและคำแนะนำให้ปรับเกี่ยวกับรูปในโจทย์ แต่เนื่องจากเป็นข้อสอบมาตรฐานที่ผู้วิจัยคัดเลือกมาจากแบบทดสอบ FCI เช่นเดียวกับข้อสอบข้อที่ 1 และ 3 ดังนั้น ข้อสอบทั้ง 3 ข้อนี้ผู้วิจัยยังคงไว้เหมือนเดิม สำหรับข้อสอบข้ออื่น ๆ ในหัวข้อนี้นี้ผู้วิจัยได้ปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ ส่วนที่ 2 เรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล สำหรับในส่วนนี้มีข้อสอบที่ผู้วิจัยเลือกมาจากแบบทดสอบมาตรฐาน EMCS คือ ข้อ 14 และ 15 และข้อสอบที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น คือ ข้อ 10, 11, 12, 13, 16, 17 และ 18 ซึ่งข้อสอบทุกข้อผู้เชี่ยวชาญได้ให้คำแนะนำรวมทั้งข้อเสนอแนะของแต่ละข้อ ผู้วิจัยเห็นว่าข้อเสนอนี้ต่าง ๆ เป็นประโยชน์ที่จะสามารถปรับข้อสอบให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ถึงแม้ว่าข้อสอบบางข้อจะมาจากแบบทดสอบมาตรฐาน เช่น ข้อที่ 15 ที่ผู้เชี่ยวชาญให้ปรับตัวเลือกดังตัวอย่างในตารางที่ 3.4 ดังนั้นในหัวข้อนี้นี้ผู้วิจัยจึงปรับปรุงข้อสอบทุกข้อให้เป็นไปตามที่ผู้เชี่ยวชาญแนะนำ หลังจากปรับปรุงและพัฒนาข้อสอบครบทุกข้อแล้วผู้วิจัยนำข้อสอบไปให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้ง เมื่ออาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้นำข้อสอบทั้งฉบับไปทดสอบนักเรียนจำนวน 75 คน แล้วนำข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติ

3.1.3.2 หาค่าความยากง่ายของข้อสอบ (Item Difficulty Index: P Index)

ผู้วิจัยได้นำข้อสอบที่ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องจากผู้เชี่ยวชาญไปทดลองใช้ (try out) กับนักเรียนจำนวน 75 คน จากนั้นนำผลจากการสอบของนักเรียนมาวิเคราะห์รายข้อ เพื่อตรวจสอบคุณภาพของข้อสอบแต่ละข้อ โดยวิเคราะห์จากสมการ

$$P = \frac{R}{N} \quad (3.1)$$

เมื่อ	P	คือ ค่าความยากง่ายของข้อสอบ
	R	คือ จำนวนนักเรียนที่ตอบถูก
	N	คือ จำนวนนักเรียนทั้งหมด

จากสมการ สามารถพิจารณาค่าความยากง่ายของข้อสอบได้จากสัดส่วนของจำนวนผู้ที่ตอบข้อสอบได้ถูกต้องต่อจำนวนผู้ที่ตอบข้อสอบทั้งหมด หรือหมายถึงจำนวนร้อยละของผู้ตอบข้อสอบนั้น ๆ ถูก ซึ่งค่าความยากง่ายจะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 สำหรับข้อสอบที่ดีควรมีค่าความยากง่ายระหว่าง 0.20 - 0.80 ซึ่งค่าความยากง่ายของข้อสอบแต่ละข้อแสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ค่าความยากง่ายของข้อสอบรายข้อ

	ข้อที่ (ค่าความยากง่าย: P)	
ระดับความยากง่าย	การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์	กฎการอนุรักษ์พลังงานกล
ง่ายมาก		17(0.86)
ง่าย	2(0.62) 3(0.68) 4(0.78) 9(0.67)	12(0.76) 14(0.64) 16(0.77)
ปานกลาง	1(0.60) 5(0.56) 6(0.51) 7(0.4)	10(0.42) 11(0.49) 13(0.51) 18(0.44)
ยาก	8(0.39)	15(0.25)

จากตารางที่ 3.5 แสดงค่าความยากง่ายของข้อสอบในแต่ละข้อ โดยข้อสอบที่นำไปทดลองใช้นั้นสามารถวิเคราะห์ผลออกมาได้ 4 ระดับ ได้แก่

- 1) ระดับง่ายมาก มีจำนวน 1 ข้อ คือข้อที่ 17
 - 2) ระดับง่าย จำนวน 7 ข้อ คือข้อที่ 2, 3, 4, 9, 12, 14 และ 16
 - 3) ระดับปานกลาง มีจำนวน 8 ข้อ คือข้อที่ 1, 5, 6, 7, 10, 11, 13 และ 18
 - 4) ระดับยาก มีจำนวน 2 ข้อ คือข้อที่ 8 และ 15
- เมื่อพิจารณาค่าความยากง่ายของข้อสอบแต่ละข้อพบว่าเป็นข้อสอบที่ดีสามารถนำไปใช้ได้จำนวน 17 ข้อ ส่วนข้อสอบข้อที่ 17 ซึ่งเป็นข้อสอบที่มีระดับง่ายมาก แต่ข้อสอบข้อนี้เป็นข้อสอบที่สามารถวัดความเข้าใจของนักเรียนได้ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ข้อสอบข้อที่ 17 ด้วย

3.1.3.3 หาค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ (r)

การหาค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบ (r) ของงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อดูความสามารถของข้อสอบในการจำแนกให้เห็นความแตกต่างระหว่างนักเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์ต่างกัน โดยสามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

$$r = \frac{R_H - R_L}{N_H \text{ or } N_L} \quad (3.2)$$

เมื่อ	r	คือ ค่าอำนาจจำแนก
	R_H	คือ จำนวนนักเรียนที่ตอบถูกในกลุ่มคะแนนสูง
	R_L	คือ จำนวนนักเรียนที่ตอบถูกในกลุ่มคะแนนต่ำ
	N_H	คือ จำนวนนักเรียนทั้งหมดในกลุ่มคะแนนสูง
	N_L	คือ จำนวนนักเรียนทั้งหมดในกลุ่มคะแนนต่ำ

ค่าอำนาจจำแนก (r) ที่ได้จากข้อสอบจะพิจารณาจากคะแนนที่นักเรียนสามารถทำข้อสอบข้อนั้น ๆ ได้ โดยผู้วิจัยได้แยกคะแนนออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสูงและกลุ่มต่ำ โดยใช้เทคนิค 35% นั่นคือ กลุ่มสูงจะนับจากคะแนนสูงลงมาประมาณ 35% ของผู้เข้าสอบทั้งหมด และกลุ่มต่ำจะนับจากคะแนนต่ำขึ้นไปประมาณ 35% ของผู้เข้าสอบทั้งหมด สำหรับค่าอำนาจจำแนก จะมีค่าตั้งแต่ -1 ถึง + 1 ซึ่งข้อสอบที่สามารถจำแนกได้ดีนั้น จะมีค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.20 – 1.00 ซึ่งจากการนำข้อสอบไปทดลองใช้แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลเพื่อหาค่าอำนาจจำแนก สามารถแสดงผลของข้อสอบแต่ละข้อได้ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบรายข้อ

การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์									
ข้อที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ค่าอำนาจจำแนก (r)	0.40	0.65	0.45	0.70	0.60	0.45	0.55	0.40	0.70
กฎการอนุรักษ์พลังงานกล									
ข้อที่	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ค่าอำนาจจำแนก (r)	0.35	0.50	0.60	0.45	0.25	0.50	0.45	0.25	0.50

จากตารางที่ 3.6 แสดงค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบในแต่ละข้อ ซึ่งการวิเคราะห์ผลจะแยกข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ตามหัวข้อในแบบทดสอบ ส่วนที่ 1 คือ เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ มีข้อสอบจำนวน 9 ข้อ และส่วนที่ 2 คือ เรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล มีข้อสอบจำนวน 9 ข้อ รวมข้อสอบทั้งสิ้น 18 ข้อ ผลจากการวิเคราะห์ค่าอำนาจจำแนก พบว่า ข้อสอบทุกข้อมีค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.20 – 1.00 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าข้อสอบทุกข้อจำแนกได้ดี

3.1.3.4 หาค่าความเที่ยงด้วยวิธีของคูเดอร์และริชาร์ดสัน

ผู้วิจัยหาค่าความเที่ยงของแบบทดสอบด้วยวิธีของคูเดอร์และริชาร์ดสัน ซึ่งเป็นการหาความสัมพันธ์ของคะแนนจากการใช้แบบทดสอบฉบับเดียวและสอบเพียงครั้งเดียว และแบบทดสอบนี้มีระบบการให้คะแนนแบบ 0, 1 (ผิด 0, ถูก 1) สำหรับสมการที่ใช้หาค่าความเที่ยงนั้น ผู้วิจัยใช้แบบ KR – 20 คือ

$$R_{KR-20} = \frac{K}{K-1} \left[1 - \frac{\sum pq}{S^2} \right] \quad (3.3)$$

เมื่อ R_{KR-20} คือ ความเที่ยงของแบบทดสอบ

K	คือ จำนวนข้อสอบ
p	คือ ความยากง่ายของข้อสอบแต่ละข้อ
q	คือ สัดส่วนที่ตอบผิด ($1-p$)
S^2	คือ ความแปรปรวนของคะแนนรวมของแบบทดสอบ

$$\text{และ } S^2 = \frac{N \sum X^2 - (\sum X)^2}{N^2} \quad (3.4)$$

เมื่อ S^2	คือ ความแปรปรวนของคะแนนรวมของแบบทดสอบ
N	คือ จำนวนผู้เรียนทั้งหมดที่ทำแบบทดสอบ
X	คือ คะแนนรวมทั้งหมดของผู้เรียนแต่ละคน

นอกจากวิเคราะห์ค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบแต่ละข้อแล้ว ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ค่าความเที่ยงของแบบทดสอบนี้ด้วย ผลจากการวิเคราะห์ค่าความเที่ยงของแบบทดสอบฉบับนี้ พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.72 แสดงว่าแบบทดสอบฉบับนี้มีคุณภาพ

3.1.4 การสร้างแผนการจัดการเรียนรู้

การเขียนแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการ ด้วยวิธีการจัดการเรียนรู้แบบบรรยายประกอบการสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์ (Interactive Lecture demonstrations: ILD) ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาโครงสร้างรายวิชาและวิเคราะห์เนื้อหาจากหลักสูตรและคำอธิบายรายวิชา ฟิสิกส์ เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์และเรื่องกฎการอนุรักษ์พลังงานกล จากนั้นศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับรูปแบบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ ILD รวมไปถึงงานวิจัยและกิจกรรมการทดลองที่เกี่ยวข้อง เมื่อศึกษาข้อมูลเรียบร้อยแล้วผู้วิจัยได้ออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ให้ครอบคลุมเนื้อหา จุดประสงค์การเรียนรู้และกำหนดความเหมาะสมของเวลาเรียน ซึ่งแผนการจัดการเรียนรู้ที่ได้ ออกแบบมีจำนวน 2 แผนการเรียนรู้ จากนั้นนำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ได้สร้างขึ้นไปให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบความถูกต้องและเหมาะสมแล้วนำแผนมาปรับปรุงแก้ไขให้มีความสมบูรณ์ ถูกต้อง จากการแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาดังรายละเอียดของแผนการจัดการเรียนรู้ในภาคผนวก ข

สำหรับแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นเป็นการสอนตามลำดับขั้นตอนแบบ ILD โดยใช้กิจกรรมและใบกิจกรรมที่ผู้วิจัยได้ออกแบบ ซึ่งในกระบวนการจัดการเรียนการสอนนั้นผู้วิจัยได้ทำการประเมินพฤติกรรมที่สังเกตเห็นได้ทั้งของครูผู้สอนและของนักเรียน สำหรับจุดประสงค์หลักของการสังเกตพฤติกรรมการเรียนการสอนในงานวิจัยนี้เพื่อต้องการทราบว่าแผนการจัดการเรียนรู้ที่ได้ ออกแบบมานั้นช่วยให้เกิดการเรียนรู้แบบเชิงรุก (Active Learning) ได้หรือไม่ อย่างไร ผู้วิจัยใช้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 2 คน ซึ่งเป็นครูผู้สอนที่มีประสบการณ์สอนมากกว่า 5 ปี มาสังเกตชั้นเรียนพร้อม

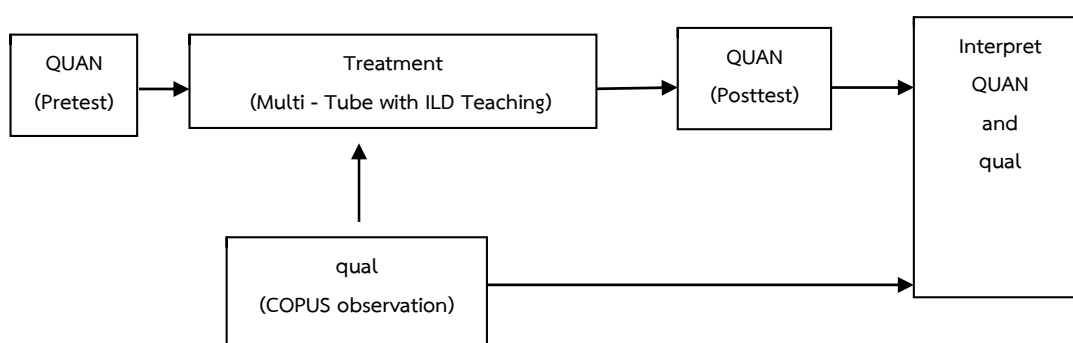
ทั้งบันทึกพฤติกรรมที่สังเกตเห็นโดยใช้แบบบันทึกที่ชื่อ The Classroom Observation Protocol for Undergraduate STEM (COPUS) โดยแบบบันทึกนี้ได้รับการพัฒนาและนำเสนอโดย M.K. Smith และคณะ ในปี 2013 ซึ่งจะแสดงรายละเอียดและตัวอย่างแบบบันทึกในภาคผนวก ก ลักษณะพฤติกรรมในแบบสังเกตนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ พฤติกรรมผู้เรียน 13 ข้อ และ พฤติกรรมผู้สอน 12 ข้อ รวมพฤติกรรมที่สังเกตทั้งสิ้น 25 ข้อ โดยรหัส (Code) หรือลักษณะของพฤติกรรมได้อธิบายไว้ใน บทที่ 2 สำหรับการบันทึกพฤติกรรม ผู้เชี่ยวชาญจะต้องบันทึกสิ่งที่สังเกตเห็นทุก ๆ 2 นาที ตลอดการจัดการเรียนรู้ในแต่ละครั้ง จากนั้นผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญมาวิเคราะห์หาค่าร้อยละของแต่ละพฤติกรรมและอภิปรายผล

3.2 การดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้เป็นการใช้ชุดการทดลองอย่างง่ายในการจัดการเรียนรู้โดยใช้วิธีการสอนแบบบรรยายประกอบการสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์ (Interactive Lecture demonstrations: ILD) กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 40 คนที่กำลังศึกษาอยู่ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 โรงเรียนมหาราชพาราม สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 1 กรุงเทพมหานคร ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling) นักเรียนกลุ่มดังกล่าวเป็นนักเรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์ - คณิตศาสตร์ ซึ่งนักเรียนกลุ่มดังกล่าวมีผลการเรียนเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลางทุกคน ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.3 แบบแผนวิธีวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ใช้วิธีการวิจัยเชิงผสมผสาน (Mixed Methods Research) แบบแผน แบบรองรับภายใน (Embedded Design) แสดงดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 แบบแผนการวิจัย

3.4 ระเบียบวิธีวิจัย

นักเรียนกลุ่มทดลองถูกแบ่งออกเป็น 8 กลุ่ม กลุ่มละ 5 คน โดยการแบ่งกลุ่มในครั้งนี้ให้นักเรียนเลือกกลุ่มตามความสมัครใจของตนเอง เนื่องจากนักเรียนในกลุ่มทดลองมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยใกล้เคียงกัน

นักเรียนทุกคนจะถูกทดสอบความรู้ความเข้าใจ โดยการสอบครั้งนี้จะเรียกว่า การทดสอบก่อนเรียน มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความรู้เบื้องต้นของนักเรียนกลุ่มทดลอง ซึ่งจะใช้แบบทดสอบเรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล จำนวน 18 ข้อ ใช้เวลาในการทดสอบ 40 นาที จากนั้นกลุ่มทดลองจะได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดการทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น สำหรับชุดการทดลองนี้จะนำไปใช้จัดการเรียนรู้ 2 กิจกรรม ได้แก่ 1) การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ (200 นาที) 2) กฎการอนุรักษ์พลังงานกล (150 นาที) ซึ่งทั้ง 2 กิจกรรมเป็นกิจกรรมที่ต่อเนื่องกัน ผู้วิจัยใช้วิธีการสอนแบบบรรยายประกอบการสาธิตเชิงปฏิสัมพันธ์ เริ่มต้นด้วยการนำเข้าสู่บทเรียนด้วยการให้นักเรียนดูคลิปวิดีโอในเนื้อหาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล ครูตั้งประเด็นคำถามให้นักเรียนช่วยกันอภิปรายเชื่อมความสัมพันธ์ถึงสถานการณ์ในคลิปวิดีโอกับเนื้อหาฟิสิกส์ ต่อมาครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้แล้วเริ่มการเรียนการสอนตามขั้นตอนแบบ ILD โดยในขณะจัดการเรียนการสอนจะมีผู้เชี่ยวชาญจำนวน 2 คน สังเกตและบันทึกการแสดงออกเกี่ยวกับพฤติกรรมทั้งของนักเรียนและครูผู้สอนตลอดการเรียนการสอน โดยบันทึกลงในแบบบันทึก COPUS

หลังจากเสร็จแต่ละกิจกรรมการเรียนการสอนแล้ว นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับผลการทดลอง จากนั้นครูให้ความรู้เพิ่มเติมพร้อมทั้งให้โจทย์เสริมประสบการณ์เพื่อเพิ่มความเข้าใจแก่นักเรียน และทำการทดสอบนักเรียนโดยใช้แบบทดสอบฉบับเดียวกับแบบทดสอบก่อนเรียน นำคะแนนสอบทั้งสองครั้งมาเปรียบเทียบกับสถิติ t - test dependent ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 หาค่าเฉลี่ย พร้อมทั้งวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางเรียนของนักเรียนทั้งรายบุคคลและรายห้อง ด้วยวิธีการหาค่า Normalized Gain นอกจากนี้ยังวิเคราะห์ผลจากการสังเกตชั้นเรียนด้วยแบบ COPUS โดยการทำผลที่ได้มาหาค่าร้อยละพร้อมทั้งอภิปรายผล

3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลงานวิจัย เริ่มต้นด้วยการให้นักเรียนกลุ่มตัวอย่างได้ทำแบบทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) ทั้งนี้เพื่อเก็บข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์ความรู้ ความเข้าใจของนักเรียนก่อนจัดการเรียนรู้ เริ่มจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ โดยใช้เวลาจัดการเรียนรู้จำนวน 4 คาบ คาบละ 50 นาที จากนั้นจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล ใช้เวลาจัดการเรียนรู้จำนวน 3 คาบ คาบละ 50 นาที เมื่อเสร็จ

กระบวนการจัดการเรียนรู้ นักเรียนกลุ่มตัวอย่างจะถูกทดสอบหลังเรียน (Post-test) ด้วยแบบทดสอบฉบับเดียวกับการทดสอบก่อนเรียน หลังจากการทดสอบหลังเรียน (Post-test) ผ่านไป 14 วัน นักเรียนกลุ่มตัวอย่างจะถูกทดสอบหลังเรียนอีกครั้งเพื่อนำผลการทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์ความคงทนของความรู้ ซึ่งขั้นตอนของการเก็บรวบรวมข้อมูลสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

แผนการจัดการเรียนรู้ที่	เรื่อง	เวลา (นาที)
	ทดสอบก่อนเรียน (Pre - test)	40
1	การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์	200
2	กฎการอนุรักษ์พลังงานกล	150
	ทดสอบหลังเรียน (Post -test) 1	40
	ทดสอบหลังเรียน (Post -test) 2	40

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลและค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

3.6.1 การวิเคราะห์ผลของเครื่องมือ

ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองและจากผู้เชี่ยวชาญมาหาค่าทางสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าความคลาดเคลื่อน ค่าความสอดคล้อง ค่าความเที่ยง ค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก

3.6.2 การวิเคราะห์ความเข้าใจในแนวคิดของนักเรียน

ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลหาค่าเฉลี่ยของคะแนนจากการทำแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบคะแนนทางการเรียน โดยใช้สถิติแบบ t – test dependent

3.6.3 การวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียน

ผู้วิจัยวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียน โดยการหาค่า Normalized gain <g> เพื่อประเมินผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้น โดยใช้คะแนนจากผลสอบ Pretest และ Posttest ซึ่งวิธีการหาค่า Normalized gain นั้นพิจารณาจากอัตราส่วนของผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริง (Actual gain) ต่อผลการเรียนรู้สูงสุดที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นได้ (Maximum possible gain) ดังสมการในบทที่ 2

3.6.4 การวิเคราะห์พฤติกรรมในชั้นเรียน

ผู้วิจัยวิเคราะห์พฤติกรรมในชั้นเรียน โดยการหาค่าความถี่และค่าร้อยละของพฤติกรรมที่ปรากฏขึ้นในระหว่างจัดการเรียนการสอนเพื่ออภิปรายผลที่เกิดการออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้ และวิธีการจัดการเรียนการสอน โดยใช้วิธีการและสมการที่ได้เขียนไว้ในบทที่ 2

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบ สร้างและพัฒนาสื่ออุปกรณ์การทดลองเอนกประสงค์ สำหรับการบูรณาการในการจัดการเรียนรู้เชิงรุกแบบ ILD เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ และ กฎการอนุรักษ์พลังงานกล เพื่อพัฒนาความเข้าใจในแนวคิดของนักเรียน รวมทั้งศึกษาการแสดงออกของพฤติกรรมนักเรียนและครูผู้สอนในขณะจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับดังนี้

4.1 ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ ILD เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่างคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียน ด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ ILD แสดงผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบคะแนนความเข้าใจทางการเรียน เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ และ กฎการอนุรักษ์พลังงานกล ก่อนเรียนและหลังเรียน ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบ ILD

ผลคะแนน	จำนวนนักเรียน (คน)	ค่าสถิติ		
		ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	t
ก่อนเรียน	40	5.33	1.80	30.84*
หลังเรียน	40	13.43	2.63	

* $t_{0.05} = 1.68$, $df = 39$

จากตารางที่ 4.1 มาจากคะแนนของนักเรียนจำนวน 40 คน ที่ได้ทำแบบทดสอบวัดความเข้าใจในแนวคิดจำนวน 18 ข้อ ซึ่งคะแนนที่นำมาวิเคราะห์ผลนั้นเป็นคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียน ผลการวิเคราะห์ปรากฏว่าคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน ($\bar{x} = 13.43$) สูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน ($\bar{x} = 5.33$) และผลการวิเคราะห์ค่า t - test dependent พบว่ามีค่าเท่ากับ 30.84 ซึ่งมากกว่า

ค่า t วิฤติ ที่มีค่าเท่ากับ 1.68 จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติสรุปได้ว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ ILD เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ และ กฎการอนุรักษ์พลังงานกล ส่งผลให้คะแนนเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความรู้ความเข้าใจในแนวคิดเรื่องที่เรียนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการสอนแบบ ILD เป็นการสอนแบบเชิงรุกที่น่าสนใจกว่าการเรียนรู้ด้วยวิธีแบบปกติหรือดั้งเดิม (Mazzolini and Daniel, 2015) เปิดโอกาสให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้ผ่านการสังเกต ทำนาย สาธิต อภิปรายและตรวจสอบผลลัพธ์ (Sokoloff and Thornton, 2004) รวมทั้งมีการใช้เทคโนโลยีและโปรแกรมสำเร็จรูป Tracker มาจัดการเรียนรู้ ซึ่งเป็นสิ่งที่แปลกใหม่สำหรับการเรียนของนักเรียน ส่งผลให้นักเรียนสนุกกับการเรียนรู้และเข้าใจบทเรียน (Hutem and Kerdmee, 2017) และช่วยพัฒนาความเข้าใจในแนวคิดของนักเรียน (Tanahoung and et al., 2009)

4.2 ความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียน

ผู้วิจัยใช้วิธีหาค่า average normalized gain, $\langle g \rangle$ สำหรับการประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียน โดยพิจารณาจากผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริง (actual gain) ทหารด้วยผลการเรียนรู้สูงสุดที่มีโอกาสเป็นไปได้ (maximum possible gain) ซึ่งผู้วิจัยได้เขียนวิธีการคำนวณและสมการในการหาค่า average normalized gain ไว้ในบทที่ 2 จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับระดับความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยซึ่งจะแบ่งระดับของค่า normalized gain ออกเป็นกลุ่มได้ 3 ระดับ คือ

- | | |
|-------------------------------|---|
| (1) High gain (H) ระดับสูง | ผลการเรียนเพิ่มขึ้นในช่วง $0.7 \leq \langle g \rangle \leq 1$ |
| (2) Medium gain (M) ระดับกลาง | ผลการเรียนเพิ่มขึ้นในช่วง $0.3 \leq \langle g \rangle < 0.7$ |
| (3) Low gain (L) ระดับต่ำ | ผลการเรียนเพิ่มขึ้นในช่วง $0.0 \leq \langle g \rangle < 0.3$ |

สำหรับการวิเคราะห์ผลเกี่ยวกับความก้าวหน้าทางการเรียนนั้น ผู้วิจัยจะวิเคราะห์ทั้งหมด 4 กรณี คือ 1) วิเคราะห์ความเข้าใจในแนวคิดของนักเรียนทั้งชั้น 2) วิเคราะห์ความเข้าใจในแนวคิดของนักเรียนรายบุคคล 3) วิเคราะห์ความเข้าใจในแนวคิดของข้อสอบรายข้อ และ 4) วิเคราะห์ความเข้าใจในแนวคิดต่อการเรียนในแต่ละหัวข้อ โดยจะวิเคราะห์ตามลำดับดังนี้

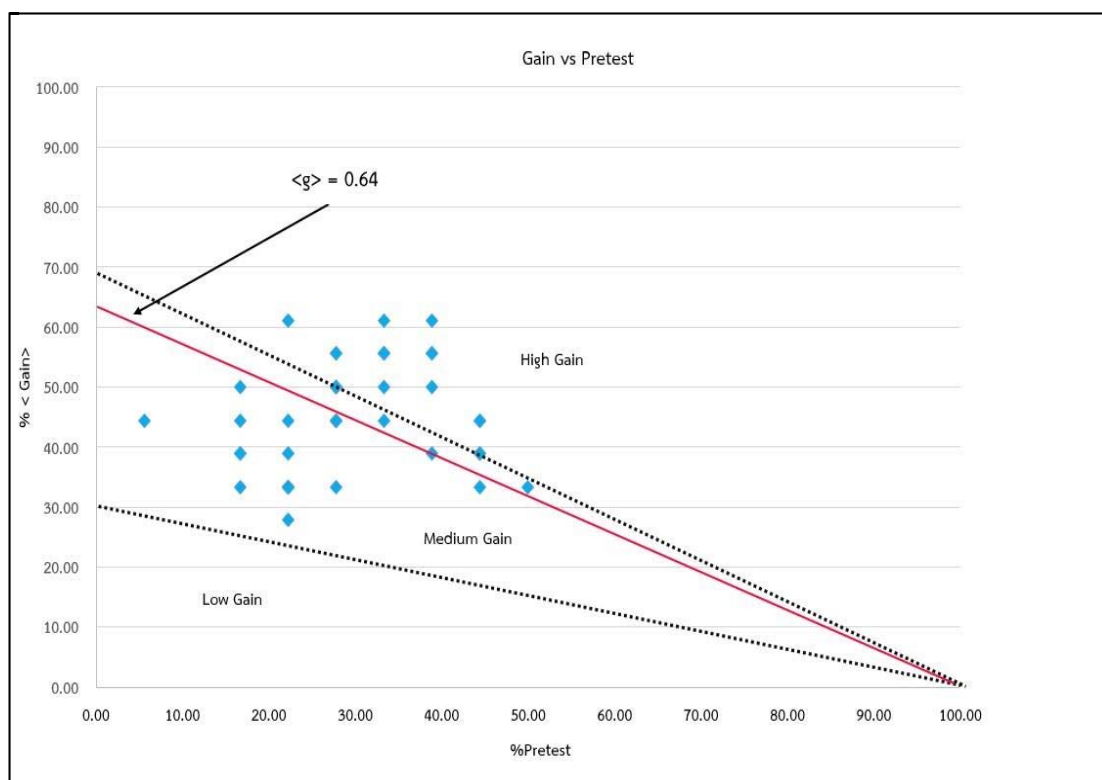
4.2.1 วิเคราะห์ความเข้าใจในแนวคิดของนักเรียนทั้งชั้น พิจารณาจากคะแนนเฉลี่ยของทั้งชั้นก่อนเรียนและหลังเรียน เพื่อดูพัฒนาการของการจัดเรียนการสอนโดยภาพรวม ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความเข้าใจในแนวคิดของนักเรียนทั้งชั้นโดยใช้วิธี average normalized gain, <g>

หัวข้อ	%Pre - test	%Post - test	%Actual gain	%Possible gain	Avg. Normalized gain
การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล	29.58	74.58	45.00	70.42	0.64
รวม	29.58	74.58	45.00	70.42	0.64

จากตารางที่ 4.2 เป็นการวิเคราะห์ผลโดยใช้คะแนนเฉลี่ยทั้งชั้นเรียนจากการสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียน เพื่อประเมินเกี่ยวกับความเข้าใจในแนวคิด ซึ่งจะพิจารณาจากความก้าวหน้าทางการเรียน โดยใช้วิธีการหาค่า average normalized gain, <g> ผลวิเคราะห์ปรากฏว่า ความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยของชั้นเรียน มีค่าเท่ากับ 0.64 หมายความว่า นักเรียนทั้งชั้นมีความก้าวหน้าของการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริงคิดเป็นร้อยละ 64 แสดงให้เห็นว่า ก่อนการจัดการเรียนรู้แบบ ILD นักเรียนทั้งชั้นเรียนได้คะแนนจากการทำแบบทดสอบวัดความเข้าใจในแนวคิดเฉลี่ยทั้งชั้นมีค่าน้อย เมื่อนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ ILD แล้วทำให้นักเรียนมีความรู้และความเข้าใจในแนวคิดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้นักเรียนทั้งชั้นเรียนสามารถทำคะแนนได้เพิ่มขึ้นสำหรับการทำแบบทดสอบหลังเรียน และจากการวิเคราะห์ค่าคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนทั้งชั้นแสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ในระดับ Medium gain

4.2.2 วิเคราะห์ความก้าวหน้าของความเข้าใจในแนวคิดเป็นรายบุคคลจากนักเรียนจำนวน 40 คน โดยการวิเคราะห์จะใช้คะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน ซึ่งจะใช้วิธีการหาค่า average normalized gain, <g> รายบุคคล ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % pretest กับ % gain ของนักเรียนที่ได้รับ
การจัดการเรียนรู้แบบ ILD

จากภาพที่ 4.1 เป็นภาพของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริง (แนวแกน Y) หรือ Actual gain (%<Gain>) กับคะแนนก่อนเรียน (%Pretest) แกน X ของนักเรียนรายบุคคล โดยค่า Normalized gain ของนักเรียนจะพิจารณาจากอัตราส่วนของผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริง %<Gain> เทียบกับผลการเรียนรู้ที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นได้ ($100\% - \%Pretest$) สำหรับเส้นกราฟที่เป็นเส้นทึบ คือ กราฟที่แสดงการแบ่งช่วงของระดับค่า Normalized gain ส่วนกราฟที่เป็นเส้นทึบ คือ เส้นกราฟที่แสดงค่า average normalized gain ขึ้นเรียน สำหรับผลการวิเคราะห์ข้อมูลในครั้งนี้พบว่านักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ 2 ระดับ คือ 1) ระดับ High gain จะมีนักเรียนที่มีความก้าวหน้าอยู่ในระดับนี้จำนวน 15 คน คิดเป็นร้อยละ 37.5 และ 2) ระดับ Medium gain จำนวน 25 คน คิดเป็นร้อยละ 62.5 จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่านักเรียนส่วนใหญ่มีความก้าวหน้าทางเรียนอยู่ในระดับ Medium gain

4.2.3 วิเคราะห์ความก้าวหน้าของความเข้าใจในแนวคิดเป็นรายข้อ โดยการวิเคราะห์จะพิจารณาจากจำนวนนักเรียนที่ตอบถูกเพิ่มขึ้นของข้อสอบในแต่ละข้อ ซึ่งข้อมูลจะได้รับการทำแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียน ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความก้าวหน้าของข้อสอบรายข้อ

ข้อที่	%Pre - test	%Post - test	%Actual gain	%Possible gain	Avg. Normalized gain
การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์					
1	10.00	72.50	62.50	90.00	0.69 (M)
2	60.00	100.00	40.00	40.00	1.00 (H)
3	7.50	100.00	92.50	92.50	1.00 (H)
4	77.50	90.00	12.50	22.50	0.56 (M)
5	40.00	87.50	47.50	60.00	0.79 (H)
6	60.00	82.50	22.50	40.00	0.56 (M)
7	10.00	67.50	57.50	90.00	0.64 (M)
8	15.00	57.50	42.50	85.00	0.50 (M)
9	0.00	52.50	52.50	100.00	0.53 (M)
กฎการอนุรักษ์พลังงานกล					
10	5.00	57.50	52.50	95.00	0.55 (M)
11	25.00	72.50	47.50	75.00	0.63 (M)
12	25.00	72.50	47.50	75.00	0.63 (M)
13	7.50	85.00	77.50	92.50	0.84 (H)
14	32.50	62.50	30.00	67.50	0.44 (M)
15	40.00	65.00	25.00	60.00	0.42 (M)
16	52.50	82.50	30.00	47.50	0.63 (M)
17	15.00	62.50	47.50	85.00	0.56 (M)
18	50.00	72.50	22.50	50.00	0.45 (M)

จากตารางที่ 4.3 เป็นการวิเคราะห์ความก้าวหน้าของการทำข้อสอบรายข้อที่พิจารณาจากอัตราส่วนของผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริง $\% \text{Gain} < \text{Gain} >$ เทียบกับผลการเรียนรู้ที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นได้ $(100\% - \% \text{Pretest})$ ระดับของความก้าวหน้า ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับ High gain (H) Medium gain (M) และ Low gain (L) จากการวิเคราะห์พบว่า อัตราการตอบถูกของนักเรียนในการทำข้อสอบในแต่ละข้อสามารถแสดงถึงความก้าวหน้าของความเข้าใจในแนวคิดในแต่ละข้อเพิ่มขึ้น ผลของการวิเคราะห์ข้อมูลจากคำตอบของนักเรียนสามารถแบ่งระดับ

ความก้าวหน้ารายข้อออกเป็น 2 ระดับ คือ 1) ความก้าวหน้าที่อยู่ในระดับ High gain มี 4 ข้อ ได้แก่ ข้อที่ 2, 3, 5 และ 13 ซึ่งข้อสอบที่มีความก้าวหน้ามากที่สุดคือข้อที่ 2 และ 3 มีค่าความก้าวหน้าเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 1.00 หรือร้อยละ 100 สำหรับข้อสอบนี้เป็นคำถามเกี่ยวกับความเข้าใจของแนวคิดเรื่องการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ซึ่งข้อสอบ 2 ข้อดังกล่าวจะเป็นข้อคำถามที่มีรูปภาพเกี่ยวกับลักษณะของเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ หลังจากการจัดการเรียนรู้แบบ ILD แล้ว นักเรียนทุกคนสามารถตอบคำถามของข้อสอบทั้ง 2 ข้อได้ถูก ทั้งนี้เนื่องจากนักเรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมการทดลองด้วยตนเอง มีการสรุปผลและอภิปรายกลุ่มร่วมกันส่งผลให้เกิดความเข้าใจที่ตรงกัน 2) ความก้าวหน้าระดับ Medium gain มี 14 ข้อ ได้แก่ ข้อที่ 1, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17 และ 18 ข้อที่มีความก้าวหน้ามากที่สุดในระดับนี้คือ ข้อที่ 1 มีความก้าวหน้าเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.69 หรือร้อยละ 69 ซึ่งเป็นข้อสอบที่ถามเกี่ยวกับระยะการตกของวัตถุ และไม่มีข้อสอบข้อใดเลยที่มีความก้าวหน้าอยู่ในระดับ Low gain

4.2.4 วิเคราะห์ความก้าวหน้าของแต่ละแนวคิดรวบยอด โดยการวิเคราะห์นั้นจะพิจารณาจากจำนวนนักเรียนที่ตอบถูกเพิ่มขึ้นของข้อสอบในแต่ละแนวคิดรวบยอด สำหรับการวิเคราะห์ครั้งนี้จะนำข้อมูลที่ได้จากผลของการวิเคราะห์ข้อสอบรายข้อดังตารางที่ 4.3 มาจัดกลุ่มแนวคิดรวบยอดเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 แนวคิดรวบยอด เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ข้อสอบที่นำมาพิจารณา มีจำนวน 9 ข้อ คือ ข้อที่ 1 – 9 และกลุ่มที่ 2 แนวคิดรวบยอด เรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล ข้อสอบที่นำมาพิจารณา มีจำนวน 9 ข้อ คือ ข้อที่ 10 – 18 ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความก้าวหน้าของแต่ละแนวคิดรวบยอด

แนวคิด	ระดับความก้าวหน้า	ข้อที่
การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์	High gain	2, 3 และ 5
	Medium gain	1, 4, 6, 7, 8 และ 9
	Low gain	-
กฎการอนุรักษ์พลังงานกล	High gain	13
	Medium gain	10, 11, 12, 14, 15, 16, 17 และ 18
	Low gain	-

จากตารางที่ 4.4 พบว่า นักเรียนมีความก้าวหน้าของความเข้าใจในแนวคิดรวบยอดแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) แนวคิดรวบยอด เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ มีระดับความก้าวหน้าอยู่ 2 ระดับ คือ ระดับ High gain ได้แก่ข้อสอบข้อที่ 2, 3 และ 5 และระดับ Medium gain ได้แก่

ข้อ 1, 4, 6, 7, 8 และ 9 และ 2) ความก้าวหน้าของความเข้าใจในแนวคิดรวบยอด เรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล มี 2 ระดับเช่นเดียวกัน คือ ระดับ High gain ได้แก่วิธีข้อสอบข้อที่ 13 และระดับ Medium gain ได้แก่วิธีข้อ 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17 และ 18 พบว่าไม่มีความก้าวหน้าของข้อสอบที่อยู่ในระดับ Low gain ทั้ง 2 แนวคิด นอกจากนี้มีการวิเคราะห์ความก้าวหน้าเฉลี่ยรวมของทั้ง 2 แนวคิด แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางเรียนเฉลี่ยรายหัวข้อ

หัวข้อ	%Pre - test	%Post - test	%Actual gain	%Possible gain	Avg. Normalized gain
การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์	31.11	78.89	47.78	68.89	0.69
กฎการอนุรักษ์พลังงานกล	28.06	70.28	42.22	71.94	0.59

จากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความเข้าใจในแนวคิด เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ หลังเรียน (%Post - test) สูงกว่าก่อนเรียน (%Pre - test) คิดเป็นร้อยละ 78.89 และ 31.11 ตามลำดับ มีความก้าวหน้าของความเข้าใจในแนวคิด <g> เท่ากับ 0.69 และมีความเข้าใจในแนวคิดเรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนเช่นกัน คิดเป็นร้อยละ 70.28 และ 28.06 ตามลำดับ มีความก้าวหน้าของความเข้าใจในแนวคิด <g> เท่ากับ 0.59 จากการจัดการเรียนรู้แบบ ILD ในครั้งนี้ช่วยให้นักเรียนมีความก้าวหน้าของความเข้าใจในแนวคิดทั้ง 2 แนวคิด อยู่ในระดับ Medium gain

จากผลการวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางเรียนของนักเรียน พบว่า หลังจากที่นักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ ILD นักเรียนมีความเข้าใจในแนวคิดเรื่อง การเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ และเรื่องกฎการอนุรักษ์พลังงานกล เพิ่มขึ้น นักเรียนแต่ละคนสามารถตอบคำถามในแบบทดสอบได้ถูกต้องมากกว่าก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ ILD ทำให้มีความก้าวหน้าทางเรียนของแต่ละแนวคิดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีความก้าวหน้าทางเรียนของชั้นเรียนอยู่ที่ระดับ Medium gain ทั้งนี้เนื่องจากรูปแบบของกิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบ ILD ที่ผู้วิจัยนำมาใช้เป็นวิธีการสอนเชิงรุกที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อปรับปรุงการเรียนรู้เชิงแนวคิดในการบรรยายทางฟิสิกส์ผ่านการมีส่วนร่วมของนักเรียน ในกระบวนการเรียนรู้ นักเรียนได้สังเกตการสาธิตทางฟิสิกส์จริง มีการทำนายเกี่ยวกับผลลัพธ์ และร่วมอภิปรายกับเพื่อนในชั้นเรียน รวมไปถึงนักเรียนได้ตรวจสอบผลลัพธ์ของการสาธิตหรือการทดลองจากใช้โปรแกรมที่สามารถแสดงผลออกมาเป็นกราฟ (Sokoloff and Thornton, 2004;

Mazzolini and et al., 2011) ซึ่งแตกต่างจากวิธีการสอนแบบดั้งเดิม ทำให้น่าสนใจว่าการเรียนแบบปกติ (Mazzolini and Daniel, 2015) ดึงดูดนักเรียนให้ความสนใจกับปรากฏการณ์ใหม่มากขึ้น (Tanahoung and et al., 2009) และช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ในแนวคิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Godoy, Benegas and Pendiella, 2012) รวมทั้งการปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเองของนักเรียน ทำให้นักเรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สามารถควบคุมตนเองด้านการเรียนและเรียนรู้ด้วยความเข้าใจมากกว่าการท่องจำ (Robinson, 2007; Shyr and Hsu, 2010)

4.3 ความรู้คงทนของนักเรียนที่เรียนโดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ ILD

ผลการวิเคราะห์ความรู้คงทนโดยเปรียบเทียบผลการทดสอบหลังเรียนเมื่อเรียนเสร็จทันทีกับผลการทดสอบหลังจากเรียนเสร็จแล้ว 14 วัน ผลปรากฏดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลคะแนนเฉลี่ยจากการทดสอบด้วยแบบทดสอบวัดความเข้าใจทางการเรียนทันทีที่เรียนเสร็จกับทดสอบหลังจากการเรียนเสร็จแล้ว 14 วัน

ผลคะแนน	จำนวน นักเรียน (คน)	ค่าสถิติ		
		$\bar{x}$	SD	t
ทดสอบหลังเรียนครั้งที่ 1	40	13.43	2.63	1.53*
ทดสอบหลังเรียนครั้งที่ 2	40	13.63	2.38	

* $t_{.05} = 1.68$

จากตารางที่ 4.6 เป็นการวิเคราะห์ผลการเรียนเฉลี่ยจากการทดสอบหลังเรียนครั้งที่ 1 (ทดสอบหลังจากเรียนเสร็จทันที) และการทดสอบหลังเรียนครั้งที่ 2 ซึ่งจะทดสอบหลังจากเรียนผ่านไปแล้ว 14 วัน แล้วนำมาเปรียบเทียบโดยใช้สถิติ t - test dependent ที่ระดับนัยสำคัญ .05 พบว่ามีค่า t เท่ากับ 1.53 ซึ่งค่า t ที่ได้ตกอยู่ในช่วง t วิฤติ ซึ่งทางสถิติถือว่าผลคะแนนจากการทดสอบหลังเรียนทั้งสองครั้งไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ ILD เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล มีความคงทนของความรู้ในเรื่องที่เรียน เนื่องจากการจัดการเรียนรู้แบบ ILD ทำให้นักเรียนเห็นปรากฏการณ์ทางกายภาพซึ่งดึงดูดต่อความสนใจของนักเรียน (Tanahoung and et al., 2009) มีการนำเสนอและอภิปรายโดยนักเรียนพร้อมกับคำอธิบายเพิ่มเติมจากครูผู้สอนและสมาชิกในห้องเรียน (Moreno and Mayer, 2000) ประกอบกับการเรียนรู้นี้เป็นกลยุทธ์ของการจัดการเรียนรู้แบบกระตือรือร้น (Active

Learning) ซึ่งทำให้การเรียนรู้ของนักเรียนเกิดประสิทธิภาพมากกว่าการสอนแบบบรรยายอย่างเดียว (Paulson, 1999) จึงส่งผลให้นักเรียนมีความคงทนของความรู้ (Kvam, 2000; Freeman and et al., 2014; Lucas and et al., 2013)

4.4 การวิเคราะห์พฤติกรรมของนักเรียนและครูผู้สอน

ในการจัดการเรียนรู้แบบ ILD เพื่อพัฒนาความเข้าใจในแนวคิด เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์และเรื่องกฎการอนุรักษ์พลังงานกล ขณะจัดการเรียนรู้จะมีการบันทึกพฤติกรรมของนักเรียนและครูผู้สอนโดยใช้แบบสังเกต COPUS ซึ่งผู้วิจัยใช้ผู้สังเกตการจัดการเรียนรู้จำนวน 2 คน ผลที่ได้จากการสังเกตของผู้สังเกตทั้ง 2 คน นำมาวิเคราะห์พฤติกรรมการแสดงออกของนักเรียนและครูผู้สอนสามารถแสดงรายละเอียดของพฤติกรรมต่าง ๆ ดังนี้

4.4.1 พฤติกรรมของนักเรียนและครูผู้สอนขณะจัดการเรียนรู้ในหัวข้อเรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

การจัดการเรียนรู้ในหัวข้อที่ 1 เป็นการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้แบบ ILD เพื่อพัฒนาความเข้าใจในแนวคิด เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ โดยใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้ จำนวน 200 นาที ตลอดระยะเวลาในการจัดการเรียนรู้จะมีการบันทึกพฤติกรรมแสดงออกของครูและนักเรียน ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 จำนวนครั้งของพฤติกรรมที่แสดงออกตลอดการจัดการเรียนรู้หัวข้อเรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

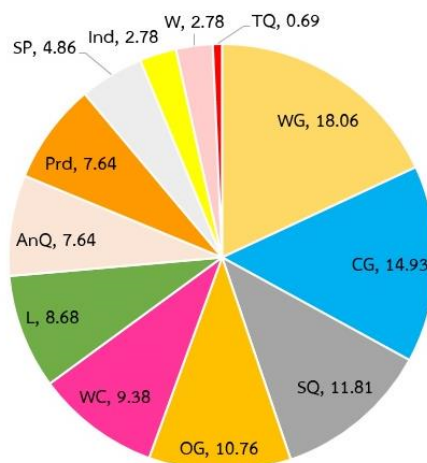
Code ของนักเรียน	ร้อยละความถี่ของพฤติกรรม(%B)	Code ของครู	ร้อยละความถี่ของพฤติกรรม (%B)
<i>L</i>	25	<i>Lec</i>	14
<i>Ind</i>	8	<i>RtW</i>	17
<i>CG</i>	43	<i>FUp</i>	50
<i>WG</i>	52	<i>PQ</i>	25
<i>OG</i>	31	<i>CQ</i>	0
<i>AnQ</i>	22	<i>AnQ</i>	35
<i>SQ</i>	34	<i>MG</i>	38
<i>WC</i>	27	<i>1o1</i>	25

ตารางที่ 4.7 จำนวนครั้งของพฤติกรรมที่แสดงออกตลอดการจัดการเรียนรู้หัวข้อ
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ (ต่อ)

Code ของนักเรียน	ร้อยละความถี่ของพฤติกรรม(%B)	Code ของครู	ร้อยละความถี่ของพฤติกรรม (%B)
<i>Prd</i>	22	<i>D/V</i>	14
<i>SP</i>	14	<i>Adm</i>	2
<i>TQ</i>	2	<i>W</i>	14
<i>W</i>	8	<i>O</i>	0
<i>O</i>	0		

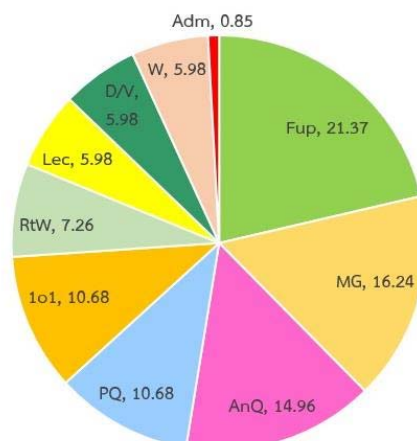
จากตารางที่ 4.7 เป็นการวิเคราะห์ผลการสังเกตที่ได้จากแบบสังเกต COPUS ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ค่าร้อยละของความถี่ในแต่ละพฤติกรรม (%B) สำหรับวิธีการหาค่าจะอยู่ในบทที่ 2 ผลจากการตารางพบว่า นักเรียนได้แสดงพฤติกรรมเกี่ยวกับการทำงานเป็นกลุ่มด้วยใบกิจกรรม (WG) มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 52 ของพฤติกรรมนี้ที่จะสามารถแสดงออกมาได้ รองลงมาคือ การอภิปรายคำถามภายในกลุ่ม (CG) ร้อยละ 43 นักเรียนตอบคำถาม (SQ) ร้อยละ 34 ทำกิจกรรมกลุ่มที่มอบหมายอื่น ๆ (OG) ร้อยละ 31 มีส่วนร่วมในการอภิปรายทั้งชั้นเรียน (WC) ร้อยละ 27 ฟังอาจารย์ผู้สอน (L) ร้อยละ 25 นักเรียนตอบคำถามหลังจากที่ได้ฟังคำถาม (AnQ) และคาดการณ์เกี่ยวกับผลลัพธ์ของการสาธิต (Prd) ร้อยละ 22 นักเรียนนำเสนอ (SP) ร้อยละ 14 นักเรียนแก้ปัญหา/คิดส่วนบุคคล (Ind) และนักเรียนกำลังรอผู้สอน (W) ร้อยละ 8 และมีการทดสอบหรือตอบคำถาม (TQ) ร้อยละ 2 ตามลำดับ ส่วนพฤติกรรมของครูที่แสดงออกมามากที่สุด คือ การติดตาม/การให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับคำถามหรือกิจกรรมทั้งชั้นเรียน (FUp) คิดเป็นร้อยละ 50 รองลงมาคือ การเคลื่อนย้ายในชั้นเรียนเพื่อชี้้นำการทำงานของนักเรียนอย่างต่อเนื่อง (MG) ร้อยละ 38 การฟังและการตอบคำถามนักเรียนทั้งชั้นเรียน (AnQ) ร้อยละ 35 การสนทนาแบบตัวต่อตัวกับบุคคลหนึ่งหรือสองสามคนโดยไม่ให้ความสนใจกับส่วนที่เหลือของชั้นเรียน (1o1) และการใช้คำถามกับนักเรียน (PQ) คิดเป็นร้อยละ 25 การเขียนกระดานหรือใช้โปรเจกเตอร์ในขณะสอน (RtW) ร้อยละ 17 การบรรยาย (Lec) การสาธิตหรือการแสดงภาพเคลื่อนไหว (D/V) และการที่ผู้สอนรอโอกาสสำหรับที่จะมีปฏิสัมพันธ์กับนักเรียน แต่ผู้สอนไม่ได้ปฏิบัติเช่นนั้น (W) ร้อยละ 14 การมอบหมายการบ้านหรือแบบฝึกหัด (Adm) ร้อยละ 2 ตามลำดับ สำหรับการจัดการเรียนรู้ในครั้งนี้ ผู้สอนไม่ได้แสดงพฤติกรรมการใช้คำถาม Clicker (CQ) และพฤติกรรมอื่น ๆ (O) ส่วนนักเรียนก็ไม่ได้แสดงพฤติกรรมอื่น ๆ (O) เช่นเดียวกัน

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปวิเคราะห์ผลของพฤติกรรมเพื่อดูค่าร้อยละของพฤติกรรมที่แสดงออกในแต่ละพฤติกรรม ($\%B_i$) เมื่อเทียบกับพฤติกรรมทั้งหมด วิธีการคำนวณค่าจะแสดงอยู่ในบทที่ 2 ผลของการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 4.2 และภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.2 ร้อยละของพฤติกรรมนักเรียนในหัวข้อเรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

จากภาพที่ 4.2 พบว่า นักเรียนแสดงพฤติกรรมการทำงานเป็นกลุ่มด้วยใบกิจกรรม (WG) มากที่สุดโดยคิดเป็นร้อยละ 18.06 ของพฤติกรรมที่แสดงออกมาทั้งหมด รองลงมาคือร้อยละ 14.93 เป็นการอภิปรายภายในกลุ่ม (CG) ร้อยละ 11.81 นักเรียนถามคำถาม (SQ) ร้อยละ 10.76 ทำกิจกรรมกลุ่มอื่น ๆ เช่นตอบคำถาม (OG) ร้อยละ 9.38 มีส่วนร่วมในการอภิปรายทั้งชั้นเรียน (WC) ร้อยละ 8.68 เป็นการฟัง (L) ร้อยละ 7.64 เป็นการตอบคำถามหลังจากที่นักเรียนได้ฟังคำถามของครูผู้สอน (AnQ) และการคาดการณ์เกี่ยวกับผลลัพธ์จากการสาธิตการทดลอง (Prd) ร้อยละ 4.86 เป็นการนำเสนอโดยนักเรียน (SP) ร้อยละ 2.78 เป็นการคิดแก้ปัญหาโดยตัวนักเรียนเอง (Ind) และนักเรียนกำลังรอผู้สอนในการดำเนินกิจกรรม (W) ร้อยละ 0.69 เป็นการทดสอบนักเรียนหรือให้นักเรียนตอบคำถาม (TQ) ตามลำดับ



ภาพที่ 4.3 ร้อยละของพฤติกรรมครูผู้สอนในหัวข้อเรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

จากภาพที่ 4.3 พบว่า ในหัวข้อเรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ครูผู้สอนได้แสดงพฤติกรรมเกี่ยวกับการติดตาม/การให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับคำถามหรือกิจกรรมทั้งชั้นเรียน (Fup) มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 21.37 รองลงมา คือ ร้อยละ 16.24 เป็นการเคลื่อนย้ายในชั้นเรียนเพื่อชี้นำการทำงานของนักเรียนอย่างต่อเนื่อง (MG) ร้อยละ 14.96 เป็นการฟังและการตอบคำถามนักเรียนทั้งชั้นเรียน (AnQ) ร้อยละ 10.68 เป็นการใช้คำถามกับนักเรียน (PQ) และการสนทนาแบบตัวต่อตัวกับบุคคลหนึ่งหรือสองสามคนโดยไม่ให้ความสนใจกับส่วนที่เหลือของชั้นเรียน (1o1) ร้อยละ 7.26 เป็นการเขียนกระดานหรือใช้โปรเจกเตอร์ในขณะสอน (RtW) ร้อยละ 5.98 เป็นการบรรยาย (Lec) การสาธิตหรือการแสดงผลการเคลื่อนที่ (D/V) และผู้สอนรอโอกาสสำหรับที่จะมีปฏิสัมพันธ์กับนักเรียน แต่ผู้สอนไม่ได้มีปฏิสัมพันธ์ (W) ร้อยละ 0.85 เป็นการมอบหมายการบ้านหรือแบบฝึกหัดให้นักเรียน (Adm) ตามลำดับ

ในการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เพื่อพัฒนาความเข้าใจในแนวคิดเรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ โดยใช้ชุดการทดลองเอนกประสงค์อย่างง่าย และใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบ ILD ในหัวข้อนี้เริ่มต้นการเรียนรู้ (ชั้นนำเข้าสู่บทเรียน) ด้วยการใช้สื่อที่เป็นภาพเคลื่อนไหวเพื่อนำไปสู่การร่วมกันอภิปรายของนักเรียนและครูผู้สอน สำหรับเวลาที่ใช้ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้กำหนดไว้ 20 นาที ทั้งนี้เพื่อเปิดโอกาสให้กับนักเรียนทุกคนได้มีส่วนร่วมในการอภิปรายเพื่อนำเข้าสู่บทเรียนจากการกำหนดเวลาดังกล่าวพบว่า นักเรียนได้ใช้เวลาสำหรับการมีส่วนร่วมในการจัดการเรียนรู้ของขั้นตอนนี้ได้มีประสิทธิภาพ มีการลงข้อสรุปจากการสังเกต และเมื่ออยู่ในขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ (ชั้นสอน) ซึ่งกำหนดเวลาไว้จำนวน 175 นาที ผู้วิจัยได้มีการสาธิตเพื่อให้นักเรียนได้สังเกตปรากฏการณ์ และต่อมาให้นักเรียนได้ปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ลงในใบกิจกรรม โดยในขั้นตอนของการสอนนี้นักเรียนได้มีการทำนายทดลอง อภิปราย พร้อมทั้งใช้โปรแกรม Tracker ในการวิเคราะห์ผลของข้อมูลเพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบ

จากการออกแบบการจัดการเรียนรู้ดังกล่าว ส่งผลให้นักเรียนได้แสดงพฤติกรรมที่สามารถสังเกตได้ชัดเจนมาก คือ การทำงานเป็นกลุ่ม การอภิปรายและการถามคำถามของนักเรียน นอกจากนี้ยังส่งผลต่อพฤติกรรมการสอนของครูที่ได้แสดงออกมาให้เห็นอย่างชัดเจนเช่นกัน สำหรับการสอนในหัวข้อนี้ ครูได้แสดงพฤติกรรมเกี่ยวกับการติดตามและการให้ข้อเสนอแนะจากคำถามของนักเรียนหรือกิจกรรมทั้งชั้นเรียน และการเคลื่อนย้ายในชั้นเรียนเพื่อชี้้นำการทำงานของนักเรียนอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมของนักเรียนที่มีความกระตือรือร้นอยู่ตลอด การจัดการเรียนรู้ นั้นมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมของครูผู้สอน

4.4.2 พฤติกรรมของนักเรียนและครูผู้สอนขณะการจัดการเรียนรู้ในหัวข้อเรื่องกฎการอนุรักษ์พลังงานกล

การจัดการเรียนรู้ในหัวข้อที่ 2 เป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ ILD เพื่อพัฒนาความเข้าใจในแนวคิด เรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล โดยใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้ จำนวน 150 นาที ตลอดระยะเวลาในการจัดการเรียนรู้จะมีการบันทึกพฤติกรรมแสดงออกของครูและนักเรียน ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 จำนวนครั้งของพฤติกรรมที่แสดงออกตลอดการจัดการเรียนรู้หัวข้อ
เรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล

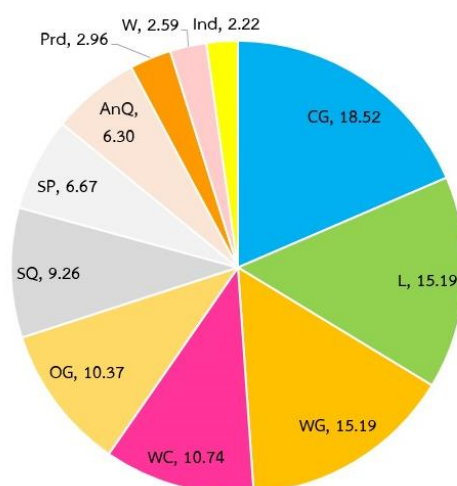
Code ของนักเรียน	ร้อยละความถี่ของพฤติกรรม (%B)	Code ของครู	ร้อยละความถี่ของพฤติกรรม (%B)
<i>L</i>	54.67	<i>Lec</i>	25.33
<i>Ind</i>	8.00	<i>RtW</i>	12.00
<i>CG</i>	66.67	<i>FUp</i>	57.33
<i>WG</i>	54.67	<i>PQ</i>	22.67
<i>OG</i>	37.33	<i>CQ</i>	0.00
<i>AnQ</i>	22.67	<i>AnQ</i>	30.67
<i>SQ</i>	33.33	<i>MG</i>	46.67
<i>WC</i>	38.67	<i>1o1</i>	16.00
<i>Prd</i>	10.67	<i>D/V</i>	9.33

ตารางที่ 4.8 จำนวนครั้งของพฤติกรรมที่แสดงออกตลอดการจัดการเรียนรู้หัวข้อ
เรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล (ต่อ)

Code ของนักเรียน	ร้อยละความถี่ของพฤติกรรม (%B)	Code ของครู	ร้อยละความถี่ของพฤติกรรม (%B)
<i>SP</i>	24.00	<i>Adm</i>	0.00
<i>TQ</i>	0.00	<i>W</i>	4.00
<i>W</i>	9.33	<i>O</i>	0.00
<i>O</i>	0.00		

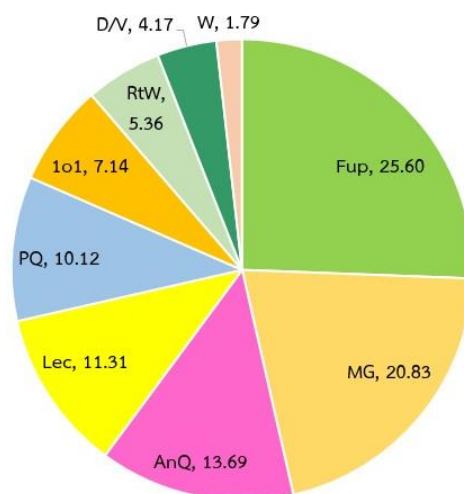
จากตารางที่ 4.8 เป็นการวิเคราะห์ผลการสังเกตที่ได้จากแบบสังเกต COPUS ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ค่าร้อยละของความถี่ในแต่ละพฤติกรรม (%B) สำหรับวิธีการหาค่าจะอยู่ในบทที่ 2 ผลจากตารางพบว่า นักเรียนได้แสดงพฤติกรรมเกี่ยวกับการอภิปรายคำถามภายในกลุ่ม (CG) มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 66.67 ของพฤติกรรมนี้ที่จะสามารถแสดงออกมาได้ รองลงมาคือการทำงานเป็นกลุ่มด้วยใบกิจกรรม (WG) มีค่าเท่ากันกับการฟังอาจารย์ผู้สอน (L) เท่ากับร้อยละ 54.67 การมีส่วนร่วมในการอภิปรายทั้งชั้นเรียน (WC) ร้อยละ 38.67 การทำกิจกรรมกลุ่มที่มีขอบข่ายอื่น ๆ (OG) ร้อยละ 37.33 การตอบคำถามของนักเรียน (SQ) ร้อยละ 33.33 การนำเสนอโดยนักเรียน (SP) ร้อยละ 24.00 การตอบคำถามของนักเรียนหลังจากที่ได้ฟังคำถาม (AnQ) ร้อยละ 22.67 การคาดการณ์เกี่ยวกับผลลัพธ์ของการสาธิต (Prd) ร้อยละ 10.67 นักเรียนกำลังรอผู้สอน (W) ร้อยละ 9.33 และนักเรียนแก้ปัญหา/คิดด้วยตนเอง (Ind) ร้อยละ 8.00 ตามลำดับ ส่วนพฤติกรรมที่นักเรียนไม่ได้แสดงออกมา คือ การทดสอบหรือการตอบคำถาม (TQ) ส่วนพฤติกรรมของครูที่แสดงออกมามากที่สุด คือ การติดตาม/การให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับคำถามหรือกิจกรรมทั้งชั้นเรียน (FUp) คิดเป็นร้อยละ 57.33 รองลงมาคือ การเคลื่อนย้ายในชั้นเรียนเพื่อชี้้นำการทำงานของนักเรียนอย่างต่อเนื่อง (MG) ร้อยละ 46.67 การฟังและการตอบคำถามนักเรียนทั้งชั้นเรียน (AnQ) ร้อยละ 30.67 การบรรยาย (Lec) ร้อยละ 25.33 การใช้คำถามกับนักเรียน (PQ) ร้อยละ 22.67 การสนทนาแบบตัวต่อตัวกับบุคคลหนึ่งหรือสองสามคนโดยไม่ให้ความสนใจกับส่วนที่เหลือของชั้นเรียน (1o1) ร้อยละ 16.00 การเขียนกระดานหรือใช้โปรเจกเตอร์ในขณะสอน (RtW) ร้อยละ 12.00 การสาธิตหรือการแสดงภาพเคลื่อนไหว (D/V) ร้อยละ 9.33 และการที่ผู้สอนรอโอกาสสำหรับที่จะมีปฏิสัมพันธ์กับนักเรียนแต่ผู้สอนไม่ได้ปฏิบัติเช่นนั้น (W) ร้อยละ 4.00 ตามลำดับ สำหรับการจัดการเรียนรู้ในครั้งนี้ไม่มีการมอบหมายการบ้านหรือแบบฝึกหัด (Adm) และไม่ได้ใช้คำถาม Clicker (CQ) รวมทั้งนักเรียนและครูผู้สอนไม่ได้แสดงพฤติกรรมอื่น ๆ (O) ที่นอกเหนือจากรหัสที่กำหนด

วิเคราะห์ผลของพฤติกรรมเพื่อดูค่าร้อยละของพฤติกรรมที่แสดงออกในแต่ละพฤติกรรม ($\%B_i$) เมื่อเทียบกับพฤติกรรมทั้งหมด ผลของการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 4.4 และภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.4 ร้อยละของพฤติกรรมนักเรียนในหัวข้อ เรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล

จากภาพที่ 4.4 พบว่า พฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออกมากที่สุด คือการอธิบายภายในกลุ่ม (CG) คิดเป็นร้อยละ 18.52 ของพฤติกรรมที่แสดงออกมาทั้งหมด รองลงมาคือการฟัง (L) และการทำงานเป็นกลุ่มด้วยใบกิจกรรม (WG) ร้อยละ 15.19 การมีส่วนร่วมในการอธิบายทั้งชั้นเรียน (WC) ร้อยละ 10.74 การทำกิจกรรมกลุ่มอื่น ๆ เช่นตอบคำถาม (OG) ร้อยละ 10.37 นักเรียนถามคำถาม (SQ) ร้อยละ 9.26 การนำเสนอโดยนักเรียน (SP) ร้อยละ 6.67 การตอบคำถามหลังจากที่นักเรียนได้ฟังคำถามของครูผู้สอน (AnQ) ร้อยละ 6.30 การคาดการณ์เกี่ยวกับผลลัพธ์จากการสาธิตการทดลอง (Prd) ร้อยละ 2.96 นักเรียนกำลังรอผู้สอนในการดำเนินกิจกรรม (W) ร้อยละ 2.59 และการคิดแก้ปัญหาโดยตัวนักเรียนเอง (Ind) ร้อยละ 2.22 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.5 ร้อยละของพฤติกรรมครูผู้สอนในหัวข้อเรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล

จากภาพที่ 4.5 พบว่า ในหัวข้อเรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล ครูผู้สอนได้แสดงพฤติกรรมเกี่ยวกับการติดตาม/การให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับคำถามหรือกิจกรรมทั้งชั้นเรียน (FUp) มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 25.60 รองลงมา คือ การเคลื่อนย้ายในชั้นเรียนเพื่อชี้้นำการทำงานของนักเรียนอย่างต่อเนื่อง (MG) ร้อยละ 20.83 การฟังและการตอบคำถามนักเรียนทั้งชั้นเรียน (AnQ) ร้อยละ 13.69 การบรรยาย (Lec) ร้อยละ 11.31 การใช้คำถามกับนักเรียน (PQ) ร้อยละ 10.12 การสนทนาแบบตัวต่อตัวกับบุคคลหนึ่งหรือสองสามคนโดยไม่ให้ความสนใจกับส่วนที่เหลือของชั้นเรียน (1o1) ร้อยละ 7.14 การเขียนกระดานหรือใช้โปรเจกเตอร์ในขณะสอน (RtW) ร้อยละ 5.36 การสาธิตหรือการแสดงภาพเคลื่อนไหว (D/V) ร้อยละ 4.17 และผู้สอนรอโอกาสสำหรับที่จะมีปฏิสัมพันธ์กับนักเรียนแต่ผู้สอนไม่ได้มีปฏิสัมพันธ์ (W) ร้อยละ 1.79 ในการจัดการเรียนรู้ครั้งนี้ไม่มีการมอบหมายการบ้านหรือแบบฝึกหัด (Adm) ให้แก่นักเรียน ครูไม่ได้ใช้คำถาม Clicker (CQ) รวมทั้งนักเรียนและครูผู้สอนไม่ได้แสดงพฤติกรรมอื่น ๆ (O) ที่นอกเหนือจากที่กำหนด

การจัดการเรียนรู้ในหัวข้อที่ 2 เรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล ใช้วิธีการและกระบวนการแบบ ILD เช่นเดียวกับหัวข้อที่ 1 ซึ่งหัวข้อนี้จะพัฒนาความเข้าใจในแนวคิด เรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล มีการนำเข้าสู่บทเรียนโดยใช้สื่อภาพเคลื่อนไหวสำหรับให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อเป็นข้อมูลในการเชื่อมโยงความรู้ จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ ครูผู้สอนจะอธิบายสถานการณ์การทดลองให้นักเรียนฟังเพื่อให้เกิดการทำนายผลก่อนการทดลองจริง แต่ในขั้นตอนของการทดลองจริงนั้น ผู้วิจัยได้ออกแบบการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการ คือ ใช้ข้อมูลบางส่วนจากการทดลองของนักเรียนแต่ละกลุ่มในครั้งที่ 1 มาวิเคราะห์และอภิปรายร่วมกัน (ใช้ไฟล์วิดีโอจากการทดลองในกิจกรรมที่ 1) โดยไม่ต้องทำการทดลองใหม่ ซึ่งนักเรียนในแต่ละกลุ่มจะต้องนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker พร้อมกับบันทึกผลลงในใบกิจกรรม

สำหรับใบกิจกรรมทั้งหมดของแผนการจัดการเรียนรู้มี 5 ใบกิจกรรม จากการจัดการเรียนรู้ครั้งนี้ในทุกขั้นตอนของการทำกิจกรรมนักเรียนจะมีความตั้งใจในการลงมือปฏิบัติ รับฟังข้อมูล ข้อเสนอแนะจากเพื่อนร่วมชั้นเรียนและจากครูผู้สอน นอกจากนี้ให้นักเรียนให้ความร่วมมือสำหรับการอภิปรายทั้งภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม ส่งผลให้นักเรียนได้แสดงออกทางพฤติกรรมต่าง ๆ ที่สามารถสังเกตได้ ซึ่งพฤติกรรมที่เด่นชัดมากของนักเรียน คือ การอภิปรายภายในกลุ่ม (CG) การฟัง (L) และการทำงานเป็นกลุ่มด้วยใบกิจกรรม (WG) ในขณะเดียวกันครูผู้สอนก็ได้แสดงพฤติกรรมที่สามารถสังเกตได้เด่นชัดเช่นกัน พฤติกรรมที่ครูแสดงออกมาเด่นชัด คือ การติดตาม/การให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับคำถามหรือกิจกรรมทั้งชั้นเรียน (FUp) การเคลื่อนย้ายในชั้นเรียนเพื่อชี้้นำการทำงานของนักเรียนอย่างต่อเนื่อง (MG) จากพฤติกรรมของครูผู้สอนที่แสดงออกแสดงถึงความกระตือรือร้นในการจัดการเรียนการสอนจึงส่งผลต่อการแสดงออกทางพฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนที่มีความกระตือรือร้นเช่นเดียวกัน นอกจากนี้การที่ครูให้ความสนใจในการตอบคำถามแก่นักเรียนส่งผลให้นักเรียนมีความกล้าแสดงออกสำหรับการถามคำถาม การตอบคำถามและการร่วมอภิปรายของชั้นเรียน รวมถึงมีความเข้าใจในการเรียนเนื้อหาเพิ่มขึ้น

4.4.3 พฤติกรรมของนักเรียนและครูผู้สอนตลอดการจัดการเรียนรู้แบบ ILD

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ ILD เพื่อพัฒนาความเข้าใจในแนวคิด เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล โดยใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้ จำนวน 350 นาที ตลอดระยะเวลาในการจัดการเรียนรู้จะมีการบันทึกพฤติกรรมแสดงออกของครูและนักเรียน ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 จำนวนครั้งของพฤติกรรมที่แสดงออกตลอดการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ ILD

Code ของนักเรียน	ร้อยละความถี่ของพฤติกรรม (%B)	Code ของครู	ร้อยละความถี่ของพฤติกรรม (%B)
<i>L</i>	37.71	<i>Lec</i>	18.86
<i>Ind</i>	8.00	<i>RtW</i>	14.86
<i>CG</i>	53.14	<i>FUp</i>	53.14
<i>WG</i>	53.14	<i>PQ</i>	24.00
<i>OG</i>	33.71	<i>CQ</i>	0.00
<i>AnQ</i>	22.29	<i>AnQ</i>	33.14
<i>SQ</i>	33.71	<i>MG</i>	41.71

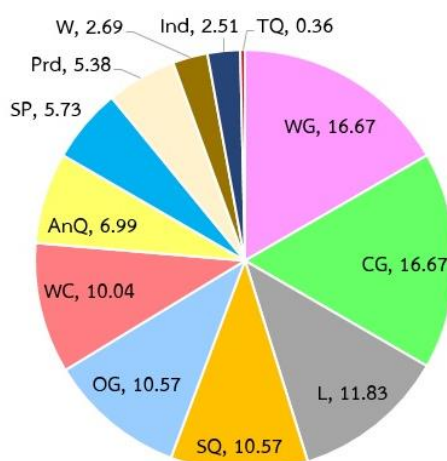
ตารางที่ 4.9 จำนวนครั้งของพฤติกรรมที่แสดงออกตลอดการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ ILD
(ต่อ)

Code ของนักเรียน	ร้อยละความถี่ของพฤติกรรม (%B)	Code ของครู	ร้อยละความถี่ของพฤติกรรม (%B)
<i>WC</i>	32.00	<i>1o1</i>	21.14
<i>Prd</i>	17.14	<i>D/V</i>	12.00
<i>SP</i>	18.29	<i>Adm</i>	1.14
<i>TQ</i>	1.14	<i>W</i>	9.71
<i>W</i>	8.57	<i>O</i>	0.00
<i>O</i>	0.00		

จากตารางที่ 4.9 เป็นการวิเคราะห์ผลการสังเกตตลอดช่วงเวลาของการจัดการเรียนรู้แบบ ILD ผลจากตารางพบว่า นักเรียนได้แสดงพฤติกรรมเกี่ยวกับการทำงานเป็นกลุ่มด้วยใบกิจกรรม (WG) และการอภิปรายคำถามภายในกลุ่ม (CG) มากที่สุด ค่าร้อยละของแต่ละพฤติกรรมที่จะสามารถแสดงออกมาได้ มีค่าเท่ากับ 53.14 รองลงมาคือ การฟังอาจารย์ผู้สอน (L) ร้อยละ 37.71 การทำกิจกรรมกลุ่มที่มีขอบข่ายอื่น ๆ (OG) ร้อยละ 33.71 ซึ่งมีค่าเท่ากับพฤติกรรมการที่นักเรียนตอบคำถาม (SQ) การมีส่วนร่วมในการอภิปรายทั้งชั้นเรียน (WC) ร้อยละ 32 การตอบคำถามของนักเรียนหลังจากที่ได้ฟังคำถาม (AnQ) ร้อยละ 22.29 การนำเสนอโดยนักเรียน (SP) ร้อยละ 18.29 การคาดการณ์เกี่ยวกับผลลัพธ์ของการสาธิต (Prd) ร้อยละ 17.14 การรอผู้สอนของนักเรียน (W) ร้อยละ 8.57 การให้นักเรียนแก้ปัญหา/คิดส่วนบุคคล (Ind) ร้อยละ 8.00 และการทดสอบหรือตอบคำถาม (TQ) ร้อยละ 1.14 ตามลำดับ ในส่วนพฤติกรรมของครูที่แสดงออกมามากที่สุด คือ การติดตาม/การให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับคำถามหรือกิจกรรมทั้งชั้นเรียน (FUp) คิดเป็นร้อยละ 53.14 รองลงมา คือ การเคลื่อนย้ายในชั้นเรียนเพื่อชี้้นำการทำงานของนักเรียนอย่างต่อเนื่อง (MG) ร้อยละ 41.71 การฟังและการตอบคำถามนักเรียนทั้งชั้นเรียน (AnQ) ร้อยละ 33.14 การใช้คำถามกับนักเรียน (PQ) คิดเป็นร้อยละ 24.00 การสนทนาแบบตัวต่อตัวกับบุคคลหนึ่งหรือสองสามคนโดยไม่ให้ความสนใจกับส่วนที่เหลือของชั้นเรียน (1o1) ร้อยละ 21.14 การบรรยาย (Lec) ร้อยละ 18.86 การเขียนกระดานหรือใช้โปรเจกเตอร์ในขณะสอน (RtW) ร้อยละ 14.86 การสาธิตหรือการแสดงภาพเคลื่อนไหว (D/V) ร้อยละ 12.00 การที่ผู้สอนรอโอกาสสำหรับที่จะมีปฏิสัมพันธ์กับนักเรียนแต่ผู้สอนไม่ได้ปฏิบัติเช่นนั้น (W) ร้อยละ 9.71 และการมอบหมายการบ้านหรือแบบฝึกหัด (Adm) ร้อยละ 1.14 ตามลำดับ สำหรับการจัดการเรียนรู้ในครั้งนี้ผู้สอนไม่มีการใช้คำถาม Clicker

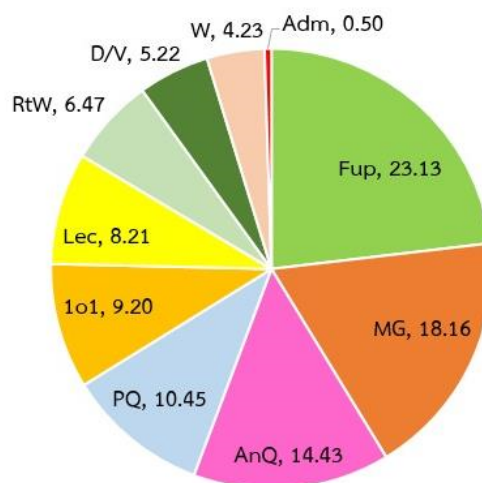
(CQ) ค่าร้อยละของ CQ จึงมีค่าเท่ากับ 0.00 รวมทั้งพฤติกรรมอื่น ๆ (O) ที่นอกเหนือจากการกำหนดรหัสไว้ทั้งครูผู้สอนและนักเรียนไม่ได้ปรากฏในขณะจัดการเรียนรู้ ดังนั้นจึงมีค่าร้อยละเท่ากับ 0.00

วิเคราะห์ผลของพฤติกรรมเพื่อดูค่าร้อยละของพฤติกรรมที่แสดงออกในแต่ละพฤติกรรม ($\%B_i$) เมื่อเทียบกับพฤติกรรมทั้งหมดของการจัดการเรียนรู้ในครั้งนี้ ผลของการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 4.6 และภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.6 ร้อยละของพฤติกรรมนักเรียนตลอดการจัดการเรียนรู้

จากภาพที่ 4.6 พบว่า พฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออกมากที่สุดมีอยู่ 2 พฤติกรรม คือ การทำงานเป็นกลุ่มด้วยใบกิจกรรม (WG) และ การอภิปรายภายในกลุ่ม (CG) ในแต่ละพฤติกรรมคิดเป็นร้อยละ 16.67 ของพฤติกรรมที่แสดงออกมาทั้งหมด รองลงมา คือ การฟัง (L) ร้อยละ 11.83 นักเรียนถามคำถาม (SQ) ร้อยละ 10.57 การทำกิจกรรมกลุ่มอื่น ๆ เช่นตอบคำถาม (OG) ร้อยละ 10.57 การมีส่วนร่วมในการอภิปรายทั้งชั้นเรียน (WC) ร้อยละ 10.04 การตอบคำถามหลังจากที่นักเรียนได้ฟังคำถามของครูผู้สอน (AnQ) ร้อยละ 6.99 การนำเสนอโดยนักเรียน (SP) ร้อยละ 5.73 การคาดการณ์เกี่ยวกับผลลัพธ์จากการสาธิตการทดลอง (Prd) ร้อยละ 5.38 นักเรียนกำลังรอผู้สอนในการดำเนินกิจกรรม (W) ร้อยละ 2.69 การคิดแก้ปัญหาโดยตัวนักเรียนเอง (Ind) ร้อยละ 2.51 และ นักเรียนถูกทำการทดสอบ ร้อยละ 0.36 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.7 ร้อยละของพฤติกรรมครูผู้สอนตลอดการจัดการเรียนรู้

จากภาพที่ 4.7 พบว่า ตลอดการจัดการเรียนรู้ในครั้งนี้ครูผู้สอนได้แสดงพฤติกรรมเกี่ยวกับการติดตาม/การให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับคำถามหรือกิจกรรมทั้งชั้นเรียน (FUp) มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 23.13 รองลงมา คือ การเคลื่อนย้ายในชั้นเรียนเพื่อชี้้นำการทำงานของนักเรียนอย่างต่อเนื่อง (MG) ร้อยละ 18.16 การฟังและการตอบคำถามนักเรียนทั้งชั้นเรียน (AnQ) ร้อยละ 14.43 การใช้คำถามกับนักเรียน (PQ) ร้อยละ 10.45 การสนทนาแบบตัวต่อตัวกับบุคคลหนึ่งหรือสองสามคนโดยไม่ให้ความสนใจกับส่วนที่เหลือของชั้นเรียน (1o1) ร้อยละ 9.20 การบรรยาย (Lec) ร้อยละ 8.21 การเขียนกระดานหรือใช้โปรเจกเตอร์ในขณะสอน (RtW) ร้อยละ 6.47 การสาธิตหรือการแสดงภาพเคลื่อนไหว (D/V) ร้อยละ 5.22 ผู้สอนรอโอกาสสำหรับที่จะมีปฏิสัมพันธ์กับนักเรียน แต่ผู้สอนไม่ได้มีปฏิสัมพันธ์ (W) ร้อยละ 4.23 และการมอบหมายการบ้านหรือแบบฝึกหัด (Adm) ให้แก่นักเรียน ร้อยละ 0.50 ตามลำดับ ในการจัดการเรียนรู้ครั้งนี้ครูไม่ได้ใช้คำถาม Clicker (CQ) รวมทั้งนักเรียนและครูผู้สอนไม่ได้แสดงพฤติกรรมอื่น ๆ (O) ที่นอกเหนือจากรหัสที่กำหนด

การออกแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดการทดลองเอนกประสงค์อย่างง่ายและใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Tracker มาช่วยวิเคราะห์ผลการทดลอง สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้มีการสังเกตพฤติกรรมต่าง ๆ ของนักเรียนและครูผู้สอนโดยใช้แบบสังเกตพฤติกรรมชั้นเรียน (COPUS) เมื่อนำผลที่ได้จากการสังเกตตลอดการจัดการเรียนรู้มาวิเคราะห์พบว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในครั้งนี้นักเรียนได้แสดงพฤติกรรมการทำงานเป็นกลุ่มด้วยใบกิจกรรมและการอภิปรายภายในกลุ่มมากที่สุดสาเหตุที่นักเรียนแสดงพฤติกรรมดังกล่าวออกมาได้ชัดเจนมากที่สุด เนื่องจากในกระบวนการเรียนการสอนนั้นผู้วิจัยได้ออกแบบกิจกรรมตามขั้นตอนแบบ ILD ซึ่งขั้นตอนหลักของการสอนแบบ ILD สามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นทำนาย (Predict) ขั้นสร้างประสบการณ์ (Experience) ขั้นสะท้อนผล (Reflect) โดยรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนมีดังนี้ 1) ขั้นทำนาย

นักเรียนจะต้องมีการทำนายผลเกี่ยวกับปรากฏการณ์หรือการทดลองพร้อมทั้งเขียนผลการทำนายลงในใบกิจกรรมก่อนที่จะทำการทดลองจริง หลังจากการทำนายผลของปรากฏการณ์หรือผลของการทดลองด้วยตนเองแล้วนักเรียนจะต้องเข้าร่วมกลุ่มเพื่อที่จะอภิปรายภายในกลุ่มพร้อมทั้งหาข้อสรุปเกี่ยวกับผลจากปรากฏการณ์หรือการทดลองและเขียนผลทำนายของกลุ่มที่ได้ลงในใบกิจกรรมอีกครั้ง 2) ขั้นสร้างประสบการณ์ นักเรียนจะได้ดูการสาธิตการทดลองจากครูผู้สอน และเมื่อครูผู้สอนสาธิตเสร็จนักเรียนจะได้ทำการทดลองซึ่งเป็นการลงมือปฏิบัติจริงด้วยตนเอง ขณะเดียวกันนักเรียนจะมีการบันทึกผลการทดลอง ทำใบกิจกรรมของการทดลอง พร้อมทั้งวิเคราะห์และเขียนผลการทดลอง สำหรับขั้นตอนนี้นักเรียนได้มีการพูดคุย ประเมิน นำเสนออภิปรายร่วมกันทั้งภายในกลุ่มของตนเองและกลุ่มของเพื่อนร่วมชั้น นอกจากนี้นักเรียนมีการซักถามข้อสงสัยต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นขณะทำการทดลองหรือทำใบกิจกรรมกับครูผู้สอนและครูผู้สอนได้มีการตอบข้อซักถามให้นักเรียนในกลุ่มที่ถามซึ่งขณะเดียวกันนักเรียนกลุ่มอื่น ๆ ก็ได้ฟังคำตอบเช่นกัน ดังนั้นจึงทำให้เห็นพฤติกรรมเกี่ยวกับการถามคำถาม การตอบคำถาม การนำเสนอ การฟังของนักเรียน และขั้นสุดท้ายของวิธีการนี้คือ ขั้นสะท้อนผล สำหรับขั้นนี้นักเรียนและครูผู้สอนได้ร่วมกันยกตัวอย่างรวมทั้งอภิปรายเกี่ยวกับสถานการณ์อื่น ๆ ที่มีหลักการเดียวกัน โดยในขั้นนี้ได้มีตัวแทนของนักเรียนนำเสนอตัวอย่าง ครูผู้สอนได้เปิดโอกาสให้นักเรียนคนอื่น ๆ ได้ร่วมกันอภิปรายจากนั้นครูผู้สอนและนักเรียนร่วมกันสรุปแนวคิดสำคัญ จากพฤติกรรมต่าง ๆ ของนักเรียนในช่วงต้นที่สามารถสังเกตและได้แสดงออกมานั้นจึงมีความสัมพันธ์และเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการจัดการเรียนการสอนของครู ซึ่งพฤติกรรมที่ครูผู้สอนได้แสดงออกมามากที่สุด คือ การกำกับติดตาม การให้ข้อเสนอแนะสำหรับการทำกิจกรรมของชั้นเรียนและการตอบคำถามให้กับนักเรียนตลอดเวลา ลักษณะการกำกับติดตามของครูผู้สอน ได้แก่ ครูผู้สอนจะเดินไปซักถามพร้อมทั้งให้คำแนะนำนักเรียนในทุกกลุ่ม รวมทั้งการเดินเข้าไปหานักเรียนที่มีคำถามเพื่อไปตอบคำถามของนักเรียนและร่วมอภิปรายกับนักเรียนเพื่อหาคำตอบ โดยในขณะที่ครูผู้สอนได้กำกับติดตามการทำกิจกรรมนักเรียนก็ได้แสดงพฤติกรรมเกี่ยวกับการฟังและบางครั้งจะแสดงพฤติกรรมการสนทนาแบบตัวต่อตัวกับบุคคลหนึ่งหรือสองสามคน โดยไม่ให้ความสนใจกับส่วนที่เหลือของชั้นเรียน สำหรับการจัดการเรียนรู้ในครั้งนี้ครูผู้สอนมีพฤติกรรมเกี่ยวกับการใช้โปรเจคเตอร์และการเขียนกระดานในบางครั้ง มีการใช้โปรเจคเตอร์ครั้งแรกในขั้นตอนของการนำเสนอคลิปวิดีโอที่ใช้ในการนำเสนอคลิปวิดีโอเพื่อสร้างและกระตุ้นในนักเรียนเกิดการอภิปราย จากนั้นมีการใช้อีกครั้งในขั้นของการสอน ซึ่งการใช้ในครั้งนี้จะเป็นการใช้เพื่อนำเสนอตัวอย่างเกี่ยวกับการวิเคราะห์คลิปวิดีโอด้วยโปรแกรม Tracker นอกจากนี้ยังพบว่าขณะที่มีการใช้โปรเจคเตอร์ ครูผู้สอนก็ได้มีการเขียนข้อมูลเกี่ยวกับคำถามของนักเรียนลงบนกระดานด้วย

การแสดงพฤติกรรมของนักเรียนและครูผู้สอนในการวิจัยครั้งนี้มีลักษณะของการแสดงออกทางการเรียนรู้แบบเชิงรุก (Active) เนื่องจากกิจกรรมที่ใช้มีการออกแบบและจัดการเรียนรู้โดยให้นักเรียนได้ทดลองหรือปฏิบัติด้วยตนเอง ซึ่งรูปแบบการสอนที่มีการใช้กิจกรรมการทดลองเป็นวิธีการจัดการเรียนรู้แบบเชิงรุก (Active Learning) รูปแบบหนึ่ง (Mintzes and Walter, 2020) ที่ครูผู้สอนเปิดโอกาสให้นักเรียนมีส่วนร่วมโดยตรงในกระบวนการจัดการเรียนรู้ผ่านการปฏิบัติสิ่งต่าง ๆ (Bonwell and Eison, 1991) และเมื่อใช้แบบสังเกตพฤติกรรม COPUS ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการบันทึกพฤติกรรมของนักเรียนและครูผู้สอนกับชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ (Daher and et al., 2016) ที่มีการจัดการเรียนรู้แบบเชิงรุก พบว่า นักเรียนได้แสดงพฤติกรรมโดยโต้ตอบกับครูผู้สอนตลอดเวลา การจัดการเรียนรู้แบบเชิงรุกจะช่วยให้นักเรียนมีความสนใจต่อการเรียน ส่งผลให้นักเรียนได้รับการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพและประสบความสำเร็จในการเรียนรู้ (Ayooobi, Semakula and Djuric, 2018) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Clark and Dickerson (2018) ที่พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบเชิงรุก เพราะว่าการจัดการเรียนรู้เชิงรุกช่วยให้ครูและนักเรียนได้มีการสื่อสาร พูดคุยกัน ส่งผลให้มีความเข้าใจและเรียนรู้เนื้อหาได้ดีกว่าการบรรยายเพียงอย่างเดียว และงานวิจัยของ Maciejewski (2016) พบว่า การจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน (flipped section) กับการจัดการเรียนรู้แบบดั้งเดิม (traditional section) มีความแตกต่างกัน โดยการจัดการเรียนรู้แบบดั้งเดิมพฤติกรรมของนักเรียนส่วนใหญ่ใช้เวลาในการฟังครูผู้สอนในชั้นเรียนคิดเป็นร้อยละ 83 ของเวลาในการฟัง ในขณะที่นักเรียนห้องเรียนกลับด้านใช้เวลาในการฟังน้อยกว่าซึ่งคิดเป็นร้อยละ 42 ของเวลาในการฟังตลอดการจัดการเรียนรู้สำหรับพฤติกรรมของครูผู้สอนในชั้นเรียนแบบกลับด้านส่วนใหญ่จะเป็นการใช้คำถามและการกำกับติดตามนักเรียน ส่วนในชั้นเรียนแบบดั้งเดิมพฤติกรรมของครูผู้สอนส่วนใหญ่จะเกี่ยวกับการบรรยายและการเขียนบนกระดาน

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบ สร้างและพัฒนาสื่ออุปกรณ์การทดลองเอนกประสงค์สำหรับการบูรณาการในการจัดการเรียนรู้เชิงรุกแบบ ILD เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ และ กฎการอนุรักษ์พลังงานกล เพื่อพัฒนาความเข้าใจในแนวคิดของนักเรียน รวมทั้งศึกษาการแสดงออกของพฤติกรรมนักเรียนและครูผู้สอนในขณะจัดการเรียนรู้ ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การทดสอบประสิทธิภาพทางวิทยาศาสตร์ของชุดการทดลอง วิเคราะห์ค่าความเร็วต้นของลูกบอลไม้ (u) พบว่า ค่าความเร็วต้นที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎีและจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 3.67 หรือมีประสิทธิภาพร้อยละ 96.33 ซึ่งมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ร้อยละ 95 แสดงว่า ชุดการทดลองที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้

5.1.2 นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ในแนวคิด เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล โดยใช้การทดลองอย่างง่ายกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุกแบบ ILD มีความเข้าใจในแนวคิดหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

5.1.3 ความก้าวหน้าทางการเรียน

5.1.3.1 ความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยของนักเรียนรายชั้นเรียนอยู่ในระดับกลาง (Medium gain) คือ มีค่าเท่ากับ 0.64 หรือมีผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 64.00 เท่าของผลการเรียนรู้สูงสุดที่จะมีโอกาสเพิ่มขึ้นได้

5.1.3.2 ความก้าวหน้าทางการเรียนรายบุคคลอยู่ในช่วง $\langle g \rangle = 0.40 - 1.00$ ซึ่งการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในครั้งนี้นักเรียนมีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ 2 ระดับ คือ 1) ระดับ High gain มีนักเรียนที่มีความก้าวหน้าอยู่ในระดับนี้จำนวน 15 คน คิดเป็นร้อยละ 37.5 และ 2) ระดับ Medium gain จำนวน 25 คน คิดเป็นร้อยละ 62.5 นักเรียนที่มีระดับความก้าวหน้าทางการเรียนสูงที่สุดระดับ High gain ($\langle g \rangle = 1.00$) มีจำนวน 1 คน และมีระดับความก้าวหน้าทางการเรียนต่ำสุดอยู่ที่ระดับ Medium gain ($\langle g \rangle = 0.40$) มีจำนวน 1 คน เช่นเดียวกัน

5.1.3.3 ความก้าวหน้าของความเข้าใจในแนวคิดเป็นรายข้อ นักเรียนมีความก้าวหน้าของความเข้าใจในแนวคิดในแต่ละข้อเพิ่มขึ้น สามารถแบ่งระดับความก้าวหน้ารายข้อออกเป็น

2 ระดับ คือ 1) ความก้าวหน้าที่อยู่ในระดับ High gain มี 4 ข้อ ได้แก่ ข้อที่ 2, 3, 5 และ 13 และข้อสอบที่มีความก้าวหน้ามากที่สุดคือข้อที่ 2 และ 3 ซึ่งมีค่าความก้าวหน้าเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 1.00 หรือร้อยละ 100 สำหรับข้อสอบนี้เป็นคำถามเกี่ยวกับความเข้าใจของแนวคิด เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ซึ่งข้อสอบ 2 ข้อดังกล่าวจะเป็นข้อคำถามที่มีรูปภาพเกี่ยวกับลักษณะของเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ 2) ความก้าวหน้าระดับ Medium gain มี 14 ข้อ ได้แก่ข้อที่ 1, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17 และ 18 ข้อที่มีความก้าวหน้ามากที่สุดในระดับนี้คือ ข้อที่ 1 มีความก้าวหน้าเฉลี่ย $\langle g \rangle$ เท่ากับ 0.69 หรือ ร้อยละ 69 ซึ่งเป็นข้อสอบที่ถามเกี่ยวกับระยะการตกของวัตถุ และไม่มีข้อสอบข้อใดเลยที่มีความก้าวหน้าอยู่ในระดับ Low gain

5.1.3.4 ความก้าวหน้าของแต่ละแนวคิดรวบยอด นักเรียนมีความก้าวหน้าของความเข้าใจในแนวคิดรวบยอดแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) แนวคิดรวบยอด เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ มีระดับความก้าวหน้าอยู่ 2 ระดับ คือ ระดับ High gain ได้แก่ข้อสอบข้อที่ 2, 3 และ 5 และระดับ Medium gain ได้แก่ข้อ 1, 4, 6, 8 และ 9 และ 2) ความก้าวหน้าของความเข้าใจในแนวคิดรวบยอด เรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล มี 2 ระดับเช่นเดียวกัน คือ ระดับ High gain ได้แก่ข้อสอบข้อที่ 13 และระดับ Medium gain ได้แก่ข้อ 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17 และ 18 และพบว่าไม่มีความก้าวหน้าของข้อสอบที่อยู่ในระดับ Low gain ทั้ง 2 แนวคิด

5.1.4 นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ในแนวคิด เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล โดยใช้การทดลองอย่างง่ายกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุกแบบ ILD มีความคงทนของความรู้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

5.1.5 พฤติกรรมที่สังเกตได้จากแบบสังเกต COPUS

5.1.5.1 พฤติกรรมนักเรียนในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล โดยใช้การทดลองอย่างง่ายกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุกแบบ ILD ในครั้งนี้ พบว่า พฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออกมากที่สุดมีอยู่ 2 พฤติกรรม คือ การทำงานเป็นกลุ่มด้วยใบกิจกรรม (WG) และ การอภิปรายภายในกลุ่ม (CG) ในแต่ละพฤติกรรมคิดเป็นร้อยละ 16.67 ของพฤติกรรมที่แสดงออกมาทั้งหมด รองลงมา คือ การฟัง (L) ร้อยละ 11.83 นักเรียนถามคำถาม (SQ) ร้อยละ 10.57 การทำกิจกรรมกลุ่มอื่น ๆ เช่นตอบคำถาม (OG) ร้อยละ 10.57 การมีส่วนร่วมในการอภิปรายทั้งชั้นเรียน (WC) ร้อยละ 10.04 การตอบคำถามหลังจากที่นักเรียนได้ฟังคำถามของครูผู้สอน (AnQ) ร้อยละ 6.99 การนำเสนอโดยนักเรียน (SP) ร้อยละ 5.73 การคาดการณ์เกี่ยวกับผลลัพธ์จากการสาธิตการทดลอง (Prd) ร้อยละ 5.38 นักเรียนกำลังรอผู้สอนในการดำเนินกิจกรรม (W) ร้อยละ 2.69 การคิดแก้ปัญหาโดยตัวนักเรียนเอง (Ind) ร้อยละ 2.51 และนักเรียนถูกทำการทดสอบ ร้อยละ 0.36 ตามลำดับ

5.1.5.2 พฤติกรรมครูผู้สอนในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล โดยการใช้การทดลองอย่างง่ายกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุกแบบ ILD ในครั้งนี้ พบว่า ตลอดการจัดการเรียนรู้ในครั้งนี้ครูผู้สอนได้แสดงพฤติกรรมเกี่ยวกับการติดตาม/การให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับคำถามหรือกิจกรรมทั้งชั้นเรียน (FUp) มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 23.13 รองลงมา คือ การเคลื่อนย้ายในชั้นเรียนเพื่อชี้้นำการทำงานของนักเรียนอย่างต่อเนื่อง (MG) ร้อยละ 18.16 การฟังและการตอบคำถามนักเรียนทั้งชั้นเรียน (AnQ) ร้อยละ 14.43 การใช้คำถามกับนักเรียน (PQ) ร้อยละ 10.45 การสนทนาแบบตัวต่อตัวกับบุคคลหนึ่งหรือสองสามคนโดยไม่ให้ความสนใจกับส่วนที่เหลือของชั้นเรียน (1o1) ร้อยละ 9.20 การบรรยาย (Lec) ร้อยละ 8.21 การเขียนกระดานหรือใช้โปรเจกเตอร์ในขณะสอน (RtW) ร้อยละ 6.47 การสาธิตหรือการแสดงผลการเคลื่อนที่ (D/V) ร้อยละ 5.22 ผู้สอนรอโอกาสสำหรับที่จะมีปฏิสัมพันธ์กับนักเรียน แต่ผู้สอนไม่ได้มีปฏิสัมพันธ์ (W) ร้อยละ 4.23 และการมอบหมายการบ้านหรือแบบฝึกหัด (Adm) ให้แก่นักเรียน ร้อยละ 0.50 ตามลำดับ ในการจัดการเรียนรู้ครั้งนี้ครูไม่ได้ใช้คำถาม Clicker (CQ) รวมทั้งนักเรียนและครูผู้สอนไม่ได้แสดงพฤติกรรมอื่น ๆ (O) ที่นอกเหนือจากรหัสที่กำหนด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ชุดการทดลองเอนกประสงค์ที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถเปลี่ยนขนาดและความยาวของท่อพีวีไชนาไดร์ฟเป่าลมให้เหมาะสมกับขนาดของห้องเรียน ในกรณีที่ไม่มีลูกบอลไม้สามารถใช้ลูกปิงปองแทนได้ นอกจากนี้ไม่ควรนำเครื่องเป่าลมมาใช้ในการเป่าลูกบอลไม้หรือลูกปิงปอง เนื่องจากเครื่องเป่าลมมีกำลังและแรงลมเยอะส่งผลให้ลูกบอลไม้หรือลูกปิงปองเคลื่อนที่และตกไปได้ไกล ซึ่งจะต้องใช้พื้นที่หรือบริเวณที่กว้างสำหรับการทดลองจึงไม่เหมาะกับการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียน

5.2.2 เพื่อความแม่นยำในการวัดระยะแนวราบของตำแหน่งที่วัตถุตกลงพื้น ควรทดลองครั้งแรกเพื่อดูตำแหน่งการตกของวัตถุก่อน จากนั้นให้นำกระดาษปรี๊ฟมาวางบริเวณที่วัตถุและนำกระดาษคาร์บอนวางซ้อนด้านบนอีกหนึ่งชั้น เมื่อทำการทดลองจริงวัตถุจะลงบนกระดาษคาร์บอนซึ่งจะปรากฏรอยจุดที่วัตถุตกบนกระดาษปรี๊ฟ จะให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องและชัดเจนยิ่งขึ้น

5.2.3 การใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Tracker สำหรับวิเคราะห์ภาพถ่ายวิดีโอั้น ครูผู้สอนควรสอนวิธีการใช้โปรแกรมเบื้องต้น รวมถึงให้นักเรียนได้ฝึกทดลองใช้และวิเคราะห์ผล ก่อนที่จะให้ใช้จริงสำหรับการจัดการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ของการศึกษานั้น ๆ

5.2.4 การใช้แบบสังเกตพฤติกรรม COPUS ครูผู้สอนและผู้สังเกตจะต้องทำการศึกษาเกี่ยวกับรหัส (Code) ของพฤติกรรมต่าง ๆ ให้เข้าใจ จากนั้นครูผู้สอนและผู้สังเกตทดลองใช้แบบสังเกตพฤติกรรมกับชั้นเรียนอื่น ๆ ก่อนนำมาใช้จริง ทั้งนี้เพื่อให้ผู้สังเกตมีความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะพฤติกรรมได้ตรงกับครูผู้สอน

5.2.5 การเลือกผู้สังเกตชั้นเรียน ควรจะเลือกบุคคลที่มีความเป็นกัลยาณมิตรกับนักเรียน ทั้งนี้ เนื่องจากการสังเกตนั้น ผู้สังเกตจะต้องไปอยู่ในชั้นเรียนขณะจัดการเรียนรู้ นักเรียนจะได้รู้สึก ผ่อนคลาย เป็นกันเอง จะทำให้นักเรียนแสดงพฤติกรรมต่าง ๆ อย่างเป็นธรรมชาติ

5.2.6 ครูควรมีการจัดเตรียมอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้พร้อมและควรตรวจสอบสภาพของเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการสอน รวมไปถึงครูควรเตรียมอุปกรณ์หรือเครื่องมือสำรองไว้ด้วย ทั้งนี้เพื่ออำนวยความสะดวกในกรณีที่อุปกรณ์หรือเครื่องมือที่นักเรียนใช้เกิดชำรุด เสียหาย ขณะทำกิจกรรมการเรียนรู้

5.2.7 ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุกแบบ ILD นั้น ควรมีการกำหนดเวลาให้เหมาะสม และบางครั้งควรมีการยืดหยุ่นของเวลาในแต่ละกิจกรรม เนื่องจากเป็นกิจกรรมการเรียนรู้ที่นักเรียน ต้องลงมือปฏิบัติจริงนักเรียนอาจจะไม่สามารถทำกิจกรรมให้แล้วเสร็จทันตามกำหนดที่วางไว้ได้ ทั้งนี้ เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- ชนาธิป พรกุล. การสอน กระบวนการคิด ทฤษฎีและการนำไปใช้. กรุงเทพฯ: วี.พรีนท์ (1991), 2554.
- นิวัฒน์ บุญสม. การพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนตามแนวคิดของกระบวนการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์เพื่อส่งเสริมนวัตกรรมด้านสุขภาพของนักเรียนที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต: มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2556.
- เนาวนิตย์ สงคราม. การพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนแบบผสมผสานด้วยการเรียนรู้เชิงรุกเพื่อสร้างองค์ความรู้และความสามารถในการแก้ปัญหาเชิงสร้างสรรค์สำหรับนิสิตนักศึกษาครุศาสตร์บัณฑิตในสถาบันอุดมศึกษาของรัฐ. กรุงเทพฯ: คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.
- บุญเลี้ยง ทุมทอง. ทฤษฎีและการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้. กรุงเทพฯ: เอสพรีนติ้ง ไทย แฟคตอรี, 2556.
- ปรียา สมพีช. “การจัดการเรียนรู้เชิงรุกโดยใช้กรณีศึกษา”, วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์. 11(2): 260-270; กรกฎาคม-ธันวาคม, 2559.
- ศักดิ์ดา ไซกิจเจริญภิญโญ. “สอนอย่างไรให้ Active Learning”, วารสารนวัตกรรมการเรียนการสอน. 2(2),12-15; พฤษภาคม-สิงหาคม, 2548.
- ศิริพร มโนพิเชษฐวัฒนา. การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์แบบบูรณาการที่เน้นผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ที่กระตือรือร้นเรื่องร่างกายมนุษย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษาดุสิตบัณฑิต: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2547.
- สุภัทรา ภูษิตรัตนาวลี. การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกสำหรับคณาจารย์วิทยาลัยเทคโนโลยีภาคใต้. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2560.
- สุติเทพ ศิริพิพัฒน์กุล. การพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาและการเรียนรู้เป็นทีมของนิสิตปริญญาบัณฑิตด้วยรูปแบบการเรียนแบบผสมผสานที่ใช้เทคนิคการเรียนรู้ร่วมกันด้วยกรณีศึกษาและเทคโนโลยีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ที่ต่างกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรดุษฎีบัณฑิต: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- อภิสิทธิ์ ชงไชย และคณะ. “การประเมินผลการเรียนรู้แบบใหม่โดยใช้ผลสอบก่อนเรียนและหลังเรียน”, วารสาร มจร. วิชาการ. 11(21): 86–94; กรกฎาคม-ธันวาคม, 2550.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- อุดม ทิพราช. “การเสริมสร้างความเข้าใจและความทรงจำที่ยาวนาน เรื่องหลักของแบร์นูลลี ด้วยการสอนแบบแอคทีฟในการศึกษาของครู”, ใน **การประชุมเชิงวิชาการการจัดการเรียนรู้สู่การปฏิบัติจริงในระดับอุดมศึกษาครั้งที่ 1**. น. 3-4. อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2552.
- Atkinson, R.C. and Shiffrin, R.M. “Human memory: A proposed system and its control processes”, **The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory**. 2(1): 89-195; 1968.
- Ayooobi, M., Ssemakula, M. and Djuric, A. “Effectiveness of Evidence-Based Active Learning Pedagogies in Engineering Technology Courses”, In **ASME 2018 International Mechanical Engineering Congress and Exposition**. p. V005T07A011. Pennsylvania: David L. Lawrence Convention Center, 2018.
- Bonwell, C. C., and Eison, J. A. **Active Learning: Creating Excitement in the Classroom ASHE-ERIC Higher Education Reports No. 1**. ERIC Clearinghouse on Higher Education: The George Washington University, 1991.
- Caron, P. L. and Gely, R. “Taking back the law school classroom: Using technology to foster active student learning”, **Journal of Legal Education**. 54(4): 551-569; May, 2004.
- Clark, R. M. and Dickerson, S. J. “A case study of post-workshop use of simple active learning in an introductory computing sequence”, **IEEE Transactions on Education**. 61(3): 167-176; August, 2018.
- Daher, T. and et al. “Exploring Engineering Faculty Experiences with COPUS: Strategies for Improving Student Learning”, In **ASEE Annual Conference & Exposition**. p. 22020. Utah: Montreal Convention Centre, 2018.
- Efthimiou, C. and et al. “Implementing elements of The Physics Suite at a large metropolitan research university”, **Physics Education**. 46(4): 421; July, 2011.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Freeman, S. and et al. “Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics”, **Proceedings of the National Academy of Sciences**. 111(23): 8410-8415; May, 2014.
- Feher, E. and Rice, K. M. “Children's conceptions of color”, **Journal of Research in Science Teaching**. 29(5): 505-520; May, 1992.
- Felder, R. M. and Brent, R. “Navigating the bumpy road to student-centered instruction”, **College teaching**. 44(2): 43-4; April, 1996.
- Galili, I. and Bar, V. “Motion implies force: where to expect vestiges of the misconception”, **International Journal of Science Education**. 14(1): 63-81; February, 1992.
- Gardner, J. and Belland, B. R. “A conceptual framework for organizing active learning experiences in biology instruction”, **Journal of Science Education and Technology**. 21(4): 465-475; August, 2012.
- Georgiou, H. and Sharma, M. D. “Does using active learning in thermodynamics lectures improve students’ conceptual understanding and learning experiences?”, **European Journal of Physics**. 36(1): 015020; December, 2014.
- Godoy, P., Benegas, J. and Pandiella, S. “Active learning of physics: Synergy of teaching strategies”, **Latin American Journal of Physics Education**. 6(Suppl 1): 6; August, 2012.
- Gokalp, M. “Investigating Classroom Teaching Competencies of Pre service Elementary Mathematics Teachers”, **Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education**. 12(3): 503-512; July, 2016.
- Grabinger, R.S. and Dunlap, J.C. “Rich Environments for Active Learning: a definition”, **ALT-J: Research in Learning Technology**. 3(2): 5-34; June, 1995.
- Griffiths, A. K. and Preston, K. R. “Grade-12 students’ misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules”, **Journal of Research in Science Teaching**. 29(6): 611–628; August, 1992.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Hake, R. “Interactive engagement vs traditional methods: A six-thousand survey of mechanics test data for introductory physics course”, **American Journal of Physics**. 61(1): 64-74; January, 1998.
- Hewson, P. W. and Hewson, M. G. A’ B. “An appropriate conception of teaching science: A view from studies of science learning”, **Science Education**. 72(5): 597– 614; October, 1988.
- Hestenes, D., Wells, M. and Swackhamer, G. “Force concept inventory”, **The Physics Teacher**. 30(3): 141-158; March, 1992.
- Ho, F.F. and Boo, H.K. “Cooperative Learning: Exploring its Effectiveness in the Physics Classroom”, **Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching**. 8(2): ar7; December, 2007.
- Hutem, A., and Kerdmee, S. “Physics Learning Achievement Study: Projectile, using Mathematica program of Faculty of Science and Technology Phetchabun Rajabhat University Students”, **European Journal of Physics Education**. 4(3): 22-33; February, 2017.
- Jensen, J. L., Kummer, T. A. and Godoy, P. D. d. M. “Improvements from a flipped classroom may simply be the fruits of active learning”, **CBE-Life Sciences Education**. 14(1): ar5; March, 2015.
- Kurniawan, Y., Suhandi, A. and Hasanah, L. “The influence of implementation of interactive lecture demonstrations (ILD) conceptual change oriented toward the decreasing of the quantity students that misconception on the Newton’s first law”, **AIP Conference Proceedings**. 1708(1): 070007; February, 2016.
- Kvam, P. H. “The effect of active learning methods on student retention in engineering statistics”, **The American Statistician**. 54(2): 136-140; May, 2000.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Lucas, K. H. and et al. “Correlation between active-learning coursework and student retention of core content during advanced pharmacy practice experiences”, **American journal of pharmaceutical education**. 77(8): ar171; October, 2012.
- Maciejewski, W. “Flipping the calculus classroom: an evaluative study. Teaching Mathematics and its Applications”, **An International Journal of the IMA**. 35(4): 187-201; December, 2016.
- Mazzolini, A. and et al. “The use of interactive lecture demonstrations to improve students’ understanding of operational amplifiers in a tertiary introductory electronics course”, **Latin American Journal of Physics Education**. 5(1): 147-153; March, 2011.
- Mazzolini, A. P. and Daniel, S. A. “Improving students’ understanding by using on-going education research to refine active learning activities in a first-year electronics course”, **IL NUOVO CIMENTO**. 38(3): ar104; May-June, 2015.
- McCloskey, M. “Intuitive physics”, **Scientific American**. 248(4): 122-130; April, 1983.
- Meyers, Chet and Jones, Thomas B. **Promoting Active Learning: Strategies for the College Classroom**. San Francisco: Jossey-Bass, 1993.
- Mintzes, J. J. and Walter, E. M. (Eds.). **Active learning in college science: The case for evidence-based practice**. Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2020.
- Moreno, R. and Mayer, R. E. “Engaging students in active learning: The case for personalized multimedia messages”, **Journal of educational psychology**. 92(4): 724-733; December, 2000.
- Paosawatyanong, B. and Wattanakasiwich, P. “Implication of physics active- learning in Asia”, **Latin-American Journal of Physics Education**. 4(3): 501-505; September, 2010.
- Paulson, D. R. “Active learning and cooperative learning in the organic chemistry lecture class”, **Journal of Chemical Education**. 76(8): 1136; August, 1999.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Phornphisutthimas, S. “Learning management of science in 21st century”,
Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning. 4(1): 55–63; January-June, 2013.
- Rachniyom, S., Toedtanya, K. and Wuttiptom, S. “Development of the Concept of Energy Conservation using Simple Experiments for Grade 10 Students”,
Journal of Physics: Conference Series. 901(1): 012124; September, 2017.
- Rachniyom, S., Sujarittham, T. and Wuttiptom, S. “The projectile tube experiment for improving high-school physics conceptual understanding”,
Journal of Physics: Conference Series. 1380(1): 012105; November, 2019.
- Refik, D. and et al. “High school students’ understanding of projectile motion concepts”, **Educational Research and Evaluation**. 15(3): 203-222; June, 2009.
- Renner, J., Abraham, M. R. and Birnie H. H. “The Necessity of Each Phase of the Learning Cycle in Teaching High School Physics”, **Journal of Research in Science Teaching**. 25(1): 39–58; January, 1988.
- Robinson, F. Diane. “Active learning in a large-enrollment Introductory biology class: Problem solving formative feedback, and teaching as learning”,
Dissertation Abstracts International. 67(8): 5–10; February, 2007.
- Salley, N. J. “Toward a phenomenography of light and vision”, **International Journal of Science Education**. 18(7): 837- 846; February, 1996.
- Shyr, W.J. and Hsu, C.H. “Hands – on activities to enhance renewable energy learning”, **Global Journal of Engineering Education**. 12(1): 24-28; November, 2010.
- Singh, C. and Rosengrant, D. “Multiple-choice test of energy and momentum concepts”, **American Journal of Physics**. 71(6): 607-617; June, 2003.
- Smith, M. K. and et al. “The Classroom Observation Protocol for Undergraduate STEM (COPUS): A new instrument to characterize university STEM classroom practices”, **CBE-Life Sciences Education**. 12(4): 618-627; December, 2013.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Sokoloff, D. R. and Thornton, R. K. “Using Interactive Lecture Demonstrations to Create an Active Learning Environment”, **The Physics Teacher**. 35(6): 340-347; September, 1997.
- Sokoloff, D. R. and Thornton, R. K. **Interactive Lecture Demonstrations**. Weinheim: Wiley-VCH, 2004.
- Sweller, J. “The worked example effect and human cognition”, **Learning and Instruction**. 16(2): 165-169; April, 2006.
- Tanahoung, C and et al. “The effect of interactive lecture demonstrations on students’ understanding of heat and temperature: a study from Thailand”, **Research in Science & Technological Education**. 27(1): 61-74; April, 2009.
- Twigger, D. and et al. “The conception of force and motion of students aged between 10 and 15 years: an interview study designed to guide instruction”, **International Journal of Science Education**. 16(2): 215-229; February, 1994.
- Watts, M. “Gravity-don't take it for granted!”, **Physics Education**. 13(3): 116-121; May, 1982.
- Wattanakasiwich, P. and et al. “Construction and implementation of a conceptual survey in thermodynamics”, **International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education**. 21(1): 29-53; January, 2013.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

ก.1 แบบทดสอบวัดความเข้าใจ

แบบทดสอบวัดความเข้าใจ

เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ และกฎการอนุรักษ์พลังงานกล

คำชี้แจง ข้อสอบในแบบทดสอบฉบับนี้มีทั้งหมด 18 ข้อ คะแนนเต็ม 18 คะแนน

กำหนดให้ : เวลาในการทำข้อสอบ 40 นาที
ทุกคำถามในแบบทดสอบนี้ไม่คิดแรงต้านอากาศ

ตอนที่ 1 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

ให้นักเรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด เพียงคำตอบเดียว

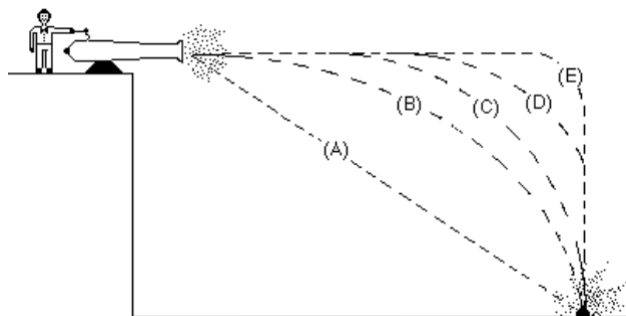
1. ลูกเหล็กกลมสองลูกขนาดเท่ากัน ลูกแรกมีน้ำหนักเป็นสองเท่าของลูกที่สอง กลิ้งหลุดออกจากขอบโต๊ะในแนวระดับด้วยอัตราเร็วเริ่มต้นเท่ากัน แล้วตกลงสู่พื้น ในกรณีนี้:

Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992)

- ก. ลูกเหล็กกลมทั้งสองตกลงพื้น ที่ระยะในแนวระดับจากขอบขาโต๊ะเท่ากัน
- ข. ลูกที่หนักกว่าตกพื้น ที่ระยะห่างในแนวระดับจากขอบขาโต๊ะครึ่งหนึ่งของลูกที่เบากว่า
- ค. ลูกที่เบากว่าตกพื้น ที่ระยะห่างในแนวระดับจากขอบขาโต๊ะครึ่งหนึ่งของลูกที่หนักกว่า
- ง. ลูกที่หนักกว่าตกพื้น ที่ระยะในแนวระดับใกล้เคียงขอบขาโต๊ะมากกว่าแต่ไม่จำเป็นต้องเป็นครึ่งหนึ่งของลูกที่เบากว่า
- จ. ลูกที่เบากว่าตกพื้น ที่ระยะในแนวระดับใกล้เคียงขอบขาโต๊ะมากกว่าแต่ไม่จำเป็นต้องเป็นครึ่งหนึ่งของลูกที่หนักกว่า

2. ลูกเหล็กกลมถูกยิงออกไปจากปืนใหญ่ จากยอดเขาดังรูปข้างล่าง เส้นทางใดเป็นแนวที่ลูกกลมเคลื่อนที่ (Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G., 1992)

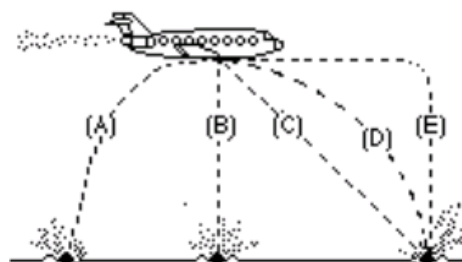
- ก. A
- ข. B
- ค. C
- ง. D
- จ. E



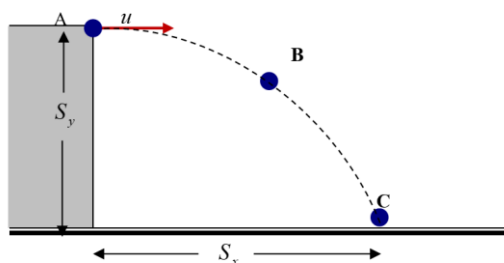
3. ลูกโบว์ลิ่งบังเอิญตกลงจากเครื่องบินขณะกำลังบินเหนือพื้นดินในแนวระดับ ดังรูป ผู้สังเกตที่อยู่บนพื้นดินจะเห็นแนวการเคลื่อนที่ของลูกโบว์ลิ่งนี้ตามเส้นทางใด

Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992)

- ก. A
- ข. B
- ค. C
- ง. D
- จ. E

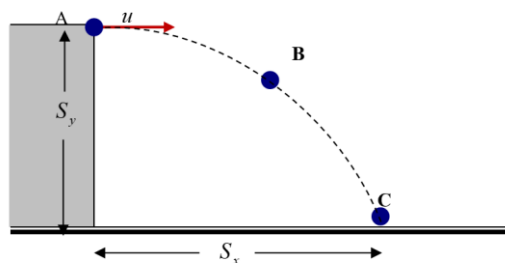


4. ยิงวัตถุจากหน้าผาออกไปในแนวระดับด้วยความเร็วต้น u เมื่อวัตถุเคลื่อนที่มาถึงตำแหน่ง B วัตถุจะมีองค์ประกอบของความเร็วเป็นไปตามข้อใด



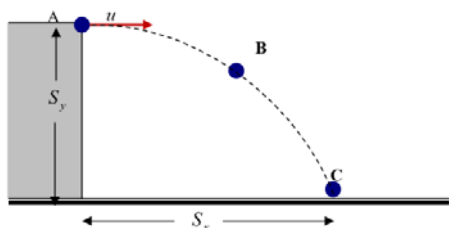
- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| ก. มีเฉพาะแนวตั้ง | ข. มีเฉพาะแนวระดับ |
| ค. มีทั้งแนวตั้งและแนวระดับ | ง. มีทิศทางเข้าสู่ศูนย์กลาง |

5. ยิงวัตถุจากหน้าผาออกไปในแนวระดับด้วยความเร็วต้น u ขนาดของความเร็วในแนวตั้งจากตำแหน่ง B ถึง ตำแหน่ง C เป็นอย่างไร



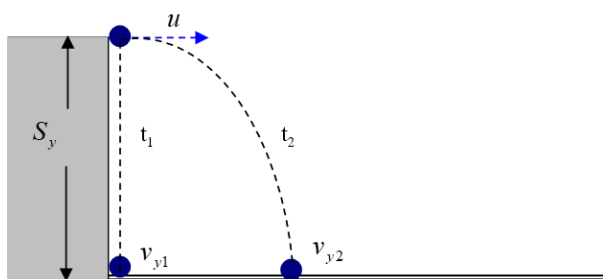
- | | |
|-----------------------------|------------------------------|
| ก. มีค่าเท่าเดิม ทิศทางเดิม | ข. มีค่าลดลง ในแนวตั้ง |
| ค. มีค่าเพิ่มขึ้น ในแนวตั้ง | ง. มีค่าเพิ่มขึ้น ในแนวระดับ |

6. ยิงวัตถุจากหน้าผาออกไปในแนวระดับด้วยความเร็วต้น u ความเร็วในแนวระดับจากตำแหน่ง B ถึง ตำแหน่ง C เป็นอย่างไร



- ก. มีค่าเท่าเดิม ในทิศการเคลื่อนที่ ข. มีค่าลดลง ในแนวดิ่ง
 ค. มีค่าเพิ่มขึ้น ในแนวดิ่ง ง. มีค่าเท่าเดิม ในแนวระดับ

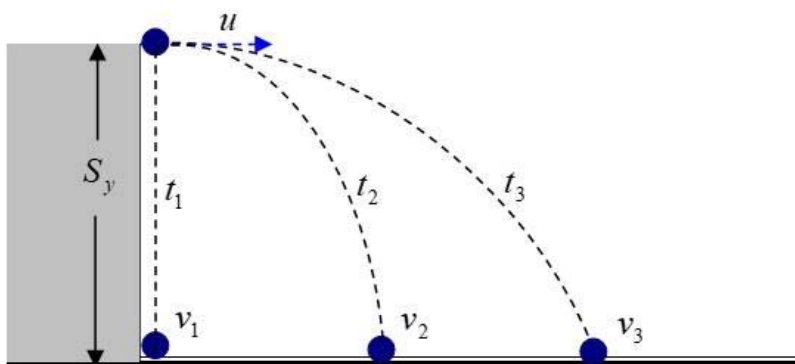
7. เหยื่อสองเหยื่อที่มีขนาดเท่ากัน ถูกปล่อยให้ตกในแนวดิ่งหนึ่งเหยื่อและดีดออกไปตามแนวระดับพร้อม ๆ กันอีกหนึ่งเหยื่อ โดยมี t_1 และ t_2 แทน เวลาของการเคลื่อนที่ตั้งแต่จุดเริ่มต้นจนถึงตำแหน่งที่กระทบพื้น และ v_{y1} และ v_{y2} แทนความเร็วในแนวดิ่งขณะกระทบพื้น ดังภาพ



ข้อใดกล่าวถูกต้อง

- ก. $t_1 = t_2$ และ $v_{y1} = v_{y2}$
 ข. $t_1 = t_2$ และ $v_{y1} > v_{y2}$
 ค. $t_1 < t_2$ และ $v_{y1} = v_{y2}$
 ง. $t_1 = t_2$ และ $v_{y1} < v_{y2}$

8. เหยื่อ 3 เหยื่อที่มีขนาดเท่ากัน ถูกปล่อยให้ตกในแนวดิ่ง 1 เหยื่อ และดีดออกไปตามแนวระดับด้วยความเร็ว u ที่แตกต่างกัน 2 เหยื่อ โดยเหยื่อทั้งสามออกจากจุดเริ่มต้นที่ระดับเดียวกันและพร้อม ๆ กัน โดยมี t_1 , t_2 และ t_3 แทนเวลาการเคลื่อนที่ และ v_1 , v_2 และ v_3 แทนความเร็วขณะกระทบพื้น ดังภาพ



ข้อใดกล่าวถูกต้อง

ก. $t_1 = t_2 = t_3$ และ $v_1 = v_2 = v_3$

ข. $t_1 = t_2 = t_3$ และ $v_1 > v_2 > v_3$

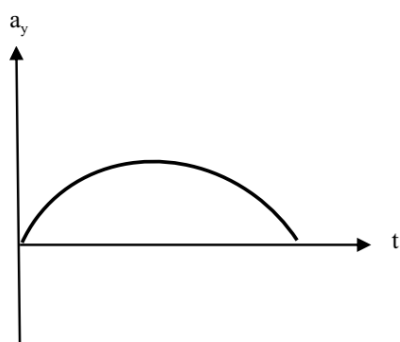
ค. $t_1 < t_2 < t_3$ และ $v_1 = v_2 = v_3$

ง. $t_1 = t_2 = t_3$ และ $v_1 < v_2 < v_3$

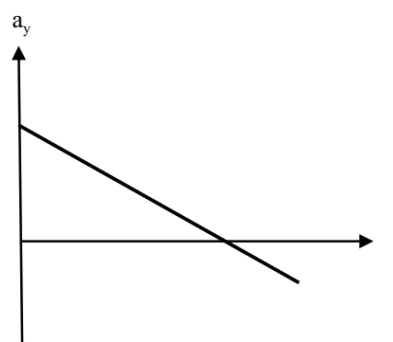
9. ลูกบอลถูกยิงขึ้นไปในแนว 45 องศา จากระดับพื้นดิน กราฟใดต่อไปนี้อธิบายความเร่งในแนวดิ่ง (a_y) ของลูกบอลได้ถูกต้องที่สุด

(ข้อสอบโควตา มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปี 2531)

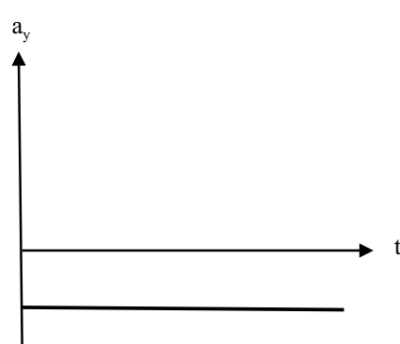
ก.



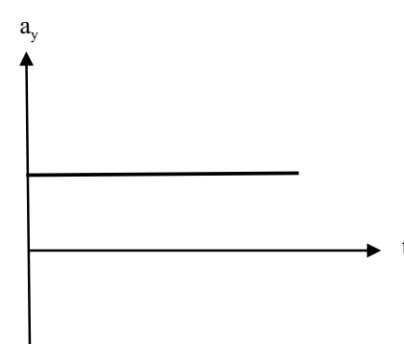
ข.



ค.

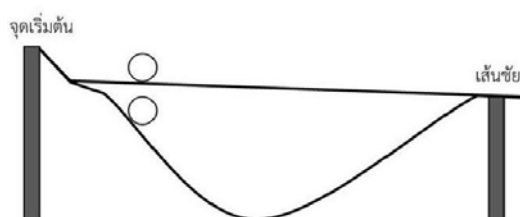


ง.



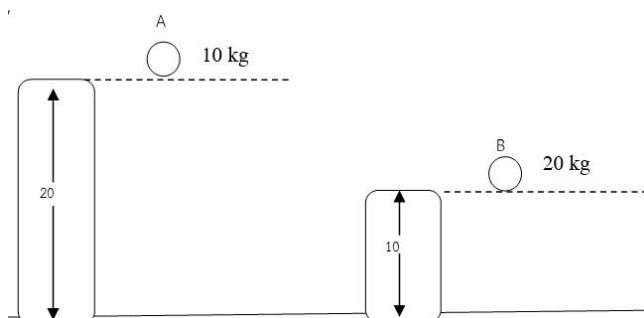
หัวข้อ กฎการอนุรักษ์พลังงานกล

10. การทดลองหนึ่งต้องการเปรียบเทียบว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ (รางวิ่ง) มีผลต่ออัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกโบว์ลิ่งหรือไม่ โดยออกแบบรางวิ่งให้มีลักษณะต่างกันคือ รางตรง กับ รางโค้ง ถ้าปล่อยลูกโบว์ลิ่งสองลูกพร้อม ๆ กัน ที่ระดับความสูงเดียวกัน (จุดเริ่มต้น) ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับอัตราเร็วของลูกโบว์ลิ่งที่จุดเส้นชัย (กำหนดให้รางวิ่งไม่มีแรงเสียดทาน)



- รางตรงกับรางโค้งมีอัตราเร็วเท่ากัน แต่รางตรงมีระยะทางสั้นกว่าจึงถึงเส้นชัยก่อน
- รางตรงกับรางโค้งมีอัตราเร็วเท่ากัน เพราะจุดเริ่มต้นและเส้นชัยมีความสูงเท่ากัน
- รางตรงมีอัตราเร็วมากกว่า เพราะเส้นทางมีความเป็นเส้นตรงและค่อย ๆ ลาดชันลง
- รางโค้งมีอัตราเร็วมากกว่า เพราะเส้นทางมีการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงในช่วงแรกอย่างรวดเร็ว

11. วัตถุ A และ B มีขนาดและรูปร่างเหมือนกัน แต่วัตถุ A มีมวล 10 กิโลกรัม และวัตถุ B มีมวล 20 กิโลกรัม ถ้าปล่อยวัตถุ A และ B ที่ระดับความสูง 20 และ 10 เมตร ตามลำดับ ดังรูป (กำหนดให้เป็นการตกอย่างอิสระของวัตถุ โดยไม่คิดแรงต้านของอากาศ)

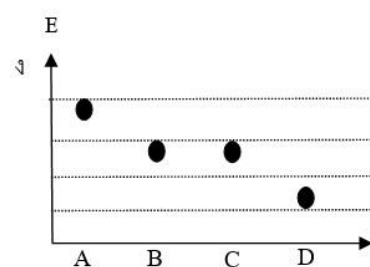
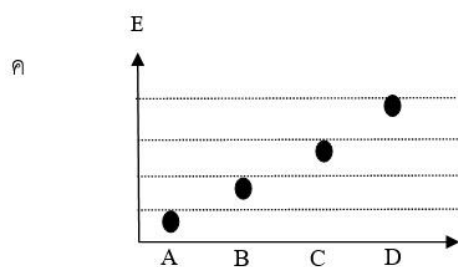
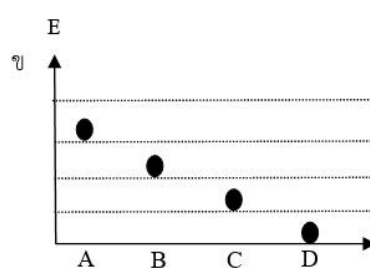
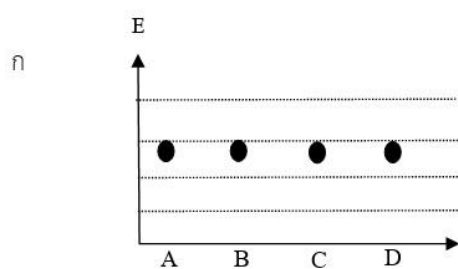
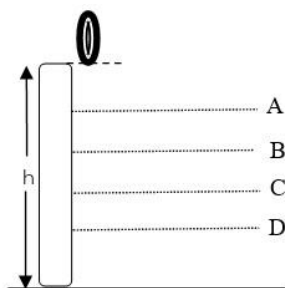


จากสถานการณ์ข้างต้น ข้อความใดต่อไปนี้ถูกต้อง

- ที่ระดับความสูงเดียวกัน วัตถุทั้งสองมีพลังงานศักย์เท่ากัน
- ที่ระดับความสูงเดียวกัน วัตถุทั้งสองมีพลังงานจลน์เท่ากัน

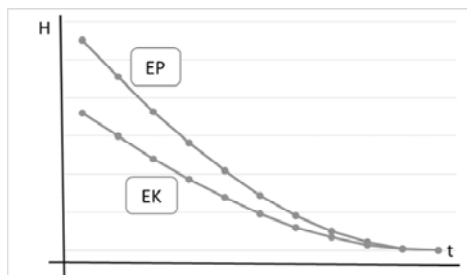
- ค. ที่ระดับความสูงเดียวกัน วัตถุทั้งสองมีพลังงานกลรวมเท่ากัน
 ง. ทุกตำแหน่งของการเคลื่อนที่วัตถุแต่ละอันมีพลังงานกลรวมคงที่

12. ปล่อยไข้ไถ่ลงมาอย่างอิสระจากที่ระดับความสูง h กราฟตามรูปใดที่แสดงผลรวมของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ของไข้ไถ่ขณะเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่ง A B C และ D

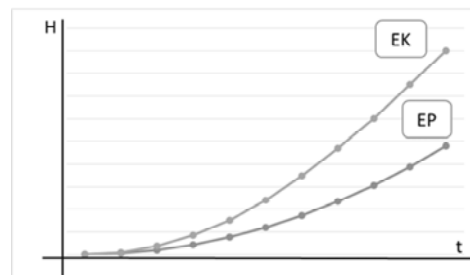


13. ปล่อยลูกบอลทรงกลมตันมวล 20 กรัม ลงมาอย่างอิสระจากที่ระดับความสูง H เมื่อเวลา t ผ่านไป กราฟตามรูปใดแสดงความสัมพันธ์ของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ได้ถูกต้อง

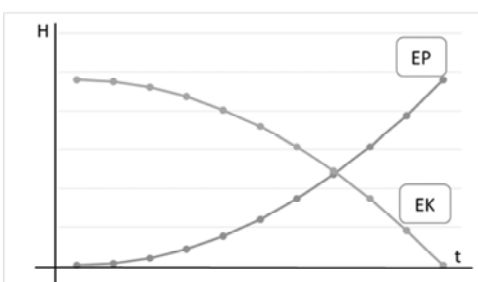
ก.



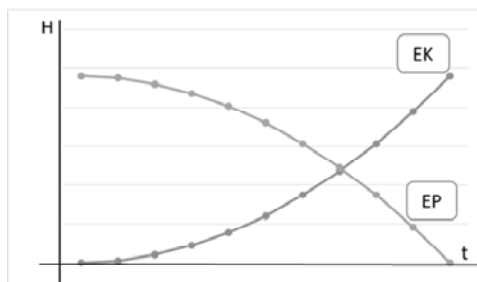
ข.



ค.

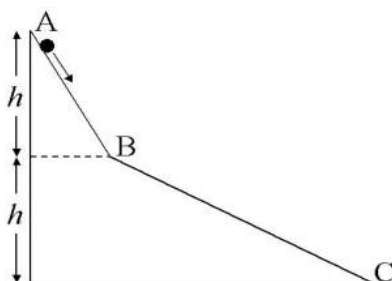


ง.



14. ปล่อยก้อนน้ำแข็งลงจากทางลาดชันที่มีลักษณะดังรูป ซึ่งมีแรงเสียดทานน้อยมาก กำหนดความสูงในแนวตั้งจากตำแหน่ง A ถึงพื้นเป็นระยะ $2h$ จงพิจารณาว่าข้อความใดต่อไปนี้ถูกต้อง

(Singh, C., & Rosengrant, D. 2003)



ก. การเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ จากจุด A ไป จุด B มีค่าเท่ากับ จากจุด B ไปจุด C

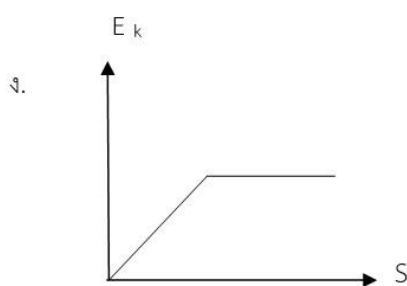
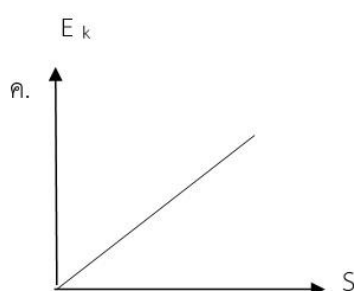
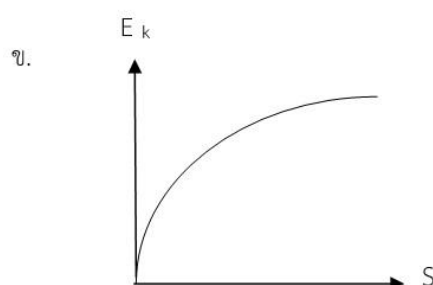
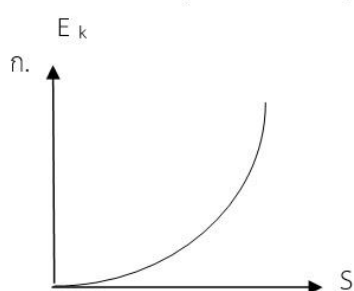
ข. การเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์โน้มถ่วง จากจุด A ไป จุด B มีค่าเท่ากับ จากจุด B ไปจุด C

- ค. งานเนื่องจากแรงโน้มถ่วง จากจุด A ไป จุด B มีค่าเท่ากับ จากจุด B ไป จุด C
 ง. พลังงานกลรวม จากจุด A ไป จุด B มีค่าเท่ากับ จากจุด B ไปจุด C

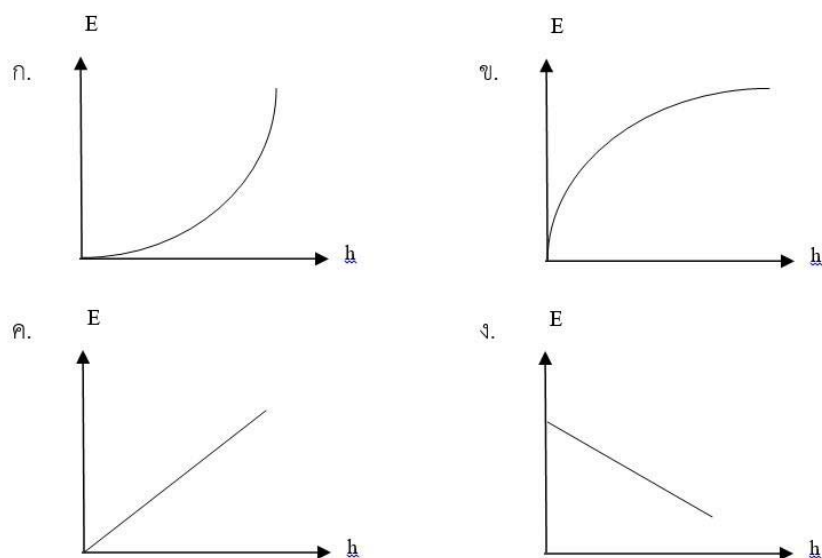
15. ปล่อยลูกบอลจากตึกสูงให้ตกอย่างอิสระภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก พิจารณาข้อความต่อไปนี้ ข้อใดถูกต้อง (Singh, C., & Rosengrant, D., 2003)

- ก. เวลาที่เท่ากัน พลังงานจลน์ของลูกบอลจะเพิ่มขึ้นเท่ากัน
 ข. การกระจัดที่เท่ากัน พลังงานจลน์ของลูกบอลจะเพิ่มขึ้นเท่ากัน
 ค. งานเนื่องจากแรงโน้มถ่วงที่กระทำกับลูกบอลมีค่าเป็นศูนย์
 ง. พลังงานกลรวมของลูกบอลลดลงเมื่อการกระจัดเพิ่มขึ้น

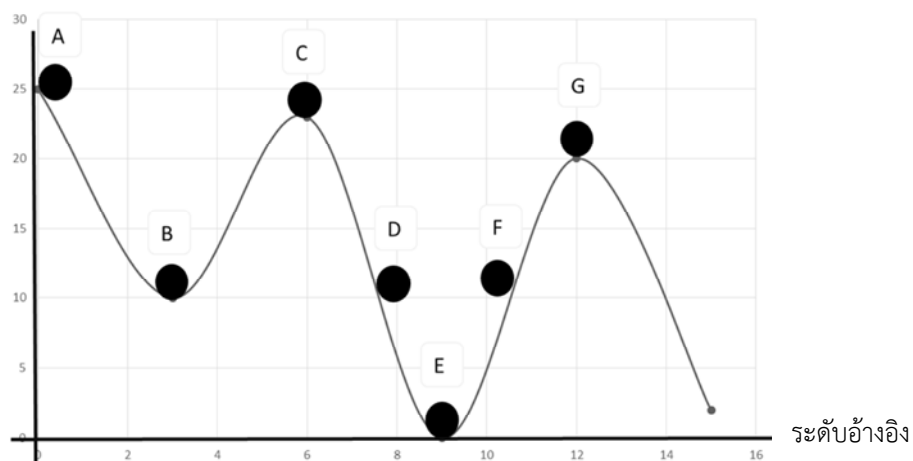
16. วัตถุก้อนหนึ่งเคลื่อนที่จากหยุดนิ่งออกไปในแนวเส้นตรงด้วยอัตราเร่งคงตัว กราฟรูปใดแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจลน์ของวัตถุกับระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้



17. กำหนดให้ E เป็นพลังงานศักย์โน้มถ่วงของวัตถุ h เป็นระยะจากผิวโลกถึงวัตถุ กราฟข้อใดที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง E กับ h ได้ถูกต้อง



18. ถ้าปล่อยลูกบอลให้ไหลลงจากจุดเริ่มต้น A อัตราเร็วของลูกบอลตำแหน่งใดบ้างที่มีค่าเท่ากัน



- ก. C กับ F ข. B กับ E
ค. B D และ F ง. C D และ E

[illegible]

ก. 2 เฉลยแบบทดสอบ

ข้อ	คำตอบ
1	ก
2	ข
3	ง
4	ค
5	ค
6	ง
7	ก
8	ง
9	ค
10	ข
11	ง
12	ก
13	ง
14	ก
15	ข
16	ค
17	ค
18	ค

ภาคผนวก ข
เครื่องมือที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้

ข.1 แผนการจัดการเรียนรู้

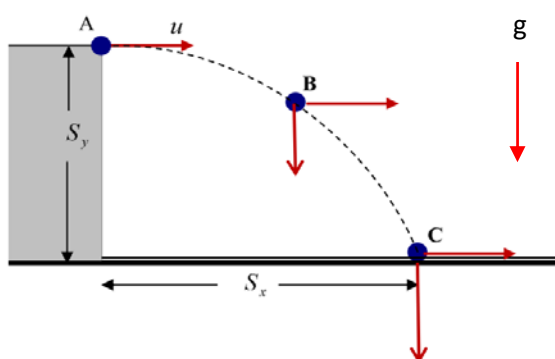
แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์	
เวลาจัดการเรียนรู้	จำนวน 4 คาบ คาบละ 50 นาที

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

1. นักเรียนสามารถทดลอง เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์เพื่อหาความสัมพันธ์ของระยะในแนวระดับกับระยะในแนวตั้งพร้อมทั้งคำนวณหาความเร็วต้นในแนวระดับได้
2. นักเรียนสามารถอธิบายและวิเคราะห์หลักการของการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ได้

แนวความคิดหลัก

การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ (projectile motion) เป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ประกอบด้วยแนวแกนการเคลื่อนที่สองแนว คือ แนวระดับและแนวตั้งที่ตั้งฉากและเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งจะมีแนวการเคลื่อนที่เป็นแบบเส้นโค้งพาราโบลา โดยในแนวระดับจะมีความเร่งคงตัว (ไม่มีความเร่ง) และในแนวตั้งจะมีความเร่งคงตัว (ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก) ส่วนเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ทั้งในแนวระดับและแนวตั้งจะมีค่าเท่ากันเสมอ เนื่องจากเป็นวัตถุก้อนเดียวกัน



ภาพแสดงลักษณะการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

กระบวนการจัดการเรียนรู้

ชั้นนำเข้าสู่บทเรียน (20 นาที)

1. ครูตรวจสอบความรู้พื้นฐานของนักเรียน โดยใช้คำถาม “ในชีวิตประจำวันของนักเรียน นักเรียนได้สังเกตเห็นหรือพบเจอการเคลื่อนที่ลักษณะใดบ้าง ” ให้นักเรียนช่วยกันอธิบายเพื่อหาคำตอบ
(แนวคำตอบ ลักษณะแนวตรง แนวราบ แนวตั้ง แนวโค้ง วงกลม การสั่นกลับไปกลับมา)

2. ให้นักเรียนดูคลิปวิดีโอ 2 – 3 คลิป ในเนื้อหาที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์
3. นักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับเนื้อหาในคลิปวิดีโอเกี่ยวกับเนื้อหาหรือหัวข้อทางฟิสิกส์
4. ให้ตัวแทนนักเรียนสรุปคำตอบจากการอภิปราย

ขั้นการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ ILD

ขั้นที่	กระบวนการ	เวลา (นาที)
1	ครูอธิบายชุดอุปกรณ์ สำหรับใช้ในกิจกรรมที่ 1	5
2	ให้นักเรียนแต่ละคนทำนายว่า “ถ้าใช้ใครเป่าลมที่มีระดับความแรงของลม 2 ระดับ คือ ระดับแรงลมต่ำและระดับแรงลมสูง เป่าลูกปิงปองให้เคลื่อนที่ในท่อพีวีซีไส หลังจากที่ถูกปิงปองเคลื่อนที่หลุดออกจากปากท่อ ลูกปิงปองจะมีลักษณะของเส้นทางการเคลื่อนที่และตำแหน่งตกกระทบพื้นเป็นอย่างไร” ให้นักเรียนวาดรูปและเขียนคำตอบของตัวเองลงใน Prediction Sheet A	5
3	ให้นักเรียนเข้ากลุ่มตามความสมัครใจ กลุ่มละ 5 คน หลังจากนั้นครูกระตุ้นให้นักเรียนเกิดการอภิปรายกันภายในกลุ่มเกี่ยวผลการทำนายของตัวเอง	5
4	นักเรียนภายในกลุ่มร่วมกันสรุปและเขียนผลการทำนายอีกครั้งใน Prediction Sheet B	5
5	ครูเลือกตัวอย่างการทำนายของนักเรียนบางส่วน เพื่อนำมาแสดงให้นักเรียนคนอื่น ๆ ในห้องดู	5
6	- ครูสาธิตการทดลอง จากนั้นให้เรียนแต่ละกลุ่มได้ปฏิบัติการทดลอง ในการปฏิบัติการทดลองนั้นนักเรียนจะต้องทำการวัดค่าของระยะที่ถูกบอลไม้ตกกระทบพื้นในแนวระดับ ขณะทำการทดลองนักเรียนแต่ละกลุ่มจะต้องบันทึกวิดีโอเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของลูกบอลไม้ด้วย	40
	- เมื่อทำการทดลองเสร็จแล้ว นักเรียนแต่ละคนจะต้องเขียนผลที่ได้จากการทดลองลงใน Result sheet A	15
	- นักเรียนในแต่ละกลุ่มนำคลิปวิดีโอที่ได้จากการทดลอง เข้าโปรแกรม Tracker สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์	30
	- นักเรียนนำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และข้อมูลที่วิเคราะห์ได้มาบันทึกผลใน Result sheet B	20

ชั้นที่	กระบวนการ	เวลา (นาที)
7	นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการทดลองและผลที่เกิดขึ้นจากการทดลอง (ใช้ข้อมูลจาก Prediction Sheet, Result sheet มาร่วมอภิปรายด้วย)	30
8	นักเรียนและครูร่วมกันยกตัวอย่าง รวมทั้งอภิปรายเกี่ยวกับสถานการณ์อื่น ๆ ที่มีหลักการเดียวกัน	15

ขั้นสรุป (5 นาที)

นักเรียนและครูร่วมกันสรุปเกี่ยวกับกิจกรรมที่ 1

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล

เวลาจัดการเรียนรู้ จำนวน 3 คาบ คาบละ 50 นาที

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

1. นักเรียนสามารถวิเคราะห์และอภิปรายเพื่อสรุปเกี่ยวกับกฎการอนุรักษ์พลังงานกลได้
2. นักเรียนสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับกฎการอนุรักษ์พลังงานกลได้

แนวความคิดหลัก

ในกรณีที่วัตถุเคลื่อนที่หรือตกอย่างอิสระภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกโดยไม่มีแรงอื่นมากระทำ พลังงานกลรวมของวัตถุ ณ ตำแหน่งใด ๆ จะมีค่าคงที่เสมอ นั่นคือ ผลรวมของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์โน้มถ่วงของวัตถุจะไม่สูญหายไปไหนแต่จะเปลี่ยนจากพลังงานหนึ่งไปเป็นอีกพลังงานหนึ่ง ซึ่งเป็นไปตาม

กฎการอนุรักษ์พลังงานกล (Law of Conservation of Mechanical Energy)

ดั่งสมการแสดงความสัมพันธ์

$$\Delta E_k = \Delta E_p$$

กระบวนการจัดการเรียนรู้

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน (20 นาที)

1. ครูตรวจสอบความรู้พื้นฐานของนักเรียน โดยใช้คำถาม “ในชีวิตประจำวันของนักเรียน นักเรียนได้สังเกตหรือทำกิจกรรมใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับพลังงาน และพลังงานนั้นเรียกว่าพลังงานอะไร” ให้นักเรียนช่วยกันอภิปรายเพื่อหาคำตอบ
(แนวคำตอบ คนกำลังวิ่ง มีพลังงานจลน์ ลูกมะพร้าวอยู่บนต้น มีพลังงานศักย์โน้มถ่วง ฯลฯ)
2. ให้นักเรียนดูคลิปวิดีโอ 2 – 3 คลิป ในเนื้อหาที่เกี่ยวกับพลังงานกล
3. นักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับเนื้อหาในคลิปวิดีโอกับเนื้อหาหรือหัวข้อทางฟิสิกส์
4. ให้ตัวแทนนักเรียนสรุปคำตอบจากการอภิปราย

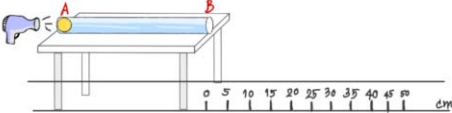
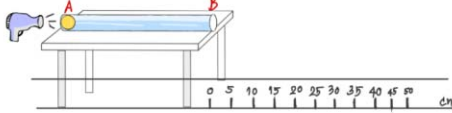
ชั้นการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการ ILD

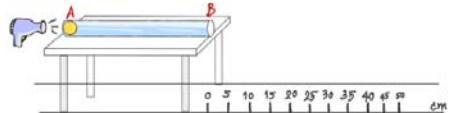
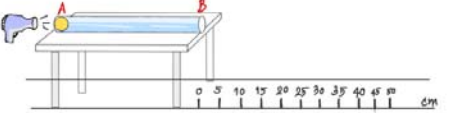
ขั้นที่	กระบวนการ	เวลา (นาที)
1	ครูอธิบายกิจกรรมที่ 2	5
2	ให้นักเรียนแต่ละคนทำนายว่า “ถ้าใช้ใครเป่าลม เป่าลูกปิงปองให้เคลื่อนที่ในท่อพีวีซีได้ หลังจากที่ถูกปิงปองเคลื่อนที่หลุดออกจากปากท่อ ลูกปิงปองจะมีการเปลี่ยนแปลงของพลังงานเป็นอย่างไร” ให้นักเรียนวาดรูปและเขียนคำตอบของตัวเองลงใน Activity Sheet (Prediction Sheet I)	5
3	ให้นักเรียนเข้ากลุ่มเดิมเหมือนกิจกรรมที่ 1 กลุ่มละ 5 คน หลังจากนั้นครูกระตุ้นให้นักเรียนเกิดการอภิปรายกันภายในกลุ่มเกี่ยวผลการทำนายของตัวเอง	5
4	นักเรียนภายในกลุ่มร่วมกันสรุปและเขียนผลการทำนายอีกครั้งใน Activity Sheet (Prediction Sheet II)	5
5	ครูเลือกตัวอย่างการทำนายของนักเรียนบางส่วน เพื่อนำมาแสดงให้นักเรียนคนอื่น ๆ ในห้องดู	5
6	- ครูสาธิตการวิเคราะห์ค่าการทดลองด้วย Tracker จากนั้นให้เรียนแต่ละกลุ่มได้วิเคราะห์การทดลองโดยใช้คลิปวิดีโอจากกิจกรรมที่ 1 พร้อมทั้งบันทึกผลลงใน Activity Sheet A	35
	- นักเรียนแต่ละคนทำกิจกรรมใน Activity Sheet B พร้อมทั้งเขียนผลที่ได้วิเคราะห์จากการทดลองลง Result sheet	20
7	นักเรียนและครูร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการทดลองและผลที่เกิดขึ้นจากการทดลอง (ใช้ข้อมูลจาก Activity Sheet (Prediction sheet), Activity Sheet A, Activity Sheet B และ Result sheet มาร่วมอภิปรายด้วย)	30
8	นักเรียนและครูร่วมกันยกตัวอย่าง รวมทั้งอภิปรายเกี่ยวกับสถานการณ์อื่น ๆ ที่มีหลักการเดียวกัน	15

ขั้นสรุป (5 นาที)

นักเรียนและครูร่วมกันสรุปเกี่ยวกับกิจกรรมที่ 2

ข. 2 ใบกิจกรรม เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์

PREDICTION SHEET		Page A
สถานการณ์ : ใช้โดร์เป่าลมที่มีระดับความแรงของลม 2 ระดับ คือ ระดับแรงลมต่ำและระดับแรงลมสูง เป่าลูกปิงปองให้เคลื่อนที่ในท่อพีวีซี จากตำแหน่ง A ไปตำแหน่ง B ดังรูป ทำนาย: หลังจากที่ถูกปิงปองเคลื่อนที่หลุดจากตำแหน่ง B ลูกปิงปองจะมีลักษณะของเส้นทางการเคลื่อนที่และตำแหน่งตกกระทบพื้นเป็นอย่างไร		
วาดรูป ลักษณะเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกปิงปอง		
ระดับแรงลมต่ำ	ระดับแรงลมสูง	
		

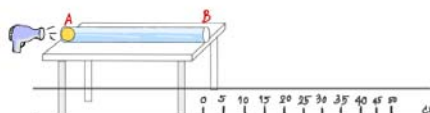
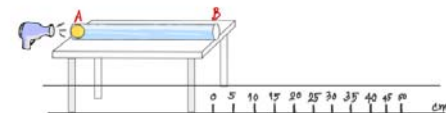
PREDICTION SHEET		Page B
สถานการณ์ : ใช้โดร์เป่าลมที่มีระดับความแรงของลม 2 ระดับ คือ ระดับแรงลมต่ำและระดับแรงลมสูง เป่าลูกปิงปองให้เคลื่อนที่ในท่อพีวีซี จากตำแหน่ง A ไปตำแหน่ง B ดังรูป ทำนาย: หลังจากที่ถูกปิงปองเคลื่อนที่หลุดจากตำแหน่ง B ลูกปิงปองจะมีลักษณะของเส้นทางการเคลื่อนที่และตำแหน่งตกกระทบพื้นเป็นอย่างไร		
วาดรูป ลักษณะเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกปิงปอง		
ระดับแรงลมต่ำ	ระดับแรงลมสูง	
		

RESULT SHEET

Page A

สถานการณ์ : ใช้โดร์เป่าลมที่มีระดับความแรงของลม 2 ระดับ คือ ระดับแรงลมต่ำและระดับแรงลมสูง เป่าลูกปิงปองให้เคลื่อนที่ในท่อพีวีซี จากตำแหน่ง A ไป ตำแหน่ง B ดังรูป

บันทึกผล : หลังจากที่ถูกปิงปองเคลื่อนที่หลุดจากตำแหน่ง B ลูกปิงปองจะมีลักษณะของเส้นทางการเคลื่อนที่และตำแหน่งตกกระทบพื้นเป็นอย่างไร

วาดรูป ลักษณะเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกปิงปอง	
ระดับแรงลมต่ำ	ระดับแรงลมสูง
	

คำถาม: หลังจากการทดลอง

1. ลักษณะของเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกปิงปอง เหมือนหรือแตกต่างกับผลที่ทำนายไว้ก่อนการทดลองอย่างไร ทำไมจึงเป็นเช่นนั้น

.....

2. ตำแหน่งตกกระทบพื้นของลูกปิงปอง เหมือนหรือแตกต่างกับผลที่ทำนายไว้ก่อนการทดลองอย่างไร ทำไมจึงเป็นเช่นนั้น

.....

RESULT SHEET

Page B

คำชี้แจง : ขณะทำการทดลองให้นักเรียนบันทึกวิถีการเคลื่อนที่ของลูกปิงปองตั้งแต่เริ่มเคลื่อนที่จนตกถึงพื้น จากนั้นให้นำวิดีโอไปวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Tracker

คำอธิบาย : ให้นักเรียนทำการทดลองโดยใช้โดร์เป่าลมเป่าลูกปิงปองให้เคลื่อนที่ในท่อพีวีซี จากตำแหน่ง A ไป ตำแหน่ง B ขณะที่ลูกปิงปองตกกระทบพื้นให้นักเรียนสังเกตแล้วทำเครื่องหมายตรงจุดที่ลูกปิงปองตก จากนั้นวัดระยะ S_x (วัดระยะในแนวระดับ) โดยวัดจากตำแหน่ง B มาจุดที่ตกกระทบพื้น พร้อมทั้งบันทึกผลลงตารางที่กำหนดให้

ทดลองครั้งที่ 1 : ใช้โดร์เป่าลมที่มีระดับแรงลมต่ำเป่าลูกปิงปองให้เคลื่อนที่ในท่อพีวีซี

ทดลองครั้งที่ 2 : ใช้โดร์เป่าลมที่มีระดับแรงลมสูงเป่าลูกปิงปองให้เคลื่อนที่ในท่อพีวีซี

ตารางบันทึกผลการทดลอง	
ระดับแรงลมต่ำ	ระดับแรงลมสูง
$S_x = \dots\dots\dots \text{ m}$ $S_y = \dots\dots\dots \text{ m}$ คำนวณค่า จาก $U_x = \sqrt{\frac{gS_x^2}{2S_y}} =$	$S_x = \dots\dots\dots \text{ m}$ $S_y = \dots\dots\dots \text{ m}$ คำนวณค่า จาก $U_x = \sqrt{\frac{gS_x^2}{2S_y}} =$
ค่า U_x ที่ได้จากโปรแกรม Tracker มีค่าเท่ากับ.....	ค่า U_x ที่ได้จากโปรแกรม Tracker มีค่าเท่ากับ.....

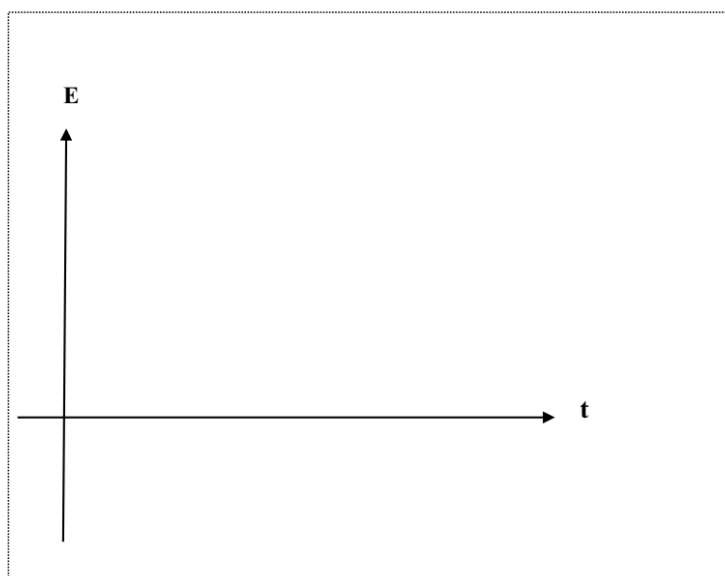
ข. 3 ใบกิจกรรม เรื่อง กฎการอนุรักษ์พลังงานกล

Activity Sheet : Back ground in Law of Conservation of Mechanical Energy

(Prediction sheet I)

เมื่อลูกปิงปองเคลื่อนที่หลุดจากปากท่อพีวีซีจนตกถึงพื้นด้านล่าง ให้นักเรียนวาดกราฟ

- พลังงานจลน์กับเวลา (E_k)
- พลังงานศักย์กับเวลา (E_p)
- พลังงานกลรวมกับเวลา (E_{total})



คำอธิบาย

.....

.....

.....

.....

.....

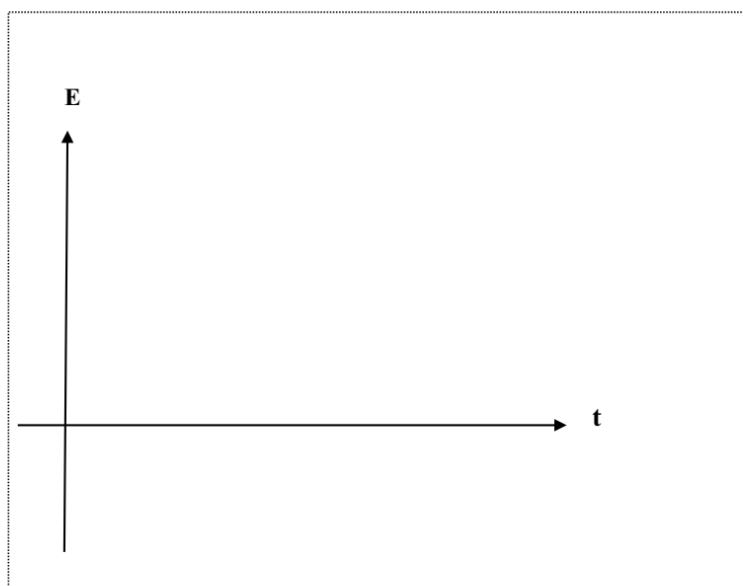
.....

.....

Activity Sheet : Back ground in Law of Conservation of Mechanical Energy
(Prediction sheet II)

เมื่อลูกปิงปองเคลื่อนที่หลุดจากปากท่อพีวีซีจนตกถึงพื้นด้านล่าง ให้นักเรียนวาดกราฟ

- พลังงานจลน์กับเวลา (E_k)
- พลังงานศักย์กับเวลา (E_p)
- พลังงานรวมกับเวลา (E_{total})



คำอธิบาย

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Activity Sheet A

Activity Sheet : Law of Conservation of Mechanical Energy

คำชี้แจง : ให้นักเรียนใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์การทดลองด้วยโปรแกรม Tracker มาใช้ในการตอบคำถาม

ตำแหน่งที่	x (m)	y (m)	v_x (m/s)	v_y (m/s)	a_x (m/s ²)	a_y (m/s ²)
1						
2						
3						
4						
5						

มวลของลูกบอล.....กิโลกรัม

ตำแหน่ง ที่	ข้อมูลจาก Tracker				ข้อมูลจากการคำนวณ		
	$x(m)$	$y(m)$	$v(m/s)$	$a(m/s^2)$	$E_k = \frac{1}{2}mv^2$	$E_p = mgh$	E_{total}
1							
2							
3							
4							
5							

ให้นักเรียนเปรียบเทียบค่าพลังงานกลรวมแต่ละตำแหน่งมีค่าเป็นอย่างไร

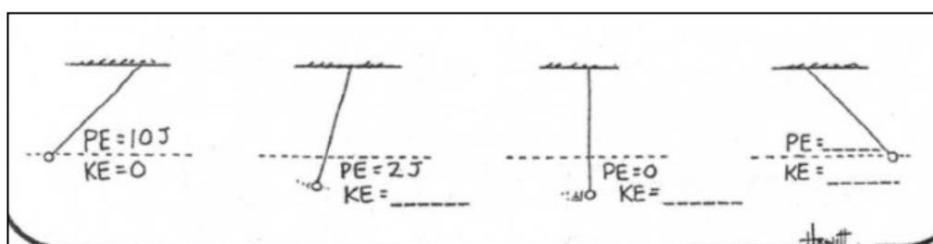
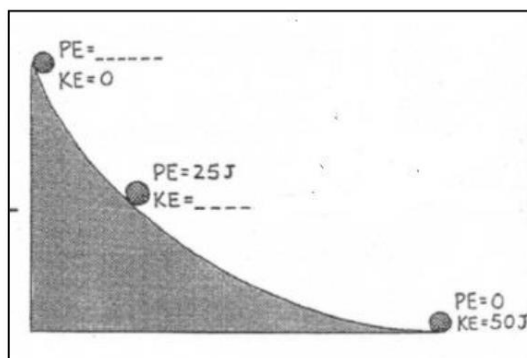
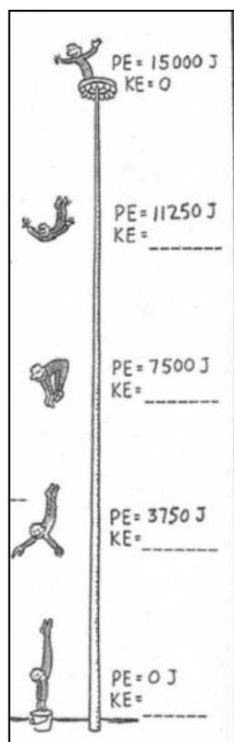
.....

.....

Activity Sheet B

Activity Sheet : Law of Conservation of Mechanical Energy

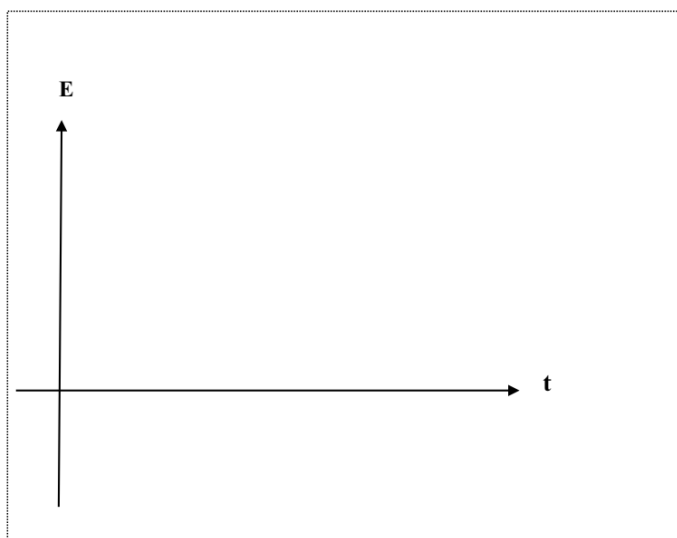
จากการวิเคราะห์ข้อมูลในตาราง ให้นักเรียนเติมคำตอบลงในช่องว่างให้ถูกต้อง



Result sheet: Law of Conservation of Mechanical Energy

เมื่อลูกบ๊องเคลื่อนที่หลุดจากปากท่อพีวีซีจนตกถึงพื้นด้านล่าง ให้นักเรียนวาดกราฟ

- พลังงานจลน์กับเวลา (E_k)
- พลังงานศักย์กับเวลา (E_p)
- พลังงานกลรวมกับเวลา (E_{total})



คำอธิบาย

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ค
งานวิจัยที่ตีพิมพ์

PAPER • OPEN ACCESS

The projectile tube experiment for improving high-school physics conceptual understanding

To cite this article: S Rachniyom *et al* 2019 *J. Phys.: Conf. Ser.* **1380** 012105

View the [article online](#) for updates and enhancements.



IOP | ebooks™

Bringing you innovative digital publishing with leading voices to create your essential collection of books in STEM research.

Start exploring the collection - download the first chapter of every title for free.

The projectile tube experiment for improving high-school physics conceptual understanding

S Rachniyom¹, T Sujarittam^{3,4} and S Wuttirom^{2,3*}

¹ Ph.D. candidate in Science Education program, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani, 34190, Thailand

² Department of Physics, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani, 34190, Thailand

³ Thailand Center of Excellence in Physics, Commission on Higher Education, Bangkok 10400, Thailand

⁴ Department of General Science, Faculty of Education, Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Dhonburi, Bangkok 10600, Thailand

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

Abstract. This research aimed to design the simple apparatus to improve students' conceptual understanding in projectile motion. The projectile tube experiment was a simple apparatus that consisted of a one-meter PVC tube, a 1200-watt hair dryer, a hard sheet of paper, and a ping pong ball. The participants were 30 grade 10 students who were selected by non-random sampling in the second semester of the academic year 2018. The research tools consisted of learning lesson plans and a multiple-choice learning achievement test. The class activity was conducted by using the Interactive Lecture Demonstrations (ILDs) method with Tracker Video Analysis. The results showed that the experiment set worked perfectly and could be used for learning the projectile concept. The students' achievement score was significantly increased at a statistical level of .05 and the average of students' normalized gain was in a medium gain regime.

1. Introduction

Projectile motion, the motion of a body in the air, is an important fundamental topic [1]. In daily life, we can see the motion by playing sports such as basketball, volleyball, golf, and others. Understanding projectile motion is necessary for students in middle schools, high schools, and universities. It is therefore important that students have some knowledge of the mechanical characteristics of projectile motion [1].

Recently, there were researches about the projectile motion apparatuses which were made for demonstration and instruction including Increasing Student Engagement and Enthusiasm: The Projectile Motion Crime Scene, Teaching Physics with Basketball, Easy Projectile-Motion Demonstrations, and [2-4]. The aim of the instruction in the projectile motion is to minimize students' misconceptions and portray the tangible aspect of the motion to students. Teaching methods can provide students with a better understanding of physics content. Physics education researchers agree that the instructional pattern considered to encourage students and correct misconceptions in physics is Interactive Lecture Demonstrations (ILD) [5]. ILD instruction has three steps: 1) Predict the outcome of the demonstration. Individually, and then with a partner, students explain to each other which of a set of possible outcomes



Content from this work may be used under the terms of the [Creative Commons Attribution 3.0 licence](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/). Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI.

Published under licence by IOP Publishing Ltd

is most likely to occur; 2) Experience the demonstration. Working in small groups, students conduct an experiment, take a survey, or work with data to determine whether their initial beliefs were or were not confirmed; 3) Reflect on the outcome. Students think about the reasons for their initial beliefs and in what ways the demonstration confirmed or contradicted these beliefs [6].

From the previous researches, their apparatuses were limited to only one specific topic which could not be adapted to other content in physics. In this research, the equipment is designed to be used in three topics including kinematic energy and motion, projectile motion, and pressure. The design of the equipment emphasizes the philosophy of physicists referenced from MPEX test in the cluster coherence that determines physics as a holistic view [7]. However, the purpose of the study is to design the simple apparatus for ILDs in order to improve students' conceptual understanding in projectile motion.

2. Methodology

2.1. Participants

The participants in this research are tenth grade students in the second semester of the 2018 academic year. The group of thirty students are registered in the Physics I course. The participants were selected by non-random sampling from the mathematics-science program. The students in this program were medium and high performing students of science knowledge – considered by their achievement. Every student was originally resident in Bangkok.

2.2. Force concept inventory :(FCI)

The force concept inventory developed by Hestenes [8], is a multiple choice test which is designed to monitor students' understanding of conceptual field of force and related kinematics [9]. The researcher selected 3 items from the FCI which related to projectile motion and adapted them into two-tier questions. The first tier was five choices, and the second tier was the confidence level and supported reasoning. The questions were given before and after the intervention.

2.3. ILDs scenarios

The researcher designed the experiment by using general materials that were cheap and accessible. The materials were a half meter of transparent PVC tube, a ping-pong ball, and a 1200-watt hair dryer. The questions were given before and after the activity which was conducted by Interactive Lecture Demonstrations (ILDs). The activity was divided into two sub-activities.

2.3.1. The first sub-activity. Making a prediction from the situation; A ping-pong ball is loaded in the PVC tube at position A in figure 1. Then, a 1200-watt hair dryer is used to blow the ping-pong ball into position B. Students have to make a prediction about what the motion will be after the ping-pong ball leaves the tube. Finally, students write the answer in the prediction sheet.

2.3.2. The second sub-activity. Hands-on experiment; Students set up the experiment and test the experiment following the first sub-activity. In this activity, students need to record a video clip of the projectile motion. Then, students write the result in the result sheet. The result in the first and second activity needs to be compared using the Tracker program. Students report the comparison by drawing and describing it in the result sheet. In addition, students need to answer 1) the velocity in various positions after a ping-pong ball is released from the tube, 2) the velocity in X-axis and Y-axis, 3) The amount of time for moving in both axes and 4) the result of the comparison of the horizontal velocity and the vertical velocity by cooperating the Tracker program with calculation.

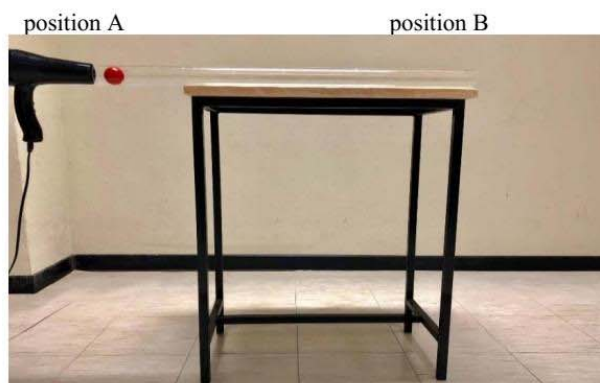


Figure 1. Setting up the experiment.

3. Results

The results were analyzed into two sections.

3.1. The result of students' learning gain

The average score of students from pre-test and post-test was 35.55% and 77.77% respectively. The result determined that the students' score increased significantly at the level of .05 by $t = 7.64$ ($t_{0.05, 29} = 1.69$). By analyzing with a normalized gain by Hake [10], the result confirmed that teaching with ILDs improves students' learning gain in average gain ($\langle g \rangle = 0.67$). In addition, there was 56.67% in high gain, 23.33 % in medium gain and 20% in low gain.

3.2. The result of students' confidence level

From the FCI test students will be awarded points according to the confidence levels in the second tier that are divided into three levels including lowest (one point), moderate (two points) and high (three points). The researcher analyzed students' total scores from the first tier and the second tier by using the Pearson Correlation Coefficient [11]. The study found the correlation coefficient for pre and post-test equal to 0.52 and 0.96 respectively. The result showed students had a moderate level of confidence and conceptual understanding before the class, however; the post-test score obtained from students determined a high level of confidence and conceptual understanding from students.

4. Discussion

From the pre-test score, the result informed that the students had a misconception in the projectile motion by analyzing students' answers. From question I - the researcher found 16.67% of students chose option A because vertical (v_y) and horizontal (v_x) velocities were equal as figure 2 questions from FCI [8]. 23.33% of students chose option C, because there was no vertical acceleration (a_y) the first time the object fell out. 16.67% of students answered option D because there was no horizontal velocity (v_x) when the object falls to the ground. 43.33% of students selected B which was the correct answer, yet; there was no one that answered option E. Surprisingly, every student was able to give the correct answer after the activity.

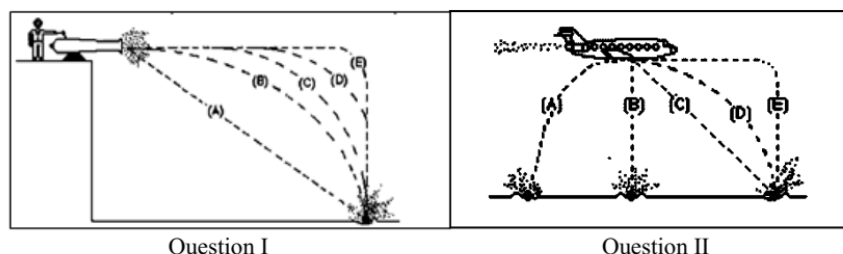


Figure 2. Motion diagrams in the question from FCI [8] that were used in the study.

From question II the student's answers for figure 2 were analyzed as follows: 20% of students chose option A though there was only the horizontal velocity (v_x), 20% of students answered option B though the bowling ball had more mass which did not affect the horizontal velocity (v_x), 40% of students selected option C because the velocity in both axes were constant all the time. 20% of students picked the right answer which is option D due to the projectile trajectory being curved by gravitational acceleration vertically (v_y) that makes the velocity difference in both axes, there were no students that chose option E. After the activity, the number of students that chose the right answer increased to 56.67%. From the given situation on question III for figure 3 questions from FCI [8]. The students should choose the best answer for the problem and they must give reasons for their answer. The researcher analyzed the students' reasons; 1) the weight of the ball did not affect the horizontal distance 2) The heavier ball falls to the floor and goes far from the base of the table. 3) The lighter ball falls to the floor and goes far from the base of the table. Before doing the activity, the number of students that answered correctly was 36.67% and after doing the activity, the students that answered correctly increased to 76.67 %.

- Two metal balls are the same size but one weighs twice as much as the other. The balls roll off a horizontal table with the same speed. In this situation:
- A. both balls hit the floor at approximately the same horizontal distance from the base of the table.
 - B. the heavier ball hits the floor at about half the horizontal distance from the base of the table than does the lighter ball.
 - C. the lighter ball hits the floor at about half the horizontal distance from the base of the table than does the heavier ball.
 - D. the heavier ball hits the floor considerably closer to the base of the table than the lighter ball, but not necessarily at half the horizontal distance.
 - E. the lighter ball hits the floor considerably closer to the base of the table than the heavier ball, but not necessarily at half the horizontal distance.

Figure 3. A question from FCI [8] that was translated in Thai and used in the study.

From the analysis of the relationship between the student's confidence levels and mastery in the content of projectile motion was at a moderate level. After being taught by ILDs with simple apparatus cooperated with the Tracker program, the confidence levels and mastery in the content were raised to a high level. The result confirmed that teaching ILDs with simple apparatus cooperated with the Tracker program visualized the overview of the projectile motion and other components and the ILDs as a source of real experimental data can be used to prompt new understanding of physics concepts, students have to discuss and communicate in small groups or with their nearest neighbors [12,13]. In addition, the activity encouraged students to construct knowledge and to raise the level of confidence.

Acknowledgments

This work was supported in part by Thailand Center of Excellence in Physics (ThEP). The authors thank Khandhi Toeddhanya for assistance with English and Woottichai Worachin (The director of Mahannaparam School) and the students.

References

- [1] Chow J W, Carlton L G, Ekkekakis P and Hay J G 2000 A web-based video digitizing system for the study of projectile motion *Phys. Teach.* **38** 37–40
- [2] Bonner D 2010 Increasing student engagement and enthusiasm: A projectile motion crime scene *Phys. Teach.* **48** 324–5
- [3] Chanpichai N and Wattanakasiwich P 2010 Teaching physics with basketball *AIP Conf. Proc.* **1263** 212–5
- [4] DePino Jr A 1999 Easy projectile-motion demonstrations *Phys. Teach.* **37** 266
- [5] Sokoloff D R and Thornton R K 1997 Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment *Phys. Teach.* **35** 340–7
- [6] Rachniyom S, Toedtanya K and Wuttirom S 2017 *J. Phys.: Conf. Series* **901** 012124
- [7] Redish E F, Saul J M and Steinberg R N 1998 Student expectations in introductory physics *Am. J. Phys.* **66** 212–24
- [8] Hestenes D, Wells M and Swackhamer G 1992 Force concept inventory *Phys. Teach.* **30** 141–58
- [9] Savinainen A and Scott P 2002 The force concept inventory: A tool for monitoring student learning *Phys. Educ.* **37** 45–52
- [10] Hake R R 1998 Interactive-engagement versus traditional method: A sixth-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics course *Am. J. Phys.* **66** 64–72
- [11] Hinkle D E, William W and Stephen G J 1998 *Applied Statistics for the Behavior Sciences* 4th edition (New York: Houghton Mifflin) p 118
- [12] Tanahoung C, Chitaree R, Soankwan C, Sharma M D and Johnston I D 2009 The effect of interactive lecture demonstrations on students' understanding of heat and temperature: A study from Thailand *Res. Sci. Technol. Educ.* **27** 61–74
- [13] Thornton R K, and Sokoloff D R 1998 Assessing student learning of Newton's laws: The force and motion conceptual evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture curricula *Am. J. Phys.* **66** 338–52

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายศักดิ์ชัย ราชนิยม
ประวัติการศึกษา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, พ.ศ. 2547 – 2551 วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ศึกษาศาสตร์) วิชาเอกฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, พ.ศ. 2554 – 2556 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา วิชาเอกฟิสิกส์
ตำแหน่ง	ครู
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนมหารณพาราม สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 1 กรุงเทพมหานคร E – mail: sakchaimh@gmail.com