Chulalongkorn University
Chula Digital Collections

Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)

2020

# ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4

ธันยพูรณ์ ธัญลักษณ์มะระ
*คณะครุศาสตร์*

Follow this and additional works at: https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd

Part of the Educational Assessment, Evaluation, and Research Commons

## Recommended Citation

ธัญลักษณ์มะระ, ธันยพูรณ์, "ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4" (2020). *Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD)*. 4159.
https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/4159

This Thesis is brought to you for free and open access by Chula Digital Collections. It has been accepted for inclusion in Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD) by an authorized administrator of Chula Digital Collections. For more information, please contact ChulaDC@car.chula.ac.th.

# ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4

นายธันยบูรณ์ ธัญลักษณ์มะระ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการวัดและประเมินผลการศึกษา ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา
คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# INTERACTION BETWEEN INTERACTIVE COMPUTER-BASED FEEDBACK TYPES AND PHYSICS ABILITY LEVELS ON THE GROWTH OF PROBLEM-SOLVING ABILITY AND METACOGNITION IN PHYSICS OF TENTH GRADE STUDENTS

Mr. Thanyaboon Thanyalakmara

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Education in Educational Measurement and Evaluation
Department of Educational Research and Psychology
FACULTY OF EDUCATION
Chulalongkorn University
Academic Year 2020
Copyright of Chulalongkorn University

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 |
| โดย | นายธันยบูรณ์ ธัญลักษณ์มะระ |
| สาขาวิชา | การวัดและประเมินผลการศึกษา |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | รองศาสตราจารย์ ดร.กมลวรรณ ตังธนกานนท์ |

คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะครุศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช สุชีวะ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุวิมล กฤชคฤหาสน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.กมลวรรณ ตังธนกานนท์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช สุชีวะ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ธันยบูรณ์ ธัญลักษณ์มะระ : ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4. ( INTERACTION BETWEEN INTERACTIVE COMPUTER-BASED FEEDBACK TYPESAND PHYSICS ABILITY LEVELS ON THE GROWTH OF PROBLEM-SOLVING ABILITYAND METACOGNITION IN PHYSICS OF TENTH GRADE STUDENTS) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.กมลวรรณ ตังธนกานนท์

การวิจัยเชิงทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ (เชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย เชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย เชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ และแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง) กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ (สูง ปานกลาง และต่ำ) ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียน และ (2) เปรียบเทียบพัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน ตัวอย่างวิจัย คือ นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 73 คน เครื่องมือวิจัย คือ (1) แบบฝึกหัดการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ด้วยคอมพิวเตอร์ (2) แบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ และ (3) แบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ วิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณใช้สถิติเชิงบรรยาย คะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์ การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพด้วยวิธีการสร้างข้อสรุปเชิงอุปนัย ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1. มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ต่อพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันมีพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้ายและข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ รวมถึงนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่านักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และนักเรียนทุกระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันมีพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

| | | |
|---|---|---|
| สาขาวิชา | การวัดและประเมินผลการศึกษา | ลายมือชื่อนิสิต ..... |
| ปีการศึกษา | 2563 | ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก ..... |

# # 6280064327 : MAJOR EDUCATIONAL MEASUREMENT AND EVALUATION
KEYWORD: INTERACTION, INTERACTIVE FEEDBACK, PHYSICS ABILITY, PROBLEM SOLVING ABILITY, METACOGNITION

Thanyaboon Thanyalakmara : INTERACTION BETWEEN INTERACTIVE COMPUTER-BASED FEEDBACK TYPESAND PHYSICS ABILITY LEVELS ON THE GROWTH OF PROBLEM-SOLVING ABILITYAND METACOGNITION IN PHYSICS OF TENTH GRADE STUDENTS. Advisor: Assoc. Prof. KAMONWAN TANGDHANAKANOND, Ph.D.

The purposes of this study were (1) to study the interactions between interactive computer-based feedback types (fade-out interactive feedback, fade-in interactive feedback, constant interactive feedback, and knowledge of correct response feedback) and physics ability levels (high, moderate, and low) on the growth of problem-solving ability and metacognition in physics of students, and (2) to compare the growth of problem-solving ability and metacognition in physics of students who received four different types of interactive computer-based feedback. Sample consisted of 73 tenth grade students. The research instruments were (1) physics-based problem-solving ability exercises delivered via computer systems, (2) physics-based problem-solving ability tests, and (3) physics-based problem-solving metacognition inventory. Quantitative data were analyzed by using descriptive statistics, relative gain scores, repeated measures ANOVA, one-way ANOVA, two-way ANOVA, whereas qualitative data were analyzed by using analytic induction. Results revealed that

1. There was an interaction between interactive computer-based feedback types and physics ability levels on the growth of problem-solving ability in physics of students at the statistically significant level of .05. However, there was no an interaction between interactive computer-based feedback types and physics ability levels on the growth of metacognition in physics of students at the statistically significant level of .05.

2. Students in the high ability level who received different interactive computer-based feedback types did not differ in the growth of problem-solving abilities in physics at the statistically significant level of .05. Students in the moderate ability level, who received fade-out interactive feedback and constant interactive feedback, as well as students in the low ability level, who received constant interactive feedback were better in the growth of problem-solving abilities in physics than those who received knowledge of correct response feedback at the statistically significant level of .05. All Students who received different interactive computer-based feedback types did not differ in the growth of metacognition in physics at the statistically significant level of .05.

| | | |
|---|---|---|
| Field of Study: | Educational Measurement and Evaluation | Student's Signature ..... |
| Academic Year: | 2020 | Advisor's Signature ..... |

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีโดยได้รับความเมตตาและความช่วยเหลือจากรองศาสตราจารย์ ดร.กมลวรรณ ตังธนกานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้ความรู้และคำแนะนำอันมีคุณค่าสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งดูแลเอาใจใส่ ติดตามความก้าวหน้า สนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา จนทำให้ผู้วิจัยสามารถผ่านพ้นอุปสรรคที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอบขอบพระคุณในความกรุณาของอาจารย์ที่รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมไปถึงรองศาสตราจารย์ ดร.สุวิมล กฤชคฤหาสน์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช สุชีวะ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำชี้แนะแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาการวัดและประเมินผลการศึกษา ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้ถ่ายทอดวิทยาการทางด้านการวัดและประเมินผลการศึกษา ทำให้ผู้วิจัยเติบโตทางความคิดและมีความรู้ที่มากพอสำหรับการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์อมรรัตน์ บุบผโชติ, อาจารย์วรรณา นาคศรีอาภรณ์, อาจารย์โกเมศ นาแจ้ง, อาจารย์ณัฐฤทัย สุชาติล้ำพงศ์ ผู้ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือการวิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาจารย์ฤทธิรงค์ สวากัลป์ ผู้ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือการวิจัยและอำนวยความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูล อีกทั้งอาจารย์เชน พันธะสา และอาจารย์สันติภาพ อุปรา ผู้ให้ความอนุเคราะห์ในการแปลเครื่องมือต้นฉบับภาษาอังกฤษอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการพัฒนาเครื่องมือให้มีคุณภาพ

ขอขอบพระคุณอาจารย์นครินทร์ สุกใส ผู้เชี่ยวชาญทางด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีการศึกษา ผู้ให้คำปรึกษาและความอนุเคราะห์เกี่ยวกับเครื่องมือการวิจัย รวมถึงพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูล ซึ่งถือว่าเป็นส่วนสำคัญของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณอาจารย์จันทิมา วงชัยเพ็ง ผู้ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ทดลองใช้เครื่องมือการวิจัย รวมไปถึงอาจารย์ธนภูมิ มากแก้ว ผู้ติดต่อประสานงาน จนทำให้การดำเนินการทดลองใช้เครื่องมือการวิจัยเป็นไปด้วยความราบรื่น

ขอขอบคุณนักเรียนโรงเรียนปทุมวิไลและนักเรียนโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย รังสิต ที่มุ่งมั่นตั้งใจและให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีตลอดช่วงการดำเนินการวิจัย ทำให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพอย่างยิ่ง โดยสะท้อนถึงสภาพจริงมากที่สุด

ขอขอบพระคุณบิดาและมารดา ผู้คอยสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเป็นอย่างดีเสมอมา ทำให้ผู้วิจัยมีจิตใจที่เข้มแข็งและสามารถดำเนินการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมไปถึงอาจารย์วรุตม์ ผิวงาม, พันจ่าเอกหญิง นุชปิยา ทองโชติ และอาจารย์ภัทรพร พูลสวัสดิ์ ผู้ร่วมทุกข์ร่วมสุขกับการเรียนในระดับมหาบัณฑิต สาขาวิชาการวัดและประเมินผลการศึกษาตลอดช่วง 2 ปีการศึกษาที่ผ่านมาด้วยกัน ซึ่งคอยให้กำลังใจและช่วยเหลือเป็นอย่างดีเสมอมา

ธันยบูรณ์ ธัญลักษณ์มะระ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

# สารบัญ

หน้า


..... ค

บทคัดย่อภาษาไทย..... ค

..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ง

กิตติกรรมประกาศ..... จ

สารบัญ..... ฉ

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญภาพ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ ..... 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

คำถามการวิจัย ..... 6

วัตถุประสงค์การวิจัย ..... 6

สมมติฐานการวิจัย ..... 7

ขอบเขตการวิจัย ..... 8

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย..... 9

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย ..... 12

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 13

ตอนที่ 1 ข้อมูลย้อนกลับ ..... 13

ตอนที่ 1 ข้อมูลย้อนกลับ ..... 14

1.1 ความหมายของข้อมูลย้อนกลับ..... 14

1.2 องค์ประกอบของข้อมูลย้อนกลับ ..... 14



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.3 ประเภทของข้อมูลย้อนกลับ ..... 17
1.4 ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ ..... 24
1.5 ปัจจัยของข้อมูลย้อนกลับที่มีต่อผลการเรียนรู้ ..... 29
ตอนที่ 2 ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ..... 34
2.1 ความหมายของโจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ..... 34
2.2 ความหมายของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ..... 34
2.3 ประเภทของโจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ..... 34
2.4 ขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ..... 36
2.5 แนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา ..... 42
ตอนที่ 3 อภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ..... 44
3.1 ความหมายของอภิปัญญา ..... 44
3.2 องค์ประกอบของอภิปัญญา ..... 45
3.3 แนวทางการวัดและประเมินอภิปัญญา ..... 49
3.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอภิปัญญา ..... 51
ตอนที่ 4 คะแนนพัฒนาการ ..... 54
4.1 ความหมายของคะแนนพัฒนาการ ..... 54
4.2 ประเภทของวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการ ..... 55
4.3 วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการแบบดั้งเดิม ..... 56
ตอนที่ 5 กรอบแนวคิดการวิจัย ..... 61
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย ..... 63
รูปแบบการวิจัย ..... 63
ประชากรและตัวอย่าง ..... 69
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ..... 73
การเก็บรวบรวมข้อมูล ..... 93

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวิเคราะห์ข้อมูล ..... 97

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล ..... 100

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของตัวอย่างวิจัย ..... 101

1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ..... 102

1.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ..... 107

1.3 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ..... 113

1.4 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ..... 119

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญา ในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ..... 123

2.1 ผลการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา ทางฟิสิกส์ในระยะที่ 3 ..... 124

2.2 ผลการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ..... 127

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถ และอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน ..... 129

3.1 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถ ในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ความสามารถ ทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน ..... 130

3.2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญา ในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน ..... 134

3.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพที่ได้จากการสัมภาษณ์นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน ..... 136

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ ..... 140

สรุปผลการวิจัย ..... 141

ตอนที่ 1 การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญา ในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ..... 141

ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน ..... 142

อภิปรายผลการวิจัย ..... 143

1. การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ..... 143

2. การเปรียบเทียบพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับ เชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน ..... 147

ข้อเสนอแนะ ..... 151

ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้ ..... 151

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป ..... 152

บรรณานุกรม ..... 154

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการสร้างและพัฒนาเครื่องมือวิจัย ..... 167

ภาคผนวก ข ผลการตรวจสอบคุณภาพของชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ..... 170

ภาคผนวก ค ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบวัดความสามารถ ในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ..... 232

ภาคผนวก ง ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับภาษาไทย ..... 243

ประวัติผู้เขียน ..... 250

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 *สรุปแนวคิดเกี่ยวกับขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์* ..... 38

ตาราง 2 *สรุปแนวคิดเกี่ยวกับองค์ประกอบของอภิปัญญา* ..... 47

ตาราง 3 *ผลการสังเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอภิปัญญา* ..... 53

ตาราง 4 *ผลการสังเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการแบบดั้งเดิม* ..... 60

ตาราง 5 *ลักษณะของตัวอย่างการวิจัย* ..... 65

ตาราง 6 *การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยคะแนนที่ได้จากการทำแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับที่ 1 และแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ครั้งที่ 1 ของนักเรียนได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน* ..... 71

ตาราง 7 *ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยโดยจำแนกตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ที่ได้รับ และระดับความสามารถทางฟิสิกส์* ..... 72

ตาราง 8 *ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับโมเมนตัมและการชน* ..... 74

ตาราง 9 *ผังการสร้างข้อคำถามในชุดฝึก* ..... 75

ตาราง 10 *รายละเอียดของระดับความคล้ายของตัวอย่างโจทย์ปัญหาแต่ละประเภท* ..... 75

ตาราง 11 *รายละเอียดของข้อมูลย้อนกลับแต่ละประเภท* ..... 76

ตาราง 12 *น้ำหนักคะแนนและเกณฑ์การพิจารณาในการตรวจสอบคุณภาพของชุดฝึก* ..... 78

ตาราง 13 *ผลการตรวจสอบคุณภาพของชุดฝึก* ..... 79

ตาราง 14 *ลำดับและทิศทางระดับความคล้ายของตัวอย่างโจทย์ปัญหาเมื่อเปรียบเทียบกับโจทย์ปัญหา ของข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์แต่ละประเภท* ..... 79

ตาราง 15 *เกณฑ์การตรวจให้คะแนนแต่ละข้อของชุดฝึก* ..... 80

ตาราง 16 *ผังแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์* ..... 85

ตาราง 17 *น้ำหนักคะแนนและเกณฑ์การพิจารณาในการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบ* ..... 86

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง 18 *ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบ* ..... 87

ตาราง 19 *ผลการวิเคราะห์คุณภาพรายข้อของแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์* ..... 88

ตาราง 20 *ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของความเป็นคู่ขนานของแบบสอบ* ..... 89

ตาราง 21 *จำนวนข้อคำถามของแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในแต่ละองค์ประกอบ* ..... 90

ตาราง 22 *น้ำหนักคะแนนและเกณฑ์การพิจารณาในการตรวจสอบคุณภาพของแบบวัด* ..... 91

ตาราง 23 *ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบวัด* ..... 92

ตาราง 24 *ผลการตรวจสอบความเที่ยงรายองค์ประกอบและทั้งฉบับของแบบวัด* ..... 93

ตาราง 25 *สูตรการคำนวณคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์แต่ละระยะ* ..... 98

ตาราง 26 *ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบสอบทั้ง 3 ฉบับ* ..... 103

ตาราง 27 *ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ จากแบบสอบทั้ง 3 ฉบับ จำแนกตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ และระดับความสามารถทางฟิสิกส์* ..... 106

ตาราง 28 *ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ จากแบบสอบทั้ง 3 ฉบับ ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบ ด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน* ..... 107

ตาราง 29 *ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ* ..... 109

ตาราง 30 *ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ จำแนกตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์และระดับความสามารถทางฟิสิกส์* ..... 112

ตาราง 31 *ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบ ด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน* ..... 113

ตาราง 32 *ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบวัดทั้ง 2 ครั้ง* ..... 115

ตาราง 33 *ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบวัดทั้ง 2 ครั้ง จำแนกตามองค์ประกอบการประเมิน* ..... 117

ตาราง 34 *ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบวัดทั้ง 2 ครั้ง จำแนกตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ และระดับความสามารถทางฟิสิกส์* ..... 118

ตาราง 35 *ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบวัดทั้ง 2 ครั้ง ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบ ด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน* ..... 119

ตาราง 36 *ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์* ... 120

ตาราง 37 *ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหา ทางฟิสิกส์ จำแนกตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์และระดับความสามารถทางฟิสิกส์* ..... 122

ตาราง 38 *ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหา ทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันและมีความสามารถ ทางฟิสิกส์ต่างระดับกัน* ..... 123

ตาราง 39 *การทดสอบอิทธิพลปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับ ระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 3* ..... 125

ตาราง 40 *การทดสอบอิทธิพลปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์* 128

ตาราง 41 *การทดสอบเงื่อนไข Sphericity ของค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ ของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน* ..... 130

ตาราง 42 *การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ ตามระดับความสามารถทางฟิสิกส์และประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์* ..... 131

ตาราง 43 *การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ ของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์* ..... 133

ตาราง 44 *การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ ของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน* ..... 134

ตาราง 45 *การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหา ทางฟิสิกส์ของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบ ด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน* ..... 135

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# สารบัญภาพ

หน้า

ภาพ 1 *ลักษณะตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายต่างระดับกันเมื่อเปรียบเทียบกับโจทย์ปัญหา*.... 22

ภาพ 2 *ตัวอย่างการโต้ตอบแต่ละรูปแบบ* ..... 25

ภาพ 3 *ตัวอย่างการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทีละขั้นตอน* ..... 40

ภาพ 4 *ตัวอย่างข้อคำถามในแบบสอบความเรียง*..... 44

ภาพ 5 *ตัวอย่างข้อคำถามในแบบสอบวัดอภิปัญญาวิชาคณิตศาสตร์* ..... 50

ภาพ 6 *ตัวอย่างข้อคำถามในแบบวัดความตระหนักในการรู้คิดด้านยุทธศาสตร์การอ่าน* ..... 50

ภาพ 7 *ตัวอย่างข้อคำถามในแบบสอบวัดอภิปัญญาทางฟิสิกส์*..... 51

ภาพ 8 *กรอบแนวคิดการวิจัย*..... 62

ภาพ 9 *แบบแผนการวิจัย* ..... 66

ภาพ 10 *หน้าจอเข้าสู่ระบบ*..... 81

ภาพ 11 *หน้าจอหลักสำหรับเลือกรายการชุดฝึก* ..... 82

ภาพ 12 *หน้าจอแสดงคำชี้แจงก่อนเริ่มทำชุดฝึก*..... 82

ภาพ 13 *หน้าจอแสดงข้อคำถามข้อที่ 1 ของชุดฝึก*..... 82

ภาพ 14 *หน้าจอแสดงข้อมูลย้อนกลับที่ได้รับเมื่อตอบคำถามถูกต้อง* ..... 83

ภาพ 15 *หน้าจอแสดงข้อมูลย้อนกลับที่ได้รับเมื่อตอบคำถามผิดในครั้งที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ สำหรับนักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง*..... 83

ภาพ 16 *หน้าจอแสดงข้อมูลย้อนกลับที่ได้รับเมื่อตอบคำถามผิด สำหรับนักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับ เชิงโต้ตอบ* ..... 83

ภาพ 17 *หน้าจอแสดงตัวอย่างโจทย์ปัญหาของชุดฝึก*..... 84

ภาพ 18 *หน้าจอแสดงผลการตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบในแต่ละช่อง*..... 84

ภาพ 19 *การกระจายของคะแนนที่ได้จากแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับที่ 1* ..... 103

ภาพ 20 *การกระจายของคะแนนที่ได้จากแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับที่ 2* ..... 104

ภาพ 21 *การกระจายของคะแนนที่ได้จากแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับที่ 3* ..... 104

ภาพ 22 *การกระจายของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 1* ..... 109

ภาพ 23 *การกระจายของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 2* ..... 110

ภาพ 24 *การกระจายของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 3* ..... 110

ภาพ 25 *การกระจายของคะแนนที่ได้จากแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ครั้งที่ 1* ..... 115

ภาพ 26 *การกระจายของคะแนนที่ได้จากแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ครั้งที่ 2* ..... 116

ภาพ 27 *การกระจายของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์* ..... 121

ภาพ 28 *ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถ ทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 3* ..... 125

ภาพ 29 *ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถ ทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์* ..... 128

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# บทที่ 1
# บทนำ

## ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ฟิสิกส์ เป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่ศึกษาเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ โดยเกี่ยวข้องกับสสาร พลังงาน อันตรกิริยาระหว่างสสารกับพลังงาน และแรงพื้นฐานในธรรมชาติ ซึ่งถือเป็นพื้นฐานสำคัญในการต่อยอดหรือสร้างองค์ความรู้ใหม่ทางด้านวิทยาศาสตร์ รวมไปถึงการพัฒนาเทคโนโลยีวิทยาการหรือนวัตกรรมที่มีความเจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็วท่ามกลางกระแสโลกาภิวัตน์ในปัจจุบัน (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี [สสวท.], 2562) ดังนั้นการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์ควรสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ซึ่งมุ่งให้นักเรียนพัฒนาและเชื่อมโยงระหว่างความรู้ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 รวมถึงจิตวิทยาศาสตร์ กับชีวิตจริง โดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์และความสามารถในการแก้ปัญหาสอดคล้องกับผลการเรียนรู้ที่ให้ความสำคัญกับการแก้ปัญหาผ่านการคำนวณหาปริมาณทางฟิสิกส์โดยใช้สูตรสมการทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางฟิสิกส์ (กระทรวงศึกษาธิการ [ศธ.], 2560) เนื่องจากเป็นพื้นฐานสำคัญที่ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนสามารถเรียนรู้รายวิชาฟิสิกส์ได้อย่างเข้าใจ (นิพนธ์ นิลคง, 2541; Gok, 2010; Taasoobshirazi et al., 2015; Taasoobshirazi & Farley, 2013)

สภาพการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายในปัจจุบัน พบว่า ส่วนใหญ่เป็นการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการสอนแบบบรรยายโดยเน้นครูเป็นศูนย์กลาง ซึ่งมุ่งเน้นให้นักเรียนท่องจำสูตรและฝึกแทนค่าจากที่โจทย์ปัญหากำหนดให้ลงในสูตรเพื่อคำนวณหาค่าตามที่โจทย์ปัญหาต้องการได้ โดยไม่ให้ความสำคัญกับการพัฒนากระบวนการเรียนรู้ของนักเรียน ทำให้นักเรียนขาดความรู้ความเข้าใจในมโนทัศน์ทางฟิสิกส์ ตลอดจนไม่สามารถวิเคราะห์ เชื่อมโยง หรือประยุกต์ใช้องค์ความรู้ทางฟิสิกส์ที่มีในการแก้โจทย์ปัญหาได้อย่างเป็นลำดับขั้นตอน (เกริก ศักดิ์สุภาพ, 2561; รักษพล ธนานุวงศ์, 2558; สสวท., 2554; สุปราณี นพไธสง, 2537) ประกอบกับผลการทดสอบวิชาสามัญรายวิชาฟิสิกส์ที่จัดสอบโดยสถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ (สทศ.) ในช่วงปีการศึกษา 2559-2563 พบว่า มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 20.91, 22.90, 29.44, 26.95, และ 28.69 ตามลำดับ (สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ, 2560; 2561; 2562; 2563; 2564) ซึ่งถือว่าคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่าร้อยละ 50 ตลอด 5 ปีการศึกษาที่ผ่านมา จากข้อมูลเชิงประจักษ์ดังกล่าวสะท้อน

ให้เห็นว่านักเรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์อยู่ในระดับที่ไม่ดีเท่าที่ควร และเป็นสิ่งที่นักเรียนควรได้รับการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ให้ดียิ่งขึ้น

ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เป็นความสามารถในการใช้กระบวนการทางปัญญาสำหรับการดำเนินการหาคำตอบอย่างเป็นลำดับขั้นตอนโดยอาศัยความรู้ทางฟิสิกส์สำหรับการสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทางฟิสิกส์ที่กำหนดให้ในโจทย์ปัญหา และทักษะการคำนวณทางคณิตศาสตร์ในการดำเนินการแก้สมการเพื่อหาคำตอบ (ทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์, 2524; นิพนธ์ นิลคง, 2541; Belikov, 1989; Hollabaugh, 1995; Hudson & Liberman, 1982; Hudson & Rottmann, 1981; Niss, 2017; Pol, 2009) นักการวิชาการหลายท่านได้เสนอแนวคิดเกี่ยวกับขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่ (1) วิเคราะห์และแปลงข้อมูลจากโจทย์ปัญหา (2) จัดการข้อมูลทางฟิสิกส์ (3) วางแผนการแก้โจทย์ปัญหา (4) ดำเนินการทางคณิตศาสตร์ และ (5) ตรวจสอบและประเมินคำตอบ (Çalişkan et al., 2010; Harskamp & Ding, 2006; Heller & Heller, 2010; Huffmann, 1997)

ขณะเดียวกันก็มีการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนโดยใช้วิธีการ กลยุทธ์ สื่อ โปรแกรม รวมถึงเครื่องมือต่าง ๆ เช่น การให้ข้อมูลย้อนกลับ (กิตติทัศน์ หวานฉ่ำ, 2560) การจัดการเรียนรู้แบบ PECA ร่วมกับโปรแกรมควิปเปอร์ สคูล (เกริก ศักดิ์สุภาพ, 2561) การแก้ปัญหาของโพลยาผสานกับการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ขั้น (นฤมล ฉิมงาม, 2558) การแก้ปัญหาเชิงมโนทัศน์ (พัณนิดา มิ่งมิตร, 2559) การแก้ปัญหาเชิงตรรกะ (รมิตา ชื่นเปรมชีพ, 2559) การตั้งปัญหา (อมรรัตน์ บุบผโชติ, 2558) การสร้างความรู้เชิงกลยุทธ์ (อรยา ชูเชื้อ, 2554) โดยการให้ข้อมูลย้อนกลับ (feedback) ถือเป็นแนวทางสำคัญในการพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียน เนื่องจากเป็นหลักสำคัญสำหรับการประเมินเพื่อการเรียนรู้ (assessment for learning) ตามแนวคิดของ Earl (2013) และ New South Wales Education Standards Authority (NESA, [n.d.]) หรือการวัดและประเมินผลเพื่อการพัฒนา (formative assessment) ตามหลักการประเมินผลการเรียนรู้ของหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (กระทรวงศึกษาธิการ [ศธ.], 2557; โชติกา ภาษีผล, 2559; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) โดยเป็นสารสนเทศในรูปแบบข้อความ ภาพ หรือเสียงที่ให้แก่นักเรียนผ่านแหล่งให้ข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ครู เพื่อน ผู้ปกครอง ตนเอง หนังสือ คอมพิวเตอร์ ทั้งนี้เพื่อให้รับรู้ถึงความก้าวหน้าทางการเรียนรู้ จุดเด่น จุดที่ควรแก้ไขในการเรียนรู้ของตนเอง ตลอดจนเสริมแรงให้เกิดแรงจูงใจในการกำกับตนเองเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ให้ดียิ่งขึ้น อีกทั้งปรับเปลี่ยนหรือแก้ไขความรู้

ความเข้าใจเดิมหรือพฤติกรรมที่ไม่ถูกต้องหรือข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นให้ถูกต้องหรือเป็นไปตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ที่กำหนดไว้ได้ (Brookhart, 2008; Hattie & Timperley, 2007; Kulhavy & Stock, 1989; Shute, 2008) ซึ่งการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์มีประสิทธิภาพสูงกว่าแหล่งข้อมูลอื่น เนื่องจากคอมพิวเตอร์สามารถให้ข้อมูลย้อนกลับภายหลังจากนักเรียนตอบคำถามได้ทันที อีกทั้งสามารถให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียนได้เป็นจำนวนมากตามที่กำหนดหรือตั้งค่าไว้ได้ (Hattie & Timperley, 2007; Mason & Bruning, 2001)

เมื่อนักเรียนสามารถพิจารณาได้ว่าตนเองรู้อะไร ไม่รู้อะไร ต้องใช้ความรู้หรือแนวทางใดในการหาคำตอบ และแนวทางเหล่านั้นสามารถใช้ได้ในกรณีใดบ้าง ตลอดจนกำกับตนเองในการตอบคำถามให้ถูกต้องโดยวางแผนว่ามีขั้นตอนในการหาคำตอบอย่างไร คำตอบที่ได้ในแต่ละขั้นตอนถูกต้องหรือไม่ เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมและคำตอบสุดท้ายถูกต้องและสอดคล้องกันหรือไม่ ตลอดจนมีข้อผิดพลาดใดบ้าง ภายหลังจากได้รับข้อมูลย้อนกลับ นั่นคือ นักเรียนมีอภิปัญญา (metacognition) (Cross & Paris, 1988; Flavell, 1979; Martinez, 2006) และการที่นักเรียนสามารถทบทวนความคิดของตนเอง รวมถึงตรวจสอบความถูกต้องของวิธีหรือแนวทางการหาคำตอบจะช่วยลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา ตลอดจนกำกับติดตามตนเองให้สามารถแก้โจทย์ปัญหาได้สำเร็จ (สสวท., 2555; Braund, 2016) จึงอาจกล่าวได้ว่าข้อมูลย้อนกลับช่วยพัฒนาอภิปัญญาของนักเรียนด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ (Schunk, 2008; Zimmerman, 2006) ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 6 องค์ประกอบ ได้แก่ (1) ความรู้เกี่ยวกับการรู้คิด (2) การวางแผน (3) การกำกับติดตาม (4) การประเมิน (5) การแก้ไขข้อผิดพลาด และ (6) การจัดการข้อมูล (Taasoobshirazi et al., 2015; Taasoobshirazi & Farley, 2013)

ข้อมูลย้อนกลับสามารถจำแนกได้หลายประเภท โดยแต่ละประเภทมีลักษณะเด่นและข้อจำกัดที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้จึงมีการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของข้อมูลย้อนกลับแต่ละประเภท แต่ไม่สามารถอนุมานได้ว่าข้อมูลย้อนกลับประเภทใดมีประสิทธิภาพสูงที่สุด เนื่องจากขึ้นอยู่กับปัจจัยบางประการ เช่น เนื้อหารายวิชา (Mason & Bruning, 2001; van der Kleij et al., 2015) ซึ่งข้อมูลย้อนกลับแบบให้คำชี้แนะ (hint feedback) เป็นข้อมูลย้อนกลับที่เหมาะสำหรับกลุ่มรายวิชาที่มีเนื้อหาเกี่ยวกับการคำนวณ (กิตติทัศน์ หวานฉ่ำ, 2560; อนงค์ เมธีพิทักษ์ธรรม, 2555; Attali, 2015; Narciss et al., 2014) เนื่องจากเป็นข้อมูลย้อนกลับที่ช่วยฝึกกระบวนการเรียนรู้ของนักเรียนให้รู้จักคิดหาแนวทางหรือคำตอบได้ด้วยตนเอง โดยอาศัยรายละเอียดจากข้อมูลย้อนกลับ

ซึ่งตัวอย่างโจทย์ปัญหา (worked-out example) เป็นรูปแบบหนึ่งของรายละเอียดที่ช่วยให้สามารถแก้โจทย์ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากมีลักษณะคล้ายกับโจทย์ปัญหาหลักทำให้นักเรียนสามารถแก้โจทย์ปัญหาหลักได้เร็วขึ้น และลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการดำเนินการทางคณิตศาสตร์ให้น้อยลง แต่การใช้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาดังกล่าวก็อาจทำให้นักเรียนไม่สามารถแก้โจทย์ปัญหาหลักได้ เนื่องจากตัวอย่างโจทย์เป็นในลักษณะของการสื่อสารทางเดียวไปยังนักเรียน ทำให้ไม่ได้เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ฝึกกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาด้วยตนเอง (Atkinson et al., 2000; Atkinson & Renkl, 2007) จึงมีการนำแนวคิดการโต้ตอบเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ (1) การเติมคำลงในช่องว่าง (including gap) (2) การสร้างคำอธิบายด้วยตนเอง (self-explanation prompt) และ (3) การขอคำอธิบายตามความต้องการ (help on demand) โดยพบว่า ส่วนใหญ่นำการเติมคำลงในช่องว่างไปใช้ในข้อมูลย้อนกลับที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับรายวิชาคำนวณ เนื่องจากนักเรียนสามารถตรวจสอบความถูกต้องและทราบข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นของตนเองได้ในแต่ละขั้นตอน เพื่อแก้ไขให้ถูกต้องเป็นลำดับถัดไป (สุวรัตน์ ทองพันชั่ง, 2560; Corbalan et al., 2010; Mory, 2004)

การคัดลอกแนวทางการดำเนินการแก้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาหลักเป็นข้อจำกัดอีกประการหนึ่งของการใช้ตัวอย่างโจทย์ปัญหา เนื่องจากนักเรียนอาจคัดลอกแนวทางไปโดยไม่ได้ศึกษาหรือทำความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาอย่างลุ่มลึก ซึ่งผลต่อการเรียนรู้ของนักเรียนในระยะยาวได้ (Sweller & Cooper, 1985) เพื่อควบคุมไม่ให้เกิดข้อจำกัดดังกล่าว จึงมีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายแตกต่างกัน โดยแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ (1) ตัวอย่างโจทย์ที่มีความคล้ายระดับสูง เป็นตัวอย่างที่มีลำดับขั้นตอนสำหรับการใช้กฎ หลักการ หรือทฤษฎีในการแก้โจทย์ปัญหาเหมือนกับโจทย์ปัญหา แต่ปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรที่กำหนดให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา และ (2) ตัวอย่างโจทย์ที่มีความคล้ายระดับต่ำ เป็นตัวอย่างที่มีการใช้กฎ หลักการ หรือทฤษฎีในการแก้โจทย์ปัญหาเหมือนกับโจทย์ปัญหา แต่สลับลำดับขั้นตอนในการใช้กฎ หลักการ หรือทฤษฎีให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา รวมถึงปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรที่กำหนดให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา จากนั้นจึงนำตัวอย่างโจทย์นั้นมาจัดเรียงให้เกิดเป็นลำดับทิศทางได้ 3 ประเภท ได้แก่ (1) ตัวอย่างโจทย์ปัญหาแบบลดความคล้าย (fade-out assisstance) เป็นตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับสูงในข้อคำถามช่วงแรกและมีความคล้ายระดับต่ำในข้อคำถามช่วงหลัง ตามลำดับ (2) ตัวอย่างโจทย์ปัญหาแบบเพิ่มความคล้าย (fade-in assisstance) เป็นตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับต่ำในข้อคำถามช่วงแรกและมีความคล้ายระดับสูง

ในข้อคำถามช่วงหลัง ตามลำดับ และ (3) ตัวอย่างโจทย์ปัญหาแบบความคล้ายคงที่ (constant assisstance) เป็นตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับสูงตลอดทุกข้อคำถาม (Jennings & Muldner, 2020)

แนวคิดการโต้ตอบด้วยการเติมคำลงในช่องว่างและแนวคิดของลำดับทิศทางความคล้ายของตัวอย่างโจทย์ปัญหา เป็นแนวคิดที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่การใช้ตัวอย่างโจทย์ปัญหา ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำทั้งสองแนวคิดมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลย้อนกลับด้วยเช่นกัน โดยการวิจัยครั้งนี้มีข้อมูลย้อนกลับทั้งหมด 4 ประเภท ได้แก่ (1) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย เป็นข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับคำชี้แนะแนวทางในการหาคำตอบผ่านตัวอย่างโจทย์ที่มีความคล้ายระดับสูงในข้อคำถามช่วงแรกและมีความคล้ายระดับต่ำในข้อคำถามช่วงหลังตามลำดับ (2) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย เป็นข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับคำชี้แนะแนวทางในการหาคำตอบผ่านตัวอย่างโจทย์ที่มีความคล้ายระดับต่ำในข้อคำถามช่วงแรกและมีความคล้ายระดับสูงในข้อคำถามช่วงหลัง ตามลำดับ (3) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ เป็นข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับคำชี้แนะแนวทางในการหาคำตอบผ่านตัวอย่างโจทย์ที่มีความคล้ายระดับสูงตลอดทุกข้อคำถาม และ (4) ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง เป็นข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด พร้อมคำตอบที่ถูกต้องซึ่งใช้ในการควบคุมของการวิจัยครั้งนี้ เนื่องจากเป็นข้อมูลย้อนกลับที่ให้รายละเอียดพื้นฐานโดยทั่วไปของข้อมูลย้อนกลับประเภทอื่น อีกทั้งเป็นที่นิยมใช้ในสภาพการจัดการเรียนรู้ปกติมากที่สุด (สุวรัตน์ ทองพันชั่ง, 2560; อนงค์ เมธีพิทักษ์ธรรม, 2555)

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวอย่างโจทย์ปัญหาแต่ละประเภท พบว่า ตัวอย่างโจทย์ปัญหาแบบเพิ่มความคล้ายมีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวอย่างโจทย์ปัญหาแบบลดความคล้าย แต่มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากตัวอย่างโจทย์ปัญหาแบบความคล้ายคงที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการศึกษาดังกล่าวไม่ได้คำนึงถึงระดับความสามารถทางการเรียนของนักเรียนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากนักเรียนแต่ละคนสามารถใช้ประโยชน์จากตัวอย่างโจทย์ปัญหาได้แตกต่างกันไปตามระดับความสามารถของตนเอง (Jennings & Muldner, 2020) โดยตัวอย่างโจทย์ปัญหาเหมาะสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางการเรียนระดับต่ำมากกว่านักเรียนที่มีความสามารถ

ทางการเรียนระดับสูง ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงพิจารณาระดับความสามารถทางการเรียนของนักเรียนเป็นตัวแปรอิสระอีกตัวแปรหนึ่งที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ (Atkinson & Renkl, 2007; Mason & Bruning, 2001; Renkl & Atkinson, 2010; Shute, 2008)

ข้อมูลทั้งหมดที่กล่าวมานี้ ทำให้ผู้วิจัยสนใจศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทของข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 และเปรียบเทียบพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน เพื่อให้ได้สารสนเทศเกี่ยวกับการออกแบบและการเลือกใช้ประเภทของข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมกับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ของนักเรียนแต่ละคนสำหรับการพัฒนานักเรียนด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

**คำถามการวิจัย**

1. มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 หรือไม่ อย่างไร

2. นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันมีพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร

**วัตถุประสงค์การวิจัย**

1. เพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4

2. เพื่อเปรียบเทียบพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน

**สมมติฐานการวิจัย**

จากการสังเคราะห์เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการกำหนดสมมติฐานการวิจัย พบว่า ข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายรายละเอียดมีประสิทธิภาพสูงกว่าข้อมูลย้อนกลับแบบให้การยืนยัน (van der Kleij et al., 2015) และข้อมูลย้อนกลับแบบให้คำชี้แนะ เป็นข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายรายละเอียดที่มีแนวโน้มที่จะมีประสิทธิภาพมากกว่าข้อมูลย้อนกลับประเภทอื่นสำหรับในกลุ่มรายวิชาทางด้านคำนวณ เช่น คณิตศาสตร์ ฟิสิกส์ (กิตติทัศน์ หวานฉ่ำ, 2560; อนงค์ เมธีพิทักษ์ธรรม, 2555; Attali, 2015; Narciss et al., 2014) อีกทั้ง Razzaq et al. (2020) เสนอว่า ควรมีการให้ข้อมูลย้อนกลับกับนักเรียนทุกระดับความสามารถทางการเรียนอย่างทันที อย่างไรก็ตาม ข้อมูลย้อนกลับแต่ละประเภทไม่ได้มีประสิทธิภาพกับนักเรียนทุกระดับความสามารถทางการเรียน เนื่องจากข้อมูลย้อนกลับแต่ละประเภทมีรายละเอียดของจุดเด่นและข้อจำกัดที่แตกต่างกันออกไป ทำให้นักเรียนแต่ละคนมีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากข้อมูลย้อนกลับแต่ละประเภทได้แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสุชาดา โรจนาศัย (2548) ที่พบว่า ข้อมูลย้อนกลับต่างรูปแบบกันส่งผลต่อคะแนนพัฒนาการทักษะการเขียนภาษาอังกฤษ โดยนักเรียนที่มีความสามารถทางการเรียนระดับสูงและปานกลางที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับโดยครูผู้สอนวงกลมจุดที่ผิดให้ทุกจุด แต่ไม่แก้ไขให้ พร้อมเขียนข้อคิดเห็นเกี่ยวกับข้อบกพร่องและแนวทางการปรับปรุงจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าข้อมูลย้อนกลับในรูปแบบอื่น ในขณะที่นักเรียนที่มีความสามารถทางการเรียนระดับต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับโดยครูผู้สอนวงกลมจุดที่ผิดให้ทุกจุด พร้อมแก้ไขที่ถูกต้องให้ อีกทั้งเขียนข้อคิดเห็นเกี่ยวกับข้อบกพร่องและแนวทางการปรับปรุงจะมีมีประสิทธิภาพสูงกว่าข้อมูลย้อนกลับในรูปแบบอื่น เช่นเดียวกับงานวิจัยของอนงค์ เมธีพิทักษ์ธรรม (2555) ที่พบว่า ข้อมูลย้อนกลับต่างประเภทกันส่งผลต่อคะแนนความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ โดยนักเรียนที่มีความสามารถทางการเรียนคณิตศาสตร์ระดับสูงที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายรายละเอียด และข้อมูลย้อนกลับแบบให้คำชี้แนะจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าข้อมูลย้อนกลับประเภทอื่น ส่วนนักเรียนที่มีความสามารถทางการเรียนคณิตศาสตร์ระดับปานกลางและต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายรายละเอียด ข้อมูลย้อนกลับแบบให้คำชี้แนะ และข้อมูลย้อนกลับแบบผสมระหว่างแบบอธิบายรายละเอียดกับแบบให้คำชี้แนะจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง และงานวิจัยของสุวรัตน์ ทองพันชั่ง (2560) ที่พบว่า ข้อมูลย้อนกลับต่างประเภทกันส่งผลต่อคะแนนพัฒนาการความสามารถด้านคำนวณ โดยนักเรียนที่มีความสามารถทางการเรียนคณิตศาสตร์ระดับสูงที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องและอธิบายรายละเอียดด้วยการโต้ตอบจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าข้อมูล

ย้อนกลับประเภทอื่น ส่วนนักเรียนที่มีความสามารถทางการเรียนคณิตศาสตร์ระดับปานกลางและต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบผสมหลายประเภท ได้แก่ แบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง แบบให้คำชี้แนะและแบบอธิบายรายละเอียด จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าข้อมูลย้อนกลับประเภทอื่น ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทของข้อมูลย้อนกลับกับระดับความสามารถทางการเรียนต่อความสามารถทางการเรียนรู้และพัฒนาการความสามารถทางการเรียนรู้ ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่าพัฒนาการอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์จะแตกต่างกันไปด้วยเช่นกัน

จากรายละเอียดที่กล่าวมาทั้งหมดในข้างต้นจึงนำไปสู่การตั้งสมมติฐานการวิจัยดังนี้

1. น่าจะมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4

2. นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน น่าจะมีพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์แตกต่างกัน

**ขอบเขตการวิจัย**

1. ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนที่กำลังศึกษาในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาปทุมธานี จำนวน 6,710 คน จากทั้งหมด 22 โรงเรียน (สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 4 [สพม.เขต 4], 2564)

2. ตัวแปรที่ศึกษา ประกอบไปด้วยตัวแปร 3 ประเภท ดังนี้

2.1 ตัวแปรอิสระ มี 2 ตัวแปร ดังนี้

(1) ประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ มี 4 ประเภท ดังนี้

1) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย

2) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย

3) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่

4) ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง

(2) ระดับความสามารถทางฟิสิกส์ มี 3 ระดับ ดังนี้

1) ระดับสูง

2) ระดับปานกลาง

3) ระดับต่ำ

2.2 ตัวแปรตาม มี 2 ตัวแปร ดังนี้

(1) พัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์

(2) พัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์

2.3 ตัวแปรควบคุม มี 3 ตัวแปร ดังนี้

(1) ครูผู้สอน เป็นครูผู้สอนท่านเดียวกันซึ่งจัดการเรียนรู้กับตัวอย่างวิจัยแต่ละกลุ่มตลอดภาคการศึกษา

(2) จำนวนครั้งที่ตัวอย่างวิจัยใช้ชุดฝึก ซึ่งควบคุมโดยให้ตัวอย่างวิจัยทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์จำนวน 2 ครั้ง เท่ากัน โดยแต่ละครั้งห่างกัน 2 สัปดาห์

(3) ข้อคำถามที่มุ่งวัดนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์เป็นข้อคำถามชุดเดียวกัน

**คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย**

**ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์** หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับคำชี้แนะแนวทางในการหาคำตอบผ่านตัวอย่างโจทย์ที่มีความคล้ายแตกต่างกันภายในฉบับเดียวกัน โดยนักเรียนจะต้องโต้ตอบกับคอมพิวเตอร์ด้วยการเติมคำลงในช่องว่างที่แสดงถึงการดำเนินการแก้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่เว้นไว้ในรูปของตัวเลขทีละขั้นตอน ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ตามลำดับทิศทางความคล้าย ได้แก่ (1) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย (2) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย และ (3) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่

**ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย** หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับคำชี้แนะแนวทางในการหาคำตอบผ่านตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีลำดับขั้นตอนการใช้กฎหลักการ หรือทฤษฎีในการแก้โจทย์ปัญหาเหมือนกับโจทย์ปัญหา แต่ปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรที่กำหนดให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา (ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับสูง) ในข้อคำถามช่วงแรก และตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีการใช้กฎ หลักการ หรือทฤษฎีในการแก้โจทย์ปัญหาเหมือนกับโจทย์ปัญหา แต่ปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรและสลับลำดับขั้นตอนในการใช้ให้แตกต่างไปจากโจทย์

ปัญหา (ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับต่ำ) ในข้อคำถามช่วงหลังภายในฉบับเดียวกัน ตามลำดับ โดยนักเรียนจะต้องโต้ตอบกับคอมพิวเตอร์ด้วยการเติมคำลงในช่องว่างที่แสดงถึงการดำเนินการแก้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่เว้นไว้ในรูปของตัวเลขทีละขั้นตอน

**ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย** หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับคำชี้แนะแนวทางในการหาคำตอบผ่านตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีการใช้กฎ หลักการ หรือทฤษฎีในการแก้โจทย์ปัญหาเหมือนกับโจทย์ปัญหา แต่ปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรและสลับลำดับขั้นตอนในการใช้ให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา (ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับต่ำ) ในข้อคำถามช่วงแรก และตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีลำดับขั้นตอนการใช้กฎ หลักการ หรือทฤษฎีในการแก้โจทย์ปัญหาเหมือนกับโจทย์ปัญหา แต่ปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรที่กำหนดให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา (ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับสูง) ในข้อคำถามช่วงหลังภายในฉบับเดียวกัน ตามลำดับ โดยนักเรียนจะต้องโต้ตอบกับคอมพิวเตอร์ด้วยการเติมคำลงในช่องว่างที่แสดงถึงการดำเนินการแก้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่เว้นไว้ในรูปของตัวเลขทีละขั้นตอน

**ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่** หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับคำชี้แนะแนวทางในการหาคำตอบผ่านตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีลำดับขั้นตอนการใช้กฎ หลักการ หรือทฤษฎีในการแก้โจทย์ปัญหาเหมือนกับโจทย์ปัญหา แต่ปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรที่กำหนดให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา (ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับสูง) ตลอดทุกข้อคำถามในฉบับเดียวกัน โดยนักเรียนจะต้องโต้ตอบกับคอมพิวเตอร์ด้วยการเติมคำลงในช่องว่างที่แสดงถึงการดำเนินการแก้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่เว้นไว้ในรูปของตัวเลขทีละขั้นตอน

**ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง** หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด พร้อมคำตอบที่ถูกต้อง

**ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์** หมายถึง ความสามารถในการใช้กระบวนการทางปัญญาสำหรับการดำเนินการหาคำตอบอย่างเป็นลำดับขั้นตอน โดยอาศัยความรู้ทางฟิสิกส์สำหรับการสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทางฟิสิกส์ที่กำหนดให้ในโจทย์ปัญหา และทักษะการคำนวณทางคณิตศาสตร์ในการดำเนินการแก้สมการเพื่อหาคำตอบของโจทย์ปัญหา

**พัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์** หมายถึง คะแนนที่ได้จากการทำแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ จำนวน 3 ฉบับ และนำคะแนนทั้ง 3 ครั้ง มาคำนวณหาคะแนนพัฒนาการออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ (1) ระยะที่ 1 เป็นระยะระหว่างแบบสอบฉบับที่ 1 กับแบบสอบฉบับที่ 2 (2) ระยะที่ 2 เป็นระยะระหว่างแบบสอบฉบับที่ 2 กับแบบสอบฉบับที่ 3 และ (3) ระยะที่ 3 เป็นระยะระหว่างแบบสอบฉบับที่ 1 กับแบบสอบฉบับที่ 3 ด้วยวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์ของซึ่งศิริชัย กาญจนวาสี (2556) ได้เสนอสูตรคำนวณ ดังนี้

$$DS(\%) = \frac{(Y - X)}{(F - X)} \times 100$$

เมื่อ $DS(\%)$ คือ คะแนนร้อยละของพัฒนาการสัมพัทธ์

$X$ คือ คะแนนที่ได้จากแบบสอบฉบับที่ 1, 2, 1 ตามลำดับ

$Y$ คือ คะแนนที่ได้จากแบบสอบฉบับที่ 2, 3, 3 ตามลำดับ

$F$ คือ คะแนนเต็มของแบบสอบแต่ละฉบับ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10 คะแนน

**อภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์** หมายถึง ความสามารถของบุคคลในการตระหนักรู้เกี่ยวกับกระบวนการทางความคิดของตนเองเพื่อใช้ในการจัดการความคิดให้สามารถแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งแบ่งออกเป็น 6 องค์ประกอบ ได้แก่ (1) ความรู้เกี่ยวกับการรู้คิด (2) การจัดการข้อมูล (3) การกำกับติดตาม (4) การประเมิน (5) การแก้ไขข้อผิดพลาด และ (6) การวางแผน

**พัฒนาการการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์** หมายถึง คะแนนที่ได้จากการทำแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับภาษาไทย จำนวน 2 ครั้ง และนำคะแนนทั้ง 2 ครั้งมาคำนวณหาคะแนนพัฒนาการด้วยวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์ของศิริชัย กาญจนวาสี (2556) ซึ่งได้เสนอสูตรคำนวณ ดังนี้

$$DS(\%) = \frac{(Y - X)}{(F - X)} \times 100$$

เมื่อ $DS(\%)$ คือ คะแนนร้อยละของพัฒนาการสัมพัทธ์

$X$ คือ คะแนนที่ได้จากการทำแบบวัด ครั้งที่ 1

$Y$ คือ คะแนนที่ได้จากการทำแบบวัด ครั้งที่ 2

$F$ คือ คะแนนเต็มของแบบวัดแต่ละครั้ง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 130 คะแนน

**ระดับความสามารถทางฟิสิกส์** หมายถึง กลุ่มของผลคะแนนสอบปลายภาครายวิชาฟิสิกส์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 ของนักเรียนที่กำลังศึกษาในระดับชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 คะแนนเต็มคิดเป็นร้อยละ 100 โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

**นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูง** หมายถึง นักเรียนที่มีผลคะแนนสอบปลายภาค รายวิชาฟิสิกส์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 ตั้งแต่ร้อยละ 70 ขึ้นไป

**นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลาง** หมายถึง นักเรียนที่มีผลคะแนนสอบปลายภาค รายวิชาฟิสิกส์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 ตั้งแต่ร้อยละ 60-69

**นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำ** หมายถึง นักเรียนที่มีผลคะแนนสอบปลายภาค รายวิชาฟิสิกส์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 ต่ำกว่าร้อยละ 59

**ชุดฝึก** หมายถึง ชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นแบบสอบแบบเติมคำในรูปแบบของตัวเลข เรื่อง โมเมนตัมและการชน โดยนักเรียนจะต้องเติมคำตอบในรูปแบบของตัวเลขลงในช่องว่างที่กำหนดให้ หากนักเรียนตอบคำถามไม่ถูกต้อง นักเรียนจะได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบจากคอมพิวเตอร์ที่แตกต่างกัน

**แบบสอบ** หมายถึง แบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งเป็นแบบสอบแบบเติมคำในรูปแบบของตัวเลข เรื่อง โมเมนตัมและการชน โดยนักเรียนจะต้องเติมคำตอบในรูปแบบของตัวเลขลงในช่องว่างที่กำหนดให้

**แบบวัด** หมายถึง แบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งเป็นมาตรประมาณค่า 5 ระดับแบบลิเคิร์ท ซึ่งแปลและเรียบเรียงมาจากแบบวัดอภิปัญญาทางฟิสิกส์ของ Taasoobshirazi et al. (2015) โดยนักเรียนจะต้องพิจารณาข้อความและเลือกระดับให้สอดคล้องกับระดับความเป็นจริงเมื่อนักเรียนดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา ได้แก่ ระดับ 1 หมายถึง ไม่เป็นความจริง, ระดับ 2 หมายถึง ค่อนข้างจะไม่เป็นความจริง, ระดับ 3 หมายถึง เป็นความจริงบางครั้ง, ระดับ 4 หมายถึง ค่อนข้างจะเป็นความจริง และระดับ 5 หมายถึง เป็นความจริงทุกครั้ง

**ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย**

ได้แนวทางสำหรับครูผู้สอนในการออกแบบและเลือกใช้ประเภทของข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมกับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ของนักเรียนแต่ละคนที่มีผลต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

# บทที่ 2
# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัย เรื่อง ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 5 ตอน โดยแต่ละตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**ตอนที่ 1 ข้อมูลย้อนกลับ**

1.1 ความหมายของข้อมูลย้อนกลับ

1.2 องค์ประกอบของข้อมูลย้อนกลับ

1.3 ประเภทของข้อมูลย้อนกลับ

1.4 ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์

1.5 ปัจจัยของข้อมูลย้อนกลับที่มีต่อผลการเรียนรู้

**ตอนที่ 2 ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์**

2.1 ความหมายของโจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์

2.2 ความหมายของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์

2.3 ประเภทของโจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์

2.4 ขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์

2.5 แนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา

**ตอนที่ 3 อภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์**

3.1 ความหมายของอภิปัญญา

3.2 องค์ประกอบของอภิปัญญา

3.3 แนวทางการวัดและประเมินอภิปัญญา

3.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอภิปัญญา

**ตอนที่ 4 คะแนนพัฒนาการ**

4.1 ความหมายของคะแนนพัฒนาการ

4.2 ประเภทของวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการ

4.3 วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการแบบดั้งเดิม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ตอนที่ 5 กรอบแนวคิดการวิจัย**

โดยแต่ละตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**ตอนที่ 1 ข้อมูลย้อนกลับ**

รายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลย้อนกลับสามารถแบ่งการนำเสนอออกเป็น 5 หัวข้อ ประกอบด้วย (1) ความหมายของข้อมูลย้อนกลับ (2) องค์ประกอบของข้อมูลย้อนกลับ (3) ประเภทของข้อมูลย้อนกลับ (4) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ และ (5) ปัจจัยของข้อมูลย้อนกลับที่มีต่อผลการเรียนรู้ ซึ่งแต่ละหัวข้อมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**1.1 ความหมายของข้อมูลย้อนกลับ**

ข้อมูลย้อนกลับ (feedback) หรือผลย้อนกลับ หรือข้อมูลป้อนกลับ หรือผลป้อนกลับ หมายถึง สารสนเทศในรูปแบบข้อความ ภาพ หรือเสียงที่ให้แก่นักเรียนผ่านแหล่งให้ข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ครู เพื่อน ผู้ปกครอง ตนเอง หนังสือ คอมพิวเตอร์ ทั้งนี้เพื่อให้ทราบเกี่ยวกับความถูกต้องในผลการกระทำหรือการตอบคำถามของตนเอง โดยหากนักเรียนตอบคำถามได้ถูกต้องหรือสอดคล้องตามแนวคำตอบที่แหล่งข้อมูลกำหนดไว้ จะได้รับการเสริมแรงให้เกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้ต่อไป แต่หากนักเรียนตอบคำถามผิดหรือไม่สอดคล้องตามแนวคำตอบที่แหล่งข้อมูลกำหนดไว้ ก็จะได้รับการกระตุ้นหรือชี้แนะแนวทาง เพื่อแก้ไขมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนให้ถูกต้องหรือสอดคล้องตามแนวคำตอบที่แหล่งข้อมูลกำหนดไว้ อีกทั้งเสริมแรงให้เกิดแรงจูงใจในการปรับปรุงแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น (กระทรวงศึกษาธิการ, 2557; ราชบัณฑิตยสถาน, 2555; สุกัญญา นิมานันท์, 2533; Brookhart, 2008; Hattie & Timperley, 2007; Kulhavy & Stock, 1989; McMillan, 2017; Shute, 2008) โดยการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้คอมพิวเตอร์เป็นแหล่งให้ข้อมูลย้อนกลับ เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงกว่าแหล่งข้อมูลรูปแบบอื่น (Hattie & Timperley, 2007) อีกทั้งสามารถให้ข้อมูลย้อนกลับภายหลังจากนักเรียนตอบคำถามได้ทันที อีกทั้งสามารถให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียนเป็นจำนวนมากตามที่กำหนดหรือตั้งค่าไว้ได้ (Mason & Bruning, 2001)

**1.2 องค์ประกอบของข้อมูลย้อนกลับ**

เนื้อหารายละเอียดของข้อมูลย้อนกลับประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ได้แก่ (1) จุดเน้นของข้อมูลย้อนกลับ (2) แนวคิดที่ใช้ในการเปรียบเทียบของข้อมูลย้อนกลับ (3) หน้าที่ของข้อมูลย้อนกลับ และ (4) ทิศทางของข้อมูลย้อนกลับ โดยแต่ละองค์ประกอบมีรายละเอียดดังนี้ (Brookhart, 2008; Hattie & Timperley, 2007)

**1.2.1 จุดเน้นของข้อมูลย้อนกลับ** เป็นองค์ประกอบที่แสดงถึงสิ่งที่ให้ความสำคัญของข้อมูลย้อนกลับ ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ (1) ข้อมูลย้อนกลับระดับตัวบุคคล (2) ข้อมูลย้อนกลับระดับภาระงาน (3) ข้อมูลย้อนกลับระดับกระบวนการ และ (4) ข้อมูลย้อนกลับระดับการกำกับตนเอง โดยแต่ละระดับมีรายละเอียดพร้อมตัวอย่างที่ผู้วิจัยสังเคราะห์ได้ดังนี้

1) ข้อมูลย้อนกลับระดับตัวบุคคล (self) เป็นข้อมูลย้อนกลับที่ให้ความสำคัญเกี่ยวกับตัวบุคคลเป็นสำคัญ โดยอาจเป็นการชื่นชมหรือตักเตือนเฉพาะบุคคล ซึ่งไม่ส่งเสริมหรือเอื้อต่อการเรียนรู้ของนักเรียนเท่าที่ควร เนื่องจากข้อมูลย้อนกลับไม่ให้รายละเอียดเกี่ยวกับภาระงานที่ได้รับมอบหมายหรือแนวทางในการปรับปรุงแก้ไข เช่น นักเรียนเก่งมาก

2) ข้อมูลย้อนกลับระดับภาระงาน (task) เป็นข้อมูลย้อนกลับที่ให้ความสำคัญกับภาระงาน โดยนำเสนอผลการพิจารณาความถูกต้องของภาระงานที่ได้รับมอบหมายเพื่อให้นักเรียนทราบถึงผลการกระทำของตนเอง ซึ่งหากพบว่าเกิดข้อผิดพลาด นักเรียนจะปรับปรุงแก้ไขภาระงานให้ถูกต้อง เช่น นักเรียนแก้โจทย์ปัญหาข้อนี้ผิด

3) ข้อมูลย้อนกลับระดับกระบวนการ (process) เป็นข้อมูลย้อนกลับที่ให้ความสำคัญกับกระบวนการ โดยให้คำชี้แนะหรือกลยุทธ์ในกระบวนการทำภาระงานให้ถูกต้องเมื่อเกิดข้อผิดพลาด เพื่อให้นักเรียนทราบและนำไปปรับปรุงแก้ไขให้ถูกต้อง เช่น นักเรียนแก้โจทย์ปัญหาข้อนี้ผิด นักเรียนลองตรวจสอบดูว่าตนเองลืมแทนค่าตัวแปรใดในสมการหรือไม่

4) ข้อมูลย้อนกลับระดับการกำกับตนเอง (self-regulation) เป็นข้อมูลย้อนกลับที่ให้ความสำคัญกับการกำกับตนเอง โดยส่งเสริมให้นักเรียนตรวจสอบ ประเมิน และควบคุมการเรียนรู้ของตนเอง โดยแสดงให้เห็นถึงความพยายามในการใช้ข้อมูลย้อนกลับให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งข้อมูลย้อนกลับประเภทนี้ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนรับรู้ความสามารถของตนเอง เช่น นักเรียนแก้โจทย์ปัญหาได้ถูกต้อง เป็นที่น่าสังเกตว่านักเรียนใช้ความรู้เรื่องกฎการอนุรักษ์พลังงานมาใช้ในแก้โจทย์ปัญหาแทนการเคลื่อนที่แนวตรง นักเรียนได้แนวคิดนี้มาอย่างไร

**1.2.2 แนวคิดที่ใช้ในการเปรียบเทียบของข้อมูลย้อนกลับ** เป็นองค์ประกอบที่แสดงถึงการเปรียบเทียบความสามารถของนักเรียนกับแนวคิดที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 3 แนวคิด ได้แก่ (1) ข้อมูลย้อนกลับแบบอิงเกณฑ์ (2) ข้อมูลย้อนกลับแบบอิงกลุ่ม และ (3) ข้อมูลย้อนกลับแบบอิงตนเอง โดยแต่ละระดับมีรายละเอียดพร้อมตัวอย่างที่ผู้วิจัยสังเคราะห์ได้ดังนี้

1) ข้อมูลย้อนกลับแบบอิงเกณฑ์ (criterion-referenced feedback) เป็นข้อมูลย้อนกลับที่ให้รายละเอียดเกี่ยวกับความสามารถของนักเรียนเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนดไว้ เช่น นักเรียนตอบคำถามข้อนี้ไม่ถูกต้อง เนื่องจากไม่ได้พิจารณาเครื่องหมายที่แสดงทิศทางของปริมาณเวกเตอร์แต่ละตัวแปรในสมการ

2) ข้อมูลย้อนกลับแบบอิงกลุ่ม (norm-referenced feedback) เป็นข้อมูลย้อนกลับที่ให้รายละเอียดเกี่ยวกับความสามารถของนักเรียนเมื่อเปรียบเทียบกับนักเรียนคนอื่นซึ่งไม่ส่งเสริมหรือเอื้อต่อการเรียนรู้ของนักเรียนเท่าที่ควร เนื่องจากข้อมูลย้อนกลับไม่ให้รายละเอียดเกี่ยวกับภาระงานที่ได้รับมอบหมาย หรือแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขเช่นเดียวกับข้อมูลย้อนกลับระดับตัวบุคคล อีกทั้งอาจทำให้นักเรียนที่ทำภาระงานไม่สำเร็จขาดแรงจูงใจในการเรียนรู้ได้ เช่น นักเรียนแก้โจทย์ปัญหาช้ากว่าเพื่อน

3) ข้อมูลย้อนกลับแบบอิงตนเอง (self-referenced feedback) เป็นข้อมูลย้อนกลับที่ให้รายละเอียดเกี่ยวกับความสามารถของนักเรียนในปัจจุบันเมื่อเปรียบเทียบกับอดีตซึ่งจะทำให้นักเรียนเห็นถึงพัฒนาการทางการเรียนรู้ของตนเอง เช่น นักเรียนสามารถแก้สมการเพื่อหาคำตอบได้ถูกต้องและรวดเร็วขึ้นกว่าครั้งก่อน

**1.2.3 หน้าที่ของข้อมูลย้อนกลับ** เป็นองค์ประกอบที่แสดงถึงหน้าที่ของข้อมูลย้อนกลับซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ (1) ข้อมูลย้อนกลับเชิงบรรยาย และ (2) ข้อมูลย้อนกลับเชิงประเมิน โดยแต่ละระดับมีรายละเอียดพร้อมตัวอย่างที่ผู้วิจัยสังเคราะห์ได้ดังนี้

1) ข้อมูลย้อนกลับเชิงบรรยาย (descriptive feedback) เป็นข้อมูลย้อนกลับที่มุ่งบรรยายจุดเด่นและจุดที่ควรปรับปรุงแก้ไข ซึ่งทำให้นักเรียนมีแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขให้ดียิ่งขึ้นและสามารถประสบความสำเร็จได้ เช่น นักเรียนเขียนแผนภาพวัตถุอิสระได้ถูกต้องทั้งหมด แต่เมื่อเขียนอยู่ในรูปสมการของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุกลับมีบางแรงที่ขาดหายไป โปรดตรวจสอบอีกครั้งหนึ่ง

2) ข้อมูลย้อนกลับเชิงประเมิน (evaluative feedback) เป็นข้อมูลย้อนกลับที่มุ่งตัดสิน ให้คำติชม หรือให้ระดับคะแนนที่แสดงถึงคุณภาพภาระงานของนักเรียน ซึ่งอาจทำให้นักเรียนที่ทำภาระงานไม่สำเร็จขาดแรงจูงใจในการเรียนรู้ได้เช่นเดียวกับข้อมูลย้อนกลับแบบอิงกลุ่ม เนื่องจากนักเรียนไม่ได้รับข้อมูลรายละเอียดที่เกี่ยวกับแนวทางในการปรับปรุงแก้ไข เช่น นักเรียนแก้โจทย์ปัญหาข้อนี้ได้ดีมาก

**1.2.4 ทิศทางของข้อมูลย้อนกลับ** เป็นองค์ประกอบที่แสดงถึงทิศทางของข้อมูลย้อนกลับ ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 2 ทิศทาง ได้แก่ (1) ข้อมูลย้อนกลับทางบวก และ (2) ข้อมูลย้อนกลับทางลบ โดยแต่ละระดับมีรายละเอียดพร้อมตัวอย่างที่ผู้วิจัยสังเคราะห์ได้ดังนี้

1) ข้อมูลย้อนกลับทางบวก (positive feedback) เป็นข้อมูลย้อนกลับที่มีรายละเอียดเกี่ยวกับจุดเด่นและจุดที่ควรปรับปรุงแก้ไข พร้อมแนวทางในการปรับปรุงแก้ไข ซึ่งทำให้นักเรียนรับรู้จุดเด่นของตนเอง อีกทั้งมีแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขให้ดียิ่งขึ้น เช่น นักเรียนเขียนสมการการเคลื่อนที่แนวตรงทุกสมการได้ถูกต้อง แต่ยังไม่สามารถเลือกใช้สมการได้ โดยนักเรียนอาจต้องดูสิ่งที่โจทย์ปัญหากำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ปัญหาต้องการทราบ จากนั้นมาเปรียบเทียบกับทุกสมการว่าเกี่ยวข้องกับสมการใดมากที่สุด

2) ข้อมูลย้อนกลับทางลบ (negative feedback) เป็นข้อมูลย้อนกลับที่มีรายละเอียดเกี่ยวกับข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น โดยไม่ให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไข ซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบของการใช้คำพูดเชิงลบ ทำให้นักเรียนขาดแรงจูงใจในการเรียนรู้ อีกทั้งไม่ทราบแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขภาระงานของตนเองให้ดียิ่งขึ้น เช่น นักเรียนแก้โจทย์ปัญหาผิดอีกแล้ว ต้องให้อธิบายอีกครั้งถึงจะเข้าใจ

**1.3 ประเภทของข้อมูลย้อนกลับ**

ข้อมูลย้อนกลับสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท โดยใช้ระดับความละเอียดของข้อมูลย้อนกลับเป็นเกณฑ์ในการจำแนก ได้แก่ (1) ข้อมูลย้อนกลับแบบให้การยืนยัน และ (2) ข้อมูลย้อนกลับอธิบายรายละเอียด โดยข้อมูลย้อนกลับแต่ละประเภทมีรายละเอียดดังนี้ (Kulhavy & Stock, 1989; Mason & Bruning, 2001; McMillan, 2017; Shute, 2008)

**1.3.1 ข้อมูลย้อนกลับแบบให้การยืนยัน (verification feedback)** หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับความถูกต้องในผลการตอบของตนเองเท่านั้น โดยไม่ได้ชี้แนะรายละเอียดเกี่ยวกับแนวทางในการหาคำตอบ ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 5 ประเภท ได้แก่ (1) ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกผลการกระทำ (2) ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง (3) ข้อมูลย้อนกลับแบบให้ตอบหลายครั้ง (4) ข้อมูลย้อนกลับแบบให้ตอบจนกระทั่งถูกต้อง และ (5) ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกข้อผิดพลาด โดยข้อมูลย้อนกลับแต่ละประเภทมีรายละเอียดดังนี้

1) ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกผลการกระทำ (knowledge of outcome feedback หรือ knowledge of response feedback) หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิดเท่านั้น

2) ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง (correct response feedback หรือ knowledge of correct response feedback) หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด พร้อมคำตอบที่ถูกต้อง

3) ข้อมูลย้อนกลับแบบให้ตอบหลายครั้ง (try-again feedback หรือ multiple-try feedback) หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะมีโอกาสตอบคำถามใหม่ได้มากกว่า 1 ครั้งขึ้นไป ซึ่งอาจมีการจำกัดจำนวนครั้งในการตอบคำถามแต่ละข้อ

4) ข้อมูลย้อนกลับแบบให้ตอบจนกระทั่งถูกต้อง (answer-until-correct feedback หรือ repeat-until-correct feedback) หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะมีโอกาสตอบคำถามใหม่ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งตอบคำถามได้ถูกต้อง ซึ่งแตกต่างจากข้อมูลย้อนกลับแบบให้ตอบหลายครั้ง เนื่องจากข้อมูลย้อนกลับประเภทนี้ไม่ได้จำกัดจำนวนครั้งในการตอบคำถามแต่ละข้อ

5) ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกข้อผิดพลาด (error-flagging feedback หรือ location of mistakes feedback) หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับคำอธิบายเกี่ยวกับข้อผิดพลาดหรือความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการตอบ โดยไม่ได้ให้การชี้แนะคำตอบหรือบอกคำตอบที่ถูกต้อง

**1.3.2 ข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายรายละเอียด (elaboration feedback)** หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับความถูกต้องในผลการตอบของตนเอง โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับคำอธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับผลการตอบในรูปแบบต่าง ๆ เช่น มโนทัศน์ คุณลักษณะ หรือทักษะหลักที่ใช้วัด เหตุผลของคำตอบที่ถูกต้องและผิด หัวข้อหรือเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง คำชี้แนะ รวมถึงความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นแนวทางในการหาคำตอบที่ถูกต้อง ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 6 ประเภท ได้แก่ (1) ข้อมูลย้อนกลับแบบแยกแยะคุณลักษณะ (2) ข้อมูลย้อนกลับแบบเสนอให้ศึกษาหัวข้อหรือเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง (3) ข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายผลการกระทำ (4) ข้อมูลย้อนกลับแบบให้คำชี้แนะ (5) ข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน และ (6) ข้อมูลย้อนกลับแบบให้ความรู้ โดยข้อมูลย้อนกลับแต่ละประเภทมีรายละเอียดดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1) ข้อมูลย้อนกลับแบบแยกแยะคุณลักษณะ (attribute-isolation feedback) หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับคำอธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับมโนทัศน์ คุณลักษณะหรือทักษะหลักที่ใช้วัดในข้อคำถามนั้น

2) ข้อมูลย้อนกลับแบบเสนอให้ศึกษาหัวข้อหรือเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง (topic-contingent feedback) หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับคำอธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับหัวข้อหรือเนื้อหาที่เกี่ยวข้องในการตอบข้อคำถามนั้น เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่มากขึ้นและสามารถตอบคำถามได้ถูกต้อง โดยข้อมูลย้อนกลับประเภทนี้ไม่ได้บอกคำตอบที่ถูกต้อง

3) ข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายผลการกระทำ (response-contingent feedback หรือ extra-instructional feedback) หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับ คำอธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับเหตุผลของคำตอบที่ถูกต้องและผิด

4) ข้อมูลย้อนกลับแบบให้คำชี้แนะ (hint feedback หรือ cues feedback หรือ prompts feedback) หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับ คำชี้แนะแนวทางในการหาคำตอบ เช่น ขั้นตอนถัดไป ตัวอย่าง การสาธิต โดยข้อมูลย้อนกลับประเภทนี้ไม่ได้บอกคำตอบที่ถูกต้อง

5) ข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน (bugs feedback หรือ misconceptions feedback) หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับคำอธิบายเกี่ยวกับความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน ซึ่งคำอธิบายดังกล่าวสังเคราะห์มาจากผลการวินิจฉัยข้อผิดพลาดหรือความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน

6) ข้อมูลย้อนกลับแบบให้ความรู้ (informative tutoring feedback) หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับคำอธิบายเกี่ยวกับความเข้าใจคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการตอบ รวมถึงคำชี้แนะแนวทางในการหาคำตอบ โดยข้อมูลย้อนกลับประเภทนี้ไม่ได้บอกคำตอบที่ถูกต้อง

ข้อมูลย้อนกลับแต่ละประเภทมีรายละเอียด ลักษณะเด่น และข้อจำกัดที่แตกต่างกันออกไป จึงมีการศึกษาเชิงเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างข้อมูลย้อนกลับแต่ละประเภทซึ่งมีรายละเอียดดังที่ผู้วิจัยจะได้กล่าวถึงในหัวข้อ 1.5 เป็นลำดับถัดไป โดยผู้วิจัยมีความเห็นว่า จากการศึกษาเชิงเปรียบเทียบดังกล่าวไม่สามารถอนุมานได้ว่าข้อมูลย้อนกลับประเภทใดมีประสิทธิภาพในการเรียนรู้สูงสุด เนื่องจากประสิทธิภาพของข้อมูลย้อนกลับขึ้นอยู่กับบริบทหรือปัจจัยบางประการ เช่น ระดับของข้อมูลย้อนกลับ เนื้อหารายวิชา ระดับพฤติกรรมการเรียนรู้ที่มุ่งวัด ระดับความสามารถทางการเรียนของนักเรียน (Mason & Bruning, 2001; van der Kleij et al., 2015; Shute, 2008) และเมื่อพิจารณาปัจจัยด้านเนื้อหารายวิชา พบว่า ข้อมูลย้อนกลับแบบให้คำชี้แนะเหมาะสำหรับกลุ่มรายวิชาที่มีเนื้อหาเกี่ยวกับการคำนวณ เช่น คณิตศาสตร์ ฟิสิกส์ (กิตติทัศน์ หวานฉ่ำ, 2560; อนงค์ เมธีพิทักษ์ธรรม, 2555; Attali, 2015; Narciss et al., 2014) ซึ่งเป็นเนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เนื่องจากให้คำชี้แนะแนวทางในการหาคำตอบ ทั้งนี้อาจใช้ร่วมกับข้อมูลย้อนกลับแบบให้การยืนยัน เช่น ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกความถูกต้อง ข้อมูลย้อนกลับแบบให้ตอบหลายครั้ง หรือข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายรายละเอียด เช่น ข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายผลการกระทำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของข้อมูลย้อนกลับ (สุวรัตน์ ทองพันชั่ง, 2560; อนงค์ เมธีพิทักษ์ธรรม, 2555; Attali, 2015; Finn et al., 2017)

เมื่อพิจารณารูปแบบข้อมูลย้อนกลับแบบให้คำชี้แนะ พบว่า ตัวอย่างโจทย์ปัญหา (worked-out example หรือ worked example หรือ example) เป็นรูปแบบหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสำหรับการฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางด้านคำนวณ เช่น คณิตศาสตร์ ฟิสิกส์ การเขียนโปรแกรม (Atkinson & Renkl, 2007; Atkinson et al., 2000) เนื่องจากตัวอย่างโจทย์ปัญหามีลักษณะคล้ายกับโจทย์ปัญหา แต่สิ่งที่เพิ่มเติมจากโจทย์ปัญหาคือ มีการนำเสนอแนวทางการดำเนินการแก้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาตัวอย่างทีละขั้นตอน เพื่อให้นักเรียนทำความเข้าใจและนำความรู้ที่ได้จากตัวอย่างโจทย์ปัญหามาใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา โดยตัวอย่างโจทย์ปัญหาจำแนกออกเป็น 3 องค์ประกอบ ได้แก่ (1) ประโยคสถานการณ์ (2) ขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาทีละขั้นตอน และ (3) ผลลัพธ์สุดท้าย (Renkl & Atkinson, 2010) ซึ่งข้อดีของการใช้ตัวอย่างโจทย์ปัญหา คือ ช่วยให้นักเรียนสามารถแก้โจทย์ปัญหาหลักได้เร็วขึ้น และลดความผิดพลาดที่เกิดจากการดำเนินการทางคณิตศาสตร์ให้น้อยลง (Sweller & Cooper, 1985) อย่างไรก็ตาม การใช้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาก็มีข้อจำกัดเช่นเดียวกัน

เนื่องจากไม่ได้เหมาะสำหรับนักเรียนทุกระดับความสามารถ กล่าวคือ ตัวอย่างโจทย์ปัญหาจะมีประสิทธิภาพสูงสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถระดับต่ำ และจะมีประสิทธิภาพลดลงสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถระดับสูง เนื่องจากนักเรียนกลุ่มดังกล่าวมีความรู้ความเข้าใจเพียงพอสำหรับการแก้โจทย์ปัญหาหลักได้ด้วยตนเอง (Atkinson & Renkl, 2007; Kalyuga et al., 2001; Renkl & Atkinson, 2010) ขณะเดียวกันอาจเกิดปัญหาการคัดลอกแนวทางการดำเนินการแก้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาหลัก โดยไม่ได้ศึกษาหรือทำความเข้าใจในกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาอย่างลุ่มลึก ซึ่งส่งผลต่อการเรียนรู้ของนักเรียนในระยะยาว (Swller & Cooper, 1985) ดังนั้นจึงมีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายแตกต่างกัน โดยพิจารณาจากลำดับขั้นตอนในการใช้กฎ หลักการ หรือทฤษฎีสำหรับการแก้โจทย์ปัญหาเพื่อหาปริมาณที่ไม่ทราบค่า ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ (1) ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับสูง และ (2) ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับต่ำ โดยแต่ละลักษณะมีรายละเอียดดังนี้

1. ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับสูง เป็นตัวอย่างที่มีลำดับขั้นตอนสำหรับการใช้กฎ หลักการ หรือทฤษฎีในการแก้โจทย์ปัญหาเหมือนกับโจทย์ปัญหา แต่ปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรที่กำหนดให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา

2. ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับต่ำ เป็นตัวอย่างที่มีการใช้กฎ หลักการ หรือทฤษฎีในการแก้โจทย์ปัญหาเหมือนกับโจทย์ปัญหา แต่ปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรและสลับลำดับขั้นตอนในการใช้ให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา

ทั้งนี้ผู้วิจัยดัดแปลงตัวอย่างโจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง พีชคณิต ของ Jennings and Muldner (2020) เพื่อให้เห็นความแตกต่างระหว่างตัวอย่างโจทย์ปัญหาทั้ง 2 ลักษณะดังที่กล่าวไปในข้างต้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างโจทย์ปัญหากับตัวอย่างโจทย์ปัญหา (ก) จะเห็นว่ามีการเปลี่ยนตัวแปร $a, b, c$ และ $d$ เป็น $w, x, y$ และ $z$ ตามลำดับ แต่ไม่มีการเปลี่ยนหรือสลับลำดับขั้นของการใช้สมบัติ ดังนั้นตัวอย่างโจทย์ปัญหา (ก) จึงเป็นตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับสูง ในขณะเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างโจทย์ปัญหา (ข) จะเห็นว่า มีการเปลี่ยนตัวแปร $a, b, c$ และ $d$ เป็น $w, x, y$ และ $z$ ตามลำดับ และมีการสลับลำดับขั้นของการใช้สมบัติระหว่างขั้นตอนที่ 2 และ 3 ดังนั้นตัวอย่างโจทย์ปัญหา (ข) จึงเป็นตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับสูง โดยมีรายละเอียดดังภาพ 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพ 1

*ลักษณะตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายต่างระดับกันเมื่อเปรียบเทียบกับโจทย์ปัญหา*

**โจทย์ปัญหา**

กำหนดให้ $b = (ad)/c$ จงหา $a$ ในเทอม $b$, $c$ และ $d$

**วิธีทำ** <u>ขั้นตอนที่ 1</u> จากสมการ

$$b = (ad)/c$$

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> คูณ $c$ ทั้งสองข้างของสมการ จะได้

$$bc = ad \qquad \text{(สมบัติการคูณด้วยจำนวนเต็ม)}$$

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> คูณ $1/d$ ทั้งสองข้างของสมการ จะได้

$$(bc)/d = a \qquad \text{(สมบัติการคูณด้วยเศษส่วน)}$$

**ตอบ** $a = (bc)/d$

**ตัวอย่างโจทย์ปัญหา (ก)**

กำหนดให้ $y = (xw)/z$ จงหา $x$ ในเทอม $w$, $y$ และ $z$

**วิธีทำ** <u>ขั้นตอนที่ 1</u> จากสมการ

$$y = (xw)/z$$

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> คูณ $z$ ทั้งสองข้างของสมการ จะได้

$$yz = xw \qquad \text{(สมบัติการคูณด้วยจำนวนเต็ม)}$$

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> คูณ $1/w$ ทั้งสองข้างของสมการ จะได้

$$(yz)/w = x \qquad \text{(สมบัติการคูณด้วยเศษส่วน)}$$

**ตอบ** $x = (yz)/w$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ตัวอย่างโจทย์ปัญหา (ข)**

กำหนดให้ $y = w(x/z)$ จงหา $x$ ในเทอม $w$, $y$ และ $z$

**วิธีทำ** <u>ขั้นตอนที่ 1</u> จากสมการ

$$y = w(x/z)$$

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> คูณ $1/w$ ทั้งสองข้างของสมการ จะได้

$$y/w = x/z \qquad \text{(สมบัติการคูณด้วยเศษส่วน)}$$

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> คูณ $z$ ทั้งสองข้างของสมการ จะได้

$$z(y/w) = x \qquad \text{(สมบัติการคูณด้วยจำนวนเต็ม)}$$

**ตอบ** $x = z(y/w)$

เมื่อนำตัวอย่างโจทย์ปัญหาทั้ง 2 ลักษณะนี้มาจัดเรียงให้เป็นลำดับทิศทาง ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ (1) ตัวอย่างโจทย์ปัญหาแบบลดความคล้าย (2) ตัวอย่างโจทย์ปัญหาแบบเพิ่มความคล้าย และ (3) ตัวอย่างโจทย์ปัญหาแบบความคล้ายคงที่ โดยแต่ละประเภทมีรายละเอียดพร้อมตัวอย่างดังนี้ (Jennings & Muldner, 2020)

1. ตัวอย่างโจทย์ปัญหาแบบลดความคล้าย (fade-out assisstance) หมายถึง ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับสูงในข้อคำถามช่วงแรกและมีความคล้ายระดับต่ำในข้อคำถามช่วงหลังภายในฉบับเดียวกัน ตามลำดับ เช่น หากแบบสอบมีข้อคำถามทั้งหมด 10 ข้อ ตัวอย่างโจทย์ปัญหาของข้อคำถามที่ 1 ถึง 5 จะมีลักษณะดังตัวอย่างโจทย์ปัญหา (ก) ส่วนตัวอย่างโจทย์ปัญหาของข้อคำถามที่ 6 ถึง 10 จะมีลักษณะดังตัวอย่างโจทย์ปัญหา (ข)

2. ตัวอย่างโจทย์ปัญหาแบบเพิ่มความคล้าย (fade-in assisstance) หมายถึง ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับต่ำในข้อคำถามช่วงแรกและมีความคล้ายระดับสูงในข้อคำถามช่วงหลังภายในฉบับเดียวกัน ตามลำดับ เช่น หากแบบสอบมีข้อคำถามทั้งหมด 10 ข้อ ตัวอย่างโจทย์ปัญหาของข้อคำถามที่ 1 ถึง 5 จะมีลักษณะดังตัวอย่างโจทย์ปัญหา (ข) ส่วนตัวอย่างโจทย์ปัญหาของข้อคำถามที่ 6 ถึง 10 จะมีลักษณะดังตัวอย่างโจทย์ปัญหา (ก)

3. ตัวอย่างโจทย์ปัญหาแบบความคล้ายคงที่ (constant assisstance) หมายถึง ตัวอย่างโจทย์ที่มีความคล้ายระดับสูงตลอดทุกข้อคำถามในฉบับเดียวกัน เช่น หากแบบสอบมีข้อคำถามทั้งหมด 10 ข้อ ตัวอย่างโจทย์ปัญหามีลักษณะดังตัวอย่างโจทย์ปัญหา (ก) ทุกข้อคำถาม

เมื่อนำแนวคิดเกี่ยวกับลำดับทิศทางความคล้ายของตัวอย่างโจทย์ปัญหามาประยุกต์ในข้อมูลย้อนกลับแบบให้คำชี้แนะด้วยตัวอย่างโจทย์ปัญหา พบว่า ช่วยให้นักเรียนเข้าใจในกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาอย่างลุ่มลึก อีกทั้งสามารถถ่ายโยงการเรียนรู้ไปใช้แก้โจทย์ปัญหาหลักได้ แต่วิธีการดังกล่าวเป็นการสื่อสารทางเดียวจากแหล่งให้ข้อมูลไปยังนักเรียน ทำให้นักเรียนไม่มีโอกาสฝึกกระบวนการแก้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาด้วยตนเองทีละขั้นตอน รวมถึงทราบข้อผิดพลาดของตนเองในขณะดำเนินการแก้ตัวอย่างโจทย์ปัญหา ดังนั้นจึงควรนำแนวคิดการโต้ตอบทีละขั้นตอนเข้ามาใช้เป็นส่วนหนึ่งในข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ เนื่องจากคอมพิวเตอร์สามารถให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียนได้ทันที อีกทั้งนักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กับตัวอย่างโจทย์ปัญหา ทำให้ทราบความถูกต้องหรือข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นของตนเองทีละขั้นตอน (Atkinson & Renkl, 2007; Mory, 2003) ซึ่งผู้วิจัยจะได้กล่าวอย่างละเอียดในหัวข้อถัดไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**1.4 ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์**

การโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ หมายถึง การที่นักเรียนซึ่งมีบทบาทเป็นผู้ใช้คอมพิวเตอร์มีปฏิสัมพันธ์หรือพฤติกรรมการตอบสนองกับคอมพิวเตอร์ภายหลังจากได้รับข้อมูลย้อนกลับ โดยแนวคิดดังกล่าวเริ่มเข้ามาใช้เป็นส่วนหนึ่งในการเรียนรู้ผ่านคอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนหรือแบบฝึกหัดที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับ โดยสามารถจำแนกพฤติกรรมการโต้ตอบออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ (1) การโต้ตอบด้วยการเติมคำลงในช่องว่าง (2) การโต้ตอบด้วยการสร้างคำอธิบายด้วยตนเอง และ (3) การโต้ตอบด้วยการขอคำอธิบายตามความต้องการ ซึ่งแต่ละรูปแบบมีรายละเอียดดังนี้ (Atkinson & Renkl, 2007; Renkl, 2002)

**1.4.1 การโต้ตอบด้วยการเติมคำลงในช่องว่าง (including gap)** หมายถึง การเติมคำลงในช่องว่างที่แสดงถึงการดำเนินการแก้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่เว้นไว้ในรูปของตัวเลขทีละขั้นตอน โดยเน้นผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละขั้นตอน ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ในโจทย์ปัญหาตัวอย่างที่มีลักษณะไม่สมบูรณ์หรือลดขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหา

**1.4.2 การโต้ตอบด้วยการสร้างคำอธิบายด้วยตนเอง (self-explanation prompt)** หมายถึง การเติมคำหรือเลือกตัวเลือกเกี่ยวกับหลักการที่ใช้ในการดำเนินการแก้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาทีละขั้นตอน ซึ่งเน้นที่วิธีการมากกว่าผลลัพธ์

**1.4.3. การโต้ตอบด้วยการขอคำอธิบายตามความต้องการ (help on demand)** หมายถึง การกดปุ่มเพื่อศึกษาคำอธิบายรายละเอียดในการดำเนินการแก้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาทีละขั้นตอน ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบ ตามระดับความละเอียดของคำอธิบาย ได้แก่ (1) คำอธิบายพอสังเขป และ (2) คำอธิบายอย่างละเอียด โดยแต่ละรูปแบบมีรายละเอียดดังนี้

1) คำอธิบายพอสังเขป (minimalist explanation) เป็นคำอธิบายรายละเอียดของหลักการที่ใช้ในการดำเนินการแก้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาทีละขั้นตอน

2) คำอธิบายอย่างละเอียด (extensive explanation) เป็นคำอธิบายรายละเอียดของหลักการที่ใช้ พร้อมแนวทางการดำเนินการแก้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาทีละขั้นตอน

ทั้งนี้เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของการโต้ตอบแต่ละรูปแบบ ผู้วิจัยจึงได้ดัดแปลงตัวอย่างบางส่วนของการโต้ตอบในแบบฝึกหัดการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง ความน่าจะเป็น โดยเป็นสถานการณ์เกี่ยวกับการผลิตชิ้นส่วนในอุปกรณ์ไฟฟ้าของ Atkinson and Renkl (2007) ซึ่งจะเห็นว่า ตัวอย่างการโต้ตอบ (ก) เป็นตัวอย่างที่นักเรียนต้องเติมคำตอบที่ได้จากการคำนวณในขั้นตอนที่ 1 และ 2 ลงในช่องว่างของขั้นตอนที่ 3 โดยหากตอบคำถามผิด ก็จะไม่สามารถข้ามไป

ขั้นตอนถัดไป ทั้งนี้เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ในแต่ละขั้นตอน ดังนั้นตัวอย่างการโต้ตอบ (ก) จึงเป็นการโต้ตอบด้วยการเติมคำลงในช่องว่าง ส่วนตัวอย่างการโต้ตอบ (ข) แตกต่างไปจากตัวอย่างการโต้ตอบ (ก) ในประเด็นของคำถามที่มุ่งเน้นเกี่ยวกับความรู้หรือหลักการที่ใช้ในการดำเนินการแก้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาของขั้นตอนที่ 1 เป็นหลัก ซึ่งนักเรียนจะต้องเติมตัวเลือกลงไปในช่องว่างในขั้นตอนดังกล่าว เป็นที่น่าสังเกตว่าการโต้ตอบในรูปแบบนี้จะไม่ได้มุ่งเน้นที่ผลลัพธ์เป็นหลัก ดังนั้นตัวอย่างการโต้ตอบ (ข) จึงเป็นการโต้ตอบด้วยการสร้างคำอธิบายด้วยตนเอง ในขณะที่ตัวอย่างการโต้ตอบ (ค) และตัวอย่างการโต้ตอบ (ง) จะเกิดขึ้นเมื่อนักเรียนกดปุ่มเพื่อศึกษาคำอธิบายเพิ่มเติม โดยตัวอย่างการโต้ตอบ (ค) จะนำเสนอเพียงเฉพาะหลักการที่ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาของขั้นตอนที่ 1 เท่านั้น แต่ตัวอย่างการโต้ตอบ (ง) มีการนำเสนอเพิ่มเติมไปจากตัวอย่างการโต้ตอบ (ค) กล่าวคือ มีรายละเอียดเกี่ยวกับแนวทางในการดำเนินการแก้โจทย์ปัญหาของขั้นตอนที่ 1 ดังนั้นตัวอย่างการโต้ตอบ (ค) จึงเป็นการโต้ตอบด้วยการขอคำอธิบายพอสังเขปตามความต้องการ ส่วนตัวอย่างการโต้ตอบ (ง) เป็นการโต้ตอบด้วยการขอคำอธิบายอย่างละเอียดตามความต้องการ โดยมีรายละเอียดดังภาพ 2

ภาพ 2

*ตัวอย่างการโต้ตอบแต่ละรูปแบบ*

**ตัวอย่างการโต้ตอบ (ก)**

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> ความน่าจะเป็นที่ชิ้นส่วน X และ Y ชำรุด

$1/10 \times 1/10 = 1/100$

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> ความน่าจะเป็นที่ชิ้นส่วน X หรือ Y ชำรุด

$= 1/10 + 1/10 - 1/100$

$= 10/100 + 10/100 - 1/100$

$= 19/100$

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> ความน่าจะเป็นที่สุ่มหยิบได้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่สามารถใช้งานได้โดยไม่ชำรุด

(โปรดเติมคำตอบในรูปตัวเลขลงในช่องว่าง)

***(ช่องว่างสำหรับเติมคำตอบ)***

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพ 2 (ต่อ)

*ตัวอย่างการโต้ตอบแต่ละรูปแบบ*

**ตัวอย่างการโต้ตอบ (ข)**

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> ความน่าจะเป็นที่ชิ้นส่วน X และ Y ชำรุด

1/10 x 1/10 = 1/100

จากขั้นตอนนี้ ใช้กฎหรือหลักการใดในการแก้โจทย์ปัญหา

ก. ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์

ข. หลักการคอมพลีเมนต์

ค. หลักการคูณ

ง. หลักการบวก

โปรดเติมตัวเลือก (ก., ข., ค. หรือ ง.) ลงในช่องว่าง

***(ช่องว่างสำหรับเติมคำตอบ)***

**ตัวอย่างการโต้ตอบ (ค)**

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> ความน่าจะเป็นที่ชิ้นส่วน X และ Y ชำรุด

(โปรดเติมคำตอบในรูปตัวเลขลงในช่องว่าง)

***(ช่องว่างสำหรับเติมคำตอบ)*** ***(กดปุ่มเพื่อศึกษาคำอธิบาย)***

**คำอธิบาย**

<u>หลักการคูณ (multiplication principle)</u>

$$P(A \cap B) = P(A) \times P(B)$$

***(กดปุ่มเพื่อย้อนกลับไปเติมคำตอบ)***

ภาพ 2 (ต่อ)

*ตัวอย่างการโต้ตอบแต่ละรูปแบบ*

**ตัวอย่างการโต้ตอบ (ง)**

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> ความน่าจะเป็นที่ชิ้นส่วน X และ Y ชำรุด

(โปรดเติมคำตอบในรูปตัวเลขลงในช่องว่าง)

***(ช่องว่างสำหรับเติมคำตอบ)*** ***(กดปุ่มเพื่อศึกษาคำอธิบาย)***

**คำอธิบาย**

<u>หลักการคูณ (multiplication principle)</u>

$$P(A \cap B) = P(A) \times P(B)$$

เมื่อ

$P(A)$ คือ ความน่าจะเป็นที่ชิ้นส่วน X ชำรุด

$P(B)$ คือ ความน่าจะเป็นที่ชิ้นส่วน Y ชำรุด

$P(A \cap B)$ คือ ความน่าจะเป็นที่ชิ้นส่วน X และ Y ชำรุด

ดังนั้นความน่าจะเป็นที่ชิ้นส่วนประกอบ X และ Y ชำรุด

1/10 x 1/10 = 1/100

***(กดปุ่มเพื่อย้อนกลับไปเติมคำตอบ)***

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อพิจารณานิยาม จุดเด่น และข้อจำกัดของการโต้ตอบในแต่ละรูปแบบ พบว่า การโต้ตอบด้วยการขอคำอธิบายตามความต้องการอาจไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลย้อนกลับ เนื่องจากขัดแย้งกับหลักการของการให้ข้อมูลย้อนกลับ กล่าวคือ นักเรียนจะได้รับข้อมูลย้อนกลับภายหลังจากตอบคำถามดังกล่าวไปแล้วเท่านั้น (McMillan, 2017) ส่วนการโต้ตอบด้วยการเติมคำลงในช่องว่างมักนำไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เนื่องจากนักเรียนสามารถตรวจสอบความถูกต้องและทราบข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นของตนเองได้ในแต่ละขั้นตอน (สุวรัตน์ ทองพันชั่ง, 2560; Corbalan et al., 2010) เช่นเดียวกับวิชาฟิสิกส์ แม้ว่าธรรมชาติของเนื้อหารายวิชาจะแตกต่างกัน แต่การแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ต้องอาศัยกระบวนการตีความ วิเคราะห์ วางแผน และดำเนินการแก้โจทย์ปัญหาอย่างเป็นลำดับขั้นตอนเช่นเดียวกับคณิตศาสตร์ อีกทั้งอาศัยการดำเนินการ

ทางคณิตศาสตร์ในการแก้โจทย์ปัญหา (นิพนธ์ นิลคง, 2541; Niss, 2017) ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้การโต้ตอบด้วยการเติมคำลงในช่องว่างเป็นส่วนหนึ่งของข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์

แนวคิดเกี่ยวกับลำดับทิศทางความคล้ายของตัวอย่างโจทย์ปัญหาและแนวคิดการโต้ตอบด้วยการเติมคำลงในช่องว่างเป็นแนวคิดที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่ข้อมูลย้อนกลับ เนื่องจากการใช้ลำดับทิศทางความคล้ายของตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่แตกต่างกันจะช่วยให้นักเรียนเข้าใจในการแก้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาอย่างลุ่มลึกและสามารถถ่ายโยงการเรียนรู้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาหลักได้ เช่นเดียวกับการโต้ตอบช่วยเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ฝึกกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาผ่านตัวอย่างโจทย์ปัญหาด้วยตนเอง อีกทั้งทำให้นักเรียนรับรู้ข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการแก้โจทย์ปัญหาทีละขั้นตอน ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำแนวคิดทั้งสองมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลย้อนกลับด้วยเช่นกัน โดยการวิจัยครั้งนี้มีข้อมูลย้อนกลับทั้งหมด 4 ประเภท ได้แก่ (1) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย (2) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย (3) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ และ (4) ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง ซึ่งใช้ในการควบคุมการวิจัยครั้งนี้ เนื่องจากเป็นข้อมูลย้อนกลับที่ให้รายละเอียดพื้นฐานโดยทั่วไปของข้อมูลย้อนกลับประเภทอื่น อีกทั้งเป็นที่นิยมใช้ในสภาพการจัดการเรียนรู้ปกติมากที่สุด (สุวรัตน์ ทองพันชั่ง, 2560; อนงค์ เมธีพิทักษ์ธรรม, 2555) โดยแต่ละประเภทมีรายละเอียดดังนี้

1. ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย (fade-out interactive feedback) หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับคำชี้แนะแนวทางในการหาคำตอบผ่านตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีลำดับขั้นตอนการใช้กฎ หลักการ หรือทฤษฎีในการแก้โจทย์ปัญหาเหมือนกับโจทย์ปัญหาแต่ปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรที่กำหนดให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา (ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับสูง) ในข้อคำถามช่วงแรก และตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีการใช้กฎ หลักการหรือทฤษฎีในการแก้โจทย์ปัญหาเหมือนกับโจทย์ปัญหา แต่ปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรและสลับลำดับขั้นตอนในการใช้ให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา (ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับต่ำ) ในข้อคำถามช่วงหลังภายในฉบับเดียวกัน ตามลำดับ โดยนักเรียนจะต้องโต้ตอบกับคอมพิวเตอร์ด้วยการเติมคำลงในช่องว่างที่แสดงถึงการดำเนินการแก้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่เว้นไว้ในรูปของตัวเลขทีละขั้นตอน

2. ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย (fade-in interactive feedback) หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับคำชี้แนะแนวทางในการหาคำตอบผ่านตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีการใช้กฎ หลักการ หรือทฤษฎีในการแก้โจทย์ปัญหาเหมือนกับโจทย์ปัญหา แต่ปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรและสลับลำดับขั้นตอนในการใช้ให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา (ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับต่ำ) ในข้อคำถามช่วงแรก และตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีลำดับขั้นตอนการใช้กฎ หลักการ หรือทฤษฎีในการแก้โจทย์ปัญหาเหมือนกับโจทย์ปัญหา แต่ปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรที่กำหนดให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา (ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับสูง) ในข้อคำถามช่วงหลังภายในฉบับเดียวกัน ตามลำดับ โดยนักเรียนจะต้องโต้ตอบกับคอมพิวเตอร์ด้วยการเติมคำลงในช่องว่างที่แสดงถึงการดำเนินการแก้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่เว้นไว้ในรูปของตัวเลขทีละขั้นตอน

3. ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ (constant interactive feedback) หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับคำชี้แนะแนวทางในการหาคำตอบผ่านตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีลำดับขั้นตอนการใช้กฎ หลักการ หรือทฤษฎีในการแก้โจทย์ปัญหาเหมือนกับโจทย์ปัญหา แต่ปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรที่กำหนดให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา (ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับสูง) ตลอดทุกข้อคำถามในฉบับเดียวกัน โดยนักเรียนจะต้องโต้ตอบกับคอมพิวเตอร์ด้วยการเติมคำลงในช่องว่างที่แสดงถึงการดำเนินการแก้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่เว้นไว้ในรูปของตัวเลขทีละขั้นตอน

4. ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง (knowledge of correct response feedback) หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด พร้อมคำตอบที่ถูกต้อง

**1.5 ปัจจัยของข้อมูลย้อนกลับที่มีต่อผลการเรียนรู้**

อิทธิพลของข้อมูลย้อนกลับที่มีต่อผลการเรียนรู้ของนักเรียนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ โดยสามารถจำแนกออกเป็น 8 ปัจจัย ได้แก่ (1) ระดับการศึกษา (2) ระดับพฤติกรรมการเรียนรู้ที่มุ่งวัด (3) เนื้อหารายวิชา (4) เวลาในการให้ข้อมูลย้อนกลับ (5) ระดับความสามารถทางการเรียนของนักเรียน (6) จุดเน้นของข้อมูลย้อนกลับ (7) ความมั่นใจในคำตอบของนักเรียน และ (8) ประเภทของข้อมูลย้อนกลับ ซึ่งแต่ละปัจจัยมีรายละเอียดดังนี้ (Mason & Bruning, 2001; McMillan, 2017; Shute, 2008; van der Kleij et al., 2015)

**1.5.1 ระดับการศึกษา** สามารถจำแนกออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ (1) ระดับประถมศึกษา (2) ระดับมัธยมศึกษา และ (3) ระดับอุดมศึกษา โดยพบว่า ข้อมูลย้อนกลับที่ใช้ในระดับอุดมศึกษามีขนาดอิทธิพลต่อผลการเรียนรู้สูงกว่าข้อมูลย้อนกลับที่ใช้ในระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษา

**1.5.2 ระดับพฤติกรรมการเรียนรู้ที่มุ่งวัด** สามารถจำแนกออกเป็น 2 ระดับ ได้แก่ (1) พฤติกรรมการเรียนรู้ระดับต่ำ หมายถึง พฤติกรรมที่แสดงถึงความสามารถในการจดจำหรือเข้าใจ เช่น จดจำคำศัพท์ภาษาอังกฤษ และ (2) พฤติกรรมการเรียนรู้ระดับสูง หมายถึง พฤติกรรมที่แสดงถึงความสามารถในการนำความรู้ไปใช้ในสถานการณ์ใหม่ได้ เช่น เขียนจดหมายไปหาเพื่อนทางไปรษณีย์โดยใช้คำศัพท์ภาษาอังกฤษ ซึ่งพบว่า ข้อมูลย้อนกลับที่ใช้ในข้อคำถามที่มุ่งวัดพฤติกรรมการเรียนรู้ระดับสูงมีอิทธิพลต่อผลการเรียนรู้สูงกว่าข้อมูลย้อนกลับที่ใช้ในข้อคำถามที่มุ่งวัดพฤติกรรมการเรียนรู้ระดับต่ำ โดยข้อมูลย้อนกลับแบบบอกรายละเอียดมีประสิทธิภาพสำหรับพฤติกรรมการเรียนรู้ระดับสูง ส่วนข้อมูลย้อนกลับแบบบอกผลการกระทำและข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องมีประสิทธิภาพสำหรับพฤติกรรมการเรียนรู้ระดับต่ำ (Shute, 2008; van der Kleij et al., 2012)

**1.5.3 เนื้อหารายวิชา** สามารถจำแนกออกเป็น 4 กลุ่มวิชา ได้แก่ (1) กลุ่มวิชาสังคมศาสตร์ เป็นกลุ่มวิชาที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับการศึกษาและจิตวิทยา (2) กลุ่มวิชาคณิตศาสตร์ เป็นกลุ่มวิชาที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับสถิติและพีชคณิต (3) กลุ่มวิชาวิทยาศาสตร์ เป็นกลุ่มวิชาที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับชีววิทยา เคมี การแพทย์ ภูมิศาสตร์ และ (4) กลุ่มวิชาภาษา เป็นกลุ่มวิชาที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับคำศัพท์ ภาษาสเปนในฐานะภาษาที่สอง โดยพบว่า ข้อมูลย้อนกลับที่ใช้ในกลุ่มวิชาคณิตศาสตร์มีขนาดอิทธิพลต่อผลการเรียนรู้ในรายวิชาทางด้านคณิตศาสตร์ในระดับสูง ส่วนข้อมูลย้อนกลับที่ใช้ในกลุ่มวิชาสังคมศาสตร์และวิทยาศาสตร์มีขนาดอิทธิพลต่อผลการเรียนรู้ในรายวิชาทางด้านสังคมศาสตร์และวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับปานกลาง และข้อมูลย้อนกลับที่ใช้ในกลุ่มวิชาภาษามีขนาดอิทธิพลต่อผลการเรียนรู้ในรายวิชาทางด้านภาษาอยู่ในระดับต่ำ

**1.5.4 เวลาในการให้ข้อมูลย้อนกลับ** สามารถจำแนกออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ (1) ข้อมูลย้อนกลับที่ได้รับอย่างทันที (immediate feedback) หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่นักเรียนได้รับทันทีภายหลังตอบคำถามในแต่ละข้อหรือตอบคำถามเสร็จสิ้นทุกข้อคำถาม และ (2) ข้อมูลย้อนกลับที่ได้รับอย่างล่าช้า (delayed feedback) หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่นักเรียนได้รับภายตอบคำถามในแต่ละข้อหรือตอบคำถามเสร็จสิ้นทุกข้อคำถามไปแล้วระยะเวลาหนึ่ง เช่น หลังจากทำแบบสอบเสร็จ 1 วัน หรือนานกว่า 1 วัน โดยพบว่า ข้อมูลย้อนกลับที่ได้รับอย่างทันทีมีอิทธิพลต่อผลการเรียนรู้สูงกว่าข้อมูลย้อนกลับที่ได้รับอย่างล่าช้า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้ข้อมูลย้อนกลับ

กล่าวคือ หากต้องการส่งเสริมให้นักเรียนจดจำเนื้อหา มโนทัศน์ หรือกระบวนการ ตลอดจนเปิดโอกาสให้แก้ไขข้อผิดพลาดในขณะนั้นหรือขั้นตอนนั้น ควรให้ข้อมูลย้อนกลับแบบทันที แต่หากต้องการส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการถ่ายโยงการเรียนรู้ ควรให้ข้อมูลย้อนกลับแบบล่าช้า

**1.5.5 ระดับความสามารถทางการเรียนของนักเรียน** เนื่องจากนักเรียนแต่ละคนมีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากข้อมูลย้อนกลับได้แตกต่างกัน โดยพบว่า ข้อมูลย้อนกลับแบบให้การยืนยันมีประสิทธิภาพสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางการเรียนระดับสูง (Hanna, 1976) แต่มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายรายละเอียดสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางการเรียนระดับปานกลาง (Hanna, 1976) ซึ่งขัดแย้งกับการศึกษาของ Salamonson et al. (2008) ที่พบว่า ข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายรายละเอียดมีประสิทธิภาพสูงกว่าข้อมูลย้อนกลับแบบให้การยืนยันสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางการเรียนระดับปานกลาง ขณะเดียวกันข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายรายละเอียดมีประสิทธิภาพสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางการเรียนระดับต่ำ (Hanna, 1976; Salamonson et al., 2008) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของข้อมูลย้อนกลับแบบให้การยืนยันสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางการเรียนระดับต่ำ พบว่า ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องมีประสิทธิภาพสูงกว่าข้อมูลย้อนกลับแบบให้ตอบจนกระทั่งถูกต้อง (Clariana, 1990)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของข้อมูลย้อนกลับร่วมกับปัจจัยอื่น เช่น เวลาในการให้ข้อมูลย้อนกลับ พบว่า ข้อมูลย้อนกลับที่ได้รับอย่างทันทีมีประสิทธิภาพสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางการเรียนระดับต่ำ ส่วนข้อมูลย้อนกลับที่ได้รับอย่างล่าช้ามีประสิทธิภาพสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางการเรียนระดับสูง (Gaynor, 1981; Roper, 1977)

**1.5.6 จุดเน้นของข้อมูลย้อนกลับ** สามารถจำแนกออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ (1) ข้อมูลย้อนกลับระดับตัวบุคคล (2) ข้อมูลย้อนกลับระดับภาระงาน (3) ข้อมูลย้อนกลับระดับกระบวนการ และ (4) ข้อมูลย้อนกลับระดับการกำกับตนเอง ซึ่งผู้วิจัยได้กล่าวถึงรายละเอียดของข้อมูลย้อนกลับแต่ละระดับไปในข้างต้นดังหัวข้อ 1.2 โดยพบว่า ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกรายละเอียดที่อยู่ในระดับภาระงานร่วมกับระดับกระบวนการมีขนาดอิทธิพลต่อผลการเรียนรู้ในระดับปานกลาง ส่วนข้อมูลย้อนกลับแบบบอกรายละเอียดที่อยู่ในระดับภาระงานร่วมกับระดับการกำกับตนเองและข้อมูลย้อนกลับแบบบอกรายละเอียดที่อยู่ในระดับภาระงาน กระบวนการ และการกำกับตนเอง มีขนาดอิทธิพลต่อผลการเรียนรู้ในระดับสูง จะเห็นว่า ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกรายละเอียดที่อยู่ในระดับ

ภาระงานขึ้นไปจะเอื้อในการเรียนรู้ของนักเรียน เนื่องจากข้อมูลย้อนกลับให้รายละเอียดเกี่ยวกับแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้ทำภาระงานสำเร็จ

**1.5.7 ความมั่นใจในคำตอบของนักเรียน** สามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ (1) มั่นใจในคำตอบแล้วคำตอบถูกต้อง (2) มั่นใจในคำตอบแต่คำตอบผิด และ (3) ไม่มั่นใจในคำตอบ โดยข้อมูลย้อนกลับแบบให้การยืนยันมีประสิทธิภาพสำหรับนักเรียนที่มั่นใจในคำตอบแล้วคำตอบถูกต้อง เนื่องจากนักเรียนกลุ่มนี้มีความรู้ที่เพียงพอในการตอบคำถามข้อนั้น ทำให้นักเรียนอาจไม่จำเป็นที่จะต้องใช้เวลาในการศึกษาข้อมูลย้อนกลับมากเท่าที่ควร โดยให้ความสนใจเพียงแค่ความถูกต้องของคำตอบเท่านั้น ในทางตรงกันข้าม ข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายรายละเอียดจะมีประสิทธิภาพสำหรับนักเรียนที่มั่นใจในคำตอบแต่คำตอบผิด เนื่องจากนักเรียนจะมีแรงจูงใจในการหาสาเหตุหรือข้อผิดพลาด พร้อมแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นดังกล่าวได้จากการศึกษาข้อมูลย้อนกลับ อย่างไรก็ตาม ข้อมูลย้อนกลับอาจไม่มีประสิทธิภาพสำหรับนักเรียนที่ไม่มั่นใจในคำตอบแม้ว่าคำตอบที่ตอบนั้นจะถูกต้องหรือผิด เนื่องจากนักเรียนไม่มีความรู้ที่เพียงพอในการตอบคำถามรวมถึงการศึกษารายละเอียดจากข้อมูลย้อนกลับ

**1.5.8 ประเภทของข้อมูลย้อนกลับ** ดังที่กล่าวไปในหัวข้อ 1.3 พบว่า ข้อมูลย้อนกลับแต่ละประเภทมีรายละเอียด ลักษณะเด่น และข้อจำกัดที่แตกต่างกันออกไป ด้วยเหตุนี้ประเภทของข้อมูลย้อนกลับจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อผลการเรียนรู้ของนักเรียน โดยข้อมูลย้อนกลับแบบบอกรายละเอียดมีขนาดอิทธิพลต่อผลการเรียนรู้ของนักเรียนสูงกว่าข้อมูลย้อนกลับแบบให้การยืนยัน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเชิงเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์แต่ละประเภท ซึ่งสามารถจำแนกการศึกษาออกเป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

1) การศึกษาเชิงเปรียบเทียบประสิทธิภาพของข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์แต่ละประเภท โดยพบว่า ข้อมูลย้อนกลับแบบให้คำชี้แนะและข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายผลการตอบมีประสิทธิภาพสูงกว่าข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง (อนงค์ เมธีพิทักษ์ธรรม, 2555; Finn et al., 2017) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างข้อมูลย้อนกลับแบบให้คำชี้แนะกับข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายผลการตอบ พบว่า ข้อมูลย้อนกลับแบบให้คำชี้แนะมีประสิทธิภาพสูงกว่าข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายผลการตอบ ซึ่งขัดแย้งกับผลการศึกษาของ Attali and van der Kleij (2017) ที่ใช้ในรายวิชาคณิตศาสตร์เช่นเดียวกัน (Narciss et al., 2014)

2) การศึกษาเชิงเปรียบเทียบประสิทธิภาพของข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้ร่วมหรือผสมกับข้อมูลย้อนกลับประเภทอื่น โดยพบว่า ข้อมูลย้อนกลับแบบให้คำชี้แนะร่วมกับ

ข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายผลการตอบมีประสิทธิภาพสูงกว่าข้อมูลย้อนกลับแบบให้คำชี้แนะ ข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายผลการตอบ และข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง (อนงค์ เมธีพิทักษ์ธรรม, 2555) ในขณะเดียวกันหากนำข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องมาใช้ร่วมกับข้อมูลย้อนกลับแบบให้ตอบหลายครั้งมีประสิทธิภาพสูงกว่าข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องเช่นกัน (Attali, 2015)

3) การศึกษาเชิงเปรียบเทียบประสิทธิภาพของข้อมูลย้อนกลับโดยพิจารณาปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการเรียนรู้ร่วมด้วย อีกทั้งตัวชี้วัดที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพก็แตกต่างไปในแต่ละงาน ซึ่งจากการสังเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในกลุ่มเนื้อหารายวิชาคำนวณ พบว่า นักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางการเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันจะมีพัฒนาการความสามารถด้านคำนวณแตกต่างกัน (สุวรัตน์ ทองพันชั่ง, 2560) เช่นเดียวกับความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ (อนงค์ เมธีพิทักษ์ธรรม, 2555) นอกจากนี้นักเรียนที่ได้รับหรือไม่ได้รับโอกาสในการเปลี่ยนคำตอบที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันจะมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์แตกต่างกัน แต่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไม่แตกต่างกัน (กิตติทัศน์ หวานฉ่ำ, 2560)

เมื่อพิจารณาปัจจัยของข้อมูลย้อนกลับที่มีต่อผลการเรียนรู้ พบว่า ปัจจัยส่วนใหญ่ผู้วิจัยสามารถควบคุมหรือกำหนดได้ตามลักษณะของตัวอย่างการวิจัยและเนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย เช่น ระดับการศึกษา ระดับพฤติกรรมการเรียนรู้ที่มุ่งวัด เนื้อหารายวิชา เป็นที่น่าสังเกตว่าระดับความสามารถทางการเรียนของนักเรียนเป็นปัจจัยสำคัญเดียวที่ไม่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากนักเรียนแต่ละคนมีความสามารถในการใช้ประโยชน์จากข้อมูลย้อนกลับแต่ละประเภทได้แตกต่างกัน ดังนั้นการศึกษาประเภทของข้อมูลย้อนกลับที่มีประสิทธิภาพสำหรับระดับความสามารถทางการเรียนของนักเรียนในแต่ละระดับ จึงเป็นเรื่องที่ควรพิจารณาและให้ความสำคัญในการเลือกใช้ประเภทของข้อมูลย้อนกลับ สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงเลือกระดับความสามารถทางฟิสิกส์ เป็นตัวแปรอิสระอีกตัวแปรหนึ่งที่เข้ามาใช้ในการพิจารณา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ตอนที่ 2 ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์**

รายละเอียดเกี่ยวกับความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สามารถแบ่งการนำเสนอออกเป็น 5 หัวข้อ ประกอบด้วย (1) ความหมายของโจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ (2) ความหมายของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ (3) ประเภทของโจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ (4) ขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ และ (5) แนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งแต่ละหัวข้อมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**2.1 ความหมายของโจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์**

โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ หมายถึง สถานการณ์ทางฟิสิกส์ในรูปแบบข้อความหรือประโยคที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาคำตอบเกี่ยวกับปริมาณทางฟิสิกส์ โดยไม่สามารถดำเนินการแก้โจทย์ปัญหาได้ด้วยการใช้ข้อมูลหรือปริมาณทางฟิสิกส์ที่กำหนดให้จากสถานการณ์ได้โดยตรง แต่ต้องอาศัยการประยุกต์ใช้ความรู้ทางฟิสิกส์และทักษะการคำนวณทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือสำคัญในการดำเนินการหาคำตอบ (Belikov, 1989; Hollabaugh, 1995; Niss, 2017; Pol, 2009)

**2.2 ความหมายของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์**

ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา หมายถึง ความสามารถในการใช้กระบวนการทางปัญญาสำหรับการดำเนินการหาคำตอบอย่างเป็นลำดับขั้นตอน โดยใช้ความรู้ทางฟิสิกส์สำหรับการสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทางฟิสิกส์ที่กำหนดให้ในสถานการณ์ของโจทย์ปัญหา และความรู้หรือทักษะการคำนวณทางคณิตศาสตร์สำหรับการแก้สมการเพื่อหาคำตอบของโจทย์ปัญหา (Belikov, 1989; Hollabaugh, 1995; Niss, 2017; Pol, 2009)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**2.3 ประเภทของโจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์**

โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สามารถจำแนกได้เป็นหลายประเภท ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ใช้ในการจำแนก ซึ่งจากการสังเคราะห์จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า มีทั้งหมด 3 เกณฑ์ ได้แก่ (1) เกณฑ์เนื้อหาที่ใช้ในโจทย์ปัญหา (2) เกณฑ์วิธีการหาคำตอบของโจทย์ปัญหา และ (3) เกณฑ์จำนวนวิธีการและคำตอบของโจทย์ปัญหา ซึ่งแต่ละประเภทมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (Belikov, 1989; Gök & Silay, 2008; Pol, 2009)

**2.3.1 เกณฑ์เนื้อหาที่ใช้ในโจทย์ปัญหา** สามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ (1) โจทย์ปัญหายุคดั้งเดิม และ (2) โจทย์ปัญหายุคใหม่ โดยแต่ละประเภทมีรายละเอียดดังนี้

1) โจทย์ปัญหายุคดั้งเดิม (classical problem) หมายถึง โจทย์ปัญหาที่มีเนื้อหาหรือสถานการณ์เกี่ยวข้องกับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่และมีความเร็วต่ำ

2) โจทย์ปัญหายุคใหม่ (quantum problem) หมายถึง โจทย์ปัญหาที่มีเนื้อหาหรือสถานการณ์เกี่ยวข้องกับอนุภาคที่มีขนาดเล็กและมีความเร็วสูง

**2.3.2 เกณฑ์วิธีการหาคำตอบของโจทย์ปัญหา** สามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ (1) โจทย์ปัญหาที่ใช้วิธีการทดลองในการหาคำตอบ และ (2) โจทย์ปัญหาที่ใช้วิธีการคำนวณเชิงทฤษฎีในการหาคำตอบ โดยแต่ละประเภทมีรายละเอียดดังนี้

1) โจทย์ปัญหาเชิงปฏิบัติการ (experimental problem) หมายถึง โจทย์ปัญหาที่ใช้การปฏิบัติการทดลองในการหาคำตอบของโจทย์ปัญหา เช่น การใช้เครื่องมือวัดปริมาณที่ต้องการทราบค่า

2) โจทย์ปัญหาเชิงทฤษฎี (theoretical problem) หมายถึง โจทย์ปัญหาที่ใช้ความรู้เชิงทฤษฎีทางฟิสิกส์ในการสร้างสมการและดำเนินการคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบของโจทย์ปัญหา

**2.3.3 เกณฑ์จำนวนวิธีการและคำตอบของโจทย์ปัญหา** สามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ (1) โจทย์ปัญหาแบบมีโครงสร้าง (2) โจทย์ปัญหาแบบกึ่งโครงสร้าง และ (3) โจทย์ปัญหาแบบไม่มีโครงสร้าง โดยแต่ละประเภทมีรายละเอียดดังนี้

1) โจทย์ปัญหาแบบมีโครงสร้าง (structured problem) หมายถึง โจทย์ปัญหาที่กำหนดข้อมูลของสถานการณ์มาให้ครบถ้วนและระบุตัวแปรที่ต้องการทราบค่าอย่างชัดเจน โดยโจทย์ปัญหาประเภทนี้สามารถแก้ได้เพียงวิธีเดียวและมีคำตอบที่ถูกต้องเพียงคำตอบเดียวเช่นกัน ซึ่งเหมาะสำหรับฝึกการแก้โจทย์ปัญหาในเบื้องต้น รวมถึงยกตัวอย่างการแก้โจทย์ปัญหาที่ไม่ซับซ้อน

2) โจทย์ปัญหาแบบกึ่งโครงสร้าง (semi-structured problem) หมายถึง โจทย์ปัญหาที่กำหนดข้อมูลของสถานการณ์มาให้ไม่ครบถ้วนเพื่อให้มีความซับซ้อนมากขึ้น จึงต้องอาศัยกระบวนการวิเคราะห์โจทย์ปัญหา โดยโจทย์ปัญหาประเภทนี้สามารถแก้ได้หลากหลายวิธีแต่มีคำตอบที่ถูกต้องเพียงคำตอบเดียวเช่นเดียวกับโจทย์ปัญหาแบบมีโครงสร้าง ซึ่งเหมาะสำหรับการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา

3) โจทย์ปัญหาแบบไม่มีโครงสร้าง (unstructured problem) หมายถึง โจทย์ปัญหาที่ไม่กำหนดข้อมูลของสถานการณ์มาให้ เนื่องจากเป็นสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในสถานการณ์ชีวิตจริง โดยโจทย์ปัญหาประเภทนี้สามารถแก้ได้หลากหลายวิธีและมีคำตอบที่หลากหลายและไม่ตายตัวเช่นกัน ซึ่งเหมาะสำหรับฝึกให้นักเรียนรู้จักการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ชีวิตจริง

**2.4 ขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์**

การแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้หลายขั้นตอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแต่ละแนวคิด ซึ่งนักวิชาการส่วนใหญ่จำแนกขั้นตอนที่สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน แม้ว่าบางแนวคิดอาจมีรายละเอียดและชื่อของขั้นตอนที่แตกต่างกันออกไป แต่เมื่อพิจารณารายละเอียดในภาพรวมแล้วพบว่าทุกแนวคิดอยู่ภายใต้กรอบแนวคิดเดียวกัน ซึ่งการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ตามแนวคิดของ Belikov (1989) ได้แก่ (1) ขั้นดำเนินการทางฟิสิกส์ (2) ขั้นดำเนินการทางคณิตศาสตร์ และ (3) ขั้นวิเคราะห์คำตอบ โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

1. ขั้นดำเนินการทางฟิสิกส์ (physical) หมายถึง ขั้นของการใช้ความรู้ทางฟิสิกส์ในการสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทางฟิสิกส์ ซึ่งขั้นตอนนี้มีความหมายที่แสดงถึงการกระทำโดยกว้าง ดังนั้นจึงควรแบ่งขั้นตอนดังกล่าวให้มีรายละเอียดที่เฉพาะเจาะจงและแสดงถึงการกระทำให้เป็นรูปธรรมมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Çalişkan et al. (2010), Harskamp & Ding (2006), Heller & Heller (2010), Huffman (1997) และ Serway and Jewett (2019) ที่แบ่งขั้นตอนดำเนินการทางฟิสิกส์ออกเป็น 3 ขั้นตอนย่อย ตามผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลงในแต่ละขั้นตอน ได้แก่ (1) ขั้นทำความเข้าใจโจทย์ปัญหา (understanding the problem) ตามแนวคิดของ Çalişkan et al. (2010) หรือขั้นสำรวจโจทย์ปัญหา (problem survey) ตามแนวคิดของ Harskamp and Ding (2006) หรือขั้นพิจารณาโจทย์ปัญหา (focus on the problem) ตามแนวคิดของ Heller and Heller (2010) หรือขั้นวาดภาพร่าง (draw a sketch) ตามแนวคิดของ Huffman (1997) หมายถึงขั้นของการแปลงข้อมูลจากโจทย์ปัญหาให้อยู่ในรูปอย่างง่าย เช่น ภาพร่าง ข้อมูลสำคัญที่โจทย์ปัญหากำหนดให้ พร้อมระบุมโนทัศน์และหลักการทางฟิสิกส์ที่ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาพอสังเขป โดยขั้นตอนดังกล่าวสอดคล้องกับขั้นระบุประเภทการชน (categories) ตามแนวคิดของ Serway and Jewett (2019) ซึ่งใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เรื่อง การชนของวัตถุในหนึ่งมิติ โดยเป็นเนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ (2) ขั้นวิเคราะห์โจทย์ปัญหาเชิงคุณภาพ (qualitative analyzing of the problem) ตามแนวคิดของ Çalişkan et al. (2010) หรือขั้นใช้ความรู้ (active

knowledge) ตามแนวคิดของ Harskamp and Ding (2006) หรือขั้นอธิบายโดยใช้ความรู้ทางฟิสิกส์ (describe the physics) ตามแนวคิดของ Heller and Heller (2010) หรือขั้นระบุตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่า (define known and unknown quantities) ตามแนวคิดของ Huffman (1997) หรือขั้นสร้างกรอบแนวคิด (conceptualize) ตามแนวคิดของ Serway and Jewett (2019) หมายถึง ขั้นของการแปลงข้อมูลในรูปอย่างง่ายให้อยู่ในรูปเครื่องหมายแทนทางฟิสิกส์ เช่น แผนภาพวัตถุอิสระ สัญลักษณ์แสดงแทนตัวแปร และ (3) ขั้นวางแผนการแก้โจทย์ปัญหา ตามแนวคิดของ Çalişkan et al. (2010) และ Heller and Heller (2010) หรือขั้นวางแผน (make a plan) ตามแนวคิดของ Harskamp and Ding (2006) หรือขั้นเลือกใช้สมการ (select equation) ตามแนวคิดของ Huffman (1997) หรือขั้นวิเคราะห์การดำเนินการ (analyze) ตามแนวคิดของ Serway and Jewett (2019) หมายถึง ขั้นของการแปลงข้อมูลเครื่องหมายแทนทางฟิสิกส์ให้อยู่ในรูปเครื่องหมายแทนทางคณิตศาสตร์ เช่น สมการ เพื่อให้สามารถดำเนินการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบต่อไปได้

2. ขั้นดำเนินการทางคณิตศาสตร์ (mathematical) หรือขั้นดำเนินการตามแผน ตามแนวคิดของ Çalişkan et al. (2010), Harskamp and Ding (2006) และ Heller and Heller (2010) หรือขั้นแก้สมการ (solve equations) ตามแนวคิดของ Huffman (1997) หรือขั้นวิเคราะห์การดำเนินการ (analyze) ตามแนวคิดของ Serway and Jewett (2019) หมายถึง ขั้นของการใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ในการดำเนินการตามแผนที่วางไว้เพื่อหาคำตอบของโจทย์ปัญหา โดยเริ่มต้นจากการจัดสมการในรูปทั่วไปก่อนและแทนค่าตัวแปรในภายหลัง เป็นที่น่าสังเกตว่าขั้นวิเคราะห์การดำเนินการตามแนวคิดของ Serway and Jewett (2019) เป็นขั้นของการวางแผนการแก้โจทย์ปัญหา รวมถึงการดำเนินการทางคณิตศาสตร์

3. ขั้นวิเคราะห์คำตอบ (analysis of solution) หรือขั้นตรวจสอบ (checking) ตามแนวคิดของ Çalişkan et al. (2010) หรือขั้นควบคุมคำตอบ (control of the answer) ตามแนวคิดของ Harskamp and Ding (2006) หรือขั้นประเมินคำตอบ (evaluate the solution) ตามแนวคิดของ Heller and Heller (2010) หรือขั้นตรวจสอบคำตอบ (check the answer) ตามแนวคิดของ Huffman (1997) หรือขั้นสรุปคำตอบ (finalize) ตามแนวคิดของ Serway and Jewett (2019) หมายถึง ขั้นของการประเมินความถูกต้องหรือความสมเหตุสมผลของคำตอบที่ได้

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้สรุปความสอดคล้องระหว่างขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในแต่ละแนวคิด โดยมีรายละเอียดดังตาราง 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง 1

*สรุปแนวคิดเกี่ยวกับขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์*

| Belikov (1989) | Çalişkan et al. (2010) | Harskamp and Ding (2006), | Heller and Heller (2010) | Huffman (1997) | Serway and Jewett (2019) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1. ดำเนินการทางฟิสิกส์ | 1. ทำความเข้าใจโจทย์ปัญหา | 1. สำรวจโจทย์ปัญหา | 1. พิจารณาโจทย์ปัญหา | 1. วาดภาพร่าง | 1. ระบุประเภทการชน |
| | 2. วิเคราะห์โจทย์ปัญหาเชิงคุณภาพ | 2. ใช้ความรู้ | 2. อธิบายโดยใช้ความรู้ทางฟิสิกส์ | 2. ระบุตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่า | 2. สร้างกรอบแนวคิด |
| | 3. วางแผนการแก้โจทย์ปัญหา | 3. วางแผน | 3. วางแผนการแก้โจทย์ปัญหา | 3. เลือกใช้สมการ | 3. วิเคราะห์การดำเนินการ |
| 2. ดำเนินการทางคณิตศาสตร์ | 4. ดำเนินการตามแผน | 4. ดำเนินการตามแผน | 4. ดำเนินการตามแผน | 4. แก้สมการ | |
| 3. วิเคราะห์คำตอบ | 5. ตรวจสอบ | 5. ควบคุมคำตอบ | 5. ประเมินคำตอบ | 5. ตรวจสอบคำตอบ | 4. สรุปคำตอบ |

ผลการศึกษาแนวคิดเกี่ยวกับขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่า แนวคิดของ Serway & Jewett (2019) ใช้กับการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เรื่อง การชนของวัตถุในหนึ่งมิติ ซึ่งสอดคล้องกับบริบททางด้านเนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ แต่ไม่ได้กล่าวถึงรายละเอียดที่ชัดเจน เช่นเดียวกับแนวคิดของ Çalişkan et al. (2010), Harskamp & Ding (2006), Heller & Heller (2010) และ Huffman (1997) ที่มีการแบ่งขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาออกเป็น 5 ขั้นตอน ซึ่งให้ข้อมูลเกี่ยวกับแนวทางการดำเนินการการแก้โจทย์ปัญหา รวมถึงปัญหาหรือข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งระหว่างการแก้โจทย์ปัญหาที่มีความละเอียดมากกว่าแนวคิดอื่น ซึ่งสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการวินิจฉัยปัญหาการเรียนรู้ รวมถึงการให้ข้อมูลย้อนกลับแก่นักเรียนเกี่ยวกับความก้าวหน้าทางการเรียนรู้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้แนวคิดของ Çalişkan et al. (2010), Harskamp & Ding (2006), Heller & Heller (2010) และ Huffman (1997) ในการวิจัยครั้งนี้ โดยผู้วิจัยปรับเปลี่ยนชื่อแต่ละขั้นตอนให้มีความเป็นรูปธรรมที่สอดคล้องกับพฤติกรรมที่บ่งชี้มากขึ้น ได้แก่ (1) วิเคราะห์และแปลงข้อมูลจากโจทย์ปัญหา (2) จัดการข้อมูลทางฟิสิกส์ (3) วางแผนการแก้โจทย์ปัญหา (4) ดำเนินการทางคณิตศาสตร์ และ (5) ตรวจสอบและประเมินคำตอบ โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

**2.4.1 ขั้นวิเคราะห์และแปลงข้อมูลจากโจทย์ปัญหา** เป็นขั้นของการตีความ วิเคราะห์และแปลงข้อมูลจากโจทย์ปัญหาให้อยู่ในรูปอย่างง่าย เช่น ภาพร่างแสดงสถานการณ์ของโจทย์ปัญหา ข้อความที่แสดงถึงปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้หรือเงื่อนไข รวมถึงปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ อีกทั้งระบุมโนทัศน์และหลักการทางฟิสิกส์ที่ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาพอสังเขป เช่น สมการการเคลื่อนที่แนวตรง กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม กฎการอนุรักษ์พลังงานกล

**2.4.2 ขั้นจัดการข้อมูลทางฟิสิกส์** เป็นขั้นของการแปลงข้อมูลในรูปอย่างง่ายที่ได้จากขั้นวิเคราะห์และแปลงข้อมูลจากโจทย์ปัญหาให้อยู่ในรูปเครื่องหมายแทนทางฟิสิกส์ โดยใช้มโนทัศน์และหลักการทางฟิสิกส์ เช่น แผนภาพวัตถุอิสระ แผนภาพองค์ประกอบของเวกเตอร์ พร้อมระบุสัญลักษณ์ที่แสดงแทนตัวแปรที่ทราบค่าและตัวแปรเป้าหมายที่ต้องการหาค่า

**2.4.3 ขั้นวางแผนการแก้โจทย์ปัญหา** เป็นขั้นของการแปลงเครื่องหมายแทนทางฟิสิกส์ที่ได้จากขั้นจัดการข้อมูลทางฟิสิกส์ให้อยู่ในรูปเครื่องหมายแทนทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ สมการทางคณิตศาสตร์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางฟิสิกส์ อีกทั้งวางแผนหาวิธีการหาค่าของตัวแปรเป้าหมายแบบย้อนกลับ โดยเริ่มจากสมการสุดท้ายที่สามารถหาค่าของตัวแปรเป้าหมายได้ แล้วเชื่อมโยงกับสมการก่อนหน้าไปเรื่อย ๆ อย่างเป็นลำดับ จนกระทั่งเชื่อมโยงถึงสมการแรกที่สามารถใช้ตัวแปรที่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนดให้

**2.4.4 ขั้นดำเนินการทางคณิตศาสตร์** เป็นขั้นของการดำเนินการแก้สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้วางแผนไว้ เพื่อหาค่าของตัวแปรเป้าหมาย ตามลำดับ โดยจัดรูปสมการให้อยู่ในรูปทั่วไป ด้วยการจัดกระทำให้ตัวแปรเป้าหมายอยู่ด้านหนึ่งของสมการ และตัวแปรที่ทราบค่าทั้งหมดอยู่อีกด้านหนึ่งของสมการ จากนั้นแทนค่าตัวแปรที่ทราบค่าลงในรูปสมการทั่วไป พร้อมแสดงการคำนวณทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาค่าของตัวแปรเป้าหมายตามที่โจทย์ปัญหาต้องการทราบออกมาในรูปของตัวเลข

**2.4.5 ขั้นตรวจสอบและประเมินคำตอบ** เป็นขั้นของการตรวจสอบหรือประเมินความถูกต้องและความสมเหตุสมผลของค่าของคำตอบที่ได้ โดยพิจารณาถึงเครื่องหมาย มิติ หน่วยวัด คำนำหน้าหน่วย รวมถึงนำค่าของคำตอบที่ได้ไปแทนค่าลงในสมการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อยืนยันความถูกต้องของคำตอบ และสรุปคำตอบตามที่โจทย์ปัญหาต้องการเป็นลำดับสุดท้าย

ผู้วิจัยขอเสนอตัวอย่างการใช้กระบวนการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ได้จากการสังเคราะห์แนวคิดขึ้น เพื่อให้เห็นกระบวนการและผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละขั้นตอน โดยตัวอย่างโจทย์ปัญหาดังกล่าว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เป็นสถานการณ์เกี่ยวกับการขว้างวัตถุลงมาจากอาคารสูง พร้อมถามหาขนาดของโมเมนตัมของวัตถุขณะกระทบพื้น ซึ่งมีรายละเอียดดังภาพ 3

ภาพ 3

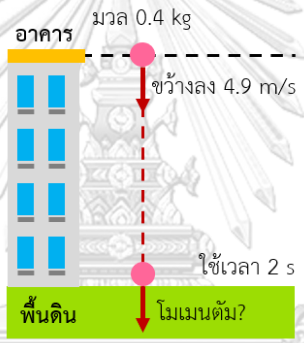
*ตัวอย่างการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทีละขั้นตอน*

**โจทย์ปัญหา**

ขว้างลูกบอลมวล 0.4 กิโลกรัม ลงจากดาดฟ้าอาคารด้วยความเร็ว 4.9 เมตร/วินาที ปรากฏว่าลูกบอลกระทบพื้นภายใน 2 วินาที หากไม่คิดแรงต้านอากาศ จงหาขนาดของโมเมนตัมของลูกบอลขณะกระทบพื้นในหน่วยกิโลกรัม.เมตร/วินาที

**วิธีทำ** <u>ขั้นตอนที่ 1 วิเคราะห์และแปลงข้อมูลจากโจทย์ปัญหา</u>

1.1 วาดภาพร่างแสดงสถานการณ์




1.2 ระบุปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้

1) มวลลูกบอล 0.4 kg

2) ขว้างลงด้วยความเร็ว 4.9 m/s

3) ลูกบอลกระทบพื้นภายใน 2 s

1.3 ระบุปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ

โมเมนตัมของลูกบอลขณะกระทบพื้นในหน่วย kg.m/s

1.4 ระบุมโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง

1) การตกแบบเสรี

2) โมเมนตัม

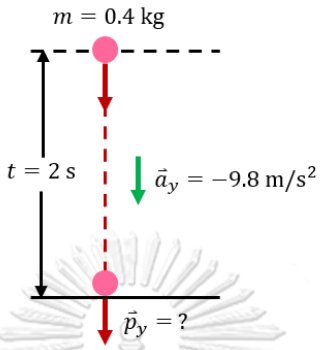
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพ 3 (ต่อ)

*ตัวอย่างการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทีละขั้นตอน*

<u>ขั้นตอนที่ 2 จัดการข้อมูลทางฟิสิกส์</u>

2.1 วาดแผนภาพองค์ประกอบของเวกเตอร์




2.2 ระบุสัญลักษณ์ที่แสดงแทนตัวแปรที่ทราบค่า

กำหนดให้ทิศขึ้นมีเครื่องหมายบวกและทิศลงมีเครื่องหมายลบ

$m = 0.4\ kg$ $\quad$ $\vec{u}_y = -4.9\ m/s$

$\vec{a}_y = -9.8\ m/s^2$ $\quad$ $t = 2\ s$

2.3 ระบุสัญลักษณ์ที่แสดงแทนตัวแปรเป้าหมาย

$\vec{p}_y$

<u>ขั้นตอนที่ 3 วางแผนการแก้โจทย์ปัญหา</u>

3.1 วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย

1) $\vec{v}_y = \vec{u}_y + \vec{a}_y t$ $\quad$ เพื่อหา $\vec{v}_y$

2) $\vec{p}_y = m\vec{v}_y$ $\quad$ เพื่อหา $\vec{p}_y$

3.2 วางแผนการแก้โจทย์ปัญหา

1) แก้สมการ (1) เพื่อหา $\vec{v}_y$

2) นำค่าที่ได้จากสมการ (1) มาแทนลงในสมการ (2) เพื่อหา $\vec{p}_y$

<u>ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการทางคณิตศาสตร์</u>

แทนค่า $\vec{u}_y, \vec{a}_y$ และ $t$ ลงในสมการ (1) จะได้

$$\vec{v}_y = (-4.9\ m/s) + (-9.8\ m/s^2)(2\ s) = -24.5\ m/s$$

แทนค่า $m$ และ $\vec{v}_y$ ลงในสมการ (2) จะได้

$$\vec{p}_y = (0.4\ kg)(-24.5\ m/s) = -9.8\ kg.m/s$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพ 3 (ต่อ)

*ตัวอย่างการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทีละขั้นตอน*

<u>ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบและประเมินคำตอบ</u>

5.1 ประเมินความสมเหตุสมผลเกี่ยวกับขนาดของคำตอบ

เนื่องจากความเร็วต้นและความเร่งมีทิศทางเดียวกัน

นั่นคือ ความเร็วปลายของลูกบอลขณะกระทบพื้นมีค่ามากกว่าความเร็วต้น

ดังนั้นขนาดของคำตอบจึงสมเหตุสมผล

5.2 ประเมินความถูกต้องเกี่ยวกับเครื่องหมายของคำตอบ

เนื่องจากโมเมนตัมมีทิศทางเดียวกับความเร็วของลูกบอลขณะกระทบพื้น

นั่นคือ โมเมนตัมมีเครื่องหมายลบ

ดังนั้นเครื่องหมายของคำตอบจึงถูกต้อง

5.3 ประเมินความถูกต้องเกี่ยวกับหน่วยวัดของคำตอบ

เนื่องจากสมการที่ 1 $\vec{v}_y = (m/s) + (m/s^2)(s) = m/s$

และสมการที่ 2 $\vec{p} = (\ kg)(m/s) = kg.m/s$

นั่นคือคำตอบจะต้องมีหน่วยเป็น kg.m/s

ดังนั้นหน่วยการวัดของคำตอบจึงถูกต้อง

5.4 สรุปคำตอบ

เนื่องจากโจทย์ปัญหาต้องการทราบขนาดของโมเมนตัมเท่านั้น

ดังนั้นโมเมนตัมของลูกบอลขณะกระทบพื้นมีขนาด 9.8 kg.m/s

**ตอบ** โมเมนตัมของลูกบอลขณะกระทบพื้นมีขนาด 9.8 kg.m/s

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**2.5 แนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา**

ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา เป็นทักษะการปฏิบัติ (practical skill) ที่ผสมผสานระหว่างพฤติกรรมการเรียนรู้ด้านพุทธิพิสัยกับด้านทักษะพิสัย โดยการวัดและประเมินความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาสามารถทำได้ 4 แนวทาง ได้แก่ (1) การสังเกต (2) การประเมินตนเอง (3) การใช้แบบสำรวจรายการ และ (4) การใช้แบบสอบ ซึ่งแต่ละแนวทางมีรายละเอียดดังนี้ (กรมวิชาการ, 2539)

**1. การสังเกต** เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสังเกตพฤติกรรมการตอบคำถามหรือการแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียนเมื่อได้รับมอบหมายให้แก้โจทย์ปัญหา ซึ่งผู้สังเกตควรมีบันทึกพฤติกรรมของนักเรียนเพื่อใช้ในการพิจารณาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา อีกทั้งควรกำหนดพฤติกรรมที่ต้องการประเมินไว้ล่วงหน้าเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ตรงกับความต้องการ อย่างไรก็ตาม ผู้สังเกตไม่ควรให้ผู้ให้ข้อมูลรู้ตัวว่าถูกสังเกต เพราะอาจทำให้ได้ข้อมูลไม่ตรงกับความสามารถที่แท้จริงของผู้ถูกสังเกต

**2. การประเมินตนเอง** เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการเขียนรายงานหรือคำพูดของผู้ถูกประเมินเกี่ยวกับพฤติกรรมหรือความก้าวหน้าในการแก้โจทย์ปัญหาของตนเอง ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงพัฒนาการในการแก้โจทย์ปัญหาของผู้ถูกประเมินแต่ละคน

**3. การใช้แบบสำรวจรายการ** เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการทำแบบสำรวจรายการโดยประเมินพฤติกรรมในการแก้โจทย์ปัญหาของผู้ถูกประเมินว่าเป็นไปตามพฤติกรรมที่กำหนดหรือไม่ ซึ่งแนวทางนี้ใช้ประเมินพฤติกรรมการแก้โจทย์ปัญหาได้เป็นอย่างดี

**4. การใช้แบบสอบ** เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการทำแบบสอบ ซึ่งคำถามที่ใช้ในแบบสอบควรกำหนดสถานการณ์ที่เป็นปัญหาเพื่อให้นักเรียนสามารถแสดงความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาได้ ซึ่งแบบสอบที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นแบบสอบเลือกตอบ (เกริก ศักดิ์สุภาพ, 2556; นฤมล ฉิมงาม, 2558) หรือแบบสอบความเรียง (กิตติทัศน์ หวานฉ่ำ, 2560; นิพนธ์ นิลคง, 2541; พัณนิดา มิ่งมิตร, 2559; รมิตา ชื่นเปรมชีพ, 2559; อมรรัตน์ บุบผโชติ, 2558; อรยา ชูเชื้อ, 2554) โดยแบบสอบความเรียงสามารถวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาได้เป็นอย่างดี อีกทั้งเปิดโอกาสให้นักเรียนมีอิสระในการเขียนตอบ ซึ่งช่วยลดปัญหาการเดาคำตอบได้ อย่างไรก็ตาม การใช้แบบสอบข้อเขียนนั้นขาดความเป็นปรนัยในการให้คะแนนมาก ดังนั้นจึงใช้เกณฑ์การให้คะแนนรูบริกแบบแยกองค์ประกอบ (analytic scoring rubric) (Hollabaugh, 1995; Huffman, 1997; Docktor et al., 2016) ซึ่งเป็นการกำหนดเกณฑ์การประเมินพร้อมระดับคะแนนล่วงหน้า เพื่อช่วยให้การให้คะแนนมีความเป็นปรนัยมากขึ้น อีกทั้งช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการให้คะแนนเนื่องด้วยความลำเอียงหรือสิ่งอยู่นอกเหนือจากองค์ประกอบของการประเมินความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในกรอบการประเมิน (กมลวรรณ ตังธนกานนท์, 2563; โชติกา ภาษีผล, 2559) โดยผู้วิจัยนำเสนอตัวอย่างข้อคำถามในแบบสอบของกิตติทัศน์ หวานฉ่ำ (2560) ซึ่งมีรายละเอียดดังภาพ 4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพ 4

*ตัวอย่างข้อคำถามในแบบสอบความเรียง*

**คำถาม**

ภูเขาออกแรงผลักวัตถุมวล 3 กิโลกรัม จากหยุดนิ่งให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นราบที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างพื้นกับวัตถุเท่ากับ 0.25 เป็นระยะทาง 60 เมตร หากภูเขาออกแรงผลักเป็นเวลา 4 วินาที จงหางานที่เกิดขึ้นทั้งหมด

.....

.....

เมื่อศึกษาเกี่ยวกับแนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา พบว่าแต่ละแนวทางมีจุดเด่นและข้อจำกัดที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการประเมิน กลุ่มเป้าหมาย ตลอดจนบริบทของการวัดและประเมิน ซึ่งผู้วิจัยเลือกการใช้แบบสอบเติมคำเป็นแนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของการวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจากเกิดสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ตลอดช่วงของการดำเนินการวิจัย ทำให้ผู้วิจัยไม่สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลจากการใช้แบบสอบความเรียงโดยให้นักเรียนเขียนแสดงวิธีทำที่โรงเรียนได้ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงต้องเปลี่ยนรูปแบบการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นการทดสอบโดยใช้คอมพิวเตอร์ (computer-based test) ซึ่งแบบสอบเติมคำช่วยลดการเดาคำตอบของนักเรียนได้ อีกทั้งเหมาะสำหรับการวัดการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์มากกว่าแบบสอบเลือกตอบ (โชติกา ภาษีผล, 2559)

**ตอนที่ 3 อภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์**

รายละเอียดเกี่ยวกับอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สามารถแบ่งการนำเสนอออกเป็น 4 หัวข้อ ประกอบด้วย (1) ความหมายของอภิปัญญา (2) องค์ประกอบของอภิปัญญา (3) แนวทางการวัดและประเมินอภิปัญญา และ (4) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอภิปัญญา ซึ่งแต่ละหัวข้อมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**3.1 ความหมายของอภิปัญญา**

อภิปัญญา (metacognition) หมายถึง ความสามารถของบุคคลในการตระหนักรู้เกี่ยวกับกระบวนการทางความคิดของตนเองเพื่อใช้ในการจัดการความคิดให้บรรลุตามวัตถุประสงค์

ที่กำหนดไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Cross & Paris, 1988; Flavell, 1979; Martinez, 2006) สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยมุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์โดยฉพาะ ดังนั้น การกำหนดความหมายของอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จึงเป็นการอ้างอิงจากความหมายทั่วไปของอภิปัญญา โดยอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ หมายถึง ความสามารถของบุคคลในการตระหนักรู้เกี่ยวกับกระบวนการทางความคิดของตนเองเพื่อใช้ในการจัดการความคิดให้สามารถแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ได้อย่างถูกต้อง (Taasoobshirazi et al., 2015; Taasoobshirazi & Farley, 2013)

**3.2 องค์ประกอบของอภิปัญญา**

อภิปัญญาสามารถจำแนกได้เป็นหลายองค์ประกอบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแต่ละแนวคิด ซึ่งนักวิชาการส่วนใหญ่จำแนกองค์ประกอบของอภิปัญญาที่สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน แม้ว่าบางแนวคิดอาจมีรายละเอียดและชื่อขององค์ประกอบที่แตกต่างกันออกไป แต่เมื่อพิจารณารายละเอียดโดยภาพรวมแล้วพบว่าทุกแนวคิดอยู่ภายในกรอบแนวคิดเดียวกัน โดยทั่วไปสามารถจำแนกออกเป็น 2 องค์ประกอบ ได้แก่ (1) ความรู้เกี่ยวกับการรู้คิด และ (2) การกำกับการรู้คิด ซึ่งแต่ละองค์ประกอบมีรายละเอียดดังนี้ (Anderson & Krathwohl, 2001; Baker & Brown, 1984; Cross & Paris, 1988; Flavell, 1979; Pintrich, 2002; Schraw, 2001)

องค์ประกอบที่ 1 คือ ความรู้เกี่ยวกับการรู้คิด (knowledge about cognition) ตามแนวคิดของ Anderson & Krathwohl (2001), Cross and Paris (1988) และ Schraw (2001) หรือความตระหนักรู้ (awareness) ตามแนวคิดของ Baker and Brown (1984) หรือความรู้เชิงอภิปัญญา (metacognitive knowledge) ตามแนวคิดของ Flavell (1979) และ Pintrich (2002) หมายถึง สิ่งที่บุคคลรู้เกี่ยวกับกระบวนการทางความคิดของตนเองในการเรียนรู้หรือการปฏิบัติงาน โดยสามารถพิจารณาได้ว่าตนเองรู้อะไรและคิดอย่างไร โดยความรู้ดังกล่าวสามารถประกอบด้วย 3 ด้าน ได้แก่ (1) การรู้ตนตามแนวคิดของ Anderson and Krathwohl (2001) หรือความรู้เชิงประจักษ์ (declarative knowledge) ตามแนวคิดของ Cross and Paris (1988) และ Schraw (2001) หรือความรู้ด้านบุคคล (person variables) ตามแนวคิดของ Flavell (1979) หรือความรู้ความเข้าใจตนเอง (self-knowledge) ตามแนวคิดของ Pintrich (2002) หมายถึง สิ่งที่บุคคลรู้เกี่ยวกับลักษณะความสามารถทางปัญญาของตนเองในการทำกิจกรรมทางความคิด เช่น รู้ว่าตนเองรู้อะไร มีจุดแข็งและจุดอ่อนอย่างไร ทั้งนี้เพื่อช่วยในการหากลวิธีที่เหมาะสมในการเรียนรู้หรือการปฏิบัติงานที่เหมาะสมสำหรับตนเอง (2) ความรู้เกี่ยวกับงานด้านพุทธิปัญญา (knowledge

about cognitive tasks) ตามแนวคิดของ Anderson and Krathwohl (2001) และ Pintrich (2002) หรือความรู้เชิงกระบวนการ (procedural knowledge) ตามแนวคิดของ Cross and Paris (1988) และ Schraw (2001) หรือความรู้ด้านงาน (task variables) ตามแนวคิดของ Flavell (1979) หมายถึง สิ่งที่บุคคลรู้เกี่ยวกับลักษณะและขอบเขตของงานที่ทำ เช่น รู้ว่าข้อคำถามดังกล่าวเกี่ยวข้องกับเนื้อหาเรื่องใด ใช้กฎหรือทฤษฎีใด และ (3) ความรู้เชิงกลยุทธ์ตามแนวคิดของ Anderson and Krathwohl (2001) หรือความรู้เชิงเงื่อนไข (conditional knowledge) ตามแนวคิดของ Cross and Paris (1988) และ Schraw (2001) หรือความรู้ด้านกลวิธี (strategy variables) ตามแนวคิดของ Flavell (1979) และ Pintrich (2002) หมายถึง สิ่งที่บุคคลรู้เกี่ยวกับกลวิธีที่เหมาะสมและสามารถนำมาใช้ในการเรียนรู้หรือการปฏิบัติงานให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น รู้ว่ามีกลวิธีใดบ้างเพื่อให้ได้คำตอบ รู้ว่าแต่ละกลวิธีมีข้อจำกัดหรือเงื่อนไขในการใช้อย่างไรบ้าง

องค์ประกอบที่ 2 คือ การกำกับตนเอง (self-regulation) ตามแนวคิดของ Baker and Brown (1984) หรือการจัดการความคิดตนเอง (self-management of one’s thinking) ตามแนวคิดของ Cross and Paris (1988) หรือประสบการณ์เชิงอภิปัญญา (metacognitive experience) ตามแนวคิดของ Flavell (1979) หรือการกำกับการรู้คิด (regulation of cognition) ตามแนวคิดของ Schraw (2001) หรือ หมายถึง ความสามารถของบุคคลในการกำกับหรือควบคุมตนเองในขณะเรียนรู้หรือปฏิบัติงานให้สามารถบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ได้ ซึ่งประกอบด้วยกลวิธีย่อยจำนวน 3 กลวิธี ได้แก่ (1) การวางแผน (planning) หมายถึง การกำหนดวัตถุประสงค์ขั้นตอน รวมถึงกลวิธีที่เหมาะสมในการเรียนรู้หรือการปฏิบัติงานตั้งแต่เริ่มต้นกิจกรรมทางความคิดจนกระทั่งบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ได้ เช่น วิเคราะห์ขั้นตอนในการหาคำตอบของข้อคำถามดังกล่าว (2) การกำกับติดตาม (monitoring) หมายถึง การตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของข้อมูล กลวิธี หรือผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นในขณะนั้น พร้อมปรับเปลี่ยนหรือแก้ไขกลวิธีเมื่อพบข้อผิดพลาดหรืออุปสรรค เช่น วิเคราะห์ว่ากลวิธีที่เลือกใช้นั้นเหมาะสมกับการหาคำตอบหรือไม่ (3) การประเมิน (evaluating) หมายถึง การวิเคราะห์และตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นภายหลังเสร็จสิ้นกิจกรรมทางความคิด ทำให้ทราบความก้าวหน้าของตนเอง เช่น ประเมินว่าคำตอบที่ได้สมเหตุสมผลกับข้อคำถามหรือไม่

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้สรุปความสอดคล้องระหว่างองค์ประกอบของอภิปัญญาในแต่ละแนวคิดโดยมีรายละเอียดดังตาราง 2

สำหรับอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์มีพื้นฐานแนวคิดมาจากอภิปัญญาโดยทั่วไป ดังนั้นองค์ประกอบและรายละเอียดแต่ละองค์ประกอบจึงมีลักษณะเหมือนอภิปัญญาโดยทั่วไปด้วยเช่นกัน แต่ปรับรายละเอียดของนิยามและเพิ่มองค์ประกอบย่อยด้านการแก้ไขข้อผิดพลาดและด้านการจัดการข้อมูลเป็นส่วนหนึ่งขององค์ประกอบการกำกับการรู้คิด ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับบริบทของการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ (Taasoobshirazi et al., 2015; Taasoobshirazi & Farley, 2013) ซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้วิจัยมุ่งศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้องค์ประกอบของอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ตามแนวคิดของ Taasoobshirazi et al. (2015) โดยแต่ละองค์ประกอบมีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 2

*สรุปแนวคิดเกี่ยวกับองค์ประกอบของอภิปัญญา*

| Baker and Brown (1984) | Anderson and Krathwohl (2001) | Cross and Paris (1988) | Schraw (2001) | Flavell (1979) | Pintrich (2002) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1) ความตระหนักรู้ | 1) ความรู้เกี่ยวกับการรู้คิด | 1) ความรู้เกี่ยวกับการรู้คิด | 1) ความรู้เกี่ยวกับการรู้คิด | 1) ความรู้เชิงอภิปัญญา | 1) ความรู้เชิงอภิปัญญา |
| | 1.1 การรู้ตน | 1.1 ความรู้เชิงประจักษ์ | 1.1 ความรู้เชิงประจักษ์ | 1.1 ความรู้ด้านบุคคล | 1.1 ความรู้ความเข้าใจตนเอง |
| | 1.2 ความรู้เกี่ยวกับงานด้านพุทธิปัญญา | 1.2 ความรู้เชิงกระบวนการ | 1.2 ความรู้เชิงกระบวนการ | 1.2 ความรู้ด้านงาน | 1.2 ความรู้เกี่ยวกับงานด้านพุทธิปัญญา |
| | 1.3 ความรู้เชิงกลยุทธ์ | 1.3 ความรู้เชิงเงื่อนไข | 1.3 ความรู้เชิงเงื่อนไข | 1.3 ความรู้ด้านกลวิธี | 1.3 ความรู้ด้านกลวิธี |
| 2) การกำกับตนเอง | - | 2) การจัดการความคิดตนเอง | 2) การกำกับการรู้คิด | 2) ประสบการณ์เชิงอภิปัญญา | - |
| | - | 2.1 การวางแผน | 2.1 การวางแผน | 2.1 การวางแผน | - |
| | - | 2.2 การกำกับติดตาม | 2.2 การกำกับติดตาม | 2.2 การกำกับติดตาม | - |
| | - | 2.3 การประเมิน | 2.3 การประเมิน | 2.3 การประเมิน | - |

**3.2.1 ความรู้เกี่ยวกับการรู้คิด** หมายถึง สิ่งที่บุคคลรู้เกี่ยวกับกระบวนการทางความคิดของตนเองในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์และสามารถพิจารณาได้ว่าตนเองรู้อะไรและคิดอย่างไร ซึ่งความรู้ดังกล่าวประกอบด้วย 3 ด้าน ได้แก่ (1) ความรู้เชิงประจักษ์ (2) ความรู้เชิงกระบวนการ และ (3) ความรู้เชิงเงื่อนไข โดยแต่ละองค์ประกอบมีรายละเอียด ดังนี้

1) ความรู้เชิงประจักษ์ หมายถึง สิ่งที่บุคคลรู้เกี่ยวกับลักษณะความสามารถทางปัญญาของตนเองในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เช่น รู้ว่าตนเองมีจุดแข็งและจุดอ่อนในการแก้โจทย์ปัญหาอย่างไร

2) ความรู้เชิงกระบวนการ หมายถึง สิ่งที่บุคคลรู้เกี่ยวกับวิธีหรือแนวทางการดำเนินการในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เช่น รู้ว่าควรใช้สมการใดในการแก้โจทย์ปัญหาดังกล่าวได้สำเร็จ

3) ความรู้เชิงเงื่อนไข หมายถึง สิ่งที่บุคคลรู้เกี่ยวกับสถานการณ์ที่ควรใช้ความรู้เชิงปัจจัยและความรู้เชิงกระบวนการในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เช่น รู้ว่าเมื่อใดและเพราะเหตุใดจึงใช้สมการดังกล่าวในการแก้โจทย์ปัญหานั้น

**3.2.2 การกำกับการรู้คิด** หมายถึง การกระทำของบุคคลในการกำกับหรือควบคุมตนเองให้สามารถแก้โจทย์ปัญหาได้สำเร็จ ซึ่งองค์ประกอบย่อยจำนวน 5 องค์ประกอบ ได้แก่ (1) การวางแผน (2) การกำกับติดตาม (3) การประเมิน (4) การแก้ไขข้อผิดพลาด และ (5) การจัดการข้อมูล โดยแต่ละองค์ประกอบมีรายละเอียดดังนี้

1) การวางแผน หมายถึง การกำหนดขั้นตอนและกลวิธีในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ก่อนเริ่มแก้โจทย์ปัญหา เช่น วิเคราะห์ว่าต้องใช้สมการใดบ้างในแต่ละขั้นตอน

2) การกำกับติดตาม หมายถึง การตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของตนเองอย่างเป็นระยะ เช่น ตรวจสอบว่าคำตอบที่ได้ในแต่ละขั้นตอนถูกต้องหรือไม่ในระหว่างแก้โจทย์ปัญหา

3) การประเมิน หมายถึง การตรวจสอบความถูกต้องของภาพรวมและผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เช่น ตรวจสอบว่าคำตอบที่ได้สมเหตุสมผลกับโจทย์ปัญหาหรือไม่

4) การแก้ไขข้อผิดพลาด หมายถึง การใช้กลยุทธ์สำหรับการแก้ไขข้อผิดพลาดในการแก้โจทย์ปัญหาให้ถูกต้อง เช่น ขอความช่วยเหลือจากเพื่อนหรือครูผู้สอน เมื่อพบข้อผิดพลาดในขณะแก้โจทย์ปัญหา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5) การจัดการข้อมูล หมายถึง การใช้กลยุทธ์ในการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปอย่างง่าย เพื่อช่วยให้สามารถแก้โจทย์ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น เขียนแผนภาพวัตถุอิสระจากโจทย์ปัญหาที่กำหนดให้

**3.3 แนวทางการวัดและประเมินอภิปัญญา**

อภิปัญญาเป็นพฤติกรรมภายในที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางความคิด ดังนั้นจึงต้องอาศัยการสรุปอ้างอิงจากพฤติกรรมภายนอกที่สามารถสังเกตหรือใช้เครื่องมือวัดได้ โดยการวัดและประเมินอภิปัญญาสามารถทำได้ 4 แนวทาง ได้แก่ (1) การสัมภาษณ์ (2) การคิดแบบออกเสียง (3) การใช้แบบสอบ และ (4) การรายงานตนเอง โดยแต่ละแนวทางมีรายละเอียดดังนี้ (สสวท., 2555)

**3.3.1 การสัมภาษณ์** เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการตอบคำถามของผู้ให้สัมภาษณ์เกี่ยวกับความคิดหรือความรู้สึกของตนเองที่ได้จากการทบทวนความคิดภายหลังการทำกิจกรรมทางความคิด ซึ่งควรสัมภาษณ์ผู้ให้สัมภาษณ์เร็วที่สุดหลังจากการทำกิจกรรมทางความคิดเสร็จสิ้น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนและแม่นยำ โดยวิธีการดังกล่าวเหมาะสำหรับบุคคลทุกกลุ่ม อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับความสามารถของผู้สัมภาษณ์ และข้อมูลที่ได้อาจไม่ตรงกับความเป็นจริงในกรณีที่ผู้ให้สัมภาษณ์ไม่ให้ความร่วมมือในการตอบ

**3.3.2 การคิดแบบออกเสียง** เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการมอบหมายงานให้ผู้ให้ข้อมูลทำและถ่ายทอดสิ่งที่ตนเองคิดขณะทำงานและถ่ายทอดออกมาเป็นเสียงคำพูด โดยมีการบันทึกเสียงขณะทำงานและสังเกตพฤติกรรมการทำงานของผู้ให้ข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ด้วย แต่ไม่ควรให้ผู้ให้ข้อมูลรู้ตัวว่าถูกสังเกต เพราะอาจทำให้ได้ข้อมูลที่ไม่ตรงกับความเป็นจริง

**3.3.3 การใช้แบบสอบ** เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการทำแบบสอบ โดยแบบสอบวัดอภิปัญญามีลักษณะเช่นเดียวกับแบบสอบวัดผลสัมฤทธิ์โดยทั่วไป แต่ควรใช้ข้อคำถามที่ไม่ยากจนเกินไปและสร้างข้อคำถามที่ใช้วัดอภิปัญญาเพิ่ม ซึ่งแบบสอบที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นแบบสอบเลือกตอบ เช่น มาตรวัดอภิปัญญาโดยใช้คอมพิวเตอร์ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 (คมกริบ ธีรานุรักษ์, 2552) แบบวัดอภิปัญญาสำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น (ยุทธการ สืบแก้ว, 2551) หรือแบบสอบความเรียง เช่น แบบวัดอภิปัญญาตามแนวคิดของ Flavell (1979) ในวิชาคณิตศาสตร์ โดยผู้วิจัยนำเสนอตัวอย่างข้อคำถามในแบบวัดดังกล่าว ซึ่งมีลักษณะดังภาพ 5 (นันทฉัตร วงษ์ปัญญา, 2558)

ภาพ 5

*ตัวอย่างข้อคำถามในแบบสอบวัดอภิปัญญาวิชาคณิตศาสตร์*

| | |
|---|---|
| **สถานการณ์** | โรงเรียนแห่งหนึ่งมีนักกีฬาว่ายน้ำ 20% ของนักกีฬาทั้งหมด มีนักกีฬาฟุตบอล 30% ของนักกีฬาทั้งหมด และมีนักกีฬาเทนนิส 10% ของนักกีฬาทั้งหมด |
| **คำถาม** | จากข้อมูลข้างต้น ถ้าโรงเรียนนี้มีนักกีฬาว่ายน้ำ 10 คน แล้วมีผู้สรุปว่า "มีนักกีฬาฟุตบอลมากกว่านักกีฬาว่ายน้ำ 5 คน" นักเรียนคิดว่าข้อสรุปนี้ถูกต้องหรือไม่ จงแสดงวิธีคิดหาคำตอบ |
| **คำตอบ** | ..... |

**3.3.4 การรายงานตนเอง** เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจากการตอบคำถามของผู้ให้ข้อมูลผ่านการเขียนความคิดเห็นหรือเลือกตอบตามระดับหรือตัวเลือกที่กำหนดให้ที่ตรงกับความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีสามารถทำได้ทั้งในระหว่างทำกิจกรรมทางความคิดและเมื่อทำกิจกรรมทางความคิดเสร็จสิ้นแล้ว อีกทั้งสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลกับกลุ่มขนาดใหญ่ได้ โดยข้อคำถามที่ใช้ควรเป็นคำถามที่เข้าใจง่าย รวมถึงข้อคำถามที่เป็นบวกและลบ ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการรายงานตัวเองส่วนใหญ่เป็นแบบตรวจสอบรายการ เช่น มาตรวัดความตระหนักในการรู้คิด (metacognitive awareness inventory: MAI) (Schraw & Dennison, 1994) หรือมาตรประมาณค่าหลายระดับ เช่น แบบวัดความตระหนักในการรู้คิดด้านยุทธศาสตร์การอ่าน (metacognitive awareness of reading strategies inventory: MARSI) (Mokhtari & Reichard, 2002) แบบวัดอภิปัญญาทางฟิสิกส์ (physics metacognition inventory: PMI) (Taasoobshirazi et al., 2015) โดยผู้วิจัยนำเสนอตัวอย่างข้อคำถามในแบบวัดความตระหนักในการรู้คิดด้านยุทธศาสตร์การอ่านตามแนวคิดของ Schraw and Dennison (1994) ซึ่งมีลักษณะดังภาพ 6

ภาพ 6

*ตัวอย่างข้อคำถามในแบบวัดความตระหนักในการรู้คิดด้านยุทธศาสตร์การอ่าน*

1. I have a purpose in mind when I read.

1 2 3 4 5

2. I take notes while reading to help me understand what I read.

1 2 3 4 5

สำหรับการวัดและประเมินอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่า แบบวัดอภิปัญญาทางฟิสิกส์ของ Taasoobshirazi et al. (2015) เป็นเครื่องมือการวัดและประเมินอภิปัญญาที่ให้ความสำคัญกับการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้วิจัยมุ่งศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ อีกทั้งมีการเพิ่มองค์ประกอบการประเมินให้สอดคล้องกับบริบทในการแก้โจทย์ปัญหา ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้องค์ประกอบของอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์และแบบวัดอภิปัญญาทางฟิสิกส์ของ Taasoobshirazi et al. (2015) ซึ่งเป็นมาตรประมาณค่า 5 ระดับแบบลิเคิร์ท โดยแต่ละระดับแสดงถึงระดับความเป็นจริงในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียน ได้แก่ 1 หมายถึง ไม่เป็นความจริงเลย, 2 หมายถึง ค่อนข้างจะไม่เป็นความจริง, 3 หมายถึง เป็นความจริงบางครั้ง, 4 หมายถึง ค่อนข้างจะเป็นความจริง และ 5 หมายถึง เป็นความจริงทุกครั้ง โดยแบบวัดอภิปัญญานี้จำแนกการประเมินออกเป็น 6 องค์ประกอบ ได้แก่ (1) ความรู้เกี่ยวกับการรู้คิด (2) การจัดการข้อมูล (3) การกำกับติดตาม (4) การประเมิน (5) การแก้ไขข้อผิดพลาด และ (6) การวางแผน ซึ่งผู้วิจัยนำเสนอตัวอย่างข้อคำถามในแบบวัดอภิปัญญาทางฟิสิกส์ของ Taasoobshirazi et al. (2015) ซึ่งมีลักษณะดังภาพ 7

ภาพ 7

*ตัวอย่างข้อคำถามในแบบสอบวัดอภิปัญญาทางฟิสิกส์*

1. I think about what a physics problem is asking before I begin to solve it__

1 2 3 4 5

2. While solving a physics problem, I ask myself periodically if I am metting my goals__

1 2 3 4 5

### 3.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอภิปัญญา

ผลการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอภิปัญญา พบว่า นอกจากการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือในการวัดและประเมินอภิปัญญา ซึ่งมีรายละเอียดดังที่กล่าวไปในหัวข้อ 3.3 แล้ว ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับผลของวิธีการ รูปแบบ หรือเทคนิคการจัดการเรียนรู้ต่าง ๆ ในการพัฒนาอภิปัญญาของนักเรียน ซึ่งสามารถจำแนกผลการศึกษาออกเป็น 2 ลักษณะ ตามตัวแปรตามที่มุ่งวัด ได้แก่ (1) การศึกษาเชิงเปรียบเทียบผลของตัวแปรอิสระที่มีต่ออภิปัญญาระหว่างก่อนการทดลอง

กับหลังการทดลอง และ (2) การศึกษาเชิงเปรียบเทียบผลของตัวแปรอิสระที่มีต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญา ซึ่งแต่ละลักษณะมีรายละเอียดดังนี้

**3.4.1 การศึกษาเชิงเปรียบเทียบผลของตัวแปรอิสระที่มีต่ออภิปัญญาระหว่างก่อนการทดลองกับหลังการทดลอง** โดยพบว่า มีการศึกษาเกี่ยวกับการนำวิธีการ รูปแบบ หรือเทคนิคการจัดการเรียนรู้ต่าง ๆ เพื่อพัฒนาอภิปัญญาของนักเรียนในหลายระดับการศึกษา เช่น รูปแบบการสอน PRIPARE (กาญจนา สามเตี้ย, 2551) การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามทฤษฎีการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา (ภัทรลักษณ์ สังข์วงษ์ และ เสารรัตน์ ภัทรฐิตินันท์, 2555) การจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐาน (ศศิธร เยื่อใย และคณะ, 2563) การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กลวิธีเอสซีพีซีและแนวคิดการเรียนรู้แบบร่วมมือ (อนุรักษ์ ไชยฮั่ง, 2555) ซึ่งจากทั้งหมดที่กล่าวมานั้นช่วยพัฒนาให้นักเรียนมีอภิปัญญาหลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลอง เป็นที่น่าสังเกตว่า การศึกษาในลักษณะนี้เป็นการศึกษาระยะสั้น กล่าวคือ ใช้เวลาในการดำเนินการทดลองประมาณ 1-2 เดือนก็สามารถเห็นผลได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้ เนื่องจากมีการจัดกระทำทุกคาบอย่างต่อเนื่อง เช่น งานวิจัยของภัทรลักษณ์ สังข์วงษ์ และ เสารรัตน์ ภัทรฐิตินันท์ (2555) ที่ใช้กับเนื้อหารายวิชาชีววิทยาระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ซึ่งมีจำนวน 3 คาบ/สัปดาห์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยเริ่มดำเนินการวิจัยตั้งแต่คาบแรกที่เรียนในหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง วิวัฒนาการ และจะสิ้นสุดลงเมื่อถึงคาบสุดท้ายที่เรียนในหน่วยการเรียนรู้ดังกล่าว

**3.4.2 การศึกษาเชิงเปรียบเทียบผลของตัวแปรอิสระที่มีต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญา** โดยพบว่า มีการศึกษาเกี่ยวกับการนำวิธีการ รูปแบบ หรือเทคนิคการจัดการเรียนรู้ต่าง ๆ เพื่อพัฒนาอภิปัญญาของนักเรียนเช่นเดียวกับลักษณะแรก เช่น การจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหา (Downing et al., 2009) สิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้ ซึ่งมีการศึกษาร่วมกับระดับเชาวน์ปัญญาเพิ่มเติมด้วย (de Jager et al., 2005) แต่ตัวแปรตามของการศึกษาในลักษณะนี้จะพิจารณาจากพัฒนาการด้านอภิปัญญาเป็นหลัก ซึ่งวัดเมื่อตอนต้นและตอนปลายปีการศึกษาในครั้งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เป็นที่น่าสังเกตว่า การศึกษาในระดับนี้เป็นการศึกษาระยะยาว กล่าวคือ ใช้ระยะเวลา 1 ปีการศึกษาในการดำเนินการทดลอง ทั้งนี้ เนื่องจากอภิปัญญาเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางความคิดและการรับรู้ซึ่งต้องใช้เวลาในการเปลี่ยนแปลงพอสมควร อีกทั้งเมื่อพิจารณาถึงพัฒนาการของตัวแปรดังกล่าวจึงต้องใช้ระยะเวลาที่มากกว่าการศึกษาในลักษณะแรก

โดยมีผลการสังเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังตาราง 3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง 3

*ผลการสังเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอภิปัญญา*

| ผู้วิจัย | ตัวแปรอิสระ | ตัวอย่างวิจัย | เครื่องมือที่ใช้ประเมิน | ระยะเวลาการวิจัย | ผลการวิจัย |
|---|---|---|---|---|---|
| **1. การศึกษาเชิงเปรียบเทียบผลของตัวแปรอิสระที่มีต่ออภิปัญญาระหว่างก่อนการทดลองกับหลังการทดลอง** | | | | | |
| กาญจนา สามเตี้ย (2551) | รูปแบบการสอน PRIPARE | ปฐมวัย | แบบบันทึกการสอบปากเปล่า | 2 เดือน (24 คาบ) | หลังทดลอง > ก่อนทดลอง |
| ภัทรลักษณ์ สังข์วงษ์ และเสารรัตน์ ภัทรฐิตินันท์ (2555) | การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามทฤษฎีการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญา | มัธยมศึกษา | 1. แบบวัดประเภทเขียนตอบ<br>2. มาตรประมาณค่า<br>3. แบบบันทึกการสังเกต | 1 เดือน (12 คาบ) | หลังทดลอง > ก่อนทดลอง |
| ศศิธร เยื่อใย และคณะ (2563) | การจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐาน | มัธยมศึกษา | 1. แบบสอบประเภทเลือกตอบ<br>2. มาตรประมาณค่า<br>3. แบบบันทึก | 1 เดือน (12 คาบ) | 1. อภิปัญญา: หลังทดลอง > ก่อนทดลอง<br>2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์: หลังทดลอง > ก่อนทดลอง |
| อนุรักษ์ ไชยฮั่ง (2555) | การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กลวิธีเอสซีพีซีและแนวคิดการเรียนรู้แบบร่วมมือ | มัธยมศึกษา | 1. แบบสอบประเภทเขียนตอบ<br>2. มาตรประมาณค่า<br>3. แบบบันทึก | 1.5 เดือน (18 คาบ) | 1. ความสามารถในการเขียนร้อยแก้วเชิงสร้างสรรค์ในภาพรวมและรายด้าน: หลังทดลอง > ก่อนทดลอง<br>2. อภิปัญญาในการเขียนในภาพรวมและรายด้าน: หลังทดลอง > ก่อนทดลอง |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง 3 (ต่อ)

*ผลการสังเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอภิปัญญา*

| ผู้วิจัย | ตัวแปรอิสระ | ตัวอย่างวิจัย | เครื่องมือที่ใช้ประเมิน | ระยะเวลาการวิจัย | ผลการวิจัย |
|---|---|---|---|---|---|
| **2. การศึกษาเชิงเปรียบเทียบผลของตัวแปรอิสระที่มีต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญา** | | | | | |
| de Jager et al. (2005) | 1. สิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้ (การสอนทางตรง, การฝึกหัดทางปัญญา, การสอนปกติ)<br>2. ระดับเชาวน์ปัญญา | ประถมศึกษา | มาตรประมาณค่า | 1 ปีการศึกษา | 1. การสอนทางตรง, การฝึกหัดทางปัญญา > การสอนปกติ<br>2. ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งแวดล้อมทางการเรียนรู้กับระดับเชาวน์ปัญญา |
| Downing et al. (2009) | การจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหา | อุดมศึกษา | มาตรประมาณค่า | 1 ปีการศึกษา | การจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหา > การจัดการเรียนรู้แบบปกติ |

**ตอนที่ 4 คะแนนพัฒนาการ**

รายละเอียดเกี่ยวกับคะแนนพัฒนาการสามารถแบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 หัวข้อ ประกอบด้วย (1) ความหมายของคะแนนพัฒนาการ (2) ประเภทของวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการ และ (3) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการแบบดั้งเดิม ซึ่งแต่ละหัวข้อมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**4.1 ความหมายของคะแนนพัฒนาการ**

คะแนนพัฒนาการ (growth score) หมายถึง คะแนนที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างคะแนนที่วัดก่อนได้รับการจัดกระทำกับคะแนนที่วัดหลังได้รับการจัดกระทำตั้งแต่ 2 ครั้งขึ้นไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของคะแนนที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นถึงพัฒนาการทางการเรียนรู้ของนักเรียน ทั้งนี้ คะแนนพัฒนาการอาจใช้คำอื่นทดแทนได้หากเป็นการเปรียบเทียบผลการวัดเพียง 2 ครั้ง เช่น คะแนนเพิ่ม (gain score) คะแนนความแตกต่าง (difference score) (นิอร ไชยพรพัฒนา, 2549; อวยพร เรืองตระกูล, 2544)

**4.2 ประเภทของวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการ**

การวัดคะแนนพัฒนาการสามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภท ตามแนวคิดพื้นฐานและข้อตกลงเบื้องต้นของทฤษฎีการทดสอบ ได้แก่ (1) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการตามทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม และ (2) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการตามทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ ซึ่งวิธีการวัดแต่ละประเภทมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (นงลักษณ์ วิรัชชัย, 2542 อ้างถึงใน อวยพร เรืองตระกูล, 2544)

**4.2.1 วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการตามทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม** เป็นวิธีการวัดคะแนน พัฒนาการ ซึ่งพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของคะแนนระหว่างก่อนได้รับการจัดกระทำกับหลังได้รับการจัดกระทำ โดยคะแนนความคลาดเคลื่อนของการวัดมีค่าเท่ากันและหักล้างกันหมดไป ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภทย่อย ตามจำนวนครั้งของการวัด ได้แก่ (1) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการแบบดั้งเดิม และ (2) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการแนวใหม่ โดยแต่ละวิธีการมีรายละเอียด ดังนี้ (นิอร ไชยพรพัฒนา, 2549)

1) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการแบบดั้งเดิม เป็นวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลคะแนนที่มีการวัด จำนวน 2 ครั้ง ได้แก่ ก่อนได้รับการจัดกระทำ และหลังได้รับการจัดกระทำมาคำนวณหาคะแนนพัฒนาการ

2) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการแนวใหม่ เป็นวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลคะแนนที่มีการวัดมากกว่า 2 ครั้งขึ้นไป มาวิเคราะห์โดยใช้โมเดลในการประมาณค่าคะแนนพัฒนาการ เช่น โมเดลสมการโครงสร้าง โมเดลพัฒนาการเชิงเส้นโค้งที่มีตัวแปรแฝง

**4.2.2 วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการตามทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ** เป็นวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการ ซึ่งพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ หรือค่าพารามิเตอร์ของผู้สอบอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภทย่อย ตามการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ (1) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการที่มาจากค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ และ (2) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการที่มาจากค่าพารามิเตอร์ของผู้สอบ โดยแต่ละวิธีการมีรายละเอียด ดังนี้

1) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการที่มาจากค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบ เป็นวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการที่มาจากการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบเท่านั้น โดยกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของผู้สอบคงที่

2) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการที่มาจากค่าพารามิเตอร์ของผู้สอบ เป็นวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการที่มาจากการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ของผู้สอบเท่านั้น โดยกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของข้อสอบคงที่

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการตามทฤษฎีการทดสอบทั้งสองทฤษฎี พบว่า วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการตามทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิมมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการตามทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ (อวยพร เรืองตระกูล, 2544) ประกอบกับผู้วิจัยได้พัฒนาและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือเป็นไปตามทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการแบบดั้งเดิมตามทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพบริบทในการวิจัย ซึ่งจะได้กล่าวถึงเป็นลำดับถัดไป

**4.3 วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการแบบดั้งเดิม**

การวัดคะแนนพัฒนาการแบบดั้งเดิม เป็นวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลคะแนนที่มีการวัดจำนวน 2 ครั้ง ได้แก่ ก่อนได้รับการจัดกระทำ และหลังได้รับการจัดกระทำ มาคำนวณหาคะแนนพัฒนาการ ซึ่งมีวิธีการวัดทั้งหมด 11 วิธี ประกอบด้วย (1) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการจากความแตกต่างระหว่างคะแนนดิบ (2) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการที่แท้จริงของลอร์ด (3) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการส่วนที่เหลือ (4) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการที่เป็นอิสระจากคะแนนสอบก่อนเรียน (5) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการจากคะแนนมาตรฐาน (6) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการจากลอการิทึมของคะแนนดิบ (7) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์ (8) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการโดยขจัดอิทธิพลเพดาน (9) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการโดยเทียบส่วนร้อยของคะแนนพัฒนาการ (10) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการโดยเทียบคะแนนพัฒนาการกับศักยภาพของผู้สอบ และ (11) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์สมดุล โดยแต่ละวิธีมีรายละเอียดเกี่ยวกับแนวคิด ข้อดี และข้อจำกัด ดังต่อไปนี้ (นิอร ไชยพรพัฒนา, 2549; อวยพร เรืองตระกูล, 2544)

**4.3.1 วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการจากความแตกต่างระหว่างคะแนนดิบ (observed difference score method)** เป็นวิธีที่ประมาณค่าคะแนนพัฒนาการจากผลต่างระหว่างคะแนนสอบหลังเรียนและคะแนนสอบก่อนเรียน โดยใช้แบบสอบชุดเดียวกันหรือแบบสอบคู่ขนานกันที่มุ่งวัดคุณลักษณะเดียวกันวัดทั้งสองครั้ง (Pike, 1991 อ้างถึงใน อวยพร เรืองตระกูล, 2544) ซึ่งสามารถคำนวณได้ง่าย แต่ในขณะเดียวกันก็พบว่าวิธีดังกล่าวฝ่าฝืนข้อตกลงเบื้องต้นของทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนของคะแนนสอบก่อนเรียนและคะแนนสอบหลังเรียนไม่เป็นอิสระต่อกัน รวมถึงเกิดความไม่ยุติธรรมแก่ผู้ที่ได้คะแนนสอบก่อนเรียนสูง เนื่องจาก

มีโอกาสที่จะได้คะแนนสอบหลังเรียนเพิ่มขึ้นนั้นมีน้อยกว่าผู้ที่ได้คะแนนสอบก่อนเรียนต่ำ (Willet, 1994 อ้างถึงใน นิอร ไชยพรพัฒนา, 2549)

**4.3.2 วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการที่แท้จริงของลอร์ด (estimated true gain score method)** เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นโดย Lord ซึ่งประมาณค่าคะแนนพัฒนาการจากผลต่างระหว่างคะแนนจริงด้วยหลักการถดถอยพหุคูณ โดยมีคะแนนดิบก่อนเรียนและคะแนนดิบหลังเรียนเป็นตัวทำนาย ทำให้เกิดความยุติธรรมในการวัด เนื่องจากผู้ที่ทำคะแนนสอบก่อนเรียนได้สูงกว่าจะมีคะแนนพัฒนาการสูง เพราะว่าผลต่างระหว่างคะแนนดิบก่อนเรียนกับคะแนนดิบหลังเรียนมีค่าเท่ากัน แต่ในขณะเดียวกันก็พบว่าพิสัยของคะแนนพัฒนาการจะแคบกว่าพิสัยของคะแนนพัฒนาการที่ได้จากวิธีการวัดจากความแตกต่างระหว่างคะแนนดิบ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของวิธีการดังกล่าว

**4.3.3 วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการส่วนที่เหลือ (residual change score method)** เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นโดย DuBois ซึ่งประมาณค่าคะแนนพัฒนาการจากผลต่างระหว่างคะแนนดิบหลังเรียนกับคะแนนทำนายหลังเรียน ซึ่งสามารถทำนายได้ด้วยคะแนนดิบก่อนเรียน (Pike, 1991 อ้างถึงใน อวยพร เรืองตระกูล, 2544) โดยเป็นไปตามหลักการถดถอย กล่าวคือ กำหนดให้การวัดในครั้งแรกเป็นตัวแปรอิสระและการวัดในครั้งหลังเป็นตัวแปรตาม ทำให้คะแนนพัฒนาการที่ได้นั้นเป็นอิสระจากการวัดครั้งแรกที่ใช้เป็นคะแนนฐาน แต่หากคะแนนสอบก่อนเรียนและคะแนนสอบหลังเรียนมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง จะทำให้ความเที่ยงของคะแนนพัฒนาการมีค่าต่ำ และไม่สามารถแสดงถึงพัฒนาการรายบุคคลได้โดยตรง ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดของวิธีการวัดนี้ (อรุณี อ่อนสวัสดิ์, 2537 อ้างถึงใน นิอร ไชยพรพัฒนา, 2549)

**4.3.4 วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการที่เป็นอิสระจากคะแนนสอบก่อนเรียน (based-free measure of change score method)** เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นโดย Tucker, Damarin และ Messick ซึ่งประมาณค่าคะแนนพัฒนาการจากผลต่างระหว่างคะแนนดิบหลังเรียนกับคะแนนทำนายหลังเรียนเช่นเดียวกับวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการส่วนที่เหลือ แต่คะแนนทำนายหลังเรียนสามารถทำนายได้ด้วยคะแนนจริงก่อนเรียน โดยคะแนนพัฒนาการและคะแนนจริงก่อนเรียนจะเป็นอิสระต่อกัน อีกทั้งสามารถกำจัดความสัมพันธ์ลวงระหว่างคะแนนพัฒนาการกับคะแนนเริ่มต้น แต่หากคะแนนสอบก่อนเรียนและคะแนนสอบหลังเรียนมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง จะทำให้ความเที่ยงของคะแนนพัฒนาการมีค่าต่ำ และไม่สามารถแสดงถึงพัฒนาการรายบุคคลได้โดยตรง ซึ่งเป็นข้อจำกัดของวิธีการวัดนี้เช่นเดียวกับวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการส่วนที่เหลือ (อรุณี อ่อนสวัสดิ์, 2537 อ้างถึงใน นิอร ไชยพรพัฒนา, 2549)

**4.3.5 วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการจากคะแนนมาตรฐาน (standard score method)** เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นโดย Labouvie ซึ่งประมาณค่าคะแนนพัฒนาการจากผลต่างระหว่างคะแนนมาตรฐานของคะแนนสอบหลังเรียนกับคะแนนมาตรฐานของคะแนนสอบก่อนเรียน ทำให้สามารถเปรียบเทียบคะแนนพัฒนาการระหว่างบุคคลหรือรายวิชาที่แตกต่างกันได้ เนื่องจากวิธีการดังกล่าวช่วยแก้ปัญหากรณีคะแนนสอบก่อนเรียนและคะแนนสอบหลังเรียนมีการแจกแจงแตกต่างกัน (อวยพร เรืองตระกูล, 2544)

**4.3.6 วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการจากลอการิทึมของคะแนนดิบ (logarithm of observed score method)** เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นโดย Tornqvist, Vartia และ Vartia ซึ่งประมาณค่าคะแนนพัฒนาการจากผลต่างระหว่างผลต่างระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของคะแนนสอบหลังเรียนกับลอการิทึมธรรมชาติของคะแนนสอบก่อนเรียน (Burr & Nesselroade, 1990 อ้างถึงใน อวยพร เรืองตระกูล, 2544) ซึ่งการใช้ลอการิทึมธรรมชาติจะช่วยแปลงคะแนนให้มีการแจกแจงแบบสมมาตร เป็นฟังก์ชันบวก และมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติได้

**4.3.7 วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์ (relative gain score method)** เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นโดยศิริชัย กาญจนวาสี (2532 อ้างถึงใน อวยพร เรืองตระกูล, 2544) ซึ่งประมาณค่าคะแนนพัฒนาการจากอัตราส่วนร้อยละของผลต่างระหว่างคะแนนสอบหลังเรียนกับคะแนนสอบก่อนเรียนต่อผลต่างระหว่างคะแนนเต็มกับคะแนนสอบก่อนเรียน ซึ่งช่วยแก้ปัญหาเกี่ยวกับอิทธิพลเพดานของคะแนนในกรณีที่นักเรียนสอบได้คะแนนก่อนเรียนและคะแนนหลังเรียนในระดับสูงและไม่แตกต่างกัน อีกทั้งเป็นวิธีการที่น่าเชื่อถือ ง่ายต่อการคำนวณ และสะดวกในการนำไปใช้และแปลความหมายของคะแนนได้ชัดเจน (โชติกา ภาษีผล, 2559; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556)

**4.3.8 วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการโดยขจัดอิทธิพลเพดาน (ceiling effect score method)** เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นโดยอรุณี อ่อนสวัสดิ์ (2537 อ้างถึงใน อวยพร เรืองตระกูล, 2544) ซึ่งอาศัยแนวคิดตามทฤษฎีการเรียนรู้ของบลูมและอิทธิพลเพดาน โดยประมาณค่าคะแนนพัฒนาการได้จากฟังก์ชันของพื้นความรู้เดิม การเรียนการสอน และอิทธิพลเพดาน ซึ่งวิธีการดังกล่าวสามารถแก้ปัญหาของอิทธิพลเพดานได้เช่นเดียวกับวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์ แต่ในขณะเดียวกันผลการวัดคะแนนพัฒนาการนั้นจะมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อคะแนนสอบก่อนเรียนและคะแนนสอบหลังเรียนมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดของวิธีการวัดนี้

**4.3.9 วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการโดยเทียบส่วนร้อยของคะแนนพัฒนาการ** เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นโดยวินิจ เทือกทอง (2537 อ้างถึงใน อวยพร เรืองตระกูล, 2544) ซึ่งนำค่าคะแนน

พัฒนาการที่คำนวณได้จาก 3 วิธี ได้แก่ วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการจากความแตกต่างระหว่างคะแนนดิบ วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการที่แท้จริงของลอร์ด และวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการส่วนที่เหลือมาเทียบกับส่วนร้อยกับคะแนนสอบครั้งแรก ทำให้อัตราพัฒนาการที่ประมาณค่าได้ของแต่ละคนขึ้นอยู่กับพื้นความรู้เดิมของตนเอง กล่าวคือ ผู้สอบที่มีพื้นความรู้เดิมสูงจะมีอัตราคะแนนพัฒนาการสูงกว่าผู้สอบที่มีพื้นความรู้เดิมต่ำ แต่ก็พบว่าเกิดความคลาดเคลื่อนสูงกว่าวิธีที่ยังไม่มีการแก้ปัญหาของอิทธิพลเพดานในการวัดคะแนนเพิ่ม

**4.3.10 วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการโดยเทียบคะแนนพัฒนาการกับศักยภาพของผู้สอบ** เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นโดยวินิจ เทือกทอง (2537 อ้างถึงใน อวยพร เรืองตระกูล, 2544) ซึ่งมีแนวคิดในการคำนวณคล้ายกับวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการโดยเทียบส่วนร้อยของคะแนนพัฒนาการ โดยนำค่าคะแนนพัฒนาการที่คำนวณได้จาก 3 วิธี ได้แก่ (1) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการจากความแตกต่างระหว่างคะแนนดิบ (2) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการที่แท้จริงของลอร์ด และ (3) วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการส่วนที่เหลือ แต่ฐานที่ใช้ในการเทียบนั้นเปลี่ยนจากคะแนนสอบครั้งแรกเป็นคะแนนศักยภาพของผู้สอบ ซึ่งสามารถประมาณค่าได้จากผลต่างของคะแนนเต็มกับคะแนนสอบครั้งหลัง ทำให้อัตราพัฒนาการที่ประมาณค่าได้ของแต่ละคนขึ้นอยู่กับศักยภาพของตนเอง กล่าวคือ ผู้สอบที่มีศักยภาพสูงจะมีอัตราคะแนนพัฒนาการสูงกว่าผู้สอบที่มีศักยภาพต่ำ แต่ก็พบว่าเกิดความคลาดเคลื่อนสูงกว่าวิธีที่ยังไม่มีการแก้ปัญหาของอิทธิพลเพดานในการวัดคะแนนเพิ่มเช่นเดียวกับวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการโดยเทียบส่วนร้อยของคะแนนพัฒนาการ

**4.3.11 วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์สมดุล** (balanced relative gain score method) เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นโดย Archwamety, Tangdhanakanond, & Pitiyanuwat (2005 อ้างถึงใน นิอร ไชยพรพัฒนา, 2549) ซึ่งประมาณค่าคะแนนพัฒนาการจากอัตราส่วนร้อยละระหว่างผลต่างระหว่างคะแนนสอบหลังเรียนกับคะแนนสอบก่อนเรียนต่อผลต่างระหว่างคะแนนเต็มกับครึ่งหนึ่งของผลบวกของคะแนนสอบก่อนเรียนและคะแนนสอบหลังเรียน ซึ่งช่วยปรับสมดุลปัญหาเกี่ยวกับขนาดของคะแนนเพิ่มต่อคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์

ผลการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการแบบดั้งเดิมบางวิธี พบว่า ประสิทธิภาพของวิธีการวัดขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญบางประการ เช่น รูปแบบการเปลี่ยนแปลงข้อมูล จำนวนครั้งของการวัดซ้ำ รูปแบบการตรวจให้คะแนน ซึ่งนิอร ไชยพรพัฒนา (2549) พบว่า วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการจากความแตกต่างระหว่างคะแนนดิบและวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์สมดุล ยกเว้นกรณี

ที่ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงแบบเป็นเส้นตรงที่มีการวัดซ้ำจำนวน 5 ครั้ง และกรณีที่ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่เป็นเส้นตรงที่มีการวัดซ้ำจำนวน 3 ครั้ง เช่นเดียวกับอวยพร เรืองตระกูล (2544) ที่พบว่า วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการจากความแตกต่างระหว่างคะแนนดิบและวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการจากคะแนนมาตรฐาน วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการจากลอการิทึมของคะแนนดิบ และและวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการโดยการเทียบคะแนนพัฒนาการกับศักยภาพของผู้สอบ เมื่อมีการวัดซ้ำจำนวน 3 ครั้ง และมีรูปแบบการตรวจให้คะแนนแบบทวิวิภาคและแบบความรู้บางส่วน แต่วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการโดยการเทียบคะแนนพัฒนาการกับศักยภาพของผู้สอบจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการอื่น เมื่อมีการวัดซ้ำจำนวน 5 ครั้ง และมีรูปแบบการตรวจให้คะแนนแบบทวิวิภาค โดยมีผลการสังเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังตาราง 4

ตาราง 4

*ผลการสังเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการแบบดั้งเดิม*

| ชื่อผู้วิจัย | ข้อมูลที่ใช้ | รูปแบบการเปลี่ยนแปลงข้อมูล | | จำนวนครั้งของการวัดซ้ำ | | | รูปแบบการตรวจให้คะแนน | | ผลการศึกษา |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | เส้นตรง | ไม่เป็น | 3 | 4 | 5 | ทวิวิภาค | ความรู้บางส่วน | |
| นิอร ไชยพร พัฒนา (2549) | จำลองข้อมูล | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | - | - | RG > DS, BRG |
| | | ✓* | | ✓ | ✓ | | - | - | RG > DS, BRG |
| | | | | | | ✓ | - | - | BRG > DS, RG |
| | | | ✓ | ✓ | | | - | - | BRG > DS, RG |
| | | | | | ✓ | ✓ | - | - | RG > DS, BRG |
| อวยพร เรืองตระกูล (2544) | แบบสอบ | - | - | ✓ | | | ✓ | ✓ | DS, RG > SC, NL, SRR |
| | ข้อมูลทุติยภูมิ | - | - | | | ✓ | ✓ | | SRR > DS, SC, NL, RG |

*หมายเหตุ: * ข้อมูลในแต่ละครั้งของการวัดซ้ำมีค่าใกล้เคียงกันมากกว่า*

*- หมายถึง ไม่ปรากฏการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยดังกล่าวในงานวิจัยนั้น*

*DS หมายถึง วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการจากความแตกต่างระหว่างคะแนนดิบ*

*SC หมายถึง วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการจากคะแนนมาตรฐาน*

*NL หมายถึง วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการจากลอการิทึมของคะแนนดิบ*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

*RG หมายถึง วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์*

*BRG หมายถึง วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์สมดุล*

*SRR หมายถึง วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการส่วนที่เหลือโดยเทียบคะแนนพัฒนาการกับศักยภาพของผู้สอบ*

เมื่อพิจารณาผลการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการแบบดั้งเดิมบางวิธี พบว่า วิธีการวัดคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการอื่น เมื่อมีการวัดซ้ำจำนวน 3 ครั้ง รวมถึงมีรูปแบบการตรวจให้คะแนนแบบทวิภาคและความรู้บางส่วน ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยในครั้งนี้ เนื่องจากผู้วิจัยต้องการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จำนวน 3 ครั้ง และมีรูปแบบการตรวจให้คะแนนแบบทวิภาค รวมถึงอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จำนวน 2 ครั้ง และมีรูปแบบการตรวจให้คะแนนแบบความรู้บางส่วน อีกทั้งสามารถแก้ปัญหาของอิทธิพลเพดานในการวัดคะแนนเพิ่ม รวมถึงง่ายต่อการคำนวณ และสะดวกในการนำไปใช้และแปลความหมายของคะแนนได้ชัดเจน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์มาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ซึ่งจะได้กล่าวถึงสูตรการคำนวณและนิยามของแต่ละตัวแปรในบทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย เป็นลำดับถัดไป

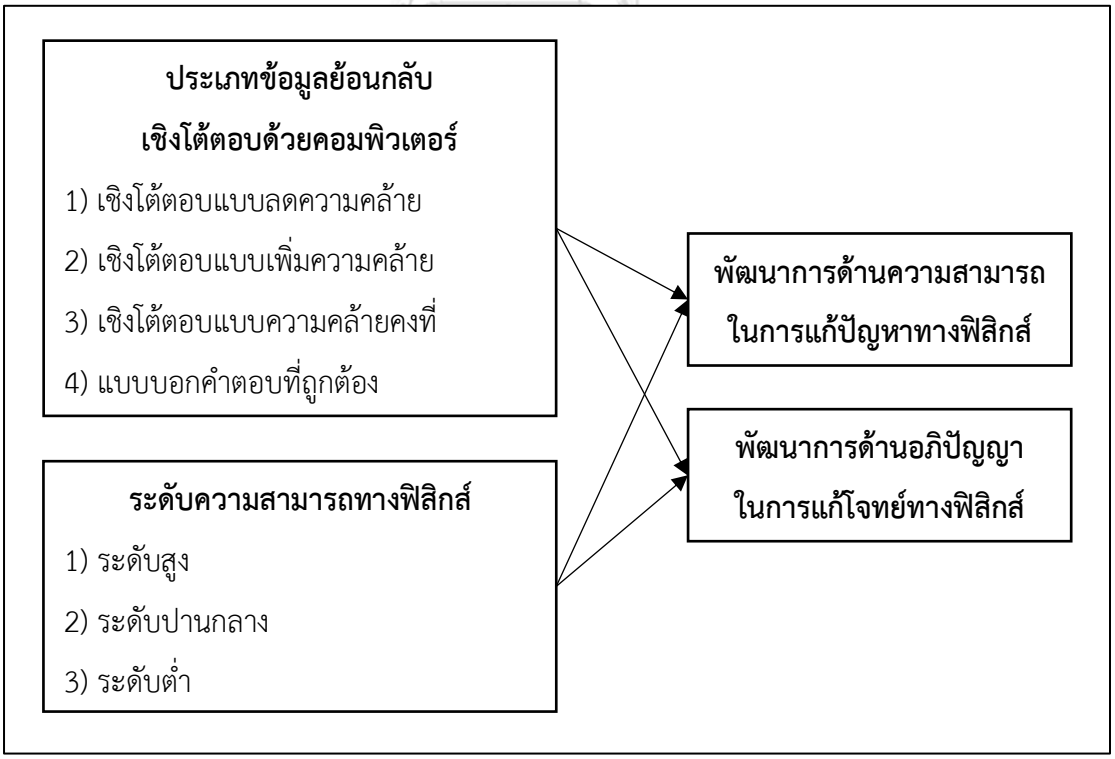
**ตอนที่ 5 กรอบแนวคิดการวิจัย**

จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยเรื่องปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 เพื่อสร้างกรอบแนวคิดการวิจัย โดยมีตัวแปรอิสระจำนวน 2 ตัวแปร ได้แก่ ประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ และระดับความสามารถทางฟิสิกส์ และตัวแปรตามจำนวน 2 ตัวแปร ได้แก่ พัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ และพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ทั้งนี้ผู้วิจัยเลือกศึกษาประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์จำนวน 4 ประเภท ได้แก่ (1) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย (2) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย (3) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ และ (4) ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง โดยข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ 3 ประเภทแรกเป็นข้อมูลย้อนกลับแบบให้คำชี้แนะด้วยตัวอย่างโจทย์ ซึ่งเป็นข้อมูลย้อนกลับที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับกลุ่มเนื้อหารายวิชาด้านคำนวณ เช่น ฟิสิกส์ (กิตติทัศน์ หวานฉ่ำ, 2560; อนงค์ เมธีพิทักษ์ธรรม, 2555; Attali, 2015; Narciss et al., 2014) ซึ่งแตกต่างไปจากข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง เนื่องจากให้รายละเอียดเกี่ยวกับความถูกต้องของผลการตอบ

ซึ่งเป็นพื้นฐานทั่วไปของข้อมูลย้อนกลับประเภทอื่น (สุวรัตน์ ทองพันชั่ง, 2560; อนงค์ เมธีพิทักษ์ธรรม, 2555) โดยข้อมูลย้อนกลับมีประโยชน์ในการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ (Attali, 2015; Attali & van der Kleij, 2017) ตลอดจนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ (Schunk, 2008; Zimmerman, 2006) อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการใช้ประโยชน์จากข้อมูลย้อนกลับของนักเรียนแต่ละคนมีไม่เท่ากัน ซึ่งแตกต่างกันไปตามระดับความสามารถทางการเรียน ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำระดับความสามารถทางฟิสิกส์เข้ามาพิจารณาเป็นอีกตัวแปรหนึ่งด้วย ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยสนใจศึกษาว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทของข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนหรือไม่ อย่างไร และนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันมีพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร โดยกรอบแนวคิดการวิจัยมีรายละเอียดดังภาพ 8

ภาพ 8

*กรอบแนวคิดการวิจัย*



# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัย เรื่อง ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีวัตถุประสงค์การวิจัย 2 ข้อ ได้แก่ (1) เพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับ ระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 และ (2) เพื่อเปรียบเทียบพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน โดยผู้วิจัยดำเนินการวิจัยตามระเบียบวิธีวิทยาการวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**รูปแบบการวิจัย**

จากการศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการกำหนดรูปแบบการวิจัย เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการศึกษาพัฒนาการทางการเรียนรู้ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษา พบว่าส่วนใหญ่ใช้ระยะเวลาประมาณ 4-5 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง (สุชาดา โรจนาศัย, 2548; สุวรัตน์ ทองพันชั่ง, 2560) ซึ่งสุวรัตน์ ทองพันชั่ง (2560) มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์แก่นักเรียนจำนวน 4 ครั้ง และเมื่อพิจารณาถึงเวลาที่ใช้ในการดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลในแต่ละครั้งโดยละเอียด พบว่า นักเรียนจะต้องทำแบบสอบก่อนเรียนโดยใช้เวลา 20 นาที จากนั้นจึงทำแบบฝึกทักษะในโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้เวลา 60 นาที และทำแบบสอบหลังเรียนโดยใช้เวลาอีก 20 นาที ดังนั้นเวลาที่ใช้ทั้งหมดในแต่ละครั้งจึงเท่ากับ 80 นาที ซึ่งผู้วิจัยมีความเห็นว่าการวิจัยในครั้งนี้ควรใช้เวลาให้สอดคล้องกับสภาพจริงมากที่สุด และเมื่อพิจารณาถึงเนื้อหารายวิชาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ พบว่า นักเรียนจะต้องใช้เวลาพอสมควรในการฝึกฝนแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ผ่านการคิดคำนวณ รวมถึงศึกษาและโต้ตอบกับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบตามขั้นตอนที่ผู้วิจัยได้สังเคราะห์ขึ้น ด้วยเหตุนี้ การดำเนินการในแต่ละครั้งจึงควรเป็นการสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์หรือการทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์อย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น ประกอบกับควรศึกษาในระยะยาวที่สุดเท่าที่บริบทจะเอื้ออำนวยในการดำเนินการวิจัยได้ เนื่องจากช่วยให้เห็นพัฒนาการทางการเรียนรู้ได้อย่างชัดเจน

มากขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงตัดสินใจที่จะศึกษาพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์เป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง โดยทำแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในครั้งที่ 1, 3 และ 5 และทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ในครั้งที่ 2 และ 4 ซึ่งถือเป็นการจัดกระทำในการวิจัยครั้งนี้ จากนั้นจึงนำผลคะแนนที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูลเป็นลำดับถัดไป

เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการศึกษาพัฒนาการด้านอภิปัญญา พบว่า ส่วนใหญ่ระยะเวลา 1 ปีการศึกษา โดยทำการวัดอภิปัญญาในช่วงตอนต้นปีการศึกษา (ก่อนการทดลอง) และช่วงตอนปลายปีการศึกษา (หลังการทดลอง) เนื่องจากอภิปัญญาเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางความคิดและการรับรู้ซึ่งต้องใช้เวลาในการเปลี่ยนแปลงพอสมควร (de Jager et al., 2005; Downing et al., 2009) แต่เนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ที่เกิดขึ้นในช่วงดำเนินการวิจัย ทำให้เกิดข้อจำกัดเป็นจำนวนมากจนไม่สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลในระยะยาวได้ ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงมีความจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนรูปแบบการวิจัยบางส่วน โดยลดช่วงระยะเวลาในการศึกษาลงจากเดิมเหลือเพียง 1 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของภัทรลักษณ์ สังข์วงษ์ และ เสารรัตน์ ภัทรฐิตินันท์ (2555) และศศิธร เยื่อใย และคณะ (2563) แม้ว่างานวิจัยทั้งสองนั้นจะเป็นการศึกษาเชิงเปรียบเทียบอภิปัญญาระหว่างก่อนการทดลองกับหลังการทดลองก็ตาม

การวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัยกึ่งทดลอง (quasi-experimental design) แบบ 4 x 3 แฟคทอเรียลที่ทำการทดลองซ้ำในตัวอย่างเดิม (4 x 3 repeated measured factorial design) โดยจำแนกกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมตามตัวแปรอิสระจำนวน 2 ตัวแปร ได้แก่ (1) ประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ จำนวน 4 ประเภท ได้แก่ ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคลาด ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคลาด ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคลาดคงที่ และข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง และ (2) ระดับความสามารถทางฟิสิกส์ จำนวน 3 ระดับ ได้แก่ ความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูง ความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลาง และความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำ ดังนั้นตัวอย่างวิจัยจึงสามารถจำแนกออกเป็น 12 กลุ่ม ได้แก่ (1) กลุ่มนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงและได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคลาดด้วยคอมพิวเตอร์ (2) กลุ่มนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางและได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคลาดด้วยคอมพิวเตอร์ (3) กลุ่มนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำและได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคลาดด้วยคอมพิวเตอร์ (4) กลุ่มนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงและได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคลาด

ด้วยคอมพิวเตอร์ (5) กลุ่มนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางและได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้ายด้วยคอมพิวเตอร์ (6) กลุ่มนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำและได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้ายด้วยคอมพิวเตอร์ (7) นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงและได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ด้วยคอมพิวเตอร์ (8) นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางและได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ด้วยคอมพิวเตอร์ (9) นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำและได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ด้วยคอมพิวเตอร์ (10) นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงและได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องด้วยคอมพิวเตอร์ (11) นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางและได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องด้วยคอมพิวเตอร์ และ (12) นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำและได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องด้วยคอมพิวเตอร์ โดยกลุ่มที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ (กลุ่มที่ 1-9) เป็นกลุ่มทดลอง ส่วนกลุ่มที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องด้วยคอมพิวเตอร์ (กลุ่มที่ 10-12) เป็นกลุ่มควบคุม เนื่องจากเป็นข้อมูลย้อนกลับที่ให้รายละเอียดเกี่ยวกับความถูกต้องของผลการตอบ พร้อมคำตอบที่ถูกต้อง ซึ่งเป็นพื้นฐานโดยทั่วไปของข้อมูลย้อนกลับประเภทอื่นและเป็นที่นิยมใช้ในสภาพการจัดการเรียนรู้ปกติมากที่สุด (สุวรัตน์ ทองพันชั่ง, 2560; อนงค์ เมธีพิทักษ์ธรรม, 2555) ดังนั้นตัวอย่างวิจัยจึงสามารถจำแนกได้ออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มทดลอง จำนวน 9 กลุ่ม และกลุ่มควบคุม จำนวน 3 กลุ่ม โดยแต่ละกลุ่มสามารถเขียนแทนเป็นสัญลักษณ์แสดงแทนได้ ดังตาราง 5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง 5

*ลักษณะของตัวอย่างการวิจัย*

| **ประเภทข้อมูลย้อนกลับ** | **ระดับความสามารถทางฟิสิกส์** | | |
|---|---|---|---|
| | **ระดับสูง** | **ระดับปานกลาง** | **ระดับต่ำ** |
| 1. แบบลดความคล้าย | $E_1$ | $E_2$ | $E_3$ |
| 2. แบบเพิ่มความคล้าย | $E_4$ | $E_5$ | $E_6$ |
| 3. แบบความคล้ายคงที่ | $E_7$ | $E_8$ | $E_9$ |
| 4. แบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง | $C_1$ | $C_2$ | $C_3$ |

กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมทุกกลุ่มจะต้องผ่านกระบวนการทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ จำนวน 2 ชุด โดยแต่ละกลุ่มจะได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันตามที่ได้จำแนกไว้ข้างต้น และผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมผลคะแนนจากการทำแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ จำนวน 3 ครั้ง ได้แก่ ก่อนใช้ชุดฝึก ระหว่างใช้ชุดฝึก และหลังใช้ชุดฝึก และแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับภาษาไทย จำนวน 2 ครั้ง ได้แก่ ก่อนใช้ชุดฝึก และหลังใช้ชุดฝึก ซึ่งทั้งหมดกระบวนการดำเนินการวิจัยนี้สามารถเขียนเป็นแบบแผนการวิจัยได้ ดังภาพ 9

ภาพ 9

*แบบแผนการวิจัย*

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $E_1$ | $O_1$ | $X_{11}$ | $O_2$ | $X_{12}$ | $O_3$ |
| $E_2$ | $O_1$ | $X_{11}$ | $O_2$ | $X_{12}$ | $O_3$ |
| $E_3$ | $O_1$ | $X_{11}$ | $O_2$ | $X_{12}$ | $O_3$ |
| $E_4$ | $O_1$ | $X_{21}$ | $O_2$ | $X_{22}$ | $O_3$ |
| $E_5$ | $O_1$ | $X_{21}$ | $O_2$ | $X_{22}$ | $O_3$ |
| $E_6$ | $O_1$ | $X_{21}$ | $O_2$ | $X_{22}$ | $O_3$ |
| $E_7$ | $O_1$ | $X_{31}$ | $O_2$ | $X_{32}$ | $O_3$ |
| $E_8$ | $O_1$ | $X_{31}$ | $O_2$ | $X_{32}$ | $O_3$ |
| $E_9$ | $O_1$ | $X_{31}$ | $O_2$ | $X_{32}$ | $O_3$ |
| $C_1$ | $O_1$ | $X_{41}$ | $O_2$ | $X_{42}$ | $O_3$ |
| $C_2$ | $O_1$ | $X_{41}$ | $O_2$ | $X_{42}$ | $O_3$ |
| $C_3$ | $O_1$ | $X_{41}$ | $O_2$ | $X_{42}$ | $O_3$ |

เมื่อ

$E_1$ หมายถึง กลุ่มทดลองที่ 1 นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้ายด้วยคอมพิวเตอร์

$E_2$ หมายถึง กลุ่มทดลองที่ 2 นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้ายด้วยคอมพิวเตอร์

$E_3$ หมายถึง กลุ่มทดลองที่ 3 นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้ายด้วยคอมพิวเตอร์

$E_4$ หมายถึง กลุ่มทดลองที่ 4 นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้ายด้วยคอมพิวเตอร์

$E_5$ หมายถึง กลุ่มทดลองที่ 5 นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้ายด้วยคอมพิวเตอร์

$E_6$ หมายถึง กลุ่มทดลองที่ 6 นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้ายด้วยคอมพิวเตอร์

$E_7$ หมายถึง กลุ่มทดลองที่ 7 นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ด้วยคอมพิวเตอร์

$E_8$ หมายถึง กลุ่มทดลองที่ 8 นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ด้วยคอมพิวเตอร์

$E_9$ หมายถึง กลุ่มทดลองที่ 9 นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ด้วยคอมพิวเตอร์

$C_1$ หมายถึง กลุ่มควบคุมที่ 1 นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องด้วยคอมพิวเตอร์

$C_2$ หมายถึง กลุ่มควบคุมที่ 2 นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องด้วยคอมพิวเตอร์

$C_3$ หมายถึง กลุ่มควบคุมที่ 3 นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องด้วยคอมพิวเตอร์

$O_1$ หมายถึง การทำแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับที่ 1 และแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับภาษาไทย ครั้งที่ 1

$O_2$ หมายถึง การทำแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับที่ 2

$O_3$ หมายถึง การทำแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับที่ 3 และแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับภาษาไทย ครั้งที่ 2

$X_{11}$ หมายถึง การทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ชุดที่ 1 โดยหากนักเรียนตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบลดความคล้าย จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาประกอบการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เพื่อตอบคำถามนั้นใหม่อีกครั้ง

$X_{12}$ หมายถึง การทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ชุดที่ 2 โดยหากนักเรียนตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาประกอบการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เพื่อตอบคำถามนั้นใหม่อีกครั้ง

$X_{21}$ หมายถึง การทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ชุดที่ 1 โดยหากนักเรียนตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาประกอบการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เพื่อตอบคำถามนั้นใหม่อีกครั้ง

$X_{22}$ หมายถึง การทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ชุดที่ 2 โดยหากนักเรียนตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาประกอบการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เพื่อตอบคำถามนั้นใหม่อีกครั้ง

$X_{31}$ หมายถึง การทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ชุดที่ 1 โดยหากนักเรียนตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาประกอบการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เพื่อตอบคำถามนั้นใหม่อีกครั้ง

$X_{32}$ หมายถึง การทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ชุดที่ 2 โดยหากนักเรียนตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาประกอบการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เพื่อตอบคำถามนั้นใหม่อีกครั้ง

$X_{41}$ หมายถึง การทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ชุดที่ 1 โดยหากนักเรียนตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาประกอบการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เพื่อตอบคำถามนั้นใหม่อีกครั้ง

$X_{42}$ หมายถึง การทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ชุดที่ 2 โดยหากนักเรียนตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

คำตอบที่ถูกต้อง จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาประกอบการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เพื่อตอบคำถามนั้นใหม่อีกครั้ง

**ประชากรและตัวอย่าง**

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนที่กำลังศึกษาในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาปทุมธานี จำนวน 6,710 คน จากทั้งหมด 22 โรงเรียน (สพม.เขต 4, 2564)

ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนที่กำลังศึกษาในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย รังสิต จังหวัดปทุมธานี จำนวน 73 คน โดยจำแนกตัวอย่างวิจัยออกเป็น 12 กลุ่ม ตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์และความสามารถทางฟิสิกส์ ซึ่งมีรายละเอียดการดำเนินการสุ่มตัวอย่าง ดังนี้

1. กำหนดขนาดตัวอย่างวิจัยสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (two-way ANOVA) เนื่องจากการวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ จำนวน 2 ตัวแปร ได้แก่ ประเภทของข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ และระดับความสามารถทางการเรียนฟิสิกส์ ที่มีต่อตัวแปรตาม จำนวน 2 ตัวแปร ได้แก่ พัฒนาการความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ และพัฒนาการอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งผู้วิจัยดำเนินการคำนวณขนาดตัวอย่างวิจัยด้วยโปรแกรม G*Power โดยกำหนดให้ขนาดอิทธิพลเท่ากับ .60 ซึ่งเป็นขนาดอิทธิพลระดับสูง (Hattie, 2009) อีกทั้งมีระดับนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ .05 และอำนาจการทดสอบ เท่ากับ .95 พบว่า ควรใช้ตัวอย่างวิจัยอย่างน้อย 66 คน ทั้งนี้เพื่อป้องกันการขาดหายของตัวอย่างวิจัย (mortality) ซึ่งมีอิทธิพลต่อความตรงภายในของการวิจัย (วรรณี แกมเกตุ, 2555) ผู้วิจัยจึงกำหนดขนาดตัวอย่างวิจัยทั้งสิ้น 73 คน

2. ผู้วิจัยคัดเลือกโรงเรียนที่ใช้เป็นตัวอย่างวิจัยจากประชากรด้วยวิธีการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาและคัดเลือกเป็นตัวอย่างวิจัยมีรายละเอียด ดังนี้

2.1 เป็นโรงเรียนสหศึกษาที่เปิดสอนนักเรียนในระดับมัธยมศึกษา

2.2 เป็นโรงเรียนที่มีแผนการเรียนคณิตศาสตร์-วิทยาศาสตร์

2.3 ครูผู้สอนกำลังดำเนินการจัดการเรียนรู้หรือดำเนินการจัดการเรียนรู้เสร็จสิ้นในหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง โมเมนตัมและการชน ตามผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ในภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2563 เป็นที่เรียบร้อย

2.4 ผู้บริหารและครูเห็นความสำคัญของการวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ของนักเรียน รวมถึงสร้างองค์ความรู้ใหม่ทางการศึกษา อีกทั้งอนุญาตและอำนวยความสะดวกให้ผู้วิจัยดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลกับนักเรียนได้

จากเกณฑ์ที่กล่าวไปในข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้เลือกโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย รังสิต จังหวัดปทุมธานี เป็นโรงเรียนที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยกำหนดให้นักเรียนที่กำลังศึกษาในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 เป็นตัวอย่างการวิจัย

3. ผู้วิจัยคัดเลือกห้องเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาฟิสิกส์ด้วยครูผู้สอนท่านเดียวกันในภาคการเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 ซึ่งเป็นการควบคุมอิทธิพลของตัวแปรแทรกซ้อนที่อาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ โดยมีห้องเรียนที่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ จำนวน 3 ห้องเรียน จากทั้งหมด 16 ห้องเรียน

4. ผู้วิจัยนำนักเรียนทั้ง 3 ห้องมารวมกันจากนั้นจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม ตามระดับความสามารถทางฟิสิกส์ ซึ่งพิจารณาจากผลคะแนนสอบปลายภาค รายวิชาฟิสิกส์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 ของนักเรียนที่กำลังศึกษาในระดับชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 เทียบกับช่วงคะแนนที่คิดเป็นร้อยละในการตัดสินผลการเรียนรู้ตามที่กระทรวงศึกษาธิการ (2553) เนื่องจากการสอบปลายภาคเป็นการประเมินผลการเรียนรู้ (assessment of learning) ที่สะท้อนถึงความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างแท้จริง ซึ่งแต่ละกลุ่มมีรายละเอียดดังนี้

4.1 นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูง หมายถึง นักเรียนที่มีผลคะแนนสอบปลายภาค รายวิชาฟิสิกส์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 ตั้งแต่ร้อยละ 70 ขึ้นไป

4.2 นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลาง หมายถึง นักเรียนที่มีผลคะแนนสอบปลายภาค รายวิชาฟิสิกส์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 ตั้งแต่ร้อยละ 60-69

4.3 นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำ หมายถึง นักเรียนที่มีผลคะแนนสอบปลายภาค รายวิชาฟิสิกส์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 ต่ำกว่าร้อยละ 59

5. ผู้วิจัยดำเนินการสุ่มตัวอย่างในแต่ละชั้นของระดับความสามารถทางฟิสิกส์ด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (simple random sampling) จนได้กลุ่มตัวอย่างครบทั้ง 12 กลุ่ม ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน แต่ภายในแต่ละกลุ่มมีระดับความสามารถทางฟิสิกส์เท่าเทียมกัน เพื่อนำมาใช้เป็นกลุ่มทดลอง 9 กลุ่ม และกลุ่มควบคุม 3 กลุ่ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6. ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคะแนนที่ได้จากการทำแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับที่ 1 และแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ครั้งที่ 1 ของนักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way ANOVA) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการให้ความแปรปรวนที่เกิดจากระดับความสามารถทางฟิสิกส์ซึ่งเป็นตัวแปรอิสระของการทดลองมีค่ามากที่สุด ผลการวิเคราะห์พบว่า นักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทมีคะแนนที่ได้จากการทำแบบสอบฉบับที่ 1 และแบบวัดครั้งที่ 1 ไม่แตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 (แบบสอบฉบับที่ 1 $F$ = 1.123, $p$ = .346, แบบวัดครั้งที่ 1 $F$ = 0.726, $p$ = .540) โดยมีผลการวิเคราะห์ดังตาราง 6

ตาราง 6

*การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยคะแนนที่ได้จากการทำแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับที่ 1 และแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ครั้งที่ 1 ของนักเรียนได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน*

| คะแนน | แหล่งความแปรปรวน | *SS* | *df* | *MS* | *F* | *p* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ | ระหว่างกลุ่ม | 17.418 | 3 | 5.806 | 1.123 | .346 |
| | ภายในกลุ่ม | 356.691 | 69 | 5.169 | | |
| | รวม | 374.110 | 72 | | | |
| อภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ | ระหว่างกลุ่ม | 351.180 | 3 | 117.060 | .726 | .540 |
| | ภายในกลุ่ม | 11125.779 | 69 | 161.243 | | |
| | รวม | 11476.959 | 72 | | | |
| ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ Levene's test $F(3, 69)$ = 0.490, $p$ = .690 | | | | | | |
| อภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ Levene's test $F(3, 69)$ = 1.182, $p$ = .323 | | | | | | |

โดยกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมแต่ละกลุ่มมีรายละเอียด ดังนี้ (ตาราง 7)

1. กลุ่มนักเรียนที่จะต้องทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ และจะได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย ได้แก่ กลุ่มทดลองที่ 1-3 จำนวน 20 คน โดยแต่ละกลุ่มจำแนกตามระดับความสามารถทางฟิสิกส์ ประกอบด้วย (1) กลุ่มทดลองที่ 1 เป็นกลุ่มนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูง จำนวน 8 คน (2) กลุ่มทดลองที่ 2 เป็นกลุ่มนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลาง จำนวน 4 คน และ (3) กลุ่มทดลองที่ 3 เป็นกลุ่มนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำ จำนวน 8 คน

2. กลุ่มนักเรียนที่จะต้องทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ และจะได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย ได้แก่ กลุ่มทดลองที่ 4-6 จำนวน 19 คน โดยแต่ละกลุ่มจำแนกตามระดับความสามารถทางฟิสิกส์ ประกอบด้วย (1) กลุ่มทดลองที่ 4 เป็นกลุ่มนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูง จำนวน 6 คน (2) กลุ่มทดลองที่ 5 เป็นกลุ่มนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลาง จำนวน 4 คน (3) กลุ่มทดลองที่ 6 เป็นกลุ่มนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำ จำนวน 9 คน

3. กลุ่มนักเรียนที่จะต้องทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ และจะได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ ได้แก่ กลุ่มทดลองที่ 7-9 จำนวน 19 คน โดยแต่ละกลุ่มจำแนกตามระดับความสามารถทางฟิสิกส์ ประกอบด้วย (1) กลุ่มทดลองที่ 7 เป็นกลุ่มนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูง จำนวน 5 คน (2) กลุ่มทดลองที่ 8 เป็นกลุ่มนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลาง จำนวน 4 คน (3) กลุ่มทดลองที่ 9 เป็นกลุ่มนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำ จำนวน 10 คน

4. กลุ่มนักเรียนที่จะต้องทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ และจะได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง ได้แก่ กลุ่มควบคุมที่ 1-3 จำนวน 15 คน โดยแต่ละกลุ่มจำแนกตามระดับความสามารถทางฟิสิกส์ ประกอบด้วย (1) กลุ่มควบคุมที่ 1 เป็นกลุ่มนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูง จำนวน 4 คน (2) กลุ่มควบคุมที่ 2 เป็นกลุ่มนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลาง จำนวน 5 คน (3) กลุ่มควบคุมที่ 3 เป็นกลุ่มนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำ จำนวน 6 คน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง 7

*ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยโดยจำแนกตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ที่ได้รับและระดับความสามารถทางฟิสิกส์*

| **ประเภทของข้อมูลย้อนกลับ** | **ระดับความสามารถทางฟิสิกส์** | | | **รวม** |
|---|---|---|---|---|
| | **ระดับสูง** | **ระดับปานกลาง** | **ระดับต่ำ** | |
| 1. แบบลดความคล้าย (กลุ่มทดลองที่ 1-3) | 8 | 4 | 8 | **20** |
| 2. แบบเพิ่มความคล้าย (กลุ่มทดลองที่ 4-6) | 6 | 4 | 9 | **19** |
| 3. แบบความคล้ายคงที่ (กลุ่มทดลองที่ 7-9) | 5 | 4 | 10 | **19** |
| 4. แบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง (กลุ่มควบคุมที่ 1-3) | 4 | 5 | 6 | **15** |
| **รวม** | **23** | **17** | **33** | **73** |

**เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย**

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีทั้งหมด 3 ประเภท ประกอบด้วย (1) ชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ (2) แบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ และ (3) แบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับภาษาไทย ซึ่งเครื่องมือแต่ละประเภทมีรายละเอียด ดังนี้

**1. ชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์** เป็นแบบสอบแบบเติมคำในรูปแบบของตัวเลข เรื่อง โมเมนตัมและการชน โดยนักเรียนจะต้องเติมคำตอบในรูปแบบของตัวเลขลงในช่องว่างที่กำหนดให้ หากนักเรียนตอบคำถามไม่ถูกต้อง นักเรียนจะได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบจากคอมพิวเตอร์ที่แตกต่างกัน 4 ประเภท ได้แก่ (1) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย (2) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย (3) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ และ (4) ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง จำนวน 2 ชุดที่มีความเป็นคู่ขนาน ได้แก่ (1) ชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ชุดที่ 1 และ (2) ชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ชุดที่ 2 โดยแต่ละชุดมีทั้งหมด 6 ข้อ ข้อละ 1 คะแนน และคะแนนจะลดลงครั้งละ 0.25 คะแนน ตามจำนวนครั้งของการตอบ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถตอบคำถามได้สูงสุด 4 ครั้ง หรืออาจกล่าวได้ว่าสามารถเปลี่ยนคำตอบได้สูงสุด 3 ครั้ง โดยคะแนนเต็มของชุดฝึกแต่ละชุด เท่ากับ 6 คะแนน และเวลาที่ใช้ในการทำชุดฝึกแต่ละชุด เท่ากับ 60 นาที ซึ่งมีขั้นตอนการสร้างและพัฒนาชุดฝึก ดังนี้

1.1 ศึกษาผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับโมเมนตัมและการชน จากหนังสือเรียนและคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 2 ตามผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ซึ่งจัดทำโดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ โดยพบว่า มีเพียง 2 ผลการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับหน่วยการเรียนรู้ดังกล่าว (ศธ., 2560) ซึ่งมีรายละเอียดดังตาราง 8

ตาราง 8

*ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับโมเมนตัมและการชน*

| ผลการเรียนรู้ | สาระการเรียนรู้ |
|---|---|
| 14. อธิบายและคำนวณโมเมนตัมของวัตถุ และการดลจากสมการและพื้นที่ใต้กราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงลัพธ์กับเวลา รวมทั้งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงดลกับโมเมนตัม | • วัตถุที่เคลื่อนที่จะมีโมเมนตัมซึ่งเป็นปริมาณเวกเตอร์มีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างมวลและความเร็วของวัตถุ ดังสมการ $\vec{p} = m\vec{v}$<br>• เมื่อมีแรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุจะทำให้โมเมนตัมของวัตถุเปลี่ยนไป โดยแรงลัพธ์เท่ากับอัตราการเปลี่ยนโมเมนตัมของวัตถุ<br>• แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุในเวลาสั้น ๆ เรียกว่า แรงดล โดยผลคูณของแรงดลกับเวลา เรียกว่า การดล ตามสมการ $\vec{I} = \left(\sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i\right)\Delta t$ ซึ่งการดลอาจหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงดลกับเวลา |
| 15. ทดลอง อธิบาย และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการชนของวัตถุในหนึ่งมิติทั้งแบบยืดหยุ่น ไม่ยืดหยุ่น และการดีดตัวแยกจากกันในหนึ่งมิติ ซึ่งเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม | • ในการชนกันของวัตถุและการดีดตัวออกจากกันของวัตถุในหนึ่งมิติ เมื่อไม่มีแรงภายนอกมากกระทำ โมเมนตัมของระบบมีค่าคงตัวซึ่งเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>• ในการชนกันของวัตถุ พลังงานจลน์ของระบบอาจคงตัวหรือไม่คงตัวก็ได้ การชนที่พลังงานจลน์ของระบบคงตัวเป็นการชนแบบยืดหยุ่น ส่วนการชนที่พลังงานจลน์ของระบบไม่คงตัวเป็นการชนแบบไม่ยืดหยุ่น |

1.2 กำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมและออกแบบผังการสร้างชุดฝึก โดยชุดฝึกที่สร้างขึ้นมีวัตถุประสงค์เพื่อฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เรื่อง โมเมนตัมและการชน รายวิชาฟิสิกส์ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ซึ่งสัดส่วนจำนวนข้อคำถามในแต่ละวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมเป็นไปตามผังการสร้างชุดฝึก โดยทุกข้อที่มุ่งวัดพฤติกรรมการเรียนรู้ด้านพุทธิพิสัยในระดับความเข้าใจตามแนวคิดของบลูม (โชติกา ภาษีผล, 2559) ซึ่งมีรายละเอียดดังตาราง 9

ตาราง 9

*ผังการสร้างข้อคำถามในชุดฝึก*

| ผลการเรียนรู้ | วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม | จำนวนข้อ (ข้อ) |
|---|---|---|
| ว 6.1 ม.4/14 | 1. เพื่อให้นักเรียนสามารถคำนวณปริมาณที่เกี่ยวกับโมเมนตัมของวัตถุ การดล และแรงดลได้ | 2 |
| ว 6.1 ม.4/15 | 2. เพื่อให้นักเรียนสามารถคำนวณปริมาณที่เกี่ยวกับการชนของวัตถุในหนึ่งมิติและพลังงานที่เกี่ยวข้องได้ | 4 |
| | **รวม** | **6** |

1.3 เขียนข้อคำถามให้สอดคล้องกับเนื้อหาและวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมตามผังการสร้างชุดฝึกที่ได้กำหนดไว้ รวมถึงออกแบบข้อมูลย้อนกลับให้สอดคล้องกับนิยามของระดับความคล้ายของตัวอย่างโจทย์ปัญหาเมื่อเปรียบเทียบกับโจทย์ปัญหาและข้อมูลย้อนกลับแต่ละประเภท ซึ่งมีรายละเอียดดังตาราง 10 และตาราง 11 ตามลำดับ ทั้งนี้ให้พิจารณาความถูกต้องตามหลักการเขียนข้อสอบและหลักภาษาที่ใช้ รวมถึงเขียนข้อคำถามเผื่อไว้เป็นจำนวน 2 เท่าของจำนวนข้อคำถามทั้งหมดในผังการสร้างชุดฝึก เพื่อใช้ในการปรับปรุงหรือตัดข้อคำถามบางข้อที่ไม่มีคุณภาพออก จากนั้นจึงให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นผู้พิจารณาข้อคำถามที่ผู้วิจัยเขียนขึ้นในประเด็นของความสอดคล้องระหว่างเนื้อหา วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ลักษณะข้อคำถาม ความสมเหตุสมผล ความสอดคล้องระหว่างข้อมูลย้อนกลับกับประเภทข้อมูลย้อนกลับ รวมไปถึงความถูกต้องและชัดเจนของภาษาที่ใช้ในการเขียนข้อคำถาม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง 10

*รายละเอียดของระดับความคล้ายของตัวอย่างโจทย์ปัญหาแต่ละประเภท*

| รายการ | ระดับความคล้ายของตัวอย่างโจทย์ปัญหา | |
|---|---|---|
| | **ระดับสูง** | **ระดับต่ำ** |
| 1. ปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรที่กำหนดให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา | ✓ | ✓ |
| 2. สลับลำดับขั้นตอนในการใช้กฎ หลักการ หรือทฤษฎีในการแก้โจทย์ให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา | | ✓ |

ตาราง 11

*รายละเอียดของข้อมูลย้อนกลับแต่ละประเภท*

| ประเภทข้อมูลย้อนกลับ | รายละเอียดของข้อมูลย้อนกลับ |
|---|---|
| 1. ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย (fade-out interactive feedback) | ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับคำชี้แนะแนวทางในการหาคำตอบผ่านตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีลำดับขั้นตอนการใช้กฎ หลักการ หรือทฤษฎีในการแก้โจทย์ปัญหาเหมือนกับโจทย์ปัญหา แต่ปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรที่กำหนดให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา (ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับสูง) ในข้อคำถามช่วงแรก และตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีการใช้กฎ หลักการ หรือทฤษฎีในการแก้โจทย์ปัญหาเหมือนกับโจทย์ปัญหา แต่ปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรและสลับลำดับขั้นตอนในการใช้ให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา (ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับต่ำ) ในข้อคำถามช่วงหลังภายในฉบับเดียวกัน ตามลำดับ โดยนักเรียนจะต้องโต้ตอบกับคอมพิวเตอร์ด้วยการเติมคำลงในช่องว่างที่แสดงถึงการดำเนินการแก้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่เว้นไว้ในรูปของตัวเลขทีละขั้นตอน |
| 2. ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย (fade-in interactive feedback) | ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับคำชี้แนะแนวทางในการหาคำตอบผ่านตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีการใช้กฎ หลักการ หรือทฤษฎีในการแก้โจทย์ปัญหาเหมือนกับโจทย์ปัญหา แต่ปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรและสลับลำดับขั้นตอนในการใช้ให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา (ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับต่ำ) ในข้อคำถามช่วงแรก และตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีลำดับขั้นตอนการใช้กฎ หลักการ หรือทฤษฎีในการแก้โจทย์ปัญหาเหมือนกับโจทย์ปัญหา แต่ปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรที่กำหนดให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา (ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับสูง) ในข้อคำถามช่วงหลังภายในฉบับเดียวกัน ตามลำดับ โดยนักเรียนจะต้องโต้ตอบกับคอมพิวเตอร์ด้วยการเติมคำลงในช่องว่างที่แสดงถึงการดำเนินการแก้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่เว้นไว้ในรูปของตัวเลขทีละขั้นตอน |

ตาราง 11 (ต่อ)

*รายละเอียดของข้อมูลย้อนกลับแต่ละประเภท*

| ประเภทข้อมูลย้อนกลับ | รายละเอียดของข้อมูลย้อนกลับ |
|---|---|
| 3. ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ (constant interactive feedback) | ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด โดยหากตอบคำถามผิด นักเรียนจะได้รับคำชี้แนะแนวทางในการหาคำตอบผ่านตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีลำดับขั้นตอนการใช้กฎ หลักการ หรือทฤษฎีในการแก้โจทย์ปัญหาเหมือนกับโจทย์ปัญหา แต่ปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรที่กำหนดให้แตกต่างไปจากโจทย์ปัญหา (ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีความคล้ายระดับสูง) ตลอดทุกข้อคำถามในฉบับเดียวกัน โดยนักเรียนจะต้องโต้ตอบกับคอมพิวเตอร์ด้วยการเติมคำลงในช่องว่างที่แสดงถึงการดำเนินการแก้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่เว้นไว้ในรูปของตัวเลขทีละขั้นตอน |
| 4. ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง (knowledge of correct response feedback) | ข้อมูลย้อนกลับที่ให้แก่นักเรียนเกี่ยวกับผลการตอบของตนเองว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้องหรือผิด พร้อมคำตอบที่ถูกต้อง |

1.4 นำชุดฝึกที่สร้างขึ้นไปให้กลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านสาระการเรียนรู้และการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์ จำนวน 5 ท่าน ซึ่งจะต้องสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาบัณฑิตทางสาขาวิชาฟิสิกส์ การสอนฟิสิกส์ หรือมัธยมศึกษา วิชาเอกฟิสิกส์ และเป็นครูที่มีประสบการณ์การจัดการเรียนรู้รายวิชาฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายในสถานศึกษาไม่น้อยกว่า 5 ปี โดยมีรายชื่อดังที่ปรากฏในภาคผนวก ก ทำหน้าที่ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของชุดฝึก สำหรับประเด็นที่ใช้ในการพิจารณาคุณภาพของชุดฝึกสามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเด็น ได้แก่ (1) ความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม (2) ความเป็นคู่ขนานระหว่างชุด และ (3) ความสอดคล้องระหว่างข้อมูลย้อนกลับกับระดับความคล้ายของข้อมูลย้อนกลับ โดยมีการระบุน้ำหนักคะแนน พร้อมเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาดังตาราง 12

ตาราง 12

*น้ำหนักคะแนนและเกณฑ์การพิจารณาในการตรวจสอบคุณภาพของชุดฝึก*

| **เกณฑ์การพิจารณา** | **น้ำหนักคะแนน** | | |
|---|---|---|---|
| | **-1** | **0** | **+1** |
| 1. ความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม | แน่ใจว่าข้อคำถามไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม | ไม่แน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม | แน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม |
| 2. ความเป็นคู่ขนานระหว่างชุด | แน่ใจว่าข้อคำถามไม่มีความเป็นคู่ขนานระหว่างชุด | ไม่แน่ใจว่าข้อคำถามมีความเป็นคู่ขนานระหว่างชุด | แน่ใจว่าข้อคำถามมีความเป็นคู่ขนานระหว่างชุด |
| 3. ความสอดคล้องระหว่างข้อมูลย้อนกลับกับระดับความคล้ายของข้อมูลย้อนกลับ | แน่ใจว่าข้อมูลย้อนกลับไม่สอดคล้องกับระดับความคล้ายของข้อมูลย้อนกลับ | ไม่แน่ใจว่าข้อมูลย้อนกลับสอดคล้องกับระดับความคล้ายของข้อมูลย้อนกลับ | แน่ใจว่าข้อมูลย้อนกลับสอดคล้องกับระดับความคล้ายของข้อมูลย้อนกลับ |

1.5 คัดเลือกข้อคำถามที่มีค่าความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดมุ่งหมายของการวัด ค่าความเป็นคู่ขนานระหว่างชุด และค่าความสอดคล้องระหว่างข้อมูลย้อนกลับกับระดับความคล้ายของข้อมูลย้อนกลับมากกว่า .50 (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) รวมถึงดำเนินการปรับปรุงแก้ไขข้อคำถามดังกล่าวตามความคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะที่กลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำ ซึ่งมีรายละเอียดดังที่ปรากฏในภาคผนวก ข จากนั้นจึงนำมาเรียบเรียงเป็นชุดฝึก

ผลการตรวจสอบคุณภาพของชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ พบว่า ข้อคำถามมีค่าความสอดคล้องของข้อคำถามกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมเท่ากับ 1.0 และภายในข้อคำถามเดียวกันแต่ละชุดมีค่าความเป็นคู่ขนานระหว่างชุดอยู่ระหว่าง .8 ถึง 1.0 เมื่อพิจารณาข้อมูลย้อนกลับ พบว่า ข้อมูลย้อนกลับในแต่ละข้อคำถามมีค่าความสอดคล้องระหว่างข้อมูลย้อนกลับกับระดับความคล้ายของข้อมูลย้อนกลับอยู่ระหว่าง .6 ถึง 1.0 ซึ่งถือว่าข้อคำถามและข้อมูลย้อนกลับทุกข้อผ่านเกณฑ์การคัดเลือกตามที่ได้กำหนดไว้ในข้างต้นทั้งสามประเด็น ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าชุดฝึกทุกชุดให้ผลการวัดที่มีความตรงเชิงเนื้อหา รวมถึงมีความเป็นคู่ขนาน และข้อมูลย้อนกลับสอดคล้องกับระดับความคล้ายของข้อมูลย้อนกลับตามความคิดเห็นของกลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิ โดยมีรายละเอียดดังตาราง 13

ตาราง 13

*ผลการตรวจสอบคุณภาพของชุดฝึก*

| ข้อที่ | IOC | | ความเป็นคู่ขนานระหว่างชุด | ความสอดคล้องของข้อมูลย้อนกลับ | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 | | ชุดที่ 1 | ชุดที่ 2 |
| 1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 2 | 1.0 | 1.0 | .8 | .6 | .6 |
| 3 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | .8 | .8 |
| 4 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | .6 | .6 |
| 5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | .8 | 1.0 |
| 6 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | .8 | .8 |

3.6 นำชุดฝึกที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากกลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิแล้วเข้าสู่โปรแกรม Moodle ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจัดการระบบการจัดการเรียนรู้ (learning management system: LMS) ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จากนั้นเรียบเรียงสารสนเทศและตั้งค่าระบบการทดสอบบนโปรแกรมให้เป็นไปตามแผนที่กำหนดไว้ล่วงหน้าในประเด็นของการจัดการบัญชีผู้ใช้ การกำหนดลิงก์เชื่อมโยงระหว่างชุดฝึกกับข้อมูลย้อนกลับ การจัดรูปแบบการใช้งาน รวมถึงการจัดลำดับข้อมูลย้อนกลับให้สอดคล้องกับนิยามของข้อมูลย้อนกลับแต่ละประเภท ซึ่งมีรายละเอียดดังตาราง 14

ตาราง 14

*ลำดับและทิศทางระดับความคล้ายของตัวอย่างโจทย์ปัญหาเมื่อเปรียบเทียบกับโจทย์ปัญหาของข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์แต่ละประเภท*

| ประเภทข้อมูลย้อนกลับ | ระดับความคล้ายของตัวอย่างโจทย์ปัญหาของข้อมูลย้อนกลับ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ข้อที่ 1 | ข้อที่ 2 | ข้อที่ 3 | ข้อที่ 4 | ข้อที่ 5 | ข้อที่ 6 |
| 1. แบบลดความคล้าย | H | H | H | L | L | L |
| 2. แบบเพิ่มความคล้าย | L | L | L | H | H | H |
| 3. แบบความคล้ายคงที่ | H | H | H | H | H | H |
| 4. แบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง | - | - | - | - | - | - |

*หมายเหตุ: H หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่มีตัวอย่างโจทย์ปัญหาคล้ายกับโจทย์ปัญหาในระดับสูง*

*L หมายถึง ข้อมูลย้อนกลับที่มีตัวอย่างโจทย์ปัญหาคล้ายกับโจทย์ปัญหาในระดับต่ำ*

*- หมายถึง ไม่มีการนำเสนอข้อมูลย้อนกลับที่มีตัวอย่างโจทย์ปัญหา*

ประเด็นสำคัญอีกประเด็นหนึ่งที่ผู้วิจัยดำเนินการตั้งค่าระบบ คือ การกำหนดจำนวนครั้งสูงสุด ซึ่งผู้ใช้งานสามารถตอบคำถามได้สูงสุด 4 ครั้ง หรืออาจกล่าวได้ว่าสามารถเปลี่ยนคำตอบหรือได้รับข้อมูลย้อนกลับได้สูงสุด 3 ครั้ง โดยคะแนนสูงสุดในแต่ละข้อเท่ากับ 1 คะแนน และคะแนนจะลดลงครั้งละ 0.25 คะแนน และหากตอบคำถามผิดในครั้งที่ 4 จะได้รับ 0 คะแนนในข้อนั้น ซึ่งมีรายละเอียดดังตาราง 15

ตาราง 15

*เกณฑ์การตรวจให้คะแนนแต่ละข้อของชุดฝึก*

| **จำนวนครั้ง (ครั้ง)** | | **คะแนนที่ได้รับ** |
|---|---|---|
| **การตอบคำถาม** | **การเปลี่ยนคำตอบ/การได้รับข้อมูลย้อนกลับ** | **หากตอบคำถามถูก (คะแนน)** |
| 1 | - | 1 |
| 2 | 1 | 0.75 |
| 3 | 2 | 0.50 |
| 4 | 3 | 0.25 |

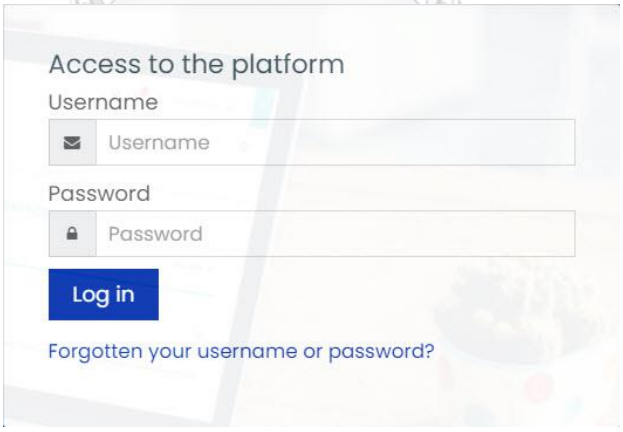
3.7 นำชุดฝึกที่เรียบเรียงขึ้นระบบไปทดลองใช้กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 8 คน เพื่อตรวจสอบความเข้าใจในเนื้อหา ภาษาที่ใช้ ความสะดวกในการใช้งาน รวมถึงข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น ด้วยการตรวจสอบความคิดเห็นของกลุ่มทดลองใช้ชุดฝึกดังกล่าวด้วยวิธีการสัมภาษณ์ ซึ่งสามารถสรุปเป็นประเด็นสำคัญต่าง ๆ เพื่อใช้ในการปรับแก้ไขให้ชุดฝึกมีความสมบูรณ์และสะดวกในการใช้งานยิ่งขึ้น โดยแก้ไขลิงก์เชื่อมโยงระหว่างชุดฝึกกับข้อมูลย้อนกลับที่ผิดพลาดบางประการ รวมถึงปรับขนาดตัวอักษรและภาพประกอบให้มีขนาดใหญ่ขึ้นจากเดิม เพื่อให้สามารถมองเห็นได้ชัดเจน และเพิ่มคำอธิบายหรือคำชี้แจงประกอบการทำชุดฝึกเพิ่มเติม เช่น เพิ่มข้อความ “ควรกดปุ่ม Check เพื่อยืนยันคำตอบก่อน” เพิ่มข้อความ “โปรดระบุเครื่องหมายลบ” ในช่องเติมคำบางช่อง ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ใช้งานได้สะดวกขึ้นและสามารถดำเนินการได้ตรงตามที่ผู้วิจัยต้องการ ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการปรับแก้ไขตามความคิดเห็นที่ได้สรุปมาข้างต้น

การใช้ชุดฝึกเริ่มต้นจากการเข้าสู่ระบบในโปรแกรมผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยการกรอกชื่อบัญชีผู้ใช้และรหัสผ่าน จากนั้นกดปุ่ม Log in (ภาพ 10) เมื่อเข้าสู่ระบบแล้ว ระบบจะนำทางเข้าสู่หน้าหลักแล้วเลือกรายการชุดฝึกที่สามารถใช้งานได้ ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดตั้งค่าระบบให้ตัวอย่างวิจัยทำได้เพียงชุดเดียวตามที่ได้แบ่งกลุ่มตามประเภทของข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบ สำหรับกรณีตัวอย่างนี้จะเห็นว่า ตัวอย่างอยู่ในกลุ่มที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย (ภาพ 11)

หลังจากกดเลือกทำชุดฝึกแล้ว จะปรากฏหน้าที่แสดงคำชี้แจงก่อนทำชุดฝึก (ภาพ 12) ซึ่งตัวอย่างจะต้องอ่านทำความเข้าใจและปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด จากนั้นจึงกดปุ่มเพื่อเริ่มทำชุดฝึก โดยนักเรียนจะต้องเติมคำตอบลงในช่องว่าง และกดปุ่ม Check เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบ (ภาพ 13) หากนักเรียนตอบคำตอบถูกต้อง จะได้รับข้อมูลย้อนกลับ (ภาพ 14) แต่ถ้านักเรียนตอบคำถามผิด จะได้รับข้อมูลย้อนกลับที่แตกต่างกันระหว่างข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง (ภาพ 15) กับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบ (ภาพ 16) ซึ่งนักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบจะต้องเลือกที่ศึกษาจากตัวอย่างโจทย์ปัญหาเป็นลำดับถัดไป ระบบจะนำทางไปสู่หน้าของตัวอย่างโจทย์ปัญหา นักเรียนจะต้องเติมคำตอบลงในช่องว่างทีละขั้นตอนเช่นกัน จากนั้นกดปุ่ม Check เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง (ภาพ 17) โดยหน้าจอจะปรากฏเครื่องหมายถูกอยู่ด้านหลังของช่องที่เติมคำตอบถูกต้อง และปรากฏเครื่องหมายผิดอยู่ด้านหลังของช่องที่เติมคำตอบผิด (ภาพ 18) นักเรียนจะต้องแก้ไขคำตอบให้ถูกต้องและกดปุ่ม Check ใหม่อีกครั้ง จนกว่าจะตอบถูกต้องทั้งหมดในขั้นตอนนั้น เมื่อตัวอย่างโจทย์ปัญหาเสร็จสิ้น ระบบจะนำทางกลับเข้าสู่โจทย์ปัญหาหลักเพื่อแก้ไขคำตอบให้ถูกต้องอีกครั้ง

ภาพ 10

*หน้าจอเข้าสู่ระบบ*

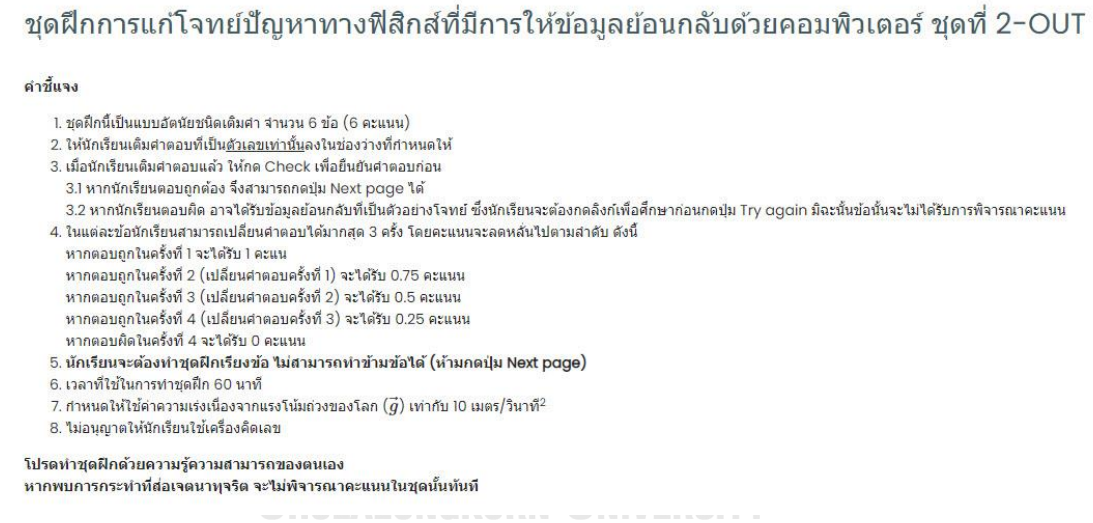


ภาพ 11

*หน้าจอหลักสำหรับเลือกรายการชุดฝึก*

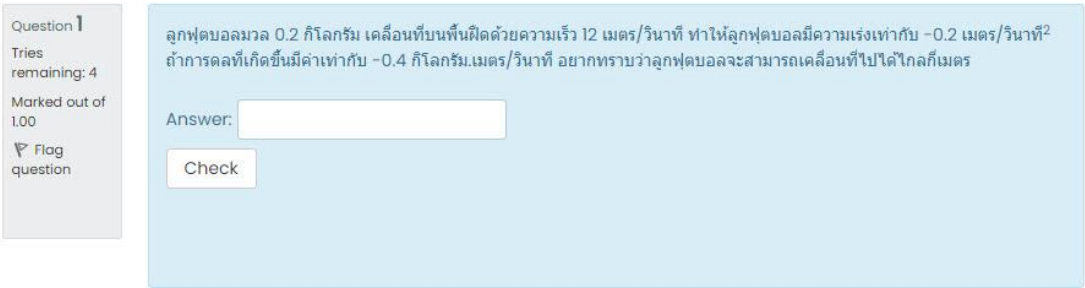
ภาพ 12

*หน้าจอแสดงคำชี้แจงก่อนเริ่มทำชุดฝึก*




ภาพ 13

*หน้าจอแสดงข้อคำถามข้อที่ 1 ของชุดฝึก*



ภาพ 14

*หน้าจอแสดงข้อมูลย้อนกลับที่ได้รับเมื่อตอบคำถามถูกต้อง*

แก้โจทย์ปัญหาได้ดีมากครับ คำตอบที่ถูกต้อง คือ 110 เมตร
สามารถแก้โจทย์ปัญหาข้อถัดไปได้เลย :)

The correct answer is: 110

ภาพ 15

*หน้าจอแสดงข้อมูลย้อนกลับที่ได้รับเมื่อตอบคำถามผิดในครั้งที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ สำหรับนักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง*

คำตอบยังไม่ถูกต้องนะครับ นักเรียนลองทำความเข้าใจโจทย์ปัญหาอีกครั้งหนึ่งนะ
พยายามเข้านะครับ เป็นกำลังใจให้ :)

Try again

เห็นถึงความพยายามนะครับ แต่คำตอบยังไม่ถูกต้อง
นักเรียนลองทำความเข้าใจโจทย์ปัญหาอีกครั้งหนึ่ง
พยายามเข้านะ เป็นกำลังใจให้ :)

Try again

เห็นถึงความเพียรพยายามของนักเรียน แต่คำตอบยังไม่ถูกต้องนะครับ
นักเรียนลองทำความเข้าใจโจทย์ปัญหาอีกสักครั้งหนึ่ง
อย่าเพิ่งถอดใจนะครับ ถึงแม้ครั้งนี้ยังไม่ถูกต้อง แต่ถ้าได้ฝึกแก้โจทย์ปัญหาบ่อย ๆ
จะทำให้นักเรียนเข้าใจมากขึ้นนะครับ พยายามเข้านะ เป็นกำลังใจให้ :)

Try again

The correct answer is: 110

CHULALONGKORN UNIVERSITY

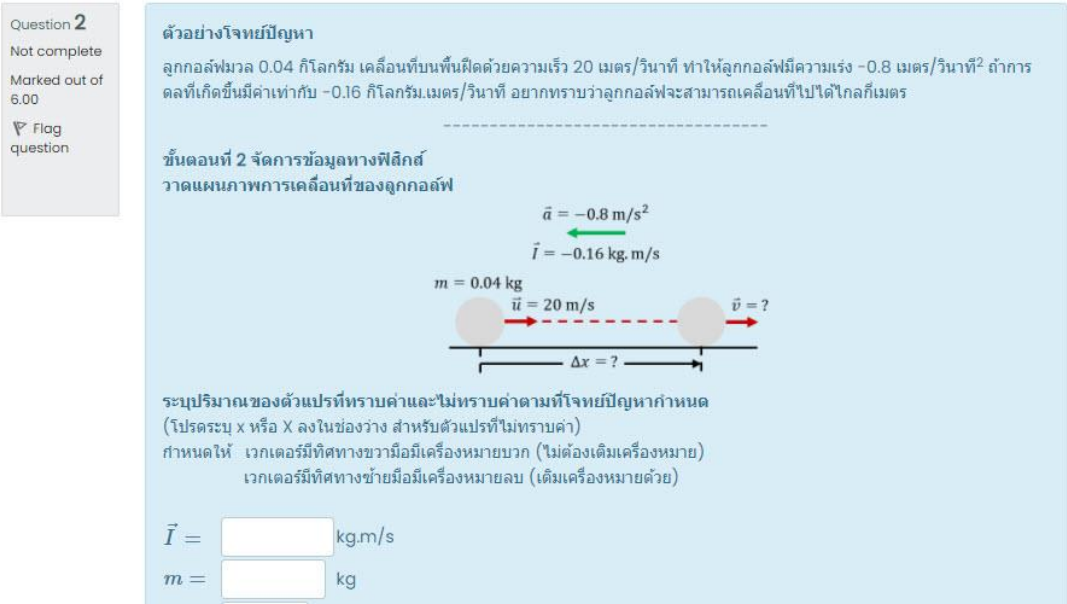
ภาพ 16

*หน้าจอแสดงข้อมูลย้อนกลับที่ได้รับเมื่อตอบคำถามผิด สำหรับนักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบ*

คำตอบยังไม่ถูกต้องนะครับ โปรดลองศึกษาจาก ตัวอย่างโจทย์
เชื่อว่าถ้านักเรียนได้ศึกษาจากตัวอย่างโจทย์จะสามารถแก้โจทย์ปัญหาข้อนี้ได้อย่างแน่นอน
พยายามเข้านะครับ เป็นกำลังใจให้ :)

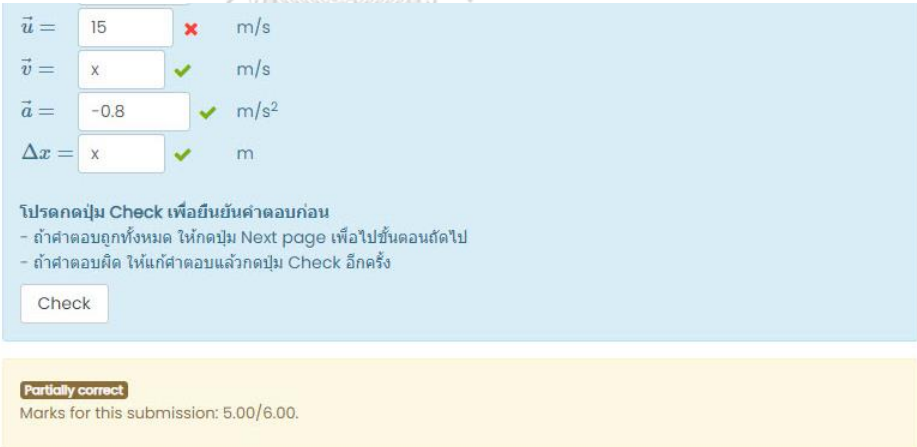
ภาพ 17

*หน้าจอแสดงตัวอย่างโจทย์ปัญหาของชุดฝึก*




ภาพ 18

*หน้าจอแสดงผลการตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบในแต่ละช่อง*




**2. แบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์** เป็นแบบสอบแบบเติมคำในรูปแบบของตัวเลข เรื่อง โมเมนตัมและการชน โดยนักเรียนจะต้องเติมคำตอบในรูปแบบของตัวเลขลงในช่องว่างที่กำหนดให้ จำนวน 3 ฉบับที่มีความเป็นคู่ขนาน ได้แก่ (1) แบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับที่ 1 (2) แบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับที่ 2 และ (3) แบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับที่ 3 โดยแต่ละฉบับมีทั้งหมด 10 ข้อ ข้อละ 1 คะแนน คะแนนเต็มของแบบสอบวัดความสามารถ

ในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้งฉบับ เท่ากับ 10 คะแนน เวลาที่ใช้ในการทำแบบสอบแต่ละฉบับเท่ากับ 60 นาที ซึ่งมีขั้นตอนการสร้างและพัฒนาแบบสอบ ดังนี้

2.1 ศึกษาผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับโมเมนตัมและการชน จากหนังสือเรียนและคู่มือครูรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 2 ตามผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ซึ่งจัดทำโดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ โดยพบว่า มีเพียง 2 ผลการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับหน่วยการเรียนรู้ดังกล่าว (ศธ., 2560) ซึ่งมีรายละเอียดดังตาราง 8

2.2 กำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมและออกแบบการสร้างแบบสอบ โดยแบบสอบที่สร้างขึ้นมีวัตถุประสงค์เพื่อวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เรื่อง โมเมนตัมและการชน รายวิชาฟิสิกส์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ซึ่งสัดส่วนจำนวนข้อคำถามในแต่ละวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมเป็นไปตามผังแบบสอบ ดังตาราง 16 โดยทุกข้อที่มุ่งวัดพฤติกรรมการเรียนรู้ด้านพุทธิพิสัยในระดับความเข้าใจตามแนวคิดของบลูม (โชติกา ภาษีผล, 2559)

ตาราง 16

*ผังแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์*

| ผลการเรียนรู้ | วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม | จำนวนข้อ (ข้อ) |
|---|---|---|
| ว 6.1 ม.4/14 | 1. เพื่อให้นักเรียนสามารถคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับโมเมนตัมของวัตถุ การดล และแรงดล | 4 |
| ว 6.1 ม.4/15 | 2. เพื่อให้นักเรียนสามารถคำนวณปริมาณที่เกี่ยวกับการชนของวัตถุในหนึ่งมิติและพลังงานที่เกี่ยวข้องได้ | 6 |
| | **รวม** | **10** |

2.3 เขียนข้อคำถามให้สอดคล้องกับเนื้อหาและวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมตามผังข้อสอบที่ได้กำหนดไว้ ทั้งนี้ให้พิจารณาความถูกต้องตามหลักการเขียนข้อสอบและหลักภาษาที่ใช้ รวมถึงเขียนข้อสอบเผื่อไว้เป็นจำนวน 2 เท่าของจำนวนข้อสอบทั้งหมดในผังข้อสอบ เพื่อใช้ในการปรับปรุงหรือตัดข้อสอบบางข้อที่ไม่มีคุณภาพออก จากนั้นจึงให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยาพินธ์เป็นผู้พิจารณาข้อสอบที่ผู้วิจัยเขียนขึ้นในประเด็นของความสอดคล้องระหว่างเนื้อหา วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม ลักษณะข้อคำถาม ความสมเหตุสมผล รวมไปถึงความถูกต้องและชัดเจนของภาษาที่ใช้ในการเขียนข้อสอบ

2.4 นำแบบสอบที่สร้างขึ้นไปให้กลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านสาระการเรียนรู้และการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์ จำนวน 5 ท่าน ซึ่งจะต้องสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาบัณฑิตทางสาขาวิชาฟิสิกส์ การสอนฟิสิกส์ หรือมัธยมศึกษา วิชาเอกฟิสิกส์ และเป็นครูที่มีประสบการณ์การจัดการเรียนรู้รายวิชาฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายในสถานศึกษาไม่น้อยกว่า 5 ปี โดยมีรายชื่อดังที่ปรากฏในภาคผนวก ก ทำหน้าที่ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของแบบสอบ สำหรับประเด็นที่ใช้ในการพิจารณาคุณภาพของแบบสอบสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเด็น ได้แก่ (1) ความสอดคล้องของข้อสอบกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม และ (2) ความเป็นคู่ขนานระหว่างฉบับ โดยมีการระบุน้ำหนักคะแนน พร้อมเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณา ดังตาราง 17

ตาราง 17

*น้ำหนักคะแนนและเกณฑ์การพิจารณาในการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบ*

| **เกณฑ์การพิจารณา** | **น้ำหนักคะแนน** | | |
|---|---|---|---|
| | **-1** | **0** | **+1** |
| 1. ความสอดคล้องของข้อคำถามกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม | แน่ใจว่าข้อคำถามไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม | ไม่แน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม | แน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม |
| 2. ความเป็นคู่ขนานระหว่างฉบับ | แน่ใจว่าข้อคำถามไม่มีความเป็นคู่ขนานระหว่างฉบับ | ไม่แน่ใจว่าข้อคำถามมีความเป็นคู่ขนานระหว่างฉบับ | แน่ใจว่าข้อคำถามมีความเป็นคู่ขนานระหว่างฉบับ |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.5 คัดเลือกข้อคำถามที่มีค่าความสอดคล้องของข้อคำถามกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมและค่าความเป็นคู่ขนานระหว่างฉบับตั้งแต่ .50 ขึ้นไป (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) รวมถึงดำเนินการปรับปรุงแก้ไขข้อคำถามดังกล่าวตามความคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะที่กลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำ ซึ่งมีรายละเอียดดังที่ปรากฏในภาคผนวก ค จากนั้นจึงนำมาเรียบเรียงเป็นแบบสอบฉบับเดียวกัน

ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่า ข้อคำถามมีค่าความสอดคล้องของข้อคำถามกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมอยู่ระหว่าง .8 ถึง 1.0 และภายในข้อคำถามเดียวกันแต่ละฉบับมีค่าความเป็นคู่ขนานระหว่างฉบับอยู่ระหว่าง .8 ถึง 1.0 ซึ่งถือว่าข้อคำถามทุกข้อผ่านเกณฑ์การคัดเลือกตามที่ได้กำหนดไว้ในข้างต้นทั้งสองประเด็น ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าแบบสอบทุกฉบับให้ผลการวัดที่มีความตรงเชิงเนื้อหาและมีความเป็นคู่ขนานตามความคิดเห็นของกลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิ โดยมีรายละเอียดดังตาราง 18

ตาราง 18

*ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบ*

| ข้อที่ | IOC | | | ความเป็นคู่ขนานระหว่างฉบับ |
|---|---|---|---|---|
| | ฉบับที่ 1 | ฉบับที่ 2 | ฉบับที่ 3 | |
| 1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 2 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 3 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.8 |
| 4 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 5 | .8 | .8 | .8 | .8 |
| 6 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 7 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 8 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 9 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 10 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |

2.6 นำแบบสอบที่ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขตามความคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะที่กลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำแล้วไปทดลองกับนักเรียนโรงเรียนปทุมวิไล จังหวัดปทุมธานี จำนวน 61 คน ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับตัวอย่างวิจัย จากนั้นจึงนำผลการตอบมาวิเคราะห์คุณภาพแบบสอบทั้งฉบับและความเป็นคู่ขนานของแบบสอบตามทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม โดยแต่ละประเด็นมีรายละเอียดดังนี้

2.6.1 วิเคราะห์คุณภาพรายข้อ โดยพิจารณาจากความยากและดัชนีอำนาจจำแนกบีของแบบสอบ ซึ่งความยากควรมีค่าอยู่ระหว่าง .20 ถึง .80 และดัชนีอำนาจจำแนกบีควรมีค่ามากกว่า .20 (โชติกา ภาษีผล, 2559) พบว่า ข้อคำถามส่วนใหญ่มีค่าความยากและดัชนีอำนาจจำแนกบีอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในข้างต้น ยกเว้นข้อที่ 9 ในแบบสอบฉบับที่ 1 และ 2 รวมถึงข้อที่ 10 ในแบบสอบฉบับที่ 1 และ 3 ซึ่งไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด เนื่องจากข้อคำถามดังกล่าวเป็นการเชื่อมโยงความรู้เรื่องกฎการอนุรักษ์พลังงานหรือกฎการอนุรักษ์พลังงานกลมาใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาร่วมกับกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม ซึ่งมีกระบวนการคิดแก้ปัญหาที่ซับซ้อนกว่าข้อคำถามอื่น จึงอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้นักเรียนส่วนใหญ่ไม่สามารถตอบข้อคำถามนี้ได้ถูกต้อง โดยมีผลการวิเคราะห์ดังตาราง 19

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง 19

*ผลการวิเคราะห์คุณภาพรายข้อของแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์*

| ข้อที่ | แบบสอบฉบับที่ 1 | | แบบสอบฉบับที่ 2 | | แบบสอบฉบับที่ 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | P | B-index | P | B-index | P | B-index |
| 1 | .77 | .38 | .79 | .25 | .70 | .71 |
| 2 | .46 | .48 | .70 | .62 | .78 | .45 |
| 3 | .49 | .43 | .21 | .41 | .75 | .64 |
| 4 | .56 | .52 | .31 | .53 | .57 | .53 |
| 5 | .72 | .32 | .70 | .29 | .61 | .78 |
| 6 | .56 | .52 | .52 | .61 | .54 | .68 |
| 7 | .31 | .72 | .56 | .60 | .56 | .56 |
| 8 | .26 | .60 | .57 | .44 | .49 | .39 |
| 9 | .08 | .21 | .05 | .09 | .52 | .51 |
| 10 | .02 | .04 | .25 | .40 | .05 | -.07 |

2.6.2 วิเคราะห์คุณภาพแบบสอบทั้งฉบับ โดยพิจารณาจากค่าความเที่ยงของแบบสอบอิงเกณฑ์ด้วยวิธีของลิฟวิงตัน ซึ่งควรมีค่าความเที่ยงไม่ต่ำกว่า .5 (วรรณี แกมเกตุ, 2555; ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) พบว่า แบบสอบทุกฉบับให้ผลการวัดที่มีความเที่ยง (*Rcc* = .78, .78, .80 ตามลำดับ) ดังตาราง 20

2.6.3 วิเคราะห์ความเป็นคู่ขนานของแบบสอบตามทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม โดยแบบสอบที่มีความเป็นคู่ขนานจะต้องมีคะแนนสอบเฉลี่ย ความแปรปรวนของคะแนนสอบ และความเที่ยงของแบบสอบไม่แตกต่างกัน (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) ซึ่งสามารถตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทั้ง 3 ประการได้โดยใช้วิธีการทางสถิติ ประกอบด้วย (1) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนสอบระหว่างแบบสอบต่างฉบับด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) เนื่องจากคะแนนจากแบบสอบทุกฉบับมีลักษณะของการแจกแจงเป็นโค้งปกติ (SPSS Base 8.0, 1998 อ้างถึงใน อวยพร เรืองตระกูล, 2544) (2) เปรียบเทียบความแปรปรวนของคะแนนสอบระหว่างแบบสอบต่างฉบับด้วยวิธีของ Pitman-Morgan เนื่องจากตัวอย่างในการทดลองใช้เครื่องมือต้องทำแบบสอบทุกฉบับ ซึ่งถือว่าตัวอย่างไม่มีความเป็นอิสระจากกัน และ (3) เปรียบเทียบความเที่ยงระหว่างแบบสอบต่างฉบับด้วยวิธีของ Fisher-Bonett เนื่องจากตัวอย่างในการทดลองใช้มีจำนวนน้อยกว่า 100 คน ซึ่งผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นทั้ง 3 ประการควรไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 จึงจะถือว่าแบบสอบทั้ง 3 ฉบับมีความเป็นคู่ขนานกันตามทฤษฎีการทดสอบ

แบบดั้งเดิม (โชติกา ภาษีผล, 2562) เมื่อตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของความเป็นคู่ขนานของแบบสอบ พบว่า (1) ค่าเฉลี่ยคะแนนสอบที่ได้จากการทำแบบสอบทั้ง 3 ฉบับ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05, $F(2, 180) = 1.838$, $p = .162$ (2) ความแปรปรวนของคะแนนสอบที่ได้จากการทำแบบสอบทั้ง 3 ฉบับ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05, ฉบับที่ 1 กับฉบับที่ 2 $t(59) = 0.312$, $p = .756$, ฉบับที่ 2 กับฉบับที่ 3 $t(59) = 0.199$, $p = .843$ และฉบับที่ 1 กับฉบับที่ 3 $t(59) = 0.527$, $p = .600$ และ (3) ความเที่ยงของแบบสอบทั้ง 3 ฉบับไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05, ฉบับที่ 1 กับฉบับที่ 2 $p = .406$, ฉบับที่ 2 กับฉบับที่ 3 $p = .326$ และฉบับที่ 1 กับฉบับที่ 3 $p = .245$ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ฉบับมีความเป็นคู่ขนานกันตามทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม โดยมีผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นดังตาราง 20

ตาราง 20

*ผลการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของความเป็นคู่ขนานของแบบสอบ*

| **แบบสอบ** | *M* | *SD* | *sk (SE)* | *ku (SE)* | $\alpha$ | *Rcc* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ฉบับที่ 1 | 4.23 | 2.46 | 0.41 (0.31) | -0.68 (0.60) | .76 | .78 |
| ฉบับที่ 2 | 4.67 | 2.56 | 0.01 (0.31) | -0.70 (0.60) | .78 | .78 |
| ฉบับที่ 3 | 5.11 | 2.63 | -0.85 (0.31) | -0.40 (0.60) | .80 | .80 |

**การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย**

| **แหล่งความแปรปรวน** | *SS* | *df* | *MS* | *F* | *p* |
|---|---|---|---|---|---|
| ระหว่างกลุ่ม | 23.902 | 2 | 11.951 | 1.838 | .162 |
| ภายในกลุ่ม | 1170.426 | 180 | 6.502 | | |
| รวม | 1194.328 | 182 | | | |

Levene's test $F(2, 180) = 0.113$, $p = .893$

| **แบบสอบ** | **การเปรียบเทียบความแปรปรวน** | | | **การเปรียบเทียบความเที่ยง** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *t* | *df* | *p* | *Z statistic* | *SE* | *p* |
| ฉบับที่ 1-ฉบับที่ 2 | 0.312 | 59 | .756 | 0.275 | -0.239 | .406 |
| ฉบับที่ 2-ฉบับที่ 3 | 0.199 | 59 | .843 | 0.275 | -0.452 | .326 |
| ฉบับที่ 1-ฉบับที่ 3 | 0.527 | 59 | .600 | 0.275 | -0.691 | .245 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**3. แบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับภาษาไทย** เป็นมาตรประมาณค่า 5 ระดับแบบลิเคิร์ท จำนวน 26 ข้อ ซึ่งแปลและเรียบเรียงมาจากแบบวัดอภิปัญญาทางฟิสิกส์ (physics metacognition inventory) ของ Taasoobshirazi et al. (2015) โดยสามารถแบ่งองค์ประกอบของอภิปัญญาออกเป็น 6 องค์ประกอบ ได้แก่ (1) ความรู้เกี่ยวกับการรู้คิด จำนวน 6 ข้อ (2) การจัดการข้อมูล จำนวน 4 ข้อ (3) การกำกับติดตาม จำนวน 4 ข้อ (4) การประเมิน จำนวน 4 ข้อ (5) การแก้ไขข้อผิดพลาด จำนวน 3 ข้อ และ (6) การวางแผน จำนวน 5 ข้อ ซึ่งมีรายละเอียดดังตาราง 21 เวลาที่ใช้ในการทำแบบวัด เท่ากับ 20 นาที ซึ่งนักเรียนจะต้องพิจารณาข้อความและเลือกระดับให้สอดคล้องกับระดับความเป็นจริงเมื่อนักเรียนดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา ได้แก่ ระดับ 1 หมายถึง ไม่เป็นความจริง, ระดับ 2 หมายถึง ค่อนข้างจะไม่เป็นความจริง, ระดับ 3 หมายถึง เป็นความจริงบางครั้ง, ระดับ 4 หมายถึง ค่อนข้างจะเป็นความจริง และระดับ 5 หมายถึง เป็นความจริงทุกครั้ง

ตาราง 21

*จำนวนข้อคำถามของแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในแต่ละองค์ประกอบ*

| องค์ประกอบการประเมิน | ข้อคำถาม | จำนวนข้อคำถาม (ข้อ) |
|---|---|---|
| 1. ความรู้เกี่ยวกับการรู้คิด | ข้อที่ 5, 6, 7, 11, 12 และ 13 | 6 |
| 2. การจัดการข้อมูล | ข้อที่ 4, 10, 18 และ 23 | 4 |
| 3. การกำกับติดตาม | ข้อที่ 2, 15, 16 และ 21 | 4 |
| 4. การประเมิน | ข้อที่ 8, 9, 17 และ 25 | 4 |
| 5. การแก้ไขข้อผิดพลาด | ข้อที่ 3, 22 และ 26 | 3 |
| 6. การวางแผน | ข้อที่ 1, 14, 19, 20 และ 24 | 5 |
| | **รวมทั้งหมด** | **26** |

โดยมีขั้นตอนการพัฒนาแบบวัด ดังนี้

3.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ โดยผู้วิจัยเลือกใช้แบบวัดอภิปัญญาทางฟิสิกส์ฉบับปรับปรุงล่าสุดของ Taasoobshirazi et al. (2015) เป็นแบบวัดต้นฉบับสำหรับการแปลจากฉบับภาษาอังกฤษเป็นฉบับภาษาไทย

3.2 ดำเนินการส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ไปยังผู้พัฒนาแบบวัด เพื่อขออนุญาตนำแบบวัดต้นฉบับมาแปลเป็นแบบวัดฉบับภาษาไทย รวมถึงนำแบบวัดที่ผ่านกระบวนการแปลภาษาและตรวจสอบคุณภาพดังกล่าวมาใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลสำหรับการวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งผู้พัฒนาแบบวัดยินยอมและอนุญาตให้ผู้วิจัยสามารถนำดำเนินการตามที่แจ้งไว้ในข้างต้นได้

3.3 นำแบบวัดต้นฉบับไปให้กลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านภาษาและการแปลดำเนินการแปลเป็นแบบวัดฉบับภาษาไทย จำนวน 2 ท่าน ซึ่งจะต้องสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาบัณฑิตทางสาขาวิชาภาษาอังกฤษ การสอนภาษาอังกฤษ หรือมัธยมศึกษา วิชาเอกภาษาอังกฤษ และมีประสบการณ์การทำงานที่ใช้ภาษาอังกฤษในการสื่อสารไม่น้อยกว่า 1 ปี ดังมีรายชื่อในภาคผนวก ก โดยให้ผู้ทรงคุณวุฒิแปลอย่างเป็นอิสระจากกัน ทำให้ได้แบบวัดฉบับภาษาไทย จำนวน 2 ฉบับ ได้แก่ แบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับภาษาไทย ฉบับที่ 1 (ฉบับร่าง) และแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับภาษาไทย ฉบับที่ 2 (ฉบับร่าง) จากนั้นดำเนินการประชุมร่วมกับผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 2 ท่าน เพื่อรวบรวมเป็นแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับภาษาไทย จำนวน 1 ฉบับ

3.4 นำแบบวัดฉบับภาษาไทยที่ผ่านกระบวนการแปลเสร็จสิ้นแล้วไปให้กลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านสาระการเรียนรู้และการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์ จำนวน 5 ท่าน ซึ่งจะต้องสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาบัณฑิตทางสาขาวิชาฟิสิกส์ การสอนฟิสิกส์ หรือมัธยมศึกษา วิชาเอกฟิสิกส์ และเป็นครูที่มีประสบการณ์การจัดการเรียนรู้รายวิชาฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายในสถานศึกษาไม่น้อยกว่า 5 ปี โดยมีรายชื่อดังที่ปรากฏในภาคผนวก ก ทำหน้าที่ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของแบบวัดสำหรับประเด็นที่ใช้ในการพิจารณาคุณภาพของแบบวัดสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเด็น ได้แก่ (1) ความสอดคล้องของข้อคำถามกับนิยามขององค์ประกอบการประเมิน และ (2) ความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับข้อคำถามจากแบบวัดต้นฉบับ โดยมีการระบุน้ำหนักคะแนน พร้อมเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณา ดังตาราง 22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง 22

*น้ำหนักคะแนนและเกณฑ์การพิจารณาในการตรวจสอบคุณภาพของแบบวัด*

| **เกณฑ์การพิจารณา** | **น้ำหนักคะแนน** | | |
|---|---|---|---|
| | **-1** | **0** | **+1** |
| 1. ความสอดคล้องของข้อคำถามกับนิยามขององค์ประกอบการประเมิน | แน่ใจว่าข้อคำถามไม่สอดคล้องกับนิยามขององค์ประกอบการประเมิน | ไม่แน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับนิยามขององค์ประกอบการประเมิน | แน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับนิยามขององค์ประกอบการประเมิน |
| 2. ความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับข้อคำถามจากแบบวัดต้นฉบับ | แน่ใจว่าข้อคำถามไม่สอดคล้องกับข้อคำถามจากแบบวัดต้นฉบับ | ไม่แน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับข้อคำถามจากแบบวัดต้นฉบับ | แน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับข้อคำถามจากแบบวัดต้นฉบับ |

3.5 คัดเลือกข้อคำถามที่มีค่าความสอดคล้องของข้อคำถามกับนิยามขององค์ประกอบการประเมิน และค่าความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับข้อคำถามจากแบบวัดต้นฉบับตั้งแต่ .50 ขึ้นไป (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) รวมถึงดำเนินการปรับปรุงแก้ไขข้อคำถามดังกล่าวตามความคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะที่กลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำ ซึ่งมีรายละเอียดดังที่ปรากฏในภาคผนวก ง จากนั้นจึงนำมาเรียบเรียงเป็นแบบวัดฉบับเดียวกัน

ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ฉบับภาษาไทย พบว่า ข้อคำถามมีค่าความสอดคล้องของข้อคำถามกับนิยามขององค์ประกอบการประเมินอยู่ระหว่าง .8 ถึง 1.0 และภายในข้อคำถามเดียวกันมีค่าความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับข้อคำถามจากแบบวัดต้นฉบับอยู่ระหว่าง .8 ถึง 1.0 ซึ่งถือว่าข้อคำถามแต่ละข้อผ่านเกณฑ์การคัดเลือกข้อคำถามที่ได้กำหนดไว้ในข้างต้นทั้งสองประเด็น ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าแบบวัดให้ผลการวัดที่มีความตรงเชิงเนื้อหา และสอดคล้องกับแบบวัดต้นฉบับตามความคิดเห็นของกลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิ โดยมีรายละเอียดดังตาราง 23

ตาราง 23

*ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบวัด*

| ข้อที่ | ความสอดคล้องของข้อคำถาม | | ข้อที่ | ความสอดคล้องของข้อคำถาม | |
|---|---|---|---|---|---|
| | IOC | แบบวัดต้นฉบับ | | IOC | แบบวัดต้นฉบับ |
| 1 | 1.0 | 1.0 | 14 | .8 | .8 |
| 2 | 1.0 | 1.0 | 15 | 1.0 | .8 |
| 3 | .8 | .8 | 16 | .8 | .6 |
| 4 | 1.0 | 1.0 | 17 | 1.0 | 1.0 |
| 5 | 1.0 | 1.0 | 18 | 1.0 | 1.0 |
| 6 | 1.0 | 1.0 | 19 | 1.0 | 1.0 |
| 7 | 1.0 | 1.0 | 20 | 1.0 | 1.0 |
| 8 | .8 | .8 | 21 | 1.0 | 1.0 |
| 9 | 1.0 | 1.0 | 22 | .8 | .8 |
| 10 | 1.0 | 1.0 | 23 | .8 | .8 |
| 11 | 1.0 | 1.0 | 24 | 1.0 | 1.0 |
| 12 | .8 | .8 | 25 | 1.0 | 1.0 |
| 13 | 1.0 | 1.0 | 26 | 1.0 | 1.0 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.6 นำแบบวัดที่ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขตามความคิดเห็นหรือข้อเสนอแนะที่กลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิแนะนำแล้วไปทดลองกับนักเรียนโรงเรียนปทุมวิไล จังหวัดปทุมธานี จำนวน 36 คน ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับตัวอย่างวิจัย จากนั้นจึงนำผลการตอบมาวิเคราะห์ค่าความเที่ยงแบบสอดคล้องภายในด้วยวิธีสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคของแบบวัด โดยความเที่ยงควรมีค่าไม่ต่ำกว่า .50 (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556) ซึ่งพบว่า ทุกองค์ประกอบที่มุ่งวัดมีค่าความเที่ยงผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในข้างต้น ($\alpha$ = .83, .94, .60, .70, .73 และ .75 ตามลำดับ) และเมื่อพิจารณาแบบวัดทั้งฉบับ พบว่า แบบวัดทั้งฉบับให้ผลการวัดที่มีความเที่ยง ($\alpha$ = .93) ซึ่งมีรายละเอียดดังตาราง 24

ตาราง 24

*ผลการตรวจสอบความเที่ยงรายองค์ประกอบและทั้งฉบับของแบบวัด*

| องค์ประกอบที่มุ่งวัด | สัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค |
|---|---|
| 1. ความรู้เกี่ยวกับอภิปัญญา | .83 |
| 2. การจัดการข้อมูล | .94 |
| 3. การกำกับติดตาม | .60 |
| 4. การประเมิน | .70 |
| 5. การแก้ไขข้อผิดพลาด | .73 |
| 6. การวางแผน | .75 |
| **ทั้งฉบับ** | **.93** |

**การเก็บรวบรวมข้อมูล**

การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลในการทำวิจัย แบ่งออกเป็น 2 ระยะ ได้แก่ (1) ระยะนำเครื่องมือไปทดลองใช้ และ (2) ระยะนำเครื่องมือไปใช้จริง โดยแต่ละระยะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**ระยะที่ 1 นำเครื่องมือไปทดลองใช้**

1) นำแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทุกฉบับและแบบวัดอภิปัญญาใกนการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับภาษาไทย เข้าสู่ระบบการใช้งาน Google form ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และทดสอบการใช้งานระบบ เพื่อตรวจสอบความพร้อมและข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นของระบบในขณะใช้งาน

2) จัดทำหนังสือขออนุญาตในการทดลองใช้แบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาและแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากคณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถึงผู้อำนวยการโรงเรียน พร้อมทั้งชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับการวิจัย

3) ประสานงานกับครูผู้สอนรายวิชาฟิสิกส์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เพื่อชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับการวิจัย รวมถึงนัดหมายวันและเวลาที่ใช้ในการทดลองใช้แบบสอบและแบบวัด

4) นำแบบสอบและแบบวัดไปทดลองใช้กับนักเรียน โดยไม่กำหนดเวลาในการทดสอบ สำหรับใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาเพื่อกำหนดเวลาที่ใช้ในการทดสอบจริง

5) นำคะแนนที่ได้จากการทดลองใช้แบบสอบมาวิเคราะห์คุณภาพของข้อสอบ เพื่อคัดเลือกข้อสอบที่มีคุณภาพสำหรับนำไปใช้เก็บข้อมูลจริงจากตัวอย่าง พร้อมทั้งวิเคราะห์ความเป็นคู่ขนานของแบบสอบ และคุณภาพของแบบสอบทั้งฉบับ

**ระยะที่ 2 นำเครื่องมือไปใช้จริง**

1) นำแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทุกฉบับ ชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ และแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับภาษาไทย เข้าสู่โปรแกรม Moodle ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และทดสอบการใช้งานระบบ เพื่อตรวจสอบความพร้อมและข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นของระบบในขณะใช้งาน

2) จัดทำหนังสือขออนุญาตในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการวิจัยจากคณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถึงผู้อำนวยการโรงเรียน พร้อมทั้งชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับการวิจัยข

3) ประสานงานกับครูผู้สอนรายวิชาฟิสิกส์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เพื่อชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับการวิจัย รวมทั้งขอข้อมูลเกี่ยวกับผลคะแนนสอบปลายภาครายวิชาฟิสิกส์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เพื่อใช้ในการจำแนกตัวอย่างวิจัยเข้ากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม รวมถึงนัดหมายวันและเวลาที่ใช้ในการทำแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ และแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับภาษาไทย โดยมีการเก็บรวบรวมข้อมูลจากตัวอย่างวิจัยเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบลักษณะการเก็บรวบรวมข้อมูลในแต่ละสัปดาห์ไว้แตกต่างกัน

<u>สัปดาห์ที่ 1</u> ตัวอย่างวิจัยทุกกลุ่มทำแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับที่ 1 จำนวน 10 ข้อ ภายในระยะเวลา 60 นาที และแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับภาษาไทย ครั้งที่ 1 จำนวน 26 ข้อ ภายในระยะเวลา 20 นาที

<u>สัปดาห์ที่ 2</u> ตัวอย่างวิจัยแต่ละกลุ่มทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ชุดที่ 1 จำนวน 6 ข้อ ภายในระยะเวลา 60 นาที ซึ่งชุดฝึกดังกล่าวมีทั้งหมด 4 ลักษณะตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ ได้แก่ (1) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย (2) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย (3) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ และ (4) ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง โดยทุกลักษณะมีโจทย์ปัญหาหลักเหมือนกันทุกข้อคำถาม แต่มีข้อมูลย้อนกลับที่แตกต่างกันไปตามนิยามของข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์แต่ละประเภท ซึ่งตัวอย่างวิจัยแต่ละกลุ่มมีแนวทางในการดำเนินการดังนี้

1. นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูง ปานกลาง และต่ำ ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย จะต้องทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ชุดที่ 1 (ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย)

2. นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูง ปานกลาง และต่ำ ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย จะต้องทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ชุดที่ 1 (ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย)

3. นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูง ปานกลาง และต่ำ ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ จะต้องทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ชุดที่ 1 (ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่)

4. นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูง ปานกลาง และต่ำ ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง จะต้องทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ชุดที่ 1 (ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง)

<u>สัปดาห์ที่ 3</u> ตัวอย่างวิจัยทุกกลุ่มทำแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับที่ 2 จำนวน 10 ข้อ ภายในระยะเวลา 60 นาที

<u>สัปดาห์ที่ 4</u> ตัวอย่างวิจัยแต่ละกลุ่มทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ชุดที่ 2 จำนวน 6 ข้อ ภายในระยะเวลา 60 นาที ซึ่งชุดฝึกดังกล่าวมีทั้งหมด 4 ลักษณะตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ ได้แก่ (1) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย (2) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย (3) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ และ (4) ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง โดยทุกลักษณะมีโจทย์ปัญหาหลักเหมือนกันทุกข้อคำถาม แต่มีข้อมูลย้อนกลับที่แตกต่างกันไป

ตามนิยามของข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์แต่ละประเภท ซึ่งตัวอย่างวิจัยแต่ละกลุ่มมีแนวทางในการดำเนินการดังนี้

1. นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูง ปานกลาง และต่ำ ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย จะต้องทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ชุดที่ 2 (ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย)

2. นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูง ปานกลาง และต่ำ ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย จะต้องทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ชุดที่ 2 (ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย)

3. นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูง ปานกลาง และต่ำ ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ จะต้องทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ชุดที่ 2 (ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่)

4. นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูง ปานกลาง และต่ำ ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง จะต้องทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ชุดที่ 2 (ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง)

<u>สัปดาห์ที่ 5</u> ตัวอย่างวิจัยทุกกลุ่มทำแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับที่ 3 จำนวน 10 ข้อ ภายในเวลา 60 นาที และแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับภาษาไทย ครั้งที่ 2 จำนวน 26 ข้อ ภายในระยะเวลา 20 นาที

4) ชี้แจงชื่อบัญชีผู้ใช้และรหัสผ่านของนักเรียนแต่ละคนสำหรับการเข้าสู่ระบบที่ใช้ในการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้

5) ดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลจากตัวอย่างวิจัยตามวันและเวลาที่กำหนดไว้ผ่านโปรแกรมระบบประชุมทางไกล Zoom โดยผู้วิจัยเป็นผู้ควบคุมตลอดกระบวนการด้วยตนเอง หากมีนักเรียนคนใดมีปัญหาเกี่ยวกับการใช้งาน สามารถติดต่อกับผู้วิจัยได้ทันที

6) ดำเนินการสัมภาษณ์นักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน โดยสอบถามในประเด็นเกี่ยวกับลักษณะ จุดเด่น ข้อจำกัดของการใช้ชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์

**การวิเคราะห์ข้อมูล**

1. การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับข้อมูลภูมิหลังของตัวอย่าง โดยใช้การวิเคราะห์ค่าความถี่ (frequency) และร้อยละ (percentage)

2. การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ พัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ อภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ และพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ โดยใช้สถิติเชิงบรรยาย (descriptive statistics) เพื่อให้ทราบถึงลักษณะการการกระจายและการแจกแจงของข้อมูลในภาพรวม ซึ่งประกอบด้วย (1) ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (mean, *M*) (2) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, *SD*) (3) คะแนนต่ำสุด (minimum, *min*) (4) คะแนนสูงสุด (maximum, *max*) (5) ความเบ้ (skewness, *sk*) และ (6) ความโด่ง (kurtosis, *ku*)

3. การวิเคราะห์คะแนนพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากการทำแบบสอบวัดความสามารถและแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน โดยใช้การวัดคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์ (relative gain score) ซึ่งมีสูตรการคำนวณ ดังนี้ (ศิริชัย กาญจนวาสี, 2556)

$$DS(\%) = \frac{(Y - X)}{(F - X)} \times 100$$

เมื่อ $DS(\%)$ คือ คะแนนร้อยละของพัฒนาการสัมพัทธ์

$X$ คือ คะแนนที่ได้จากการทำแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ฉบับก่อน หรือแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ครั้งที่ 1

$Y$ คือ คะแนนที่ได้จากการทำแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ฉบับหลัง หรือแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ครั้งที่ 2

$F$ คือ คะแนนเต็ม

ผู้วิจัยแบ่งการวิเคราะห์คะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ (1) ระยะที่ 1 เป็นระยะที่วัดพัฒนาการคะแนนที่ได้จากการทำแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ระหว่างฉบับที่ 1 กับฉบับที่ 2 (2) ระยะที่ 2

เป็นระยะที่วัดพัฒนาการคะแนนที่ได้จากการทำแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ระหว่างฉบับที่ 2 กับฉบับที่ 3 และ (3) ระยะที่ 3 เป็นระยะที่วัดพัฒนาการคะแนนที่ได้จากการทำแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ระหว่างฉบับที่ 1 กับฉบับที่ 3 โดยสูตรการคำนวณคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์จะแตกต่างกันออกไปตามนิยามของตัวแปร $X$ และ $Y$ ในแต่ละระยะดังตาราง 25

ตาราง 25

*สูตรการคำนวณคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์แต่ละระยะ*

| ระยะที่ | ฉบับก่อน ($X$) | | ฉบับหลัง ($Y$) | | คะแนนเต็ม ($F$) | สูตรการคำนวณ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ฉบับที่ | สัญลักษณ์ | ฉบับที่ | สัญลักษณ์ | | |
| 1 | 1 | $X_1$ | 2 | $Y_2$ | 10 | $DS_1(\%) = \frac{(Y_2 - X_1)}{(10 - X_1)} \times 100$ |
| 2 | 2 | $X_2$ | 3 | $Y_3$ | 10 | $DS_2(\%) = \frac{(Y_3 - X_2)}{(10 - X_2)} \times 100$ |
| 3 | 1 | $X_1$ | 3 | $Y_3$ | 10 | $DS_3(\%) = \frac{(Y_3 - X_1)}{(10 - X_1)} \times 100$ |

สำหรับการวิเคราะห์คะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากการทำแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ระหว่างครั้งที่ 1 (คะแนนที่ได้ $X$) กับครั้งที่ 2 (คะแนนที่ได้ $Y$) โดยทั้งสองครั้งมีคะแนนเต็ม ($F$) เท่ากับ 130 คะแนน ดังนั้นสูตรการคำนวณคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์สามารถเขียนได้เป็น ดังนี้

$$DS(\%) = \frac{(Y - X)}{(130 - X)} \times 100$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4. การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (two-way ANOVA) พร้อมพิจารณาขนาดอิทธิพลจาก Partial eta squared ($\eta_p^2$) โดยที่ $\eta_p^2$ = .01, .06 และ .14 หมายถึง มีขนาดอิทธิพลระดับต่ำ ระดับปานกลาง และระดับสูง ตามลำดับ (Cohen, 1988)

5. การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ (repeated measures ANOVA)

6. การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) เนื่องจากอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางความคิดและการรับรู้ซึ่งต้องใช้เวลาในการเปลี่ยนแปลงระยะหนึ่ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการวัดกับตัวอย่างวิจัย จำนวน 2 ครั้ง ได้แก่ ก่อนและหลังใช้ชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์

7. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพจากการสัมภาษณ์นักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันโดยใช้วิธีการสร้างข้อสรุปเชิงอุปนัย (analytic induction)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# บทที่ 4
# ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัย เรื่อง ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีวัตถุประสงค์การวิจัย 2 ข้อ ได้แก่ (1) เพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับ ระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 และ (2) เพื่อเปรียบเทียบพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน โดยผู้วิจัยแบ่งการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

**ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของตัวอย่างวิจัย**

1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4

1.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4

1.3 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4

1.4 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4

**ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์**

2.1 ผลการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์

2.2 ผลการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์

**ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน**

3.1 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน

3.2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน

3.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพที่ได้จากการสัมภาษณ์นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน

โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลแต่ละตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของตัวอย่างวิจัย**

รายละเอียดของผลการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของตัวอย่างวิจัยสามารถแบ่งการนำเสนอออกเป็น 4 หัวข้อประกอบด้วย (1) ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 (2) ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 (3) ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 และ (4) ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยแต่ละหัวข้อมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4**

รายละเอียดของผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 สามารถแบ่งผลการวิเคราะห์ออกเป็น 3 หัวข้อ ประกอบด้วย (1) ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบสอบทั้ง 3 ฉบับ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 (2) ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบสอบทั้ง 3 ฉบับ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำแนกตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์และระดับความสามารถทางฟิสิกส์ และ (3) ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบสอบทั้ง 3 ฉบับ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน โดยแต่ละหัวข้อมีรายละเอียด ดังนี้

**1.1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบสอบทั้ง 3 ฉบับ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4**

ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากการทำแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ฉบับ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 73 คน โดยแบบสอบแต่ละฉบับมีคะแนนเต็ม 10 คะแนน พบว่า คะแนนต่ำสุดของแบบสอบฉบับที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 0, 1 และ 2 คะแนน ตามลำดับ ส่วนคะแนนสูงสุดมีค่าเท่ากันในแบบสอบฉบับที่ 1 และ 2 คือ 9 คะแนน ในขณะที่แบบสอบฉบับที่ 3 มีคะแนนสูงสุดเท่ากับ 10 คะแนน เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ย พบว่า แบบสอบฉบับที่ 3 มีคะแนนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 8.34 คะแนน ($SD$ = 1.79) รองลงมา ได้แก่ แบบสอบฉบับที่ 2 และ 1 คือ 6.79 คะแนน ($SD$ = 2.17) และ 4.67 คะแนน ($SD$ = 2.28) ตามลำดับ

เมื่อพิจารณารูปโค้งการแจกแจงของคะแนนจากค่าความเบ้ พบว่า คะแนนจากแบบสอบฉบับที่ 1 (ภาพ 19) มีลักษณะการแจกแจงแบบเบ้ขวา ($sk$ = 0.03) ส่วนคะแนนจากแบบสอบฉบับที่ 2 (ภาพ 20) และ 3 (ภาพ 21) มีลักษณะการแจกแจงแบบเบ้ซ้าย โดยคะแนนจากแบบสอบฉบับที่ 3 ($sk$ = -1.43) มีลักษณะการเบ้ซ้ายมากกว่าแบบสอบฉบับที่ 2 ($sk$ = -0.93) เมื่อพิจารณารูปโค้งการแจกแจงของคะแนนจากค่าความโด่ง พบว่า คะแนนจากแบบสอบฉบับที่ 1 มีลักษณะแบนกว่าโค้งปกติ ($ku$ = -0.43) ส่วนคะแนนจากแบบสอบฉบับที่ 2 และ 3 มีลักษณะโด่งกว่าโค้งปกติ โดยคะแนนจากแบบสอบฉบับที่ 3 ($ku$ = 2.03) มีลักษณะโด่งมากกว่าแบบสอบฉบับที่ 2 ($ku$ = 0.13)

และเมื่อพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนของความเบ้และความโด่ง พบว่า มีค่าไม่เกิน 2.00 หรือไม่น้อยกว่า -2.00 จึงสามารถสรุปได้ว่า คะแนนจากแบบสอบทุกฉบับมีลักษณะของการแจกแจงเป็นโค้งปกติ (SPSS Base 8.0, 1998 อ้างถึงใน อวยพร เรืองตระกูล, 2544) โดยมีผลการวิเคราะห์ดังตาราง 26

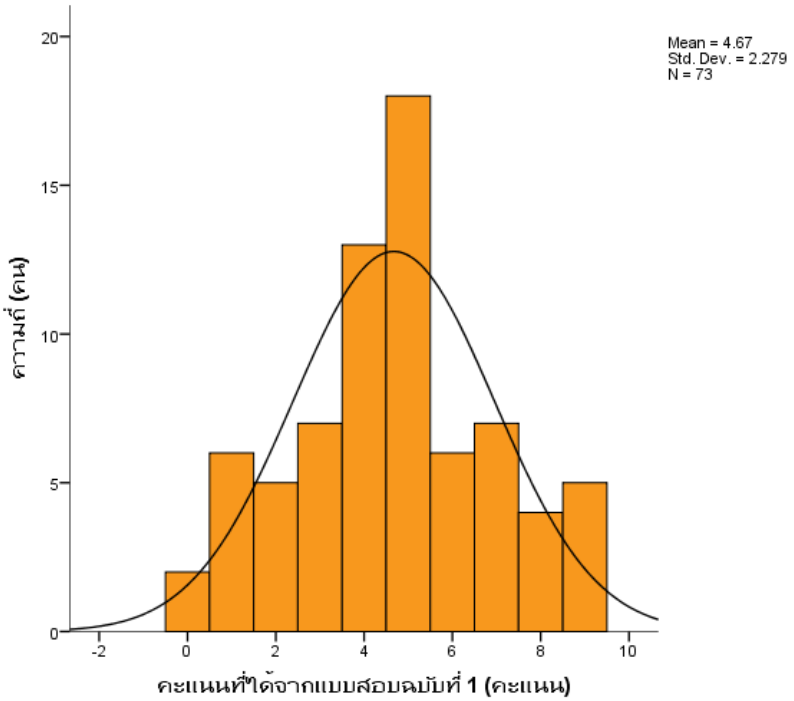
ตาราง 26

*ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบสอบทั้ง 3 ฉบับ*

| ค่าสถิติพื้นฐาน | แบบสอบฉบับที่ 1 | แบบสอบฉบับที่ 2 | แบบสอบฉบับที่ 3 |
|---|---|---|---|
| *M* | 4.67 | 6.79 | 8.34 |
| *SD* | 2.28 | 2.17 | 1.79 |
| *min* | 0.00 | 1.00 | 2.00 |
| *max* | 9.00 | 9.00 | 10.00 |
| *sk* (*SE*) | 0.03 (0.28) | -0.93 (0.28) | -1.43 (0.28) |
| *ku* (*SE*) | -0.43 (0.56) | 0.13 (0.56) | 2.03 (0.56) |

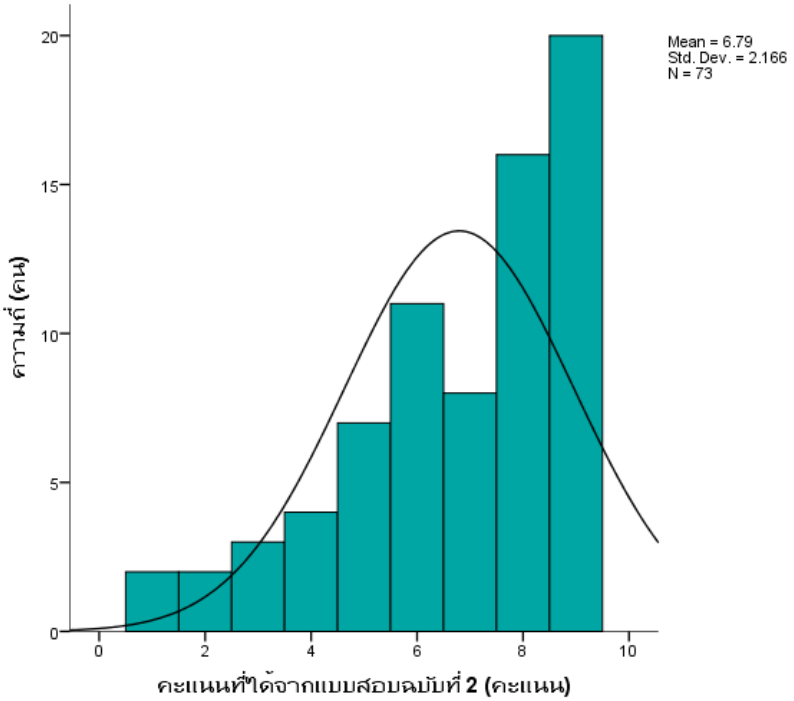
ภาพ 19

*การกระจายของคะแนนที่ได้จากแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ฉบับที่ 1*



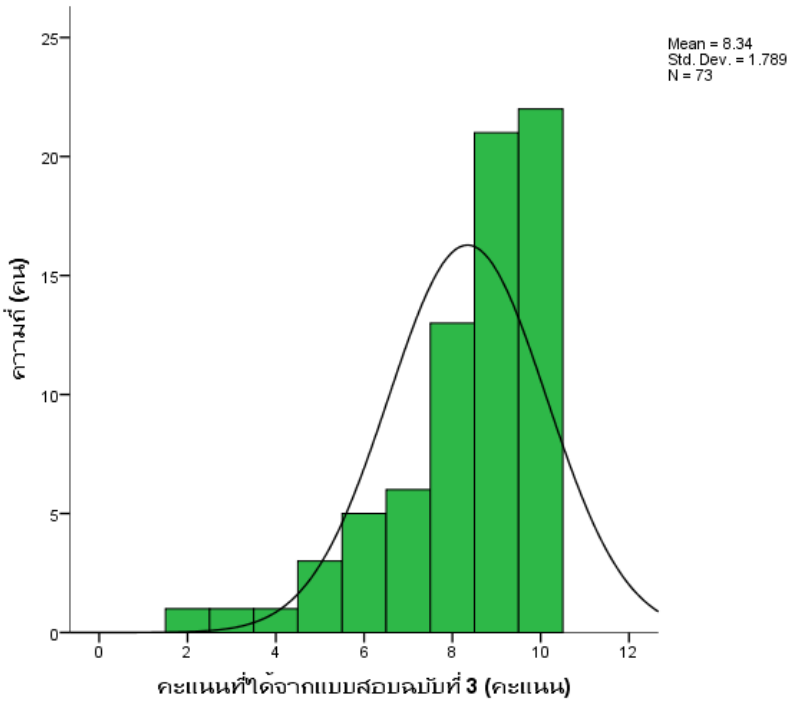
ภาพ 20

*การกระจายของคะแนนที่ได้จากแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ฉบับที่ 2*




ภาพ 21

*การกระจายของคะแนนที่ได้จากแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ฉบับที่ 3*



**1.1.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบสอบทั้ง 3 ฉบับ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำแนกตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์และระดับความสามารถทางฟิสิกส์**

ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากการทำแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ฉบับ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 73 คน จำแนกตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ พบว่า นักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ทุกประเภทจะมีค่าเฉลี่ยคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงขึ้นในแต่ละฉบับ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยคะแนนจากแบบสอบรายฉบับ พบว่า นักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้ายมีค่าเฉลี่ยคะแนนต่ำสุดในแบบสอบฉบับที่ 1 ($M$ = 3.90, $SD$ = 2.08) แต่มีค่าเฉลี่ยคะแนนสูงสุดในแบบสอบฉบับที่ 2 ($M$ = 6.90, $SD$ = 2.29) และ 3 ($M$ = 8.90, $SD$ = 1.41) ในทางกลับกันนักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องมีค่าเฉลี่ยคะแนนสูงสุดในแบบสอบฉบับที่ 1 ($M$ = 5.13, $SD$ = 2.23) แต่มีค่าเฉลี่ยคะแนนต่ำสุดในแบบสอบฉบับที่ 2 ($M$ = 6.40, $SD$ = 2.50) และฉบับที่ 3 ($M$ = 7.13, $SD$ = 2.23) ส่วนนักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย ($M$ = 5.00, $SD$ = 2.16) มีค่าเฉลี่ยคะแนนสูงกว่านักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ในแบบสอบฉบับที่ 1 ($M$ = 4.79, $SD$ = 2.59) ในขณะที่มีค่าเฉลี่ยคะแนน ($M$ = 6.89, $SD$ = 2.23) เท่ากับนักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ในแบบสอบฉบับที่ 2 ($M$ = 6.89, $SD$ = 1.79) และมีค่าเฉลี่ยคะแนน ($M$ = 8.32, $SD$ = 1.86) ต่ำกว่านักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ในแบบสอบฉบับที่ 3 ($M$ = 8.74, $SD$ = 1.28)

เมื่อจำแนกตามระดับความสามารถทางฟิสิกส์ พบว่า นักเรียนทุกระดับความสามารถทางฟิสิกส์จะมีค่าเฉลี่ยคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงขึ้นในแต่ละฉบับตามลำดับ โดยพบว่า นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงมีค่าเฉลี่ยคะแนนสูงสุดทุกฉบับ (ฉบับที่ 1 $M$ = 4.96, $SD$ = 1.69; ฉบับที่ 2 $M$ = 7.26, $SD$ = 1.94; ฉบับที่ 3 $M$ = 9.26, $SD$ = 0.69) ตามลำดับ ส่วนนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลาง ($M$ = 4.18, $SD$ = 2.27) มีค่าเฉลี่ยคะแนนต่ำกว่านักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำในแบบสอบฉบับที่ 1 ($M$ = 4.73, $SD$ = 2.64) แต่มีค่าเฉลี่ยคะแนน (ฉบับที่ 2 $M$ = 6.88, $SD$ = 2.40; ฉบับที่ 3 $M$ = 8.18, $SD$ = 2.33) สูงกว่านักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำในฉบับที่ 2 ($M$ = 6.42, $SD$ = 2.19) และฉบับที่ 3 ($M$ = 7.79, $SD$ = 1.80) ตามลำดับ โดยมีผลการวิเคราะห์ดังตาราง 27

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง 27

*ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบสอบทั้ง 3 ฉบับ จำแนกตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์และระดับความสามารถทางฟิสิกส์*

| รายละเอียด | คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ฉบับที่ 1 | | ฉบับที่ 2 | | ฉบับที่ 3 | |
| | *M* | *SD* | *M* | *SD* | *M* | *SD* |
| **ประเภทข้อมูลย้อนกลับ** | | | | | | |
| เชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย | 3.90 | 2.08 | 6.90 | 2.29 | 8.90 | 1.41 |
| เชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย | 5.00 | 2.16 | 6.89 | 2.23 | 8.32 | 1.86 |
| เชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ | 4.79 | 2.59 | 6.89 | 1.79 | 8.74 | 1.28 |
| บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 5.13 | 2.23 | 6.40 | 2.50 | 7.13 | 2.23 |
| **ระดับความสามารถทางฟิสิกส์** | | | | | | |
| ระดับสูง | 4.96 | 1.69 | 7.26 | 1.94 | 9.26 | 0.69 |
| ระดับปานกลาง | 4.18 | 2.27 | 6.88 | 2.40 | 8.18 | 2.33 |
| ระดับต่ำ | 4.73 | 2.64 | 6.42 | 2.19 | 7.79 | 1.80 |

**1.1.3 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบสอบทั้ง 3 ฉบับ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน**

ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากการทำแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ฉบับ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน จำนวน 73 คน พบว่า นักเรียนทุกระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันจะมีค่าเฉลี่ยคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบสอบสูงขึ้นในแต่ละฉบับ ตามลำดับ โดยมีผลการวิเคราะห์ดังตาราง 28

ตาราง 28

*ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบสอบทั้ง 3 ฉบับ ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน*

| ระดับความสามารถทางฟิสิกส์ | ประเภทข้อมูลย้อนกลับ | คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ฉบับที่ 1 | | ฉบับที่ 2 | | ฉบับที่ 3 | |
| | | *M* | *SD* | *M* | *SD* | *M* | *SD* |
| ระดับสูง | เชิงโต้ตอบ+ลดความคล้าย | 4.25 | 1.58 | 7.25 | 2.32 | 9.50 | 0.54 |
| | เชิงโต้ตอบ+เพิ่มความคล้าย | 4.83 | 1.72 | 7.17 | 2.23 | 9.67 | 0.52 |
| | เชิงโต้ตอบ+ความคล้ายคงที่ | 4.80 | 1.48 | 6.60 | 1.82 | 8.60 | 0.89 |
| | บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 6.75 | 1.26 | 8.25 | 0.50 | 9.00 | 0.00 |
| ระดับปานกลาง | เชิงโต้ตอบ+ลดความคล้าย | 4.50 | 3.11 | 8.50 | 0.58 | 9.75 | 0.50 |
| | เชิงโต้ตอบ+เพิ่มความคล้าย | 4.00 | 2.00 | 6.75 | 2.63 | 7.50 | 2.65 |
| | เชิงโต้ตอบ+ความคล้ายคงที่ | 3.50 | 1.29 | 6.75 | 2.22 | 9.25 | 0.96 |
| | บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 4.60 | 2.88 | 5.80 | 3.11 | 6.60 | 2.88 |
| ระดับต่ำ | เชิงโต้ตอบ+ลดความคล้าย | 3.25 | 2.05 | 5.75 | 2.38 | 7.87 | 1.73 |
| | เชิงโต้ตอบ+เพิ่มความคล้าย | 5.56 | 2.51 | 6.78 | 2.33 | 7.78 | 1.72 |
| | เชิงโต้ตอบ+ความคล้ายคงที่ | 5.30 | 3.30 | 7.10 | 1.79 | 8.60 | 1.58 |
| | บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 4.50 | 1.87 | 5.67 | 2.42 | 6.33 | 1.86 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**1.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4**

รายละเอียดของผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 สามารถแบ่งผลการวิเคราะห์ออกเป็น 3 หัวข้อ ประกอบด้วย (1) ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 (2) ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำแนกตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์และระดับความสามารถทางฟิสิกส์ และ (3) ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4

ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน โดยแต่ละหัวข้อมีรายละเอียด ดังนี้

**1.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4**

ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 73 คน โดยแต่ละระยะมีคะแนนเต็มพัฒนาการสัมพัทธ์ คิดเป็นร้อยละ 100 พบว่า ค่าต่ำสุดของคะแนนพัฒนาการในระยะที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากัน โดยคิดเป็นร้อยละ 0 ส่วนระยะที่ 3 คิดเป็นร้อยละ 20 ในขณะที่ค่าสูงสุดของคะแนนพัฒนาการในระยะที่ 1 คิดเป็นร้อยละ 87.50 ส่วนระยะที่ 2 และ 3 มีค่าเท่ากัน โดยคิดเป็นร้อยละ 100 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการ พบว่า คะแนนพัฒนาการในระยะที่ 3 มีค่าเฉลี่ยสูงสุด โดยคิดเป็นร้อยละ 70.39 (*SD* = 26.65) รองลงมา ได้แก่ ระยะที่ 2 คิดเป็นร้อยละ 55.21 (*SD* = 36.61) และระยะที่ 1 คิดเป็นร้อยละ 37.78 (*SD* = 28.26) ตามลำดับ

เมื่อพิจารณารูปโค้งการแจกแจงของคะแนนจากค่าความเบ้ พบว่า คะแนนพัฒนาการในระยะที่ 1 (ภาพ 22) มีลักษณะการแจกแจงแบบเบ้ขวา (*sk* = 0.22) ส่วนคะแนนพัฒนาการในระยะที่ 2 (ภาพ 23) และ 3 (ภาพ 24) มีลักษณะการแจกแจงแบบเบ้ซ้าย โดยคะแนนพัฒนาการในระยะที่ 3 (*sk* = -0.41) มีลักษณะการเบ้ซ้ายมากกว่าระยะที่ 2 (*sk* = -0.10) เมื่อพิจารณารูปโค้งการแจกแจงของคะแนนจากค่าความโด่ง พบว่า คะแนนพัฒนาการในระยะที่ 1, 2 และ 3 มีลักษณะแบนกว่าโค้งปกติ โดยคะแนนพัฒนาการในระยะที่ 2 (*ku* = -1.32) มีลักษณะแบนกว่าระยะที่ 1 (*ku* = -1.24) และ 3 (*ku* = -1.16) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนของความเบ้และความโด่ง พบว่า มีค่าไม่เกิน 2.00 หรือไม่น้อยกว่า -2.00 จึงสามารถสรุปได้ว่า คะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทุกระยะมีลักษณะของการแจกแจงเป็นโค้งปกติ (SPSS Base 8.0, 1998 อ้างถึงใน อวยพร เรืองตระกูล, 2544) โดยมีผลการวิเคราะห์ดังตาราง 29

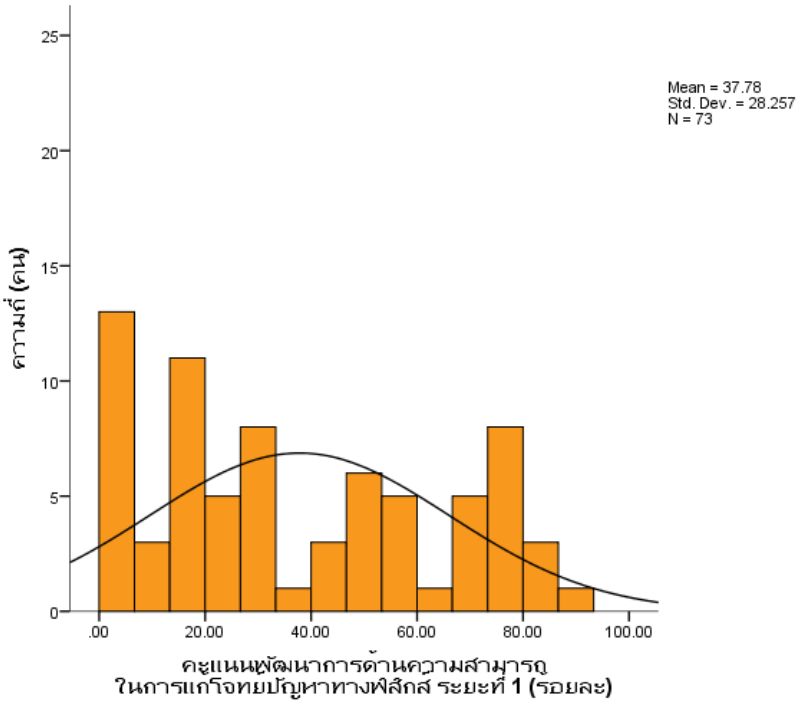
ตาราง 29

*ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ*

| ค่าสถิติพื้นฐาน | ระยะที่ 1 | ระยะที่ 2 | ระยะที่ 3 |
|---|---|---|---|
| *M* | 37.78 | 55.21 | 70.39 |
| *SD* | 28.26 | 36.61 | 26.65 |
| *min* | 0.00 | 0.00 | 20.00 |
| *max* | 87.50 | 100.00 | 100.00 |
| *sk* (*SE*) | 0.22 (0.28) | -0.10 (0.28) | -0.41 (0.28) |
| *ku* (*SE*) | -1.24 (0.56) | -1.32 (0.56) | -1.16 (0.56) |

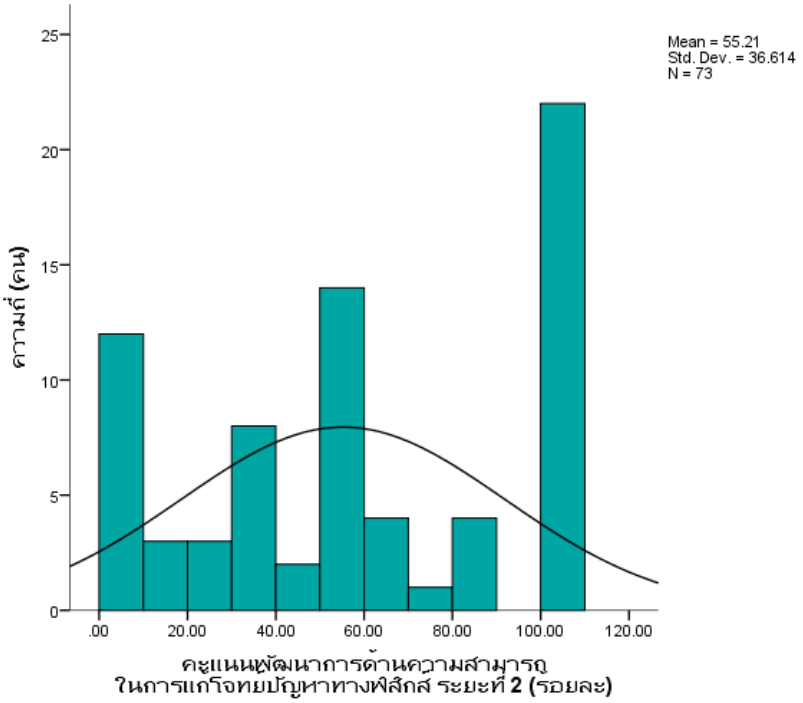
ภาพ 22

*การกระจายของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 1*



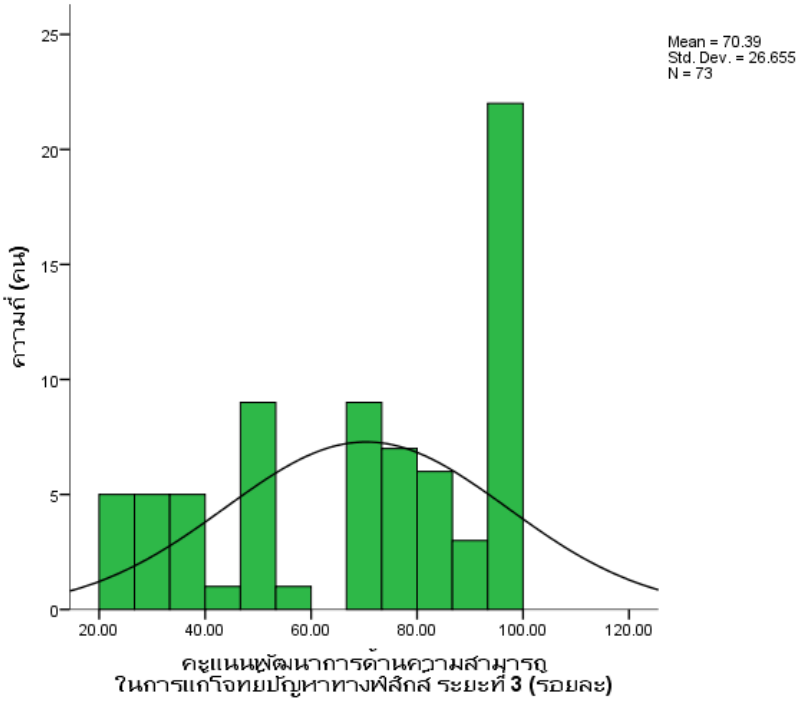
ภาพ 23

*การกระจายของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 2*




ภาพ 24

*การกระจายของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 3*



**1.2.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำแนกตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์และระดับความสามารถทางฟิสิกส์**

ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 73 คน จำแนกตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ พบว่า นักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย และข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่จะมีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงขึ้นในแต่ละระยะ ส่วนนักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องจะมีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการต่ำลงในระยะที่ 2 เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการในแต่ละระยะ พบว่า นักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องมีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการต่ำสุดทุกระยะ (ระยะที่ 1 $M$ = 29.00, $SD$ = 23.37; ระยะที่ 2 $M$ = 22.11, $SD$ = 21.74; ระยะที่ 3 $M$ = 45.93, $SD$ = 20.80) ตามลำดับ ในทางกลับกันนักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้ายมีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการสูงสุดทุกระยะ (ระยะที่ 1 $M$ = 47.53, $SD$ = 31.40; ระยะที่ 2 $M$ = 74.18, $SD$ = 27.92; ระยะที่ 3 $M$ = 81.82, $SD$ = 22.05) ตามลำดับ ส่วนนักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย ($M$ = 39.11, $SD$ = 27.24) มีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการสูงกว่านักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ในระยะที่ 1 ($M$ = 33.11, $SD$ = 28.13) แต่มีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการ (ระยะที่ 2 $M$ = 50.80, $SD$ = 40.51; ระยะที่ 3 $M$ = 69.49, $SD$ = 26.99) ต่ำกว่านักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ในระยะที่ 2 ($M$ = 65.79, $SD$ = 32.85) และระยะที่ 3 ($M$ = 78.58, $SD$ = 23.41) ตามลำดับ

เมื่อจำแนกตามระดับความสามารถทางฟิสิกส์ พบว่า นักเรียนทุกระดับความสามารถทางฟิสิกส์จะมีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงขึ้นในแต่ละระยะ ตามลำดับ โดยพบว่า นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงมีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการสูงสุดทุกระยะ (ระยะที่ 1 $M$ = 46.57, $SD$ = 28.10; ระยะที่ 2 $M$ = 72.93, $SD$ = 30.44; ระยะที่ 3 $M$ = 82.91, $SD$ = 18.35) ตามลำดับ รองลงมา ได้แก่ ความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลาง (ระยะที่ 1 $M$ = 43.56, $SD$ = 32.87; ระยะที่ 2 $M$ = 50.91, $SD$ = 41.74; ระยะที่ 3 $M$ = 70.78, $SD$ = 30.31) และระดับต่ำ (ระยะที่ 1 $M$ = 28.67, $SD$ = 23.55; ระยะที่ 2

*M* = 45.08, *SD* = 34.16; ระยะที่ 3 *M* = 61.47, *SD* = 26.70) ตามลำดับ โดยมีผลการวิเคราะห์ดังตาราง 30

ตาราง 30

*ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ จำแนกตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์และระดับความสามารถทางฟิสิกส์*

| **รายละเอียด** | **คะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **ระยะที่ 1 (ฉบับที่ 1 กับ 2)** | | **ระยะที่ 2 (ฉบับที่ 2 กับ 3)** | | **ระยะที่ 3 (ฉบับที่ 1 กับ 3)** | |
| | *M* | *SD* | *M* | *SD* | *M* | *SD* |
| **ประเภทข้อมูลย้อนกลับ** | | | | | | |
| เชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย | 47.53 | 31.40 | 74.18 | 27.92 | 81.82 | 22.05 |
| เชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย | 39.11 | 27.24 | 50.80 | 40.51 | 69.49 | 26.99 |
| เชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ | 33.11 | 28.13 | 65.79 | 32.85 | 78.58 | 23.41 |
| บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 29.00 | 23.37 | 22.11 | 21.74 | 45.93 | 20.80 |
| **ระดับความสามารถทางฟิสิกส์** | | | | | | |
| ระดับสูง | 46.57 | 28.10 | 72.93 | 30.44 | 82.91 | 18.35 |
| ระดับปานกลาง | 43.56 | 32.87 | 50.91 | 41.74 | 70.78 | 30.31 |
| ระดับต่ำ | 28.67 | 23.55 | 45.08 | 34.16 | 61.47 | 26.70 |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**1.2.3 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน**

ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน จำนวน 73 คน พบว่า นักเรียนทุกระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้ายและข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ รวมถึงนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงและระดับต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้ายจะมีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงขึ้นในแต่ละระยะ ในขณะที่นักเรียน

ที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย และนักเรียนทุกระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง มีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการต่ำลงในระยะที่ 2 โดยมีผลการวิเคราะห์ดังตาราง 31

ตาราง 31

*ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน*

| **ระดับความสามารถทางฟิสิกส์** | **ประเภทข้อมูลย้อนกลับ** | **คะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **ระยะที่ 1 (ฉบับที่ 1 กับ 2)** | | **ระยะที่ 2 (ฉบับที่ 2 กับ 3)** | | **ระยะที่ 3 (ฉบับที่ 1 กับ 3)** | |
| | | *M* | *SD* | *M* | *SD* | *M* | *SD* |
| ระดับสูง | เชิงโต้ตอบ+ลดความคล้าย | 53.88 | 30.94 | 86.34 | 17.87 | 90.40 | 12.02 |
| | เชิงโต้ตอบ+เพิ่มความคล้าย | 48.41 | 32.60 | 91.11 | 14.40 | 94.84 | 8.03 |
| | เชิงโต้ตอบ+ความคล้ายคงที่ | 34.57 | 30.21 | 58.00 | 37.68 | 70.29 | 24.28 |
| | บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 44.17 | 13.16 | 37.50 | 25.00 | 65.84 | 12.29 |
| ระดับปานกลาง | เชิงโต้ตอบ+ลดความคล้าย | 56.40 | 38.64 | 87.50 | 25.00 | 96.43 | 7.15 |
| | เชิงโต้ตอบ+เพิ่มความคล้าย | 50.56 | 24.97 | 28.57 | 48.09 | 63.33 | 31.97 |
| | เชิงโต้ตอบ+ความคล้ายคงที่ | 50.66 | 32.02 | 75.00 | 28.86 | 88.54 | 15.73 |
| | บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 22.00 | 33.47 | 20.22 | 23.33 | 42.00 | 24.90 |
| ระดับต่ำ | เชิงโต้ตอบ+ลดความคล้าย | 36.74 | 29.25 | 55.37 | 29.23 | 65.94 | 25.67 |
| | เชิงโต้ตอบ+เพิ่มความคล้าย | 27.82 | 22.32 | 33.80 | 30.08 | 55.33 | 22.12 |
| | เชิงโต้ตอบ+ความคล้ายคงที่ | 25.36 | 25.10 | 66.00 | 34.31 | 78.75 | 25.86 |
| | บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 24.72 | 16.55 | 13.43 | 15.15 | 35.93 | 13.12 |

**1.3 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4**

รายละเอียดของผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 สามารถแบ่งผลการวิเคราะห์ออกเป็น 3 หัวข้อ ประกอบด้วย (1) ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหา

ทางฟิสิกส์จากแบบวัดทั้ง 2 ครั้ง ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 (2) ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบวัดทั้ง 2 ครั้ง ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำแนกตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์และระดับความสามารถทางฟิสิกส์ และ (3) ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบวัดทั้ง 2 ครั้ง ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน โดยแต่ละหัวข้อมีรายละเอียด ดังนี้

**1.3.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบวัดทั้ง 2 ครั้ง ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4**

ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากการทำแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 2 ครั้ง ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 73 คน โดยแต่ละครั้งมีคะแนนเต็ม 130 คะแนน พบว่า คะแนนต่ำสุดของครั้งที่ 1 และ 2 เท่ากับ 31 และ 55 คะแนน ตามลำดับ ส่วนคะแนนสูงสุดของครั้งที่ 1 และ 2 คือ 120 และ 125 คะแนน ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ย พบว่า ครั้งที่ 2 ($M$ = 96.37, $SD$ = 10.55) มีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าครั้งที่ 1 ($M$ = 86.60, $SD$ = 12.62)

เมื่อพิจารณารูปโค้งการแจกแจงของคะแนนจากค่าความเบ้ พบว่า คะแนนจากการทำแบบวัดทั้ง 2 ครั้งมีลักษณะการแจกแจงแบบเบ้ซ้าย โดยคะแนนในครั้งที่ 1 ($sk$ = -1.13) (ภาพ 25) มีลักษณะการเบ้ซ้ายมากกว่าคะแนนในครั้งที่ 2 ($sk$ = -0.65) (ภาพ 26) เมื่อพิจารณารูปโค้งการแจกแจงของคะแนนจากค่าความโด่ง พบว่า คะแนนจากการทำแบบวัดทั้ง 2 ครั้ง มีลักษณะโด่งกว่าโค้งปกติ โดยคะแนนในครั้งที่ 1 ($ku$ = 4.99) มีลักษณะโด่งมากกว่าคะแนนในครั้งที่ 2 ($ku$ = 3.00) และเมื่อพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนของความเบ้และความโด่ง พบว่า มีค่าไม่เกิน 2.00 หรือไม่น้อยกว่า -2.00 จึงสามารถสรุปได้ว่า คะแนนจากการวัดทั้ง 2 ครั้งมีลักษณะของการแจกแจงเป็นโค้งปกติ (SPSS Base 8.0, 1998 อ้างถึงใน อวยพร เรืองตระกูล, 2544) โดยมีผลการวิเคราะห์ดังตาราง 32

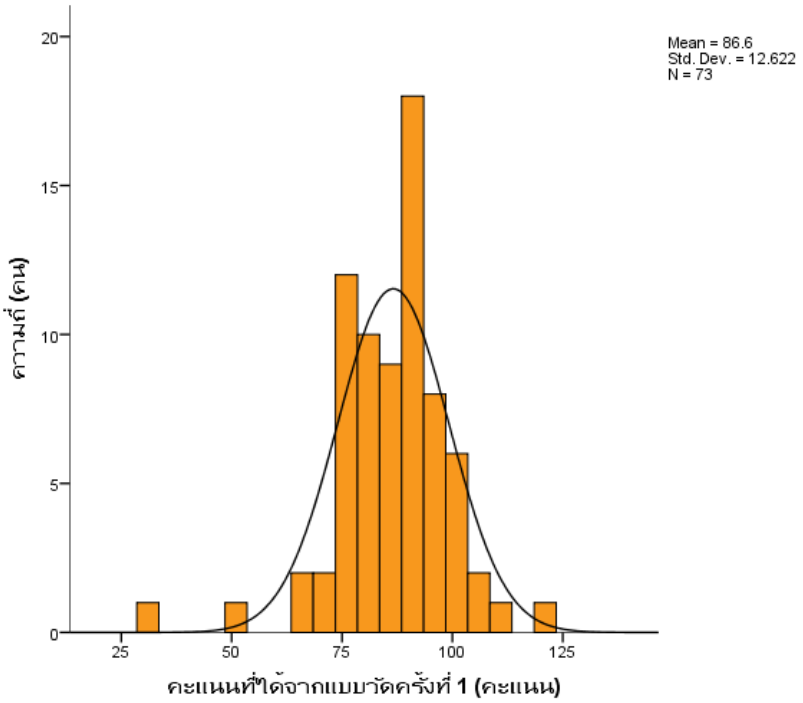
ตาราง 32

*ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบวัดทั้ง 2 ครั้ง*

| ค่าสถิติพื้นฐาน | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 |
|---|---|---|
| *M* | 86.60 | 96.37 |
| *SD* | 12.62 | 10.55 |
| *min* | 31.00 | 55.00 |
| *max* | 120.00 | 125.00 |
| *sk* (*SE*) | -1.13 (0.28) | -0.65 (0.28) |
| *ku* (*SE*) | 4.99 (0.56) | 3.00 (0.56) |

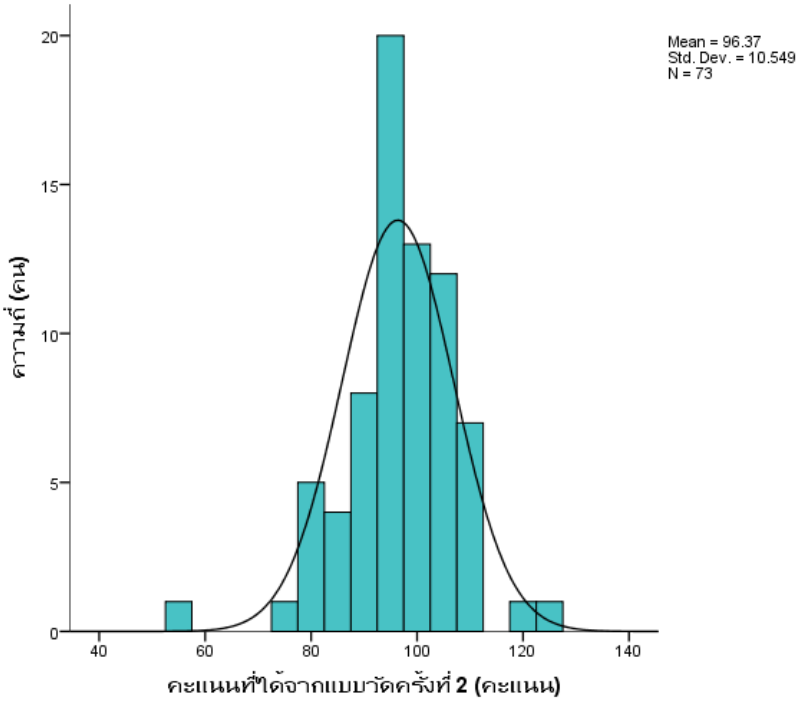
ภาพ 25

*การกระจายของคะแนนที่ได้จากแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ครั้งที่ 1*



ภาพ 26

*การกระจายของคะแนนที่ได้จากแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ครั้งที่ 2*




เมื่อวิเคราะห์คะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบวัดทั้ง 2 ครั้ง ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำแนกรายองค์ประกอบการประเมิน โดยแต่ละองค์ประกอบมีคะแนนเต็ม 5 คะแนน และคะแนนต่ำสุด 1 คะแนน พบว่า มีค่าเฉลี่ยคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงขึ้นหลังจากได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ทุกองค์ประกอบ โดยองค์ประกอบด้านการแก้ไขข้อผิดพลาดมีค่าเฉลี่ยคะแนนสูงสุด (ครั้งที่ 1 $M$ = 3.58, $SD$ = 1.03; ครั้งที่ 2 $M$ = 3.92, $SD$ = 0.90) รองลงมา ได้แก่ องค์ประกอบด้านการวางแผน ฉบับที่ 1 (ครั้งที่ 1 $M$ = 3.48, $SD$ = 1.05; ครั้งที่ 2 $M$ = 3.87, $SD$ = 0.90) องค์ประกอบด้านการจัดการข้อมูล (ครั้งที่ 1 $M$ = 3.44, $SD$ = 1.07; ครั้งที่ 2 $M$ = 3.84, $SD$ = 0.95) องค์ประกอบด้านการกำกับติดตาม (ครั้งที่ 1 $M$ = 3.35, $SD$ = 0.96; ครั้งที่ 2 $M$ = 3.66, $SD$ = 0.85) องค์ประกอบด้านความรู้เกี่ยวกับอภิปัญญา (ครั้งที่ 1 $M$ = 3.15, $SD$ = 0.88; ครั้งที่ 2 $M$ = 3.59, $SD$ = 0.86) และองค์ประกอบด้านการประเมิน (ครั้งที่ 1 $M$ = 3.09, $SD$ = 0.96; ครั้งที่ 2 $M$ = 3.43, $SD$ = 0.87) ตามลำดับ โดยมีผลการวิเคราะห์ดังตาราง 33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง 33

*ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบวัดทั้ง 2 ครั้ง จำแนกตามองค์ประกอบการประเมิน*

| องค์ประกอบการประเมิน | ครั้งที่ 1 | | ครั้งที่ 2 | |
|---|---|---|---|---|
| | *M* | *SD* | *M* | *SD* |
| 1. ความรู้เกี่ยวกับอภิปัญญา | 3.15 | 0.88 | 3.59 | 0.86 |
| 2. การจัดการข้อมูล | 3.44 | 1.07 | 3.84 | 0.95 |
| 3. การกำกับติดตาม | 3.35 | 0.96 | 3.66 | 0.85 |
| 4. การประเมิน | 3.09 | 0.96 | 3.43 | 0.87 |
| 5. การแก้ไขข้อผิดพลาด | 3.58 | 1.03 | 3.92 | 0.90 |
| 6. การวางแผน | 3.48 | 1.05 | 3.87 | 0.90 |

**1.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบวัดทั้ง 2 ครั้ง ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำแนกตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์และระดับความสามารถทางฟิสิกส์**

ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากการทำแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 2 ครั้ง ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 73 คน จำแนกตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ พบว่า นักเรียนมีค่าเฉลี่ยคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงขึ้นหลังจากได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ทุกประเภท เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยคะแนนจากแบบวัดรายครั้ง พบว่า นักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องมีค่าเฉลี่ยคะแนนสูงสุดในครั้งที่ 1 ($M$ = 88.60, $SD$ = 9.14) รองลงมา ได้แก่ ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย ($M$ = 88.11, $SD$ = 9.14) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ ($M$ = 87.11, $SD$ = 12.83) และข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย ($M$ = 83.20, $SD$ = 17.01) ตามลำดับ ส่วนนักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนสูงสุดในครั้งที่ 2 ($M$ = 99.42, $SD$ = 11.14) รองลงมา ได้แก่ ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย ($M$ = 97.21, $SD$ = 10.64) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย ($M$ = 95.05, $SD$ = 11.50) และข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง ($M$ = 93.20, $SD$ = 7.80) ตามลำดับ

เมื่อจำแนกตามระดับความสามารถทางฟิสิกส์ พบว่า นักเรียนมีค่าเฉลี่ยคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงขึ้นหลังจากได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ทุกระดับความสามารถ โดยนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำมีค่าเฉลี่ยคะแนนสูงสุดในแบบวัดครั้งที่ 1 ($M$ = 88.36, $SD$ = 12.76) และ 2 ($M$ = 97.70, $SD$ = 10.50) ตามลำดับ รองลงมา ได้แก่ ความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูง (ครั้งที่ 1 $M$ = 86.30, $SD$ = 14.46; ครั้งที่ 2 $M$ = 96.17, $SD$ = 11.67) และระดับปานกลาง (ครั้งที่ 1 $M$ = 83.59, $SD$ = 9.36; ครั้งที่ 2 $M$ = 94.06, $SD$ = 9.16) ตามลำดับ โดยมีผลการวิเคราะห์ดังตาราง 34

ตาราง 34

*ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบวัดทั้ง 2 ครั้ง จำแนกตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์และระดับความสามารถทางฟิสิกส์*

| **รายละเอียด** | **คะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **ครั้งที่ 1** | | **ครั้งที่ 2** | |
| | *M* | *SD* | *M* | *SD* |
| **ประเภทข้อมูลย้อนกลับ** | | | | |
| เชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย | 83.20 | 17.01 | 95.05 | 11.50 |
| เชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย | 88.11 | 9.14 | 97.21 | 10.64 |
| เชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ | 87.11 | 12.83 | 99.42 | 11.14 |
| บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 88.60 | 9.14 | 93.20 | 7.80 |
| **ระดับความสามารถทางฟิสิกส์** | | | | |
| ระดับสูง | 86.30 | 14.46 | 96.17 | 11.67 |
| ระดับปานกลาง | 83.59 | 9.36 | 94.06 | 9.16 |
| ระดับต่ำ | 88.36 | 12.76 | 97.70 | 10.50 |

**1.3.3 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบวัดทั้ง 2 ครั้ง ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน**

ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากการทำแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 2 ครั้ง ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์

ต่างประเภทกัน จำนวน 73 คน พบว่า นักเรียนทุกระดับความสามารถทางฟิสิกส์มีค่าเฉลี่ยคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงขึ้นหลังจากได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน โดยมีผลการวิเคราะห์ดังตาราง 35

ตาราง 35

*ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จากแบบวัดทั้ง 2 ครั้ง ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน*

| **ระดับความสามารถทางฟิสิกส์** | **ประเภทข้อมูลย้อนกลับ** | **คะแนนอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **ครั้งที่ 1** | | **ครั้งที่ 2** | |
| | | *M* | *SD* | *M* | *SD* |
| ระดับสูง | เชิงโต้ตอบ+ลดความคล้าย | 80.63 | 22.05 | 91.38 | 15.693 |
| | เชิงโต้ตอบ+เพิ่มความคล้าย | 89.33 | 8.60 | 99.83 | 9.663 |
| | เชิงโต้ตอบ+ความคล้ายคงที่ | 85.60 | 7.37 | 98.00 | 10.794 |
| | บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 94.00 | 4.40 | 98.00 | 3.830 |
| ระดับปานกลาง | เชิงโต้ตอบ+ลดความคล้าย | 84.00 | 10.03 | 95.75 | 9.91 |
| | เชิงโต้ตอบ+เพิ่มความคล้าย | 86.25 | 5.38 | 97.00 | 6.48 |
| | เชิงโต้ตอบ+ความคล้ายคงที่ | 81.50 | 11.71 | 96.25 | 10.47 |
| | บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 82.80 | 11.74 | 88.60 | 9.74 |
| ระดับต่ำ | เชิงโต้ตอบ+ลดความคล้าย | 85.38 | 15.58 | 98.38 | 6.48 |
| | เชิงโต้ตอบ+เพิ่มความคล้าย | 88.11 | 11.32 | 95.56 | 13.14 |
| | เชิงโต้ตอบ+ความคล้ายคงที่ | 90.10 | 15.30 | 101.40 | 12.25 |
| | บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 89.83 | 7.31 | 93.83 | 6.77 |

**1.4 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4**

รายละเอียดของผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 สามารถแบ่งผลการวิเคราะห์ออกเป็น 3 หัวข้อ ประกอบด้วย (1) ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 (2) ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4

จำแนกตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์และระดับความสามารถทางฟิสิกส์ และ (3) ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน โดยแต่ละหัวข้อมีรายละเอียด ดังนี้

**1.4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4**

ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 73 คน โดยคะแนนเต็มพัฒนาการสัมพัทธ์ คิดเป็นร้อยละ 100 พบว่า ค่าต่ำสุดของคะแนนพัฒนาการคิดเป็นร้อยละ -3.23 ในขณะที่ค่าสูงสุดของคะแนนพัฒนาการคิดเป็นร้อยละ 59.18 ส่วนค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการคิดเป็นร้อยละ 22.25 (*SD* = 13.96) เมื่อพิจารณารูปโค้งการแจกแจงของคะแนนจากค่าความเบ้และค่าความโด่ง พบว่า คะแนนพัฒนาการมีลักษณะการแจกแจงแบบเบ้ขวา (*sk* = 0.68) และแบนกว่าโค้งปกติ (*ku* = -0.05) เมื่อพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนของความเบ้และความโด่ง พบว่า มีค่าไม่เกิน 2.00 หรือไม่น้อยกว่า -2.00 จึงสามารถสรุปได้ว่า คะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์มีลักษณะของการแจกแจงเป็นโค้งปกติ (SPSS Base 8.0, 1998 อ้างถึงใน อวยพร เรืองตระกูล, 2544) โดยมีผลการวิเคราะห์ดังตาราง 36 และภาพ 27

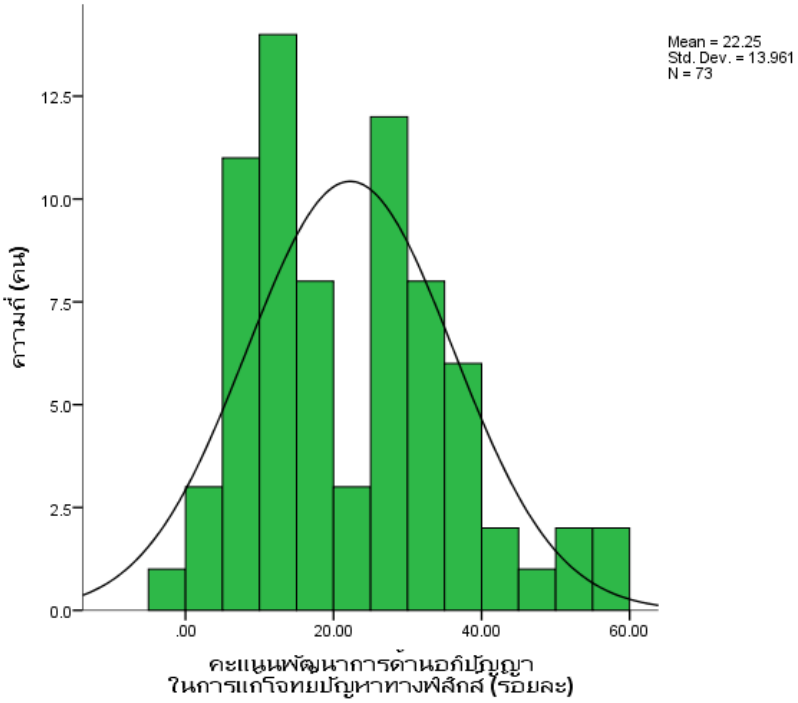
ตาราง 36

*ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์*

| **ค่าสถิติพื้นฐาน** | *M* | *SD* | *min* | *max* | *sk* (*SE*) | *ku* (*SE*) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| พัฒนาการด้านอภิปัญญา | 22.25 | 13.96 | -3.23 | 59.18 | 0.68 (0.28) | -0.05 (0.56) |

ภาพ 27

*การกระจายของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์*




**1.4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำแนกตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์และระดับความสามารถทางฟิสิกส์**

ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 73 คน จำแนกตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ พบว่า นักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการสูงสุด ($M$ = 28.91, $SD$ = 15.17) รองลงมา ได้แก่ ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย ($M$ = 23.57, $SD$ = 11.37) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย ($M$ = 23.37, $SD$ = 14.79) และข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง ($M$ = 10.64, $SD$ = 6.42) ตามลำดับ

เมื่อจำแนกตามระดับความสามารถทางฟิสิกส์ พบว่า นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำมีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการสูงสุด ($M$ = 22.53, $SD$ = 14.99) รองลงมา ได้แก่ ความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลาง ($M$ = 22.20, $SD$ = 13.80) และระดับต่ำ ($M$ = 21.89, $SD$ = 13.12) ตามลำดับ โดยมีผลการวิเคราะห์ดังตาราง 37

ตาราง 37

*ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ จำแนกตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์และระดับความสามารถทางฟิสิกส์*

| **รายละเอียด** | **คะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์** | |
|---|---|---|
| | *M* | *SD* |
| **ประเภทข้อมูลย้อนกลับ** | | |
| เชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย | 23.57 | 11.37 |
| เชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย | 23.37 | 14.79 |
| เชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ | 28.91 | 15.17 |
| บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 10.64 | 6.42 |
| **ระดับความสามารถทางฟิสิกส์** | | |
| ระดับสูง | 21.89 | 13.12 |
| ระดับปานกลาง | 22.20 | 13.80 |
| ระดับต่ำ | 22.53 | 14.99 |

**1.4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน**

ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐานของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน จำนวน 73 คน พบว่า นักเรียนทุกระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการสูงสุด (ระดับสูง $M$ = 27.66, $SD$ = 19.83; ระดับปานกลาง $M$ = 30.92, $SD$ = 10.59; ระดับต่ำ $M$ = 28.72, $SD$ = 15.66) และข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องมีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการต่ำสุด (ระดับสูง $M$ = 11.06, $SD$ = 3.22; ระดับปานกลาง $M$ = 11.13, $SD$ = 11.13; ระดับต่ำ $M$ = 9.96, $SD$ = 3.03) เมื่อเปรียบเทียบกับนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ในระดับเดียวกันที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบต่างประเภทกัน สำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย ($M$ = 26.84, $SD$ = 11.65) มีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการสูงกว่าข้อมูลย้อนกลับแบบลดความคล้าย ($M$ = 19.99, $SD$ = 9.96) ส่วนนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางและต่ำที่ได้รับ

ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย (ระดับปานกลาง *M* = 25.53, *SD* = 12.91; ระดับต่ำ *M* = 26.17, *SD* = 12.47) มีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการสูงกว่าข้อมูลย้อนกลับแบบเพิ่มความคล้าย (ระดับปานกลาง *M* = 23.98, *SD* = 15.73; ระดับต่ำ *M* = 20.78, *SD* = 17.26) โดยมีผลการวิเคราะห์ดังตาราง 38

ตาราง 38

*ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันและมีความสามารถทางฟิสิกส์ต่างระดับกัน*

| **ระดับความสามารถทางฟิสิกส์** | **ประเภทข้อมูลย้อนกลับ** | **คะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์** | |
|---|---|---|---|
| | | *M* | *SD* |
| ระดับสูง | เชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย | 19.99 | 9.96 |
| | เชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย | 26.84 | 11.65 |
| | เชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ | 27.66 | 19.83 |
| | บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 11.06 | 3.22 |
| ระดับปานกลาง | เชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย | 25.53 | 12.91 |
| | เชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย | 23.98 | 15.73 |
| | เชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ | 30.92 | 10.59 |
| | บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 11.13 | 11.13 |
| ระดับต่ำ | เชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย | 26.17 | 12.47 |
| | เชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย | 20.78 | 17.26 |
| | เชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ | 28.72 | 15.66 |
| | บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 9.96 | 3.03 |

**ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์**

รายละเอียดของผลการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สามารถแบ่งการนำเสนอออกเป็น 2 หัวข้อ ประกอบด้วย

(1) ผลการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 3 และ (2) ผลการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ โดยแต่ละหัวข้อมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**2.1 ผลการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 3**

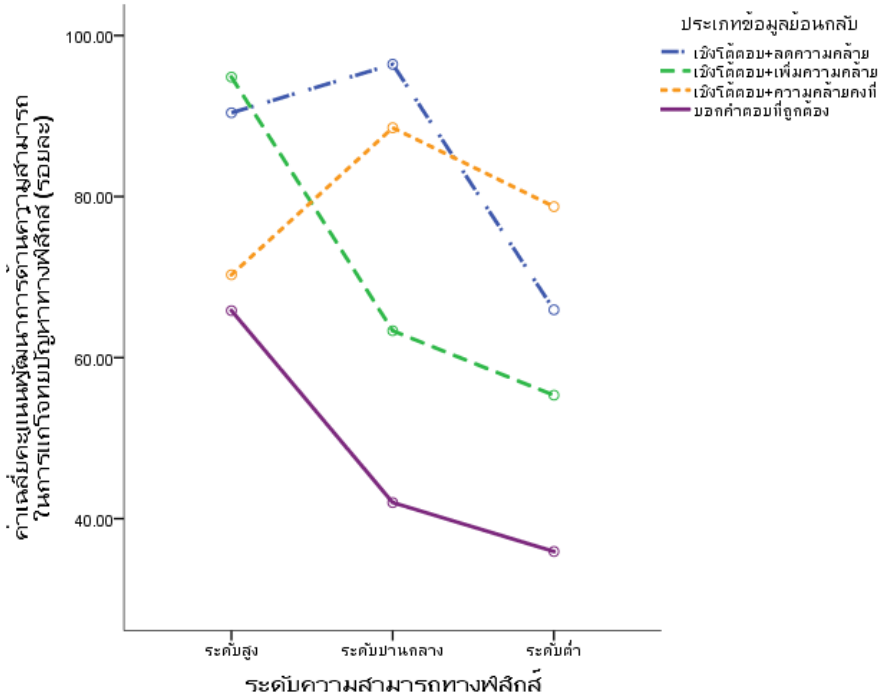
ผลการวิเคราะห์ความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวนระหว่างกลุ่มในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์และได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์แต่ละประเภท พบว่า ความแปรปรวนของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 3 แต่ละกลุ่มมีความเป็นเอกพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05, $F(11, 61) = 1.808$, $p = .072$ ซึ่งเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวน และเมื่อวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 3 พบว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05, $F(6, 61) = 2.405$, $p = .038$, $\eta_p^2 = .191$ ซึ่งปฏิสัมพันธ์ดังกล่าวมีขนาดอิทธิพลต่อพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ระดับสูง (Cohen, 1988) แสดงว่า นักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันจะมีพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์แตกต่างกัน

เมื่อวิเคราะห์อิทธิพลหลักอย่างง่ายของประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์และระดับความสามารถทางฟิสิกส์โดยวิธี Bonferroni พบว่า นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้ายและข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 3 สูงกว่านักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ส่วนนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์

ในระยะที่ 3 สูงกว่านักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ด้วยเช่นกัน โดยมีผลการวิเคราะห์ดังภาพ 28 และตาราง 39

ภาพ 28

*ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 3*




จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง 39

*การทดสอบอิทธิพลปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 3*

| แหล่งความแปรปรวน | *SS* | *df* | *MS* | *F* | *p* | $\eta_p^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ประเภทข้อมูลย้อนกลับ | 12013.301 | 3 | 4004.434 | 9.396 | .000 | .316 |
| ระดับความสามารถทางฟิสิกส์ | 6177.708 | 2 | 3088.854 | 7.248 | .001 | .192 |
| ข้อมูลย้อนกลับ*ความสามารถ | 6150.036 | 6 | 1025.006 | 2.405 | .038 | .191 |
| Error | 25996.138 | 61 | 426.166 | | | |
| Corrected Total | 51153.357 | 72 | | | | |
| Levene's test $F(11, 61) = 1.808$, $p = .072$ | | | | | | |

ตาราง 39 (ต่อ)

*การทดสอบอิทธิพลปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 3*

| **ระดับความสามารถทางฟิสิกส์** | **ประเภทข้อมูลย้อนกลับ** | Mean difference | *SE* | *p* |
|---|---|---|---|---|
| ระดับสูง | โต้ตอบลดความคล้าย-โต้ตอบความคล้ายคงที่ | 20.115 | 11.769 | .555 |
| | โต้ตอบลดความคล้าย-บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 24.566 | 12.642 | .340 |
| | โต้ตอบเพิ่มความคล้าย-โต้ตอบลดความคล้าย | 4.439 | 11.149 | 1.000 |
| | โต้ตอบเพิ่มความคล้าย-โต้ตอบความคล้ายคงที่ | 24.554 | 12.500 | .324 |
| | โต้ตอบเพิ่มความคล้าย-บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 29.005 | 13.326 | .200 |
| | โต้ตอบความคล้ายคงที่-บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 4.451 | 13.848 | 1.000 |
| ระดับปานกลาง | โต้ตอบลดความคล้าย-โต้ตอบเพิ่มความคล้าย | 33.095 | 14.597 | .162 |
| | โต้ตอบลดความคล้าย-โต้ตอบความคล้ายคงที่ | 7.885 | 14.597 | 1.000 |
| | โต้ตอบลดความคล้าย-บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 54.427** | 13.848 | .001 |
| | โต้ตอบเพิ่มความคล้าย-บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 21.332 | 13.848 | .772 |
| | โต้ตอบความคล้ายคงที่-โต้ตอบเพิ่มความคล้าย | 25.210 | 14.597 | .535 |
| | โต้ตอบความคล้ายคงที่-บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 46.542** | 13.848 | .008 |
| ระดับต่ำ | โต้ตอบลดความคล้าย-โต้ตอบเพิ่มความคล้าย | 10.603 | 10.031 | 1.000 |
| | โต้ตอบลดความคล้าย-บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 30.013 | 11.149 | .055 |
| | โต้ตอบเพิ่มความคล้าย-บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 19.409 | 10.880 | .476 |
| | โต้ตอบความคล้ายคงที่-โต้ตอบลดความคล้าย | 12.813 | 9.792 | 1.000 |
| | โต้ตอบความคล้ายคงที่-โต้ตอบเพิ่มความคล้าย | 23.417 | 9.485 | .098 |
| | โต้ตอบความคล้ายคงที่-บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 42.826** | 10.660 | .001 |

*หมายเหตุ:* $^{**}p < .01$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

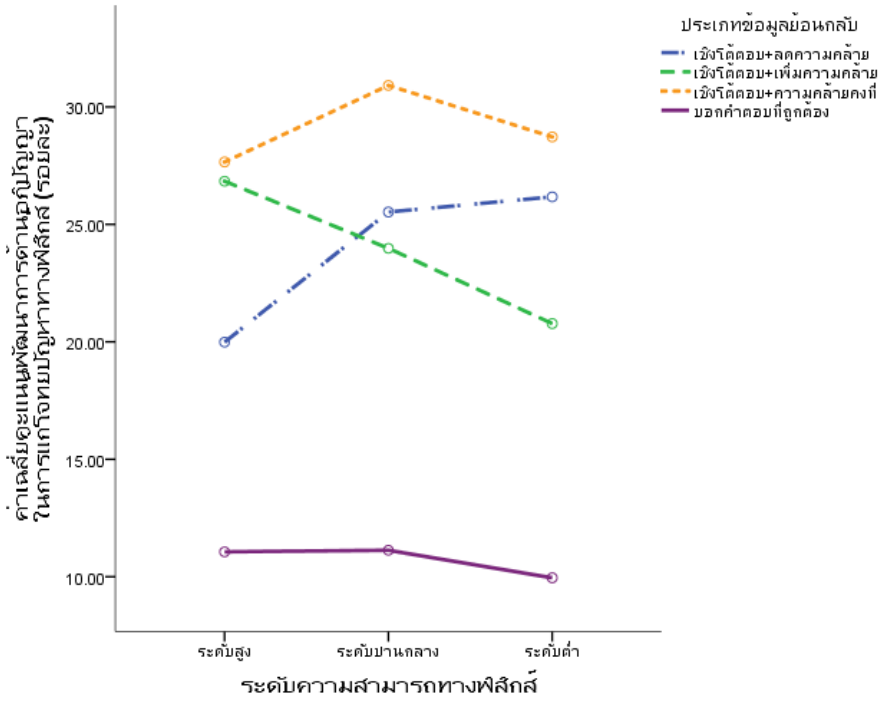
**2.2 ผลการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์**

ผลการวิเคราะห์ความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม พบว่า ความแปรปรวนของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์แต่ละกลุ่มมีความเป็นเอกพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05, $F(11, 61) = 1.546$, $p = .139$ ซึ่งเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวน และเมื่อวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05, $F(6, 61) = 0.284$, $p = .943$, $\eta_p^2 = .027$ โดยมีขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับต่ำ (Cohen, 1988) แสดงว่านักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันจะมีพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาอิทธิพลหลักของตัวแปรอิสระแต่ละตัว พบว่า ระดับความสามารถทางฟิสิกส์ไม่มีอิทธิพลต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05, $F(2, 61) = 0.080$, $p = .923$, $\eta_p^2 = .003$ โดยมีขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับต่ำ (Cohen, 1988) ในขณะที่ประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์มีอิทธิพลต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01, $F(3, 61) = 5.290$, $p = .003$, $\eta_p^2 = .206$ โดยมีขนาดอิทธิพลระดับสูง (Cohen, 1988) และเมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการรายคู่ตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ที่ได้รับโดยวิธี Bonferroni พบว่า นักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย และข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่านักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05, .05 และ .01 ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบทั้งสามประเภทมีประสิทธิภาพในการพัฒนาด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่าข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง โดยมีผลการวิเคราะห์ดังภาพ 29 และตาราง 40

ภาพ 29

*ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์*




ตาราง 40

*การทดสอบอิทธิพลปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์*

| แหล่งความแปรปรวน | *SS* | *df* | *MS* | *F* | *p* | $\eta_p^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ประเภทข้อมูลย้อนกลับ | 2803.405 | 3 | 934.468 | 5.290 | .003 | .206 |
| ระดับความสามารถทางฟิสิกส์ | 28.425 | 2 | 14.213 | .080 | .923 | .003 |
| ข้อมูลย้อนกลับ*ความสามารถ | 300.66 | 6 | 50.111 | .284 | .943 | .027 |
| Error | 10775.641 | 61 | 176.650 | | | |
| Corrected Total | 14032.953 | 72 | | | | |
| Levene's test $F(11, 61) = 1.546$, $p = .139$ | | | | | | |

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง 40 (ต่อ)

*การทดสอบอิทธิพลปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์*

| ประเภทข้อมูลย้อนกลับ | Mean difference | *SE* | *p* |
|---|---|---|---|
| โต้ตอบลดความคล้าย-โต้ตอบเพิ่มความคล้าย | .204 | 4.258 | 1.000 |
| โต้ตอบลดความคล้าย-บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 12.930* | 4.540 | .036 |
| โต้ตอบเพิ่มความคล้าย-บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 12.726* | 4.591 | .044 |
| โต้ตอบความคล้ายคงที่-โต้ตอบลดความคล้าย | 5.336 | 4.258 | 1.000 |
| โต้ตอบความคล้ายคงที่-โต้ตอบเพิ่มความคล้าย | 5.540 | 4.312 | 1.000 |
| โต้ตอบความคล้ายคงที่-บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 18.265** | 4.591 | .001 |

*หมายเหตุ:* $^{*}p < .05$, $^{**}p < .01$

**ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน**

รายละเอียดของผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันสามารถแบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 หัวข้อ ประกอบด้วย (1) ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน (2) ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน และ (3) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพที่ได้จากการสัมภาษณ์นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน โดยแต่ละหัวข้อมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**3.1 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน**

ผลการวิเคราะห์ความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน ด้วยสถิติ Mauchly's test พบว่า ไม่มีความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการแต่ละระยะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ระดับสูง $\chi^2(2) = 25.669$, $p = .000$, ระดับปานกลาง $\chi^2(2) = 12.876$, $p = .002$ และระดับต่ำ $\chi^2(2) = 50.496$, $p = .000$) ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้วิธีการประมาณค่าแบบ Greenhouse-Geisser โดยมีผลการวิเคราะห์ดังตาราง 41

ตาราง 41

*การทดสอบเงื่อนไข Sphericity ของค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ ของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน*

| ระดับความสามารถทางฟิสิกส์ | Within subjects effect | Mauchly's W | Approx. Chi-Square | *df* | *p* | Epsilon Greenhouse-Geisser | Epsilon Huynh-Feldt | Epsilon Lower-bound |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| สูง | time | .240 | 25.669 | 2 | .000 | .568 | .676 | .500 |
| ปานกลาง | time | .342 | 12.876 | 2 | .002 | .603 | .785 | .500 |
| ต่ำ | time | .165 | 50.496 | 2 | .000 | .545 | .608 | .500 |

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน พบว่า นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูง ($F = 22.554$, $p = .000$) ระดับปานกลาง ($F = 4.914$, $p = .036$) และระดับต่ำ ($F = 16.297$, $p = .000$) มีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการทั้ง 3 ระยะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01, .05 และ .01 ตามลำดับโดยมีผลการวิเคราะห์ดังตาราง 42

ตาราง 42

*การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ ตามระดับความสามารถทางฟิสิกส์และประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์*

| ความสามารถทางฟิสิกส์ | แหล่งที่มา | วิธีการประมาณค่า | *SS* | *df* | *MS* | *F* | *p* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ระดับสูง | time | Sphericity Assumed | 13700.815 | 2 | 6850.407 | 22.554 | .000 |
| | | Greenhouse-Geisser | 13700.815 | 1.137 | 12054.977 | 22.554** | .000 |
| | | Huynh-Feldt | 13700.815 | 1.351 | 10138.473 | 22.554 | .000 |
| | | Lower-bound | 13700.815 | 1.000 | 13700.815 | 22.554 | .000 |
| | Error(time) | Sphericity Assumed | 11542.032 | 38 | 303.738 | | |
| | | Greenhouse-Geisser | 11542.032 | 21.594 | 534.501 | | |
| | | Huynh-Feldt | 11542.032 | 25.676 | 449.526 | | |
| | | Lower-bound | 11542.032 | 19.000 | 607.475 | | |
| ระดับปานกลาง | time | Sphericity Assumed | 6841.755 | 2 | 3420.877 | 4.914 | .015 |
| | | Greenhouse-Geisser | 6841.755 | 1.206 | 5671.919 | 4.914* | .036 |
| | | Huynh-Feldt | 6841.755 | 1.569 | 4360.144 | 4.914 | .024 |
| | | Lower-bound | 6841.755 | 1.000 | 6841.755 | 4.914 | .045 |
| | Error(time) | Sphericity Assumed | 18100.053 | 26 | 696.156 | | |
| | | Greenhouse-Geisser | 18100.053 | 15.681 | 1154.248 | | |
| | | Huynh-Feldt | 18100.053 | 20.399 | 887.299 | | |
| | | Lower-bound | 18100.053 | 13.000 | 1392.312 | | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตาราง 42 (ต่อ)

*การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ ตามระดับความสามารถทางฟิสิกส์และประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์*

| ความสามารถทางฟิสิกส์ | แหล่งที่มา | วิธีการประมาณค่า | *SS* | *df* | *MS* | *F* | *p* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ระดับต่ำ | time | Sphericity Assumed | 14693.845 | 2 | 7346.922 | 16.297 | .000 |
| | | Greenhouse-Geisser | 14693.845 | 1.090 | 13483.557 | 16.297** | .000 |
| | | Huynh-Feldt | 14693.845 | 1.217 | 12075.486 | 16.297 | .000 |
| | | Lower-bound | 14693.845 | 1.000 | 14693.845 | 16.297 | .000 |
| | Error(time) | Sphericity Assumed | 26147.824 | 58 | 450.825 | | |
| | | Greenhouse-Geisser | 26147.824 | 31.603 | 827.383 | | |
| | | Huynh-Feldt | 26147.824 | 35.288 | 740.980 | | |
| | | Lower-bound | 26147.824 | 29.000 | 901.649 | | |

*หมายเหตุ: *p < .05, **p < .01*

เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ของคะแนนพัฒนาการของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ พบว่า นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงมีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 3 สูงกว่าระยะที่ 2 และระยะที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และมีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการในระยะที่ 2 สูงกว่าระยะที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางมีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 3 สูงกว่าระยะที่ 2 และระยะที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ .01 ตามลำดับ เช่นเดียวกับนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำมีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในระยะที่ 3 สูงกว่าระยะที่ 2 และระยะที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า นักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันจะมีพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์แตกต่างกัน โดยมีผลการวิเคราะห์ดังตาราง 43

ตาราง 43

*การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ ของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์*

| ระดับความสามารถทางฟิสิกส์ | ระยะการวัด | Mean difference | *SE* | *p* |
|---|---|---|---|---|
| ระดับสูง | ระยะที่ 2-ระยะที่ 1 | 22.979* | 6.879 | .010 |
| | ระยะที่ 3-ระยะที่ 2 | 12.103** | 2.300 | .000 |
| | ระยะที่ 3-ระยะที่ 1 | 35.082** | 5.645 | .000 |
| ระดับปานกลาง | ระยะที่ 2-ระยะที่ 1 | 7.921 | 12.231 | 1.000 |
| | ระยะที่ 3-ระยะที่ 2 | 19.752* | 6.739 | .035 |
| | ระยะที่ 3-ระยะที่ 1 | 27.673** | 7.280 | .007 |
| ระดับต่ำ | ระยะที่ 2-ระยะที่ 1 | 13.488 | 7.200 | .213 |
| | ระยะที่ 3-ระยะที่ 2 | 16.839** | 2.677 | .000 |
| | ระยะที่ 3-ระยะที่ 1 | 30.327** | 5.099 | .000 |

*หมายเหตุ:* $*p < .05$, $**p < .01$

เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ของคะแนนพัฒนาการของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน พบว่า นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันจะมีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้ายและข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่านักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่านักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า (1) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ และข้อมูลย้อนกลับแบบบอกผลการกระทำ มีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูง (2) ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้ายและข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีประสิทธิภาพสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลาง และ (3) ข้อมูลย้อนกลับ

เชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีประสิทธิภาพสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำ โดยมีผลการวิเคราะห์ดังตาราง 44

ตาราง 44

*การเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ของค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทั้ง 3 ระยะ ของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน*

| ระดับความสามารถทางฟิสิกส์ | ประเภทข้อมูลย้อนกลับ | Mean difference | *SE* | *p* |
|---|---|---|---|---|
| ระดับสูง | โต้ตอบลดความคล้าย-โต้ตอบความคล้ายคงที่ | 22.589 | 10.575 | .275 |
| | โต้ตอบลดความคล้าย-บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 27.708 | 11.360 | .148 |
| | โต้ตอบเพิ่มความคล้าย-โต้ตอบลดความคล้าย | 1.247 | 10.018 | 1.000 |
| | โต้ตอบเพิ่มความคล้าย-โต้ตอบความคล้ายคงที่ | 23.836 | 11.233 | .283 |
| | โต้ตอบเพิ่มความคล้าย-บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 28.955 | 11.974 | .155 |
| | โต้ตอบความคล้ายคงที่-บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 5.119 | 12.444 | 1.000 |
| ระดับปานกลาง | โต้ตอบลดความคล้าย-โต้ตอบเพิ่มความคล้าย | 32.623 | 14.206 | .234 |
| | โต้ตอบลดความคล้าย-โต้ตอบความคล้ายคงที่ | 8.710 | 14.206 | 1.000 |
| | โต้ตอบลดความคล้าย-บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 52.035* | 13.477 | .012 |
| | โต้ตอบเพิ่มความคล้าย-บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 19.413 | 13.477 | 1.000 |
| | โต้ตอบความคล้ายคงที่-โต้ตอบเพิ่มความคล้าย | 23.913 | 14.206 | .697 |
| | โต้ตอบความคล้ายคงที่-บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 43.325* | 13.477 | .041 |
| ระดับต่ำ | โต้ตอบลดความคล้าย-โต้ตอบเพิ่มความคล้าย | 13.698 | 9.207 | .886 |
| | โต้ตอบลดความคล้าย-บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 27.991 | 10.234 | .063 |
| | โต้ตอบเพิ่มความคล้าย-บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 14.294 | 9.987 | .978 |
| | โต้ตอบความคล้ายคงที่-โต้ตอบลดความคล้าย | 4.022 | 8.988 | 1.000 |
| | โต้ตอบความคล้ายคงที่-โต้ตอบเพิ่มความคล้าย | 17.720 | 8.706 | .306 |
| | โต้ตอบความคล้ายคงที่-บอกคำตอบที่ถูกต้อง | 32.013* | 9.785 | .017 |

*หมายเหตุ:* $*p < .05$

**3.2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน**

ผลการวิเคราะห์ความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวนระหว่างกลุ่มนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน พบว่า

ความแปรปรวนของคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์แต่ละกลุ่มมีความเป็นเอกพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05, ระดับสูง $F(3, 19) = 3.132$, $p = .050$, ระดับปานกลาง $F(3, 13) = 0.157$, $p = .924$ และระดับต่ำ $F(3, 29) = 2.676$, $p = .066$ ซึ่งเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการกลุ่มนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน พบว่า ค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการแต่ละกลุ่มระดับความสามารถทางฟิสิกส์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (ระดับสูง $F = 1.726$, $p = .196$; ระดับปานกลาง $F = 2.034$, $p = .159$; ระดับต่ำ $F = 2.476$, $p = .081$) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า นักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันมีพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีผลการวิเคราะห์ดังตาราง 45

ตาราง 45

*การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน*

| **ระดับความสามารถทางฟิสิกส์** | **แหล่งความแปรปรวน** | *SS* | *df* | *MS* | *F* | *p* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ระดับสูง | ระหว่างกลุ่ม | 811.377 | 3 | 270.459 | 1.726 | .196 |
| | ภายในกลุ่ม | 2977.081 | 19 | 156.688 | | |
| | รวม | 3788.458 | 22 | | | |
| ระดับปานกลาง | ระหว่างกลุ่ม | 974.145 | 3 | 324.715 | 2.034 | .159 |
| | ภายในกลุ่ม | 2075.089 | 13 | 159.622 | | |
| | รวม | 3049.233 | 16 | | | |
| ระดับต่ำ | ระหว่างกลุ่ม | 1466.249 | 3 | 488.750 | 2.476 | .081 |
| | ภายในกลุ่ม | 5723.472 | 29 | 197.361 | | |
| | รวม | 7189.721 | 32 | | | |

ระดับสูง Levene's test $F(3, 19) = 3.132$, $p = .050$

ระดับปานกลาง Levene's test $F(3, 13) = 0.157$, $p = .924$

ระดับต่ำ Levene's test $F(3, 29) = 2.676$, $p = .066$

**3.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพที่ได้จากการสัมภาษณ์นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน**

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพที่ได้จากการสัมภาษณ์นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน พบว่า นักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์มีความคิดเห็นที่สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน โดยแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างนักเรียนที่ได้ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคลาด ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคลาด และข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคลาดคงที่ กับนักเรียนที่ได้ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง โดยมีข้อสรุปผลการสัมภาษณ์พร้อมตัวอย่างผลการสัมภาษณ์ ดังนี้

1. นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงมีความคิดเห็นว่า ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคลาด ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคลาด และข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคลาดคงที่ ให้รายละเอียดเกี่ยวกับแนวทางการแก้โจทย์ปัญหาอย่างเป็นลำดับขั้นตอน โดยนักเรียนจะต้องเติมและตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบทีละจุดในแต่ละขั้นตอน ทำให้นักเรียนรับรู้ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นของตนเอง เช่น ข้อผิดพลาดเกี่ยวกับการคำนวณทางคณิตศาสตร์ อีกทั้งช่วยให้นักเรียนวางแผนและดำเนินการแก้โจทย์ปัญหาตามที่กำหนดไว้ได้ แต่ในทางกลับกันการให้รายละเอียดทุกขั้นตอนของข้อมูลย้อนกลับ ประกอบกับการเติมคำตอบทีละขั้นตอนนั้นอาจจะเหมาะกับนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับอื่นมากกว่า เนื่องจากรายละเอียดบางส่วนหรือคำตอบที่ต้องโต้ตอบบางจุด เป็นสิ่งที่นักเรียนกลุ่มนี้ทราบกันโดยทั่วไปอยู่แล้ว ส่วนข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องให้รายละเอียดเกี่ยวกับผลการตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบเท่านั้น ทำให้นักเรียนไม่ทราบข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นของตนเอง โดยมีตัวอย่างผลการสัมภาษณ์ ดังนี้

> *"ข้อมูลย้อนกลับให้รายละเอียดเกี่ยวกับการแก้โจทย์ปัญหาแทบทุกจุด แม้ว่าในช่วงแรกอาจจะยังไม่ค่อยชินกับการเติมคำตอบทีละนิดเท่าไหร่ เพราะต้องระบุค่าตัวแปรแทบทุกตัว ซึ่งบางค่าตัวแปรเป็นที่ทราบอยู่แล้ว แต่คิดว่าเป็นสิ่งที่ดีสำหรับคนที่มีพื้นฐานการแก้โจทย์ปัญหาไม่ค่อยแน่น"*
>
> (นักเรียนกลุ่มสูงที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคลาด)

*“ข้อมูลย้อนกลับช่วยให้สามารถเขียนแสดงวิธีทำได้อย่างเป็นลำดับขั้นตอนมากขึ้น รู้จักวางแผนว่าจะต้องเขียนหรือแก้โจทย์อย่างไรต่อไป เพราะก่อนหน้านี้ไม่สามารถแสดงวิธีทำได้เลย”*

(นักเรียนกลุ่มสูงที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย)

*“ข้อมูลย้อนกลับมีการแสดงวิธีการแก้โจทย์ปัญหาที่ชัดเจนและเก็บรายละเอียดทุกจุด ดำเนินไปทีละขั้นตอนทำให้เข้าใจว่าต้องแก้โจทย์ปัญหาอย่างไร และรู้ว่าตัวเองมักคิดคำนวณเลขผิดส่วนไหนอยู่บ่อยครั้ง”*

(นักเรียนกลุ่มสูงที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่)

*“ข้อมูลย้อนกลับบอกแค่เพียงว่าตอบถูกหรือผิดเท่านั้น ทำให้ไม่รู้ว่าตนเองทำผิดพลาดตรงส่วนไหน”*

(นักเรียนกลุ่มสูงที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง)

2. นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางมีความคิดเห็นว่า ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย และข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ ให้รายละเอียดเกี่ยวกับแนวทางการแก้โจทย์ปัญหาอย่างเป็นลำดับขั้นตอน โดยนักเรียนจะต้องเติมและตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบทีละจุดในแต่ละขั้นตอน ซึ่งใช้เวลาในการโต้ตอบกับข้อมูลย้อนกลับค่อนข้างนาน โดยเฉพาะเมื่อได้รับข้อมูลย้อนกลับซ้ำเป็นครั้งที่ 2 ขึ้นไป ทำให้ไม่สามารถทำชุดฝึกเสร็จสิ้นภายในเวลาที่กำหนดได้ แต่ก็ทำให้นักเรียนรับรู้ตนเองว่าไม่เข้าใจหรือเข้าใจคลาดเคลื่อนในมโนทัศน์หรือขั้นตอนใด อีกทั้งข้อมูลย้อนกลับมีลักษณะคล้ายกับโจทย์ปัญหาหลัก ทำให้นักเรียนสามารถแก้โจทย์ปัญหาหลักได้ถูกต้องและรวดเร็วภายหลังได้รับข้อมูลย้อนกลับ เนื่องจากมาแนวทางการแก้โจทย์ปัญหาที่ได้รับจากข้อมูลย้อนกลับปรับใช้กับโจทย์ปัญหาหลัก รวมถึงข้อมูลย้อนกลับมีการใช้แผนภาพวัตถุอิสระในการอธิบายประกอบทำให้นักเรียนเข้าใจวิธีการแก้โจทย์ปัญหาได้ง่ายขึ้นและเห็นถึงความสำคัญของการใช้แผนภาพดังกล่าวประกอบการแก้โจทย์ปัญหา ในขณะที่ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องให้รายละเอียดเกี่ยวกับผลการตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบเท่านั้น ทำให้นักเรียนไม่ทราบข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นของตนเอง โดยมีตัวอย่างผลการสัมภาษณ์ ดังนี้

*“ข้อมูลย้อนกลับบอกแนวทางการแก้โจทย์ปัญหาได้ดี โดยที่จะต้องตอบคำถามในแต่ละขั้นตอนพอสมควร ยิ่งเฉพาะตอนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับซ้ำอีก 2-3 ครั้ง ซึ่งกินเวลาไปนาน ทำให้เสียเวลาจนทำชุดฝึกไม่เสร็จ แต่ข้อดีก็คือทำให้ตนเองสามารถแก้โจทย์ปัญหาได้ถูกต้องมากขึ้น”*

(นักเรียนกลุ่มปานกลางที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย)

*“ข้อมูลย้อนกลับทำให้เข้าใจวิธีการแก้โจทย์ปัญหาได้เร็วขึ้น เพราะค่อนข้างคล้ายกับโจทย์ปัญหาหลักอีกทั้งมีการอธิบายโดยใช้แผนภาพวัตถุอิสระ ทำให้รู้ว่าแผนภาพนี้มีประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหา”*

(นักเรียนกลุ่มปานกลางที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย)

*“ข้อมูลย้อนกลับมีการตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบทีละขั้นตอน ทำให้เข้าใจว่าตนเองยังไม่เข้าใจหรือเข้าใจผิดในเรื่องไหนถ้าคนที่ไม่เข้าใจเนื้อหาแล้วมาเจอข้อมูลย้อนกลับแบบนี้น่าจะช่วยให้เข้าใจมากขึ้น”*

(นักเรียนกลุ่มปานกลางที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่)

*“ข้อมูลย้อนกลับไม่ได้ให้รายละเอียดอะไรนอกจากถูกต้องหรือผิดเลย น่าจะให้คำชี้แนะสักเล็กน้อย”*

(นักเรียนกลุ่มปานกลางที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3. นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำมีความคิดเห็นว่า ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย และข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ ให้รายละเอียดเกี่ยวกับแนวทางการแก้โจทย์ปัญหาอย่างเป็นลำดับขั้นตอน โดยนักเรียนจะต้องเติมและตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบทีละจุดในแต่ละขั้นตอน ซึ่งใช้เวลาในการโต้ตอบกับข้อมูลย้อนกลับค่อนข้างนานจนไม่สามารถทำชุดฝึกเสร็จสิ้นทุกข้อภายในเวลาที่กำหนดได้ แต่ก็ทำให้นักเรียนสามารถเข้าใจในกระบวนการแก้โจทย์ปัญหามากขึ้น เช่น สามารถระบุค่าของตัวแปรได้ถูกต้อง อีกทั้งทำให้นักเรียนรับรู้ตนเองว่าเข้าใจคลาดเคลื่อนในมโนทัศน์หรือขั้นตอนใด รวมถึงสามารถแก้ไขคำตอบที่ผิดจนกว่าจะถูกต้องในแต่ละขั้นตอนได้ ในขณะเดียวกันพบว่าข้อมูลย้อนกลับแต่ละข้อมีความคล้ายกับโจทย์ปัญหาแตกต่างกัน โดยนักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับ

เชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้ายไม่สามารถแก้โจทย์ปัญหาหลักได้ภายหลังจากได้รับข้อมูลย้อนกลับในข้อช่วงเริ่มต้น ในทางกลับกันนักเรียนสามารถแก้โจทย์ปัญหาหลักได้ภายหลังจากได้รับข้อมูลย้อนกลับในข้อเกือบสุดท้าย เนื่องจากข้อมูลย้อนกลับในช่วงข้อคำถามสุดท้ายนั้นคล้ายกับโจทย์ปัญหาหลัก เพียงแค่เปลี่ยนค่าของตัวแปรที่โจทย์ปัญหากำหนดขึ้นมาเท่านั้น ส่วนข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องไม่ได้มีรายละเอียดที่ช่วยให้นักเรียนสามารถแก้โจทย์ปัญหาหลักได้ โดยมีตัวอย่างผลการสัมภาษณ์ ดังนี้

*“เสียดายที่ทำไม่ทันครบทุกข้อ เพราะใช้เวลาอ่านข้อมูลย้อนกลับนานพอควร แต่ข้อมูลย้อนกลับช่วยให้ตนเองสามารถระบุค่าตัวแปรได้ดีขึ้น ก่อนหน้านี้ยังไม่รู้ว่าสิ่งที่โจทย์กำหนดให้มาคือตัวแปรใด”*
(นักเรียนกลุ่มต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย)

*“ข้อมูลย้อนกลับบางข้อเหมือนจะเข้าใจตอนนั้น แต่พอมาทำโจทย์ปัญหาหลักแล้วกลับทำไม่ได้เหมือนเดิม แต่ข้อมูลย้อนกลับในข้อเกือบสุดท้ายกลับเข้าใจมากขึ้น เพราะเหมือนกับโจทย์ปัญหาหลักเพียงแค่เปลี่ยนค่าตัวเลขเฉย ๆ”*
(นักเรียนกลุ่มต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย)

*“ข้อมูลย้อนกลับให้วิธีการแก้โจทย์ปัญหาทีละนิดทีละขั้นตอน เหมือนจับมือพาแก้โจทย์ปัญหาไปพร้อมกัน แถมเปลี่ยนคำตอบได้เรื่อย ๆ ในช่องที่ทำผิด ทำให้รู้ว่าตัวเองเข้าใจอะไรผิดตรงไหน”*
(นักเรียนกลุ่มต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่)

*“ถ้าได้รับข้อมูลย้อนกลับเหมือนเพื่อนคนอื่น คงจะแก้โจทย์ปัญหาได้ดีกว่านี้”*
(นักเรียนกลุ่มต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# บทที่ 5
# สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัย เรื่อง ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีวัตถุประสงค์การวิจัย 2 ข้อ ได้แก่ (1) เพื่อศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับ ระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 และ (2) เพื่อเปรียบเทียบพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน รูปแบบการวิจัยกึ่งทดลอง (quasi-experimental design) แบบ 4 x 3 แฟคทอเรียลที่ทำการทดลองซ้ำในตัวอย่างเดิม (4 x 3 repeated measured factorial design) โดยใช้เวลาในการทดลองทั้งสิ้น 5 สัปดาห์ ตัวอย่างวิจัยเป็นนักเรียนที่กำลังศึกษาในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 จำนวน 73 คน ซึ่งได้มาจากการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (purposive sampling) จากนั้นจึงจำแนกออกเป็น 12 กลุ่ม ตามประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ที่ได้รับและความสามารถทางฟิสิกส์ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ (1) ชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ จำนวน 2 ชุด ที่มีความเป็นคู่ขนานกัน (2) แบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ จำนวน 3 ฉบับ ที่มีความเป็นคู่ขนานกัน และ (3) แบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เป็นมาตรประมาณค่า 5 ระดับแบบลิเคิร์ท จำนวน 1 ฉบับ วิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณใช้สถิติเชิงบรรยาย (descriptive statistics) วิเคราะห์คะแนนพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ด้วยคะแนนพัฒนาการสัมพัทธ์ (relative gain score) วิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (two-way ANOVA) วิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวัดซ้ำ (repeated measures ANOVA) วิเคราะห์

พัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพจากการสัมภาษณ์นักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันโดยใช้วิธีการสร้างข้อสรุปเชิงอุปนัย (analytic induction)

**สรุปผลการวิจัย**

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูล ทำให้ผู้วิจัยสามารถจำแนกข้อสรุปที่ได้จากผลการวิจัยออกเป็น 2 ตอน ตามคำถามการวิจัย ประกอบด้วย (1) การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ และ (2) การเปรียบเทียบพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน โดยผลการวิจัยแต่ละตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**ตอนที่ 1 การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์**

ผลการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อวิเคราะห์อิทธิพลหลักอย่างง่ายของประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์และระดับความสามารถทางฟิสิกส์ พบว่า นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้ายและข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่านักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ส่วนนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่านักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ด้วยเช่นกัน

ผลการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่า ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เมื่อพิจารณาอิทธิพลหลักของตัวแปรอิสระแต่ละตัว พบว่า ระดับความสามารถทางฟิสิกส์ไม่มีอิทธิพลต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ในขณะที่ประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์มีอิทธิพลต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยนักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย และข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่านักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05, .05 และ .01 ตามลำดับ

**ตอนที่ 2 การเปรียบเทียบพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน**

ผลการเปรียบเทียบพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน พบว่า นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันจะมีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กัน สำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้ายและข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่านักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่านักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผลการเปรียบเทียบพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน พบว่า นักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันมีพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**อภิปรายผลการวิจัย**

ผลการวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย ทำให้ผู้วิจัยสามารถจำแนกข้อสรุปที่ได้จากผลการวิจัยออกเป็น 2 ประเด็น ตามคำถามการวิจัย ประกอบด้วย (1) การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ และ (2) การเปรียบเทียบพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน โดยการอภิปรายผลการวิจัยแต่ละตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**1. การศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์**

ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่ามีปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 1 ที่ตั้งไว้ โดยผู้วิจัยคาดว่าน่าจะมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันจะมีพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์แตกต่างกัน โดยข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้ายและข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ส่งผลให้นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางมีพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา

ทางฟิสิกส์สูงกว่าข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง และข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ส่งผลให้นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำมีพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่าข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะนักเรียนแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ใช้ประโยชน์จากข้อมูลย้อนกลับได้แตกต่างกัน เป็นที่น่าสังเกตว่าข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบมีประโยชน์สำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางและต่ำมากกว่า ส่วนนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงอาจใช้เพียงข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องซึ่งมีรายละเอียดหรือความซับซ้อนน้อยกว่าข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบก็ได้ เนื่องจากให้ผลไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับผลการศึกษาของสุวรัตน์ ทองพันชั่ง (2560) และอนงค์ เมธีพิทักษ์ธรรม (2555) ซึ่งพบว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางการเรียนคณิตศาสตร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยสุวรัตน์ ทองพันชั่ง (2560) นำลักษณะการโต้ตอบเข้ามาใช้เป็นส่วนหนึ่งของการให้ข้อมูลย้อนกลับเพิ่มเติมไปจากเดิม เป็นที่สังเกตว่าขอบเขตเนื้อหาที่ใช้ในการศึกษาของงานวิจัยดังกล่าวจะแตกต่างไปจากการวิจัยในครั้งนี้ แต่เมื่อพิจารณาถึงกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ พบว่า นักเรียนจะต้องผ่านกระบวนการตีความ วิเคราะห์ วางแผน และดำเนินการแก้โจทย์ปัญหาอย่างเป็นลำดับขั้นตอนจึงจะสามารถแก้โจทย์ปัญหาได้ ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ดังการวิจัยในครั้งนี้

ผลการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ พบว่าไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 1 ที่ตั้งไว้ โดยผู้วิจัยคาดว่าน่าจะมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า นักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันจะมีพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์เป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางความคิดและการรับรู้ซึ่งต้องใช้ช่วงระยะเวลานานพอสมควรในการพิจารณาให้เห็นถึงพัฒนาการด้านอภิปัญญา แต่ยังไม่มีข้อค้นพบที่แน่ชัด

ว่าควรใช้ระยะเวลาอย่างน้อยที่สุดเท่าใด อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่เคยศึกษาเกี่ยวกับพัฒนาการด้านอภิปัญญา พบว่า ส่วนใหญ่ดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลา 1 ปีการศึกษา (de Jager et al., 2005; Downing et al., 2009) แต่เนื่องจากเกิดสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ในช่วงดำเนินการวิจัย ทำให้เกิดข้อจำกัดเป็นจำนวนมากจนไม่สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลในระยะยาวได้ ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงมีความจำเป็นต้องลดช่วงระยะเวลาในการศึกษาลงจากเดิมเหลือเพียง 1 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของภัทรลักษณ์ สังข์วงษ์ และ เสารรัตน์ ภัทรฐิตินันท์ (2555) และศศิธร เยื่อใย และคณะ (2563) โดยแสดงให้เห็นผลเป็นที่ประจักษ์ว่า นักเรียนมีอภิปัญญาหลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลอง แม้ว่าเป็นการศึกษาระยะสั้นก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาถึงรายละเอียดในการดำเนินการวิจัย พบว่า มีการจัดกระทำเกิดขึ้นทุกคาบอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในระยะเวลาสั้น ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยในครั้งนี้ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านการทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จำนวน 2 ครั้ง ในครั้งที่ 2 และ 4 จากระยะเวลาการดำเนินการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่า จำนวนครั้งของการให้ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์มีผลต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ กล่าวคือ ถ้าหากนักเรียนได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีจำนวนมากเพียงพอและเกิดขึ้นในระยะยาวกว่าการวิจัยครั้งนี้ อาจทำให้เห็นพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างเด่นชัดมากขึ้น แต่ยังไม่มีข้อค้นพบว่าควรมีการให้ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กี่ครั้งจึงจะทำให้เห็นผลเป็นที่ประจักษ์ ซึ่งเป็นประเด็นที่จะต้องศึกษาต่อไปในอนาคต นอกจากนี้ยังมีข้อค้นพบที่น่าสนใจในการวิจัยครั้งนี้ พบว่า ประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กลับมีอิทธิพลต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ โดยนักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย และข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่านักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05, .05 และ .01 ตามลำดับ เนื่องจากนักเรียนจะต้องโต้ตอบกับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยการเติมคำลงในช่องว่างที่กำหนดให้ตามกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทีละขั้นตอน ทำให้นักเรียนได้รับรู้ตนเองว่าไม่เข้าใจหรือเข้าใจคลาดเคลื่อนในมโนทัศน์หรือขั้นตอนใด (Mory, 2003) ควรใช้สมการใดในการแก้โจทย์ปัญหา หรือสมการดังกล่าวใช้ได้ในเงื่อนไขใด ซึ่งสอดคล้องกับองค์ประกอบของอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ด้านความรู้เกี่ยวกับการรู้คิดตามแนวคิด

ของ Taasoobshirazi et al. (2015) ในขณะเดียวกันข้อมูลย้อนกลับช่วยฝึกให้นักเรียนรู้จักวางแผนขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างเป็นลำดับ โดยเริ่มต้นจากการแปลงข้อมูลจากสถานการณ์โจทย์ปัญหาให้อยู่ในรูปอย่างง่าย เช่น เขียนแผนภาพวัตถุอิสระ จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบที่ได้ในแต่ละขั้นตอน และตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบสุดท้ายรวมถึงภาพรวมในการแก้โจทย์ปัญหา ดังจะเห็นได้จากการที่ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบให้รายละเอียดทีละขั้นตอน หากพบข้อผิดพลาดในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง นักเรียนจะไม่สามารถโต้ตอบในขั้นตอนถัดไปได้ ดังนั้นจึงต้องแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการตอบของตนเองให้ถูกต้องเสียก่อน ซึ่งสอดคล้องกับองค์ประกอบของอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ด้านการกำกับการรู้คิดตามแนวคิดของ Taasoobshirazi et al. (2015) เช่นเดียวกับผลการสัมภาษณ์ของนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบ ซึ่งกล่าวว่า *“ข้อมูลย้อนกลับช่วยให้สามารถเขียนแสดงวิธีทำได้อย่างเป็นลำดับขั้นตอนมากขึ้น รู้จักวางแผนว่าจะต้องเขียนหรือแก้โจทย์อย่างไรต่อไป เพราะก่อนหน้านี้ไม่สามารถแสดงวิธีทำได้เลย”* รวมถึงนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบ ซึ่งกล่าวว่า *“ข้อมูลย้อนกลับมีการตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบทีละขั้นตอน ทำให้เข้าใจว่าตนเองยังไม่เข้าใจหรือเข้าใจผิดในเรื่องไหน ถ้าคนที่ไม่เข้าใจเนื้อหาแล้วมาเจอข้อมูลย้อนกลับแบบนี้น่าจะช่วยให้เข้าใจมากขึ้น”* และนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบ ซึ่งกล่าวว่า *“ข้อมูลย้อนกลับให้วิธีการแก้โจทย์ปัญหาทีละนิดทีละขั้นตอน เหมือนจับมือพาแก้โจทย์ปัญหาไปพร้อมกัน แถมเปลี่ยนคำตอบได้เรื่อย ๆ ในช่องที่ทำผิด ทำให้รู้ว่าตัวเองเข้าใจอะไรผิดตรงไหน”* จะเห็นว่าข้อมูลย้อนกลับช่วยแนะแนวทางตลอดจนกำกับให้นักเรียนสามารถแก้โจทย์ปัญหาได้อย่างถูกต้องตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ (สสวท., 2555; Braund, 2016) ซึ่งแตกต่างจากข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องโดยเป็นข้อมูลย้อนกลับแบบให้การยืนยันประเภทหนึ่งที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับความถูกต้องของผลการตอบเท่านั้น จึงอนุมานได้ว่า ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบมีประสิทธิภาพในด้านการพัฒนาอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่าข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง

ข้อสรุปที่ได้จากการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ จะเห็นว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ แต่ไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์

กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่มีต่อพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 1 ที่ตั้งไว้

**2. การเปรียบเทียบพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน**

ผลการเปรียบเทียบพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน พบว่า นักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบเพิ่มความคล้าย ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ และข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง มีพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2 ที่ตั้งไว้ โดยผู้วิจัยคาดว่านักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน น่าจะมีพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงเป็นนักเรียนที่มีความรู้ความเข้าใจในมโนทัศน์ทางฟิสิกส์ อีกทั้งสามารถตีความและวิเคราะห์โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ได้เป็นอย่างดี เช่น ทราบว่าสิ่งที่โจทย์ปัญหากำหนดมาให้นั้นแสดงแทนตัวแปรหรือสัญลักษณ์ใด และมีค่าเป็นเท่าใด แต่อาจเกิดข้อผิดพลาดจากการคำนวณหรือแก้สมการทางฟิสิกส์ ดังนั้นข้อมูลย้อนกลับที่ใช้กับนักเรียนระดับนี้สามารถให้รายละเอียดเกี่ยวกับความถูกต้องของผลการตอบเท่านั้น โดยหากนักเรียนทราบว่าตอบคำถามผิด นักเรียนจะเริ่มแก้โจทย์ปัญหาเดิมอีกครั้งหรือแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระหว่างการแก้โจทย์ปัญหานั้นด้วยตนเอง ในขณะที่ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบเป็นข้อมูลย้อนกลับที่ให้คำชี้แนะด้วยตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่มีลำดับทิศทางความคล้ายแตกต่างกันซึ่งให้รายละเอียดที่มากเกินความจำเป็นสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูง สอดคล้องกับผลการสัมภาษณ์ของนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบ ซึ่งกล่าวว่า *“ข้อมูลย้อนกลับให้รายละเอียดเกี่ยวกับการแก้โจทย์ปัญหาแทบทุกจุด แม้ว่าในช่วงแรกอาจจะยังไม่ค่อยชินกับการเติมคำตอบทีละนิดเท่าไหร่ เพราะต้องระบุค่าตัวแปรแทบทุกตัว ซึ่งบางค่าตัวแปรเป็นที่ทราบอยู่แล้ว แต่คิดว่าเป็นสิ่งที่ดีสำหรับ*

*คนที่มีพื้นฐานการแก้โจทย์ปัญหาไม่ค่อยแน่น"* เช่นเดียวกับผลการศึกษาของ Atkinson and Renkl (2007), Kalyuga et al. (2001) และ Renkl and Atkinson (2010) ซึ่งพบว่า การใช้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาเหมาะสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางการเรียนในระดับต่ำมากกว่านักเรียนที่มีความสามารถทางการเรียนในระดับสูง ดังนั้นจึงสามารถอนุมานได้ว่า ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบอาจมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างจากข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง สำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูง

ผลการเปรียบเทียบพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางและต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน พบว่า นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้ายและข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่านักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์สูงกว่านักเรียนที่ได้รับ ข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2 ที่ตั้งไว้ โดยผู้วิจัยคาดว่านักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน น่าจะมีพัฒนาการด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์แตกต่างกัน เนื่องจากข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้ายและข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่เป็นข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายรายละเอียดประเภทหนึ่งที่มีการให้คำชี้แนะแนวทางในการหาคำตอบผ่านตัวอย่างโจทย์ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับโจทย์ปัญหาหลักอย่างมาก โดยเฉพาะข้อคำถามช่วงแรกของข้อมูลย้อนกลับแบบลดความคล้ายและตลอดทุกข้อคำถามสำหรับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ ทำให้นักเรียนเกิดการถ่ายโยงการเรียนรู้โดยนำความรู้ที่ได้จากการโต้ตอบกับข้อมูลย้อนกลับไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาหลักได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีธาตุมูลที่เหมือนหรือคล้ายคลึง (identical elements theory) ของ Thorndike (1913 อ้างถึงใน สุรางค์ โค้วตระกูล, 2556) และทฤษฎีการถ่ายโยง (transposition theory) ของนักจิตวิทยากลุ่มเกสตัลท์เสนอแนวคิดที่สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันไว้ว่า การถ่ายโยงการเรียนรู้จะเกิดขึ้นเมื่อนักเรียนสามารถนำความรู้ที่ได้จากสถานการณ์ในอดีตไปใช้ในสถานการณ์ใหม่ที่มีความคล้ายคลึงกัน จากแนวคิดข้างต้นหากเปรียบเทียบกับการวิจัยครั้งนี้ จะเห็นว่า นักเรียนเกิดการถ่ายโยงการเรียนรู้เมื่อนักเรียนสามารถ

แก้โจทย์ปัญหาหลักได้ภายหลังได้รับข้อมูลย้อนกลับที่มีลักษณะใกล้เคียงกับโจทย์ปัญหาหลัก ซึ่งสอดคล้องกับนิยามของข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ และเมื่อพิจารณาถึงลำดับทิศทางความคล้ายของตัวอย่างโจทย์ พบว่า ควรนำเสนอตัวอย่างที่ง่ายไปสู่ตัวอย่างที่ซับซ้อน (ศักดิ์ศรี ปาณะกุล และคณะ, 2562) ซึ่งสามารถอนุมานได้ว่า ควรนำเสนอตัวอย่างโจทย์ที่มีความคล้ายระดับสูงไปสู่ระดับต่ำ โดยสอดคล้องกับนิยามของข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย ซึ่งไม่มีประสิทธิภาพสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะนักเรียนมีพื้นความรู้และประสบการณ์ที่ไม่เพียงพอในการถ่ายโยงการเรียนรู้ระหว่างการได้รับข้อมูลย้อนกลับกับการนำไปใช้แก้โจทย์ปัญหาหลัก ดังนั้นจึงควรให้ข้อมูลย้อนกลับที่มีลักษณะใกล้เคียงกับโจทย์ปัญหาหลักเป็นจำนวนที่มากเพียงพอต่อการทำความเข้าใจ ซึ่งจากการวิจัยในครั้งนี้จะเห็นว่า ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่เป็นเพียงข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบประเภทเดียวที่มีประสิทธิภาพสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางและต่ำ เนื่องจากข้อมูลย้อนกลับมีลักษณะใกล้เคียงกับโจทย์ปัญหาหลัก อีกทั้งมีลักษณะการโต้ตอบระหว่างนักเรียนกับข้อมูลย้อนกลับ โดยนักเรียนจะต้องเติมคำลงในช่องว่างที่กำหนดให้ตามกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทีละขั้นตอน ทำให้นักเรียนได้รับรู้ตนเองว่าไม่เข้าใจหรือเข้าใจคลาดเคลื่อนในมโนทัศน์หรือขั้นตอนใด (Mory, 2003) อีกทั้งนักเรียนสามารถแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการตอบของตนเองให้ถูกต้องได้ ซึ่งแตกต่างจากข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง โดยเป็นข้อมูลย้อนกลับแบบให้การยืนยันประเภทหนึ่งที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับความถูกต้องของผลการตอบเท่านั้น พร้อมบอกคำตอบที่ถูกต้องในกรณีที่ตอบคำถามครบจำนวนครั้งที่จำกัดให้ จึงอนุมานได้ว่า ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบมีประสิทธิภาพสูงกว่าข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง โดยสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Salamonson et al. (2008) และ van der Kleij et al. (2015) ที่พบว่า ข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายรายละเอียดมีประสิทธิภาพสูงกว่าข้อมูลย้อนกลับแบบให้การยืนยัน และหากนำข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายรายละเอียดที่มีการให้คำชี้แนะด้วยตัวอย่างมาใช้ร่วมกับข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องจะมีประสิทธิภาพมากกว่าข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้อง (อนงค์ เมธีพิทักษ์ธรรม, 2555; Finn et al., 2017; van der Kleij et al., 2012)

ผลการเปรียบเทียบพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน พบว่า นักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันมีพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่แตกต่างกัน ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2 ที่ตั้งไว้ โดยผู้วิจัยคาดว่านักเรียน

มัธยมศึกษาปีที่ 4 ในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน น่าจะมีพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์เป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางความคิดและการรับรู้ซึ่งต้องใช้ช่วงระยะเวลานานพอสมควรในการพิจารณาให้เห็นถึงพัฒนาการด้านอภิปัญญา แต่ยังไม่มีข้อค้นพบที่แน่ชัดว่าควรใช้ระยะเวลาอย่างน้อยที่สุดเท่าใด อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่เคยศึกษาเกี่ยวกับพัฒนาการด้านอภิปัญญา พบว่า ส่วนใหญ่ดำเนินการทดลองเป็นระยะเวลา 1 ปีการศึกษา (de Jager et al., 2005; Downing et al., 2009) แต่เนื่องจากเกิดสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ในช่วงดำเนินการวิจัยทำให้เกิดข้อจำกัดเป็นจำนวนมากจนไม่สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลในระยะยาวได้ ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงมีความจำเป็นต้องลดช่วงระยะเวลาในการศึกษาลงจากเดิมเหลือเพียง 1 เดือน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของภัทรลักษณ์ สังข์วงษ์ และ เสารรัตน์ ภัทรฐิตินันท์ (2555) และศศิธร เยื่อใย และคณะ (2563) โดยแสดงให้เห็นผลเป็นที่ประจักษ์ว่า นักเรียนมีอภิปัญญาหลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลอง แม้ว่าเป็นการศึกษาระยะสั้นก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาถึงรายละเอียดในการดำเนินการวิจัย พบว่า มีการจัดกระทำเกิดขึ้นทุกคาบอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในระยะเวลาสั้น ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยในครั้งนี้ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านการทำชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์จำนวน 2 ครั้ง ในครั้งที่ 2 และ 4 จากระยะเวลาการดำเนินการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่า จำนวนครั้งของการให้ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์มีผลต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ กล่าวคือ ถ้าหากนักเรียนได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีจำนวนมากเพียงพอและเกิดขึ้นในระยะยาวกว่าการวิจัยครั้งนี้ อาจทำให้เห็นพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างเด่นชัดมากขึ้น แต่ยังไม่มีข้อค้นพบว่าควรมีการให้ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์กี่ครั้งจึงจะทำให้เห็นผลเป็นที่ประจักษ์ ซึ่งเป็นประเด็นที่จะต้องศึกษาต่อไปในอนาคต ดังที่อภิปรายไว้ในประเด็นแรก

ข้อสรุปที่ได้จากการเปรียบเทียบพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน จะเห็นว่า นักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันมีพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่แตกต่างกัน ซึ่งแตกต่างไปจากนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางและต่ำที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันมีพัฒนาการ

ด้านความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์แตกต่างกัน แต่มีพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า นักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันมีพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์แตกต่างกัน ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 2 ที่ตั้งไว้

**ข้อเสนอแนะ**

**ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้**

1. ครูผู้สอนควรเลือกใช้ประเภทข้อมูลย้อนกลับให้เหมาะสมกับระดับความสามารถทางฟิสิกส์ของนักเรียน โดยนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับสูงควรได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบใดแบบหนึ่งหรือข้อมูลย้อนกลับแบบบอกคำตอบที่ถูกต้องก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับบริบทสถานการณ์นั้น ส่วนนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับปานกลางควรได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบลดความคล้าย หรือข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่ และนักเรียนที่มีความสามารถทางฟิสิกส์ระดับต่ำควรได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบแบบความคล้ายคงที่

2. การให้ข้อมูลย้อนกลับในชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์ ครูผู้สอนควรชี้แจงขั้นตอนการใช้งานให้นักเรียนเข้าใจก่อนการทำชุดฝึก เช่น การเข้าสู่ระบบ การพิมพ์คำตอบลงในช่องว่างที่กำหนดให้ รวมถึงข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น

3. ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์มีอิทธิพลต่อพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 แต่ว่านักเรียนในแต่ละระดับความสามารถทางฟิสิกส์ที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกันจะมีพัฒนาการด้านอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังนั้นหากครูผู้สอนต้องการพัฒนาให้นักเรียนมีอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่สูงขึ้น อาจต้องเพิ่มจำนวนครั้งของการให้ข้อมูลย้อนกลับ หรือการจัดทำชุดฝึกและแบบสอบที่นักเรียนจะต้องแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ทีละขั้นตอน ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนรับรู้ถึงข้อผิดพลาดของตนเอง ตลอดจนแก้ไขข้อผิดพลาดนั้น รวมถึงสามารถวางแผนและแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ได้

4. การสร้างชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์บนระบบการจัดการเรียนรู้ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ครูผู้สอนควรเลือกหรือตั้งค่าแบบทดสอบให้ไม่ไวต่ออักษรใหญ่เล็ก (case sensitive) กล่าวคือ หากนักเรียนพิมพ์คำตอบเป็น 2000, 2000.0

หรือ 2000.00 คอมพิวเตอร์จะต้องให้ผลการประเมินที่เหมือนกัน หรือหากไม่สามารถตั้งค่าได้ ครูผู้สอนอาจต้องชี้แจงหลักการเติมคำตอบลงในช่องว่างให้นักเรียนเข้าใจก่อนเริ่มทำชุดฝึก เช่น กำหนดให้เติมคำตอบที่มีตำแหน่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง และไม่ใส่เครื่องหมายจุลภาค (,) กรณีที่ตัวเลขมีค่าเป็นหลักพันขึ้นไป

**ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป**

1. การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำลักษณะการโต้ตอบและลำดับทิศทางความคล้ายมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเกี่ยวกับการนำลักษณะการโต้ตอบและลำดับทิศทางความคล้ายมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลย้อนกลับประเภทอื่น เพื่อให้ได้สารสนเทศเกี่ยวกับแนวทางการส่งเสริมให้นักเรียนมีพัฒนาการด้านความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่สูงขึ้น เช่น ข้อมูลย้อนกลับแบบอธิบายความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน ข้อมูลย้อนกลับแบบให้ความรู้

2. การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยกำหนดตัวแปรอิสระจำนวน 2 ตัวแปร ได้แก่ ประเภทข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ และระดับความสามารถของนักเรียน ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของข้อมูลย้อนกลับ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาร่วมกับปัจจัยอื่นเพิ่มเติมด้วย เช่น ระดับพฤติกรรมการเรียนรู้ที่วัด เวลาในการให้ข้อมูลย้อนกลับ รวมไปถึงความสามารถในการใช้เทคโนโลยีของนักเรียน ซึ่งอาจเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการเรียนรู้ในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ด้วยคอมพิวเตอร์

3. การวิจัยครั้งนี้มีกระบวนการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลภายในระยะเวลา 1 เดือน โดยมีการให้ข้อมูลย้อนกลับเชิงโต้ตอบด้วยคอมพิวเตอร์ รวมถึงวัดความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ จำนวน 2, 3 และ 2 ครั้ง ตามลำดับ ซึ่งมีจำนวนน้อยครั้งและเป็นการศึกษาในระยะสั้น ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาประสิทธิภาพของข้อมูลย้อนกลับในระยะยาวด้วยการเพิ่มจำนวนครั้งของการให้ข้อมูลย้อนกลับ รวมถึงการวัดความสามารถและอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เช่น ตลอดทั้งภาคการศึกษาหรือปีการศึกษา

4. การวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาประสิทธิภาพของข้อมูลย้อนกลับในเนื้อหารายวิชาฟิสิกส์ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาย้อนกลับการนำข้อมูลย้อนกลับไปใช้ในรายวิชาอื่น ๆ เช่น ภาษาไทย สังคมศึกษา เนื่องจากแต่ละรายวิชามีบริบทที่แตกต่างกันออกไป

5. การวิจัยครั้งนี้เกิดขึ้นในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ทำให้ผู้วิจัยไม่สามารถทำการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาโดยใช้การเขียนตอบ (paper-pencil test) ที่โรงเรียนได้ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเปลี่ยนรูปแบบการเก็บรวบรวมข้อมูล

เป็นการทดสอบโดยใช้คอมพิวเตอร์ (computer-based test) รวมถึงเปลี่ยนประเภทของแบบสอบเป็นแบบสอบแบบเติมคำด้วยคอมพิวเตอร์โดยให้นักเรียนเติมคำตอบในรูปแบบของตัวเลขลงในช่องว่างที่กำหนดให้ ซึ่งมีข้อจำกัดคือ ไม่เหมาะสำหรับการวัดพฤติกรรมการเรียนรู้ในระดับที่ซับซ้อนได้ (โชติกา ภาษีผล, 2559) รวมถึงไม่สามารถให้ข้อมูลการประเมินที่มีรายละเอียดซับซ้อนได้ ดังนั้นจึงควรวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ด้วยเครื่องมือวัดและประเมินผลประเภทอื่น เช่น แบบสอบความเรียงจำกัดคำตอบและเกณฑ์การตรวจให้คะแนนแบบรูบริก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# บรรณานุกรม

## ภาษาไทย


กมลวรรณ ตังธนกานนท์. (2563). *การวัดและประเมินทักษะการปฏิบัติ* (พิมพ์ครั้งที่ 3 ฉบับปรับปรุง). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กรมวิชาการ. สำนักทดสอบทางการศึกษา. (2539). *การพัฒนากระบวนการแก้ปัญหาและการตัดสินใจ*. สำนักทดสอบทางการศึกษา.

กระทรวงศึกษาธิการ. สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2557). *แนวทางปฏิบัติการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551* (พิมพ์ครั้งที่ 4). ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

กระทรวงศึกษาธิการ. สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2560). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

กาญจนา สามเตี้ย. (2551). *การพัฒนารูปแบบการสอน* PRIPARE *เพื่อพัฒนาความสามารถเมตาคอกนิชันของเด็กปฐมวัย* [วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. http://thesis.swu.ac.th/swudis/Ear_Chi_Ed/Kanchana_S.pdf

กิตติทัศน์ หวานฉ่ำ. (2560). *ผลของประเภทข้อมูลย้อนกลับและการเปลี่ยนคำตอบที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน คะแนนที่เพิ่มขึ้น และความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/59861

เกริก ศักดิ์สุภาพ. (2556). *การพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนที่เน้นความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาวิชาฟิสิกส์ (PECA) ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย* [วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

เกริก ศักดิ์สุภาพ. (2561). ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ PECA ร่วมกับโปรแกรมควิปเปอร์ สคูล เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร*, *20*(2), 12-20. https://so06.tcithaijo.org/index.php/edujournal_nu/article/view/62063

โชติกา ภาษีผล. (2559). *การวัดและประเมินผลการเรียนรู้*. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โชติกา ภาษีผล. (2562). *การพัฒนาแบบสอบคู่ขนาน: การสร้างและการวิเคราะห์ความเป็นคู่ขนาน*.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์. (2524). *การทำนายผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/23594

นฤมล ฉิมงาม. (2558). *การพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์โดยใช้เทคนิคการแก้ปัญหาของโพลยาผสานกับการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ขั้น ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. DSpace at Rajamangala University of Technology Thanyaburi. http://www.repository.rmutt.ac.th/dspace/handle/123456789/2869

นันทฉัตร วงษ์ปัญญา. (2558). เราจะวัด metacognition ได้อย่างไร. *นิตยสาร สสวท.*, *40*(179), 14-17. https://library.ipst.ac.th/handle/ipst/325

นิพนธ์ นิลคง. (2541). *ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการคิดหาเหตุผลเชิงตรรกศาสตร์ ทักษะการคำนวณในการเรียนวิชาฟิสิกส์และความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย กรุงเทพมหานคร* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/10336

นิอร ไชยพรพัฒนา. (2549). *การเปรียบเทียบคุณภาพของวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการโดยใช้โมเดลโค้งพัฒนาการที่มีตัวแปรแฝงเป็นเกณฑ์ : การศึกษาแบบมอนติคาร์โล* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/9218

พัณนิดา มิ่งมิตร. (2559). *ผลของแนวทางการแก้ปัญหาเชิงมโนทัศน์ที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาและมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/55148

ภัทรลักษณ์ สังข์วงษ์ และ เสารรัตน์ ภัทรฐิตินันท์. (2555). การ*พัฒนาความคิดอภิปัญญาโดยการจัดกิจกรรมการเรียนตามทฤษฎีการเรียนรู้เพื่อสร้างสรรค์ด้วยปัญญาเรื่องวิวัฒนาการของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6* [Paper presentation], การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 2, นนทบุรี, ประเทศไทย.

ยุทธการ สืบแก้ว. (2551). *การพัฒนาแบบวัดอภิปัญญา สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. Chulalongkorn University Intellectual Repository

(CUIR). http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/55947

รมิตา ชื่นเปรมชีพ. (2559). *ผลของกลยุทธ์การแก้ปัญหาเชิงตรรกะที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/55142

รักษพล ธนานุวงศ์. (2558). สอนเพื่อทำข้อสอบ หรือ สอบก่อนแล้วค่อยทำข้อสอบ. *นิตยสาร สสวท.*, *43*(194), 40-44. https://library.ipst.ac.th/bitstream/handle/ipst/340/194.pdf

ราชบัณฑิตยสถาน. (2555). *พจนานุกรมศัพท์ศึกษาศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน*.

วรรณี แกมเกตุ. (2555). *วิธีวิทยาการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์* (พิมพ์ครั้งที่ 3). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศศิธร เยื่อใย, ธิติยา บงกชเพชร, และ ปราณี นางงาม. (2561). การพัฒนาอภิปัญญาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์โดยการจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐาน เรื่อง การเจริญเติบโตและการตอบสนองของพืช สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. *วารสารบัณฑิตวิทยาลัยพิชญทรรศน์*, *15*(2), 149-158. https://so02.tci-thaijo.org/index.php/Pitchayatat/article/view/244332

ศักดิ์ศรี ปาณะกุล, นิรมล ศตวุฒิ, และระวิวรรณ ศรีคร้ามครัน. (2562). *หลักสูตรและการจัดการเรียนรู้* (พิมพ์ครั้งที่ 5). มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ศิริชัย กาญจนวาสี. (2556). *ทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม* (พิมพ์ครั้งที่ 7). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ. (2560). *รายงานค่าสถิติพื้นฐานการทดสอบวิชาสามัญ 9 วิชาเพื่อรองรับการรับตรงร่วมกัน ปีการศึกษา 2560*. https://www.niets.or.th/uploads/editor/files/9_Subject/AMS-2560%20-%20ค่าสถิติการสอบ%20สำหรับสถิติพื้นฐาน.pdf

สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ. (2561). *รายงานค่าสถิติพื้นฐานการทดสอบวิชาสามัญ 9 วิชาเพื่อรองรับการรับตรงร่วมกัน ปีการศึกษา 2561*. http://www.niets.or.th/uploads/editor/files/9_Subject/ค่าสถิติพื้นฐานการสอบสามัญ%209%20วิชา%20ปีการศึกษา%202561.pdf

สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ. (2562). *รายงานค่าสถิติพื้นฐานการทดสอบวิชาสามัญ 9 วิชาเพื่อรองรับการรับตรงร่วมกัน ปีการศึกษา 2562*. https://www.niets.or.th/uploads/editor/files/9_Subject/ค่าสถิติพื้นฐาน%20Stat9subject2562.pdf

สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ. (2563). *รายงานค่าสถิติพื้นฐานการทดสอบวิชาสามัญ 9 วิชา ปีการศึกษา 2563*. https://www.niets.or.th/uploads/editor/files/9_Subject/Stat9subject2563.pdf

สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ. (2564). *รายงานค่าสถิติพื้นฐานการทดสอบวิชาสามัญ ปีการศึกษา 2564*. https://www.niets.or.th/uploads/editor/files/9_Subject/รายงานค่าสถิติพื้นฐานการทดสอบวิชาสามัญ%209%20.pdf

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2555). *การวัดผลประเมินผลวิทยาศาสตร์*. ซีเอ็ดยูเคชัน.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2562). *หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 1* (พิมพ์ครั้งที่ 2). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สาขาฟิสิกส์. (2554). สอนฟิสิกส์อย่างไร ให้ผู้เรียนเข้าใจจริง. *นิตยสาร สสวท., 39*(172), 40-43. https://library.ipst.ac.th/bitstream/handle/ipst/318/172_ฉบับเต็ม.pdf

สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 4. (2564). *จำนวนนักเรียนแยกตามโรงเรียนและชั้น*. https://sites.google.com/a/ssps4.go.th/ssps4bigdata/student/2stuclass

สุกัญญา นิมานันท์. (2533). ข้อมูลย้อนกลับในบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน. *วารสารวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 12*(1), 22-28. http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/8274

สุชาดา โรจนาศัย. (2548). *ผลของรูปแบบการให้ข้อมูลย้อนกลับที่แตกต่างกันต่อพัฒนาการทางทักษะการเขียนภาษาอังกฤษของผู้เรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/67151

สุปราณี นพไธสง. (2537). *ปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหาการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ภาคคำนวณตามหลักสูตรมัธยมศึกษาตอนปลาย พุทธศักราช 2524 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2533)* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/56093

สุรางค์ โค้วตระกูล. (2556). *จิตวิทยาการศึกษา* (พิมพ์ครั้งที่ 11). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุวรัตน์ ทองพันชั่ง. (2560). *ผลของรูปแบบการให้ข้อมูลย้อนกลับแบบผสมที่แตกต่างกันด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีต่อพัฒนาการความสามารถด้านคำนวณของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/58440

อนงค์ พิทักษ์เมธีธรรม. (2555). *ผลของรูปแบบการให้ข้อมูลย้อนกลับที่แตกต่างกันที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 1* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR).

http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/45304

อนุรักษ์ ไชยฮั่ง. (2555). *ผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กลวิธีเอสซีพีซีและแนวคิดการเรียนรู้แบบร่วมมือที่มีต่อ ความสามารถในการเขียนร้อยแก้วเชิงสร้างสรรค์และเมตาคอกนิชันในการเขียนภาษาไทยของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/45861

อมรรัตน์ บุบผโชติ. (2558). *ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยการตั้งปัญหาที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และมโนทัศน์ฟิสิกส์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายในโรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม : รายงานการวิจัย*. คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/47690

อรยา ชูเชื้อ. (2554). *ผลของการเรียนการสอนฟิสิกส์โดยใช้การสร้างความรู้เชิงกลยุทธ์ที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาและมโนทัศน์เรื่องโมเมนตัมและการดลของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/22511

อวยพร เรืองตระกูล. (2544). *การพัฒนาและวิเคราะห์คุณภาพของวิธีการวัดคะแนนพัฒนาการตามทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิมและทฤษฎีการตอบสนองข้อสอบ* [วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต]. Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR). http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/5254

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ภาษาอังกฤษ**

Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Longman.

Atkinson, R. K., Derry, S. J., Renkl, A., & Wortham, D. (2000). Learning from examples: Instructional principles from the worked examples research. *Review of educational research*, *70*(2), 181-214. https://doi.org/10.3102/00346543070002181

Atkinson, R. K., & Renkl, A. (2007). Interactive example-based learning environments: Using interactive elements to encourage effective processing of worked examples. *Educational Psychology Review*, *19*(3), 375-386. https://doi.org/10.1007/s10648-007-9055-2

Atkinson, R. K., Renkl, A., & Merrill, M. M. (2003). Transitioning from studying examples to solving problems: Effects of self-explanation prompts and fading worked-out steps. *Journal of educational psychology*, *95*(4), 774. https://doi.org/10.1037/0022-0663.95.4.774

Attali, Y. (2015). Effects of multiple-try feedback and question type during mathematics problem solving on performance in similar problems. *Computers & Education*, *86*, 260-267. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.08.011

Attali, Y., & van der Kleij, F. (2017). Effects of feedback elaboration and feedback timing during computer-based practice in mathematics problem solving. *Computers & Education*, *110*, 154-169. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.03.012

Baker, L., & Brown, A. L. (1984). Metacognitive skills and reading. In P. D. Pearson, R. Barr, M. L. Kamil, & P. Mosenthal (Eds.), *Handbook of Reading Research* (pp. 353-394). Longman.

Belikov, B. S. (1989). *General methods for solving physics problems*. Mir Publishers.

Braund, H. L. A. (2016). *Supporting metacognitive development in early science education: Exploring elementary teachers' beliefs and practices in metacognition* [Doctoral dissertation]. Queen's Graduate Theses and Dissertations. https://qspace.library.queensu.ca/handle/1974/14730

Brookhart, S. M. (2008). *How to give effective feedback to your students*. Association for Supervision and Curriculum Development.

Çalışkan, S., Selçuk, G. S., & Erol, M. (2010). Instruction of problem solving strategies: Effects on physics achievement and self-efficacy beliefs. *Journal of Baltic Science Education*, *9*(1), 20-34. http://www.scientiasocialis.lt/jbse/files/pdf/vol9/2034.Caliskan_Vol.9_No.1.pdf

Clariana, R. B. (1990). A comparison of answer until correct feedback and knowledge of correct response feedback under two conditions of contextualization. *Journal of Computer-Based Instruction*, *17*(4), 125-129.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

Corbalan, G., Paas, F., & Cuypers, H. (2010). Computer-based feedback in linear algebra: Effects on transfer performance and motivation. *Computers & Education*, *55*(2), 692-703. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.03.002

Cross, D. R., & Paris, S. G. (1988). Developmental and instructional analyses of children's metacognition and reading comprehension. *Journal of educational psychology*, *80*(2), 131-142. https://doi.org/10.1037/0022-0663.80.2.131

de Jager, B., Jansen, M., & Reezigt, G. (2005). The development of metacognition in primary school learning environments. *School effectiveness and school improvement*, *16*(2), 179-196. https://doi.org/10.1080/09243450500114181

Docktor, J. L., Dornfeld, J., Frodermann, E., Heller, K., Hsu, L., Jackson, K. A., Mason, A., Ryan, Q. X., & Yang, J. (2016). Assessing student written problem solutions: A problem-solving rubric with application to introductory physics. *Physical review physics education research*, *12*(1), 1-18. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010130

Downing, K., Kwong, T., Chan, S.-W., Lam, T.-F., & Downing, W.-K. (2009). Problem-based learning and the development of metacognition. *Higher Education*, *57*(5), 609-621. https://doi.org/10.1007/s10734-008-9165-x

Earl, L. M. (2013). *Assessment as learning: Using classroom assessment to maximize student learning* (2nd ed.). Corwin Press.

Finn, B., Thomas, R., & Rawson, K. A. (2018). Learning more from feedback: Elaborating feedback with examples enhances concept learning. *Learning and Instruction*, *54*, 104-113. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.08.007

Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive–developmental inquiry. *American psychologist*, *34*(10), 906-911. https://doi.org/10.1037/0003-066X.34.10.906

Gaynor, P. (1981). The effect of feedback delay on retention of computer-based mathematical material. *Journal of Computer-Based Instruction*, *8*(2), 28-34.

Gok, T. (2010). The general assessment of problem solving processes in physics education. *Eurasian Journal of Physics and Chemistry Education*, *2*(2), 110-122. http://www.acarindex.com/dosyalar/makale/acarindex-1423880500.pdf

Gök, T., & Silay, I. (2008). Effects of problem-solving strategies teaching on the problem-

solving attitudes of cooperative learning groups in physics education. *Journal of Theory & Practice in Education*, *4*(2), 253-266. http://www.acarindex.com/dosyalar/makale/acarindex-1423880500.pdf

Hanna, G. S. (1976). Effects of total and partial feedback in multiple-choice testing upon learning. *The Journal of Educational Research*, *69*(5), 202-205. https://doi.org/10.1080/00220671.1976.10884873

Harskamp, E., & Ding, N. (2006). Structured collaboration versus individual learning in solving physics problems. *International journal of science education*, *28*(14), 1669-1688. https://doi.org/10.1080/09500690600560829

Hattie, J. (2009). *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203887332

Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of educational research*, *77*(1), 81-112. https://doi.org/10.3102/003465430298487

Heller, K., & Heller, P. (2010). *Cooperative problem solving in physics a user's manual*. https://www.aapt.org/Conferences/newfaculty/upload/Coop-Problem-Solving-Book.pdf

Hollabaugh, M. (1995). *Physics problem solving in cooperative learning groups* [Doctoral dissertation]. University of Minnesota Physics Education Research and Development. https://groups.spa.umn.edu/physed/People/Hollabaugh%20Dissertation.pdf

Hudson, H., & Liberman, D. (1982). The combined effect of mathematics skills and formal operational reasoning on student performance in the general physics course. *American Journal of Physics*, *50*(12), 1117-1119. https://doi.org/10.1119/1.12895

Hudson, H., & Rottmann, R. M. (1981). Correlation between performance in physics and prior mathematics knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, *18*(4), 291-294. https://doi.org/10.1002/tea.3660180403

Huffman, D. (1997). Effect of explicit problem solving instruction on high school students' problem-solving performance and conceptual understanding of physics. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

*National Association for Research in Science Teaching*, *34*(6), 551-570. https://doi.org/10.1002/(sici)1098-2736(199708)34:6<551::aid-tea2>3.0.co;2-m

Jennings, J., & Muldner, K. (2020). Assistance that fades in improves learning better than assistance that fades out. *Instructional Science*, *48*(4), 371-394. https://doi.org/10.1007/s11251-020-09520-7

Kalyuga, S., Chandler, P., Tuovinen, J., & Sweller, J. (2001). When problem solving is superior to studying worked examples. *Journal of educational psychology*, *93*(3), 579. https://doi.org/10.1037/0022-0663.93.3.579

Kulhavy, R. W., & Stock, W. A. (1989). Feedback in written instruction: The place of response certitude. *Educational Psychology Review*, *1*(4), 279-308. https://doi.org/10.1007/bf01320096

Kulhavy, R. W., White, M. T., Topp, B. W., Chan, A. L., & Adams, J. (1985). Feedback complexity and corrective efficiency. *Contemporary educational psychology*, *10*(3), 285-291. https://doi.org/10.1016/0361-476x(85)90025-6

Martinez, M. E. (2006). What is metacognition? *Phi delta kappan*, *87*(9), 696-699. https://doi.org/10.1177/003172170608700916

Mason, B. J., & Bruning, R. H. (2001). *Providing feedback in computer-based instruction: What the research tells us*. http://dwb.unl.edu/Edit/MB/MasonBruning.html

McMillan, J. H. (2017). *Classroom assessment: Principles and practice that enhance student learning and motivation* (7th ed.). Pearson.

Mokhtari, K., & Reichard, C. A. (2002). Assessing students' metacognitive awareness of reading strategies. *Journal of educational psychology*, *94*(2), 249-259. https://doi.org/10.1037/0022-0663.94.2.249

Mory, E. H. (2004). Feedback Research Revisited. In D. H. Jonassen (Ed.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (pp. 745-783). Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

Narciss, S., Sosnovsky, S., Schnaubert, L., Andrès, E., Eichelmann, A., Goguadze, G., & Melis, E. (2014). Exploring feedback and student characteristics relevant for personalizing feedback strategies. *Computers & Education*, *71*, 56-76. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.011

New South Wales Education Standards Authority. (n.d.). *Assessment for, as and of learning*. https://educationstandards.nsw.edu.au/wps/portal/nesa/k-10/understanding-the-curriculum/assessment/approaches

Niss, M. (2017). Obstacles related to structuring for mathematization encountered by students when solving physics problems. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *15*(8), 1441-1462. https://doi.org/10.1007/s10763-016-9754-6

Pintrich, P. R. (2002). The role of metacognitive knowledge in learning, teaching, and assessing. *Theory into practice*, *41*(4), 219-225. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4104_3

Pol, H. (2009). *Computer based instructional support during physics problem solving: a case for student control* [Doctoral dissertation]. University of Groningen/UMCG Research Database. https://www.rug.nl/research/portal/files/14640324/thesis.pdf

Razzaq, R., Ostrow, K. S., & Heffernan, N. T. (2020). Effect of immediate feedback on math achievement at the high school level. In Bittencourt I., Cukurova M., Muldner K., Luckin R., & Millán E. (Eds.), *International Conference on Artificial Intelligence in Education* (pp. 263-267). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52240-7_48

Renkl, A., & Atkinson, R. K. (2010). Learning from worked-out examples and problem solving. In J. L. Plass, R. Moreno, & R. Brünken (Eds.), *Cognitive load theory* (pp. 91-108). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/cbo9780511844744.007

Roper, W. J. (1977). Feedback in computer assisted instruction. *Programmed learning and educational technology*, *14*(1), 43-49. https://doi.org/10.1080/1355800770140107

Salamonson, Y., Everett, B. L., Koch, J., & Frost, S. A. (2008). The effectiveness of elaborative feedback on academic performance in a web-based introductory pharmacology elective. *My Place, My Space, My Learning: Distance and Virtual Education (DEANZ) Conference, Wellington, New Zealand*, *17-20 August, 2008*.

Schraw, G. (2001). Promoting general metacognitive awareness. In Hartman H. J. (Ed.),

*Metacognition in learning and instruction* (pp. 3-16). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2243-8_1

Schraw, G., & Dennison, R. S. (1994). Assessing metacognitive awareness. *Contemporary educational psychology*, *19*(4), 460-475. https://doi.org/10.1006/ceps.1994.1033

Schunk, D. H. (2008). *Learning theories: An educational perspective*. Prentice Hall.

Serway, R. A., & Jewett, J. W., Jr. (2019). *Physics for scientists and engineers with modern physics* (10th ed.). Cengage.

Shute, V. J. (2008). Focus on formative feedback. *Review of educational research*, *78*(1), 153-189. https://doi.org/10.3102/0034654307313795

Sweller, J., & Cooper, G. A. (1985). The use of worked examples as a substitute for problem solving in learning algebra. *Cognition and instruction*, *2*(1), 59-89. https://doi.org/10.1207/s1532690xci0201_3

Taasoobshirazi, G., Bailey, M., & Farley, J. (2015). Physics metacognition inventory part II: confirmatory factor analysis and rasch analysis. *International journal of science education*, *37*(17), 2769-2786. https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1104425

Taasoobshirazi, G., & Farley, J. (2013). Construct validation of the physics metacognition inventory. *International journal of science education*, *35*(3), 447-459. https://doi.org/10.1080/09500693.2012.750433

van der Kleij, F. M., Eggen, T. J., Timmers, C. F., & Veldkamp, B. P. (2012). Effects of feedback in a computer-based assessment for learning. *Computers & Education*, *58*(1), 263-272. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.020

van der Kleij, F. M., Feskens, R. C., & Eggen, T. J. (2015). Effects of feedback in a computer-based learning environment on students' learning outcomes: A meta-analysis. *Review of educational research*, *85*(4), 475-511. https://doi.org/10.3102/0034654314564881

Zimmerman, B. J. (2006). Development and adaptation of expertise: The role of self-regulatory processes and beliefs. In K. A. Ericsson, N. Charness, P. J. Feltovich, & R. R. Hoffman (Eds.), *The Cambridge handbook of expertise and expert performance* (Vol. 186, pp. 705-722). Cambridge University Press.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

https://doi.org/10.1017/CBO9780511816796.039

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# ภาคผนวก ก

# รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการสร้างและพัฒนาเครื่องมือวิจัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการสร้างและพัฒนาเครื่องมือวิจัย**

ผู้ทรงคุณวุฒิเป็นกลุ่มบุคคลสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและพัฒนาเครื่องมือวิจัยให้มีคุณภาพ โดยสามารถจำแนกผู้ทรงคุณวุฒิออกเป็น 2 กลุ่ม ตามความเชี่ยวชาญและบทบาทหน้าที่สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ ประกอบด้วย (1) ผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านสาระการเรียนรู้และการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์ และ (2) ผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านภาษาและการแปล โดยแต่ละกลุ่มมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**1. ผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านสาระการเรียนรู้และการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์** เป็นกลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิที่มีหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพด้านความตรงเชิงเนื้อหาของเครื่องมือวิจัย โดยมีจำนวนทั้งหมด 5 ท่าน ซึ่งแต่ละท่านมีรายชื่อ ดังนี้

1.1 ผู้ช่วยศาสตราจารย์อมรรัตน์ บุบผโชติ
อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม

1.2 อาจารย์วรรณา นาคศรีอาภรณ์
อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม

1.3 อาจารย์โกเมศ นาแจ้ง
อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม

1.4 อาจารย์ฤทธิรงค์ สวากัลป์
อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย รังสิต

1.5 อาจารย์ณัฐฤทัย สุชาติล้ำพงศ์
อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
โรงเรียนราชวินิต มัธยม

**2. ผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านภาษาและการแปล** เป็นกลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิที่มีหน้าที่แปลเครื่องมือวิจัยจากแบบวัดต้นฉบับเป็นแบบวัดฉบับภาษาไทย โดยมีจำนวนทั้งหมด 2 ท่าน ซึ่งแต่ละท่านมีรายชื่อ ดังนี้

2.1 อาจารย์เชน พันธะสา

อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาต่างประเทศ

โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม

2.2 อาจารย์สันติภาพ อุปรา

อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาต่างประเทศ (ภาษาตะวันตก)

โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# ภาคผนวก ข

# ผลการตรวจสอบคุณภาพของชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## ผลการตรวจสอบคุณภาพของชุดฝึกการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ที่มีการให้ข้อมูลย้อนกลับด้วยคอมพิวเตอร์

### ข้อที่ 1

### 1.1 รายละเอียดเกี่ยวกับข้อคำถาม

| | | |
|---|---|---|
| **หน่วยการเรียนรู้** | 6. โมเมนตัมและการชน | |
| **ผลการเรียนรู้** | ว 6.1 ม.4/14 | |
| **วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม** | เพื่อให้นักเรียนสามารถคำนวณปริมาณที่เกี่ยวกับโมเมนตัมของวัตถุ การดล และแรงดลได้ | |
| **รูปแบบข้อคำถาม** | ข้อคำถามแบบเติมคำ | |
| **เกณฑ์การให้คะแนน** | ตอบถูกครั้งที่ 1 ให้ 1 คะแนน | ตอบถูกครั้งที่ 2 ให้ 0.75 คะแนน |
| | ตอบถูกครั้งที่ 3 ให้ 0.50 คะแนน | ตอบถูกครั้งที่ 4 ให้ 0.25 คะแนน |
| | ตอบผิดครั้งที่ 4 ให้ 0 คะแนน | |

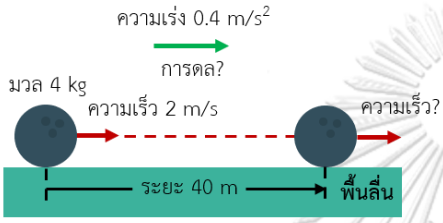
### 1.2 ข้อคำถาม

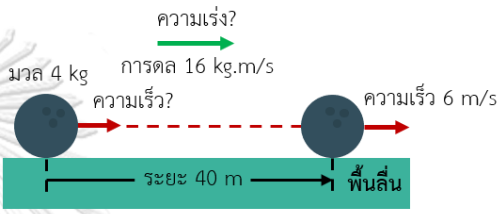
| ชุดฝึก ชุดที่ 1 | ชุดฝึก ชุดที่ 2 |
|---|---|
| 1. รถวิทยุบังคับมวล 0.5 กิโลกรัม เคลื่อนที่บนพื้นลื่นด้วยความเร็ว 3 เมตร/วินาที ภายใต้ความเร่ง 0.5 เมตร/วินาที$^2$ เป็นระยะ 55 เมตร จงหาขนาดของการดลที่เกิดขึ้นในหน่วยกิโลกรัม.เมตร/วินาที (2.5 kg.m/s) | 1. ลูกฟุตบอลมวล 0.2 กิโลกรัม เริ่มเคลื่อนที่บนพื้นฝืดด้วยความเร็ว 12 เมตร/วินาที ภายใต้ความหน่วง 0.2 เมตร/วินาที$^2$ ถ้าการดลที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ -0.4 กิโลกรัม.เมตร/วินาที อยากทราบว่าลูกฟุตบอลจะสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกลกี่เมตร (110 m) |

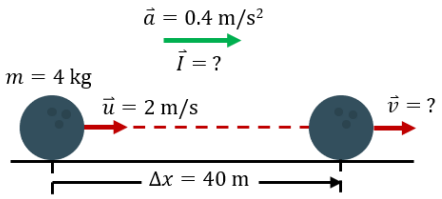
### 1.3 ความคิดเห็นเกี่ยวกับข้อคำถามของผู้เชี่ยวชาญ

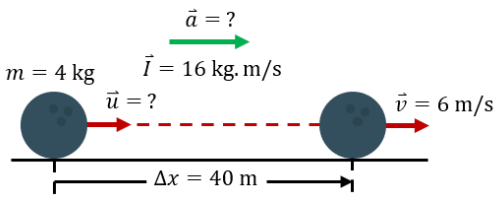
| ข้อที่ | ชุดที่ | IOC | ความเป็นคู่ขนาน | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1.0 | 1.0 | - ตัดคำว่า “ลื่น” ออก |
| | 2 | 1.0 | | - ตัดคำว่า “เริ่ม” ออก<br>- เปลี่ยนเป็น “ทำให้ลูกฟุตบอลมีความเร่งเท่ากับ -0.2 เมตร/วินาที$^2$” |

### 1.4 ข้อมูลย้อนกลับสำหรับชุดฝึก ชุดที่ 1

<table>
<tr><th>ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง</th><th>ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ</th></tr>
<tr><td>ลูกโบว์ลิงมวล 4 กิโลกรัม เริ่มเคลื่อนที่บนพื้นลื่นด้วยความเร็ว 2 เมตร/วินาที ภายใต้ความเร่ง 0.4 เมตร/วินาที$^2$ เป็นระยะ 40 เมตร จงหาขนาดของการดลที่เกิดขึ้นในหน่วยกิโลกรัม.เมตร/วินาที<br>(16 kg.m/s)</td><td>ลูกโบว์ลิงมวล 4 กิโลกรัม เริ่มเคลื่อนที่บนพื้นลื่นด้วยความเร็วค่าหนึ่งเป็นระยะ 40 เมตร จนมีความเร็ว 6 เมตร/วินาที ถ้าขนาดของการดลที่เกิดขึ้น มีค่าเท่ากับ 16 กิโลกรัม.เมตร/วินาที อยากทราบว่าขนาดของความเร่งมีค่ากี่เมตร/วินาที$^2$ (0.4 m/s$^2$)</td></tr>
<tr><th colspan="2">ขั้นตอนที่ 1 วิเคราะห์และแปลงข้อมูล</th></tr>
<tr><td>
วาดภาพร่างการเคลื่อนที่ของลูกโบว์ลิง


ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้<br>
• มวลลูกโบว์ลิง 4 kg<br>
• เริ่มเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2 m/s<br>
• มีความเร่ง 0.4 m/s$^2$<br>
• เคลื่อนที่เป็นระยะ 40 m<br>
ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ<br>
• ขนาดของการดลในหน่วย kg.m/s<br>
มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง<br>
• การเคลื่อนที่แนวตรง<br>
• การดล<br>
กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป
</td><td>
วาดภาพร่างการเคลื่อนที่ของลูกโบว์ลิง


ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้<br>
• มวลลูกโบว์ลิง 4 kg<br>
• เคลื่อนที่เป็นระยะ 40 m<br>
• ภายหลังมีความเร็ว 6 m/s<br>
• ขนาดของการดลมีค่าเท่ากับ 16 kg.m/s<br>
ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ<br>
• ขนาดของความเร่งในหน่วย m/s$^2$<br>
มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง<br>
• การเคลื่อนที่แนวตรง<br>
• การดล<br>
กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป
</td></tr>
<tr><th colspan="2">ขั้นตอนที่ 2 จัดการข้อมูลทางฟิสิกส์</th></tr>
<tr><td>
วาดแผนภาพการเคลื่อนที่ของลูกโบว์ลิง


ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด
</td><td>
วาดแผนภาพการเคลื่อนที่ของลูกโบว์ลิง


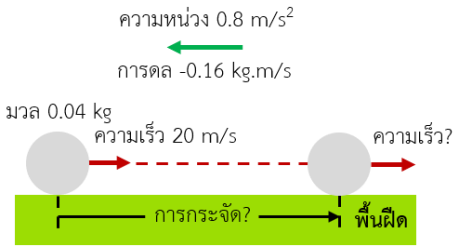
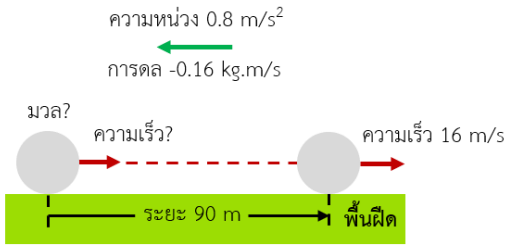
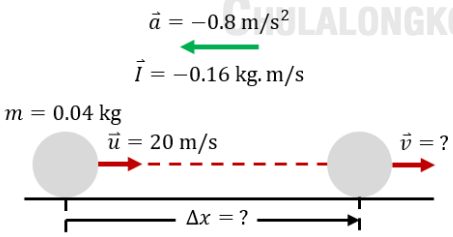
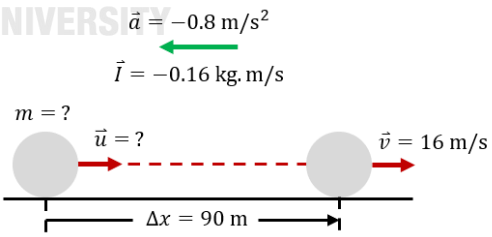
ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด
</td></tr>
</table>

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| (ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)<br>กำหนดให้<br>เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก<br>(ไม่ต้องเติมหน้าตัวเลข)<br>เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ<br>(ต้องเติมหน้าตัวเลข)<br>$\vec{I} =$ **$x$** kg.m/s<br>$m =$ 4 kg<br>$\vec{u} =$ 2 m/s<br>$\vec{v} =$ **$x$** m/s<br>$\vec{a} =$ 0.4 m/s$^2$<br>$\Delta x =$ 40 m<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | (ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)<br>กำหนดให้<br>เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก<br>(ไม่ต้องเติมหน้าตัวเลข)<br>เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ<br>(ต้องเติมหน้าตัวเลข)<br>$\vec{I} =$ 16 kg.m/s<br>$m =$ 4 kg<br>$\vec{u} =$ **$x$** m/s<br>$\vec{v} =$ 6 m/s<br>$\vec{a} =$ **$x$** m/s$^2$<br>$\Delta x =$ 40 m<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |
| **ขั้นตอนที่ 3 วางแผนการแก้โจทย์ปัญหา** | |
| **วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย**<br>2. (สมการ) เพื่อหา $\vec{I}$<br>1. สมการสำหรับการหาการดล ($\vec{I}$) ควรเป็นสมการใด<br>1. $\vec{I} = (\sum \vec{F})\Delta t$<br>2. $\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ<br><br>1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{v}$<br>2. $\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$ เพื่อหา $\vec{I}$<br>2. สมการสำหรับการหาความเร็วปลาย ($\vec{v}$) ควรเป็นสมการใด<br>1. $\vec{v} = \vec{u} + \vec{a}t$<br>2. $\Delta x = \left(\frac{\vec{u}+\vec{v}}{2}\right)t$<br>3. $\Delta x = \vec{u}t + \frac{1}{2}\vec{a}t^2$<br>4. $v^2 = u^2 + 2\vec{a}\Delta x$<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | **วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย**<br>2. (สมการ) เพื่อหา $\vec{a}$<br>1. สมการสำหรับการหาความเร่ง ($\vec{a}$) ควรเป็นสมการใด<br>1. $\vec{v} = \vec{u} + \vec{a}t$<br>2. $\Delta x = \left(\frac{\vec{u}+\vec{v}}{2}\right)t$<br>3. $\Delta x = \vec{u}t + \frac{1}{2}\vec{a}t^2$<br>4. $v^2 = u^2 + 2\vec{a}\Delta x$<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ<br><br>1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{u}$<br>2. $v^2 = u^2 + 2\vec{a}\Delta x$ เพื่อหา $\vec{a}$<br>2. สมการสำหรับการหาความเร็วต้น ($\vec{u}$) ควรเป็นสมการใด<br>1. $\vec{I} = (\sum \vec{F})\Delta t$<br>2. $\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| **ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการทางคณิตศาสตร์** | |
| 1. หาความเร็วปลาย ($\vec{v}$) จากสมการ<br>$v^2 = u^2 + 2\vec{a}\Delta x$<br>แทนค่า $\vec{u}$, $\vec{a}$ และ $\Delta x$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{v} =$ 6 m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | 1. หาความเร็วต้น ($\vec{u}$) จากสมการ<br>$\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$<br>แทนค่า $\vec{I}$, $m$ และ $\vec{v}$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{u} =$ 2 m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |
| 2. หาการดล ($\vec{I}$) จากสมการ<br>$\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$<br>แทนค่า $m$, $\vec{u}$ และ $\vec{v}$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{I} =$ 16 kg.m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | 2. หาความเร่ง ($\vec{a}$) จากสมการ<br>$v^2 = u^2 + 2\vec{a}\Delta x$<br>แทนค่า $\vec{v}$, $\vec{u}$ และ $\Delta x$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{a} =$ 0.4 m/s$^2$<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |
| **ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบและประเมินคำตอบ** | |
| **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>ดังนั้นขนาดของการดลที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ<br>16 kg.m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>ดังนั้นขนาดของความเร่งมีค่าเท่ากับ<br>0.4 m/s$^2$<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |

## 1.5 ข้อมูลย้อนกลับสำหรับชุดฝึก ชุดที่ 2

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| ลูกกอล์ฟมวล 0.04 กิโลกรัม เริ่มเคลื่อนที่บนพื้นฝืดด้วยความเร็ว 20 เมตร/วินาที ภายใต้ความหน่วง 0.8 เมตร/วินาที$^2$ ถ้าการดลที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ -0.16 กิโลกรัม.เมตร/วินาที อยากทราบว่าลูกกอล์ฟจะสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกลกี่เมตร (90 m) | ลูกกอล์ฟเริ่มเคลื่อนที่บนพื้นฝืดด้วยความเร็วค่าหนึ่ง ภายใต้ความหน่วง 0.8 เมตร/วินาที$^2$ เป็นระยะ 90 เมตร ทำให้ความเร็วลดลงเป็น 16 เมตร/วินาที ถ้าการดลที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ -0.16 กิโลกรัม.เมตร/วินาที จงหาว่าลูกกอล์ฟมีมวลกี่กิโลกรัม (0.04 kg) |

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| **ขั้นตอนที่ 1 วิเคราะห์และแปลงข้อมูล** | |
| **วาดภาพร่างการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ**<br>  <br><br>**ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้**<br>• มวลลูกกอล์ฟ 0.04 kg<br>• เริ่มเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 20 m/s<br>• มีความหน่วง 0.8 m/s²<br>• เกิดการดล -0.16 kg.m/s<br>**ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ**<br>• ระยะทางที่ลูกกอล์ฟเคลื่อนที่ได้ในหน่วย m<br>**มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง**<br>• การเคลื่อนที่แนวตรง<br>• การดล<br>**กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป** | **วาดภาพร่างการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ**<br>  <br><br>**ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้**<br>• มีความหน่วง 0.8 m/s²<br>• เคลื่อนที่เป็นระยะ 90 m<br>• ภายหลังมีความเร็วเป็น 16 m/s<br>• เกิดการดล -0.16 kg.m/s<br>**ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ**<br>• มวลของลูกกอล์ฟในหน่วย kg<br>**มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง**<br>• การเคลื่อนที่แนวตรง<br>• การดล<br>**กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป** |
| **ขั้นตอนที่ 2 จัดการข้อมูลทางฟิสิกส์** | |
| **วาดแผนภาพการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ**<br>  <br><br>**ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด**<br>(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)<br><u>กำหนดให้</u><br>เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก<br>(<u>ไม่</u>ต้องเติมหน้าตัวเลข) | **วาดแผนภาพการเคลื่อนที่ของลูกกอล์ฟ**<br>  <br><br>**ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด**<br>(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)<br><u>กำหนดให้</u><br>เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก<br>(<u>ไม่</u>ต้องเติมหน้าตัวเลข) |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ (ต้องเติมหน้าตัวเลข) | เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ (ต้องเติมหน้าตัวเลข) |
| $\vec{I} =$ -0.16 kg.m/s | $\vec{I} =$ -0.16 kg.m/s |
| $m =$ 0.04 kg | $m =$ $x$ kg |
| $\vec{u} =$ 20 m/s | $\vec{u} =$ $x$ m/s |
| $\vec{v} =$ $x$ m/s | $\vec{v} =$ 16 m/s |
| $\vec{a} =$ -0.8 m/s$^2$ | $\vec{a} =$ -0.8 m/s$^2$ |
| $\Delta x =$ $x$ m | $\Delta x =$ 90 m |
| กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |

**ขั้นตอนที่ 3 วางแผนการแก้โจทย์ปัญหา**

**วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย**

2. (สมการ) เพื่อหา $\Delta x$

1. สมการสำหรับการหาการกระจัด ($\Delta x$) ควรเป็นสมการใด

1. $\vec{v} = \vec{u} + \vec{a}t$
2. $\Delta x = \left(\frac{\vec{u}+\vec{v}}{2}\right)t$
3. $\Delta x = \vec{u}t + \frac{1}{2}\vec{a}t^2$
4. $\boldsymbol{v^2 = u^2 + 2\vec{a}\Delta x}$

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{v}$
2. $v^2 = u^2 + 2\vec{a}\Delta x$ เพื่อหา $\Delta x$

2. สมการสำหรับการหาความเร็วปลาย ($\vec{v}$) ควรเป็นสมการใด

1. $\vec{I} = \left(\sum \vec{F}\right)\Delta t$
2. $\boldsymbol{\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}}$

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

**วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย**

2. (สมการ) เพื่อหา $m$

1. สมการสำหรับการหามวล ($m$) ควรเป็นสมการใด

1. $\vec{I} = \left(\sum \vec{F}\right)\Delta t$
2. $\boldsymbol{\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}}$

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{u}$
2. $\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$ เพื่อหา $m$

2. สมการสำหรับการหาความเร็วต้น ($\vec{u}$) ควรเป็นสมการใด

1. $\vec{v} = \vec{u} + \vec{a}t$
2. $\Delta x = \left(\frac{\vec{u}+\vec{v}}{2}\right)t$
3. $\Delta x = \vec{u}t + \frac{1}{2}\vec{a}t^2$
4. $\boldsymbol{v^2 = u^2 + 2\vec{a}\Delta x}$

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| **ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการทางคณิตศาสตร์** | |
| 1. หาความเร็วปลาย ($\vec{v}$) จากสมการ<br>$\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$<br>แทนค่า $\vec{I}$, $m$ และ $\vec{u}$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{v} =$ 16 m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | 1. หาความเร็วต้น ($\vec{u}$) จากสมการ<br>$v^2 = u^2 + 2\vec{a}\Delta x$<br>แทนค่า $\vec{v}$, $\vec{a}$ และ $\Delta x$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{u} =$ 20 m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |
| 2. หาการกระจัด ($\Delta x$) จากสมการ<br>$v^2 = u^2 + 2\vec{a}\Delta x$<br>แทนค่า $\vec{v}$, $\vec{u}$ และ $\vec{a}$ ลงในสมการ จะได้<br>$\Delta x =$ 90 m<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | 2. หามวล ($m$) จากสมการ<br>$\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$<br>แทนค่า $\vec{I}$, $\vec{v}$ และ $\vec{u}$ ลงในสมการ จะได้<br>$m =$ 0.04 kg<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |
| **ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบและประเมินคำตอบ** | |
| **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>ดังนั้นลูกกอล์ฟจะสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกล<br>90 m<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>ดังนั้นมวลของลูกกอล์ฟเท่ากับ<br>0.04 kg<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |

## 1.6 ความคิดเห็นเกี่ยวกับข้อมูลย้อนกลับของผู้เชี่ยวชาญ

| ข้อที่ | ชุดที่ | ความสอดคล้องของข้อมูลย้อนกลับ | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1.0 | - <u>ระดับต่ำ</u> เปลี่ยนเป็น “เริ่มเคลื่อนที่บนพื้นลื่นด้วยความเร็วค่าหนึ่งจนมีความเร็วเป็น 6 เมตร/วินาที และเคลื่อนที่ได้ระยะ 40 เมตร” |
| | 2 | 1.0 | - <u>ระดับสูงและต่ำ</u> ตัดคำว่า “เริ่ม” ออก และเปลี่ยนเป็น “ทำให้ลูกกอล์ฟมีความเร่งเท่ากับ -0.8 เมตร/วินาที$^2$” |

**ข้อที่ 2**

**2.1 รายละเอียดเกี่ยวกับข้อคำถาม**

| | |
|---|---|
| **หน่วยการเรียนรู้** | 6. โมเมนตัมและการชน |
| **ผลการเรียนรู้** | ว 6.1 ม.4/15 |
| **วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม** | เพื่อให้นักเรียนสามารถคำนวณปริมาณที่เกี่ยวกับการชนของวัตถุในหนึ่งมิติและพลังงานที่เกี่ยวข้องได้ |
| **รูปแบบข้อคำถาม** | ข้อคำถามแบบเติมคำ |
| **เกณฑ์การให้คะแนน** | ตอบถูกครั้งที่ 1 ให้ 1 คะแนน ตอบถูกครั้งที่ 2 ให้ 0.75 คะแนน<br>ตอบถูกครั้งที่ 3 ให้ 0.50 คะแนน ตอบถูกครั้งที่ 4 ให้ 0.25 คะแนน<br>ตอบผิดครั้งที่ 4 ให้ 0 คะแนน |

**2.2 ข้อคำถาม**

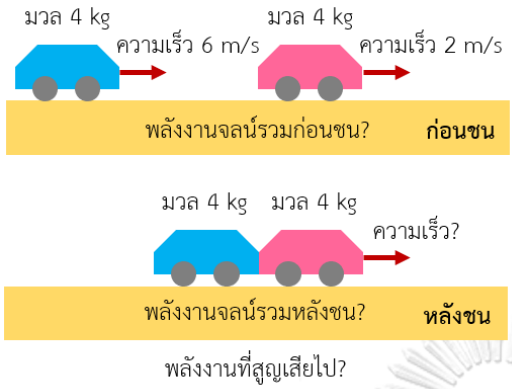
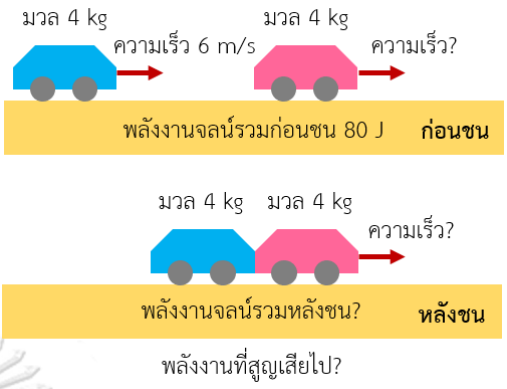
| ชุดฝึก ชุดที่ 1 | ชุดฝึก ชุดที่ 2 |
|---|---|
| 2. ลูกเปตองมวล 1 กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2 เมตร/วินาที เข้าชนลูกหินที่มีมวลเท่ากันและกำลังเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันกับลูกเปตองด้วยความเร็ว 1 เมตร/วินาที ปรากฏว่า หลังชน วัตถุทั้งสองเคลื่อนที่ติดกันไป อยากทราบว่าการชนครั้งนี้เกิดการสูญเสียพลังงานกี่จูล (0.25 J) | 2. กล่องมวล 2 กิโลกรัม เคลื่อนที่เข้าชนลูกหินมวล 1 กิโลกรัม ซึ่งกำลังเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันกับกล่องด้วยความเร็ว 2 เมตร/วินาที ปรากฏว่า หลังชน กล่องและลูกหินยังคงเคลื่อนที่ต่อไป โดยลูกหินเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 4 เมตร/วินาที ถ้าพลังงานจลน์ของระบบหลังชนเท่ากับ 57 จูล อยากทราบว่าการชนครั้งนี้เกิดการสูญเสียพลังงานกี่จูล (9 J) |

**2.3 ความคิดเห็นเกี่ยวกับข้อคำถามของผู้เชี่ยวชาญ**

| ข้อที่ | ชุดที่ | IOC | ความเป็นคู่ขนาน | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 1 | 1.0 | .8 | |
| | 2 | 1.0 | | |

**2.4 ข้อมูลย้อนกลับสำหรับชุดฝึก ชุดที่ 1**

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| รถทดลองสีฟ้ามวล 4 กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 6 เมตร/วินาที เข้าชนรถทดลองสีชมพูที่มีมวลเท่ากันและกำลังเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันกับรถทดลองสีฟ้าด้วยความเร็ว 2 เมตร/วินาที ปรากฏว่า หลังชน รถทั้งสองคันเคลื่อนที่ติดกันไป อยากทราบว่าการชนครั้งนี้เกิดการสูญเสียพลังงานกี่จูล (16 J) | รถทดลองสีฟ้ามวล 4 กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 6 เมตร/วินาที เข้าชนรถทดลองสีชมพูที่มีมวลเท่ากันและกำลังเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันกับรถทดลองสีฟ้า ปรากฏว่า หลังชน รถทดลองทั้งสองคันเคลื่อนที่ติดกันไป ถ้าพลังงานจลน์ของระบบก่อนชนเท่ากับ 80 จูล จงหาพลังงานที่สูญเสียไปจากการชนครั้งนี้ในหน่วยจูล (16 J) |

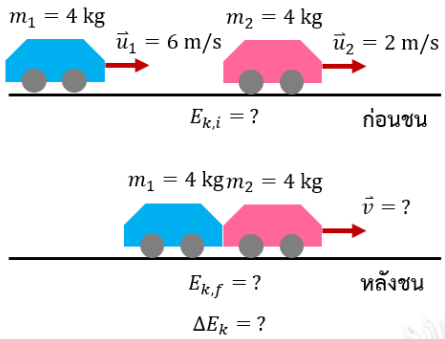
| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| **ขั้นตอนที่ 1 วิเคราะห์และแปลงข้อมูล** | |
| **วาดภาพร่างการชนของรถทดลองทั้งสองคัน**<br>  <br><br>พลังงานที่สูญเสียไป?<br>**ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้**<br>• รถทดลองสีฟ้ามวล 4 kg<br>• ก่อนชน รถทดลองสีฟ้าเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 6 m/s<br>• รถทดลองสีชมพูมวล 4 kg<br>• ก่อนชน รถทดลองสีชมพูเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2 m/s<br>• หลังชน รถทั้งสองคันเคลื่อนที่ติดกันไป<br>**ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ**<br>• พลังงานที่สูญเสียไปในหน่วย J<br>**มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง**<br>• กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>• พลังงานจลน์<br>**กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป** | **วาดภาพร่างการชนของรถทดลองทั้งสองคัน**<br>  <br><br>พลังงานที่สูญเสียไป?<br>**ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้**<br>• รถทดลองสีฟ้ามวล 4 kg<br>• ก่อนชน รถทดลองสีฟ้าเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 6 m/s<br>• รถทดลองสีชมพูมวล 4 kg<br>• ก่อนชน รถทดลองสีชมพูเคลื่อนที่ไปในทิศเดียวกับรถทดลองสีฟ้า<br>• หลังชน รถทั้งสองคันเคลื่อนที่ติดกันไป<br>• พลังงานจลน์ของระบบก่อนชนเท่ากับ 80 J<br>**ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ**<br>• พลังงานที่สูญเสียไปในหน่วย J<br>**มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง**<br>• กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>• พลังงานจลน์<br>**กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป** |

CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|

**ขั้นตอนที่ 2 จัดการข้อมูลทางฟิสิกส์**

**วาดแผนภาพการชนของรถทดลองทั้งสองคัน**




**ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด**

(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)

<u>กำหนดให้</u>

เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก

(<u>ไม่</u>ต้องเติมหน้าตัวเลข)

เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ

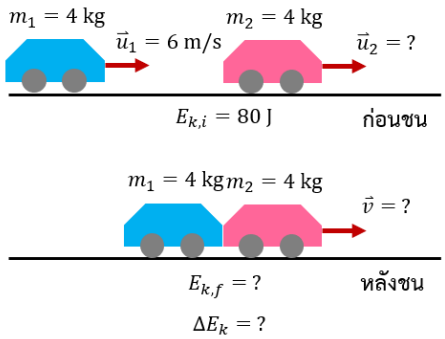
(ต้องเติมหน้าตัวเลข)

| รถทดลอง | มวล | ความเร็ว | |
|---|---|---|---|
| | | ก่อนชน | หลังชน |
| สีฟ้า | $m_1$ | $\vec{u}_1$ | $\vec{v}$ |
| สีชมพู | $m_2$ | $\vec{u}_2$ | |
| พลังงานจลน์ | | $E_{k,i}$ | $E_{k,f}$ |

| | | |
|---|---|---|
| $m_1 =$ | 4 | kg |
| $m_2 =$ | 4 | kg |
| $\vec{u}_1 =$ | 6 | m/s |
| $\vec{u}_2 =$ | 2 | m/s |
| $\vec{v} =$ | $x$ | m/s |
| $E_{k,i} =$ | $x$ | J |
| $E_{k,f} =$ | $x$ | J |
| $\Delta E_k =$ | $x$ | J |

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

**วาดแผนภาพการชนของรถทดลองทั้งสองคัน**




**ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด**

(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)

<u>กำหนดให้</u>

เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก

(<u>ไม่</u>ต้องเติมหน้าตัวเลข)

เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ

(ต้องเติมหน้าตัวเลข)

| รถทดลอง | มวล | ความเร็ว | |
|---|---|---|---|
| | | ก่อนชน | หลังชน |
| สีฟ้า | $m_1$ | $\vec{u}_1$ | $\vec{v}$ |
| สีชมพู | $m_2$ | $\vec{u}_2$ | |
| พลังงานจลน์ | | $E_{k,i}$ | $E_{k,f}$ |

| | | |
|---|---|---|
| $m_1 =$ | 4 | kg |
| $m_2 =$ | 4 | kg |
| $\vec{u}_1 =$ | 6 | m/s |
| $\vec{u}_2 =$ | $x$ | m/s |
| $\vec{v} =$ | $x$ | m/s |
| $E_{k,i} =$ | 80 | J |
| $E_{k,f} =$ | $x$ | J |
| $\Delta E_k =$ | $x$ | J |

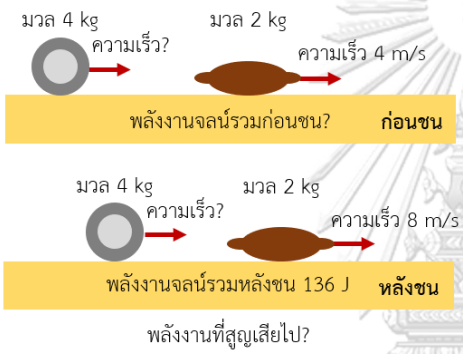
กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

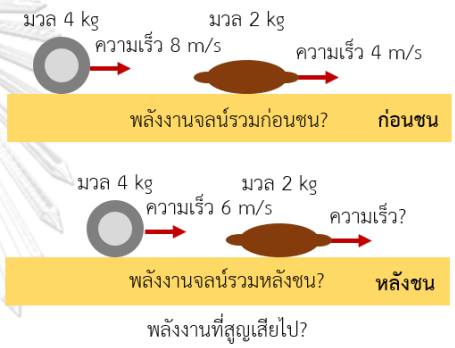
| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| **ขั้นตอนที่ 3 วางแผนการแก้โจทย์ปัญหา** | |
| **วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย** | **วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย** |
| 4. (สมการ) เพื่อหา $\Delta E_k$ | 4. (สมการ) เพื่อหา $\Delta E_k$ |
| 1. สมการสำหรับการหาพลังงานที่เปลี่ยนไปจากการชน ($\Delta E_k$) ควรเป็นสมการใด<br>1. $\Delta E_k = E_{k,f} + E_{k,i}$<br>**2. $\Delta E_k = E_{k,f} - E_{k,i}$**<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 1. สมการสำหรับการหาพลังงานที่เปลี่ยนไปจากการชน ($\Delta E_k$) ควรเป็นสมการใด<br>1. $\Delta E_k = E_{k,f} + E_{k,i}$<br>**2. $\Delta E_k = E_{k,f} - E_{k,i}$**<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |
| 3. (สมการ) เพื่อหา $E_{k,i}$<br>4. $\Delta E_k = E_{k,f} - E_{k,i}$ เพื่อหา $\Delta E_k$ | 3. (สมการ) เพื่อหา $E_{k,f}$<br>4. $\Delta E_k = E_{k,f} - E_{k,i}$ เพื่อหา $\Delta E_k$ |
| 2. สมการสำหรับการหาพลังงานจลน์ของระบบก่อนชน ($E_{k,i}$) ควรเป็นสมการใด<br>1. $E_{k,i} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$<br>**2. $E_{k,i} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2$**<br>3. $E_{k,i} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 + \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$<br>4. $E_{k,i} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 - \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 2. สมการสำหรับการหาพลังงานจลน์ของระบบหลังชน ($E_{k,f}$) ควรเป็นสมการใด<br>**1. $E_{k,f} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$**<br>2. $E_{k,f} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2$<br>3. $E_{k,f} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 + \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$<br>4. $E_{k,f} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 - \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |
| 2. (สมการ) เพื่อหา $E_{k,f}$<br>3. $E_{k,i} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2$ เพื่อหา $E_{k,i}$<br>4. $\Delta E_k = E_{k,f} - E_{k,i}$ เพื่อหา $\Delta E_k$ | 2. (สมการ) เพื่อหา $\vec{v}$<br>3. $E_{k,f} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$ เพื่อหา $E_{k,f}$<br>4. $\Delta E_k = E_{k,f} - E_{k,i}$ เพื่อหา $\Delta E_k$ |
| 3. สมการสำหรับการหาพลังงานจลน์ของระบบหลังชน ($E_{k,f}$) ควรเป็นสมการใด<br>**1. $E_{k,f} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$**<br>2. $E_{k,f} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2$<br>3. $E_{k,f} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 + \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$<br>4. $E_{k,f} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 - \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$ | 3. สมการสำหรับการหาความเร็วหลังชนของรถทดลองทั้งสองคัน ($\vec{v}$) ควรเป็นสมการใด<br>**1. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1 + m_2)\vec{v}$**<br>2. $m_1u_1^2 + m_2u_2^2 = (m_1 + m_2)v^2$<br>3. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{u}_2 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)\vec{v}$<br>4. $\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$ |

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |
| 1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{v}$<br>2. $E_{k,f} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$ เพื่อหา $E_{k,f}$<br>3. $E_{k,i} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2$ เพื่อหา $E_{k,i}$<br>4. $\Delta E_k = E_{k,f} - E_{k,i}$ เพื่อหา $\Delta E_k$ | 1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{u}_2$<br>2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1 + m_2)\vec{v}$ เพื่อหา $\vec{v}$<br>3. $E_{k,f} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$ เพื่อหา $E_{k,f}$<br>4. $\Delta E_k = E_{k,f} - E_{k,i}$ เพื่อหา $\Delta E_k$ |
| 4. สมการสำหรับการหาความเร็วหลังชนของรถทดลองทั้งสองคัน ($\vec{v}$) ควรเป็นสมการใด<br>1. $\boldsymbol{m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1 + m_2)\vec{v}}$<br>2. $m_1u_1^2 + m_2u_2^2 = (m_1 + m_2)v^2$<br>3. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{u}_2 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)\vec{v}$<br>4. $\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | 4. สมการสำหรับการหาความเร็วก่อนชนของรถทดลองสีชมพู ($\vec{u}_2$) ควรเป็นสมการใด<br>1. $E_{k,i} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$<br>2. $\boldsymbol{E_{k,i} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2}$<br>3. $E_{k,i} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 + \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$<br>4. $E_{k,i} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 - \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |
| **ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการทางคณิตศาสตร์** | |
| 1. หาความเร็วหลังชนของรถทดลองทั้งสองคัน ($\vec{v}$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>$\vec{p}_i = \vec{p}_f$<br>$m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1 + m_2)\vec{v}$<br>แทนค่า $m_1$, $m_2$, $\vec{u}_1$ และ $\vec{u}_2$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{v} =$ 4 m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | 1. หาความเร็วก่อนชนของรถทดลองสีชมพู ($\vec{u}_2$) ได้จาก<br>$E_{k,i} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2$<br>แทนค่า $E_{k,i}$, $m_1$, $m_2$ และ $\vec{u}_1$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{u}_2 =$ 2 m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |
| 2. หาพลังงานจลน์ของระบบหลังชน ($E_{k,f}$) ได้จาก<br>$E_{k,f} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$<br>แทนค่า $m_1$, $m_2$ และ $\vec{v}$ ลงในสมการ จะได้ว่า<br>$E_{k,f} =$ 64 J<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | 2. หาความเร็วหลังชนของรถทดลองทั้งสองคัน ($\vec{v}$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>$\vec{p}_i = \vec{p}_f$<br>$m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1 + m_2)\vec{v}$<br>แทนค่า $m_1$, $m_2$, $\vec{u}_1$ และ $\vec{u}_2$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{v} =$ 4 m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| 3. หาพลังงานจลน์ของระบบก่อนชน ($E_{k,i}$) ได้จาก<br>$$E_{k,i} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2$$<br>แทนค่า $m_1$, $m_2$, $\vec{u}_1$ และ $\vec{u}_2$ ลงในสมการ จะได้<br>$E_{k,i} =$ 80 J<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | 3. หาพลังงานจลน์ของระบบหลังชน ($E_{k,f}$) ได้จาก<br>$$E_{k,f} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$$<br>แทนค่า $m_1$, $m_2$ และ $\vec{v}$ ลงในสมการ จะได้<br>$E_{k,f} =$ 64 J<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |
| 4. หาพลังงานที่เปลี่ยนไปจากการชน ($\Delta E_k$) ได้จาก<br>$$\Delta E_k = E_{k,f} - E_{k,i}$$<br>แทนค่า $E_{k,f}$ และ $E_{k,i}$ ลงในสมการ จะได้ว่า<br>$\Delta E_k =$ -16 J<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | 4. หาพลังงานที่เปลี่ยนไปจากการชน ($\Delta E_k$) ได้จาก<br>$$\Delta E_k = E_{k,f} - E_{k,i}$$<br>แทนค่า $E_{k,f}$ และ $E_{k,i}$ ลงในสมการ จะได้ว่า<br>$\Delta E_k =$ -16 J<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |
| **ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบและประเมินคำตอบ** | |
| **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>เนื่องจาก $\Delta E_k$ ติดเครื่องหมายลบ<br>แสดงว่า พลังงานของระบบมีการสูญเสีย<br>ดังนั้นพลังงานของระบบมีการสูญเสียไป<br>16 J<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>เนื่องจาก $\Delta E_k$ ติดเครื่องหมายลบ<br>แสดงว่า พลังงานของระบบมีการสูญเสีย<br>ดังนั้นพลังงานของระบบมีการสูญเสียไป<br>16 J<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |

## 2.5 ข้อมูลย้อนกลับสำหรับชุดฝึก ชุดที่ 2

<table>
<tr><th>ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง</th><th>ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ</th></tr>
<tr><td>ล้อรถยนต์มวล 4 กิโลกรัม เคลื่อนที่เข้าชนถุงทรายมวล 2 กิโลกรัม ซึ่งกำลังเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันกับล้อรถยนต์ด้วยความเร็ว 4 เมตร/วินาที ปรากฏว่า หลังชน ล้อรถยนต์และถุงทรายยังคงเคลื่อนที่ต่อไป โดยถุงทรายเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 8 เมตร/วินาที ถ้าพลังงานจลน์ของระบบหลังชนเท่ากับ 136 จูล อยากทราบว่าการชนครั้งนี้เกิดการสูญเสียพลังงานกี่จูล (8 J)</td><td>ล้อรถยนต์มวล 4 กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 8 เมตร/วินาที เข้าชนถุงทรายมวล 2 กิโลกรัม ซึ่งกำลังเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันกับล้อรถยนต์ด้วยความเร็ว 4 เมตร/วินาที ปรากฏว่า หลังชน ล้อรถยนต์และถุงทรายยังคงเคลื่อนที่ต่อไป โดยล้อรถยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 6 เมตร/วินาที อยากทราบว่าการชนครั้งนี้เกิดการสูญเสียพลังงานกี่จูล (8 J)</td></tr>
<tr><td colspan="2">ขั้นตอนที่ 1 วิเคราะห์และแปลงข้อมูล</td></tr>
<tr><td>
วาดภาพร่างการชนของล้อรถยนต์และถุงทราย


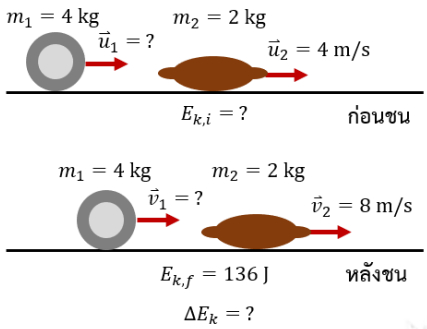
ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้
<ul>
<li>ล้อรถยนต์มวล 4 kg</li>
<li>ถุงทรายมวล 2 kg</li>
<li>ก่อนชน ถุงทรายเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 4 m/s</li>
<li>หลังชน ถุงทรายเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 8 m/s</li>
<li>พลังงานจลน์ของระบบหลังชนเท่ากับ 136 J</li>
</ul>
ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ
<ul>
<li>พลังงานที่สูญเสียไปในหน่วย J</li>
</ul>
มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง
<ul>
<li>กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม</li>
<li>พลังงานจลน์</li>
</ul>
กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป
</td><td>
วาดภาพร่างการชนของล้อรถยนต์และถุงทราย


ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้
<ul>
<li>ล้อรถยนต์มวล 4 kg</li>
<li>ก่อนชน ล้อรถยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 8 m/s</li>
<li>ถุงทรายมวล 2 kg</li>
<li>ก่อนชน ถุงทรายเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 4 m/s</li>
<li>หลังชน ล้อรถยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 6 m/s</li>
</ul>
ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ
<ul>
<li>พลังงานที่สูญเสียไปในหน่วย J</li>
</ul>
มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง
<ul>
<li>กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม</li>
<li>พลังงานจลน์</li>
</ul>
กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป
</td></tr>
</table>

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|

**ขั้นตอนที่ 2 จัดการข้อมูลทางฟิสิกส์**

**วาดแผนภาพการชนของล้อรถยนต์และถุงทราย**




**ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด**

(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)

<u>กำหนดให้</u>

เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก (<u>ไม่</u>ต้องเติมหน้าตัวเลข)

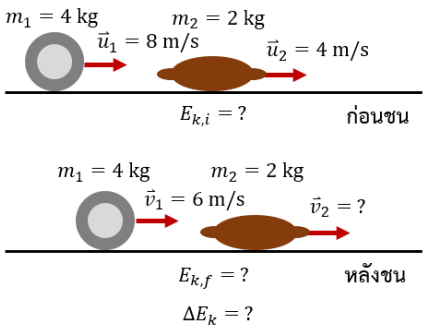
เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ (ต้องเติมหน้าตัวเลข)

| วัตถุ | มวล | ความเร็ว | |
|---|---|---|---|
| | | ก่อนชน | หลังชน |
| ล้อรถยนต์ | $m_1$ | $\vec{u}_1$ | $\vec{v}_1$ |
| ถุงทราย | $m_2$ | $\vec{u}_2$ | $\vec{v}_2$ |
| พลังงานจลน์ | | $E_{k,i}$ | $E_{k,f}$ |

| | | |
|---|---|---|
| $m_1 =$ | 4 | kg |
| $m_2 =$ | 2 | kg |
| $\vec{u}_1 =$ | $x$ | m/s |
| $\vec{u}_2 =$ | 4 | m/s |
| $\vec{v}_1 =$ | $x$ | m/s |
| $\vec{v}_2 =$ | 8 | m/s |
| $E_{k,i} =$ | $x$ | J |
| $E_{k,f} =$ | 136 | J |
| $\Delta E_k =$ | $x$ | J |

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

**วาดแผนภาพการชนของล้อรถยนต์และถุงทราย**




**ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด**

(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)

<u>กำหนดให้</u>

เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก (<u>ไม่</u>ต้องเติมหน้าตัวเลข)

เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ (ต้องเติมหน้าตัวเลข)

| วัตถุ | มวล | ความเร็ว | |
|---|---|---|---|
| | | ก่อนชน | หลังชน |
| ล้อรถยนต์ | $m_1$ | $\vec{u}_1$ | $\vec{v}_1$ |
| ถุงทราย | $m_2$ | $\vec{u}_2$ | $\vec{v}_2$ |
| พลังงานจลน์ | | $E_{k,i}$ | $E_{k,f}$ |

| | | |
|---|---|---|
| $m_1 =$ | 4 | kg |
| $m_2 =$ | 2 | kg |
| $\vec{u}_1 =$ | 8 | m/s |
| $\vec{u}_2 =$ | 4 | m/s |
| $\vec{v}_1 =$ | 6 | m/s |
| $\vec{v}_2 =$ | $x$ | m/s |
| $E_{k,i} =$ | $x$ | J |
| $E_{k,f} =$ | $x$ | J |
| $\Delta E_k =$ | $x$ | J |

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| **ขั้นตอนที่ 3 วางแผนการแก้โจทย์ปัญหา** | |
| **วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย** | **วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย** |
| 4. (สมการ) เพื่อหา $\Delta E_k$ | 4. (สมการ) เพื่อหา $\Delta E_k$ |
| 1. สมการสำหรับการหาพลังงานที่เปลี่ยนไปจากการชน ($\Delta E_k$) ควรเป็นสมการใด<br>1. $\Delta E_k = E_{k,f} + E_{k,i}$<br>2. $\boldsymbol{\Delta E_k = E_{k,f} - E_{k,i}}$<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 1. สมการสำหรับการหาพลังงานที่เปลี่ยนไปจากการชน ($\Delta E_k$) ควรเป็นสมการใด<br>1. $\Delta E_k = E_{k,f} + E_{k,i}$<br>2. $\boldsymbol{\Delta E_k = E_{k,f} - E_{k,i}}$<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |
| 3. (สมการ) เพื่อหา $E_{k,i}$<br>4. $\Delta E_k = E_{k,f} - E_{k,i}$ เพื่อหา $\Delta E_k$ | 3. (สมการ) เพื่อหา $E_{k,i}$<br>4. $\Delta E_k = E_{k,f} - E_{k,i}$ เพื่อหา $\Delta E_k$ |
| 2. สมการสำหรับการหาพลังงานจลน์ของระบบก่อนชน ($E_{k,i}$) ควรเป็นสมการใด<br>1. $\boldsymbol{E_{k,i} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2}$<br>2. $E_{k,i} = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$<br>3. $E_{k,i} = \left(\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2\right) + \left(\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2\right)$<br>4. $E_{k,i} = \left(\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2\right) - \left(\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2\right)$<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 2. สมการสำหรับการหาพลังงานจลน์ของระบบก่อนชน ($E_{k,i}$) ควรเป็นสมการใด<br>1. $\boldsymbol{E_{k,i} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2}$<br>2. $E_{k,i} = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$<br>3. $E_{k,i} = \left(\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2\right) + \left(\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2\right)$<br>4. $E_{k,i} = \left(\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2\right) - \left(\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2\right)$<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |
| 2. (สมการ) เพื่อหา $\vec{u}_1$<br>3. $E_{k,i} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2$ เพื่อหา $E_{k,i}$<br>4. $\Delta E_k = E_{k,f} - E_{k,i}$ เพื่อหา $\Delta E_k$ | 2. (สมการ) เพื่อหา $E_{k,f}$<br>3. $E_{k,i} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2$ เพื่อหา $E_{k,i}$<br>4. $\Delta E_k = E_{k,f} - E_{k,i}$ เพื่อหา $\Delta E_k$ |
| 3. สมการสำหรับการหาความเร็วก่อนชนของล้อรถยนต์ ($\vec{u}_1$) ควรเป็นสมการใด<br>1. $\boldsymbol{m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2}$<br>2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1v_1^2 + m_2v_2^2$<br>3. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{u}_2 = \frac{1}{2}m_1\vec{v}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{v}_2$<br>4. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{u}_2 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$ | 3. สมการสำหรับการหาพลังงานจลน์ของระบบหลังชน ($E_{k,f}$) ควรเป็นสมการใด<br>1. $E_{k,f} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2$<br>2. $\boldsymbol{E_{k,f} = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2}$<br>3. $E_{k,f} = \left(\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2\right) + \left(\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2\right)$<br>4. $E_{k,f} = \left(\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2\right) - \left(\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2\right)$ |

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |
| 1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{v}_1$<br>2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$ เพื่อหา $\vec{u}_1$<br>3. $E_{k,i} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2$ เพื่อหา $E_{k,i}$<br>4. $\Delta E_k = E_{k,f} - E_{k,i}$ เพื่อหา $\Delta E_k$<br>4. สมการสำหรับการหาความเร็วหลังชนของล้อ ($\vec{v}_1$) ควรเป็นสมการใด<br>1. $E_{k,f} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2$<br>**2. $E_{k,f} = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$**<br>3. $E_{k,f} = \left(\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2\right) + \left(\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2\right)$<br>4. $E_{k,f} = \left(\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2\right) - \left(\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2\right)$<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | 1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{v}_2$<br>2. $E_{k,f} = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$ เพื่อหา $E_{k,f}$<br>3. $E_{k,i} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2$ เพื่อหา $E_{k,i}$<br>4. $\Delta E_k = E_{k,f} - E_{k,i}$ เพื่อหา $\Delta E_k$<br>4. สมการสำหรับการหาความเร็วหลังชนของถุงทราย ($\vec{v}_2$) ควรเป็นสมการใด<br>**1. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$**<br>2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1v_1^2 + m_2v_2^2$<br>3. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{u}_2 = \frac{1}{2}m_1\vec{v}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{v}_2$<br>4. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{u}_2 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |
| **ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการทางคณิตศาสตร์** | |
| 1. หาความเร็วหลังชนของล้อรถยนต์ ($\vec{v}_1$) ได้จาก<br>$E_{k,f} = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$<br>แทนค่า $E_{k,f}$, $m_1$, $m_2$ และ $\vec{v}_2$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{v}_1 =$ 6 m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ<br>2. หาความเร็วก่อนชนของล้อรถยนต์ ($\vec{u}_1$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>$\vec{p}_i = \vec{p}_f$<br>$m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$<br>แทนค่า $m_1$, $m_2$, $\vec{u}_2$, $\vec{v}_1$ และ $\vec{v}_2$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{u}_1 =$ 8 m/s | 1. หาความเร็วหลังชนของถุงทราย ($\vec{v}_2$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>$\vec{p}_i = \vec{p}_f$<br>$m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$<br>แทนค่า $m_1$, $m_2$, $\vec{u}_1$, $\vec{u}_2$ และ $\vec{v}_1$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{v}_2 =$ 8 m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ<br>2. หาพลังงานจลน์ของระบบหลังชน ($E_{k,f}$) ได้จาก<br>$E_{k,f} = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$<br>แทนค่า $m_1$, $m_2$, $\vec{v}_1$ และ $\vec{v}_2$ ลงในสมการ จะได้ว่า<br>$E_{k,f} =$ 136 J |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |
| 3. หาพลังงานจลน์ของระบบก่อนชน ($E_{k,i}$) ได้จาก $$E_{k,i} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2$$ แทนค่า $m_1$, $m_2$, $\vec{u}_1$ และ $\vec{u}_2$ ลงในสมการ จะได้ $E_{k,i} =$ 144 J | 3. หาพลังงานจลน์ของระบบก่อนชน ($E_{k,i}$) ได้จาก $$E_{k,i} = \frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2$$ แทนค่า $m_1$, $m_2$, $\vec{u}_1$ และ $\vec{u}_2$ ลงในสมการ จะได้ $E_{k,i} =$ 144 J |
| กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |
| 4. หาพลังงานที่เปลี่ยนไปจากการชน ($\Delta E_k$) ได้จาก $$\Delta E_k = E_{k,f} - E_{k,i}$$ แทนค่า $E_{k,f}$ และ $E_{k,i}$ ลงในสมการ จะได้ว่า $\Delta E_k =$ -8 J | 4. หาพลังงานที่เปลี่ยนไปจากการชน ($\Delta E_k$) ได้จาก $$\Delta E_k = E_{k,f} - E_{k,i}$$ แทนค่า $E_{k,f}$ และ $E_{k,i}$ ลงในสมการ จะได้ว่า $\Delta E_k =$ -8 J |
| กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |
| **ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบและประเมินคำตอบ** | |
| **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>เนื่องจาก $\Delta E_k$ ติดเครื่องหมายลบ<br>แสดงว่า พลังงานของระบบมีการสูญเสีย<br>ดังนั้นพลังงานของระบบมีการสูญเสียไป<br>8 J | **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>เนื่องจาก $\Delta E_k$ ติดเครื่องหมายลบ<br>แสดงว่า พลังงานของระบบมีการสูญเสีย<br>ดังนั้นพลังงานของระบบมีการสูญเสียไป<br>8 J |
| กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### 2.6 ความคิดเห็นเกี่ยวกับข้อมูลย้อนกลับของผู้เชี่ยวชาญ

| ข้อที่ | ชุดที่ | ความสอดคล้องของข้อมูลย้อนกลับ | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|
| 2 | 1 | .6 | |
| | 2 | .6 | |

### ข้อที่ 3

### 3.1 รายละเอียดเกี่ยวกับข้อคำถาม

| | | |
|---|---|---|
| **หน่วยการเรียนรู้** | 6. โมเมนตัมและการชน | |
| **ผลการเรียนรู้** | ว 6.1 ม.4/15 | |
| **วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม** | เพื่อให้นักเรียนสามารถคำนวณปริมาณที่เกี่ยวกับการชนของวัตถุในหนึ่งมิติและพลังงานที่เกี่ยวข้องได้ | |
| **รูปแบบข้อคำถาม** | ข้อคำถามแบบเติมคำ | |
| **เกณฑ์การให้คะแนน** | ตอบถูกครั้งที่ 1 ให้ 1 คะแนน | ตอบถูกครั้งที่ 2 ให้ 0.75 คะแนน |
| | ตอบถูกครั้งที่ 3 ให้ 0.50 คะแนน | ตอบถูกครั้งที่ 4 ให้ 0.25 คะแนน |
| | ตอบผิดครั้งที่ 4 ให้ 0 คะแนน | |

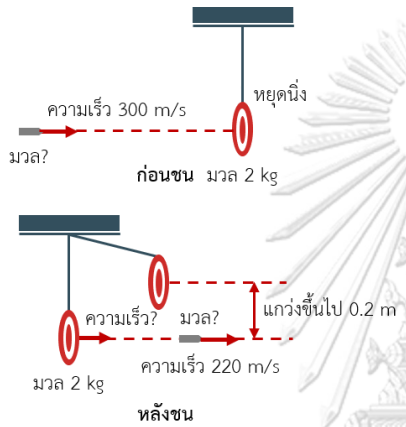
### 3.2 ข้อคำถาม

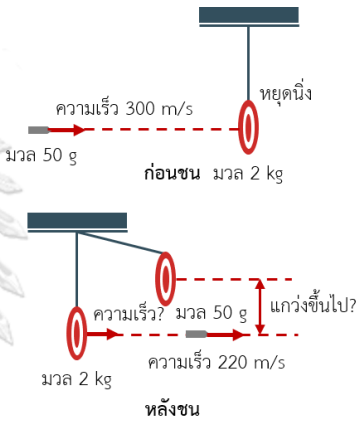
| ชุดฝึก ชุดที่ 1 | ชุดฝึก ชุดที่ 2 |
|---|---|
| 3. ยิงลูกปืนในแนวระดับด้วยความเร็ว 1,000 เมตร/วินาที ทะลุเป้ามวล 4 กิโลกรัม ซึ่งผูกและแขวนด้วยเชือกในแนวดิ่ง ทำให้ลูกปืนมีความเร็ว 700 เมตร/วินาที ในขณะเดียวกันพบว่า เป้าแกว่งขึ้นไปสูงจากเดิม 0.45 เมตร จงหามวลของลูกปืนในหน่วยกิโลกรัม (0.04 kg) | 3. ยิงลูกปืนมวล 25 กรัม ในแนวระดับ ด้วยความเร็ว 482 เมตร/วินาที เข้าไปฝังในถุงทรายมวล 6 กิโลกรัม ซึ่งห้อยแขวนไว้ด้วยเชือกในแนวดิ่ง อยากทราบว่าถุงทรายจะแกว่งขึ้นไปสูงกว่าตำแหน่งเดิมกี่เมตร (0.2 m) |

### 3.3 ความคิดเห็นเกี่ยวกับข้อคำถามของผู้เชี่ยวชาญ

| ข้อที่ | ชุดที่ | IOC | ความเป็นคู่ขนาน | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 1 | 1.0 | 1.0 | |
| | 2 | 1.0 | | |

### 3.4 ข้อมูลย้อนกลับสำหรับชุดฝึก ชุดที่ 1

<table>
<tr><th>ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง</th><th>ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ</th></tr>
<tr><td>ยิงลูกปืนในแนวระดับด้วยความเร็ว 300 เมตร/วินาที ทะลุเป้ามวล 2 กิโลกรัม ซึ่งผูกและแขวนด้วยเชือกในแนวดิ่ง ทำให้ลูกปืนมีความเร็ว 220 เมตร/วินาที ในขณะที่เป้าแกว่งขึ้นไปสูงจากเดิม 0.2 เมตร อยากทราบว่าลูกปืนที่ใช้นั้นมีมวลกี่กิโลกรัม (0.05 kg)</td><td>ยิงลูกปืนมวล 50 กรัม ในแนวระดับด้วยความเร็ว 300 เมตร/วินาที ทะลุเป้ามวล 2 กิโลกรัม ซึ่งผูกและแขวนด้วยเชือกในแนวดิ่ง ทำให้ลูกปืนมีความเร็ว 220 เมตร/วินาที อยากทราบว่าเป้าจะแกว่งขึ้นไปสูงจากเดิมกี่เมตร (0.2 m)</td></tr>
<tr><th colspan="2">ขั้นตอนที่ 1 วิเคราะห์และแปลงข้อมูล</th></tr>
<tr><td>
วาดภาพร่างการยิงลูกปืนทะลุเป้า


ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้
<ul>
<li>ก่อนชน ลูกปืนมีความเร็ว 300 m/s</li>
<li>เป้ามวล 2 kg</li>
<li>ก่อนชน เป้าอยู่นิ่ง</li>
<li>หลังชน ลูกปืนมีความเร็ว 220 m/s</li>
<li>หลังชน เป้าแกว่งขึ้นไปสูงจากเดิม 0.2 m</li>
</ul>
ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ
<ul>
<li>มวลของลูกปืนในหน่วย kg</li>
</ul>
มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง
<ul>
<li>กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม</li>
<li>กฎการอนุรักษ์พลังงานกล</li>
</ul>
กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป
</td><td>
วาดภาพร่างการยิงลูกปืนทะลุเป้า


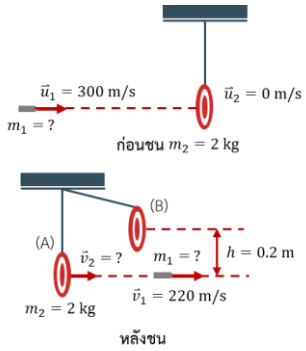
ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้
<ul>
<li>ลูกปืนมวล 50 g</li>
<li>ก่อนชน ลูกปืนมีความเร็ว 300 m/s</li>
<li>เป้ามวล 2 kg</li>
<li>ก่อนชน เป้าอยู่นิ่ง</li>
<li>หลังชน ลูกปืนมีความเร็ว 220 m/s</li>
</ul>
ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ
<ul>
<li>ความสูงของเป้าที่แกว่งขึ้นไปได้ในหน่วย m</li>
</ul>
มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง
<ul>
<li>กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม</li>
<li>กฎการอนุรักษ์พลังงานกล</li>
</ul>
กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป
</td></tr>
</table>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|

**ขั้นตอนที่ 2 จัดการข้อมูลทางฟิสิกส์**

**วาดแผนภาพการยิงลูกปืนทะลุเป้า**




**ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด**

(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)

<u>กำหนดให้</u>

เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก

(<u>ไม่</u>ต้องเติมหน้าตัวเลข)

เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ

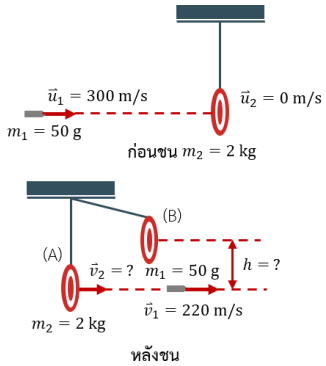
(ต้องเติมหน้าตัวเลข)

| วัตถุ | มวล | ความเร็ว | |
|---|---|---|---|
| | | ก่อนชน | หลังชน |
| ลูกปืน | $m_1$ | $\vec{u}_1$ | $\vec{v}_1$ |
| เป้า | $m_2$ | $\vec{u}_2$ | $\vec{v}_2$ |

| | | |
|---|---|---|
| $m_1 =$ | $x$ | kg |
| $m_2 =$ | 2 | kg |
| $\vec{u}_1 =$ | 300 | m/s |
| $\vec{u}_2 =$ | 0 | m/s |
| $\vec{v}_1 =$ | 220 | m/s |
| $\vec{v}_2 =$ | $x$ | m/s |
| $h =$ | 0.2 | m |

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

**วาดแผนภาพการยิงลูกปืนทะลุเป้า**




**ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด**

(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)

<u>กำหนดให้</u>

เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก

(<u>ไม่</u>ต้องเติมหน้าตัวเลข)

เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ

(ต้องเติมหน้าตัวเลข)

| วัตถุ | มวล | ความเร็ว | |
|---|---|---|---|
| | | ก่อนชน | หลังชน |
| ลูกปืน | $m_1$ | $\vec{u}_1$ | $\vec{v}_1$ |
| เป้า | $m_2$ | $\vec{u}_2$ | $\vec{v}_2$ |

| | | |
|---|---|---|
| $m_1 =$ | 0.05 | kg |
| $m_2 =$ | 2 | kg |
| $\vec{u}_1 =$ | 300 | m/s |
| $\vec{u}_2 =$ | 0 | m/s |
| $\vec{v}_1 =$ | 220 | m/s |
| $\vec{v}_2 =$ | $x$ | m/s |
| $h =$ | $x$ | m |

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| **ขั้นตอนที่ 3 วางแผนการแก้โจทย์ปัญหา** | |
| **วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย**<br>2. (สมการ) เพื่อหา $m_1$<br>1. สมการสำหรับการหามวลของลูกปืน ($m_1$) ควรเป็นสมการใด<br>**1. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$**<br>2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1v_1^2 + m_2v_2^2$<br>3. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{u}_2 = \frac{1}{2}m_1\vec{v}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{v}_2$<br>4. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{u}_2 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ**<br><br>1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{v}_2$<br>2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$<br>เพื่อหา $m_1$<br>2. สมการสำหรับการหาความเร็วหลังชนของเป้า ($\vec{v}_2$) ควรเป็นสมการใด<br>**1. $E_A = E_B$**<br>2. $W_{A\to B} = E_B - E_A$<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ**<br><br>1. $E_A = E_B$ เพื่อหา $\vec{v}_2$<br>2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$<br>เพื่อหา $m_1$<br>3. ณ ตำแหน่งที่เป้าแกว่งขึ้นไปสูงสุด (ตำแหน่ง B) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>1. พลังงานจลน์<br>**2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง**<br>3. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น<br>4. ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | **วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย**<br>2. (สมการ) เพื่อหา $h$<br>1. สมการสำหรับการหาความสูงของเป้าที่แกว่งขึ้นไปได้ ($h$) ควรเป็นสมการใด<br>**1. $E_A = E_B$**<br>2. $W_{A\to B} = E_B - E_A$<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ**<br><br>2. $E_A = E_B$ เพื่อหา $h$<br>2. ณ ตำแหน่งที่เป้าแกว่งขึ้นไปสูงสุด (ตำแหน่ง B) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>1. พลังงานจลน์<br>**2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง**<br>3. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น<br>4. ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ**<br><br>2. $E_A = m_2gh$ เพื่อหา $h$<br>3. ณ ตำแหน่งที่เป้าเริ่มเคลื่อนที่ (ตำแหน่ง A) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>**1. พลังงานจลน์**<br>2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง<br>3. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น<br>4. ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |

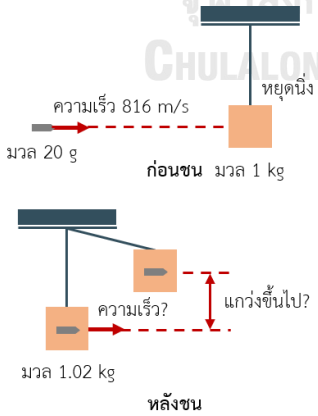
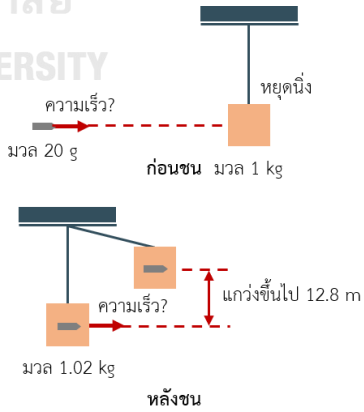
| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| 1. $E_A = m_2gh$ เพื่อหา $\vec{v}_2$<br>2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$ เพื่อหา $m_1$<br>4. ณ ตำแหน่งที่เป้าเริ่มเคลื่อนที่ (ตำแหน่ง A) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>**1. พลังงานจลน์**<br>2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง<br>3. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น<br>4. ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{v}_2$<br>2. $\frac{1}{2}m_2v_2^2 = m_2gh$ เพื่อหา $h$<br>4. สมการสำหรับการหาความเร็วหลังชนของเป้า ($\vec{v}_2$) ควรเป็นสมการใด<br>**1. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$**<br>2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1v_1^2 + m_2v_2^2$<br>3. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{u}_2 = \frac{1}{2}m_1\vec{v}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{v}_2$<br>4. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{u}_2 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |

**ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการทางคณิตศาสตร์**

| | |
|---|---|
| 1. หาความเร็วหลังชนของเป้า ($\vec{v}_2$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานกล<br>$E_{k,A} = E_{p,B}$<br>$\frac{1}{2}m_2v_2^2 = m_2gh$<br>$\frac{1}{2}v_2^2 = gh$<br>แทนค่า $g$ และ $h$ ลงในสมการ จะได้ว่า<br>$\vec{v}_2 =$ 2 m/s<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ**<br>2. หามวลของลูกปืน ($m_1$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>$\vec{p}_i = \vec{p}_f$<br>$m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$<br>แทนค่า $m_2$, $\vec{u}_1$, $\vec{u}_2$, $\vec{v}_1$ และ $\vec{v}_2$ ลงในสมการ จะได้<br>$m_1 =$ 0.05 kg<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 1. หาความเร็วหลังชนของเป้า ($\vec{v}_2$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>$\vec{p}_i = \vec{p}_f$<br>$m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$<br>แทนค่า $m_1$, $m_2$, $\vec{u}_1$, $\vec{u}_2$ และ $\vec{v}_1$ ลงในสมการ จะได้ว่า<br>$\vec{v}_2 =$ 2 m/s<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ**<br>2. หาความสูงของเป้าที่แกว่งขึ้นไปได้ ($h$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานกล<br>$E_{k,A} = E_{p,B}$<br>$\frac{1}{2}m_2v_2^2 = m_2gh$<br>$\frac{1}{2}v_2^2 = gh$<br>แทนค่า $\vec{v}_2$ และ $g$ ลงในสมการ จะได้ว่า<br>$h =$ 0.2 m<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| **ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบและประเมินคำตอบ** | |
| **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>ดังนั้นมวลของลูกปืนเท่ากับ<br>0.05 kg<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>ดังนั้นเป้าแกว่งขึ้นไปได้สูงจากตำแหน่งเดิม<br>0.2 m<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |

## 3.5 ข้อมูลย้อนกลับสำหรับชุดฝึก ชุดที่ 2

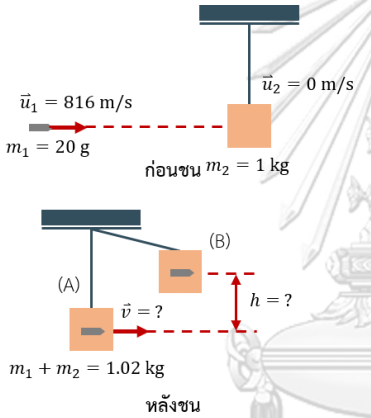
| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| ยิงลูกปืนมวล 20 กรัม ในแนวระดับด้วยความเร็ว 816 เมตร/วินาที เข้าไปฝังในแผ่นไม้มวล 1 กิโลกรัม ซึ่งห้อยแขวนไว้ด้วยเชือกในแนวดิ่ง อยากทราบว่าแผ่นไม้จะแกว่งขึ้นไปสูงกว่าตำแหน่งเดิมกี่เมตร (12.8 m) | ยิงลูกปืนมวล 20 กรัม ในแนวระดับ เข้าไปฝังในแผ่นไม้มวล 1 กิโลกรัม ซึ่งห้อยแขวนไว้ด้วยเชือกในแนวดิ่ง ปรากฏว่า แผ่นไม้แกว่งขึ้นไปสูงกว่าตำแหน่งเดิม 12.8 เมตร อยากทราบว่าจะต้องยิงลูกปืนด้วยความเร็วกี่เมตร/วินาที (816 m/s) |
| **ขั้นตอนที่ 1 วิเคราะห์และแปลงข้อมูล** | |
| **วาดภาพร่างการยิงลูกปืนฝังเข้าไปในแผ่นไม้**<br>  <br><br>**ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้**<br>• ลูกปืนมวล 20 g<br>• ก่อนชน ลูกปืนมีความเร็ว 816 m/s<br>• แผ่นไม้มวล 1 kg | **วาดภาพร่างการยิงลูกปืนฝังเข้าไปในแผ่นไม้**<br>  <br><br>**ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้**<br>• ลูกปืนมวล 20 g<br>• แผ่นไม้มวล 1 kg<br>• ก่อนชน แผ่นไม้อยู่นิ่ง |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| • ก่อนชน แผ่นไม้อยู่นิ่ง<br>• หลังชน ลูกปืนฝังเข้าไปในแผ่นไม้<br>**ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ**<br>• ความสูงของแผ่นไม้ที่แกว่งขึ้นไปได้ในหน่วย m<br>**มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง**<br>• กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>• กฎการอนุรักษ์พลังงานกล<br>**กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป** | • หลังชน ลูกปืนฝังเข้าไปในแผ่นไม้<br>• แผ่นไม้แกว่งขึ้นไปสูงจากตำแหน่งเดิม 12.8 m<br>**ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ**<br>• ความเร็วก่อนชนของลูกปืนในหน่วย m/s<br>**มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง**<br>• กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>• กฎการอนุรักษ์พลังงานกล<br>**กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป** |

**ขั้นตอนที่ 2 จัดการข้อมูลทางฟิสิกส์**

**วาดแผนภาพการยิงลูกปืนฝังเข้าไปในแผ่นไม้**




**ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด**

(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)

<u>กำหนดให้</u>

เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก

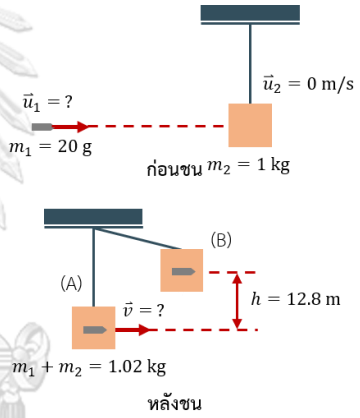
(<u>ไม่</u>ต้องเติมหน้าตัวเลข)

เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ

(ต้องเติมหน้าตัวเลข)

| วัตถุ | มวล | ความเร็ว | |
|---|---|---|---|
| | | ก่อนชน | หลังชน |
| ลูกปืน | $m_1$ | $\vec{u}_1$ | $\vec{v}$ |
| แผ่นไม้ | $m_2$ | $\vec{u}_2$ | |

**วาดแผนภาพการยิงลูกปืนฝังเข้าไปในแผ่นไม้**




**ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด**

(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)

<u>กำหนดให้</u>

เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก

(<u>ไม่</u>ต้องเติมหน้าตัวเลข)

เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ

(ต้องเติมหน้าตัวเลข)

| วัตถุ | มวล | ความเร็ว | |
|---|---|---|---|
| | | ก่อนชน | หลังชน |
| ลูกปืน | $m_1$ | $\vec{u}_1$ | $\vec{v}$ |
| แผ่นไม้ | $m_2$ | $\vec{u}_2$ | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | | | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ | | |
|---|---|---|---|---|---|
| $m_1 =$ | 0.02 | kg | $m_1 =$ | 0.02 | kg |
| $m_2 =$ | 1 | kg | $m_2 =$ | 1 | kg |
| $\vec{u}_1 =$ | 816 | m/s | $\vec{u}_1 =$ | $x$ | m/s |
| $\vec{u}_2 =$ | 0 | m/s | $\vec{u}_2 =$ | 0 | m/s |
| $\vec{v} =$ | $x$ | m/s | $\vec{v} =$ | $x$ | m/s |
| $h =$ | $x$ | m | $h =$ | 12.8 | m |
| กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | | | กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | | |

**ขั้นตอนที่ 3 วางแผนการแก้โจทย์ปัญหา**

**วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย**

2. (สมการ) เพื่อหา $h$

1. สมการสำหรับการหาความสูงของแผ่นไม้ที่แกว่งขึ้นไปได้ ($h$) ควรเป็นสมการใด

1. $E_A = E_B$
2. $W_{A\to B} = E_B - E_A$

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

2. $E_A = E_B$ เพื่อหา $h$

2. ณ ตำแหน่งที่แผ่นไม้ที่มีลูกปืนฝังอยู่แกว่งขึ้นไปสูงสุด (ตำแหน่ง B) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น

1. พลังงานจลน์
2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง
3. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น
4. ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

2. $E_A = (m_1 + m_2)gh$ เพื่อหา $h$

3. ณ ตำแหน่งที่แผ่นไม้ที่มีลูกปืนฝังอยู่เริ่มเคลื่อนที่ (ตำแหน่ง A) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น

1. พลังงานจลน์
2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง
3. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น

**วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย**

2. (สมการ) เพื่อหา $\vec{u}_1$

1. สมการสำหรับการหาความเร็วก่อนชนของลูกปืน ($\vec{u}_1$) ควรเป็นสมการใด

1. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1 + m_2)\vec{v}$
2. $m_1u_1^2 + m_2u_2^2 = (m_1 + m_2)v^2$
3. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{u}_2 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)\vec{v}$
4. $\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{v}$

2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1 + m_2)\vec{v}$

เพื่อหา $\vec{u}_1$

2. สมการสำหรับการหาความเร็วหลังชนของแผ่นไม้ที่มีลูกปืนฝังอยู่ ($\vec{v}$) ควรเป็นสมการใด

1. $E_A = E_B$
2. $W_{A\to B} = E_B - E_A$

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| 4. ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ**<br><br>1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{v}$<br>2. $\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2=(m_1+m_2)gh$<br>เพื่อหา $h$<br><br>4. สมการสำหรับการหาความเร็วหลังชนของแผ่นไม้ที่มีลูกปืนฝังอยู่ ($\vec{v}$) ควรเป็นสมการใด<br>**1. $m_1\vec{u}_1+m_2\vec{u}_2=(m_1+m_2)\vec{v}$**<br>2. $m_1u_1^2+m_2u_2^2=(m_1+m_2)v^2$<br>3. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1+\frac{1}{2}m_2\vec{u}_2=\frac{1}{2}(m_1+m_2)\vec{v}$<br>4. $\frac{1}{2}m_1u_1^2+\frac{1}{2}m_2u_2^2=\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2$<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 1. $E_A=E_B$ เพื่อหา $\vec{v}$<br>2. $m_1\vec{u}_1+m_2\vec{u}_2=(m_1+m_2)\vec{v}$<br>เพื่อหา $\vec{u}_1$<br><br>3. ณ ตำแหน่งที่แผ่นไม้ที่มีลูกปืนฝังอยู่เริ่มเคลื่อนที่ (ตำแหน่ง A) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>**1. พลังงานจลน์**<br>2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง<br>3. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น<br>4. ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ**<br><br>1. $\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2=E_B$ เพื่อหา $\vec{v}$<br>2. $m_1\vec{u}_1+m_2\vec{u}_2=(m_1+m_2)\vec{v}$<br>เพื่อหา $\vec{u}_1$<br><br>4. ณ ตำแหน่งที่แผ่นไม้ที่มีลูกปืนฝังอยู่แกว่งขึ้นไปสูงสุด (ตำแหน่ง B) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>1. พลังงานจลน์<br>**2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง**<br>3. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น<br>4. ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |
| **ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการทางคณิตศาสตร์** | |
| 1. หาความเร็วหลังชนของแผ่นไม้ที่มีลูกปืนฝังอยู่ ($\vec{v}$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>$\vec{p}_i=\vec{p}_f$<br>$m_1\vec{u}_1+m_2\vec{u}_2=(m_1+m_2)\vec{v}$<br>แทนค่า $m_1$, $m_2$, $\vec{u}_1$ และ $\vec{u}_2$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{v}=$ 16 m/s<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 1. หาความเร็วหลังชนของแผ่นไม้ที่มีลูกปืนฝังอยู่ ($\vec{v}$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานกล<br>$E_{k,A}=E_{p,B}$<br>$\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2=(m_1+m_2)gh$<br>$\frac{1}{2}v^2=gh$<br>แทนค่า $g$ และ $h$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{v}=$ 16 m/s<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| 2. หาความสูงของแผ่นไม้ที่แกว่งขึ้นไปได้ ($h$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานกล<br>$E_{k,A} = E_{p,B}$<br>$\frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2 = (m_1 + m_2)gh$<br>$\frac{1}{2}v^2 = gh$<br>แทนค่า $\vec{v}$ และ $g$ ลงในสมการ จะได้ว่า<br>$h =$ 12.8 m<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | 2. หาความเร็วก่อนชนของลูกปืน ($\vec{u}_1$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>$\vec{p}_i = \vec{p}_f$<br>$m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1 + m_2)\vec{v}$<br>แทนค่า $m_1, m_2, \vec{u}_2$ และ $\vec{v}$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{u}_1 =$ 816 m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |
| **ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบและประเมินคำตอบ** | |
| **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>ดังนั้นแผ่นไม้แกว่งขึ้นไปได้สูงจากตำแหน่งเดิม<br>12.8 m<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>ดังนั้นจะต้องยิงลูกปืนด้วยความเร็ว<br>816 m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### 3.6 ความคิดเห็นเกี่ยวกับข้อมูลย้อนกลับของผู้เชี่ยวชาญ

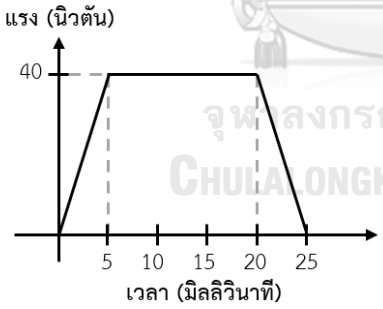
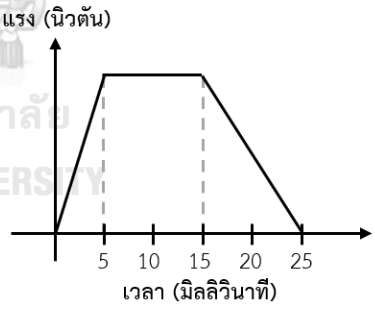
| ข้อที่ | ชุดที่ | ความสอดคล้องของข้อมูลย้อนกลับ | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|
| 3 | 1 | .8 | - เปลี่ยนสถานการณ์ให้แตกต่างจากโจทย์ปัญหาหลัก |
| | 2 | .8 | - เปลี่ยนสถานการณ์ให้แตกต่างจากโจทย์ปัญหาหลัก |

**ข้อที่ 4**

**4.1 รายละเอียดเกี่ยวกับข้อคำถาม**

| | | |
|---|---|---|
| **หน่วยการเรียนรู้** | 6. โมเมนตัมและการชน | |
| **ผลการเรียนรู้** | ว 6.1 ม.4/14 | |
| **วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม** | เพื่อให้นักเรียนสามารถคำนวณปริมาณที่เกี่ยวกับโมเมนตัมของวัตถุ การดลและแรงดลได้ | |
| **รูปแบบข้อคำถาม** | ข้อคำถามแบบเติมคำ | |
| **เกณฑ์การให้คะแนน** | ตอบถูกครั้งที่ 1 ให้ 1 คะแนน | ตอบถูกครั้งที่ 2 ให้ 0.75 คะแนน |
| | ตอบถูกครั้งที่ 3 ให้ 0.50 คะแนน | ตอบถูกครั้งที่ 4 ให้ 0.25 คะแนน |
| | ตอบผิดครั้งที่ 4 ให้ 0 คะแนน | |

**4.2 ข้อคำถาม**

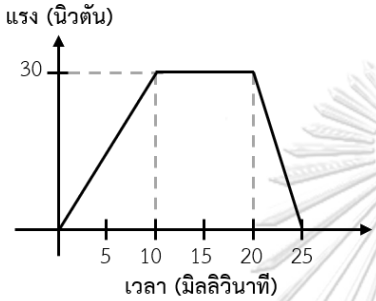
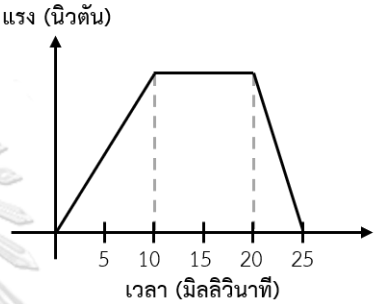
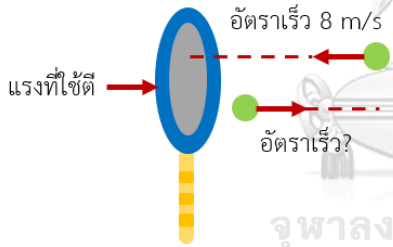
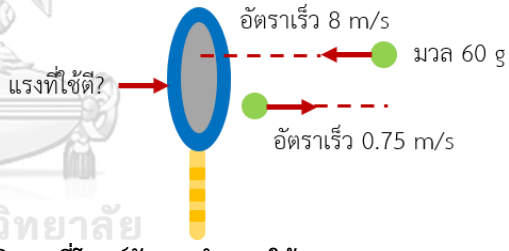
| ชุดฝึก ชุดที่ 1 | ชุดฝึก ชุดที่ 2 |
|---|---|
| 4. ลูกเบสบอลมวล 50 กรัม เคลื่อนที่ในแนวระดับด้วยอัตราเร็ว 6 เมตร/วินาที เต๋ใช้ไม้ตีลูกเบสบอลสวนออกมาในทิศทางตรงกันข้าม โดยแรงที่กระทำต่อลูกเบสบอลกับเวลาที่ลูกเบสบอลกระทบไม้ตีแสดงดังกราฟ อยากทราบว่าลูกเบสบอลจะมีอัตราเร็วเท่าใดภายหลังกระทบไม้ตีในหน่วยเมตร/วินาที (10 m/s) | 4. ลูกเทนนิสมวล 20 กรัม เคลื่อนที่ในแนวระดับด้วยอัตราเร็ว 10 เมตร/วินาที โอ้เอ๋วใช้ไม้ตีลูกเทนนิสสวนออกมาในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้ลูกเทนนิสมีอัตราเร็ว 7.5 เมตร/วินาที โดยแรงที่กระทำต่อลูกเทนนิสกับเวลาที่ลูกเทนนิสกระทบไม้ตีแสดงดังกราฟ อยากทราบว่าโอ้เอ๋วจะต้องตีลูกเทนนิสด้วยแรงขนาดกี่นิวตัน (20 N) |
|  |  |

**4.3 ความคิดเห็นเกี่ยวกับข้อคำถามของผู้เชี่ยวชาญ**

| ข้อที่ | ชุดที่ | IOC | ความเป็นคู่ขนาน | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|---|
| 4 | 1 | 1.0 | 1.0 | - ย้ายคำว่า “เวลา (มิลลิวินาที)” ให้ไปอยู่หลังแกน x |
| | 2 | 1.0 | | - ย้ายคำว่า “เวลา (มิลลิวินาที)” ให้ไปอยู่หลังแกน x |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

### 4.4 ข้อมูลย้อนกลับสำหรับชุดฝึก ชุดที่ 1

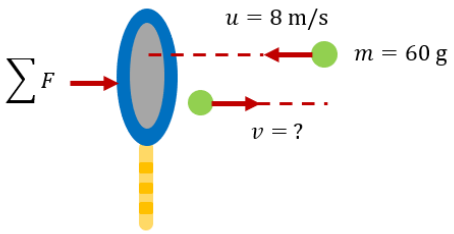
<table>
<tr><th>ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง</th><th>ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ</th></tr>
<tr><td>ลูกเทนนิสมวล 60 กรัม เคลื่อนที่ในแนวระดับด้วยอัตราเร็ว 8 เมตร/วินาที โอ้เอ๋วใช้ไม้ตีลูกเทนนิสสวนออกมาในทิศทางตรงกันข้าม โดยแรงที่กระทำต่อลูกเทนนิสกับเวลาที่ลูกเทนนิสกระทบไม้ตีแสดงดังกราฟ อยากทราบว่าลูกเทนนิสจะมีอัตราเร็วเท่าใดภายหลังกระทบไม้ตีในหน่วยเมตร/วินาที (0.75 m/s)<br>  <br></td><td>ลูกเทนนิสมวล 60 กรัม เคลื่อนที่ในแนวระดับด้วยอัตราเร็ว 8 เมตร/วินาที โอ้เอ๋วใช้ไม้ตีลูกเทนนิสสวนออกมาในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้ลูกเทนนิสมีอัตราเร็ว 0.75 เมตร/วินาที โดยแรงที่กระทำต่อลูกเทนนิสกับเวลาที่ลูกเทนนิสกระทบไม้ตีแสดงดังกราฟ จงหาแรงที่ใช้ในการตีลูกเทนนิสในหน่วยนิวตัน (30 N)<br>  <br></td></tr>
<tr><td colspan="2">ขั้นตอนที่ 1 วิเคราะห์และแปลงข้อมูล</td></tr>
<tr><td>วาดภาพร่างการตีลูกเทนนิสด้วยไม้<br>  <br><br>ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้<br>• มวลลูกเทนนิส 60 g<br>• เคลื่อนที่เข้ากระทบไม้ด้วยอัตราเร็ว 8 m/s<br>ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ<br>• อัตราเร็วภายหลังกระทบไม้ในหน่วย m/s<br>มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง<br>• การดล<br>กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป</td><td>วาดภาพร่างการตีลูกเทนนิสด้วยไม้<br>  <br><br>ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้<br>• มวลลูกเทนนิส 60 g<br>• เคลื่อนที่เข้ากระทบไม้ด้วยอัตราเร็ว 8 m/s<br>• ภายหลังกระทบไม้มีอัตราเร็ว 0.75 m/s ไปในทิศทางตรงข้ามกับอัตราเร็วก่อนกระทบไม้<br>ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ<br>• แรงที่ใช้ในการตีลูกเทนนิสในหน่วย N<br>มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง<br>• การดล<br>กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป</td></tr>
</table>

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|

**ขั้นตอนที่ 2 จัดการข้อมูลทางฟิสิกส์**

**วาดแผนภาพการตีลูกเทนนิสด้วยไม้**




**ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด**

(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)

<u>กำหนดให้</u>

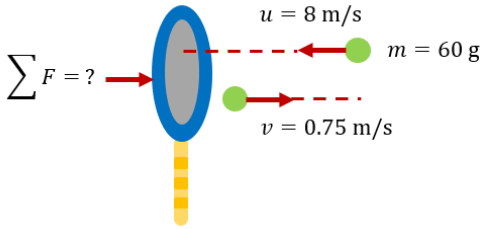
เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก (<u>ไม่</u>ต้องเติมหน้าตัวเลข)

เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ (ต้องเติมหน้าตัวเลข)

| | | |
|---|---|---|
| $m =$ | 0.06 | kg |
| $\vec{u} =$ | -8 | m/s |
| $\vec{v} =$ | $x$ | m/s |
| $\sum \vec{F} =$ | | N |
| $\Delta t =$ | | s |
| $\vec{I} =$ | $x$ | N.s |

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

**วาดแผนภาพการตีลูกเทนนิสด้วยไม้**




**ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด**

(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)

<u>กำหนดให้</u>

เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก (<u>ไม่</u>ต้องเติมหน้าตัวเลข)

เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ (ต้องเติมหน้าตัวเลข)

| | | |
|---|---|---|
| $m =$ | 0.06 | kg |
| $\vec{u} =$ | -8 | m/s |
| $\vec{v} =$ | 0.75 | m/s |
| $\sum \vec{F} =$ | | N |
| $\Delta t =$ | | s |
| $\vec{I} =$ | $x$ | N.s |

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

**ขั้นตอนที่ 3 วางแผนการแก้โจทย์ปัญหา**

**วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย**

2. (สมการ) เพื่อหา $\vec{v}$

1. สมการสำหรับการหาความเร็วภายหลังกระทบไม้ ($\vec{v}$) ควรเป็นสมการใด

1. $\vec{I} = (\sum \vec{F})\Delta t$
2. $\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

**วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย**

2. (สมการ) เพื่อหา $\sum \vec{F}$

1. สมการสำหรับการหาแรงที่ใช้ในการตีลูกเทนนิส ($\sum \vec{F}$) ควรเป็นสมการใด

1. $\vec{I} = (\sum \vec{F})\Delta t$
2. $\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| 1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{I}$<br>2. $\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$ เพื่อหา $\vec{v}$<br>2. สมการสำหรับการหาการดล ($\vec{I}$) ควรเป็นสมการใด<br>**1. $\vec{I} = (\sum \vec{F})\Delta t$**<br>2. $\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 2. $\vec{I} = (\sum \vec{F})\Delta t$ เพื่อหา $\sum \vec{F}$<br>2. การดล ($\vec{I}$) สามารถหาได้จากปริมาณใดของกราฟระหว่างแรง ($\sum \vec{F}$) กับเวลา ($\Delta t$)<br>1. ความชัน<br>**2. พื้นที่ใต้กราฟ**<br>3. จุดตัดแกน x<br>4. จุดตัดแกน y<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |
| 1. $\vec{I} = (\sum \vec{F})\Delta t$ เพื่อหา $\vec{I}$<br>2. $\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$ เพื่อหา $\vec{v}$<br>3. การดล ($\vec{I}$) สามารถหาได้จากปริมาณใดของกราฟระหว่างแรง ($\sum \vec{F}$) กับเวลา ($\Delta t$)<br>1. ความชัน<br>**2. พื้นที่ใต้กราฟ**<br>3. จุดตัดแกน x<br>4. จุดตัดแกน y<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 2. $\vec{I} =$ พื้นที่ใต้กราฟ เพื่อหา $\sum \vec{F}$<br>3. จากกราฟ พื้นที่ใต้กราฟเป็นรูปใด<br>1. รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส<br>2. รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า<br>**3. รูปสี่เหลี่ยมคางหมู**<br>4. รูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |
| 1. $\vec{I} =$ พื้นที่ใต้กราฟ เพื่อหา $\vec{I}$<br>2. $\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$ เพื่อหา $\vec{v}$<br>4. จากกราฟ พื้นที่ใต้กราฟเป็นรูปใด<br>1. รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส<br>2. รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า<br>**3. รูปสี่เหลี่ยมคางหมู**<br>4. รูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 2. $\vec{I} =$ พื้นที่ใต้กราฟ เพื่อหา $\sum \vec{F}$<br>4. สูตรการหาพื้นที่ใต้กราฟของรูปสี่เหลี่ยมคางหมูมีค่าตรงกับข้อใด<br>1. ด้าน x ด้าน<br>2. สูง x ฐาน<br>3. $\frac{1}{2}$ × สูง × ฐาน<br>**4. $\frac{1}{2}$ × สูง × ผลบวกของด้านคู่ขนาน**<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |
| 1. $\vec{I} =$ พื้นที่ใต้กราฟ เพื่อหา $\vec{I}$<br>2. $\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$ เพื่อหา $\vec{v}$<br>5. สูตรการหาพื้นที่ใต้กราฟของรูปสี่เหลี่ยมคางหมูมีค่าตรงกับข้อใด<br>1. ด้าน x ด้าน<br>2. สูง x ฐาน | 1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{I}$<br>2. $\vec{I} =$ พื้นที่ใต้กราฟ เพื่อหา $\sum \vec{F}$<br>5. สมการสำหรับการหาการดล ($\vec{I}$) ควรเป็นสมการใด<br>1. $\vec{I} = (\sum \vec{F})\Delta t$<br>**2. $\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$** |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| 3. $\frac{1}{2}$ × สูง × ฐาน<br>4. $\frac{1}{2}$ × สูง × ผลบวกของด้านคู่ขนาน<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |

**ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการทางคณิตศาสตร์**

| | |
|---|---|
| 1. หาการดล ($\vec{I}$) จากสมการ<br>$\vec{I} = \frac{1}{2}$ × สูง × ผลบวกของด้านคู่ขนาน<br>โดยที่ $\sum \vec{F}$ = สูง<br>และ $\Delta t$ = ผลบวกของด้านคู่ขนาน<br>ระบุค่าของ $\sum \vec{F}$ และ $\Delta t$<br>(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)<br>$\sum \vec{F} =$ 30 N<br>$\Delta t =$ 0.035 s<br>แทนค่า $\sum \vec{F}$ และ $\Delta t$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{I} =$ 0.525 N.s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ<br><br>2. หาความเร็วภายหลังกระทบไม้ ($\vec{v}$) จากสมการ<br>$\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$<br>แทนค่า $\vec{I}$, $m$ และ $\vec{u}$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{v} =$ 0.75 m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | 1. หาการดล ($\vec{I}$) จากสมการ<br>$\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$<br>แทนค่า $m$, $\vec{v}$ และ $\vec{u}$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{I} =$ 0.525 N.s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ<br><br>2. หาแรงที่ใช้ในการตีลูกเทนนิส ($\sum \vec{F}$) จากสมการ<br>$\vec{I} = \frac{1}{2}$ × สูง × ผลบวกของด้านคู่ขนาน<br>โดยที่ $\sum \vec{F}$ = สูง<br>และ $\Delta t$ = ผลบวกของด้านคู่ขนาน<br>ระบุค่าของ $\sum \vec{F}$ และ $\Delta t$<br>(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)<br>$\sum \vec{F} =$ $x$ N<br>$\Delta t =$ 0.035 s<br>แทนค่า $\vec{I}$ และ $\Delta t$ ลงในสมการ จะได้<br>$\sum \vec{F} =$ 30 N<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |

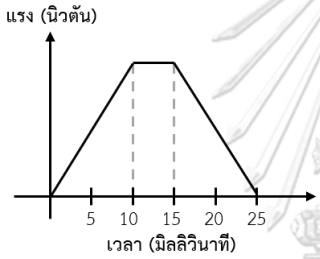
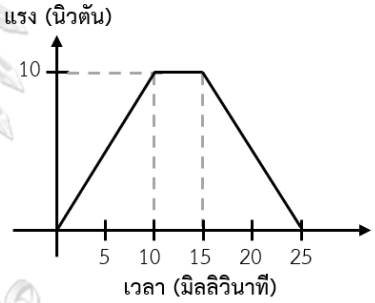
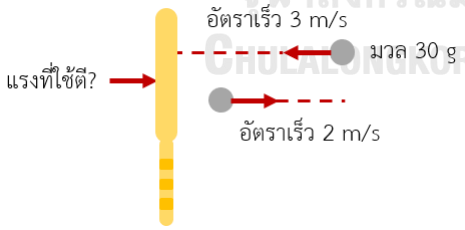
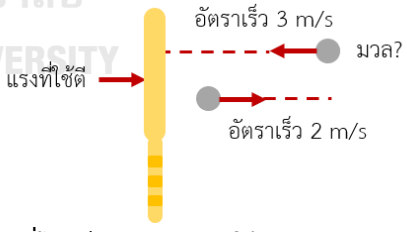
**ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบและประเมินคำตอบ**

| | |
|---|---|
| **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>ดังนั้นลูกเทนนิสภายหลังกระทบไม้มีอัตราเร็ว<br>0.75 m/s | **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>ดังนั้นแรงที่ใช้ในการตีลูกเทนนิสมีค่าเท่ากับ<br>30 N |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |

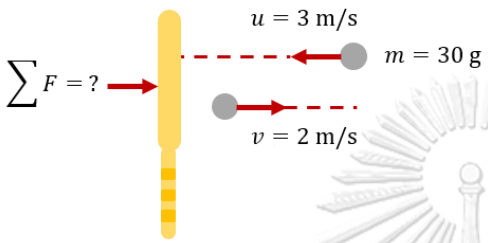
### 4.5 ข้อมูลย้อนกลับสำหรับชุดฝึก ชุดที่ 2

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| ลูกเบสบอลมวล 30 กรัม เคลื่อนที่ในแนวระดับด้วยอัตราเร็ว 3 เมตร/วินาที เต๋ใช้ไม้ตีลูกเบสบอลสวนออกมาในทิศทางตรงกันข้าม ทำให้ลูกเบสบอลมีอัตราเร็ว 2 เมตร/วินาที โดยแรงที่กระทำต่อลูกเบสบอลกับเวลาที่ลูกเบสบอลกระทบไม้ตีแสดงดังกราฟ อยากทราบว่าเต๋จะต้องใช้ไม้ตีลูกเบสบอลด้วยแรงขนาดกี่นิวตัน (10 N)   | ลูกเบสบอลเคลื่อนที่ในแนวระดับด้วยอัตราเร็ว 3 เมตร/วินาที เต๋ใช้ไม้ตีลูกเบสบอลสวนออกมาในทิศทางตรงกันข้าม ให้ลูกเบสบอลมีอัตราเร็ว 2 เมตร/วินาที โดยแรงที่กระทำต่อลูกเบสบอลกับเวลาที่ลูกเบสบอลกระทบไม้ตีแสดงดังกราฟ อยากทราบว่าลูกเบสบอลมีมวลกี่กิโลกรัม (0.03 kg)   |
| **ขั้นตอนที่ 1 วิเคราะห์และแปลงข้อมูล** | |
| **วาดภาพร่างการตีลูกเบสบอลด้วยไม้**   **ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้**<br>• มวลลูกเบสบอล 30 g<br>• เคลื่อนที่เข้ากระทบไม้ด้วยอัตราเร็ว 3 m/s<br>• ภายหลังกระทบไม้มีอัตราเร็ว 2 m/s ไปในทิศทางตรงข้ามกับอัตราเร็วก่อนกระทบไม้<br>**ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ**<br>• แรงที่ใช้ในการตีลูกเบสบอลในหน่วย N | **วาดภาพร่างการตีลูกเบสบอลด้วยไม้**   **ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้**<br>• ลูกเบสบอลเคลื่อนที่เข้ากระทบไม้ด้วยอัตราเร็ว 3 m/s<br>• ภายหลังกระทบไม้มีอัตราเร็ว 2 m/s ไปในทิศทางตรงข้ามกับอัตราเร็วก่อนกระทบไม้<br>**ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ**<br>• มวลของลูกเบสบอลในหน่วย kg |

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| **มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง**<br>• การดล<br>**กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป** | **มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง**<br>• การดล<br>**กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป** |

**ขั้นตอนที่ 2 จัดการข้อมูลทางฟิสิกส์**

**วาดแผนภาพการตีลูกเบสบอลด้วยไม้**




**ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด**

(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)

<u>กำหนดให้</u>

เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก

(<u>ไม่</u>ต้องเติมหน้าตัวเลข)

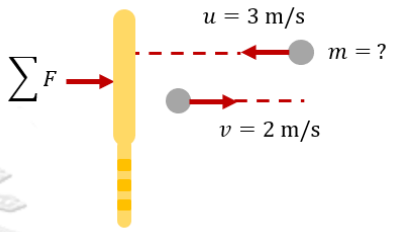
เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ

(ต้องเติมหน้าตัวเลข)

| | | |
|---|---|---|
| $m =$ | 0.03 | kg |
| $\vec{u} =$ | -3 | m/s |
| $\vec{v} =$ | 2 | m/s |
| $\sum \vec{F} =$ | | N |
| $\Delta t =$ | | s |
| $\vec{I} =$ | $x$ | kg.m/s |

**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ**

**วาดแผนภาพการตีลูกเบสบอลด้วยไม้**




**ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด**

(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)

<u>กำหนดให้</u>

เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก

(<u>ไม่</u>ต้องเติมหน้าตัวเลข)

เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ

(ต้องเติมหน้าตัวเลข)

| | | |
|---|---|---|
| $m =$ | $x$ | kg |
| $\vec{u} =$ | -3 | m/s |
| $\vec{v} =$ | 2 | m/s |
| $\sum \vec{F} =$ | | N |
| $\Delta t =$ | | s |
| $\vec{I} =$ | $x$ | kg.m/s |

**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| **ขั้นตอนที่ 3 วางแผนการแก้โจทย์ปัญหา** | |
| **วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย**<br>2. (สมการ) เพื่อหา $\sum \vec{F}$<br>1. สมการสำหรับการหาแรงที่ใช้ในการตีลูกเบสบอล ($\sum \vec{F}$) ควรเป็นสมการใด<br>**1. $\vec{I} = (\sum \vec{F})\Delta t$**<br>2. $\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | **วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย**<br>2. (สมการ) เพื่อหา $m$<br>1. สมการสำหรับการหามวลของลูกเบสบอล ($m$) ควรเป็นสมการใด<br>1. $\vec{I} = (\sum \vec{F})\Delta t$<br>**2. $\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$**<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |
| 2. $\vec{I} = (\sum \vec{F})\Delta t$ เพื่อหา $\sum \vec{F}$<br>2. การดล ($\vec{I}$) สามารถหาได้จากปริมาณใดของกราฟระหว่างแรง ($\sum \vec{F}$) กับเวลา ($\Delta t$)<br>1. ความชัน<br>**2. พื้นที่ใต้กราฟ**<br>3. จุดตัดแกน x<br>4. จุดตัดแกน y<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{I}$<br>2. $\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$ เพื่อหา $m$<br>2. สมการสำหรับการหาการดล ($\vec{I}$) ควรเป็นสมการใด<br>**1. $\vec{I} = (\sum \vec{F})\Delta t$**<br>2. $\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |
| 2. $\vec{I} = (\sum \vec{F})\Delta t$ เพื่อหา $\sum \vec{F}$<br>3. จากกราฟ พื้นที่ใต้กราฟเป็นรูปใด<br>1. รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส<br>2. รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า<br>**3. รูปสี่เหลี่ยมคางหมู**<br>4. รูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 1. $\vec{I} = (\sum \vec{F})\Delta t$ เพื่อหา $\vec{I}$<br>2. $\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$ เพื่อหา $m$<br>3. การดล ($\vec{I}$) สามารถหาได้จากปริมาณใดของกราฟระหว่างแรง ($\sum \vec{F}$) กับเวลา ($\Delta t$)<br>1. ความชัน<br>**2. พื้นที่ใต้กราฟ**<br>3. จุดตัดแกน x<br>4. จุดตัดแกน y<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |
| 2. $\vec{I}$ = พื้นที่ใต้กราฟ เพื่อหา $\sum \vec{F}$<br>4. สูตรการหาพื้นที่ใต้กราฟของรูปสี่เหลี่ยมคางหมูมีค่าตรงกับข้อใด<br>1. ด้าน x ด้าน<br>2. สูง x ฐาน<br>3. $\frac{1}{2}$ × สูง × ฐาน | 1. $\vec{I}$ = พื้นที่ใต้กราฟ เพื่อหา $\vec{I}$<br>2. $\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$ เพื่อหา $m$<br>4. จากกราฟ พื้นที่ใต้กราฟเป็นรูปใด<br>1. รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส<br>2. รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า<br>**3. รูปสี่เหลี่ยมคางหมู** |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| 4. $\frac{1}{2}$ × สูง × ผลบวกของด้านคู่ขนาน<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 4. รูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |
| 1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{I}$<br>2. $\vec{I}$ = พื้นที่ใต้กราฟ เพื่อหา $\sum \vec{F}$ | 1. $\vec{I}$ = พื้นที่ใต้กราฟ เพื่อหา $\vec{I}$<br>2. $\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$ เพื่อหา $m$ |
| 5. สมการสำหรับการหาการดล ($\vec{I}$) ควรเป็นสมการใด<br>1. $\vec{I} = (\sum \vec{F})\Delta t$<br>2. $\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 5. สูตรการหาพื้นที่ใต้กราฟของรูปสี่เหลี่ยมคางหมู มีค่าตรงกับข้อใด<br>1. ด้าน x ด้าน<br>2. สูง x ฐาน<br>3. $\frac{1}{2}$ × สูง × ฐาน<br>4. $\frac{1}{2}$ × สูง × ผลบวกของด้านคู่ขนาน<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |

**ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการทางคณิตศาสตร์**

| | |
|---|---|
| 1. หาการดล ($\vec{I}$) จากสมการ<br>$\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$<br>แทนค่า $m$, $\vec{v}$ และ $\vec{u}$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{I}$ = 0.15 N.s<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 1. หาการดล ($\vec{I}$) จากสมการ<br>$\vec{I} = \frac{1}{2}$ × สูง × ผลบวกของด้านคู่ขนาน<br>โดยที่ $\sum \vec{F}$ = สูง<br>และ $\Delta t$ = ผลบวกของด้านคู่ขนาน<br>ระบุค่าของ $\sum \vec{F}$ และ $\Delta t$<br>(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)<br>$\sum \vec{F}$ = 10 N<br>$\Delta t$ = 0.03 s<br>แทนค่า $\sum \vec{F}$ และ $\Delta t$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{I}$ = 0.15 N.s<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |
| 2. หาแรงที่ใช้ในการตีลูกเบสบอล ($\sum \vec{F}$) จากสมการ<br>$\vec{I} = \frac{1}{2}$ × สูง × ผลบวกของด้านคู่ขนาน<br>โดยที่ $\sum \vec{F}$ = สูง<br>และ $\Delta t$ = ผลบวกของด้านคู่ขนาน<br>ระบุค่าของ $\sum \vec{F}$ และ $\Delta t$<br>(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)<br>$\sum \vec{F}$ = $x$ N<br>$\Delta t$ = 0.03 s<br>แทนค่า $\vec{I}$ และ $\Delta t$ ลงในสมการ จะได้<br>$\sum \vec{F}$ = 10 N | 2. หามวลของลูกเบสบอล ($m$) จากสมการ<br>$\vec{I} = m\vec{v} - m\vec{u}$<br>แทนค่า $\vec{I}$, $\vec{v}$ และ $\vec{u}$ ลงในสมการ จะได้<br>$m$ = 0.03 kg |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |
| **ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบและประเมินคำตอบ** | |
| **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>ดังนั้นแรงที่ใช้ในการตีลูกเบสบอลมีค่าเท่ากับ 10 N<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>ดังนั้นลูกเบสบอลมีมวลเท่ากับ 0.03 kg<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |

### 4.6 ความคิดเห็นเกี่ยวกับข้อมูลย้อนกลับของผู้เชี่ยวชาญ

| ข้อที่ | ชุดที่ | ความสอดคล้องของข้อมูลย้อนกลับ | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|
| 4 | 1 | .8 | - ย้ายคำว่า “เวลา (มิลลิวินาที)” ให้ไปอยู่หลังแกน x<br>- ระดับต่ำ เปลี่ยนพื้นที่ใต้กราฟเป็นรูปสามเหลี่ยม |
| | 2 | .8 | - ย้ายคำว่า “เวลา (มิลลิวินาที)” ให้ไปอยู่หลังแกน x<br>- ระดับต่ำ เปลี่ยนพื้นที่ใต้กราฟเป็นรูปสามเหลี่ยม |

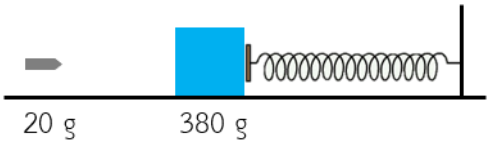
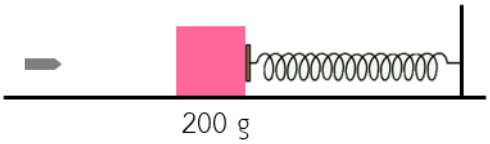
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## ข้อที่ 5

### 5.1 รายละเอียดเกี่ยวกับข้อคำถาม

| | | |
|---|---|---|
| **หน่วยการเรียนรู้** | 6. โมเมนตัมและการชน | |
| **ผลการเรียนรู้** | ว 6.1 ม.4/15 | |
| **วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม** | เพื่อให้นักเรียนสามารถคำนวณปริมาณที่เกี่ยวกับการชนของวัตถุในหนึ่งมิติและพลังงานที่เกี่ยวข้องได้ | |
| **รูปแบบข้อคำถาม** | ข้อคำถามแบบเติมคำ | |
| **เกณฑ์การให้คะแนน** | ตอบถูกครั้งที่ 1 ให้ 1 คะแนน<br>ตอบถูกครั้งที่ 3 ให้ 0.50 คะแนน<br>ตอบผิดครั้งที่ 4 ให้ 0 คะแนน | ตอบถูกครั้งที่ 2 ให้ 0.75 คะแนน<br>ตอบถูกครั้งที่ 4 ให้ 0.25 คะแนน |

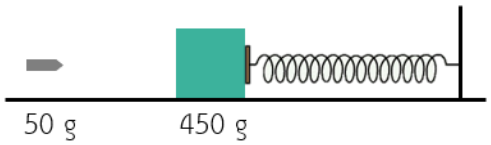
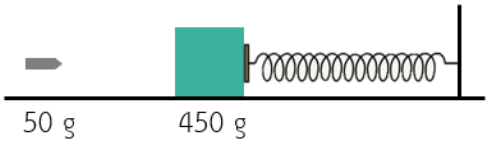
### 5.2 ข้อคำถาม

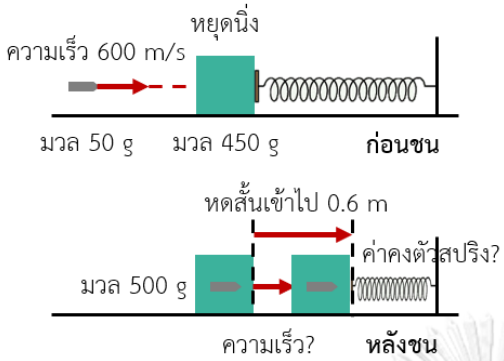
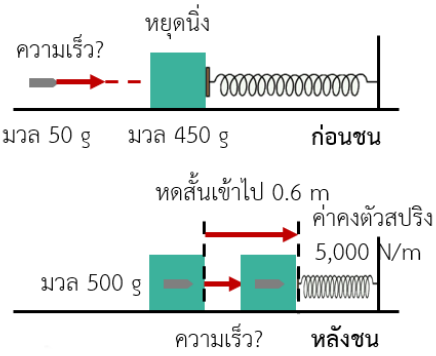
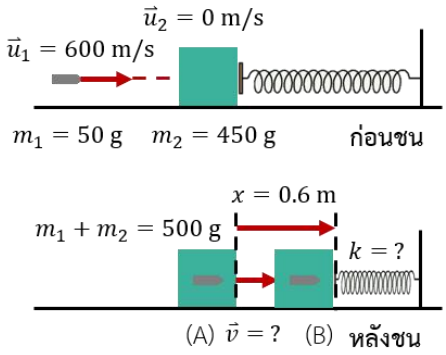
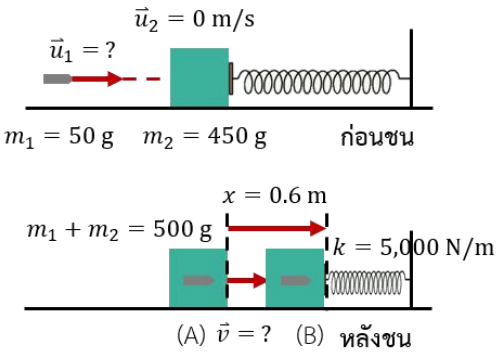
| ชุดฝึก ชุดที่ 1 | ชุดฝึก ชุดที่ 2 |
|---|---|
| 5. ยิงลูกปืนมวล 20 กรัม ในแนวราบด้วยความเร็ว 1,200 เมตร/วินาที เข้าไปฝังในกล่องมวล 380 กรัม ซึ่งผูกติดกับสปริงในแนวราบ โดยปลายสปริงอีกด้านหนึ่งติดอยู่กับผนัง ดังรูป   ปรากฏว่า กล่องดันสปริงให้หดสั้นเข้าไปจากเดิม 1.2 เมตร จงหาค่าคงตัวของสปริงในหน่วยนิวตัน/เมตร (1,000 N/m) | 5. ยิงลูกปืนในแนวราบด้วยความเร็ว 1,600 เมตร/วินาที ทะลุกล่องมวล 200 กรัม ซึ่งผูกติดกับสปริงในแนวราบ โดยปลายสปริงอีกด้านหนึ่งติดอยู่กับผนัง ดังรูป   ปรากฏว่า ลูกปืนยังคงเคลื่อนที่ต่อไปด้วยความเร็ว 1,200 เมตร/วินาที ในขณะที่กล่องดันสปริงให้หดสั้นเข้าไปจากเดิม 1.6 เมตร ถ้ากำหนดให้ค่าคงตัวของสปริงเท่ากับ 2,000 นิวตัน/เมตร จงหาว่าลูกปืนจะต้องมีมวลกี่กิโลกรัม (0.08 kg) |

### 5.3 ความคิดเห็นเกี่ยวกับข้อคำถามของผู้เชี่ยวชาญ

| ข้อที่ | ชุดที่ | IOC | ความเป็นคู่ขนาน | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 1 | 1.0 | 1.0 | - เปลี่ยนจากคำว่า “ลูกปืน” เป็น “กระสุน” |
| | 2 | 1.0 | | - เปลี่ยนจากคำว่า “ลูกปืน” เป็น “กระสุน” |

### 5.4 ข้อมูลย้อนกลับสำหรับชุดฝึก ชุดที่ 1

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| ยิงลูกปืนมวล 50 กรัม ในแนวราบด้วยความเร็ว 600 เมตร/วินาที เข้าไปฝังในกล่องมวล 450 กรัม ซึ่งผูกติดกับสปริงในแนวราบ โดยปลายสปริงอีกด้านหนึ่งติดอยู่กับผนัง ดังรูป   ปรากฏว่า กล่องดันสปริงให้หดสั้นเข้าไปจากเดิม 0.6 เมตร จงหาค่าคงตัวของสปริงในหน่วยนิวตัน/เมตร (5,000 N/m) | ยิงลูกปืนมวล 50 กรัม ในแนวราบ เข้าไปฝังในกล่องมวล 450 กรัม ซึ่งผูกติดกับสปริงในแนวราบ โดยปลายสปริงอีกด้านหนึ่งติดอยู่กับผนัง ดังรูป   ปรากฏว่า กล่องดันสปริงให้หดสั้นเข้าไปจากเดิม 0.6 เมตร ถ้ากำหนดให้ค่าคงตัวของสปริง เท่ากับ 5,000 นิวตัน/เมตร อยากทราบว่าจะต้องยิงลูกปืนด้วยความเร็วกี่เมตร/วินาที (600 m/s) |

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| **ขั้นตอนที่ 1 วิเคราะห์และแปลงข้อมูล** | |
| **วาดภาพร่างการยิงลูกปืนฝังเข้าไปในกล่อง**<br>  <br><br>**ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้**<br>• ลูกปืนมวล 50 g<br>• ก่อนชน ลูกปืนมีความเร็ว 600 m/s<br>• กล่องมวล 450 g<br>• ก่อนชน กล่องอยู่นิ่ง<br>• หลังชน ลูกปืนฝังเข้าไปในกล่อง<br>• กล่องดันสปริงให้หดสั้นเข้าไปจากเดิม 0.6 m<br>**ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ**<br>• ค่าคงตัวของสปริงในหน่วย N/m<br>**มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง**<br>• กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>• กฎการอนุรักษ์พลังงานกล<br>**กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป** | **วาดภาพร่างการยิงลูกปืนฝังเข้าไปในกล่อง**<br>  <br><br>**ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้**<br>• ลูกปืนมวล 50 g<br>• กล่องมวล 450 g<br>• ก่อนชน กล่องอยู่นิ่ง<br>• หลังชน ลูกปืนฝังเข้าไปในกล่อง<br>• กล่องดันสปริงให้หดสั้นเข้าไปจากเดิม 0.6 m<br>• สปริงมีค่าคงตัวเท่ากับ 5,000 N/m<br>**ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ**<br>• ความเร็วก่อนชนของลูกปืนในหน่วย m/s<br>**มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง**<br>• กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>• กฎการอนุรักษ์พลังงานกล<br>**กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป** |
| **ขั้นตอนที่ 2 จัดการข้อมูลทางฟิสิกส์** | |
| **วาดแผนภาพการยิงลูกปืนฝังเข้าไปในกล่อง**<br>  <br> | **วาดแผนภาพการยิงลูกปืนฝังเข้าไปในกล่อง**<br>  <br> |

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|

**ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด**

(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)

<u>กำหนดให้</u>

เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก

(<u>ไม่</u>ต้องเติมหน้าตัวเลข)

เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ

(ต้องเติมหน้าตัวเลข)

| วัตถุ | มวล | ความเร็ว | |
|---|---|---|---|
| | | ก่อนชน | หลังชน |
| ลูกปืน | $m_1$ | $\vec{u}_1$ | $\vec{v}$ |
| กล่อง | $m_2$ | $\vec{u}_2$ | |

| | | |
|---|---|---|
| $m_1 =$ | 0.05 | kg |
| $m_2 =$ | 0.45 | kg |
| $\vec{u}_1 =$ | 600 | m/s |
| $\vec{u}_2 =$ | 0 | m/s |
| $\vec{v} =$ | $x$ | m/s |
| $k =$ | $x$ | N/m |
| $x =$ | 0.6 | m |

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

**ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด**

(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)

<u>กำหนดให้</u>

เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก

(<u>ไม่</u>ต้องเติมหน้าตัวเลข)

เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ

(ต้องเติมหน้าตัวเลข)

| วัตถุ | มวล | ความเร็ว | |
|---|---|---|---|
| | | ก่อนชน | หลังชน |
| ลูกปืน | $m_1$ | $\vec{u}_1$ | $\vec{v}$ |
| กล่อง | $m_2$ | $\vec{u}_2$ | |

| | | |
|---|---|---|
| $m_1 =$ | 0.05 | kg |
| $m_2 =$ | 0.45 | kg |
| $\vec{u}_1 =$ | $x$ | m/s |
| $\vec{u}_2 =$ | 0 | m/s |
| $\vec{v} =$ | $x$ | m/s |
| $k =$ | 5,000 | N/m |
| $x =$ | 0.6 | m |

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

**ขั้นตอนที่ 3 วางแผนการแก้โจทย์ปัญหา**

**วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย**

2. (สมการ) เพื่อหา $k$

1. สมการสำหรับการหาค่าคงตัวของสปริง ($k$) ควรเป็นสมการใด

1. $E_A = E_B$
2. $W_{A\to B} = E_B - E_A$

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

**วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย**

2. (สมการ) เพื่อหา $\vec{u}_1$

1. สมการสำหรับการหาความเร็วก่อนชนของลูกปืน ($\vec{u}_1$) ควรเป็นสมการใด

1. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1 + m_2)\vec{v}$
2. $m_1u_1^2 + m_2u_2^2 = (m_1 + m_2)v^2$
3. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{u}_2 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)\vec{v}$

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| 2. $E_A = E_B$ เพื่อหา $k$<br>2. ณ ตำแหน่งที่กล่องที่มีลูกปืนฝังอยู่ดันสปริงให้หดสั้นเข้าไปจากความยาวปกติ (ตำแหน่ง B) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>1. พลังงานจลน์<br>2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง<br>**3. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น**<br>4. ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ**<br><br>2. $E_A = \frac{1}{2}kx^2$ เพื่อหา $k$<br>3. ณ ตำแหน่งที่กล่องที่มีลูกปืนฝังอยู่เริ่มเคลื่อนที่ (ตำแหน่ง A) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>**1. พลังงานจลน์**<br>2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง<br>3. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น<br>4. ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ**<br><br>1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{v}$<br>2. $\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2 = \frac{1}{2}kx^2$ เพื่อหา $k$<br>4. สมการสำหรับการหาความเร็วหลังชนของกล่องที่มีลูกปืนฝังอยู่ ($\vec{v}$) ควรเป็นสมการใด<br>**1. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1+m_2)\vec{v}$**<br>2. $m_1u_1^2 + m_2u_2^2 = (m_1+m_2)v^2$<br>3. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{u}_2 = \frac{1}{2}(m_1+m_2)\vec{v}$<br>4. $\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 = \frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2$<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 4. $\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 = \frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2$<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ**<br><br>1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{v}$<br>2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1+m_2)\vec{v}$<br>เพื่อหา $\vec{u}_1$<br>2. สมการสำหรับการหาความเร็วหลังชนของกล่องที่มีลูกปืนฝังอยู่ ($\vec{v}$) ควรเป็นสมการใด<br>**1. $E_A = E_B$**<br>2. $W_{A\to B} = E_B - E_A$<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ**<br><br>1. $E_A = E_B$ เพื่อหา $\vec{v}$<br>2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1+m_2)\vec{v}$<br>เพื่อหา $\vec{u}_1$<br>3. ณ ตำแหน่งที่กล่องที่มีลูกปืนฝังอยู่เริ่มเคลื่อนที่ (ตำแหน่ง A) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>**1. พลังงานจลน์**<br>2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง<br>3. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น<br>4. ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ**<br><br>1. $\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2 = E_B$ เพื่อหา $\vec{v}$<br>2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1+m_2)\vec{v}$<br>เพื่อหา $\vec{u}_1$<br>4. ณ ตำแหน่งที่กล่องที่มีลูกปืนฝังอยู่ดันสปริงให้หดสั้นเข้าไปจากความยาวปกติ (ตำแหน่ง B) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>1. พลังงานจลน์<br>2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง |

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| | 3. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น<br>4. ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |

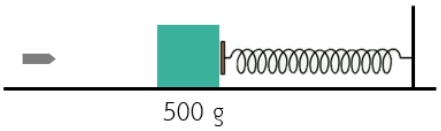
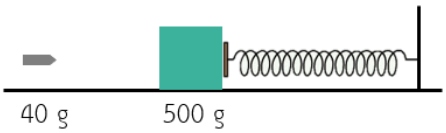
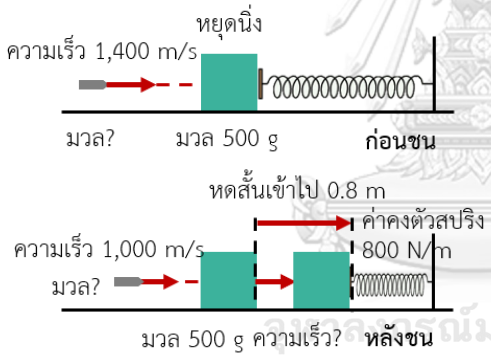
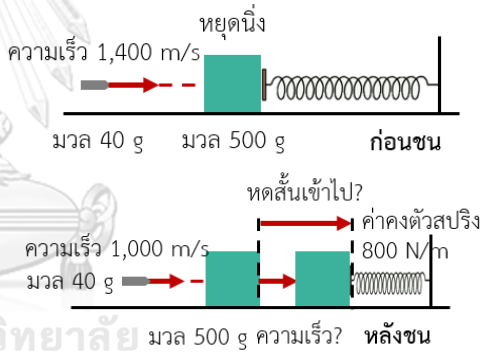
**ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการทางคณิตศาสตร์**

| | |
|---|---|
| 1. หาความเร็วหลังชนของกล่องที่มีลูกปืนฝังอยู่ ($\vec{v}$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>$\vec{p}_i = \vec{p}_f$<br>$m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1 + m_2)\vec{v}$<br>แทนค่า $m_1$, $m_2$, $\vec{u}_1$ และ $\vec{u}_2$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{v} =$ 60 m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ<br><br>2. หาค่าคงตัวของสปริง ($k$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานกล<br>$E_{k,A} = E_{p_s,B}$<br>$\frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2 = \frac{1}{2}kx^2$<br>$(m_1 + m_2)v^2 = kx^2$<br>แทนค่า $m_1$, $m_2$, $\vec{v}$ และ $x$ ลงในสมการ จะได้<br>$k =$ 5,000 N/m<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | 1. หาความเร็วหลังชนของแผ่นไม้ที่มีลูกปืนฝังอยู่ ($\vec{v}$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานกล<br>$E_{k,A} = E_{ps,B}$<br>$\frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2 = \frac{1}{2}kx^2$<br>$(m_1 + m_2)v^2 = kx^2$<br>แทนค่า $m_1$, $m_2$, $k$ และ $x$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{v} =$ 60 m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ<br><br>2. หาความเร็วก่อนชนของลูกปืน ($\vec{u}_1$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>$\vec{p}_i = \vec{p}_f$<br>$m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1 + m_2)\vec{v}$<br>แทนค่า $m_1$, $m_2$, $\vec{u}_2$ และ $\vec{v}$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{u}_1 =$ 600 m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |

**ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบและประเมินคำตอบ**

| | |
|---|---|
| **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>ดังนั้นค่าคงตัวของสปริงเท่ากับ<br>5,000 N/m<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>ดังนั้นจะต้องยิงลูกปืนด้วยความเร็ว<br>600 m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |

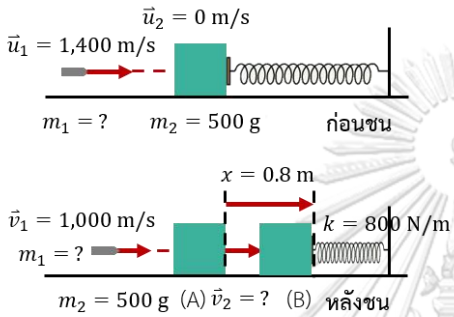
## 5.5 ข้อมูลย้อนกลับสำหรับชุดฝึก ชุดที่ 2

<table>
<tr><th>ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง</th><th>ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ</th></tr>
<tr><td>ยิงลูกปืนในแนวราบด้วยความเร็ว 1,400 เมตร/วินาที ทะลุกล่องมวล 500 กรัม ซึ่งผูกติดกับสปริงในแนวราบ โดยปลายสปริงอีกด้านหนึ่งติดอยู่กับผนัง ดังรูป<br>  <br><br>ปรากฏว่า ลูกปืนยังคงเคลื่อนที่ต่อไปด้วยความเร็ว 1,000 เมตร/วินาที ในขณะที่กล่องดันสปริงให้หดสั้นเข้าไปจากเดิม 0.8 เมตร ถ้ากำหนดให้ค่าคงตัวของสปริงเท่ากับ 800 นิวตัน/เมตร จงหาว่าลูกปืนจะต้องมีมวลกี่กิโลกรัม (0.04 kg)</td><td>ยิงลูกปืนมวล 40 กรัม ในแนวราบด้วยความเร็ว 1,400 เมตร/วินาที ทะลุกล่องมวล 500 กรัม ซึ่งผูกติดกับสปริงในแนวราบ โดยปลายสปริงอีกด้านหนึ่งติดอยู่กับผนัง ดังรูป<br>  <br><br>ปรากฏว่า ลูกปืนยังคงเคลื่อนที่ต่อไปด้วยความเร็ว 1,000 เมตร/วินาที ถ้ากำหนดให้ค่าคงตัวของสปริงเท่ากับ 800 นิวตัน/เมตร จงหาว่ากล่องจะดันสปริงให้หดสั้นเข้าไปจากเดิมกี่เมตร (0.8 m)</td></tr>
<tr><td colspan="2">ขั้นตอนที่ 1 วิเคราะห์และแปลงข้อมูล</td></tr>
<tr><td>วาดภาพร่างการยิงลูกปืนทะลุกล่อง<br>  <br><br>ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้<br>• ก่อนชน ลูกปืนมีความเร็ว 1,400 m/s<br>• กล่องมวล 500 g<br>• ก่อนชน กล่องอยู่นิ่ง<br>• หลังชน ลูกปืนมีความเร็ว 1,000 m/s<br>• กล่องดันสปริงให้หดสั้นเข้าไปจากเดิม 0.8 m<br>• สปริงมีค่าคงตัวเท่ากับ 800 N/m<br>ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ<br>• มวลของลูกปืนในหน่วย kg</td><td>วาดภาพร่างการยิงลูกปืนทะลุกล่อง<br>  <br><br>ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้<br>• ลูกปืนมวล 40 g<br>• ก่อนชน ลูกปืนมีความเร็ว 1,400 m/s<br>• กล่องมวล 500 g<br>• ก่อนชน กล่องอยู่นิ่ง<br>• หลังชน ลูกปืนมีความเร็ว 1,000 m/s<br>• กล่องดันสปริงให้หดสั้นเข้าไปจากเดิม 0.8 m<br>• สปริงมีค่าคงตัวเท่ากับ 800 N/m<br>ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ<br>• ระยะที่กล่องดันสปริงให้หดสั้นเข้าไปจากเดิมได้ในหน่วย m</td></tr>
</table>

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| **มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง**<br>• กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>• กฎการอนุรักษ์พลังงานกล<br>**กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป** | **มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง**<br>• กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>• กฎการอนุรักษ์พลังงานกล<br>**กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป** |

**ขั้นตอนที่ 2 จัดการข้อมูลทางฟิสิกส์**

**วาดแผนภาพการยิงลูกปืนทะลุกล่อง**




**ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด**

(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)

<u>กำหนดให้</u>

เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก

(<u>ไม่</u>ต้องเติมหน้าตัวเลข)

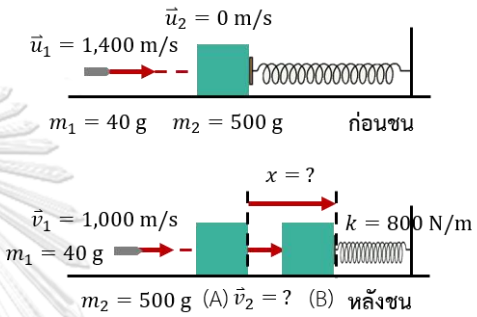
เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ

(ต้องเติมหน้าตัวเลข)

| วัตถุ | มวล | ความเร็ว | |
|---|---|---|---|
| | | ก่อนชน | หลังชน |
| ลูกปืน | $m_1$ | $\vec{u}_1$ | $\vec{v}_1$ |
| กล่อง | $m_2$ | $\vec{u}_2$ | $\vec{v}_2$ |

| | | |
|---|---|---|
| $m_1 =$ | $x$ | kg |
| $m_2 =$ | 0.5 | kg |
| $\vec{u}_1 =$ | 1,400 | m/s |
| $\vec{u}_2 =$ | 0 | m/s |
| $\vec{v}_1 =$ | 1,000 | m/s |
| $\vec{v}_2 =$ | $x$ | m/s |

**วาดแผนภาพการยิงลูกปืนทะลุกล่อง**




**ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด**

(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)

<u>กำหนดให้</u>

เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก

(<u>ไม่</u>ต้องเติมหน้าตัวเลข)

เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ

(ต้องเติมหน้าตัวเลข)

| วัตถุ | มวล | ความเร็ว | |
|---|---|---|---|
| | | ก่อนชน | หลังชน |
| ลูกปืน | $m_1$ | $\vec{u}_1$ | $\vec{v}_1$ |
| กล่อง | $m_2$ | $\vec{u}_2$ | $\vec{v}_2$ |

| | | |
|---|---|---|
| $m_1 =$ | 0.04 | kg |
| $m_2 =$ | 0.5 | kg |
| $\vec{u}_1 =$ | 1,400 | m/s |
| $\vec{u}_2 =$ | 0 | m/s |
| $\vec{v}_1 =$ | 1,000 | m/s |
| $\vec{v}_2 =$ | $x$ | m/s |

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| $k =$ 800 N/m | $k =$ 800 N/m |
| $x =$ 0.8 m | $x =$ $x$ m |
| กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |

**ขั้นตอนที่ 3 วางแผนการแก้โจทย์ปัญหา**

**วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย**

2. (สมการ) เพื่อหา $m_1$

1. สมการสำหรับการหามวลของลูกปืน ($m_1$) ควรเป็นสมการใด

1. $\boldsymbol{m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2}$
2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1v_1^2 + m_2v_2^2$
3. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{u}_2 = \frac{1}{2}m_1\vec{v}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{v}_2$
4. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{u}_2 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{v}_2$

2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$

เพื่อหา $m_1$

2. สมการสำหรับการหาความเร็วหลังชนของกล่อง ($\vec{v}_2$) ควรเป็นสมการใด

1. $\boldsymbol{E_A = E_B}$
2. $W_{A\to B} = E_B - E_A$

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

**วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย**

2. (สมการ) เพื่อหา $x$

1. สมการสำหรับการหาระยะที่กล่องดันสปริงให้หดสั้นเข้าไปจากเดิมได้ ($x$) ควรเป็นสมการใด

1. $\boldsymbol{E_A = E_B}$
2. $W_{A\to B} = E_B - E_A$

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

2. $E_A = E_B$ เพื่อหา $x$

2. ณ ตำแหน่งที่กล่องดันสปริงให้หดสั้นเข้าไปจากความยาวปกติ (ตำแหน่ง B) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น

1. พลังงานจลน์
2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง
3. **พลังงานศักย์ยืดหยุ่น**
4. ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

2. $E_A = \frac{1}{2}kx^2$ เพื่อหา $x$

3. ณ ตำแหน่งที่กล่องเริ่มเคลื่อนที่ (ตำแหน่ง A) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น

1. **พลังงานจลน์**
2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง
3. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น
4. ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| 1. $E_A = E_B$ เพื่อหา $\vec{v}_2$<br>2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$<br>เพื่อหา $m_1$<br>3. ณ ตำแหน่งที่กล่องเริ่มเคลื่อนที่ (ตำแหน่ง A) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>**1. พลังงานจลน์**<br>2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง<br>3. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น<br>4. ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ**<br><br>1. $\frac{1}{2}m_2v_2^2 = E_B$ เพื่อหา $\vec{v}_2$<br>2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$<br>เพื่อหา $m_1$<br>4. ณ ตำแหน่งที่กล่องดันสปริงให้หดสั้นเข้าไปจากความยาวปกติ (ตำแหน่ง B) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>1. พลังงานจลน์<br>2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง<br>**3. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น**<br>4. ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{v}_2$<br>2. $\frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}kx^2$ เพื่อหา $x$<br>4. สมการสำหรับการหาความเร็วหลังชนของกล่อง ($\vec{v}_2$) ควรเป็นสมการใด<br>**1. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$**<br>2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1v_1^2 + m_2v_2^2$<br>3. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{u}_2 = \frac{1}{2}m_1\vec{v}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{v}_2$<br>4. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{u}_2 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |
| **ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการทางคณิตศาสตร์** | |
| 1. หาความเร็วหลังชนของกล่อง ($\vec{v}_2$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานกล<br>$E_{k,A} = E_{p_s,B}$<br>$\frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}kx^2$<br>$m_2v_2^2 = kx^2$<br>แทนค่า $m_2$, $k$ และ $x$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{v}_2 =$ 32 m/s<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 1. หาความเร็วหลังชนของกล่อง ($\vec{v}_2$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>$\vec{p}_i = \vec{p}_f$<br>$m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$<br>แทนค่า $m_1$, $m_2$, $\vec{u}_1$, $\vec{u}_2$ และ $\vec{v}_1$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{v}_2 =$ 32 m/s<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| 2. หามวลของลูกปืน ($m_1$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>$\vec{p}_i = \vec{p}_f$<br>$m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$<br>แทนค่า $m_2$, $\vec{u}_1$, $\vec{u}_2$, $\vec{v}_1$ และ $\vec{v}_2$ ลงในสมการ จะได้<br>$m_1 =$ 0.04 kg<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | 2. หาระยะที่กล่องดันสปริงให้หดสั้นเข้าไปจากเดิมได้ ($x$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานกล<br>$E_{k,A} = E_{p_s,B}$<br>$\frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}kx^2$<br>$m_2v_2^2 = kx^2$<br>แทนค่า $m_2$, $\vec{v}_2$ และ $k$ ลงในสมการ จะได้<br>$x =$ 0.8 m<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |
| **ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบและประเมินคำตอบ** | |
| **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>ดังนั้นมวลของลูกปืนเท่ากับ<br>0.04 kg<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>ดังนั้นกล่องจะดันสปริงให้หดสั้นเข้าไปจากเดิม<br>0.8 m<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |

## 5.6 ความคิดเห็นเกี่ยวกับข้อมูลย้อนกลับของผู้เชี่ยวชาญ

| ข้อที่ | ชุดที่ | ความสอดคล้องของข้อมูลย้อนกลับ | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|
| 5 | 1 | .8 | - เปลี่ยนสถานการณ์ให้แตกต่างจากโจทย์ปัญหาหลัก |
| | 2 | 1.0 | - เปลี่ยนสถานการณ์ให้แตกต่างจากโจทย์ปัญหาหลัก |

**ข้อที่ 6**

**6.1 รายละเอียดเกี่ยวกับข้อคำถาม**

| | |
|---|---|
| **หน่วยการเรียนรู้** | 6. โมเมนตัมและการชน |
| **ผลการเรียนรู้** | ว 6.1 ม.4/15 |
| **วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม** | เพื่อให้นักเรียนสามารถคำนวณปริมาณที่เกี่ยวกับการชนของวัตถุในหนึ่งมิติและพลังงานที่เกี่ยวข้องได้ |
| **รูปแบบข้อคำถาม** | ข้อคำถามแบบเติมคำ |
| **เกณฑ์การให้คะแนน** | ตอบถูกครั้งที่ 1 ให้ 1 คะแนน ตอบถูกครั้งที่ 2 ให้ 0.75 คะแนน<br>ตอบถูกครั้งที่ 3 ให้ 0.50 คะแนน ตอบถูกครั้งที่ 4 ให้ 0.25 คะแนน<br>ตอบผิดครั้งที่ 4 ให้ 0 คะแนน |

**6.2 ข้อคำถาม**

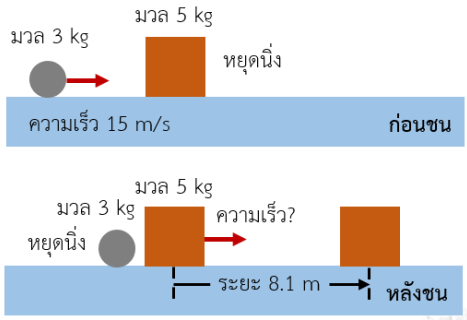
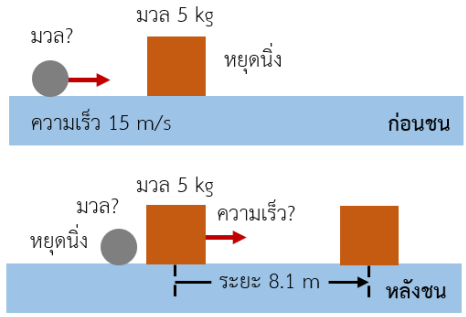
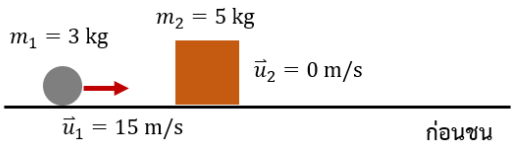
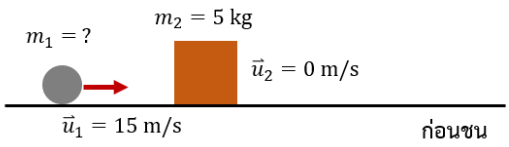
| ชุดฝึก ชุดที่ 1 | ชุดฝึก ชุดที่ 2 |
|---|---|
| 6. ลูกเปตองมวล 1 กิโลกรัม กลิ้งเข้าชนแท่งไม้มวล 4 กิโลกรัม ที่วางนิ่งอยู่บนพื้นด้วยความเร็ว 20 เมตร/วินาที ปรากฏว่า หลังจากชนแล้วลูกเปตองหยุดนิ่งกับที่ ส่วนแท่งไม้จะไถลไปได้ไกล 6.25 เมตร จงหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างผิวของแท่งไม้กับพื้น (0.2) | 6. ลูกเหล็กมวล 4 กิโลกรัม กลิ้งเข้าชนแท่งไม้มวล 8 กิโลกรัม ที่วางนิ่งอยู่บนพื้น ปรากฏว่า หลังจากชนแล้วลูกเหล็กและแท่งไม้เคลื่อนที่ติดกันไปเป็นระยะทาง 2 เมตร ถ้าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างผิวของวัตถุทั้งสองกับพื้นมีค่าเท่ากับ 0.4 อยากทราบว่าตอนแรกจะต้องกลิ้งลูกเหล็กด้วยความเร็วกี่เมตร/วินาที (12 m/s) |

**6.3 ความคิดเห็นเกี่ยวกับข้อคำถามของผู้เชี่ยวชาญ**

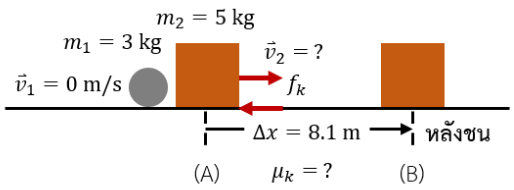
| ข้อที่ | ชุดที่ | IOC | ความเป็นคู่ขนาน | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|---|
| 6 | 1 | 1.0 | 1.0 | |
| | 2 | 1.0 | | |

**6.4 ข้อมูลย้อนกลับสำหรับชุดฝึก ชุดที่ 1**

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| ลูกเปตองมวล 3 กิโลกรัม กลิ้งเข้าชนแท่งไม้มวล 5 กิโลกรัม ที่วางนิ่งอยู่บนพื้นด้วยความเร็ว 15 เมตร/วินาที ปรากฏว่า หลังจากชนแล้วลูกเปตองหยุดนิ่งกับที่ ส่วนแท่งไม้จะไถลไปได้ไกล 8.1 เมตร จงหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างผิวของแท่งไม้กับพื้น (0.5) | ลูกเปตองกลิ้งเข้าชนแท่งไม้มวล 5 กิโลกรัม ที่วางนิ่งอยู่บนพื้นด้วยความเร็ว 15 เมตร/วินาที ปรากฏว่า หลังจากชนแล้วลูกเปตองหยุดนิ่งกับที่ ส่วนแท่งไม้จะไถลไปได้ไกล 8.1 เมตร ถ้ากำหนดให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างผิวของแท่งไม้กับพื้นเท่ากับ 0.5 อยากทราบว่าลูกเปตองมีมวลเท่าใด (3 kg) |

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| **ขั้นตอนที่ 1 วิเคราะห์และแปลงข้อมูล** | |
| **วาดภาพร่างการชนระหว่างลูกเปตองกับแท่งไม้**<br>  <br><br>สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์? | **วาดภาพร่างการชนระหว่างลูกเปตองกับแท่งไม้**<br>  <br><br>สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ 0.5 |
| **ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้**<br>• ลูกเปตองมวล 3 kg<br>• ก่อนชน ลูกเปตองมีความเร็ว 15 m/s<br>• แท่งไม้มวล 5 kg<br>• ก่อนชน แท่งไม้อยู่นิ่ง<br>• หลังชน ลูกเปตองหยุดนิ่ง<br>• แท่งไม้ไถลไปได้ไกล 8.1 m<br>**ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ**<br>• สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างผิวของแท่งไม้กับพื้น<br>**มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง**<br>• กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>• กฎการอนุรักษ์พลังงาน<br>**กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป** | **ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้**<br>• ก่อนชน ลูกเปตองมีความเร็ว 15 m/s<br>• แท่งไม้มวล 5 kg<br>• ก่อนชน แท่งไม้อยู่นิ่ง<br>• หลังชน ลูกเปตองหยุดนิ่ง<br>• แท่งไม้ไถลไปได้ไกล 8.1 m<br>• สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างผิวของแท่งไม้กับพื้นเท่ากับ 0.5<br>**ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ**<br>• มวลของลูกเปตองในหน่วย kg<br>**มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง**<br>• กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>• กฎการอนุรักษ์พลังงาน<br>**กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป** |
| **ขั้นตอนที่ 2 จัดการข้อมูลทางฟิสิกส์** | |
| **วาดแผนภาพการชนระหว่างลูกเปตองกับแท่งไม้**<br>  <br> | **วาดแผนภาพการชนระหว่างลูกเปตองกับแท่งไม้**<br>  <br> |

## ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง




**ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด**

(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)

<u>กำหนดให้</u>

เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก

(<u>ไม่</u>ต้องเติมหน้าตัวเลข)

เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ

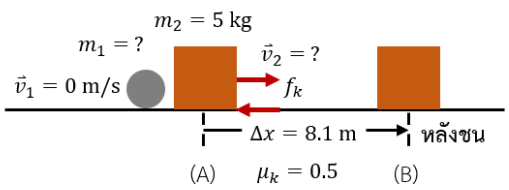
(ต้องเติมหน้าตัวเลข)

| วัตถุ | มวล | ความเร็ว | |
|---|---|---|---|
| | | ก่อนชน | หลังชน |
| ลูกเปตอง | $m_1$ | $\vec{u}_1$ | $\vec{v}_1$ |
| แท่งไม้ | $m_2$ | $\vec{u}_2$ | $\vec{v}_2$ |

| | | |
|---|---|---|
| $m_1 =$ | 3 | kg |
| $m_2 =$ | 5 | kg |
| $\vec{u}_1 =$ | 15 | m/s |
| $\vec{u}_2 =$ | 0 | m/s |
| $\vec{v}_1 =$ | 0 | m/s |
| $\vec{v}_2 =$ | $x$ | m/s |
| $\mu_k =$ | $x$ | |
| $\Delta x =$ | 8.1 | m |

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

## ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ




**ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด**

(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)

<u>กำหนดให้</u>

เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก

(<u>ไม่</u>ต้องเติมหน้าตัวเลข)

เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ

(ต้องเติมหน้าตัวเลข)

| วัตถุ | มวล | ความเร็ว | |
|---|---|---|---|
| | | ก่อนชน | หลังชน |
| ลูกเปตอง | $m_1$ | $\vec{u}_1$ | $\vec{v}_1$ |
| แท่งไม้ | $m_2$ | $\vec{u}_2$ | $\vec{v}_2$ |

| | | |
|---|---|---|
| $m_1 =$ | $x$ | kg |
| $m_2 =$ | 5 | kg |
| $\vec{u}_1 =$ | 15 | m/s |
| $\vec{u}_2 =$ | 0 | m/s |
| $\vec{v}_1 =$ | 0 | m/s |
| $\vec{v}_2 =$ | $x$ | m/s |
| $\mu_k =$ | 0.5 | |
| $\Delta x =$ | 8.1 | m |

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| **ขั้นตอนที่ 3 วางแผนการแก้โจทย์ปัญหา** | |
| **วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย** | **วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย** |
| 2. (สมการ) เพื่อหา $\mu_k$ | 2. (สมการ) เพื่อหา $m_1$ |
| 1. สมการสำหรับการหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างผิวของแท่งไม้กับพื้น ($\mu_k$) ควรเป็นสมการใด<br>1. $E_A = E_B$<br>2. $\boldsymbol{W_{A\to B} = E_B - E_A}$<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 1. สมการสำหรับการหามวลของลูกเปตอง ($m_1$) ควรเป็นสมการใด<br>1. $\boldsymbol{m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2}$<br>2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1v_1^2 + m_2v_2^2$<br>3. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{u}_2 = \frac{1}{2}m_1\vec{v}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{v}_2$<br>4. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{u}_2 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |
| 2. $W_{A\to B} = E_B - E_A$ เพื่อหา $\mu_k$ | 1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{v}_2$<br>2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$<br>เพื่อหา $m_1$ |
| 2. ณ ตำแหน่งที่แท่งไม้ไถลไปได้ไกลสุด (ตำแหน่ง B) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>1. พลังงานจลน์<br>2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง<br>3. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น<br>4. **ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น**<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 2. สมการสำหรับการหาความเร็วหลังชนของแท่งไม้ ($\vec{v}_2$) ควรเป็นสมการใด<br>1. $E_A = E_B$<br>2. $\boldsymbol{W_{A\to B} = E_B - E_A}$<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |
| 2. $W_{A\to B} = 0 - E_A$ เพื่อหา $\mu_k$ | 1. $W_{A\to B} = E_B - E_A$ เพื่อหา $\vec{v}_2$<br>2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$<br>เพื่อหา $m_1$ |
| 3. ณ ตำแหน่งที่แท่งไม้เริ่มเคลื่อนที่ (ตำแหน่ง A) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>1. **พลังงานจลน์**<br>2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง<br>3. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น<br>4. ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 3. ณ ตำแหน่งที่แท่งไม้ไถลไปได้ไกลสุด (ตำแหน่ง B) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>1. พลังงานจลน์<br>2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง<br>3. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น<br>4. **ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น**<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง**

2. $W_{A\to B} = -\frac{1}{2}m_2v_2^2$ เพื่อหา $\mu_k$

4. งานเนื่องจากแรงเสียดทานจลน์ที่เกิดขึ้นในช่วงแท่งไม้เริ่มเคลื่อนที่จนกระทั่งหยุดนิ่ง ($W_{A\to B}$) มีค่าเท่ากับข้อใด

1. $f_k\Delta x\cos 0^\circ = f_k\Delta x$
2. $f_k\Delta x\cos 90^\circ = 0$
3. $\boldsymbol{f_k\Delta x\cos 180^\circ = -f_k\Delta x}$

**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ**

2. $-(f_k)\Delta x = -\frac{1}{2}m_2v_2^2$ เพื่อหา $\mu_k$

5. แรงเสียดทานจลน์ที่กระทำต่อแท่งไม้ ($f_k$) มีค่าเท่ากับเท่าใด

1. $\mu_k$
2. $N$
3. $\boldsymbol{\mu_k N}$

**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ**

2. $-(\mu_k N)\Delta x = -\frac{1}{2}m_2v_2^2$ เพื่อหา $\mu_k$

6. แรงแนวฉากที่กระทำต่อแท่งไม้ ($N$) มีค่าเท่ากับเท่าใด

1. $m_2$
2. $\boldsymbol{m_2 g}$
3. $m_2 g\sin\theta$
4. $m_2 g\cos\theta$

**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ**

1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{v}_2$
2. $-(\mu_k m_2 g)\Delta x = -\frac{1}{2}m_2v_2^2$ เพื่อหา $\mu_k$

7. สมการสำหรับการหาความเร็วหลังชนของแท่งไม้ ($\vec{v}_2$) ควรเป็นสมการใด

1. $\boldsymbol{m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2}$
2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1v_1^2 + m_2v_2^2$

**ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ**

1. $W_{A\to B} = 0 - E_A$ เพื่อหา $\vec{v}_2$
2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$

เพื่อหา $m_1$

4. ณ ตำแหน่งที่แท่งไม้เริ่มเคลื่อนที่ (ตำแหน่ง A) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น

1. **พลังงานจลน์**
2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง
3. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น
4. ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น

**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ**

1. $W_{A\to B} = -\frac{1}{2}m_2v_2^2$ เพื่อหา $\vec{v}_2$
2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$

เพื่อหา $m_1$

5. งานเนื่องจากแรงเสียดทานจลน์ที่เกิดขึ้นในช่วงแท่งไม้เริ่มเคลื่อนที่จนกระทั่งหยุดนิ่ง ($W_{A\to B}$) มีค่าเท่ากับข้อใด

1. $f_k\Delta x\cos 0^\circ = f_k\Delta x$
2. $f_k\Delta x\cos 90^\circ = 0$
3. $\boldsymbol{f_k\Delta x\cos 180^\circ = -f_k\Delta x}$

**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ**

1. $-(f_k)\Delta x = -\frac{1}{2}m_2v_2^2$ เพื่อหา $\vec{v}_2$
2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$

เพื่อหา $m_1$

6. แรงเสียดทานจลน์ที่กระทำต่อแท่งไม้ ($f_k$) มีค่าเท่ากับเท่าใด

1. $\mu_k$
2. $N$
3. $\boldsymbol{\mu_k N}$

**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ**

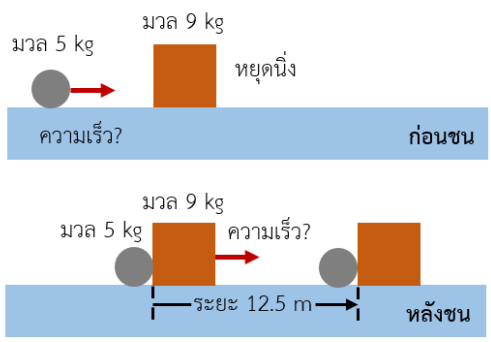
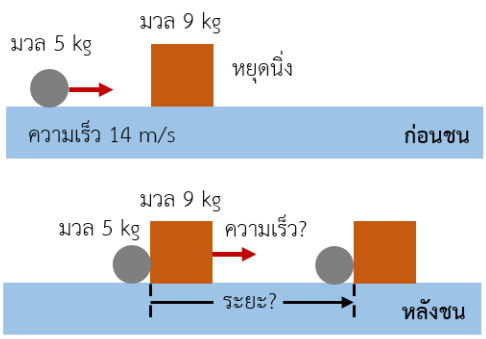
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

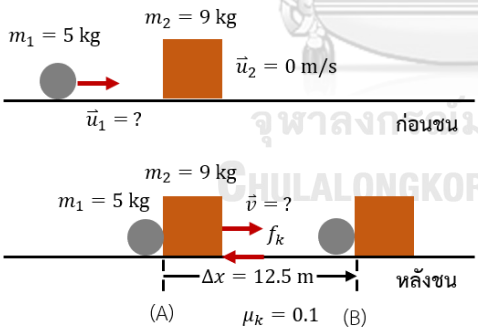
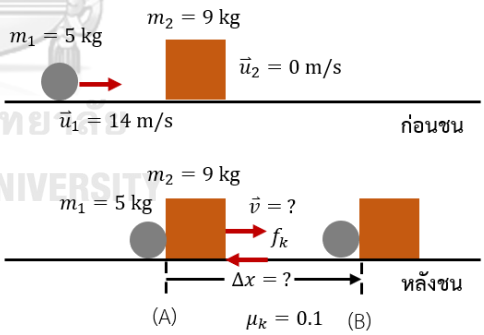
| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| 3. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{u}_2 = \frac{1}{2}m_1\vec{v}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{v}_2$<br>4. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{u}_2 = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | 1. $-(\mu_k N)\Delta x = -\frac{1}{2}m_2v_2^2$ เพื่อหา $\vec{v}_2$<br>2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$ เพื่อหา $m_1$<br>7. แรงแนวฉากที่กระทำต่อแท่งไม้ ($N$) มีค่าเท่ากับเท่าใด<br>1. $m_2$<br>2. $\boldsymbol{m_2 g}$<br>3. $m_2 g \sin\theta$<br>4. $m_2 g \cos\theta$<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |
| **ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการทางคณิตศาสตร์** | |
| 1. หาความเร็วหลังชนของแท่งไม้ ($\vec{v}_2$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>$\vec{p}_i = \vec{p}_f$<br>$m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$<br>แทนค่า $m_1$, $m_2$, $\vec{u}_1$, $\vec{u}_2$ และ $\vec{v}_1$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{v}_2 =$ 9 m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ<br>2. หาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างผิวของแท่งไม้กับพื้น ($\mu_k$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์พลังงาน<br>$W_{A\to B} = E_B - E_A$<br>$-(f_k)\Delta x = 0 - \frac{1}{2}m_2v_2^2$<br>$-(\mu_k N)\Delta x = -\frac{1}{2}m_2v_2^2$<br>$(\mu_k m_2 g)\Delta x = \frac{1}{2}m_2v_2^2$<br>$(\mu_k g)\Delta x = \frac{1}{2}v_2^2$<br>แทนค่า $g$, $\Delta x$ และ $\vec{v}_2$ ลงในสมการ จะได้<br>$\mu_k =$ 0.5<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | 1. หาความเร็วหลังชนของแท่งไม้ ($\vec{v}_2$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์พลังงาน<br>$W_{A\to B} = E_B - E_A$<br>$-(f_k)\Delta x = 0 - \frac{1}{2}m_2v_2^2$<br>$-(\mu_k N)\Delta x = -\frac{1}{2}m_2v_2^2$<br>$(\mu_k m_2 g)\Delta x = \frac{1}{2}m_2v_2^2$<br>$(\mu_k g)\Delta x = \frac{1}{2}v_2^2$<br>แทนค่า $\mu_k$, $g$ และ $\Delta x$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{v}_2 =$ 9 m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ<br>2. หามวลของลูกเปตอง ($m_1$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>$\vec{p}_i = \vec{p}_f$<br>$m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$<br>แทนค่า $m_2$, $\vec{u}_1$, $\vec{u}_2$, $\vec{v}_1$ และ $\vec{v}_2$ ลงในสมการ จะได้<br>$m_1 =$ 3 kg<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| **ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบและประเมินคำตอบ** | |
| **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>ดังนั้นสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างผิวของแท่งไม้กับพื้นมีค่าเท่ากับ<br>0.5<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>ดังนั้นมวลของลูกเปตองเท่ากับ<br>3 kg<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |

## 6.5 ข้อมูลย้อนกลับสำหรับชุดฝึก ชุดที่ 2

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| ลูกเหล็กมวล 5 กิโลกรัม กลิ้งเข้าชนแท่งไม้มวล 9 กิโลกรัม ที่วางนิ่งอยู่บนพื้น ปรากฏว่า หลังจากชนแล้ว ลูกเหล็กและแท่งไม้เคลื่อนที่ติดกันไปเป็นระยะทาง 12.5 เมตร ถ้าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างผิวของวัตถุทั้งสองกับพื้นมีค่าเท่ากับ 0.1 อยากทราบว่าตอนแรกจะต้องกลิ้งลูกเหล็กด้วยความเร็วกี่เมตร/วินาที (14 m/s) | ลูกเหล็กมวล 5 กิโลกรัม กลิ้งเข้าชนแท่งไม้มวล 9 กิโลกรัม ที่วางนิ่งอยู่บนพื้นด้วยความเร็ว 14 เมตร/วินาที ปรากฏว่า หลังจากชนแล้วลูกเหล็กและแท่งไม้เคลื่อนที่ติดกันไป ถ้าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างผิวของวัตถุทั้งสองกับพื้นมีค่าเท่ากับ 0.1 อยากทราบว่าลูกเหล็กและแท่งไม้จะเคลื่อนที่ติดกันไปเป็นระยะทางเท่าใดในหน่วยเมตร (12.5 m) |
| **ขั้นตอนที่ 1 วิเคราะห์และแปลงข้อมูล** | |
| **วาดภาพร่างการชนระหว่างลูกเหล็กกับแท่งไม้**<br>  <br><br>สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ 0.1 | **วาดภาพร่างการชนระหว่างลูกเหล็กกับแท่งไม้**<br>  <br><br>สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ 0.1 |

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| **ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้**<br>• ลูกเหล็กมวล 5 kg<br>• แท่งไม้มวล 9 kg<br>• ก่อนชน แท่งไม้อยู่นิ่ง<br>• หลังชน ลูกเหล็กและแท่งไม้เคลื่อนที่ติดกันไป<br>• สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างผิวของวัตถุทั้งสองกับพื้นมีค่าเท่ากับ 0.1<br>• ลูกเหล็กและแท่งไม้เคลื่อนที่ติดกันไปเป็นระยะทาง 12.5 m<br>**ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ**<br>• ความเร็วก่อนชนของลูกเหล็กในหน่วย m/s<br>**มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง**<br>• กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>• กฎการอนุรักษ์พลังงาน<br>**กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป** | **ปริมาณที่โจทย์ปัญหากำหนดให้**<br>• ลูกเหล็กมวล 5 kg<br>• ก่อนชน ลูกเหล็กกลิ้งด้วยความเร็ว 14 m/s<br>• แท่งไม้มวล 9 kg<br>• ก่อนชน แท่งไม้อยู่นิ่ง<br>• หลังชน ลูกเหล็กและแท่งไม้เคลื่อนที่ติดกันไป<br>• สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างผิวของวัตถุทั้งสองกับพื้นมีค่าเท่ากับ 0.1<br>**ปริมาณที่โจทย์ปัญหาต้องการ**<br>• ระยะทางที่ลูกเหล็กและแท่งไม้เคลื่อนที่ติดกันไปในหน่วย m<br>**มโนทัศน์/หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง**<br>• กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>• กฎการอนุรักษ์พลังงาน<br>**กดปุ่มเพื่อไปขั้นตอนถัดไป** |
| **ขั้นตอนที่ 2 จัดการข้อมูลทางฟิสิกส์** | |
| **วาดแผนภาพการชนระหว่างลูกเหล็กกับแท่งไม้**<br>  <br><br>**ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด**<br>(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)<br><u>กำหนดให้</u><br>เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก<br>(<u>ไม่</u>ต้องเติมหน้าตัวเลข)<br>เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ<br>(ต้องเติมหน้าตัวเลข) | **วาดแผนภาพการชนระหว่างลูกเหล็กกับแท่งไม้**<br>  <br><br>**ระบุปริมาณของตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่าตามที่โจทย์ปัญหากำหนด**<br>(ระบุ $x$ ลงในช่องว่าง สำหรับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า)<br><u>กำหนดให้</u><br>เวกเตอร์มีทิศทางขวามือมีเครื่องหมายบวก<br>(<u>ไม่</u>ต้องเติมหน้าตัวเลข)<br>เวกเตอร์มีทิศทางซ้ายมือมีเครื่องหมายลบ<br>(ต้องเติมหน้าตัวเลข) |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง**

| วัตถุ | มวล | ความเร็ว | |
|---|---|---|---|
| | | ก่อนชน | หลังชน |
| ลูกเหล็ก | $m_1$ | $\vec{u}_1$ | $\vec{v}$ |
| แท่งไม้ | $m_2$ | $\vec{u}_2$ | |

| | | |
|---|---|---|
| $m_1 =$ | 5 | kg |
| $m_2 =$ | 9 | kg |
| $\vec{u}_1 =$ | $x$ | m/s |
| $\vec{u}_2 =$ | 0 | m/s |
| $\vec{v} =$ | $x$ | m/s |
| $\mu_k =$ | 0.1 | |
| $\Delta x =$ | 12.5 | m |

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

**ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ**

| วัตถุ | มวล | ความเร็ว | |
|---|---|---|---|
| | | ก่อนชน | หลังชน |
| ลูกเหล็ก | $m_1$ | $\vec{u}_1$ | $\vec{v}$ |
| แท่งไม้ | $m_2$ | $\vec{u}_2$ | |

| | | |
|---|---|---|
| $m_1 =$ | 5 | kg |
| $m_2 =$ | 9 | kg |
| $\vec{u}_1 =$ | 14 | m/s |
| $\vec{u}_2 =$ | 0 | m/s |
| $\vec{v} =$ | $x$ | m/s |
| $\mu_k =$ | 0.1 | |
| $\Delta x =$ | $x$ | m |

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

**ขั้นตอนที่ 3 วางแผนการแก้โจทย์ปัญหา**

**วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย**

2. (สมการ) เพื่อหา $\vec{u}_1$

1. สมการสำหรับการหาความเร็วก่อนชนของลูกเหล็ก ($\vec{u}_1$) ควรเป็นสมการใด

1. $\boldsymbol{m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1 + m_2)\vec{v}}$
2. $m_1u_1^2 + m_2u_2^2 = (m_1 + m_2)v^2$
3. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{u}_2 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)\vec{v}$
4. $\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

**วิเคราะห์สมการที่ใช้และตัวแปรเป้าหมาย**

2. (สมการ) เพื่อหา $\Delta x$

1. สมการสำหรับการหาระยะทางที่ลูกเหล็กและแท่งไม้เคลื่อนที่ติดกันไป ($\Delta x$) ควรเป็นสมการใด

1. $E_A = E_B$
2. $\boldsymbol{W_{A\to B} = E_B - E_A}$

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

2. $W_{A\to B} = E_B - E_A$ เพื่อหา $\Delta x$

2. ณ ตำแหน่งที่ลูกเหล็กและแท่งไม้เคลื่อนที่ติดกันไปได้ไกลสุด (ตำแหน่ง B) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น

1. พลังงานจลน์
2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง
3. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น
4. ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| 1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{v}$<br>2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1 + m_2)\vec{v}$<br>เพื่อหา $\vec{u}_1$<br><br>2. สมการสำหรับการหาความเร็วหลังชนของลูกเหล็กและแท่งไม้ซึ่งเคลื่อนที่ติดกันไป ($\vec{v}$) ควรเป็นสมการใด<br>1. $E_A = E_B$<br>**2. $W_{A\to B} = E_B - E_A$**<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 2. $W_{A\to B} = 0 - E_A$ เพื่อหา $\Delta x$<br><br>3. ณ ตำแหน่งที่ลูกเหล็กและแท่งไม้เริ่มเคลื่อนที่ติดกันไป (ตำแหน่ง A) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>**1. พลังงานจลน์**<br>2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง<br>3. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น<br>4. ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |
| 1. $W_{A\to B} = E_B - E_A$ เพื่อหา $\vec{v}$<br>2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1 + m_2)\vec{v}$<br>เพื่อหา $\vec{u}_1$<br><br>3. ณ ตำแหน่งที่ลูกเหล็กและแท่งไม้เคลื่อนที่ติดกันไปได้ไกลสุด (ตำแหน่ง B) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>1. พลังงานจลน์<br>2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง<br>3. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น<br>**4. ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น**<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 2. $W_{A\to B} = -\frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$ เพื่อหา $\Delta x$<br><br>4. งานเนื่องจากแรงเสียดทานจลน์ที่เกิดขึ้นในช่วงลูกเหล็กและแท่งไม้เริ่มเคลื่อนที่ติดกันไปจนกระทั่งหยุดนิ่ง ($W_{A\to B}$) มีค่าเท่ากับข้อใด<br>1. $f_k\Delta x \cos 0^\circ = f_k\Delta x$<br>2. $f_k\Delta x \cos 90^\circ = 0$<br>**3. $f_k\Delta x \cos 180^\circ = -f_k\Delta x$**<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |
| 1. $W_{A\to B} = 0 - E_A$ เพื่อหา $\vec{v}$<br>2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1 + m_2)\vec{v}$<br>เพื่อหา $\vec{u}_1$<br><br>4. ณ ตำแหน่งที่ลูกเหล็กและแท่งไม้เริ่มเคลื่อนที่ติดกันไป (ตำแหน่ง A) มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>**1. พลังงานจลน์**<br>2. พลังงานศักย์โน้มถ่วง<br>3. พลังงานศักย์ยืดหยุ่น<br>4. ไม่มีพลังงานชนิดใดเกิดขึ้น<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** | 2. $-(f_k)\Delta x = -\frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2$ เพื่อหา $\Delta x$<br><br>5. แรงเสียดทานจลน์ที่กระทำต่อลูกเหล็กและแท่งไม้ ($f_k$) มีค่าเท่ากับเท่าใด<br>1. $\mu_k$<br>2. $N$<br>**3. $\mu_k N$**<br>**กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ** |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
UNIVERSITY

**ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง**

1. $W_{A\to B} = -\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2$ เพื่อหา $\vec{v}$
2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1+m_2)\vec{v}$
เพื่อหา $\vec{u}_1$

5. งานเนื่องจากแรงเสียดทานจลน์ที่เกิดขึ้นในช่วงลูกเหล็กและแท่งไม้เริ่มเคลื่อนที่ติดกันไปจนกระทั่งหยุดนิ่ง ($W_{A\to B}$) มีค่าเท่ากับข้อใด

1. $f_k\Delta x\cos 0^\circ = f_k\Delta x$
2. $f_k\Delta x\cos 90^\circ = 0$
3. $\boldsymbol{f_k\Delta x\cos 180^\circ = -f_k\Delta x}$

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

1. $-(f_k)\Delta x = -\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2$ เพื่อหา $\vec{v}$
2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1+m_2)\vec{v}$
เพื่อหา $\vec{u}_1$

6. แรงเสียดทานจลน์ที่กระทำต่อลูกเหล็กและแท่งไม้ ($f_k$) มีค่าเท่ากับเท่าใด

1. $\mu_k$
2. $N$
3. $\boldsymbol{\mu_k N}$

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

1. $-(\mu_k N)\Delta x = -\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2$
เพื่อหา $\vec{v}$
2. $m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1+m_2)\vec{v}$
เพื่อหา $\vec{u}_1$

7. แรงแนวฉากที่กระทำต่อลูกเหล็กและแท่งไม้ ($N$) มีค่าเท่ากับเท่าใด

1. $m_1+m_2$
2. $\boldsymbol{(m_1+m_2)g}$
3. $(m_1+m_2)g\sin\theta$
4. $(m_1+m_2)g\cos\theta$

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

**ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ**

2. $-(\mu_k N)\Delta x = -\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2$
เพื่อหา $\Delta x$

6. แรงแนวฉากที่กระทำต่อลูกเหล็กและแท่งไม้ ($N$) มีค่าเท่ากับเท่าใด

1. $m_1+m_2$
2. $\boldsymbol{(m_1+m_2)g}$
3. $(m_1+m_2)g\sin\theta$
4. $(m_1+m_2)g\cos\theta$

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

1. (สมการ) เพื่อหา $\vec{v}$
2. $-(\mu_k(m_1+m_2)g)\Delta x = -\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2$ เพื่อหา $\Delta x$

7. สมการสำหรับการหาความเร็วหลังชนของลูกเหล็กและแท่งไม้ซึ่งเคลื่อนที่ติดกันไป ($\vec{v}$) ควรเป็นสมการใด

1. $\boldsymbol{m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1+m_2)\vec{v}}$
2. $m_1u_1^2 + m_2u_2^2 = (m_1+m_2)v^2$
3. $\frac{1}{2}m_1\vec{u}_1 + \frac{1}{2}m_2\vec{u}_2 = \frac{1}{2}(m_1+m_2)\vec{v}$
4. $\frac{1}{2}m_1u_1^2 + \frac{1}{2}m_2u_2^2 = \frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2$

กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับสูง | ข้อมูลย้อนกลับที่มีความคล้ายระดับต่ำ |
|---|---|
| **ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการทางคณิตศาสตร์** | |
| 1. หาความเร็วหลังชนของลูกเหล็กและแท่งไม้ซึ่งเคลื่อนที่ติดกันไป ($\vec{v}$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์พลังงาน<br>$W_{A\to B} = E_B - E_A$<br>$-(f_k)\Delta x = 0 - \frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2$<br>$-(\mu_k N)\Delta x = -\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2$<br>$(\mu_k(m_1+m_2)g)\Delta x = \frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2$<br>$(\mu_k g)\Delta x = \frac{1}{2}v^2$<br>แทนค่า $\mu_k$, $g$ และ $\Delta x$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{v} =$ 5 m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ<br>2. หาความเร็วก่อนชนของลูกเหล็ก ($\vec{u}_1$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>$\vec{p}_i = \vec{p}_f$<br>$m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1+m_2)\vec{v}$<br>แทนค่า $m_1$, $m_2$, $\vec{u}_2$ และ $\vec{v}$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{u}_1 =$ 14 m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | 1. หาความเร็วหลังชนของลูกเหล็กและแท่งไม้ซึ่งเคลื่อนที่ติดกันไป ($\vec{v}$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม<br>$\vec{p}_i = \vec{p}_f$<br>$m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 = (m_1+m_2)\vec{v}$<br>แทนค่า $m_1$, $m_2$, $\vec{u}_1$ และ $\vec{u}_2$ ลงในสมการ จะได้<br>$\vec{v} =$ 5 m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ<br>2. หาระยะทางที่ลูกเหล็กและแท่งไม้เคลื่อนที่ติดกันไป ($\Delta x$) โดยใช้กฎการอนุรักษ์พลังงาน<br>$W_{A\to B} = E_B - E_A$<br>$-(f_k)\Delta x = 0 - \frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2$<br>$-(\mu_k N)\Delta x = -\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2$<br>$(\mu_k(m_1+m_2)g)\Delta x = \frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2$<br>$(\mu_k g)\Delta x = \frac{1}{2}v^2$<br>แทนค่า $\mu_k$, $g$ และ $\vec{v}$ ลงในสมการ จะได้<br>$\Delta x =$ 12.5 m<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |
| **ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบและประเมินคำตอบ** | |
| **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>ดังนั้นจะต้องกลิ้งลูกเหล็กด้วยความเร็ว<br>14 m/s<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ | **ประเด็นการพิจารณาความถูกต้องของคำตอบ**<br>• ความสมเหตุสมผลของคำตอบ<br>• เครื่องหมายของคำตอบ<br>• หน่วยการวัดของคำตอบ<br>**สรุปคำตอบ**<br>ดังนั้นลูกเหล็กและแท่งไม้เคลื่อนที่ติดกันเป็นระยะทาง<br>12.5 m<br>กดปุ่มเพื่อตรวจสอบคำตอบ |

**6.6 ความคิดเห็นเกี่ยวกับข้อมูลย้อนกลับของผู้เชี่ยวชาญ**

| ข้อที่ | ชุดที่ | ความสอดคล้องของข้อมูลย้อนกลับ | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|
| 6 | 1 | .8 | - เปลี่ยนสถานการณ์ให้แตกต่างจากโจทย์ปัญหาหลัก |
| | 2 | .8 | - เปลี่ยนสถานการณ์ให้แตกต่างจากโจทย์ปัญหาหลัก |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# ภาคผนวก ค

# ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบวัดความสามารถ ในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

## ผลการตรวจสอบคุณภาพแบบสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์

### ข้อที่ 1

### 1.1 รายละเอียดเกี่ยวกับข้อคำถาม

| | |
|---|---|
| **หน่วยการเรียนรู้** | 6. โมเมนตัมและการชน |
| **ผลการเรียนรู้** | ว 6.1 ม.4/14 |
| **วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม** | เพื่อให้นักเรียนสามารถคำนวณปริมาณที่เกี่ยวกับโมเมนตัมของวัตถุ การดลและแรงดลได้ |
| **รูปแบบข้อคำถาม** | ข้อคำถามแบบเติมคำ |
| **เกณฑ์การให้คะแนน** | ตอบถูกให้ 1 คะแนน ตอบผิดให้ 0 คะแนน |

### 1.2 ข้อคำถาม

| แบบสอบ ฉบับที่ 1 | แบบสอบ ฉบับที่ 2 | แบบสอบ ฉบับที่ 3 |
|---|---|---|
| 1. เจนอยู่บนสะพานแล้วปล่อยก้อนหินมวล 0.3 กิโลกรัม ให้ตกถึงพื้นดิน โดยพบว่า โมเมนตัมของก้อนหินขณะตกถึงพื้นดิน มีขนาดเท่ากับ 6 กิโลกรัม.เมตร/วินาที จงหาเวลาที่ก้อนหินใช้ในการเคลื่อนที่ถึงพื้นดินในหน่วยวินาที (2 s) | 1. นุ่นอยู่บนสะพานแล้วปล่อยก้อนหินให้ตกถึงพื้นดิน โดยใช้เวลา 3 วินาที ซึ่งพบว่า โมเมนตัมของก้อนหินขณะตกถึงพื้นดิน มีขนาดเท่ากับ 12 กิโลกรัม.เมตร/วินาที อยากทราบว่า ก้อนหินมีมวลกี่กิโลกรัม (0.4 kg) | 1. โบว์อยู่บนสะพานแล้วปล่อยก้อนหินมวล 0.7 กิโลกรัม ให้ตกถึงพื้นดิน โดยใช้เวลา 6 วินาที จงหาขนาดของโมเมนตัมของก้อนหินขณะตกถึงพื้นดินในหน่วยกิโลกรัม.เมตร/วินาที (42 kg.m/s) |

### 1.3 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

| ข้อที่ | แบบสอบ ฉบับที่ | IOC | ความเป็นคู่ขนาน | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1.0 | 1.0 | |
| | 2 | 1.0 | | |
| | 3 | 1.0 | | |

**ข้อที่ 2**

**2.1 รายละเอียดเกี่ยวกับข้อคำถาม**

| | |
|---|---|
| **หน่วยการเรียนรู้** | 6. โมเมนตัมและการชน |
| **ผลการเรียนรู้** | ว 6.1 ม.4/14 |
| **วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม** | เพื่อให้นักเรียนสามารถคำนวณปริมาณที่เกี่ยวกับโมเมนตัมของวัตถุ การดลและแรงดลได้ |
| **รูปแบบข้อคำถาม** | ข้อคำถามแบบเติมคำ |
| **เกณฑ์การให้คะแนน** | ตอบถูกให้ 1 คะแนน ตอบผิดให้ 0 คะแนน |

**2.2 ข้อคำถาม**

| แบบสอบ ฉบับที่ 1 | แบบสอบ ฉบับที่ 2 | แบบสอบ ฉบับที่ 3 |
|---|---|---|
| 2. รถยนต์มวล 2,000 กิโลกรัม วิ่งเข้าชนกำแพงด้วยความเร็ว 8 เมตร/วินาที ซึ่งพบว่ากำแพงกระทำต่อรถยนต์ดังกล่าวด้วยแรงขนาด 60 กิโลนิวตัน เป็นเวลา 0.4 วินาที ทำให้รถสะท้อนกลับออกมาในทิศทางตรงข้าม จงหาขนาดของความเร็วของรถยนต์ภายหลังชนกำแพงแล้วในหน่วยเมตร/วินาที (4 m/s) | 2. รถยนต์มวล 1,500 กิโลกรัม วิ่งเข้าชนกำแพงด้วยความเร็ว 10 เมตร/วินาที จากนั้นรถจึงสะท้อนกลับออกมาในทิศทางตรงข้ามด้วยความเร็ว 2 เมตร/วินาที ถ้าเวลาที่กำแพงกระทำต่อรถยนต์มีค่าเท่ากับ 0.6 วินาที อยากทราบว่าแรงที่กำแพงกระทำต่อรถยนต์คันนี้มีขนาดกี่กิโลนิวตัน (30 kN) | 2. รถยนต์มวล 1,200 กิโลกรัม วิ่งเข้าชนกำแพงด้วยความเร็ว 14 เมตร/วินาที จากนั้นรถจึงสะท้อนกลับออกมาในทิศทางตรงข้ามด้วยความเร็ว 11 เมตร/วินาที ถ้าแรงที่กำแพงกระทำต่อรถยนต์คันนี้มีขนาด 20 กิโลนิวตัน อยากทราบว่ากำแพงกระทำต่อรถยนต์เป็นเวลากี่วินาที (1.5 s) |

**2.3 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ**

| ข้อที่ | แบบสอบ ฉบับที่ | IOC | ความเป็นคู่ขนาน | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 1 | 1.0 | 1.0 | |
| | 2 | 1.0 | | - เปลี่ยนจาก “เวลาที่กำแพงกระทำต่อรถ” เป็น “เวลาที่รถเข้าชนกำแพง” |
| | 3 | 1.0 | | - เปลี่ยนจาก “กำแพงกระทำต่อรถยนต์” เป็น “รถยนต์เข้าชนกำแพง” |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ข้อที่ 3**

**3.1 รายละเอียดเกี่ยวกับข้อคำถาม**

| | |
|---|---|
| **หน่วยการเรียนรู้** | 6. โมเมนตัมและการชน |
| **ผลการเรียนรู้** | ว 6.1 ม.4/14 |
| **วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม** | เพื่อให้นักเรียนสามารถคำนวณปริมาณที่เกี่ยวกับโมเมนตัมของวัตถุ การดลและแรงดลได้ |
| **รูปแบบข้อคำถาม** | ข้อคำถามแบบเติมคำ |
| **เกณฑ์การให้คะแนน** | ตอบถูกให้ 1 คะแนน ตอบผิดให้ 0 คะแนน |

**3.2 ข้อคำถาม**

| แบบสอบ ฉบับที่ 1 | แบบสอบ ฉบับที่ 2 | แบบสอบ ฉบับที่ 3 |
|---|---|---|
| 3. สายฟ้ากลิ้งลูกบอลมวล 0.05 กิโลกรัม ไปบนพื้นราบที่มีความฝืดเป็นระยะ 20 เมตร ทำให้ลูกบอลมีความเร็วลดลงเหลือ 12 เมตร/วินาที และพบว่า การเคลื่อนที่ในระยะดังกล่าวมีการดลเท่ากับ -0.4 กิโลกรัม.เมตร/วินาที จงหาขนาดของความหน่วงในหน่วยเมตร/วินาที$^2$ (6.4 m/s$^2$) | 3. พายุกลิ้งลูกบอลด้วยความเร็ว 16 เมตร/วินาที ไปบนพื้นราบที่มีความฝืดเป็นระยะ 12 เมตร ด้วยความหน่วง 2.5 เมตร/วินาที$^2$ ทำให้การเคลื่อนที่ในระยะดังกล่าวมีการดลเท่ากับ -5.5 กิโลกรัม.เมตร/วินาที จงหาว่าลูกบอลมีมวลกี่กิโลกรัม (2.75 kg) | 3. หลินกลิ้งลูกบอลมวล 0.25 กิโลกรัม ไปบนพื้นราบที่มีความฝืดเป็นระยะหนึ่ง ด้วยความหน่วง 4 เมตร/วินาที$^2$ ทำให้ลูกบอลมีความเร็วลดลงเหลือ 24 เมตร/วินาที และพบว่า การเคลื่อนที่ในระยะดังกล่าวมีการดลเท่ากับ -1.5 กิโลกรัม.เมตร/วินาที จงหาระยะทางที่ลูกบอลกลิ้งไปได้ในหน่วยเมตร (40.5 m) |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**3.3 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ**

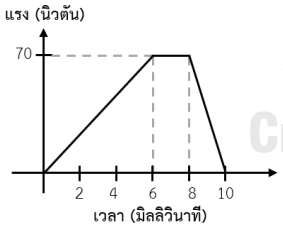
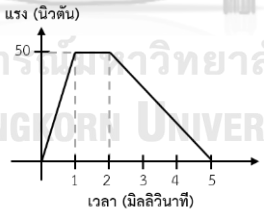
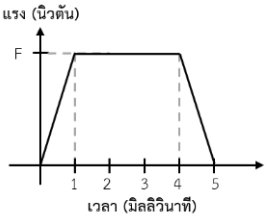
| ข้อที่ | แบบสอบ ฉบับที่ | IOC | ความเป็นคู่ขนาน | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 1 | 1.0 | 0.8 | - เปลี่ยนจาก “ความเร็ว” เป็น “ความเร็วในการเลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางมวลของลูกบอล” หรือ “ความเร็วเชิงเส้น”<br>- เปลี่ยนจาก “ความหน่วง” เป็น “ความเร่ง” |
| | 2 | 1.0 | | |
| | 3 | 1.0 | | |

**ข้อที่ 4**

**4.1 รายละเอียดเกี่ยวกับข้อคำถาม**

| | |
|---|---|
| **หน่วยการเรียนรู้** | 6. โมเมนตัมและการชน |
| **ผลการเรียนรู้** | ว 6.1 ม.4/14 |
| **วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม** | เพื่อให้นักเรียนสามารถคำนวณปริมาณที่เกี่ยวกับโมเมนตัมของวัตถุ การดลและแรงดลได้ |
| **รูปแบบข้อคำถาม** | ข้อคำถามแบบเติมคำ |
| **เกณฑ์การให้คะแนน** | ตอบถูกให้ 1 คะแนน ตอบผิดให้ 0 คะแนน |

**4.2 ข้อคำถาม**

| แบบสอบ ฉบับที่ 1 | แบบสอบ ฉบับที่ 2 | แบบสอบ ฉบับที่ 3 |
|---|---|---|
| 4. ลูกเทนนิสเคลื่อนที่ในแนวระดับด้วยอัตราเร็ว 5 เมตร/วินาที นักกีฬาใช้ไม้ตีลูกเทนนิสสวนออกมาในทิศทางตรงกันข้ามด้วยอัตราเร็ว 2 เมตร/วินาที โดยแรงที่กระทำต่อลูกเทนนิสกับเวลาที่ลูกเทนนิสกระทบไม้ตีแสดงดังกราฟนี้ อยากทราบว่าลูกเทนนิสมีมวลกี่กิโลกรัม (0.06 kg)   | 4. ลูกเทนนิสมวล 20 กรัม เคลื่อนที่ในแนวระดับด้วยอัตราเร็ว 6 เมตร/วินาที นักกีฬาใช้ไม้ตีลูกเทนนิสสวนออกมาในทิศทางตรงกันข้าม โดยแรงที่กระทำต่อลูกเทนนิสกับเวลาที่ลูกเทนนิสกระทบไม้ตีแสดงดังกราฟนี้ อยากทราบว่า ลูกเทนนิสจะมีอัตราเร็วเท่าใดภายหลังกระทบไม้ตีในหน่วยเมตร/วินาที (1.5 m/s)   | 4. ลูกเทนนิสมวล 40 กรัม เคลื่อนที่ในแนวระดับด้วยอัตราเร็ว 6 เมตร/วินาที นักกีฬาใช้ไม้ตีลูกเทนนิสสวนออกมาในทิศทางตรงกันข้ามด้วยอัตราเร็ว 4 เมตร/วินาที โดยแรงที่กระทำต่อลูกเทนนิสกับเวลาที่ลูกเทนนิสกระทบไม้ตีแสดงดังกราฟนี้ จงหา F ในหน่วยนิวตัน (100 N)   |

**4.3 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ**

| ข้อที่ | แบบสอบ ฉบับที่ | IOC | ความเป็นคู่ขนาน | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|---|
| 4 | 1 | 1.0 | 1.0 | - ปรับค่าตัวเลขให้เหมาะสมขึ้น และเปลี่ยนจาก “นักกีฬาใช้ไม้เทนนิสตีลูกสวนออกมา” เป็น “นักกีฬาใช้ไม้เทนนิสตีลูกเทนนิส ลูกเทนนิสเคลื่อนที่สวนออกมา” |
| | 2 | 1.0 | | |
| | 3 | 1.0 | | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

**ข้อที่ 5**

**5.1 รายละเอียดเกี่ยวกับข้อคำถาม**

| | |
|---|---|
| **หน่วยการเรียนรู้** | 6. โมเมนตัมและการชน |
| **ผลการเรียนรู้** | ว 6.1 ม.4/15 |
| **วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม** | เพื่อให้นักเรียนสามารถคำนวณปริมาณที่เกี่ยวกับการชนของวัตถุในหนึ่งมิติและพลังงานที่เกี่ยวข้องได้ |
| **รูปแบบข้อคำถาม** | ข้อคำถามแบบเติมคำ |
| **เกณฑ์การให้คะแนน** | ตอบถูกให้ 1 คะแนน ตอบผิดให้ 0 คะแนน |

**5.2 ข้อคำถาม**

| แบบสอบ ฉบับที่ 1 | แบบสอบ ฉบับที่ 2 | แบบสอบ ฉบับที่ 3 |
|---|---|---|
| 5. เพชรมวล 50 กิโลกรัม เคลื่อนที่บนพื้นน้ำแข็งในแนวระดับด้วยความเร็ว 8 เมตร/วินาที เข้าชนพลอยซึ่งมีมวล 60 กิโลกรัม และกำลังเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับเพชรด้วยความเร็ว 4 เมตร/วินาที ทำให้เพชรมีความเร็วลดลงเหลือ 5 เมตร/วินาที จงหาว่าภายหลังการชน พลอยมีความเร็วกี่เมตร/วินาที (6.5 m/s) | 5. เพลงมวล 60 กิโลกรัม เคลื่อนที่บนพื้นน้ำแข็งในแนวระดับด้วยความเร็ว 7 เมตร/วินาที เข้าชนเพลินซึ่งมีมวล 90 กิโลกรัม และกำลังเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับเพลงด้วยความเร็ว 5 เมตร/วินาที ปรากฏว่า ทั้งสองคนเคลื่อนที่ติดไปด้วยกัน จงหาว่าภายหลังการชนเพลงและเพลินมีความเร็วกี่เมตร/วินาที (5.8 m/s) | 5. พิณมวล 80 กิโลกรัม เคลื่อนที่บนพื้นน้ำแข็งในแนวระดับด้วยความเร็ว 6 เมตร/วินาที เข้าชนพีร์ซึ่งมีมวล 100 กิโลกรัม และกำลังเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับพิณ ทำให้พิณมีความเร็วลดลงเหลือ 4 เมตร/วินาที ส่วนพีร์มีความเร็ว 5 เมตร/วินาที จงหาว่าก่อนการชน พีร์มีความเร็วกี่เมตร/วินาที (3.4 m/s) |

**5.3 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ**

| ข้อที่ | แบบสอบ ฉบับที่ | IOC | ความเป็นคู่ขนาน | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 1 | 0.8 | 0.8 | - ควรรระบุประเภทของการชน |
| | 2 | 0.8 | | - ควรรระบุประเภทของการชน |
| | 3 | 0.8 | | - ควรรระบุประเภทของการชน |

**ข้อที่ 6**

**6.1 รายละเอียดเกี่ยวกับข้อคำถาม**

| | |
|---|---|
| **หน่วยการเรียนรู้** | 6. โมเมนตัมและการชน |
| **ผลการเรียนรู้** | ว 6.1 ม.4/15 |
| **วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม** | เพื่อให้นักเรียนสามารถคำนวณปริมาณที่เกี่ยวกับการชนของวัตถุในหนึ่งมิติและพลังงานที่เกี่ยวข้องได้ |
| **รูปแบบข้อคำถาม** | ข้อคำถามแบบเติมคำ |
| **เกณฑ์การให้คะแนน** | ตอบถูกให้ 1 คะแนน ตอบผิดให้ 0 คะแนน |

**6.2 ข้อคำถาม**

| แบบสอบ ฉบับที่ 1 | แบบสอบ ฉบับที่ 2 | แบบสอบ ฉบับที่ 3 |
|---|---|---|
| 6. รถยนต์มวล 1,500 กิโลกรัม จอดนิ่งอยู่สี่แยกไฟแดง ต่อมามีรถตู้มวล 3,000 กิโลกรัม วิ่งเข้ามาชนท้ายรถยนต์คันดังกล่าวด้วยความเร็ว 12 เมตร/วินาที ทำให้รถทั้งสองคันเคลื่อนที่ติดไปด้วยกัน อยากทราบว่า การชนในครั้งนี้สูญเสียพลังงานไปกี่กิโลจูล (72 kJ) | 6. รถตู้มวล 2,000 กิโลกรัม จอดนิ่งอยู่สี่แยกไฟแดง ต่อมามีรถยนต์มวล 1,000 กิโลกรัม วิ่งเข้ามาชนท้ายรถตู้คันดังกล่าว ทำให้รถตู้และรถยนต์ต่างเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันด้วยความเร็ว 6 เมตร/วินาที และ 1 เมตร/วินาที ตามลำดับ จงหาพลังงานที่สูญเสียไปจากการชนในครั้งนี้ในหน่วยกิโลจูล (13 kJ) | 6. รถยนต์คันหนึ่งจอดนิ่งอยู่สี่แยกไฟแดง ต่อมามีรถตู้มวล 4,000 กิโลกรัม วิ่งเข้ามาชนท้ายรถยนต์คันดังกล่าวด้วยความเร็ว 6 เมตร/วินาที ทำให้รถทั้งสองคันเคลื่อนที่ติดไปด้วยกันด้วยความเร็ว 4 เมตร/วินาที อยากทราบว่า การชนในครั้งนี้สูญเสียพลังงานไปกี่กิโลจูล (24 kJ) |

**6.3 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ**

| ข้อที่ | แบบสอบ ฉบับที่ | IOC | ความเป็นคู่ขนาน | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|---|
| 6 | 1 | 1.0 | 1.0 | |
| | 2 | 1.0 | | - สลับค่าความเร็วภายหลังการชนของรถตู้และรถยนต์ |
| | 3 | 1.0 | | |

**ข้อที่ 7**

**7.1 รายละเอียดเกี่ยวกับข้อคำถาม**

| | |
|---|---|
| **หน่วยการเรียนรู้** | 6. โมเมนตัมและการชน |
| **ผลการเรียนรู้** | ว 6.1 ม.4/15 |
| **วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม** | เพื่อให้นักเรียนสามารถคำนวณปริมาณที่เกี่ยวกับการชนของวัตถุในหนึ่งมิติและพลังงานที่เกี่ยวข้องได้ |
| **รูปแบบข้อคำถาม** | ข้อคำถามแบบเติมคำ |
| **เกณฑ์การให้คะแนน** | ตอบถูกให้ 1 คะแนน ตอบผิดให้ 0 คะแนน |

**7.2 ข้อคำถาม**

| แบบสอบ ฉบับที่ 1 | แบบสอบ ฉบับที่ 2 | แบบสอบ ฉบับที่ 3 |
|---|---|---|
| 7. ยิงลูกปืนมวล 40 กรัม ในแนวระดับ ทะลุเป้ามวล 6 กิโลกรัม ซึ่งผูกและแขวนด้วยเชือกในแนวดิ่ง ทำให้ลูกปืนมีความเร็ว 2,000 เมตร/วินาที ในขณะเดียวกันพบว่าเป้าแกว่งขึ้นไปสูงจากเดิม 0.45 เมตร อยากทราบว่าจะต้องยิงลูกปืนด้วยความเร็วกี่เมตร/วินาที (2,450 m/s) | 7. ยิงลูกปืนมวล 20 กรัม ในแนวระดับ ด้วยความเร็ว 2,002 เมตร/วินาที เข้าไปฝังในเป้ามวล 20 กิโลกรัม ซึ่งผูกและแขวนด้วยเชือกในแนวดิ่ง อยากทราบว่าเป้าจะแกว่งขึ้นไปสูงกว่าตำแหน่งเดิมกี่เมตร (0.2 m) | 7. ยิงลูกปืนมวล 50 กรัม ในแนวระดับ ด้วยความเร็ว 3,000 เมตร/วินาที ทะลุเป้าซึ่งผูกและแขวนด้วยเชือกในแนวดิ่ง ทำให้ลูกปืนมีความเร็ว 1,500 เมตร/วินาที ในขณะเดียวกันพบว่าเป้าแกว่งขึ้นไปสูงจากเดิม 1.25 เมตร อยากทราบว่าเป้ามีมวลกี่กิโลกรัม (15 kg) |

**7.3 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ**

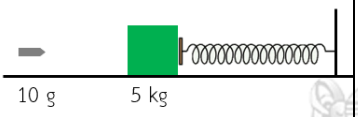
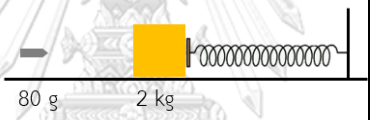
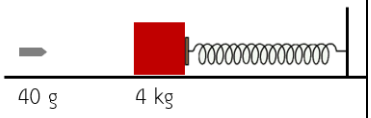
| ข้อที่ | แบบสอบ ฉบับที่ | IOC | ความเป็นคู่ขนาน | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|---|
| 7 | 1 | 1.0 | 1.0 | |
| | 2 | 1.0 | | |
| | 3 | 1.0 | | |

**ข้อที่ 8**

**8.1 รายละเอียดเกี่ยวกับข้อคำถาม**

| | |
|---|---|
| **หน่วยการเรียนรู้** | 6. โมเมนตัมและการชน |
| **ผลการเรียนรู้** | ว 6.1 ม.4/15 |
| **วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม** | เพื่อให้นักเรียนสามารถคำนวณปริมาณที่เกี่ยวกับการชนของวัตถุในหนึ่งมิติและพลังงานที่เกี่ยวข้องได้ |
| **รูปแบบข้อคำถาม** | ข้อคำถามแบบเติมคำ |
| **เกณฑ์การให้คะแนน** | ตอบถูกให้ 1 คะแนน ตอบผิดให้ 0 คะแนน |

**8.2 ข้อคำถาม**

| แบบสอบ ฉบับที่ 1 | แบบสอบ ฉบับที่ 2 | แบบสอบ ฉบับที่ 3 |
|---|---|---|
| 8. ยิงลูกปืนมวล 10 กรัม ในแนวราบ ด้วยความเร็ว 1,002 เมตร/วินาที เข้าไปฝังในกล่องมวล 5 กิโลกรัม ซึ่งผูกติดกับสปริงในแนวราบ โดยปลายสปริงอีกด้านหนึ่งติดอยู่กับผนัง ดังรูป   ปรากฏว่า กล่องดันสปริงให้หดสั้นเข้าไปจากเดิม 0.2 เมตร จงหาค่าคงตัวของสปริงในหน่วยนิวตัน/เมตร (501 N/m) | 8. ยิงลูกปืนมวล 80 กรัม ในแนวราบทะลุกล่องมวล 2 กิโลกรัม ซึ่งผูกติดกับสปริงในแนวราบ โดยปลายสปริงอีกด้านหนึ่งติดอยู่กับผนัง ดังรูป   ปรากฏว่า ภายหลังการชน ลูกปืนมีความเร็ว 10 เมตร/วินาที ส่วนกล่องดันสปริงให้หดสั้นเข้าไปจากเดิม 0.8 เมตร ถ้ากำหนดให้ค่าคงตัวของสปริงเท่ากับ 800 นิวตัน/เมตร อยากทราบว่าจะต้องยิงลูกปืนด้วยความเร็วกี่เมตร/วินาที (410 m/s) | 8. ยิงลูกปืนมวล 40 กรัม ในแนวราบ ด้วยความเร็ว 1,010 เมตร/วินาที เข้าไปฝังในกล่องมวล 4 กิโลกรัม ซึ่งผูกติดกับสปริงในแนวราบ โดยปลายสปริงอีกด้านหนึ่งติดอยู่กับผนัง ดังรูป   ถ้ากำหนดให้ค่าคงตัวของสปริงเท่ากับ 1,616 นิวตัน/เมตร อยากทราบว่ากล่องจะดันสปริงให้หดสั้นเข้าไปจากเดิมกี่เมตร (0.5 m) |

**8.3 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ**

| ข้อที่ | แบบสอบ ฉบับที่ | IOC | ความเป็นคู่ขนาน | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|---|
| 8 | 1 | 1.0 | 1.0 | |
| | 2 | 1.0 | | |
| | 3 | 1.0 | | |

**ข้อที่ 9**

**9.1 รายละเอียดเกี่ยวกับข้อคำถาม**

| | |
|---|---|
| **หน่วยการเรียนรู้** | 6. โมเมนตัมและการชน |
| **ผลการเรียนรู้** | ว 6.1 ม.4/15 |
| **วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม** | เพื่อให้นักเรียนสามารถคำนวณปริมาณที่เกี่ยวกับการชนของวัตถุในหนึ่งมิติและพลังงานที่เกี่ยวข้องได้ |
| **รูปแบบข้อคำถาม** | ข้อคำถามแบบเติมคำ |
| **เกณฑ์การให้คะแนน** | ตอบถูกให้ 1 คะแนน ตอบผิดให้ 0 คะแนน |

**9.2 ข้อคำถาม**

| แบบสอบ ฉบับที่ 1 | แบบสอบ ฉบับที่ 2 | แบบสอบ ฉบับที่ 3 |
|---|---|---|
| 9. รถมอเตอร์ไซค์มวล 200 กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 20 เมตร/วินาที เข้าชนรถกอล์ฟมวล 400 กิโลกรัม ซึ่งเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับรถมอเตอร์ไซค์ด้วยความเร็ว 10 เมตร/วินาที ปรากฏว่าหลังจากชนแล้ว รถทั้งสองคันเคลื่อนที่ต่อไปโดยรถมอเตอร์ไซค์มีความเร็วลดลงเหลือ 8 เมตร/วินาที ถ้ากำหนดให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างผิวล้อรถกอล์ฟกับพื้นถนนเท่ากับ 0.2 อยากทราบว่ารถกอล์ฟจะเคลื่อนที่ไปได้ไกลกี่เมตร (64 m) | 9. รถกอล์ฟเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 50 เมตร/วินาที เข้าชนรถมอเตอร์ไซค์มวล 220 กิโลกรัม ซึ่งเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับรถกอล์ฟด้วยความเร็ว 25 เมตร/วินาที ปรากฏว่าหลังจากชนแล้ว รถทั้งสองคันเคลื่อนที่ติดกันไป และเคลื่อนที่ไปได้ไกล 200 เมตร ถ้ากำหนดให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างผิวล้อรถทั้งสองคันกับพื้นถนน เท่ากับ 0.4 จงหามวลของรถกอล์ฟในหน่วยกิโลกรัม (330 kg) | 9. รถมอเตอร์ไซค์มวล 250 กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 30 เมตร/วินาที เข้าชนรถกอล์ฟมวล 350 กิโลกรัม ซึ่งเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับรถมอเตอร์ไซค์ด้วยความเร็ว 20 เมตร/วินาที ปรากฏว่าหลังจากชนแล้ว รถทั้งสองคันเคลื่อนที่ต่อไปโดยรถมอเตอร์ไซค์มีความเร็วลดลงเหลือ 16 เมตร/วินาที ส่วนรถกอล์ฟสามารถเคลื่อนที่ไปได้ไกล 180 เมตร จงหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ระหว่างผิวล้อรถกอล์ฟกับพื้นถนน (0.25) |

**9.3 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ**

| ข้อที่ | แบบสอบ ฉบับที่ | IOC | ความเป็นคู่ขนาน | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|---|
| 9 | 1 | 1.0 | 1.0 | |
| | 2 | 1.0 | | |
| | 3 | 1.0 | | |

**ข้อที่ 10**

**10.1 รายละเอียดเกี่ยวกับข้อคำถาม**

| | |
|---|---|
| **หน่วยการเรียนรู้** | 6. โมเมนตัมและการชน |
| **ผลการเรียนรู้** | ว 6.1 ม.4/15 |
| **วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม** | เพื่อให้นักเรียนสามารถคำนวณปริมาณที่เกี่ยวกับการชนของวัตถุในหนึ่งมิติและพลังงานที่เกี่ยวข้องได้ |
| **รูปแบบข้อคำถาม** | ข้อคำถามแบบเติมคำ |
| **เกณฑ์การให้คะแนน** | ตอบถูกให้ 1 คะแนน ตอบผิดให้ 0 คะแนน |

**10.2 ข้อคำถาม**

| แบบสอบ ฉบับที่ 1 | แบบสอบ ฉบับที่ 2 | แบบสอบ ฉบับที่ 3 |
|---|---|---|
| 10. ขว้างวัตถุมวล 10 กิโลกรัม ตกลงมาในแนวดิ่ง ต่อมาจึงระเบิดออกเป็นสองก้อน ซึ่งแต่ละก้อนมีมวลเท่ากันและเคลื่อนที่อยู่ในแนวดิ่ง โดยมวลก้อนแรกเคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็ว 50 เมตร/วินาที ในขณะที่มวลอีกก้อนหนึ่งเคลื่อนที่ลง 90 เมตร/วินาที จงหาว่าพลังงานจลน์หลังระเบิดเพิ่มขึ้นจากก่อนระเบิดกี่กิโลจูล (24.5 kJ) | 10. ขว้างวัตถุมวล 10 กิโลกรัม ตกลงมาในแนวดิ่งด้วยความเร็ว 10 เมตร/วินาที ต่อมาจึงระเบิดออกเป็นสองก้อน ซึ่งแต่ละก้อนเคลื่อนที่อยู่ในแนวดิ่ง โดยก้อนมวล 4 กิโลกรัม เคลื่อนที่ลงด้วยความเร็ว 70 เมตร/วินาที ในขณะที่มวลอีกก้อนหนึ่งเคลื่อนที่ขึ้น จงหาว่าพลังงานจลน์หลังระเบิดเพิ่มขึ้นจากก่อนระเบิดกี่กิโลจูล (12 kJ) | 10. ขว้างวัตถุมวล 5 กิโลกรัม ตกลงมาในแนวดิ่งด้วยความเร็ว 40 เมตร/วินาที ต่อมาจึงระเบิดออกเป็นสองก้อน ซึ่งแต่ละก้อนเคลื่อนที่อยู่ในแนวดิ่ง โดยก้อนมวล 2 กิโลกรัม เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็ว 80 เมตร/วินาที ในขณะที่มวลอีกก้อนหนึ่งเคลื่อนที่ลง จงหาว่าพลังงานจลน์หลังระเบิดเพิ่มขึ้นจากก่อนระเบิดกี่กิโลจูล (24 kJ) |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**10.3 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ**

| ข้อที่ | แบบสอบ ฉบับที่ | IOC | ความเป็นคู่ขนาน | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|---|
| 10 | 1 | 1.0 | 1.0 | |
| | 2 | 1.0 | | |
| | 3 | 1.0 | | |

# ภาคผนวก ง

# ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับภาษาไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

**ผลการตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดอภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ฉบับภาษาไทย**

อภิปัญญาในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ คือ ความสามารถของบุคคลในการรับรู้ตนเองเกี่ยวกับการแก้โจทย์ปัญหาว่ามีความรู้ความเข้าใจมากน้อยเพียงใด รวมถึงความสามารถในการวางแผน การกำกับ การเลือกใช้วิธีการ และการประเมินวิธีการแก้โจทย์ปัญหาของตนเองให้สามารถดำเนินการได้บรรลุตามเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 6 องค์ประกอบ ได้แก่ (1) ความรู้เกี่ยวกับอภิปัญญา (2) การจัดการข้อมูล (3) การกำกับติดตาม (4) การประเมิน (5) การแก้ไขข้อผิดพลาด และ (6) การวางแผน โดยการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขออนุญาตและนำแบบวัดอภิปัญญาทางฟิสิกส์ของ Taasoobshirazi et al. (2015) มาแปลเป็นฉบับภาษาไทยโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านภาษาจำนวน 2 ท่าน เพื่อใช้สำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งแต่ละองค์ประกอบมีข้อคำถามและรายละเอียดดังต่อไปนี้

| ที่ | ข้อคำถามที่แปล | ข้อคำถามจากต้นฉบับ | IOC | ความสอดคล้องกับต้นฉบับ | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|---|---|
| **องค์ประกอบที่ 1 ความรู้เกี่ยวกับอภิปัญญา**<br>หมายถึง สิ่งที่บุคคลรู้เกี่ยวกับกระบวนการทางความคิดของตนเองในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์และสามารถพิจารณาได้ว่าตนเองรู้อะไรและคิดอย่างไร ซึ่งประกอบด้วย 3 ประเภท ดังนี้<br>• ความรู้เชิงประจักษ์ หมายถึง สิ่งที่บุคคลรู้เกี่ยวกับลักษณะความสามารถทางปัญญาของตนเองในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์<br>• ความรู้เชิงกระบวนการ หมายถึง สิ่งที่บุคคลรู้เกี่ยวกับวิธีหรือแนวทางการดำเนินการในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์<br>• ความรู้เชิงเงื่อนไข หมายถึง สิ่งที่บุคคลรู้เกี่ยวกับสถานการณ์ที่ควรใช้ความรู้เชิงปัจจัยและความรู้เชิงกระบวนการในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ | | | | | |
| 5 | ฉันตัดสินได้ดีว่าตัวเองแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ได้ดีแค่ไหน | I am a good judge of how well I solve physics problems. | 1.0 | 1.0 | |
| 6 | เมื่อฉันแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ฉันรู้ตัวเองดีว่าฉันจะแก้โจทย์ปัญหาอย่างไรให้ดีที่สุด | When solving physics problems, I know how I work best. | 1.0 | 1.0 | |

| ที่ | ข้อคำถามที่แปล | ข้อคำถามจากต้นฉบับ | IOC | ความสอดคล้องกับต้นฉบับ | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | เมื่อฉันแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ฉันมีจุดประสงค์หรือเหตุผลว่าเพราะเหตุใดจึงใช้วิธีการนั้น ๆ ในการแก้โจทย์ปัญหา | When solving physics problems, I have specific purpose for each strategy I use. | 1.0 | 1.0 | - เปลี่ยนจาก “วิธีการ” เป็น “กลยุทธ์” |
| 11 | เมื่อฉันแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ฉันรู้ว่าจะใช้วิธีการนั้น ๆ อย่างไรในการแก้โจทย์ปัญหาให้สำเร็จ | When solving a physics problem, I know how to apply a strategy to successfully solve the problem. | 1.0 | 1.0 | - เปลี่ยนจาก “วิธีการ” เป็น “กลยุทธ์” |
| 12 | เมื่อฉันแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ฉันรู้ว่าเพราะเหตุใดฉันจึงใช้วิธีการนั้น ๆ ในการแก้โจทย์ปัญหา | When solving a physics problem, I know why I’m using a particular strategy. | .8 | .8 | - เปลี่ยนจาก “วิธีการ” เป็น “กลยุทธ์” |
| 13 | เมื่อฉันแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ฉันรู้ว่าเมื่อไหร่จึงจะใช้วิธีการนั้น ๆ ในการแก้โจทย์ปัญหา | When solving a physics problem, I know when to use a particular strategy. | 1.0 | 1.0 | - เปลี่ยนจาก “วิธีการ” เป็น “กลยุทธ์” |
| **องค์ประกอบที่ 2 การจัดการข้อมูล**<br>หมายถึง การใช้กลยุทธ์ในการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปอย่างง่าย เพื่อช่วยให้สามารถแก้โจทย์ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น | | | | | |
| 4 | ฉันวาดแผนภาพวัตถุอิสระเพื่อช่วยในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ | I draw free-body diagrams to help me solve physics problems. | 1.0 | 1.0 | |
| 10 | ฉันใช้แผนภาพวัตถุอิสระเพื่อช่วยในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ | I use free-body diagrams to help me solve physics problems. | 1.0 | 1.0 | |

| ที่ | ข้อคำถามที่แปล | ข้อคำถามจากต้นฉบับ | IOC | ความสอดคล้องกับต้นฉบับ | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|---|---|
| 18 | ฉันรู้ว่าเพราะเหตุใดแผนภาพวัตถุอิสระจึงมีความสำคัญต่อการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ | I know why free-body diagrams are important for physics problem solving. | 1.0 | 1.0 | |
| 23 | ฉันวาดแผนภาพวัตถุอิสระสำหรับโจทย์ปัญหาฟิสิกส์ที่ฉันกำลังลงมือแก้โจทย์ปัญหา | I draw free-body diagrams for the physics problems I am solving. | .8 | .8 | |
| **องค์ประกอบที่ 3 การกำกับติดตาม**<br>หมายถึง การตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของตนเองอย่างเป็นระยะ | | | | | |
| 2 | ขณะที่ลงมือแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ฉันจะถามตัวเองเป็นระยะ ๆ ว่า ฉันกำลังแก้โจทย์ปัญหาตามเป้าหมายที่ตั้งไว้หรือไม่ | While solving a physics problem, I ask myself periodically if I am meeting my goals. | 1.0 | 1.0 | |
| 15 | ขณะที่ลงมือแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ฉันจะถามตัวเองว่า ฉันกำลังแก้โจทย์ปัญหาได้เป็นอย่างไรบ้าง | While solving a physics problem, I ask myself questions about how well I am doing. | 1.0 | .8 | - เปลี่ยนเป็น “ได้ดีเพียงพอหรือยัง” |
| 16 | ขณะที่ลงมือแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ฉันจะประเมินตัวเองเป็นระยะ ๆ ว่า ฉันแก้โจทย์ปัญหาได้ดีแค่ไหน | While solving a physics problem, I periodically evaluate how well I am doing. | .8 | .6 | - เปลี่ยนเป็น “ฉันจะประเมินความถูกต้องในการแก้โจทย์ปัญหาอยู่เป็นระยะ ๆ” |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| ที่ | ข้อคำถามที่แปล | ข้อคำถามจากต้นฉบับ | IOC | ความสอดคล้องกับต้นฉบับ | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|---|---|
| 21 | ขณะที่ลงมือแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ฉันถามตัวเองว่า ฉันกำลังแก้โจทย์ปัญหาตามเป้าหมายได้สำเร็จหรือไม่ | While solving a physics problem, I ask myself if I am meeting my goals. | 1.0 | 1.0 | - เปลี่ยนเป็น “ฉันกำลังแก้โจทย์ปัญหาได้สอดคล้องกับสิ่งที่ต้องการหาคำตอบหรือไม่” |
| **องค์ประกอบที่ 4 การประเมิน**<br>หมายถึง การตรวจสอบความถูกต้องของภาพรวมและผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ | | | | | |
| 8 | หลังแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เสร็จสิ้น ฉันจะย้อนกลับไปตรวจวิธีการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ | I go back and check my work after solving a physics problem. | .8 | .8 | - เปลี่ยนเป็น “เสร็จแล้ว” |
| 9 | หลังแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เสร็จสิ้น ฉันจะตรวจคำตอบอีกครั้ง | After solving a physics problem, I double check my answer. | 1.0 | 1.0 | - เปลี่ยนเป็น “เสร็จแล้ว” |
| 17 | หลังแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เสร็จสิ้น ฉันจะย้อนกลับไปดูว่าตนเองทำตามวิธีการได้ถูกต้องหรือไม่ | After solving a physics problem, I look back to see if I did the correct procedures. | 1.0 | 1.0 | - เปลี่ยนเป็น “เสร็จแล้ว”<br>- เปลี่ยนเป็น “ฉันจะตรวจสอบว่าตนเองทำตามวิธีการได้ถูกต้องหรือไม่” |
| 25 | หลังแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เสร็จสิ้น ฉันจะย้อนกลับไปดูโจทย์ปัญหานั้นอีกครั้ง เพื่อดูว่าคำตอบที่ได้นั้นสมเหตุสมผลหรือไม่ | After solving a physics problem, I look back at the problem to see if my answer make sense. | 1.0 | 1.0 | - เปลี่ยนเป็น “เสร็จแล้ว”<br>- เปลี่ยนเป็น “ฉันจะตรวจสอบคำตอบกับโจทย์ปัญหานั้นอีกครั้งเพื่อดูว่ามีความสมเหตุสมผลหรือไม่” |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| ที่ | ข้อคำถามที่แปล | ข้อคำถามจากต้นฉบับ | IOC | ความสอดคล้องกับต้นฉบับ | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|---|---|
| **องค์ประกอบที่ 5 การแก้ไขข้อผิดพลาด**<br>หมายถึง การใช้กลยุทธ์สำหรับการแก้ไขข้อผิดพลาดในการแก้โจทย์ปัญหาให้ถูกต้อง | | | | | |
| 3 | ฉันขอความช่วยเหลือเมื่อฉันไม่เข้าใจโจทย์ปัญหาฟิสิกส์ | I ask for help when I don't understand a physics problem. | .8 | .8 | |
| 22 | ฉันขอความช่วยเหลือเมื่อฉันไม่เข้าใจโจทย์ปัญหาฟิสิกส์ที่ฉันกำลังลงมือแก้โจทย์ปัญหา | I seek help when I don't understand the physics problems that I am solving. | .8 | .8 | - เปลี่ยนจาก "ขอความช่วยเหลือ" เป็น "ค้นคว้าเพิ่มเติม" |
| 26 | ฉันเปลี่ยนวิธีการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เมื่อฉันไม่สามารถแก้โจทย์ปัญหานั้นได้ | I change strategies when I fail to solve a physics problem. | 1.0 | 1.0 | - เปลี่ยนจาก "วิธีการ" เป็น "กลยุทธ์" |
| **องค์ประกอบที่ 6 การวางแผน**<br>หมายถึง การกำหนดขั้นตอนและกลวิธีในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ก่อนเริ่มแก้โจทย์ปัญหา | | | | | |
| 1 | ฉันพิจารณาสิ่งที่โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ถามก่อนที่จะเริ่มลงมือแก้โจทย์ปัญหานั้น | I think about what a physics problem is asking before I begin to solve it. | 1.0 | 1.0 | |
| 14 | ก่อนเริ่มลงมือแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ฉันจะพิจารณาและประเมินว่าคำตอบที่สมเหตุสมผลหรือเป็นไปได้นั้นควรเป็นอย่างไร | Before solving a physics problem, I think about what a reasonable value for the answer would be. | .8 | .8 | - ตัดคำว่า "และประเมิน" ออก |
| 19 | ก่อนลงมือแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ฉันวางแผนว่าฉันจะแก้โจทย์ปัญหานั้นอย่างไร | Before I start solving a physics problem, I plan out how I'm going to solve it. | 1.0 | 1.0 | |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

| ที่ | ข้อคำถามที่แปล | ข้อคำถามจากต้นฉบับ | IOC | ความสอดคล้องกับต้นฉบับ | ข้อเสนอแนะ |
|---|---|---|---|---|---|
| 20 | ก่อนลงมือแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ฉันจะระบุข้อมูลสำคัญทุกอย่างตามที่โจทย์ปัญหากำหนดให้ | Before solving a physics problem, I identify all the important parts of the problem. | 1.0 | 1.0 | |
| 24 | ก่อนลงมือแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ฉันจะตัดข้อมูลที่ไม่จำเป็นตามที่โจทย์ปัญหากำหนดให้ออกไป | Before solving a physics problem, I eliminate information in the problem that I don't need. | 1.0 | 1.0 | - เปลี่ยนจาก "ตามที่โจทย์ปัญหา" เป็น "ต่อการแก้โจทย์ปัญหา" |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| **ชื่อ-สกุล** | นายธันยบูรณ์ ธัญลักษณ์มะระ |
| **วัน เดือน ปี เกิด** | 26 มีนาคม 2539 |
| **สถานที่เกิด** | กรุงเทพมหานคร |
| **วุฒิการศึกษา** | 1) ครุศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับสอง) สาขาวิชามัธยมศึกษา วิชาเอกฟิสิกส์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ปีที่สำเร็จการศึกษา: 2562)<br>2) ศิลปศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับหนึ่ง) สาขาวิชาภาษาไทย วิชาเอกภาษาไทย ภาควิชาภาษาไทยและภาษาตะวันออก คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง (ปีที่สำเร็จการศึกษา: 2562) |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY