ผลของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

EFFECTS OF CONSTRUCTIVIST LEARNING METHOD WITH VISUAL THINKING STRATEGY AND HELLER AND HELLER LOGICAL PHYSICS PROBLEM SOLVING STRATEGY OF ELEVENTH GRADE STUDENTS

ณัฐพร ทองพันธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2566

ผลของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ณัฐพร ทองพันธ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการทางการศึกษาและการจัดการเรียนรู้
คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

EFFECTS OF CONSTRUCTIVIST LEARNING METHOD WITH VISUAL THINKING STRATEGY AND HELLER AND HELLER LOGICAL PHYSICS PROBLEM SOLVING STRATEGY OF ELEVENTH GRADE STUDENTS

NATTAPORN TONGPUN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of MASTER OF EDUCATION

(Educational Science & Learning Management)

Faculty of Education, Srinakharinwirot University

2023

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ผลของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ของ

ณัฐพร ทองพันธ์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการทางการศึกษาและการจัดการเรียนรู้
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันเพ็ญ ประทุมทอง)

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประสาท เนืองเฉลิม)

..... ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกริก ศักดิ์สุภาพ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธาวัลย์ หาญขจรสุข)

ชื่อเรื่อง	ผลของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
ผู้วิจัย	ณัฐพร ทองพันธ์
ปริญญา	การศึกษามหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2566
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันเพ็ญ ประทุมทอง
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกริก ศักดิ์สุภาพ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการทดลองเบื้องต้น มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เปรียบเทียบมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ก่อนเรียนและหลังเรียนและเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 60 2) เปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ก่อนเรียนและหลังเรียนและเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 60 และ 3) เปรียบเทียบความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์กับเกณฑ์ระดับมาก แบบแผนที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ แบบแผนการทดลองแบบกลุ่มเดียวทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน และแบบแผนการทดลองแบบกลุ่มเดียวทดสอบเฉพาะหลังเรียน กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 43 คน ซึ่งได้จากการสุ่มแบบแบ่งกลุ่ม เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 1) แผนการจัดการเรียนรู้ 2) แบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ 3) แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ และ 4) แบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน ได้แก่ การทดสอบทีแบบกลุ่มตัวอย่างไม่เป็นอิสระจากกันและการทดสอบทีแบบหนึ่งกลุ่มเทียบกับเกณฑ์ ผลวิจัยพบว่า 1) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์มีมโนทัศน์ฟิสิกส์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนและสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 2) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์มีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนและสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 3) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์มีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้อยู่ในระดับมากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

คำสำคัญ : การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดคอนสตรัคติวิสต์, กลวิธีการคิดเป็นภาพ, กลวิธีแก้ปัญหาเชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์, มโนทัศน์ฟิสิกส์, ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

Title	EFFECTS OF CONSTRUCTIVIST LEARNING METHOD WITH VISUAL THINKING STRATEGY AND HELLER AND HELLER LOGICAL PHYSICS PROBLEM SOLVING STRATEGY OF ELEVENTH GRADE STUDENTS
Author	NATTAPORN TONGPUN
Degree	MASTER OF EDUCATION
Academic Year	2023
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr Wanphen Pratoomtong
Co Advisor	Assistant Professor Dr Krirk Saksupub

This research used a pre-experimental design. The purposes of the research are as follows: (1) to compare the pretest and posttest results involving the physics concept of students who learned through constructivist learning method with visual thinking strategy and the Heller and Heller logical physics problem-solving strategy and according to the criterion of 60%; (2) to compare the pretest and posttest results involving physics problem-solving ability of students who learned through constructivist learning method with visual thinking strategy and Heller and Heller logical physics problem-solving strategy and according to the criterion of 60%; and (3) to compare satisfaction of students who learned through constructivist learning method with visual thinking strategy and Heller and Heller logical physics problem-solving strategy with the criterion of high level. The samples of the research included 43 eleventh grade students in the first semester of the 2023 academic year. The research instruments consisted of the following: (1) lesson plans; (2) a physics concept test; (3) a physics problem-solving test; and (4) a learning management satisfaction questionnaire. The hypotheses tested by using a t-test for dependent samples and t-test for one sample. The results of the research were as follows: (1) students who learned through constructivist learning method with visual thinking strategy and Heller and Heller logical physics problem-solving strategy had physics concept higher than before the instruction and higher than the 60% of the criterion at a .05 level of significance; (2) students who learned through constructivist learning method with visual thinking strategy and Heller and Heller logical physics problem-solving strategy had physics problem-solving ability higher than before the instruction and higher than the 60% of the criterion at a .05 level of significance; and (3) students who learned through constructivist learning method with visual thinking strategy and Heller and Heller logical physics problem-solving strategy had the satisfaction towards instruction at a high level with the criterion at a .05 level of significance.

Keyword : Constructivist, Visual thinking, Heller and Heller strategy, Physics concept, Physics problem solving

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความกรุณายิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันเพ็ญ ประทุมทอง และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกริก ศักดิ์สุภาพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะ สละเวลาในการช่วยเหลือ แก้ไขข้อบกพร่องอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ประสาท เนืองเฉลิม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธาวัลย์ หาญขจรสุข ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์และให้คำแนะนำเพิ่มเติมที่ทำให้ปริญญานิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพงษ์ แสงประดิษฐ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชนินันท์ พฤกษ์ประมูล อาจารย์นัทชาริน อาษาธง และอาจารย์พีระพล ชินรัตน์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นอย่างสูงในการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวิจัย

ขอขอบพระคุณคณะผู้บริหาร คณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร(ฝ่ายมัธยม) ที่ให้ความอนุเคราะห์ ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนเป็นอย่างดีในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอขอบใจนักเรียนโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร(ฝ่ายมัธยม) ที่ให้ความร่วมมือในการดำเนินการวิจัยเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ สนับสนุน คอยดูแลให้ความช่วยเหลือทุกอย่างเสมอมา ทำให้ผู้วิจัยมีพลังกายพลังใจเต็มเปี่ยมและสามารถข้ามผ่านทุกอุปสรรคจนประสบความสำเร็จได้ด้วยดี

ณัฐพร ทองพันธ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฐ

สารบัญรูปภาพ ..... ณ

บทที่ 1 บทนำ 1

ภูมิหลัง 1

ความมุ่งหมายของการวิจัย 4

ความสำคัญของการวิจัย 5

ขอบเขตการวิจัย 5

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย 5

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย 6

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย 6

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย 6

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา 6

นิยามศัพท์เฉพาะ 7

กรอบแนวคิดในการวิจัย 14

สมมติฐานการวิจัย 15

บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม 17

1. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ . 19

1.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ (Constructivism) . 19
1.2 หลักการของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์..... 20
1.3 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์..... 22
1.4. บทบาทของครูและนักเรียนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์..... 28
1.5. ข้อดีและข้อจำกัดของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์..... 31
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์..... 33
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลวิธีการคิดเป็นภาพ (Visual thinking)..... 36
2.1 ความหมายของกลวิธีการคิดเป็นภาพ..... 36
2.2 หลักการของกลวิธีการคิดเป็นภาพ..... 37
2.3 ข้อดีของกลวิธีการคิดเป็นภาพ..... 41
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลวิธีการคิดเป็นภาพ..... 41
3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์..... 43
3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการแก้โจทย์ปัญหา..... 43
3.2 ความหมายของการแก้โจทย์ปัญหา 44
3.3 ขั้นตอนในการแก้โจทย์ปัญหา 46
3.4 กลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ 51
3.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ 56
4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์..... 59
4.1 ความหมายของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์..... 59

4.2 ขั้นตอนการสอนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ 59

4.3 บทบาทครูและบทบาทนักเรียนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ 62

5. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมโนทัศน์ฟิสิกส์ 66

5.1 ความหมายของมโนทัศน์ฟิสิกส์ 66

5.2 ประเภทของมโนทัศน์ฟิสิกส์ 67

5.3 ความสำคัญของมโนทัศน์ฟิสิกส์ 68

5.4 แนวทางการวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ 69

5.5 แนวทางการพัฒนามโนทัศน์ฟิสิกส์ 78

5.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมโนทัศน์ฟิสิกส์ 78

6. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ 80

6.1 ความหมายของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ 80

6.2 แนวทางในการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ 81

6.3 แนวทางการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ 93

6.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ 93

7. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ 95

7.1 ความหมายของความพึงพอใจ 95

7.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับความพึงพอใจ 95

7.3 แนวทางการวัดความพึงพอใจ 96

7.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ 98

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 99

การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง 99

ประชากร 99
กลุ่มตัวอย่าง 99
เนื้อหา 99
ระยะเวลา 100
การกำหนดแบบแผนการวิจัย 100
การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย 101
1. แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี 102
2. แบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่นและแสงเชิงรังสี 106
3. แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี 108
4. แบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ 111
การดำเนินการทดลองและการรวบรวมข้อมูล 113
การวิเคราะห์ข้อมูล 113
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 115
1. การเปรียบเทียบมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ 116
2. การเปรียบเทียบมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์กับเกณฑ์ร้อยละ 60 116
3. การเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ 117

4. การเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์กับเกณฑ์ร้อยละ 60 118

5. การเปรียบเทียบความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ ... 119

บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 121

สรุปผลการวิจัย 122

อภิปรายผล 123

1. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์มีมโนทัศน์ฟิสิกส์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนและสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ร้อยละ 60) 123

2. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์มีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนและสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ร้อยละ 60) 127

3. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์มีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ในระดับมาก 132

ข้อเสนอแนะ 135

1. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลวิจัยไปใช้ 135

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป 136

บรรณานุกรม 137

..... 146

ภาคผนวก 146

ภาคผนวก ก รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 147

ภาคผนวก ข ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 149

ภาคผนวก ค การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ 214

ภาคผนวก ง ภาพกิจกรรมและผลงานนักเรียน..... 232

ประวัติผู้เขียน..... 237

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 แสดงการเปรียบเทียบขั้นตอนการสอนตามแนวคอนสตรัคติวิสต์..... 26

ตาราง 2 แสดงบทบาทครูและนักเรียนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์..... 29

ตาราง 3 แสดงการเปรียบเทียบขั้นตอนของการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์..... 52

ตาราง 4 แสดงบทบาทครูและนักเรียนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์..... 62

ตาราง 5 แสดงเกณฑ์การให้คะแนนแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและกฎการเคลื่อนที่..... 85

ตาราง 6 แสดงเกณฑ์การประเมินแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์..... 88

ตาราง 7 แสดงแบบแผนการวิจัยแบบ One Group Pretest – Posttest Design 100

ตาราง 8 แสดงแบบแผนการวิจัยแบบ One Group Posttest Only Design..... 101

ตาราง 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาระฟิสิกส์และผลการเรียนรู้ในแผนการจัดการเรียนรู้.... 102

ตาราง 10 แสดงเนื้อหาและแผนการจัดการเรียนรู้..... 104

ตาราง 11 วิเคราะห์แบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี..... 106

ตาราง 12 วิเคราะห์เนื้อหาแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี 109

ตาราง 13 เปรียบเทียบมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียน (n=43, df = 42) ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน..... 116

ตาราง 14 เปรียบเทียบมโนทัศน์ฟิสิกส์หลังเรียนของนักเรียน (n=43, df = 42) ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์กับเกณฑ์ร้อยละ 60 116

ตาราง 15 เปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียน (n=43, df = 42) ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน 117

ตาราง 16 เปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์หลังเรียนของนักเรียน (n=43, df = 42) ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์กับเกณฑ์ร้อยละ 60 118

ตาราง 17 ความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์..... 119

ตาราง 18 รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย 148

ตาราง 19 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแผนการจัดการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ 215

ตาราง 20 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ เรื่อง คลื่นกล แสงเชิงคลื่นและแสงเชิงรังสี 217

ตาราง 21 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง คลื่นกล แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี..... 218

ตาราง 22 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของเกณฑ์การให้คะแนนแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา เรื่อง คลื่นกล แสงเชิงคลื่นและแสงเชิงรังสี..... 223

ตาราง 23 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ 224

ตาราง 24 ค่าความยากยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี..... 225

ตาราง 25 ค่าความยากยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง คลื่นกล แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี..... 226

ตาราง 26 ค่าอำนาจจำแนก (t) ของแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ 227

ตาราง 27 คะแนนจากแบบทดสอบหลังเรียนจากเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยของกลุ่มตัวอย่างของการวิจัย 228

ตาราง 28 คะแนนจากแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ของกลุ่มตัวอย่างของการวิจัย 230

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย 15
ภาพประกอบ 2 ภาพประกอบขั้นตรวจสอบความรู้เดิม..... 24
ภาพประกอบ 3 ตัวอย่างใบงานในขั้นเน้นมโนทัศน์เป้าหมาย 24
ภาพประกอบ 4 แผนภาพแทนแรงลัพธ์จากการทดลอง..... 40
ภาพประกอบ 5 ตัวอย่างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์แบบปรนัย เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม..... 70
ภาพประกอบ 6 ตัวอย่างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์แบบสองขั้นตอน เรื่อง แสงเชิงรังสี 71
ภาพประกอบ 7 ตัวอย่างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์แบบสองขั้นตอน เรื่อง ความร้อน..... 72
ภาพประกอบ 8 ตัวอย่างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์แบบสองขั้นตอน เรื่อง การเคลื่อนที่ในสองมิติ.. 73
ภาพประกอบ 9 ตัวอย่างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์แบบสองขั้นตอนเรื่อง ความร้อน..... 74
ภาพประกอบ 10 ตัวอย่างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์แบบสามขั้นตอน เรื่อง คลื่น 76
ภาพประกอบ 11 ตัวอย่างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์แบบอัตนัย เรื่อง คลื่น..... 77
ภาพประกอบ 12 ตัวอย่างแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์แบบปรนัย 82
ภาพประกอบ 13 ตัวอย่างแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์..... 84
ภาพประกอบ 14 ตัวอย่างแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์..... 86
ภาพประกอบ 15 ตัวอย่างแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์..... 87

บทที่ 1
บทนำ

ภูมิหลัง

ฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่ง มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่สังเกตได้จากปรากฏการณ์จริงกับคำอธิบายทางทฤษฎี การค้นคว้าหาความรู้ทางฟิสิกส์ได้มาจากการสังเกต ทดลอง และเก็บรวบรวมข้อมูลมาวิเคราะห์ หรือสร้างแบบจำลองทางความคิด ทำให้สามารถค้นคว้าและแก้ปัญหาโดยใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และนำหลักการทางฟิสิกส์ไปประยุกต์ ทั้งเชิงความคิดและเชิงการปฏิบัติในด้านต่าง ๆ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560, น. 5) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากแนวโน้มการจัดการศึกษาคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ในปี 2015 (Trends in International Mathematics and Science Study หรือ TIMSS 2015) เป็นการประเมินครอบคลุมด้านเนื้อหาวิชา และด้านพฤติกรรมการเรียนรู้ ในวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะรายวิชาฟิสิกส์มีคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่าคะแนนเฉลี่ยของนานาชาติ และได้คะแนนเฉลี่ยฟิสิกส์ 430 คะแนน จากคะแนนเต็ม 1000 คะแนน ซึ่งต่ำกว่าร้อยละ 50 (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560, น. 40) นอกจากนี้คะแนนเฉลี่ยของการสอบวิชาสามัญเพื่อรองรับการรับตรงของมหาวิทยาลัยของประเทศไทยร่วมกันในรายวิชาฟิสิกส์พบว่าคะแนนเฉลี่ยระดับประเทศตั้งแต่ปีการศึกษา 2561 ถึง 2564 เท่ากับ 26.95 28.89 28.82 และ 20.91 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าคะแนนเฉลี่ยไม่ถึงร้อยละ 50 และมีแนวโน้มลดลง (สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ, 2663) จากผลการทดสอบทั้งหมดเป็นข้อสอบที่เน้นการคิดวิเคราะห์และรูปแบบของโจทย์เน้นสถานการณ์ในชีวิตจริง แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาฟิสิกส์ต้องมุ่งเน้นพัฒนาความคิดขั้นสูงของนักเรียน

เมื่อพิจารณาการจัดการเรียนสอนฟิสิกส์ในปัจจุบัน พบว่า ครูไม่สามารถออกแบบกิจกรรมการเรียนการสอนที่กระตุ้นให้นักเรียนได้ลงมือทำและพัฒนาความคิดขั้นสูง ยังคงเน้นการบรรยาย รวมถึงการให้ความสำคัญด้านกระบวนการและการศึกษากรณีตัวอย่างน้อย ซึ่งการสอนในลักษณะนี้ยังไม่สามารถทำให้ผู้เรียนเข้าใจทฤษฎีหรือปรากฏการณ์ต่าง ๆ อย่างถูกต้อง ไม่สามารถประยุกต์ใช้ความรู้ที่มีมาช่วยในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ตลอดจนไม่มีกระบวนการคิดวิเคราะห์ที่เป็นระบบสำหรับการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ จึงส่งผลให้ผู้เรียนไม่สามารถสร้างคำอธิบายในการตอบคำถามเชิงเหตุผลหรือคำตอบที่แสดงเหตุผลประกอบทำให้ผู้เรียนส่วนใหญ่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำตามไปด้วย (เอกวิทย์ ดวงแก้ว, 2558, น. 2;

พิมพ์หทัย พึ่งตาแสง, 2560, น. 2; สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560, น. 47) และจากประสบการณ์ในการสอนฟิสิกส์ พบว่าการจัดกระบวนการเรียนการสอนฟิสิกส์ที่ผ่านมายังไม่บรรลุตามวัตถุประสงค์ ดังจะเห็นได้จากผลการทดสอบประเมินผลปลายภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 มีนักเรียนที่มีคะแนนผ่านเกณฑ์การประเมินร้อยละ 60 จำนวน 12 คน จากนักเรียน 26 คนหรือคิดเป็นร้อยละ 45 ของนักเรียนทั้งหมด ในขณะที่ปีการศึกษา 2564 มีนักเรียนที่มีคะแนนผ่านเกณฑ์การประเมินร้อยละ 60 จำนวน 17 คน จากนักเรียน 35 คนหรือคิดเป็นร้อยละ 48 ของนักเรียนทั้งหมด อีกทั้งในปีการศึกษา 2565 มีนักเรียนที่มีคะแนนผ่านเกณฑ์การประเมินร้อยละ 60 จำนวน 21 คน จากนักเรียน 30 คนหรือคิดเป็นร้อยละ 70 ของนักเรียนทั้งหมด สะท้อนให้เห็นว่ายังคงมีนักเรียนที่มีคะแนนผ่านเกณฑ์การประเมินร้อยละ 60 ไม่ถึงร้อยละ 50 ในแต่ละปี เนื่องจากครูยังคงใช้วิธีการสอนแบบเดิมที่เน้นการบรรยายเป็นส่วนใหญ่ ทำให้นักเรียนไม่ได้สร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง นักเรียนขาดความเข้าใจมโนทัศน์ฟิสิกส์ ไม่สามารถเชื่อมโยงความรู้กับชีวิตประจำวันได้ นอกจากนี้จากการเก็บข้อมูลโดยใช้แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ พบว่า นักเรียนมากกว่าร้อยละ 70 ในชั้นเรียนไม่สามารถวิเคราะห์และแก้โจทย์ปัญหาได้อย่างถูกต้อง โดยเฉพาะหากเป็นโจทย์ปัญหาที่ซับซ้อน ไม่มีแผนภาพในโจทย์ปัญหา พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ที่ไม่ได้วาดแผนภาพประกอบการวิเคราะห์หรือวาดแผนภาพไม่ได้ นักเรียนมักจะเลือกใช้หลักการหรือสมการในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ไม่ถูกต้อง ทำให้ไม่สามารถแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ได้ในที่สุด ปัญหาที่สำคัญในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ คือ ในการจัดกระบวนการเรียนรู้ยังไม่มีขั้นตอนในการแก้โจทย์ปัญหาที่เป็นระบบ ทำให้นักเรียนไม่สามารถแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ นักเรียนส่วนใหญ่จึงขาดความเชื่อมั่นในตนเองและมองว่าวิชาฟิสิกส์เป็นวิชาที่ยาก ส่งผลให้การจัดการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ไม่บรรลุตามจุดมุ่งหมายของหลักสูตร ซึ่งนักเรียนส่วนใหญ่มีลักษณะที่สอดคล้องกับเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ (Heller & Heller, 2010, p. 32) ที่ได้จัดประเภทของนักเรียนตามกลยุทธ์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ แบบ Plug and Chug คือกลุ่มที่นำตัวแปรที่โจทย์กำหนดมาแทนในสมการทางฟิสิกส์ที่นักเรียนจำได้ และกลุ่ม Pattern Matching คือกลุ่มที่ฝึกฝนทำโจทย์ปัญหาจนจำรูปแบบของโจทย์ปัญหาแต่ละประเภทได้ แม้ว่านักเรียนทั้งสองกลุ่มจะสามารถแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ได้ แต่ทั้งสองกลุ่มนี้เมื่อพบเจอโจทย์ปัญหาที่ซับซ้อน มีการพลิกแพลง เป็นสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันจะไม่สามารถวิเคราะห์และแก้โจทย์ปัญหาเหล่านั้นได้ เนื่องจากนักเรียนไม่มีความเข้าใจและไม่สามารถเชื่อมโยงมโนทัศน์ฟิสิกส์มาใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาได้ ทำให้ไม่บรรลุเป้าหมายในการเรียนฟิสิกส์ในที่สุด ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการพัฒนามโนทัศน์และความสามารถในการแก้โจทย์

ปัญหาฟิสิกส์เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกันและเป็นส่วนที่ต้องได้รับการพัฒนาในการจัดการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ เนื่องจากกลุ่มนักเรียนของผู้วิจัยและเฮลเลอร์และเฮลเลอร์มีลักษณะใกล้เคียงกัน รวมไปถึงเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ได้เสนอกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ (Heller & Heller, 2010, p. 41) ซึ่งมีขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาที่ชัดเจน มีการให้ความสำคัญกับการเขียนแผนภาพแสดงสถานการณ์ที่โจทย์กำหนดให้ เน้นการประยุกต์ใช้หลักการทางฟิสิกส์มาแก้โจทย์ปัญหารวมถึงให้ความสำคัญกับกระบวนการทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีส่วนช่วยให้เกิดการขยายความรู้และเห็นแนวทางที่จะนำมาใช้ในการแก้ไขโจทย์ปัญหานั้น (ปาริฉัตร สินทรัพย์ไพบูลย์, 2562, น. 3) จึงได้นำกลวิธีแก้ปัญหาเชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์มาใช้เพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

การจัดการเรียนรู้เพื่อทำให้เกิดความเข้าใจในมโนทัศน์จำเป็นต้องอาศัยกระบวนการที่เน้นให้นักเรียนเกิดการสร้างความรู้ด้วยตนเองผ่านประสบการณ์ (พิมพ์หทัย พึ่งตาแสง, 2560, น. 3) จากการศึกษางานวิจัย รูปแบบการสอนและวิธีการสอนที่พัฒนาขึ้นเพื่อพัฒนามโนทัศน์ฟิสิกส์ พบว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ มีลักษณะที่ให้นักเรียนสร้างความรู้จากการร่วมมือกันหาคำตอบผ่านกิจกรรม โดยกระบวนการเรียนรู้เริ่มจากคำถามที่ทำให้เกิดความขัดแย้งทางปัญญา แล้วต้องการหลักฐาน แนวคิด หรือหลักการอื่น ๆ มาช่วยในการแก้ไขปัญหา ทั้งจากความรู้หรือประสบการณ์เดิมร่วมกับประสบการณ์ใหม่จนก่อให้เกิดความสร้างความรู้ (ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์, 2561, น. 74; บุญเลี้ยง ทุมทอง, 2556, น. 33; สุมาลี ชัยเจริญ, 2557, น. 133-135) ซึ่งการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ได้ถูกนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ทางฟิสิกส์ทั้งในประเทศและต่างประเทศ และได้ตีพิมพ์เป็นงานวิจัยเพื่อยืนยันถึงประสิทธิภาพของการสอนตามแนวคิดข้างต้นอย่างแพร่หลาย (İpek & Çalık, 2008; Qarareh, 2016; Yager, 1991; ธนธัญ ฝีมือสาร, 2559) แต่อย่างไรก็ตามทิศนา แขมมณี (2557, น. 95) ได้กล่าวถึงข้อจำกัดของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ในประเด็นการสร้างความรู้ด้วยตนเองของนักเรียนว่าการใช้กระบวนขยายความคิด ได้แก่ การเรียบเรียง ผสมผสาน ขยายความ และการหาความสัมพันธ์ของความรู้ใหม่กับความรู้เดิมของนักเรียนอาจจะต้องอาศัยการค้นคว้าให้ลึกซึ้งจนรู้แจ้ง ครูต้องตรวจสอบความรู้เพื่อเพิ่มเติมองค์ความรู้ให้สมบูรณ์ สอดคล้องกับวิยฉัตร พูนพิพัฒน์ (2557, น. 381) ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะสำหรับครูผู้สอนว่า ควรให้ความสำคัญกับการเลือกใช้ตัวแทนความคิดในขั้นค้นพบมโนทัศน์ ตัวแทนความคิดที่ใช้ควรมีความเหมาะสมและสอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ต้องการให้นักเรียนได้เรียนรู้เพื่อให้ความรู้ที่นักเรียนสร้างขึ้นหรือมโนทัศน์ทางเลือก (Alternative Conception) สามารถปรับมาสู่มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้

ในแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ไม่ได้มีขั้นตอนที่เป็นกระบวนการในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ที่ชัดเจน จากข้อสนับสนุนดังกล่าวจะเห็นได้ว่ากระบวนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ ในขั้นตอนที่นักเรียนสร้างความรู้ด้วยตนเองยังสามารถเติมเต็มกลวิธีที่ช่วยในการค้นพบมโนทัศน์ของนักเรียน และยังสามารถใช้กลวิธีอื่น ๆ เพื่อช่วยในการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

กระบวนการอย่างหนึ่งที่ช่วยจัดระเบียบข้อมูล ช่วยวิเคราะห์ปัญหาที่ซับซ้อนให้เข้าใจง่ายขึ้น รวมไปถึงส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ และช่วยให้การสื่อสารสะดวกและชัดเจนมากขึ้น คือ กลวิธีการคิดเป็นภาพ (Visual thinking) (Brand, 2017, p. 13; Katsumi, 2008, pp. 6-7; Roam, 2013, p. 2) ซึ่งเป็นกระบวนการออกแบบความคิดโดยใช้แผนภาพ เพื่อแก้ปัญหาที่ซับซ้อนให้ได้มาซึ่งแนวคิดที่เป็นรูปธรรม เพื่อให้เห็นความเชื่อมโยงของเรื่องราวที่ศึกษา และใช้แผนภาพในการอธิบายและสื่อสารให้ชัดเจนมากขึ้น (Roam, 2013, p. 5)จากงานวิจัยของ Yenawine (2013) ได้นำกลวิธีการคิดเป็นภาพไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาฟิสิกส์พบว่ามโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน แต่อย่างไรก็ตามปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ นักเรียนไม่สามารถสร้างแผนภาพตามที่โจทย์กำหนดได้ โดยเฉพาะในเนื้อหาเรื่องคลื่นกลและแสง ซึ่งนักเรียนส่วนใหญ่มีมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เนื่องจากเป็นสิ่งที่มองไม่เห็นเป็นรูปธรรม (Tumanggor, Supahar, Ringo, & Harliadi, 2020, p. 2) เมื่อนักเรียนวาดแผนภาพไม่ถูกต้องก็จะทำให้การวิเคราะห์และแก้โจทย์ปัญหาไม่ถูกต้อง กลวิธีการคิดเป็นภาพจึงสามารถนำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ เพื่อช่วยในกระบวนการขยายความคิดทำให้นักเรียนสร้างมโนทัศน์ได้ง่ายและสมบูรณ์มากขึ้น และใช้กลวิธีการคิดเป็นภาพในขั้นประยุกต์ความรู้ในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ในขั้นการวิเคราะห์โจทย์ปัญหา

จากสภาพปัญหาของการจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์ แนวคิด และทฤษฎี ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ในขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เพื่อพัฒนามโนทัศน์ฟิสิกส์ ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

2. เพื่อเปรียบเทียบมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์กับเกณฑ์ร้อยละ 60

3. เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

4. เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์กับเกณฑ์ร้อยละ 60

5. เพื่อเปรียบเทียบความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์กับเกณฑ์ระดับมาก

ความสำคัญของการวิจัย

ผลการวิจัยครั้งนี้ ทำให้ทราบถึงผลของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ที่มีผลต่อมโนทัศน์ฟิสิกส์ และความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 นอกจากนี้ยังทำให้ครู นักวิจัย หรือผู้ที่สนใจได้แนวทางในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ไปออกแบบกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ หรือนำแนวทางดังกล่าวไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนามโนทัศน์ฟิสิกส์ และความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ขอบเขตการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 วิชาเอกวิศวกรรม ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม) จำนวน 3 ห้องเรียน ซึ่งมีนักเรียนจำนวน 105 คน ที่จัดแบบคละความสามารถ

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 วิชาเอกวิศวกรรม ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม) ได้จากการสุ่มแบบกลุ่ม (cluster random sampling) โดยใช้ห้องเรียนเป็นหน่วยการสุ่ม จำนวน 1 ห้องเรียน จำนวน 43 คน

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อหาในการวิจัย เป็นเนื้อหาในหนังสือแบบเรียนรายวิชาฟิสิกส์วิศวกรรม 3 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง 2560) เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่นและแสงเชิงรังสี โดยมีหัวข้อดังนี้ ธรรมชาติของคลื่น อัตราเร็วของคลื่น หลักการที่เกี่ยวกับคลื่น พฤติกรรมของคลื่น การแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ การเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว การเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติง การสะท้อนและการหักเหของแสง การมองเห็นและการเกิดภาพ และภาพจากเลนส์บางและกระจกเงาทรงกลม

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

การดำเนินการทดลองเป็นช่วงภาคเรียนที่ 1 ของปีการศึกษา 2566 ใช้เวลาในการทดลองรวมเวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบทั้งหมด 35 คาบ คาบละ 45 นาที แบ่งเป็นคาบเรียนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ จำนวน 30 คาบ และคาบในการทำแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์และแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ก่อนเรียน 2 คาบและคาบในการทำแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์หลังเรียนและแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ 3 คาบ

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

ตัวแปรต้น

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

ตัวแปรตาม

1. มโนทัศน์ฟิสิกส์
2. ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์
3. ความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. **การจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์** หมายถึง กระบวนการที่ให้นักเรียนสร้างความรู้ด้วยตนเองจากการร่วมมือกันแก้ปัญหา โดยกระบวนการเรียนรู้เริ่มจากปัญหาที่ทำให้เกิดความขัดแย้งทางปัญญา แล้วต้องการหลักฐาน แนวคิด หรือหลักการอื่น ๆ มาช่วยในการแก้ไขปัญหาทั้งจากความรู้หรือประสบการณ์เดิม ร่วมกับประสบการณ์ใหม่จนทำให้เกิดการสร้างความรู้ ครูเป็นผู้ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกโดยให้คำแนะนำทางด้านเนื้อหาและด้านสังคม นักเรียนมีบทบาทในการเรียนรู้อย่างเต็มที่โดยนักเรียนจะนำตนเองและควบคุมตนเองในการเรียนรู้ การประเมินผลจำเป็นต้องเป็นการประเมินวัตถุประสงค์ในลักษณะที่ยืดหยุ่นสำหรับแต่ละบุคคล โดยมีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์เป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นกระตุ้นความสนใจ (Engagement) หมายถึง ขั้นกระตุ้นความสนใจโดยใช้คำถามหรือปัญหาที่นักเรียนไม่สามารถใช้ความรู้เดิมในการตอบคำถามหรือแก้ปัญหาได้ โดยยกตัวอย่างปัญหาหรือสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับบทเรียนหรือสอดคล้องกับชีวิตประจำวัน เพื่อให้นักเรียนได้อธิบายมโนทัศน์ใหม่โดยไม่บอกคำตอบของคำถาม

ขั้นที่ 2 ขั้นสำรวจ (Exploration) หมายถึง ขั้นปฏิบัติกิจกรรมกลุ่ม เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงความรู้เดิมกับประสบการณ์ใหม่ โดยนักเรียนลงมือทำกิจกรรมแบบกลุ่มย่อยตามที่ครูกำหนดและมอบหมายให้ โดยเน้นให้นักเรียนมีการอภิปรายร่วมกัน และครูมีหน้าที่เฝ้าสังเกตและส่งเสริมให้นักเรียนจดจ่อกับกิจกรรมที่กำหนด แต่ยังไม่บอกคำตอบของกิจกรรม

ขั้นที่ 3 ขั้นนำเสนอมโนทัศน์ (Proposing concept) หมายถึง ขั้นตรวจสอบความถูกต้องของมโนทัศน์และความเข้าใจที่นักเรียนได้จากการร่วมกันอภิปรายในกลุ่มจากกิจกรรม โดยนักเรียนต้องนำเสนอผลที่ได้จากการอภิปรายร่วมกันในกลุ่ม แสดงผลของมโนทัศน์และร่วมกันอธิบายมโนทัศน์ ครูจะนำอภิปรายโดยใช้คำถามเพื่อตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียน โดยครูชี้แนะให้เห็นถึงคำตอบที่เหมาะสมและร่วมกันลงข้อสรุปที่ได้จากการค้นพบ จากนั้นครูเชื่อมโยงความรู้ที่ค้นพบกับความรู้เดิมของนักเรียน

ขั้นที่ 4 ขั้นการประยุกต์ความรู้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา (Applying newly constructed ideas to physics problem solving) หมายถึง ขั้นนำมโนทัศน์ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ โดยนักเรียนจะต้องนำมโนทัศน์ที่ถูกต้องไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

ขั้นที่ 5 ขั้นนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน (Applying newly constructed ideas to daily life) หมายถึง ขั้นนำมโนทัศน์ไปประยุกต์ในสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน โดยให้นักเรียนได้นำความรู้ไปใช้ในการอธิบายสถานการณ์อื่น ๆ

2. **กลวิธีการคิดเป็นภาพ** (Visual thinking) หมายถึง กระบวนการออกแบบความคิดโดยใช้แผนภาพ เพื่อแก้ปัญหาที่ซับซ้อน ให้ได้มาซึ่งแนวคิดที่เป็นรูปธรรม เพื่อให้เห็นความเชื่อมโยงของเรื่องราวที่ศึกษา และใช้แผนภาพหรือวลีในการอธิบายและสื่อสารให้ชัดเจนมากขึ้น เนื่องจากหลักการนี้เป็นหลักการที่ส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนโดยใช้ภาพ และทำให้นักเรียนสามารถสื่อสารและแสดงให้เห็นความเชื่อมโยงของเรื่องราวได้อย่างชัดเจน โดยกลวิธีการคิดเป็นภาพมี 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 การดู (Look) เป็นกระบวนการรวบรวมและประเมินข้อมูลเกี่ยวกับภาพอย่างคร่าว ๆ การดูเกี่ยวข้องกับการกวาดตามอง ช่วยให้มองเห็นภาพรวม ในขณะเดียวกันก็ตั้งคำถามอย่างรวดเร็ว เพื่อช่วยให้สมองประเมินเบื้องต้นว่าสิ่งที่อยู่ตรงหน้าคืออะไร โดยมีหลักเบื้องต้น ได้แก่ เก็บรายละเอียดให้มากที่สุด กำหนดระบบความสัมพันธ์ของตัวแปรพื้นฐานและเรียงลำดับความสำคัญของภาพ

ขั้นที่ 2 การเห็น (See) เป็นกระบวนการการคัดเลือกและจัดหมวดหมู่ โดยคัดเลือกข้อมูลที่สำคัญเพื่อศึกษาต่อ โดยอาศัยความสามารถพื้นฐานเกี่ยวกับการจดจำรูปแบบต่าง ๆ มีวิธีการเห็น 6 วิธี ได้แก่ เห็นใคร (Who) และอะไร (What) เห็นปริมาณเท่าใด (How many, How much) เห็นตำแหน่ง ที่ไหน (Where) เห็นตำแหน่งของเวลาเมื่อไร (When) เห็นผลกระทบและความสัมพันธ์ระหว่างเหตุกับผลอย่างไร (How) เห็นทุกอย่างและรู้ว่ามีบางอย่างเกิดขึ้นทำไม (Why)

ขั้นที่ 3 การจินตนาการ (Imagine) เป็นขั้นตอนที่ผสานข้อมูลต่าง ๆ เข้าด้วยกัน โดยใช้หลักการ SQVID คือ การกระตุ้นให้สมองทำงานเกี่ยวกับภาพอย่างเต็มที่ เป็นการทบทวนแนวคิดผ่าน 5 คำถาม โดยใช้ภาพอธิบายแนวคิดแต่ละฝั่งของคำถาม ซึ่งก็คือการบังคับให้ดวงตาที่อยู่ในความคิดได้สร้างสรรค์ภาพที่มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 10 ภาพ โดย S มาจากคำว่า Simple (ง่าย) กับ Elaborate (ขยายความ) Q มาจากคำว่า Quality (เชิงคุณภาพ) กับ Quantity (เชิงปริมาณ) V มาจากคำว่า Vision (วิสัยทัศน์) กับ Execution (ปฏิบัติการ) I มาจาก Individual attributes (เอกเทศ) กับ Comparison (เปรียบเทียบ) และ D มาจากคำว่า Delta (เปลี่ยนแปลง) กับ Status quo (คงเดิม)

ขั้นที่ 4 การแสดงออก (Show) เป็นขั้นตอนที่การนำเสนอให้กระจ่างชัด โดยเริ่มต้นจากการสรุปสิ่งที่เห็น ค้นหาวิธีที่จะนำเสนอแนวคิดอย่างเป็นรูปธรรม บันทึกแนวคิดลงบนกระดาษชี้ให้เห็นถึงสิ่งที่อยู่ในจินตนาการ การนำเสนอต้องครอบคลุมคำถามหลัก 6 ประการ (6W) ดังนี้ ใครหรืออะไร แสดงด้วย ภาพเค้าโครง เท่าใด แสดงด้วย ภาพแผนภูมิ ที่ไหน แสดงด้วย ภาพแผนที่

เมื่อไร แสดงด้วย ภาพแผนผังแสดงขั้นตอนและระยะเวลา อย่างไร แสดงด้วย ภาพผังงาน ทำไม แสดงด้วย ภาพกราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปร

3. **กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์** หมายถึง กระบวนการคิดที่ต้องแก้ไขข้อความสถานการณ์ที่ประกอบด้วยภาษาและตัวเลข โดยต้องอาศัยความเข้าใจในโจทย์ มีขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาที่ชัดเจน มีการให้ความสำคัญกับการเขียนแผนภาพแสดง สถานการณ์ที่โจทย์กำหนด ประยุกต์ใช้หลักการฟิสิกส์มาใช้ในการวิเคราะห์แนวทางในการแก้โจทย์ปัญหา และให้ความสำคัญกับกระบวนการทางคณิตศาสตร์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 พิจารณาปัญหา (Focus on the problem) เป็นขั้นตอนการสร้างแผนภาพจากโจทย์ปัญหา โดยมีขั้นตอนย่อย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) วาดภาพแสดงสถานการณ์ โดยวาดภาพที่เกี่ยวข้องกับวัตถุ เช่น วัตถุมีการเคลื่อนที่อย่างไร และเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป ระบุข้อมูลหรือตัวแปรที่ทราบจากโจทย์ปัญหาและระบุตัวแปรที่ต้องการทราบกำกับลงในรูปภาพ

2) ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนด เช่น จงหาระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้โดยไม่คำนึงถึงแรงเสียดทาน

3) ระบุหลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เช่น จลนศาสตร์ กฎของนิวตัน กฎการอนุรักษ์พลังงาน

ขั้นที่ 2 อธิบายปัญหาในเชิงฟิสิกส์ (Describe the physics) เป็นขั้นตอนการเขียนแผนภาพทางฟิสิกส์ (Free body diagram) มีขั้นตอนย่อย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) วาดแผนภาพในระบบอ้างอิงที่กำหนดตามหลักการทางฟิสิกส์ เช่น กำหนดให้ทิศทางขวาของระบบเป็นเครื่องหมาย + และทิศทางซ้ายของระบบเป็นทิศทาง – และกำหนดนิยามตัวแปรและสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้โจทย์ปัญหา

2) ระบุปริมาณที่เป็นเวกเตอร์ลงในแผนภาพพร้อมทั้งระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดในรูปของตัวแปร และระบุตัวแปรที่ต้องการทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น

3) ระบุสมการหรือหลักการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา

ขั้นที่ 3 วางแผนแก้ปัญหา (Plan the solution) เป็นขั้นตอนการนำความสัมพันธ์จากการอธิบายปัญหาในเชิงฟิสิกส์ในขั้นตอนที่ผ่านมา ไปสร้างเป็นสมการในการแก้โจทย์ปัญหา โดยมีขั้นตอนย่อย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) เขียนสมการที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า

2) พิจารณาว่าแต่ละสมการที่เลือกมาเพียงพอต่อการหาคำตอบของตัวแปรที่ไม่ทราบค่าหรือไม่ โดยเปรียบเทียบจำนวนสมการที่ใช้กับจำนวนตัวแปรที่ไม่ทราบค่า เช่น ต้องการคำตอบของตัวแปร 2 ตัว ต้องมีสมการอย่างน้อย 2 สมการ เป็นต้น

3) วางแผนแนวทางในการแก้โจทย์ปัญหาในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์

ขั้นที่ 4 ดำเนินการตามแผน (Execute the plan) เป็นขั้นตอนการแทนค่าตัวแปรด้วยตัวเลขลงในสมการ โดยต้องตรวจสอบหน่วยของตัวแปรแต่ละตัวก่อนแทนค่าลงในสมการแล้วจึงคำนวณค่าตัวแปรที่ต้องการหาคำตอบโดยใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์

ขั้นที่ 5 ตรวจสอบคำตอบ (Evaluate the answer) เป็นขั้นที่ต้องตรวจสอบว่าคำตอบที่ได้มีความสอดคล้องและสมเหตุสมผลหรือไม่ โดยใช้คำถาม 3 ข้อ ดังนี้

1) คำตอบที่ได้มีหน่วยเหมาะสมและสอดคล้องกับสิ่งที่โจทย์ต้องการหรือไม่

2) คำตอบที่ได้มีความสมเหตุสมผลหรือไม่

3) คำตอบที่ได้มีความครบถ้วนสมบูรณ์หรือไม่

4. **การจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์** หมายถึง กระบวนการที่มุ่งพัฒนาให้นักเรียนได้สร้างความรู้ด้วยตนเองโดยใช้กลวิธีคิดเป็นภาพ และประยุกต์ใช้มโนทัศน์ที่ค้นพบในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์โดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ โดยกระตุ้นความสนใจ และจัดกิจกรรมให้นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กันผ่านการทำงานเป็นกลุ่ม ให้นักเรียนแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันและเกิดการเชื่อมโยงความรู้เดิมกับประสบการณ์ใหม่โดยใช้กลวิธีการคิดเป็นภาพในขั้นสำรวจและใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ในขั้นตอนการประยุกต์ความรู้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา และใช้กลวิธีการคิดเป็นภาพในขั้นตอนการประยุกต์ความรู้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา โดยใช้ขั้นตอนการเห็นและการดูในขั้นพิจารณาปัญหา โดยมีขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นกระตุ้นความสนใจ (Engagement) เป็นขั้นกระตุ้นความสนใจ โดยใช้คำถามหรือปัญหาที่นักเรียนไม่สามารถใช้ความรู้เดิมในการตอบคำถามหรือแก้ปัญหาได้ โดยครูจะใช้คำถาม ยกตัวอย่างปัญหาหรือสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับบทเรียนหรือสอดคล้องกับชีวิตประจำวันเพื่อให้นักเรียนได้อธิบายมโนทัศน์ใหม่โดยไม่บอกคำตอบของคำถาม

ขั้นที่ 2 ขั้นสำรวจเป็นภาพ (Exploration with Visual thinking strategy) เป็นขั้นปฏิบัติกิจกรรมกลุ่ม เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงความรู้เดิมกับประสบการณ์ใหม่ และสร้างมโนทัศน์โดยใช้กลวิธีการคิดเป็นภาพ โดยนักเรียนลงมือทำกิจกรรมแบบกลุ่มย่อยตามที่ครูกำหนดและ

มอบหมายให้ ครูมีหน้าที่เฝ้าสังเกตและส่งเสริมให้นักเรียนจดจ่อกับกิจกรรมที่กำหนด แต่ยังไม่บอกคำตอบของกิจกรรม โดยเน้นให้นักเรียนมีการอภิปรายร่วมกันตามกลวิธีการคิดเป็นภาพ 4 ขั้นตอนย่อย คือ

1) การดู (Look)คือ กระบวนการรวบรวมและประเมินข้อมูลเกี่ยวกับภาพรวมของกิจกรรมอย่างคร่าว ๆ

2) การเห็น (See) คือ การคัดเลือกและจัดหมวดหมู่ของข้อมูลจากกิจกรรม โดยครูให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายโดยใช้คำถาม 6 คำถาม ได้แก่ นักเรียนเห็นใคร (Who) หรืออะไร (What) ในกิจกรรม นักเรียนเห็นปริมาณที่เกิดขึ้นเท่าใด (How many, How much) นักเรียนเห็นการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นที่ตำแหน่งใด (Where) นักเรียนเห็นการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเมื่อใด (When) นักเรียนเห็นผลกระทบและความสัมพันธ์ระหว่างเหตุกับผลอย่างไร (How) นักเรียนคิดว่าเหตุผลของการเกิดสถานการณ์นั้นคืออะไร (Why)

3) การจินตนาการ (Imagine) คือ การผสานข้อมูลต่าง ๆ ในกิจกรรมเข้าด้วยกัน โดยใช้หลักการ SQVID คือ นักเรียนจะต้องพิจารณาข้อมูลที่ได้จากกิจกรรมแล้วระบุว่าข้อมูลนั้นเป็นข้อมูลแบบใด โดยการเลือกตามประเด็น ดังนี้ ภาพรวมของข้อมูล ระหว่างข้อมูลแบบง่าย ๆ (Simple) กับ ข้อมูลที่มีรายละเอียด (Elaborate) ประเภทของข้อมูลระหว่างข้อมูลเชิงคุณภาพ (Quality) กับข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantity) ลักษณะของข้อมูลระหว่างข้อมูลเป็นภาพรวมหรือภาพกว้าง ๆ (Vision) กับข้อมูลเป็นลำดับขั้นตอน (Execution) รูปแบบของข้อมูลระหว่างข้อมูลที่มีความเฉพาะ(Individual attributes) กับข้อมูลมีการเปรียบเทียบ (Comparison) และความคงที่ของข้อมูลระหว่างข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล (Delta) กับ ข้อมูลมีความคงที่ตลอดเวลา (Status quo)

4) การแสดงออก (Show) คือ การนำเสนอข้อมูลจากกิจกรรม โดยเริ่มต้นจากการสรุปสิ่งที่เห็น ค้นหาวิธีที่จะนำเสนอแนวคิดอย่างเป็นรูปธรรม บันทึกแนวคิดลงบนกระดาษ ชี้ให้เห็นถึงสิ่งที่อยู่ในจินตนาการ แล้วตอบคำถามของกิจกรรม

ขั้นที่ 3 ขั้นนำเสนอมโนทัศน์ (Proposing concept) เป็นขั้นที่ตรวจสอบความถูกต้องของมโนทัศน์และความเข้าใจที่นักเรียนได้จากการร่วมกันอภิปรายในกลุ่มจากกิจกรรม โดยนักเรียนต้องนำเสนอผลที่ได้จากการอภิปรายร่วมกันในกลุ่ม แสดงผลของมโนทัศน์ในรูปแบบที่ได้จากกลวิธีการคิดเป็นภาพ และร่วมกันอธิบายมโนทัศน์ ครูจะนำอภิปรายโดยใช้คำถามเพื่อตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียน เนื่องจากนักเรียนบางส่วนอาจยังเข้าใจหัวข้อที่เรียนได้ไม่สมบูรณ์ แม้จะผ่านประสบการณ์การเรียนรู้จากกิจกรรมแล้ว และครูชี้แนะให้เห็นถึงคำตอบที่

เหมาะสมและร่วมกันลงข้อสรุปที่ได้จากการค้นพบ จากนั้นครูเชื่อมโยงความรู้ที่ค้นพบกับความรู้เดิมของนักเรียน

ขั้นที่ 4 ขั้นการประยุกต์ความรู้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา (Applying newly constructed ideas to physics problem solving) เป็นขั้นนำมโนทัศน์ไปประยุกต์ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ โดยครูใช้คำถามเพื่อนำอภิปรายตามขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหา และนักเรียนจะต้องนำมโนทัศน์ที่ถูกต้องไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหารูปแบบต่าง ๆ โดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์และกลวิธีการคิดเป็นภาพ โดยใช้ขั้นตอนการเห็นและการดูในขั้นพิจารณาปัญหา โดยมี 5 ขั้นตอนย่อย ดังนี้

1) พิจารณาปัญหา (Focus on the problem with visual thinking) เป็นขั้นตอนการสร้างแผนภาพจากโจทย์ปัญหา โดยมีขั้นตอนย่อย ดังนี้

1.1) อ่านโจทย์แล้วพิจารณาว่าจากโจทย์ ใคร ทำอะไร ที่ไหน อย่างไร แล้ววาดภาพแสดงสถานการณ์ โดยวาดภาพที่เกี่ยวข้องกับวัตถุ เช่น แสงมีการเคลื่อนที่อย่างไร และเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อผ่านตัวกลาง แล้วระบุข้อมูลที่ทราบจากโจทย์ปัญหาและระบุตัวแปรที่ต้องการทราบกำกับลงในรูปภาพ

1.2) ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนด

2) อธิบายปัญหาในเชิงฟิสิกส์ (Describe the physics) เป็นขั้นตอนการเขียนแผนภาพทางฟิสิกส์ (Free body diagram) มีขั้นตอนย่อย 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.1) วาดแผนภาพในระบบอ้างอิงที่กำหนดตามหลักการทางฟิสิกส์ เช่น กำหนดให้ทิศทางขวาของระบบเป็นเครื่องหมาย + และทิศทางซ้ายของระบบเป็นทิศทาง – และกำหนดนิยามตัวแปรและสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้โจทย์ปัญหา

2.2) ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดในรูปของตัวแปร และระบุตัวแปรที่ทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น

2.3) ระบุหลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา เช่น พฤติกรรมของคลื่น การหักเหของแสง เป็นต้น

3) วางแผนแก้ปัญหา (Plan the solution) เป็นขั้นตอนการนำความสัมพันธ์จากการอธิบายปัญหาในเชิงฟิสิกส์ในขั้นตอนที่ผ่านมา ไปสร้างเป็นสมการในการแก้โจทย์ปัญหา โดยมีขั้นตอนย่อย 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.1) เขียนสมการที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า

3.2) พิจารณาว่าแต่ละสมการที่เลือกมาเพียงพอต่อการหาคำตอบของตัวแปรที่ไม่ทราบค่าหรือไม่ โดยเปรียบเทียบจำนวนสมการที่ใช้กับจำนวนตัวแปรที่ไม่ทราบค่า เช่น ต้องการคำตอบของตัวแปร 2 ตัว ต้องมีสมการอย่างน้อย 2 สมการ เป็นต้น

3.3) วางแผนแนวทางในการแก้โจทย์ปัญหาในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์

4) ดำเนินการตามแผน (Execute the plan) เป็นขั้นตอนการแทนค่าตัวแปรด้วยตัวเลขลงในสมการ โดยต้องตรวจสอบหน่วยของตัวแปรแต่ละตัวก่อนแทนค่าลงในสมการ แล้วจึงคำนวณค่าตัวแปรที่ต้องการหาคำตอบโดยใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์

5) ตรวจสอบคำตอบ (Evaluate the answer) เป็นขั้นที่ต้องตรวจสอบว่าคำตอบที่ได้มีความสอดคล้องและสมเหตุสมผลหรือไม่ โดยใช้คำถาม 3 ข้อ ดังนี้

5.1) คำตอบที่ได้มีความสมเหตุสมผลหรือไม่

5.2) คำตอบที่ได้มีหน่วยเหมาะสมและสอดคล้องกับสิ่งที่โจทย์ต้องการหรือไม่

5.3) คำตอบที่ได้เมื่อแทนค่ากลับเข้าไปในสมการแล้วถูกต้องหรือไม่

ขั้นที่ 5 ขั้นนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน (Applying newly constructed ideas to daily life) เป็นขั้นนำมโนทัศน์ไปประยุกต์ในสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน โดยครูใช้คำถามที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน และนักเรียนนำมโนทัศน์ไปใช้ในการอธิบายสถานการณ์ต่าง ๆ ดังกล่าว

5. **มโนทัศน์ฟิสิกส์** หมายถึง ความเข้าใจโดยสรุปเกี่ยวกับข้อเท็จจริง หลักการ กฎและทฤษฎีทางฟิสิกส์อย่างมีเหตุผล สามารถวัดได้โดยแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ซึ่งเป็นแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ จำนวน 15 ข้อ โดยแต่ละข้อแบ่งออกเป็น 2 ตอน ตอนที่ 1 มีลักษณะเป็นข้อคำถามเชิงเนื้อหา ซึ่งเป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ตอนที่ 2 มีลักษณะเป็นข้อคำถามเชิงเหตุผล ในการเลือกตัวเลือกของคำถามตอนที่ 1 ซึ่งเป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก

6. **ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์** หมายถึง การแสดงออกถึงกระบวนการคิดแก้ปัญหาเพื่อใช้ในการหาคำตอบทางฟิสิกส์อย่างเป็นระบบ โดยการวิเคราะห์รูปแบบของปัญหาและแปลความหมายของสิ่งที่โจทย์กำหนดให้อยู่ในรูปของสมการ หรือหลักการทางฟิสิกส์ ดำเนินการแก้ปัญหาจนได้มาซึ่งคำตอบที่ถูกต้อง แล้วดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องและความสมเหตุสมผลของคำตอบ วัดได้จากแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา

ฟิสิกส์ มีรูปแบบเป็นข้อสอบแบบอัตนัยจำนวน 10 ข้อ เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยวัดองค์ประกอบของการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ 5 ขั้นตอนตามกลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ ได้แก่ 1) ทำความเข้าใจและอธิบายปัญหา 2) อธิบายหลักการฟิสิกส์ 3)วางแผนการแก้ปัญหา 4) ดำเนินการแก้ปัญหา และ 5)ตรวจสอบคำตอบ

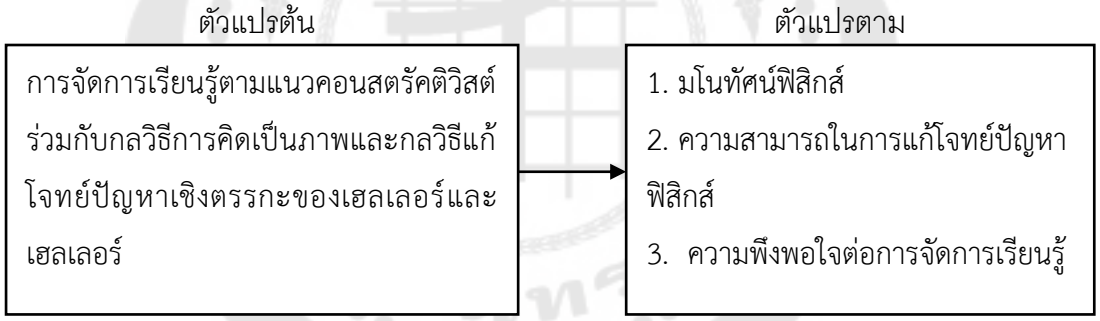
7. **ความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้** หมายถึง ความรู้สึกที่นักเรียนมีต่อสิ่งที่ได้รับประสบการณ์และแสดงออกหรือมีพฤติกรรมตอบสนองในลักษณะแตกต่างกันไป ความพึงพอใจต่อสิ่งต่าง ๆ นั้นจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงจูงใจ กิจกรรมในการจัดการเรียนรู้ และครู โดยวัดได้จากการแสดงความคิดเห็นความรู้สึกและเจตคติของบุคคล โดยใช้แบบสอบถามความพึงพอใจเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) 5 ระดับ ประกอบด้วยองค์ประกอบของการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 4 ด้าน ได้แก่ ด้านกระบวนการจัดการเรียนรู้ พิจารณาจากกิจกรรมการเรียนรู้สอดคล้องกับกระบวนการจัดการเรียนรู้ตาม แนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ ด้านบรรยากาศการเรียนรู้ พิจารณาจากสภาพแวดล้อมจากครูและสภาพแวดล้อมทางกายภาพ ด้านการใช้สื่อการเรียนรู้ พิจารณาจากอุปกรณ์ เอกสาร และ แหล่งเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผล พิจารณาจากความสอดคล้องของวัตถุประสงค์กับวิธีการวัดและประเมินผล ความเหมาะสมของวิธีการวัดและประเมินผลกับเนื้อหา โดยข้อคำถามแต่ละองค์ประกอบมี 5 ข้อ รวมทั้งหมดเป็น 20 ข้อ

กรอบแนวคิดในการวิจัย

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์มีที่มาจากทฤษฎีพัฒนาการทางเชาวน์ปัญญาของ Piaget และของ Vygotsky โดยนักเรียนสร้างความรู้ด้วยตนเองผ่านการปฏิบัติกิจกรรมและการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับผู้อื่น โดยเริ่มจากความสนใจของนักเรียน นักเรียนจะต้องลงมือแก้ปัญหาหรือหาเหตุผลมาตอบปัญหา จึงทำให้เกิดการสร้างความรู้ด้วยตนเองและประยุกต์ความรู้ได้มากกว่าการที่ครูสอนเนื้อหาด้วยการบรรยาย (ทิศนา แขมมณี, 2557, น. 90; สุมาลี ชัยเจริญ, 2557, น. 132) โดยธนธัญ ฝีมือสาร (2559), Yager (1991), İpek & Çalık (2008) และ Quarareh (2016) ได้นำการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ไปใช้และพบว่ามโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนในระดับมัธยมปลายสูงขึ้น และกลวิธีการคิดเป็นภาพ (Visual thinking) เป็นกระบวนการออกแบบความคิดที่เป็นระบบ เป็นการใช้ภาพเพื่อคิด ใช้การวาดรูปเพื่อแก้ปัญหาที่ซับซ้อน มีส่วนช่วยให้สามารถมองเห็นปัญหาได้ชัดเจนขึ้นและเกิดวิธีแก้ปัญหาใหม่ ๆ การคิดเป็นภาพไม่ใช่ศิลปะ แต่เป็นการใช้กลไกการมองเห็นผ่านดวงตาและประมวลผลโดยสมอง

เพื่อให้ได้มาซึ่งแนวคิดที่เป็นรูปธรรม เพื่อการถ่ายทอดและสื่อสารได้เข้าใจง่ายขึ้น (Roam, 2013, p. 3) ซึ่งจะช่วยให้กระบวนการจัดการเรียนรู้แบบคอนสตรัคติวิสต์ในขั้นค้นหาและกระจ่างมโนทัศน์สมบูรณ์มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yenawine (2013) ที่ได้นำกลวิธีการคิดเป็นภาพไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาฟิสิกส์พบว่ามโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน นอกจากนี้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์เป็นกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาอย่างเป็นเป็นระบบเน้นการนำมโนทัศน์มาใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา และงานวิจัยของณัฐวุฒิ ยกน้อยวงค์ (2560) ที่ได้นำกลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 พบว่าความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเชื่อว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ จะส่งผลต่อมโนทัศน์ฟิสิกส์ ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ และความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ตามกรอบแนวคิดการวิจัย ดังนี้



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

สมมติฐานการวิจัย

1. มโนทัศน์ฟิสิกส์หลังเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์สูงกว่าก่อนเรียน

2. มโนทัศน์ฟิสิกส์หลังเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60

3. ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์หลังเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์สูงกว่าก่อนเรียน

4. ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์หลังเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์์สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60

5. ความพึงพอใจหลังเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์อยู่ในระดับมาก

บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรม

ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยนำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์
    1.1ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์
    1.2 หลักการของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์
    1.3 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์
    1.4 บทบาทของครูและนักเรียนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์
    1.5 ข้อดีและข้อจำกัดของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์
    1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลวิธีการคิดเป็นภาพ
    2.1 ความหมายของกลวิธีการคิดเป็นภาพ
    2.2 หลักการของกลวิธีการคิดเป็นภาพ
    2.3 ข้อดีของกลวิธีการคิดเป็นภาพ
    2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลวิธีการคิดเป็นภาพ
3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์
    3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการแก้โจทย์ปัญหา
    3.2 ความหมายของการแก้โจทย์ปัญหา
    3.3 ขั้นตอนในการแก้โจทย์ปัญหา
    3.4 กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์
        3.4.1 ที่มาของกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์
        3.4.2 ลักษณะสำคัญของโจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์
        3.4.3 ขั้นตอนในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์
    3.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

4. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

4.1 ความหมายของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

4.2 ขั้นตอนการสอนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

4.3 บทบาทครูและบทบาทนักเรียนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

5. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมโนทัศน์ฟิสิกส์

5.1 ความหมายของมโนทัศน์ฟิสิกส์

5.2 ประเภทของมโนทัศน์ฟิสิกส์

5.3 ความสำคัญของมโนทัศน์ฟิสิกส์

5.4 แนวทางการวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์

5.5 แนวทางการพัฒนามโนทัศน์ฟิสิกส์

5.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมโนทัศน์ฟิสิกส์

6. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

6.1 ความหมายของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

6.2 แนวทางการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

6.3 แนวทางการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

6.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

7. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้

7.1 ความหมายของความพึงพอใจ

7.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจ

7.3 แนวทางการวัดความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้

7.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้

1. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์

1.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ (Constructivism)

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ เป็นกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้เรียนเป็นผู้สร้างความรู้จากกระบวนการลงมือทำ (Active process) ความรู้ถูกสร้างขึ้นโดยนำข้อมูลที่ได้รับมาใหม่เชื่อมโยงกับความรู้ความเข้าใจเดิมที่มีอยู่ สถานการณ์ที่เป็นปัญหาและปฏิสัมพันธ์ทางสังคมทำให้เกิดความขัดแย้งทางปัญญา (Cognitive conflict) หลังจากการไตร่ตรอง (Reflection) ผู้เรียนจะสามารถอธิบายสถานการณ์ดังกล่าวหรือแก้ปัญหาได้ คือการสร้างความรู้ผ่านกระบวนการทางจิตวิทยาด้วยตนเอง (สุมาลี ชัยเจริญ, 2557, น. 132-135) ผู้สอนสามารถช่วยผู้เรียนปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางปัญญาได้โดยจัดสภาพการณ์ที่ทำให้เกิดภาวะไม่สมดุลขึ้น (ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์, 2561, น. 74)

แนวคิดคอนสตรัคติวิสต์มาจากแนวคิดของนักจิตวิทยาและนักการศึกษา คือ Jean Piaget และ Lev Vygotsky เชื่อว่า การเรียนรู้เป็นกระบวนการสร้างความรู้ โดยเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้จะสนับสนุนการสร้างความรู้มากกว่าความพยายามในการถ่ายทอดความรู้ เน้นการสร้างความรู้ใหม่อย่างเหมาะสมและสิ่งแวดล้อมมีความสำคัญในการสร้างความหมายตามความเป็นจริง (บุญเลี้ยง ทุมทอง, 2556, น. 32) แนวคิดคอนสตรัคติวิสต์แบ่งเป็น 2 ทฤษฎี ดังนี้

1) ทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์เชิงปัญญา (Cognitive constructivist theory) เป็นทฤษฎีการเรียนรู้พุทธิปัญญานิยมมีรากฐานมาจากทฤษฎีพัฒนาการของ Jean Piaget มีแนวคิดว่า ผู้เรียนเป็นผู้กระทำ (Active) และเป็นผู้สร้างความรู้ด้วยตนเอง ปฏิสัมพันธ์ทางสังคมก่อให้เกิดความไม่สมดุลทางพุทธิปัญญาขึ้น ทำให้ผู้เรียนปรับความเข้าใจเดิมที่มีอยู่ให้เข้ากับข้อมูลใหม่จนเกิดความสมดุลทางพุทธิปัญญา (สุรางค์ โควัตระกูล, 2553, น. 210) Piaget ได้จำแนกกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสร้างความรู้ขึ้นมา 2 กระบวนการ ดังนี้

1.1) การจัดระบบโครงสร้าง (Organization) เป็นการรวมกระบวนการต่าง ๆ ภายในสมองอย่างเป็นระบบอย่างติดต่อกันเป็นเรื่องเป็นราว

1.2) การปรับตัว (Adaptation) เป็นการจัดระบบของโครงสร้างสมองให้มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม โดยประสบการณ์จะกระตุ้นให้ผู้เรียนสร้างโครงสร้างทางปัญญาที่เรียกว่า สกีมา (Schema) หรือ เมนทอลโมเดล (Mental model) ขึ้นภายในสมอง (ภพ เลาหไพบูลย์, 2542, น.68) โดยมีกระบวนการปรับตัวที่สำคัญ 2 กระบวนการ คือ

1.2.1) การดูดซึม (Assimilation) เป็นการขยายหรือเพิ่มเติมโครงสร้างทางปัญญา โดยการรับข้อมูลใหม่ จากสิ่งแวดล้อมหรือการจัดประสบการณ์ที่มีความสอดคล้องกับความรู้เดิม

1.2.2) การปรับโครงสร้างทางปัญญา (Accommodation) เป็นการเชื่อมโยงความรู้เดิมที่มีกับข้อมูลหรือประสบการณ์ที่มีความขัดแย้งหรือแตกต่างกับความรู้เดิม แล้วปรับเป็นโครงสร้างทางปัญญาใหม่ (สุมาลี ชัยเจริญ, 2557, น. 136)

2) ทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์เชิงสังคม (Social constructivism) มาจากทฤษฎีพัฒนาการของ Lev Vygotsky มีแนวคิดว่า ผู้เรียนสร้างความรู้ด้วยการมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคมจากการมีส่วนร่วมในกิจกรรม สภาวะสังคมเป็นตัวแปรที่ทำให้ผู้เรียนได้ปรับเปลี่ยนความเข้าใจเดิมให้ถูกต้องหรือสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น (สุรางค์ โควัตระกูล, 2553, น. 210) สิ่งแวดล้อมมีอิทธิพลต่อมนุษย์โดยเฉพาะสิ่งแวดล้อมทางสังคม จากวัฒนธรรมที่แต่ละสังคมสร้างขึ้น ดังนั้นสภาพแวดล้อมทางสังคมต่าง ๆ จะมีอิทธิพลต่อพัฒนาการทางเชาวน์ปัญญาของแต่ละบุคคล การสร้างความรู้จึงเป็นกระบวนการทางด้านสติปัญญาควบคู่กับสังคม (ทิศนา แขมมณี, 2557, น. 94)

นอกจากนี้ ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2561, น. 74) ได้กล่าวถึงการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ว่ามาจากปรัชญาปฏิบัตินิยม (Pragmatism) เสนอโดย William James และ John Dewey ตั้งแต่ต้นศตวรรษที่ 20 ซึ่งเชื่อว่าความรู้เกิดจากการปรับความรู้เดิมที่มีอยู่เชื่อมโยงกับความรู้ใหม่ด้วยกระบวนการพิสูจน์ให้เห็นจริง มีความสมเหตุสมผล ก่อให้เกิดประโยชน์ในทางปฏิบัติ ความรู้จะเกิดขึ้นได้ต้องผ่านกระบวนการไตร่ตรอง

โดยสรุปการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ของวิจัยนี้ เป็นการจัดการเรียนรู้ตามทฤษฎี Cognitive constructivism ตามแนวคิดของ Piaget และ Social constructivism ของ Vygotsky โดยผู้วิจัยจะจัดกิจกรรมที่กระตุ้นความสนใจ เป็นภาวะไม่สมดุล ให้นักเรียนเกิดความสงสัย โดยที่ความรู้เดิมไม่สามารถแก้ปัญหาได้ และนักเรียนจะมีปฏิสัมพันธ์กันผ่านการทำงานเป็นกิจกรรมกลุ่มและแลกเปลี่ยนความคิดกัน และผู้เรียนจะเกิดการเชื่อมโยงความรู้เดิมกับประสบการณ์ใหม่ที่เกิดขึ้น ผ่านการไตร่ตรองร่วมกัน เกิดการสร้างความรู้ด้วยตนเองหรือปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางปัญญา

1.2 หลักการของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์

จากแนวคิดพื้นฐานของคอนสตรัคติวิสต์ที่ได้กล่าวไปข้างต้น จึงมีการนำแนวคิดเหล่านี้ไปปรับใช้กับการจัดการเรียนรู้ในปัจจุบัน โดยมีหลักการของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ของนักการศึกษาหลายท่าน ดังนี้

สุมาลี ชัยเจริญ (2557, น. 133-135) และบุญเลี้ยง ทุมทอง (2556, น. 33) ได้อธิบายถึงหลักการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ ดังนี้

1) ความรู้เกิดจากโครงสร้างทางปัญญาของบุคคลนั้นที่สร้างขึ้นจากประสบการณ์ในแก้ไขสถานการณ์ต่าง ๆ ที่เป็นปัญหาและสามารถนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการแก้ปัญหาอื่น ๆ ได้

2) นักเรียนถือเป็นผู้สร้างความรู้ด้วยวิธีการที่แตกต่างกันซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์เดิมของนักเรียนและแรงจูงใจภายในตนเอง

3) ครูจะต้องจัดสิ่งแวดล้อมเพื่อช่วยปรับให้นักเรียนขยายโครงสร้างทางปัญญาของตนเองโดยครูจะกำหนดสถานการณ์ที่ไม่สามารถใช้ความรู้ความเข้าใจเดิมในการแก้ไขสถานการณ์เหล่านั้น ทำให้นักเรียนต้องลงมือปฏิบัติกิจกรรมจนสามารถเชื่อมโยงความรู้เดิมกับประสบการณ์ใหม่ผ่านการลงมือปฏิบัติกิจกรรมที่กำหนด โดยนักเรียนต้องสืบค้น ค้นคว้าหรือหาคำตอบของกิจกรรมและแลกเปลี่ยนแนวคิดจนได้มาซึ่งข้อสรุป

ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2561, น. 76) ได้กล่าวถึงแนวทางในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ว่า ให้จัดการเรียนรู้ตามความสนใจของนักเรียน โดยสอบถามความคิดเห็นและให้นักเรียนตั้งคำถาม จากนั้นนำคำถามของนักเรียนในการวางแผนการสอน สนับสนุนให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติเพื่อหาคำตอบจากคำถามที่ได้ตั้งขึ้น สนับสนุนให้นักเรียนตั้งสมมติฐาน หาสาเหตุของสถานการณ์ รวบรวมเหตุผลที่สนับสนุนความคิดเห็นเชิงประจักษ์และความรู้ใหม่ที่เกิดจากประสบการณ์ หลักฐานใหม่ ให้นักเรียนได้นำเสนอความคิดเห็นของตนเอง และสนับสนุนให้นักเรียนมีการสะท้อน วิเคราะห์ และลงข้อสรุปจากความคิดเห็น

จากแนวคิดในการจัดการเรียนรู้ดังกล่าว ทิศนา แขมมณี (2557, น. 94-96) กล่าวถึงหลักการในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ไว้ดังนี้

1) ตามแนวคิดคอนสตรัคติวิสต์ เป้าหมายของการเรียนรู้คือกระบวนการสร้างความรู้ โดยต้องลงมือปฏิบัติจริง นักเรียนต้องฝึกฝนกระบวนการเรียนรู้และต้องสร้างความรู้ด้วยตนเอง

2) การจัดการเรียนรู้จะเปลี่ยนจากการบรรยายหรือการถ่ายทอดความรู้โดยตรงเป็นการสาธิต หรือใช้กระบวนการที่สร้างความรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติด้วยวิธีการที่หลากหลายมากขึ้น ทำให้นักเรียนสามารถแก้ปัญหาได้

3) ในการจัดการเรียนรู้ นักเรียนต้องเป็นผู้ลงมือปฏิบัติ หรือกระทำข้อมูล ต้องสร้างความหมายของความรู้ด้วยตนเองผ่านบริบทจริง ทั้งนี้อาจไม่ได้หมายถึงต้องไปสถานที่จริง

แต่หมายถึงต้องได้รับประสบการณ์หรือเผชิญปัญหาพร้อมหาแนวทางแก้ไขด้วยตนเองผ่านกิจกรรมที่ให้มีปฏิสัมพันธ์และใช้สื่อที่หลากหลาย นักเรียนสามารถลองผิดลองถูกบนพื้นฐานความคิดและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จากข้อมูลที่กำหนดให้

4) ในการจัดการเรียนรู้ ครูจะต้องจัดบรรยากาศที่เอื้อให้นักเรียนเกิดปฏิสัมพันธ์ทางสังคม ผ่านการร่วมมือและร่วมกันแลกเปลี่ยนความรู้ การแสดงความคิดเห็นและประสบการณ์ระหว่างนักเรียนกับเพื่อนและบุคคลอื่น ๆ จะทำให้เกิดการเรียนรู้ที่หลากหลาย ซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญของการสร้างความรู้

5) นักเรียนจะนำและควบคุมตนเองในการเรียนรู้ มีบทบาทในการเรียนรู้อย่างเต็มที่ โดยนักเรียนจะต้องเลือกวิธีการในการแสวงหาความรู้หรือออกแบบการแก้ปัญหาหรือสถานการณ์ต่าง ๆ ด้วยตนเอง ตั้งกฎและเลือกผู้ร่วมงานด้วยตนเองทั้งหมด

6) ในการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ ครูจะเปลี่ยนจากการผู้ให้ความรู้และเป็นการอำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ คอยช่วยเหลือนักเรียนในการให้คำชี้แนะระหว่างทำกิจกรรมและคอยช่วยในการสร้างความรู้และสรุปความรู้อย่างถูกต้อง ครูต้องมีความเป็นประชาธิปไตยและมีเหตุผลในความสัมพันธ์กับนักเรียน

7) ในการประเมินผลในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ต้องมีความยืดหยุ่น ขึ้นอยู่กับบุคคล เนื่องการการสร้างความรู้หรือการสร้างความหมายของข้อค้นพบของนักเรียนมีความแตกต่างกันขึ้นกับแต่ละบุคคล จึงควรประมวลผลตามบริบทแบบเรียลไทม์

โดยสรุปหลักการของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ มีลักษณะที่ให้นักเรียนสร้างความรู้จากการร่วมมือกันหาคำตอบของคำถาม โดยกระบวนการเรียนรู้เริ่มจากคำถามที่ทำให้เกิดความขัดแย้งทางปัญญา แล้วต้องการหลักฐาน แนวคิด หรือหลักการอื่น ๆ มาช่วยในการแก้ไขปัญหาทั้งจากความรู้หรือประสบการณ์เดิม ร่วมกับประสบการณ์ใหม่จนก่อให้เกิดความสร้างความรู้ ครูต้องช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการจัดการเรียนรู้ ชี้แนะแนวทางจนนักเรียนสามารถสร้างความรู้ได้อย่างถูกต้อง นักเรียนมีบทบาทในการเรียนรู้อย่างเต็มที่โดยนักเรียนจะนำตนเองและควบคุมตนเองในการเรียนรู้ การประเมินผลจำเป็นต้องเป็นการประเมินวัตถุประสงค์ในลักษณะที่ยืดหยุ่นสำหรับแต่ละบุคคล

1.3 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์

จากหลักการของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ ได้มีนักการศึกษาหลายท่านนำหลักการของการจัดการเรียนรู้ไปใช้ โดยมีขั้นตอนที่คล้ายคลึงกัน ดังนี้

Yager (1991, p. 55) ได้ออกแบบแนวการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ เรียกว่า The Constructivist Learning Model (CLM) โดยแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นเชิญชวน (Invitation) โดยครูตั้งปัญหาหรือสร้างสถานการณ์ที่ทำให้นักเรียนคิด สังเกต และกระตุ้นให้เกิดความสงสัย เป็นการสร้างแรงจูงใจ นักเรียนจะคาดเดาคำตอบจากสถานการณ์ที่เป็นไปได้ เพื่อให้นักเรียนเกิดความสนใจ

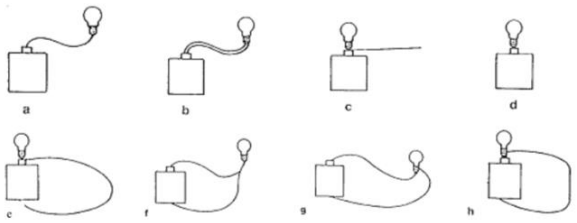
ขั้นที่ 2 ขั้นสำรวจ (Exploration) เป็นขั้นที่นักเรียนต้องออกแบบกิจกรรมเพื่อแก้ปัญหาจากสถานการณ์ที่สงสัย โดยลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ผ่านการสำรวจ ทดลอง สังเกตปรากฏการณ์ รวบรวมและจัดกระทำข้อมูล ผ่านกระบวนการกลุ่ม และร่วมอภิปรายเพื่อหาข้อสรุปร่วมกัน บทบาทของครู คือ เผ็นผู้อำนวยความสะดวกและให้คำแนะนำระหว่างทำกิจกรรม

ขั้นที่ 3 ขั้นนำเสนอคำอธิบายและแนวทางการแก้ปัญหา (Proposing explanations and solutions) เป็นขั้นที่นักเรียนนำเสนอข้อมูลที่เป็นข้อค้นพบจากการทำกิจกรรมกลุ่ม โดยอธิบายวิธีการซึ่งได้มาซึ่งคำตอบของกิจกรรม จากการร่วมกันอภิปรายในกลุ่ม ครูจะต้องตรวจสอบความถูกต้องและนำอภิปรายโดยเชื่อมโยงความรู้ที่ค้นพบกับความรู้เดิมของนักเรียนให้เกิดเป็นข้อสรุปที่ถูกต้อง

ขั้นที่ 4 ขั้นประยุกต์หรือนำไปใช้ (Take action) เป็นขั้นที่ให้นำความรู้ที่ค้นพบไปประยุกต์ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหารูปแบบต่าง ๆ หรือสถานการณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับความรู้เหล่านั้น ครูจะใช้คำถามเพื่อนำอภิปรายให้นักเรียนได้ร่วมแลกเปลี่ยนความคิดเห็นโดยนำความรู้ที่สร้างขึ้นไปอธิบายสถานการณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับบทเรียน

นอกจากนี้ İpek & Çalık (2008, p. 145) ได้จัดการเรียนการสอนสี่ขั้นตามแนวคอนสรัคติวิสต์ มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 ตรวจสอบความรู้เดิม (Eliciting students' pre-existing ideas) เป็นขั้นที่กระตุ้นให้นักเรียนได้นำความรู้เดิมเพื่อมาปรับใช้กับมโนทัศน์ใหม่ที่ต้องการ โดยครูจะใช้คำถามเพื่อให้นักเรียนได้อธิบายมโนทัศน์ใหม่โดยใช้ความรู้เดิม เช่น หากนักเรียนมีหลอดไฟ สายไฟและแบตเตอรี่ นักเรียนจะต่อวงจรได้อย่างไร และนักเรียนคิดว่าวงจรทั้ง 8 วงจรดังภาพมีความเหมือนหรือแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร ครูให้นักเรียนคิด 5 นาทีและหลังจากนั้นครูก็นำอภิปรายด้วยคำถาม



ภาพประกอบ 2 ภาพประกอบขั้นตรวจสอบความรู้เดิม

ที่มา: İpek; & Çalık. (2008). Combining Different Conceptual Change Methods within Four-Step Constructivist Teaching Model: A Sample Teaching of Series and Parallel Circuits. p. 148.

ขั้นที่ 2 เน้นมโนทัศน์เป้าหมาย (Focusing on the target concept) เป็นขั้นที่ให้นักเรียนทำกิจกรรมแบบกลุ่มย่อยตามใบงานที่ครูกำหนดและมอบหมายให้ โดยเน้นให้นักเรียนมีการอภิปรายร่วมกัน และครูมีหน้าที่เฝ้าสังเกตและส่งเสริมให้นักเรียนจดจ่อกับกิจกรรมที่กำหนด แต่ยังไม่บอกคำตอบของกิจกรรม เช่น ครูใช้คำถามว่า หากต้องการเพิ่มความสว่างของหลอดไฟในสวน (ครูยกตัวอย่างแผนภาพวงจรไฟฟ้าแบบอนุกรมและขนาน) นักเรียนคิดว่าการต่อวงจรแบบใดจะให้ความสว่างมากกว่า หลังจากนั้นให้นักเรียนแบ่งกลุ่ม 3-4 คน เพื่ออภิปรายกันในกลุ่มของตนเองและเขียนคำตอบลงในใบงานส่วนแรก ดังรูป

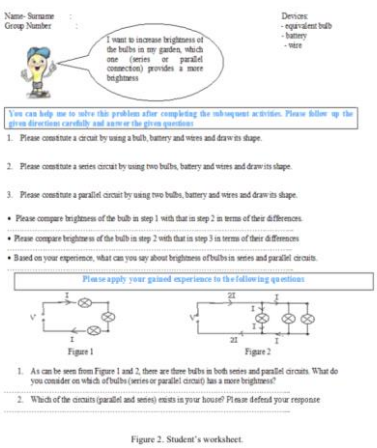

Name- Surname
Group Number
I want to increase brightness of the bulbs in my garden, which one (series or parallel connection) provides a more brightness
Devices:
- equivalent bulb
- battery
- wire
You can help me to solve this problem after completing the subsequent activities. Please follow up the given directions carefully and answer the given questions
1. Please constitute a circuit by using a bulb, battery and wires and draw its shape.
2. Please constitute a series circuit by using two bulbs, battery and wires and draw its shape.
3. Please constitute a parallel circuit by using two bulbs, battery and wires and draw its shape.
• Please compare brightness of the bulb in step 1 with that in step 2 in terms of their differences.
• Please compare brightness of the bulb in step 2 with that in step 3 in terms of their differences
• Based on your experience, what can you say about brightness of bulbs in series and parallel circuits.
Please apply your gained experience to the following questions
Figure 1
Figure 2
1. As can be seen from Figure 1 and 2, there are three bulbs in both series and parallel circuits. What do you consider on which of bulbs (series or parallel circuit) has a more brightness?
2. Which of the circuits (parallel and series) exists in your house? Please defend your response

Figure 2. Student's worksheet.

ภาพประกอบ 3 ตัวอย่างใบงานในขั้นเน้นมโนทัศน์เป้าหมาย

ที่มา: İpek; & Çalık. (2008). Combining Different Conceptual Change Methods within Four-Step Constructivist Teaching Model: A Sample Teaching of Series and Parallel Circuits. p. 148.

ขั้นที่ 3 ท้าทายความคิด (Challenging students' ideas) เป็นขั้นที่ตรวจสอบความถูกต้องเกี่ยวกับความรู้และความเข้าใจที่นักเรียนได้จากการร่วมกันอภิปรายในกลุ่มจากกิจกรรม โดยครูจะนำอภิปรายโดยใช้คำถามตามใบงานเพื่อตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียน เนื่องจากนักเรียนบางส่วนอาจยังเข้าใจหัวข้อที่เรียนได้ไม่สมบูรณ์ แม้จะผ่านประสบการณ์การเรียนรู้จากกิจกรรมแล้ว ดังนั้น นักเรียนจึงจำเป็นต้องได้รับการยืนยันว่ามโนทัศน์ของตนเองสอดคล้องกับมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์หรือไม่

ขั้นที่ 4 การประยุกต์ความรู้ (Applying newly constructed ideas to similar situation) เป็นขั้นที่ครูให้นักเรียนนำมโนทัศน์ที่เรียนรู้ไปประยุกต์ในสถานการณ์อื่น ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับมโนทัศน์นี้ เน้นให้นักเรียนได้นำความรู้ไปใช้ในการอธิบายสถานการณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น หากเราให้พลังงานไฟฟ้าน้อยลง เราจะสามารถเพิ่มความสว่างให้มากขึ้นได้อย่างไร

ซึ่งขั้นตอนของด้านบนของ Yager (1991, p. 55) คล้ายคลึงกับ Quarareh (2016, p. 181) ซึ่งนำการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์มาใช้ มีขั้นตอนการสอน 4 ขั้น ดังนี้

ขั้นที่ 1 กระตุ้นความสนใจ (Engagement or invitation stage) ครูเริ่มต้นถามคำถามเพื่อกระตุ้นความคิดของนักเรียนและสร้างสภาพแวดล้อมที่ใช้ความรู้เพื่อเรียนรู้เรื่องนั้น ๆ และความรู้ที่จำเป็นในการเรียนรู้เรื่องใหม่

ขั้นที่ 2 การสำรวจ (Exploration stage) โดยครูแบ่งผู้เรียนออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ และแต่ละกลุ่มดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การรวบรวมข้อมูลและสารสนเทศ กำหนดสมมติฐาน ตั้งคำถาม ค้นหาคำตอบและคำอธิบายถึงแนวทางแก้ไข วิพากษ์ประเด็นสถานการณ์ เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการอภิปรายในกลุ่มเพื่อตอบคำถามที่เกิดขึ้นเมื่อเริ่มชั้นเรียน โดยครูเป็นผู้อำนวยความสะดวก รับฟังและตั้งคำถามเพิ่มเติม

ขั้นที่ 3 การอธิบาย (Explanation stage) ในขั้นตอนนี้นักเรียนให้คำอธิบาย ข้อเสนอแนะ เสนอแนวทางแก้ไขและทดสอบความถูกต้องของวิธีแก้ปัญหาเหล่านั้น โดยอาศัยประสบการณ์ใหม่ของพวกเขาในขณะที่พวกเขาสร้างความรู้ใหม่และเชื่อมโยงกับความรู้เดิมหรือปรับเปลี่ยนความรู้ และครูต้องให้เวลามากพอที่จะเสนอแนะและให้ความช่วยเหลือผู้เรียนและอำนวยความสะดวกในกระบวนการเรียนรู้

ขั้นที่ 4 การตัดสินใจและการแก้ปัญหา (Decision making stage & problem solving) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นที่นักเรียนต้องตัดสินใจเลือกคำตอบและวิธีการในการแก้ไขปัญหาตอนต้นคาบโดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการร่วมอภิปรายในชั้นเรียน ซึ่งจะทำให้นักเรียนเข้าใจ

วิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสม ดังนั้นจึงเกิดการบูรณาการความรู้ขึ้นระหว่างแนวคิดใหม่และแนวคิดก่อนหน้า ซึ่งนำไปสู่การผสมผสานทางปัญญาของแนวคิดและการเกิดขึ้นของแนวคิดที่กว้างขวางและลึกซึ้งยิ่งขึ้น

จากการศึกษาหลักการและขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ สามารถสรุปดังตาราง 1

ตาราง 1 แสดงการเปรียบเทียบขั้นตอนการสอนตามแนวคอนสตรัคติวิสต์

Yager (1991, p. 55)	İpek และ Çalık (2008, p. 145)	Quarareh (2016, p. 181)	ผู้วิจัย
ขั้นที่ 1 ขั้นชักชวน (Invitation) ขั้นที่ 2 ขั้นสำรวจ (Exploration) ขั้นที่ 3 ขั้นนำเสนอผลการศึกษาและการแก้ปัญหา (Proposing Explanations and Solutions) ขั้นที่ 4 ขั้นประยุกต์หรือนำไปใช้ (Take Action)	ขั้นที่ 1 ตรวจสอบความรู้เดิม (Eliciting students' pre-existing ideas) ขั้นที่ 2 เน้นมโนทัศน์เป้าหมาย (Focusing on the target concept) ขั้นที่ 3 ท้าทายความคิด (Challenging students' ideas) ขั้นที่ 4 การประยุกต์ความรู้ (Applying newly constructed ideas to similar situation)	ขั้นที่ 1 กระตุ้นความสนใจ (Engagement or invitation stage) ขั้นที่ 2 การสำรวจ (Exploration stage) ขั้นที่ 3 การอธิบาย (Explanation stage) ขั้นที่ 4 การตัดสินใจและการแก้ปัญหา (Decision making stage & problem solving)	ขั้นที่ 1 กระตุ้นความสนใจ (Engagement) ขั้นที่ 2 ขั้นสำรวจ (Exploration) ขั้นที่ 3 ขั้นนำเสนอมโนทัศน์ (Proposing concept) ขั้นที่ 4 ขั้นนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน (Applying newly constructed ideas to daily life) ขั้นที่ 5 ขั้นการประยุกต์ความรู้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา (Applying newly constructed ideas to physics problem solving)

จากทฤษฎี หลักการ และขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ที่ได้ศึกษามา พบว่ามี 4 ขั้นตอนที่คล้ายคลึงกัน เริ่มต้นจาก ขั้นกระตุ้นความสนใจหรือทบทวนความรู้เดิม ขั้นปฏิบัติกิจกรรมกลุ่ม ขั้นสร้างมโนทัศน์ และขั้นประยุกต์ความรู้ ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์เป็น 5 ขั้นโดยปรับจากขั้นตอนของนักการศึกษาที่ได้ศึกษาข้างต้น โดยได้แบ่งขั้นนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ เป็น 2 ขั้น ได้แก่ ขั้นนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน (Applying newly constructed ideas to daily life) กับขั้นการประยุกต์ความรู้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา (Applying newly constructed ideas to physics problem solving) เนื่องจากเป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาฟิสิกส์ คือ เพื่อให้นักเรียนเข้าใจและสามารถอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติในชีวิตประจำวันได้ และนักเรียนต้องนำความรู้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ โดยมีขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นกระตุ้นความสนใจ (Engagement) เป็นขั้นกระตุ้นความสนใจ โดยใช้คำถามหรือปัญหาที่นักเรียนไม่สามารถใช้ความรู้เดิมในการตอบคำถามหรือแก้ปัญหาได้ โดยยกตัวอย่างปัญหาหรือสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับบทเรียนหรือสอดคล้องกับชีวิตประจำวันเพื่อให้นักเรียนได้อธิบายมโนทัศน์ใหม่โดยไม่บอกคำตอบของคำถาม

ขั้นที่ 2 ขั้นสำรวจ (Exploration) เป็นขั้นปฏิบัติกิจกรรมกลุ่ม เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงความรู้เดิมกับประสบการณ์ใหม่ โดยนักเรียนลงมือทำกิจกรรมแบบกลุ่มย่อยตามที่ครูกำหนดและมอบหมายให้ โดยเน้นให้นักเรียนมีการอภิปรายร่วมกัน และครูมีหน้าที่เฝ้าสังเกตและส่งเสริมให้นักเรียนจดจ่อกับกิจกรรมที่กำหนด แต่ยังไม่บอกคำตอบของกิจกรรม

ขั้นที่ 3 ขั้นนำเสนอมโนทัศน์ (Proposing concept) เป็นขั้นตรวจสอบความถูกต้องของมโนทัศน์และความเข้าใจที่นักเรียนได้จากการร่วมกันอภิปรายในกลุ่มจากกิจกรรม โดยนักเรียนต้องนำเสนอผลที่ได้จากการอภิปรายร่วมกันในกลุ่ม แสดงผลของมโนทัศน์ และร่วมกันอธิบายมโนทัศน์ ครูจะนำอภิปรายโดยใช้คำถามเพื่อตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียน โดยครูจะใช้คำถามนำอภิปรายเพื่อชี้แนะให้เห็นถึงคำตอบที่เหมาะสม เป็นการเชื่อมโยงความรู้ที่ค้นพบกับความรู้เดิมของนักเรียน

ขั้นที่ 4 ขั้นการประยุกต์ความรู้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา (Applying newly constructed ideas to physics problem solving) เป็นขั้นนำมโนทัศน์ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ โดยนักเรียนจะต้องนำมโนทัศน์ที่ถูกต้องไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหารูปแบบต่าง ๆ

ขั้นที่ 5 ขั้นนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน (Applying newly constructed ideas to daily life)

เป็นขั้นนำมโนทัศน์ไปประยุกต์ในสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน โดยให้นักเรียนได้นำความรู้ไปใช้ในการอธิบายสถานการณ์อื่น ๆ

1.4. บทบาทของครูและนักเรียนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์

จากหลักการและแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ จะเห็นได้ว่าครูมีบทบาทอย่างมากในการเตรียมกิจกรรม สื่อการสอน และรูปแบบการจัดการเรียนรู้ เพื่อทำให้นักเรียนสามารถสร้างความรู้ได้ตนเอง Berk & Winsler (1995, p. 125) กล่าวถึงบทบาทของครูว่ามีหน้าที่ในการจัดสภาพแวดล้อมให้เอื้อต่อการเรียนรู้ด้วยตนเอง คอยชี้แนะแนวทางในการทำกิจกรรม เปิดโอกาสให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการทำงาน ช่วยเหลือในการจัดระบบความคิดของนักเรียนและคอยสนับสนุนตลอดการลงมือปฏิบัติกิจกรรม

บุญเลี้ยง ทุมทอง (2556, น. 33) กล่าวถึง ครูตามแนวทาง Constructivism ว่าควรจะสนับสนุนด้วยการกระตุ้นให้เกิดความท้าทาย จากสถานการณ์จริงในชีวิตประจำวันที่จะทำให้ผู้เรียนเกิดความสนใจ อำนวยความสะดวกในกิจกรรมการเรียนรู้ ครูควรกระตุ้นให้ผู้เรียนปฏิบัติงานในกลุ่ม ชี้แนะแนวทางเมื่อผู้เรียนเกิดปัญหา กระตุ้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายภายในกลุ่มโดยใช้คำถาม ดังนั้นครูจะคอยช่วยอำนวยความสะดวกเพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้

ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2561, น. 75-76) ได้อธิบายถึงบทบาทครูในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดคอนสตรัคติวิสต์ว่า ครูจะเป็นผู้อำนวยความสะดวกในการจัดการเรียบยนรู้ ซึ่งสอดคล้องกับวรรณทิพา รอดแรงค้า (2540, น. 109) ได้อธิบายว่า ครูมีบทบาทในการท้าทายความคิดของนักเรียน จัดหาสื่อ หรือข้อมูลที่เอื้อประโยชน์ให้กับนักเรียนในการค้นคว้า ทดลอง หรือลงข้อสรุปเพื่อได้มาซึ่งคำตอบของปัญหา ครูต้องทำเป็นไม่รู้คำตอบของกิจกรรม เพื่อให้นักเรียนหาคำตอบด้วยตนเอง

สุมาลี ชัยเจริญ (2557, น. 132) กล่าวว่า ครูจะต้องจัดสิ่งแวดล้อมเพื่อช่วยปรับให้นักเรียนขยายโครงสร้างทางปัญญาของตนเองโดยออกแบบสถานการณ์ที่นักเรียนไม่สามารถใช้ความรู้เดิมในการตอบคำถามหรือแก้ไขปัญหาเหล่านั้นได้ ทำให้นักเรียนเกิดความขัดแย้งทางปัญญาขึ้น กระตุ้นให้นักเรียนอยากค้นพบคำตอบของกิจกรรมและเชื่อมโยงองค์ความรู้เดิมและความรู้ใหม่ได้

กล่าวโดยสรุป จะเห็นได้ว่านักการศึกษาได้กล่าวถึงบทบาทของครูในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ในทิศทางเดียวกัน โดยบทบาทของครู ได้แก่ ต้องจัดเตรียม

สภาพแวดล้อมให้นักเรียน กระตุ้นให้นักเรียนเกิดความขัดแย้งทางปัญญา เป็นผู้ท้าทายความคิดของนักเรียน คอยชี้แนะแนวทางในกระบวนการที่ได้มาซึ่งองค์ความรู้ที่ถูกต้อง และตรวจสอบคำตอบจากข้อค้นพบของนักเรียน

สำหรับบทบาทของนักเรียนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ นันทนา หอมหวล (2559, น. 36) และทิศนา แขมมณี (2557, น. 95) ได้กล่าวถึงบทบาทของนักเรียนที่สอดคล้องกัน ดังนี้

นักเรียนจะสร้างความรู้ใหม่ที่มีความหมายจากปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน โดยนักเรียนจะมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งรอบตัว จะพยายามหาคำตอบของปัญหาหรือกิจกรรม โดยเชื่อมโยงความรู้ใหม่กับประสบการณ์เดิมของตนเอง สร้างความรู้ใหม่โดยการจัดระเบียบความคิดเพื่อนำประสบการณ์เดิมมาเชื่อมโยงและอธิบายความหมายของข้อค้นพบใหม่จากการแลกเปลี่ยนเรียนรู้และปฏิสัมพันธ์ทางสังคม

กล่าวโดยสรุป นักเรียนจะสร้างความรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยความอยากรู้ คำตอบของปัญหา แสวงหาความรู้จากแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ ตัดสินและแก้ปัญหาอย่างมีเหตุผล มีความคิดเป็นของตนและรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น ให้ความช่วยเหลือซึ่งกันและกัน และนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้

จากบทบาทของครูและนักเรียนที่ได้กล่าวไปข้างต้น ผู้วิจัยได้ทำการสังเคราะห์และเปรียบเทียบบทบาทของครูและนักเรียนให้สอดคล้องกับขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ของผู้วิจัย ดังตาราง 2

ตาราง 2 แสดงบทบาทครูและนักเรียนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์	**บทบาทครู**	**บทบาทนักเรียน**
ขั้นที่ 1 กระตุ้นความสนใจ (Engagement)	1. ยกตัวอย่างปัญหาหรือสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับบทเรียนหรือสอดคล้องกับชีวิตประจำวันเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนนึกถึงประสบการณ์เดิมที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา	1. ตอบคำถามโดยใช้ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องของตนเองเพื่ออธิบายให้สอดคล้องกับคำถามหรือสถานการณ์ที่ครูกำหนด

ตาราง 2 (ต่อ)

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์	บทบาทครู	บทบาทนักเรียน
ขั้นที่ 1 กระตุ้นความสนใจ (Engagement) **(ต่อ)**	2. ตั้งคำถามที่เกี่ยวข้องกับบทเรียนแล้วให้นักเรียนตอบโดยใช้ประสบการณ์ของตนเอง	
ขั้นที่ 2 ขั้นสำรวจ (Exploration)	1. อธิบายกิจกรรมที่ต้องการให้นักเรียนทำร่วมกันหรือแนะนำวิธีการในการค้นหามโนทัศน์โดยไม่บอกคำตอบของกิจกรรม 2. สังเกตและกระตุ้นให้นักเรียนจดจ่อกับกิจกรรมที่กำหนด 3. ให้ความรู้เพิ่มเติมในกรณีที่มโนทัศน์มีความยากและส่งเสริมให้นักเรียนตั้งคำถามและอภิปรายร่วมกัน	1. มีส่วนร่วมกับกิจกรรมที่ครูจัดให้หรือแสดงความคิดเห็นร่วมกับเพื่อนในกลุ่มขณะทำกิจกรรม 2. ตั้งคำถามและอภิปรายร่วมกับเพื่อนในกลุ่มเพื่อหาคำตอบ 3. จดบันทึกและทำความเข้าใจกับมโนทัศน์ที่ได้จากกิจกรรม
ขั้นที่ 3 ขั้นนำเสนอมโนทัศน์ (Proposing concept)	1. ฟังการนำเสนอมโนทัศน์ของนักเรียน 2. ให้ข้อมูลป้อนกลับแก่นักเรียนเกี่ยวกับมโนทัศน์ของนักเรียนโดยการตั้งคำถามเพื่อตรวจสอบความเข้าใจ ความถูกต้องและตรงกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ 3. ครูชี้แนะและนำสรุปมโนทัศน์ใหม่ที่ถูกต้อง	1. นำเสนอคำตอบที่ได้จากการทำกิจกรรมกลุ่มและได้จากการอภิปราย 2. ตอบคำถามของครูตามความเข้าใจของตนเองและตอบข้อมูลที่ได้จากกิจกรรมให้ครบถ้วน 3. นำข้อมูลป้อนกลับที่ครูให้มาพิจารณาเกี่ยวกับความเข้าใจของตนเองที่มีอยู่เดิมกับความรู้ที่ได้จากกิจกรรมกลุ่มเพื่อสร้างเป็นมโนทัศน์ใหม่ที่ถูกต้อง

ตาราง 2 (ต่อ)

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์	บทบาทครู	บทบาทนักเรียน
ขั้นที่ 4 ขั้นการประยุกต์ความรู้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา (Applying newly constructed ideas to physics problem solving)	1. ยกตัวอย่างโจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับบทเรียนแล้วนำอภิปรายโดยใช้คำถามเพื่อแก้โจทย์ปัญหาเหล่านั้น 2. มอบหมายชิ้นงานให้นักเรียนแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เพื่อให้ได้ประยุกต์ความรู้	1. ประยุกต์ความรู้ และนำมโนทัศน์มาใช้ในการตอบคำถามและแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ 2. ทำชิ้นงานที่ครูมอบหมายให้ด้วยตนเอง
ขั้นที่ 5 ขั้นนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน (Applying newly constructed ideas to daily life)	1. ยกตัวอย่างปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวันที่เกี่ยวข้องกับบทเรียนแล้วตั้งคำถามเพื่อตรวจสอบมโนทัศน์ของนักเรียน	1. ประยุกต์ใช้ความรู้ โดยนำมโนทัศน์ที่มีไปอธิบายปรากฏการณ์ หรือสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันที่ครูกำหนด

1.5. **ข้อดีและข้อจำกัดของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์**

นักการศึกษาหลายท่านได้กล่าวถึงข้อดีของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ โดยมีข้อดีทั้งต่อครูและนักเรียน ดังนี้

Yager (1991, p. 46) กล่าวว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์มีข้อดีในการทำให้ผู้เรียนเป็นศูนย์กลางของกระบวนการจัดการเรียนรู้และพัฒนาทัศนคติเชิงบวกต่อรายวิชาวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้ยังเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้คิดและฝึกฝนทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์ กระบวนการคิด เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ร่วมอภิปรายและบูรณาการความรู้ไปปรับใช้กับบริบทต่าง ๆ ได้

พิมพันธ์ เดชะคุปต์ (2544, น. 56) ได้กล่าวถึงข้อดีของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ ดังนี้

1. นักเรียนเรียนอย่างมีความสุข
2. ทัศนคติของนักเรียนต่อครู โรงเรียน เพื่อนและเนื้อหาวิชาดีขึ้น
3. ทักษะการคิดของนักเรียนและผลการเรียนของนักเรียนดีขึ้น
4. ครูมีโอกาสในการพัฒนาความสามารถของนักเรียนได้อย่างเต็มที่

ซึ่งสอดคล้องกับสุวิทย์ มูลคำ และ อรทัย มูลคำ (2545, น. 21) ได้กล่าวถึงข้อดีของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ว่า เป็นวิธีการจัดการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนเป็นผู้ขยายความรู้ความคิดของตนเองให้กว้างหรือลึกซึ้งด้วยตนเอง โดยมีความรู้เดิมเป็นฐาน สอดคล้องกับธรรมชาติการเรียนรู้ของมนุษย์ซึ่งมักตีความสิ่งต่าง ๆ จากความรู้เดิม นอกจากนี้ ทิศนา แขมมณี (2557, น. 94) ได้กล่าวถึงข้อดีของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ว่า เป็นวิธีการจัดการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ทำในสิ่งที่สนใจ ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนมีแรงจูงใจในการคิด การทำ และการเรียนรู้ต่อไป มีการสร้างบรรยากาศที่มีความเป็นมิตรเพราะทุกคนได้ลงมือปฏิบัติร่วมกัน

สุวิทย์ มูลคำ และ อรทัย มูลคำ (2545, น. 21) กล่าวถึงข้อจำกัดของครูในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ว่า ครูต้องมีทักษะในการกระตุ้นความคิด ความรู้เดิม การช่วยต่อเติมความรู้และการวิเคราะห์มโนทัศน์ที่นักเรียนสร้างขึ้นต้องมีความสมเหตุสมผล และทิศนา แขมมณี (2557, น. 95) ได้กล่าวในประเด็นการสร้างความรู้ด้วยตนเองของนักเรียนว่า การใช้กระบวนขยายความคิด ได้แก่ การเรียบเรียง ผสมผสาน ขยายความ และการหาความสัมพันธ์ของความรู้ใหม่กับความรู้เดิมของนักเรียนอาจจะต้องอาศัยการค้นคว้าให้ลึกซึ้งจนรู้แจ้ง ดังนั้นครูต้องตรวจสอบความรู้เพื่อเพิ่มเติมองค์ความรู้ให้สมบูรณ์ สอดคล้องกับวิยฉัตร พูนพิพัฒน์ (2557, น. 381) ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะสำหรับครูผู้สอนว่า ควรให้ความสำคัญกับการเลือกใช้ตัวแทนความคิดในขั้นค้นพบมโนทัศน์ ตัวแทนความคิดที่ใช้ควรมีความเหมาะสมและสอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ต้องการให้นักเรียนได้เรียนรู้เพื่อให้ความรู้ที่นักเรียนสร้างขึ้นหรือมโนทัศน์ทางเลือก (Alternative conception) สามารถปรับมาสู่มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง

โดยสรุปการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ ส่งเสริมให้ผู้เรียนเป็นศูนย์กลางของกระบวนการจัดการเรียนรู้ เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้คิดและร่วมอภิปรายและบูรณาการความรู้ไปปรับใช้กับบริบทต่าง ๆ โดยมีความรู้เดิมเป็นฐาน สอดคล้องกับธรรมชาติการเรียนรู้ของมนุษย์ ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนมีแรงจูงใจในการเรียนรู้ต่อไป ในขณะที่ข้อจำกัดของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ คือ กระบวนการสร้างความรู้ด้วยตนเองของนักเรียน ครูต้องมีทักษะในการช่วยต่อเติมความรู้ การวิเคราะห์มโนทัศน์ที่นักเรียนสร้างขึ้น และควรให้ความสำคัญกับการเลือกใช้ตัวแทนความคิดในขั้นค้นพบมโนทัศน์ เพื่อให้ความรู้ที่นักเรียนสร้างขึ้น สามารถปรับมาสู่มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างถูกต้อง

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ พบว่ามีนักการศึกษาหลายท่านได้นำการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ไปใช้ ดังนี้

Kurt & Ayas (2012) ได้ศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์สี่ขั้นตอนที่ส่งผลต่อความเข้าใจและการอธิบายปัญหาในชีวิตประจำวันเกี่ยวกับมโนทัศน์อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี รายวิชาเคมีของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 41 คน ในประเทศตุรกี โดยแบ่งนักเรียนเป็น 2 กลุ่มโดยใช้วิธีการสุ่มอย่างง่าย กลุ่มทดลองใช้วิธีการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์สี่ขั้นตอน และกลุ่มควบคุมจัดการเรียนรู้แบบดั้งเดิม เครื่องมือในการเก็บข้อมูล คือ แบบวัดความสามารถในการอธิบายความสัมพันธ์ของปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในชีวิตประจำวัน โดยเก็บข้อมูลก่อนเรียนและหลังเรียน นอกจากนี้ยังมีการเก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์นักเรียนจำนวน 13 คนซึ่งถูกสุ่มจากทั้งสองกลุ่ม ผลการทดลองพบว่านักเรียนกลุ่มที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์สี่ขั้นตอนมีความสามารถในการสร้างคำอธิบายปัญหาในชีวิตประจำวันในเชิงวิทยาศาสตร์มากกว่ากลุ่มนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบดั้งเดิม และมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการนำวิธีการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตัรคติวิสต์สี่ขั้นตอนไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ในหัวข้อที่เป็นนามธรรมอื่น ๆ ในรายวิชาเคมี

Quarareh (2016) ได้นำ The Constructivist Learning Model (CLM) ไปใช้ในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 เรื่องธรรมชาติของแสง กระจก และเลนส์ โดยมีกลุ่มตัวอย่างคือนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 136 คน แบ่งเป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม เครื่องมือในการเก็บข้อมูลคือ แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแบบวัดมโนทัศน์เปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่ม พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและมโนทัศน์ของนักเรียนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับงานวิจัยไว้ว่า ควรนำรูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ไปใช้ในหลักสูตรวิทยาศาสตร์และควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลของการนำรูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ไปใช้

Akanwa & Ovute (2014) ได้ศึกษาผลของรูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสนใจของนักเรียนฟิสิกส์ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย เรื่องคลื่นกล และเสียง โดยมีกลุ่มตัวอย่างจำนวน 160 คน แบ่งเป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมกลุ่มละ 80 คน โดยกลุ่มทดลองจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ เปรียบเทียบ

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนทั้งสองกลุ่ม พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัยทางสถิติที่ระดับ .05 ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ยังมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากงานวิจัยว่าครูฟิสิกส์ในโรงเรียนมัธยมควรใช้รูปแบบการสอนแบบคอนสตรัคติวิสต์เพื่อให้เกิดผลสัมฤทธิ์ที่สูงขึ้นและดึงดูดความสนใจของนักเรียน ควรปรับใช้แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์กับนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น

แสงเดือน เจริญฉิม และ สุเทพ อ่วมเจริญ (2553) ได้พัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่สร้างเสริมมโนทัศน์และการแก้ปัญหาในวิชาฟิสิกส์ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยดำเนินการวิจัย 4 ระยะ ได้แก่ วิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ ออกแบบและพัฒนาการจัดการเรียนรู้ นำรูปแบบการจัดการเรียนรู้ไปทดลองใช้กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 80 คน ได้จากการสุ่มห้องเรียนแบบแบ่งกลุ่ม เป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม เครื่องในการเก็บข้อมูล ได้แก่ แบบทดสอบการปฏิบัติ แบบทดสอบวัดมโนทัศน์และการแก้ปัญหา และการประเมิน ประกอบด้วยการประเมินระหว่างการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้และหลังการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ ผลการวิจัย ได้พัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้ทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์และการเรียนรู้แบบวงจร โดยมีขั้นตอนการสอน 6 ขั้น ได้แก่ การสำรวจความรู้เดิม การกระตุ้นความสนใจ การทำมโนทัศน์ให้ชัดเจน การตรวจสอบมโนทัศน์ การนำมโนทัศน์ไปใช้ และการประเมินผล ผลการทดลองใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ดังกล่าว พบว่านักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์ฟิสิกส์และความสามารถในการแก้ปัญหาหลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลอง และสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผู้เชี่ยวชาญด้านหลักสูตรและการสอนฟิสิกส์มีความเห็นว่า รูปแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถพัฒนาความเข้าใจในมโนทัศน์ฟิสิกส์และความสามารถในการแก้ปัญหา มีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

วิยฉัตร พูนพิพัฒน์ (2557) ได้ศึกษามโนทัศน์เรื่องสารและสมบัติของสารของนักเรียนกลุ่มที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ที่หลากหลาย และเปรียบเทียบมโนทัศน์และความสามารถในการคิดวิเคราะห์ของนักเรียนกลุ่มที่เรียนด้วยวิธีการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ที่หลากหลายกับกลุ่มที่เรียนด้วยวิธีการจัดการเรียนรู้วิทยาศาตร์แบบทั่วไป กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 2 ห้องเรียน แบ่งเป็นกลุ่มทดลองจำนวน 46 คน และกลุ่มควบคุมจำนวน 44 คน เก็บข้อมูลจากแบบวัดมโนทัศน์เรื่องสารและสมบัติ

ของสาร และแบบวัดความสามารถในการคิดวิเคราะห์ก่อนเรียนและหลังเรียน และเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์และความสามารถในการคิดวิเคราะห์กับเกณฑ์ร้อยละ 75 พบว่านักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยทั้งมโนทัศน์และความสามารถในการคิดวิเคราะห์สูงกว่ากลุ่มควบคุมและสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 75 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ยังมีข้อเสนอแนะสำหรับครูผู้สอนว่า ควรให้ความสำคัญกับการเลือกใช้ตัวแทนความคิดซึ่งตัวแทนความคิดควรมีความสอดคล้องและเหมาะสมกับปรากฏการณ์ที่ต้องการให้นักเรียนได้เรียนรู้เพื่อให้นักเรียนเข้าใจได้ง่ายขึ้น และการวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับตัวแทนความคิดที่หลากหลายเพื่อพัฒนาความสามารถด้านอื่น ๆ และเจตคติของนักเรียน

ศรีสมร ธวัชเมธี, จันทร์จิรา จูมพลหล้า, และ รุ่งทิวา จันทน์วัฒนวงษ์ (2558) ได้ศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์เสริมด้วยกลวิธี KWL Plus ที่ส่งผลต่อมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเรื่องงานและพลังงานระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 41 คน ได้จากการสุ่มแบบกลุ่ม ใช้แบบแผนการวิจัยแบบกลุ่มเดียวทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล คือ แบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์เรื่องงานและพลังงาน โดยเป็นข้อคำถามแบบ 2 ตอน (two tiers) เรื่องงานและพลังงาน วิเคราะห์คำตอบของนักเรียนโดยการวิเคราะห์เนื้อหาและจัดกลุ่มของนักเรียนตามมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนเป็น 5 กลุ่ม ผลการวิจัย พบว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์เสริมด้วยกลวิธี KWL Plus มีมโนทัศน์ที่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพิ่มมากขึ้นและมีมโนทัศน์ที่ไม่สอดคล้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ลดลง และมีคะแนนมโนทัศน์ฟิสิกส์เฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญ .05

ธนธัญ ฝีมือสาร (2559) ได้จัดการเรียนรู้โดยใช้กลวิธีการสอนสี่ขั้นตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ในรายวิชาฟิสิกส์ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 2 ห้องเรียนโดยเปรียบเทียบมโนทัศน์ฟิสิกส์ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนที่เรียนด้วยกลวิธีการสอนสี่ขั้นตามแนวคอนสตรัคติวิสต์กับนักเรียนที่เรียนด้วยวิธีการจัดการเรียนรู้ทั่วไป และเปรียบเทียบเจตคติที่มีต่อการเรียนฟิสิกส์หลังการทดลองระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม พบว่า คะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์ฟิสิกส์ เรื่องความร้อนและทฤษฎีจลน์ของแก๊ส ของนักเรียนหลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และคะแนนเฉลี่ยเจตคติต่อการเรียนฟิสิกส์ของนักเรียนกลุ่มทดลองสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีข้อเสนอแนะ ดังนี้ ควรให้นักเรียนบันทึกคำตอบของตนเองและแลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างกัน ในขั้นการตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียน และครูควรแบ่งกลุ่มให้นักเรียนเพื่อรักษาเวลาโดยแบ่งกลุ่ม

แบบคละความสามารถ ระหว่างที่นักเรียนทำกิจกรรมครูควรให้คำแนะนำตลอดการทำกิจกรรม ในขั้นเน้นมโนทัศน์เป้าหมาย และในขั้นประยุกต์ความรู้ครูควรยกตัวอย่างหรือสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของนักเรียนมากที่สุดเพื่อให้นักเรียนตระหนักถึงความสำคัญในการเรียนวิชาฟิสิกส์

โดยสรุปจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ได้นำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาฟิสิกส์เพื่อพัฒนามโนทัศน์ฟิสิกส์ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการคิดวิเคราะห์ ซึ่งถูกปรับเปลี่ยนและพัฒนาขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับบริบทของนักเรียนและเป้าหมายของรายวิชา ซึ่งส่วนใหญ่จะเลือกใช้การจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์สี่ขั้นตอน ในงานวิจัยนี้จะนำการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ โดยแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ ในขั้นตอนการประยุกต์ความรู้ โดยแบ่งเป็นขั้นตอนการประยุกต์ความรู้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ และขั้นตอนการประยุกต์ความรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน

2. **เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลวิธีการคิดเป็นภาพ** (Visual thinking)

2.1 **ความหมายของกลวิธีการคิดเป็นภาพ**

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับกลวิธีการคิดเป็นภาพ มีผู้ให้ความหมายของกลวิธีการคิดเป็นภาพที่สอดคล้องกัน ดังนี้

Brand (2017, p. 10); Roam (2013, p. 3) กล่าวว่า การคิดเป็นภาพ คือ กระบวนการออกแบบความคิดที่เป็นระบบ เป็นการใช้ภาพเพื่อคิด ใช้การวาดรูปเพื่อแก้ปัญหาที่ซับซ้อน ให้สามารถมองเห็นปัญหาได้ชัดเจนขึ้นและเกิดวิธีแก้ปัญหาใหม่ ๆ การคิดเป็นภาพไม่ใช่ศิลปะ แต่เป็นการใช้กลไกการมองเห็นผ่านดวงตาและประมวลผลโดยสมอง เพื่อให้ได้มาซึ่งแนวคิดที่เป็นรูปธรรม เพื่อการถ่ายทอดและสื่อสารได้เข้าใจง่ายขึ้น

นอกจากนี้ Katsumi (2008, p. 7) ได้ให้ความหมายของกลวิธีการคิดเป็นภาพเพิ่มเติม ดังนี้ การคิดเป็นภาพ (Visual thinking) เป็นพื้นฐานการคิดเชิงกลยุทธ์ (Strategic Thinking) หรือการแก้ปัญหา (Problem Solving) โดยใช้รูปภาพในการรวบรวมความคิดและถ่ายทอดออกมาโดยใช้สื่อที่ครอบคลุมทั้งการใช้ภาพและตัวอักษร ไม่ว่าจะเป็นการใช้รูปทรงเรขาคณิตพื้นฐาน เช่น วงกลม เส้นตรง ลูกศร สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม ตลอดจนแผนผัง กราฟ รูปถ่าย ภาพประกอบรวมไปถึงตัวอักษรที่เป็นวลีหรือข้อความสั้น ๆ จึงรวมใช้คำว่า แผนภาพในการถ่ายทอดและสื่อสารความคิดต่าง ๆ

โดยสรุปความหมายของกลวิธีการคิดเป็นภาพ (Visual thinking) ในงานวิจัยนี้ หมายถึง กระบวนการออกแบบความคิดโดยใช้แผนภาพ เพื่อแก้ปัญหาที่ซับซ้อน ให้ได้มาซึ่งแนวคิดที่เป็นรูปธรรม เพื่อให้เห็นความเชื่อมโยงของเรื่องราวที่ศึกษา และใช้แผนภาพหรือวลีในการอธิบายและสื่อสารให้ชัดเจนมากขึ้น

2.2 หลักการของกลวิธีการคิดเป็นภาพ

จากการศึกษาหลักการของกลวิธีการคิดเป็นภาพ พบว่า มีผู้นำกลวิธีการคิดเป็นภาพไปใช้ทั้งในเรื่องการจัดการ การบริหารธุรกิจ รวมไปถึงทางด้านการศึกษา ซึ่งมีผู้ล่าวถึงหลักการของกลวิธีการคิดเป็นภาพ ดังนี้

Roam (2013, pp. 33-149) กล่าวถึง 4 ขั้นตอนของการคิดเป็นภาพ ได้แก่ ดู เห็น จินตนาการ และแสดงออก ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

ขั้นที่ 1 การดู (Look) คือ การรวบรวมและกลั่นกรองข้อมูล เป็นกระบวนการรวบรวมและประเมินข้อมูลเกี่ยวกับภาพอย่างคร่าว ๆ เพื่อจะได้รู้ว่าควรมีปฏิกิริยาตอบรับอย่างไร การดูเกี่ยวข้องกับการกวาดตามอง ช่วยให้มองเห็นภาพรวม ในขณะเดียวกันก็ตั้งคำถามอย่างรวดเร็ว เพื่อช่วยให้สมองประเมินเบื้องต้นว่าสิ่งที่อยู่ตรงหน้าคืออะไร โดยมีหลักเบื้องต้น ได้แก่ เก็บรายละเอียดให้มากที่สุด กระจายข้อมูลออกไปในที่ที่สามารถดูได้ทั่วถึง กำหนดระบบความสัมพันธ์ของตัวแปรพื้นฐาน และเรียงลำดับความสำคัญของภาพ

ขั้นที่ 2 การเห็น (See) คือ การคัดเลือกและจัดหมวดหมู่ เป็นกระบวนการอีกด้านหนึ่งของการป้อนข้อมูลเกี่ยวกับภาพ และต้องอาศัยปฏิกิริยาจากการทำงานของตามากขึ้นขณะดู เรากวาดตามองข้อมูลทั้งหมดและเก็บข้อมูลเบื้องต้น เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนการเห็น เราจะคัดเลือกข้อมูลที่มีคุณค่าพอที่จะศึกษาต่อในรายละเอียด โดยอาศัยความสามารถพื้นฐานเกี่ยวกับการจดจำรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งส่วนใหญ่มักเป็นไปตามสัญชาตญาณ แต่บางครั้งก็เกิดจากความตั้งใจ โดยมีวิธีการเห็น 6 วิธี ได้แก่ เราเห็นวัตถุ - ใคร (Who) และอะไร (What) เราเห็นปริมาณ - เท่าไหร่ (How many, How much) เราเห็นตำแหน่ง - ที่ไหน (Where) เราเห็นตำแหน่งของเวลา - เมื่อไร (When) เราเห็นผลกระทบและความสัมพันธ์ระหว่างเหตุกับผล - อย่างไร (How) เราเห็นทุกอย่างและรู้ว่ามีบางอย่างเกิดขึ้น - ทำไม (Why)

ขั้นที่ 3 การจินตนาการ (Imagine) เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นหลังจากรวบรวมและคัดเลือกข้อมูลเสร็จเรียบร้อย เป็นช่วงเวลาที่ผสานข้อมูลต่าง ๆ เข้าด้วยกัน การจินตนาการมักได้รับการคิดถึงในลักษณะใดลักษณะหนึ่ง คือ การเห็นทั้งที่หลับตา หรือการเห็นสิ่งที่ไม่ได้อยู่ตรงหน้า โดยใช้หลักการ SQVID คือ การกระตุ้นให้สมองทำงานเกี่ยวกับภาพอย่างเต็มที่ เป็น

การทบทวนแนวคิดผ่าน 5 คำถาม โดยใช้ภาพอธิบายแนวคิดแต่ละฝั่งของคำถาม ซึ่งก็คือ การบังคับให้ตาที่อยู่ในความคิดได้สร้างสรรค์ภาพที่มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 10 ภาพ โดย S มาจากคำว่า Simple (ง่าย) กับ Elaborate (ขยายความ) Q มาจากคำว่า Quality (เชิงคุณภาพ) กับ Quantity (เชิงปริมาณ) V มาจากคำว่า Vision (วิสัยทัศน์) กับ Execution (ปฏิบัติการ) I มาจาก Individual attributes (เอกเทศ) กับ Comparison (เปรียบเทียบ) และ D มาจากคำว่า Delta (เปลี่ยนแปลง) กับ Status quo (คงเดิม)

ขั้นที่ 4 การแสดงออก (Show) คือ การนำเสนอให้กระจ่างชัด ทันทีที่ค้นพบและเข้าใจรูปแบบ จนหาวิธีปรับเปลี่ยนให้กลายเป็นการค้นพบแนวคิดใหม่ ๆ เราก็ต้องแสดงให้ผู้อื่นรับรู้ โดยเริ่มต้นจากการสรุปสิ่งที่เห็น ค้นหาวิธีที่จะนำเสนอแนวคิดอย่างเป็นรูปธรรม บันทึกแนวคิดลงบนกระดาษ ชี้ให้เห็นถึงสิ่งที่อยู่ในจินตนาการ แล้วตอบคำถามของผู้ฟัง การนำเสนอต้องครอบคลุมคำถามหลัก 6 ประการ (6W) ดังนี้ ใครหรืออะไร แสดงด้วย ภาพเค้าโครง เท่าไร แสดงด้วย ภาพแผนภูมิ ที่ไหน แสดงด้วย ภาพแผนที่ เมื่อไร แสดงด้วย ภาพแผนผังแสดงขั้นตอนและระยะเวลา อย่างไร แสดงด้วย ภาพผังงาน ทำไม แสดงด้วย ภาพกราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปร

นอกจากนี้ Brand (2017, pp. 51-57) กล่าวถึงการสร้างเรื่องราวด้วยภาพตามวงจรแห่งความสร้างสรรค์ 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 เข้าใจ กำหนดกรณีของตนเองขึ้นมา เริ่มด้วยการระบุว่าเราต้องการอะไร เราต้องการจัดการประเด็นไหน และสถานการณ์ใด อุดมคติใดที่ต้องการประสบความสำเร็จ

ขั้นที่ 2 กำหนดวัตถุประสงค์ มองลึกลงไปถึงความเข้าใจถึงสิ่งที่ต้องการทำ อธิบายว่าต้องการอะไร กำหนดผู้รับสารและคิดข้อคามหลักที่ต้องการจะสื่อ ระบุผู้เกี่ยวข้อง สร้างหลักการและเหตุผลสำหรับเรื่องและทดลองใช้กับผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้แน่ใจว่าเรื่องราวนั้นน่าสนใจ

ขั้นที่ 3 ริเริ่มความคิด เป็นกระบวนการสร้างสรรค์ในการสร้างและพัฒนาคอนเซ็ปต์ของรูปที่สามารถสนับสนุนเรื่องราวและข้อความหลักได้ สิ่งที่สำคัญ คือ การทำความเข้าใจคอนเซ็ปต์รูปที่หลากหลายและมองจากหลายมุมในการคิดเรื่องราวให้เกิดเป็นภาพขึ้นมาหรือสร้างภาพประกอบที่สนับสนุนเรื่องราวทำได้หลายแบบ ดังนั้น ต้องช่วยกันในทีม คอนเซปต์รูปหนึ่งอาจตอบโจทย์มากกว่าอีกคอนเซ็ปต์รูปหนึ่งก็ได้ ขึ้นกับผู้รับสาร

ขั้นที่ 4 คิดเป็นภาพ เริ่มคิดภาพเส้นทางเดินเรื่อง อาจจะเล่าโดยการนำเสนอที่น่าสนใจ หรืออาจกระตุ้นให้คนทั้งห้องมามีส่วนร่วม โดยอาจจะใช้บอร์ดสำหรับการนำเสนอ บอร์ดสำหรับการระดมความคิด เปรียบเทียบและตัดสินใจเลือกแบบแผนที่เหมาะสมที่สุด

ขั้นที่ 5 แบ่งปัน นำเสนอข้อมูลทุกอย่างด้วยแผนภาพอย่างชัดเจน และรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น

ขั้นที่ 6 สะท้อน ถามความเห็นจากผู้อื่นที่มีต่อชิ้นงาน เปิดใจกว้างเมื่อพบจุดบอดและนำไปปรับปรุงแก้ไข ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 อีกครั้ง

นอกจากนี้ Katsumi (2008, p. 97-116) กล่าวถึงขั้นตอนการสร้างแผนภาพ 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 เลือกคีย์เวิร์ดออกมา (จับประเด็นภาพรวมของข้อมูล) คีย์เวิร์ด คือ คำสำคัญที่ใช้แทนเรื่องที่จะถ่ายทอด การเลือกคีย์เวิร์ด เริ่มจากทำเครื่องหมายบนคีย์เวิร์ด เขียนคีย์เวิร์ดลงบนกระดาษ และใช้ลูกศรเชื่อมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคีย์เวิร์ด

ขั้นที่ 2 ทำให้ภาพรวมมองเห็นชัดเจน สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนย่อย ได้แก่ กำหนดชื่อเรื่องและใส่ลงในแผนภาพ โดยชื่อเรื่องควรตั้งให้สั้น ตัวหนังสือควรเขียนให้ใหญ่ จินตนาการรูปที่จะใช้และตำแหน่งของรูปโดยรวมในแผนภาพ ใจความหลักควรเป็นข้อความหรือประโยคสั้น ๆ ที่กระชับใช้ในการสรุปเนื้อหาหลักที่แผนภาพนั้น ๆ ต้องการจะถ่ายทอด และใส่รูปทรงต่าง ๆ ลงในแผนภาพก่อน

ขั้นที่ 3 กำหนดและใส่องค์ประกอบแต่ละส่วนให้เรียบร้อย มีขั้นตอนย่อย 3 ขั้นตอน ดังนี้ ใส่คีย์เวิร์ดลงไปในรูปแล้วเชื่อมลูกศร เขียนใจความหลักด้วยประโยคสั้น ๆ และเพิ่มเติมข้อมูลให้ครบถ้วนตามความจำเป็น

จากหลักการของกลวิธีการคิดเป็นภาพเบื้องต้นจะเห็นได้ว่าเป็นหลักการกว้าง ๆ ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายแขนง ในขณะเดียวกันยังมีการนำกลวิธีการคิดเป็นภาพมาใช้พัฒนาการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาฟิสิกส์ ดังนี้

Yenawine (2013, pp. 35-76) ได้กล่าวถึงขั้นตอนการสอนด้วยกลวิธีการคิดเป็นภาพไว้ 4 ขั้น ได้แก่

1. ให้นักเรียนดูภาพหรือสถานการณ์แล้วตั้งคำถามเพื่อกระตุ้นความสนใจ และให้นักเรียนลงมือปฏิบัติกิจกรรม โดยให้นักเรียนนำเสนอข้อค้นพบจากกิจกรรมในรูปแบบของภาพ

2. ครูนำอภิปรายโดยใช้ภาพของนักเรียน ให้นักเรียนตอบคำถามในส่วนของรายละเอียดที่นักเรียนสรุป และชี้แนะถึงข้อสรุป โดยปรับเปลี่ยนคำพูดใหม่ให้เข้าใจง่ายขึ้น

3. ชักชวนให้เกิดบทสนทนาแลกเปลี่ยนความคิดเห็น โดยเชื่อมโยงความคิดเห็นที่สอดคล้องและไม่สอดคล้องกันและช่วยให้นักเรียนสามารถสังเคราะห์มุมมองต่าง ๆ ที่หลากหลาย

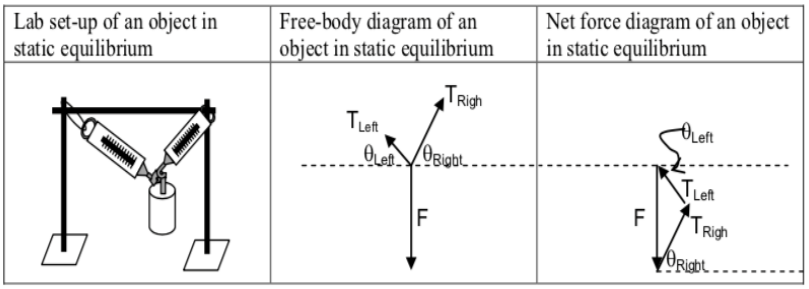
4. สนับสนุนให้มีการตั้งคำถามต่อไป โดยที่พยายามทำให้กระบวนการมีลักษณะที่ไม่มีคำตอบตายตัว (Open- ended) และให้นักเรียนพยายามที่จะขยายขอบเขตและมองหาข้อมูลนอกเหนือไปจากสิ่งที่พวกเขาทราบ

นอกจากนี้ Mahoney (2012a, pp. 5-6) ได้กล่าวถึงขั้นตอนการสอนโดยใช้การคิดเป็นภาพ 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. จัดการทดลองในหัวข้อสมดุลของแรง แล้วให้นักเรียนวัดค่าแรงและบันทึกผล

2. ให้นักเรียนใช้สัญลักษณ์ลูกศร (Cardboard vector) แทนแผนภาพของแรงที่กระทำกับวัตถุพร้อมทั้งเขียน Free-body diagram

3. ใช้สัญลักษณ์ลูกศรแทนเวกเตอร์ในการคำนวณหาขนาดของเวกเตอร์ลัพธ์และเทียบกับแรงลัพธ์จริงที่ได้จากการทดลอง



ภาพประกอบ 4 แผนภาพแทนแรงลัพธ์จากการทดลอง

ที่มา : Mahoney. (2012). The effect of instruction of visual/spatial thinking skills on learning physics concepts. p. 10.

โดยสรุปงานวิจัยนี้จะนำหลักการของกลวิธีการคิดเป็นภาพของ (Dan Roam, 2555, น. 33-149) ที่มี 4ขั้นตอน ได้แก่ ดู เห็น จินตนาการ และแสดงออก มาประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาฟิสิกส์ เนื่องจากหลักการนี้เป็นหลักการที่ส่งเสริมการคิดอย่างเป็นระบบ สามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนโดยใช้ภาพ และทำให้นักเรียนสามารถสื่อสารและแสดงให้เห็นความเชื่อมโยงของเรื่องราวได้อย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับข้อจำกัดของการจัดการเรียนรู้แบบคอนสตรัคติวิสต์ที่ต้องการต่อเติมความรู้และผสมผสานมโนทัศน์ที่นักเรียนสร้างขึ้นได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้น

2.3 ข้อดีของกลวิธีการคิดเป็นภาพ

จากการศึกษาข้อดีของกลวิธีการคิดเป็นภาพ Brand (2017, p. 13); Katsumi (2008, pp. 6-7); Roam (2013, p. 2) ได้กล่าวถึงข้อดีของกลวิธีการคิดเป็นภาพที่สอดคล้องกัน ดังนี้

การคิดเป็นภาพช่วยให้การจัดระเบียบข้อมูลง่ายและชัดเจนยิ่งขึ้น ทำให้ความกำกวมจากการสื่อสารด้วยประโยคหรือข้อความยาว ๆ หมดไป เป็นการจัดลำดับความคิดของตนเองแบบแผนและความเชื่อมโยงต่าง ๆ จะมีความชัดเจนมากขึ้น ช่วยให้มองเห็นปัญหาต่าง ๆ ได้รวดเร็วขึ้น เข้าใจปัญหาต่าง ๆ ได้โดยไม่ต้องอธิบายให้มากความ ระบุปัญหาต่าง ๆ ได้อย่างมั่นใจ และสามารถสื่อสารถึงวิธีการแก้ไขปัญหาให้ทุกคนเข้าใจได้ในระยะเวลาอันสั้น เป็นการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ ทำให้ง่ายต่อการสื่อสารกับผู้อื่น ส่งเสริมกระบวนการทำงานเป็นทีม และทำให้กระบวนการเข้าใจชัดเจนขึ้น

โดยสรุป ข้อดีของกลวิธีการคิดเป็นภาพ คือ ช่วยจัดระเบียบข้อมูล และช่วยวิเคราะห์ปัญหาที่ซับซ้อนให้เข้าใจง่ายขึ้น รวมไปถึงส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ และช่วยให้การสื่อสารสะดวกและชัดเจนมากขึ้น

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลวิธีการคิดเป็นภาพ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลวิธีการคิดเป็นภาพ พบว่ามีนักการศึกษาที่นำกลวิธีการคิดเป็นภาพไปใช้ทั้งในการจัดการเรียนรู้ ดังนี้

Jill Mahoney (2012) ได้นำกลวิธีการคิดเป็นภาพไปใช้ในการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนามโนทัศน์ในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน โดยมีกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่นำวัตถุที่จับต้องได้เป็นแผนภาพเวกเตอร์ที่ทำจากกระดาษเพื่อให้นักเรียนทำความเข้าใจจากสิ่งที่เป็นรูปธรรมแล้วจึงให้นักเรียนเชื่อมโยงความรู้และจัดการข้อมูลโดยใช้ภาพแทนวัตถุ เครื่องมือในการเก็บข้อมูลได้แก่ แบบวัดความสามารถในการคิดเป็นภาพ และแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ ผลการวิจัยพบว่านักเรียนมีพัฒนาการทั้งในส่วนของความสามารถในการคิดเป็นภาพและมโนทัศน์ฟิสิกส์

Noh & Son (2015) ได้ศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้อินโฟกราฟิกร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพในรายวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายสายอาชีวศึกษา โดยมีกลุ่มตัวอย่างจำนวน 60 คน เป็นกลุ่มทดลองจำนวน 25 คนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ที่ประกอบด้วย การสร้างแนวคิดอินโฟกราฟิก การทำความเข้าใจและการสร้างอินโฟกราฟิกร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพ ในขณะที่กลุ่มควบคุมจัดการเรียนรู้โดยใช้วิธีบรรยาย ผลการศึกษา พบว่า ลักษณะของอินโฟกราฟิกที่นักเรียนสร้างขึ้น เกิดการเปลี่ยนแปลงจาก

การจัดเรียงข้อมูลอย่างง่ายเป็นการกำหนดค่าใหม่อย่างง่าย และจากภาพประกอบเป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบซึ่งเกิดจากกระบวนการคิดเป็นภาพของนักเรียน การจัดการเรียนรู้โดยใช้อินโฟกราฟิกร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพทำให้ระดับความเข้าใจและการสื่อสารเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และคะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและเจตคติต่อการเรียนวิทยาศาสตร์หลังเรียนของกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุม

Fernández-Fontecha, O'halloran, Tan, & Wignell (2018) ได้ศึกษาการใช้เทคนิคการคิดเป็นภาพเพื่อพัฒนาการคิดเชิงมโนทัศน์และการแก้ปัญหาเพื่อลดความซับซ้อนของการคิดที่แสดงในรูปแบบทางวิทยาศาสตร์ โดยการวิเคราะห์บทบาทของภาษา กราฟและสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ในหนังสือและวรรณกรรมทางฟิสิกส์จำนวน 4 เล่ม การวิเคราะห์เผยให้เห็นว่าเทคนิคการคิดเป็นภาพ เช่น การร่างภาพ กราฟิก และแผนผัง ทำให้สามารถเข้าถึงเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อนได้ สามารถเปลี่ยนความนามธรรมเฉพาะทาง โดยเฉพาะในทางฟิสิกส์และคณิตศาสตร์ถูกปรับเปลี่ยนให้เป็นรูปธรรมได้และส่งเสริมการมีส่วนร่วมของผู้ที่อ่านข้อความ เนื่องจากการคิดเป็นภาพเป็นรูปแบบการสื่อสารรูปแบบหนึ่งที่อธิบายแนวคิดทางนามธรรมโดยใช้โครงสร้างต่อเนื่องหลายรูปแบบหรือการสรุปส่วนสำคัญ เช่น กราฟ ภาพวาด และแผนผัง และการอธิบายข้อความที่กำหนดโดยใช้สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ส่งผลให้เกิดการเข้าใจแนวคิดที่เป็นนามธรรมมากขึ้นสำหรับคนที่ไม่ใช่ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางคณิตศาสตร์หรือฟิสิกส์

Sholihah, Nusantara, Sa'dijah, & Susanto (2019) ได้ศึกษาระดับในการคิดเป็นภาพของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายในการแก้โจทย์ปัญหาเรื่อง การหาปริพันธ์ งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพ ใช้การสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจำนวน 35 คน เก็บข้อมูลจากแบบทดสอบเรื่องการหาปริพันธ์และการสัมภาษณ์ ผลการศึกษาพบว่า ระดับความสามารถในกาคิดเป็นภาพของนักเรียนแบ่งได้เป็น 3 ระดับ ได้แก่ กลุ่มแรก คือ กลุ่มนักเรียนที่ไม่มีความสามารถในการคิดเป็นภาพ ไม่สามารถแสดงและตีความโจทย์ปัญหาให้อยู่ในรูปแผนผังได้ แต่อย่างไรก็ตามนักเรียนกลุ่มแรกนี้สามารถแก้โจทย์ปัญหาในเชิงพีชคณิตได้แต่ไม่สมบูรณ์ กลุ่มที่สอง คือ กลุ่มที่มีความสามารถในการคิดเป็นภาพแบบพื้นฐาน กลุ่มนี้สามารถสร้างข้อมูลหรือตีความโจทย์ปัญหาแล้วสร้างเป็นแผนผังได้ แต่ไม่สามารถใช้แผนผังหรือรูปภาพในการแก้โจทย์ปัญหาได้ และกลุ่มที่สาม คือ กลุ่มที่มีความสามารถในการคิดเป็นภาพอย่างหลากหลาย นักเรียนกลุ่มนี้สามารถเข้าใจพีชคณิตและเรขาคณิต และสามารถแก้โจทย์ปัญหาได้อย่างสมบูรณ์

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลวิธีการคิดเป็นภาพ จะเห็นได้ว่ากลวิธีการคิดเป็นภาพถูกนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาฟิสิกส์และคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในกระบวนการขยาย

ความคิด การจัดการข้อมูลโดยเฉพาะในบทเรียนที่เป็นนามธรรมให้เป็นรูปธรรมและง่ายต่อความเข้าใจในสถานการณ์ที่ซับซ้อน ในงานวิจัยนี้ได้นำกลวิธีการคิดเป็นภาพไปใช้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์โดยจะนำไปใช้ในขั้นตอนการสำรวจ เพื่อให้นักเรียนสามารถสร้างความรู้ด้วยตนเองได้อย่างเป็นระบบ และนำกลวิธีการคิดเป็นภาพไปใช้ในขั้นตอนการพิจารณาปัญหาในขั้นตอนการประยุกต์ความรู้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เพื่อช่วยในการวิเคราะห์และตีความโจทย์ปัญหาฟิสิกส์ที่มีความซับซ้อน

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการแก้โจทย์ปัญหา

จากการศึกษาพบว่า การแก้ปัญหาเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของเพียเจต์และบรูเนอร์ จากการศึกษาทฤษฎีดังกล่าว เกริก ศักดิ์สุภาพ (2556, น. 21); ทิศนา แขมมณี (2557, น. 64-65); สุรางค์ โคว้ตระกูล (2553) ได้กล่าวถึงทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาที่สอดคล้องกัน ดังนี้

ทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของเพียเจต์ ได้แบ่งพัฒนาการตามวัยเป็นลำดับขั้นดังนี้

1. ขั้นรับรู้ด้วยประสาทสัมผัส (Sensorimotor period) เป็นขั้นพัฒนาการตั้งแต่ 0–2 ปี ความคิดของเด็กวัยนี้ขึ้นอยู่กับการรับรู้และการกระทำผ่านการใช้ประสาทสัมผัส พยายามแก้ปัญหาแบบลองผิดลองถูก ยังมีขีดจำกัดของความสามารถในการคิดวางแผน

2. ขั้นก่อนปฏิบัติการคิด (Preoperational period) เป็นขั้นพัฒนาการในช่วงอายุ 2-7 ปี ความคิดของเด็กวัยนี้ขึ้นกับการรับรู้ สามารถเรียนรู้และใช้สัญลักษณ์ได้ แต่ไม่สามารถใช้เหตุผลอย่างลึกซึ้ง เพียเจต์แบ่งขั้นนี้ออกเป็น 2 ขั้น ได้แก่

2.1 ขั้นก่อนเกิดความคิดรวบยอด (Pre – conceptual intellectual period) เป็นพัฒนาการในช่วงอายุ 2-4 ปี ไม่สามารถใช้เหตุผลอย่างสมเหตุสมผล แต่สามารถใช้ภาษาที่เกี่ยวข้องกับตนเองและเข้าใจความหมายของสัญลักษณ์ได้

2.2 ขั้นการคิดด้วยความเข้าใจของตนเอง (Intuitive thinking period) เป็นขั้นพัฒนาการในช่วงอายุ 4-7 ปี เริ่มมีเหตุผล แต่การตัดสินใจและความคิดยังขึ้นอยู่กับการรับรู้จากภายนอกมากว่าความเข้าใจ มีความสนใจ และเลียนแบบพฤติกรรมของคนรอบข้าง

3. ขั้นการคิดเป็นรูปธรรม (Concrete operational period) เป็นขั้นพัฒนาการในช่วงอายุ 7-11 ปี เด็กสามารถสร้างภาพในใจ สามารถคิดย้อนกลับได้ และมีความเข้าใจใน

ความสัมพันธ์ของตัวเลขและสิ่งต่าง ๆ แต่กระบวนการคิด การแก้ปัญหา การตัดสินใจยังต้องอาศัยสิ่งที่เป็นรูปธรรม

4. ขั้นการคิดแบบนามธรรม (Formal operational period) เป็นขั้นพัฒนาการในช่วงอายุ 11-15 ปี เด็กสามารถคิดสิ่งที่เป็นนามธรรมได้ และสามารถคิดตั้งสมมติฐานและใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ได้ รู้จักคิดและตัดสินปัญหา สามารถใช้เหตุผลมาอธิบายและแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้

ทิศนา แขมมณี (2557, น. 66) กล่าวว่า มนุษย์จะเลือกรับรู้เฉพาะสิ่งที่ตนเองสนใจ และการเรียนรู้เกิดจากการค้นพบด้วยตนเอง ตามทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของบรูเนอร์ (discovery learning) ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ขั้น ได้แก่

1. ขั้นการเรียนรู้จากการกระทำ (Enactive stage) คือ ขั้นของการเรียนรู้ที่เกิดจากการใช้ประสาทสัมผัส การเรียนรู้เกิดจากการกระทำซึ่งตรงกับขั้นรับรู้ด้วยประสาทสัมผัส (Sensorimotor period) ของเพียเจต์

2. ขั้นการเรียนรู้จากความคิด (Iconic stage) คือ ขั้นที่เด็กสามารถสร้างมโนภาพในใจได้ เรียนรู้จากภาพแทนของจริงได้ ซึ่งตรงกับขั้นการคิดเป็นรูปธรรม (concrete operational period) ของเพียเจต์

3. ขั้นการเรียนรู้สัญลักษณ์และนามธรรม (Symbolic stage) เป็นขั้นการเรียนรู้สิ่งที่ซับซ้อนและเป็นนามธรรมได้ สามารถถ่ายทอดประสบการณ์โดยใช้สัญลักษณ์หรือภาพตลอดจนสามารถคิดแก้ปัญหาได้ สอดคล้องกับขั้นการคิดแบบนามธรรม (Formal operational period) ของเพียเจต์

โดยสรุปจะเห็นได้ว่าการแก้ปัญหาสอดคล้องกับทฤษฎีพัฒนาการทางสติปัญญาของเพียเจต์และบรูเนอร์ รวมไปถึงกลุ่มเป้าหมายในการวิจัย คือนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ซึ่งอยู่ในขั้นขั้นการคิดแบบนามธรรม (Formal operational period) ของเพียเจต์และขั้นการเรียนรู้สัญลักษณ์และนามธรรม (Symbolic stage) ของบรูเนอร์ ซึ่งนักเรียนสามารถเรียนรู้สิ่งที่ซับซ้อนและเป็นนามธรรมได้ สามารถถ่ายทอดประสบการณ์โดยใช้สัญลักษณ์หรือภาพ สามารถคิดหาเหตุผล หาทางเลือกได้อย่างเหมาะสมและคิดแก้ปัญหาได้

3.2 ความหมายของการแก้โจทย์ปัญหา

จากการศึกษาความหมายของการแก้ปัญหา พบว่ามีนักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายของการแก้ปัญหาที่สอดคล้องกัน ดังนี้

Good (1973, p.518) อ้างถึงในนฤมล ฉิมงาม (2558) กล่าวถึงความหมายของการแก้ปัญหา ว่าเป็นแนวทางในการแก้ไขสภาวะที่ซับซ้อน โดยมีการเดาคำตอบล่วงหน้าหรือตั้งสมมติฐาน แล้วเก็บข้อมูลจากการทดลอง เพื่อตรวจสอบสมมติฐาน

กาญจนา คุณารักษ์ (2552, น. 403) กล่าวถึงความหมายของการแก้ปัญหาว่า เป็นกระบวนการทางสติปัญญา การคิดและการรับรู้ การแก้ปัญหาจะเริ่มด้วย การรับรู้ทุก ๆ ส่วนของปัญหา พิจารณาความสัมพันธ์ของส่วนรวมทั้งหมดแล้วก็มองหาลู่ทางหรือช่องทางที่จะแก้ไขปัญหาได้ทันทีทันใดอย่างกระจ่างแจ้ง

เกริก ศักดิ์สุภาพ (2556, น. 20) ได้กล่าวว่า การแก้ปัญหา เป็นกระบวนการที่ใช้ความรู้ร่วมกับประสบการณ์ คิดและพิจารณาเพื่อหาทางออกของปัญหา โดยต้องใช้ความเข้าใจร่วมกับทักษะ โดยมีกระบวนการที่เป็นลำดับขั้นตอนในการวางแผนแก้ปัญหา เพื่อให้บรรลุเป้าหมายหรือค้นพบทางออกของปัญหาเหล่านั้น

ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2561, น. 68) ได้กล่าวว่า การคิดแก้ปัญหา เป็นการคิดแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ปัจจุบันหรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวันโดยใช้ความรู้เดิมหรือประสบการณ์ที่ได้เรียนรู้ของแต่ละบุคคล เพื่อให้สามารถแก้ไขปัญหาหรือบรรลุเป้าหมายได้

นอกจากนี้เจนศึก โพธิศาสตร์ (2546, น. 12) กล่าวถึงโจทย์ปัญหา ว่าเป็นสถานการณ์ที่ประกอบด้วยจำนวนตัวเลขและข้อความที่ก่อให้เกิดปัญหาซึ่งผู้เรียนต้องใช้ประสบการณ์ทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มาแก้ปัญหานั้นควบคู่กัน

ดวงพร ตั้งอุดมเจริญชัย (2551, น. 16) ที่กล่าวว่า โจทย์ปัญหาเป็นปัญหาที่มีข้อความสถานการณ์ที่ประกอบด้วยภาษาและตัวเลขที่ต้องการคำตอบที่สามารถแก้ปัญหาโดยอาศัยทักษะการตีความโจทย์เป็นประโยคสัญลักษณ์แล้วคำนวณเพื่อหาคำตอบที่ต้องการ

เอกวิทย์ ดวงแก้ว (2558, น. 36) กล่าวถึงการแก้โจทย์ปัญหาว่า เป็นการคิดหาวิธีการที่จะหาทางออกของโจทย์ปัญหาโดยต้องเข้าใจในโจทย์ปัญหาหรือสถานการณ์จำลองที่ประกอบด้วยจำนวนตัวเลขและข้อความตลอดจนหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีอยู่จนได้คำตอบของโจทย์ปัญหาที่ถูกต้อง

โดยสรุปการแก้ปัญหา เป็นกระบวนการทางสติปัญญาที่ต้องใช้ความคิด ทักษะความรู้ และความเข้าใจปัญหา และการแก้โจทย์ปัญหา เป็นวิธีการคิดที่ต้องแก้ไขข้อความสถานการณ์ที่ประกอบด้วยภาษาและตัวเลข โดยต้องอาศัยความเข้าใจในโจทย์ พิจารณาความสัมพันธ์ของข้อมูล ตีความโจทย์เป็นประโยคสัญลักษณ์คำนวณจนได้คำตอบของโจทย์ปัญหา

3.3 ขั้นตอนในการแก้โจทย์ปัญหา

จากการศึกษาแนวคิดในการแก้โจทย์ปัญหา พบว่า มีนักการศึกษาหลายท่านที่เสนอแนวคิดและขั้นตอนในการแก้โจทย์ปัญหาที่แตกต่างกัน ดังนี้

Hestenes (1987, pp. 7-11) เสนอขั้นตอนสำหรับแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์กลศาสตร์ โดยมี 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 อธิบายปัญหา (Description) เป็นการตีความโจทย์ปัญหา อธิบายและระบุประเด็นสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ อธิบายเกี่ยวกับวัตถุ ว่ามีลักษณะอย่างไรและระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เช่น มวลมีขนาดเท่าใด อธิบายการเคลื่อนที่ว่าเป็นการเคลื่อนที่รูปแบบใด ระบบอ้างอิงของการเคลื่อนที่ และระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ และอธิบายแรงที่กระทำกับวัตถุ ว่ามีแรงประเภทใดบ้าง พร้อมทั้งกำหนดตัวแปรของแรง และเขียนอันตรกิริยาที่กระทำต่อกัน รวมไปถึงการเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ (Free body diagram)

ขั้นที่ 2 กำหนดสูตรที่ใช้ (Formulation) คือ การกำหนดกฎการเคลื่อนที่ ระบุสมการของการเคลื่อนที่ แทนค่าคงที่ลงในสมการ พร้อมระบุเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับโจทย์ปัญหา

ขั้นที่ 3 การหาผลลัพธ์ (Ramification) เป็นขั้นแก้สมการจากสูตรฟิสิกส์ที่แทนค่าคงที่ไว้ และหาคำตอบ

ขั้นที่ 4 การตรวจสอบ (Validation) เป็นการตรวจสอบและประเมินคำตอบว่ามีความสมเหตุสมผลหรือไม่

Rojas (2010, pp. 22-28) ได้เสนอขั้นตอนในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ไว้ 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหา (Understand the problems) เป็นขั้นที่พิจารณาโจทย์ปัญหา โดยตอบคำถามต่อไปนี้ ตัวแปรที่ไม่ทราบคืออะไร เงื่อนไขของโจทย์คืออะไร เงื่อนไขที่โจทย์กำหนดเพียงพอที่จะหาคำตอบของตัวแปรที่ต้องการทราบหรือไม่ นักเรียนต้องวาดรูปแสดงโจทย์ปัญหา แปลงปัญหาให้เป็นคำอธิบายของตนเอง ย่อยปัญหา โดยนำความรู้ความเข้าใจเดิมที่มีอยู่มาคิดแก้ปัญหา

ขั้นที่ 2 จัดเตรียมปริมาณที่ใช้ในการอธิบายปัญหา(Provide a qualitative description of the problem) ขั้นนี้นักเรียนจะต้องคิดและระบุกฎ หลักการ ทฤษฎี หรือสมการที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา เช่น กฎของนิวตัน กฎการอนุรักษ์พลังงาน และกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม เพื่ออธิบายและวิเคราะห์โจทย์ปัญหา

ขั้นที่ 3 วางแผนแก้ปัญหา (Plan solution) เป็นขั้นที่นักเรียนจะต้องพิจารณาว่าตัวแปรที่โจทย์ต้องการทราบสัมพันธ์กับโจทย์ปัญหาอย่างไร โดยพิจารณาว่าเคยเห็นโจทย์

ปัญหารูปแบบนี้มาก่อนหรือไม่ หรือนักเรียนอาจเลือกใช้หลากหลายวิธีเพื่อนำไปสู่การหาคำตอบที่ถูกต้อง โดยเริ่มจากใช้วิธีการที่คล้ายกับโจทย์ปัญหาที่เคยเห็นหรือเคยทำมาก่อน และเปลี่ยนวิธีการไปเรื่อย ๆ โดยระบุวิธีการแต่ละแบบในรูปของสมการที่เป็นไปได้ในการหาคำตอบ

ขั้นที่ 4 **ดำเนินการตามแผน** (Carrying out the plan) เป็นขั้นที่นักเรียนต้องแก้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบ โดยการเขียนแสดงวิธีทำการแก้สมการอย่างละเอียดลงในกระดาษเพื่อที่จะสามารถแก้ไขเมื่อพบปัญหาได้อย่างรวดเร็ว

ขั้นที่ 5 **พิสูจน์ความสอดคล้องของสมการ** (Verify the internal consistency and coherence of the equations used) เป็นขั้นที่นักเรียนต้องพิสูจน์การคำนวณจากสมการว่าถูกต้องหรือไม่ หากตรวจสอบแล้วไม่พบข้อผิดพลาดนักเรียนสามารถประเมินคำตอบในขั้นตอนต่อไป

ขั้นที่ 6 **ตรวจสอบความสอดคล้องของสมการ** (Check and evaluate the obtained solution) เป็นขั้นที่นักเรียนพิจารณาความสมเหตุสมผลของคำตอบของผลลัพธ์ในสมการว่าเหมาะสมหรือไม่ และให้นักเรียนลองหาทางเลือกในการแก้โจทย์ปัญหาเดิมโดยใช้วิธีการที่แตกต่างออกไปเพื่อเพิ่มความเข้าใจที่มากขึ้น

Polya (1957, pp. 6-21) ได้เสนอขั้นตอนของการแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งมีนักการศึกษาหลายท่านได้นำไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์และฟิสิกส์ ทั้ง ธนาพร แนนชารี (2563, น. 128); วีนัส ชาลี (2563, น. 8) และ นฤมล ฉิมงาม (2558, น. 55-56) ได้กล่าวถึงขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยา 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหา เป็นขั้นเริ่มต้นของการแก้ปัญหาที่ต้องมีความเข้าใจในปัญหาและระบุส่วนสำคัญของปัญหาซึ่ง ได้แก่ ตัวแปรที่ไม่ทราบค่า ข้อมูลและเงื่อนไขในการทำความเข้าใจปัญหา อาจใช้วิธีต่าง ๆ ช่วยในการทำความเข้าใจปัญหา เช่น การเขียนภาพ เป็นต้น

ขั้นที่ 2 **วางแผนแก้ปัญหา** เป็นขั้นตอนที่ต้องค้นหาความเชื่อมโยงหรือความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลและตัวแปรที่ไม่ทราบค่าแล้วนำความสัมพันธ์นั้นมาผสมผสานกับประสบการณ์ในการแก้ปัญหา เพื่อกำหนดแนวทางหรือแผนในการแก้ปัญหาและเลือกสมการในการแก้ปัญหา

ขั้นที่ 3 **ดำเนินการตามแผน** ลงมือปฏิบัติตามแนวทางที่วางแผนไว้ โดยใส่รายละเอียดทุกอย่างตามแผน ถ้าวิธีการตามแผนที่วางไว้ไม่สามารถแก้ปัญหาได้ ต้องหาวิธีการใหม่ และลงมือปฏิบัติจนกว่าจะแก้ปัญหาได้

ขั้นที่ 4 ตรวจสอบผล เป็นขั้นตอนที่ต้องตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบ ตรวจสอบความสมเหตุสมผล พิจารณาวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหาอย่างถี่ถ้วนว่ามีวิธีการอื่นที่สามารถแก้ไขปัญหาได้อีกหรือไม่

Heller & Heller (2010, pp. 41-43) ได้เสนอขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 พิจารณาปัญหา (Focus on the problem) เป็นขั้นตอนการสร้างแผนภาพจากโจทย์ปัญหา โดยมีขั้นตอนย่อย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) วาดภาพแสดงสถานการณ์ โดยวาดภาพที่เกี่ยวข้องกับวัตถุ เช่น วัตถุมีการเคลื่อนที่อย่างไร และเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป ระบุข้อมูลหรือตัวแปรที่ทราบจากโจทย์ปัญหาและระบุตัวแปรที่ต้องการทราบกำกับลงในรูปภาพ

2) ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนด เช่น จงหาระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้โดยไม่คำนึงถึงแรงเสียดทาน

3) ระบุหลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เช่น จลนศาสตร์ กฎของนิวตัน กฎการอนุรักษ์พลังงาน

ขั้นที่ 2 อธิบายปัญหาในเชิงฟิสิกส์ (Describe the physics) เป็นขั้นตอนการเขียนแผนภาพทางฟิสิกส์ (Free body diagram) มีขั้นตอนย่อย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) วาดแผนภาพในระบบอ้างอิงที่กำหนดตามหลักการทางฟิสิกส์ เช่น กำหนดให้ทิศทางขวาของระบบเป็นเครื่องหมาย + และทิศทางซ้ายของระบบเป็นทิศทาง – และกำหนดนิยามตัวแปรและสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้โจทย์ปัญหา

2) ระบุปริมาณที่เป็นเวกเตอร์ลงในแผนภาพพร้อมทั้งระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดในรูปของตัวแปร และระบุตัวแปรที่ต้องการทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น

3) ระบุสมการหรือหลักการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา

ขั้นที่ 3 วางแผนแก้ปัญหา (Plan the solution) เป็นขั้นตอนการนำความสัมพันธ์จากการอธิบายปัญหาในเชิงฟิสิกส์ในขั้นตอนที่ผ่านมา ไปร้างเป็นสมการในการแก้โจทย์ปัญหา โดยมีขั้นตอนย่อย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) เขียนสมการที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า

2) พิจารณาว่าแต่ละสมการที่เลือกมาเพียงพอต่อการหาคำตอบของตัวแปรที่ไม่ทราบค่าหรือไม่ โดยเปรียบเทียบจำนวนสมการที่ใช้กับจำนวนตัวแปรที่ไม่ทราบค่า เช่น ต้องการคำตอบของตัวแปร 2 ตัว ต้องมีสมการอย่างน้อย 2 สมการ เป็นต้น

3) วางแผนแนวทางในการแก้โจทย์ปัญหาในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์

ขั้นที่ 4 ดำเนินการตามแผน (Execute the plan) เป็นขั้นตอนการแทนค่าตัวแปรด้วยตัวเลขลงในสมการ โดยต้องตรวจสอบหน่วยของตัวแปรแต่ละตัวก่อนแทนค่าลงในสมการแล้วจึงคำนวณค่าตัวแปรที่ต้องการหาคำตอบโดยใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์

ขั้นที่ 5 ตรวจสอบคำตอบ (Evaluate the answer) เป็นขั้นที่ต้องตรวจสอบว่าคำตอบที่ได้มีความสอดคล้องและสมเหตุสมผลหรือไม่ โดยใช้คำถาม 3 ข้อ ดังนี้

1) คำตอบที่ได้มีหน่วยเหมาะสมและสอดคล้องกับสิ่งที่โจทย์ต้องการหรือไม่

2) คำตอบที่ได้มีความสมเหตุสมผลหรือไม่

3) คำตอบที่ได้มีความครบถ้วนสมบูรณ์หรือไม่

เกริก ศักดิ์สุภาพ (2556, น. 35-37) เสนอขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 วิเคราะห์และวางแผน มีขั้นตอนย่อย 3 ขั้นตอน ได้แก่

1) ค้นหาคำสำคัญ ขีดเส้นใต้คำสำคัญทางฟิสิกส์ ส่วนที่โจทย์ต้องการทราบส่วนที่โจทย์กำหนดมาให้ พร้อมแทนคำสำคัญนั้นด้วยสัญลักษณ์ทางฟิสิกส์

2) สร้างแผนภาพ โดยการแปลข้อความจากโจทย์ให้เป็นแผนภาพ พร้อมทั้งระบุสัญลักษณ์ ตัวแปรทั้งตัวแปรที่ไม่ทราบค่าและทราบค่า

3) หลักการทางฟิสิกส์ รวบรวมสูตร กฎ สมการ ทฤษฎี หลักการทางฟิสิกส์ที่เลือกไว้ให้สอดคล้องเหมาะสมกับโจทย์ปัญหา

ขั้นที่ 2 ปฏิบัติการแก้โจทย์ปัญหา เป็นขั้นที่นักเรียนดำเนินการแก้สมการจากสมการที่เกี่ยวข้องกับปัญหา และตรวจสอบหน่วยก่อนที่จะแทนค่าตัวเลข

ขั้นที่ 3 ตรวจสอบคำตอบ เป็นขั้นที่นักเรียนพิจารณาความสมเหตุสมผลของคำตอบ ดังนี้ หน่วยที่ได้เหมาะสมกับปริมาณที่ต้องการหาหรือไม่ ตรวจสอบคำตอบว่าครบถ้วนหรือไม่ ถ้าเป็นปริมาณเวกเตอร์มีการบอกถึงขนาดและทิศทางหรือไม่ ตรวจสอบผลลัพธ์ว่าสอดคล้องและตรงตามที่โจทย์ต้องการหรือไม่ หากคำตอบนั้นไม่สมเหตุสมผลให้กลับไปทบทวนการแก้ปัญหาในขั้นก่อนหน้า พร้อมแก้ไขให้ถูกต้อง

จากการศึกษาขั้นตอนของการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักการศึกษาหลายท่าน สามารถสรุปได้ดังตาราง 3

ตาราง 3 แสดงการเปรียบเทียบขั้นตอนของการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

Hestenes (1987, pp. 7-11)	Rojas (2010, pp. 22-28)	Polya (1957, pp. 6-22)	Heller และ Heller (2010, pp. 41-43)	เกริก ศักดิ์สุภาพ (2556, น. 35-37)	ความสอดคล้องของขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์
ขั้นที่ 1 อธิบายปัญหา (Description) ขั้นที่ 2 กำหนดสูตรที่ใช้ (Formulation) ขั้นที่ 3 การหาผลลัพธ์ (Ramification) ขั้นที่ 4 การตรวจสอบ (Validation)	ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหา (Understand the problems) ขั้นที่ 2 จัดเตรียมปริมาณที่ใช้ในการอธิบายปัญหา(Provide a qualitative description of the problem) ขั้นที่ 3 วางแผนแก้ปัญหา (Plan solution) ขั้นที่ 4 ดำเนินการตามแผน (Carrying out the plan) ขั้นที่ 5 พิสูจน์ความสอดคล้องของสมการ (Verify the internal consistency and coherence of the equations used) ขั้นที่ 6 ตรวจสอบความสอดคล้องของสมการ (Check and evaluate the obtained solution)	ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหา ขั้นที่ 2 วางแผนแก้ปัญหา ขั้นที่ 3 ดำเนินการตามแผน ขั้นที่ 4 ตรวจสอบผล	ขั้นที่ 1 พิจารณาปัญหา (Focus the Problem) ขั้นที่ 2 อธิบายปัญหาในเชิงฟิสิกส์ (Describe the Physics) ขั้นที่ 3 วางแผนแก้ปัญหา (Plan the solution) ขั้นที่ 4 ดำเนินการตามแผน (Execute the plan) ขั้นที่ 5 ตรวจสอบคำตอบ (Evaluate the answer)	ขั้นที่ 1 วิเคราะห์และวางแผน ขั้นที่ 2 ปฏิบัติการแก้โจทย์ปัญหา ขั้นที่ 3 ตรวจสอบคำตอบ	ขั้นที่ 1 พิจารณาปัญหา โดยการเขียนแสดงแผนภาพพร้อมทั้งระบุตัวแปรของปริมาณทางฟิสิกส์ตามสถานการณ์ที่โจทย์กำหนด ขั้นที่ 2 การอธิบายปัญหาในเชิงฟิสิกส์ โดยวิเคราะห์โจทย์ปัญหา เขียนสิ่งที่เป็นเงื่อนไขในโจทย์ปัญหา โดยแปลข้อความในโจทย์ปัญหาเป็นสัญลักษณ์ทางฟิสิกส์ ขั้นที่ 3 วางแผนแก้ปัญหาโดยระบุหลักการหรือสมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง และการหาวิธีการแก้โจทย์ปัญหาโดยนำหลักการที่

จากขั้นตอนในการแก้โจทย์ปัญหาของนักการศึกษาและนักวิจัยที่ได้ศึกษาข้างต้น พบว่า มีความคล้ายคลึงกันโดยในขั้นตอนแรกจะเริ่มต้นจากการพิจารณาหรือวิเคราะห์โจทย์ปัญหา แล้วเป็นขั้นตอนการวางแผนในการแก้โจทย์ปัญหาหรือพิจารณาหลักการ หรือสมการที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา แล้วดำเนินการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาผลลัพธ์และตรวจสอบคำตอบเป็นขั้นตอนสุดท้ายเพื่อดูความสมเหตุสมผลหรือความสอดคล้องของคำตอบกับโจทย์ปัญหา

โดยสรุปงานวิจัยนี้จะใช้กลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ เนื่องจากกลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์มีขั้นตอนที่พิจารณาปัญหาทั้งในส่วนของความเข้าใจโจทย์ปัญหาและพิจารณาปัญหาในเชิงฟิสิกส์ที่มีความแตกต่างจากขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาแบบอื่น ๆ ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

3.4 กลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

3.4.1 ที่มาของกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

Heller & Heller (2010, pp. 17-25) กล่าวถึงที่มาของกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะ ดังนี้

เมื่อครูหรือผู้เชี่ยวชาญแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ จะมีการเชื่อมโยงหลักการและมโนทัศน์ฟิสิกส์ในการแก้โจทย์ปัญหา เช่น กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน กฎการอนุรักษ์พลังงาน ความรู้เกี่ยวกับสถานการณ์ฟิสิกส์ เช่น ความเร่งในแนวดิ่งเป็นค่าคงที่ ไม่มีความเร่งในแนวระดับ เป็นต้น โดยกลุ่มของผู้เชี่ยวชาญสามารถทำนายการเคลื่อนที่ของวัตถุโดยใช้การคิดเชิงตรรกะรวมทั้งคณิตศาสตร์ ในการแก้โจทย์ปัญหาในลักษณะนี้ต้องใช้ความเข้าใจอย่างลึกซึ้ง รวมถึงการประยุกต์ใช้มโนทัศน์ฟิสิกส์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ในสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งกระบวนการคิดอย่างเป็นระบบนี้เป็นเป้าหมายที่ต้องการให้เกิดขึ้นกับนักเรียน

แต่อย่างไรก็ตามจากการสำรวจและเก็บข้อมูลของนักเรียนจากการแก้โจทย์ปัญหา เฮลเลอร์และเฮลเลอร์ได้จัดกลุ่มนักเรียนตามกลยุทธ์ในการแก้โจทย์ปัญหาออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทเสียบปลั๊ก (Plug and Chug) วิธีการของนักเรียนกลุ่มนี้ คือ เชื่อมโยงปริมาณที่ทราบในโจทย์ปัญหาแล้วนำมาเทียบเคียงกับสมการที่นักเรียนทราบ หากตรงกันก็จะดำเนินการแทนค่าลงในสมการแล้วดำเนินการคำนวณทางคณิตศาสตร์จนกระทั่งได้คำตอบ กลยุทธ์แบบนี้ส่งเสริมการเรียนรู้ฟิสิกส์โดยการท่องจำสมการและฝึกการแก้สมการโดยใช้ความรู้

ทางคณิตศาสตร์เท่านั้น และนักเรียนที่ใช้กลยุทธ์ประเภทจับคู่รูปแบบ (Pattern-matching) นักเรียนกลุ่มนี้มักจะพยายามจดจำรูปแบบของการแก้โจทย์ปัญหาแต่ละหัวข้อ โดยฝึกฝนจากการทำแบบฝึกหัดหรือตัวอย่างในหนังสือจนชำนาญ ตัวอย่างเช่น นักเรียนพยายามจดจำรูปแบบของขั้นตอนทางคณิตศาสตร์ในการแก้โจทย์ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุในพื้นเอียง หรือวัตถุที่เคลื่อนที่เป็นวงกลม นักเรียนจะพยายามตั้งข้อสังเกตและเชื่อมโยงรูปแบบของโจทย์ปัญหาที่มีลักษณะเหมือนกันและจดจำวิธีการแก้โจทย์ปัญหาในแต่ละรูปแบบ

แม้ว่านักเรียนทั้งสองกลุ่มจะประสบความสำเร็จในการหาคำตอบจากโจทย์ปัญหาท้ายบท แต่กลับมีปัญหาในการแก้โจทย์ปัญหาที่ซับซ้อน เช่น โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ในข้อสอบต่าง ๆ ที่มีการพลิกแพลงหรือปรับเปลี่ยนเงื่อนไขของโจทย์ปัญหา ซึ่งจะต้องมีการเชื่อมโยงความรู้วิเคราะห์สถานการณ์ปัญหา นักเรียนทั้งสองกลุ่มนี้ยังคงไม่ประสบความสำเร็จ เนื่องจากการจดจำแบบที่ไม่เข้าใจมโนทัศน์ฟิสิกส์ซึ่งนำไปสู่การคิดที่ไม่เป็นระบบ ดังนั้นนักเรียนที่ไม่ประสบความสำเร็จในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เกิดจากการที่นักเรียนไม่เข้าใจมโนทัศน์ฟิสิกส์

3.4.2 ลักษณะของโจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

Heller & Heller (2010, pp. 27-36) ได้พัฒนาคำถามฟิสิกส์ที่มีบริบทหลากหลาย ซึ่งออกแบบขึ้นเพื่อส่งเสริมให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการแก้ปัญหา โดยเป้าหมายของโจทย์ปัญหาประเภทนี้ คือ ให้นักเรียนฝึกเชื่อมโยงความเข้าใจในมโนทัศน์ฟิสิกส์เข้ากับการแก้โจทย์ปัญหา หากนักเรียนมีความเข้าใจมโนทัศน์ หลักการ หรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโจทย์ปัญหา นักเรียนจะสามารถแก้ปัญหาได้ง่ายและตรงไปตรงมา หากนักเรียนไม่มีความเข้าใจมโนทัศน์ฟิสิกส์จะไม่สามารถแก้โจทย์ปัญหาได้ ซึ่งครูก็ต้องเป็นผู้คอยตรวจสอบและช่วยเหลือในการต่อเติมความรู้และฝึกฝน

ตัวอย่างของโจทย์ปัญหาฟิสิกส์เรื่อง จลนศาสตร์ เช่น “คุณมีงานช่วงฤดูร้อนกับบริษัทประกันภัยและกำลังช่วยสืบสวนอุบัติเหตุอันน่าสลดใจ ในที่เกิดเหตุ คุณเห็นถนนเป็นแนวตรงลงเนินไปโดยทำมุม 10 องศากับแนวระดับ หน้าผามีความสูง 400 ฟุตในแนวดิ่งที่ด้านล่างของเนินเขาสังเกตเห็นรถพังยับเยิน 30 ฟุตจากฐานของหน้าผา พยานอ้างว่ารถจอดอยู่บนเนินเขาและเริ่มเคลื่อนตัวไปตามถนนโดยใช้เวลาประมาณ 3 วินาทีเพื่อลงจากเขา เจ้านายของคุณปล่อยหินให้หล่นลงมาจากขอบหน้าผา และจากเสียงที่กระทบพื้นด้านล่าง ถือว่าต้องใช้เวลา 5.0 วินาทีในการตกลงสู่ก้นบึ้ง คุณได้รับคำสั่งให้คำนวณอัตราเร่งเฉลี่ยของรถที่ลงจากเขาตามคำให้การของพยานและข้อเท็จจริงอื่น ๆ ในกรณีนี้ เห็นได้ชัดว่าเจ้านายของคุณสงสัยว่าพยานให้การเท็จ" จากตัวอย่างโจทย์ปัญหาดังกล่าว เฮลเลอร์และเฮลเลอร์ได้นำเสนอลักษณะของโจทย์

ปัญหาที่มีบริบทหลากหลายที่ได้ออกแบบขึ้นมาเพื่อให้นักเรียนได้นำหลักการ แนวคิด มโนทัศน์ฟิสิกส์ไปเชื่อมโยงและใช้ในการตัดสินใจแก้โจทย์ปัญหาในลักษณะที่เป็นตรรกะและเป็นระบบ ซึ่งเป็นจุดเด่นของกลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาอย่างแท้จริง โดยลักษณะของโจทย์ปัญหามี ดังนี้

ลักษณะที่ 1 โจทย์ปัญหาจะต้องกำหนดสถานการณ์ที่นักเรียนต้องพิจารณาความสัมพันธ์ของข้อมูลและเชื่อมโยงมโนทัศน์ฟิสิกส์มากกว่าการแทนค่าหาคำตอบจากสมการ เช่น นักเรียนทราบว่าความเร่งคือความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปในหนึ่งหน่วยเวลา แต่ในโจทย์ปัญหาไม่มีการระบุความเร็ว และจากโจทย์ปัญหาดังกล่าว กำหนดเวลามาให้สองช่วง นักเรียนยังทราบอีกว่าความเร็วคือการกระจัดหารด้วยเวลา ดังนั้นเวลาช่วงหนึ่งจะใช้สำหรับการหาความเร็วและอีกช่วงหนึ่งใช้สำหรับการหาความเร่ง แต่สำหรับนักเรียนบางส่วน โจทย์ปัญหามีการกำหนดระยะทางมาให้สองช่วง นักเรียนจะสับสนว่าควรใช้ระยะทางส่วนใด นอกจากนี้มีมุมให้ด้วย นักเรียนจะสงสัยว่าจำเป็นต้องคูณบางสิ่งด้วยไซน์หรือโคไซน์หรือไม่

ลักษณะเฉพาะที่ 2 โจทย์ปัญหาจะต้องไม่มีรูปแบบที่นักเรียนสามารถจดจำรูปแบบแล้วแก้ปัญหาได้ แม้ว่าจากตัวอย่างโจทย์ปัญหาจะคล้ายกับการเคลื่อนที่ในระนาบเอียง ที่สามารถแทนค่าความเร่งด้วย $\vec{g}\sin\theta$ แต่เงื่อนไขอื่น ๆ ที่โจทย์กำหนดจะต้องทำให้นักเรียนลังเล เช่น เมื่อรถหลุดออกจากหน้าผาจะเป็นโจทย์ปัญหารูปแบบเดียวกับการเคลื่อนที่ของกระสุนปืนหรือไม่ แล้วจะสามารถคำนวณความเร่งจากระยะทางส่วนใด เป็นต้น

ลักษณะที่ 3 โจทย์ปัญหาจะต้องวิเคราะห์สถานการณ์ปัญหาก่อนเสมอ นักเรียนจะต้องวาดภาพและกำหนดปริมาณที่สำคัญบนรูปภาพนั้น เพื่อให้เข้าใจความสัมพันธ์ของสถานการณ์ การทำให้สถานการณ์เป็นจริงที่สุดจะช่วยนักเรียนในกระบวนการสร้างภาพ ทำให้นักเรียนเป็นนักแสดงหลักในโจทย์ปัญหายังช่วยในกระบวนการสร้างภาพทำให้ไม่ถูกขัดขวางจากชื่อหรือความสัมพันธ์ที่ไม่คุ้นเคย นักเรียนถูกบังคับให้ฝึกการสร้างภาพข้อมูลเพราะไม่มีรูปภาพให้ การสร้างภาพสถานการณ์จริงช่วยให้นักเรียนฝึกเชื่อมโยงมโนทัศน์ฟิสิกส์กับส่วนอื่น ๆ ของโครงสร้างความรู้ของนักเรียน ซึ่งทำให้ฟิสิกส์เข้าถึงได้มากขึ้น และนำไปใช้กับสถานการณ์อื่น ๆ ได้ง่ายขึ้น นักเรียนจะเกิดความสนใจว่า รถตกจากหน้าผาเกี่ยวอะไรกับการที่หินตก ฟิสิกส์ใช้กับการอธิบายอุบัติเหตุอื่น ๆ ได้จริงหรือไม่ และในสถานการณ์จริง นักเรียนต้องมีการตั้งสมมติฐานเสมอ สมมติฐานที่ตั้งต้องมีความสมเหตุสมผลนักเรียนต้องพิจารณามโนทัศน์ฟิสิกส์ที่ใช้ในการพิสูจน์สมมติฐาน ต้องพิจารณาเงื่อนไขต่าง ๆ ในโจทย์ปัญหาทั้งผลของแรงเสียดทานและความเร่งในขณะที่รถเคลื่อนที่ลงจากเนินเขา สิ่งเหล่านี้จะช่วยให้นักเรียนได้ฝึกฝนกระบวนการคิดเพื่อให้ได้มโนทัศน์ฟิสิกส์ที่จำเป็นในการแก้โจทย์ปัญหา

ลักษณะเฉพาะ 4 โจทย์ปัญหาจะต้องหลีกเลี่ยงการชี้นำทางฟิสิกส์ เช่น การใช้คำว่าระนาบเอียง วัตถุเริ่มต้นจากหยุดนิ่ง เป็นการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ เป็นต้น การหลีกเลี่ยงคำสำคัญทางฟิสิกส์ไม่เพียงแต่ทำให้นักเรียนจับคู่รูปแบบได้ยากเท่านั้น แต่ยังกระตุ้นให้นักเรียนสร้างความเชื่อมโยงระหว่างฟิสิกส์กับโครงสร้างความรู้ที่มีอยู่ การใช้คำทั่วไปช่วยให้นักเรียนฝึกเชื่อมโยงความรู้ฟิสิกส์กับสิ่งอื่น ๆ ทำให้ฟิสิกส์สามารถประยุกต์ใช้กับสถานการณ์อื่น ๆ ได้มากขึ้น

ลักษณะที่ 5 โจทย์ปัญหาจะต้องส่งเสริมการวิเคราะห์เชิงตรรกะโดยใช้มโนทัศน์พื้นฐาน การวิเคราะห์เชิงตรรกะเกิดขึ้นได้โดยผ่านกระบวนการแก้โจทย์ปัญหา เนื่องจากข้อมูลที่นักเรียนทราบไม่ชัดเจน นักเรียนต้องระบุข้อมูลที่เกี่ยวข้อง และตัดส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องออกโดยใช้ความรู้ หลักการ หรือทฤษฎีที่ทราบ ดังนั้น การที่โจทย์ปัญหาใส่ข้อมูลในส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับการแก้โจทย์ปัญหาเข้าไป ไม่ใช่เพื่อสร้างความสับสนแต่เพื่อให้เป็นทางเลือกในการแก้โจทย์ปัญหา เพื่อให้นักเรียนได้วิเคราะห์และตัดสินใจเลือกข้อมูลจากหลักการและความรู้พื้นฐานที่นักเรียนทราบอย่างเป็นระบบ

จากการเก็บข้อมูลในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เฮลเลอร์และเฮลเลอร์ได้วิเคราะห์พฤติกรรมบ่งชี้ในการแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียนและนำมาพัฒนาเป็นลักษณะของโจทย์ปัญหาที่มีบริบทหลากหลายโดยสรุป ดังนี้ โจทย์ปัญหาจะต้องไม่มีรูปภาพ เป็นสถานการณ์ที่สมจริง แรงจูงใจที่สมเหตุสมผล หลีกเลี่ยงคำศัพท์ที่ชี้นำในทางฟิสิกส์ ลดวิธีการคิดที่ตรงไปตรงมาหรือเป็นสถานการณ์ง่าย ๆ ที่ไม่ซับซ้อน ต้องมีการพิจารณาเลือกมโนทัศน์ หลักการหรือสมการที่เกี่ยวข้องในการแก้โจทย์ปัญหา ต้องใช้ขั้นตอนทางคณิตศาสตร์มากกว่าหนึ่งขั้นตอนในการแก้โจทย์ปัญหา โจทย์ปัญหาต้องไม่ซ้ำกับแบบฝึกหัดของหนังสือเรียนอย่างชัดเจน และบุคคลในโจทย์ปัญหา คือตัวของนักเรียนหรือคนที่ไม่มีชื่อ

3.4.3 ขั้นตอนในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

Heller & Heller (2010, pp. 37-55) ได้เก็บข้อมูลจากแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ในรูปแบบอัตนัย จากการสังเกต และการสัมภาษณ์นักเรียน บางส่วนของขั้นตอนก็ถูกเพิ่มเติมหรือแก้ไข เมื่อพิจารณากระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียนในชั้นเรียนแล้ว จึงได้ออกแบบกลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ 5 ขั้นตอน แต่ละขั้นตอนประกอบด้วยการดำเนินการที่นำไปสู่การตัดสินใจเพื่อแก้ปัญหาในแต่ละขั้นตอน สามารถใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาที่ไม่คุ้นเคยหรือมีความซับซ้อน เพราะถูกออกแบบมาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือเพื่อปรับเปลี่ยนวิธีการแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียนให้มีรูปแบบเหมือนการแก้โจทย์ปัญหาของครูหรือผู้เชี่ยวชาญ สำหรับรายละเอียดของขั้นตอนในการแก้โจทย์ปัญหาของแต่ละคนที่จะนำไปใช้ต่อก็ควรปรับให้

เหมาะสมกับความต้องการและภูมิหลังของนักเรียน โดยเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ได้ให้ข้อเสนอแนะในการปรับเปลี่ยนขั้นตอนในการแก้โจทย์ปัญหาไว้ ดังนี้

ขั้นพิจารณาปัญหา นักเรียนจะต้องวาดภาพประกอบโจทย์ปัญหา ในช่วงแรกนักเรียนส่วนใหญ่วาดรูปที่สมจริงมาก เช่น ภาพรถยนต์ และมีปัญหาในการเชื่อมโยงภาพกับปริมาณที่แสดงถึงการเคลื่อนที่ของวัตถุ แต่เมื่อนักเรียนวาดภาพเสร็จแล้วก็ไม่ต้องอ่านโจทย์ซ้ำอีก ทำให้มีเวลาในการแก้โจทย์ปัญหามากขึ้น ส่วนการให้ระบุคำถามด้วยคำพูดของตนเองจะช่วยให้นักเรียนหาคำตอบได้ตรงประเด็น ป้องกันไม่ให้นักเรียนแก้โจทย์ปัญหาในปริมาณที่ไม่ต้องการ

ขั้นอธิบายปัญหาทางฟิสิกส์ นักเรียนส่วนใหญ่มีปัญหาในการเชื่อมโยงปริมาณความเร็วและความเร่ง ณ ตำแหน่งหรือเวลาที่กำหนด การเขียนแผนภาพช่วยในการกำหนดพิกัดที่เหมาะสมกับสถานการณ์ ให้นักเรียนได้ฝึกฝนการเปลี่ยนสถานการณ์จริงเป็นวัตถุในอุดมคติ ในช่วงเริ่มต้นนักเรียนส่วนใหญ่ยังไม่พร้อมที่จะรวมการแสดงภาพทั้งสองประเภทเข้าด้วยกัน คนที่พยายามจะรวมทั้งรูปภาพและแผนภาพเข้าด้วยกันมักจะเกิดความสับสนเมื่อโจทย์ปัญหามีความซับซ้อน การระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้องทำให้นักเรียนมีเป้าหมายในการแก้สมการทางคณิตศาสตร์ นอกจากนี้อาจจะเป็นการเชื่อมโยงโจทย์ปัญหากับวิธีการทางคณิตศาสตร์ และนักเรียนต้องตัดสินใจเลือกสมการที่จำเป็นจากสมการที่ทราบทั้งหมด

ขั้นวางแผนการแก้ปัญหา ครูต้องโน้มน้าวให้นักเรียนเห็นว่าการแก้โจทย์ปัญหาอาศัยความเข้าใจมโนทัศน์ฟิสิกส์มากกว่าเทคนิคคณิตศาสตร์ แม้ว่านักเรียนจะเชื่อมั่นในกระบวนการทางคณิตศาสตร์ แต่ในขั้นตอนนี้ควรจะให้นักเรียนรวบรวมสมการที่เกี่ยวข้องให้เพียงพอต่อการแก้โจทย์ปัญหาก่อน ซึ่งนักเรียนมักจะทราบสมการจากตัวแปรที่โจทย์กำหนดและตัวแปรที่ต้องการทราบ ในขั้นตอนนี้จะช่วยให้นักเรียนมีตรรกะในการเลือกสมการให้สอดคล้องกับโจทย์ปัญหา และตัดสินใจจากความสัมพันธ์ของจำนวนตัวแปรที่ทราบค่า กับจำนวนสมการที่ใช้

ขั้นดำเนินการแก้ปัญหา ในขั้นนี้เป็นเพียงขั้นตอนเดียวที่ได้ดำเนินการทางคณิตศาสตร์ โดยวิธีการแก้สมการจากการแทนค่าในสมการที่ได้เลือกใช้ นักเรียนสามารถจดจ่อกับกระบวนการทางคณิตศาสตร์เพราะมั่นใจถึงวิธีการเมื่อทำตามแผนที่วางเอาไว้

ขั้นตรวจสอบคำตอบ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นที่ยากที่สุดสำหรับครูหรือผู้เชี่ยวชาญ เพราะเป็นขั้นที่เน้นย้ำให้เห็นถึงการเชื่อมโยงมโนทัศน์ฟิสิกส์กับความเป็นไปได้ในสถานการณ์จริง เป็นขั้นตอนที่มีลักษณะเฉพาะมากที่สุดของการแก้โจทย์ปัญหาสำหรับนักเรียนเบื้องต้น

แม้ว่าขั้นตอนในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์จะมีมากถึง 5 ขั้นตอน อาจจะใช้เวลานานเนื่องจากมีความซับซ้อนและนักเรียนจะต้องเขียนรายละเอียด

ทุกขั้นตอน นักเรียนจะเห็นว่าเป็นการเพิ่มภาระให้ยากขึ้นและอาจจะไม่ใช้วิธีการนี้ในการแก้โจทย์ปัญหา แต่จากข้อคิดเห็นของผู้ที่นำวิธีการแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะนี้ไปใช้ พบว่าการแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียนเป็นระบบมากขึ้นและง่ายต่อการปฏิบัติตาม เนื่องจากกระบวนการคิดของนักเรียนมีความชัดเจนมากขึ้น การตัดสินว่านักเรียนมีข้อผิดพลาดตรงไหนและการให้คะแนนจึงง่ายและชัดเจนมากขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังช่วยให้ผู้สอนสามารถให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อนักเรียนในประเด็นที่นักเรียนยังผิดพลาดได้อีกด้วย นอกจากนี้การแก้โจทย์ปัญหาอย่างเป็นระบบแบบครูหรือผู้เชี่ยวชาญเป็นกระบวนการที่ใช้เวลานานและซับซ้อน แต่อย่างไรก็ตามด้วยกระบวนการทำซ้ำ ท้ายที่สุดแล้วจะเกิดการรวมกระบวนการย่อยจำนวนมากเข้าด้วยกันโดยอัตโนมัติเพื่อทำให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในที่สุด ในการพัฒนากระบวนการแก้โจทย์ปัญหาให้เหมือนครูหรือผู้เชี่ยวชาญนั้นนักเรียนต้องฝึกกระบวนการย่อยเหล่านี้ เนื่องจากเป็นการเปลี่ยนแปลงขั้นพื้นฐานของกระบวนการคิด นักเรียนต้องเริ่มต้นด้วยการฝึกพิจารณาปัญหา ทำให้ต้องจดจำและใช้สิ่งที่เขียนในการแก้โจทย์ปัญหา เช่นเดียวกับการเรียนรู้ทักษะใหม่ ๆ สิ่งนี้อาจทำให้นักเรียนช้าลงและรู้สึกหงุดหงิด แต่ท้ายที่สุดแล้วจากข้อคิดเห็นของผู้ที่นำวิธีการแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะนี้ไปใช้ พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่สามารถพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาได้ดีขึ้นเมื่อใช้วิธีการนี้ โดยความเร็วของแต่ละคนขึ้นอยู่กับการฝึกฝน แม้ว่าท้ายที่สุดแล้วนักเรียนอาจจะยังไม่มีกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาที่เทียบเท่าครูหรือผู้เชี่ยวชาญก็ตามแต่นักเรียนก็สามารถบรรลุกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะได้ ดังที่ วินซ์ ลอมบาร์ดได้กล่าวไว้ว่า การฝึกฝนไม่ได้ทำให้สมบูรณ์แบบ การฝึกฝนที่สมบูรณ์แบบเท่านั้นที่ทำให้สมบูรณ์แบบ

โดยสรุปกลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์ เป็นกลวิธีในการแก้โจทย์ปัญหาที่เน้นการเชื่อมโยงความรู้พื้นฐานทางฟิสิกส์มาใช้และตัดสินใจในลักษณะที่เป็นตรรกะและเป็นระบบ ให้ความสำคัญกับกระบวนการวิเคราะห์โจทย์ปัญหา กระตุ้นให้เชื่อมโยงมโนทัศน์กับโครงสร้างความรู้เดิมที่มีอยู่ รวมถึงให้ความสำคัญกับกระบวนการทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีส่วนช่วยให้เกิดการขยายความรู้และเห็นแนวทางที่จะนำมาใช้ในการแก้ไขโจทย์ปัญหานั้น สามารถช่วยในการแก้โจทย์ปัญหาในลักษณะที่ซับซ้อน โจทย์ปัญหาที่ไม่มีรูปภาพประกอบ และโจทย์ปัญหาในลักษณะที่ไม่สามารถหาคำตอบได้ในตอนเดียว

3.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ พบว่า มีนักการศึกษาที่นำกลแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาฟิสิกส์ ดังนี้

เอกวิทย์ ดวงแก้ว (2558) ได้จัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับกลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยนำกลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ไปใช้ขั้นขยายความรู้ กลุ่มตัวอย่างได้จากการสุ่มแบบกลุ่มจำนวน 45 คน ผลการวิจัยพบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับกลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 75 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ ได้แก่ ในการทำแบบฝึกหัดโดยใช้กลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะควรเพิ่มเวลามากขึ้น ในกระบวนการจัดการเรียนรู้สามารถปรับรูปแบบกิจกรรมให้สอดคล้องและเหมาะสม หากห้องเรียนไม่เอื้ออำนวยให้ทำการทดลองเป็นกลุ่มก็ควรให้นักเรียนทำการทดลองรวมกันหน้าห้องเรียน โจทย์ปัญหาตัวอย่างสำหรับนักเรียนอาจจะแตกต่างกันตามระดับความสามารถของนักเรียน และกลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์สามารถตรวจสอบได้ว่านักเรียนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ โดยพิจารณาจากขั้นอธิบายหลักการทางฟิสิกส์ถ้านักเรียนยังไม่เข้าใจเนื้อหาหรือเข้าใจคลาดเคลื่อน นักเรียนจะไม่สามารถตอบคำถามในข้อนี้ได้ และควรทำการวิจัยโดยศึกษาตัวแปรตามอื่น ๆ เพิ่มเติม

ธันยากร ช่วยทุกข์เพื่อน (2559) ได้ศึกษาข้อบกพร่องในกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์โดยใช้กลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์และเปรียบเทียบข้อบกพร่องโดยจำแนกตามเพศและระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ กลุ่มตัวอย่างได้จากการสุ่มแบบกลุ่มจำนวน 1 ห้องเรียน จำนวน 49 คน เนื้อหาฟิสิกส์ที่ใช้ในการศึกษา คือ ไฟฟ้า ผลการวิจัยพบว่า นักศึกษามีความบกพร่องในขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาเรียงลำดับจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด คือ ขั้นตรวจสอบผลลัพธ์ ขั้นวางแผนแก้ปัญหา ขั้นดำเนินการตามแผนที่วางไว้ ขั้นอธิบายหลักการทางฟิสิกส์ และขั้นอธิบายปัญหา นักศึกษาที่มีเพศต่างกันมีข้อบกพร่องในการแก้โจทย์ปัญหาไม่แตกต่างกัน และนักศึกษาที่มีระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแตกต่างกัน มีข้อบกพร่องในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์แตกต่างกัน โดยกลุ่มเก่งและกลุ่มปานกลางแตกต่างกับกลุ่มอ่อน แต่กลุ่มเก่งไม่แตกต่างกับกลุ่มปานกลาง ข้อเสนอแนะจากการวิจัย ได้แก่ ควรนำผลการวิจัยไปวางแผนการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาฟิสิกส์ ควรศึกษาตัวแปรอื่น ๆ ที่มีผลต่อข้อบกพร่องทางการเรียนและกระบวนการแก้โจทย์ปัญหา

ณัฐวุฒิ ยกน้อยวงค์ (2560) ได้ศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้กลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ร่วมกับแผนผังมโนทัศน์ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะการให้เหตุผล และทักษะการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องโมเมนตัมและการชน กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้ได้จากการสุ่มแบบกลุ่ม จำนวน 1 ห้องเรียน รวม 37 คน โดยเครื่องมือในการเก็บข้อมูล ได้แก่ แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบวัดทักษะการให้เหตุผล แบบวัดทักษะในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ และแบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะร่วมกับแผนผังมโนทัศน์ ผลการวิจัย พบว่า คะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะการให้เหตุผล และทักษะการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ทักษะการให้เหตุผลมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันทางบวกกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ทักษะการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันทางบวกกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้อยู่ในระดับมากและสูงกว่าเกณฑ์ นอกจากนี้ยังมีข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ ดังนี้ ในกิจกรรมการจัดการเรียนรู้นักเรียนอาจมีข้อสงสัยแต่ไม่กล้าซักถาม ครูควรสอบถามความเข้าใจเป็นระยะ โจทย์ปัญหาควรเป็นสถานการณ์ที่หลากหลาย ควรนำการจัดการเรียนรู้โดยใช้กลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะร่วมกับแผนผังมโนทัศน์ไปใช้ร่วมกับวิธีการจัดการเรียนรู้อื่น ๆ หรือใช้ในการจัดการเรียนรู้ในบทเรียนอื่น ๆ และควรทำการวิจัยเพื่อศึกษาผลของการใช้วิธีการจัดการเรียนรู้นี้ไปพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูง

วุฒิชัย จารุตัน (2563) ได้นำกลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ไปใช้ในเพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่องโมเมนตัมและการชน กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 22 คน โดยใช้แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เป็นเครื่องมือในการวิจัย พบว่า มีนักเรียนผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็มจำนวน 13 คน ข้อเสนอแนะ ได้แก่ ควรให้นักเรียนได้ฝึกแก้โจทย์ปัญหาที่หลากหลาย ควรนำกลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ไปใช้กับเนื้อหาอื่น ๆ ควรเน้นการจัดกิจกรรมในขั้นอธิบายหลักการทางฟิสิกส์ เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่นักเรียนไม่เคยทำในการแก้โจทย์ปัญหาทั่วไป

โดยสรุปจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ถูกนำไปใช้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้และร่วมกับการใช้ผังมโนทัศน์ พบว่าความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนสูงขึ้น และในงานวิจัยนี้

ได้นำกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ไปสอดแทรกในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ในขั้นประยุกต์ความรู้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา

4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

4.1 ความหมายของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ หมายถึง กระบวนการที่มุ่งพัฒนาให้นักเรียนได้สร้างความรู้ด้วยตนเองโดยใช้กลวิธีคิดเป็นภาพ และประยุกต์ใช้มโนทัศน์ที่ค้นพบในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์โดยใช้กลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ โดยกระตุ้นความสนใจ และจัดกิจกรรมให้นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กันผ่านการทำงานเป็นกลุ่ม ให้นักเรียนแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันและเกิดการเชื่อมโยงความรู้เดิมกับประสบการณ์ใหม่โดยใช้กลวิธีการคิดเป็นภาพในขั้นสำรวจและใช้กลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ในขั้นตอนการประยุกต์ความรู้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา และใช้กลวิธีการคิดเป็นภาพในขั้นตอนการประยุกต์ความรู้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา โดยใช้ขั้นตอนการเห็นและการดูในขั้นพิจารณาปัญหา

4.2 ขั้นตอนการสอนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

ขั้นที่ 1 ขั้นกระตุ้นความสนใจ (Engagement) เป็นขั้นกระตุ้นความสนใจ โดยใช้คำถามหรือปัญหาที่นักเรียนไม่สามารถใช้ความรู้เดิมในการตอบคำถามหรือแก้ปัญหาได้ โดยครูจะใช้คำถาม ยกตัวอย่างปัญหาหรือสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับบทเรียนหรือสอดคล้องกับชีวิตประจำวันเพื่อให้นักเรียนได้อธิบายมโนทัศน์ใหม่โดยไม่บอกคำตอบของคำถาม

ขั้นที่ 2 ขั้นสำรวจเป็นภาพ (Exploration with visual thinking strategy) เป็นขั้นปฏิบัติกิจกรรมกลุ่ม เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงความรู้เดิมกับประสบการณ์ใหม่ และสร้างมโนทัศน์โดยใช้กลวิธีการคิดเป็นภาพ โดยนักเรียนลงมือทำกิจกรรมแบบกลุ่มย่อยตามที่ครูกำหนดและมอบหมายให้ ครูมีหน้าที่เฝ้าสังเกตและส่งเสริมให้นักเรียนจดจ่อกับกิจกรรมที่กำหนด แต่ยังไม่บอกคำตอบของกิจกรรม โดยเน้นให้นักเรียนมีการอภิปรายร่วมกันตามกลวิธีการคิดเป็นภาพ 3 ขั้นตอนย่อย คือ

1) การดู (Look) คือ กระบวนการรวบรวมและประเมินข้อมูลเกี่ยวกับภาพรวมของกิจกรรมอย่างคร่าว ๆ

2) การเห็น (See) คือ การคัดเลือกและจัดหมวดหมู่ของข้อมูลจากกิจกรรม โดยครูให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายโดยใช้คำถาม 6 คำถาม ได้แก่ นักเรียนเห็นใคร (Who) หรืออะไร (What)ในกิจกรรม นักเรียนเห็นปริมาณที่เกิดขึ้นเท่าใด (How many, How much) นักเรียนเห็นการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นที่ตำแหน่งใด (Where) นักเรียนเห็นการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเมื่อใด (When) นักเรียนเห็นผลกระทบและความสัมพันธ์ระหว่างเหตุกับผลอย่างไร (How) นักเรียนคิดว่าเหตุผลของการเกิดสถานการณ์นั้นคืออะไร (Why)

3) การจินตนาการ (Imagine) คือ การผสานข้อมูลต่าง ๆ ในกิจกรรมเข้าด้วยกัน โดยใช้หลักการ SQVID คือ นักเรียนจะต้องพิจารณาข้อมูลที่ได้จากกิจกรรมแล้วระบุว่าข้อมูลนั้นเป็นข้อมูลแบบใด โดยการเลือกตามประเด็น ดังนี้ ภาพรวมของข้อมูลระหว่างข้อมูลแบบง่าย ๆ (Simple) กับ ข้อมูลที่มีรายละเอียด (Elaborate) ประเภทของข้อมูลระหว่างข้อมูลเชิงคุณภาพ (Quality) กับข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantity) ลักษณะของข้อมูลระหว่างข้อมูลเป็นภาพรวมหรือภาพกว้าง ๆ (Vision) กับข้อมูลเป็นลำดับขั้นตอน (Execution) รูปแบบของข้อมูลระหว่างข้อมูลที่มีความเฉพาะ(Individual attributes) กับข้อมูลมีการเปรียบเทียบ (Comparison) และความคงที่ของข้อมูลระหว่างข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล (Delta) กับ ข้อมูลมีความคงที่ตลอดเวลา (Status quo)

4) การแสดงออก (Show) คือ การนำเสนอข้อมูลจากกิจกรรม โดยเริ่มต้นจากการสรุปสิ่งที่เห็น ค้นหาวิธีที่จะนำเสนอแนวคิดอย่างเป็นรูปธรรม บันทึกแนวคิดลงบนกระดาษชี้ให้เห็นถึงสิ่งที่อยู่ในจินตนาการ แล้วตอบคำถามของกิจกรรม

ขั้นที่ 3 ขั้นนำเสนอมโนทัศน์ (Proposing concept) เป็นขั้นที่ตรวจสอบความถูกต้องของมโนทัศน์และความเข้าใจที่นักเรียนได้จากการร่วมกันอภิปรายในกลุ่มจากกิจกรรม โดยนักเรียนต้องนำเสนอผลที่ได้จากการอภิปรายร่วมกันในกลุ่ม แสดงผลของมโนทัศน์ในรูปแบบที่ได้จากกลวิธีการคิดเป็นภาพ และร่วมกันอธิบายมโนทัศน์ ครูจะนำอภิปรายโดยใช้คำถามเพื่อตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียน เนื่องจากนักเรียนบางส่วนอาจยังเข้าใจหัวข้อที่เรียนได้ไม่สมบูรณ์ แม้จะผ่านประสบการณ์การเรียนรู้จากกิจกรรมแล้ว และครูชี้แนะให้เห็นถึงคำตอบที่เหมาะสมและร่วมกันลงข้อสรุปที่ได้จากการค้นพบ จากนั้นครูเชื่อมโยงความรู้ที่ค้นพบกับความรู้เดิมของนักเรียน

ขั้นที่ 4 ขั้นการประยุกต์ความรู้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา (Applying newly constructed ideas to physics problem solving) เป็นขั้นนำมโนทัศน์ไปประยุกต์ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ โดยครูจะนำอภิปรายโดยใช้คำถามตามขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์และนักเรียนจะต้องนำมโนทัศน์ที่ถูกต้องไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหารูปแบบต่าง ๆ โดยใช้กลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์และกลวิธีการคิดเป็นภาพ โดยมี 5 ขั้นตอนย่อย ดังนี้

1) **พิจารณาปัญหา** (Focus on the problem with visual thinking) เป็นขั้นตอนการสร้างแผนภาพจากโจทย์ปัญหา โดยมีขั้นตอนย่อย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1.1) อ่านโจทย์แล้วพิจารณาว่าจากโจทย์ ใคร ทำอะไร ที่ไหน อย่างไร แล้ววาดภาพแสดงสถานการณ์ โดยวาดภาพที่เกี่ยวข้องกับวัตถุ เช่น แสงมีการเคลื่อนที่อย่างไร และเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อผ่านตัวกลาง แล้วระบุข้อมูลหรือตัวแปรที่ทราบจากโจทย์ปัญหาและระบุตัวแปรที่ต้องการทราบกำกับลงในรูปภาพ

1.2) ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนด

2) **อธิบายปัญหาในเชิงฟิสิกส์** (Describe the physics) เป็นขั้นตอนการเขียนแผนภาพทางฟิสิกส์ (Free body diagram) มีขั้นตอนย่อย 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.1) วาดแผนภาพในระบบอ้างอิงที่กำหนดตามหลักการทางฟิสิกส์ เช่น กำหนดให้ทิศทางขวาของระบบเป็นเครื่องหมาย + และทิศทางซ้ายของระบบเป็นทิศทาง – และกำหนดนิยามตัวแปรและสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้โจทย์ปัญหา

2.2) ระบุปริมาณที่เป็นเวกเตอร์ลงในแผนภาพพร้อมทั้งระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดในรูปของตัวแปร และระบุตัวแปรที่ต้องการทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น

2.3) ระบุสมการหรือหลักการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา เช่น พฤติกรรมของคลื่น การหักเหของแสง เป็นต้น

3) **วางแผนแก้ปัญหา** (Plan the solution) เป็นขั้นตอนการนำความสัมพันธ์จากการอธิบายปัญหาในเชิงฟิสิกส์ในขั้นตอนที่ผ่านมา ไปร้างเป็นสมการในการแก้โจทย์ปัญหา โดยมีขั้นตอนย่อย 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.1) เขียนสมการที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า

3.2) พิจารณาว่าแต่ละสมการที่เลือกมาเพียงพอต่อการหาคำตอบของตัวแปรที่ไม่ทราบค่าหรือไม่ โดยเปรียบเทียบจำนวนสมการที่ใช้กับจำนวนตัวแปรที่ไม่ทราบค่า เช่น ต้องการคำตอบของตัวแปร 2 ตัว ต้องมีสมการอย่างน้อย 2 สมการ เป็นต้น

3.3) วางแผนแนวทางในการแก้โจทย์ปัญหาในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์

4) ดำเนินการตามแผน (Execute the plan) เป็นขั้นตอนการแทนค่าตัวแปรด้วยตัวเลขลงในสมการ โดยต้องตรวจสอบหน่วยของตัวแปรแต่ละตัวก่อนแทนค่าลงในสมการแล้วจึงคำนวณค่าตัวแปรที่ต้องการหาคำตอบโดยใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์

5) ตรวจสอบคำตอบ (Evaluate the answer) เป็นขั้นที่ต้องตรวจสอบว่าคำตอบที่ได้มีความสอดคล้องและสมเหตุสมผลหรือไม่ โดยใช้คำถาม 3 ข้อ ดังนี้

5.1) คำตอบที่ได้มีความสมเหตุสมผลหรือไม่

5.2) คำตอบที่ได้มีหน่วยเหมาะสมและสอดคล้องกับสิ่งที่โจทย์ต้องการหรือไม่

5.3) คำตอบที่ได้เมื่อแทนค่ากลับเข้าไปในสมการแล้วถูกต้องหรือไม่

5) ขั้นนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน (Applying newly constructed ideas to daily life) เป็นขั้นนำมโนทัศน์ไปประยุกต์ในสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน โดยครูใช้คำถามที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน และนักเรียนนำความรู้ไปใช้ในการอธิบายสถานการณ์เหล่านั้น

4.3 บทบาทครูและบทบาทนักเรียนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

ตาราง 4 แสดงบทบาทครูและนักเรียนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	บทบาทครู	บทบาทนักเรียน
ขั้นที่ 1 กระตุ้นความสนใจ (Engagement)	1. ยกตัวอย่างปัญหาหรือสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับบทเรียนหรือสอดคล้องกับชีวิตประจำวันเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนนึกถึงประสบการณ์เดิมที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา	1. ตอบคำถามโดยใช้ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องของตนเองเพื่ออธิบายให้สอดคล้องกับคำถามหรือสถานการณ์ที่ครูกำหนด

ตาราง 4 (ต่อ)

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	บทบาทครู	บทบาทนักเรียน
	2. ตั้งคำถามที่เกี่ยวข้องกับบทเรียนแล้วให้นักเรียนตอบโดยใช้ประสบการณ์ของตนเอง	
ขั้นที่ 2 ขั้นสำรวจเป็นภาพ (Exploration with visual thinking strategy)	1. อธิบายกิจกรรมที่ต้องการให้นักเรียนทำร่วมกันหรือแนะนำวิธีการในการค้นหามโนทัศน์โดยไม่บอกคำตอบของกิจกรรม 2. สังเกตและกระตุ้นให้นักเรียนจดจ่อกับกิจกรรมที่กำหนด 3. กระตุ้นให้นักเรียนร่วมกันอภิปรายกิจกรรมโดยใช้กลวิธีการคิดเป็นภาพ 4. ให้ความรู้เพิ่มเติมในกรณีที่มโนทัศน์มีความยากและส่งเสริมให้นักเรียนตั้งคำถามและอภิปรายร่วมกัน	1. มีส่วนร่วมกับกิจกรรมที่ครูจัดให้หรือแสดงความคิดเห็นร่วมกับเพื่อนในกลุ่มขณะทำกิจกรรม 2. ตั้งคำถามและอภิปรายร่วมกับเพื่อนในกลุ่มเพื่อหาคำตอบโดยใช้กลวิธีการคิดเป็นภาพ 4 ขั้นตอน 1) การดู (Look) รวบรวมและประเมินข้อมูลเกี่ยวกับภาพรวมของกิจกรรมอย่างคร่าว ๆ 2) การเห็น (See) คือ คัดเลือกและจัดหมวดหมู่ของข้อมูลในกิจกรรมโดยใช้คำถาม 6 คำถาม ได้แก่ นักเรียนเห็นใคร (Who) หรืออะไร (What)ในกิจกรรม นักเรียนเห็นปริมาณที่เกิดขึ้นเท่าใด (How many, How much) นักเรียนเห็นการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นที่ตำแหน่งใด (Where) นักเรียนเห็นการ

ตาราง 4 (ต่อ)

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	บทบาทครู	บทบาทนักเรียน
		เปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเมื่อใด (When) นักเรียนเห็นผลกระทบและความสัมพันธ์ระหว่างเหตุกับผลอย่างไร (How) นักเรียนคิดว่าเหตุผลของการเกิดสถานการณ์นั้นคืออะไร (Why)
ขั้นที่ 3 ขั้นนำเสนอมโนทัศน์ (Proposing concept)	1. ฟังการนำเสนอมโนทัศน์ของนักเรียน 2. ให้ข้อมูลป้อนกลับแก่นักเรียนเกี่ยวกับมโนทัศน์ของนักเรียนโดยการตั้งคำถามเพื่อตรวจสอบความเข้าใจ ความถูกต้องและตรงกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ 3. ชี้แนะและนำสรุปมโนทัศน์ใหม่ที่ถูกต้อง	1. นำเสนอคำตอบที่ได้จากการทำกิจกรรมกลุ่มและได้จากการอภิปราย 2. ตอบคำถามของครูตามความเข้าใจของตนเองและตอบข้อมูลที่ได้จากกิจกรรมให้ครบถ้วน 3. นำข้อมูลป้อนกลับที่ครูให้มาพิจารณาเกี่ยวกับความเข้าใจของตนเองที่มีอยู่เดิมกับความรู้ที่ได้จากกิจกรรมกลุ่มเพื่อสร้างเป็นมโนทัศน์ใหม่ที่ถูกต้อง
ขั้นที่ 4 ขั้นการประยุกต์ความรู้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา (Applying newly constructed ideas to physics problem solving)	1. ยกตัวอย่างโจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับบทเรียนแล้วนำอภิปรายโดยใช้กลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพ 5 ขั้นตอน ดังนี้	1. ประยุกต์ความรู้ และนำมโนทัศน์มาใช้ในการตอบคำถามและแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์โดยแสดงวิธีทำตามขั้นตอนตามกลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ร่วมกับ

ตาราง 4 (ต่อ)

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	บทบาทครู	บทบาทนักเรียน
	1) พิจารณาปัญหา (Focus on the problem with Visual thinking) ใช้คำถามให้นักเรียนพิจารณาว่าจากโจทย์ปัญหา ใคร ทำอะไร ที่ไหน อย่างไร แล้ววาดภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหา และให้นักเรียนระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนด 2) อธิบายปัญหาในเชิงฟิสิกส์ (Describe the physics) ใช้คำถามให้นักเรียนระบุสมการหรือหลักการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา 3) วางแผนแก้ปัญหา (Plan the solution) ใช้คำถามให้นักเรียนแทนค่าตัวแปรด้วยตัวเลขลงในสมการ 4) ดำเนินการตามแผน (Execute the plan) ใช้คำถามให้นักเรียนคำนวณค่าตัวแปรที่ต้องการหาคำตอบโดยใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ 5) ตรวจสอบคำตอบ (Evaluate the answer)	กลวิธีการคิดเป็นภาพ 2. ทำชิ้นงานที่ครูมอบหมายให้ด้วยตนเอง

ตาราง 4 (ต่อ)

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	บทบาทครู	บทบาทนักเรียน
	ใช้คำถามให้นักเรียนพิจารณาคำตอบที่ได้ว่ามีความสมเหตุสมผลหรือไม่ อย่างไร คำตอบที่ได้มีหน่วยสอดคล้องกับสิ่งที่โจทย์ต้องการหรือไม่และคำตอบที่ได้เมื่อแทนค่ากลับเข้าไปในสมการแล้วถูกต้องหรือไม่ 2. มอบหมายชิ้นงานให้นักเรียนแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เพื่อให้ได้ประยุกต์ความรู้	
ขั้นที่ 5 ขั้นนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน (Applying newly constructed ideas to daily life)	1. ยกตัวอย่างปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวันที่เกี่ยวข้องกับบทเรียนแล้วตั้งคำถามเพื่อตรวจสอบมโนทัศน์ของนักเรียน	1. ประยุกต์ใช้ความรู้ โดยนำมโนทัศน์ที่มีไปอธิบายปรากฏการณ์ หรือสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันที่ครูกำหนด

5. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมโนทัศน์ฟิสิกส์

5.1 ความหมายของมโนทัศน์ฟิสิกส์

มโนทัศน์ มาจากคำว่า Concept ในภาษาอังกฤษ ซึ่งมีความหมายในภาษาไทยหลายชื่อ เช่น สังกัป มโนทัศน์ มโนมติ แนวความคิด และความคิดรวบยอด ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะใช้คำว่ามโนทัศน์ แทนความหมายถึง Concept จากการศึกษาความหมายของมโนทัศน์ฟิสิกส์มีนักการศึกษาได้ให้ความหมายไว้ ดังนี้

Arista & Kuswanto (2017, p. 4) กล่าวว่า มโนทัศน์ฟิสิกส์ คือ ความคิดของบุคคลเกี่ยวกับข้อเท็จจริง รวมถึงหลักการ กฎ ทฤษฎี ที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน หรือข้อสรุปซึ่งสัมพันธ์กันอย่างมีเหตุและผลต่อกันเกี่ยวกับวัตถุ สัญลักษณ์ หรือสถานการณ์ทางฟิสิกส์

พัณนิดา มิ่งมิตร (2560, น. 22); พิมพ์หทัย พึ่งตาแสง (2560, น. 8) และ ธนธัญ ฝีมือสาร (2559, น. 9) กล่าวว่า มโนทัศน์ฟิสิกส์ คือ ความคิด แนวคิดหลัก หรือข้อสรุปเกี่ยวกับกฎ หลักการและทฤษฎีต่าง ๆ ทางฟิสิกส์ การอธิบายธรรมชาติของโลก ปรากฏการณ์ต่าง ๆ โดยใช้กฎเกณฑ์มาอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นเหล่านั้น

สรุป มโนทัศน์ฟิสิกส์ หมายถึง ความเข้าใจโดยสรุปเกี่ยวกับข้อเท็จจริง หลักการ กฎ และทฤษฎีต่าง ๆ ทางฟิสิกส์อย่างมีเหตุผล

5.2 ประเภทของมโนทัศน์ฟิสิกส์

จากการศึกษาประเภทของมโนทัศน์ พบว่ามีนักการศึกษาหลายท่านได้แบ่งประเภทของมโนทัศน์โดยใช้เกณฑ์ที่แตกต่างกัน ดังนี้

Gagne (1970, p. 15) ได้แบ่งมโนทัศน์ออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. มโนทัศน์เกี่ยวกับรูปธรรม (Concrete concepts) หมายถึง ลำดับชั้นหรือสมาชิกที่มีลักษณะทางกายภาพหนึ่งอย่างหรือมากกว่าร่วมกัน ที่สามารถสัมผัสได้ทางประสาทสัมผัสทั้ง 5 เช่น สุนัข เป็นต้น

2. มโนทัศน์เกี่ยวกับคำนิยาม (Defined concepts) เป็นมโนทัศน์ที่ลำดับชั้นที่สมาชิกสามารถนิยามได้ในทำนองเดียวกันโดยที่ลักษณะดังกล่าวไม่สามารถที่จะสัมผัสได้โดยประสาทสัมผัสทั้ง 5

3. มโนทัศน์เกี่ยวกับความสัมพันธ์ (Relation concepts) เป็นมโนทัศน์ที่เกิดหลาย ๆ มโนทัศน์มาสัมพันธ์กัน เช่น “เส้นทแยงมุม” เป็นมโนทัศน์ที่เชื่อมโยงระหว่างมโนทัศน์ “เส้น” “รูปสี่เหลี่ยม” และ “มุมตรงข้าม” เพราะ เส้นทแยงมุมหมายถึงเส้นตรงที่ลากจากมุมตรงข้ามของรูปสี่เหลี่ยม

ชนาธิป พรกุล (2552, น. 123-124) กล่าวว่าการแบ่งประเภทของมโนทัศน์ทำได้อย่างน้อย 3 แบบคือแบบที่ 1 แบ่งได้ 2 ประเภทโดยแบ่งตามเกณฑ์การรับรู้มโนทัศน์ ได้แก่

1. สิ่งที่เป็นรูปธรรม (Concrete) สามารถรับรู้ได้โดยโดยตรงทางประมาทสัมผัสทั้ง 5 ได้แก่ การดูการเห็นการได้กลิ่นการลิ้มรสและการสัมผัสเช่นโต๊ะต้นไม้แก้วน้ำเป็นต้น

2. สิ่งที่เป็นนามธรรม (Abstract) รับรู้ด้วยความรู้สึกไม่สามารถสังเกตได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ สิ่งแวดล้อม ประเพณี ค่านิยมความเชื่อ ตลอดจนการเลี้ยงดู เช่น ความงาม ความยุติ ธรรมอิสรภาพ เป็นต้น

Lawson, Alkhoury, Benford, Clark, & Falconer (2000, p. 996) แบ่งประเภทของมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ เป็น 3 ประเภท ได้แก่

1. มโนทัศน์เชิงบรรยาย (Descriptive concepts) เป็นมโนทัศน์ที่เกิดจากการชื่อมโยงลักษณะสำคัญของปรากฏการณ์ด้วยประสาทสัมผัสทั้ง 5 ผ่านการสังเกตการณ์จนเป็นข้อสรุปเกี่ยวกับสิ่งนั้น เช่น มโนทัศน์รถยนต์ ถนน เก้าอี้ โต๊ะ เป็นต้น

2. มโนทัศน์เชิงทฤษฎี (Theoretical concepts) เป็นมโนทัศน์ที่ศึกษาได้จากทฤษฎีหรือแนวคิดที่นักวิทยาศาสตร์เสนอ ไม่สามารถสังเกตได้จากประสาทสัมผัสทั้ง 5 โดยตรง เช่น ทฤษฎีอะตอม อิเล็กตรอน ทฤษฎีอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุล เป็นต้น

3. มโนทัศน์เชิงแทรก (Intermediate concepts) เป็นมโนทัศน์ที่ไม่สามารถสามารถสังเกตได้โดยตรงเนื่องจากข้อจำกัด จากเวลา ลักษณะพื้นที่ เช่น มโนทัศน์ของการเกิดชั้นเปลือกโลกและการเกิดไดโนเสาร์ เป็นต้น

เกริก ศักดิ์สุภาพ (2556, น. 17) ได้แบ่งประเภทของมโนทัศน์เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. มโนทัศน์เชิงบรรยาย คือ มโนทัศน์ที่เกิดขึ้นจากการสังเกตการณ์ด้วยประสาทสัมผัสและเชื่อมโยงลักษณะร่วมที่สำคัญเกิดเป็นมโนทัศน์เกี่ยวกับสิ่งนั้น เช่น สสารมี 3 ประเภท คือ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส พลังงานจลน์เกิดขึ้นขณะวัตถุมีการเคลื่อนที่ เป็นต้น

2. มโนทัศน์เชิงทฤษฎี คือ มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถศึกษาจากแนวคิดทฤษฎีที่นักวิทยาศาสตร์ได้เสนอไว้แต่ไม่สามารถสังเกตได้โดยตรง แต่ เช่น แรงดึงดูดระหว่างมวลขึ้นกับผลคูณของมวลทั้งสองและระยะห่างจากจุดศูนย์กลางมวลของวัตถุทั้งสองยกกำลังสอง เป็นต้น

3. มโนทัศน์เชิงความสัมพันธ์ คือ มโนทัศน์ที่บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างมโนทัศน์ย่อย ๆ หรือความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล เช่น แรง คือ อำนาจที่ผลักหรือดึงวัตถุให้เคลื่อนที่ โลหะเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัว เป็นต้น

สรุปมโนทัศน์ฟิสิกส์มี 3 ประเภท ได้แก่ มโนทัศน์เชิงบรรยาย คือมโนทัศน์ที่เกิดจากการสังเกตด้วยประสาทสัมผัส มโนทัศน์ทางทฤษฎี คือ มโนทัศน์ที่ได้จากการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และมโนทัศน์เชิงความสัมพันธ์ คือ ความเข้าใจโดยสรุปเกี่ยวกับความสัมพันธ์ที่เป็นเหตุและผลกัน

5.3 ความสำคัญของมโนทัศน์ฟิสิกส์

จากการศึกษาความสำคัญของมโนทัศน์ฟิสิกส์ มีนักการศึกษาได้ระบุถึงความสำคัญของมโนทัศน์ไว้ ดังนี้

สุรางค์ โควัตระกูล (2553, น. 206) กล่าวถึง ความสำคัญของมโนทัศน์ว่า มโนทัศน์เป็นรากฐานของความคิดช่วยในการตั้งกฎเกณฑ์หลักการต่าง ๆ และมีความสามารถใน

การแก้ปัญหานอกจากนี้มโนทัศน์ยังเป็นเครื่องมือสื่อความหมายที่ช่วยให้มนุษย์มีปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

มโนทัศน์เป็นสิ่งที่มีความสำคัญสำหรับการสอนวิชาฟิสิกส์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายเพราะถือว่าเป็นเป้าหมายหนึ่งของการจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์ (แสงเดือน เจริญฉิมและ สุเทพ อ่วมเจริญ, 2553, น. 47) มโนทัศน์เป็นส่วนสำคัญที่สุดของการเรียนรู้ฟิสิกส์ เนื่องจากเป็นการสรุปความคิดของสถานการณ์ในรูปแบบข้อเท็จจริง หลักการ กฎ และทฤษฎีรวมถึงการประยุกต์ใช้ในชีวิต การจัดการเรียนรู้จะดีเมื่อครูสามารถสร้างความเข้าใจในมโนทัศน์ของนักเรียนผ่านกิจกรรมและสื่อต่าง ๆ ที่จัดเตรียมไว้ให้ (Arista & Kuswanto, 2017, p. 4) และมโนทัศน์มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการแก้ปัญหาฟิสิกส์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้นักเรียนสามารถวิเคราะห์โจทย์ปัญหาอันเป็นพื้นฐานสำคัญของการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ (Singh & Rosengrant, 2003, p. 2)

กล่าวโดยสรุป มโนทัศน์มีความสำคัญในการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์ จัดเป็นเป้าหมายหลัก เนื่องจากเป็นส่วนสำคัญที่สามารถนำไปประยุกต์ทั้งในการอธิบายกฎ หลักการ ทฤษฎี หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน รวมไปถึงเป็นส่วนหนึ่งของการวิเคราะห์โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

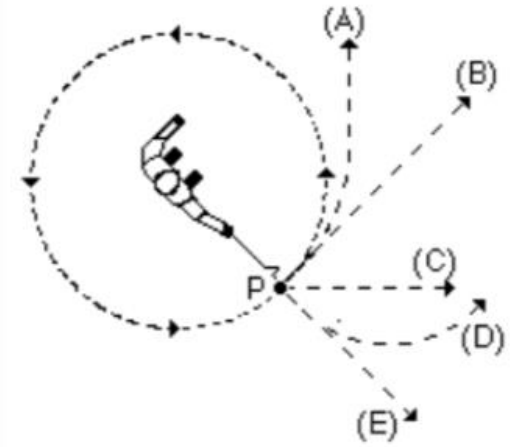
5.4 แนวทางการวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์

จากการศึกษาแนวทางการวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ พบว่า นักการศึกษาได้สร้างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ไว้หลายรูปแบบซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้

5.4.1 แบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์แบบปรนัยเลือกตอบ

Mahoney (2012a, pp. 43-53) ได้สร้างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์เรื่อง แรง ในงานวิจัยเรื่องผลของการจัดการเรียนรู้ด้วยการคิดเป็นภาพต่อมโนทัศน์ฟิสิกส์ โดยรูปแบบของแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์เป็นข้อสอบปรนัย 5 ตัวเลือก โดยเป็นคำถามประกอบรูปภาพในทุก ๆ ข้อ

ตัวอย่าง ชายคนหนึ่งแกว่งเชือกที่มีลูกบอลผูกติดกับปลายเชือก โดยแกว่งเชือกเป็นวงกลมในแนวระดับ ดังรูป ถ้าหากเชือกขาด ณ จุด P พอดี เส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกบอลหลังจากนั้นตรงกับเส้นทางในข้อใด



ตอบ ตัวเลือก B ข้อนี้วัดมโนทัศน์ฟิสิกส์เรื่องการเคลื่อนที่แบบวงกลม ซึ่งวัตถุจะมีการเคลื่อนที่ตามทิศทางเส้นสัมผัสของวงกลมเสมอ หากนักเรียนเข้าใจและสามารถระบุเวกเตอร์ของความเร็วในการเคลื่อนที่ได้ นักเรียนจะสามารถตอบคำถามในข้อนี้ได้อย่างถูกต้อง

ภาพประกอบ 5 ตัวอย่างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์แบบปรนัย เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม

ที่มา: Mahoney. (2012). The effect of instruction of visual/spatial thinking skills on learning physics concepts. p. 45.

5.4.2 แบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์แบบสองขั้นตอน (Two-tier test)

เป็นแบบวัดที่แต่ละข้อจะต้องตอบ 2 ตอน โดยตอนที่ 1 เป็นข้อคำถามเชิงเนื้อหาแบบปรนัย และตอนที่ 2 เป็นเหตุผลสนับสนุนการเลือกคำตอบในตอนที่ 1 แบบปรนัย หรือตอนที่ 2 เป็นเหตุผลสนับสนุนการเลือกคำตอบในตอนที่ 1

Chen, Lin, & Lin (2002, p. 111-120) ได้พัฒนาแบบวัดแบบเลือกตอบ 2 ตอน (Two-tier diagnostic instrument) เพื่อประเมินความเข้าใจในการเกิดภาพจากกระจกเงาราบของนักเรียนโดยแบบวัดมีส่วนประกอบ ดังนี้

ตอนที่ 1 มีลักษณะเป็นข้อคำถามเชิงเนื้อหาเพื่อให้นักเรียนทำนายผลจากสถานการณ์ที่กำหนด และพื้นที่ว่างสำหรับเขียนเหตุผลเพิ่มเติม

ตอนที่ 2 มีลักษณะเป็นข้อคำถามเชิงเหตุผลเพื่อให้นักเรียนบอกเหตุผลที่เลือกคำตอบในตอนที่ 1 ประกอบด้วยคำตอบซึ่งเป็นมโนทัศน์ที่ถูกต้อง มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนและพื้นที่ว่างสำหรับเขียนเหตุผลเพิ่มเติม

ข้อคำถามแต่ละข้อมีคะแนนเต็ม 2 คะแนน กำหนดเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

ได้ 2 คะแนน เมื่อตอบคำถามถูกทั้ง 2 ตอน

ได้ 1 คะแนน เมื่อตอบคำถามถูกในตอนที่ 1 แต่ถ้าตอบผิดจะไม่ได้คะแนน

ได้ 0 คะแนน เมื่อตอบผิดหรือไม่ตอบทั้ง 2 ตอน

ตัวอย่าง ตอนเที่ยงคืน เจมส์ตื่นขึ้นเพราะถูกยุงกัดที่คาง เขาหยิบไฟฉายส่องหน้ากระจก ในห้องนอนที่มืด ถ้าเขาต้องการเห็นคางในกระจกให้ชัดมาก เขาควรเล็งไฟฉายไปที่อะไร?

(1) เลือกคำตอบที่ถูกต้อง

(A) ไฟฉายควรเล็งไปที่กระจก

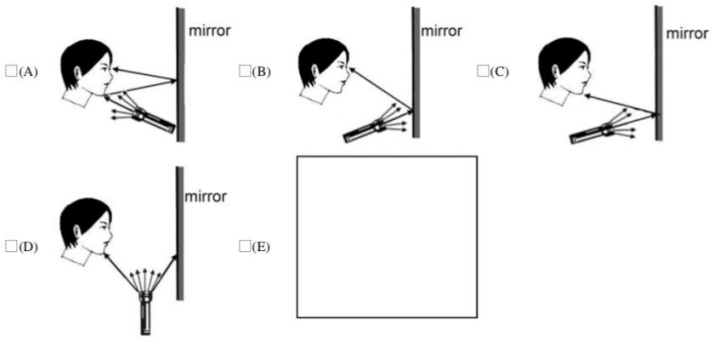
(B) ไฟฉายควรเล็งไปที่คางของเขา

(C) ไฟฉายควรวางขนานกับกระจก

(D) ทิศทางที่ไฟฉายเล็งไม่ได้สร้างความแตกต่างใด ๆ

(E) _____

(2) แผนภาพรังสีใดต่อไปนี้สามารถอธิบายคำตอบในข้อที่ (1) ได้ดีที่สุด



ภาพประกอบ 6 ตัวอย่างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์แบบสองขั้นตอน เรื่อง แสงเชิงรังสี

ที่มา : Chen; Lin; & Lin. (2002). Developing a two-tier diagnostic instrument to assess high school students' understanding the formation of images by a plane mirror. p. 115.

อมรรัตน์ บุบผโชติ (2558, น. 74) ได้สร้างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ เรื่องความร้อนและทฤษฎีจลน์ของแก๊ส เป็นข้อสอบเลือกตอบ โดยแต่ละข้อแบ่งออกเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตัวอย่าง พิจารณาข้อมูลในตารางต่อไปนี้

ของเหลว	ความจุความร้อนจำเพาะ (กิโลจูล/กิโลกรัม เคลวิน)
A	4.2
B	2.0
C	1.0
D	0.8

ข้อความใดถูกต้องที่สุด

ก. ถ้ามวลของของเหลวทุกชนิดเท่ากันเมื่อต้องการให้อุณหภูมิเปลี่ยนไป 20 องศาเซลเซียส ของเหลว D จะใช้ปริมาณความร้อนน้อยที่สุด

ข. ถ้าของเหลวทั้ง 4 ชนิดมีปริมาตรเท่ากันนำมาต้มโดยให้ปริมาณความร้อนเท่ากัน ของเหลวเดือดได้เร็วที่สุด

ค. ถ้าของเหลว B และของเหลว C ที่มีมวลเท่ากันทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนไปเท่ากันต้องให้ปริมาณความร้อนแก่ของเหลว C เป็น 2 เท่าของที่ให้แก่ของเหลว B

ง. ในการทำให้ของเหลวทั้ง 4 ชนิดเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอของเหลว D จะใช้ปริมาณความร้อนน้อยที่สุด

เหตุผลที่เลือกตอบข้อดังกล่าวเพราะ

1. ความจุความร้อนจำเพาะน้อยสุดจะใช้พลังงานความร้อนมากสุดเมื่อมวลและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเท่ากัน

2. ความจุความร้อนจำเพาะน้อยสุดจะใช้พลังงานความร้อนน้อยสุดเมื่อมวลและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเท่ากัน

3. ความจุความร้อนขึ้นอยู่กับความจุความร้อนจำเพาะของสารเพียงอย่างเดียว

4. ความจุความร้อนจำเพาะจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

ภาพประกอบ 7 ตัวอย่างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์แบบสองขั้นตอน เรื่อง ความร้อน

ที่มา : อมรรัตน์ บุบผโชติ. (2558). ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยการตั้งปัญหาที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายโรงเรียนสาธิตสังกัดมหาวิทยาลัยของรัฐในกรุงเทพมหานคร. หน้า 74.

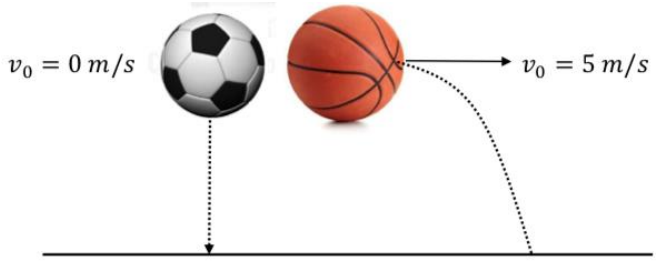
ชัยยุทธ สุขวัจนี (2559, น. 72) ได้สร้างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์เรื่อง การเคลื่อนที่แบบ 2 มิติ โดยข้อสอบแบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 มีลักษณะเป็นข้อคำถามเชิงเนื้อหา เป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก

ตอนที่ 2 มีลักษณะเป็นข้อคำถามเชิงเหตุผลในการเลือกคำตอบตอนที่ 2 เป็นแบบเติมคำตอบให้นักเรียนเขียนอธิบายเหตุผลของคำตอบในตอนที่ 1 โดยละเอียด

เกณฑ์การให้คะแนน ถ้าตอบถูกทั้งในส่วนข้อคำถามและส่วนเหตุผลสนับสนุนได้ 2 คะแนน ถ้าตอบถูกเฉพาะข้อคำถามเพียงส่วนเดียวได้ 1 คะแนน และถ้าตอบถูกเฉพาะเหตุผลสนับสนุนหรือตอบไม่ถูกทั้ง 2 ส่วนได้ 0 คะแนน

ตัวอย่าง ลูกฟุตบอลและลูกบาสเกตบอลต่างเคลื่อนที่ภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกโดยเริ่มต้นเคลื่อนที่ที่ระดับความสูงเดียวกันโดยกำหนดให้ปล่อยลูกฟุตบอลในแนวดิ่งและลูกบาสเกตบอลมีความเร็วในแนวระดับดังภาพข้อใดต่อไปนี้ถูกต้อง



ก) ลูกฟุตบอลตกถึงพื้นก่อน

ข) ลูกบาสเกตบอลตกถึงพื้นก่อน

ค) ลูกฟุตบอลและลูกบาสตกถึงพื้นพร้อมกัน

ง) ลูกฟุตบอลและลูกบาสตกถึงพื้นในเวลาใกล้เคียงกัน

เหตุผลเนื่องจาก *ทั้งการตกอย่างอิสระและการเคลื่อนที่แบบโพรเจคไทล์ต่างเป็นการเคลื่อนที่ภายใต้ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก หากเริ่มต้นเคลื่อนที่ที่ระดับเดียวกัน การกระจัดย่อมเท่ากัน ดังนั้น ทั้งลูกบอลและลูกบาสตกถึงพื้นพร้อมกัน*

ภาพประกอบ 8 ตัวอย่างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์แบบสองขั้นตอน เรื่อง การเคลื่อนที่ในสองมิติ

ที่มา : ชัยยุทธ สุขวัจนี. (2559). ผลของการใช้รูปแบบการเปลี่ยนมโนทัศน์ของสเตแพนส์ที่มีต่อมโนทัศน์และความสามารถในการประยุกต์ความรู้ฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย. หน้า 74.

5.4.3 แบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์แบบปรนัยสามตอน (Three-tier test)

เป็นแบบวัดที่แต่ละข้อจะต้องตอบ 3 ตอน โดยตอนที่ 1 เป็นข้อคำถามเชิงเนื้อหาแบบปรนัย และตอนที่ 2 เป็นเหตุผลสนับสนุนการเลือกคำตอบในตอนที่ 1 แบบปรนัย และตอนที่ 3 เป็นเหตุผลสนับสนุนการเลือกคำตอบในตอนที่ 2 แบบปรนัย

ธนธัญ ฝีมือสาร (2559, น. 89-99) สร้างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์เรื่อง ความร้อนและทฤษฎีจลน์ของแก๊ส โดยแต่ละข้อจะประกอบไปด้วยคำถาม 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 มีลักษณะเป็นข้อคำถามเชิงเนื้อหา ซึ่งเป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก

ตอนที่ 2 มีลักษณะเป็นข้อคำถามเชิงเหตุผล ในการเลือกตัวเลือก

ตอนที่ 3 มีลักษณะเป็นข้อคำถามถามความมั่นใจในการเลือกตอบใน 2 ข้อแรก ซึ่งเป็นแบบเลือกตอบ 2 ตัวเลือก

ตัวอย่าง วัตถุสองชิ้นทำจากวัสดุต่างชนิดกัน มีมวลต่างกัน เมื่อวัตถุทั้งสองชิ้นได้รับการสัมผัสระหว่างกัน พบว่า วัตถุมีการถ่ายโอนความร้อนเกิดขึ้น ปัจจัยใดที่ส่งผลต่อการถ่ายโอนความร้อนระหว่างวัตถุทั้งสอง

ก. อุณหภูมิ

ข. ความดัน

ค. มวล

ง. คุณสมบัติเฉพาะตัวของวัตถุ

สาเหตุที่เลือกตอบ

ก. พลังงานความร้อนจะถ่ายโอนจากวัตถุที่มีมวลมากไปยังบริเวณที่มีมวลน้อย

ข. ความร้อนจะถ่ายโอนจากวัตถุที่มีความดันสูงไปยังบริเวณที่มีวัตถุที่มีความดันต่ำ

ค. ความร้อนจะถ่ายโอนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

ง. พลังงานความร้อนจะถ่ายโอนได้ขึ้นอยู่กับลักษณะและคุณสมบัติเฉพาะตัวของวัตถุชนิดนั้น ๆ

นักเรียนมั่นใจในคำตอบทั้งสองข้อหรือไม่

1) มั่นใจ 2) ไม่มั่นใจ

ภาพประกอบ 9 ตัวอย่างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์แบบสองขั้นตอนเรื่อง ความร้อน

ที่มา : ธนธัญ ฝีมือสาร. (2559). ผลของกลวิธีการสอนสี่ขั้นตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ที่มีต่อมโนทัศน์ฟิสิกส์และเจตคติต่อการเรียนฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5. หน้า 90.

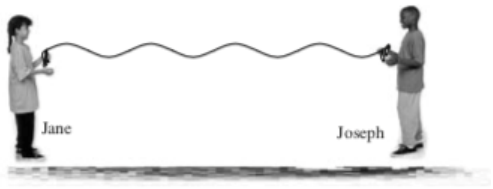
Caleon & Subramaniam (2010, pp. 334-337) พัฒนาแบบวัดมโนทัศน์แบบคำถาม 3 ตอน (Three-tier diagnostic test หรือ Three-tier test) เพื่อประเมินความเข้าใจในมโนทัศน์ เรื่อง คลื่น ของนักเรียนมัธยมศึกษาโดยแบบวัดมีส่วนประกอบดังนี้

ตอนที่ 1 มีลักษณะเป็นข้อคำถามเชิงเนื้อหา (Content Tier) วัดความรู้เชิงเนื้อหา ซึ่งเป็น 4 ตัวเลือก

ตอนที่ 2 มีลักษณะเป็นข้อคำถามเชิงเหตุผล (Reason Tier) เป็นการวัดความรู้เชิงอธิบายในการเลือกตัวเลือกของคำถามในตอนที่ 1 ซึ่งเป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก

ตอนที่ 3 มีลักษณะเป็นข้อคำถามถามความมั่นใจ (Confidence Tier) เป็นการวัดระดับความมั่นใจในการเลือกคำตอบ 2 ตอนแรกซึ่งแบ่งระดับความมั่นใจเป็น 6 ระดับ

<u>ตัวอย่าง</u> เจนและโจเซฟกำลังจับเชือกตึงที่ปลายทั้งสองข้าง เจนกระตุกปลายเชือกด้านหนึ่งขึ้น ๆ ลง ๆ ซ้ำ ๆ เพื่อสร้างคลื่น ขณะที่โจเซฟตรึงปลายอีกด้านหนึ่งให้นิ่ง



ถ้าเจน<u>เพิ่มความถี่ของคลื่น</u>ในขณะที่<u>แรงตึงเชือกคงที่</u> จะเกิดอะไรขึ้นกับความยาวคลื่นและความเร็วของคลื่นที่เกิดขึ้น ?

คำตอบ

A. ความยาวคลื่นน้อยลง อัตราเร็วของคลื่นเพิ่มขึ้น

B. ความยาวคลื่นคงที่ อัตราเร็วของคลื่นเพิ่มขึ้น

C. ความยาวคลื่นน้อยลง อัตราเร็วของคลื่นคงที่*

D. ความยาวคลื่นยาวขึ้น อัตราเร็วของคลื่นคงที

เหตุผลทางวิทยาศาสตร์สำหรับคำตอบ:

A. เนื่องจากคุณสมบัติของเชือก (เช่น มวลและความตึงในเชือก) ไม่เปลี่ยนแปลง ความเร็วของคลื่นจะไม่เปลี่ยนแปลง จากความสัมพันธ์ในสมการ $v = f\lambda$ ความถี่ที่มากขึ้นหมายถึงความยาวคลื่นที่น้อยลง*

B. เนื่องจากคุณสมบัติของเชือก (เช่น มวลและความตึงในเชือก) ไม่เปลี่ยนแปลง ความเร็วของคลื่นจะไม่เปลี่ยนแปลง การใช้สูตร $v = f\lambda$ ความถี่ที่มากขึ้นหมายถึงความยาวคลื่นที่ยาวขึ้น

C. ความถี่จะไม่ส่งผลต่อความยาวคลื่น เนื่องจากความถี่ถูกกำหนดโดยแหล่งกำเนิดของคลื่นแต่จากสูตร $v = f\lambda$ ความถี่ที่มากขึ้นหมายถึงความเร็วคลื่นที่มากขึ้น

D. คลื่นความถี่สูงทำให้พลังงานของคลื่นสูงและเคลื่อนที่เร็วขึ้น ดังนั้นความยาวคลื่นเลยน้อยลง

ระดับความมั่นใจ

1	2	3	4	5	6
เดา	ไม่มั่นใจมาก ๆ	ไม่ค่อยมั่นใจ	มั่นใจ	มั่นใจมาก	มั่นใจที่สุด

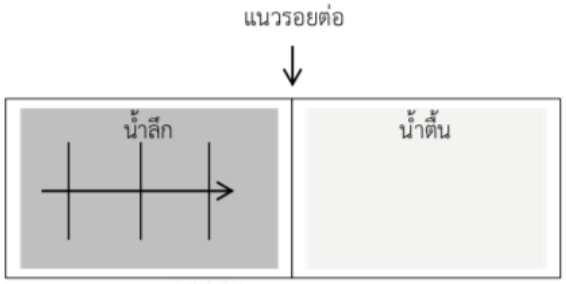
ภาพประกอบ 10 ตัวอย่างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์แบบสามขั้นตอน เรื่อง คลื่น

ที่มา : Aleon; & Subramaniam. (2010). Do students know what they know and what they don't know? Using a four-tier diagnostic test to assess the nature of students' alternative conceptions. p. 334.

5.4.4 แบบวัดมโนทัศน์แบบอัตนัยแบบวาดภาพ

พิมพ์หทัย พึ่งตาแสง (2560, น. 89) สร้างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ เรื่อง คลื่นกล เป็นแบบอัตนัย โดยนักเรียนต้องวาดรูปและเขียนอธิบายคำตอบ

ตัวอย่าง คลื่นน้ำที่มีหน้าคลื่นเป็นเส้นตรง เคลื่อนที่จากน้ำลึกไปยังน้ำตื้น ดังภาพ ภาพการเคลื่อนที่ของคลื่นในน้ำตื้นมีลักษณะอย่างไร วาดรูปพร้อมอธิบาย



เกณฑ์การให้คะแนน คะแนนเต็ม 3 คะแนน

เกณฑ์การให้คะแนน	คะแนน
สามารถวาดรูปการหักเหของคลื่นน้ำ และอธิบายได้ถูกต้องทั้งหมด	3
สามารถวาดรูปการหักเหของคลื่นน้ำได้	2
อธิบายการหักเหของคลื่นน้ำได้	1
ไม่สามารถระบุคำตอบได้	0

ภาพประกอบ 11 ตัวอย่างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์แบบอัตนัย เรื่อง คลื่น

ที่มา : พิมพ์หทัย พึ่งตาแสง. (2560). ผลของการใช้รูปแบบการเรียนรู้แบบสถานการณ์สองบทบาทที่มีต่อมโนทัศน์ฟิสิกส์และการนำความรู้ไปใช้ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. หน้า 89.พิมพ์หทัย พึ่งตาแสง (2560, น. 89)

จากการศึกษาแนวคิดเกี่ยวกับการวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ ผู้วิจัยได้นำมาปรับใช้เป็นแนวทางในการกำหนดและสร้างเครื่องมือวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ เรื่อง คลื่นกล แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ซึ่งเป็นแบบทดสอบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์แบบปรนัย จำนวน 15 ข้อ 2 ตอน ตอนที่ 1 มีลักษณะเป็นข้อคำถามเชิงเนื้อหา ซึ่งเป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ตอนที่ 2 มีลักษณะเป็นข้อคำถามเชิงเหตุผลในการเลือกตัวเลือกของคำถามตอนที่ 1

ซึ่งเป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก โดยต้องเลือกตอบมโนทัศน์ที่ถูกต้องสำหรับเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับข้อคำถาม ข้อคำถามแต่ละข้อมีคะแนนเต็ม 2 คะแนน กำหนดเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้ ได้ 2 คะแนน เมื่อตอบคำถามถูกทั้ง 2 ตอน ได้ 1 คะแนน เมื่อตอบคำถามถูกใน ตอนที่ 1 แต่ถ้าตอบผิดจะไม่ได้คะแนน และได้ 0 คะแนน เมื่อตอบผิดหรือไม่ตอบทั้ง 2 ตอน

5.5 แนวทางการพัฒนามโนทัศน์ฟิสิกส์

จากการศึกษาแนวทางการพัฒนามโนทัศน์ฟิสิกส์ มีนักการศึกษาได้เสนอแนวทางในการพัฒนามโนทัศน์ฟิสิกส์ ดังนี้

ในการพัฒนามโนทัศน์ฟิสิกส์ นักเรียนจะต้องมีความรู้เดิม ประสบการณ์ และความพร้อมที่จะเรียนเรื่องใหม่ เพื่อให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ โครงสร้างทางความคิดเพื่อนำไปสู่ข้อสรุป นอกจากนี้แรงจูงใจก็เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการกระตุ้นกระบวนการคิดของนักเรียน และการเกิดความเข้าใจในมโนทัศน์เกี่ยวข้องกับกิจกรรม นักเรียนต้องลงมือทำ โดยต้องมีเวลาเพียงพอที่จะมีส่วนร่วมในกิจกรรมและมีอุปกรณ์อย่างถูกต้องและเหมาะสม (ยุพิน พิพิธกุล, 2529, น. 23-26)

นักเรียนสามารถพัฒนามโนทัศน์ฟิสิกส์ จากการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ โดยนักเรียนลงมือปฏิบัติกิจกรรมการทดลอง ร่วมกันอภิปราย โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ครูตรวจสอบความรู้จากการตั้งคำถาม นักเรียนเชื่อมโยงความรู้เดิมกับประสบการณ์ใหม่ การเรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติทำให้นักเรียนเข้าใจมโนทัศน์มากกว่าการอ่าน การเรียนรู้จากการบรรยายและใบงาน (Belleau, Ross, & Otero, 2012, pp. 127-130)

อีกแนวทางหนึ่งที่สามารถพัฒนามโนทัศน์ฟิสิกส์ได้ คือการเรียนการสอนโดยใช้แนวทางแก้ปัญหาเชิงมโนทัศน์ โดยครูต้องจัดกิจกรรมให้นักเรียนฝึกวิเคราะห์ปัญหา เพื่อให้ทราบถึงมโนทัศน์ที่เกี่ยวข้องกับปัญหา และอธิบายว่ามโนทัศน์นั้นแก้ปัญหาได้อย่างไร โดยครูต้องใช้คำถามกระตุ้นและคอยตรวจสอบความรู้ของนักเรียน (Docktor, Strand, Mestre, & Ross, 2015)

โดยสรุป แนวทางการพัฒนามโนทัศน์ฟิสิกส์เน้นไปที่การจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนลงมือปฏิบัติกิจกรรม และค้นพบความรู้ด้วยตนเอง ผ่านการแก้ปัญหาและร่วมกันอภิปราย โดยครูต้องเป็นผู้ตรวจสอบความรู้จนนักเรียนสามารถสร้างมโนทัศน์ฟิสิกส์ที่ถูกต้อง

5.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมโนทัศน์ฟิสิกส์

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมโนทัศน์ฟิสิกส์ พบว่า มีนักการศึกษาที่ได้จัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนามโนทัศน์ฟิสิกส์ ดังนี้

Himawan (2019) ได้พัฒนาแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์แบบลำดับชั้น (physics-tier test) ลักษณะของข้อคำถามในแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์จะเป็นสถานการณ์จริงในชีวิตประจำวัน โดยในแบบวัดจะเป็นลักษณะที่ให้เลือกตอบมโนทัศน์ที่ถูกต้องและให้เลือกตอบเหตุผลที่สนับสนุนมโนทัศน์ที่ถูกต้อง โดยมีการสร้างแบบวัดทั้งสองชั้น สามชั้น และสี่ชั้นที่เพิ่มความแน่ใจในการเลือกตอบในแต่ละชั้น พบว่าแบบวัดที่สร้างขึ้นมีความเชื่อมั่นของแบบทดสอบอยู่ในระดับสูงมาก และแบบวัดที่ดีที่สุดคือแบบวัดแบบสองชั้น (two-tier test) เนื่องจากคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์ฟิสิกส์สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด

แสงเดือน เจริญฉิม และ สุเทพ อ่วมเจริญ (2553) ได้พัฒนารูปแบบการเรียนการสอนที่สร้างเสริมมโนทัศน์และการแก้ปัญหาในวิชาฟิสิกส์ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยการสุ่มแบบกลุ่ม จำนวน 2 ห้องเรียน เป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม เนื้อหาในการวิจัย คือ สนามของแรง การเคลื่อนที่ คลื่นกลและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กัมมันตรังสีและปฏิกิริยานิวเคลียร์ เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบทดสอบมโนทัศน์และการแก้ปัญหา โดยกำหนดโครงสร้างการประเมินไว้ 2 ด้าน คือ การประเมินเชิงเนื้อหาสาระและเชิงการคิดหรือใช้สติปัญญา การประเมินมโนทัศน์ เป็นการประเมินความรู้ ความเข้าใจครอบคลุมความสามารถการนึกได้ การจำได้ การให้นิยาม การบรรยาย การยกตัวอย่างและกระบวนการ วัดจากแบบวัดมโนทัศน์ส่วนแรกมีลักษณะเป็นข้อคำถามเชิงเนื้อหาแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือกจำนวน 35 ข้อ และการประเมินความสามารถในการแก้ปัญหา จากแบบวัดในส่วนที่สอง เป็นสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับมโนทัศน์ฟิสิกส์แบบเขียนอธิบายคำตอบ โดยต้องวิเคราะปัญหา ตั้งสมมติฐาน ออกแบบหรือวางแผนการแก้ปัญหา และการสรุป ผลการวิจัยพบว่านักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยความเข้าใจมโนทัศน์ฟิสิกส์และความสามารถในการแก้ปัญหาหลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลองและสูงกว่ากลุ่มควบคุม

ชัยยุทธ สุขวัจนี (2559) ได้ศึกษามโนทัศน์ฟิสิกส์และความสามารถในการประยุกต์ความรู้ฟิสิกส์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้รูปแบบการเปลี่ยนมโนทัศน์ของสเตแพนส์ กลุ่มตัวอย่างคือนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 2 ห้องเรียนจากการสุ่มแบบกลุ่ม แบ่งเป้นทดลองและกลุ่มควบคุม โดยเครื่องมือในการเก็บรวมรวมข้อมูล คือ แบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์จำนวน 20 ข้อ มีลักษณะเป็นข้อคำถาม 2 ส่วน คือ ส่วนคำถามเชิงเนื้อหาและส่วนสนับสนุน โดยจะได้ 2 คะแนน ถ้าตอบถูกทั้ง 2 ส่วน ตอบถูกเฉพาะส่วนข้อคำถามได้ 1 คะแนน แต่ถ้าตอบถูกเฉพาะส่วนเหตุผลหรือไม่ตอบได้ 0 คะแนนและแบบวัดความสามารถในการประยุกต์ความรู้ฟิสิกส์ เป็นแบบวัดอัตนัย จำนวน 3 ข้อ ผลการวิจัยพบว่า

นักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้รูปแบบการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ของสเตแพนส์มีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์ฟิสิกส์และคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการประยุกต์ความรู้ฟิสิกส์หลังเรียนสูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้ทั่วไป

พิมพ์หทัย พึ่งตาแสง (2560) ได้ศึกษามโนทัศน์ฟิสิกส์เรื่อง คลื่นกล ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสถานการณ์สองบทบาทเปรียบเทียบมโนทัศน์ฟิสิกส์และความสามารถในการนำความรู้ไปใช้ระหว่างกลุ่มที่เรียนโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสถานการณ์สองบทบาทกับกลุ่มที่เรียนโดยวิธีการสอนทั่วไป กลุ่มตัวอย่างคือนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน 2 ห้องเรียน เครื่องที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์เป็นลักษณะข้อสอบเขียนอธิบายคำตอบ จำนวน 15 ข้อ เรื่องคลื่นกล และแบบวัดการนำความรู้ไปใช้ เป็นแบบวัดที่กำหนดสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาเพื่อให้นักเรียนใช้มโนทัศน์ในการแก้ปัญหาสถานการณ์นั้น ๆ แบบวัดมีข้อคำถาม 5 ข้อ ผลการวิจัยพบว่านักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสถานการณ์สองบทบาทมีค่าเฉลี่ยมโนทัศน์หลังเรียนสูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบทั่วไป

โดยสรุปจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมโนทัศน์ฟิสิกส์ พบว่า การจัดการเรียนรู้ที่ใช้ในการพัฒนามโนทัศน์ฟิสิกส์ ได้แก่ การสอนที่สร้างเสริมมโนทัศน์และการแก้ปัญหาในวิชาฟิสิกส์ การจัดการเรียนรู้แบบสถานการณ์สองบทบาท และการสอนโดยใช้รูปแบบการเปลี่ยนมโนทัศน์ของสเตแพนส์ แบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ที่ใช้เป็นแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์แบบ 2 ขั้นตอน คือ ส่วนที่เป็นข้อคำถามเชิงเนื้อหาและส่วนที่เป็นเหตุผลสนับสนุนในส่วนแรก โดยมีทั้งแบบวัดที่เป็นแบบเลือกตอบ และเป็นลักษณะข้อสอบเขียนอธิบายคำตอบ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้แบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์แบบ 2 ขั้นตอน ตอนที่ 1 มีลักษณะเป็นข้อคำถามเชิงเนื้อหา ซึ่งเป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ตอนที่ 2 มีลักษณะเป็นข้อคำถามเชิงเหตุผล ในการเลือกตัวเลือกของคำถามตอนที่ 1 ซึ่งเป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก

6. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

6.1 ความหมายของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

จากการศึกษาความหมายของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ มีนักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายไว้ ดังนี้

ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา คือ พฤติกรรมของบุคคลที่แสดงออกถึงการค้นหาคำตอบของปัญหาหรือสถานการณ์ต่าง ๆ โดยต้องอาศัยการวิเคราะห์ปัญหาที่ให้มา

การแปลความหมายของโจทย์ปัญหา การคิดแก้ปัญหาที่เป็นการพิจารณาอย่างเป็นขั้นตอนซึ่งถือเป็นการประมวลความรู้โดยผ่านกระบวนการคิดตามกระบวนการ (Docktor, et al., 2015)

ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เป็นการทำความเข้าใจ วิเคราะห์ปัญหาที่ให้มา และแปลความหมายของโจทย์ปัญหาออกมาในรูปของสมการและความสัมพันธ์ของปริมาณต่าง ๆ นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์โจทย์มาหาคำตอบผ่านกระบวนการคิดแก้ปัญหาให้ถูกต้องและสมบูรณ์ (Yulindar, Setiawan, & Liliawati, 2018)

สรุป ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ คือ การแสดงออกถึงกระบวนการคิดแก้ปัญหาเพื่อใช้ในการหาคำตอบทางฟิสิกส์อย่างเป็นระบบ โดยการวิเคราะห์รูปแบบของปัญหาและแปลความหมายของสิ่งที่โจทย์กำหนดให้อยู่ในรูปของสมการ หรือหลักการทางฟิสิกส์ และดำเนินการแก้ปัญหาจนได้มาซึ่งคำตอบที่ถูกต้อง

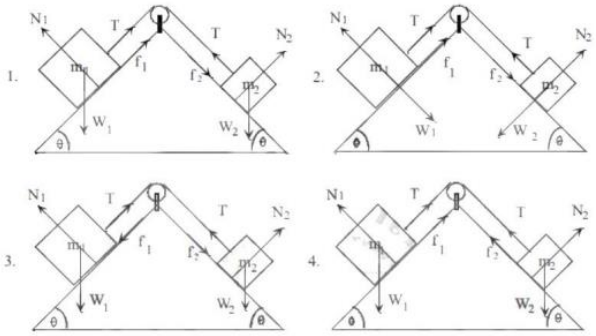
6.2 แนวทางในการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

จากการศึกษาแนวทางการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ พบว่านักการศึกษาได้สร้างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ไว้หลายรูปแบบซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้

เกริก ศักดิ์สุภาพ (2556, น. 219) ได้พัฒนาแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและกฎการเคลื่อนที่ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เป็นแบบวัดชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ประกอบไปด้วยสถานการณ์ และมีคำถาม 3 ข้อ ในแต่ละสถานการณ์ โดยแต่ละข้อจะวัดองค์ประกอบในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ตามขั้นตอนในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ได้แก่ วิเคราะห์และวางแผน ปฏิบัติการแก้ปัญหา และตรวจสอบคำตอบ โดยมีตัวอย่างดังภาพ 12

ตัวอย่าง สถานการณ์ ระนาบเอียงสองระนาบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว บนระนาบแต่ละด้านมีวัตถุมวล m_1 และ m_2 วางอยู่ (m_1 มากกว่า m_2) โดยวัตถุทั้งสองผูกด้วยเชือกที่คล้องผ่านรอกซึ่งติดอยู่ที่จุดบรรจบกันของระนาบ ถ้าระนาบเอียงทั้งสองมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเท่ากับ μ

1. จากสถานการณ์ดังกล่าวแผนภาพในข้อใดเขียนองค์ประกอบของแรงที่กระทำต่อวัตถุทั้งสองได้ถูกต้อง (วิเคราะห์และวางแผน)



เฉลย ข้อ 1

2. จงหาค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน μ ที่ทำให้วัตถุทั้งสองมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ (ปฏิบัติการแก้ปัญหา)

1. $\frac{m_1}{m_2}\sin\theta$
2. $\tan\theta$
3. $(\frac{m_1-m_2}{m_1+m_2})\sin\theta$*
4. $(\frac{m_1+m_2}{m_1-m_2})\sin\theta$

3. สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานที่ได้จากข้อที่ 2 นักเรียนคิดว่าคำตอบที่ได้มีความถูกต้อง เหมาะสมเพราะเหตุใด (ตรวจสอบคำตอบ)

1. μ อยู่ในเทอม m_1, m_2, $\sin\theta$
2. μ อยู่ในเทอม m_1, m_2, $\tan\theta$*
3. μ มีค่ามากหรือน้อยขึ้นกับมุมของพื้นเอียง
4. μ มีค่ามากหรือน้อยขึ้นกับมวลทั้งสอง

ภาพประกอบ 12 ตัวอย่างแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์แบบปรนัย

ที่มา : เกริก ศักดิ์สุภาพ. (2556). ผลการใช้รูปแบบการเรียนการสอนแบบ PECA ที่มีต่อความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์และความคงทนในการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. หน้า 219.

พัณนิดา มิ่งมิตร (2560, น. 91) ได้พัฒนาแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและกฎการเคลื่อนที่ โดยเป็นข้อสอบรูปแบบอัตนัย ให้นักเรียนอ่านคำถามแล้วแสดงวิธีทำอย่างละเอียด ดังนี้

1. ระบุหลักการที่เกี่ยวข้องกับปัญหา
2. วาดภาพที่แสดงถึงสถานการณ์ปัญหาและระบุตัวแปรที่ทราบค่าและไม่ทราบค่า
3. แสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและลำดับขั้นตอนการแก้ปัญหา
4. ดำเนินการแก้ปัญหาสรุปคำตอบและหน่วยของตัวแปรไม่ทราบค่านั้น

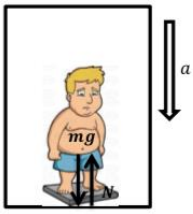
ตัวอย่าง นักวิทยาศาสตร์คนหนึ่งชั่งน้ำหนักของตนเองภายในห้องทดลองพบว่าตนเองหนัก 690 นิวตัน จากนั้นจึงทดลองชั่งน้ำหนักตนเองอีกครั้งในลิฟต์ที่กำลังเคลื่อนที่ลงด้วยความเร่ง 8 เมตรต่อวินาที^{2}

ก. เครื่องชั่งจะแสดงค่าน้ำหนักเท่าใด

ข. หลักการทางฟิสิกส์ใดที่สามารถใช้แก้ปัญหาข้อนี้ได้

ค. ถ้าลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่งน้ำหนักที่เครื่องชั่งแสดงในลิฟต์มีค่าต่างจากน้ำหนักของนักวิทยาศาสตร์ภายในห้องทดลองหรือไม่อย่างไร

เฉลย **ก. เครื่องชั่งจะแสดงค่าน้ำหนักเท่าใด**



กำหนดให้ W = 690 N a = 15 m / s^2 N = แรงปฏิกิริยาที่เครื่องชั่งกระทำกับเท้า

จากความสัมพันธ์ W = mg

690 = m (10) = 69 kg

จากความสัมพันธ์ $\sum \vec{F} = m\vec{a}$

เนื่องจากความเร่งมีทิศลงจากภาพจะได้ mg - N = ma

แทนค่า m = 69 kg ในสมการจะได้ 690 – N = 69 (8)

N = 690-552 = 138 N

ดังนั้น เครื่องชั่งจะแสดงค่าน้ำหนักได้ 138 นิวตัน

ข. หลักการทางฟิสิกส์ใดที่สามารถใช้แก้ปัญหาข้อนี้

หลักการทางฟิสิกส์ที่ใช้แก้ปัญหาคือกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองและสามของนิวตันและน้ำหนัก

ค. ถ้าลิฟต์เคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่งน้ำหนักที่เครื่องชั่งแสดงในลิฟต์มีค่าต่างจากน้ำหนักของนักวิทยาศาสตร์ภายในห้องทดลองหรือไม่ อย่างไร

น้ำหนักที่นักที่เครื่องชั่งน้ำหนักแสดงในลิฟต์มีค่ามากกว่าน้ำหนักจริงของนักวิทยาศาสตร์เนื่องจากเครื่องชั่งน้ำหนักจะแสดงค่าน้ำหนักเท่ากับแรงที่เครื่องชั่งกระทำต่อเท้าซึ่งเท่ากับแรงที่เท้ากระทำกับเครื่องชั่งในทิศตรงข้าม การที่ลิฟต์มีความเร่งในทิศขึ้น จะทำให้ผลรวมของแรงที่เครื่องชั่งกระทำต่อเท้ามีค่ามากขึ้นเครื่องชั่งน้ำหนักจึงแสดงค่าน้ำหนักมากขึ้น

ภาพประกอบ 13 ตัวอย่างแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

ที่มา : พัณนิดา มิ่งมิตร. (2560). ผลของแนวทางการแก้ปัญหาเชิงมโนทัศน์ที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาและมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย. หน้า 91.

ตาราง 5 แสดงเกณฑ์การให้คะแนนแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและกฎการเคลื่อนที่

รายการ	1. **ใช้ความรู้ฟิสิกส์ในการอธิบาย** (Useful Description)	2. **แนวคิดทางฟิสิกส์การอธิบายฟิสิกส์** (Physics Approach)	3. **การประยุกต์ความรู้ทางฟิสิกส์** (Specific Application)
5	คำอธิบายมีประโยชน์เหมาะสมและสมบูรณ์	แนวคิดทางฟิสิกส์มีความเหมาะสมและสมบูรณ์	การประยุกต์ความรู้ทางฟิสิกส์มีความเหมาะสมและสมบูรณ์
4	คำอธิบายมีประโยชน์แต่ไม่สมบูรณ์หรือมีข้อผิดพลาดเล็กน้อย	แนวคิดทางฟิสิกส์มีความเหมาะสม แต่ไม่สมบูรณ์หรือมีข้อผิดพลาดเล็กน้อย	การประยุกต์ความรู้ทางฟิสิกส์มีความเหมาะสม แต่ไม่สมบูรณ์หรือมีข้อผิดพลาดเล็กน้อย
3	คำอธิบายบางส่วนไม่มีประโยชน์ไม่สมบูรณ์หรือมีข้อผิดพลาด	แนวคิดทางฟิสิกส์บางส่วนไม่เหมาะสมหรือไม่สมบูรณ์	การประยุกต์ความรู้ทางฟิสิกส์บางส่วนไม่เหมาะสม หรือไม่สมบูรณ์
2	คำอธิบายส่วนใหญ่ไม่มีประโยชน์ไม่สมบูรณ์หรือมีข้อผิดพลาด	แนวคิดทางฟิสิกส์ส่วนใหญ่ไม่เหมาะสม หรือไม่สมบูรณ์	การประยุกต์ความรู้ทางฟิสิกส์ส่วนใหญ่ไม่เหมาะสม หรือไม่สมบูรณ์
1	คำอธิบายทั้งหมดไม่มีประโยชน์ไม่สมบูรณ์หรือมีข้อผิดพลาด	แนวคิดทางฟิสิกส์ทั้งหมดไม่เหมาะสม หรือไม่สมบูรณ์	การประยุกต์ความรู้ทางฟิสิกส์ทั้งหมดไม่เหมาะสม หรือไม่สมบูรณ์
0	ไม่ระบุคำอธิบาย หรือระบุคำอธิบายที่ไม่จำเป็นสำหรับการแก้ปัญหา	ไม่ระบุแนวคิดทางฟิสิกส์หรือแนวคิดทางฟิสิกส์ที่ไม่จำเป็นสำหรับการแก้ปัญหา	ไม่ระบุการประยุกต์ความรู้ทางฟิสิกส์หรือระบุการประยุกต์ความรู้ทางฟิสิกส์ที่ไม่จำเป็นสำหรับการแก้ปัญหา

ที่มา : พัณนิดา มิ่งมิตร. (2560). ผลของแนวทางการแก้ปัญหาเชิงมโนทัศน์ที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาและมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย. หน้า 91.

อมรรัตน์ บุบผโชติ (2558, น. 71) ได้สร้างแบบทดสอบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง ความร้อนและทฤษฎีจลน์ของแก๊ส แบบอัตนัย โดยให้นักเรียนแสดงวิธีทำอย่างละเอียดตามขั้นตอนในทุกข้อที่กำหนดให้ในกระดาษคำตอบ

ตัวอย่าง ใส่ก้อนอะลูมิเนียมมวล 80 กรัมอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสลงในน้ำมวล 200 กรัมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในภาชนะฉนวน มีฝาฉนวนปิดมิดชิด เมื่อถึงสมดุลความร้อน อุณหภูมิของสารทั้งสองจะเป็นเท่าใด (จงวาดแผนภาพประกอบ)

ขั้นที่ 1 ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบคำตอบ

.....

ขั้นที่ 2 ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดให้

.....

ขั้นที่ 3 เขียนสูตรหรือสมการที่เกี่ยวข้อง

.....

ขั้นที่ 4 แสดงการแทนค่าในสูตรหรือสมการ

.....

ขั้นที่ 5 แสดงการคิดคำนวณหาคำตอบ

.....

.....

.....

ขั้นที่ 6 เขียนคำตอบตามที่โจทย์ต้องการพร้อมทั้งระบุหน่วย

.....

ภาพประกอบ 14 ตัวอย่างแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

ที่มา : อมรรัตน์ บุบผโชติ. (2558). ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยการตั้งปัญหาที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายโรงเรียนสาธิตสังกัดมหาวิทยาลัยของรัฐในกรุงเทพมหานคร. หน้า 71.

วีนัส ชาลี (2563, น. 190) ได้สร้างแบบทดสอบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและกฎการเคลื่อนที่ แบบอัตนัยจำนวน 6 ข้อ ข้อละ 20 คะแนน โดยให้นักเรียนแสดงวิธีทำอย่างละเอียดตามขั้นตอนที่กำหนดให้

ตัวอย่าง นักเรียนคนหนึ่งนำลูกเหล็กมวล 10 กิโลกรัม ผูกติดกับเครื่องชั่งสปริงแล้วห้อยไว้ในแนวดิ่ง เมื่อดึงเครื่องชั่งสปริงให้เคลื่อนที่ขึ้นแนวดิ่งด้วยความเร่ง 1 เมตรต่อวินาที^{2} เครื่องชั่งสปริงจะอ่านค่าได้กี่นิวตัน

จงระบุคำตอบแต่ละข้อคำที่แสดงถึงความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาโดยละเอียดที่สุด

1) สิ่งที่โจทย์กำหนดมาให้ และวาดภาพ

2) สิ่งที่โจทย์ต้องการทราบ

.....

3) กำหนดตัวแปรแทนปริมาณทางฟิสิกส์

.....

4) หลักการและสมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง

.....

5) แสดงวิธีทำ

.....

6) สรุปคำตอบ

.....

7) ตรวจสอบคำตอบ

.....

ภาพประกอบ 15 ตัวอย่างแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

ที่มา : วีนัส ชาลี. (2563). แนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยาและผลที่มีต่อความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. หน้า 190.

โดยมีรูปแบบของเกณฑ์การให้คะแนนแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ที่พัฒนามาจากแนวคิดของ Docktor และคนอื่น ๆ (2015, p. 25) ดังตาราง 6

ตาราง 6 แสดงเกณฑ์การประเมินแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

สิ่งที่ประเมิน	ระดับคะแนน	เกณฑ์คะแนน
1. การทำความเข้าใจโจทย์ปัญหา โดยการวิเคราะห์โจทย์ปัญหา เขียนเงื่อนไขในโจทย์ปัญหา โดยแปลข้อความในโจทย์ปัญหาเป็นสัญลักษณ์ทางฟิสิกส์	4	แปลข้อความสิ่งที่โจทย์กำหนดให้ และระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบเป็นสัญลักษณ์ทางฟิสิกส์พร้อมระบุหน่วยได้ถูกต้องและครบถ้วน โดยสิ่งที่โจทย์กำหนดให้ ให้ระบุปริมาณต่อไปนี้ 1) มวลลูกเหล็กเท่ากับ 10 กิโลกรัม ($m_{ลูกเหล็ก}$ = 10 kg) 2) ความเร่งเครื่องชั่งสปริงที่มีลูกเหล็กเท่ากับ 1 เมตรต่อวินาที^{2} (เครื่องชั่งสปริงที่มีลูกเหล็ก a = 1 m / s^2) และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบคือค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งสปริงมีค่าเท่าใด (T =?)
	3	แปลข้อความสิ่งที่โจทย์กำหนดให้ หรือสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบ เป็นสัญลักษณ์ทางฟิสิกส์พร้อมระบุหน่วย ผิดหรือไม่ครบ 1 จุด
	2	แปลข้อความสิ่งที่โจทย์กำหนดให้ หรือสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบ เป็นสัญลักษณ์ทางฟิสิกส์พร้อมระบุหน่วย ผิดหรือไม่ครบ 2 จุด
	1	แปลข้อความสิ่งที่โจทย์กำหนดให้ หรือสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบ เป็นสัญลักษณ์ทางฟิสิกส์พร้อมระบุหน่วย ผิดหรือไม่ครบมากกว่า 2 จุดขึ้นไป
	0	ไม่แปลข้อความสิ่งที่โจทย์กำหนดให้หรือสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบ เป็นสัญลักษณ์ทางฟิสิกส์และไม่เขียนระบุหน่วย

ตาราง 6 (ต่อ)

สิ่งที่ประเมิน	ระดับคะแนน	เกณฑ์คะแนน
2. การเขียนแสดงแผนภาพพร้อมทั้งระบุขนาดและทิศทางของปริมาณทางฟิสิกส์ตามสถานการณ์ที่โจทย์กำหนด เพื่อใช้ในการประกอบการแก้โจทย์ปัญหา	4	วาดแผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหาถูกต้อง ได้แก่ 1) เครื่องชั่งสปริงห้อยในแนวดิ่ง 2) เครื่องชั่งเคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร่ง 3) ปลายเครื่องชั่งสปริงมีลูกเหล็กห้อยอยู่ พร้อมทั้งเขียนแสดงทิศทางและขนาดของปริมาณนั้นได้ถูกต้องครบถ้วนซึ่งได้แก่ 1) $\vec{a}$ = 1 m/s^2 2) ทิศทางของความเร่งมีทิศชี้ลง 3) $\overrightarrow{W}$ 4) ทิศทางของน้ำหนักมีทิศชี้ลง 5) $\overrightarrow{T}$ 6) ทิศทางของแรงซึ่งเชือกมีทิศชี้ขึ้น
	3	วาดแผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหาถูกต้องพร้อมทั้งเขียนแสดงทิศทางหรือขนาดของปริมาณนั้นผิดหรือไม่ครบ 1-2 จุด
	2	วาดแผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหาถูกต้องพร้อมทั้งเขียนแสดงทิศทางหรือขนาดของปริมาณนั้นผิดหรือไม่ครบ 3-4 จุด
	1	วาดแผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหาถูกต้องพร้อมทั้งเขียนแสดงทิศทางหรือขนาดของปริมาณนั้นผิดหรือไม่ครบมากกว่า 4 จุด
	0	ไม่วาดแผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหาพร้อมทั้งไม่เขียนแสดงทิศทางและขนาดของปริมาณนั้น

ตาราง 6 (ต่อ)

สิ่งที่ประเมิน	ระดับคะแนน	เกณฑ์คะแนน
3. การหาวิธีการแก้โจทย์ปัญหาโดยหาหลักการที่เกี่ยวข้องมาเขียนให้อยู่ในรูปสมการความสัมพันธ์ของตัวแปรทางฟิสิกส์ได้	4	เขียนหลักการที่เกี่ยวข้องและความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่กำหนดให้เป็นสมการได้ถูกต้อง โดยหลักการและสมการที่เกี่ยวข้องมีดังนี้ 1) น้ำหนัก 2) สมการ $\vec{w} = m\vec{g}$ 3) กฎข้อที่สองของนิวตัน 4) สมการ $\sum \vec{F} = m\vec{a}$
	3	เขียนหลักการที่เกี่ยวข้องหรือเขียนความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่กำหนดให้เป็นสมการผิดหรือไม่ครบ 1 จุด
	2	เขียนหลักการที่เกี่ยวข้องหรือเขียนความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่กำหนดให้เป็นสมการผิดหรือไม่ครบ 2 จุด
	1	เขียนหลักการที่เกี่ยวข้องหรือเขียนความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่กำหนดให้เป็นสมการผิดหรือไม่ครบมากกว่า 2 จุด
	0	ไม่เขียนความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่กำหนดให้เป็นสมการ
4. การดำเนินการแก้โจทย์ปัญหาโดยนำสมการความสัมพันธ์ของตัวแปรทางฟิสิกส์มาดำเนินการทางคณิตศาสตร์จนได้มาซึ่งคำตอบ	4	เขียนค่าตัวเลขลงตำแหน่งของตัวแปรในสมการได้ถูกต้องและครบถ้วน ดังนี้ 1) $\vec{w} = m\vec{g}$ แทนค่าตัวเลขจะได้ $\vec{w} = 10(10)$ 2) $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ แทนค่าสมการและตัวเลขจะได้ $\vec{T} - m\vec{g} = m\vec{a}$ และ $\vec{T} - (10)(10) = 10\,(1)$ พร้อมทั้งดำเนินการทางคณิตศาสตร์จนได้มาซึ่งคำตอบที่ถูกต้อง

ตาราง 6 (ต่อ)

สิ่งที่ประเมิน	ระดับคะแนน	เกณฑ์คะแนน
	3	เขียนค่าตัวเลขลงตำแหน่งของตัวแปรในสมการได้ถูกต้องและครบถ้วน แต่ดำเนินการทางคณิตศาสตร์ไม่ถูกต้องหรือไม่ครบถ้วนจนได้มาซึ่งคำตอบที่ผิด
	2	เขียนค่าตัวเลขลงตำแหน่งของตัวแปรในสมการผิดตำแหน่งหรือไม่ครบถ้วน 1 จุด พร้อมทั้งดำเนินการทางคณิตศาสตร์ไม่ถูกต้องหรือไม่ครบถ้วนจนได้มาซึ่งคำตอบที่ผิด
	1	เขียนค่าตัวเลขลงตำแหน่งของตัวแปรในสมการผิดตำแหน่งหรือไม่ครบถ้วน 2 จุดขึ้นไปพร้อมทั้งดำเนินการทางคณิตศาสตร์ไม่ถูกต้องหรือไม่ครบถ้วนจนได้มาซึ่งคำตอบที่ผิด
	0	ไม่เขียนตัวเลขลงตำแหน่งของตัวแปรในสมการจนไม่สามารถดำเนินการทางคณิตศาสตร์และได้มาซึ่งคำตอบได้
5. การสรุปและตรวจสอบคำตอบโดยการเขียนสรุปคำตอบพร้อมระบุหน่วยและตรวจสอบความสมเหตุสมผลของคำตอบตามรูปแบบของแต่ละสถานการณ์โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ได้แก่ การสรุปความสมเหตุสมผลจากการคำนวณค่าย้อนกลับเพื่อดูความเท่ากันของสมการทางคณิตศาสตร์ การหา	4	เขียนสรุปคำตอบและระบุหน่วยได้ถูกต้องและครบถ้วน ได้แก่ ค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งสปริงมีค่าเป็น 110 นิวตัน พร้อมทั้งตรวจสอบความสมเหตุสมผลของคำตอบโดยใช้การระบุถึงหลักการกฎหรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ในโจทย์ปัญหาและทำการวิเคราะห์ออกมาเพื่อสรุปถึงความสมเหตุสมผลของการได้มาซึ่งคำตอบนั้น ๆ ได้ถูกต้องและสมบูรณ์ ดังนี้เนื่องจากวัตถุเคลื่อนที่ขึ้น เพราะฉะนั้นค่าของแรงดึง

ตาราง 6 (ต่อ)

สิ่งที่ประเมิน	ระดับคะแนน	เกณฑ์คะแนน
ปริมาณที่โจทย์ต้องการทราบจากการดำเนินการอีกวิธีหนึ่งเพื่อตรวจสอบคำตอบหรือการวิเคราะห์		ในเส้นเชือกต้องมีค่ามากกว่าค่าของน้ำหนักลูกเหล็กซึ่งค่าแรงดึงในเส้นเชือกเท่ากับ 110 N และน้ำหนักเท่ากับ 100 N คำตอบมีความสมเหตุสมผลกัน
	3	เขียนสรุปคำตอบและระบุหน่วยได้ถูกต้อง พร้อมทั้งตรวจสอบความสมเหตุสมผลนั้น ๆ ได้ถูกต้อง แต่ไม่สมบูรณ์
	2	เขียนสรุปคำตอบและระบุหน่วยได้ถูกต้อง พร้อมทั้งไม่ตรวจสอบความสมเหตุสมผลหรือตรวจสอบความสมเหตุสมผลผิด
	1	เขียนสรุปคำตอบได้ถูกต้อง แต่ไม่ระบุหน่วยหรือระบุหน่วยผิด พร้อมทั้งไม่ตรวจสอบความสมเหตุสมผลหรือตรวจสอบความสมเหตุสมผลผิด
	0	ไม่เขียนหรือเขียนสรุปคำตอบและไม่ระบุหน่วยพร้อมทั้งไม่ตรวจสอบความสมเหตุสมผล

ที่มา : วีนัส ชาลี. (2563). แนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยาและผลที่มีต่อความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. หน้า 190.

จากการศึกษาความหมาย และแนวทางการวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ผู้วิจัยได้นำมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องมือวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง คลื่นกล แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ซึ่งเป็นแบบทดสอบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์แบบอัตนัย 5 ขั้นตอน ตามกลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ จำนวน 10 ข้อ

6.3 แนวทางการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ พบว่าแบ่งได้เป็น 2 แนวทาง ดังนี้

การจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้ผู้เรียนสร้างความรู้ด้วยตนเอง จากการลงมือปฏิบัติกิจกรรมหรือแก้ปัญหาที่นักเรียนสนใจ โดยอาศัยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อให้นักเรียนฝึกการคิดแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ จนเกิดเป็นทักษะ เข้าใจและหาความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วยตนเอง (เจนศึก โพธิศาสตร์, 2546, น. 24; เอกวิทย์ ดวงแก้ว, 2558, น. 27; ทิศนา แขมมณี, 2557, น. 141; นันธิยา แก้ววิจิตร, 2563, น. 19)

นอกจากนี้ยังมีการนำเทคนิคในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์มาผนวกกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์เพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ดังงานวิจัยของเจนศึก โพธิศาสตร์ (เจนศึก โพธิศาสตร์, 2546, น. 45) ที่ได้นำกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของครูลิคและรุทนิคไปสอดแทรกในขั้นสร้างความรู้และขั้นนำความรู้ไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ แบบสืบเสาะหาความรู้ นอกจากนี้อรพินท์ ชื่นชอบ (2550, น. 54) ได้นำกลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยาไปใช้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ พบว่าความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และ(นันธิยา แก้ววิจิตร, 2563, น. 6-7) ได้นำกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ไปสอดแทรกในขั้นนำเสนอบทเรียนและขั้นทดสอบย่อยในการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ พบว่าพัฒนาการของความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนสูงขึ้น

ดังนั้น แนวทางในการพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ คือ การจัดการเรียนรู้ให้นักเรียนค้นพบความรู้ด้วยตนเอง และการใช้กลวิธีในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ร่วมกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์และการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ โดยในงานวิจัยนี้จะจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

6.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า มีนักการศึกษาได้จัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ดังนี้

Wati (2020) ได้พัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์โดยใช้การจัดการเรียนรู้ตามสภาพจริง โดยเน้นการแก้ปัญหาจากสถานการณ์ปัญหาในชีวิตประจำวัน การวิจัยเป็นการวิจัยและพัฒนาและพัฒนาโดยใช้หลักการออกแบบกระบวนการจัดการเรียนรู้ ADDIE MODEL กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาจำนวน 33 คน ในโรงเรียนแห่งหนึ่ง

ประเทศอินโดนีเซีย ผลการวิจัยพบว่า ความตรงของสื่อการเรียนรู้อยู่ในระดับมาก และมีประสิทธิภาพ สามารถพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนได้

นฤมล ฉิมงาม (2558) ได้เปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้เทคนิคการแก้ปัญหาของโพลยาผสานกับการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ขั้นของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 88 คน ได้มาจากการสุ่มแบบกลุ่ม เป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์แบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ เรื่อง ความร้อนและทฤษฎีจลน์ของแก๊ส ผลการวิจัยพบว่า คะแนนความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้เทคนิคการแก้ปัญหาโพลยาหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนและสูงกว่ากลุ่มควบคุม

กิตติทัศน์ หวานฉ่ำ (2563) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เมื่อได้รับข้อมูลย้อนกลับแบบให้คำชี้แนะคงที่ แบบให้คำชี้แนะลดลง และแบบบอกผลการกระทำ ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 381 คน ได้มาจากการสุ่มแบบหลายขั้นตอน เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องงานและพลังงานซึ่งทดสอบโดยใช้คอมพิวเตอร์และมีการให้ข้อมูลย้อนกลับ 3 ประเภท จำนวน 2 ฉบับที่มีความคู่ขนานกัน และแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์จำนวน 2 ฉบับที่มีความคู่ขนานกัน เป็นแบบสอบแบบความเรียงจำกัดคำตอบโดยให้นักเรียนแสดงวิธีการหาคำตอบของโจทย์ปัญหาเรื่องงานและพลังงานอย่างละเอียด จำนวน 4 ข้อ ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนที่ได้รับข้อมูลย้อนกลับต่างประเภทกันมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน คะแนนที่เพิ่มขึ้น และความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

วีนัส ชาลี (2563) ได้ศึกษาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยา โดยกลุ่มตัวอย่าง ได้มาจาก การเลือกแบบเจาะจง เป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 50 คน โดยวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาจากแบบวัดที่เป็นสถานการณ์และให้เขียนแสดงการดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา โดยมีข้อคำถามในการแก้โจทย์ปัญหาได้มาจากข้อคำถามตามกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยา ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่จะใช้กลวิธีในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ร่วมกับการจัดการเรียนรู้รูปแบบต่าง ๆ และแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เป็นแบบวัดแบบอัตนัย เพื่อให้สามารถตรวจสอบกระบวนการในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ได้อย่างละเอียดในแต่ละขั้นตอน โดยในงานวิจัยนี้ใช้แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์แบบอัตนัย 5 ขั้นตอนตามกลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

7. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้

7.1 ความหมายของความพึงพอใจ

ความพึงพอใจ หมายถึง ความคิดเห็นตามทัศนคติของบุคคล ความรู้สึกทางบวก ความรู้สึกชอบของบุคคลที่มีต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่ง (จารุวรรณ เทวกุล, 2555, น. 18; วีนัส ชาลี, 2563, น. 51) เกิดจากการที่บุคคลนั้นได้รับการตอบสนองความต้องการหรือการคาดหวังของตนเอง ต้องมีสิ่งเร้ามากระตุ้นจึงจะทำให้บุคคลเกิดความพึงพอใจ(กาญจนา คุณารักษ์, 2552, น. 5) การแสดงออกถึงระดับความพึงพอใจขึ้นอยู่กับตัวกระตุ้นหรือประสบการณ์ที่ได้รับ หากบุคคลได้รับประสบการณ์จากสิ่งเร้าที่สนใจและเป็นไปตามความคาดหวังก็จะส่งผลให้ระดับความพึงพอใจมาก แต่หากได้รับประสบการณ์กับสิ่งที่สนใจแต่ไม่เป็นไปตามความคาดหวังก็จะทำให้ระดับความพึงพอใจน้อย (Rogers, 1969, p. 2)

จากความหมายของความพึงพอใจข้างต้น จึงสรุปได้ว่า ความพึงพอใจ คือ ความคิดเห็นตามทัศนคติของบุคคล ซึ่งเป็นความรู้สึกเชิงบวกเมื่อได้รับประสบการณ์หรือสิ่งเร้าที่เป็นตัวกระตุ้น การสร้างสิ่งเร้าจึงเป็นแรงจูงใจของบุคคลนั้นให้เกิดความพึงพอใจ

7.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับความพึงพอใจ

จากการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีความพึงพอใจ ซึ่งเป็นความรู้สึกที่บุคคลมีต่อสิ่งที่ได้รับประสบการณ์และแสดงออกหรือมีพฤติกรรมตอบสนองในลักษณะแตกต่างกันไป พบว่ามีนักการศึกษาได้กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างความพึงพอใจ ดังนี้

ทฤษฎีความต้องการของมาสโลว์ (Maslow, 1954, p. 35) ทฤษฎีนี้ได้เสนอความต้องการในด้านต่าง ๆ กันของมนุษย์เรียงลำดับจากความต้องการด้านร่างกาย ความต้องการด้านความปลอดภัย ความต้องการความรักและการเป็นเจ้าของ ความต้องการได้รับการนับถือยกย่อง ความต้องการที่จะเข้าใจตนเองอย่างแท้จริง ซึ่งตามทฤษฎีนี้เป็นการเรียงลำดับความต้องการจากขั้นพื้นฐานเพื่อการอยู่รอดไปจนถึงความต้องการทางสังคมและความต้องการยอมรับนับถือจากกลุ่ม มาสโลว์ถือว่าการเรียงลำดับความต้องการนี้มีความสำคัญ โดยมนุษย์จะมี

ความต้องการในระดับสูง ๆ ได้ก็ต่อเมื่อความต้องการขั้นพื้นฐานได้รับการตอบสนองแล้ว และทฤษฎีเสริมสร้างแรงขับหรือแรงผลักดันบุคคล โดยมนุษย์จะเกิดความพึงพอใจได้ต้องมีแรงขับภายนอกเป็นสิ่งเร้า หรือกระตุ้นให้เกิดความพึงพอใจ เช่น การได้รางวัล การถูกชมเชย ซึ่งสิ่งเร้านี้จะเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมหรือการแสดงออกของบุคคล ทำให้บุคคลปรับตัวตามประสบการณ์และปรับตัวไปในทางบวก (วีนัส ชาลี, 2563, น. 51)

Rogers (1969, p. 156) ได้แบ่งแรงจูงใจออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ แรงจูงใจภายใน (Intrinsic Motivation) เป็นแรงจูงใจที่เกิดจากความรู้สึกของบุคคล ซึ่งส่งผลต่อการกระตุ้นให้บุคคลแสดงพฤติกรรมตามความคาดหวังหรือความต้องการเพื่อตอบสนองความรู้สึกของตนเอง และแรงจูงใจภายนอก (Extrinsic Motivation) เป็นการจูงใจจากสภาพแวดล้อมภายนอกมากระตุ้นหรือทำให้เกิดแรงจูงใจภายในขึ้น ซึ่งก็ส่งผลต่อการกระตุ้นให้บุคคลแสดงพฤติกรรมตามจุดมุ่งหมายที่กำหนดไว้ การสร้างแรงจูงใจภายในบุคคลให้เกิดขึ้นนั้นทำได้ยาก ส่วนใหญ่จึงใช้วิธีการสร้างแรงจูงใจภายนอกก่อนเพื่อก่อให้เกิดแรงจูงใจภายในขึ้นในภายหลัง และต้องทำอย่างสม่ำเสมอ

จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่า ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อกับแรงจูงใจได้แก่ ทฤษฎีความต้องการของมาสโลว์และทฤษฎีการเสริมสร้างแรงขับ โดยแรงจูงใจจะเกิดขึ้นได้ต้องมีสิ่งกระตุ้นหรือเกิดประสบการณ์ โดยสิ่งกระตุ้นจัดเป็นแรงจูงใจภายนอกที่จะทำให้เกิดแรงผลักในการแสดงออกพฤติกรรมเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของบุคคลจนเกิดเป็นแรงจูงใจภายใน หากความต้องการได้รับการตอบสนองจะทำให้บุคคลเกิดความพึงพอใจได้

7.3 แนวทางการวัดความพึงพอใจ

จากการศึกษาแนวทางการวัดความพึงพอใจมีนักการศึกษาหลายท่านได้เสนอแนวทางการวัดความพึงพอใจ ดังนี้

การวัดความพึงพอใจโดยทั่วไปจะใช้แบบสอบถามหรือการสัมภาษณ์ การจะเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับตัวอย่างที่จะวัด คำถามนั้นบุคคลจะถูกถามถึงระดับความพึงพอใจหรือไม่พึงพอใจตามวัตถุประสงค์ของเรื่องที่ต้องการจะศึกษา (อินทิรา ชูศรีทอง, 2541; น.34) การสังเกตก็เป็นวิธีวัดความพึงพอใจอีกรูปแบบหนึ่ง โดยการสังเกตพฤติกรรมของบุคคลเป้าหมายไม่ว่าจะแสดงออกจากการพูด กริยาท่าทาง วิธีนี้ต้องอาศัยการกระทำอย่างจริงจังและสังเกตอย่างมีระเบียบแบบแผน(ภนิดา ชัยปัญญา, 2541, น. 11)

จารุวรรณ เทวกุล (2555, น. 91) ได้วัดระดับความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการจัดการเรียนการสอน โดยใช้แบบสอบถามความพึงพอใจรูปแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating

Scale) 5 ระดับ ได้แก่ ระดับมากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด ซึ่งวัดความพึงพอใจ 6 ด้าน ได้แก่ ด้านกระบวนการจัดการเรียนรู้ ด้านเนื้อหาหลักสูตร ด้านสภาพแวดล้อมในการเรียน ด้านการวัดผลและประเมินผล ด้านบุคลิกภาพของครูผู้สอน และด้านการจัดบริการของสถานศึกษา

ศิริลักษณ์ ชาวลุ่มบัว (2558, น. 233) ได้จัดทำแบบสอบถามวัดความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ โดยใช้รูปแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับของลิเคิร์ท ในการวัดระดับความพึงพอใจในด้านที่เกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ 4 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหาและสาระการเรียนรู้ ด้านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ด้านสื่อและแหล่งเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผล

วีนัส ชาลี (2563, น. 191)ได้วัดระดับความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้ โดยใช้แบบสอบถามความพึงพอใจ โดยใช้รูปแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ซึ่งแบบสอบถามประกอบด้วยข้อคำถามที่แบ่งตามองค์ประกอบของการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 4 ด้าน ได้แก่ ด้านกระบวนการจัดการเรียนรู้ ด้านบรรยากาศการเรียนรู้ ด้านการใช้สื่อการเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผล โดยแต่ละด้านเกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ ดังนี้

1) ด้านกระบวนการจัดการเรียนรู้ วิธีการจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้ผู้เรียนได้ลงสือปฏิบัติผ่านกระบวนการกลุ่ม

2) ด้านบรรยากาศการเรียนรู้ แบ่งเป็นบรรยากาศด้านกายภาพ คือ อุปกรณ์ประกอบการทำกิจกรรมและบรรยากาศของห้องเรียน และและบรรยากาศด้านสังคม คือ อารมณ์และความรู้สึกของนักเรียน

3) ด้านการใช้สื่อการเรียนรู้ เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ทั้งหมดที่ทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจในเนื้อหาที่เรียนมากขึ้น

4) ด้านการวัดและประเมินผล มีการวัดและเกณฑ์ในการประเมินที่ชัดเจน

จากข้อความข้างต้นสรุปได้ว่า การวัดความพึงพอใจสามารถที่จะวัดได้จากการแสดงความคิดเห็นความรู้สึกและเจตคติของบุคคลโดยใช้วิธีการสังเกต ใช้แบบสอบถาม และการสัมภาษณ์ โดยแบบสอบถามที่มีความนิยม คือ แบบสอบถามแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงเลือกแบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ได้แก่ ระดับความพึงพอใจมากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และระดับน้อยที่สุด เนื่องจากเป็นแบบสอบถามที่ง่ายต่อการเข้าใจ ไม่ซับซ้อน เป็นข้อคำถามที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 4 ด้าน คือ กระบวนการจัดการเรียนรู้ บรรยากาศการเรียนรู้

การใช้สื่อการเรียนรู้ และการวัดและประเมินผล โดยข้อคำถามแต่ละองค์ประกอบมี 5 ข้อ รวมทั้งหมดเป็น 20 ข้อ

7.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ พบว่ามีงานวิจัยที่ได้ศึกษาความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ ดังนี้

จารุวรรณ เทวกุล (2555) ได้ศึกษาความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนของนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ประเภทพาณิชยกรรมชั้นปีที่ 1 ถึง 3 กลุ่มตัวอย่างจำนวน 348 คน ได้มาจากการเลือกตามสะดวก เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล เป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ โดยรวมและรายด้าน จำนวน 6 ด้าน คือ เนื้อหาของหลักสูตร ด้านการจัดการเรียนการสอน ด้านบุคลิกภาพของครูผู้สอน ด้านสภาพแวดล้อมในการเรียน ด้านการจัดบริการของวิทยาลัย และด้านการวัดประเมินผล โดยจำแนกตามเพศ ระดับชั้นที่เรียน สาขางานที่เรียนและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ผลการวิจัย พบว่า ความพึงพอใจในการเรียนการสอนของนักเรียนโดยรวมอยู่ในระดับมากและรายด้านอยู่ในระดับมาก 5 ด้าน ระดับปานกลาง 1 ด้าน

ศิริลักษณ์ ชาวลุ่มบัว (2558) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของหลักสูตรตามแนวทางสะเต็มศึกษาจากการประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและจากผลการทดลองใช้หลักสูตร 5 ด้าน ได้แก่ ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ด้านความสามารถในการคิดอย่างวิจารณญาณ ด้านความตระหนักต่อสิ่งแวดล้อม ด้านความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ตามหลักสูตรและด้านความคิดเห็นของครูที่มีต่อหลักสูตร โดยในการประเมินความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ใช้แบบสอบถามความพึงพอใจ แบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ โดยวัดองค์ประกอบ 5 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหา ด้านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ด้านสื่อหรือแหล่งเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผล ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ตามหลักสูตรอยู่ในระดับมาก

โดยสรุปการศึกษาความพึงใจต่อการจัดการเรียนรู้จะเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามความพึงพอใจ แบบมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ โดยวัดองค์ประกอบในการจัดการเรียนรู้ ได้แก่ ด้านกระบวนการจัดการเรียนรู้ ด้านบรรยากาศ ด้านสื่อการเรียนรู้ ด้านการวัดประเมินผล

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ มีวิธีการดำเนินการวิจัย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง
2. การกำหนดแบบแผนการวิจัย
3. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย
4. การดำเนินการทดลองและการรวบรวมข้อมูล
5. การวิเคราะห์ข้อมูล

การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

ประชากรในการศึกษาครั้งนี้ เป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 กลุ่มวิชาเอกวิศวกรรม โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม) ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 3 ห้องเรียน รวมจำนวนทั้งสิ้น 124 คน โดยจัดแบบคละความสามารถ

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยในครั้งนี้เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 วิชาเอกวิศวกรรม ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม) ได้จากการสุ่มแบบกลุ่ม (cluster random sampling) โดยใช้ห้องเรียนเป็นหน่วยการสุ่ม จำนวน 1 ห้องเรียน จำนวน 43 คน

เนื้อหา

เนื้อหาในการวิจัยครั้งนี้ เป็นเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง 2560) เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี โดยมีเนื้อหา ดังนี้ ธรรมชาติของคลื่น อัตราเร็วของคลื่น หลักการที่เกี่ยวกับคลื่น พฤติกรรมของคลื่นการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ การเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว การเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติง การสะท้อนและการหักเหของแสง การมองเห็นและการเกิดภาพ และภาพจากเลนส์บางและกระจกเงาทรงกลม

ระยะเวลา

ระยะเวลาในการทดลองและเก็บข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ ทำการทดลองในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 ผู้วิจัยใช้เวลาทำการทดลองและเก็บข้อมูลกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่างจำนวน 43 คน โดยใช้คาบเรียน 35 คาบ คาบเรียนละ 45 นาที เป็นเวลา 9 สัปดาห์ แบ่งเป็นคาบเรียนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ จำนวน 30 คาบ และคาบในการทำแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์และแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ก่อนเรียน 2 คาบและคาบในการทำแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์หลังเรียนและแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียรู้ 3 คาบ

การกำหนดแบบแผนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยทดลองเบื้องต้น (Pre-Experimental design) โดยกำหนดตามจุดมุ่งหมายของการวิจัย ดังนี้

1. เพื่อเปรียบเทียบมโนทัศน์ฟิสิกส์และความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์เป็นแบบแผนการทดลองแบบกลุ่มเดียว ทดสอบก่อนและหลังการทดลอง One Group Pretest – Posttest Design

2. เพื่อเปรียบเทียบมโนทัศน์ฟิสิกส์ ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ และความพึงพอใจของนักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์กับเกณฑ์ที่กำหนด เป็นแบบแผนการทดลองแบบกลุ่มเดียวทดสอบหลังการทดลอง One Group Posttest Only Design

ประกอบด้วยกลุ่มตัวอย่าง 1 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลอง เป็นกลุ่มที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ โดยมีแบบแผนการวิจัย ดังตาราง 7 และตาราง 8

ตาราง 7 แสดงแบบแผนการวิจัยแบบ One Group Pretest – Posttest Design

กลุ่ม	ก่อนการทดลอง	การทดลอง	หลังการทดลอง
E	T_1	X	T_2

ตาราง 8 แสดงแบบแผนการวิจัยแบบ One Group Posttest Only Design

กลุ่ม	ก่อนการทดลอง	การทดลอง	หลังการทดลอง
E	-	X	T_2

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการทดลอง

E แทน กลุ่มตัวอย่าง

T_1 แทน การทดสอบก่อนเรียน (Pretest) โดยใช้แบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์และแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

X แทน การจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

T_2 แทน การทดสอบหลังเรียน (Posttest) โดยใช้แบบทดวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์และแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ และแบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้

การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. แบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี
2. แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี
3. แบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้

1. แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่นและแสงเชิงรังสี

ผู้วิจัยจัดทำแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ จำนวน 6 แผน จำนวน 30 คาบ คาบละ 45 นาที ผู้วิจัยได้สร้างแผนการจัดการเรียนรู้ โดยมีขั้นตอนสร้างและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ ดังนี้

1.1 ศึกษาและวิเคราะห์ผลการเรียนรู้ สาระฟิสิกส์ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง 2560) ดังตาราง 9

ตาราง 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาระฟิสิกส์และผลการเรียนรู้ในแผนการจัดการเรียนรู้

แผนที่	สาระฟิสิกส์	ผลการเรียนรู้
1	สาระที่ 2 เข้าใจการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ธรรมชาติของคลื่นเสียงและการได้ยิน ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับเสียง แสงและการเห็น ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับแสง รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์	1. อธิบายปรากฏการณ์คลื่น ชนิดของคลื่น ส่วนประกอบของคลื่น การแผ่ของหน้าคลื่นด้วยหลักการของฮอยเกนส์ และการรวมกันของคลื่นตามหลักการซ้อนทับ พร้อมทั้งคำนวณอัตราเร็ว ความถี่ และความยาวคลื่น
2, 3		2. สังเกต และอธิบายการสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบนของคลื่นผิวน้ำ รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
4		3. ทดลอง และอธิบายการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่และเกรตติง การเลี้ยวเบน และการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตเดี่ยว รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
5		4. ทดลอง และอธิบายการสะท้อนของแสงที่ผิววัตถุตามกฎการสะท้อน เขียนรังสีของแสงและคำนวณตำแหน่งและขนาดภาพของวัตถุ

ตาราง 9 (ต่อ)

แผนที่	สาระฟิสิกส์	ผลการเรียนรู้
		เมื่อแสงตกกระทบกระจกเงาราบและกระจกเงาทรงกลม รวมทั้งอธิบายการนำความรู้เรื่องการสะท้อน ของแสงจากกระจกเงาราบ และกระจกเงา ทรงกลมไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน
6		5. ทดลอง และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างดรรชนีหักเห มุมตกกระทบ และมุมหักเห รวมทั้งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความลึกจริงและความลึกปรากฏ มุมวิกฤตและการสะท้อนกลับหมดของแสง และคำนวณ ปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง
7		6. ทดลอง และเขียนรังสีของแสงเพื่อแสดงภาพที่เกิดจากเลนส์บางหาตำแหน่ง ขนาด ชนิดของภาพ และความสัมพันธ์ระหว่างระยะวัตถุ ระยะภาพและความยาวโฟกัส รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และอธิบายการนำความรู้เรื่องการหักเหของแสงผ่านเลนส์บางไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน

ที่มา: กระทรวงศึกษาธิการ. 2560. มาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดกลุ่มสาระวิทยาศาสตร์ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560). หน้า 198-203.

1.2 จัดทำแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ จำนวน 7 แผน จำนวน 30 คาบ คาบละ 45 นาที โดยจัดทำแผนการจัดการเรียนรู้ตามเนื้อหาและเวลาในการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับบริบทโรงเรียน ทั้งนี้ยังไม่รวมการวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์และ

ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ก่อนเรียนจำนวน 2 คาบ และการทดสอบหลังเรียนและทำแบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ 3 คาบ ดังตาราง 10

ตาราง 10 แสดงเนื้อหาและแผนการจัดการเรียนรู้

แผนการจัดการเรียนรู้ที่	**เนื้อหา**	**จำนวนคาบ (คาบละ 45 นาที)**
1	ธรรมชาติของคลื่นและอัตราเร็วของคลื่น	4
2	การสะท้อนและการหักเหของคลื่น	4
3	การแทรกสอด การเลี้ยวเบนของคลื่น และคลื่นนิ่ง	4
4	การแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ และการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยวและเกรตติง	4
5	การสะท้อนและการหักเหของแสง	6
6	การมองเห็นและการเกิดภาพ	4
7	ภาพจากเลนส์บางและกระจกเงาทรงกลม	4
	รวม	30

1.3 นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างเสร็จแล้ว ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์เพื่อปรับปรุงแก้ไข จากนั้นนำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ปรับปรุงแล้วให้ผู้เชี่ยวชาญทางการสอนวิชาฟิสิกส์ จำนวน 4 ท่าน พิจารณาความสอดคล้องระหว่างกิจกรรมในขั้นตอนการจัดการเรียนรู้กับขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่สังเคราะห์ขึ้นมา และพิจารณาความสอดคล้องของกิจกรรมการเรียนรู้กับจุดประสงค์และตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา เนื่องด้วยข้อจำกัดของระยะเวลาในการทำวิจัย และผู้เชี่ยวชาญให้ผลการประเมินในทิศทางเดียวกัน และให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการปรับแก้แผนการจัดการเรียนรู้ โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Index of Item-Objective Congruence: IOC) ซึ่งมีค่าประเมิน 3 ระดับ ดังนี้

คะแนน	ระดับความคิดเห็นในการประเมิน		
	+1	หมายถึง	สอดคล้อง
	0	หมายถึง	ไม่แน่ใจ
	-1	หมายถึง	ไม่สอดคล้อง

ได้ค่าดัชนีความสอดคล้อง เท่ากับ 1.00 ในทุกแผนการจัดการเรียนรู้ (ภาคผนวก ค) ซึ่งถือว่าแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์ตามที่ต้องการวัด และมีความเหมาะสมในการนำไปใช้

1.4 นำแผนการจัดการเรียนรู้มาปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อความสมบูรณ์และเหมาะสมยิ่งขึ้น โดยผู้วิจัยดำเนินแก้ไขแผนการจัดการเรียนรู้ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้

(1) คำถามที่ใช้ในกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาค่อนข้างชี้นำเกินไป อาจจะให้นักเรียนได้ฝึกแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ตามใบงานหรือในแบบฝึกหัดก่อน เพราะคำถามในใบงานค่อนข้างชัดอยู่แล้ว แล้วค่อยมาอภิปรายร่วมกันภายหลังถึงกระบวนการแก้โจทย์ปัญหา

(2) จำนวนกิจกรรมค่อนข้างมาก และต้องตอบคำถามหลายข้อ พิจารณาจำนวนเวลาที่ใช้แต่ละแผนอีกครั้ง ควรปรับเพิ่มเวลาให้เหมาะสมกับกิจกรรม

1.5 นำแผนการจัดการเรียนรู้โดยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ที่ผ่านการตรวจสอบและปรับปรุงแก้ไขจากผู้เชี่ยวชาญทั้งหมดจำนวน 7 แผน ไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 วิชาเอกคณิตศาสตร์ - วิศวกรรมศาสตร์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 30 คน ซึ่งมีลักษณะคล้ายกลุ่มตัวอย่าง พบว่ามีข้อควรระวัง ดังนี้

(1) แบบบันทึกกิจกรรมที่นักเรียนต้องร่วมกันอภิปรายและตอบคำถามมีจำนวนคำถามค่อนข้างมาก หากนักเรียนทำเองจะใช้เวลานานเกินกว่าเวลาที่กำหนดไว้ ในช่วงแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1- 2 ครูต้องใช้คำถามเพื่อนำอภิปราย และช่วยชี้แนะแนวทางในการตอบคำถามโดยเฉพาะในส่วนของกลวิธีในการคิดเป็นภาพก่อน ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 – 6 นักเรียนเริ่มสามารถตอบคำถามได้ด้วยตนเองจึงใช้เวลาในขั้นสำรวจเป็นภาพลดลง

(2) ในขั้นนำเสนอมโนทัศน์ นักเรียนอาจจะยังสรุปมโนทัศน์ได้ไม่ครบถ้วน ครูต้องใช้คำถาม และนำอภิปรายจนได้มโนทัศน์ที่ถูกต้อง และพบว่าหากให้ทุกกลุ่มออกมานำเสนอนักเรียนจะสรุปในประเด็นเดียวกันทั้งหมดและใช้เวลานาน ปรับโดยการที่ให้ทุกกลุ่มฟังข้อมูลจากกลุ่มแรก และให้แต่ละกลุ่มเพิ่มเติมประเด็นข้อค้นพบที่เหมือนหรือแตกต่างกัน และครูเป็นผู้นำอภิปรายโดยใช้คำถามจนได้มโนทัศน์ที่ถูกต้อง

1.6 นำแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ ที่ผ่านการทดลองใช้ทั้งหมดมา

ปรับปรุงแก้ไขให้เหมาะสม จากนั้นนำไปใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 วิชาเอกวิศวกรรมปัญญาประดิษฐ์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 43 คน

2. แบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่นและแสงเชิงรังสี

ผู้วิจัยได้สร้างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ จำนวน 15 ข้อ มีลักษณะเป็นแบบทดสอบสองขั้นตอน (two tier) โดย ตอนที่ 1 มีลักษณะเป็นข้อคำถามเชิงเนื้อหา ซึ่งเป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ตอนที่ 2 มีลักษณะเป็นข้อคำถามเชิงเหตุผลในการเลือกตัวเลือกของคำถามตอนที่ 1 เนื้อหา ซึ่งเป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก โดยต้องเลือกตอบมโนทัศน์ที่ถูกต้องสำหรับเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับข้อคำถาม ข้อคำถามแต่ละข้อมีคะแนนเต็ม 2 คะแนน กำหนดเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้ ได้ 2 คะแนน เมื่อตอบคำถามถูกทั้ง 2 ตอน ได้ 1 คะแนน เมื่อตอบคำถามถูกใน ตอนที่ 1 และได้ 0 คะแนน เมื่อตอบคำถามในตอนที่ 1 ผิดหรือตอบผิดทั้ง 2 ตอน ผู้วิจัยการสร้างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับ หลักการสร้างแบบวัดมโนทัศน์ ความหมายและองค์ประกอบ

2.2 กำหนดความหมาย องค์ประกอบ และสร้างตารางวิเคราะห์ข้อสอบเพื่อสร้างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์

2.3 สร้างแบบวัดแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ แบบปรนัยจำนวน 30 ข้อ แต่ละข้อมี 2 ขั้นตอน ตอนที่ 1 มีลักษณะเป็นข้อคำถามเชิงเนื้อหา ซึ่งเป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก ตอนที่ 2 มีลักษณะเป็นข้อคำถามเชิงเหตุผลในการเลือกตัวเลือกของคำถามตอนที่ 1 ซึ่งเป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก โดยให้สอดคล้องกับเนื้อหาในแผนการจัดการเรียนรู้เพื่อให้แบบวัดมีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา ดังตาราง 11

ตาราง 11 วิเคราะห์แบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี

เนื้อหา	จำนวนข้อ	ข้อที่
1. ธรรมชาติของคลื่น	1	1
2. อัตราเร็วของคลื่น	1	2
3. หลักการที่เกี่ยวกับคลื่น	1	3
4. พฤติกรรมของคลื่น	2	4,5
5. การแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่	1	6

ตาราง 11 (ต่อ)

เนื้อหา	จำนวนข้อ	ข้อที่
6. การเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยว	1	7
7. การเลี้ยวเบนของแสงผ่านเกรตติง	1	8
8. การสะท้อนและการหักเหของแสง	2	9,10
9. การมองเห็นและการเกิดภาพ	1	11
10. ภาพจากเลนส์บางและกระจกเงาทรงกลม	4	12,13,14,15
รวม	15	-

2.4 นำแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ ให้ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนฟิสิกส์ และด้านการวัดและประเมินผลจำนวน 4 ท่าน ตรวจสอบความถูกต้องของข้อคำถามและมโนทัศน์ ความสอดคล้องของข้อคำถามกับจุดประสงค์ และความถูกต้องของการใช้ภาษา เนื่องด้วยข้อจำกัดของระยะเวลาในการทำวิจัย และผู้เชี่ยวชาญให้ผลการประเมินในทิศทางเดียวกัน และให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการปรับแก้แบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับมโนทัศน์ที่ต้องการวัด (Index of Item-Objective Congruence: IOC) ซึ่งมีค่าประเมิน 3 ระดับ ดังนี้

คะแนน		ระดับความคิดเห็นในการประเมิน
+1	หมายถึง	สอดคล้อง
0	หมายถึง	ไม่แน่ใจ
-1	หมายถึง	ไม่สอดคล้อง

ได้ค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.75 - 1.00 (ภาคผนวก ค) ซึ่งถือว่าข้อคำถามในแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ที่สร้างขึ้นมีความสอดคล้องกับมโนทัศน์ตามที่ต้องการวัด และมีความเหมาะสมในการนำไปใช้

2.5 นำแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์มาปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อความสมบูรณ์และเหมาะสมยิ่งขึ้น โดยผู้วิจัยดำเนินแก้ไขแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้

(1) เรียงความยาวตัวเลือกจากน้อยไปมาก

(2) ปรับตัวเลือกของเหตุผลให้กระชับ ไม่ต้องใส่ข้อมูลที่ไม่ส่งผลต่อแนวคิดหรือมโนทัศน์ และไม่จำเป็นต้องระบุสมการหรือสูตร พิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรก็เพียงพอแล้ว

(3) ระวังสีของภาพในแบบวัด ตรวจสอบตอนจัดพิมพ์เรียบร้อยแล้วอีกครั้ง

2.6 นำแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ที่ผ่านการตรวจสอบและปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ ไปทดลองกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 วิชาเอกวิศวกรรมปัญญาประดิษฐ์และวิชาเอกวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ที่เคยผ่านการเรียนเรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี และยังไม่ได้เรียนเนื้อหาอื่น ๆ เพิ่มเติม อีกทั้งยังเป็นนักเรียนกลุ่มวิชาเอกวิศวกรรมที่มีลักษณะคล้ายกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 54 คน

2.7 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย และค่าอำนาจจำแนก โดยวิเคราะห์เป็นรายข้อ ใช้เทคนิคร้อยละ 27 ของจุง เตห์ ฟาน (Chung – The Fan) หลังจากนั้นคัดเลือกข้อที่มีความยากง่าย (p) ระหว่าง 0.2 – 0.8 และมีค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.2 ขึ้นไป จาก 30 ข้อ คัดเลือกไว้จำนวน 15 ข้อ ซึ่งได้ค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.55 - 0.67 และค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.20 - 0.37 (ภาคผนวก ค)

2.8 นำแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์มาวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นด้วยสูตรสัมประสิทธิ์แอลฟา (α) ของครอนบัค (Cronbach, 1970) ได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.726

2.9 นำแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ที่ปรับปรุงแล้วมาใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 วิชาเอกวิศวกรรมปัญญาประดิษฐ์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 43 คน

3. แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี

ผู้วิจัยได้สร้างแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์แบบอัตนัย 5 ขั้นตอนตามกลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ ได้แก่ ทำความเข้าใจและอธิบายปัญหา อธิบายหลักการฟิสิกส์ วางแผนการแก้ปัญหา ดำเนินการแก้ปัญหา และตรวจสอบคำตอบ จำนวน 10 ข้อ ในแต่ละข้อมีประเด็นในการประเมิน 5 ประเด็นตามขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ ในแต่ละประเด็นมีคะแนนในการประเมินประเด็นละ 3 คะแนน รวมคะแนนในแต่ละข้อเท่ากับ 15 คะแนน ผู้วิจัยการสร้างแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.1 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับ หลักการสร้างแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ความหมายและองค์ประกอบ

3.2 กำหนดความหมาย องค์ประกอบ และสร้างตารางวิเคราะห์ข้อสอบเพื่อสร้างแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ โดยให้สอดคล้องกับเนื้อหาในแผนการจัดการเรียนรู้เพื่อให้แบบวัดมีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา ดังตาราง 12

ตาราง 12 วิเคราะห์เนื้อหาแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี

เนื้อหา	**จำนวนข้อ**	**ข้อที่**
1. อัตราเร็วของคลื่น	1	1
2. หลักการที่เกี่ยวกับคลื่น	1	2
3. พฤติกรรมของคลื่น	1	3
4. การแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่ และการเลี้ยวเบนของแสงผ่านสลิตเดี่ยวและเกรตติง	2	4, 5
5. การสะท้อนและการหักเหของแสง	3	6, 7, 8
6. ภาพจากเลนส์บางและกระจกเงาทรงกลม	2	9, 10
รวม	10	-

3.3 สร้างแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี แบบแบบอัตนัย จำนวน 20 ข้อ โดยแบ่งองค์ประกอบที่ต้องการวัดเป็น 5 องค์ประกอบ ได้แก่ ทำความเข้าใจและอธิบายปัญหา อธิบายหลักการทางฟิสิกส์ วางแผนการแก้ปัญหา ดำเนินการแก้ปัญหา และ ตรวจสอบคำตอบ

3.4 นำแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์เพื่อปรับปรุงแก้ไข จากนั้นนำแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ที่ปรับปรุงแล้วให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดและประเมินผล จำนวน 4 ท่าน ตรวจสอบความถูกต้องของข้อคำถาม ความสอดคล้องของข้อคำถามกับจุดประสงค์ องค์ประกอบ และความถูกต้องของการใช้ภาษา เนื่องด้วยข้อจำกัดของระยะเวลาในการทำวิจัย และผู้เชี่ยวชาญให้ผลการประเมินในทิศทางเดียวกัน และให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการปรับแก้แบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์ที่ต้องการวัด (Index of Item-Objective Congruence: IOC) ซึ่งมีค่าประเมิน 3 ระดับ ดังนี้

คะแนน		ระดับความคิดเห็นในการประเมิน
+1	หมายถึง	สอดคล้อง
0	หมายถึง	ไม่แน่ใจ
-1	หมายถึง	ไม่สอดคล้อง

ได้ค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.75 - 1.00 (ภาคผนวก ค) ซึ่งถือว่าแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ที่สร้างขึ้นมีความสอดคล้องกับจุดประสงค์ตามที่ต้องการวัด และมีความเหมาะสมในการนำไปใช้

3.5 นำแบบวัดความสามารถในการแก้โทย์ปัญหาฟิสิกส์มาปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อความสมบูรณ์และเหมาะสมยิ่งขึ้น โดยผู้วิจัยดำเนินแก้ไขแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้

(1) เพิ่มเติมรายละเอียดของภาพในเฉลยบางข้อ

(2) ปรับตัวเลขในโจทย์ปัญหาให้สามารถคำนวณได้ลงตัว

(3) ปรับตัวเลขในโจทย์ให้สมเหตุสมผล

แล้วนำแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ที่ผ่านการตรวจสอบและปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ ไปทดลองกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 วิชาเอกคณิตศาสตร์ - วิศวกรรมศาสตร์ ที่เคยผ่านการเรียน เรื่อง คลื่นแสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี และยังไม่ได้เรียนเนื้อหาอื่น ๆ เพิ่มเติม อีกทั้งยังเป็นนักเรียนกลุ่มวิชาเอกวิศวกรรมที่มีลักษณะคล้ายกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 39 คน

3.6 นำแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์มาหาความเชื่อมั่นของเกณฑ์ในการตรวจข้อสอบอัตนัยจากดัชนีความสอดคล้องของผู้ประเมิน (Rater Agreement Index, RAI) จากผู้ตรวจ 3 คน ที่เข้าใจเกณฑ์การตรวจและให้คะแนนเป็นอย่างดี เป็นอาจารย์ผู้สอนรายวิชาฟิสิกส์ที่มีประสบการณ์การสอนมากกว่า 5 ปี ได้ค่าความเชื่อมั่นของเกณฑ์การให้คะแนนเท่ากับ 0.87 (มีค่าเข้าใกล้ 1) หมายถึง เกณฑ์การตรวจใช้ได้ กล่าวคือ ผู้ประเมินทั้ง 3 คน ตรวจให้คะแนนใกล้เคียงกัน

3.7 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย และค่าอำนาจจำแนก โดยวิเคราะห์เป็นรายข้อ ใช้เทคนิคร้อยละ 27 ของจุง เตห์ ฟาน (Chung – The Fan) หลังจากนั้นคัดเลือกข้อที่มีความยากง่าย (p) ระหว่าง 0.2 – 0.8 และมีค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.2 ขึ้นไป จาก 20 ข้อ คัดเลือกไว้จำนวน 10 ข้อ ซึ่งได้ค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.23-0.55 และค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.30-0.50 (ภาคผนวก ค)

3.8 นำแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์มาวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นด้วยสูตร สัมประสิทธิ์แอลฟา (α) ของครอนบัค (Cronbach, 1970) ได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.787

3.9 นำแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ที่ปรับปรุงแล้วมาใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 วิชาเอกวิศวกรรมปัญญาประดิษฐ์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 43 คน

4. แบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้

ผู้วิจัยได้สร้างแบบสอบถามความพึงพอใจจำนวน 20 ข้อ ซึ่งเป็นแบบวัดเกี่ยวกับความรู้สึกและความคิดเห็นของผู้เรียน เมื่อนักเรียนอ่านข้อความแต่ละข้อเรียบร้อยแล้วให้นักเรียนเลือกระดับความรู้สึกหรือความคิดเห็นที่ตรงกับความรู้สึกหรือความคิดเห็นของตนเองให้มากที่สุด ประกอบด้วยองค์ประกอบของการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 4 ด้าน ได้แก่ ด้านกระบวนการจัดการเรียนรู้ ด้านบรรยากาศการเรียนรู้ ด้านการใช้สื่อการเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผล โดยข้อคำถามแต่ละด้านมี 5 ข้อ เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) 5 ระดับ ตามแนวคิดของลิเคอร์ท ในข้อความแต่ละข้อจะใช้เกณฑ์การตรวจให้คะแนน (ชูศรี วงศ์รัตนะ, 2553, น. 138) ดังนี้

ระดับความพึงพอใจ 5	หมายถึง	มีความพึงพอใจมากที่สุด
ระดับความพึงพอใจ 4	หมายถึง	มีความพึงพอใจมาก
ระดับความพึงพอใจ 3	หมายถึง	มีความพึงพอใจปานกลาง
ระดับความพึงพอใจ 2	หมายถึง	มีความพึงพอใจน้อย
ระดับความพึงพอใจ 1	หมายถึง	มีความพึงพอใจน้อยที่สุด

เมื่อรวบรวมข้อมูลและแจกแจงความถี่แล้ว จะนำคะแนนเฉลี่ยมาแปลความหมายระดับคะแนนของความคิดเห็น ดังนี้

คะแนนเฉลี่ย 4.51 – 5.00 หมายความว่า มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด
คะแนนเฉลี่ย 3.51 – 4.50 หมายความว่า มีระดับความพึงพอใจมาก
คะแนนเฉลี่ย 2.51 – 3.50 หมายความว่า มีระดับความพึงพอใจปานกลาง
คะแนนเฉลี่ย 1.51 – 2.50 หมายความว่า มีระดับความพึงพอใจน้อย
คะแนนเฉลี่ย 1.00 – 1.50 หมายความว่า มีระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด

แบบสอบถามวัดความพึงพอใจมีขั้นตอนการสร้างดังต่อไปนี้

4.1 ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวกับความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ และศึกษาวิธีการสร้างแบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ ในลักษณะที่คล้ายกัน

4.2 สร้างแบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ ซึ่งวัดได้ครอบคลุมทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ด้านกระบวนการจัดการเรียนรู้ ด้านบรรยากาศการเรียนรู้ ด้านการใช้สื่อการเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผล จำนวน 24 ข้อ

4.3 นำแบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ ที่สร้างขึ้นไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 4 ท่าน ตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับองค์ประกอบของการจัดการเรียนรู้ เนื่องด้วยข้อจำกัดของระยะเวลาในการทำวิจัย และผู้เชี่ยวชาญให้ผลการประเมินในทิศทางเดียวกัน และให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการปรับแก้แบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์ที่ต้องการวัด (Index of Item-Objective Congruence: IOC) ซึ่งมีค่าประเมิน 3 ระดับ ดังนี้

คะแนน		ระดับความคิดเห็นในการประเมิน
+1	หมายถึง	สอดคล้อง
0	หมายถึง	ไม่แน่ใจ
-1	หมายถึง	ไม่สอดคล้อง

ได้ค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 1.00 (ภาคผนวก ค) ซึ่งถือว่าแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นมีความสอดคล้องกับองค์ประกอบของการจัดการเรียนรู้ และมีความเหมาะสมในการนำไปใช้

4.4 นำแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ที่ผ่านการปรับปรุงแก้ไข จำนวน 24 ข้อ ไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 วิชาเอกคณิตศาสตร์ – วิศวกรรมศาสตร์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน ที่ผ่านการเรียนด้วยแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

4.5 นำแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ หาคุณภาพของแบบสอบถามโดยเลือกข้อความที่มีอำนาจจำแนก (t) ตั้งแต่ 1.75 ขึ้นไป แล้วเลือกข้อคำถามจำนวน 20 ข้อ ได้ค่า t อยู่ในช่วง 2.882 – 7.473 (ภาคผนวก ค)

4.6 คำนวณหาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) แบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้จากสูตรสัมประสิทธิ์แอลฟา (α) ของครอนบัค (Cronbach, 1970) ได้ค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ทั้งฉบับเท่ากับ 0.921

4.7 นำแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ที่ปรับปรุงแล้วมาใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 วิชาเอกวิศวกรรมปัญญาประดิษฐ์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 43 คน

การดำเนินการทดลองและการรวบรวมข้อมูล

1. ทดสอบก่อนเรียน โดยใช้แบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์และแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ใช้เวลาในการทำแบบทดสอบจำนวน 2 คาบ คาบละ 45 นาที

2. จัดการเรียนรู้ด้วยแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ เรื่อง คลื่นแสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสีจำนวน 7 แผน 30 คาบเรียน คาบเรียนละ 45 นาที เป็นเวลา 9 สัปดาห์

3. เมื่อนักเรียนเรียนด้วยด้วยแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ เรื่อง คลื่นแสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสีแล้ว ทำการทดสอบหลังเรียน โดยใช้แบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์และแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์โดยใช้แบบวัดและเกณฑ์การตรวจฉบับเดิมกับการทดสอบก่อนเรียน และให้นักเรียนทำแบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ โดยใช้เวลา 3 คาบ คาบละ 45 นาที

การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัยใช้สถิติดังนี้ ครั้งนี้

1. สถิติพื้นฐาน ได้แก่
   1.1 ค่าเฉลี่ย (Mean)
   1.2 ร้อยละ (Percentage)
   1.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
2. สถิติที่ใช้ในการตรวจสอบสมมติฐาน

2.1 เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหา

ฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ โดยดำเนินการทดสอบสมติฐานทางสถิติแบบ t–test for Dependent Sample

2.2 เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์กับเกณฑ์ที่กำหนด โดยดำเนินการทดสอบสมติฐานทางสถิติแบบ One sample t-test

2.3 เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ โดยดำเนินการทดสอบสมติฐานทางสถิติแบบ t–test for Dependent Sample

2.4 เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์กับเกณฑ์ที่กำหนด โดยดำเนินการทดสอบสมติฐานทางสถิติแบบ One sample t-test

2.5 เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจหลังเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์กับเกณฑ์ที่กำหนด โดยดำเนินการทดสอบสมติฐานทางสถิติแบบ One sample t-test

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

สัญลักษณ์ที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล

เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการแปลความหมายของการวิเคราะห์ผลข้อมูลตามสมมติฐาน ผู้วิจัยได้กำหนดสัญลักษณ์ และกำหนดการแปลความหมายในการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง ดังนี้

$\bar{x}$	แทน	คะแนนเฉลี่ย (Mean)
S.D.	แทน	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)
t	แทน	การทดสอบสถิติ t-test
*	แทน	ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
p	แทน	ระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Significance)
df	แทน	ชั้นของความอิสระ (Degree of freedom)
n	แทน	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

การนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยขอนำเสนอข้อมูลเป็น 5 ส่วน ดังนี้

1. การเปรียบเทียบมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

2. การเปรียบเทียบมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์กับเกณฑ์ร้อยละ 60

3. การเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

4. การเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์กับเกณฑ์ร้อยละ 60

5. การเปรียบเทียบความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์กับเกณฑ์ระดับมาก

1. การเปรียบเทียบมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

ตาราง 13 เปรียบเทียบมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียน (n=43, df = 42) ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

มโนทัศน์ฟิสิกส์	คะแนนเต็ม	ก่อนเรียน		หลังเรียน		t	p
		$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.		
คลื่น	10	3.40	2.14	7.07	1.55	11.35*	.00
แสงเชิงคลื่น	6	2.00	1.46	4.63	0.72	10.37*	.00
แสงเชิงรังสี	14	3.37	2.40	10.98	1.44	21.49*	.00
ภาพรวม	**30**	**8.77**	**4.21**	**22.67**	**2.70**	**23.78***	**.00**

*p<.05

จากตาราง 13 พบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์มีมโนทัศน์ฟิสิกส์ทั้งในภาพรวมและมโนทัศน์ 3 เรื่องที่ศึกษา ได้แก่ คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานข้อที่ 1

2. การเปรียบเทียบมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์กับเกณฑ์ร้อยละ 60

ตาราง 14 เปรียบเทียบมโนทัศน์ฟิสิกส์หลังเรียนของนักเรียน (n=43, df = 42) ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์กับเกณฑ์ร้อยละ 60

มโนทัศน์ฟิสิกส์	คะแนนเต็ม	เกณฑ์ 60%	คะแนนเฉลี่ย	S.D.	t	p
คลื่น	10	6.00	7.07	1.55	4.53*	.00

ตาราง 14 (ต่อ)

มโนทัศน์ฟิสิกส์	คะแนนเต็ม	เกณฑ์ 60%	คะแนนเฉลี่ย	S.D.	t	p
แสงเชิงคลื่น	6	3.60	4.63	0.72	9.30*	.00
แสงเชิงรังสี	14	8.40	10.98	1.44	6.27*	.00
ภาพรวม	**30**	**18.00**	**22.67**	**2.70**	**11.37***	**.00**

*p<.05

จากตาราง 14 พบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์มีมโนทัศน์ฟิสิกส์ทั้งในภาพรวมและมโนทัศน์ 3 เรื่องที่ศึกษา ได้แก่ คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานข้อที่ 2

3. การเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

ตาราง 15 เปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียน (n=43, df = 42) ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

การแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์	คะแนนเต็ม	ก่อนเรียน		หลังเรียน		t	p
		$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.		
1. พิจารณาปัญหา	30	14.69	6.74	25.42	2.02	9.86*	.00
2. อธิบายปัญหาในเชิงฟิสิกส์	30	1.07	3.69	24.35	2.50	36.45*	.00
3. วางแผนแก้ปัญหา	30	0.35	1.85	23.35	5.25	29.05*	.00

ตาราง 15 (ต่อ)

การแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์	คะแนนเต็ม	ก่อนเรียน		หลังเรียน		t	p
		$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.		
4. ดำเนินการตามแผน	30	0.28	1.83	19.53	4.93	25.16*	.00
5. ตรวจสอบคำตอบ	30	0.00	0.00	13.95	7.24	12.64*	.00
ภาพรวม	**150**	**16.39**	**11.31**	**106.60**	**18.10**	**30.10**	**.00**

*p<.05

จากตาราง 15 พบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์มีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ทั้งในภาพรวมและในขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ทั้ง 5 ขั้นตอน ได้แก่ พิจารณาปัญหา อธิบายปัญหาในเชิงฟิสิกส์ วางแผนแก้ปัญหา ดำเนินการตามแผน และตรวจสอบคำตอบ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานข้อที่ 3

4. การเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์กับเกณฑ์ร้อยละ 60

ตาราง 16 เปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์หลังเรียนของนักเรียน (n=43, df = 42) ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์กับเกณฑ์ร้อยละ 60

การแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์	คะแนนเต็ม	เกณฑ์ 60%	คะแนนเฉลี่ย	S.D.	t	p
1. พิจารณาปัญหา	30	18.00	25.41	2.03	24.01*	.00
2. อธิบายปัญหาในเชิงฟิสิกส์	30	18.00	24.35	2.51	16.61*	.00
3. วางแผนแก้ปัญหา	30	18.00	23.35	5.25	6.67*	.00

ตาราง 16 (ต่อ)

การแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์	คะแนนเต็ม	เกณฑ์ 60%	คะแนนเฉลี่ย	S.D.	t	p
4. ดำเนินการตามแผน	30	18.00	19.53	4.94	2.04*	.05
5. ตรวจสอบคำตอบ	30	18.00	13.96	7.24	-3.66*	.00
ภาพรวม	**150**	**90.00**	**106.60**	**18.10**	**6.02***	**.00**

*p<.05

จากตาราง 16 พบว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์มีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ในภาพรวมหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานข้อที่ 4

เมื่อพิจารณาขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ทั้ง 5 ขั้นตอน พบว่า ขั้นตอนการพิจารณาปัญหา อธิบายปัญหาในเชิงฟิสิกส์ วางแผนแก้ปัญหา ดำเนินการตามแผน นักเรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่อย่างไรก็ตามในขั้นตอนตรวจสอบคำตอบนักเรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ หลังเรียนต่ำกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60

5. การเปรียบเทียบความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

ตาราง 17 ความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

ความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้	คะแนนเต็ม	เกณฑ์ระดับมาก	$\bar{x}$	S.D.	แปลผล	t	p
1. ด้านกระบวนการจัดการเรียนรู้	5	3.51	4.13	0.70	มาก	10.60*	.00
2. ด้านบรรยากาศการเรียนรู้	5	3.51	3.87	0.69	มาก	8.23*	.00

ตาราง 17 (ต่อ)

ความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้	คะแนนเต็ม	เกณฑ์ระดับมาก	$\bar{x}$	S.D.	แปลผล	t	p
3. ด้านการใช้สื่อการเรียนรู้	5	3.51	4.34	0.53	มาก	16.53*	.00
4. ด้านการวัดและประเมินผล	5	3.51	4.07	0.66	มาก	10.62*	.00
ภาพรวม	**5**	**3.51**	**4.11**	**0.57**	**มาก**	**12.75***	**.00**

*p<.05

จากตาราง 17 พบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์มีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ในภาพรวมและความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้รายด้าน ได้แก่ ด้านกระบวนการจัดการเรียนรู้ ด้านบรรยากาศการเรียนรู้ ด้านการใช้สื่อการเรียนรู้และด้านการวัดประเมินผลในระดับมากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานข้อที่ 5

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยทดลองเบื้องต้นที่มีวัตถุประสงค์ คือ 1) เพื่อเปรียบเทียบมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ 2) เพื่อเปรียบเทียบมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์กับเกณฑ์ร้อยละ 60 3) เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ 4) เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์กับเกณฑ์ร้อยละ 60 และ 5) เพื่อเปรียบเทียบความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ โดยมีสมมติฐาน ดังนี้

1) มโนทัศน์ฟิสิกส์หลังเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์สูงกว่าก่อนเรียน

2) มโนทัศน์ฟิสิกส์หลังเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60

3) ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์หลังเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์สูงกว่าก่อนเรียน

4) ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์หลังเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ร์สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60

5) ความพึงพอใจหลังเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์อยู่ในระดับมาก

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยทดลองเบื้องต้น (Pre-Experimental design) เป็นแบบแผนการทดลองแบบกลุ่มเดียวทดสอบก่อนและหลังการทดลอง (One Group Pretest – Posttest Design) และแบบแผนการทดลองแบบกลุ่มเดียวทดสอบหลังการทดลอง (One Group Posttest Only Design) โดยกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 วิชาเอกวิศวกรรม ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2566 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม) ได้จากการสุ่มแบบกลุ่ม (cluster random sampling) โดยใช้ห้องเรียนเป็นหน่วยการสุ่ม จำนวน 1 ห้องเรียน จำนวน 43 คน ระยะเวลาในการทดลองรวมเวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบทั้งหมด 35 คาบ คาบละ 45 นาที มีการเก็บรวบรวมข้อมูลก่อนการทดลองและหลังการทดลองด้วยแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ และแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี และแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียนรู้หลังการทดลอง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ค่าเฉลี่ยร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ค่าความถี่ และทดสอบสมมติฐานด้วยสถิติทดสอบ (t-test)

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มุ่งศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ที่มีต่อมโนทัศน์ฟิสิกส์ ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ และความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ซึ่งจากการวิจัยสามารถสรุปผลการวิจัย ได้ดังนี้

1) มโนทัศน์ฟิสิกส์หลังเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2) มโนทัศน์ฟิสิกส์หลังเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3) ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์หลังเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์สูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4) ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์หลังเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ร์สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

5) ความพึงพอใจหลังเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์อยู่ในระดับมาก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

อภิปรายผล

จากผลการศึกษามโนทัศน์ฟิสิกส์ ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ และความพึงพอใจของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ 3 ประเด็น ดังนี้

1. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์มีมโนทัศน์ฟิสิกส์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนและสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ร้อยละ 60)

ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะ การจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ส่งเสริมให้นักเรียนมีมโนทัศน์ฟิสิกส์ในทุกขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ ดังนี้

1. ขั้นกระตุ้นความสนใจ โดยครูใช้คำถามหรือปัญหาที่นักเรียนไม่สามารถใช้ความรู้เดิมในการตอบคำถามหรือแก้ปัญหาได้ โดยยกตัวอย่างปัญหาหรือสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับบทเรียนหรือสอดคล้องกับชีวิตประจำวันเพื่อให้นักเรียนได้อธิบายมโนทัศน์ใหม่โดยไม่บอกคำตอบของคำถาม ทำให้นักเรียนได้แสดงความรู้ความเข้าใจเดิมผ่านการใช้คำถาม ซึ่งเป็นการสร้างความขัดแย้งทางปัญญาให้กับนักเรียน กระตุ้นให้นักเรียนอยากรู้ ได้นำความรู้และประสบการเดิมมาเป็นพื้นฐานในการเรียนรู้สิ่งใหม่ ๆ สอดคล้องกับพิมพันธ์ เดชะคุปต์ (2550, น. 45) ที่กล่าวว่า การใช้คำถามเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้ตอบได้แสดงความคิดเห็นและกระตุ้นให้ได้ลองแก้ปัญหาด้วยตนเองและสามารถส่งเสริมให้ผู้ตอบนำความรู้และประสบการณ์เดิมมาเป็น

พื้นฐานในการสรุปหาคำตอบ ทำให้ผู้เรียนมีความคิดสร้างสรรค์และเกิดทักษะการคิดอย่างเป็นระบบ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของธนธัญ ฝีมือสาร (2559) ที่ได้นำกลวิธีการสอนสี่ขั้นตอนตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาฟิสิกส์โดยมีขั้นตอนที่เน้นให้ความสำคัญกับการตรวจสอบความรู้เดิมของนักเรียนโดยใช้คำถาม ทำให้ให้นักเรียนมีโอกาสได้แสดงความรู้ความเข้าใจที่มีอยู่ ซึ่งเป็นการสร้างความขัดแย้งทางปัญญาของนักเรียน ทำให้นักเรียนได้ระลึกถึงความรู้และประสบการณ์เดิมเพื่อใช้เป็นฐานการเรียนรู้สิ่งใหม่ ๆ และพบว่านักเรียนมีมโนทัศน์ฟิสิกส์เรื่องความร้อนและทฤษฎีจลน์ของแก๊สหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

2. ขั้นสำรวจเป็นภาพ โดยนักเรียนลงมือทำกิจกรรมแบบกลุ่มย่อยตามที่ครูกำหนดและมอบหมาย การจัดกิจกรรมเปิดโอกาสให้นักเรียนมีส่วนร่วมและมีปฏิสัมพันธ์กัน สามารถออกแบบวิธีการนำเสนอปัญหาหรือแนวคิดในการลงมือปฏิบัติในรูปแบบที่หลากหลาย เพื่อให้นักเรียนได้รับรู้และมองเห็นปัญหาได้หลายมุม และนักเรียนร่วมกันอภิปรายในกลุ่มด้วยกระบวนการคิดเป็นภาพ ได้แก่ การดู คือ การรวบรวมข้อมูลของภาพรวมคร่าว ๆ การเห็น คือ การจัดหมวดหมู่ของข้อมูลจากกิจกรรมผ่านคำถามที่ร่วมกันอภิปรายในกิจกรรม การจินตนาการ คือ การพิจารณาข้อมูลเพื่อจัดระเบียบของข้อมูลในการนำเสนอ และการแสดงออก คือ การนำเสนอโดยนำมโนทัศน์ที่ได้นำเสนอให้เห็นเป็นรูปธรรม ทำให้นักเรียนสามารถสื่อสารและแสดงให้เห็นความเชื่อมโยงของเรื่องราวได้อย่างชัดเจน สอดคล้องกับแนวคิดของอุดมลักษณ์ กุลพิจิตร (2561, น. 10) ที่กล่าวถึงหลักการสร้างความรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ว่า นักเรียนจะสร้างความรู้และความเข้าใจจากการลงมือปฏิบัติ โดยมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมและการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับบุคคลอื่น นักเรียนจะพยายามค้นหาเพื่ออธิบายสิ่งต่าง ๆ รอบตัวโดยสร้างแบบจำลองหรือสัญลักษณ์ของสิ่งต่าง ๆ ที่พบเห็นไว้ในความคิดเพื่อใช้อธิบายสิ่งต่าง ๆ เกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่พบ และสอดคล้องกับ Brand (2017, p. 13) ที่กล่าวว่า การคิดเป็นภาพ เป็นกระบวนการออกแบบความคิดที่เป็นระบบ เป็นการใช้ภาพเพื่อคิด เป็นการใช้กลไกการมองเห็นผ่านดวงตาและประมวลผลโดยสมอง เพื่อให้ได้มาซึ่งแนวคิดที่เป็นรูปธรรม เพื่อการถ่ายทอดและสื่อสารได้เข้าใจง่ายขึ้น อีกทั้งยังสอดคล้องกับ Katsumi (2008, p. 7) ที่กล่าวว่า กลวิธีการคิดเป็นภาพสามารถเปลี่ยนความคิดที่เป็นนามธรรมให้เป็นรูปธรรม ทำให้กระบวนการคิดเป็นระบบและการนำเสนอความคิดเป็นแผนภาพสร้างความเข้าใจได้มากขึ้น สอดคล้องกับความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อกระบวนการจัดการเรียนรู้ครั้งนี้ ดังนี้

“ผมชอบทำแลปนะ แบบในข้อสอบ พอผมนึกแลปขึ้นมาแล้วเห็นภาพในหัวเลยว่าถ้าการทดลองเป็นแบบนี้ต้องปรับอะไรถึงจะได้ตามที่ต้องการ อย่างเช่นเรื่องสลิต”

(นักเรียนคนที่ 1)

"การเรียนการสอนมีการแสดงตัวอย่างหรือทำการทดลองเพื่อให้เข้าใจมากขึ้น"

(นักเรียนคนที่ 2)

และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mahoney (2012b) ที่ได้นำกลวิธีการคิดเป็นภาพไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ทำให้มโนทัศน์ในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ของนักเรียนสูงขึ้น

3. ขั้นนำเสนอมโนทัศน์ โดยนักเรียนนำเสนอมโนทัศน์ที่ได้จากการอภิปรายร่วมกันในกลุ่ม ครูนำอภิปรายโดยใช้คำถามเพื่อตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียน และครูชี้แนะให้เห็นถึงคำตอบที่เหมาะสมและร่วมกันลงข้อสรุปที่ได้จากการค้นพบ นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้ที่ค้นพบกับความรู้เดิมของนักเรียน สอดคล้องกับแนวคิดของสุมาลี ชัยเจริญ (2557, น. 132-135) ที่กล่าวว่า กระบวนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้เรียนเป็นผู้สร้างความรู้จากกระบวนการลงมือทำ (Active process) ความรู้จะถูกสร้างขึ้นโดยนำข้อมูลที่ได้รับมาใหม่เชื่อมโยงกับความรู้และความเข้าใจเดิมที่มีอยู่ สถานการณ์ที่เป็นปัญหาและปฏิสัมพันธ์ทางสังคมทำให้เกิดความขัดแย้งทางปัญญา (Cognitive conflict) หลังจากการไตร่ตรอง (Reflection) ผู้เรียนจะสามารถอธิบายสถานการณ์ดังกล่าวหรือแก้ปัญหาได้ คือการสร้างความรู้ผ่านกระบวนการทางจิตวิทยาด้วยตนเอง สอดคล้องกับแนวคิดของอุดมลักษณ์ กุลพิจิตร (2561, น. 24) ที่กล่าวว่า นักเรียนทุกคนจะร่วมสร้างสิ่งที่มีความหมายด้วยตนเอง บทบาทของครูจึงเป็นการช่วยผู้เรียนสร้างและประกอบแบบจำลองทางความคิดให้สมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Quarareh (2016) ที่ได้นำ The Constructivist Learning Model (CLM) ไปใช้ในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ Akanwa และ Ovute (2014) ได้นำการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ไปใช้ในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่องคลื่นกล และเสียง พบว่านักเรียนมีมโนทัศน์ฟิสิกส์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

4. ขั้นการประยุกต์ความรู้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา โดยนักเรียนนำมโนทัศน์ไปประยุกต์ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์โดยใช้กลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ โดยครูใช้คำถามเพื่อนำอภิปรายตามขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหา และนักเรียนต้องอธิบายปัญหาเชิงฟิสิกส์และต้องระบุหลักการทางฟิสิกส์ที่สอดคล้องกับสถานการณ์ของโจทย์ปัญหาซึ่งมีส่วนช่วยให้นักเรียนได้นำความรู้ความเข้าใจและหลักการฟิสิกส์มาอธิบายโจทย์ปัญหาฟิสิกส์แต่ละข้อ สะท้อนให้เห็นว่าหากนักเรียนเข้าใจมโนทัศน์ฟิสิกส์ก็จะสามารถแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ได้ สอดคล้องกับ Gaigher, Rogan, และ Braun (2007, p. 4) ที่กล่าวว่าการมีความรู้ความเข้าใจในมโนทัศน์ฟิสิกส์จะทำให้สามารถแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ดีขึ้น และยังสอดคล้องกับ Gerace, Dufresne, Leonard, และ Mestre (2001, p. 33) ที่กล่าวว่า

ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาของนักเรียนเป็นผลสะท้อนของการประยุกต์ใช้ความรู้ทางฟิสิกส์อย่างถูกต้อง รวมทั้งสอดคล้องกับ Solaz Portolés และ Sanjosé López (2008, p. 4) ที่กล่าวว่า นักเรียนต้องรู้แนวคิด ทฤษฎีและหลักการทางฟิสิกส์จึงจะสามารถแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ได้ประสบความสำเร็จ และ Heller และ Heller (2010, p. 29) ที่กล่าวว่ากลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะช่วยให้นักเรียนฝึกเชื่อมโยงมโนทัศน์ฟิสิกส์กับส่วนอื่น ๆ ของโครงสร้างความรู้ของนักเรียน ซึ่งทำให้ฟิสิกส์เข้าถึงได้มากขึ้น และนำไปใช้กับสถานการณ์อื่น ๆ ได้ง่ายขึ้น ตัวอย่างเช่น นักเรียนจะเกิดความสนใจว่า รถตกจากหน้าผาเกี่ยวอะไรกับการที่หินตก ฟิสิกส์ใช้กับการอธิบายอุบัติเหตุอื่น ๆ ได้จริงหรือไม่ และในสถานการณ์จริง นักเรียนต้องมีการตั้งสมมติฐานเสมอ สมมติฐานที่ตั้งต้องมีความสมเหตุสมผล นักเรียนต้องพิจารณามโนทัศน์ฟิสิกส์ที่ใช้ในการพิสูจน์สมมติฐาน ต้องพิจารณาเงื่อนไขต่าง ๆ ในโจทย์ปัญหา เช่น ผลของแรงเสียดทานเกี่ยวข้องกับโจทย์ปัญหาหรือไม่ ทำให้นักเรียนได้ฝึกฝนกระบวนการคิด เพื่อให้ได้มโนทัศน์ฟิสิกส์ที่จำเป็นในการแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเอกวิทย์ ดวงแก้ว (2558) ที่ได้นำกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์มาใช้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ โดยแทรกเข้าไปในขั้นที่ 4 คือขั้นขยายความรู้ พบว่าหลังเรียนนักเรียนมีผลการเรียนในส่วนของทฤษฎีเนื้อหา การทดลองและส่วนของการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เรื่องสภาพสมดุลและสภาพยืดหยุ่นมีการพัฒนาในทางที่ดีขึ้น

5. ขั้นนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน โดยนักเรียนนำมโนทัศน์ไปประยุกต์ในสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน โดยครูใช้คำถามที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน และนักเรียนนำมโนทัศน์ไปใช้ในการอธิบายสถานการณ์ต่าง ๆ ดังกล่าวทำให้นักเรียนเข้าใจในมโนทัศน์ที่ตนเองสร้างขึ้น สอดคล้องกับแนวคิดของ Vaughan (2010, p. 60) ที่กล่าวว่า การสะท้อนว่าข้อค้นพบหรือมโนทัศน์ที่ได้จากกระบวนการจัดการเรียนรู้นั้นถูกต้อง คือ นักเรียนต้องสามารถอธิบายหรือบูรณาการมโนทัศน์เหล่านั้นกับปรากฏการณ์ที่สอดคล้องกันหรือสถานการณ์อื่น ๆ ได้ เช่นเดียวกับ Lawson และคนอื่น ๆ (2000, p. 33) ที่กล่าวว่า การนำมโนทัศน์หรือความรู้ที่สร้างด้วยตนเองใช้ในการอธิบายในสถานการณ์ใหม่ ส่งผลให้นักเรียนเข้าใจมโนทัศน์นั้นมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของธนธัญ ฝีมือสาร (2559) ได้นำการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ไปใช้ในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง ความร้อนและแก๊ส โดยในขั้นที่ 4 เป็นการนำมโนทัศน์ที่สร้างขึ้นจากการทำกิจกรรมไปอธิบายสถานการณ์อื่น ๆ หรือคำถามที่ท้าทายความคิดของนักเรียน พบว่ามโนทัศน์ฟิสิกส์หลังเรียนของนักเรียนสูงขึ้น

นอกจากนี้เมื่อพิจารณามโนทัศน์ฟิสิกส์หัวข้อต่าง ๆ พบว่าทุกมโนทัศน์มีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนและทุกมโนทัศน์มีคะแนนเฉลี่ยที่สูงกว่าร้อยละ 60 อาจเป็นเพราะนักเรียนเชื่อมโยงความเข้าใจในเนื้อหาเรื่องคลื่นและเรื่องแสง ซึ่งเป็นเนื้อหาที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน โดยเนื้อหาเรื่องคลื่นเป็นพื้นฐานของเรื่องแสง เนื่องจากแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หากนักเรียนเข้าใจองค์ประกอบและพฤติกรรมของคลื่น ในเรื่องแสงก็จะสามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับแสงได้ สอดคล้องกับ Hamman, Berthelot, Saia, และ Crowley (2000, p. 342) กล่าวว่า ประสิทธิภาพของการเชื่อมโยงพื้นฐานความรู้เดิมกับความรู้ใหม่เป็นสิ่งที่สำคัญกว่าความมากหรือน้อยของมโนทัศน์ที่มีอยู่ในโครงสร้างทางปัญญา และธีรพงษ์ แสงประดิษฐ์ (2015, น. 203) กล่าวว่า แนวคิดทางฟิสิกส์บางแนวคิดจำเป็นต้องใช้แนวคิดอื่นมาเป็นพื้นฐานในการอธิบาย เช่น ในเรื่องแสงและการมองเห็น ที่นักเรียนสามารถอธิบายการมองเห็นสีของวัตถุได้ แสดงว่านักเรียนสามารถนำความรู้พื้นฐานเรื่องการสะท้อนของแสงมาอธิบาย

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น สรุปได้ว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ทำให้นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์ฟิสิกส์เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสีหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์ฟิสิกส์หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60

2. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์มีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนและสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ร้อยละ 60)

ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะ การจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ในขั้นตอนที่ 4 ขั้นการประยุกต์ความรู้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาโดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอนย่อย ส่งเสริมให้นักเรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ในทุกขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ ดังนี้

1. ขั้นพิจารณาปัญหา โดยนักเรียนใช้กลวิธีการคิดเป็นภาพในการพิจารณาปัญหา นักเรียนอ่านโจทย์ปัญหาแล้วพิจารณาว่าจากโจทย์ ใคร ทำอะไร ที่ไหน อย่างไร แล้ววาดภาพแสดงสถานการณ์ โดยวาดภาพที่เกี่ยวข้องกับวัตถุ เช่น แสงมีการเคลื่อนที่อย่างไร และเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อผ่านตัวกลาง และนักเรียนต้องระบุข้อมูลหรือตัวแปรที่ทราบจากโจทย์ปัญหา ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนด ทำให้นักเรียนสามารถเห็นภาพรวมและระบุจุดมุ่งหมายของการแก้โจทย์ปัญหาได้ สอดคล้องกับแนวคิดของ Heller และ Heller

(2010, p. 27) ที่กล่าวว่า ในขั้นพิจารณาปัญหา นักเรียนจะต้องวาดภาพประกอบโจทย์ปัญหา เมื่อนักเรียนวาดภาพเสร็จแล้วก็ไม่ต้องอ่านโจทย์ซ้ำอีกทำให้มีเวลาในการแก้โจทย์ปัญหามากขึ้น ส่วนการให้ระบุคำถามด้วยคำพูดของตนเองจะช่วยให้นักเรียนหาคำตอบได้ตรงประเด็น ป้องกันไม่ให้นักเรียนแก้โจทย์ปัญหาในปริมาณที่ไม่ต้องการ และสอดคล้องกับเอกวิทย์ ดวงแก้ว (2558, น. 121) ที่กล่าวถึงขั้นตอนที่ 1 ของกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ ว่า ในขั้นตอนนี้จะทำให้ผู้เรียนสามารถมองเห็นภาพรวมของโจทย์ปัญหาฟิสิกส์อย่างชัดเจน จากการทำความเข้าใจโจทย์ปัญหาด้วยแผนภาพของข้อมูลที่โจทย์กำหนดให้อย่างหยาบ ๆ และคำตอบที่โจทย์ต้องการ นอกจากนี้กลวิธีการคิดเป็นภาพช่วยให้นักเรียนสามารถวิเคราะห์ปัญหาได้ดีขึ้น โดยลักษณะโจทย์ปัญหาเป็นโจทย์ปัญหาในลักษณะที่ซับซ้อน ไม่มีรูปภาพประกอบ และเป็นโจทย์ปัญหาในลักษณะที่ไม่สามารถหาคำตอบได้ในตอนเดียว กลวิธีการคิดเป็นภาพมีส่วนช่วยในการจัดระเบียบความคิดของนักเรียน ทำให้เห็นภาพของสถานการณ์ปัญหาที่ซับซ้อนได้ชัดเจนมากขึ้น และช่วยวิเคราะห์ปัญหาที่ซับซ้อนให้เข้าใจง่ายขึ้นทำให้นักเรียนสามารถหาแนวทางการแก้โจทย์ปัญหาที่สอดคล้องกับเงื่อนไขที่โจทย์กำหนดไว้อย่างมีเหตุผล อีกทั้งสอดคล้องกับ Roam (2013, p. 6) ที่กล่าวว่าการคิดเป็นภาพช่วยให้การจัดระเบียบข้อมูลง่ายและชัดเจนยิ่งขึ้น ทำให้ความกำกวมจากการสื่อสารด้วยประโยคหรือข้อความยาว ๆ หมดไป เป็นการจัดลำดับความคิดของตนเอง แบบแผนและความเชื่อมโยงต่าง ๆ จะมีความชัดเจนมากขึ้น ช่วยให้มองเห็นปัญหาต่าง ๆ ได้รวดเร็วขึ้น เข้าใจปัญหาต่าง ๆ ได้โดยไม่ต้องอธิบายให้มากความ ระบุปัญหาต่าง ๆ ได้อย่างมั่นใจ และสามารถสื่อสารถึงวิธีการแก้ไขปัญหาให้ทุกคนเข้าใจได้ในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของFernández-Fontecha และคนอื่น ๆ (2018) ได้ศึกษาการใช้เทคนิคการคิดเป็นภาพเพื่อพัฒนาการคิดเชิงมโนทัศน์และการแก้ปัญหาเพื่อลดความซับซ้อนของการคิดที่แสดงในรูปแบบทางวิทยาศาสตร์ พบว่ากลวิธีการคิดเป็นภาพ เช่น การร่างภาพ กราฟิก และแผนผัง ทำให้สามารถเข้าถึงเนื้อหาทางวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อนได้ สามารถเปลี่ยนความนามธรรมเฉพาะทาง โดยเฉพาะในทางฟิสิกส์และคณิตศาสตร์ให้เป็นรูปธรรมได้ และการอธิบายข้อความที่กำหนดโดยใช้สัญลักษณ์ทางฟิสิกส์และคณิตศาสตร์ส่งผลให้เกิดการเข้าใจแนวคิดที่เป็นนามธรรมมากขึ้นสำหรับคนที่ไม่ใช่ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางฟิสิกส์หรือคณิตศาสตร์

2. ขั้นอธิบายปัญหาในเชิงฟิสิกส์ เป็นขั้นตอนการเขียนแผนภาพทางฟิสิกส์ โดยวาดแผนภาพในระบบอ้างอิงที่กำหนดตามหลักการทางฟิสิกส์ และกำหนดนิยามตัวแปรและสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้โจทย์ปัญหา ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดในรูปของตัวแปร และระบุตัวแปรที่ต้องการทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น รวมถึงหลักการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปร

ในโจทย์ปัญหา เช่น พฤติกรรมของคลื่น การหักเหของแสง เป็นต้น ทำให้นักเรียนได้เชื่อมโยงมโนทัศน์ฟิสิกส์มาใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาและมีเป้าหมายในการเลือกใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในการแก้โจทย์ปัญหาได้อย่างถูกต้อง สอดคล้องกับแนวคิดของ Heller และ Heller (2010, p. 28) ที่กล่าวว่าการเขียนแผนภาพทางฟิสิกส์ช่วยในการกำหนดพิกัดที่เหมาะสมกับสถานการณ์ ให้นักเรียนได้ฝึกฝนการเปลี่ยนสถานการณ์จริงเป็นวัตถุในอุดมคติ การระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้องทำให้นักเรียนมีเป้าหมายในการแก้สมการทางคณิตศาสตร์ นอกจากนี้อาจจะเป็นการเชื่อมโยงโจทย์ปัญหากับวิธีการทางคณิตศาสตร์ และนักเรียนต้องตัดสินใจเลือกสมการที่จำเป็นจากสมการที่ทราบทั้งหมด และสอดคล้องกับณัฐวุฒิ ยกน้อยวงค์ (2560, น. 103) ที่กล่าวว่าในขั้นนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่โจทย์ถามและสิ่งที่โจทย์ต้องกำหนดมาให้ในรูปของตัวแปรทางฟิสิกส์ ทำให้นักเรียนได้ฝึกทักษะการวางแผนและเลือกวิธีการแก้โจทย์ปัญหา โดยการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีอยู่และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบ นักเรียนสามารถเชื่อมโยงข้อมูลที่มีในโจทย์ปัญหากับมโนทัศน์หรือหลักการฟิสิกส์ที่ต้องนำมาใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาอย่างเป็นระบบ

3. ขั้นวางแผนแก้ปัญหา เป็นขั้นตอนการนำความสัมพันธ์จากการอธิบายปัญหาในเชิงฟิสิกส์ไปสร้างเป็นสมการในการแก้โจทย์ปัญหา โดยเขียนสมการที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า พิจารณาว่าแต่ละสมการที่เลือกมาเพียงพอต่อการหาคำตอบของตัวแปรที่ไม่ทราบค่าหรือไม่ โดยเปรียบเทียบจำนวนสมการที่ใช้กับจำนวนตัวแปรที่ไม่ทราบค่า เช่น ต้องการคำตอบของตัวแปร 2 ตัว ต้องมีสมการอย่างน้อย 2 สมการ และวางแผนแนวทางในการแก้โจทย์ปัญหาในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ ทำให้นักเรียนมีตรรกะและสามารถแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ได้อย่างเป็นระบบ สอดคล้องกับแนวคิดของ Heller และ Heller (2010, p. 30) ที่กล่าวว่าในขั้นตอนนี้การแก้โจทย์ปัญหาอาศัยความเข้าใจมโนทัศน์ฟิสิกส์มากกว่าเทคนิคคณิตศาสตร์ ในขั้นตอนนี้นักเรียนต้องรวบรวมสมการที่เกี่ยวข้องให้เพียงพอต่อการแก้โจทย์ปัญหาก่อน ซึ่งนักเรียนมักจะทราบสมการจากตัวแปรที่โจทย์กำหนดและตัวแปรที่ต้องการทราบในขั้นตอนก่อนหน้านี้ ในขั้นตอนนี้จะช่วยให้นักเรียนมีตรรกะในการเลือกสมการให้สอดคล้องกับโจทย์ปัญหา และตัดสินใจจากความสัมพันธ์ของจำนวนตัวแปรที่ทราบค่า กับจำนวนสมการที่ใช้ ช่วยให้นักเรียนเกิดการขยายความรู้และเห็นแนวทางที่จะนำมาใช้ในการแก้ไขโจทย์ปัญหานั้น สามารถช่วยในการแก้โจทย์ปัญหาในลักษณะที่ซับซ้อน และโจทย์ปัญหาในลักษณะที่ไม่สามารถหาคำตอบได้ในตอนเดียว และสอดคล้องกับเอกวิทย์ ดวงแก้ว (2558, น. 122) ที่กล่าวถึงขั้นตอนที่ 3 ของกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ว่า เมื่อนักเรียนสามารถวางแผนหรือระบุแนวทางในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ จะทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะและกระบวนการคิดวิเคราะห์ที่เป็น

ระบบสำหรับการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ สามารถเข้าใจทฤษฎีหรือปรากฏการณ์ต่าง ๆ อย่างถูกต้องและชัดเจน

4. ขั้นดำเนินการตามแผน เป็นขั้นตอนการแทนค่าตัวแปรด้วยตัวเลขลงในสมการ โดยต้องตรวจสอบหน่วยของตัวแปรแต่ละตัวก่อนแทนค่าลงในสมการ แล้วจึงคำนวณค่าตัวแปรที่ต้องการหาคำตอบโดยใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ ทำให้นักเรียนสามารถแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ได้อย่างมั่นใจโดยใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ และหากได้คำตอบที่ไม่ถูกต้องก็สามารถย้อนกลับไปพิจารณาเพื่อเลือกใช้สมการหรือปรับการแทนค่าให้สอดคล้องกับโจทย์ปัญหาได้อย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับ Heller และ Heller (2010, p. 34) ที่กล่าวว่า ในขั้นนี้เป็นเพียงขั้นตอนเดียวที่ได้ดำเนินการทางคณิตศาสตร์ โดยวิธีการแก้สมการจากการแทนค่าในสมการที่ได้เลือกใช้ นักเรียนสามารถจดจ่อกับกระบวนการทางคณิตศาสตร์เพราะมั่นใจถึงวิธีการเมื่อทำตามแผนที่วางเอาไว้ และสอดคล้องกับ Selçuk, Çalışkan, และ Erol (2008, p. 5) ที่กล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินการตามแผนว่า เป็นขั้นตอนที่เน้นกระบวนการทางคณิตศาสตร์ มีการตรวจสอบและทบทวนข้อมูลก่อนแทนค่า เป็นแนวทางที่เป็นขั้นตอนทำให้การแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เป็นระบบ

5. ตรวจสอบคำตอบ เป็นขั้นที่ต้องตรวจสอบว่าคำตอบที่ได้มีความสมเหตุสมผลหรือไม่ คำตอบที่ได้มีหน่วยเหมาะสมและสอดคล้องกับสิ่งที่โจทย์ต้องการหรือไม่ และคำตอบที่ได้เมื่อแทนค่ากลับเข้าไปในสมการแล้วถูกต้องหรือไม่ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ทำให้นักเรียนได้คิดย้อนกลับเพื่อทบทวนสิ่งที่โจทย์ถาม และได้เชื่อมโยงความรู้ความเข้าใจในมโนทัศน์ฟิสิกส์ในการอธิบายความสมเหตุสมผลของคำตอบ และเป็นการฝึกความรอบคอบในการตรวจสอบผลลัพธ์จากกระบวนการทางคณิตศาสตร์ สอดคล้องกับแนวคิดของวีนัส ชาลี (2562, น. 84) ที่กล่าวถึงข้อคำถามในแผนการจัดการเรียนรู้ในขั้นตอนการตรวจสอบคำตอบที่ระบุให้นักเรียนตรวจสอบผลลัพธ์ โดยคำถามสำคัญที่ใช้ส่งผลให้นักเรียนแสดงพฤติกรรมการเขียนสรุปคำตอบตามปริมาณที่โจทย์ต้องการทราบ พร้อมทั้งระบุหน่วยของปริมาณฟิสิกส์นั้นได้ และสอดคล้องกับทิตยา สลิน (2562, น. 95) ที่ใช้คำถามในขั้นตอนการตรวจสอบคำตอบพบว่า สามารถตรวจสอบความเป็นเหตุเป็นผลของคำตอบตามรูปแบบของแต่ละสถานการณ์โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ได้ โดยการคำนวณค่าย้อนกลับเพื่อดูความเท่ากันของสมการทางคณิตศาสตร์ และการวิเคราะห์ความสมเหตุสมผลกับเงื่อนไขที่โจทย์ปัญหากำหนด ส่งเสริมให้นักเรียนแสดงออกถึงความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่ากลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์ เป็นกลวิธีในการแก้โจทย์ปัญหาที่เน้นการเชื่อมโยงความรู้พื้นฐานทางฟิสิกส์มาใช้และ

ตัดสินใจในลักษณะที่เป็นตรรกะและเป็นระบบ ให้ความสำคัญกับกระบวนการวิเคราะห์โจทย์ปัญหา กระตุ้นให้เชื่อมโยงมโนทัศน์กับโครงสร้างความรู้เดิมที่มีอยู่ รวมถึงให้ความสำคัญกับกระบวนการทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีส่วนช่วยให้เกิดการขยายความรู้และเห็นแนวทางที่จะนำมาใช้ในการแก้ไขโจทย์ปัญหานั้น สามารถช่วยในการแก้โจทย์ปัญหาในลักษณะที่ซับซ้อน โจทย์ปัญหาที่ไม่มีรูปภาพประกอบ และโจทย์ปัญหาในลักษณะที่ไม่สามารถหาคำตอบได้ในตอนเดียวส่งผลให้ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนและสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ร้อยละ 60) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอมราลักษณ์ ฤทธิเดช (2553) เอกวิทย์ ดวงแก้ว (2558) และณัฐวุฒิ ยกน้อยวงค์ (2561) ที่ได้นำกลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์ไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์แล้วทำให้ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าในคะแนนภาพรวมของการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์หลังเรียนจะสูงกว่าก่อนเรียน และภาพรวมหลังเรียนจะสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ร้อยละ 60) แต่เมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ยรายขั้นตอนของการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ พบว่าในขั้นตอนการตรวจสอบคำตอบพบว่า คะแนนเฉลี่ยของนักเรียนไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด (ร้อยละ 60) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้เนื่องมาจากนักเรียนส่วนใหญ่ไม่สามารถระบุความสมเหตุสมผลของคำตอบได้ รวมไปถึงนักเรียนไม่สามารถแทนค่ากลับเพื่อตรวจสอบคำตอบได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากในขั้นตอนก่อนหน้านักเรียนทำไม่ถูกต้อง จึงส่งผลให้คะแนนในขั้นตอนการตรวจสอบคำตอบลดลงด้วย สอดคล้องกับ Çıldır (2019, p.12) และวิษณุ นภาพันธ์ (2561, น. 255) ที่กล่าวถึงแนวโน้มของคะแนนในขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ที่ลดลงว่าเนื่องมาจากนักเรียนไม่สามารถแสดงพฤติกรรมการแก้โจทย์ปัญหาของขั้นตอนก่อนหน้าได้ จึงไม่สามารถแสดงออกถึงพฤติกรรมการแก้โจทย์ปัญหาในขั้นตอนต่อไปได้อย่างสมบูรณ์ เพราะในแต่ละขั้นตอนของการแก้โจทย์ปัญหามีความสอดคล้องเชื่อมโยงกัน หากนักเรียนไม่สามารถทำตามแต่ละขั้นตอนได้อย่างถูกต้อง ก็จะไม่สามารถไปถึงขั้นตอนการตรวจสอบผลลัพธ์ได้ ซึ่งขั้นตอนก่อนหน้านี้เป็นขั้นการดำเนินการตามแผน เป็นกระบวนการแก้สมการทางคณิตศาสตร์ที่นักเรียนส่วนใหญ่ทำไม่ถูกต้อง สะท้อนให้เห็นว่านักเรียนส่วนใหญ่ยังขาดทักษะการคำนวณทางคณิตศาสตร์ซึ่งส่งผลต่อการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธันยากร ช่วยทุกข์เพื่อน (2559) ที่ได้ศึกษาข้อบกพร่องของกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์โดยใช้กลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์ และเฮลเลอร์พบว่าข้อบกพร่องที่มากที่สุดในกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาที่มากที่สุดคือ ขั้นตรวจสอบผลลัพธ์และรองลงมาคือขั้นดำเนินการตามแผนที่วางไว้ เนื่องจากนักเรียนขาดความ

รอบคอบ ไม่ตรวจสอบความสมเหตุสมผลของคำตอบ และในขั้นดำเนินการตามแผนที่ต้องคำนวณค่าตัวแปรและต้องใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ เนื่องจากนักเรียนมีความรู้พื้นฐานทางคณิตศาสตร์อยู่ในระดับต่ำ โดยเฉพาะความเข้าใจพื้นฐานในการแก้สมการที่ไม่ถูกต้อง ซึ่งการแก้สมการทางคณิตศาสตร์จะเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ด้วย นอกจากนี้ครูยังให้เวลากับการสอนในขั้นตอนนี้น้อยเกินไป ตัวอย่างโจทย์ปัญหาที่ใช้อาจจะยังไม่มากพอที่จะทำให้นักเรียนมีเวลาในการฝึกฝนการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ ดังจะเห็นได้จากความคิดเห็นของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้ ดังนี้

"อยากมีเวลาคิดมากกว่านี้ค่ะ แล้วก็อยากฝึกทำโจทย์ยากๆ วิธีคิดหลาย ๆ แบบค่ะ เพราะรู้สึกว่าตัวเองยังไม่ค่อยถนัดทำโจทย์ค่ะ"

(นักเรียนคนที่ 3)

สะท้อนให้เห็นว่านักเรียนอยากฝึกฝนและอยากให้เพิ่มเวลาของกระบวนการการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ในห้องเรียนมากขึ้น

แม้ว่าคะแนนเฉลี่ยรายด้านในขั้นตอนการตรวจสอบคำตอบจะต่ำกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60 แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนในแต่ละขั้นตอนของการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์จะเห็นได้ว่าคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะในขั้นตอนของการตรวจสอบคำตอบที่ก่อนเรียนนักเรียนไม่มีคะแนนในขั้นตอนนี้ แต่หลังเรียนนักเรียนมีคะแนนเพิ่มขึ้น สะท้อนให้เห็นว่านักเรียนสามารถตรวจสอบคำตอบตามกลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ได้

3. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์มีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ในระดับมาก

ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะ การจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ส่งเสริมให้นักเรียนมีความพึงใจต่อองค์ประกอบของการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 4 ด้าน ได้แก่ ด้านกระบวนการจัดการเรียนรู้ ด้านบรรยากาศการเรียนรู้ ด้านการใช้สื่อการเรียนรู้ และด้านการวัดและประเมินผล ดังนี้

1. ด้านกระบวนการจัดการเรียนรู้ โดยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ เน้นการจัดกิจกรรมให้นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กันผ่านการทำงานเป็นกลุ่ม ทำให้นักเรียนได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันและเกิดการเชื่อมโยงความรู้เดิมกับประสบการณ์ใหม่ด้วยตนเอง ผ่านกิจกรรมการเรียนรู้ที่หลากหลาย ทั้งการทดลอง การสาธิต การร่วมอภิปรายหน้าชั้นเรียน การนำเสนอมโน

ทัศน์รายกลุ่ม ทำให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาที่เป็นนามธรรมมากขึ้น สอดคล้องกับความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อกระบวนการจัดการเรียนรู้ว่า

"การเรียนการสอนมีการแสดงตัวอย่างหรือทำการทดลองเพื่อให้เข้าใจมากขึ้น"

(นักเรียนคนที่ 4)

"แต่ละคำถามในใบงานรู้สึกว่าเป็นคำถามที่ดีมาก ๆ ทำให้ได้คิดก่อน ได้ตั้งสมมติฐาน"

(นักเรียนคนที่ 5)

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวีนัส ชาลี (2562) ที่ใช้การจัดการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนมีส่วนร่วมในชั้นเรียน มีกิจกรรมที่หลากหลาย ให้นักเรียนสะท้อนความคิดของตนเองระหว่างการทำกิจกรรม ส่งผลให้นักเรียนเกิดความรู้สึกเชิงบวกและทำให้ระดับความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้อยู่ในระดับมากที่สุด

2. ด้านบรรยากาศการเรียนรู้ การจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ คำนึงถึงองค์ประกอบของบรรยากาศการเรียนรู้ 2 องค์ประกอบ ได้แก่ บรรยากาศด้านกายภาพ คือ สภาพห้องเรียน อุปกรณ์ในห้องเรียนมีความพร้อมและเหมาะสมต่อการจัดการเรียนรู้ และบรรยากาศด้านสังคม คือ คำนึงถึงความรู้สึกและอารมณ์ของผู้เรียน ครูสร้างบรรยากาศในชั้นเรียนที่ส่งเสริมการเรียนรู้ การจัดการเรียนรู้ทำให้ครูและผู้เรียนมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างครูและนักเรียน ดังจะเห็นได้จากความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ ดังนี้

"อาจารย์พูดรู้เรื่องง่ายมาก ๆ ทำให้หนูอยากเรียนฟิสิกส์ อาจารย์ทำให้หนูชอบฟิสิกส์เลย"

(นักเรียนคนที่ 6)

"อาจารย์เป็นคนที่มีพร้อบเยอะมาก ทำให้มีสีสันในการเรียน เวลาไม่เข้าใจอะไรอาจารย์ก็พร้อมจะอธิบายหนูเสมอเลย หนูหัวใจอาจารย์"

(นักเรียนคนที่ 7)

"อาจารย์ใจดี ซัพพอร์ตนักเรียนตลอด ได้รับคำชมจากอาจารย์บ่อย"

(นักเรียนคนที่ 8)

"อาจารย์ทำให้ฟิสิกส์มีสีสันและสนุกสุด ๆ"

(นักเรียนคนที่ 9)

สะท้อนให้เห็นว่าบรรยากาศในการจัดการเรียนรู้อยู่ที่ครูผู้สอนในการจัดบรรยากาศให้เอื้อต่อการเรียนรู้ และการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างครูและนักเรียนในชั้นเรียนจะส่งผลต่อบรรยากาศ

เชิงบวกและทำให้ระดับความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้อยู่ในระดับมาก ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของอัจฉรา สุขารมณ์ และพรรณี บุญประกอบ (2542, น. 22) ที่กล่าวถึงบรรยากาศในการเรียนที่จะทำให้นักเรียนประสบความสำเร็จ คือ ความเป็นกันเองของครูกับนักเรียน นักเรียนมีความสุขกับวิธีการสอนของครู การจัดสภาพแวดล้อม อาคารสถานที่ล้วนเป็นปัจจัยที่มีส่วนช่วยให้การจัดการเรียนรู้เอื้อประโยชน์แก่นักเรียนมากที่สุด

3. ด้านการใช้สื่อการเรียนรู้ โดยมีสื่อและอุปกรณ์สอดคล้องกับเนื้อหา เหมาะสมกับกิจกรรมการเรียนรู้ มีสื่อหลากหลาย นักเรียนมีส่วนร่วมในการเลือกใช้สื่อและอุปกรณ์ และครูมีแหล่งสืบค้นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการค้นพบความรู้ของนักเรียน ดังจะเห็นได้จากความคิดเห็นของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้ว่า

“ชอบการที่มีสื่อการสอนทำให้เห็นภาพจริงมาก ๆ ค่ะ รู้สึกว่าได้เข้าใจจริง ๆ”

(นักเรียนคนที่ 10)

ซึ่งสอดคล้องกับจารุวรรณ เทวกุล (2555, น. 76) ที่กล่าวว่าวัสดุอุปกรณ์ สื่อการเรียนรู้จะช่วยให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ง่ายขึ้น ลดเวลาในการสอนได้ และสร้างบรรยากาศการเรียนให้ดีขึ้น และสอดคล้องกับแนวคิดของอัจฉรา สุขารมณ์ และพรรณี บุญประกอบ (2542, น. 24) ได้กล่าวถึงการนำสื่อการสอนมาใช้อย่างถูกต้องเหมาะสม ความพร้อมของอุปกรณ์ที่ใช้สอนจะช่วยส่งเสริมบรรยากาศการเรียนรู้เชิงบวกได้

4. ด้านการวัดผลและประเมินผล มีการแจ้งแนวทางการวัดและประเมินผลอย่างชัดเจน ครูใช้เครื่องมือวัดและประเมินผลที่หลากหลาย และนักเรียนได้รับข้อเสนอแนะเป็นข้อมูลย้อนกลับจากครูผู้สอนในทุกครั้งของขั้นตอนนำเสนอมโนทัศน์ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้นำเสนอข้อค้นพบของกลุ่มตนเอง ทำให้นักเรียนมีความเข้าใจในมโนทัศน์มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวีนัส ชาลี (2562) ที่มีวิธีการวัดประเมินผลที่หลากหลาย และมีการร่วมอภิปรายคำตอบจากการนำเสนอวิธีการแก้โจทย์ปัญหาหน้าชั้นเรียน มีการให้ข้อเสนอแนะย้อนกลับจากครูผู้สอนทำให้นักเรียนมีความเข้าใจที่ถูกต้องในเนื้อหาไปพร้อมกันจากการร่วมกันอภิปรายหน้าชั้นเรียน ส่งผลให้ระดับความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้อยู่ในระดับมากที่สุด

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น สรุปได้ว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ทำให้นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้อยู่ในระดับมาก

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลวิจัยไปใช้

1.1 การจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์เหมาะสำหรับนักเรียนที่มีความสามารถภายในห้องเรียนไม่แตกต่างกันมากนัก ควรเป็นกลุ่มของนักเรียนที่มีความสามารถในการแก้ปัญหา มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และมีความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ในระดับดี เนื่องจากกิจกรรมแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้เป็นกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ออกแบบการทดลองและแก้ไขปัญหาเองทุกขั้นตอน และร่วมกันอภิปรายจนได้ข้อสรุปเป็นของตนเอง ดังนั้นนักเรียนจะต้องมีความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์เดิมที่ดี เพื่อต่อยอดในการทำกิจกรรมได้ และครูต้องมีเทคนิคการใช้คำถามที่ไม่ชี้นำจนเกินไป แต่สามารถช่วยให้นักเรียนเกิดกระบวนการคิด และแก้ปัญหาด้วยตนเองได้

1.2 การจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์เหมาะสำหรับนักเรียนจำนวนไม่เกิน 30 คน หรือไม่เกินจำนวน 5 กลุ่ม เนื่องจากกิจกรรมในทุกแผนการจัดการเรียนรู้เป็นกิจกรรมกลุ่ม และเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ออกแบบการทดลองด้วยตนเองทั้งหมด ซึ่งหากจำนวนนักเรียนมากเกินไป หรือจำนวนกลุ่มมากเกินไป จะทำให้ยากต่อการควบคุม และยากในการให้ความช่วยเหลือ เพราะนักเรียนทุกกลุ่มจะมีคำถามตลอดเวลา รวมไปถึงในขั้นนำเสนอมโนทัศน์หากจำนวนกลุ่มมากเกินไปก็จะใช้เวลาในการนำเสนอเยอะจนเกินไป

1.3 การบันทึกผลระหว่างทำกิจกรรมในแบบบันทึกกิจกรรม ในส่วนของการใช้กลวิธีการคิดเป็นภาพของขั้นสำรวจเป็นภาพ สามารถใช้เพียงแผนการจัดการเรียนรู้ 1 – 2 หรืออาจจะปรับเป็นการใช้คำถามเพื่อให้นักเรียนเข้าใจหลักการหรือแนวทางของกลวิธีการคิดเป็นภาพแทน เนื่องจากนักเรียนเข้าใจวิธีการตอบคำถามตามกลวิธีการคิดเป็นภาพตั้งแต่แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 – 2 แล้ว พอนักเรียนได้ทำแบบบันทึกกิจกรรมถัด ๆ มา ก็จะรู้สึกเบื่อหน่ายที่ต้องตอบคำถามแนวเดิมซ้ำ ๆ ด้วยวิธีการเขียนบันทึก อาจจะปรับเป็นใช้คำถามเพื่อนำไปสู่กลวิธีการคิดเป็นภาพบนกระดานหรือบนจอในห้องเรียนเพื่อให้นักเรียนได้อภิปรายร่วมกัน และปรับลดแบบบันทึกกิจกรรมเพียงขั้นตอนสรุปเป็นภาพก็พอ

1.4 ขั้นการประยุกต์ความรู้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา ควรเพิ่มเวลาหรือเพิ่มแนวโจทย์ปัญหาที่หลากหลายขึ้น เพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ฝึกฝนการใช้กลวิธีการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์เพิ่มขึ้น เนื่องจากในแผนการจัดการเรียนรู้จะใช้โจทย์ปัญหาเพียง 3 – 4 ข้อเท่านั้น อาจจะปรับระดับความยากง่ายของโจทย์ปัญหา โดยเรียงจากง่ายไป

ยากเพื่อแสดงเป็นตัวอย่างให้นักเรียนได้ลองทำไปพร้อมกัน และควรเพิ่มแบบฝึกหัดให้นักเรียนได้ลองฝึกทำด้วยตนเอง และให้ข้อมูลย้อนกลับทุกครั้งเพื่อให้นักเรียนได้พัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เพิ่มขึ้น

1.5 การแบ่งเวลาในแต่ละขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ ควรจะใช้เวลากับขั้นตอนการนำเสนอมโนทัศน์ให้น้อยลง โดยไม่จำเป็นต้องให้นักเรียนทุกกลุ่มออกมานำเสนอมโนทัศน์แต่อาจจะปรับเป็นการสุ่มออกมาบางกลุ่มแล้วใช้การนำอภิปรายโดยใช้คำถามแทน หากมีข้อสรุปของกลุ่มใดที่แตกต่างกันกับกลุ่มที่นำเสนอ อาจจะให้นำเสนอเพิ่มเติมได้ และนำเวลาส่วนที่เหลือไปเพิ่มเติมในส่วนของขั้นการประยุกต์ความรู้ไปใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาแทน

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ โดยเฉพาะขั้นตอนการตรวจสอบคำตอบ เนื่องจากผลการวิจัยในรายขั้นตอนของการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์พบว่า มีคะแนนในรายขั้นตอนนี้ไม่สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด โดยเพิ่มเวลาให้นักเรียนได้ร่วมอภิปรายในห้องเรียนมากขึ้น และเน้นการแก้สมการทางคณิตศาสตร์ อาจจะต้องทบทวนคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ก่อนที่จะเริ่มต้นทำกิจกรรมหรือเริ่มบทเรียนด้วย เพื่อทำให้ในขั้นดำเนินการตามแผนเป็นไปได้อย่างถูกต้อง และจะทำให้ขั้นตรวจสอบคำตอบสมบูรณ์ไปด้วย

2.2 ควรศึกษาตัวแปรในรูปแบบการคิดอื่น ๆ เช่น การคิดวิเคราะห์ การคิดสร้างสรรค์ การคิดแก้ปัญหา การคิดอย่างมีวิจารณญาณ และการคิดเชิงระบบ เพราะการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง ร่วมอภิปรายและลงข้อสรุปด้วยการคิดเป็นภาพ และมีกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ซึ่งเปิดโอกาสให้นักเรียนได้คิดอย่างมีตรรกะและเป็นระบบ รวมไปถึงการคิดสร้างสรรค์ในส่วนของการนำเสนอเป็นภาพด้วยกลวิธีการคิดเป็นภาพอีกด้วย ซึ่งผู้วิจัยสังเกตจากแบบบันทึกกิจกรรมของนักเรียน

บรรณานุกรม

Akanwa, D. U. N., และ Ovute, D. A. O. (2014). The effect of constructivist teaching model on SSS Physics students' achievement and interest. *Journal of Research and Method in Education, 4*(1), 35-38.

Arista, F. S., และ Kuswanto, H. (2017). Virtual Physics Laboratory Application Based on the Android Smartphone to Improve Learning Independence and Conceptual Understanding. *International Journal of Instruction, 11*(1), 11-16.

Belleau, S. N., Ross, M. J., และ Otero, V. K. (2012). Implementation of physics and everyday thinking in a high school classroom: Concepts and argumentation. *American Institute of Physics, 1413*(1), 127-130.

Berk, L. E., และ Winsler, A. (1995). *Scaffolding Children's Learning: Vygotsky and Early Childhood Education*. Washington, DC: National Association for the Education of Young Children.

Brand, W. (2017). *Visual Thinking : Empowering People and Organisations through Visual Collaboration*. Amsterdam, Netherlands: BIS Publishers B.V.

Caleon, I. S., และ Subramaniam, R. (2010). Do students know what they know and what they don't know? Using a four-tier diagnostic test to assess the nature of students' alternative conceptions. *Research in Science Education, 40*(3), 313-337.

Chen, C.-C., Lin, H.-S., และ Lin, M.-L. (2002). Developing a two-tier diagnostic instrument to assess high school students' understanding-the formation of images by a plane mirror. *Proceedings-National Science Council Republic of China Part D Mathematics Science and Technology Education, 12*(3), 106-121.

Docktor, J. L., Strand, N. E., Mestre, J. P., และ Ross, B. H. (2015). Conceptual problem solving in high school physics. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 11*(2), 020106.

Fernández-Fontecha, A., O'halloran, K. L., Tan, S., และ Wignell, P. (2018). A multimodal approach to visual thinking: the scientific sketchnote. *SAGE Journal*.

Gagne, R. M. (1970). Learning Theory, Educational Media, and Individualized Instruction.

Gaigher, E., Rogan, J. M., และ Braun, M. W. H. (2007). Exploring the development of conceptual understanding through structured problem-solving in Physics. *International Journal of Science Education, 29*(9), 1089-1110.

Gerace, W. J., Dufresne, R., Leonard, W., และ Mestre, J. (2001). *Problem solving and conceptual understanding.* Paper presented at the Proceedings of the 2001 Physics education research conference.

Hamman, D., Berthelot, J., Saia, J., และ Crowley, E. (2000). Teachers' coaching of learning and its relation to students' strategic learning. *Journal of Educational psychology, 92*(2), 342.

Heller, K., และ Heller, P. (2010). *Cooperative problem solving in physics a user's manual.* Paper presented at the Tersedia: http://www. aapt. org/Conferences/newfaculty/upload/Coop-Problem-Solving-Guide. pdf.

Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. *American Journal of Physics, 55*(5), 440-454.

İpek, H., และ Çalık, M. (2008). Combining Different Conceptual Change Methods within Four-Step Constructivist Teaching Model: A Sample Teaching of Series and Parallel Circuits. *International Journal of Environmental & Science Education, 3*(3), 143-153.

Katsumi, N. (2008). คิดด้วยภาพ Think in pictures (ป. เพียรเจริญ, ผู้แปล). กรุงเทพฯ: ส.ส.ท.

Kurt, S., และ Ayas, A. (2012). Improving students' understanding and explaining real life problems on concepts of reaction rate by using a four step constructivist approach. *Energy Education Science and Technology Part B: Social and Educational Studies, 4*(2), 979-992.

Lawson, A. E., Alkhoury, S., Benford, R., Clark, B. R., และ Falconer, K. A. (2000). What kinds of scientific concepts exist? Concept construction and intellectual development in college biology. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching, 37*(9), 996-1018.

Mahoney, J. D. (2012a). *THE EFFECT OF INSTRUCTION OF VISUAL/SPATIAL THINKING*

SKILLS ON LEARNING PHYSICS CONCEPTS (Master's thesis). Montana state University, Bozeman Montana. (Science Education).

Mahoney, J. D. (2012b). *The effect of instruction of visual/spatial thinking skills on learning physics concepts.* (Master degree). Montana State University. (Science Education).

Maslow, A. (1954). Motivation and personality, New York, NY: Harper. In.

Noh, S. M., และ Son, J. (2015). The Effect of Physics Instruction Using Infographics Based on Visual Thinking in High School. *The Korean Association for Science Education (KARSE), 35*(3), 477-485.

Polya, G. (1957). *How to Solve it. A new aspect of Method*. Garden city Newyork: Doubleday and Company.

Qarareh, A. O. (2016). The Effect of Using the Constructivist Learning Model in Teaching Science on the Achievement and Scientific Thinking of 8th Grade Students. *International Education Studies, 9*(7), 178-196.

Quarareh, A. O. (2016). *The Effect of Using the Constructivist Learning Model in Teaching Science on the Achievement and Scientific Thinking of 8th Grade Students.* https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1106532

Roam, D. (2013). *The Back of the Napkin (Expanded Edition) : Solving Problems and Selling Ideas with Pictures*. New York, United States: Penguin Putnam Inc.

Rogers, C. R. (1969). Freedom to Learn. Columbus, Ohio: Charles E. *Merrill Co*.

Rojas, S. (2010). On the teaching and learning of physics problem solving. *Revista mexicana de física E, 56*(1), 22-28.

Selçuk, G., ÇalıŞkan, S., และ Erol, M. (2008). *Physics self-efficacy beliefs of student teachers': The relationships with gender and achievement perception.* Paper presented at the Balkan Physics Letters (Special Issue: Turkish Physical Society 24th International Physics Congress).

Sholihah, U., Nusantara, T., Sa'dijah, C., และ Susanto, H. (2019). The ability of students' visual thinking in solving integral problems. *International Conference on Mathematics and Science Education (ICMScE 2018)*.

Singh, C., และ Rosengrant, D. (2003). Multiple-choice test of energy and momentum concepts. *American Journal of Physics, 71*(6), 607-617.

Solaz Portolés, J. J., และ Sanjosé López, V. (2008). *Representations in problem-solving in science: Directions for practice.* Paper presented at the Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching, 2008, vol. 8, num. 2, p. articulo 4.

Tumanggor, A. M. R., Supahar, Ringo, E. S., และ Harliadi, M. D. (2020). Detecting Students' Misconception in Simple Harmonic Motion Concepts Using Four-Tier Diagnostic Test Instruments. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-BiRuNi, 9*(1), 21-31.

Vaughan, N. D. (2010). A blended community of inquiry approach: Linking student engagement and course redesign. *The Internet and Higher Education, 13*(1-2), 60-65.

Yager, R. E. (1991). The Constructivist learning model. *The science teacher*, 52-57.

Yenawine, P. (2013). *Visual thinking strategies: using art to deepen learning across school disciplines*: Harvard Education Press.

Yulindar, A., Setiawan, A., และ Liliawati, W. (2018). *Enhancement of problem solving ability of high school students through learning with real engagement in active problem solving (REAPS) model on the concept of heat transfer.* Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series.

เกริก ศักดิ์สุภาพ. (2556). ผลการใช้รูปแบบการเรียนการสอนแบบ *PECA* ที่มีต่อความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์และความคงทนในการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. (ปริญญานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ. (สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา).

เจนศึก โพธิศาสตร์. (2546). ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายโดยใช้กระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของครูลิคและรุทนิค. (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. (สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะศึกษาศาสตร์).

เอกวิทย์ ดวงแก้ว. (2558). การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหา

ความรู้ร่วมกับกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์เฮลเลอร์. (ปริญญานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี. (สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์).

แสงเดือน เจริญฉิม, และ สุเทพ อ่วมเจริญ. (2553). การพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนที่สร้างเสริมมโนทัศน์และการแก้ปัญหาในวิชาฟิสิกส์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. วารสารศิลปากร ศึกษาศาสตร์วิจัย, *1*(2), 64-78.

กาญจนา คุณารักษ์. (2552). การออกแบบการสอน. นครปฐม: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร.

กิตติทัศน์ หวานฉ่ำ. (2563). ผลของประเภทข้อมูลย้อนกลับและการเปลี่ยนคำตอบที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. วารสารครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, *48*(1), 1-21.

จารุวรรณ เทวกุล. (2555). ความพึงพอใจในการจัดการเรียนการสอนของนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ประเภทวิชาพาณิชยกรรม ชั้นปีที่ *1* ชั้นปีที่ *2* และชั้นปีที่ *3* วิทยาลัยอาชีวศึกษาฉะเชิงเทรา. (สารนิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ. (สาขาวิชาธุรกิจศึกษา).

ชนาธิป พรกุล. (2552). การออกแบบการสอน การบูรณาการ การอ่าน การคิดวิเคราะห์และการเรียน (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: บริษัท วี พริ้นท์ (1991) จำกัด.

ชัยยุทธ สุขวัจนี. (2559). ผลของการใช้รูปแบบการเปลี่ยนมโนทัศน์ของสเตแพนส์ที่มีต่อมโนทัศน์และความสามารถในการประยุกต์ความรู้ฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย. *An Online Journal of Education, 11*(1), 253-265.

ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์. (2561). *80* นวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ. กรุงเทพฯ: ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ณัฐวุฒิ ยกน้อยวงค์. (2560). การพัฒนาทักษะการให้เหตุผลและทักษะการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์โดยใช้กลวิธีแก้ปัญหาเชิงตรรกะร่วมกับแผนผังมโนทัศน์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, กรุงเทพฯ. (สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน วิทยาลัยครุศาตร์).

ดวงพร ตั้งอุดมเจริญชัย. (2551). การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ในการแก้โจทย์ปัญหาโดยใช้ขั้นตอนของโพลยา สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4. (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์, ฉะเชิงเทรา. (คณะครุศาสตร์).

ทิศนา แขมมณี. (2557). ศาสตร์การสอน: องค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ.

กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธนธัญ ฝีมือสาร. (2559). ผลของกลวิธีการสอนสี่ขั้นตอนตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ที่มีต่อมโนทัศน์ฟิสิกส์และเจตคติต่อการเรียนฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ *5*. (สารนิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. (สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์).

ธนาพร แน่นชารี. (2563). การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ที่เน้นกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาร่วมกับเทคนิคระดมสมองเรื่องความน่าจะเป็นสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3. *Journal of MCU Nakhondhat, 8*(10), 125-139.

ธันยากร ช่วยทุกข์เพื่อน. (2559). การศึกษาข้อบกพร่องของกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์โดยใช้กลวิธีแก้ปัญหาเชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี: กรณีศึกษานักศึกษามหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์. วารสารวิจัยทางการศึกษาคณะศึกษาศาสตร์ มศว, *11*(1).

ธีรพงษ์ แสงประดิษฐ์. (2015). แนวคิดทางเลือกของนักเรียนในวิชาฟิสิกส์. *JOURNAL OF EDUCATION NARESUAN UNIVERSITY, 17*(4), 202-209.

นฤมล ฉิมงาม. (2558). การพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ โดยใช้เทคนิคการแก้ปัญหาของโพลยาผสานกับการจัดการเรียนรู้แบบวัฏจักรการเรียนรู้ *7* ขั้นของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ *6*. (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี. (สาขาวิชาการวิจัยและพัฒนาหลักสูตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม).

นันทนา หอมหวล. (2559). ความสามารถทางพหุปัญญาด้านตรรกะคณิตศาสตร์และด้านมิติสัมพันธ์ของเด็กปฐมวัยที่ได้รับการจัดประสบการณ์ทางวิทยาศาสตร์ตามแนวคิดคอนสตรัคติวิสต์. วารสารวิชาการศึกษาศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, *17*(1), 35-46.

นันธิยา แก้ววิจิตร. (2563). ผลของการเรียนรู้แบบร่วมมือแบบแบ่งกลุ่มผลสัมฤทธิ์ร่วมกับกลวิธีแก้ปัญหาเชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ต่อความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ เรื่อง ไฟฟ้าสถิตของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ *5*. (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ. (ศูนย์วิทยาศาสตร์ศึกษา).

บุญเลี้ยง ทุมทอง. (2556). ทฤษฎีและการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้. กรุงเทพฯ: ทริปเพิ้ล เอ็ดดูเคชั่น.

ปาริฉัตร สินทรัพย์ไพบูลย์. (2562). การพัฒนาแบบทดสอบอัตนัยประยุกต์วัดความสามารถในการแก้

โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ตามแนวคิดการแก้ปัญหาเชิงตรรกะของเฮลเลอร์เฮลเลอร์ เรื่องฟ้าสถิต สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. (สารนิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. (สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์).

พัณนิดา มิ่งมิตร. (2560). ผลของแนวทางการแก้ปัญหาเชิงมโนทัศน์ที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาและมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย. *An Online Journal of Education, 12*(1), 139-154.

พิมพ์หทัย พึ่งตาแสง. (2560). ผลของการใช้รูปแบบการเรียนรู้แบบสถานการณ์สองบทบาทที่มีต่อมโนทัศน์ฟิสิกส์และการนำความรู้ไปใช้ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. (ปริญญานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. (สาขามัธยมศึกษาวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์).

พิมพันธ์ เดชะคุปต์. (2544). การเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ : แนวคิด วิธีและเทคนิคการสอน. กรุงเทพฯ: เดอะมาสเตอร์กรุ๊ป แมเนจเม้นท์.

พิมพันธ์ เดชะคุปต์. (2550). ปรับเปลี่ยนวิธีเรียน เปลี่ยนวิธีสอน วิทยาศาสตร์สู่ห้องเรียนแห่งการคิด. กรุงเทพมหานคร: สถาบันพัฒนาคุณภาพวิชาการ

ภนิดา ชัยปัญญา. (2541). การวัดความพึงพอใจ. กรุงเทพฯ: แสงอักษร.

ยุพิน พิพิธกุล. (2529). การสอนคณิตศาสตร์ระดับมัธยมศึกษา. กรุงเทพฯ: ภาควิชามัธยมศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรรณทิพา รอดแรงค้า. (2540). การสอนวิทยาศาสตร์ที่เน้นทักษะกระบวนการ. กรุงเทพฯ: สถาบันพัฒนาคุณภาพวิชาการ.

วิยฉัตร พูนพิพัฒน์. (2557). ผลของการเรียนการสอนตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์ ที่หลากหลายที่มีต่อมโนทัศน์เรื่องสารและสมบัติของสารและความสามารถในการวิเคราะห์ ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น. วารสารอิเล็กทรอนิกส์ทางการศึกษา, *9*(1), 317-383.

วีนัส ชาลี. (2563). แนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการแก้โจทย์ปัญหาของโพลยาและผลที่มีต่อความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ *4*. (ปริญญานิพนธ์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ. (คณะวิทยาศาสตร์).

วุฒิชัย จารุตัน. (2563). การพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง โมเมนตัมและการชน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ *4* โดยใช้กลวิธีแก้โจทย์ปัญหาเชิงตรรกะของเฮลเลอร์

และเฮลเลอร์. (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม. (คณะศึกษาศาสตร์).

ศรีสมร ธวัชเมธี, จันทร์จิรา จูมพลหล้า, และ รุ่งทิวา จันทน์วัฒนวงษ์. (2558). ผลการเรียนตามแนวทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์เสริมด้วยกลวิธี KWL Plus ต่อมโนมติเรื่อง งานและพลังงาน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้, *6*(2), 217-231.

ศิริลักษณ์ ชาวลุ่มบัว. (2558). การพัฒนาหลักสูตรบูรณาการแบบ STEM รายวิชาวิทยาศาสตร์เพิ่มเติมเรื่อง อ้อย สำหรับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3. วารสารศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัยบูรพา, *26*(1), 224-236.

สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ. (2663). รายงานผลการทดสอบวิชาสามัญ. http//www.niets.or.th

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2560). รายงานผลการวิจัยโครงการ *TIMSS 2015*.

สุมาลี ชัยเจริญ. (2557). การออกแบบการสอน: หลักการทฤษฎีสู่การปฏิบัติ *Instructional design: principles and theories to practices*. ขอนแก่น: สาขาเทคโนโลยีการศึกษาคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สุรางค์ โควัตระกูล. (2553). จิตวิทยาการศึกษา (12). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุวิทย์ มูลคำ, และ อรทัย มูลคำ. (2545). *21* วิธีจัดการเรียนรู้ : เพื่อพัฒนากระบวนการคิด. กรุงเทพฯ: ดวงกมล.

อมรรัตน์ บุบผโชติ. (2558). ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยการตั้งปัญหาที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์และมโนทัศน์ฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายโรงเรียนสาธิตสังกัดมหาวิทยาลัยของรัฐในกรุงเทพมหานคร. วารสารครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, *43*(4), 112-128.

อรพินท์ ชื่นชอบ. (2550). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์และความสามารถในการแก้ปัญหาทางฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ด้วยวิธีสอนแบบสืบเสาะหาความรู้โดยเสริมการแก้ปัญหาตามเทคนิคของโพลยา. วารสารหลักสูตรและการสอน มหาวิทยาลัยบูรพา, *1*(1), 37-44.

อุดมลักษณ์ กุลพิจิตร. (2561). แนวคิดคอนสตรัคติวิสต์สู่กิจกรรมความรู้ทางกายภาพสำหรับเด็ก

ปฐมวัย. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ตาราง 18 รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ชื่อ – สกุล	วุฒิการศึกษา	ตำแหน่ง
ผศ.ดร.ชนินันท์ พฤกษ์ประมูล	กศ.ด. วิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนรินทรวิโรฒ	อาจารย์ประจำศูนย์วิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ. ดร. ธีรพงษ์ แสงประดิษฐ์	ปร.ด. วิทยาศาสตร์การศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	อาจารย์ประจำศูนย์วิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อ.นัทชาริน อาษาธง	วท.ม. ฟิสิกส์ศึกษา มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี	อาจารย์สาธิต สาขาฟิสิกส์ โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม)
อ. พีระพล ชินรัตน์	วท.ม. สาขาฟิสิกส์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	อาจารย์สาธิต สาขาฟิสิกส์ โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม)

ภาคผนวก ข
ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์ รายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี
2. ตัวอย่างแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี
3. ตัวอย่างแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี
4. ตัวอย่างแบบประเมินความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียนรู้

ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

รายวิชาฟิสิกส์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี

เรื่องการสะท้อนและการหักเหของคลื่น เวลา 4 คาบ (180 นาที)

มาตรฐานการเรียนรู้/ผลการเรียนรู้จากตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางฯ

มาตรฐานการเรียนรู้

เข้าใจการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ธรรมชาติของคลื่น เสียงและการได้ยิน ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับเสียง แสงและการเห็นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับแสง รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

ผลการเรียนรู้

1. สังเกตและอธิบายการสะท้อน การหักเห การแทรกสอด และการเลี้ยวเบนของคลื่นผิวน้ำ รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

1. สาระสำคัญ

หลักการที่อธิบายการแผ่คลื่นผ่านตัวกลาง คือ หลักการของฮอยเกนส์ ซึ่งกล่าวว่าแต่ละจุดบนหน้าคลื่น เป็นแหล่งกำเนิดแบบจุด ทำให้เกิดหน้าคลื่นวงกลมใหม่ซึ่งส่งคลื่นออกไป โดยคลื่นใหม่มีอัตราเร็วและความถี่เท่ากับคลื่นเดิม เมื่อคลื่นสองคลื่นพบกัน คลื่นรวมจะมีค่าตามหลักการซ้อนทับ โดยคลื่นรวมมีการกระจัดเท่ากับผลรวมของการกระจัดของแต่ละคลื่น กรณีที่การกระจัดของคลื่นทั้งสองอยู่ในทิศเดียวกันคลื่นจะรวมแบบเสริม กรณีที่การกระจัดของคลื่นทั้งสองอยู่ในทิศตรงข้ามกันคลื่นจะรวมแบบหักล้าง

คลื่นหนึ่งคลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางหนึ่งไปสู่อีกตัวกลางหนึ่ง เมื่อกระทบผิวรอยต่อของตัวกลาง คลื่นจะแสดงพฤติกรรมสองพฤติกรรม คือ คลื่นส่วนหนึ่งสะท้อนกลับในตัวกลางเดิม เรียกว่า คลื่นสะท้อน ซึ่งคลื่นที่สะท้อนกลับมาในตัวกลางเดิม มีอัตราเร็วและความถี่เดิม การสะท้อนของคลื่นเป็นไปตามตามกฎการสะท้อน เรียกพฤติกรรมนี้ว่าการสะท้อนของคลื่น

คลื่นอีกส่วนหนึ่งเคลื่อนผ่านเข้าไปในอีกตัวกลางหนึ่ง เรียกว่า คลื่นหักเห คลื่นที่ผ่านเข้าไปในอีกตัวกลางหนึ่งมีอัตราเร็วของคลื่นเปลี่ยนไป โดยความถี่คลื่นคงเดิม ทิศทางของคลื่นอาจเปลี่ยนไปจากเดิม เรียกพฤติกรรมนี้ว่า การหักเหของคลื่น พฤติกรรมนี้สามารถอธิบายได้ด้วย กฎการหักเห ซึ่งมีความสัมพันธ์ตาม

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

2. จุดประสงค์การเรียนรู้

2.1 ด้านความรู้: เพื่อให้นักเรียน

2.1.1 อธิบายการแผ่ของคลื่นโดยใช้หลักการของฮอยเกนส์

2.1.2 อธิบายการรวมกันของคลื่นโดยอาศัยการซ้อนทับ

2.1.3 อธิบายการสะท้อนและการหักเหของคลื่นผิวน้ำได้

2.2 ด้านทักษะ: เพื่อให้นักเรียน

2.2.1 ตั้งคำถามสำคัญในการทดลองได้

2.2.2 ออกแบบวิธีการทดลอง และตารางบันทึกผลการทดลองได้

2.2.3 วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลองจากข้อมูลได้

2.2.4 อภิปรายร่วมกันและนำเสนอผลการทดลองได้

2.2.5 แสดงการคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับหลักการซ้อนทับของคลื่น การสะท้อนและการหักเหของคลื่นผิวน้ำได้

2.3 ด้านคุณลักษณะ: เพื่อให้นักเรียน

2.3.1 ทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างสร้างสรรค์

2.4 ด้านสมรรถนะ: เพื่อให้นักเรียน

2.4.1 สื่อสารเพื่อนำเสนอความรู้จากการทดลองได้

3. สาระการเรียนรู้

หลักการของฮอยเกนส์กล่าวว่า แต่ละจุดบนหน้าคลื่นเป็นแหล่งกำเนิดแบบจุด ทำให้เกิดหน้าคลื่นวงกลมใหม่ซึ่งส่งคลื่นออกไป โดยคลื่นใหม่มีอัตราเร็วและความถี่เท่ากับคลื่นเดิม เมื่อคลื่นสองคลื่นพบกัน คลื่นรวมจะมีค่าตามหลักการซ้อนทับ โดยคลื่นรวมมีการกระจัดเท่ากับผลรวมของการกระจัดของแต่ละคลื่น กรณีที่การกระจัดของคลื่นทั้งสองอยู่ในทิศเดียวกันคลื่นจะรวมแบบเสริม กรณีที่การกระจัดของคลื่นทั้งสองอยู่ในทิศตรงข้ามกันคลื่นจะรวมแบบหักล้าง

การสะท้อน คือ การที่คลื่นเคลื่อนที่กระทบสิ่งกีดขวางแล้วเปลี่ยนทิศทางกลับมาในตัวกลางเดิม คลื่นที่เคลื่อนที่ไปกระทบปลายสุดของตัวกลางก่อนเกิดการสะท้อนเรียกว่า คลื่นตกกระทบ คลื่นที่เคลื่อนที่กลับมา เรียกว่า คลื่นสะท้อน โดยการสะท้อนจะเป็นไปตามกฎการสะท้อน ซึ่งกล่าวว่ามุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน

การหักเห เกิดขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางหนึ่งเข้าไปอีกตัวกลางหนึ่ง โดยทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นตั้งฉากกับรอยต่อระหว่างตัวกลางทั้งสอง คลื่นที่ผ่านเข้าไปในอีกตัวกลางหนึ่งจะมีความยาวคลื่นเปลี่ยนไปโดยทิศทางการเคลื่อนที่จะไม่เปลี่ยนแปลง แต่ถ้าทิศทางการเคลื่อนที่

ของคลื่นไม่ตั้งฉากกับผิวรอยต่อ เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าไปในอีกตัวกลางหนึ่ง ทั้งความยาวคลื่นและทิศทางการเคลื่อนที่จะเปลี่ยนไปด้วย คลื่นที่เข้าไปกระทบแนวรอยต่อ เรียกว่า คลื่นตกกระทบ และคลื่นที่เคลื่อนที่เข้าไปในอีกตัวกลางหนึ่ง เรียกว่าคลื่นหักเห ในการหักเหจะได้ว่าอัตราส่วนระหว่างไซน์ของมุมตกกระทบกับไซน์ของมุมหักเหมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างอัตราเร็วคลื่นในตัวกลางที่คลื่นตกกระทบกับอัตราเร็วคลื่นในตัวกลางที่คลื่นหักเห นั่นคือ

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

เมื่อ θ_1 คือ มุมตกกระทบ หน่วย องศา

θ_2 คือ มุมตกกระทบ หน่วย องศา

v_1 คือ อัตราเร็วคลื่นในตัวกลางที่คลื่นตกกระทบ หน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

v_2 คือ อัตราเร็วคลื่นในตัวกลางที่คลื่นหักเห หน่วย เมตรต่อวินาที (m/s)

4. กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นที่ 1 ขั้นกระตุ้นความสนใจ (5 นาที)

1. ครูนำอภิปรายเพื่อนำเข้าสู่บทเรียนโดยใช้คำถามต่อไปนี้

1.1 จากคาบที่ผ่านมา คลื่นแต่ละประเภทเหมือนหรือแตกต่างกันหรือไม่ *(แตกต่างกันตามเกณฑ์ที่ใช้ในการจำแนก)*

1.2 นักเรียนคิดว่า เราจะสามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ของคลื่นแต่ละชนิด และคลื่นแต่ละตัวกลางได้ด้วยหลักการเดียวกันหรือไม่ *(ตอบตามความคิดของนักเรียน)*

1.3 ถ้านักเรียนขว้างลูกบอลกระทบผนัง จะเกิดอะไรขึ้น *(ลูกบอลสะท้อนกลับออกมา)*

1.4 แล้วถ้าเป็นคลื่นน้ำที่กำลังแผ่ออกไปแล้วกระทบกับวัตถุอื่น หรือสิ่งกีดขวาง คลื่นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร *(ตอบตามความคิดของนักเรียน)*

1.5 ถ้าผูกเชือกสองเส้นที่มีความหนาแน่นเชิงเส้นแตกต่างกันไว้ด้วยกัน หลังจากนั้นสะบัดปลายเชือกที่ปลายฝั่งหนึ่ง เมื่อคลื่นในเส้นเชือกเคลื่อนที่มาถึงบริเวณรอยต่อ นักเรียนคิดว่าจะเกิดอะไรขึ้น *(ตอบตามความคิดของนักเรียน)*

1.6 นักเรียนทุกคนน่าจะเคยไปเที่ยวทะเล ในบริเวณชายหาดกับกลางทะเล คลื่นน้ำมีความเหมือนหรือแตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร *(แตกต่างกัน ในบริเวณน้ำตื้นอัตราเร็วของคลื่นจะน้อยกว่าบริเวณน้ำลึก หรือตอบตามความคิดเห็นของนักเรียน)*

1.7 ถ้าคลื่นน้ำเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่แตกต่างกัน เช่น จากน้ำตื้นไปสู่น้ำลึก คลื่นน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร *(ตอบตามความคิดของนักเรียน)*

<u>ขั้นที่ 2 ขั้นสำรวจและค้นคว้า(35 นาที)</u>

1. ครูให้นักเรียนแบ่งกลุ่มกลุ่มละ 4-5 คน โดยครูกำหนดกลุ่มให้แบบคละความสามารถ
2. ครูให้ตัวแทนกลุ่มออกมารับแบบบันทึกกิจกรรม และชี้แจงขั้นตอนของกิจกรรมดังนี้

2.1 กิจกรรมทั้งสิ้น 4 ตอน ได้แก่ หลักการที่เกี่ยวกับคลื่น การสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือก การสะท้อนของคลื่นผิวน้ำ และการหักเหของคลื่นผิวน้ำ โดยแต่ละกิจกรรมมีรายละเอียด ดังนี้

2.1.1 หลักการที่เกี่ยวกับคลื่น โดยให้นักเรียนสังเกตภาพที่เกิดขึ้นบนกระดาษขาวที่วางใต้ถาดคลื่นเมื่อแหล่งกำเนิดคลื่นเป็นจุดและเป็นเส้นตรง และสังเกตภาพที่เกิดขึ้นในสื่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง wave addition เมื่อกำหนดคลื่น 2 ขบวนให้มีแอมพลิจูดแตกต่างกัน และเคลื่อนที่มาซ้อนทับกัน

2.1.2 การสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือก โดยให้นักเรียนสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อสะบัดปลายเชือกให้เกิดคลื่นกรณีที่มัดเชือกด้านหนึ่งผูกติดไว้กับขาโต๊ะอย่างตรึงแน่นและหลวม ๆ

2.1.3 การสะท้อนของคลื่นผิวน้ำ โดยให้นักเรียนสังเกตการเปลี่ยนแปลงของคลื่นน้ำในถาดคลื่น เมื่อทำให้คลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ไปกระทบแผ่นกั้น

2.1.4 การหักเหของคลื่นผิวน้ำ โดยให้นักเรียนสังเกตการเปลี่ยนแปลงของคลื่นน้ำในถาดคลื่น เมื่อทำให้คลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีกระจกวางในถาดคลื่น

2.2 นักเรียนเรียนแต่ละกลุ่มต้องระดมความคิดในการออกแบบการทดลองด้วยตนเองเพื่อหาคำตอบของแต่ละกิจกรรมที่ครูให้ศึกษา

2.3 อุปกรณ์ที่ครูมีให้ ได้แก่ เชือก ชุดอุปกรณ์การทดลองถาดคลื่น แผ่นกั้น และแผ่นกระจก

2.4 ระหว่างการทำกิจกรรมร่วมกัน ให้นักเรียนร่วมกันอภิปราย โดยใช้คำถามดังนี้

2.4.1 ภาพรวมของการทดลองคร่าว ๆ เป็นอย่างไร

2.4.2 คัดเลือกและจัดหมวดหมู่โดยใช้คำถาม 6 วิธี ได้แก่ นักเรียนเห็นวัตถุ ได้แก่ ใครและอะไรนักเรียนเห็นปริมาณเท่าไหร่ นักเรียนเห็นตำแหน่งที่ไหน นักเรียนเห็นเหตุการณ์ที่

เกิดขึ้นเมื่อไหร่ นักเรียนเห็นผลกระทบและความสัมพันธ์ระหว่างเหตุการณ์หรือตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคลื่นอย่างไร และนักเรียนคิดว่าเหตุการณ์เหล่านั้นที่เกิดขึ้นเป็นเพราะอะไร

2.4.3 หลังจากนั้นให้นักเรียนลองปรียบเทียบข้อมูลที่รวบรวมได้กับจินตนาการของนักเรียนเอง แล้วถ่ายทอดข้อมูลออกมาเป็นรูปภาพ โดยใช้การทบทวนผ่าน 5 คำถาม คือ ข้อมูลนั้นเป็นข้อมูลแบบง่าย ๆ หรือมีรายละเอียด ข้อมูลนั้นเป็นข้อมูลเชิงปริมาณหรือเชิงคุณภาพ ข้อมูลนั้นเป็นภาพกว้าง ๆ หรือเป็นลำดับขั้นตอน ข้อมูลนั้นมีความเฉพาะหรือมีการเปรียบเทียบหรือไม่ และข้อมูลนั้นมีการเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์หรือไม่ หรือมีความคงที่ตลอดเวลา บันทึกแนวคิดลงในแบบบันทึกกิจกรรม

2.4.4 หลังจากทำกิจกรรมกลุ่มเสร็จ ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มออกมานำเสนอกิจกรรมในรูปของแผนภาพ โดยครูและนักเรียนในกลุ่มอื่น ๆ ร่วมกันให้ข้อมูลย้อนกลับ (Feedback) ร่วมประเมินและให้คะแนนกลุ่มที่นำเสนอเมื่อนำเสนอจบ

2.5 ครูเน้นย้ำข้อควรระวังระหว่างทำการทดลอง ดังนี้

2.5.1 การต่อมอเตอร์ให้สามารถทำงานได้ในถาดคลื่น ต้องต่อกับหม้อแปลงโวลต์ต่ำ ซึ่งต้องต่อกับหม้อแปลงแบบกระแสตรง คือต้องใช้สายไฟต่อเข้าที่ช่อง DC

2.5.2 การเติมน้ำในถาดคลื่นควรวางถาดคลื่นบนฐานวางให้เรียบร้อยก่อนจึงค่อยนำน้ำมาเติมทีหลัง โดยอาจจะใช้ขวดน้ำหรือกะละมังไปรองน้ำแล้วมาเติมใส่ถาดคลื่นโดยให้น้ำสูงประมาณ 2 เซนติเมตร

2.5.3 ควรวางกระดาษรองใต้ถาดคลื่น โดยควรใช้กระดาษสีขาว และปิดไฟในห้องเรียนให้เรียบร้อยแล้วเปิดเพียงไฟที่ต่อบนฐานคลื่นเพื่อสังเกตหน้าคลื่นได้อย่างชัดเจน

3. ครูให้เวลานักเรียนในการทำกิจกรรมเป็นเวลา 30 นาที โดยครูคอยสังเกตและกระตุ้นให้นักเรียนจดจ่อกับกิจกรรมที่กำหนดและคอยช่วยแนะนำในกรณีที่ทำการทดลองในถาดคลื่น

<u>ขั้นที่ 3 ขั้นนำเสนอมโนทัศน์ (30 นาที)</u>

1. ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มออกมานำเสนอผลการทดลองหน้าชั้นเรียน โดยให้อธิบายจากภาพของแต่ละกลุ่ม กลุ่มละ 3 -5 นาที

2. ครูนำอภิปรายกิจกรรมที่ 1 หลักการที่เกี่ยวกับคลื่น โดยใช้คำถามดังนี้

2.1 เมื่อใช้ปลายดินสอเคาะลงบนผิวน้ำ 1 ครั้ง ภาพที่เกิดขึ้นบนกระดาษขาวเป็นอย่างไร *(เมื่อใช้ปลายดินสอจุ่มผิวน้ำ 1 ครั้ง เกิดภาพแถบวงกลมสีขาวบนกระดาษขาวใต้ถาดคลื่นแถบเดียว แผ่ออกจากภาพของตำแหน่งที่จุ่มปลายดินสอ เสมือนกับภาพที่จุ่มมีปลายดินสอเป็นจุดศูนย์กลางของวงกลม)*

2.2 เมื่อใช้ไม้บรรทัดเคาะลงบนผิวน้ำ 1 ครั้ง ภาพที่เกิดขึ้นบนกระดาษขาวเป็นอย่างไร *(เมื่อใช้ไม้บรรทัดจุ่มที่ผิวน้ำ ภาพที่เกิดเป็นแถบเส้นตรงสีขาว เคลื่อนที่ออกจากภาพของตำแหน่งที่จุ่มไม้บรรทัดออกไปทั้งสองด้าน ด้านละแถบ)*

2.3 เมื่อรบกวนผิวน้ำอย่างต่อเนื่อง เกิดภาพบนกระดาษสีขาวหรือไม่ แล้วเคลื่อนที่อย่างไร *(หากแหล่งกำเนิดคลื่นเป็นปุ่มกลม จะเกิดภาพแถบวงกลมสีดำสลับแถบวงกลมสีขาวแผ่ออกจากภาพปุ่มกำเนิดคลื่นอย่างต่อเนื่อง โดยระยะห่างระหว่างแถบจะพอ ๆ กัน เมื่อใช้คานเป็นแหล่งกำเนิด สั่นผิวน้ำอย่างต่อเนื่อง จะเกิดแถบตรงสีดำสลับแถบตรงสีขาวแผ่ออกไปทั้งสองด้านของคาน โดยมีระยะห่างระหว่างแถบพอ ๆ กัน)*

2.4 หากพิจารณาทางด้านข้าง เมื่อเคาะผิวน้ำให้สั่นเป็นจังหวะสม่ำเสมอจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร *(มีส่วนที่นูนขึ้นและเว้าลงสลับกันไป)*

2.5 หากเปรียบเทียบตำแหน่งที่นูนของคลื่นกับพื้นกระดาษด้านล่างของถาดคลื่นจะมีลักษณะอย่างไร *(เป็นแถบสว่าง)*

2.6 หากเปรียบเทียบตำแหน่งที่เว้าลงของคลื่นกับพื้นกระดาษด้านล่างของถาดคลื่นจะมีลักษณะอย่างไร *(เป็นแถบมืด)*

2.7 ครูอธิบายต่อว่า แถบสว่างแทนสันคลื่น แถบมืดแทนท้องคลื่น จากนั้นให้ความรู้เรื่องหน้าคลื่น ทิศทางของคลื่น หลักของฮอยเกนส์ตามรายละเอียดในเอกสารประกอบการเรียน

2.8 จากสื่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง Wave Addition เมื่อคลื่น 2 ขบวนเคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้าม ตรงตำแหน่งที่คลื่นมาพบกันจะเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร *(เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยคลื่นจะเกิดการซ้อนทับกัน)*

2.9 เมื่อคลื่นดล 2 ขบวนที่มีแอมพลิจูดต่างกัน เคลื่อนที่สวนทางกัน หาก ณ ตำแหน่งที่คลื่นมาพบกัน เป็นตำแหน่งที่สันคลื่นมาซ้อนทับกับสันคลื่น หรือท้องคลื่นมาซ้อนทับกับท้องคลื่น จะเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร *(เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยคลื่นรวมจะมีแอมพลิจูดเท่ากับผลรวมของแอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองขบวน)*

2.10 เมื่อคลื่นดล 2 ขบวนที่มีแอมพลิจูดต่างกัน เคลื่อนที่สวนทางกัน หาก ณ ตำแหน่งที่คลื่นมาพบกัน เป็นตำแหน่งที่สันคลื่นมาซ้อนทับกับท้องคลื่น จะเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร *(เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยคลื่นรวมจะมีแอมพลิจูดเท่ากับผลต่างของแอมพลิจูดของแต่ละคลื่นทั้งสองขบวน)*

2.11 ครูอธิบายต่อว่า ถ้าคลื่น 2 ขบวนมีการกระจัดของตัวกลาง ณ ตำแหน่งที่รวมกันอยู่ในทิศทางเดียวกัน เราจะเรียกผลการซ้อนทับกันนี้ว่า การแทรกสอดแบบเสริม (constructive interference) แต่ถ้า ณ ตำแหน่งที่มารวมกันมีการกระจัดของตัวกลาง ณ ตำแหน่งที่มา

รวมกันอยู่ในทิศทางที่ตรงข้ามกัน เราเรียกการแทรกสอดนี้ว่า ว่า การแทรกสอดแบบหักล้าง (destructive interference)

2.10 ถ้าคลื่น 2 ขบวนเคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้ามกัน เมื่อซ้อนทับกันแล้ว คลื่นแต่ละขบวนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร *(คลื่นแต่ละขบวนจะเคลื่อนที่ผ่านกันไป โดยยังคงรูปร่างและทิศทางการเคลื่อนที่ของแต่ละคลื่นไว้เหมือนเดิม)*

2. ครูนำอภิปรายกิจกรรมที่ 2 การสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือก โดยใช้คำถาม ดังนี้

2.1 นักเรียนออกแบบกิจกรรมเพื่อทำให้เกิดการสะท้อนในเส้นเชือกอย่างไร *(มัดปลายเชือกกับขาโต๊ะ หรือไม้กวาด แล้วสะบัดเชือกขึ้นลงเพื่อให้เกิดคลื่น)*

2.2 เมื่อคลื่นในเส้นเชือกเคลื่อนที่ไปชนสิ่งกีดขวาง เกิดอะไรขึ้น *(คลื่นในเส้นเชือกสะท้อนกลับมา)*

2.3 เมื่อคลื่นในเส้นเชือกเคลื่อนที่ไปชนตำแหน่งที่มีปลายอิสระ คลื่นที่สะท้อนกลับเป็นอย่างไร *(คลื่นสะท้อนมีทิศทางเดียวกับคลื่นตกกระทบ หรือคลื่นสะท้อนมีเฟสตรงกันกับคลื่นตกกระทบ)*

2.4 เมื่อคลื่นในเส้นเชือกเคลื่อนที่ไปชนตำแหน่งที่ตรึงแน่น คลื่นที่สะท้อนกลับเป็นอย่างไร *(คลื่นสะท้อนมีทิศทางตรงกันข้ามกับคลื่นตกกระทบ หรือคลื่นสะท้อนมีเฟสตรงกันข้ามกับคลื่นตกกระทบ)*

2.5 นักเรียนคิดว่าเพราะเหตุใดจึงเป็นอย่างนั้น *(ตอบตามความคิดของนักเรียน)*

2.6 กรณีคลื่นในเส้นเชือกเคลื่อนที่ไปกระทบจุดที่ตรึง แรงที่เชือกดึงตำแหน่งนั้นเท่ากับแรงใด *(แรงที่ตำแหน่งนั้นดึงเชือก)*

2.7 เป็นไปตามกฎหรือหลักการใด *(กฎของที่ 3 ของนิวตัน)*

2.8 ทำให้รูปร่างของคลื่นสะท้อนเป็นอย่างไร *(สะท้อนกลับด้าน)*

3. ครูนำอภิปรายกิจกรรมที่ 3 การสะท้อนของคลื่นผิวน้ำ โดยใช้คำถาม ดังนี้

3.1 นักเรียนออกแบบกิจกรรมนี้อย่างไร เพื่อทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นผิวน้ำ (น้ำแผ่นกั้นมาวางบริเวณถาดคลื่น)

3.2 นักเรียนพิจารณามุมตกกระทบและมุมสะท้อน อย่างไร *(ลากแนวหน้าคลื่นสะท้อนบนฉากรับภาพ*

และวัดมุมที่หน้าคลื่นสะท้อนกับแผ่นกั้นเป็นมุมต่าง ๆ แล้ววางแผ่นกั้นบนถาดคลื่นโดยให้เงาของแผ่นกั้นอยู่ในแนวเส้นตรงที่ทำมุมเท่ากับฉากรับภาพที่เตรียมไว้)

3.3 เมื่อคลื่นน้ำตกกระทบกับแผ่นกั้น หน้าคลื่นเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร *(เปลี่ยนแปลง โดยเกิดการสะท้อนของคลื่น สังเกตได้จากหน้าคลื่นใหม่ที่เกิดขึ้นในทิศตรงข้าม)*

3.4 ในแต่ละกรณี มุมที่หน้าคลื่นตกกระทบทำกับแผ่นกั้น และมุมที่หน้าคลื่นสะท้อนทำกับแผ่นกั้นมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ อย่างไร *(มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน)*

4. ครูนำอภิปรายกิจกรรมที่ 4 การหักเหของคลื่นผิวน้ำ โดยใช้คำถาม ดังนี้

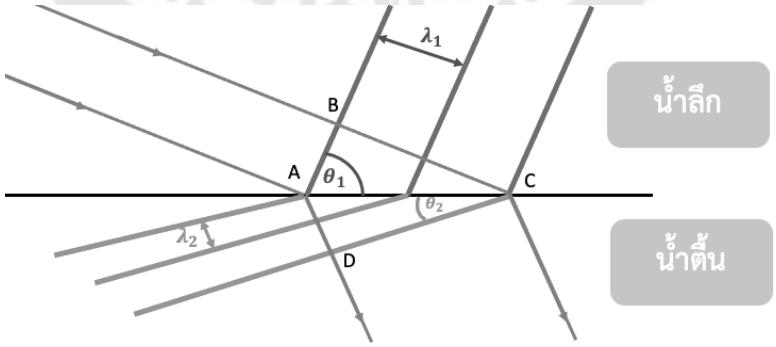
4.1 นักเรียนออกแบบกิจกรรมเพื่อทำให้คลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ในสองบริเวณที่มีความแตกต่างกันอย่างไร (วางกระจกใสลงไปในถาดคลื่น)

4.2 การวางกระจกใสลงไปในถาดคลื่นทำให้ระดับน้ำในถาดคลื่นเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ อย่างไร *(เปลี่ยนแปลง โดยทำให้เกิดน้ำลึกและน้ำตื้น)*

4.3 เมื่อคลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ผ่านบริเวณรอยต่อระหว่างบริเวณน้ำลึกและน้ำตื้น โดยให้หน้าคลื่นตกกระทบขนานกับรอยต่อ ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นหักเห และความยาวคลื่นหักเหเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร *(ทิศทางของคลื่นไม่เปลี่ยนแต่ความยาวคลื่นเปลี่ยน)*

4.4 เมื่อคลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ผ่านบริเวณรอยต่อระหว่างบริเวณน้ำลึกและน้ำตื้น โดยให้หน้าคลื่นตกกระทบทำมุมกับรอยต่อ ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นหักเห และความยาวคลื่นหักเหเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร *(ทิศทางของคลื่นหักเหเปลี่ยน และความยาวคลื่นเปลี่ยน โดยความยาวคลื่นในน้ำลึกจะมากกว่าความยาวคลื่นในน้ำตื้น)*

5. ครูนำสรุปสมการการหักเหของคลื่น โดยใช้แผนภาพและคำถาม ดังนี้



5.1 ในบริเวณน้ำลึกระยะห่างระหว่างหน้าคลื่นจะเป็นอย่างไร *(มาก)*

5.2 ในบริเวณน้ำตื้นระยะห่างระหว่างหน้าคลื่นจะเป็นอย่างไร *(น้อย)*

5.3 ระยะห่างระหว่างหน้าคลื่นที่อยู่ถัดกันคือปริมาณใดของคลื่น *(ความยาวคลื่นหรือ λ)*

5.4 มุมที่หน้าคลื่นตกกระทบทำกับแนวรอยต่อตัวกลาง เรียกว่าอะไรและแทนด้วยสัญลักษณ์ใด *(มุมตกกระทบ แทนด้วย θ_1)*

5.5 มุมที่หน้าคลื่นหักเหทำกับแนวรอยต่อตัวกลาง เรียกว่าอะไรและแทนด้วยสัญลักษณ์ใด *(มุมหักเห แทนด้วย θ_2)*

5.6 ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่นสัมพันธ์กับหน้าคลื่นอย่างไร *(เป็นเส้นตรงที่มีแนวตั้งฉากกับหน้าคลื่น)*

5.7 จากภาพถ้าพิจารณารูปสามเหลี่ยม ABC นักเรียนจะหาอัตราส่วนของ $\sin\theta_1$ ได้อย่างไร *($sin\,\theta_1 = \frac{BC}{AC}$)*

5.8 จากภาพถ้าพิจารณารูปสามเหลี่ยม ACD นักเรียนจะหาอัตราส่วนของ $\sin\theta_2$ ได้อย่างไร *($sin\,\theta_2 = \frac{AD}{BC}$)*

5.9 เมื่อนำมาแทนในอัตราส่วน $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$ จะได้เป็น ($\frac{sin\,\theta_1}{sin\,\theta_2} = \frac{BC}{AC} \times \frac{AC}{AD} = \frac{BC}{AD}$)

5.10 ความยาวด้าน BC มีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นตกกระทบอย่างไร (เท่ากับ $2\lambda_1$)

5.11 ความยาวด้าน AD มีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นหักเหอย่างไร (เท่ากับ $2\lambda_2$)

5.12 เมื่อแทนในสมการอัตราส่วน $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$ จะได้เป็น ($\frac{sin\,\theta_1}{sin\,\theta_2} = \frac{2\lambda_1}{2\lambda_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$)

5.13 จากสมการอัตราเร็วคลื่น คือ ($v = f\lambda$)

5.14 จากสมการดังกล่าวสามารถหา λ ได้จาก ($\lambda = \frac{v}{f}$)

5.15 ถ้าคลื่นเกิดจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน แสดงว่าปริมาณใดของคลื่นจะคงที่เสมอ *(ความถี่)*

5.16 ดังนั้น เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่ 1 และ 2 ที่แตกต่างกัน จากความสัมพันธ์ของความยาวคลื่น คือ $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ จะได้ความสัมพันธ์ของอัตราเร็วคลื่น คือ ($\frac{v_1}{v_2}$)

5.17 เมื่อนำความสัมพันธ์ทุกอย่างมาเขียนเป็นสมการ จะได้สมการการหักเหของคลื่นอย่างไร

($\frac{sin\,\theta_1}{sin\,\theta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2}$)

5.18 ครูอธิบายเพิ่มเติมว่าการพิจารณามุมตกกระทบและมุมหักเห นอกจากพิจารณาจากมุมระหว่างแนวหน้าคลื่นกระทำกับรอยต่อตัวกลางแล้ว ยังสามารถพิจารณาจากมุมที่ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น(รังสี) ทำกับเส้นแนวฉากได้อีกด้วย

<u>ขั้นที่ 4 ขั้นนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา (15 นาที)</u>

1. ครูนำอภิปรายการแก้โจทย์ปัญหาเรื่อง การสะท้อนของคลื่น โดยใช้โจทย์ปัญหาและคำถามตามขั้นตอนย่อย ดังนี้

<u>ขั้นที่ 1 อธิบายปัญหา</u>

1.1 จากตัวอย่างข้อ 1 ในแบบฝึกหัด เรื่อง การสะท้อนและการหักเหของคลื่น ให้นักเรียนอ่านโจทย์แล้วพิจารณาว่าเกิดอะไรขึ้นบ้าง *(คลื่นตกกระทบพุ่งไปในทิศตะวันตก (ทิศ +X) เข้าปะทะกับผิวสะท้อนที่เอียงทำมุม กับทิศตะวันออก)*

1.2 โจทย์ต้องการทราบอะไร *(ให้เขียนแสดงการสะท้อนของหน้าคลื่นเส้นตรงและระบุมุมสะท้อน)*

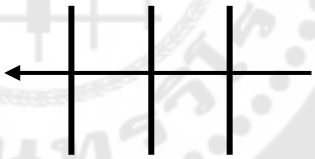
1.3 หากวาดแผนภาพแสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นจากโจทย์ ภาพต้องมีองค์ประกอบอะไรบ้าง *(หน้าคลื่นตกกระทบ แนวทางเดินของคลื่น วัตถุ แนวรอยต่อตัวกลาง รังสีตกกระทบและมุมตกกระทบ)*

1.4 หลักการที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ในโจทย์ปัญหาคือหลักการใด *(การสะท้อนของคลื่น)*

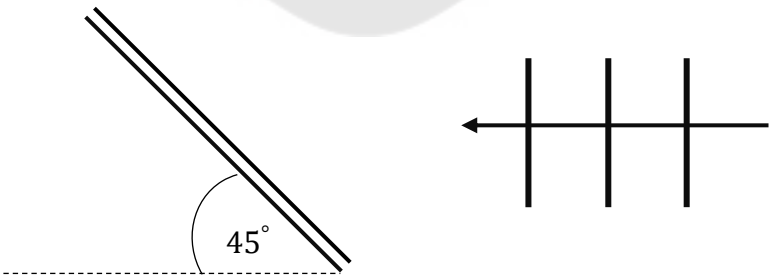
<u>ขั้นที่ 2 อธิบายปัญหาในเชิงฟิสิกส์</u>

1.5 แนวทางเดินของคลื่นวาดอย่างไร *(เป็นเส้นตรงเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตก)*

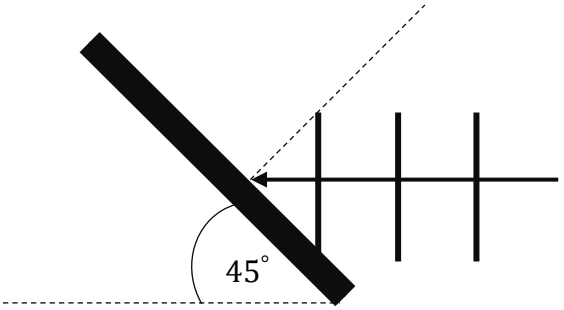
1.6 หน้าคลื่นวาดอย่างไร *(เป็นเส้นตรงตั้งฉากกับแนวทางเดินของคลื่นและมีระยะห่างเท่า ๆ กัน)*



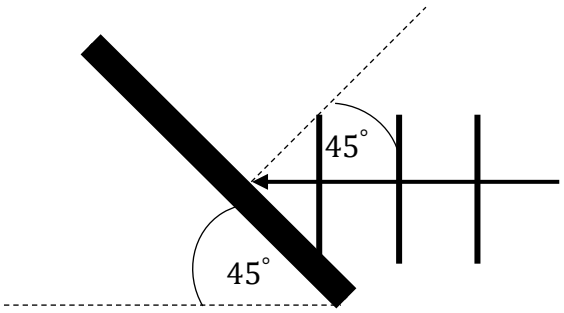
1.7 วัตถุที่คลื่นเคลื่อนที่ไปตกกระทบวาดอย่างไร *(เอียงทำมุม 45 องศากับทิศตะวันออก)*



1.8 จะทราบมุมตกกระทบได้อย่างไร *(ลากเส้นแนวฉากมาตั้งฉากกับผิวของวัตถุ)*



1.9 เมื่อพิจารณาแนวทางเดินของคลื่นหรือรังสีตกกระทบจะทำมุมเท่าใดกับเส้นแนวฉาก *(45 องศา)*



1.10 สมการที่เกี่ยวข้องกับหลักการนี้คือ *(มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน)*

<u>ขั้นที่ 3 วางแผนแก้ปัญหา</u>

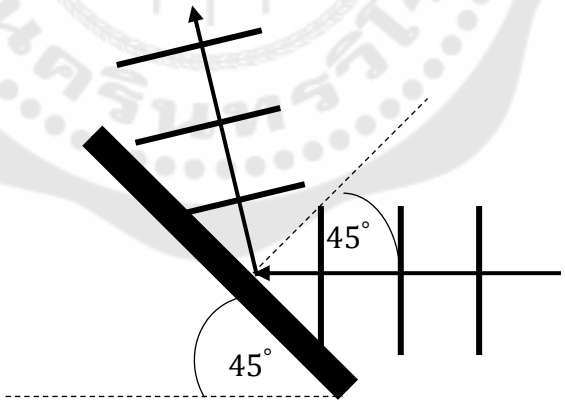
1.11 เมื่อแทนตัวแปรที่ทราบค่าลงในสมการสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้อย่างไร *(*45° *= มุมสะท้อน)*

<u>ขั้นที่ 4 ดำเนินการตามแผน</u>

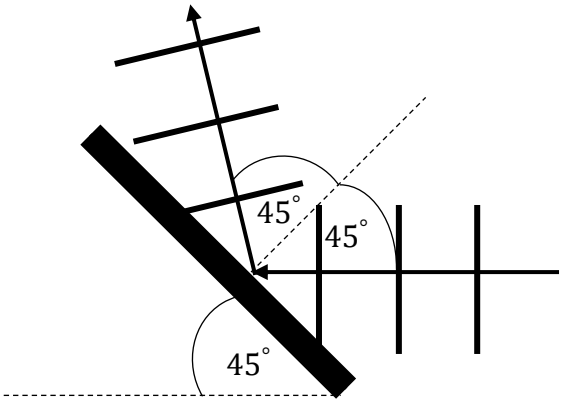
1.12 เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ตกกระทบกับวัตถุจะเกิดอะไรขึ้น *(เกิดการสะท้อนของคลื่น)*

1.13 ภาพที่เกิดขึ้นคืออะไร *(แนวทางเดินของคลื่นสะท้อน)*

1.14 แนวทางเดินของคลื่นสะท้อนวาดอย่างไร *(ทำมุมกับเส้นแนวฉากเท่ากับมุมตกกระทบ)*



1.15 มุมที่แนวทางเดินของคลื่นสะท้อนทำกับเส้นแนวฉากเป็นมุมเท่าใด (*45 องศา)*



ขั้นที่ 5 ตรวจสอบคำตอบ

1.16 คำตอบที่ได้มีความสมเหตุสมผลหรือไม่ *(สมเหตุสมผล เพราะมุมสะท้อนขนาดต้องไม่เกิน 90 องศา)*

1.17 หน่วยของคำตอบที่ได้มีความสมเหตุสมผลหรือไม่ *(สมเหตุสมผล เพราะสอดคล้องกับสิ่งที่โจทย์ถาม)*

1.18 เมื่อแทนคำตอบเข้าไปในสมการพบว่าสมการเป็นจริงหรือไม่ *(เป็นจริง)*

2. ครูนำอภิปรายการแก้โจทย์ปัญหาเรื่อง การหักเหของคลื่น โดยใช้โจทย์ปัญหาและคำถามตามขั้นตอนย่อย ดังนี้

ขั้นที่ 1 อธิบายปัญหา

2.1 จากตัวอย่างข้อ 2 ในแบบฝึกหัด เรื่อง การสะท้อนและการหักเหของคลื่น ให้นักเรียนอ่านโจทย์แล้วพิจารณาว่าเกิดอะไรขึ้นบ้าง *(คลื่นเคลื่อนที่จากน้ำลึกไปยังบริเวณน้ำตื้น แล้วเกิดการหักเห โดยรังสีตกกระทบทำมุม 30 องศากับรอยต่อตัวกลาง)*

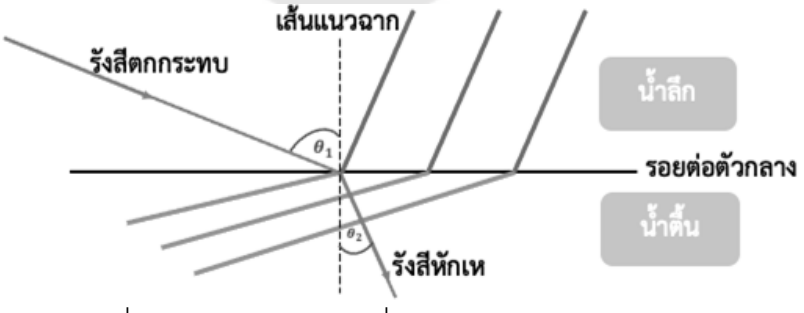
2.2 มีปริมาณใดเปลี่ยนแปลงไปบ้างจากที่โจทย์กำหนด *(ความยาวคลื่นในน้ำตื้นลดลงเป็น $\frac{1}{\sqrt{3}}$ ของความยาวคลื่นในน้ำลึก)*

2.3 หลักการที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ในโจทย์ปัญหาคือหลักการใด *(การหักเหของคลื่น)*

ขั้นที่ 2 อธิบายปัญหาในเชิงฟิสิกส์

โจทย์ต้องการทราบอะไร *(ขนาดของมุมหักเห)*

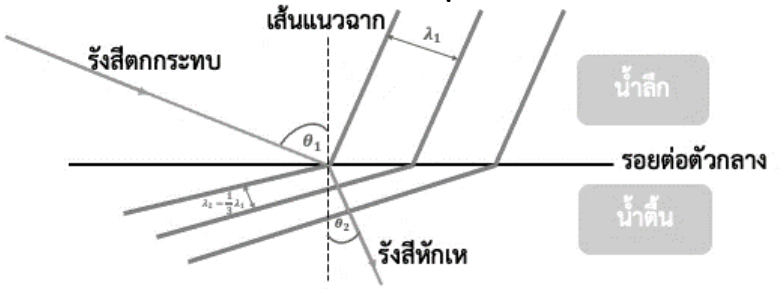
2.4 หากวาดแผนภาพแสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นน้ำจากโจทย์ ภาพต้องมีองค์ประกอบอะไรบ้าง *(หน้าคลื่นตกกระทบ แนวรอยต่อตัวกลาง รังสีตกกระทบและรังสีหักเห มุมตกกระทบและมุมหักเห)*



2.5 ระยะระหว่างหน้าคลื่นตกกระทบกับหน้าคลื่นหักเหในแผนภาพเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร *(แตกต่างกัน โดยระยะระหว่างหน้าคลื่นตกกระทบมากกว่าระยะระหว่างหน้าคลื่นหักเห)*

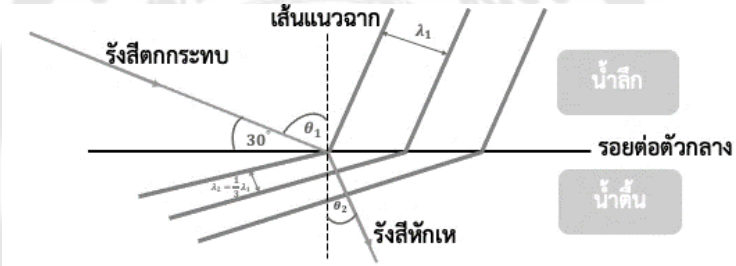
2.6 ระยะระหว่างหน้าคลื่นคือปริมาณใด *(ความยาวคลื่น)*

2.7 หากเติมความสัมพันธ์เป็นตัวแปรที่โจทย์กำหนดให้ในภาพ จะเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นอย่างไร *(ระยะระหว่างหน้าคลื่นตกกระทบหรือความยาวคลื่นตกกระทบแทนด้วย* λ_2 *ความยาวคลื่นหักเหแทนด้วย*$\lambda_2 = \frac{1}{\sqrt{3}}\lambda_1$*)*

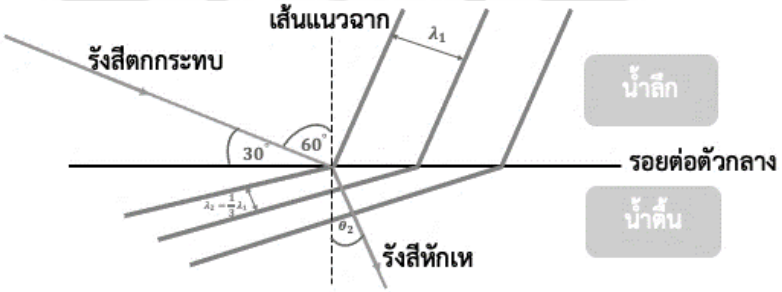


2.8 แนวทางเดินของคลื่นหรือรังสีตกกระทบต้องทำมุมกี่องศากับแนวหน้าคลื่น *(90 องศา)*

2.9 มุมที่โจทย์กำหนดให้ต้องเติมที่ตำแหน่งใดในภาพ *(อยู่ระหว่างแนวรังสีตกกระทบกับรอยต่อตัวกลาง)*



2.10 หากมุมระหว่างแนวรังสีตกกระทบกับรอยต่อตัวกลางเท่ากับ 30 องศา รังสีตกกระทบจะทำมุมเท่าใดกับเส้นแนวฉาก *(60 องศา)*



2.11 ตัวแปรที่ทราบค่าได้แก่ ($\theta_1 = 60^\circ, \lambda_2 = \frac{1}{\sqrt{3}}\lambda_1$)

2.12 โจทย์ต้องการทราบตัวแปรใด (θ_2)

2.13 สมการที่จะใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาข้อนี้คือสมการใด ($\frac{sin\,\theta_1}{sin\,\theta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$)

ขั้นที่ 3 วางแผนแก้ปัญหา

2.14 เมื่อแทนตัวแปรที่ทราบค่าลงในสมการสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้อย่างไร ($\frac{sin\,60^{\circ}}{sin\,\theta_2} = \frac{\lambda_1}{\frac{1}{\sqrt{3}}\lambda_1}$)

ขั้นที่ 4 ดำเนินการตามแผน

2.15 หากต้องการทราบ $sin\,\theta_2$ จะจัดรูปสมการใหม่ได้อย่างไร ($sin\,\theta_2 = \frac{\frac{1}{\sqrt{3}}\lambda_1\,sin\,60^{\circ}}{\lambda_1}$)

2.16 เมื่อแทนค่า $sin\,60^{\circ}$ จะสามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น ($sin\,\theta_2 = \frac{1}{\sqrt{3}}\,x\,\frac{\sqrt{3}}{2}$)

2.17 เมื่อจัดรูปใหม่จะได้ว่า $sin\,\theta_2$ มีค่าเท่ากับเท่าใด ($\frac{1}{2}$)

2.18 ถ้า $sin\,\theta_2 = \frac{1}{2}$ ดังนั้น θ_2 หรือมุมหักเหเท่ากับเท่าใด *(30 องศา)*

ขั้นที่ 5 ตรวจสอบคำตอบ

2.19 คำตอบที่ได้มีความสมเหตุสมผลหรือไม่ *(สมเหตุสมผลเพราะ เมื่อคลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่จากน้ำลึกมายังน้ำตื้นมุมหักเหต้องมีขนาดเล็กกว่ามุมตกกระทบ)*

2.20 คำตอบที่ได้มีหน่วยเหมาะสมและสอดคล้องกับสิ่งที่โจทย์ต้องการหรือไม่ *(สอดคล้องเพราะโจทย์ถามมุมในหน่วยองศา)*

2.21 คำตอบที่ได้เมื่อแทนค่ากลับเข้าไปในสมการแล้วถูกต้องหรือไม่ *(ถูกต้อง)*

3. ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดเพิ่มเติมด้วยตนเองโดยใช้ขั้นตอนย่อย 5 ขั้นตอนตามที่ครูยกตัวอย่างเบื้องต้น เป็นเวลา 10 นาที

ขั้นที่ 5 ขั้นนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน (5 นาที)

1. ครูนำอภิปรายโดยใช้คำถาม ดังนี้

1.1 นักเรียนรู้จักเหตุการณ์สึนามิในทะเลอันดามันของประเทศไทยหรือไม่ สาเหตุของการเกิดสินามิคืออะไร *(เกิดจากแผ่นดินไหวในบริเวณมหาสมุทรอินเดีย)*

1.2 เมื่อเกิดแผ่นดินไหวหรือรอยแยกใต้ทะเลคลื่นน้ำในทะเลจะเคลื่อนที่อย่างไร *(แผ่เข้าท่วมลึกเข้าไปในรอยแยกนั้น)*

1.3. เมื่อคลื่นน้ำตกกระทบรอยแยกจะเกิดอะไรขึ้น *(คลื่นน้ำจะสะท้อนออกมา)*

1.4 หากตำแหน่งที่แผ่นดินไหวเกิดที่ก้นทะเลที่ลึกมากจะทำให้ความเร็วของคลื่นน้ำเป็นอย่างไร *(ความเร็วมากขึ้น)*

1.5 ครูอธิบายเพิ่มเติมว่าคลื่นทะเลทั่ว ๆ ไปมีความเร็วประมาณ 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่คลื่นสึนามิอาจมีความเร็วได้ถึง 950 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งจะสามารถเดินทางข้ามฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิกด้วยเวลาน้อยกว่า 24 ชั่วโมง

1.6 เมื่อคลื่นสึนามิเดินทางมาถึงชายฝั่งจะมีปริมาณใดเปลี่ยนแปลงไปบ้าง *(ความเร็วและความยาวคลื่นลดลง)*

1.7 หากคลื่นสึนามิเกิดการสูญเสียพลังงานน้อยมากหรือถือว่าพลังงานรวมคงที่ พลังงานจะถูกถ่ายเทไปยังส่วนใด *(พลังงานจะไปดันให้คลื่นสูงขึ้น)*

1.8 ครูอธิบายเพิ่มเติมว่า เมื่อคลื่นน้ำเคลื่อนที่ผ่านบริเวณน้ำลึกมายังน้ำตื้น ความเร็วจะลดลง รวมถึงความยาวคลื่นด้วย ผลก็คือน้ำทะเลจะถูกอัดเข้ามา ทำให้คลื่นสูงขึ้น ดังนั้นตอนพัดเข้าหาฝั่งก็ขึ้นอยู่กับสภาพชายฝั่งด้วย หากชายฝั่งแคบ คลื่นสึนามิก็จะมีความสูงได้หลายเมตรเลยทีเดียว

5. สื่อการเรียนรู้/แหล่งการเรียนรู้

1) แบบบันทึกกิจกรรม 8 ชุด

2) สื่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง Wave Addition ที่มา https://www.physicsclassroom.com/Physics-Interactives/Waves-and-Sound/Wave-Addition/Wave-Addition-Interactive

3) ชุดทดลองถาดคลื่น 8 ชุด

4) เชือกจำนวน 8 เส้น

6. การวัดและประเมินผลการเรียนรู้

เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้ การวัดและประเมินผลการเรียนรู้ในคาบนี้ มีดังนี้

จุดประสงค์การเรียนรู้ที่ต้องการวัดประเมินการเรียนรู้	วิธีการวัดประเมินการเรียนรู้	เครื่องมือ	เกณฑ์การวัดประเมินการเรียนรู้
1.อธิบายการแผ่ของคลื่นโดยใช้หลักการของฮอยเกนส์ 2. อธิบายการรวมกันของคลื่นโดยอาศัยการซ้อนทับ 3. อธิบายการสะท้อนและการหักเหของคลื่นผิวน้ำได้ 4. ตั้งคำถามสำคัญในการทดลองได้ 5. ออกแบบวิธีการทดลอง และตารางบันทึกผลการทดลองได้ 6. วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลองจากข้อมูลได้ 7. อภิปรายร่วมกันและนำเสนอผลการทดลองได้ 8. แสดงการคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับหลักการซ้อนทับของคลื่น การสะท้อนและการหักเหของคลื่นผิวน้ำได้	1. การตอบคำถามในแบบบันทึกกิจกรรม 2. การอภิปรายและตอบคำถามในชั้นเรียน	แบบประเมินแบบบันทึกกิจกรรม เรื่อง หลักการที่เกี่ยวกับคลื่น การสะท้อนและการหักเหของคลื่น	ระดับดี: คะแนนรวมมีค่าตั้งแต่ 14 คะแนน (ร้อยละ 75) ระดับปานกลาง: คะแนนรวมมีค่าตั้งแต่ 9 คะแนน (ร้อยละ 50) แต่ไม่ถึง 14 คะแนน (ร้อยละ 75) ระดับควรปรับปรุง: คะแนนรวมมีค่า**ไม่ถึง** 9 คะแนน (ร้อยละ 50)

1. ทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างสร้างสรรค์ 2. สื่อสารเพื่อนำเสนอความรู้จากการทดลองได้	1. การมีส่วนร่วมในการสื่อสารในชั้นเรียน 2. ความร่วมมือในการทำกิจกรรมการเรียนรู้	1. แบบประเมินการสื่อสาร 2. แบบประเมินการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์	ระดับดี: คะแนนรวมมีค่าตั้งแต่ 4 คะแนน (ร้อยละ 75) ระดับปานกลาง: คะแนนรวมมีค่าตั้งแต่ 3 คะแนน (ร้อยละ 50) แต่ไม่ถึง 4 คะแนน (ร้อยละ 75) ระดับควรปรับปรุง: คะแนนรวมมีค่า**ไม่ถึง** 3 คะแนน (ร้อยละ 50)

เครื่องมือในการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ในคาบนี้ มีดังนี้

6.1 แบบประเมินใบงาน

ประเด็นการประเมิน	ดี (3)	พอใช้ (2)	ควรปรับปรุง (1)
1. ความเหมาะสมของคำถามสำคัญในการทดลองของกลุ่ม	คำถามสำคัญสามารถสำรวจตรวจสอบทางวิทยาศาสตร์ได้ และมีความชัดเจน	คำถามสำคัญสามารถสำรวจตรวจสอบทางวิทยาศาสตร์ได้ แต่มีความไม่ชัดเจน	คำถามสำคัญ**ไม่**สามารถสำรวจตรวจสอบทางวิทยาศาสตร์ได้
2. การออกแบบวิธีการทดลอง	วิธีการออกแบบการทดลองสามารถดำเนินการได้จริง และนำไปสู่คำตอบของการทดลองได้จริง	วิธีการออกแบบการทดลองสามารถดำเนินการได้จริง แต่**ไม่**นำไปสู่คำตอบของการทดลองได้จริง	วิธีการออกแบบการทดลอง**ไม่**สามารถดำเนินการได้จริง

ประเด็นการประเมิน	ดี (3)	พอใช้ (2)	ควรปรับปรุง (1)
3. การออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง	ตารางบันทึกผลการทดลอง มีการระบุปริมาณที่เกี่ยวข้องกับคลื่นและลักษณะของคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไป	ตารางบันทึกผลการทดลอง **ไม่มี**การระบุปริมาณที่เกี่ยวข้องกับคลื่นหรือลักษณะของคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างใดอย่างหนึ่ง	ตารางบันทึกผลการทดลอง **ไม่มี**การระบุปริมาณที่เกี่ยวข้องกับคลื่นและลักษณะของคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไป
4. การวิเคราะห์ผลการทดลองจากภาพ	สร้างและตีความหมายผลการทดลองจากภาพได้อย่างถูกต้อง	สร้างภาพจากการทดลองได้ แต่ตีความหมายผลการทดลองจากภาพ**ไม่**ถูกต้อง	สร้างภาพจากการทดลองได้ไม่ถูกต้อง
5. การอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของคลื่นผิวน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อตกกระทบสิ่งกีดขวางและเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่แตกต่างกัน	บอกอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างหน้าคลื่น ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น มุมตกกระทบ มุมสะท้อน และมุมหักเหได้ถูกต้อง และชัดเจน	บอกอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างหน้าคลื่น ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น มุมตกกระทบ มุมสะท้อน และมุมหักเหได้ถูกต้อง แต่**ไม่**ชัดเจน	บอกอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างหน้าคลื่น ทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น มุมตกกระทบ มุมสะท้อน และมุมหักเห **ไม่**ถูกต้อง
6. การวาดภาพ และคำนวณเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบและมุมสะท้อน และสมการการหักเหของคลื่น	วาดภาพ และคำนวณเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบและมุมสะท้อน และสมการการหักเหของคลื่นได้ถูกต้องตั้งแต่ร้อยละ 75 ของประเด็นคำถาม	วาดภาพ และคำนวณเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบและมุมสะท้อน และสมการการหักเหของคลื่นได้ถูกต้องตั้งแต่ร้อยละ 50 แต่ไม่ถึงร้อยละ 75 ของ	วาดภาพและคำนวณเกี่ยวกับมุมตกกระทบและมุมสะท้อน และสมการการหักเหของคลื่นได้ถูกต้อง**ไม่ถึง**ร้อยละ 50

ประเด็นการประเมิน	ดี (3)	พอใช้ (2)	ควรปรับปรุง (1)
	ทั้งหมด	ประเด็นคำถามทั้งหมด	

เกณฑ์การประเมินคะแนนรวมแบบประเมินใบงาน

ระดับดี: คะแนนรวมมีค่าตั้งแต่ 14 คะแนน (ร้อยละ 75)

ระดับปานกลาง: คะแนนรวมมีค่าตั้งแต่ 9 คะแนน (ร้อยละ 50) แต่ไม่ถึง 14 คะแนน (ร้อยละ 75)

ระดับควรปรับปรุง: คะแนนรวมมีค่า**ไม่ถึง** 9 คะแนน (ร้อยละ 50)

6.2 แบบประเมินการสื่อสาร

ประเด็นการประเมิน	ดี (3)	พอใช้ (2)	ควรปรับปรุง (1)
1. การมีส่วนร่วมในการสื่อสาร	นักเรียนมีส่วนร่วมในการสื่อสารในชั้นเรียนมากกว่า 1 ครั้ง	นักเรียนมีส่วนร่วมในการสื่อสารในชั้นเรียน 1 ครั้ง	นักเรียน**ไม่มี**ส่วนร่วมในการสื่อสารในชั้นเรียน
2. การสื่อสารเพื่อแสดงความเข้าใจ	นักเรียนสามารถสื่อสารได้เข้าใจง่ายภายใน 1 ครั้ง	นักเรียนสามารถสื่อสารได้เข้าใจ แต่ต้องมีการอธิบายขยายความเพิ่มเติม 1 ครั้ง	นักเรียนสามารถสื่อสารได้เข้าใจ แต่ต้องมีการอธิบายขยายความเพิ่มเติมมากกว่า 1 ครั้ง หรือนักเรียนไม่มีส่วนร่วมในการสื่อสารในชั้นเรียน

เกณฑ์การประเมินคะแนนรวมแบบประเมินการสื่อสาร

ระดับดี: คะแนนรวมมีค่าตั้งแต่ 4 คะแนน (ร้อยละ 75)

ระดับปานกลาง: คะแนนรวมมีค่าตั้งแต่ 3 คะแนน (ร้อยละ 50) แต่ไม่ถึง 4 คะแนน (ร้อยละ 75)

ระดับควรปรับปรุง: คะแนนรวมมีค่า**ไม่ถึง** 3 คะแนน (ร้อยละ 50)

6.4 แบบประเมินการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์

ประเด็นการประเมิน	**ดี** (3)	**พอใช้** (2)	**ควรปรับปรุง** (1)
1. ความร่วมมือในการทำกิจกรรมการเรียนรู้	นักเรียนภายในกลุ่มจำนวนตั้งแต่ 3 คน จาก 5 คน มีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมการเรียนรู้	นักเรียนในกลุ่ม 2 คน จาก 4 คน มีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมการเรียนรู้	นักเรียนในกลุ่ม 1 คน จาก 4 คน หรือ **ไม่มี** นักเรียนในกลุ่มมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมการเรียนรู้

เกณฑ์การประเมินคะแนนรวมแบบประเมินการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์

ระดับดี: คะแนนรวมมีค่าตั้งแต่ 2.5 คะแนน (ร้อยละ 75)

ระดับปานกลาง: คะแนนรวมมีค่าตั้งแต่ 1.5 คะแนน (ร้อยละ 50) แต่ไม่ถึง 2.5 คะแนน (ร้อยละ 75)

ระดับควรปรับปรุง: คะแนนรวมมีค่า**ไม่ถึง** 1.5 คะแนน (ร้อยละ 50)

7. บันทึกหลังการจัดการเรียนรู้

7.1 ผลการจัดการเรียนรู้

_____

_____

7.2 ปัญหาและอุปสรรค

_____

_____

7.3 แนวทางแก้ไข

_____

_____

ลงชื่อ _____ผู้สอน

(นางสาวณัฐพร ทองพันธ์)

เฉลย แบบบันทึกกิจกรรม เรื่อง การสะท้อนและการหักเหของคลื่น

กลุ่มที่____ชื่อกลุ่ม_____ ชั้น_____

สมาชิก 1) ชื่อ _____เลขที่_____ 2) ชื่อ _____เลขที่_____

3) ชื่อ _____เลขที่_____ 4) ชื่อ _____เลขที่_____

5) ชื่อ _____เลขที่_____

แบบบันทึกกิจกรรม ตอนที่ 1 หลักการที่เกี่ยวกับคลื่น

เมื่อนักเรียนรบกวนผิวน้ำ 1 ครั้งและรบกวนผิวน้ำอย่างต่อเนื่อง นักเรียนคิดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร และเมื่อคลื่น 2 คลื่น เคลื่อนที่มาซ้อนทับกันในตัวกลางหนึ่ง ๆ นักเรียนคิดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ให้นักเรียนทำการทดลองเพื่อตอบคำถามข้างต้น

คำถามก่อนการทดลอง

1. เมื่อนักเรียนรบกวนผิวน้ำ 1 ครั้ง คลื่นที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ อย่างไร

เกิดคลื่นแผ่ออกจากตำแหน่งที่ถูกรบกวนไปโดยรอบ

2. เมื่อนักเรียนรบกวนผิวน้ำอย่างต่อเนื่อง คลื่นที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ อย่างไร

เกิดคลื่นแผ่ออกจากตำแหน่งที่ถูกรบกวนไปโดยรอบอย่างต่อเนื่อง

3. เมื่อนักเรียนสร้างคลื่น 2 คลื่น ให้เคลื่อนที่มาซ้อนทับกันในตัวกลางหนึ่ง ๆ คลื่นที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ อย่างไร

คลื่นรวมจะมีการกระจัดของตัวกลางที่แต่ละตำแหน่ง ณ เวลาหนึ่ง ๆ เท่ากับผลบวกของการกระจัดของตัวกลางที่เกิดจากแต่ละคลื่นที่ตำแหน่งและเวลานั้น ๆ

4. กลุ่มของนักเรียนมีคำถามสำคัญในการทดลองเป็นอย่างไร

1) เมื่อรบกวนผิวน้ำ 1 ครั้งและรบกวนผิวน้ำอย่างต่อเนื่อง จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

2) เมื่อคลื่น 2 คลื่น เคลื่อนที่มาซ้อนทับกันในตัวกลางหนึ่ง ๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

5. กลุ่มของนักเรียนมีสมมติฐานต่อการทดลองเป็นอย่างไร

1) เมื่อรบกวนผิวน้ำ 1 ครั้งและรบกวนผิวน้ำอย่างต่อเนื่อง จะเกิดคลื่นแผ่ออกจากตำแหน่งที่ถูกรบกวนไปโดยรอบ

2) เมื่อคลื่น 2 คลื่น เคลื่อนที่มาซ้อนทับกันในตัวกลางหนึ่ง ๆ คลื่นรวมจะมีการกระจัดของตัวกลางที่แต่ละตำแหน่ง ณ เวลาหนึ่ง ๆ เท่ากับผลบวกของการกระจัดของตัวกลางที่เกิดจากแต่ละคลื่นที่ตำแหน่งและเวลานั้น ๆ

อุปกรณ์ในการทดลอง

1) สื่อการทดลองเสมือนจริง เรื่อง Wave Addition ที่มา https://www.physicsclassroom.com/Physics-Interactives/Waves-and-Sound/Wave-Addition/Wave-Addition-Interactive

2) ชุดถาดคลื่นน้ำ ดินสอ ไม้บรรทัด และกระดาษสีขาว กลุ่มละ 1 ชุด

วิธีการทดลอง

ให้นักเรียนปรึกษากันในกลุ่มเพื่อออกแบบวิธีการทดลองของกลุ่ม แล้วเขียนวิธีการทดลองของกลุ่มลงในพื้นที่ด้านล่าง

1) ใช้ปลายดินสอเคาะลงบนผิวน้ำ 1 ครั้ง สังเกตภาพที่เกิดขึ้นบนกระดาษขาวที่วางใต้ถาดคลื่น

2) ใช้ไม้บรรทัดเคาะลงบนผิวน้ำ 1 ครั้ง สังเกตภาพที่เกิดขึ้นบนกระดาษขาวที่วางใต้ถาดคลื่น

3) ใช้แหล่งกำเนิดคลื่นเป็นปุ่มกลมบนถาดคลื่น สังเกตภาพที่เกิดขึ้นบนกระดาษขาวที่วางใต้ถาดคลื่น

4) ใช้คานบนถาดคลื่นเป็นแหล่งกำเนิด สังเกตภาพที่เกิดขึ้นบนกระดาษขาวที่วางใต้ถาดคลื่น

5) กำหนดปริมาณที่เกี่ยวข้องกับคลื่นเพื่อสร้างคลื่นในสื่อการทดลองเสมือนจริง กำหนดคลื่น 2 ขบวนให้มีแอมพลิจูดแตกต่างกัน และเคลื่อนที่มาซ้อนทับกัน สังเกตภาพที่เกิดขึ้น

การออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง

ให้นักเรียนบันทึกผลการทดลองของกลุ่มลงในพื้นที่ด้านล่าง โดยเติมคำตอบต่อไปนี้

1. ภาพรวมคร่าว ๆ ของการทดลองเป็นอย่างไร

เมื่อเคาะผิวน้ำ จะเกิดคลื่นแผ่ออกไปโดยรอบ เมื่อคลื่นสองขบวนเคลื่อนท่าซ้อนทับกันจะเกิดการรวมกันของคลื่น

2. จากการทดลองดังกล่าว ให้นักเรียนระบุข้อมูลต่อไปนี้อย่างละเอียด

2.1 นักเรียนเห็นวัตถุอะไรบ้างจากการทำการทดลอง

ถาดคลื่น ดินสอ ไม้บรรทัด ภาพบนกระดาษสีขาว การรวมกันของคลื่นสองขบวน

2.2 นักเรียนเห็นปริมาณของคลื่นที่เกิดขึ้นหรือเปลี่ยนแปลงไปเท่าใด

เมื่อคลื่น 2 ขบวนที่มีแอมพลิจูดต่างกัน เคลื่อนที่มาซ้อนทับกัน ณ ตำแหน่งที่คลื่นมาพบกัน ส่วนที่นูนกับส่วนที่นูนหรือส่วนที่เว้ากับส่วนที่เว้าของคลื่นมาซ้อนทับกัน เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยคลื่นรวมจะมีแอมพลิจูดเท่ากับผลรวมของแอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองขบวน แต่ถ้าหากเป็นตำแหน่งที่

ส่วนที่นูนมาซ้อนทับกับส่วนที่เว้า คลื่นรวมจะมีแอมพลิจูดเท่ากับผลต่างของแอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองขบวน

2.3 นักเรียนเห็นตำแหน่งของคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปที่ตำแหน่งใด

ตำแหน่งที่เกิดการรบกวนผิวน้ำ และตำแหน่งที่คลื่นเคลื่อนที่มาซ้อนทับกัน

2.4 นักเรียนเห็นเหตุการณ์ของคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปเกิดขึ้นเมื่อไหร่

เมื่อรบกวนผิวน้ำ และเมื่อคลื่นสองขบวนมาซ้อนทับกัน

2.5 นักเรียนเห็นผลกระทบและความสัมพันธ์ระหว่างเหตุการณ์หรือตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคลื่นอย่างไร

เมื่อผิวน้ำถูกรบกวนจะเกิดคลื่นแผ่ออกไปโดยรอบ และเมื่อคลื่นเคลื่อนที่มาซ้อนทับกันจะเกิดการรวมกันของคลื่น

2.6 นักเรียนคิดว่าเหตุการณ์เหล่านั้นที่เกิดขึ้นเป็นเพราะอะไร

เมื่อรบกวนผิวน้ำ ทำให้เกิดคลื่นแผ่ออกไป โดยทุก ๆ จุดบนหน้าคลื่นเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นลูกใหม่ทำให้เกิดคลื่นแผ่ออกไปเรื่อย ๆ และจากหลักการของการซ้อนทับกันของคลื่น เมื่อคลื่น 2 คลื่นมาซ้อนทับกัน คลื่นรวมจะมีการกระจัดของตัวกลางที่แต่ละตำแหน่ง ณ เวลาหนึ่ง ๆ เท่ากับผลบวกของการกระจัดของตัวกลางที่เกิดจากแต่ละคลื่นที่ตำแหน่งและเวลานั้น ๆ และเมื่อซ้อนทับแล้วคลื่นแต่ละขบวนก็จะเคลื่อนที่ผ่านกันไปโดยยังคงรูปร่างและทิศการเคลื่อนที่ของแต่ละคลื่นเอาไว้

3. ให้นักเรียนลองเปรียบเทียบข้อมูลที่รวบรวมได้ แล้วระบุว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นตรงกับตัวเลือกใด ให้ทำเครื่องหมายถูกในช่องนั้น

3.1 ภาพรวมของข้อมูล	ข้อมูลแบบง่าย ๆ	/
	ข้อมูลที่มีรายละเอียด	
3.2 ประเภทของข้อมูล	ข้อมูลเชิงปริมาณ	
	ข้อมูลเชิงคุณภาพ	/
3.3 ลักษณะของข้อมูล	ข้อมูลเป็นภาพรวมหรือภาพกว้าง ๆ	/
	ข้อมูลเป็นลำดับขั้นตอน	
3.4 รูปแบบของข้อมูล	ข้อมูลมีความเฉพาะ	
	ข้อมูลมีการเปรียบเทียบ	/
3.5 ความคงที่ของข้อมูล	ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์	/
	ข้อมูลมีความคงที่ตลอดเวลา	

ให้นักเรียนปรึกษากันในกลุ่มเพื่อออกแบบตารางบันทึกผลการทดลองของกลุ่ม แล้วเขียนตารางบันทึกผลการทดลองของกลุ่มลงในพื้นที่ด้านล่าง พร้อมทั้งตั้งชื่อตาราง

ตารางแสดงการเปลี่ยนแปลงของผิวน้ำเมื่อถูกรบกวนด้วยสถานการณ์ต่าง ๆ

สถานการณ์	***การเปลี่ยนแปลงของผิวน้ำ***
ใช้ปลายดินสอเคาะลงบนผิวน้ำ 1 ครั้ง	*เกิดภาพแถบวงกลมสีขาวบนกระดาษขาวใต้ถาดคลื่นแถบเดียว แผ่ออกจากภาพของตำแหน่งที่จุ่มปลายดินสอ เสมือนกับภาพที่จุ่มมีปลายดินสอเป็นจุดศูนย์กลางของวงกลม*
ใช้ไม้บรรทัดเคาะลงบนผิวน้ำ 1 ครั้ง	*เมื่อใช้ไม้บรรทัดจุ่มที่ผิวน้ำ ภาพที่เกิดเป็นแถบเส้นตรงสีขาวเคลื่อนที่ออกจากภาพของตำแหน่งที่จุ่มไม้บรรทัดออกไปทั้งสองด้าน ด้านละแถบ*
ใช้แหล่งกำเนิดคลื่นของถาดคลื่นเป็นปุ่มกลมสั่นผิวน้ำอย่างต่อเนื่อง	*เกิดภาพแถบวงกลมสีดำสลับแถบวงกลมสีขาวแผ่ออกจากภาพปุ่มกำเนิดคลื่นอย่างต่อเนื่อง โดยระยะห่างระหว่างแถบจะพอ ๆ กัน*
ใช้แหล่งกำเนิดคลื่นของถาดคลื่นเป็นคานสั่นผิวน้ำอย่างต่อเนื่อง	*เกิดแถบตรงสีดำสลับแถบตรงสีขาวแผ่ออกไปทั้งสองด้านของคาน โดยมีระยะห่างระหว่างแถบพอ ๆ กัน*

ตารางแสดงการเปลี่ยนแปลงของผิวน้ำเมื่อคลื่นเคลื่อนที่มาซ้อนทับกัน

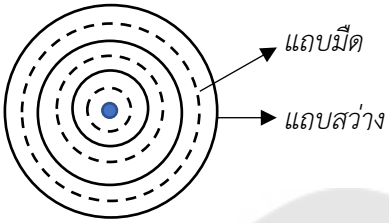
สถานการณ์	***การเปลี่ยนแปลงของผิวน้ำ***
ตำแหน่งที่คลื่นมาพบกัน เป็นตำแหน่งที่สันคลื่นมาซ้อนทับกับสันคลื่น	*คลื่นรวมจะมีแอมพลิจูดเท่ากับผลรวมของแอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองขบวน*
ตำแหน่งที่คลื่นมาพบกัน เป็นตำแหน่งที่ท้องคลื่นมาซ้อนทับกับท้องคลื่น	*คลื่นรวมจะมีแอมพลิจูดเท่ากับผลรวมของแอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองขบวน*
ตำแหน่งที่คลื่นมาพบกัน เป็นตำแหน่งที่สันคลื่นมาซ้อนทับกับท้องคลื่น	*คลื่นรวมจะมีแอมพลิจูดเท่ากับผลต่างของแอมพลิจูดของแต่ละคลื่นทั้งสองขบวน*

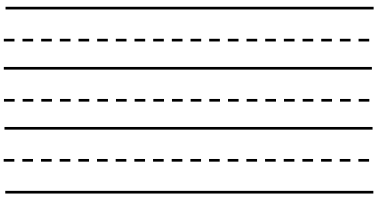
การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ภาพ

ให้นักเรียนนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาแสดงเป็นภาพลงในพื้นที่ด้านล่าง

สถานการณ์เมื่อรบกวนคลื่นผิวน้ำ

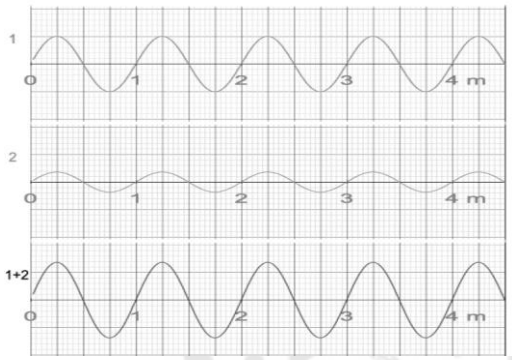
คลื่นต่อเนื่องที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแบบจุด คลื่นต่อเนื่องที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแบบคาน

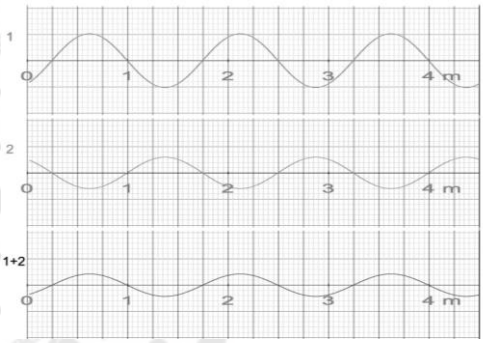




สถานการณ์เมื่อคลื่น 2 คลื่นที่มีแอมพลิจูดไม่เท่ากันเคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้ามกัน

รวมแบบเสริมกัน ***รวมแบบหักล้างกัน***





คำถามหลังการทดลอง

1. เมื่อใช้ปลายดินสอเคาะลงบนผิวน้ำ 1 ครั้ง ภาพที่เกิดขึ้นบนกระดาษขาวเป็นอย่างไร

   เมื่อใช้ปลายดินสอจุ่มผิวน้ำ 1 ครั้ง เกิดภาพแถบวงกลมสีขาวบนกระดาษขาวใต้ถาดคลื่นแถบเดียว แผ่ออกจากภาพของตำแหน่งที่จุ่มปลายดินสอ เสมือนกับภาพที่จุ่มมีปลายดินสอเป็นจุดศูนย์กลางของวงกลม

2. เมื่อใช้ไม้บรรทัดเคาะลงบนผิวน้ำ 1 ครั้ง ภาพที่เกิดขึ้นบนกระดาษขาวเป็นอย่างไร

   เมื่อใช้ไม้บรรทัดจุ่มที่ผิวน้ำ ภาพที่เกิดเป็นแถบเส้นตรงสีขาว เคลื่อนที่ออกจากภาพของตำแหน่งที่จุ่มไม้บรรทัดออกไปทั้งสองด้าน ด้านละแถบ

3. เมื่อรบกวนผิวน้ำอย่างต่อเนื่อง เกิดภาพบนกระดาษสีขาวหรือไม่ แล้วเคลื่อนที่อย่างไร

   หากแหล่งกำเนิดคลื่นเป็นปุ่มกลม จะเกิดภาพแถบวงกลมสีดำสลับแถบวงกลมสีขาวแผ่ออกจากภาพปุ่มกำเนิดคลื่นอย่างต่อเนื่อง โดยระยะห่างระหว่างแถบจะพอ ๆ กัน เมื่อใช้คานเป็นแหล่งกำเนิด สั่นผิวน้ำอย่างต่อเนื่อง จะเกิดแถบตรงสีดำสลับแถบตรงสีขาวแผ่ออกไปทั้งสองด้านของคาน โดยมีระยะห่างระหว่างแถบพอ ๆ กัน

4. หากพิจารณาทางด้านข้าง เมื่อเคาะผิวน้ำให้สั่นเป็นจังหวะสม่ำเสมอจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

   มีส่วนที่นูนขึ้นและเว้าลงสลับกันไป

5. เมื่อคลื่นดล 2 ขบวนที่มีแอมพลิจูดต่างกัน เคลื่อนที่สวนทางกัน หาก ณ ตำแหน่งที่คลื่นมาพบกัน เป็นตำแหน่งที่สันคลื่นมาซ้อนทับกับสันคลื่น หรือท้องคลื่นมาซ้อนทับกับท้องคลื่น จะเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร *เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยคลื่นรวมจะมีแอมพลิจูดเท่ากับผลรวมของแอมพลิจูดของคลื่นทั้งสองขบวน*

6. เมื่อคลื่นดล 2 ขบวนที่มีแอมพลิจูดต่างกัน เคลื่อนที่สวนทางกัน หาก ณ ตำแหน่งที่คลื่นมาพบกัน เป็นตำแหน่งที่สันคลื่นมาซ้อนทับกับท้องคลื่น จะเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร

   เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยคลื่นรวมจะมีแอมพลิจูดเท่ากับผลต่างของแอมพลิจูดของแต่ละคลื่นทั้งสองขบวน

7. ถ้าคลื่น 2 ขบวนเคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้ามกัน เมื่อซ้อนทับกันแล้ว คลื่นแต่ละขบวนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร

   คลื่นแต่ละขบวนจะเคลื่อนที่ผ่านกันไป โดยยังคงรูปร่างและทิศทางการเคลื่อนที่ของแต่ละคลื่นไว้เหมือนเดิม

ตอนที่ 2 การสะท้อนของคลื่นในเส้นเชือก

เมื่อนักเรียนทำให้คลื่นเคลื่อนที่ไปกระทบจุดที่ปลายเชือกถูกยึดตรึงแน่นและปลายเชือกที่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้อย่างอิสระ นักเรียนคิดว่าคลื่นในเส้นเชือกจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ให้นักเรียนทำการทดลองเพื่อตอบคำถามข้างต้น

คำถามก่อนการทดลอง

1. เมื่อนักเรียนสร้างคลื่นให้เคลื่อนที่บนเชือก แล้วไปตกกระทบจุดที่มีปลายตรึง คลื่นที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ อย่างไร

เกิดคลื่นสะท้อนกลับมา โดยคลื่นสะท้อนมีเฟสตรงข้ามกับคลื่นตกกระทบ

2. เมื่อนักเรียนสร้างคลื่นให้เคลื่อนที่บนเชือก แล้วไปตกกระทบปลายเชือกที่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้อย่างอิสระ คลื่นที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ อย่างไร

เกิดคลื่นสะท้อนกลับมา โดยคลื่นสะท้อนมีเฟสเดียวกันกับคลื่นตกกระทบ

3. กลุ่มของนักเรียนมีคำถามสำคัญในการทดลองเป็นอย่างไร

คลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนในเส้นเชือกจะมีลักษณะอย่างไรเมื่อเคลื่อนที่กระทบกับเชือกปลายยึดตรึงแน่นและปลายเชือกที่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้อย่างอิสระ

4. กลุ่มของนักเรียนมีสมมติฐานต่อการทดลองเป็นอย่างไร

คลื่นบนเส้นเชือกเมื่อเคลื่อนที่กระทบปลายเชือกที่ยึดตรึงแน่นจะเกิดการสะท้อนออกมา โดยคลื่นสะท้อนมีเฟสตรงข้ามกับคลื่นตกกระทบ และคลื่นบนเส้นเชือกเมื่อเคลื่อนที่กระทบปลายเชือกที่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้อย่างอิสระจะเกิดการสะท้อนออกมา โดยคลื่นสะท้อนมีเฟสเดียวกันกับคลื่นตกกระทบ

5. ตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุม ในการทดลองได้แก่อะไรบ้าง

ตัวแปรต้น คือ ลักษณะของปลายเชือกที่คลื่นไปตกกระทบ

ตัวแปรตาม คือ ลักษณะของคลื่นสะท้อน

ตัวแปรควบคุม ได้แก่ เส้นเชือก

อุปกรณ์ในการทดลอง

1) เชือก กลุ่มละ 1 เส้น

วิธีการทดลอง

ให้นักเรียนปรึกษากันในกลุ่มเพื่อออกแบบวิธีการทดลองของกลุ่ม แล้วเขียนวิธีการทดลองของกลุ่มลงในพื้นที่ด้านล่าง

1. มัดเชือกด้านหนึ่งผูกติดไว้กับไม้กวาด หรือขาโต๊ะอย่างตรึงแน่น

2. สะบัดปลายเชือกให้เกิดคลื่นดลบนเส้นเชือก แล้วสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

3. มัดเชือกด้านหนึ่งผูกติดไว้กับไม้กวาด หรือขาโต๊ะอย่างหลวม ๆ ให้ปลายเชือกเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ

4. สะบัดปลายเชือกให้เกิดคลื่นดลบนเส้นเชือก แล้วสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

การออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง

ให้นักเรียนบันทึกผลการทดลองของกลุ่มลงในพื้นที่ด้านล่าง โดยเติมคำตอบต่อไปนี้

1. ภาพรวมคร่าว ๆ ของการทดลองเป็นอย่างไร

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่กระทบปลายเชือกที่แตกต่างกัน ทำให้คลื่นสะท้อนแตกต่างกัน

2. จากการทดลองดังกล่าว ให้นักเรียนระบุข้อมูลต่อไปนี้อย่างละเอียด

2.1 นักเรียนเห็นวัตถุอะไรบ้างจากการทำการทดลอง

เชือก คลื่นในเส้นเชือก ไม้กวาด หรือขาโต๊ะ

2.2 นักเรียนเห็นปริมาณของคลื่นที่เกิดขึ้นหรือเปลี่ยนแปลงไปเท่าใด

เฟสของคลื่นเปลี่ยนเมื่อกระทบกับปลายตรึง โดยเฟสเปลี่ยนไป 180 องศา

2.3 นักเรียนเห็นตำแหน่งของคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปที่ตำแหน่งใด

ตำแหน่งปลายเชือกที่ถูกมัดอย่างตรึงแน่น และปลายที่ผูกไว้อย่างหลวม ๆ แบบอิสระ

2.4 นักเรียนเห็นเหตุการณ์ของคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปเกิดขึ้นเมื่อไหร่

เปลี่ยนไปเมื่อกระทบกับปลายเชือกที่ถูกมัดอย่างตรึงแน่น และปลายที่ผูกไว้อย่างหลวม ๆ แบบอิสระ

2.5 นักเรียนเห็นผลกระทบและความสัมพันธ์ระหว่างเหตุการณ์หรือตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคลื่นอย่างไร

เมื่อคลื่นในเส้นเชือกตกกระทบปลายเชือกที่มีลักษณะปลายตรึงแน่นทำให้คลื่นสะท้อนมีเฟสตรงข้ามกับคลื่นตกกระทบ แต่ถ้าปลายเชือกที่ตกกระทบเป็นปลายอิสระคลื่นสะท้อนจะไม่เปลี่ยนเฟส

2.6 นักเรียนคิดว่าเหตุการณ์เหล่านั้นที่เกิดขึ้นเป็นเพราะอะไร

คลื่นมีสมบัติการสะท้อนของคลื่น และแรงที่คลื่นในเส้นเชือกทำกับปลายตรึงเท่ากับแรงที่ปลายตรึงกระทำกับเส้นเชือก จึงทำให้คลื่นเกิดการเปลี่ยนเฟส

3. ให้นักเรียนลองปรียบเทียบข้อมูลที่รวบรวมได้ แล้วระบุว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นตรงกับตัวเลือกใด ให้ทำเครื่องหมายถูกในช่องนั้น

3.1 ภาพรวมของข้อมูล	ข้อมูลแบบง่าย ๆ	/
	ข้อมูลที่มีรายละเอียด	
3.2 ประเภทของข้อมูล	ข้อมูลเชิงปริมาณ	
	ข้อมูลเชิงคุณภาพ	/
3.3 ลักษณะของข้อมูล	ข้อมูลเป็นภาพรวมหรือภาพกว้าง ๆ	/
	ข้อมูลเป็นลำดับขั้นตอน	
3.4 รูปแบบของข้อมูล	ข้อมูลมีความเฉพาะ	
	ข้อมูลมีการเปรียบเทียบ	/
3.5 ความคงที่ของข้อมูล	ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์	/
	ข้อมูลมีความคงที่ตลอดเวลา	

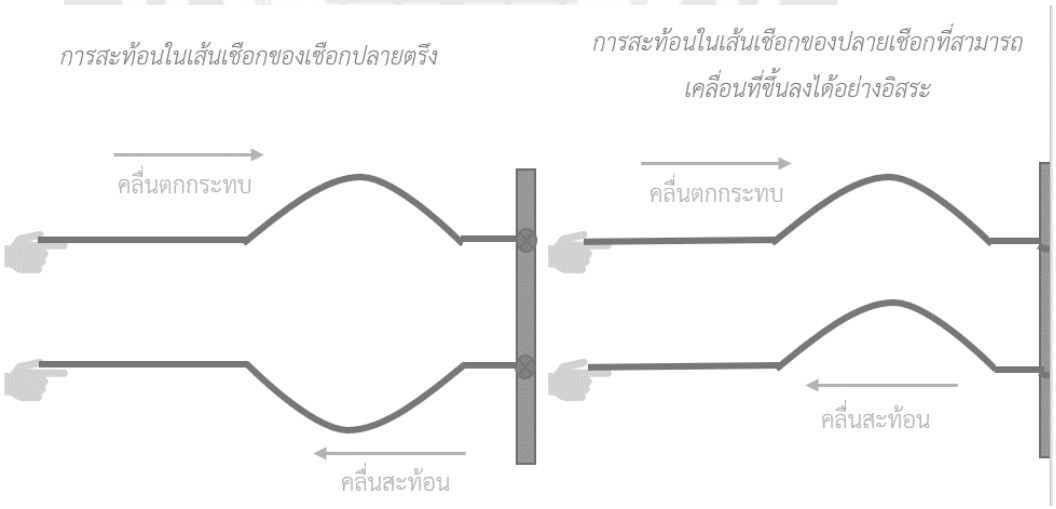
ให้นักเรียนปรึกษากันในกลุ่มเพื่อออกแบบตารางบันทึกผลการทดลองของกลุ่ม แล้วเขียนตารางบันทึกผลการทดลองของกลุ่มลงในพื้นที่ด้านล่าง พร้อมทั้งตั้งชื่อตาราง

ตารางแสดงลักษณะของคลื่นสะท้อนเมื่อตกกระทบปลายตรึงและปลายอิสระ

ลักษณะของปลายเชือก	***ลักษณะของคลื่นสะท้อน***	***การกระจัดของตัวกลางเทียบกับแนวสมดุล***	***เฟสของคลื่นสะท้อน***
ปลายเชือกที่ถูกมัดไว้อย่างตรึงแน่น	*รูปร่างกลับด้าน*	*ตรงข้ามกับคลื่นตกกระทบ*	*เฟสตรงข้ามกับคลื่นตกกระทบ*
ปลายเชือกที่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้อย่างอิสระ	*รูปร่างเหมือนเดิม*	*มีทิศทางเดียวกับคลื่นตกกระทบ*	*มีเฟสเดียวกันกับคลื่นตกกระทบ*

การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ภาพ

ให้นักเรียนนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาแสดงเป็นภาพลงในพื้นที่ด้านล่าง



คำถามหลังการทดลอง

1. เมื่อคลื่นในเส้นเชือกเคลื่อนที่ไปชนสิ่งกีดขวาง เกิดอะไรขึ้น

เกิดคลื่นสะท้อนในทิศตรงข้ามเคลื่อนที่ออกมา

2. เมื่อคลื่นในเส้นเชือกเคลื่อนที่ไปกระทบตำแหน่งที่ตรึงแน่น คลื่นที่สะท้อนกลับมามีลักษณะเป็นอย่างไร

คลื่นสะท้อนกลับมีรูปร่างกลับด้าน มีการกระจัดของตัวกลางเทียบกับแนวสมดุลตรงข้ามกับคลื่นตกกระทบหรือคลื่นสะท้อนมีเฟสตรงข้ามกับคลื่นตกกระทบ

3. เมื่อคลื่นในเส้นเชือกเคลื่อนที่ไปกระทบตำแหน่งปลายเชือกที่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้อย่างอิสระ คลื่นที่สะท้อนกลับมามีลักษณะเป็นอย่างไร

คลื่นที่สะท้อนออกมาจะมีการกระจัดตัวกลางที่มีทิศทางเดียวกันกับคลื่นตกกระทบ หรือคลื่นสะท้อนมีเฟสตรงกันกับคลื่นตกกระทบ

4. จากการทดลอง นักเรียนสามารถสรุปผลการทดลองได้ว่าอย่างไร

เมื่อคลื่นในเส้นเชือกเคลื่อนที่ไปกระทบตำแหน่งที่ตรึงแน่น คลื่นที่สะท้อนกลับมามีลักษณะเป็นอย่างไร คลื่นสะท้อนกลับมีรูปร่างกลับด้าน มีการกระจัดของตัวกลางเทียบกับแนวสมดุลตรงข้ามกับคลื่นตกกระทบหรือคลื่นสะท้อนมีเฟสตรงข้ามกับคลื่นตกกระทบ เมื่อคลื่นในเส้นเชือกเคลื่อนที่ไปกระทบตำแหน่งปลายเชือกที่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้อย่างอิสระ คลื่นที่สะท้อนกลับมามีลักษณะเป็นอย่างไรคลื่นที่สะท้อนออกมาจะมีการกระจัดตัวกลางที่มีทิศทางเดียวกันกับคลื่นตกกระทบ หรือคลื่นสะท้อนมีเฟสตรงกันกับคลื่นตกกระทบ

5. ความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทดลองได้แก่อะไรบ้าง

น้ำหนักของเชือกมีผลต่อการเคลื่อนที่ของคลื่น คลื่นที่เกิดจากการสะบัดปลายเชือกในแนวดิ่งทำให้คลื่นในเส้นเชือกมีแอมพลิจูดไม่คงที่เมื่อเคลื่อนที่

เฉลย ตอนที่ 3 การสะท้อนของคลื่นผิวน้ำ

เมื่อนักเรียนทำให้คลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ไปกระทบแผ่นกั้น นักเรียนคิดว่าคลื่นผิวน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ให้นักเรียนทำการทดลองเพื่อตอบคำถามข้างต้น

คำถามก่อนการทดลอง

1. เมื่อนักเรียนสร้างคลื่นผิวน้ำให้เคลื่อนที่ไปกระทบแผ่นกั้น คลื่นตกกระทบจะเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ อย่างไร

เปลี่ยนแปลง โดยเกิดการสะท้อนของคลื่น

2. เมื่อนักเรียนสร้างคลื่นผิวน้ำให้เคลื่อนที่ไปกระทบแผ่นกั้น มุมที่หน้าคลื่นตกกระทบกระทำต่อแผ่นกั้น และมุมที่หน้าคลื่นสะท้อนทำต่อแผ่นกั้นจะเป็นอย่างไร

มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน

3. กลุ่มของนักเรียนมีคำถามสำคัญในการทดลองเป็นอย่างไร

มุมที่หน้าคลื่นตกกระทบกระทำต่อแผ่นกั้น และมุมที่หน้าคลื่นสะท้อนทำต่อแผ่นกั้นมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ อย่างไร

4. กลุ่มของนักเรียนมีสมมติฐานต่อการทดลองเป็นอย่างไร

มุมที่หน้าคลื่นตกกระทบกระทำต่อแผ่นกั้นและมุมที่หน้าคลื่นสะท้อนทำต่อแผ่นกั้นมีขนาดเท่ากัน

อุปกรณ์ในการทดลอง

1) ชุดอุปกรณ์ทดลองถาดคลื่น	1 ชุด
2) แผ่นกั้น	1 อัน
3) กระดาษ A4	1 แผ่น
4) ไม้โพรแทรคเตอร์	1 อัน

วิธีการทดลอง

ให้นักเรียนปรึกษากันในกลุ่มเพื่อออกแบบวิธีการทดลองของกลุ่ม แล้วเขียนวิธีการทดลองของกลุ่มลงในพื้นที่ด้านล่าง

1. ทำให้เกิดคลื่นหน้าตรงบนถาดคลื่น

2. ลากเส้นบนกระดาษขาวที่เป็นฉากใต้ถาดคลื่นโดยให้ขนานกับแนวหน้าคลื่นกำหนดให้เป็นแนวอ้างอิง

3. ลากเส้นบนฉากให้ทำมุม 30 องศากับแนวอ้างอิง

4. วางแผ่นกั้นบนถาดคลื่นให้ทำมุม 30 องศากับแนวหน้าคลื่น (เงาของแผ่นกั้นเส้นตรงบนฉากที่ทำมุมกับแนวอ้างอิง)

5. ลากแนวหน้าคลื่นสะท้อนบนฉากบันทึกมุมที่หน้าคลื่นสะท้อนทำกับแผ่นกั้น

6. ทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนมุมเป็น 45 และ 60 องศาตามลำดับ

การออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง

ให้นักเรียนบันทึกผลการทดลองของกลุ่มลงในพื้นที่ด้านล่าง โดยเติมคำตอบต่อไปนี้

1. ภาพรวมคร่าว ๆ ของการทดลองเป็นอย่างไร

เมื่อหน้าคลื่นเส้นตรงตกกระทบแผ่นกั้นแบบทำมุมกับแผ่นกั้น จะสะท้อนออกมาเป็นแนวเส้นตรงแบบทำมุมกับแผ่นกั้น

2. จากการทดลองดังกล่าว ให้นักเรียนระบุข้อมูลต่อไปนี้อย่างละเอียด

2.1 นักเรียนเห็นวัตถุอะไรบ้างจากการทำการทดลอง

หน้าคลื่นตกกระทบจากแหล่งกำเนิด แผ่นกั้น และหน้าคลื่นสะท้อน

2.2 นักเรียนเห็นปริมาณของคลื่นที่เกิดขึ้นหรือเปลี่ยนแปลงไปเท่าใด

มุมระหว่างแผ่นกั้นกับแนวอ้างอิง เท่ากับมุมระหว่างหน้าคลื่นสะท้อนทำกับแนวอ้างอิง

2.3 นักเรียนเห็นตำแหน่งของคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปที่ตำแหน่งใด

ที่ตำแหน่งคลื่นตกกระทบกับแผ่นกั้น

2.4 นักเรียนเห็นเหตุการณ์ของคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปเกิดขึ้นเมื่อไหร่

เมื่อคลื่นตกกระทบเคลื่อนที่ไปตกกระทบแผ่นกั้น

2.5 นักเรียนเห็นผลกระทบและความสัมพันธ์ระหว่างเหตุการณ์หรือตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคลื่นอย่างไร

เมื่อคลื่นตกกระทบเคลื่อนที่ไปตกกระทบแผ่นกั้น จะเกิดหน้าคลื่นสะท้อนออกจากแผ่นกั้น โดยมุมระหว่างแผ่นกั้นกับแนวอ้างอิง เท่ากับมุมระหว่างหน้าคลื่นสะท้อนทำกับแนวอ้างอิง

2.6 นักเรียนคิดว่าเหตุการณ์เหล่านั้นที่เกิดขึ้นเป็นเพราะอะไร

เกิดจากการสะท้อนของคลื่นผิวน้ำ

3. ให้นักเรียนลองปรียบเทียบข้อมูลที่รวบรวมได้ แล้วระบุว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นตรงกับตัวเลือกใด ให้ทำเครื่องหมายถูกในช่องนั้น

3.1 ภาพรวมของข้อมูล	ข้อมูลแบบง่าย ๆ	/
	ข้อมูลที่มีรายละเอียด	
3.2 ประเภทของข้อมูล	ข้อมูลเชิงปริมาณ	/
	ข้อมูลเชิงคุณภาพ	
3.3 ลักษณะของข้อมูล	ข้อมูลเป็นภาพรวมหรือภาพกว้าง ๆ	
	ข้อมูลเป็นลำดับขั้นตอน	/
3.4 รูปแบบของข้อมูล	ข้อมูลมีความเฉพาะ	
	ข้อมูลมีการเปรียบเทียบ	/
3.5 ความคงที่ของข้อมูล	ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์	/
	ข้อมูลมีความคงที่ตลอดเวลา	

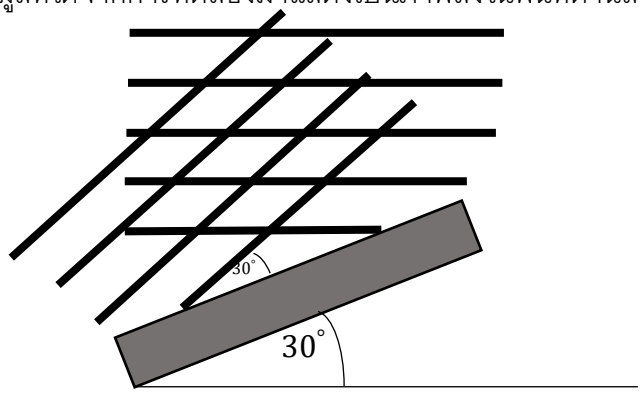
ให้นักเรียนปรึกษากันในกลุ่มเพื่อออกแบบตารางบันทึกผลการทดลองของกลุ่ม แล้วเขียนตารางบันทึกผลการทดลองของกลุ่มลงในพื้นที่ด้านล่าง พร้อมทั้งตั้งชื่อตาราง

ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบและมุมสะท้อนของคลื่น

มุมระหว่างแผ่นกั้นกับแนวอ้างอิง	*มุมระหว่างคลื่นสะท้อนกับแนวอ้างอิง*
30	*30*
45	*45*
60	*60*

การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ภาพ

ให้นักเรียนนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาแสดงเป็นภาพลงในพื้นที่ด้านล่าง



คำถามหลังการทดลอง

1. เมื่อคลื่นผิวน้ำตกกระทบกับแผ่นกั้น คลื่นตกกระทบเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร

เกิดการสะท้อนของคลื่นผิวน้ำ

2. มุมที่หน้าคลื่นตกกระทบทำกับแผ่นกั้น และมุมที่หน้าคลื่นสะท้อนทำกับแผ่นกั้นมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ อย่างไร

มุมที่หน้าคลื่นตกกระทบกระทำต่อแผ่นกั้น และมุมที่หน้าคลื่นสะท้อนกระทำต่อแผ่นกั้นมีค่าเท่ากันทุกกรณี

3. จากการทดลอง นักเรียนสามารถสรุปผลการทดลองได้ว่าอย่างไร

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ตกกระทบสิ่งกีดขวาง คลื่นจะเกิดการสะท้อน โดยมุมที่หน้าคลื่นตกกระทบกระทำต่อสิ่งกีดขวางหรือมุมตกกระทบ จะมีขนาดเท่ากับมุมที่หน้าคลื่นสะท้อนกระทำต่อแผ่นกั้นหรือมุมสะท้อน

4. ความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทดลองได้แก่อะไรบ้าง

การวัดมุมตกกระทบและมุมสะท้อนระหว่างหน้าคลื่นที่กระทำกับแผ่นกั้น

เฉลย ตอนที่ 4 การหักเหของคลื่นผิวน้ำ

เมื่อนักเรียนทำให้คลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ผ่านสองบริเวณที่มีความแตกต่างกัน นักเรียนคิดว่าคลื่นผิวน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ให้นักเรียนทำการทดลองเพื่อตอบคำถามข้างต้น

คำถามก่อนการทดลอง

1. เมื่อคลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ผ่านบริเวณรอยต่อระหว่างบริเวณน้ำลึกและน้ำตื้น โดยให้หน้าคลื่นตกกระทบขนานกับรอยต่อ ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นหักเห และความยาวคลื่นหักเหเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร

ทิศทางไม่เปลี่ยนแต่ความยาวคลื่นหักเหจะน้อยลง

2. เมื่อคลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ผ่านบริเวณรอยต่อระหว่างบริเวณน้ำลึกและน้ำตื้น โดยให้หน้าคลื่นตกกระทบทำมุมกับรอยต่อ ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นหักเห และความยาวคลื่นหักเหเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร

ทิศทางของคลื่นเปลี่ยนแปลงไป และความยาวคลื่นหักเหจะน้อยลง

3. กลุ่มของนักเรียนมีคำถามสำคัญในการทดลองเป็นอย่างไร

เมื่อคลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ผ่านบริเวณรอยต่อระหว่างบริเวณน้ำลึกและน้ำตื้น คลื่นจะมีพฤติกรรมอย่างไร

4. กลุ่มของนักเรียนมีสมมติฐานต่อการทดลองเป็นอย่างไร

เมื่อคลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ผ่านบริเวณรอยต่อระหว่างบริเวณน้ำลึกและน้ำตื้น คลื่นบางส่วนจะเกิดการสะท้อน และบางส่วนจะเกิดการหักเห โดยทิศทางการเคลื่อนที่ อัตราเร็วและความยาวคลื่นจะเปลี่ยนแปลงไป

อุปกรณ์ในการทดลอง

1) ชุดอุปกรณ์ทดลองถาดคลื่น	1 ชุด
2) กระจกใส	1 อัน
3) กระดาษ A4	1 แผ่น
4) ไม้บรรทัด	1 อัน

วิธีการทดลอง

ให้นักเรียนปรึกษากันในกลุ่มเพื่อออกแบบวิธีการทดลองของกลุ่ม แล้วเขียนวิธีการทดลองของกลุ่มลงในพื้นที่ด้านล่าง

1. ใส่น้ำในถาดคลื่น วางแผ่นกระจกใสรูปสี่เหลี่ยมลงในถาดคลื่น

2. จัดแผ่นกระจกใสให้ขอบกระจกขนานกับแนวแผ่นกำเนิดคลื่นหน้าตรง

3. สร้างคลื่นหน้าตรงให้เคลื่อนที่จากบริเวณน้ำลึกสู่บริเวณน้ำตื้น (บริเวณเหนือแผ่นกระจก)

4. สังเกตทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น และความยาวคลื่นในบริเวณน้ำลึกและน้ำตื้น

5. ทดลองซ้ำโดยปรับกระจกใสให้ขอบของแผ่นกระจกทำมุมต่าง ๆ กับหน้าคลื่น สังเกตทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น และความยาวคลื่นในบริเวณน้ำลึกและน้ำตื้น

การออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง

ให้นักเรียนบันทึกผลการทดลองของกลุ่มลงในพื้นที่ด้านล่าง โดยเติมคำตอบต่อไปนี้

1. ภาพรวมคร่าว ๆ ของการทดลองเป็นอย่างไร

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่มายังรอยต่อบริเวณน้ำลึกกับน้ำตื้นคลื่นจะเกิดการหักเห

2. จากการทดลองดังกล่าว ให้นักเรียนระบุข้อมูลต่อไปนี้อย่างละเอียด

2.1 นักเรียนเห็นปริมาณใดบ้างจากการทำการทดลอง

ความยาวคลื่น

2.2 นักเรียนเห็นปริมาณของคลื่นที่เกิดขึ้นหรือเปลี่ยนแปลงไปเท่าใด

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากน้ำลึกไปยังบริเวณน้ำตื้น ความยาวคลื่นจะน้อยลง

2.3 นักเรียนเห็นตำแหน่งของคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปที่ตำแหน่งใด

มายังรอยต่อบริเวณน้ำลึกกับน้ำตื้น

2.4 นักเรียนเห็นเหตุการณ์ของคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไปเกิดขึ้นเมื่อไหร่

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากน้ำลึกไปยังบริเวณน้ำตื้น

2.5 นักเรียนเห็นผลกระทบและความสัมพันธ์ระหว่างเหตุการณ์หรือตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับคลื่นอย่างไร

เมื่อคลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ผ่านบริเวณรอยต่อระหว่างบริเวณน้ำลึกและน้ำตื้น โดยให้หน้าคลื่นตกกระทบขนานกับรอยต่อ ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นไม่เปลี่ยนแต่ความยาวคลื่นหักเหน้อยจะลง และเมื่อคลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ผ่านบริเวณรอยต่อระหว่างบริเวณน้ำลึกและน้ำตื้น โดยให้หน้าคลื่นตก

กระทบทำมุมกับรอยต่อ ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเปลี่ยนแปลงไปโดยมุมที่หน้าคลื่นหักเหทำกับรอยต่อตัวกลางน้อยกว่ามุมที่หน้าคลื่นตกกระทบทำกับรอยต่อตัวกลาง

2.6 นักเรียนคิดว่าเหตุการณ์เหล่านั้นที่เกิดขึ้นเป็นเพราะอะไร
คลื่นมีพฤติกรรมการหักเหของคลื่น

3. ให้นักเรียนลองปรียบเทียบข้อมูลที่รวบรวมได้ แล้วระบุว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นตรงกับตัวเลือกใด ให้ทำเครื่องหมายถูกในช่องนั้น

3.1 ภาพรวมของข้อมูล	ข้อมูลแบบง่าย ๆ	/
	ข้อมูลที่มีรายละเอียด	
3.2 ประเภทของข้อมูล	ข้อมูลเชิงปริมาณ	
	ข้อมูลเชิงคุณภาพ	/
3.3 ลักษณะของข้อมูล	ข้อมูลเป็นภาพรวมหรือภาพกว้าง ๆ	/
	ข้อมูลเป็นลำดับขั้นตอน	
3.4 รูปแบบของข้อมูล	ข้อมูลมีความเฉพาะ	
	ข้อมูลมีการเปรียบเทียบ	/
3.5 ความคงที่ของข้อมูล	ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์	/
	ข้อมูลมีความคงที่ตลอดเวลา	

ให้นักเรียนปรึกษากันในกลุ่มเพื่อออกแบบตารางบันทึกผลการทดลองของกลุ่ม แล้วเขียนตารางบันทึกผลการทดลองของกลุ่มลงในพื้นที่ด้านล่าง พร้อมทั้งตั้งชื่อตาราง

ตารางแสดงลักษณะของคลื่นเมื่อเคลื่อนที่จากน้ำลึกไปยังน้ำตื้น

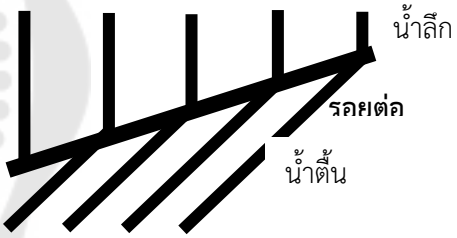
กรณี	**ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น**	**ระยะระหว่างหน้าคลื่นที่อยู่ถัดกัน (เซนติเมตร)**	
		คลื่นตกกระทบ	**คลื่นหักเห**
หน้าคลื่นตกกระทบขนานกับรอยต่อ	*ไม่เปลี่ยนแปลง*	*1*	*0.8*
หน้าคลื่นตกกระทบ	*มุมระหว่างหน้าคลื่น*	*1*	*0.7*

กรณี	ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น	ระยะระหว่างหน้าคลื่นที่อยู่ถัดกัน (เซนติเมตร)	
		คลื่นตกกระทบ	คลื่นหักเห
ทำมุมกับรอยต่อ	*หักเหทำกับรอยต่อเล็กกว่ามุมระหว่างหน้าคลื่นตกกระทบทำกับรอยต่อ*		

การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ภาพ

ให้นักเรียนนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาแสดงเป็นภาพลงในพื้นที่ด้านล่าง

กรณีหน้าคลื่นตกกระทบขนานกับรอยต่อ ***กรณีหน้าคลื่นตกกระทบทำมุมกับรอยต่อ***



คำถามหลังการทดลอง

1. เมื่อคลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ผ่านบริเวณรอยต่อระหว่างบริเวณน้ำลึกและน้ำตื้น โดยให้หน้าคลื่นตกกระทบขนานกับรอยต่อ ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นหักเห และความยาวคลื่นหักเหเปลี่ยนแปลงอย่างไร

ทิศทางไม่เปลี่ยนแต่ความยาวคลื่นหักเหน้อยลง

2. เมื่อคลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่ผ่านบริเวณรอยต่อระหว่างบริเวณน้ำลึกและน้ำตื้น โดยให้หน้าคลื่นตกกระทบทำมุมกับรอยต่อ ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นหักเห และความยาวคลื่นหักเหเปลี่ยนแปลงอย่างไร

ทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเปลี่ยนแปลงไปโดยมุมที่หน้าคลื่นหักเหทำกับรอยต่อตัวกลางน้อยกว่ามุมที่หน้าคลื่นตกกระทบทำกับรอยต่อตัวกลาง และความยาวคลื่นในบริเวณน้ำตื้นน้อยกว่าความยาวคลื่นบริเวณน้ำลึก

3. จากการทดลอง นักเรียนสามารถสรุปผลการทดลองได้ว่าอย่างไร

เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางหนึ่งผ่านรอยต่อเข้าไปสู่อีกตัวกลาง จะเกิดการสะท้อนและการหักเหพร้อมกัน โดยความยาวคลื่นจะเปลี่ยนแปลงไป แต่ทิศทางของคลื่นหักเหไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนทิศ เช่น กรณีหน้าคลื่นตกกระทบขนานผิวรอยต่อ คลื่นหักเหจะไม่เปลี่ยนทิศไปจากเดิม

4. ความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทดลองได้แก่อะไรบ้าง

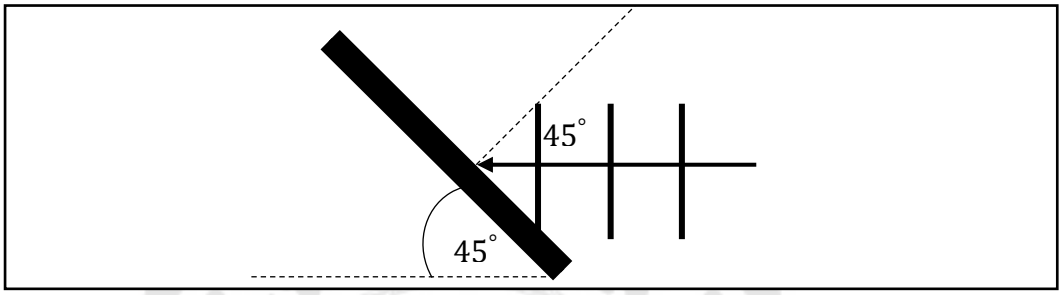
การวัดระยะห่างระหว่างหน้าคลื่นที่อยู่ถัดกัน

เฉลยตัวอย่าง แบบฝึกหัด เรื่อง การสะท้อนและการหักเหของคลื่น

1. คลื่นตกกระทบพุ่งไปในทิศตะวันตก (ทิศ +X) เข้าปะทะกับผิวสะท้อนที่เอียงทำมุม 45^0 กับทิศตะวันออก

จงเขียนแสดงการสะท้อนของหน้าคลื่นเส้นตรงและขนาดของมุมสะท้อน

1) วาดแผนภาพ และระบุหลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง



หลักการสะท้อนของคลื่น

2) ระบุตัวแปรทางฟิสิกส์ลงในแผนภาพข้อที่ 1) ระบุตัวแปรที่โจทย์กำหนดให้และตัวแปรที่โจทย์ต้องการทราบและระบุสมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง

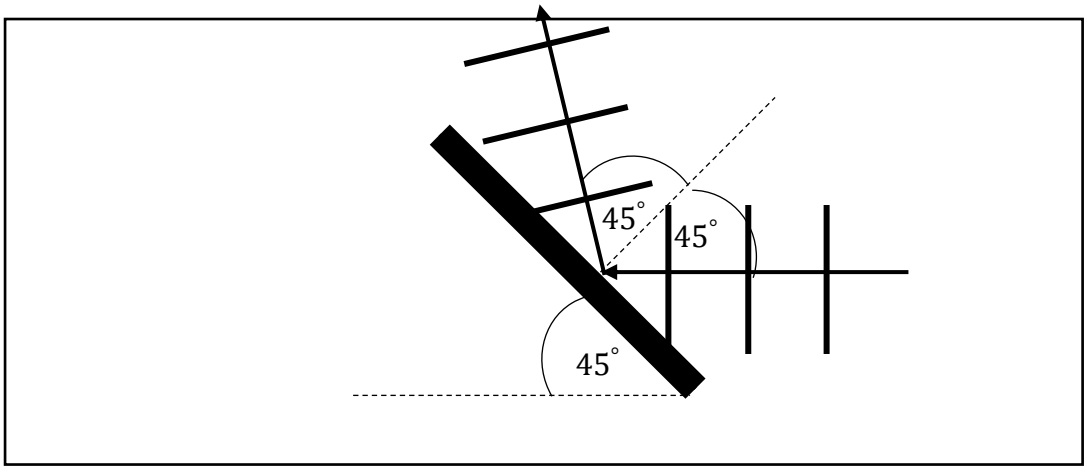
โจทย์กำหนด มุมของวัตถุที่ทำกับแนวระดับ = 45° *, โจทย์ต้องการทราบการสะท้อนของคลื่นและมุมสะท้อน*

มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน

3) แทนค่าสมการที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า

45° *= มุมสะท้อน*

4) แสดงวิธีทำ



5) ตรวจสอบคำตอบ

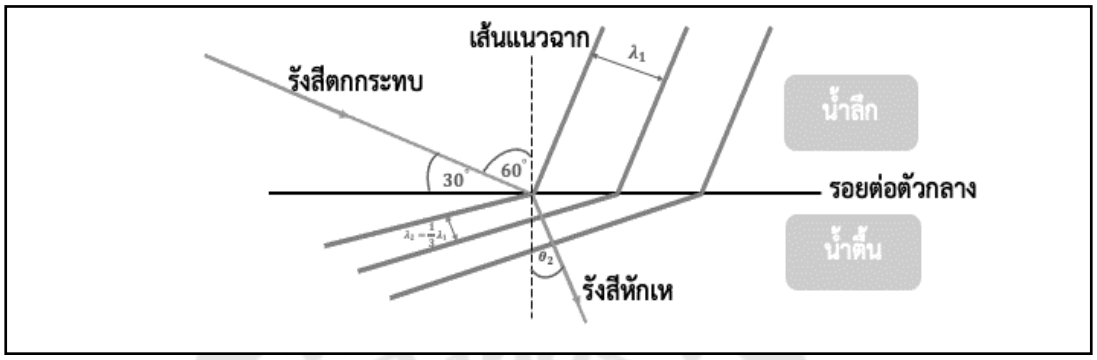
คำตอบมีความสมเหตุสมผล เพราะมุมสะท้อนขนาดต้องไม่เกิน 90 องศา

หน่วยของคำตอบมีความสมเหตุสมผล เพราะสอดคล้องกับสิ่งที่โจทย์ถาม

เมื่อแทนคำตอบเข้าไปในสมการพบว่าสมการเป็นจริง

2. เมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากบริเวณน้ำลึกไปยังบริเวณน้ำตื้น แล้วเกิดการหักเห โดยหน้าคลื่นกระทบทำมุม 60 องศากับรอยต่อตัวกลางและความยาวคลื่นในน้ำตื้นลดลงเป็น $\frac{1}{\sqrt{3}}$ ของความยาวคลื่นในน้ำลึก จงหาขนาดของมุมหักเห

1) วาดแผนภาพ และระบุหลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง



การหักเหของคลื่น

2) ระบุตัวแปรทางฟิสิกส์ลงในแผนภาพข้อที่ 1) ระบุตัวแปรที่โจทย์กำหนดให้และตัวแปรที่โจทย์ต้องการทราบและระบุสมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง

โจทย์กำหนด $\theta_1 = 60^\circ, \lambda_2 = \frac{1}{\sqrt{3}}\lambda_1$ *โจทย์ต้องการทราบ* θ_2

สมการ คือ $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$

3) แทนค่าสมการที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า

$$\frac{\sin 60^\circ}{\sin\theta_2} = \frac{\lambda_1}{\frac{1}{\sqrt{3}}\lambda_1}$$

4) แสดงวิธีทำ

$$\sin\theta_2 = \frac{\frac{1}{\sqrt{3}}\lambda_1 \sin 60^\circ}{\lambda_1}$$

$$\sin\theta_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} x \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{1}{2}$$

ดังนั้น $\theta_2 = 30^\circ$

5) ตรวจสอบคำตอบ

คำตอบที่ได้มีความสมเหตุสมผลเพราะ เมื่อคลื่นผิวน้ำเคลื่อนที่จากน้ำลึกมายังน้ำตื้นมุมหักเหต้องมีขนาดเล็กกว่ามุมตกกระทบ

คำตอบที่ได้มีหน่วยสอดคล้อง เพราะโจทย์ถามมุมในหน่วยองศา

คำตอบที่ได้เมื่อแทนค่ากลับเข้าไปในสมการแล้วทำให้สมการถูกต้อง

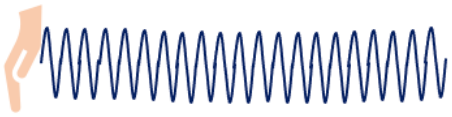
ตัวอย่างแบบทดสอบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์หลังเรียน เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี

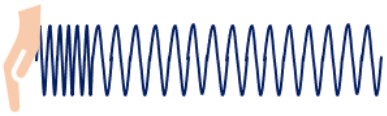
<u>คำชี้แจง</u>

1) แบบทดสอบนี้มีจำนวน 15 ข้อ โดยแต่ละข้อแบ่งออกเป็น 2 ตอน
   ตอนที่ 1 มีลักษณะเป็นข้อคำถามเชิงเนื้อหา ซึ่งเป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก
   ตอนที่ 2 มีลักษณะเป็นข้อคำถามเชิงเหตุผล ในการเลือกตัวเลือกของคำถามตอนที่ 1 ซึ่งเป็นแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก
2) เวลาในการทำแบบทดสอบ 45 นาที
3) สามารถทดลงในข้อสอบได้
4) ให้นักเรียนเลือกคำตอบที่ถูกต้องโดยทำลงในกระดาษคำตอบที่เตรียมให้ โดยตัวอย่างกระดาษคำตอบเป็นดังนี้

ข้อ	ตัวเลือก				เหตุผลที่เลือกตอบ			
	1)	2)	3)	4)	1)	2)	3)	4)
1	✕						✕	
2								

1. เมื่อดึงสปริงที่วางบนพื้นให้ตึง ดังภาพที่ 1 แล้วอัดปลายสปริงในแนวตามยาวของสปริง 1 ครั้ง ดังภาพที่ 2 ข้อใดบอกลักษณะของคลื่นที่เกิดขึ้นได้***ถูกต้อง***

ภาพที่ 1 

ภาพที่ 2 

1) เป็นคลื่นกลและคลื่นตามยาว

2) เป็นคลื่นกลและคลื่นตามขวาง

3) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและคลื่นตามขวาง

4) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและคลื่นตามยาว

เหตุผลที่เลือกตอบ

1) คลื่นที่เกิดขึ้นอาศัยตัวกลางในการส่งผ่านพลังงานไปรบกวนอนุภาคสปริงให้เคลื่อนที่ในทิศตั้งฉากกับทิศทางของคลื่น

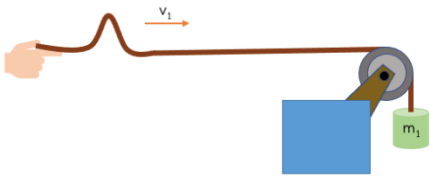
2) คลื่นที่เกิดขึ้นอาศัยตัวกลางในการส่งผ่านพลังงานไปรบกวนอนุภาคสปริงให้เคลื่อนที่ในทิศขนานกับทิศทางของคลื่น

3) คลื่นที่เกิดขึ้นไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งผ่านพลังงาน และขณะคลื่นเคลื่อนที่ผ่านจะรบกวนสปริงและทำให้อนุภาคของสปริงเคลื่อนที่ขนานกับทิศทางของคลื่น

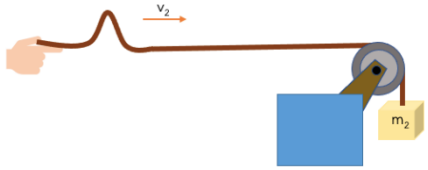
4) คลื่นที่เกิดขึ้นไม่ต้องอาศัยตัวกลางในการส่งผ่านพลังงาน และขณะคลื่นเคลื่อนที่ผ่านจะรบกวนสปริงและทำให้อนุภาคของสปริงเคลื่อนที่ในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางของคลื่น

2. พิจารณาเชือก 3 เส้นที่เหมือนกัน ปลายด้านหนึ่งยึดติดกับวัตถุที่มีมวลแตกต่างกันดังรูป หากสะบัดปลายเชือกขึ้นลง 1 ครั้ง จะเกิดคลื่นดลเคลื่อนที่ไปตามเชือก โดยอัตราเร็วของคลื่นในเส้นเชือกในสถานการณ์ที่ 3 มากกว่าเชือกในสถานการณ์ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ข้อใดเรียงลำดับมวลของวัตถุได้***ถูกต้อง***

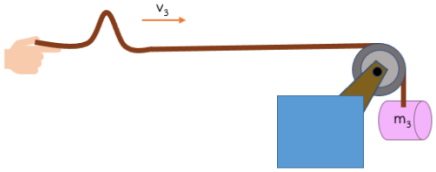
สถานการณ์ที่ 1



สถานการณ์ที่ 2



สถานการณ์ที่ 3



1) $m_1 > m_2 > m_3$ 2) $m_2 > m_1 > m_3$

3) $m_3 > m_1 > m_2$ 4) $m_3 > m_2 > m_1$

เหตุผลที่เลือกตอบ

1) อัตราเร็วของคลื่นในเส้นเชือกที่มีความหนาแน่นเชิงเส้นเท่ากัน จะขึ้นอยู่กับแรงตึงในเส้นเชือกเท่านั้น โดยแรงตึงในเส้นเชือกมาก คลื่นจะแผ่ไปได้ช้า และขนาดของแรงตึงในเส้นเชือกขึ้นกับมวลที่ถ่วงเชือก

2) อัตราเร็วของคลื่นในเส้นเชือกที่มีความหนาแน่นเชิงเส้นเท่ากันหมด จะขึ้นอยู่กับแรงตึงในเส้นเชือกเท่านั้น ยิ่งแรงตึงในเส้นเชือกมาก คลื่นจะยิ่งแผ่ไปได้เร็ว และขนาดของแรงตึงในเส้นเชือกขึ้นกับมวลที่ถ่วงเชือก

3) อัตราเร็วของคลื่นขึ้นอยู่กับความหนาแน่นเชิงเส้นของเชือกเท่านั้น โดยเชือกที่มีความหนาแน่นเชิงเส้นมากจะทำให้อัตราเร็วของคลื่นในเส้นเชือกมาก และขนาดของความหนาแน่นเชิงเส้นของเชือกขึ้นกับมวลที่ถ่วงเชือก

4) อัตราเร็วของคลื่นขึ้นอยู่กับความหนาแน่นเชิงเส้นของเชือกเท่านั้น โดยเชือกที่มีความหนาแน่นเชิงเส้นมากจะทำให้อัตราเร็วของคลื่นในเส้นเชือกน้อย และขนาดของความหนาแน่นเชิงเส้นของเชือกขึ้นกับมวลที่ถ่วงเชือก

3. ภาพการแทรกสอดของแสงที่ได้จากกรณีที่ใช้แสงเลเซอร์สีเขียวและแสงเลเซอร์สีแดงเป็นดังภาพใด เมื่อใช้สลิตคู่ที่มีระยะห่างระหว่างช่องเท่ากัน

1)

2)

3)

4)

เหตุผลที่เลือกตอบ

1) เมื่อแสงเลเซอร์สีเขียวผ่านสลิตคู่จะปรากฏแถบมืดแถบสว่างเช่นเดียวกับแสงเลเซอร์สีแดงทุกประการ

2) เมื่อแสงเลเซอร์สีเขียวผ่านสลิตคู่จะเกิดการแทรกสอด ปรากฏแถบมืดและแถบสว่างสลับกัน โดยแถบสว่างกลางมีความกว้างมากที่สุด ในขณะที่แสงเลเซอร์สีแดงผ่านสลิตคู่จะเกิดการแทรกสอดปรากฏแถบมืดและแถบสว่างขนาดเท่า ๆ กัน สลับกันไป

3) เมื่อแสงเลเซอร์สีเขียวผ่านสลิตคู่จะปรากฏแถบมืดแถบสว่างที่มีความกว้างของแถบน้อยกว่าที่เกิดจากแสงเลเซอร์สีแดง เนื่องจากมีความยาวคลื่นน้อยกว่า

4) เมื่อแสงเลเซอร์สีเขียวผ่านสลิตคู่จะปรากฏแถบมืดแถบสว่างที่มีความกว้างของแถบมากกว่าที่เกิดจากแสงเลเซอร์สีแดง เนื่องจากมีความยาวคลื่นมากกว่า

4. เมื่อนักเรียนกำลังดำน้ำแล้วเงยหน้าเพื่อมองนกที่อยู่อากาศ โดยเงยหน้ามองนกตรง ๆ ภาพของนกที่เห็นจะเป็นอย่างไร

1) อยู่ที่ตำแหน่งเดิม

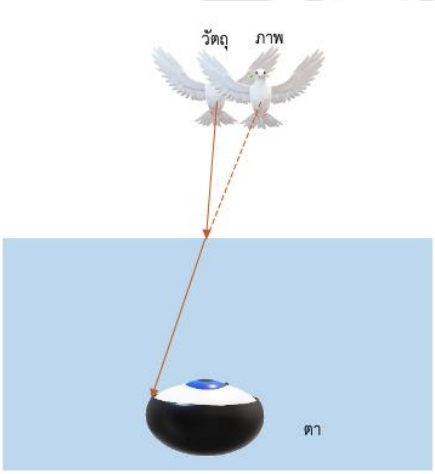
2) ขยับไปทางขวา

3) อยู่ต่ำกว่าความเป็นจริง

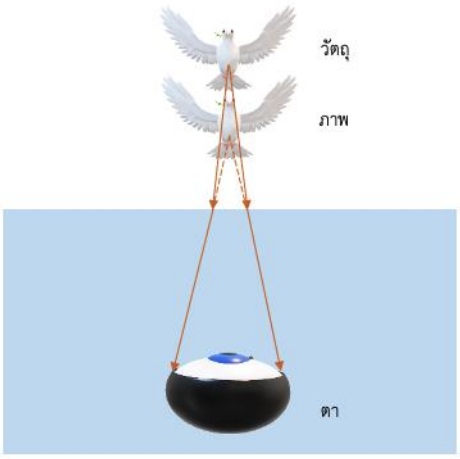
4) อยู่สูงกว่าความเป็นจริง

เหตุผลที่เลือกตอบ

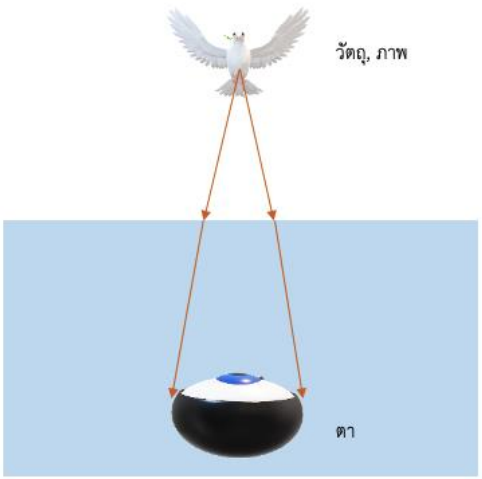
1) แนวรังสีของแสงเป็นดังนี้



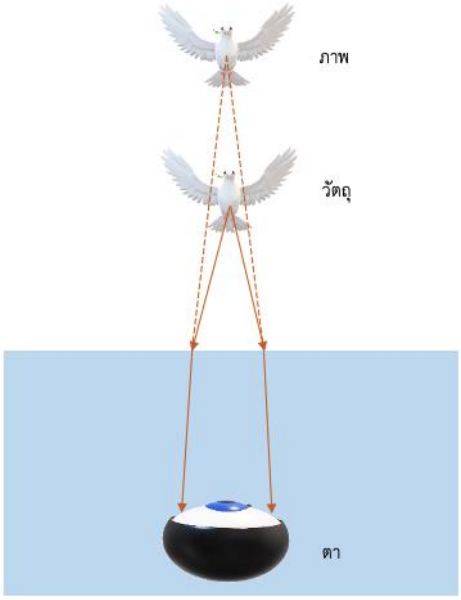
2) แนวรังสีของแสงเป็นดังนี้



3) แนวรังสีของแสงเป็นดังนี้



4) แนวรังสีของแสงเป็นดังนี้



ตัวอย่างแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์หลังเรียน เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

คะแนนเต็ม 150 คะแนน เวลา 45 นาที

<u>คำชี้แจง</u>

1. แบบวัดมีทั้งหมด 10 หน้า ให้นักเรียนตรวจดูให้ครบก่อนลงมือทำ
2. ข้อสอบเป็นข้อสอบแบบอัตนัย มีจำนวน 10 ข้อ ข้อละ 15 คะแนน
3. นักเรียนต้องทำข้อสอบทุกข้อ
4. ให้นักเรียนเขียนคำตอบลงในกระดาษคำตอบที่จัดให้เท่านั้น

---

1. นักเรียนกำลังยืนรอเรือที่ท่าเรืออโศก ระหว่างนั้นนักเรียนสังเกตเห็นธงริมคลองบอกระดับความลึก 2.5 เมตรและบริเวณกลางคลองซึ่งบอกระดับความลึก 4.8 เมตร หากนักเรียนสังเกตคลื่นน้ำที่เกิดจากเรือเคลื่อนที่ผ่านมีระยะห่างระหว่างสันคลื่นที่อยู่ถัดกันเท่ากับ 8 เมตรเคลื่อนที่จากบริเวณธงกลางคลองเข้ามายังบริเวณริมคลองทำให้ระยะห่างระหว่างสันคลื่นลดลงเหลือ 6 เมตร หากหน้าคลื่นตกกระทบทำมุม 53 องศากับแนวรอยต่อระหว่างบริเวณธงกลางคลอง จงหาว่ารังสีหักเหในบริเวณริมคลองจะทำมุมกี่องศากับเส้นแนวฉาก

1) วาดแผนภาพ และระบุหลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง (3 คะแนน)

2) ระบุตัวแปรทางฟิสิกส์ลงในแผนภาพข้อที่ 1) ระบุตัวแปรที่โจทย์กำหนดให้และตัวแปรที่โจทย์ต้องการทราบและระบุสมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง (3 คะแนน)

3) แทนค่าสมการที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า (3 คะแนน)

4) แสดงวิธีทำ (3 คะแนน)

5) ตรวจสอบคำตอบ (3 คะแนน)

2. นักเรียนยิงเลเซอร์สีแดงที่มีความยาวคลื่น 650 นาโนเมตรตกกระทบตั้งฉากกับสลิตคู่ ทำให้เกิดแถบสว่างและแถบมืดบนฉาก หากนักเรียนวัดระยะห่างของแถบสว่าง 2 แถบที่อยู่ติดกันได้ 0.25 มิลลิเมตร แต่เพื่อนของนักเรียนยิงเลเซอร์สีเขียวที่มีความยาวคลื่น 520 นาโนเมตรตกกระทบตั้งฉากกับสลิตคู่และจัดการทดลองทุกอย่างเหมือนกันทุกประการ เพื่อนของนักเรียนจะวัดระยะห่างของแถบสว่าง 2 แถบที่อยู่ติดกันบนฉากได้เท่าใดในหน่วยมิลลิเมตร

1) วาดแผนภาพ และระบุหลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง (3 คะแนน)

2) ระบุตัวแปรทางฟิสิกส์ลงในแผนภาพข้อที่ 1) ระบุตัวแปรที่โจทย์กำหนดให้และตัวแปรที่โจทย์ต้องการทราบและระบุสมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง (3 คะแนน)

3) แทนค่าสมการที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า (3 คะแนน)

4) แสดงวิธีทำ (3 คะแนน)

5) ตรวจสอบคำตอบ (3 คะแนน)

3. นักเรียนนำกระจกเงาราบสองบานมาวางทำมุมกัน โดยตั้งกระจกบานแรกเอียงทำมุม 70 องศากับกระจกบานที่สองซึ่งวางราบไปกับพื้นโต๊ะ หากเพื่อนของนักเรียนอยากให้แนวลำแสงสะท้อนในกระจกบานที่สองทำมุม 35 องศากับกระจก นักเรียนควรแนะนำให้เพื่อนฉายแนวลำแสงตกกระทบทำมุมเท่าใดกับกระจกบานแรก

1) วาดแผนภาพ และระบุหลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง (3 คะแนน)

2) ระบุตัวแปรทางฟิสิกส์ลงในแผนภาพข้อที่ 1) ระบุตัวแปรที่โจทย์กำหนดให้และตัวแปรที่โจทย์ต้องการทราบและระบุสมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง (3 คะแนน)

3) แทนค่าสมการที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า (3 คะแนน)

4) แสดงวิธีทำ (3 คะแนน)

5) ตรวจสอบคำตอบ (3 คะแนน)

4. นักเรียนนำเลนส์นูนและฉากรับภาพใส่ในรางเลื่อน จากนั้นให้แสงจากหลอดไฟผ่านเลนส์นูน เมื่อเลื่อนฉากห่างจากเลนส์นูนเป็นระยะ 20 เซนติเมตรจะเกิดแนวทางเดินแสงรวมกันบนฉาก หลังจากนั้นนักเรียนจึงนำเทียนไขวางหน้าเลนส์นูนเป็นระยะ 30 เซนติเมตร แล้วสวมเลนส์เว้าที่มีความยาวโฟกัส 15 เซนติเมตรเข้าไปในรางแสงห่างจากเลนส์นูนเป็นระยะ 70 เซนติเมตร ระยะภาพของเทียนไขห่างจากเลนส์นูนกี่เซนติเมตร

1) วาดแผนภาพ และระบุหลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง (3 คะแนน)

2) ระบุตัวแปรทางฟิสิกส์ลงในแผนภาพข้อที่ 1) ระบุตัวแปรที่โจทย์กำหนดให้และตัวแปรที่โจทย์ต้องการทราบและระบุสมการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง (3 คะแนน)

3) แทนค่าสมการที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ไม่ทราบค่า (3 คะแนน)

4) แสดงวิธีทำ (3 คะแนน)

5) ตรวจสอบคำตอบ (3 คะแนน)

เกณฑ์การให้คะแนนของแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์
เรื่อง คลื่นกล แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ประเด็นการประเมิน	คะแนน	เกณฑ์การให้คะแนน
ขั้นที่ 1 พิจารณาปัญหา (Focus on the problem) โดยการเขียนแสดงแผนภาพตามสถานการณ์ที่โจทย์กำหนด และระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนดในรูปแบบของการระบุคำสำคัญหรือขีดเส้นใต้ และระบุหลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์	3	วาดแผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหา **และ**ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนดในรูปแบบของการระบุคำสำคัญหรือขีดเส้นใต้**และ**ระบุหลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์**
	2	1) วาดแผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหา **และ**ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนดในรูปแบบของการระบุคำสำคัญหรือขีดเส้นใต้**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่**ระบุหลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์**ถูกต้องเพียงบางส่วน** **หรือ** 2) วาดแผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหา **และ**ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนดในรูปแบบของการระบุคำสำคัญหรือขีดเส้นใต้**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่**ระบุหลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์**ไม่ถูกต้อง** **หรือ** 3) วาดแผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหา **และ**ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนดในรูปแบบของการระบุคำสำคัญหรือขีดเส้นใต้**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่ไม่ระบุ**หลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ **หรือ** 4) วาดแผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหา **และ**ระบุหลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่**ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนดในรูปแบบของการระบุคำสำคัญหรือขีดเส้นใต้**ถูกต้องเพียงบางส่วน** **หรือ** 5) วาดแผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหา **และ**ระบุหลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์**อย่าง**

ประเด็นการประเมิน	คะแนน	เกณฑ์การให้คะแนน
		ครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนดในรูปแบบของการระบุคำสำคัญหรือขีดเส้นใต้**ไม่ถูกต้อง** **หรือ** 6) วาดแผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหา **และ**ระบุหลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่ไม่ระบุ**สิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนดในรูปแบบของการระบุคำสำคัญหรือขีดเส้นใต้ **หรือ** 7) ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนดในรูปแบบของการระบุคำสำคัญหรือขีดเส้นใต้**และ**ระบุหลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่**วาดแผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหา**ถูกต้องเพียงบางส่วน** **หรือ** 8) ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนดในรูปแบบของการระบุคำสำคัญหรือขีดเส้นใต้**และ**ระบุหลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่**วาดแผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหา**ไม่ถูกต้อง** **หรือ** 9) ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนดในรูปแบบของการระบุคำสำคัญหรือขีดเส้นใต้**และ**ระบุหลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่ไม่วาด**แผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหา
	1	1) วาดแผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหา**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่**ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนดในรูปแบบของการระบุคำสำคัญหรือขีดเส้นใต้**และ**ระบุหลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์**ถูกต้องเพียงบางส่วน** **หรือ** 2) วาดแผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหา**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่**ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่

ประเด็นการประเมิน	คะแนน	เกณฑ์การให้คะแนน
		โจทย์กำหนดในรูปแบบของการระบุคำสำคัญหรือขีดเส้นใต้**และ**ระบุหลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์**ไม่ถูกต้อง** **หรือ** 3) วาดแผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหา**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่ไม่ระบุ**สิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนดในรูปแบบของการระบุคำสำคัญหรือขีดเส้นใต้**และไม่ระบุ**หลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ **หรือ** 4) ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนดในรูปแบบของการระบุคำสำคัญหรือขีดเส้นใต้**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่**วาดแผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหา**และ**ระบุหลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์**ถูกต้องเพียงบางส่วน** **หรือ** 5) ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนดในรูปแบบของการระบุคำสำคัญหรือขีดเส้นใต้**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่**วาดแผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหา**และ**ระบุหลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์**ไม่ถูกต้อง** **หรือ** 6) ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนดในรูปแบบของการระบุคำสำคัญหรือขีดเส้นใต้**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่ไม่วาด**แผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหา**และไม่ระบุ**หลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ **หรือ** 7) ระบุหลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่**วาดแผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหา **และ**ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนดในรูปแบบของการระบุคำสำคัญหรือขีดเส้นใต้**ถูกต้องเพียงบางส่วน** **หรือ** 8) ระบุหลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่**วาดแผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหา

ประเด็นการประเมิน	คะแนน	เกณฑ์การให้คะแนน
		และระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนดในรูปแบบของการระบุคำสำคัญหรือขีดเส้นใต้**ไม่ถูกต้อง** **หรือ** 9) ระบุหลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่ไม่วาด**แผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหา **และไม่ระบุ**สิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนดในรูปแบบของการระบุคำสำคัญหรือขีดเส้นใต้
	0	1) วาดแผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหา **และ**ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนดในรูปแบบของการระบุคำสำคัญหรือขีดเส้นใต้**และ**ระบุหลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์**ถูกต้องเพียงบางส่วน** **หรือ** 2) วาดแผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหา **และ**ระบุสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนดในรูปแบบของการระบุคำสำคัญหรือขีดเส้นใต้**และ**ระบุหลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์**ไม่ถูกต้อง** **หรือ** 3) **ไม่วาด**แผนภาพแสดงสถานการณ์โจทย์ปัญหา **และไม่ระบุ**สิ่งที่โจทย์ต้องการทราบและเงื่อนไขที่โจทย์กำหนดในรูปแบบของการระบุคำสำคัญหรือขีดเส้นใต้**และไม่ระบุ**หลักการที่เป็นประโยชน์ในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์
ขั้นที่ 2 อธิบายปัญหาในเชิงฟิสิกส์ (Describe the Physics) โดยวาดแผนภาพในระบบอ้างอิงที่กำหนดตามหลักการทางฟิสิกส์ ระบุตัวแปรที่ทราบค่า	3	ระบุตัวแปรที่ทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น **และ**ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบในรูปของตัวแปรทางฟิสิกส์ **และ**ระบุสมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์**
	2	1) ระบุตัวแปรที่ทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น **และ**ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบในรูปของตัวแปรทางฟิสิกส์ได้**ถูกต้องสมบูรณ์ แต่**ระบุสมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา**ถูกต้องเพียงบางส่วน หรือ** 2) ระบุตัวแปรที่

ประเด็นการประเมิน	คะแนน	เกณฑ์การให้คะแนน
บนแผนภาพที่สร้างขึ้น และระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบในรูปของตัวแปรทางฟิสิกส์ และระบุสมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา		ทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น **<u>และ</u>**ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบในรูปของตัวแปรทางฟิสิกส์ได้**<u>ถูกต้องสมบูรณ์</u>** **แต่**ระบุสมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา**<u>ไม่ถูกต้อง</u>** **หรือ** 3) ระบุตัวแปรที่ทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น **<u>และ</u>**ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบในรูปของตัวแปรทางฟิสิกส์ได้**<u>ถูกต้องสมบูรณ์</u>** **<u>แต่ไม่ระบุ</u>**สมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา **หรือ** 4) ระบุตัวแปรที่ทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น **<u>และ</u>**ระบุสมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา**<u>อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์</u>** **แต่**ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบในรูปของตัวแปรทางฟิสิกส์**<u>ถูกต้องเพียงบางส่วน</u>** **หรือ** 5) ระบุตัวแปรที่ทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น **<u>และ</u>**ระบุสมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา**<u>อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์</u>** **แต่**ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบในรูปของตัวแปรทางฟิสิกส์**<u>ไม่ถูกต้อง</u>** **หรือ** 6) ระบุตัวแปรที่ทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น **<u>และ</u>**ระบุสมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา**<u>อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์</u>** **<u>แต่ไม่ระบุ</u>**สิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบในรูปของตัวแปรทางฟิสิกส์ **หรือ** 7) ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบในรูปของตัวแปรทางฟิสิกส์ **<u>และ</u>**ระบุสมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา**<u>อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์</u>** **แต่**ระบุตัวแปรที่ทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น**<u>ถูกต้องเพียงบางส่วน</u>** **หรือ** 8) ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบในรูป

ประเด็นการประเมิน	คะแนน	เกณฑ์การให้คะแนน
		ของตัวแปรทางฟิสิกส์ **<u>และ</u>**ระบุสมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา**<u>อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์</u>** **แต่**ระบุตัวแปรที่ทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น**<u>ไม่ถูกต้อง</u>** **หรือ** 9) ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบในรูปของตัวแปรทางฟิสิกส์ **<u>และ</u>**ระบุสมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา**<u>อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์</u>** **แต่<u>ไม่ระบุ</u>**ตัวแปรที่ทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น
	1	1) ระบุตัวแปรที่ทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้นได้**<u>ถูกต้องสมบูรณ์</u>** **แต่**ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบในรูปของตัวแปรทางฟิสิกส์ **<u>และ</u>**ระบุสมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา**<u>ถูกต้องเพียงบางส่วน</u>** **หรือ** 2) ระบุตัวแปรที่ทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้นได้**<u>ถูกต้องสมบูรณ์</u>** **แต่**ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบในรูปของตัวแปรทางฟิสิกส์ **<u>และ</u>**ระบุสมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา**<u>ไม่ถูกต้อง</u>** **หรือ** 3) ระบุตัวแปรที่ทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้นได้**<u>ถูกต้องสมบูรณ์</u>** **<u>แต่ไม่ระบุ</u>**สิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบในรูปของตัวแปรทางฟิสิกส์ **<u>และไม่ระบุ</u>**สมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา **หรือ** 4) ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบในรูปของตัวแปรทางฟิสิกส์ได้**<u>ถูกต้องสมบูรณ์</u>** **แต่**ระบุตัวแปรที่ทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น **<u>และ</u>**ระบุสมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา**<u>ถูกต้องเพียงบางส่วน</u>** **หรือ** 5) ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบในรูปของตัวแปรทางฟิสิกส์ได้**<u>ถูกต้องสมบูรณ์</u>** **แต่**ระบุตัวแปรที่ทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น **<u>และ</u>**ระบุสมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา**<u>ไม่ถูกต้อง</u>** **หรือ** 6) ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบในรูป

ประเด็นการประเมิน	คะแนน	เกณฑ์การให้คะแนน
		ของตัวแปรทางฟิสิกส์ได้**ถูกต้องสมบูรณ์ แต่ไม่ระบุ**ตัวแปรที่ทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น **และไม่ระบุ**สมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา **หรือ** 7) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่**ระบุตัวแปรที่ทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น **และ**ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบในรูปของตัวแปรทางฟิสิกส์**ถูกต้องเพียงบางส่วน** **หรือ** 8) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่**ระบุตัวแปรที่ทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น **และ**ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบในรูปของตัวแปรทางฟิสิกส์**ไม่ถูกต้อง** **หรือ** 9) ระบุสมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่ไม่ระบุ**ตัวแปรที่ทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น **และไม่ระบุ**สิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบในรูปของตัวแปรทางฟิสิกส์
	0	1) ระบุตัวแปรที่ทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น **และ**ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบในรูปของตัวแปรทางฟิสิกส์ **และ**ระบุสมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา**ถูกต้องเพียงบางส่วน** **หรือ** 2) ระบุตัวแปรที่ทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น **และ**ระบุสิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบในรูปของตัวแปรทางฟิสิกส์ **และ**ระบุสมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา**ไม่ถูกต้อง** **หรือ** 3) **ไม่ระบุ**ตัวแปรที่ทราบค่าบนแผนภาพที่สร้างขึ้น **และไม่ระบุ**สิ่งที่โจทย์กำหนดให้และสิ่งที่โจทย์ต้องการทราบในรูปของตัวแปรทางฟิสิกส์ **และไม่ระบุ**สมการที่เกี่ยวข้องทั้งหมดกับตัวแปรในโจทย์ปัญหา

ประเด็นการประเมิน	คะแนน	เกณฑ์การให้คะแนน
ขั้นที่ 3 วางแผนแก้ปัญหา (Plan the solution) โดยแทนค่าตัวแปรด้วยตัวเลขลงในสมการที่เกี่ยวข้อง โดยต้องตรวจสอบหน่วยของตัวแปรแต่ละตัวก่อนแทนค่าลงในสมการ	3	แทนค่าตัวแปรที่โจทย์กำหนดลงในสมการได้**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์**
	2	แทนค่าตัวแปรที่โจทย์กำหนดลงในสมการได้**อย่างครบถ้วนและถูกต้องมากกว่าร้อยละ 50**
	1	แทนค่าตัวแปรที่โจทย์กำหนดลงในสมการได้**อย่างครบถ้วนและถูกต้องมากกว่าร้อยละ 30**
	0	แทนค่าตัวแปรที่โจทย์กำหนดลงในสมการ**ไม่ถูกต้อง หรือ ไม่แทนค่า**ตัวแปรที่โจทย์กำหนดลงในสมการ
ขั้นที่ 4 ดำเนินการตามแผน (Execute the plan) โดยนำสมการความสัมพันธ์ของตัวแปรทางฟิสิกส์มาดำเนินการทางคณิตศาสตร์จนได้มาซึ่งคำตอบ	3	ดำเนินการทางคณิตศาสตร์และได้มาซึ่งคำตอบที่**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์**
	2	ดำเนินการทางคณิตศาสตร์**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์**แต่คำตอบ**ไม่ถูกต้อง**
	1	ดำเนินการทางคณิตศาสตร์**ถูกต้องเพียงบางส่วน**และคำตอบ**ไม่ถูกต้อง**
	0	ดำเนินการทางคณิตศาสตร์**ไม่ถูกต้อง** และได้มาซึ่งคำตอบที่**ไม่ถูกต้อง หรือ**ไม่ดำเนินการทางคณิตศาสตร์
ขั้นที่ 5 ตรวจสอบคำตอบ (Evaluate the answer) โดยการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของคำตอบตามรูปแบบของแต่ละสถานการณ์โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์ ได้แก่ การคำนวณค่าย้อนกลับ	3	ระบุการตรวจสอบคำตอบ ดังนี้ เมื่อแทนคำตอบในสมการข้อที่ 3) ทำให้สมการเป็นจริง**และ**ระบุเหตุผลของความสมเหตุสมผลของคำตอบ **และ**ระบุหน่วยของคำตอบ**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์**

ประเด็นการประเมิน	คะแนน	เกณฑ์การให้คะแนน
เพื่อดูความเท่ากันของสมการทางคณิตศาสตร์ การสรุปความสมเหตุสมผลจากสถานการณ์โจทย์ปัญหา และการตรวจสอบหน่วยว่าตรงตามที่โจทย์ถามหรือไม่		
	2	1) ระบุการตรวจสอบคำตอบ ดังนี้ เมื่อแทนคำตอบในสมการข้อที่ 3) ทำให้สมการเป็นจริง**และ**ระบุเหตุผลของความสมเหตุสมผลของคำตอบ**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์** **แต่**ระบุหน่วยของคำตอบ**ไม่ถูกต้อง** **หรือ** 2) ระบุการตรวจสอบคำตอบ ดังนี้ เมื่อแทนคำตอบในสมการข้อที่ 3) ทำให้สมการเป็นจริง**และ**ระบุเหตุผลของความสมเหตุสมผลของคำตอบ**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์** **แต่ไม่ระบุ**หน่วยของคำตอบ **หรือ** 3) ระบุการตรวจสอบคำตอบ ดังนี้ เมื่อแทนคำตอบในสมการข้อที่ 3) ทำให้สมการเป็นจริง**และ**ระบุหน่วยของคำตอบ**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์** **แต่**ระบุเหตุผลของความสมเหตุสมผลของคำตอบ**ไม่ถูกต้อง** **หรือ** 4) ระบุการตรวจสอบคำตอบ ดังนี้ เมื่อแทนคำตอบในสมการข้อที่ 3) ทำให้สมการเป็นจริง**และ**ระบุหน่วยของคำตอบ**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์** **แต่ไม่ระบุ**เหตุผลของความสมเหตุสมผลของคำตอบ **หรือ** 5) ระบุการตรวจสอบคำตอบ ดังนี้ ระบุเหตุผลของความสมเหตุสมผลของคำตอบ **และ**ระบุหน่วยของคำตอบ**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์** **แต่ไม่ระบุ**ว่าเมื่อแทนคำตอบใน

ประเด็นการประเมิน	คะแนน	เกณฑ์การให้คะแนน
		สมการข้อที่ 3) ทำให้สมการเป็นจริง
	1	1) ระบุการตรวจสอบคำตอบ ดังนี้ เมื่อแทนคำตอบในสมการข้อที่ 3) ทำให้สมการเป็นจริง**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่**ระบุเหตุผลของความสมเหตุสมผลของคำตอบ **และ**ระบุหน่วยของคำตอบ**ไม่ถูกต้อง** **หรือ** 2) ระบุการตรวจสอบคำตอบ ดังนี้ เมื่อแทนคำตอบในสมการข้อที่ 3) ทำให้สมการเป็นจริง**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่ไม่ระบุ**เหตุผลของความสมเหตุสมผลของคำตอบ **และไม่ระบุ**หน่วยของคำตอบ **หรือ** 3) ระบุเหตุผลของความสมเหตุสมผลของคำตอบ**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่ไม่ระบุ**ว่า เมื่อแทนคำตอบในสมการข้อที่ 3) ทำให้สมการเป็นจริงและ**ไม่ระบุ**หน่วยของคำตอบหรือระบุหน่วยของคำตอบ**ไม่ถูกต้อง** **หรือ** 4) ระบุหน่วยของคำตอบ**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่** ระบุว่า เมื่อแทนคำตอบในสมการข้อที่ 3) ทำให้สมการเป็นจริง **และ**ระบุเหตุผลของความสมเหตุสมผลของคำตอบ**ไม่ถูกต้อง** **หรือ** 5) ระบุหน่วยของคำตอบ**อย่างครบถ้วนและถูกต้องสมบูรณ์ แต่ ไม่ระบุ**ว่า เมื่อแทนคำตอบในสมการข้อที่ 3) ทำให้สมการเป็นจริง**และไม่ระบุ**เหตุผลของความสมเหตุสมผลของคำตอบ
	0	1) ระบุการตรวจสอบคำตอบ ดังนี้ เมื่อแทนคำตอบในสมการข้อที่ 3) ทำให้สมการเป็นจริง**และ**ระบุเหตุผลของความสมเหตุสมผลของคำตอบ **และ**ระบุหน่วยของคำตอบ**ไม่ถูกต้อง** หรือ 2) **ไม่ระบุ**การตรวจสอบคำตอบ ดังนี้ เมื่อแทนคำตอบในสมการข้อที่ 3) ทำให้สมการเป็นจริง**และไม่ระบุ**เหตุผลของความสมเหตุสมผลของคำตอบ **และไม่ระบุ**หน่วยของคำตอบ

ภาคผนวก ค

การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

1. ตาราง 19 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแผนการจัดการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

2. ตาราง 20 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ เรื่อง คลื่นกล แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี

3. ตาราง 21 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง คลื่นกล แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี

4. ตาราง 22 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของเกณฑ์การให้คะแนนแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา เรื่อง คลื่นกล แสงเชิงคลื่นและแสงเชิงรังสี

5. ตาราง 23 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียนรู้

6. ตาราง 24 ค่าความยากยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ เรื่อง คลื่นกล แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี

7. ตาราง 25 ค่าความยากยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง คลื่นกล แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี

8. ตาราง 26 ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียนรู้

9. ตาราง 27 คะแนนจากแบบทดสอบหลังเรียนจากเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยของกลุ่มตัวอย่างของการวิจัย

10. ตาราง 28 คะแนนจากแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ของกลุ่มตัวอย่างของการวิจัย

ตาราง 19 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแผนการจัดการจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

ประเด็นการประเมิน	แผนการจัดการเรียนรู้ที่							แปลผล
	1	2	3	4	5	6	7	
1.แผนการจัดการเรียนรู้มีองค์ประกอบครบถ้วนสัมพันธ์กัน	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	สอดคล้อง
2. จุดประสงค์มีความครอบคลุม ชัดเจน สอดคล้องกับตัวชี้วัดและมาตรฐานการเรียนรู้	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	สอดคล้อง
3. สาระสำคัญถูกต้องสอดคล้องกับกิจกรรมการเรียนรู้	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	สอดคล้อง
4. สาระสำคัญมีความยากง่ายสอดคล้องกับระดับชั้นของนักเรียน	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	สอดคล้อง
5. กิจกรรมการเรียนรู้สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	สอดคล้อง
6. กิจกรรมการเรียนรู้สอดคล้องกับจำนวนคาบเรียน	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	สอดคล้อง
7. กิจกรรมการเรียนรู้สอดคล้องกับการส่งเสริมให้เกิดมโนทัศน์ฟิสิกส์	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	สอดคล้อง

ตาราง 19 (ต่อ)

ประเด็นการประเมิน	แผนการจัดการเรียนรู้ที่							แปลผล
	1	2	3	4	5	6	7	
8. กิจกรรมการเรียนรู้สอดคล้องกับการส่งเสริมให้เกิด ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	สอดคล้อง
9. วัสดุ อุปกรณ์ สื่อและแหล่งการเรียนรู้สอดคล้องกับเนื้อหาสาระ	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	สอดคล้อง
10. วัสดุ อุปกรณ์ สื่อและแหล่งการเรียนรู้สอดคล้องกับระดับชั้นของนักเรียน	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	สอดคล้อง
11. การวัดและประเมินผลสอดคล้องกับเนื้อหากิจกรรมการเรียนรู้	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	สอดคล้อง
12. การวัดและประเมินผลสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	สอดคล้อง

ค่า IOC เท่ากับ 1.00

ตาราง 20 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ เรื่อง คลื่นกล แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี

ข้อที่	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ					สรุปผล	
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	รวมคะแนน	ค่า IOC	แปลผล
1	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
4	0	+1	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง ใช้ได้
5	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
6	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
7	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
8	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
9	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
10	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
11	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
12	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
13	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
14	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
15	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
16	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
17	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
18	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
19	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
20	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
21	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
22	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
23	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้

ตาราง 20 (ต่อ)

ข้อที่	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ					สรุปผล	
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	รวมคะแนน	ค่า IOC	แปลผล
24	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
25	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
26	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
27	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
28	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
29	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
30	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้

ค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.75 – 1.00

ตาราง 21 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง คลื่นกล แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี

ข้อที่	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ					สรุปผล	
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	รวมคะแนน	ค่า IOC	แปลผล
1.1	0	+1	+1	+1	4	0.75	สอดคล้อง ใช้ได้
1.2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
1.3	0	+1	+1	+1	4	0.75	สอดคล้อง ใช้ได้
1.4	+1	+1	+1	+1	1	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
1.5	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
2.1	0	+1	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง ใช้ได้
2.2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
2.3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
2.4	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้

ตาราง 21 (ต่อ)

ข้อที่	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ					สรุปผล		
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	รวมคะแนน	ค่า IOC	แปลผล	
2.5	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
3.1	0	+1	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง	ใช้ได้
3.2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
3.3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
3.4	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
3.5	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
4.1	0	+1	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง	ใช้ได้
4.2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
4.3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
4.4	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
4.5	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
5.1	0	+1	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง	ใช้ได้
5.2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
5.3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
5.4	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
5.5	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
6.1	0	+1	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง	ใช้ได้
6.2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
6.3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
6.4	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
6.5	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
7.1	0	+1	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง	ใช้ได้
7.2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
7.3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้

ตาราง 21 (ต่อ)

ข้อที่	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ					สรุปผล		
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	รวมคะแนน	ค่า IOC	แปลผล	
7.4	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
7.5	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
8.1	0	+1	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง	ใช้ได้
8.2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
8.3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
8.4	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
8.5	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
9.1	0	+1	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง	ใช้ได้
9.2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
9.3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
9.4	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
9.5	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
10.1	0	+1	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง	ใช้ได้
10.2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
10.3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
10.4	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
10.5	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
11.1	0	+1	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง	ใช้ได้
11.2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
11.3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
11.4	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
11.5	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
12.1	0	+1	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง	ใช้ได้
12.2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้

ตาราง 21 (ต่อ)

ข้อที่	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ					สรุปผล	
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	รวมคะแนน	ค่า IOC	แปลผล
12.3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
12.4	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
12.5	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
13.1	0	+1	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง ใช้ได้
13.2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
13.3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
13.4	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
13.5	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
14.1	0	+1	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง ใช้ได้
14.2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
14.3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
14.4	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
14.5	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
15.1	0	+1	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง ใช้ได้
15.2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
15.3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
15.4	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
15.5	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
16.1	0	+1	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง ใช้ได้
16.2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
16.3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
16.4	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
16.5	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
17.1	0	+1	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง ใช้ได้

ตาราง 21 (ต่อ)

ข้อที่	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ					สรุปผล	
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	รวมคะแนน	ค่า IOC	แปลผล
17.2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
17.3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
17.4	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
17.5	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
18.1	0	+1	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง ใช้ได้
18.2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
18.3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
18.4	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
18.5	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
19.1	0	+1	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง ใช้ได้
19.2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
19.3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
19.4	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
19.5	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
20.1	0	+1	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง ใช้ได้
20.2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
20.3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
20.4	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
20.5	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้

ค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.75 – 1.00

ตาราง 22 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของเกณฑ์การให้คะแนนแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหา เรื่อง คลื่นกล แสงเชิงคลื่นและแสงเชิงรังสี

ประเด็นการประเมิน	เกณฑ์การให้คะแนน	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ						สรุปผล	
		คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	รวมคะแนน	ค่า IOC	แปลผล	
ขั้นที่ 1 พิจารณาปัญหา (Focus on the problem)	3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
	2	+1	0	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง	ใช้ได้
	1	+1	0	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง	ใช้ได้
	0	+1	0	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง	ใช้ได้
ขั้นที่ 2 อธิบายปัญหาในเชิงฟิสิกส์ (Describe the Physics)	3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
	2	+1	0	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง	ใช้ได้
	1	+1	0	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง	ใช้ได้
	0	+1	0	+1	+1	3	0.75	สอดคล้อง	ใช้ได้
ขั้นที่ 3 วางแผนแก้ปัญหา (Plan the solution)	3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
	2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
	1	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
	0	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
ขั้นที่ 4 ดำเนินการตามแผน (Execute the plan)	3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
	2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
	1	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
	0	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
ขั้นที่ 5 ตรวจสอบคำตอบ (Evaluate the answer)	3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
	2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
	1	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
	0	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้

ค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.75 – 1.00

ตาราง 23 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียนรู้

ข้อที่	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ					สรุปผล	
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	รวมคะแนน	ค่า IOC	แปลผล
ด้านที่ 1 ด้านกระบวนการจัดการเรียนรู้							
1	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
2	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
3	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
4	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
5	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
6	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
ด้านที่ 2 ด้านบรรยากาศการเรียนรู้							
7	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
8	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
9	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
10	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
11	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
12	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
ด้านที่ 3 ด้านการใช้สื่อการเรียนรู้							
13	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
14	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
15	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
16	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
17	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้
18	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง ใช้ได้

ตาราง 23 (ต่อ)

ข้อที่	คะแนนผู้เชี่ยวชาญ					สรุปผล		
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	รวมคะแนน	ค่า IOC	แปลผล	
ด้านที่ 4 ด้านการวัดและประเมินผล								
19	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
20	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
21	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
22	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
23	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้
24	+1	+1	+1	+1	4	1.00	สอดคล้อง	ใช้ได้

ค่า IOC เท่ากับ 1.00

ตาราง 24 ค่าความยากยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ เรื่อง คลื่น แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี

ข้อที่	p	r
1	0.60	0.27
2	0.57	0.27
3	0.65	0.37
4	0.78	0.23
5	0.60	0.20
6	0.67	0.27
7	0.58	0.23
8	0.68	0.27
9	0.58	0.23
10	0.58	0.30
11	0.61	0.23
12	0.55	0.23

ตาราง 24 (ต่อ)

ข้อที่	p	r
13	0.60	0.27
14	0.58	0.30
15	0.58	0.23

ค่า p อยู่ระหว่าง 0.55 - 0.67

ค่า r อยู่ระหว่าง 0.20 - 0.37

α = 0.726

ตาราง 25 ค่าความยากยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบวัดความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ เรื่อง คลื่นกล แสงเชิงคลื่น และแสงเชิงรังสี

ข้อที่	p	r
1	0.55	0.48
2	0.41	0.34
3	0.27	0.50
4	0.55	0.48
5	0.63	0.47
6	0.55	0.48
7	0.34	0.35
8	0.41	0.34
9	0.41	0.34
10	0.23	0.30

ค่า p อยู่ระหว่าง 0.23-0.55

ค่า r อยู่ระหว่าง 0.30-0.50

α = 0.787

ตาราง 26 ค่าอำนาจจำแนก (t) ของแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียนรู้

ข้อที่	t
ด้านที่ 1	
1	2.882**
2	7.473**
3	6.789**
4	7.129**
5	5.389**
ด้านที่ 2	
6	3.860**
7	4.899**
8	3.443**
9	5.458**
10	5.389**
ด้านที่ 3	
11	4.076**
12	5.435**
13	6.114**
14	6.794**
15	6.721**
ด้านที่ 4	
16	6.358**
17	4.591**
18	6.040**
19	7.201**
20	5.117**

**p< .01

ค่า t อยู่ระหว่าง 2.882 – 7.473

α = 0.921

ตาราง 27 คะแนนจากแบบทดสอบหลังเรียนจากเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยของกลุ่มตัวอย่างของการวิจัย

นักเรียนคนที่	มโนทัศน์ฟิสิกส์ (30)		ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ (150)	
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน
1	10	21	20	81
2	2	23	18	126
3	11	19	17	99
4	10	26	23	130
5	19	21	69	124
6	8	24	20	123
7	4	22	15	122
8	12	22	11	123
9	9	21	17	83
10	9	22	17	122
11	4	23	32	118
12	9	21	26	99
13	9	22	11	119
14	10	20	12	81
15	4	25	11	112
16	3	23	7	117
17	14	22	22	97
18	11	24	9	109
19	10	24	12	119
20	8	24	10	125
21	10	24	21	121
22	4	22	6	82

ตาราง 27 (ต่อ)

นักเรียนคนที่	มโนทัศน์ฟิสิกส์ (30)		ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์ (150)	
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน
23	7	23	19	129
24	17	26	19	127
25	4	23	4	84
26	3	20	16	127
27	5	20	7	62
28	10	23	5	99
29	9	24	16	112
30	11	21	22	98
31	16	22	25	118
32	18	24	19	123
33	7	23	19	113
34	8	24	5	91
35	6	22	7	115
36	8	22	7	91
37	8	24	13	115
38	8	22	6	85
39	3	27	2	106
40	9	23	12	66
41	15	23	40	104
42	3	24	16	103
43	12	20	20	84

ตาราง 28 คะแนนจากแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ของกลุ่มตัวอย่างของการวิจัย

นักเรียนคนที่	คะแนนความพึงพอใจ (5)			
	ด้านที่ 1	ด้านที่ 2	ด้านที่ 3	ด้านที่ 4
1	4	3.4	5	5
2	3.6	2.8	5	5
3	2.6	2.6	4	3.4
4	5.0	4.8	5	5
5	3.8	3.8	4	3.4
6	3.8	4.6	5	5
7	4.2	3.6	3.6	3.2
8	3	4.2	5	4
9	4.2	3.4	4.2	4.2
10	4.8	3.2	4.8	4.8
11	3	4.6	4	3.8
12	4.2	4.2	3.8	4
13	4	4.2	4.2	3.8
14	4.6	5	5	4.4
15	4.2	3	4.4	4.4
16	4	4	4.4	4.2
17	2.8	4	4	3
18	3	4.8	3.8	2.8
19	3.6	3.4	3.8	3.8
20	3	4.2	3.6	2.4
21	4	4.4	3.6	4
22	4	4.6	4.6	4.4
23	3	4.8	4.4	4.6
24	3	5	4.8	4

ตาราง 28 (ต่อ)

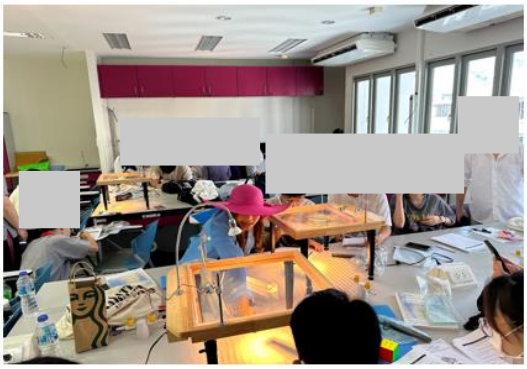
นักเรียนคนที่	คะแนนความพึงพอใจ (5)			
	ด้านที่ 1	ด้านที่ 2	ด้านที่ 3	ด้านที่ 4
25	4	5	4	4
26	3.2	5	3.6	3.8
27	3	4.2	3.8	4.2
28	4.2	3	3.8	4.6
29	3.6	5	4.4	3.2
30	4.4	3.6	3.8	4.8
31	5	3.6	4.8	5
32	4.6	3.4	5	4.8
33	5	3.4	5	5
34	3	3.4	4.8	3
35	4	4	3	4
36	4.2	4.4	4	4.2
37	4.6	4	4.4	4.2
38	2.8	4.8	4.8	3.4
39	3.6	3.6	3.6	3.4
40	4.2	4.6	4.6	4.8
41	3.8	4.6	4.6	5
42	4.6	4.2	4.8	4.8
43	5	3.8	5	5

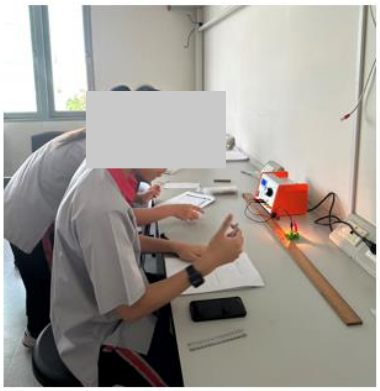
ภาคผนวก ง
ภาพกิจกรรมและผลงานนักเรียน

1) ตัวอย่างภาพกิจกรรมขณะจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์

2) ตัวอย่างการตอบคำถามในแบบบันทึกกิจกรรม

ตัวอย่างภาพกิจกรรมขณะจัดการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับกลวิธีการคิดเป็นภาพและกลวิธีแก้โจทย์ปัญหาฟิสิกส์เชิงตรรกะของเฮลเลอร์และเฮลเลอร์





ตัวอย่างการตอบคำถามในแบบบันทึกกิจกรรม

ตอนที่ 1 การสะท้อนของแสง

เมื่อนักเรียนจัดกล่องแสงให้ลำแสงตกกระทบผิวของแท่งพลาสติกโดยทำมุมตกกระทบค่าต่าง ๆ มุมตกกระทบและมุมสะท้อนจะมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ อย่างไร

คำถามก่อนการทดลอง

1. เมื่อนักเรียนทำการทดลองจัดกล่องแสงให้ลำแสงตกกระทบผิวของแท่งพลาสติก จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของลำแสงหรือไม่ อย่างไร

ไม่เปลี่ยนแปลง

2. เมื่อนักเรียนจัดกล่องแสงให้ลำแสงตกกระทบผิวของแท่งพลาสติกโดยทำมุมตกกระทบค่าต่าง ๆ มุมตกกระทบและมุมสะท้อนจะมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ อย่างไร

มีความสัมพันธ์กัน โดย มุมตกกระทบ = มุมสะท้อน

3. กลุ่มของนักเรียนมีคำถามสำคัญในการทดลองเป็นอย่างไร

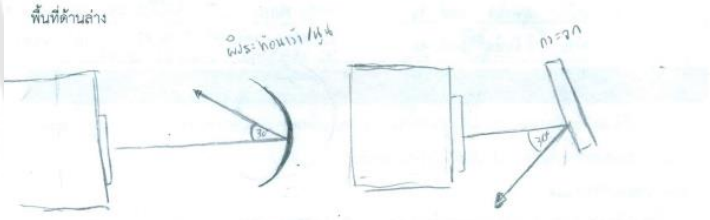
มุมตกกระทบและมุมสะท้อนจะมีความสัมพันธ์กันหรือไม่

4. กลุ่มของนักเรียนมีสมมติฐานต่อการทดลองเป็นอย่างไร

มุมตกกระทบและมุมสะท้อนจะเท่ากัน

วิธีการทดลอง

ให้นักเรียนปรึกษากันในกลุ่มเพื่อออกแบบวิธีการทดลองของกลุ่ม แล้วเขียนวิธีการทดลองของกลุ่มลงในพื้นที่ด้านล่าง



การออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง

ให้นักเรียนบันทึกผลการทดลองของกลุ่มลงในพื้นที่ด้านล่าง โดยเติมคำตอบต่อไปนี้

1. ภาพรวมคร่าว ๆ ของการทดลองเป็นอย่างไร

ยิงแสงไปกระทบมุมต่าง / แท่งพลาสติกกล่องสะท้อนแสงบวม

2. จากการทดลองดังกล่าว ให้นักเรียนระบุข้อมูลต่อไปนี้อย่างละเอียด

2.1 นักเรียนเห็นวัตถุอะไรบ้างจากการทำการทดลอง

กล่องแสง หนังยางสีดำ แท่งพลาสติก (ทรงเหลี่ยม) พิมพ์สะท้อนแสงใหม่ กระจกวัดมุม ดินสอ

2.2 นักเรียนเห็นปริมาณของแสงที่เกิดขึ้นหรือเปลี่ยนแปลงไปเท่าใด

—

2.3 นักเรียนเห็นตำแหน่งของแสงที่เปลี่ยนแปลงไปที่ตำแหน่งใด

จุดที่แสงตกกระทบกับวัตถุ

2.4 นักเรียนเห็นเหตุการณ์ของแสงที่เปลี่ยนแปลงไปเกิดขึ้นเมื่อไหร่

เมื่อแสงตกกระทบกับวัตถุ

2.5 นักเรียนเห็นผลกระทบและความสัมพันธ์ระหว่างเหตุการณ์หรือตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับแสงอย่างไร

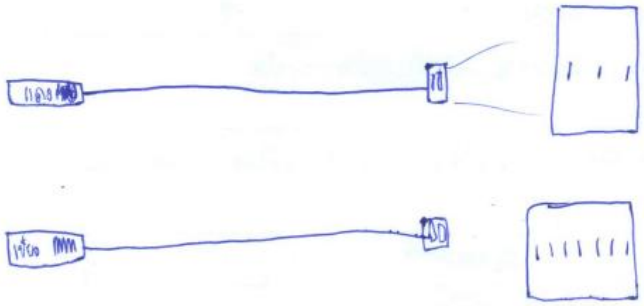
มุมตกกระทบ แปรผันตรงกับ มุมสะท้อน

2.6 นักเรียนคิดว่าเหตุการณ์เหล่านั้นที่เกิดขึ้นเป็นเพราะอะไร

เพราะแสงตกกระทบกับวัตถุ

การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ภาพ

ให้นักเรียนนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาแสดงเป็นภาพลงในพื้นที่ด้านล่าง



คำถามหลังการทดลอง

1. เมื่อทำการฉายแสงเลเซอร์ผ่านสลิตคู่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงบนฉากรับภาพอย่างไร

เกิดแถบแสงสลับแถบที่เท่ากัน

2. เมื่อทำการฉายแสงเลเซอร์สีแดงผ่านสลิตคู่ที่มีระยะห่างระหว่างช่องต่างกัน ภาพที่ปรากฏบนฉากจะมีความแตกต่างกันอย่างไร

ความกว้างของแถบสว่าง มีขนาดมากขึ้น

3. เมื่อทำการฉายแสงเลเซอร์ผ่านสลิตคู่โดยใช้เลเซอร์สีแดงและสีเขียว จะเกิดการเปลี่ยนแปลงบนฉากรับภาพแตกต่างกันอย่างไร

สีแดง จะมีขนาดของแถบสว่างกว้างกว่า

3. ให้นักเรียนลองเปรียบเทียบข้อมูลที่รวบรวมได้ แล้วระบุว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นตรงกับตัวเลือกใด ให้ทำเครื่องหมายถูกในช่องนั้น

3.1 ภาพรวมของข้อมูล	ข้อมูลแบบง่าย ๆ	✓
	ข้อมูลที่มีรายละเอียด	
3.2 ประเภทของข้อมูล	ข้อมูลเชิงปริมาณ	
	ข้อมูลเชิงคุณภาพ	✓
3.3 ลักษณะของข้อมูล	ข้อมูลเป็นภาพรวมหรือภาพกว้าง ๆ	✓
	ข้อมูลเป็นลำดับขั้นตอน	
3.4 รูปแบบของข้อมูล	ข้อมูลมีความเฉพาะ	✓
	ข้อมูลมีการเปรียบเทียบ	
3.5 ความคงที่ของข้อมูล	ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์	✓
	ข้อมูลมีความคงที่ตลอดเวลา	

ให้นักเรียนปรึกษากันในกลุ่มเพื่อออกแบบตารางบันทึกผลการทดลองของกลุ่ม แล้วเขียนตารางบันทึกผลการทดลองของกลุ่มลงในพื้นที่ด้านล่าง พร้อมทั้งตั้งชื่อตาราง

ตารางเปรียบเทียบ ขนาดมุม และชนิดกระจก 2 ชนิด

มุม	30		60	
ชนิดกระจก	กระจกเงาโค้ง	กระจกเงาราบ	กระจกเงาโค้ง	กระจกเงาราบ
มุมตกกระทบ	15	15	20	30
มุมสะท้อน	15	15	20	30

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ณัฐพร ทองพันธ์
วัน เดือน ปี เกิด	4 มีนาคม 2539
สถานที่เกิด	สกลนคร
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2551 ระดับประถมศึกษา โรงเรียนมารีย์พิทักษ์พังโคน จังหวัดสกลนคร พ.ศ. 2556 ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัยมุกดาหาร จังหวัดมุกดาหาร พ.ศ. 2562 ครุศาสตร์บัณฑิต (ค.บ.) สาขาวิชามัธยมศึกษา (วิทยาศาสตร์) วิชาเอก ฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2566 การศึกษามหาบัณฑิต (กศ.ม.) สาขาวิชาวิทยาการทางการศึกษาและการจัดการเรียนรู้ กลุ่มวิชา วิทยาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ที่อยู่ปัจจุบัน	ศุภาลัย ซิตี้รีสอร์ท ห้วยขวาง ซอยประชาอุทิศ 6 แขวงห้วยขวาง เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10310