ผลของการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ที่มีต่อความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

นายโกเมศ นาแจ้ง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน
คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

EFFECTS OF USING MODEL-CENTERED INSTRUCTION SEQUENCE ON ABILITY IN MAKING SCIENTIFIC MODEL AND CONCEPTS OF LAWS OF MOTION AND TYPES OF MOTION OF UPPER SECONDARY SCHOOL STUDENTS

Mr. Komed Najang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Education Program in Science Education

Department of Curriculum and Instruction

Faculty of Education

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ที่มีต่อความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย
โดย	นายโกเมศ นาแจ้ง
สาขาวิชา	การศึกษาวิทยาศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร.วัชราภรณ์ แก้วดี

คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะครุศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย กาญจนวาสี)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……. ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิมพันธ์ เดชะคุปต์)

……... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.วัชราภรณ์ แก้วดี)

……. กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ พเยาว์ ยินดีสุข)

โกเมศ นาแจ้ง: ผลของการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ที่มีต่อความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และมโนทัศน์เรื่องกฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย. (EFFECTS OF USING MODEL-CENTERED INSTRUCTION SEQUENCE ON ABILITY IN MAKING SCIENTIFIC MODEL AND CONCEPTS OF LAWS OF MOTION AND TYPES OF MOTION OF UPPER SECONDARY SCHOOL STUDENTS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ ดร.วัชราภรณ์ แก้วดี, 255 หน้า.

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายหลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS (2) เพื่อเปรียบเทียบมโนทัศน์เรื่องกฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายระหว่างกลุ่มที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS กับกลุ่มที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยวิธีสอนแบบปกติ กลุ่มตัวอย่างคือนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ที่เรียนในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2554 จำนวน 102 คน แบ่งเป็นกลุ่มทดลอง 52 คน และกลุ่มควบคุม 50 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ (1) แบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่มีค่าความเที่ยงเท่ากับ .83 และแบบประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่มีค่าความเที่ยงเท่ากับ .76 (2) แบบวัดมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ ที่มีค่าความเที่ยงเท่ากับ .85 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่าเฉลี่ยร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติทดสอบที

ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

1. ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มทดลองจัดอยู่ในระดับพอใช้

2. นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่หลังเรียนเฉลี่ยร้อยละ 70.45 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ ร้อยละ 70

4. นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่สูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ภาควิชา หลักสูตรและการสอน ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา การศึกษาวิทยาศาสตร์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2554

5283314327: MAJOR SCIENCE EDUCATION

KEYWORDS: MODEL-CENTERED INSTRUCTION SEQUENCE/ LAWS OF MOTION AND TYPES OF MOTION CONCEPTS/ ABILITY IN MAKING SCIENTIFIC MODEL

KOMED NAJANG: EFFECTS OF USING MODEL-CENTERED INSTRUCTION SEQUENCE ON ABILITY IN MAKING SCIENTIFIC MODEL AND CONCEPTS OF LAWS OF MOTION AND TYPES OF MOTION OF UPPER SECONDARY SCHOOL STUDENTS. ADVISOR: WATCHARAPORN KAEWDEE, Ph.D., 255 pp.

This study was a quasi-experimental research aimed to (1) study ability in making scientific model of students after learning physics by using the model-centered instruction sequence (MCIS), (2) compare laws of motion and types of motion concepts of students between groups learning by using MCIS and conventional instruction. The samples were two classes of Mathayom Suksa four students of Bodindecha (Sing Singhasenee) school, Bangkok, in the first semester of academic year 2011. One class with 52 students was sampled as an experimental group, learning Physics by using MCIS, and another class with 50 students was sampled as a control group, learning Physics by using conventional instruction. The research instruments were (1) the scientific model making ability test with reliability at .83 and the scientific model making process evaluation form with reliability at .76, (2) the laws of motion and types of motion concepts test with reliability at 0.85. The collected data were analyzed by using arithmetic mean, standard deviation. The hypothesises were tested by using t-test.

The research findings were summarized as follows:

1. The ability in making scientific model of the experimental group were rated moderate level.

2. The experimental group's mean scores of posttest in ability in making scientific model were higher than posttest scores at .05 level of significance.

3. The experimental group's mean score of laws of motion and types of motion concepts were at 70.45 which was higher than criterion score set at 70 percent.

4. The experimental group's mean scores of posttest in laws of motion and types of motion concepts were higher than the control group's posttest scores at .05 level of significance.

Department: Curriculum and Instruction
Student's Signature ……..
Field of Study: Science Education
Advisor's Signature ……
Academic Year: 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องมาจากความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร.วัชราภรณ์ แก้วดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ด้วยการให้การอบรม สั่งสอน ให้คำแนะนำและข้อคิดที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัยและการทำงาน ตลอดจนการให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.พิมพันธ์ เดชะคุปต์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.พเยาว์ ยินดีสุข กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.อลิศรา ชูชาติ และอาจารย์สุรสิงห์ นิรชร ที่ได้ทำให้ผู้วิจัยมีประสบการณ์ที่คุ้มค่าตลอดระยะเวลาที่ศึกษา ณ สถาบันแห่งนี้ ตลอดจนได้ให้คำสอนชี้แนะแนวทางทำให้ผู้วิจัยมีความซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีที่ได้รับ รวมถึงคณาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้กรุณาตรวจสอบและให้ข้อเสนอแนะในการพัฒนาคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์เผ่า สุวรรณศักดิ์ศรี และรศ.เพ็ญพรรณ ยังคง อนุสาสกหอพักนิสิตจุฬาฯ ที่ทำให้ผู้วิจัยมีประสบการณ์ชีวิตที่ดีๆ ขอบคุณกำลังใจดีๆ จากผู้ปกครองหอพักนิสิตฯ ทั้งชายหญิง เจ้าหน้าที่หอพักนิสิตฯ ทุกท่าน ตลอดจนเพื่อนๆ ชาวซีมะโด่ง (RCU 87) ทุกคน และที่สำคัญขอบคุณเพื่อนๆ รหัส 52 สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ที่ทำให้มีความทรงจำดีๆ ตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษา ณ สาขาวิชาแห่งนี้

ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการโรงเรียนบดินทร์เดชา (สิงห์ สิงหเสนีย์) ตลอดจนอาจารย์ทุกท่านในหมวดวิทยาศาสตร์ที่ให้ความเป็นกันเอง การให้ความช่วยเหลือในทุกด้าน จนทำให้รู้สึกซาบซึ้งในน้ำใจที่ได้รับ และที่สำคัญขอขอบคุณนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4/11 และ 4/15 ประจำปีการศึกษา 2554 ทุกคนที่เป็นนักเรียนที่น่ารักและให้ความร่วมมือในการทำวิจัยเป็นอย่างดี

อนึ่งผู้วิจัยได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

เหนือสิ่งอื่นใด ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่ชายที่เป็นกำลังใจที่สำคัญของผู้วิจัยมาโดยตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ญ
สารบัญแผนภาพ..... ฑ

บทที่

1 บทนำ..... 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
คำถามการวิจัย..... 7
วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 7
สมมติฐานการวิจัย..... 7
ขอบเขตการวิจัย..... 9
ข้อตกลงเบื้องต้น..... 10
คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย..... 10
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 14
การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS..... 15
ทฤษฎีการเรียนรู้และแนวคิดที่สนับสนุนการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS..... 15
ความเป็นมา ความหมายและเป้าหมายของการพัฒนาการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS..... 23
ขั้นตอนของการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS..... 24
บทบาทครูและนักเรียนตามการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS..... 25
การสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์..... 28

บทที่ **หน้า**

ความหมาย ประเภทของ และองค์ประกอบของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์..... 28
ความสำคัญของแบบจำลองและการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์..... 42
ความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลองทางความคิด แบบจำลองที่แสดงออก และแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์..... 44
แนวทางการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์..... 45
ความหมายและองค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์..... 50
แนวทางการวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์..... 61
มโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่..... 72
ความหมายมโนทัศน์..... 73
ความหมายมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์..... 73
ประเภทของมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์..... 75
มโนทัศน์หลัก และมโนทัศน์พื้นฐาน เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่..... 78
แนวทางการวัดมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์และมโนทัศน์ทางฟิสิกส์..... 81
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้แบบจำลองในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ และมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่..... 86
กรอบแนวคิดในการวิจัย..... 92
3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 93
รูปแบบการวิจัย..... 93
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง..... 94
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย..... 96
การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล..... 118
การวิเคราะห์ข้อมูล..... 120
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 122

บทที่ **หน้า**

ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์..... 122
ผลการวิเคราะห์มโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่..... 133
5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... 136
สรุปผลการวิจัย..... 136
อภิปรายผลการวิจัย..... 137
ข้อเสนอแนะ..... 146
รายการอ้างอิง..... 149
ภาคผนวก..... 164
ภาคผนวก ก รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบเครื่องมือวิจัย..... 165
ภาคผนวก ข เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล..... 168
ภาคผนวก ค เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง..... 211
ภาคผนวก ง คุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล..... 236
ภาคผนวก จ ค่าสถิติทดสอบคะแนนเฉลี่ยรายคู่และตัวอย่างภาพกิจกรรม
การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS..... 252
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 255

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	บทบาทครูและนักเรียนตามขั้นตอนการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS.....	26
2	องค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์.....	56
3	ตัวอย่างรายการเกณฑ์การประเมินความสามารถในการเขียนภาพวาดและคำอธิบาย.....	64
4	ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินความสามารถในการเขียนแบบจำลองที่แสดงการทดลอง.....	65
5	ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ด้าน การสร้างแบบจำลอง.....	66
6	ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ด้านการปรับเปลี่ยนแบบจำลอง.....	68
7	ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ด้านการสร้างและใช้แบบจำลอง.....	70
8	ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ด้านด้านการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงแบบจำลอง.....	71
9	ห้องเรียนที่มีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์พื้นฐานไม่แตกต่างกันจำนวน 31 คู่.....	96
10	ช่วงคะแนน และระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในด้านแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์.....	100
11	รายการประเมิน และขั้นตอนการสอนที่ทำการประเมินในกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์.....	102
12	พฤติกรรมบ่งชี้ของแต่ละรายการประเมิน และเกณฑ์การประมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์.....	104
13	ช่วงคะแนน และระดับความสามารถของกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์.....	105

ตารางที่ **หน้า**

14 ข้อเสนอแนะจากการตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและเหตุผลสนับสนุนกับคำจำกัดความ ความคิดสำคัญของแบบวัดมโนทัศน์พื้นฐานและมโนทัศน์หลักเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่..... 109

15 เนื้อหาและจำนวนคาบที่ใช้ในการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้วิชาพื้นฐานฟิสิกส์..... 112

16 เปรียบเทียบขั้นตอนกิจกรรมการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS และการจัดการเรียนการสอนโดยวิธีสอนแบบปกติ..... 113

17 ข้อเสนอแนะจากการตรวจสอบแผนการจัดการเรียนรู้ของผู้ทรงคุณวุฒิ..... 116

18 ค่าเฉลี่ย ($\overline{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ค่าเฉลี่ยร้อยละ ($\overline{x}_{ร้อยละ}$) และระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ของนักเรียนกลุ่มทดลอง (n = 52)..... 123

19 ค่าเฉลี่ย ($\overline{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าที (t) ของคะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มทดลอง (n = 52) ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS..... 127

20 ค่าเฉลี่ย ($\overline{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ค่าเฉลี่ยร้อยละ($\overline{x}_{ร้อยละ}$) และระดับความสามารถของกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ของนักเรียนกลุ่มทดลอง (n = 52)..... 133

21 ค่าเฉลี่ย ($\overline{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าเฉลี่ยร้อยละของคะแนนมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ของนักเรียนกลุ่มทดลอง (n = 52)..... 134

22 ค่าเฉลี่ย ($\overline{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าที (t) ของคะแนนมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ระหว่างนักเรียนกลุ่มทดลอง (n = 52) และกลุ่มควบคุม (n=50)..... 135

ตารางที่ **หน้า**

23 วิเคราะห์แบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์..... 179

24 หัวข้อเรื่อง มโนทัศน์พื้นฐานและจุดประสงค์ที่ต้องการวัดของแบบวัดมโนทัศน์พื้นฐานเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่..... 192

25 หัวข้อเรื่อง มโนทัศน์หลัก และจุดประสงค์ที่ต้องการวัดของแบบวัดมโนทัศน์หลักเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่..... 198

26 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างรายการประเมินกับเกณฑ์การประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์..... 237

27 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างผู้วิจัยและผู้เชี่ยวชาญของแบบประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์..... 238

28 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างลักษณะข้อคำถามกับวัตถุประสงค์การวัดในการเขียนเป็นแบบจำลองวิทยาศาสตร์แต่ละแบบ.. 239

29 ค่าความยาก (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของข้อสอบการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์..... 241

30 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างรายการประเมินกับเกณฑ์การประเมินแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 5 แบบ..... 242

31 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างผู้วิจัยและผู้เชี่ยวชาญของแบบประเมินแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 5 แบบ..... 244

32 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างความถูกต้องและความครบถ้วนของมโนทัศน์พื้นฐานเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่..... 245

33 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างมโนทัศน์พื้นฐานกับข้อคำถามและเหตุผลสนับสนุนคำตอบ..... 246

34 ค่าความยาก (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบวัดมโนทัศน์พื้นฐานเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่..... 247

35 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างความถูกต้องและความครบถ้วนของมโนทัศน์หลักเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่..... 248

ตารางที่ **หน้า**

36 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างมโนทัศน์หลักกับข้อคำถามและเหตุผลสนับสนุนคำตอบ..... 250

37 ค่าความยาก (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบวัดมโนทัศน์หลักเรื่องกฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่..... 251

38 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\overline{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ค่าสถิติทดสอบรายคู่ของ Dunnett's T_3 ของคะแนนมโนทัศน์พื้นฐานเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 11 ห้องเรียน... 253

สารบัญแผนภาพ

แผนภาพที่		หน้า
1	กระบวนการเรียนรู้ที่มีแบบจำลองเป็นฐาน.....	19
2	แบบจำลองทางความคิดและแบบจำลองเชิงมโนทัศน์.....	21
3	ประเภทของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนใช้สร้างเพื่ออธิบายปรากฏการณ์.....	36
4	ภาพวาดที่เป็นตัวแทนความเข้าใจเรื่อง การเกิดเงาและการมองเห็นวัตถุหลังการทดลอง ของนักเรียนประถมศึกษาปีที่ 6.....	37
5	การทดลองเรื่อง การถ่ายโอนพลังงานศักย์ยืดหยุ่นไปสู่พลังงานจลน์ของนักเรียนที่เรียนฟิสิกส์ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย.....	37
6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะยืดของเจลลี่เรื่อง กฎของฮุค ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่เรียนฟิสิกส์.....	38
7	ความสัมพันธ์ระหว่างกันของแบบจำลองทางความคิด แบบจำลองที่แสดงออก และปรากฏการณ์.....	45
8	การวิเคราะห์มโนทัศน์หลักและมโนทัศน์พื้นฐาน เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่.....	80
9	รูปแบบการวิจัยแบบ Two Group Pretest-Posttest Design.....	93
10	ผลงานการสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลมของนักเรียนกลุ่มทดลองที่สามารถสร้างได้ในระดับดี.....	124
11	ผลงานการสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิกเรื่องการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของนักเรียนกลุ่มทดลองที่สามารถสร้างได้ในระดับดี.....	124
12	ผลงานการสร้างแบบจำลองที่ใช้ภาพวาดเรื่อง แรงเสียดทานและกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ของนักเรียนกลุ่มทดลองที่สามารถสร้างได้ในระดับพอใช้.....	125

แผนภาพที่ **หน้า**

13 ผลงานการสร้างแบบจำลองที่นำเสนอการทดลองเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน ของนักเรียนกลุ่มทดลองที่สามารถสร้างได้ในระดับพอใช้..... 126

14 ผลงานการสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์เรื่อง แรงเสียดทาน กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1และ 2 ของนิวตัน ของนักเรียนกลุ่มทดลองที่สามารถสร้างได้ในระดับต้องปรับปรุง..... 126

15 ผลงานการสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์เรื่องการเคลื่อนที่แบบวงกลม ของนักเรียนกลุ่มทดลองระหว่างก่อนและหลังเรียน..... 128

16 ผลงานการสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิก เรื่องการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของนักเรียนกลุ่มทดลองระหว่างก่อนและหลังเรียน..... 129

17 ผลงานการสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาดเรื่องการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ของนักเรียนกลุ่มทดลองระหว่างก่อนและหลังเรียน... 129

18 ผลงานการสร้างแบบจำลองที่นำเสนอด้วยการทดลองเรื่อง การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ของนักเรียนกลุ่มทดลองระหว่างก่อนและหลังเรียน..... 131

19 ผลงานการสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์ เรื่องการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ของนักเรียนกลุ่มทดลองระหว่างก่อนและหลังเรียน..... 132

20 การสร้างและการปรับปรุงแบบจำลองที่ใช้ภาพวาดเรื่อง แรงเสียดทานและประเภทของแรงเสียดทาน ของนักเรียนกลุ่มทดลอง..... 141

21 การนำแบบจำลองไปใช้เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะที่รถยนต์กำลังเคลื่อนที่ ของนักเรียนกลุ่มทดลอง..... 142

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การศึกษาวิทยาศาสตร์นั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาบุคคลให้มีความเข้าใจในวิทยาศาสตร์ มีจิตวิทยาศาสตร์ สามารถคิด ดำเนินชีวิต และปกป้องสังคมที่ดีงามได้ (American Association for the Advancement of Science: AAAS, 1990) และมุ่งพัฒนาให้พลเมืองมีการรู้วิทยาศาสตร์ (Scientific Literacy) และมีประสิทธิภาพในการทำงาน (Angell et al., 2006: 440) โดยเป้าหมายของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ประกอบด้วย 3 ประการ (The International Academy of Education: IAE: 6) คือ “(1) เพื่อเตรียมนักเรียนในการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์ในระดับที่สูงขึ้น (2) เพื่อเตรียมนักเรียนในการเข้าสู่ตลาดแรงงานและการประกอบอาชีพ และ (3) เพื่อเตรียมนักเรียนให้เป็นพลเมืองที่มีการรู้วิทยาศาสตร์” จากวัตถุประสงค์และเป้าหมายการศึกษาวิทยาศาสตร์ดังกล่าวทำให้การรู้เป็นเครื่องมือสำคัญที่บุคคลใช้ในการพัฒนาสังคมและมนุษย์ (UNESCO, 2012) โดยบุคคลที่มีการรู้วิทยาศาสตร์ เป็นบุคคลที่มีความตระหนักถึงความสัมพันธ์ระหว่างวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี เข้าใจและอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติโดยอาศัยมโนทัศน์และหลักการทางวิทยาศาสตร์เป็นพื้นฐานสำคัญที่ใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ และสามารถตัดสินใจโดยใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และวิธีคิดที่อยู่บนพื้นฐานของประจักษ์พยานทางวิทยาศาสตร์เพื่อบุคคลและสังคมด้วยความรับผิดชอบได้ (AAAS, 1989; 1990; เลขาธิการสภาการศึกษา, 2554: 1-4)

การที่บุคคลจะมีการรู้วิทยาศาสตร์ได้นั้น สิ่งสำคัญประการหนึ่งคือการมีความรู้และความเข้าใจในมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องและชัดเจน เนื่องจากเป็นพื้นฐานที่สำคัญซึ่งบุคคลใช้ในการบรรยายหรืออธิบายและทำนายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ (National Science Education Standards: NSES, 1996: 22) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวิชาฟิสิกส์นั้นความเข้าใจในมโนทัศน์จัดเป็นหนึ่งในเป้าหมายที่สำคัญของการเรียนการสอนในวิชาฟิสิกส์ (Ramlo, 2003: 2) ตัวอย่างเช่น ความเข้าใจในมโนทัศน์ที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์เป็นประโยชน์ในการนำไปใช้ในเรื่องความปลอดภัยของการใช้ยานพาหนะ การออกแบบสภาพแวดล้อม การเคลื่อนย้ายวัตถุและ

กิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน ตลอดจนการพัฒนาทางเทคโนโลยี (สสวท, 2553: 13-23; Griffith and Brosing, 2012: 60) เนื่องจากเป็นหัวข้อพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องในชีวิตประจำวัน (Bilal and Erol, 2009: 193) ดังนั้นการที่นักเรียนไม่มีมโนทัศน์ทางฟิสิกส์หรือมีมโนทัศน์ที่ไม่ถูกต้องจึงส่งผลให้ (1) นักเรียนไม่สามารถพูดหรือเขียนเพื่ออธิบายความคิดทางวิทยาศาสตร์ได้ (2) นักเรียนไม่สามารถเชื่อมโยงหรือประยุกต์มโนทัศน์ไปใช้ในสถานการณ์ในชีวิตประจำวันได้อย่างเหมาะสม (Halloun ,1998: 240)

อีกทั้งจากการสรุปสภาวการณ์การศึกษาวิทยาศาสตร์ไทยในเวทีโลกในโครงการประเมินผลนักเรียนนานาชาติ (Program for International Student Assessment: PISA, 2006; 2009) ที่แบ่งระดับการประเมินการรู้วิทยาศาสตร์เป็น 6 ระดับ ซึ่งระดับที่ 6 เป็นระดับสูงสุดและระดับที่ 1 เป็นระดับต่ำสุด โดยกำหนดให้ระดับที่ 2 เป็นระดับพื้นฐานที่มีคะแนนในระดับสูงกว่า 409 แต่ต่ำกว่า 484 คะแนน ซึ่งถือเป็นระดับต่ำสุดที่นักเรียนแสดงศักยภาพการใช้ประโยชน์จากวิทยาศาสตร์ในชีวิตจริงได้ในอนาคต ผลการศึกษาพบว่านักเรียนไทยมีการรู้วิทยาศาสตร์ต่ำกว่าระดับพื้นฐาน โดยเฉพาะนักเรียนที่เรียนอยู่ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่มีระดับการรู้วิทยาศาสตร์จากการประเมินในปี พ.ศ.2549 และ 2551 เท่ากับ 464 และ 454 คะแนนตามลำดับ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554:164, 240) และจากการประเมินแนวโน้มทางการศึกษาวิทยาศาสตร์ภายใต้โครงการการศึกษาแนวโน้มการศึกษาวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ระหว่างประเทศ (Trends in International Mathematics and Science Study: TIMSS, 2007) ที่พบว่านักเรียนไทยมีคะแนนอยู่ในระดับต่ำเช่นกัน กล่าวคือมีคะแนนเฉลี่ยต่ำกว่า 500 คะแนน (เลขาธิการสภาการศึกษา, 2552: ง; 2554) จากผลการประเมินในระดับนานาชาติดังกล่าวบ่งชี้ให้เห็นว่านักเรียนยังคงมีความรู้และความเข้าใจในมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับต่ำ และเป็นภาพที่สะท้อนว่าระบบโรงเรียนยังไม่สามารถให้การศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์ที่มีคุณภาพและไม่สามารถเตรียมพร้อมนักเรียนให้เป็นต้นทุนกำลังคนที่มีศักยภาพในการแข่งขันในประชาคมโลกในอนาคต จึงเป็นเหตุผลสำคัญที่จะต้องเร่งปรับปรุงเพื่อยกระดับคุณภาพการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนไทยควรจะได้รับ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2554: 1-4)

การสร้างแบบจำลองและการใช้แบบจำลองในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ได้รับการพิจารณาให้เป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาการรู้วิทยาศาสตร์ (Gilbert, 1995 อ้างถึงใน Gobert and

Buckley, 2000: 891) ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มีความสำคัญต่อการเรียนรู้ของนักเรียน 3 ประการ คือ (1) การสร้างแบบจำลองเป็นส่วนสำคัญที่ก่อให้เกิดการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (2) แบบจำลองทำให้ความคิดของนักเรียนมีความชัดเจนและเป็นประโยชน์สำหรับการสร้างและสื่อสารความเข้าใจ และ (3) การสร้างแบบจำลองช่วยให้นักเรียนสร้างความเข้าใจในเนื้อหาสาระ วิธีการ การให้เหตุผล และการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ (Schwarz et al., 2009) การให้นักเรียนสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในวิชาฟิสิกส์นั้นเป็นประโยชน์ต่อการเรียนรู้มโนทัศน์ กระบวนการทางฟิสิกส์ เพราะแบบจำลองสามารถสะท้อนธรรมชาติของฟิสิกส์ได้ (Greca and Moreira, 2001: 118) และในการเรียนรู้และทำความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่างๆ นั้นสิ่งสำคัญประการแรกคือ นักเรียนต้องมีการสร้างแบบจำลองทางความคิดของตนเองก่อน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับการสร้างมโนทัศน์ทางฟิสิกส์ที่มักเกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ทางกายภาพ (Angel, 2006) ในการเรียนรู้ฟิสิกส์นั้นแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่แสดงความเข้าใจหรือความคิดทางฟิสิกส์แบ่งได้ 5 ประเภท คือ (1) แบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาด (2) แบบจำลองที่นำเสนอการทดลอง (3) แบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิก (4) แบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ และ (5) แบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์ (Dolin, 2002 อ้างถึงใน Guttersrud, 2007)

จากการปฏิรูปการศึกษาวิทยาศาสตร์ในระดับสากลนับตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 พบว่าได้มีการกระตุ้นส่งเสริมให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ตามสภาพจริง ดังเช่น การสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (The National Research Council: NRC, 2000; 2007 อ้างถึงใน Davis et al., 2008) และได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างมากจากสังคมการศึกษาวิทยาศาสตร์ในฐานะที่เป็นแนวทางสำคัญของการศึกษาวิทยาศาสตร์ร่วมสมัย (Harrison and Jong, 2005: 1135) เนื่องจากแบบจำลองและการสร้างแบบจำลองในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ให้ความสำคัญกับการคิดและการปฏิบัติอย่างนักวิทยาศาสตร์ ได้แก่ การสำรวจตรวจสอบ การสร้างความเข้าใจ และการสื่อสารความรู้ความเข้าใจ (Harrison and Treagust, 2000: 1011) นักวิทยาศาสตร์จะใช้การวาดภาพ กราฟ สมการ หรือข้อความเพื่ออธิบายหรือสื่อสารความเข้าใจของตนเองซึ่งกล่าวได้ว่าเป็นแบบจำลองทางความคิด (National Center for Mathematics and Science: NCMS, 2002: online) แบบจำลองเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการเรียนรู้เกี่ยวกับสิ่งต่างๆ (AAAS, 1993, 2009) และช่วยให้นักวิทยาศาสตร์เข้าใจการทำงานของสิ่งต่างๆได้ (NSES, 1996) โดยนักวิทยาศาสตร์จะสร้างและใช้แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เพื่อแสดง อธิบาย และทำนาย

กระบวนการของปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ รวมทั้งมีการประเมินและปรับปรุงแบบจำลองเมื่อได้รับหลักฐานชิ้นใหม่หรือเพื่อเพิ่มความสามารถในการอธิบายและทำนายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น (Cotterman, 2009: 4)

จากการปฏิรูปการศึกษาวิทยาศาสตร์ในระดับสากลนี้ส่งผลให้หลักสูตรวิทยาศาสตร์ในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานของประเทศไทยมีการกำหนดให้ความสามารถในการสร้างแบบจำลองเป็นหนึ่งข้อในคุณภาพนักเรียนที่จบมัธยมศึกษาปีที่ 6 ดังปรากฏในเอกสารตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คือ “นักเรียนสามารถวางแผนการสำรวจตรวจสอบเพื่อแก้ปัญหาหรือตอบคำถาม วิเคราะห์ เชื่อมโยงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์หรือสร้างแบบจำลองจากผลหรือความรู้ที่ได้รับจากการสำรวจตรวจสอบ” (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551: 9) จึงกล่าวได้ว่าการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่ให้นักเรียนสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์นั้นเป็นแนวทางสำคัญของการศึกษาวิทยาศาสตร์ร่วมสมัยอยู่ในปัจจุบัน

การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS (Model-Centered Instruction Sequence) ได้รับการพัฒนาขึ้นภายใต้โครงการที่มีชื่อว่า โครงการออกแบบการสร้างแบบจำลองเพื่อการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ (MoDeLS project) ในปี ค.ศ. 2009 มหาวิทยาลัยรัฐมิชิแกน มีจุดมุ่งหมายเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดจากการสอนการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ตามประเพณีนิยม ทำให้นักเรียนไม่ได้มีส่วนร่วมในกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการตั้งสมมติฐาน การสังเกต และการอภิปรายเพื่อสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์อย่างชัดเจน (Schwarz et al., 2009: 633; Windschitl et al., 2008: 8) การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS มีวัตถุประสงค์ 3 ข้อ (Baek et al., 2010) คือ (1) เพื่อให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ สำรวจตรวจสอบ ปรึกษาหารือประเมินโดยเพื่อน โต้แย้งเพื่อลงมติสร้างแบบจำลองและให้เหตุผลด้วยแบบจำลอง (2) เพื่อให้นักเรียนสร้างแบบจำลองที่แสดงการตั้งสมมติฐาน การให้เหตุผล และความเข้าใจรวมทั้งปรับปรุงแบบจำลองเพื่อสะท้อนความเข้าใจที่เพิ่มขึ้น และ (3) เพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้ซึ่งการได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์และสะท้อนความรู้ความเข้าใจของนักเรียนในขณะที่สร้างแบบจำลอง การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS นี้ได้รับการพัฒนาขึ้นบนพื้นฐานทฤษฎีและแนวคิดทางการเรียนรู้ที่สำคัญ ได้แก่ (1) ทฤษฎีคอนสตรักติวิสต์ (Constructivism) ที่อธิบายการสร้างความรู้ของนักเรียนว่าเกิดขึ้นจากกระบวนการสร้างและทดสอบแบบจำลองทางความคิด (Mental Models)

บนพื้นฐานของความคิดเดิม (Vosniadou and Ioanndes, 1998 อ้างถึงใน Wang, 2007: 5) (2) ทฤษฎีการสร้างแบบจำลอง (Modeling Theory) ที่กล่าวถึงการแสดงความคิดของนักเรียนว่า เมื่อนักเรียนรับรู้ปรากฏการณ์จะมีการสร้างความคิดขึ้นมาภายในตนเองที่เรียกว่าแบบจำลองทางความคิด จากนั้นจะแสดงแบบจำลองออกมาเป็นสัญลักษณ์ที่เป็นตัวแทนความคิด ความเข้าใจที่อยู่บนพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์เรียกว่าแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (Hestenes, 2006) (3) การเรียนรู้ที่มีแบบจำลองเป็นฐาน (Model-Based Learning) หรือ การสืบสอบที่มีแบบจำลองเป็นฐาน (Model-Based Inquiry) ที่อธิบายกระบวนการเรียนรู้ของนักเรียนว่า ความเข้าใจเกิดจากการสร้างแบบจำลองทางความคิดจากปรากฏการณ์ที่ได้ศึกษาหลังจากได้แก้ปัญหา ลงข้อสรุป หรือให้เหตุผลด้วยแบบจำลอง เมื่อนักเรียนประเมินแบบจำลองแล้วพบว่ามีข้อบกพร่อง นักเรียนอาจแก้ไขหรือสร้างแบบจำลองขึ้นใหม่ (Johnson-Laird, 1983 อ้างถึงใน Buckley et al., 2004: 23)

การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ประกอบด้วย 9 ขั้นตอน (Baek et al., 2010) ได้แก่ (1) **ขั้นการมุ่งปรากฏการณ์และตั้งคำถามสำคัญ** เป็นการสร้างความสนใจในบทเรียนเพื่อให้เกิดแนวคิดหรือสมมติฐาน และตั้งคำถาม (2) **ขั้นการสร้างแบบจำลองเบื้องต้น** เป็นการให้นักเรียนสร้างแบบจำลองเบื้องต้นเป็นรายบุคคลเพื่อแสดงความคิดหรือสมมติฐานตามที่ตนเองเข้าใจด้วยการวาดภาพ (3) **ขั้นการสำรวจตรวจสอบเชิงประจักษ์** เป็นการให้นักเรียนร่วมกันทำการสำรวจตรวจสอบแลกเปลี่ยนสมมติฐาน สังเกตผล วิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้น เพื่อให้นักเรียนได้นำหลักฐานมาพิจารณาในการอธิบายผลและสะท้อนผลที่สัมพันธ์กับแบบจำลองของตนเอง (4) **ขั้นการประเมินและปรับปรุงแบบจำลองเบื้องต้น** เป็นการให้นักเรียนประเมินแบบจำลองเบื้องต้นด้วยหลักฐานที่ค้นพบและปรับปรุงแบบจำลองของตนเอง เพื่อให้นักเรียนได้ตรวจสอบความเข้าใจด้วยตัวของนักเรียน (5) **ขั้นการแนะนำความคิดทางวิทยาศาสตร์และสถานการณ์จำลอง** เป็นการเชื่อมโยงความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่สอดคล้องกับปรากฏการณ์หรือแบบจำลอง เพื่อขยายความคิดหรือเพิ่มเติมความรู้ที่ไม่สามารถเข้าถึงได้จากการสำรวจตรวจสอบของนักเรียน (6) **ขั้นการประเมินและปรับปรุงแบบจำลอง** เป็นการให้นักเรียนประเมินและปรับปรุงแบบจำลองของตนเองโดยใช้ความคิดทางวิทยาศาสตร์และสถานการณ์จำลองเพื่อสะท้อนความเข้าใจที่เพิ่มขึ้น (7) **ขั้นการประเมินโดยเพื่อน** เป็นการให้นักเรียนแต่ละคนนำเสนอแบบจำลองและอภิปรายเพื่อประเมินแบบจำลองภายในกลุ่มย่อย และเพื่อนภายในกลุ่มเป็นผู้ให้ผลสะท้อนกลับโดยจะทำหน้าที่อภิปรายถึงเกณฑ์ที่ใช้ตัดสินคุณภาพของแบบจำลอง (8) **ขั้นการลงมติแบบจำลองที่สร้าง** เป็นการให้นักเรียนนำเสนอแบบจำลองต่อชั้นเรียนเพื่อให้นักเรียนได้แสดงความคิดและ

สื่อสารความเข้าใจ และเพื่อนร่วมชั้นจะทำหน้าที่อภิปรายเพื่อร่วมกันตรวจสอบและประเมินแบบจำลองที่เพื่อนนำเสนอ โดยนำจุดเด่นของแบบจำลองที่แตกต่างกันมาสร้างแบบจำลองที่เป็นมติของชั้นเรียน เพื่อสรุปเป็นองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (9) **ขั้นการใช้แบบจำลองเพื่อทำนายหรืออธิบาย** เป็นการให้นักเรียนใช้แบบจำลองที่เป็นมติไปอธิบายปรากฏการณ์ที่สอดคล้องกัน เพื่อให้นักเรียนแสดงการนำความรู้ไปใช้และการให้เหตุผลสำหรับการทำนายหรืออธิบายในสถานการณ์ใหม่

การนำการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS มาใช้ในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์สามารถช่วยพัฒนาการเรียนรู้นักเรียนได้คือ ส่งเสริมให้นักเรียนเข้าถึงความรู้ทางวิทยาศาสตร์และการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ เช่น การตั้งสมมติฐาน การสังเกต และการอภิปรายเพื่อนำไปสู่การสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เป็นต้น (Baek et al., 2010) ดังผลการวิจัยของ Halloun (1998) ได้ทดลองใช้การเรียนการสอนที่เน้นแบบจำลองเป็นฐานกับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายและนักเรียนระดับวิทยาลัยในมโนทัศน์เรื่องแรง ผลการวิจัยพบว่า การสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลอง และนักเรียนมีคะแนนมโนทัศน์เรื่องแรงหลังการทดลองเพิ่มขึ้น ขณะที่ White and Frederiksen (1998) ได้นำแนวการสอนแบบสืบสอบที่มีแบบจำลองเป็นฐาน ซึ่งเป็นแนวคิดเดียวกับการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ไปใช้สอนวิชาฟิสิกส์เรื่องกลศาสตร์ของนิวตัน ให้แก่นักเรียนเกรด 7-9 ที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำ ผลการศึกษาพบว่า นักเรียนมีผลการเรียนรู้ฟิสิกส์ ทักษะการสืบสอบและความสนใจในวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังมีการวิจัยของ Baek et al (2010) ที่ได้พัฒนารูปแบบการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS เพื่อศึกษาการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Modeling) ในมิติด้านการสร้างและการปรับปรุงแบบจำลองของนักเรียนเกรด 5 จำนวน 28 คน เป็นระยะเวลา 6-8 สัปดาห์ ในหน่วยการเรียนรู้เรื่องการระเหยและการควบแน่นของสาร เก็บข้อมูลก่อนและหลังเรียนโดยใช้แบบวัด การบันทึกวีดิทัศน์และการใช้แบบตอบการสัมภาษณ์ ผลพบว่านักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 64 ของนักเรียนทั้งหมด

จากแนวคิด สภาพปัญหา และงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจในการนำการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS มาใช้ในการจัดการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เพื่อพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และ

แบบของการเคลื่อนที่ อันเป็นแนวทางที่จะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการรู้วิทยาศาสตร์และการเรียนรู้ในวิชาฟิสิกส์ได้

คำถามการวิจัย

1.นักเรียนที่เรียนด้วยรูปแบบการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS มีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนหรือไม่ และมีความสามารถอยู่ในระดับใด

2. นักเรียนที่เรียนด้วยรูปแบบการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS มีมโนทัศน์เรื่องกฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ สูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยวิธีสอนแบบปกติหรือไม่

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายหลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS

2. เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายระหว่างก่อนและหลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS

3. เพื่อศึกษามโนทัศน์เรื่องกฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายหลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS

4. เพื่อเปรียบเทียบมโนทัศน์เรื่องกฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายระหว่างกลุ่มที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS กับกลุ่มที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยวิธีสอนแบบปกติ

สมมติฐานการวิจัย

แนวคิดการเรียนรู้ที่มีแบบจำลองเป็นฐาน (Model-Based Learning) กล่าวถึงการสร้างความรู้ของนักเรียนว่า “ความเข้าใจเกิดจากการสร้างแบบจำลองทางความคิดในปรากฏการณ์ที่ศึกษา หลังจากได้แก้ปัญหา ลงข้อสรุป หรือให้เหตุผลโดยใช้แบบจำลองทางความคิด” (Johnson-Laird, 1983 อ้างถึงใน Buckley et al., 2004: 23) ดังผลการวิจัยของ Schwarz et al. (2009) ที่ใช้ขั้นตอนการเรียนการสอนการสร้างแบบจำลอง(Instructional Modeling Sequence) ซึ่งมีฐาน

แนวคิดเดียวกับการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS เพื่อศึกษาพัฒนาการการเรียนรู้การสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (Learning Progression for Scientific Modeling) ของนักเรียนประถมศึกษาตอนปลายและมัธยมศึกษาตอนต้นในวิชาเคมีและฟิสิกส์ ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนประถมศึกษาตอนปลายมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับที่ 2 ขณะที่นักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองอยู่ในระดับที่ 3 จาก 4 ระดับ กล่าวคือนักเรียนสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายปรากฏการณ์ใหม่ที่สัมพันธ์กับสิ่งที่ได้ศึกษามาแล้วและสามารถแก้ไขแบบจำลองได้สอดคล้องกับหลักฐานโดยสามารถอธิบายลักษณะของปรากฏการณ์ได้ครบถ้วนสมบูรณ์

ในขณะที่ผลการวิจัยของ White and Frederiksen (1998) ที่ใช้การเรียนการสอนที่มีแบบจำลองเป็นฐานร่วมกับการสอนแบบสืบสอบแบบเสริมศักยภาพ (Scaffolded Inquiry)เพื่อศึกษาผลการเรียนรู้ฟิสิกส์ ทักษะการสืบสอบ และสมรรถนะในการทำโครงงานของนักเรียนเกรด 7-9 ที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำ และนักเรียนเกรด 11-12 ที่เรียนในวิชาฟิสิกส์เรื่องกลศาสตร์ของนิวตัน ผลการวิจัยพบว่านักเรียนกลุ่มที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำมีผลการเรียนรู้ฟิสิกส์และทักษะการสืบสอบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและมีสมรรถนะในการทำโครงงานและทักษะการสืบสอบเพิ่มขึ้นเทียบเท่ากับกลุ่มนักเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูง ในขณะที่ Schawrz and White (2005) ได้ใช้แนวการสอนแบบสืบสอบที่มีแบบจำลองเป็นฐานเพื่อศึกษามโนทัศน์ฟิสิกส์ ความรู้ที่ใช้สร้างแบบจำลอง และทักษะการสืบสอบของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น ผลการวิจัยพบว่าทักษะการสืบสอบและความรู้ที่ใช้สร้างแบบจำลองของนักเรียนมีความสัมพันธ์กันกับคะแนนมโนทัศน์ฟิสิกส์หลังการทดลอง จากแนวคิดและผลการวิจัยดังกล่าวข้างต้นจึงตั้งสมมติฐาน ดังนี้

1. นักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS จะมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดี

2. นักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS จะมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. นักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS จะมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละมโนทัศน์เรื่องกฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่สูงกว่าร้อยละ 70

4. นักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS จะมีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์เรื่องกฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่สูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยวิธีสอนแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ขอบเขตของการวิจัย

1. ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายในโรงเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 2 กรุงเทพมหานคร สำนักงานคณะกรรมการศึกษาขั้นพื้นฐาน

2. ตัวแปรในการวิจัย มี 2 ตัวแปร ประกอบด้วย

2.1 ตัวแปรจัดกระทำ (Treatment Variable) คือ

2.1.1 การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS

2.1.2 การจัดการเรียนการสอนโดยวิธีสอนแบบปกติ

2.2 ตัวแปรตาม (Dependent Variable) ได้แก่

2.2.1 ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

2.2.2 มโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

2.3 ตัวแปรควบคุม ได้แก่

2.3.1 เนื้อหาวิชาและจำนวนเรื่องที่ใช้ในการเรียนการสอนทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มเปรียบเทียบเป็นเนื้อหาเดียวกัน คือ (1) กฎการเคลื่อนที่ประกอบด้วย ความหมายของแรงและผลของแรงที่มีต่อการเคลื่อนที่ ความหมายของมวล น้ำหนักและความเฉื่อย ความหมายและประเภทของแรงเสียดทาน กฎการเคลื่อนที่ทั้งสามข้อของนิวตัน และกฎการดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน (2) แบบของการเคลื่อนที่ประกอบด้วย การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ การเคลื่อนที่แบบวงกลม และการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

2.3.2 ผู้สอน โดยผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการสอนด้วยตนเองทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มเปรียบเทียบ

2.3.3 ระยะเวลาที่สอน โดยมีจำนวนคาบเรียนที่ใช้ในการสอนเท่ากันทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มเปรียบเทียบ

3. เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ คือ เนื้อหาในรายวิชาพื้นฐานและเพิ่มเติมฟิสิกส์ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรของโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ปีการศึกษา 2554

ข้อตกลงเบื้องต้น

การเรียนการสอนทั้ง 2 แบบ คือ (1) การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS และ (2) การจัดการเรียนการสอนโดยวิธีสอนแบบปกติ ในช่วงเวลาที่ต่างกัน ถือว่าไม่มีผลต่อคะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1.**แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์** หมายถึง แบบที่ใช้เป็นตัวแทนแสดงความรู้ความเข้าใจในปรากฏการณ์ทางกายภาพและปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ แบ่งออกเป็น 5 แบบ ดังนี้

(1) **แบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาด** (Pictorial Representation) คือ แบบที่แสดงความรู้ความเข้าใจในลักษณะของภาพวาด สัญลักษณ์ แผนผัง หรือรูป

(2) **แบบจำลองที่นำเสนอการทดลอง** (Experimental Representation)คือ แบบที่แสดงความรู้ความเข้าใจขั้นตอนการทดลองด้วยการวาดภาพ วัสดุอุปกรณ์ พร้อมทั้งสัญลักษณ์และข้อความ

(3) **แบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิก** (Graphical Representation) คือ แบบที่แสดงความรู้ความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในลักษณะของตาราง แผนภูมิแท่ง และกราฟที่เป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์

(4) **แบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์** (Mathematical Representation) คือ แบบที่แสดงความรู้ความเข้าใจในลักษณะของสมการ ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรและค่าคงที่ทางคณิตศาสตร์

(5) **แบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์** (Conceptual Representation) คือ แบบที่แสดงความรู้ความเข้าใจในลักษณะการเขียนบรรยายหรือพูดโดยสรุปเป็นมโนทัศน์จากผลการสำรวจตรวจสอบหรือข้อมูลจากการทดลอง

2.**การจัดการเรียนการสอนโดยใช้** MCIS (Model-Centered Instruction Sequence) หมายถึง การจัดการเรียนการสอนที่เน้นการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการตั้งสมมติฐาน การสังเกต และการอภิปรายเพื่อนำไปสู่การสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วยขั้นตอนการสอน 9 ขั้นดังนี้

(1) **ขั้นการมุ่งปรากฏการณ์และตั้งคำถามสำคัญ** เป็นการนำเข้าสู่บทเรียนด้วยเหตุการณ์หรือปรากฏการณ์ที่น่าสนใจสามารถพบเห็นในชีวิตประจำวัน เพื่อให้นักเรียนเกิดความสงสัยและตั้งคำถามสำคัญ ซึ่งจะนำไปสู่การคิดสมมติฐานและการค้นหาคำตอบ

(2) **ขั้นการสร้างแบบจำลองเบื้องต้น** เป็นการให้นักเรียนสร้างแบบจำลองเป็นรายบุคคลที่แสดงการคิดสมมติฐานออกมาเป็นแบบจำลองเบื้องต้นที่แสดงด้วยภาพวาด

(3) **ขั้นการสำรวจตรวจสอบเชิงประจักษ์** การให้นักเรียนทำงานเป็นกลุ่ม แลกเปลี่ยนสมมติฐานที่เป็นแบบจำลองเบื้องต้นกับสมาชิกภายในกลุ่ม ร่วมกันวางแผนการสำรวจตรวจสอบจากปรากฏการณ์ โดยสร้างแบบจำลองที่นำเสนอแผนการศึกษาค้นคว้าหรือการปฏิบัติการทดลอง วิเคราะห์และนำเสนอผลโดยสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิก หรือสมการทางคณิตศาสตร์

(4) **ขั้นการประเมินและปรับปรุงแบบจำลองเบื้องต้น** เป็นการให้นักเรียนนำข้อมูลและหลักฐานที่ได้จากการสำรวจตรวจสอบ มาพิจารณาเพื่อประเมินแบบจำลองเบื้องต้นและปรับปรุงแบบจำลองของตนเอง

(5) **ขั้นการแนะนำความคิดทางวิทยาศาสตร์และสถานการณ์จำลอง** เป็นการให้นักเรียนศึกษาสถานการณ์จำลองในสาระที่เรียนรู้ยังไม่ครบถ้วนหรือไม่ชัดเจนจากการสำรวจตรวจสอบเชิงประจักษ์ และมีอภิปรายร่วมกันเพื่อเชื่อมโยงความคิดทางวิทยาศาสตร์ในสถานการณ์จำลองกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา

(6) **ขั้นการประเมินและปรับปรุงแบบจำลอง** เป็นการให้นักเรียนนำความคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ได้จากการศึกษาสถานการณ์จำลองมาใช้ประเมินและปรับปรุงแบบจำลองของตนเอง เพื่อสนับสนุนความสอดคล้องระหว่างข้อสรุปความคิดทางวิทยาศาสตร์กับปรากฏการณ์ที่ศึกษา

(7) **ขั้นการประเมินโดยเพื่อน** เป็นการให้นักเรียนนำเสนอแบบจำลองเป็นรายบุคคลและอภิปรายร่วมกันภายในกลุ่มเพื่อประเมินแบบจำลองของแต่ละคนโดยใช้เกณฑ์การประเมินแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งมีการให้ผลสะท้อนกลับซึ่งกันและกัน

(8) **ขั้นการลงมติแบบจำลองที่สร้าง** เป็นการให้นักเรียนตัวแทนของแต่ละกลุ่มนำเสนอแบบจำลองต่อชั้นเรียน จากนั้นอภิปรายร่วมกันเพื่อนำลักษณะสำคัญของแบบจำลองที่อาจแตกต่างกันมาพิจารณาเพื่อสร้างแบบจำลองที่เป็นมติร่วมกันของชั้นเรียน และให้นักเรียนสรุปความคิดสำคัญของบทเรียนโดยเขียนแบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์เป็นรายบุคคล

(9) **ขั้นการใช้แบบจำลองเพื่อทำนายหรืออธิบาย** เป็นการให้นักเรียนใช้แบบจำลองที่เป็นมติไปอธิบายสถานการณ์ใหม่ในปรากฏการณ์ที่สอดคล้องกัน

3.ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง การสร้างภาพวาด แผนการทดลอง ตาราง แผนภูมิแท่ง กราฟ สมการ หรือเขียนข้อความที่แสดงความรู้ความคิด และความเข้าใจของนักเรียน ซึ่งใช้ในการตั้งสมมติฐาน อธิบาย หรือทำนายปรากฏการณ์ทางกายภาพ ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์นี้วัดใน 2 ด้าน คือ

(1) ด้านทักษะการสร้างแบบจำลอง (Modelling Skills) วัดด้วยแบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 5 แบบ ตามแนวคิดของ Guttersrud (2007)

(2) ด้านกระบวนการสร้างแบบจำลอง (Modelling Process) วัดด้วยแบบประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ตามแนวคิดของ Schwarz et al. (2009) Fortus et al. (2010) และ Baek et al. (2010) โดยใช้การสังเกตกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ประกอบด้วยการประเมิน 4 ด้าน คือ ด้านการสร้าง การประเมิน การปรับปรุง และการนำแบบจำลองไปใช้

4.มโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ หมายถึง ความคิดหลักหรือความคิดสำคัญเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางกายภาพที่ศึกษาเกี่ยวกับแรง ผลของแรงที่เกิดขึ้นต่อวัตถุและลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุวัดได้จากแบบวัดมโนทัศน์ ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบปรนัย 4 ตัวเลือก โดยแบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 เป็นข้อคำถามเชิงเนื้อหา และตอนที่ 2 เป็นเหตุผลสนับสนุนคำตอบที่เลือกในตอนที่ 1 ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นตามแนวคิดของ Chen, Lin and Lin (2003) และ Tsai and Chou (2002)

5.การจัดการเรียนการสอนโดยวิธีสอนแบบปกติ หมายถึง การเรียนการสอนแบบสืบสอบที่ครูในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยทั่วไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนในห้องเรียน แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่

(1) ขั้นนำ เป็นการกระตุ้นความสนใจหรือทบทวนและตรวจสอบความรู้ที่มีอยู่เดิมของนักเรียน โดยการนำสนทนา สาธิต หรือใช้คำถาม เป็นต้น เพื่อให้นักเรียนมีความพร้อมในการเรียน

(2) ขั้นกิจกรรม เป็นการให้นักเรียนได้ศึกษาค้นคว้าข้อมูล สำรวจตรวจสอบ หรือทดลองด้วยตนเอง

(3) ขั้นสรุป เป็นการให้นักเรียนได้นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้า มาอภิปรายร่วมกันกับครู เพื่อนำไปสู่ข้อสรุปเป็นความคิดสำคัญของบทเรียนและนำความคิดสำคัญดังกล่าวไปใช้

6.**นักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย** หมายถึง นักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายในโรงเรียนสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 2 กรุงเทพมหานคร สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาผลการจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์โดยใช้ MCIS (Model-Centered Instruction Sequence) ที่มีต่อความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาเอกสาร ตำราและงานวิจัยที่เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ มโนทัศน์ การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS และนำผลการศึกษามากำหนดกรอบแนวคิดในการวิจัย โดยรายละเอียดผลการศึกษาในแต่ละหัวข้อ นำเสนอตามลำดับดังต่อไปนี้

1.การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS

1.1 ทฤษฎีการเรียนรู้และแนวคิดที่สนับสนุนการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS

1.2 ความเป็นมา ความหมายและเป้าหมายของการพัฒนาการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS

1.3 ขั้นตอนของการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS

1.4 บทบาทครูและนักเรียนตามการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS

2. การสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

2.1 ความหมาย ประเภท และองค์ประกอบของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

2.2 ความสำคัญของแบบจำลองและการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลองทางความคิด แบบจำลองที่แสดงออก และแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

2.4 แนวทางการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

2.5 ความหมายและองค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

2.6 แนวทางการวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

3.มโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

3.1 ความหมายมโนทัศน์

3.2 ความหมายมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์

3.3 ประเภทของมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์

3.4 มโนทัศน์หลักและมโนทัศน์พื้นฐานเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

3.5 แนวทางการวัดมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์และมโนทัศน์ทางฟิสิกส์

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้แบบจำลองในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์และมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

1.การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS

1.1 ทฤษฎีการเรียนรู้และแนวคิดที่สนับสนุนการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS

ทฤษฎีการเรียนรู้และแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ประกอบด้วย (1) ทฤษฎีคอนสตรักติวิสต์ (2) ทฤษฎีการเรียนรู้ที่มีแบบจำลองเป็นฐาน (3) ทฤษฎีการสร้างแบบจำลอง (4) แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1.1 ทฤษฎีคอนสตรักติวิสต์ (Constructivism)

ทฤษฎีการเรียนรู้ที่นำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนการสอนนั้นล้วนจัดอยู่บนพื้นฐานของข้อสันนิษฐานการเรียนรู้ที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท (Hrepic, 2004) คือ (1) ทฤษฎีคอนสตรักติวิสต์ที่เน้นด้านสติปัญญา (Cognitive constructivism) แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ทฤษฎีคอนสตรักติวิสต์ที่อยู่บนพื้นฐานงานของ Piaget (1972) ซึ่งกล่าวถึงการสร้างความรู้ว่าความรู้ถูกสร้างขึ้นเองโดยผู้เรียนและความรู้ดังกล่าวไม่ได้เป็นความรู้ที่รับจากครูผู้สอนเพียงอย่างเดียวเท่านั้นและทฤษฎีแรดิคอล คอนสตรักติวิสต์ (Radical constructivism) ที่นำเสนอโดย von Glasersfeld (1990) ที่กล่าวถึง สติปัญญา (Cognition) ว่าอยู่บนพื้นฐานของประสบการณ์ของผู้เรียนและจะปรับเปลี่ยนได้อย่างถาวรโดยตัวผู้เรียนเอง (2) ทฤษฎีโซเชียลคอนสตรักติวิสต์ (Social constructivism) ที่นำเสนอโดย Vygotsky (1978) เป็นแนวคิดที่ต่างจาก Piaget จากการ

ให้ความสำคัญกับบทบาทของการสื่อสารและการใช้ชีวิตทางสังคมในการสร้างความหมายและสติปัญญาเป็นอันดับแรก แต่เนื่องด้วยในงานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการสร้างแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนออกมาเป็นแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ มีความเกี่ยวข้องกับการใช้แนวคิดเดิมเพื่อสร้างความหมายจากประสบการณ์ใหม่ที่ได้รับในขณะเดียวกันกับการใช้ประสบการณ์ที่ได้รับเพื่อสร้างแนวคิดใหม่ (Gilbert et al., 2000: 20) จึงทำให้การสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมีความสอดคล้องตามทฤษฎีคอนสตรักติวิสต์ที่เน้นพัฒนาการทางสติปัญญาที่เสนอโดยเพียเจต์ (Piaget's Theory of Cognitive Development)

จากงานวิจัยของ Vosniadou and Ioanndes (1998 อ้างถึงใน Wang, 2007: 5) แสดงให้เห็นว่า "บุคคลสร้างแบบจำลอง และ/หรือ แบบจำลองทางความคิดบนพื้นฐานของความรู้เดิม ซึ่งบุคคลสามารถดูดซึมหรือยอมรับสารสนเทศใหม่ โดยแบบจำลองทางความคิดที่สร้างขึ้นมานี้จะนำไปใช้และทดสอบในสถานการณ์ใหม่ และบุคคลจะยังคงแบบจำลองทางความคิดไว้พิจารณาต่ออยู่ในช่วงเวลาหนึ่ง" เมื่อนักเรียนพยายามที่จะสร้างความเข้าใจและสร้างความหมายด้วยการสร้างแบบจำลองทางความคิดบนพื้นฐานของความรู้เดิมเป็นกระบวนการดูดซึม (Assimilation) เนื่องจากนักเรียนได้มีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมโดยนำข้อมูลหรือความรู้ใหม่ที่ได้รับไปเชื่อมโยงกับโครงสร้างความรู้ที่ตนมีอยู่ เมื่อแบบจำลองทางความคิดไม่ประสบความสำเร็จจากการดูดซึมประสบการณ์ใหม่หรือจากแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ที่ครูผู้สอนแนะนำขึ้นมาในชั้นเรียน นักเรียนจะเริ่มรู้สึกไม่พอใจกับแบบจำลองที่สร้างขึ้น หรือเกิดภาวะความขัดแย้งทางปัญญา (Cognitive Conflict) และนักเรียนอาจจะปรับเปลี่ยนแบบจำลองอย่างรวดเร็วหรือสร้างแบบจำลองขึ้นมาใหม่โดยการเพิ่มเติม ตัดออก ปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ ลักษณะและความสัมพันธ์ในแบบจำลองทางความคิด จนนักเรียนเกิดการปรับโครงสร้างทางปัญญา (Accommodation) ให้กลับสู่ภาวะสมดุล (Equilibrium) (Glynn and Duit, 1995 อ้างถึงใน Wang, 2007: 7-8, ทิศนา แขมมณี, 2552: 90-94) และเกิดการสร้างความหมายได้ด้วยตัวของนักเรียนเองหรือความรู้ถูกสร้างขึ้นในความคิดของนักเรียนที่เป็นผลมาจากกระบวนการสร้างและการถูกทดสอบอย่างต่อเนื่อง (Bodner et al., 2001 อ้างถึงใน Hrepic, 2004: 7)

จากมุมมองตามทฤษฎีคอนสตรักติวิสต์สามารถกล่าวได้ว่า "แบบจำลองทางความคิดเป็นโครงสร้างความเข้าใจที่อยู่ภายในตัวบุคคล ทั้งที่เป็นเครื่องมือที่ใช้สร้างความรู้ขึ้นมาและเป็นพื้นฐานความคิดที่ใช้ในการสร้างความรู้" (Brandt, 2002 อ้างถึงใน Hrepic, 2004) ซึ่งนักเรียนจะ

เรียนรู้โดยการเชื่อมโยงสารสนเทศที่รวมเข้าไว้ด้วยกันกับสิ่งที่นักเรียนรู้แล้ว โดยหลักสำคัญพื้นฐานของทฤษฎีคอนสตรักติวิสต์ที่กล่าวถึงสติปัญญา (Cognition) ว่าเกี่ยวข้องกับรูปแบบการเกิดการเรียนรู้บนพื้นฐานของทฤษฎีทางจิตวิทยาญาณวิทยา (Epistemology) ว่ามีการปรับเปลี่ยนและการตอบสนองต่อประสบการณ์จริงที่ได้รับอย่างต่อเนื่อง (Osborn, 1993 อ้างถึงใน Osborn and Whittrock, 1983) สรุปได้ดังนี้

(1) ความคิดเดิมของนักเรียนมีผลต่อการเลือกใช้ที่เกิดจากการรับรู้ทางประสาทสัมผัสโดยสมองจะทำหน้าที่เลือกข้อมูลได้โดยอัตโนมัติ

(2) ความคิดเดิมของนักเรียนจะส่งผลต่อการรับรู้ทางประสาทสัมผัสในการให้ความสนใจหรือเพิกเฉยต่อเรื่องใดเรื่องหนึ่ง

(3) การเลือกข้อมูลหรือความสนใจของนักเรียนนั้นไม่ได้เกิดจากการสร้างความหมายที่ติดตัวกับนักเรียนมาตั้งแต่กำเนิด

(4) นักเรียนจะสร้างความเชื่อมโยงระหว่างความจำที่เก็บไว้และการรับรู้ทางประสาทสัมผัสเพื่อสร้างความหมายขึ้นใหม่ด้วยตัวนักเรียนเอง

Krause, Bochner and Duchesne (2003) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของกระบวนการพัฒนาการและการเรียนรู้ทางจิตวิทยาการศึกษา โดยสรุปหลักการที่สำคัญของทฤษฎีคอนสตรักติวิสต์ไว้ 4 ข้อดังนี้

(1) นักเรียนมีส่วนร่วมอย่างกระตือรือร้นในการเรียนรู้หรือการเรียนรู้ด้วยการลงมือทำ

(2) นักเรียนเป็นผู้ควบคุมตนเอง

(3) ปฏิสัมพันธ์ทางสังคมเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพในกระบวนการพัฒนาทางสติปัญญา

(4) การสร้างความรู้ด้วยตัวของนักเรียนเองกล่าวคือ การทำให้ข้อมูลเป็นเหตุเป็นผลและมีความสัมพันธ์กันกับความรู้เดิมขึ้นอยู่กับกระบวนการส่วนบุคคล เช่น ความรู้เดิมที่มีอยู่ และบริบททางวัฒนธรรม เป็นต้น

นอกจากนี้ Gilbert et al. (2000: 20) ยังได้สรุปธรรมชาติในการสร้างความเข้าใจของนักเรียนโดยอิงบริบททางวิทยาศาสตร์ตามทฤษฎีคอนสตรักติวิสต์ไว้ดังนี้

(1) การเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ในช่วงแรกเกิดของเด็กจะพัฒนาทั้งความหมายของคำที่ใช้ในการสอนวิทยาศาสตร์และคำที่ใช้ในสิ่งแวดล้อมรอบๆ ตัวเด็ก

(2) ความคิดของความเป็นเด็กจะยังคงอยู่เสมอและมีความแตกต่างจากความคิดเห็นอย่างนักวิทยาศาสตร์

(3) เด็กจะสร้างความเข้าใจโดยการสร้างความหมายบนพื้นฐานแนวคิดเดิมเมื่อพบกับปรากฏการณ์ใหม่

(4) นักเรียนจะรักษา แก้ไข หรือเปลี่ยนความเข้าใจที่มีอยู่เดิมเมื่อได้รับการสอนหรือได้รับความคิดใหม่

ฉะนั้นความเกี่ยวข้องระหว่างทฤษฎีคอนสตรักติวิสต์และกระบวนการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์สรุปได้ว่า ความรู้ของนักเรียนสร้างขึ้นจากกระบวนการสร้างและทดสอบแบบจำลองทางความคิดบนพื้นฐานของแนวคิดเดิมเมื่อเผชิญกับสารสนเทศใหม่ที่ได้รับอย่างต่อเนื่อง โดยเชื่อมโยงกับประสบการณ์ใหม่ที่ได้รับไปยังโครงสร้างความรู้เดิมหรือแบบจำลองทางความคิดเดิมที่ตนเองมีอยู่ เมื่อนักเรียนได้แลกเปลี่ยนหรือตรวจสอบความรู้จนพบว่ายังไม่ถูกต้องสมบูรณ์ นักเรียนจะปรับเปลี่ยนแบบจำลองหรือสร้างแบบจำลองขึ้นมาใหม่จนเกิดการปรับโครงสร้างทางปัญญาเป็นกระบวนการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นภายในความคิดและสร้างความหมายได้ด้วยตัวของนักเรียนเอง โดยทฤษฎีคอนสตรักติวิสต์มีลักษณะสำคัญที่ส่งเสริมการเรียนรู้สรุปได้ดังนี้

(1) การเรียนรู้เป็นกระบวนการสร้างและจัดระบบโครงสร้างความรู้ใหม่อย่างต่อเนื่อง และนักเรียนจะต้องสร้างและปรับโครงสร้างใหม่ด้วยตนเอง

(2) นักเรียนเป็นผู้ให้ความหมายกับประสบการณ์ที่ได้รับให้เป็นไปตามความเข้าใจของตนเอง โดยใช้ประสบการณ์ที่มีอยู่เดิมหรือแนวคิดเดิมเป็นพื้นฐาน

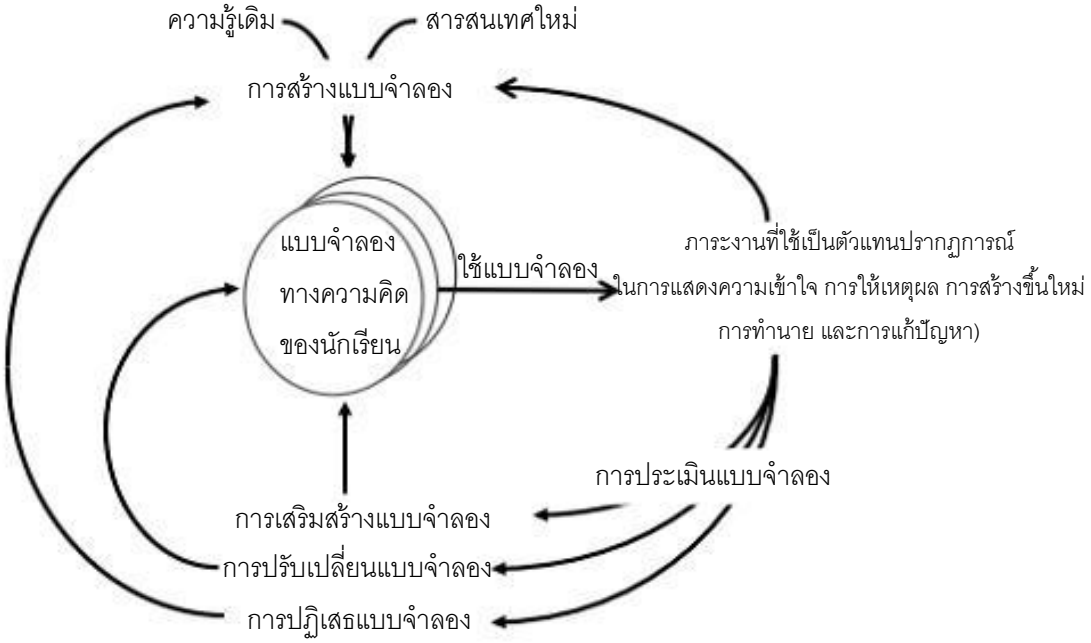
(3) การเรียนรู้เกิดขึ้นเมื่อนักเรียนได้แลกเปลี่ยนหรือตรวจสอบความรู้และมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่น

(4) นักเรียนมีส่วนร่วมอย่างกระตือรือร้นในการเรียนรู้ หรือเป็นการเรียนรู้ที่เน้นนักเรียนเป็นผู้ลงมือปฏิบัติ

1.1.2 **การเรียนการสอนที่มีแบบจำลองเป็นฐาน** (Model-Based Teaching and Learning: MBTL) **หรือ การเรียนรู้ที่มีแบบจำลองเป็นฐาน** (Model-Based Learning) เป็นทฤษฎีการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่บูรณาการบนพื้นฐานงานวิจัยระหว่าง จิตวิทยาทางสติปัญญา (Cognitive Psychology)และการศึกษาวิทยาศาสตร์ (Science Education) (Buckley et al., 2010: 169) หมายถึง การสร้างแบบจำลองทางความคิดผ่านการเรียกซ้ำในกระบวนการสร้าง การใช้ การปรับปรุงและเพิ่มรายละเอียด (Buckley and Boulter, 2000: 121) โดยทฤษฎีนี้ตั้งอยู่บน

พื้นฐานของสมมติฐานที่ว่า “ความเข้าใจเกิดจากการสร้างแบบจำลองทางความคิดจากปรากฏการณ์ที่ศึกษา หลังจากได้แก้ปัญหา (Problem-Solving) การลงข้อสรุป (Inferencing) หรือการให้เหตุผล (Reasoning) จากการใช้แบบจำลองทางความคิด” (Johnson-Laird, 1983 อ้างถึงใน Buckley et al., 2004: 23) และนักเรียนจะเกิดการเรียนรู้เมื่อนักเรียนได้ใช้ความรู้เดิมบูรณาการเข้ากับสารสนเทศใหม่และได้ขยายความรู้ต่อไป (Osborn and Wittrock, 1985 อ้างถึงใน Buckley and Boulter, 2000: 121)

Buckley et al. (2004: 23) ได้ให้ความเห็นว่า “แบบจำลองทางความคิด (Mental Model) เป็นสิ่งที่อยู่ภายใน กล่าวคือ เป็นกระบวนการคิดเกี่ยวกับการเป็นตัวแทนที่ใช้ในการให้เหตุผลกับสิ่งต่างๆ และมีอิทธิพลต่อการรับรู้ปรากฏการณ์และความเข้าใจในสารสนเทศ การมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์และการเป็นตัวแทนต่างมีอิทธิพลต่อแบบจำลองทางความคิด”และแบบจำลองทางความคิดนี้จะเกิดขึ้นจากการใช้กระบวนการอุปนัยจากประสบการณ์ การสร้างแบบจำลองจากการนำสารสนเทศมาปะติดปะต่อกัน และ/หรือเขียนจากการเทียบเคียงแบบจำลองหรือปรากฏการณ์ (Buckley and Boulter, 2000: 121) ซึ่งการเรียนรู้ที่มีแบบจำลองเป็นฐานแสดงได้ดังแผนภาพต่อไปนี้

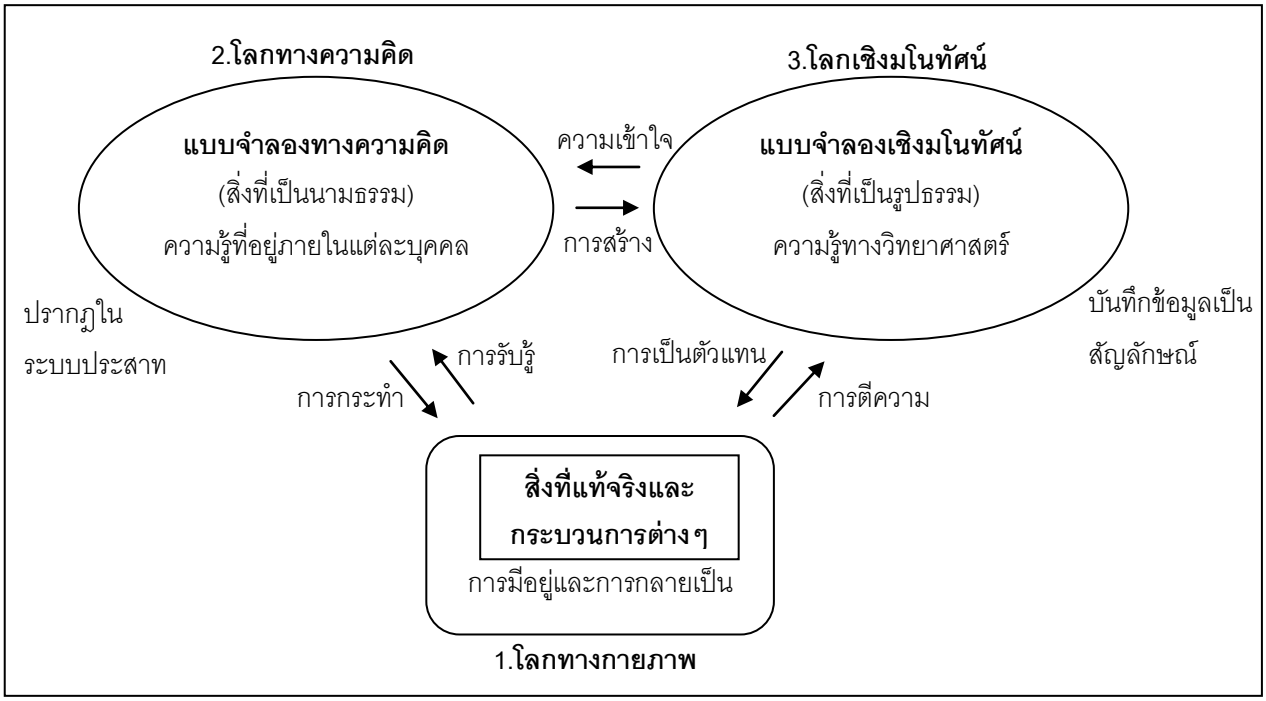


แผนภาพที่ 1 กระบวนการเรียนรู้ที่มีแบบจำลองเป็นฐาน (Buckley et al., 2010: 169)

จากแผนภาพข้างต้นกระบวนการการเรียนรู้ของนักเรียนอธิบายได้ดังนี้ ในการตอบสนองภาระงานของครู นักเรียนจะเขียนแบบจำลองจากความรู้เดิมและสารสนเทศใหม่ที่ได้รับในระหว่างการสร้างแบบจำลองเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองทางความคิดของปรากฏการณ์ซึ่งเป็นแบบจำลองที่รวบรวมความรู้มาจากหลายๆ แหล่ง อันได้แก่ ประสบการณ์ตรงที่ได้รับจากปรากฏการณ์ ประสบการณ์ที่ได้รับผ่านวีดิทัศน์หรือสถานการณ์จำลอง หรือการมีปฏิสัมพันธ์กับการแสดงการเป็นตัวแทนที่หลากหลาย (Representations) และแบบจำลองที่แสดงออก (Expressed Models) เป็นต้น และความรู้เดิมของนักเรียนนั้นอาจอยู่ในลักษณะแบบจำลองทางความคิดของปรากฏการณ์เพียงบางส่วนหรือแบบจำลองที่ยังไม่สมบูรณ์ซึ่งยังไม่สอดคล้องกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดยแบบจำลองทางความคิดนี้ใช้เพื่อสร้างแบบจำลองที่แสดงออกออกมาในหลากหลายรูปแบบ ใช้เพื่อทำความเข้าใจและประเมินแบบจำลองที่นักเรียนคนอื่นสร้างขึ้น รวมไปถึงการใช้เพื่อทดสอบแบบจำลองทางความคิดของตัวนักเรียนเอง ถ้านักเรียนใช้แบบจำลองตามภาระงานที่กำหนดได้สำเร็จกล่าวคือแบบจำลองดังกล่าวสามารถเข้าใจ อธิบาย และทำนายได้หรือจากการที่นักเรียนได้สร้างข้อสรุปแล้ว แบบจำลองดังกล่าวที่ได้รับการเพิ่มเติมรายละเอียดจะกลายเป็นแบบจำลองที่คงที่ในที่สุด แต่อย่างไรก็ตามถ้าแบบจำลองดังกล่าวเกิดความไม่สอดคล้อง และ/หรือ แบบจำลองมีข้อบกพร่อง นักเรียนอาจจะปฏิเสธแบบจำลองดังกล่าวและสร้างแบบจำลองขึ้นใหม่อีกครั้ง หรือปรับปรุงแบบจำลองที่สร้างไว้ในตอนเริ่มต้น โดยการปรับปรุงแก้ไขเพียงบางส่วนหรืออาจเพิ่มเติมและรวบรวมแบบจำลองที่มีอยู่เพื่อทำให้เป็นแบบจำลองที่สมบูรณ์นักเรียนที่สร้างแบบจำลองจนเกิดความชำนาญจะสามารถปรับเปลี่ยนการแสดงการเป็นตัวแทนลักษณะของปรากฏการณ์โดยมีความสอดคล้องและเป็นไปตามภาระงานที่ได้รับ (Buckley and Boulter, 2000: 122; Buckley et al., 2004: 24) เมื่อแบบจำลองทางความคิดนี้มีความถูกต้องและสอดคล้องกับความรู้ที่ยอมรับในทางวิทยาศาสตร์ เช่น แบบจำลองที่ครูสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนซึ่งเรียกว่า แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual Model) ถ้าแบบจำลองที่สร้างขึ้นนั้นได้รับการทดสอบผ่านกระบวนการทดลองซึ่งเผยแพร่ในวรรณกรรมทางวิทยาศาสตร์และเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางในสังคมวิทยาศาสตร์ แบบจำลองนั้นจะเรียกว่า แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Model) (Wang, 2007: 7)

1.1.3 ทฤษฎีการสร้างแบบจำลอง (Modeling Theory) เป็นทฤษฎีที่ใช้อธิบายโครงสร้างของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดย Hestenes (2006) ได้สร้างกรอบแนวคิดที่เกี่ยวกับโครงสร้างทางปัญญาของการสร้างแบบจำลอง (Modeling Structure of Cognition) ซึ่งมี

ความเกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางความคิด (Mental Models) และแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual Models) ว่าควรสะท้อนโครงสร้างทางปัญญาไว้ดังนี้



แผนภาพที่ 2 แบบจำลองทางความคิดและแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Hestenes, 2006: 12)

จากแผนภาพข้างต้นแสดงลักษณะทางปัญญาของบุคคลที่เป็นการสร้างและการจัดการแบบจำลองทางความคิดภายในตน โดยแบบจำลองทางความคิดเป็นการสร้างความคิดภายในตนของแต่ละบุคคลที่เกิดจากการรับรู้ปรากฏการณ์ ความคิดที่สร้างขึ้นสามารถยกระดับเป็นแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ด้วยการเข้ารหัสโครงสร้างแบบจำลองออกมาเป็นสัญลักษณ์ที่จะกระตุ้นแบบจำลองทางความคิดของแต่ละบุคคลและสอดคล้องกับแบบจำลองทางความคิดของบุคคลอื่นที่เป็นตัวแทนของการรับรู้ปรากฏการณ์จึงถือเป็นการสร้างและใช้แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ที่แสดงลักษณะทางวิทยาศาสตร์ร่วมกันแต่อย่างไรก็ตามแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางความคิดนี้ยังไม่ได้เป็นทฤษฎีที่ยอมรับกันโดยทั่วไป ฉะนั้นเขาจึงไม่สามารถที่จะกล่าวอ้างงานวิจัยอื่นๆ ที่จะยอมรับแนวทางการตีความจากผลที่เกิดขึ้นเพื่อสนับสนุนทฤษฎีการสร้างแบบจำลองได้แต่หลักฐานที่ใช้อย่างกว้างขวางและสอดคล้องกันมากที่สุดนั้นมาจากความรู้ความเข้าใจทางภาษา (Cognitive Linguistics) ที่กล่าวว่า “ภาษาไม่ได้อ้างอิงโดยตรงไปยังโลก แต่อ้างอิงเป็น

แบบจำลองทางความคิดและองค์ประกอบ โดยภาษาจะช่วยหรือปรับปรุงแบบจำลองทางความคิดเพื่อเป็นการแสดงความเข้าใจจากการบอกเล่าเรื่อง”

1.1.4 แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลอง

Rea-Ramirez, Clement and Nunez-Oviedo (2008: 30) ได้กล่าวถึงแนวคิดที่ใช้อธิบายกระบวนการที่นักวิทยาศาสตร์และคนทั่วไปใช้สร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดยแนวคิดดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3กลุ่ม สรุปได้ดังนี้

กลุ่มหนึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีแบบจำลองทางความคิดของ Philip Johnson-Laird ที่เน้นการเชื่อมโยงทางจิตวิทยาเชิงความหมาย (Semantic) มากกว่าการอนุมาน (Inference) ซึ่งกล่าวไว้ว่า “เมื่อบุคคลแก้ปัญหาเชิงตรรกะแทนการใช้การให้เหตุผลแบบนิรนัย เขาจะสร้างแบบจำลองขึ้นและตรวจสอบความถูกต้องผ่านกระบวนการสำรวจตรวจสอบและคัดแบบจำลองอื่นๆ ที่เท่าเทียมกันออก”

กลุ่มสองเป็นกลุ่มนักวิจัยด้านการรู้คิด (Cognitive Researchers) กล่าวไว้ว่า “กระบวนการที่นักวิทยาศาสตร์และคนทั่วไปใช้สร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เป็นการสร้างมโนทัศน์และปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์จากการตรวจสอบกระบวนการให้เหตุผลที่ดำเนินการโดยอาศัยผู้เชี่ยวชาญในขณะที่แก้ปัญหาคำอธิบาย หรือในขณะที่กำลังปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ”

กลุ่มที่สามเป็นกลุ่มศาสตร์ด้านการรู้คิดทางจิตวิทยากระบวนการสร้างแบบจำลอง (Psychology of Modeling Process) ได้แก่ การใช้แนวเทียบ (Analogy) การสร้างแบบจำลองทางความคิด และจินตนาการ เป็นต้น โดย Collins and Gentner (1987) ได้เสนอแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับแนวทางที่บุคคลใช้สร้างแบบจำลองทางความคิดโดยใช้แนวเทียบ ซึ่งกล่าวไว้ว่า “บุคคลจะใช้แนวเทียบจัดกลุ่มในระหว่างการให้เหตุผลเกี่ยวกับปริเขตที่ยังไม่คุ้นเคยเพื่อสร้างแบบจำลองทางความคิดขึ้นใหม่ที่สามารถเรียกใช้เพื่อทำนายเกี่ยวกับสิ่งที่จะเกิดขึ้นในสถานการณ์ต่างๆ ของโลกความจริง โดยเรียกปริเขตที่รู้จักว่า ฐาน (Base) และเรียกปริเขตที่ไม่รู้จักว่า เป้าหมาย (Target) เมื่อบุคคลไม่คุ้นเคยกับสถานการณ์ที่ซับซ้อน เขาจะแบ่งระบบเป้าหมายเป็นชุดขององค์ประกอบของแบบจำลอง โดยการจัดกลุ่มที่ใช้แนวเทียบจากระบบพื้นฐานที่แตกต่างกัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า บุคคลตั้งสมมติฐานว่าวัตถุสามารถใช้แนวเทียบได้มากกว่าหนึ่งอย่างเพื่อสร้างแบบจำลองทางความคิดของสถานการณ์ที่ไม่รู้จักให้สมบูรณ์”

1.2 ความเป็นมาความหมายและเป้าหมายของการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS

การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS (Model-Centered Instruction Sequence)เป็นรูปแบบการเรียนการสอนที่ได้รับการพัฒนาขึ้นภายใต้โครงการการออกแบบการสร้างแบบจำลองเพื่อการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Modeling Designs for Learning Science: MoDeLS project) โดยมีคณะผู้วิจัยดังนี้ Hamin Baek, Christina Schwarz, Jing Chen, Hayat Hokayem และ Li Zhan ประจำมหาวิทยาลัยรัฐมิชิแกน ในปี ค.ศ.2009 และรูปแบบการเรียนการสอนนี้ได้พัฒนาและปรับปรุงจากการสืบสอบแบบแนะแนวทางและการเรียนการสอนการสร้างแบบจำลอง (EIMA) ของ Schwarz and Gwekwerere (2007) และการสืบสอบที่เน้นแบบจำลองเป็นฐาน (Model-Based Inquiry) ของ White and Schawrz (1999) เพื่อให้นักเรียนเข้าใจในกระบวนการสร้าง การประเมิน และการสื่อสารความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Baek et al., 2010)

การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS (Model-Centered Instruction Sequence) หมายถึง การสอนที่เน้นการปฏิบัติการสร้าง การใช้ การประเมินและปรับปรุงแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Modeling Practice) ที่เกี่ยวข้องกับการตั้งสมมติฐาน การสังเกต การอภิปรายเพื่อสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์และการใช้วาทกรรมเชิงวิทยาศาสตร์ (Scientific Discourse) ซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบความคิดและการให้เหตุผลในการอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ผ่านการพูดหรือเขียน การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้ (Baek et al., 2010)

(1) เพื่อให้นักเรียนเข้าไปมีส่วนร่วมในการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Practice) ได้แก่ การสำรวจตรวจสอบเชิงประจักษ์ การหารือกันเกี่ยวกับแบบจำลองและมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ การประเมินโดยเพื่อน การโต้แย้งเพื่อลงมติสร้างแบบจำลอง และการให้เหตุผลด้วยแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

(2) เพื่อให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการปฏิบัติการสร้างแบบจำลอง (Scientific Modeling Practice) ได้แก่ (1) การสร้างแบบจำลองเพื่อแสดงสิ่งที่ตนเองเข้าใจ(2) การใช้แบบจำลองในการสร้างคำอธิบายและตั้งสมมติฐานเพื่อตรวจสอบกับปรากฏการณ์ใหม่หรือใช้ในการให้เหตุผล (3) การประเมินแบบจำลองเพื่อปรับปรุงข้อมูลที่ค้นพบ (4) การปรับปรุงแบบจำลองเพื่อสะท้อนความเข้าใจที่เพิ่มขึ้น

(3) เพื่อให้นักเรียนสะท้อนความรู้ในขณะที่ปฏิบัติ และส่งเสริมให้นักเรียนเรียนรู้การได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์ผ่านกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการตั้งสมมติฐาน การสังเกต และการอภิปราย

1.3 ขั้นตอนของการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS

การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS (Model-Centered Instruction Sequence) ประกอบด้วยขั้นตอนการจัดการเรียนการสอน 9 ขั้นดังนี้ (Baek et al., 2010)

(1) ขั้นการมุ่งปรากฏการณ์และตั้งคำถามสำคัญ (Anchoring Phenomena and Central Question) เป็นการนำเข้าสู่บทเรียนด้วยปรากฏการณ์ที่น่าสนใจซึ่งสามารถพบเห็นในชีวิตประจำวันโดยใช้บทความ วีดิทัศน์ ภาพเคลื่อนไหวหรือการสาธิตและมีการใช้คำถามเพื่อให้นักเรียนตั้งคำถามสำคัญเพื่อให้เกิดความคิด สมมติฐานและสนใจที่จะหาคำตอบ

(2) ขั้นการสร้างแบบจำลองเบื้องต้น (Construct an Initial Model) เป็นการให้นักเรียนสร้างแบบจำลองเบื้องต้นเป็นรายบุคคล โดยแสดงความเข้าใจของตนเองที่มีอยู่ต่อปรากฏการณ์ที่จะศึกษาหรือแสดงสมมติฐานออกมาเป็นแบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาดซึ่งประกอบด้วยความสัมพันธ์ของสิ่งต่างๆ ในปรากฏการณ์

(3) ขั้นการสำรวจตรวจสอบเชิงประจักษ์ (Empirical Investigations) เป็นการให้นักเรียนแลกเปลี่ยนสมมติฐานกันในกลุ่ม ร่วมกันทำงานเป็นกลุ่มด้วยการสำรวจตรวจสอบจากปรากฏการณ์ โดยวางแผนการสำรวจตรวจสอบด้วยการสร้างแบบจำลองที่นำเสนอการทดลองศึกษาความสัมพันธ์ สังเกตผลการสำรวจตรวจสอบ วิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นด้วยแบบจำลองที่แสดงด้วยผังกราฟิก หรือแบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ อธิบายผลและสะท้อนผลที่สัมพันธ์กับแบบจำลองด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลและหลักฐานที่จะนำไปใช้สนับสนุนและปรับเปลี่ยนแบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาดในขั้นต่อไป

(4) ขั้นการประเมินและปรับปรุงแบบจำลองเบื้องต้น (Evaluate and Revise the Initial Model) เป็นการประเมินแบบจำลองเบื้องต้นด้วยหลักฐานที่ค้นพบและปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองของตนเอง

(5) ขั้นการแนะนำความคิดทางวิทยาศาสตร์และสถานการณ์จำลอง (Introduce Scientific Ideas and Simulations) เป็นการเชื่อมโยงความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่สอดคล้องกับปรากฏการณ์หรือแบบจำลองที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ด้วยการสำรวจตรวจสอบ ซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาจากสถานการณ์จำลองและอภิปรายถึงความคิดทางวิทยาศาสตร์หรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในสถานการณ์จำลอง โดยผลการศึกษาในขั้นนี้จะช่วยทำให้ความคิดของนักเรียนเกี่ยวกับปรากฏการณ์มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น

(6) ขั้นการประเมินและปรับปรุงแบบจำลอง (Evaluate and Revise the Model) เป็นการให้นักเรียนประเมินและปรับปรุงแบบจำลองของตนเองโดยใช้ความคิดทางวิทยาศาสตร์และสถานการณ์จำลองเพื่อสนับสนุนข้อสรุปที่แสดงความสัมพันธ์ของปรากฏการณ์

(7) ขั้นการประเมินโดยเพื่อน (Peer Evaluation) เป็นการให้นักเรียนแต่ละคนนำเสนอแบบจำลองและอภิปรายเพื่อประเมินแบบจำลองภายในกลุ่มย่อย และเพื่อนภายในกลุ่มเป็นผู้ให้ผลสะท้อนกลับโดยจะทำหน้าที่อภิปรายโดยใช้เกณฑ์การประเมินแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

(8) ขั้นการลงมติแบบจำลองที่สร้าง (Construct a Consensus Model) เป็นการให้นักเรียนแต่ละคนหรือตัวแทนของกลุ่มนำเสนอแบบจำลองต่อชั้นเรียน จากนั้นนักเรียนเปรียบเทียบลักษณะของแบบจำลองที่แตกต่างกัน และนำลักษณะที่สำคัญของแบบจำลองที่แต่ละคนนำเสนอมาสร้างแบบจำลองที่เป็นมติของชั้นเรียน และสรุปความคิดสำคัญเป็นแบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์

(9) ขั้นการใช้แบบจำลองเพื่อทำนายหรืออธิบาย (Use the Model to Predict or Explain) เป็นการนำแบบจำลองที่เป็นมติไปใช้ทำนายอธิบายปรากฏการณ์ หรือแก้ปัญหาจากสถานการณ์ใหม่ที่กำหนดในปรากฏการณ์ที่สอดคล้องกัน

1.4บทบาทครูและนักเรียนตามการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS

บทบาทครูและนักเรียนตามขั้นตอนการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS สรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 บทบาทครูและนักเรียนตามขั้นตอนการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS

ขั้นตอนการเรียนการสอน	บทบาทครู	บทบาทนักเรียน
1.การมุ่งปรากฏการณ์และตั้งคำถามสำคัญ คือ การกระตุ้นความสนใจ ด้วยสถานการณ์ที่พบในชีวิตประจำวัน แสดงความคิดหรือสมมติฐาน และตั้งคำถาม	(1) กระตุ้นความสนใจในปรากฏการณ์ที่กำลังศึกษา (2) ใช้คำถามที่ก่อให้เกิดข้อสงสัยเกิดเป็นข้อคำถามหรือตั้งสมมติฐาน	(1) แสดงความสนใจต่อปรากฏการณ์ที่ศึกษา (2) เชื่อมโยงความรู้โดยพิจารณาความรู้เดิมที่มีอยู่กับปรากฏการณ์ที่จะศึกษา (3) ตั้งคำถามหรือสมมติฐาน
2.การสร้างแบบจำลองเบื้องต้น คือ การแสดงความคิดหรือสมมติฐานที่มีต่อปรากฏการณ์ออกมาเป็นแบบจำลองเป็นรายบุคคล	(1) ชี้ให้เห็นความสำคัญของการสร้างแบบจำลอง (2) ให้คำแนะนำในแสดงแนวคิดเป็นแบบจำลองที่อธิบายความสัมพันธ์และสาเหตุที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์	(1) แสดงความรู้ความเข้าใจในสิ่งที่สนใจจากปรากฏการณ์ด้วยการเขียนเป็นแบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาด
3.การสำรวจตรวจสอบเชิงประจักษ์ คือ การแลกเปลี่ยนเรียนรู้สมมติฐาน ศึกษาค้นคว้า สังเกตหรือทดลอง แล้ววิเคราะห์ผลเพื่อทดสอบความคิดหรือตรวจสอบสมมติฐาน	(1) จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ และสื่อการเรียนรู้ (2) ใช้คำถามกระตุ้นให้นักเรียนนำข้อมูลที่ได้มาตรวจสอบสมมติฐานของตนเอง (3) ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเขียนแบบจำลองประเภทอื่นๆ	(1) แลกเปลี่ยนสมมติฐานที่ตั้งขึ้นภายในกลุ่ม (2) สำรวจตรวจสอบด้วยการสร้างแบบจำลองที่นำเสนอการทดลอง (3) สร้างแบบจำลองที่สอดคล้องกับข้อมูลและแสดงการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิก สมการทางคณิตศาสตร์
4.การประเมินและปรับปรุงแบบจำลองเบื้องต้น คือ การนำผลการศึกษาค้นคว้าทดลองมาปรับปรุงแก้ไขแบบจำลอง	(1) นำอภิปรายผลการศึกษาค้นคว้า ทดลอง (2) ให้คำชี้แนะในการปรับปรุงแก้ไขแบบจำลอง	(1) นำผลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้ามาปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองของตนเอง

ตารางที่ 1 บทบาทครูและนักเรียนตามขั้นตอนการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS (ต่อ)

ขั้นตอนการเรียนการสอน	บทบาทครู	บทบาทนักเรียน
5.การแนะนำความคิดทางวิทยาศาสตร์และสถานการณ์จำลอง คือ การเชื่อมโยงความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่สอดคล้องกับปรากฏการณ์หรือแบบจำลอง	(1) แสดงสถานการณ์จำลองเพื่อนำเสนอมโนทัศน์ที่สำคัญในบทเรียน และกระบวนการที่ไม่สามารถสำรวจตรวจสอบได้ (2) แนะนำคำศัพท์เฉพาะ	(1) แสดงความสนใจ ตอบคำถามและอธิบายผลการศึกษาค้นคว้า ทดลอง (2) ศึกษาเรียนรู้จากความคิดและสถานการณ์จำลองเพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจเพิ่มขึ้น
6.การประเมินและปรับปรุงแบบจำลอง คือ การประเมินและปรับปรุงแบบจำลองโดยใช้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์และสถานการณ์จำลอง	(1) กระตุ้นให้นักเรียนปรับปรุงแบบจำลองของตนเอง (2) ชี้ให้เห็นความสำคัญของการปรับเปลี่ยนแบบจำลอง	(1) นำแนวคิดที่ได้จากการอภิปรายผลการทดลองและเรียนรู้สถานการณ์จำลองมาพิจารณาปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองของตนเอง
7.การประเมินโดยเพื่อน คือการนำเสนอแบบจำลอง และอภิปรายเพื่อประเมินแบบจำลองเป็นกลุ่มย่อย	(1) กระตุ้นให้นักเรียนภายในกลุ่มประเมินโดยใช้เกณฑ์การประเมินแบบจำลองที่ครูกำหนด	(1) นำเสนอแบบจำลองของตนเองภายในกลุ่มย่อย (2) อภิปรายเพื่อประเมินและตรวจสอบแบบจำลอง (3) ให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขแบบจำลอง
8.การลงมติแบบจำลองที่สร้าง คือ การนำลักษณะเด่นของแบบจำลองมาสร้างแบบจำลองที่เป็นมติของชั้นเรียนเพื่อสรุปเป็นองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์	(1) ให้ตัวแทนกลุ่มนำเสนอแบบจำลอง (2) ครูนำอภิปรายเพื่อให้นักเรียนเปรียบเทียบความเหมือนและความต่าง และจำแนกลักษณะที่สำคัญของแบบจำลอง	(1) นำเสนอแบบจำลองของกลุ่มต่อชั้นเรียน (2) นำลักษณะที่สำคัญของแบบจำลองแต่ละกลุ่มมาสร้างแบบจำลองที่สมบูรณ์ของชั้นเรียน (3) สรุปความคิดสำคัญเป็นแบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์

ตารางที่ 1 บทบาทครูและนักเรียนตามขั้นตอนการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS (ต่อ)

ขั้นตอนการเรียนการสอน	บทบาทครู	บทบาทนักเรียน
9.การใช้แบบจำลองเพื่อทำนายหรืออธิบาย คือ การนำแบบจำลองที่เป็นมติไปใช้ทำนายหรืออธิบายเพื่อแสดงการนำความรู้ไปใช้และให้เหตุผลในสถานการณ์ใหม่	(1) กำหนดสถานการณ์ปัญหาที่สอดคล้องกัน (2) นำอภิปรายเพื่อตรวจสอบผลการทำนายและอธิบายปรากฏการณ์	(1) นำแบบจำลองที่มีความเห็นร่วมกันไปใช้เพื่อแก้ปัญหาอธิบายหรือทำนายปรากฏการณ์ที่กำหนด

2. การสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

การศึกษาเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ มีประเด็นนำเสนอ 6 ประเด็น ได้แก่ (1) ความหมาย ประเภทและองค์ประกอบของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (2) ความสำคัญของแบบจำลองและการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (3) ความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลองทางความคิด แบบจำลองที่แสดงออก และแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (4) แนวทางในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (5) ความหมายและองค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (6) แนวทางการวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ แต่ละประเด็นมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ความหมาย ประเภทและองค์ประกอบของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

2.1.1 ความหมายของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

จากการสืบค้นเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีนักวิชาการและหน่วยงานต่างๆ ได้ให้ความหมายของแบบจำลองที่ใช้ในบริบทของการศึกษาวิทยาศาสตร์ ไว้ดังต่อไปนี้

Hestenes (1996: 8) กล่าวว่า“แบบจำลองหมายถึง สิ่งที่เป็นตัวแทนของโครงสร้างในระบบทางกายภาพและ/หรือคุณสมบัติของระบบทางกายภาพ”

Gilbert, Boulter and Elmer (2000: 11) กล่าวว่า“แบบจำลองหมายถึง การเป็นตัวแทนของปรากฏการณ์ที่สร้างขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์อย่างเฉพาะเจาะจง”

NCMS (2002: online) ได้ให้ความหมายของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ว่า “แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์หมายถึง แนวคิดหรือชุดแนวคิดที่ใช้อธิบายหาสาเหตุปรากฏการณ์ในธรรมชาติโดยเฉพาะ”

NSTA (1995) ได้ให้ความหมายของแบบจำลองว่า “แบบจำลอง หมายถึงสิ่งที่เป็นตัวแทนในลักษณะของภาพหรือคณิตศาสตร์เพื่อการพรรณนาหรือทำความเข้าใจปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ ทฤษฎี กฎ เอกลักษณ์ทางกายภาพ โครงสร้างสิ่งมีชีวิต หรือบางส่วนของโครงสร้างสิ่งมีชีวิต”

Halloun (2006: 24) ได้ให้ความหมายของแบบจำลองว่า “แบบจำลอง หมายถึง การจัดระบบทางมโนทัศน์ภายในบริบทของทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ไปยังแบบแผนของโครงสร้างและลักษณะของระบบทางกายภาพที่เฉพาะเจาะจง”

Tregidgo and Ratcliffe (2000 อ้างถึงใน Ornek, 2008: 35) กล่าวว่า “แบบจำลอง คือ ผลของการสร้างสิ่งที่เป็นตัวแทนของวัตถุ ปรากฏการณ์ หรือแนวคิดจากเป้าหมายกับแหล่งข้อมูล”

Schwarz (2009: online) กล่าวว่า “แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ คือ เครื่องมือสำหรับรวบรวมหรือแสดงลักษณะทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์และข้อมูลเชิงประจักษ์ในรูปแบบที่สามารถใช้เพื่อแสดง อธิบาย หรือทำนายวัตถุหรือปรากฏการณ์”

Harrison and Treagust (2000) ได้ให้ความหมายของแบบจำลองว่า “แบบจำลอง หมายถึง การใช้รูปร่าง และแบบแผนที่เสมือนจริงแสดงลักษณะของระบบซึ่งทำให้ลักษณะที่สำคัญมีความเด่นชัดและมองเห็นได้ เพื่อสร้างความเข้าใจ ก่อให้เกิดคำอธิบาย หรือการทำนายเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางกายภาพ”

ฉะนั้นแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง แบบที่ใช้เป็นตัวแทนแสดงความรู้ความเข้าใจในปรากฏการณ์ทางกายภาพและปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ

2.1.2 ประเภทของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาทางวิทยาศาสตร์พบว่ามีด้วยกันหลายประเภทขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณา โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาพบว่าประกอบด้วย 2 เกณฑ์ ได้แก่ (1) การจำแนกแบบจำลองบนพื้นฐานของหลักภววิทยา (Ontology) หรือแบ่งตามวัตถุประสงค์และหน้าที่ของแบบจำลองที่ใช้ในการสอนและการเรียนรู้ในบทเรียนทางวิทยาศาสตร์ (2) การจำแนกแบบจำลองตามรูปแบบของการเป็นตัวแทนทางความคิด (Forms of Representation หรือ Modes of Representation) โดยรายละเอียดของแต่ละเกณฑ์มีดังนี้

(1) การจำแนกตามวัตถุประสงค์และหน้าที่ของแบบจำลองที่ใช้ในการสอนและการเรียนรู้ในบทเรียนทางวิทยาศาสตร์ พบว่ามีนักวิชาการได้ศึกษาและจัดประเภทของแบบจำลองไว้ดังต่อไปนี้

Gilbert, Boulter and Elmer (2000: 12) และ Gilbert (2004: 117-118) ได้จำแนกแบบจำลองตามลักษณะที่ใช้ในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ออกเป็น 8 ประเภท ดังนี้

(1) แบบจำลองทางความคิด (Mental Model) คือ การเป็นตัวแทนทางสติปัญญาเฉพาะบุคคลที่สร้างขึ้นโดยบุคคลนั้นและอยู่ภายในความคิดของบุคคลนั้น

(2) แบบจำลองที่แสดงออก (Expressed Model) คือ การเป็นตัวแทนของแบบจำลองทางความคิดที่บุคคลได้สื่อสารให้ผู้อื่นรับรู้

(3) แบบจำลองที่เป็นมติ (Consensus Model) คือ แบบจำลองที่แสดงออกซึ่งได้รับการยอมรับจากกลุ่มบุคคลหรือชั้นเรียนที่ศึกษาเรื่องนั้นๆจากการได้อภิปรายหรือทำการทดลองจนมีความเห็นร่วมกัน

(4) แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Model) คือ แบบจำลองที่แสดงออกที่ได้รับการยอมรับจากประชาคมวิทยาศาสตร์จากการได้ทดสอบด้วยการทดลองและเผยแพร่ผ่านวารสารเชิงวิชาการต่อไป หรือเป็นแบบจำลองที่นักวิทยาศาสตร์ได้สำรวจตรวจสอบและสร้างขึ้นเพื่อใช้อธิบายปรากฏการณ์เช่น แบบจำลองอะตอมของชโรดิงเจอร์ แบบจำลองรอยต่อ p-n ในสารกึ่งตัวนำ และแบบจำลองเชื้อไวรัสเอดส์ เป็นต้น

(5) แบบจำลองทางประวัติศาสตร์ (Historical Model) คือ แบบจำลองที่เคยได้รับการยอมรับจากประชาคมวิทยาศาสตร์เช่น แบบจำลองอะตอมของบอร์ แบบจำลองการนำไฟฟ้าตามกฎของโอห์ม เป็นต้น

(6) แบบจำลองที่ใช้ในหลักสูตร (Curricular Models) คือ แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์หรือแบบจำลองทางประวัติศาสตร์ที่อยู่ในรูปแบบของการทำความเข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น

(7) แบบจำลองที่ใช้ในการสอน (Teaching Models) คือ แบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อช่วยส่งเสริมการเรียนรู้แบบจำลองที่ใช้ในหลักสูตร เช่น การใช้แนวเทียบของอะตอมกับระบบสุริยะ เป็นต้น ซึ่งแบบจำลองนี้สามารถพัฒนาได้โดยครูผู้สอนหรือนักเรียน

(8) แบบจำลองผสม (Hybrid Models) คือ แบบจำลองที่ครูผู้สอนได้รวบรวมลักษณะของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ แบบจำลองทางประวัติศาสตร์ หรือแบบจำลองที่ใช้ในหลักสูตรในบริบทของการสืบสอบ ซึ่งแบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้ใช้สำหรับการเรียนการสอนหรือระบุเพิ่มเติมไว้ในหลักสูตร

Harrison and Treagust (2000: 1014-1017) ได้ศึกษาความเหมือนและความต่างของแบบจำลองที่ใช้ในการสอนและการเรียนรู้ในบทเรียนทางวิทยาศาสตร์บนพื้นฐานแบบจำลองที่เรียกว่า แบบจำลองเชิงเทียบ (Analogical Models) จนสามารถจัดประเภทของแบบจำลองตามวัตถุประสงค์และหน้าที่ของแบบจำลองแต่ละประเภทรวมแบ่งได้ทั้งหมด 10 ประเภท ดังนี้

(1) แบบจำลองมาตราส่วน (Scale Models) คือ แบบจำลองที่สะท้อนลักษณะทางภายนอก ขนาด สี รูปร่างและโครงสร้างของสิ่งที่ต้องการสร้างขึ้นเป็นแบบจำลอง เช่น แบบจำลองสัตว์ต่างๆ พืช รถยนต์ หรือตุ๊กตาของเล่น เป็นต้น

(2) แบบจำลองเชิงเทียบที่ใช้ในการสอน (Pedagogical Analogical Models) คือ แบบจำลองที่แสดงโครงสร้างของสิ่งที่ไม่สามารถสังเกตได้โดยตรง ซึ่งมีลักษณะเสมือนกันแบบตำแหน่งต่อตำแหน่งและเน้นที่ลักษณะสำคัญ มักทำจากวัสดุ เช่น การใช้วัตถุกลมและแท่งทรงกระบอกเชื่อมต่อกันเป็นแบบจำลองของอะตอมและโมเลกุล เป็นต้น

(3) แบบจำลองที่เป็นสัญลักษณ์ (Iconic and Symbolic Models) คือ แบบจำลองที่มีลักษณะเป็นสัญลักษณ์ สูตรหรือสมการ มักใช้ในทางเคมีเพื่ออธิบายและสื่อออกมาเป็นแบบจำลอง เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์แทนด้วยสัญลักษณ์ CO_2 หรืออยู่ในรูป O=C=O เป็นต้น

(4) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Models) คือ แบบจำลองที่แสดงความสัมพันธ์ทางมโนทัศน์ในองค์ประกอบและกระบวนการทางกายภาพซึ่งแสดงได้เป็นสมการและกราฟ เช่น กฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันเขียนแทนได้เป็น $F = ma$ หรือกฎของบอยล์เขียนความสัมพันธ์ได้เป็น $k = PV$ เป็นต้น โดยแบบจำลองประเภทนี้มีความเป็นนามธรรมแม่นยำ และทำนายได้มากที่สุดจากบรรดาแบบจำลองทั้งหมด และนักเรียนควรที่จะสามารถพูดหรือเขียนอธิบายจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ได้ด้วย

(5) แบบจำลองทางทฤษฎี (Theoretical Models) คือ แบบจำลองที่สร้างขึ้นบนพื้นฐานของลักษณะทางทฤษฎีเพื่อใช้ในการบรรยายและอธิบาย เช่น การเขียนเส้นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อใช้แทนแรงและโฟตอน เป็นต้น

(6) การใช้แผนที่ แผนผังและตารางเป็นแบบจำลอง (Maps, Diagrams and Tables) เป็นแบบจำลองที่เป็นตัวแทนของแบบแผน เส้นทาง และความสัมพันธ์ที่นักเรียนสามารถสังเกตและจำแนกได้โดยง่าย มีลักษณะเป็นสองมิติ เช่น ตารางธาตุ ผังต้นไม้แสดงวิวัฒนาการ แผนที่อากาศ แผนผังวงจรไฟฟ้า ระบบไหลเวียนโลหิต แผนผังแสดงห่วงโซ่อาหาร เป็นต้น

(7) แบบจำลองเชิงมโนทัศน์และกระบวนการ (Concept-Process Models) เป็นแบบจำลองที่เน้นการอธิบายกระบวนการในมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ เช่น สมการรีดอกซ์และสมดุลทางเคมี การอธิบายการหักเหของแสงโดยวาดเป็นวงกลมเป็นในลักษณะแถวเรียงกันเคลื่อนที่เปลี่ยนตัวกลางที่ต่างกัน เป็นต้น

(8) สถานการณ์จำลอง (Simulations) เป็นแบบจำลองที่มีลักษณะเคลื่อนไหวโดยแสดงกระบวนการที่ซับซ้อนและยุ่งยากในการทำความเข้าใจ เช่น การแสดงเที่ยวบินของอากาศยาน ปฏิกิริยานิวเคลียร์ การเกิดภาวะโลกร้อน เป็นต้น โดยแบบจำลองนี้มีข้อดีที่ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สินเนื่องจากเป็นสถานการณ์เสมือน

(9) แบบจำลองทางความคิด (Mental Models) เป็นแบบจำลองของบุคคลที่เกิดจากกระบวนการทางสติปัญญา

(10) แบบจำลองสังเคราะห์ (Synthetic Models) เป็นแบบจำลองที่นักเรียนสร้างขึ้นเมื่อเรียนจบบทเรียนทางวิทยาศาสตร์ เช่น นักเรียนเปรียบเทียบไข่กับชั้นอิเล็กตรอนที่สามารถช่วยปกป้องโครงสร้างของมันได้ เป็นต้น

Ornek (2008: 35-42) ได้กล่าวถึงประเภทของแบบจำลองที่ใช้ในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะในวิชาฟิสิกส์ว่าสามารถแบ่งได้หลักๆ เป็น 2 ประเภท กล่าวคือ (1) แบบจำลองทางความคิด (Mental Models) และ (2) แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual Model) โดยแบบจำลองอย่างหลังนี้แบ่งได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Models) แบบจำลองคอมพิวเตอร์ (Computer Models) แบบจำลองทางกายภาพ (Physical Models) และแบบจำลองทางฟิสิกส์ (Physics Models) โดยรายละเอียดของแบบจำลองแต่ละประเภทมีดังต่อไปนี้

(1) แบบจำลองทางความคิด (Mental Models) คือ การเป็นตัวแทนทางจิตซึ่งเกิดขึ้นในความคิดของบุคคลเมื่อได้รับประสบการณ์และเกิดการสร้างความรู้ในปรากฏการณ์ที่พบเห็น

(2) แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual Model) คือ การเป็นตัวแทนทางภายนอกของวัตถุ ปรากฏการณ์ หรือสถานการณ์ที่ครูเป็นผู้สร้างขึ้น หรือนักวิทยาศาสตร์ใช้ในการช่วยทำความเข้าใจหรือใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์และเป็นแบบจำลองที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนความรู้ทางวิทยาศาสตร์ของบุคคลในสังคม

2.1) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Models) คือ การใช้ภาษาทางคณิตศาสตร์เพื่อบรรยายหรือสรุปลักษณะที่สำคัญของปรากฏการณ์ในรูปแบบของสัญลักษณ์ สมการ และตัวเลข เช่น ถ้าต้องการแสดงแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุที่กำลังตกลงมาจะแสดงด้วยความสัมพันธ์ $F = mg$ เป็นต้น

2.2) แบบจำลองคอมพิวเตอร์ (Computer Models) คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้เพื่อจำลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระบบของปรากฏการณ์สร้างขึ้นจากแบบจำองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้วิเคราะห์หาคำตอบของปัญหา สามารถทำนายเหตุการณ์ของระบบที่ซับซ้อนจากตัวแปรและเงื่อนไขเริ่มต้นได้ โดยลักษณะของแบบจำลองคอมพิวเตอร์มีลักษณะการตัวแทนทางภายนอกได้หลายลักษณะ เช่น เป็นภาพสองมิติหรือสามมิติ แอนิเมชัน กราฟ เวกเตอร์ และตัวเลข เป็นต้น

2.3) แบบจำลองทางกายภาพ (Physical Models) คือ แบบจำลองของสถานการณ์จริงที่มีลักษณะจับต้องได้โดยแสดงลักษณะทางกายภาพของระบบหรือวัตถุ เช่น แบบจำลองรถยนต์ แบบจำลองระบบสุริยะ เป็นต้น โดยแสดงขนาดที่จำลองจากสถานการณ์จริง

2.4) แบบจำลองทางฟิสิกส์ (Physics Models) คือ แบบจำลองที่มีลักษณะเป็นอุดมคติหรือเป็นสถานการณ์สมมติที่เน้นความสมบูรณ์ เพื่อช่วยให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น เช่น แบบจำลอง

ของแก๊สที่เน้นให้มีรูปทรงกลมขนาดเล็กโดยกำหนดว่าการชนกันของแก๊สนั้นเป็นการชนแบบยืดหยุ่นสมบูรณ์ เป็นต้น ซึ่งรวมไปถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถือเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ใช้ในสาขาฟิสิกส์

(2) การจำแนกแบบจำลองตามรูปแบบของการเป็นตัวแทน พบว่าแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์สามารถแสดงออกมาได้ในหลากหลายรูปแบบ หรือกล่าวได้ว่ามีรูปแบบของการเป็นตัวแทนได้หลายลักษณะ (Forms of Representation) ทั้งนี้มีนักวิชาการได้ศึกษาและจัดแบ่งประเภทของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไว้ดังต่อไปนี้

Grosslight et al. (1991) ได้จำแนกประเภทของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ตามลักษณะภายนอกไว้ 4 แบบ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

(1) วัตถุและตัวบุคคล (Object and People) คือ การใช้วัสดุที่เป็น 3 มิติหรือคน เช่น ของเล่นเด็ก แบบจำลองทางสถาปัตยกรรม การใช้บทบาทสมมติ เป็นต้น

(2) แผนภาพ (Visual) คือ การใช้ภาพวาดที่เป็น 2 มิติเช่น ภาพวาด แผนผัง กราฟ แผนที่ พิมพ์เขียว เป็นต้น หรือเป็น3 มิติที่แสดงในคอมพิวเตอร์

(3) ภาษา (Verbal) คือ การพูดหรือการเขียน เช่นการเรียนการสอน เป็นต้น

(4) นามธรรม (Abstract) คือ การเป็นตัวแทนของแนวคิด เช่น แบบจำลองทางทฤษฎี แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เป็นต้น

Gilbert, Boulter and Elmer (2000: 13) ได้กล่าวถึงประเภทของแบบจำลองที่แสดงออกในการศึกษาวิทยาศาสตร์โดยแบ่งตามลักษณะการเป็นตัวแทนที่สำคัญได้ 5 ประเภท ดังนี้

(1) ลักษณะที่เป็นวัตถุ (Concrete or Material Mode) คือ การใช้วัสดุที่เป็น 3 มิติ และทำจากวัสดุที่คงทน เช่น แบบจำลองแรงยึดเหนี่ยวไอออนที่ทำจากพลาสติก แบบจำลองระบบไหลเวียนโลหิตของมนุษย์ที่ทำจากพลาสติกผสมสี แบบจำลองปีกเครื่องบินที่ทำจากโลหะ เป็นต้น

(2) ลักษณะที่เป็นภาษา (Verbal Mode) คือ การพูดหรือการเขียนที่ประกอบด้วยการพรรณนาเกี่ยวกับเอกลักษณ์และความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่แสดงแทน เช่น การแสดงธรรมชาติของโครงสร้างโมเลกุล เส้นเลือดดำและเส้นเลือดแดง เป็นต้น

(3) ลักษณะที่เป็นสัญลักษณ์ (Symbolic Mode) คือ การใช้ชุดของตัวเลขหรือตัวอักษรที่แสดงข้อตกลงทางคณิตศาสตร์หรือวิทยาศาสตร์ สมการทางเคมี และการแสดงสมการทางคณิตศาสตร์ เช่น กฎของแก๊ส กฎของอัตราการเกิดปฏิกิริยา เป็นต้น

(4) ลักษณะที่เป็นภาพ (Visual Mode) คือการใช้กราฟ แผนผัง แผนภาพที่เป็น 2 มิติ และภาพเคลื่อนไหว เช่น แผนผังแสดงโครงสร้างทางเคมี เป็นต้น

(5) ลักษณะที่เป็นการเคลื่อนไหว (Gestural Mode) คือ การใช้ร่างกายหรือส่วนหนึ่งของร่างกาย เช่น นักเรียนเคลื่อนที่เพื่อแสดงแทนการเคลื่อนที่ของไอออนในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาอิเล็กโตรไลท์ เป็นต้น

Dolin (2002; อ้างถึงใน Guttersrud, 2007) ได้ระบุประเภทของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในการแสดงความเข้าใจในสาระการเรียนรู้ฟิสิกส์ โดยแบ่งตามลักษณะการเป็นตัวแทนไว้ 5 แบบ ดังนี้

(1) แบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาด (Pictorial Representation) คือ การแสดงความเข้าใจในลักษณะของภาพวาด สัญลักษณ์ แผนผัง หรือรูป

(2) แบบจำลองที่นำเสนอการทดลอง (Experimental Representation) คือ การแสดงขั้นตอนการทดลองด้วยการวาดภาพ วัสดุอุปกรณ์ พร้อมทั้งสัญลักษณ์และข้อความ

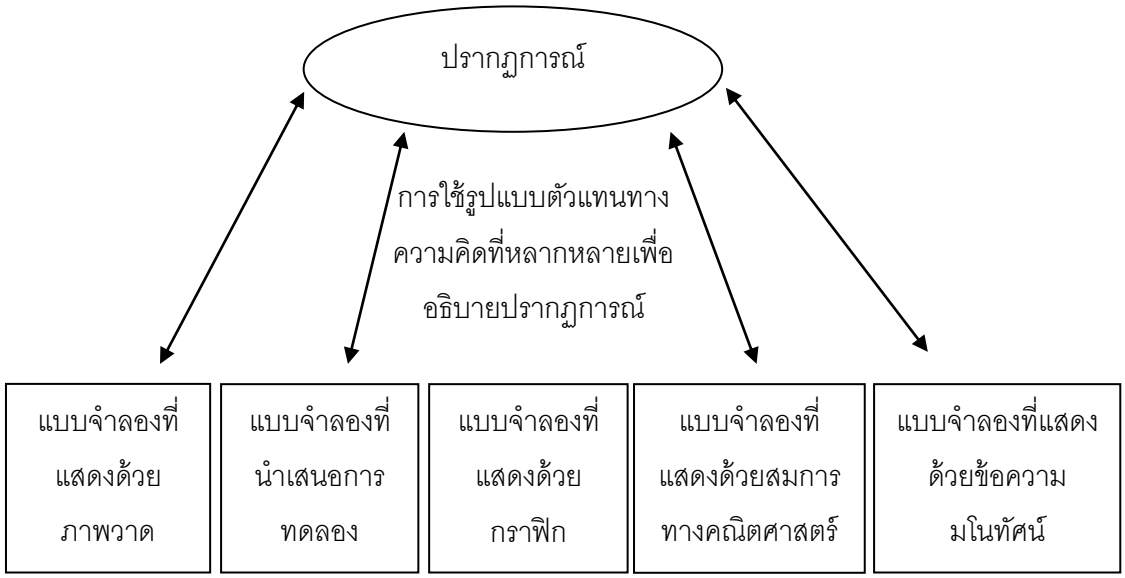
(3) แบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิก (Graphical Representation) คือ การแสดงความเข้าใจของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในลักษณะของตาราง แผนภูมิแท่ง และกราฟที่เป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์

(4) แบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Representation) คือ การแสดงความเข้าใจในลักษณะของสมการ ซึ่งประกอบด้วย ตัวแปรและค่าคงที่ทางคณิตศาสตร์

(5) แบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์ (Conceptual Representation) คือ การแสดงความเข้าใจในลักษณะการเขียนบรรยายหรือพูดโดยสรุปเป็นมโนทัศน์จากผลการสำรวจตรวจสอบหรือข้อมูลจากการทดลอง

จากการศึกษาข้างต้นสรุปได้ว่า แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนสร้างขึ้นจากแบบจำลองทางความคิดโดยแสดงออกมาเป็นแบบจำลองที่แสดงออก (Expressed Model) หรือแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ (Conceptual Model) ในลักษณะรูปแบบของการเป็นตัวแทนทางความคิด (Representation) มี 5 แบบ ได้แก่ 1) แบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาด 2) แบบจำลองที่นำเสนอการทดลอง 3) แบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิก 4) แบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทาง

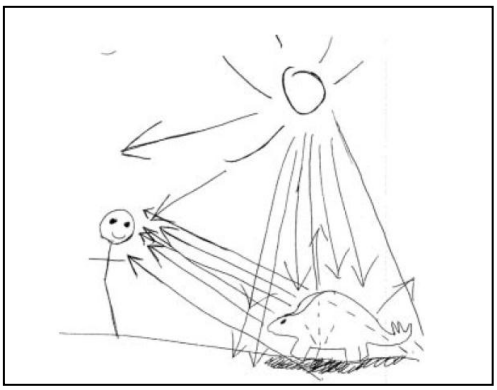
คณิตศาสตร์ 5) แบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์ เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการแสดงความเข้าใจและอธิบายปรากฏการณ์ในสาระการเรียนรู้ฟิสิกส์ตามแนวคิดของ Dolin (2002; อ้างถึงใน Guttersrud, 2007) สรุปได้ดังแผนภาพที่ 3



แผนภาพที่ 3 ประเภทของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนใช้สร้างเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ (ปรับจาก Angell et al.,2006)

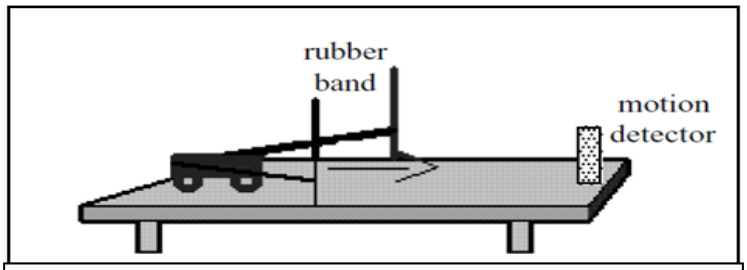
รายละเอียดและตัวอย่างของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ซึ่งนักเรียนใช้สร้างเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ทางกายภาพและปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ที่ใช้ศึกษาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มีดังต่อไปนี้

(1) แบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาด (Pictorial Representation) คือ แบบที่แสดงความรู้ความเข้าใจในลักษณะของภาพวาด สัญลักษณ์ แผนผัง หรือรูป โดยตัวอย่างของแบบจำลองที่ใช้ภาพวาดเป็นดังนี้



แผนภาพที่ 4 ภาพวาดที่เป็นตัวแทนความเข้าใจเรื่อง การเกิดเงาและการมองเห็นวัตถุหลังการทดลอง ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 (Weizman and Fortus, 2007 อ้างถึงใน Schwarz et al., 2009: 642)

(2) แบบจำลองที่นำเสนอการทดลอง (Experimental Representation) คือ แบบที่แสดงความรู้ความเข้าใจขั้นตอนการทดลองด้วยการวาดภาพ วัสดุอุปกรณ์ พร้อมทั้งสัญลักษณ์และข้อความโดยตัวอย่างของแบบจำลองที่นำเสนอการทดลองเป็นดังนี้

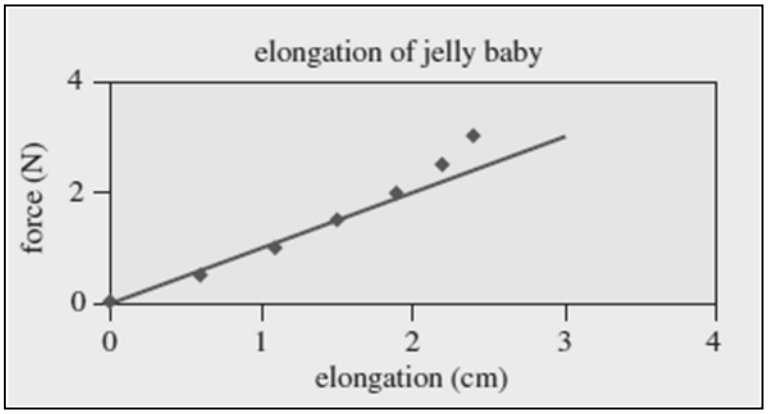


การออกแบบการทดลอง

1) กำหนดสิ่งที่ศึกษาต้องประกอบด้วย รถทดลอง และยางยืด
2) ทดลอง*ระยะยืดของยางยืด*ที่ต่างกันจำนวน 4 ครั้ง แล้วบันทึก *ความเร็ว*ของรถทดลองจากเครื่องตรวจจับความเร็ว

แผนภาพที่ 5 การทดลองเรื่อง การถ่ายโอนพลังงานศักย์ยืดหยุ่นไปสู่พลังงานจลน์ ของนักเรียนที่เรียนฟิสิกส์มัธยมศึกษาตอนปลาย (Hestenes, 2002: http://modeling.asu.edu/Modeling-pub/Mechanics_curriculum/Energy/01_U7%20Teachernotes.pdf)

(3) แบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิก (Graphical Representation) คือ แบบที่แสดงความรู้ความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในลักษณะของตาราง แผนภูมิแท่ง และกราฟที่เป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ โดยตัวอย่างลักษณะของแบบจำลองแสดงด้วยกราฟิกที่เป็นกราฟมีลักษณะดังนี้



แผนภาพที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะยืดของเจลลี่เรื่อง กฎของฮุคของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายที่เรียนฟิสิกส์ (Angell et al., 2008: 259)

(4) แบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Representation)คือ แบบที่แสดงความรู้ความเข้าใจในลักษณะของสมการ ซึ่งประกอบด้วย ตัวแปรและค่าคงที่ทางคณิตศาสตร์ โดยตัวอย่างของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีลักษณะดังนี้

เรื่อง การตกอย่างอิสระของวัตถุ

- สมการทางคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องกับกราฟดังสมการ $y = ax + b$
- ระบุตัวแปรที่ศึกษาให้สอดคล้องกับสมการข้างต้นเพื่อสรุปเป็นแบบจำลองที่ใช้คณิตศาสตร์เป็นตัวแทน คือ $v = v_0 + at$ (Angell et al., 2006: 442)

(5) แบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์(Conceptual Representation) คือ แบบที่แสดงความรู้ความเข้าใจในลักษณะการเขียนบรรยายหรือพูดโดยสรุปเป็นมโนทัศน์จากผลการสำรวจตรวจสอบหรือข้อมูลจากการทดลอง โดยสรุปเป็นมโนทัศน์จากผลการสำรวจตรวจสอบหรือข้อมูลจากการทดลอง

เรื่อง การตกอย่างอิสระของวัตถุ สามารถสรุปด้วยข้อความมโนทัศน์ได้ว่า *การที่วัตถุตกอย่างอิสระด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเวลา เป็นผลเนื่องมาจากความเร่งที่เรียกว่า ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก* (Angell et al., 2006: 442)

2.1.3 องค์ประกอบของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

การเรียนรู้โดยมีแบบจำลองเป็นฐานหรือการสร้างแบบจำลอง มีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการสร้างแบบจำลองทางความคิดในปรากฏการณ์ที่สนใจของนักเรียน โดยเขียนออกมาในลักษณะรูปแบบการเป็นตัวแทนทางความคิดได้ในหลายลักษณะ ทั้งนี้มีนักการศึกษาได้ศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไว้ดังนี้

Mayer, Kamens and Benavot (1992: 206; อ้างถึงใน Gilbert, Boulter and Rutherford, 2000: 206) ได้เสนอเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาองค์ประกอบของแบบจำลองที่นักเรียนสร้างขึ้นมี 6 เกณฑ์ ดังนี้

(1) มีลักษณะสำคัญและแสดงความสัมพันธ์ของเอกลักษณ์ภายในแบบจำลอง

(2) มีความสอดคล้องเชื่อมโยงมีคำอธิบายรายละเอียดที่เพียงพอในแบบจำลอง

(3) มีความเป็นรูปธรรมโดยเป็นแบบจำลองที่สามารถมองเห็นและเข้าใจได้

(4) ปรากฏการณ์ที่แสดงในแบบจำลองมีแนวคิดที่สอดคล้องกับทฤษฎี

(5) มีความถูกต้องและเป็นตัวแทนของปรากฏการณ์

(6) การใช้ภาษาที่ถูกต้องและสื่อความหมาย

Hestenes (1996) ได้กล่าวถึงส่วนประกอบของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะที่ใช้ศึกษาในวิชาฟิสิกส์ว่าจะต้องแสดงลักษณะ 4 ลักษณะ ดังต่อไปนี้

(1) โครงสร้างเชิงระบบ (Systemic Structure) ได้แก่ สภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับระบบที่สนใจและมีความเชื่อมโยง

(2) โครงสร้างทางเรขาคณิต (Geometric Structure) ได้แก่ การระบุตำแหน่ง การใช้เวกเตอร์และระบบแกนพิกัดฉาก

(3) โครงสร้างเชิงเวลา (Temporal Structure) ได้แก่ ตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ซึ่งปรากฏในแบบจำลอง 2 ประเภท ได้แก่ (1) แบบจำลองเชิงบรรยาย (Descriptive model) เช่น ความเร็ว ความเร่ง การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์มอนิก การเคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยอัตราเร็วคงที่ และการชน เป็นต้น และ (2) แบบจำลองเชิงสาเหตุ (Causal model) ที่อธิบายการสาเหตุและผลของการเปลี่ยนแปลง เช่น กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน ที่มีแรงเป็นสาเหตุและผลคือความเร่ง เป็นต้น

(4) โครงสร้างเชิงปฏิสัมพันธ์ (Interaction Structure) ได้แก่ การระบุการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันของตัวแปร เช่น แรงต่างๆ และกฎของฮุค เป็นต้น รวมไปถึงการแลกเปลี่ยนของมวลประจุหรือปริมาณทางกายภาพ เป็นต้น

Van Driel and Verloop (1999: 1142-1143) ได้สรุปลักษณะที่สำคัญของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไว้ 7 ลักษณะ ดังนี้

(1) แบบจำลองต้องมีความเกี่ยวข้องและสอดคล้องกับระบบ วัตถุ ปรากฏการณ์หรือกระบวนการที่จะอธิบายเสมอ

(2) แบบจำลองเป็นเครื่องมือหนึ่งในการได้มาซึ่งสารสนเทศเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องการศึกษา ซึ่งไม่สามารถสังเกตหรือวัดได้โดยตรง เช่น แบบจำลองอะตอม แบบจำลองที่อธิบายหลุมดำ เป็นต้น โดยแบบจำลองที่มีลักษณะคัดลอกเพียงลักษณะภายนอกของวัตถุจึงไม่จัดเป็นแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

(3) แบบจำลองจะไม่นำเสนอวัตถุหรือปรากฏการณ์เหมือนภาพถ่ายหรือภาพที่มีลักษณะเหมือนกันโดยตรง

(4) แบบจำลองเป็นการเทียบกับปรากฏการณ์ที่ช่วยให้สามารถกำหนดสมมติฐานจากแบบจำลอง และทดสอบในขณะที่กำลังศึกษาปรากฏการณ์ โดยการทดสอบสมมติฐานนี้จะทำให้ได้สารสนเทศใหม่จากปรากฏการณ์ที่ศึกษา

(5) แบบจำลองมีประเด็นที่แตกต่างจากปรากฏการณ์บางส่วน โดยจะคงไว้ในประเด็นที่มีความเป็นไปได้และอธิบายได้

(6) แบบจำลองสามารถสร้างขึ้นในลักษณะที่เป็นการเทียบเคียงหรือแตกต่างจากปรากฏการณ์ที่ศึกษาเพื่อเป็นตัวเลือกจากคำถามที่ต้องการศึกษา

(7) แบบจำลองสามารถพัฒนาผ่านกระบวนการทดลองซ้ำเพื่อปรับปรุงแบบจำลอง จากการได้มาซึ่งหลักฐานเชิงประจักษ์เพิ่มเติมซึ่งมีความสอดคล้องกับปรากฏการณ์

Gilbert, Boulter and Elmer (2000: 11) ได้กล่าวถึงลักษณะองค์ประกอบของแบบจำลอง ซึ่งมีทั้งแบบจำลองทั่วไปและแบบจำลองที่มีความเป็นนามธรรม ทั้งนี้แบบจำลองอาจประกอบด้วยบางส่วนหรือทั้งหมด ซึ่งสามารถสรุปส่วนประกอบของแบบจำลองได้ดังนี้

(1) เอกลักษณ์ (Entities) ที่เป็นวัตถุหรือสิ่งที่จับต้องได้ ที่มองเห็นได้ ทั้งที่แยกออกมา เช่น ล้อรถ เป็นต้น หรือเป็นส่วนประกอบหนึ่งของระบบที่สนใจ เช่น ล้อรถที่ติดอยู่กับรถยนต์ เป็นต้น

(2) เอกลักษณ์ที่มีความเป็นนามธรรม(Abstraction) ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาหรือไม่สามารถจับต้องได้ แต่ประพฤติตัวราวกับเป็นวัตถุหรือที่สามารถสัมผัสได้ เช่น แรง และพลังงาน เป็นต้น

(3) ความผสมผสานกัน (Mixture) ของเอกลักษณ์ ระหว่างสิ่งที่สัมผัสจับต้องได้กับสิ่งที่พฤติตัวราวกับเป็นวัตถุหรือที่สัมผัสได้

(4) ระบบ (System) ที่แสดงความสัมพันธ์ของเอกลักษณ์

(5) เหตุการณ์ (Event) ที่แสดงพฤติกรรมของเอกลักษณ์ที่อยู่ในระบบที่สนใจที่มีข้อจำกัดในด้านเวลา เช่น แบบจำลองของการแข่งขันกรีฑา เป็นต้น

(6) กระบวนการ (Process) ของเหตุการณ์ที่อยู่ในระบบที่มีผลลัพธ์อย่างชัดเจน เช่น วิธีการของ Bosch Haber ในการผลิตแอมโมเนียจากไนโตรเจนและไฮโดรเจน เป็นต้น

Etkina, Warren and Gentile (2005: 15) ได้กล่าวถึงลักษณะของแบบจำลองที่นักฟิสิกส์สร้างขึ้นประกอบด้วย 4 ลักษณะ ดังนี้

(1) ลักษณะของวัตถุหรือกระบวนการที่สำคัญและเข้าใจได้ง่าย

(2) เป็นการบรรยายหรืออธิบายในลักษณะเชิงเทียบที่มีลักษณะใกล้เคียงกับวัตถุหรือกระบวนการ

(3)สามารถทำนายหรือคาดคะเนได้

(4) การทำนายหรือคาดคะเนของแบบจำลองย่อมมีข้อจำกัด

จากการศึกษาองค์ประกอบที่สำคัญของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ข้างต้นสรุปได้ว่า แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ต้องประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ 3 องค์ประกอบ ดังนี้

(1)แบบจำลองต้องแสดงความเป็นตัวแทนหรือมีความสอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่อธิบายอย่างชัดเจนสมบูรณ์

(2)แบบจำลองต้องแสดงมโนทัศน์หรือทฤษฎีที่เป็นตัวแทนของปรากฏการณ์ ซึ่งสามารถใช้ตั้งสมมติฐาน อธิบาย หรือทำนายได้ถูกต้อง

(3)แบบจำลองต้องแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกันของตัวแปรหรือเอกลักษณ์ ในปรากฏการณ์ต่างๆ ได้แก่ วัตถุ เหตุการณ์ หรือกระบวนการที่สนใจ

2.2 ความสำคัญของแบบจำลองและการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

แบบจำลองเป็นเครื่องมือสำคัญในด้านการคิดและการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากแบบจำลองช่วยส่งเสริมการสำรวจตรวจสอบ การสร้างความเข้าใจ และการสื่อสารความรู้ (Harrison and Treagust, 2000: 1011-1012) แบบจำลองมีความสำคัญในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Research) ทั้งในด้านการตั้งสมมติฐานเพื่อทดสอบสมมติฐาน และการบรรยายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ (Gilbert, 1995 อ้างถึงใน Gobert and Buckley, 2000: 891) โดย Justi and Gilbert (2002: 369-387) ได้สรุปบทบาทที่สำคัญของแบบจำลองและการสร้างแบบจำลองในการศึกษาวิทยาศาสตร์ไว้ดังต่อไปนี้ (1) เป็นตัวแทนของเอกลักษณ์ในการบรรยายปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น (2) ทำให้เอกลักษณ์ที่มีความเป็นนามธรรมมีความชัดเจนมากขึ้น (3) เป็นพื้นฐานสำหรับการตีความหมายจากผลการทดลอง (4) ทำให้คำอธิบายได้รับการพัฒนา (5) เป็นพื้นฐานที่ใช้สำหรับการทำนาย ดังตัวอย่างผลงานทางวิทยาศาสตร์ที่อธิบายด้วยแบบจำลอง ได้แก่แบบจำลองโครงสร้างสายดีเอ็นเอของ Watson และ Crick (Harrison and Treagust, 2000: 1012) แบบจำลองอะตอมของ Rutherford การเขียนแผนภาพทิศทางการไหลของของเหลวแทนการไหลของกระแสไฟฟ้าของ Volta และ Ampere (Stavy, 1991 อ้างถึงใน Coll., 2005: 184-185) และแบบจำลองของคลื่นและอนุภาคที่ใช้อธิบายธรรมชาติการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Rutherford, 2000: 255) เป็นต้น จะเห็นได้ว่าแบบจำลองนั้นมีความสัมพันธ์กับวิทยาศาสตร์อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยแบบจำลองเป็นทั้งผลผลิตทางวิทยาศาสตร์ วิธีการ และเครื่องมือที่ใช้ในการเรียนรู้และการสอน (Gilbert, 1993: 9-10 อ้างถึงใน Harrison and Treagust, 2000: 1011)

ในด้านการศึกษาวิทยาศาสตร์ทั้งแบบจำลองและการสร้างแบบจำลองมีความสำคัญในการช่วยขับเคลื่อนการปฏิรูปการศึกษาวิทยาศาสตร์ในรอบทศวรรษที่ผ่านมา และในปัจจุบันนี้ แบบจำลองและการสร้างแบบจำลองนั้นได้ถูกพิจารณาให้เป็นส่วนหนึ่งของการรู้วิทยาศาสตร์ (Sciectific literacy) (Gilbert, 1995 อ้างถึงใน Gobert and Buckley, 2000: 891) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Schwarz and White (2005) ที่ให้ข้อสรุปไว้ว่า “นักเรียนควรรู้เกี่ยวกับธรรมชาติของแบบจำลองและกระบวนการสร้างแบบจำลองเพื่อที่จะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการรู้วิทยาศาสตร์และการเรียนรู้ในวิชาฟิสิกส์ได้” โดยแบบจำลองและการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มีวัตถุประสงค์หลัก (Hodson, 1992 อ้างถึงใน Justi and Gilbert, 2002: 370) สรุปได้ดังนี้

(1) เพื่อเป็นการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โดยรู้ธรรมชาติ ขอบเขต และข้อจำกัดที่สำคัญของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

(2) เพื่อเรียนรู้เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ โดยนักเรียนควรเกิดความซาบซึ้งกับบทบาทของแบบจำลองในการสนับสนุนและการเผยแพร่ของผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการสืบสอบเชิงวิทยาศาสตร์ได้

(3) เพื่อเรียนรู้การปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ โดยนักเรียนสามารถสร้าง แสดง และทดสอบแบบจำลองของตนเองได้

จากการให้ความสำคัญของการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน จะมีส่วนช่วยเสริมให้นักเรียนได้เรียนรู้วิธีการแสวงหาความรู้อย่างนักวิทยาศาสตร์ ซึ่ง Schwarz et al. (2009) ได้กล่าวถึงประโยชน์ที่เกิดจากการให้นักเรียนได้สร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไว้ดังนี้ “(1) การสร้างแบบจำลองเป็นส่วนสำคัญที่ก่อให้เกิดการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (2) แบบจำลองทำให้ความคิดของนักเรียนมีความชัดเจนและเป็นประโยชน์สำหรับการสร้างและสื่อสารความเข้าใจ (3) การสร้างแบบจำลองช่วยให้นักเรียนสร้างความเข้าใจในเนื้อหาสาระ วิธีการ การให้เหตุผล และการปฏิบัติอย่างนักวิทยาศาสตร์”

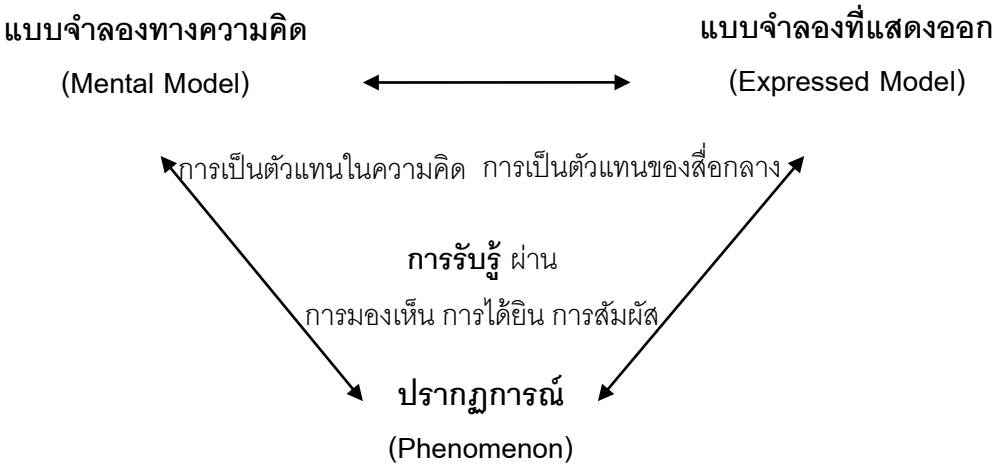
จากที่กล่าวมาข้างต้นพอสรุปได้ว่า แบบจำลองเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้เกิดการสำรวจตรวจสอบ การสร้างความเข้าใจ และอธิบายความรู้ในปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น และการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มีส่วนสำคัญในการช่วยให้นักเรียนปฏิบัติอย่างนักวิทยาศาสตร์กล่าวคือ ฝึกกระบวนการทางความคิดตามแนวทางการได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และเข้าใจในธรรมชาติของวิทยาศาสตร์

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง แบบจำลองทางความคิด แบบจำลองที่แสดงออก และแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

แบบจำลอง แบบจำลองทางความคิด แบบจำลองที่แสดงออก และแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์แต่ละคำล้วนมีความหมายที่แตกต่างกัน ในการศึกษาทางวิทยาศาสตร์จึงจำเป็นต้องศึกษาคำจำกัดความและความสัมพันธ์เพื่อช่วยในการวางกรอบการวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

แบบจำลอง (Model) เป็นการแสดงการเป็นตัวแทนของความคิด วัตถุ เหตุการณ์ กระบวนการ หรือระบบที่สนใจ (CMISTRE: the Centre for Models in Science and Technology: Research in Education) (Buckley and Boulter, 2000: 120) และแบบจำลองทางความคิด (Mental models) หมายถึง การเป็นตัวแทนทางสติปัญญาหรือกระบวนการสร้างทางสติปัญญาที่เกิดขึ้นภายในบุคคล ซึ่งบุคคลจะใช้เพื่อสร้างความเข้าใจ บรรยาย อธิบาย ทำนาย หรือควบคุม และให้เหตุผลเกี่ยวกับปรากฏการณ์ (Buckley and Boulter, 2000: 120; Coll, France and Taylor 2005: 184) เมื่อบุคคลได้แสดงแบบจำลองทางความคิดนี้ในที่สาธารณะผ่านการกระทำ พูด เขียน หรือในรูปแบบสัญลักษณ์ จึงทำให้แบบจำลองดังกล่าวมีชื่อเรียกว่าแบบจำลองที่แสดงออก (Expressed Models) (Coll, France and Taylor 2005: 184) ฉะนั้นแบบจำลองทางความคิดมีความแตกต่างจากแบบจำลองที่แสดงออก กล่าวคือ แบบจำลองที่แสดงออก หมายถึง การเป็นตัวแทนที่บุคคลแสดงออกทางภายนอกซึ่งใช้เพื่อสื่อสารและให้เหตุผล (Buckley and Boulter, 2000: 120)

การวิจัยในครั้งนี้ คำว่า การเป็นตัวแทน (Representation) นั้นหมายถึง การแสดงการเป็นตัวแทนทางภายนอก (External Representations) และหมายถึง แบบจำลองที่แสดงออกเช่นกัน (Buckley and Boulter, 2000: 120) โดยลักษณะการแสดงสิ่งที่เป็นตัวแทนทางความคิดของบุคคลสามารถแสดงได้หลายรูปแบบ เช่น ภาพวาด สัญลักษณ์ การเขียน กราฟ เป็นต้น โดยความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลองทางความคิด แบบจำลองที่แสดงออก และปรากฏการณ์แสดงได้ดังแผนภาพที่ 7



แผนภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างกันของแบบจำลองทางความคิด แบบจำลองที่แสดงออก และปรากฏการณ์ (Buckley and Boulter, 2000: 121)

จากแผนภาพแบบจำลองทางความคิดที่ใช้เพื่อทำความเข้าใจและสร้างแบบจำลองที่แสดงออก เกิดจากการแสดงความคิดของบุคคลที่มีต่อปรากฏการณ์ และส่งผลต่อแบบจำลองทางความคิด แบบจำลองที่แสดงออกจะแสดงการเป็นตัวแทนของลักษณะปรากฏการณ์ที่บุคคลเลือกมาและเป็นตัวแทนของแบบจำลองทางความคิดของบุคคลนั้น (Buckley and Boulter, 2000: 120) เมื่อแบบจำลองที่แสดงออกได้รับการยอมรับจากสังคมผ่านการทดสอบโดยผู้เชี่ยวชาญหรือนักวิทยาศาสตร์แบบจำลองนั้นจึงกลายเป็น แบบจำลองที่เป็นมติ (Consensus Models) และหากแบบจำลองนี้ยังคงใช้อยู่ในบริบททางวิทยาศาสตร์จะมีชื่อเรียกว่า แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Models) (Coll, France and Taylor 2005: 184; Gilbert, Boulter and Elmer, 2000: 12)

2.4 แนวทางการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

จากการศึกษาแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ซึ่งเป็นแบบจำลองทางความคิด (Mental Model) ที่สามารถสื่อสารให้ผู้อื่นเข้าใจได้ด้วยแบบจำลองที่แสดงออก (Expressed Model) เพื่อนำมาใช้อธิบายปรากฏการณ์ทางกายภาพและปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ และแสดงความเข้าใจในสาระการเรียนรู้ฟิสิกส์ สามารถสร้างแบบจำลองออกมาได้ 5 แบบ Dolin (2002; อ้างถึงใน Guttersrud, 2007) ได้แก่ (1) แบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาด (2) แบบจำลองที่นำเสนอการ

ทดลอง (3) แบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิก (4) แบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ (5) แบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์โดยแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ แต่ละแบบได้มีนักการศึกษาวิทยาศาสตร์กล่าวถึงแนวทางในการสร้างดังนี้

(1) แบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาด

Herr (2008: 298) ได้กล่าวถึงการวาดภาพว่า เป็นการวาดสิ่งที่เป็นตัวแทนของลักษณะโครงสร้าง การทำงาน หรือความสัมพันธ์ของสิ่งใดสิ่งหนึ่ง

Guttersrud (2007: 59-60) ได้กล่าวถึงการวาดภาพสามารถสรุปได้ 3 ประเด็น ดังนี้ (1) วาดภาพหรือแผนผังที่สามารถบรรยายปรากฏการณ์ทางภายภาพได้ (2) วาดสัญลักษณ์ของปริมาณทางกายภาพ เช่น เวกเตอร์ เส้นแทนแรง เป็นต้น ลงในแผนภาพหรือแผนผัง (3) วาดภาพหรือแผนผังที่แสดงมโนทัศน์ทางฟิสิกส์

จากการศึกษาข้างต้นสรุปได้ว่าการเขียนแบบจำลองที่ใช้ภาพวาดประกอบด้วย (1) การแสดงลักษณะหรือความสัมพันธ์ของปรากฏการณ์ทางกายภาพหรือปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ (2) มโนทัศน์หลักของปรากฏการณ์ทางกายภาพหรือปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ

(2) แบบจำลองที่นำเสนอการทดลอง

Hestenes (2002: online) ได้ออกแบบเกณฑ์การประเมินแบบตรวจสอบรายการในการเขียนปฏิบัติการทดลองวิชาฟิสิกส์โดยใช้ระเบียบวิธีการสร้างแบบจำลองเกี่ยวกับการเขียนแผนการทดลอง โดยเป็นการพิจารณาแผนภาพแสดงการทดลองและการระบุขั้นตอนการทดลองใน 3 ประเด็น ได้แก่ (1) การระบุรายละเอียดในภาพวาด (2) การเขียนลำดับขั้นตอนอย่างชัดเจนและได้ใจความ (3) การระบุตัวแปร

Guttersrud (2007: 59-60) ได้กล่าวถึงการเขียนแผนการทดลองสรุปได้ว่า แผนการทดลองต้องแสดงมโนทัศน์ที่ศึกษา (2) แสดงขั้นตอนการทดลองที่สามารถปฏิบัติและเรียนรู้ได้

จากการศึกษาข้างต้นสรุปได้ว่าการเขียนแบบจำลองที่นำเสนอการทดลองประกอบด้วย (1) การเขียนแผนภาพที่แสดงตัวอย่างการทดลอง (2) การเขียนลำดับขั้นตอนการทดลองที่สามารถปฏิบัติได้พร้อมระบุตัวแปรที่ศึกษาอย่างชัดเจน

(3) แบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิก ที่ใช้สำหรับการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 2 ลักษณะ ได้แก่

3.1) แบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิกที่เป็นตาราง

วรรณทิพา รอดแรงค้า (2544: 65) ได้เสนอหลักการบรรจุข้อมูลจากการทดลองให้อยู่ในรูปของตาราง ดังนี้ การใส่ค่าของตัวแปรอิสระมักใส่ไว้ทางซ้ายมือของตารางและค่าของตัวแปรตามไว้ทางขวามือของตาราง โดยเขียนค่าของตัวแปรอิสระให้เรียงลำดับจากค่าน้อยไปมากหรือจากค่ามากไปน้อย

วรรณทิพา รอดแรงค้า และพิมพันธ์ เดชะคุปต์ (2551: 77) ได้เสนอหลักการในการเขียนตารางที่ต้องประกอบด้วย 5 องค์ประกอบสำคัญ ดังนี้

1) หมายเลขตาราง เป็นตัวเลขแสดงลำดับที่ของตาราง

2) ชื่อเรื่อง เป็นส่วนต่อจากหมายเลขตารางโดยต้องเขียนได้ถูกต้องกับข้อมูลที่จะเสนอ เป็นข้อความสั้น กระชับ และมีความหมายสมบูรณ์ในตัว เช่น ความหนาแน่นของอากาศที่ความสูงระดับต่างๆ

3) ต้นขั้ว ประกอบด้วยหัวขั้วและตัวขั้ว โดยหัวขั้วจะให้คำอธิบายเกี่ยวกับตัวขั้วต่างๆ และตัวขั้วแต่ละอันจะบอกถึงข้อมูลที่ปรากฏอยู่ในแต่ละแถวตามแนวนอน

4) หัวสดมภ์ เป็นส่วนสำคัญที่ให้คำอธิบายเกี่ยวกับข้อมูลที่ปรากฏอยู่ในแต่ละสดมภ์ตามแนวตั้งหัวสดมภ์จะมีเพียงอันเดียวหรือหลายอันก็ได้

5) ตัวเรื่อง เป็นส่วนที่ประกอบด้วยข้อมูลที่ต้องการนำเสนอ

จากการศึกษาข้างต้นสรุปได้ว่า การเขียนแบบจำลองที่นำเสนอด้วยกราฟิกที่เป็นตารางต้องระบุตัวแปรอิสระไว้ด้านซ้ายมือของตารางและค่าของตัวแปรตามไว้ด้านขวามือของตาราง โดยประกอบด้วย 5 องค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ หมายเลขตาราง ชื่อตาราง ต้นขั้ว หัวสดมภ์ และตัวเรื่อง

3.2) แบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิกที่เป็นกราฟ

Hestenes (2002: online) ได้ออกแบบเกณฑ์การประเมินแบบตรวจสอบรายการในการเขียนปฏิบัติการทดลองวิชาฟิสิกส์โดยใช้ระเบียบวิธีการสร้างแบบจำลองเกี่ยวกับการเขียนกราฟโดยพิจารณาใน 2 ประเด็น ได้แก่ (1) การระบุตัวแปรให้อยู่บนแกนที่เหมาะสม พร้อมระบุหน่วย (2) การเขียนกราฟได้สอดคล้องกับผลการทดลอง

วรรณทิพา รอดแรงค้า และพิมพันธ์ เดชะคุปต์ (2551: 78) ได้เสนอหลักในการเขียนกราฟจากการสื่อความหมายในรูปแบบกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ซึ่ง

สามารถนำมาเป็นส่วนหนึ่งของตัวชี้วัดในการสร้างเกณฑ์การประเมินแบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟ ดังนี้

1) การแสดงค่าตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นบนแกนนอน (แกน X) และแสดงค่าตัวแปรตามบนแกนตั้ง (แกน Y) ในแต่ละแกนต้องใช้สเกลที่เหมาะสมพร้อมกับแสดงตำแหน่งค่าของตัวแปรทั้งสองบนกราฟ

2) การเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีค่าไม่ต่อเนื่องนิยมใช้กราฟรูปแท่ง

3) การเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีค่าต่อเนื่อง จะเขียนกราฟความสัมพันธ์เพียงเส้นเดียว อาจจะเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งก็ได้ขึ้นกับตัวแปรที่ศึกษา การลากเส้นกราฟควรลากเส้นกราฟผ่านจุดคู่อันดับทุกจุด หรือลากเส้นให้ผ่านหรือใกล้กับจุดต่างๆ ให้มากที่สุด เรียกว่า ลากเส้นเหมาะสมที่สุด (Best-Fit-Line)

Herr (2008: 400-404) ได้กล่าวถึงการวาดกราฟ แบ่งเป็น 2 ลักษณะ กล่าวคือ (1) การวาดกราฟจากเนื้อเรื่อง โดยต้องวิเคราะห์เนื้อเรื่อง จากนั้นเลือกแกนที่เหมาะสม กล่าวคือ แกน X แทน ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) แกน Y แทน ตัวแปรตาม (Dependent Variable) ระบุและเขียนกราฟ (2) การเขียนกราฟการกระจายตัวและกราฟเส้น (Scatter and Line Graphs) เป็นรูปแบบการแสดงข้อมูลการทดลองที่สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร คือ ตัวแปรต้นวางอยู่บนแกน X และตัวแปรตามวางอยู่บนแกน Y ตัวแปรต้นต้องเป็นตัวแปรที่แสดงความต่อเนื่อง เช่น อุณหภูมิ เวลา หรือ ความเข้มแสง มากกว่าตัวแปรที่ไม่ต่อเนื่อง เช่น ประเภทของเลือด ถิ่นที่อยู่อาศัย หรือการออกแบบปีก เป็นต้น

จากการศึกษาข้างต้นสรุปได้ว่า การเขียนแบบจำลองที่นำเสนอด้วยกราฟิกที่เป็นกราฟประกอบด้วย (1) การแสดงค่าของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรที่แสดงความต่อเนื่องบนแกน X และแสดงค่าของตัวแปรตามหรือตัวแปรที่ไม่ต่อเนื่องบนแกน Y พร้อมทั้งระบุหน่วยของตัวแปร (2) การลากเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้สอดคล้องกับตัวแปรในปรากฏการณ์ที่ศึกษา

ทั้งนี้ในการวัดด้วยแบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นการสร้างแบบจำลองที่นำเสนอด้วยกราฟิกครั้งนี้ จะเน้นให้นักเรียนสร้างแบบจำลองที่นำเสนอด้วยกราฟิกที่เป็นกราฟ เพื่อให้นักเรียนได้จัดกระทำข้อมูลเชิงประจักษ์และช่วยในการสร้างความสัมพันธ์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนได้ฝึกการเชื่อมโยงการศึกษาในสิ่งที่เป็นรูปธรรมกับสิ่งที่เป็นนามธรรมสอดคล้องตามธรรมชาติของวิชาฟิสิกส์ ตามแนวคิดของ Guttersrud (2007)

(4) แบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์

Guttersrud (2007: 59-60, 105) ได้เสนอเกณฑ์การประเมินการสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้ (1) เป็นการเลือกสมการที่สอดคล้องกับปรากฏการณ์ทางกายภาพ การกำหนดตัวแปรและค่าคงที่ (2) เป็นการเชื่อมโยงค่าคงที่ของปริมาณทางกายภาพกับกราฟที่ได้จากการทดลองและสมการทางคณิตศาสตร์

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างแบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ของ Angell et al. (2006: 442) พบว่าการเขียนแบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ต้องประกอบด้วย (1) การเลือกสมการที่สอดคล้องกับปรากฏการณ์ (2) การระบุตัวแปรทางฟิสิกส์ลงในสมการทางคณิตศาสตร์

จึงสรุปได้ว่าการเขียนแบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ประกอบด้วย (1) สมการทางคณิตศาสตร์มีความสอดคล้องกับกราฟซึ่งเป็นตัวแทนของปรากฏการณ์ที่ศึกษา (2) การระบุหรือแทนค่าตัวแปรทางวิทยาศาสตร์ลงในสมการทางคณิตศาสตร์ได้ถูกต้อง

(5) แบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์

Hestenes (2002) ได้ออกแบบเกณฑ์การประเมินการเขียนรายงานปฏิบัติการทดลองวิชาฟิสิกส์โดยพิจารณาใน 2 ประเด็น ได้แก่ (1) เขียนคำอธิบายที่แสดงความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ศึกษาและบทเรียน (2) การแสดงเหตุผลประกอบการเขียนคำอธิบาย

อีกทั้งจากการวิเคราะห์ตัวอย่างแบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์ของ Angell et al. (2006: 442) พบว่าต้องประกอบด้วย (1) การเขียนโดยอ้างข้อมูลหรือหลักฐานจากปรากฏการณ์ที่ศึกษา (2) การเขียนเหตุผลประกอบโดยเชื่อมโยงกับกฎหรือทฤษฎี

จึงสรุปได้ว่า การเขียนแบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์ประกอบด้วย (1) การเขียนโดยอ้างข้อมูลที่แสดงความสอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา (2) การระบุเหตุผลโดยอ้างอิงกับมโนทัศน์หรือทฤษฎีที่สามารถใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่ศึกษา

2.5 ความหมายและองค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

จากผลการศึกษางานวิจัยและเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่า มีนักการศึกษาวิทยาศาสตร์ได้ระบุข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์โดยใช้ศัพท์ภาษาอังกฤษ 3 คำ คือ Modeling, Making Model and Formulating Model ซึ่งความหมายและองค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Hestenes (1993: 6-7) ได้กล่าวถึงการสร้างแบบจำลองในหลักสูตรวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ว่าประกอบด้วย 4 ลักษณะดังนี้

(1) การพัฒนา (Development) เป็นการสร้างแบบจำลองจากลักษณะทางกายภาพเพื่อค้นพบทฤษฎีหรือระบุรายละเอียดของหลักฐานเชิงประจักษ์

(2) การวิเคราะห์ (Analysis) เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างหรือการแสดงความหมายของแบบจำลอง

(3) การพิสูจน์ความถูกต้อง (Validation) เป็นการประเมินค่าความสามารถของแบบจำลองเพื่อแสดงข้อมูลหรืออธิบายคุณสมบัติและเหตุการณ์

(4) การนำไปใช้ (Deployment) เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ได้เพื่อบรรยายและออกแบบระบบที่แท้จริงหรือเพื่ออธิบายหรือทำนายเหตุการณ์

Schwarz and White (2005: 182) ได้กำหนดประเภทของความรู้ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (Types of Modeling Knowledge) ไว้ 4 ประเภท ดังนี้

(1) ธรรมชาติของแบบจำลอง (Nature of Models) ประกอบด้วย

1.1) ประเภทและลักษณะของแบบจำลอง คือ การบอกได้ว่าแบบจำลองคืออะไร

1.2) สาระใจความของแบบจำลอง คือ การบอกได้ว่าแบบจำลองใช้เป็นตัวแทนของอะไร

1.3) ความหลากหลายของแบบจำลอง คือ การบอกได้ว่าแบบจำลองที่ต่างกันสามารถใช้เพื่อแสดงในปรากฏการณ์เดียวกันได้

1.4) ธรรมชาติของการสร้างแบบจำลอง คือ การบอกได้ว่าแบบจำลองเป็นตัวแทนของสิ่งที่แท้จริงได้สมบูรณ์หรือไม่

(2) ธรรมชาติหรือกระบวนการของการสร้างแบบจำลอง (Nature or Process of Modeling) ประกอบด้วย

2.1) กระบวนการสร้างแบบจำลอง คือ การบอกได้ว่าอะไรเข้าไปมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างแบบจำลอง

2.2) การออกแบบและการสร้างสรรค์แบบจำลอง คือ การบอกได้ว่าสร้างแบบจำลองขึ้นมาได้อย่างไร

2.3) การเปลี่ยนแปลงแบบจำลอง คือ การบอกได้ว่านักวิทยาศาสตร์สามารถเปลี่ยนแบบจำลองได้หรือไม่

(3) การประเมินของแบบจำลอง (Evaluation of Models) ประกอบด้วย

3.1) การประเมินแบบจำลอง คือ การบอกแนวทางในการตัดสินแบบจำลองว่าแบบจำลองดังกล่าวดีกว่าแบบจำลองอื่นอย่างไร

3.2) เกณฑ์ของแบบจำลอง คือ การบอกได้ว่าจะใช้เกณฑ์ใดในการประเมินแบบจำลอง

(4) วัตถุประสงค์หรือประโยชน์ของแบบจำลอง (Purpose or Utility of Models) ประกอบด้วย

4.1) วัตถุประสงค์ของแบบจำลอง คือ การบอกได้ว่าสร้างแบบจำลองเพื่ออะไร

4.2) ประโยชน์ของแบบจำลองในวิทยาศาสตร์และห้องเรียนวิทยาศาสตร์ คือ การบอกได้ว่าแบบจำลองเกิดประโยชน์ต่อนักวิทยาศาสตร์หรือนักเรียนในห้องเรียนวิทยาศาสตร์ได้อย่างไร

4.3) ประโยชน์ของแบบจำลองที่หลากหลาย คือ การบอกได้ว่าการมีแบบจำลองที่หลากหลายของปรากฏการณ์หรือวัตถุเดียวกันมีวัตถุประสงค์เพื่ออะไร

Chang (2008) ได้กล่าวถึงความสามารถในการสร้างแบบจำลองจะต้องประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ 3 องค์ประกอบ ดังนี้

(1) ความเข้าใจแบบจำลองว่ามีความสัมพันธ์ รูปแบบ และความแตกต่างซึ่งเกี่ยวข้องกับมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์

(2) การเรียนรู้และสร้างแบบจำลองผ่านการเป็นตัวแทนของบุคคล กระบวนการพัฒนา

ความรู้และบริบทที่เฉพาะเจาะจงเพื่อนำเสนอปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์

(3) การนำแบบจำลองไปใช้แก้ปัญหา ทำความเข้าใจปรากฏการณ์ เชื่อมโยงและพัฒนาแบบจำลองทางความคิด

Guttersrud (2007) ได้กล่าวถึง ความสามารถในการสร้างแบบจำลองว่าเป็นการปรับเปลี่ยนระหว่างแบบของการเป็นตัวแทนของปรากฏการณ์ทางกายภาพอย่างหลากหลาย (Ability to Interchange between Multiple Forms of Representation) กล่าวคือ เป็นการใช้และเปลี่ยนแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในการทำความเข้าใจและอธิบายปรากฏการณ์ที่สนใจ การปฏิบัติการทดลอง หรือที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน

Nicolaou and Constantinou (2007: online) ได้ระบุลักษณะของความสามารถในการสร้างแบบจำลองว่าประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลัก ได้แก่

(1) ทักษะการสร้างแบบจำลอง (Modeling Skills) ประกอบไปด้วย 4 ลักษณะ ได้แก่

1.1) การสร้างแบบจำลอง

1.2) การกำหนดองค์ประกอบของแบบจำลอง

1.3) ความสามารถในการเปรียบเทียบและแสดงความแตกต่างของแบบจำลองของปรากฏการณ์ทางธรรมชาติเดียวกัน และระบุข้อดีและข้อจำกัด

1.4) การประเมินแบบจำลองโดยเทียบกับปรากฏการณ์ที่แท้จริงและสร้างแนวคิดเพื่อการปรับปรุงแบบจำลอง

(2) ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการสร้างแบบจำลอง (Knowledge about the Modeling Process) เป็นความสามารถในการบรรยายและสะท้อนการปฏิบัติได้อย่างชัดเจนในแต่ละขั้นของกระบวนการสร้างแบบจำลอง

(3) ความรู้เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลอง (Meta-Modeling Knowledge) เป็นความเข้าใจในวัตถุประสงค์และประโยชน์ของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

Schwarz et al. (2009: 635-636) ได้กล่าวถึงการสร้างแบบจำลองซึ่งสามารถสรุปเป็นความหมายของความสามารถในการสร้างแบบจำลองว่า หมายถึง การสร้างความรู้และใช้แบบจำลองเพื่อทำความเข้าใจและอธิบายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งจะต้องประกอบด้วย

(1) องค์ประกอบของการปฏิบัติการ (Elements of Practice) และ (2) ความรู้ที่ใช้สร้างแบบจำลอง (Meta-Modeling Knowledge) ดังนี้

(1) องค์ประกอบของการปฏิบัติการ (Elements of Practice) คือ ลักษณะของกระบวนการในการสร้างแบบจำลองประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ได้แก่

1.1) สร้าง (Construct) แบบจำลองที่สอดคล้องกับหลักฐานและทฤษฎี เพื่อที่จะยกตัวอย่าง อธิบาย หรือทำนายปรากฏการณ์ธรรมชาติ

1.2) ใช้ (Use) แบบจำลองในการยกตัวอย่าง อธิบายและทำนายปรากฏการณ์

1.3) เปรียบเทียบ (Compare) และประเมิน (Evaluate) ความสามารถของแบบจำลองที่ต่างกัน เพื่อแสดงและอธิบายแบบแผนในปรากกฏการณ์ธรรมชาติได้อย่างถูกต้อง และทำนายปรากฏการณ์ใหม่

1.4) ปรับปรุง (Revise) แบบจำลองเพื่อที่จะเพิ่มอำนาจในการทำนายและการอธิบายโดยพิจารณาถึงหลักฐานหรือลักษณะของปรากฏการณ์เพิ่มเติม

(2) ความรู้ที่ใช้สร้างแบบจำลอง (Meta-Modeling Knowledge) คือ ความเข้าใจในวัตถุประสงค์ ธรรมชาติ และเกณฑ์ในการประเมินและปรับปรุงแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1) วัตถุประสงค์ของแบบจำลอง (Purpose of Models)

1) แบบจำลองเป็นเครื่องมือในการสร้างความเข้าใจเพื่อที่จะสร้างความรู้

2) แบบจำลองเป็นเครื่องมือสื่อสารที่ใช้ในการถ่ายทอดความเข้าใจหรือความรู้

3) แบบจำลองสามารถใช้ในการพัฒนาความเข้าใจใหม่ๆหรือใช้ในการทำนายลักษณะใหม่ๆของปรากฏการณ์ธรรมชาติ

4) แบบจำลองถูกใช้ในการยกตัวอย่าง อธิบาย และทำนายปรากฏการณ์

2.2) ธรรมชาติของแบบจำลอง (Nature of Models)

1) แบบจำลองสามารถแทนสิ่งที่ไม่สามารถมองเห็นและไม่สามารถเข้าถึงได้

2) แบบจำลองที่แตกต่างกันสามารถให้ประโยชน์ที่แตกต่างกัน

3) แบบจำลองเป็นตัวแทนของสิ่งที่มีข้อจำกัดในปรากฏการณ์ธรรมชาติ

4) แบบจำลองสามารถเปลี่ยนเพื่อสะท้อนความเข้าใจที่เพิ่มขึ้นของปรากฏการณ์ธรรมชาติ

5) แบบจำลองมีได้หลากหลายรูปแบบ เช่น แผนภาพ วัสดุ สถานการณ์จำลอง เป็นต้น

2.3) เกณฑ์ในการประเมินและปรับปรุงแบบจำลอง(Criteria for Evaluating and Revising Models)

1) แบบจำลองจำเป็นต้องยึดอยู่บนหลักฐานเกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติ

2) แบบจำลองจำเป็นต้องรวมสิ่งที่เกี่ยวข้องกับวัตถุประสงค์ที่จะศึกษา

Cotterman (2009: 5) ได้ให้ความหมายและกำหนดลักษณะของความรู้ที่ใช้สร้างแบบจำลอง (Aspects of Meta-Modeling Knowledge) มีดังต่อไปนี้

(1) แบบจำลองเป็นการแสดงที่ทำให้เข้าใจระบบหรือปรากฏการณ์ได้ง่ายขึ้น

(2) แบบจำลองทางความคิดแต่ละแบบสามารถแสดงถึงระบบหรือปรากฏการณ์ได้แตกต่างกัน

(3) แบบจำลองที่แตกต่างกันสามารถมีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันได้

(4) แบบจำลองไม่ได้รวมทุกอย่างไว้ได้ภายในแบบจำลองเดียว

(5) แบบจำลองมีข้อจำกัด

(6) แบบจำลองที่ต่างกันอาจจะใช้เกณฑ์การประเมินที่ต่างกัน

(7) แบบจำลองสามารถเปลี่ยนแปลงเมื่อได้ข้อค้นพบใหม่

(8) แบบจำลองเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการคิด และนำไปสู่ความรู้ใหม่โดยการช่วยอธิบายและทำนาย

(9) แบบจำลองเป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการสื่อสาร ซึ่งสามารถใช้เพื่อแบ่งปันและรวมพลังกันเพื่อพัฒนาแนวคิด

Hung and Lin (2009: online) ได้จัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองตามลำดับขั้นของการสร้างแบบจำลองประกอบด้วย 5 ลักษณะ ได้แก่

(1) การเลือกแบบจำลอง (Model Selection) โดยพิจารณาส่วนประกอบของระบบ ประเภท การอ้างอิง และความเหมาะสมเพื่อสร้างแบบจำลอง

(2) การสร้างแบบจำลอง (Model Construction) โดยคำนึงถึงความประสานกัน ตัวแปร มโนทัศน์ และกฎ

(3) การพิสูจน์ความถูกต้องแบบจำลอง (Model Validation) โดยคำนึงถึงความสอดคล้อง ความสมบูรณ์ ความคงเส้นคงวาทั้งภายในและภายนอกของแบบจำลอง

(4) การวิเคราะห์แบบจำลอง (Model Analysis) โดยคำนึงถึงประเด็นทางคณิตศาสตร์ การให้ผลที่สอดคล้องกัน และตรงกัน

(5) การนำแบบจำลองไปใช้ (Model Application) โดยสามารถระบุข้อจำกัด ปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อนำไปใช้ ขอบเขตของแบบจำลอง แนวทางการแก้ไข

จากลักษณะขององค์ประกอบในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ข้างต้นพบว่า ประกอบด้วย 7 องค์ประกอบ ได้แก่ 1.การเลือก (Selection) 2.การสร้าง (Construction) 3.การวิเคราะห์ (Analysis) 4.การประเมิน (Evaluation) 5.การนำไปใช้ (Using) 6.การปรับปรุง (Revision) 7.ความรู้ที่ใช้สร้างแบบจำลอง (Meta-Modeling Knowledge) ซึ่งสามารถแสดงดังตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

ผู้ศึกษา (ปี ค.ศ.) / **องค์ประกอบ**	Hestenes (1993)	Schwarz and White (2005)	Chang (2008)	Guttersrud (2007)	Nicolaou and Constantinou (2007)	Schwarz et al. (2009)	Hung and Lin (2009)	Cotterman (2009)
1.**การเลือก** (Selection) มีลักษณะที่สำคัญ คือ ➢ พิจารณาส่วนประกอบของระบบประเภท การอ้างอิง และความเหมาะสม							✓	
2.**การสร้าง** (Construction) มีลักษณะที่สำคัญดังนี้ ➢ คำนึงถึงความสอดคล้องกับหลักฐานและทฤษฎีเพื่อที่จะยกตัวอย่าง อธิบาย หรือทำนายปรากฏการณ์ธรรมชาติ			✓	✓		✓		
➢ คำนึงถึงความสอดคล้องกันของตัวแปร มโนทัศน์และกฎ	✓						✓	
➢ สร้างจากบางส่วนของระบบทางกายภาพ เพื่อให้พบกับทฤษฎีที่กำหนดหรือการระบุรายละเอียดของหลักฐานเชิงประจักษ์								

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (ต่อ)

ผู้ศึกษา (ปี ค.ศ.) / องค์ประกอบ	Hestenes (1993)	Schwarz and White (2005)	Chang (2008)	Guttersrud (2007)	Nicolaou and Constantinou (2007)	Schwarz et al. (2009)	Hung and Lin (2009)	Cotterman (2009)
3.การวิเคราะห์ (Analysis) มีลักษณะที่สำคัญดังนี้								
➢ วิเคราะห์โครงสร้างหรือการแสดงความหมายของแบบจำลอง	✓							
➢ คำนึงถึงประเด็นทางคณิตศาสตร์ การให้ผลที่สอดคล้องและตรงกัน							✓	
4.การประเมิน (Evaluation) มีลักษณะที่สำคัญดังนี้								
➢ การประเมินค่าความสามารถของแบบจำลองเพื่อแสดงข้อมูลหรืออธิบายคุณสมบัติและเหตุการณ์	✓							
➢ คำนึงถึงความสอดคล้อง ความสมบูรณ์ ความคงเส้นคงวา							✓	
➢ การประเมินความสามารถของแบบจำลองที่ต่างกันเพื่อแสดงและอธิบายแบบแผนในปรากฏการณ์ธรรมชาติได้อย่างถูกต้อง และทำนายปรากฏการณ์ใหม่						✓		

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (ต่อ)

ผู้ศึกษา (ปี ค.ศ.) / **องค์ประกอบ**	Hestenes (1993)	Schwarz and White (2005)	Chang (2008)	Guttersrud (2007)	Nicolaou and Constantinou (2007)	Schwarz et al. (2009)	Hung and Lin (2009)	Cotterman (2009)
5.**การนำไปใช้** (Using) มีลักษณะที่สำคัญดังนี้								
➢ การนำแบบจำลองที่ได้ไปใช้เพื่อบรรยายและออกแบบระบบที่แท้จริงหรือเพื่ออธิบายหรือทำนายเหตุการณ์	✓							
➢ การนำแบบจำลองไปใช้แก้ปัญหา ทำความเข้าใจปรากฏการณ์ เชื่อมโยงและพัฒนาแบบจำลองทางความคิด			✓	✓				
➢ การนำแบบจำลองไปใช้ในการยกตัวอย่าง อธิบายและทำนายปรากฏการณ์						✓		
➢ การระบุข้อจำกัด ปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อนำไปใช้ ขอบเขตของแบบจำลอง และแนวทางการแก้ไข							✓	

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (ต่อ)

ผู้ศึกษา (ปี ค.ศ.) / องค์ประกอบ	Hestenes (1993)	Schwarz and White (2005)	Chang (2008)	Guttersrud (2007)	Nicolaou and Constantinou (2007)	Schwarz et al. (2009)	Hung and Lin (2009)	Cotterman (2009)
6.การปรับปรุง (Revision) มีลักษณะที่สำคัญ คือ								
➢ การพิจารณาถึงหลักฐานหรือลักษณะของปรากฏการณ์เพิ่มเติมเพื่อเพิ่มอำนาจในการทำนายและการอธิบาย						✓		
7.ความรู้ที่ใช้สร้างแบบจำลอง (Meta-Modeling Knowledge) มีลักษณะที่สำคัญดังนี้								
➢ ความเข้าใจและบอกวัตถุประสงค์ของแบบจำลองและการสร้างแบบจำลอง		✓			✓	✓		✓
➢ ความเข้าใจและอธิบายธรรมชาติของแบบจำลอง		✓	✓			✓		✓
➢ ความเข้าใจในการประเมินและปรับปรุงแบบจำลอง		✓				✓		✓

จากตารางข้างต้นจะพบว่า องค์ประกอบของความสามารถในการสร้างแบบจำลองมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันใน 2 ด้าน ได้แก่ (1) ด้านการเลือก และการสร้างกล่าวคือ เป็นการคำนึงถึงความสอดคล้องกับหลักฐานและทฤษฎี ซึ่งหมายความถึง การอ้างอิงและการพิจารณาถึงความเหมาะสมในการสร้างแบบจำลอง (2) ด้านการวิเคราะห์ และการประเมิน กล่าวคือ เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างหรือการแสดงความหมายของแบบจำลองซึ่งมีความหมายเดียวกันกับ การประเมินความสามารถของแบบจำลองเพื่อแสดงข้อมูลหรืออธิบายคุณสมบัติและเหตุการณ์และจากผลการวิจัยของ Fortus et al. (2010) ที่ ได้ทำวิจัยเพื่อศึกษาพัฒนาการของความสามารถในการสร้างแบบจำลองและการรู้คิดในการสร้างแบบจำลอง (Meta-Modeling Knowledge) ของนักเรียนระดับเกรด 11 พบว่า ความรู้ที่ใช้สร้างแบบจำลองนั้นไม่ขึ้นอยู่กับการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS แต่จะส่งผลต่อนักเรียนในประถมศึกษาตอนปลายและมัธยมศึกษาตอนต้น จึงเป็นเหตุผลที่จะไม่พิจารณาความรู้ที่ใช้สร้างแบบจำลอง และจากการพิจารณาถึงความสอดคล้องกับการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS จึงสามารถสรุปความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และองค์ประกอบได้ดังนี้

ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง การสร้างภาพวาด แผนการทดลอง ตาราง แผนภูมิแท่ง กราฟ สมการ หรือเขียนข้อความที่แสดงความรู้ ความคิดและความเข้าใจของนักเรียน ซึ่งใช้ในการตั้งสมมติฐาน อธิบาย หรือทำนายปรากฏการณ์ทางกายภาพและปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ

ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์นี้วัดใน 2 ด้าน คือ (1) ด้านทักษะการสร้างแบบจำลอง (Modelling Skills) วัดด้วยแบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 5 แบบ ตามแนวคิดของ Guttersrud (2007) (2) กระบวนการสร้างแบบจำลอง (Modelling Process) วัดด้วยแบบประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ด้วยวิธีสังเกตกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วยการประเมินใน 4 ด้าน คือ ด้านการสร้าง การประเมิน การปรับปรุง และการนำแบบจำลองไปใช้ ตามแนวคิดของ Schwarz et al. (2009) Fortus et al. (2010) และ Baek et al. (2010)

2.6 แนวทางการวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

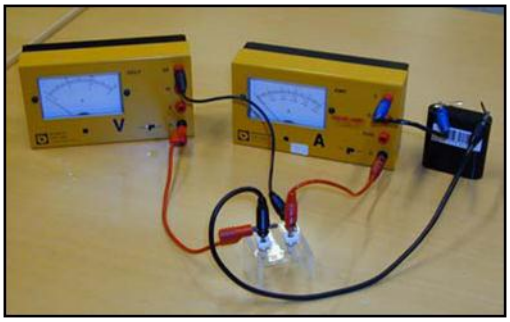
จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ข้างต้นพบว่า ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มีลักษณะเป็นการเรียนรู้ด้วยการปฏิบัติงาน (Learning Performance) เนื่องจากภาระงานของนักเรียนเป็นการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่เน้นขั้นตอนการปฏิบัติและผลงาน ทำให้วิธีการประเมินงานหรือกิจกรรมที่ผู้สอนมอบหมายให้นักเรียนปฏิบัติงานจัดเป็นการประเมินการปฏิบัติงาน (Performance Assessment) ซึ่งจะต้องประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ (1) ภาระงานที่ต้องการให้นักเรียนปฏิบัติ (Performance Task) คือ กิจกรรมที่ให้นักเรียนได้ประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะ โดยอาจประเมินผลงานที่นักเรียนสร้างขึ้นและ/หรือกระบวนการที่นักเรียนใช้สร้างผลงานจนสำเร็จ (2) เกณฑ์การให้คะแนน (Scoring Rubrics) คือ เกณฑ์ที่ใช้ประเมินคุณภาพการปฏิบัติงานของนักเรียน (Nitko and Brookhart, 2007: 244; สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา, 2552: 70)

ฉะนั้นแนวทางการวัดและประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์จึงประกอบด้วย 2 ส่วน คือ (1) การประเมินการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 5 แบบ ซึ่งถือเป็นการประเมินผลงาน (Product) (2) การประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ซึ่งถือเป็นการประเมินกระบวนการ (Process) โดยตัวอย่างแนวทางการวัดและประเมินทั้ง 2 ส่วนมีดังนี้

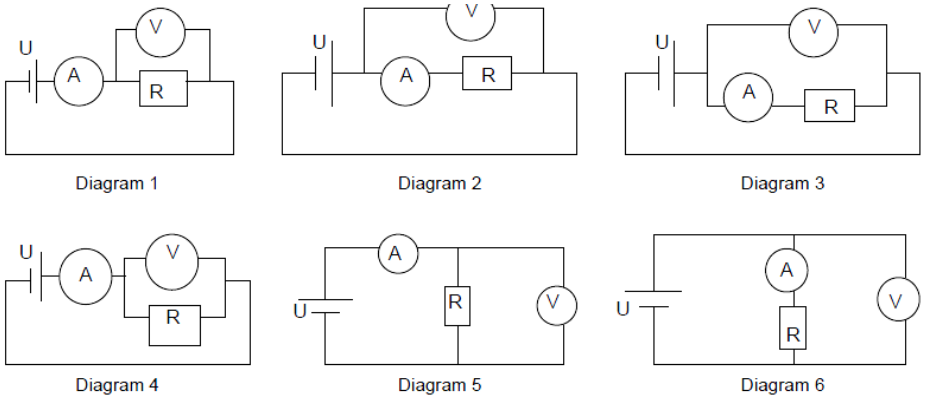
2.6.1 การวัดและประเมินการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 5 แบบ ใช้วิธีการทดสอบด้วยแบบวัดและประเมินด้วยเกณฑ์การให้คะแนนซึ่งมีตัวอย่างดังต่อไปนี้

1) แบบวัด (Test) มีลักษณะเป็นการกำหนดข้อคำถามที่เป็นสถานการณ์ที่มีข้อมูลประกอบ ลักษณะของข้อคำถามเป็นแบบให้เติมคำตอบโดยการวาดแบบจำลองและอธิบายคำตอบหรือการจับคู่แบบถูกผิด ดังตัวอย่างต่อไปนี้

Guttersrud (2007: 205-207) สร้างแบบวัดที่ใช้ศึกษาความสามารถในการสร้างแบบจำลองของนักเรียนโดยมีพฤติกรรมบ่งชี้คือ การใช้และเปลี่ยนแบบจำลองที่หลากหลายในการทำความเข้าใจและอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเช่น แบบวัดเรื่องความต้านทานไฟฟ้า ที่กำหนดรูปแสดงวงจรไฟฟ้าจากนั้นจึงให้จับคู่ภาพที่เป็นตัวแทนของการทดลอง ดังรูป



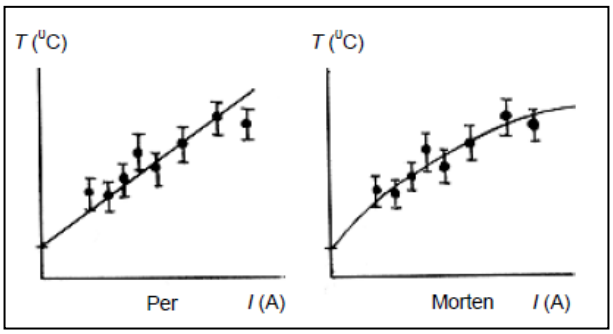
รูปแสดงวงจรไฟฟ้าที่ Per และ Mortenใช้ในการทดลอง วงจรนี้ประกอบด้วยโวลต์มิเตอร์ (V) แอมมิเตอร์ (A) และแบตเตอรี่ (U) โดยมีตัวต้านทาน (R) วางบนโต๊ะในตำแหน่งตรงข้ามกับแอมมิเตอร์ รูปดังกล่าวมีแผนภาพแทนการทดลองดังต่อไปนี้



(1) จงเลือกข้อความที่ถูกต้องต่อไปนี้ โดยให้วงกลมคำว่า “ใช่” หรือ “ไม่” ในแต่ละข้อความ

ข้อความ	ข้อความต่อไปนี้ถูกต้องหรือไม่
แผนภาพที่ 1 อธิบายวงจรที่ Per และ Morten ใช้	ใช่ / ไม่
แผนภาพที่ 2 อธิบายวงจรที่ Per และ Morten ใช้	ใช่ / ไม่
แผนภาพที่ 3 อธิบายวงจรที่ Per และ Morten ใช้	ใช่ / ไม่
แผนภาพที่ 4 อธิบายวงจรที่ Per และ Morten ใช้	ใช่ / ไม่
แผนภาพที่ 5 อธิบายวงจรที่ Per และ Morten ใช้	ใช่ / ไม่
แผนภาพที่ 6 อธิบายวงจรที่ Per และ Morten ใช้	ใช่ / ไม่

(2) Per และMorten ทำการวัดกระแส (I) ผ่านตัวต้านทาน และอุณหภูมิ (T) ของตัวต้านทาน ซึ่งผลการวัดพลอตได้ดังกราฟ จุดแสดงค่าการวัด เส้นในแนวตั้งแสดงค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัด ดังกราฟ



จากกราฟใครวาดBest Fit Lineบนพื้นฐานของข้อมูลได้ถูกต้อง จงอธิบายคำตอบ

Chang (2008) สร้างแบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองโดยใช้แบบสอบการสร้างแบบจำลองโดยใช้บริบทเป็นฐาน (Context-Based Modeling Test) ในเรื่องภาวะโลกร้อนดังตัวอย่างต่อไปนี้

จากปัญหาที่เกิดจากสภาวะโลกร้อน นักวิจัยหลายคนได้เริ่มสำรวจตรวจสอบโรงงานที่มีผลทำให้อุณหภูมิของโลกเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลที่เป็นอยู่ในปัจจุบันเรารู้ดีว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนนั้นเกิดจากแก๊สเรือนกระจก ข้อมูลที่แสดงในตารางคือ ปริมาณของโรงงานและแก๊สที่ผลิตขึ้นในปี 2005 จงตอบคำถามต่อไปนี้

แก๊สชนิดต่าง ๆ / **ปริมาณของโรงงาน**	**แก๊ส A**	**แก๊ส B**	**แก๊ส C**	**แก๊ส D**	**แก๊สอื่น ๆ**
มาก	45%	10%	35%	5%	5%
ปานกลาง	35%	10%	30%	5%	20%
น้อย	25%	10%	25%	5%	35%

(1) จงวาดแผนภูมิ (เส้น แท่ง วงกลม) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของโรงงาน (มาก ปานกลาง น้อย) และแก๊ส 4 ชนิด

(2) จากแผนผังที่วาดในข้อที่ 1 จงอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของโรงงานและแก๊ส 4 ชนิด

2) **เกณฑ์การให้คะแนน** (Scoring Rubrics) มีลักษณะเป็นเกณฑ์การประเมินแบบรูบริกส์แบบแยกแยะประเด็น (Analytical Rubrics) ซึ่งใช้ประเมินคุณภาพแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนสร้างขึ้น ดังตัวอย่างต่อไปนี้

Jackson (2001: 186-188) ได้ยกตัวอย่างเกณฑ์การให้คะแนนแบบจำลองที่นำเสนอด้วยภาพวาดและการอธิบายของนักเรียนในลักษณะการประเมินแบบรูบริกส์แบบแยกแยะประเด็นเป็น 3 ประเด็น กล่าวคือ (1) ภาพวาด (2) ความสอดคล้องระหว่างภาพวาดและคำอธิบาย (3) คำอธิบาย โดยแบ่งระดับความสามารถออกเป็น 4 ระดับ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3 ตัวอย่างรายการเกณฑ์การประเมินความสามารถในการเขียนภาพวาดและคำอธิบาย (Jackson, 2001: 186-188)

ระดับความสามารถ	**รายการประเมิน**		
	ภาพวาด	**ความสอดคล้องระหว่างภาพวาดและคำอธิบาย**	**คำอธิบาย**
➢ ระดับดี	วาดภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงการเติบโตของผัก การเปลี่ยนแปลงจากหน้าดินที่ไม่มีประโยชน์ไปเป็นไม้ล้มลุกหรือต้นไม้เตี้ย ไปสู่ไม้เถาเนื้อแข็งได้อย่างชัดเจน	คำอธิบายสอดคล้องกับการวาดภาพ	คำอธิบายมีความสมบูรณ์ ระบุการเปลี่ยนแปลงของผักตลอดเวลาจากหน้าดินที่ไม่มีประโยชน์ไปเป็นไม้ล้มลุกหรือหรือต้นไม้เตี้ย ไปสู่ไม้เถาเนื้อแข็ง และเปลี่ยนแปลงจนคงที่ รวมถึงการระบุพืชอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในแต่ละขั้น
➢ ระดับพอใช้	วาดภาพได้ไม่ชัดเจน	คำอธิบายส่วนใหญ่สอดคล้องกับการวาดภาพ	คำอธิบายขาดรายละเอียดเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของผักตลอดเวลาจากหน้าดินที่ไม่มีประโยชน์ไปเป็นไม้ล้มลุกหรือหรือต้นไม้เตี้ย ไปสู่ไม้เถาเนื้อแข็งและเปลี่ยนแปลงจนคงที่ไม่มีการระบุพืชอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในแต่ละขั้น

ตารางที่ 3 ตัวอย่างรายการเกณฑ์การประเมินความสามารถในการเขียนภาพวาดและคำอธิบาย (Jackson, 2001: 186-188) (ต่อ)

ระดับความสามารถ	รายการประเมิน		
	ภาพวาด	**ความสอดคล้องระหว่างภาพวาดและคำอธิบาย**	**คำอธิบาย**
➢ ระดับต้องปรับปรุง	วาดภาพการแสดงการเปลี่ยนแปลงคลาดเคลื่อน	วาดภาพไม่สอดคล้องกับคำอธิบาย	คำอธิบายผิด
➢ ไม่ผ่าน	วาดภาพไม่สอดคล้อง	วาดภาพและคำอธิบายผิด	คำอธิบายผิด

Jackson (2001: 196) ได้เสนอตัวอย่างเครื่องมือโดยใช้เกณฑ์การประเมิน ที่ใช้ประเมินการวางแผนการทดลองและการปฏิบัติการทดลอง โดยการประเมินดังกล่าวมีความสอดคล้องกับแบบจำลองที่แสดงการทดลอง ซึ่งกำหนดไว้ 4 ด้าน โดยมีด้านหนึ่งที่สอดคล้องกับแบบจำลองที่แสดงการทดลองคือ ด้านการออกแบบหรือวางแผนการทดลอง โดยกำหนดระดับคะแนนของรายการการประเมินเป็น 6 ระดับ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตารางที่ 4 ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินความสามารถในการเขียนแบบจำลองที่นำเสนอการทดลอง (Jackson, 2001: 196)

คะแนน	รายการประเมิน
5	ออกแบบการทดลองที่สามารถปฏิบัติได้และมีความชัดเจน วีไดอะแกรมมีความสมบูรณ์เหมาะสมและแสดงรายละเอียด เลือกตัวแปรควบคุมและตัวแปรตามได้ถูกต้อง
4	ออกแบบการทดลองที่สามารถปฏิบัติได้ เลือกตัวแปรควบคุมและตัวแปรตามได้ถูกต้อง
3	ออกแบบการทดลองที่อาจจะปฏิบัติได้ วีไดอะแกรมโดยส่วนใหญ่มีความสมบูรณ์แต่ขาดความเหมาะสมและขาดรายละเอียด มีการระบุตัวแปรควบคุมและตัวแปรตาม

ตารางที่ 4 ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินความสามารถในการเขียนแบบจำลองที่นำเสนอการทดลอง (Jackson, 2001: 196) (ต่อ)

คะแนน	รายการประเมิน
2	ออกแบบการทดลองที่ไม่สามารถปฏิบัติใช้แก้ปัญหาได้วีไดอะแกรมขาดความสมบูรณ์ ไม่มีการระบุตัวแปรควบคุมและตัวแปรตามหรือระบุได้ไม่ถูกต้อง
1	ออกแบบการทดลองได้ไมชัดเจนและไม่สมบูรณ์
0	นักเรียนไม่พยายามที่จะปฏิบัติตามภาระที่กำหนด

2.6.2 การวัดและการประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ใช้วิธีการประเมินด้วยเกณฑ์การให้คะแนน ซึ่งมีตัวอย่างดังต่อไปนี้

Baek et al.และ Fortus et al. (2010) ได้ศึกษาวิธีการกระตุ้นส่งเสริมให้นักเรียนระดับชั้นประถมให้เข้าไปมีส่วนร่วมในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และศึกษาเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองของนักเรียนในระดับชั้นมัธยมตามลำดับ ในโครงการการออกแบบการสร้างแบบจำลองเพื่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (Modeling designs for Learning Science: MoDeLS) โดยออกแบบการประเมินการสร้างแบบจำลองใน 2 ด้าน คือ ด้านการสร้าง (Generative Dimension) และด้านการปรับเปลี่ยน (Change Dimension) ซึ่งถือเป็นพฤติกรรมบ่งชี้ที่แสดงถึงกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในการวิจัยครั้งนี้ซึ่งตัวอย่างเครื่องมือมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5 ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ด้านการสร้างแบบจำลอง (Baek et al.และ Fortus et al., 2010)

รายการประเมิน	ระดับความสามารถ			
	1	2	3	4
1.ลักษณะของแบบจำลอง	สร้างและใช้แบบจำลองที่เป็นตัวแทนของสิ่งที่รับรู้ได้ด้วยประสาทสัมผัสทั้งห้า	สร้างและใช้แบบจำลองที่เป็นตัวแทนของสิ่งที่ไม่สามารถรับรู้ได้ด้วยประสาทสัมผัสทั้งห้า	สร้างและใช้แบบจำลองที่สามารถใช้แสดงหรือพยากรณ์ที่สอดคล้องกับปรากฏการณ์	สร้างและใช้แบบจำลองที่สามารถก่อให้เกิดคำถามใหม่ๆ เกี่ยวกับปรากฏการณ์

ตารางที่ 5 ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ด้านการสร้างแบบจำลอง (Baek et al.และ Fortus et al., 2010) (ต่อ)

รายการประเมิน	**ระดับความสามารถ**			
	1	2	3	4
1.ลักษณะของแบบจำลอง (ต่อ)		เช่น แรง พลังงาน ขนาด และมาตราส่วน		
2.วัตถุประสงค์ที่ใช้สื่อความหมายด้วยแบบจำลอง	สร้างหรือใช้แบบจำลองเพื่อแสดงลักษณะที่เหมือนกัน แต่ขาดจุดมุ่งหมายที่ชัดเจนในการสนับสนุนความเข้าใจหรือการสื่อสาร	สร้างหรือใช้แบบจำลองเพื่อเป็นตัวแทนการคิดของตนเองหรือช่วยให้ผู้อื่นเข้าใจปรากฏการณ์	สร้างหรือใช้แบบจำลองเพื่อช่วยตนเองในการสื่อสารแนวคิดที่เฉพาะเจาะจงของหลักฐาน กลไก หรือกระบวนการไปยังบุคคลอื่น	สร้างแบบจำลองและใช้เพื่อสื่อสารแนวคิดด้วยตนเอง
3.แหล่งอ้างอิงที่ใช้ในการพิจารณาแบบจำลอง	สร้างหรือใช้แบบจำลองจากความพอใจส่วนตน	สร้างหรือใช้แบบจำลองจากการอ้างอิงเนื้อหาความรู้ แหล่งเรียนรู้จากตำรา หรือการสังเกต หรือหลักฐานที่ได้จากการทดลอง	สร้างและใช้แบบจำลองเพื่อสนับสนุนองค์ประกอบและความสัมพันธ์ในแบบจำลองที่ได้มาจากเนื้อหาความรู้ หรือสังเกต หรือหลักฐานการทดลอง	สร้างและใช้แบบจำลองเพื่อสนับสนุนองค์ประกอบและความสัมพันธ์ในแบบจำลองที่ได้มาจากเนื้อหาความรู้ หรือสังเกต หรือหลักฐานการทดลองด้วยตนเอง

ตารางที่ 5 ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ด้านการสร้างแบบจำลอง (Baek et al.และ Fortus et al., 2010) (ต่อ)

รายการประเมิน	**ระดับความสามารถ**			
	1	2	3	4
4.ความเป็นตัวแทนของแบบจำลองในการอธิบายปรากฏการณ์	ใช้แบบจำลองเป็นเครื่องมือในการแสดงหรือบอกโดยไม่แสดงความสัมพันธ์กับปรากฏการณ์	ใช้หรือสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ทั่วๆ ไปของปรากฏการณ์	ใช้และสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายกลไกกระบวนการ หรือความเชื่อมโยงระหว่างองค์ประกอบของแบบจำลองและปรากฏการณ์	ใช้และสร้างแบบจำลองในการอธิบายปรากฏการณ์ใหม่ที่เกี่ยวข้องด้วยตนเอง

ตารางที่ 6 ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ด้านการปรับเปลี่ยนแบบจำลอง (Baek et al.และ Fortus et al., 2010)

รายการประเมิน	**ระดับความสามารถ**			
	1	2	3	4
1.ลักษณะของแบบจำลอง	เปลี่ยนแบบจำลองเมื่อตัดสินว่าถูกหรือผิด นักเรียนเปลี่ยนแบบจำลองเพื่อทำให้แบบจำลองมีความถูกต้องเพียงเท่านั้น	เปลี่ยนแบบจำลองเพื่อทำให้เป็นตัวแทนที่ดีขึ้น โดยการเพิ่มหรือนำลักษณะของปรากฏการณ์ออกโดยไม่ได้ลงความเห็นจากหลายๆ ปรากฏการณ์	เปลี่ยนแบบจำลองเพื่อทำให้มีแบบจำลองมีความชัดเจนมากขึ้น ซึ่งสามารถนำไปใช้ประยุกต์ในปรากฏการณ์ได้	เปลี่ยนแบบจำลองเดิมเพื่อก่อให้เกิดคำถามใหม่ๆ เกี่ยวกับปรากฏการณ์

ตารางที่ 6 ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ด้านการปรับเปลี่ยนแบบจำลอง (Baek et al.และ Fortus et al., 2010) (ต่อ)

รายการประเมิน	**ระดับความสามารถ**			
	1	2	3	4
2.วัตถุประสงค์ที่ใช้สื่อความหมายด้วยแบบจำลอง	เปลี่ยนแบบจำลองเพื่อแสดงว่ามีบางสิ่งมีลักษณะเหมือนกัน แต่ไม่มีวัตถุประสงค์ที่จะสนับสนุนความเข้าใจของตนเองหรือสื่อความหมายของแบบจำลอง	เปลี่ยนแบบจำลองโดยพิจารณาว่าแบบจำลองสามารถสะท้อนความคิดของตนได้อย่างไรหรือผู้อื่นสามารถเข้าใจแบบจำลองที่ตนเองสร้างขึ้นได้อย่างไร	เปลี่ยนแบบจำลองเพื่อช่วยสื่อความหมายของแนวคิดที่เฉพาะเจาะจงของหลักฐาน กลไก และกระบวนการไปยังคนอื่น	เปลี่ยนแบบจำลองเพื่อสื่อความหมายไปยังแบบจำลองของคนอื่นด้วยตนเอง
3.แหล่งอ้างอิงที่ใช้ในการพิจารณาแบบจำลอง	เปลี่ยนแบบจำลองเช่น สี รูปร่าง ขนาด บนพื้นฐานของความพอใจส่วนตน	เปลี่ยนแบบจำลองโดยใช้เนื้อหาความรู้แหล่งเรียนรู้จากตำรา หรือหลักฐานที่ได้จากการสังเกต หรือทดลอง	เปลี่ยนแบบจำลองเพื่อปรับให้สนับสนุนกับองค์ประกอบเฉพาะและความสัมพันธ์ในแบบจำลองที่มาจากเนื้อหาความรู้หรือหลักฐานที่ได้จากการสังเกตหรือทดลอง	เปลี่ยนแบบจำลองเพื่อปรับให้สนับสนุนกับองค์ประกอบเฉพาะและความสัมพันธ์ในแบบจำลองที่มาจากเนื้อหาความรู้หรือหลักฐานที่ได้จากการสังเกตหรือทดลองด้วยตนเอง

ตารางที่ 6 ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ด้านการปรับเปลี่ยนแบบจำลอง (Baek et al.และ Fortus et al., 2010) (ต่อ)

รายการประเมิน	ระดับความสามารถ			
	1	2	3	4
4.ความเป็นตัวแทนของแบบจำลองในการอธิบายปรากฏการณ์	เปลี่ยนแบบจำลองเพื่อแสดงหรือบอกบางสิ่งโดยทั่วไป แต่ขาดความสัมพันธ์กับปรากฏการณ์	เปลี่ยนแบบจำลองเพื่ออธิบายโดยทั่วไปสัมพันธ์กับปรากฏการณ์แต่ขาดการอธิบายว่าเพราะเหตุใดยังคงไว้อยู่	เปลี่ยนแบบจำลองเพื่อปรับปรุงคำอธิบายของกลไก กระบวนการหรือความเชื่อมโยงระหว่างองค์ประกอบของแบบจำลองและปรากฏการณ์	เปลี่ยนแบบจำลองเพื่ออธิบายปรากฏการณ์อื่นที่เกี่ยวข้องด้วยตนเอง

Schwarz (2009) ได้ศึกษาความก้าวหน้าทางการเรียนรู้ (Learning Progression) สำหรับการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่มีลักษณะใช้ได้ง่ายและมีความหมายต่อผู้เรียนโดยกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนเพื่อใช้ประเมินพฤติกรรมบ่งชี้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไว้ 2 ด้าน คือ (1) ด้านการสร้างและการใช้แบบจำลอง (2) ด้านการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงแบบจำลองโดยมีตัวอย่างดังนี้

ตารางที่ 7 ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ด้านการสร้างและใช้แบบจำลอง (Schwarz, 2009)

ระดับ	ความสามารถ
4	➢ นักเรียนสร้างและใช้แบบจำลองเพื่อช่วยในการคิดด้วยตนเอง ➢ นักเรียนพิจารณาว่าโลกประพฤติสอดคล้องกับแบบจำลองที่หลากหลาย ➢ นักเรียนสร้างและใช้แบบจำลองเพื่อก่อให้เกิดคำถามใหม่ๆเกี่ยวกับพฤติกรรมหรือการมีอยู่ของปรากฏการณ์ธรรมชาติ
3	➢ นักเรียนสร้างและใช้แบบจำลองที่หลากหลายเพื่ออธิบายและทำนายลักษณะของกลุ่มปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ➢ นักเรียนมองแบบจำลองในฐานะที่เป็นเครื่องมือที่สามารถสนับสนุนความคิดของตนเองเกี่ยวกับการมีอยู่ของปรากฏการณ์ธรรมชาติและปรากฏการณ์ธรรมชาติใหม่ๆ

ตารางที่ 7 ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ด้านการสร้างและใช้แบบจำลอง (Schwarz, 2009) (ต่อ)

ระดับ	ความสามารถ
3	➢ นักเรียนวิเคราะห์ประโยชน์ที่แตกต่างจากการพิจารณาตัวเลือกในการสร้างแบบจำลองเพื่ออธิบายและทำนายแบบจำลองในลักษณะที่หลากหลาย
2	➢ นักเรียนสร้างและใช้แบบจำลองเพื่อที่จะอธิบายและยกตัวอย่างว่าปรากฏการณ์เกิดขึ้นได้อย่างไร รวมทั้งแบบจำลองมีความสอดคล้องกับหลักฐานเกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาตินั้นๆ ➢ นักเรียนมองแบบจำลองเป็นการสื่อสารความเข้าใจปรากฏการณ์ธรรมชาติมากกว่าเป็นเครื่องมือที่สนับสนุนแนวคิดของเขาอย่างเดียว
1	➢ นักเรียนสร้างและใช้แบบจำลองที่แสดงตัวอย่างของปรากฏการณ์เดี่ยวๆ ➢ นักเรียนไม่สามารถมองแบบจำลองในฐานะที่เป็นเครื่องมือที่ทำให้เกิดความรู้ใหม่แต่มองแบบจำลองว่าเป็นวิธีในการแสดงให้ผู้อื่นเห็นว่าปรากฏการณ์เป็นอย่างไร

ตารางที่ 8 ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ด้านด้านการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงแบบจำลอง (Schwarz, 2009)

ระดับ	ความสามารถ
4	➢ นักเรียนมองว่าการเปลี่ยนแปลงในแบบจำลองทำให้การอธิบายดีขึ้นมากกว่าก่อนที่จะได้รับหลักฐานที่สนับสนุนการเปลี่ยนแปลงนี้ การเปลี่ยนแปลงแบบจำลองนี้ถูกมองว่าเป็นไปเพื่อพัฒนาคำถามที่สามารถถูกทดสอบกับหลักฐานจากปรากฏการณ์ ➢ นักเรียนประเมินแบบจำลองที่สมบูรณ์เพื่อที่จะรวมลักษณะของแบบจำลอง เพื่อทำให้การทำนายและการอธิบายดีขึ้น
3	➢ นักเรียนปรับปรุงแบบจำลองเพื่อให้สอดคล้องกับหลักฐานที่ได้รับปรากฏมากขึ้นและเพื่อปรับปรุงความคิดเกี่ยวกับกลไกในแบบจำลอง ดังนั้นแบบจำลองถูกปรับปรุงเพื่อพัฒนาการอธิบาย ➢ นักเรียนเปรียบเทียบแบบจำลองและเห็นองค์ประกอบที่แตกต่างหรือความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับหลักฐานที่สมบูรณ์มากขึ้นและให้คำอธิบายของปรากฏการณ์ในเชิงกลไกมากขึ้น

ตารางที่ 8 ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ด้าน ด้านการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงแบบจำลอง (Schwarz, 2009) (ต่อ)

ระดับ	ความสามารถ
2	➢ นักเรียนปรับปรุงแบบจำลองบนพื้นฐานของข้อมูลจากครู ตำราเรียน หรือเพื่อนๆ มากกว่าหลักฐานที่รวบรวมมาจากปรากฏการณ์หรือการอธิบายกลไกใหม่ๆ ➢ นักเรียนเปลี่ยนแปลงเพื่อปรับปรุงรายละเอียด ความชัดเจน และเพิ่มข้อมูลใหม่ โดยไม่ได้คำนึงถึงการอธิบายของแบบจำลอง หรือความสอดคล้องกับหลักฐานที่ได้จากการทดลองที่ปรับปรุงแก้ไขแล้ว
1	➢ นักเรียนไม่ได้คาดหวังว่าแบบจำลองจะเปลี่ยนความเข้าใจใหม่ โดยสนใจแบบจำลองในแง่ความสมบูรณ์ของคำตอบที่ถูกหรือผิด แต่ไม่มองว่าแบบจำลองสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ➢ นักเรียนเปรียบเทียบแบบจำลองเพื่อให้ใช้ได้ง่าย

3.มโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

ความรู้และความเข้าใจในมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์เป็นพื้นฐานที่สำคัญของการรู้วิทยาศาสตร์ (Scientific literacy) ที่บุคคลใช้ในการบรรยาย อธิบายและทำนายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ (NSES, 1996: 22) โดยในการวิจัยทางการศึกษาวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะในวิชาฟิสิกส์นั้นพบว่าได้ให้ความสำคัญกับความเข้าใจในมโนทัศน์เนื่องจากเป็นหนึ่งในเป้าหมายที่สำคัญของการเรียนการสอนในวิชาฟิสิกส์ (Ramlo, 2003: 2) ซึ่งการศึกษามโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ สำหรับการวิจัยครั้งนี้ มีประเด็นที่นำเสนอ 5 ประเด็น ดังต่อไปนี้ (1) ความหมายมโนทัศน์ (2) ความหมายมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ (3) ประเภทของมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ (4) มโนทัศน์หลักและมโนทัศน์พื้นฐานเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ (5) แนวทางการวัดมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์และมโนทัศน์ทางฟิสิกส์ โดยแต่ละประเด็นมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ความหมายมโนทัศน์

คำว่า มโนทัศน์ (Concept) มีความหมายแตกต่างกันเมื่อศึกษาในบริบทของสาขาที่ต่างกัน เช่น ครูผู้สอน นักการศึกษา นักจิตวิทยา และนักวิทยาศาสตร์เป็นต้น (Jones, 1990: 162) จึงจำเป็นต้องศึกษาความหมายของมโนทัศน์ที่ใช้สำหรับการวิจัยครั้งนี้ จากการศึกษาพบว่ามีนักการศึกษาและหน่วยงานด้านการศึกษาได้ให้ความหมายของมโนทัศน์สรุปได้ดังต่อไปนี้

Feldmad (1990: 259) กล่าวว่า “มโนทัศน์ คือ ความเข้าใจในสิ่งต่างๆ ที่เกิดจากการจัดสมบัติที่คล้ายคลึงกันเข้าด้วยกันของกลุ่มวัตถุ เหตุการณ์ หรือบุคคล”

ธีระชัย ปูรณโชติ (2537: 41) กล่าวว่า “มโนทัศน์ คือ ความเข้าใจโดยสรุปเกี่ยวกับสิ่งใดสิ่งหนึ่งที่เกิดจากการสังเกตหรือได้รับประสบการณ์เกี่ยวกับสิ่งนั้น แล้วนำคุณลักษณะต่างๆ ของสิ่งนั้นมาประมวลกันเข้าเป็นความคิดโดยสรุปของสิ่งนั้นๆ”

สุจินต์ วิศวธีรานนท์ (2538: 88) กล่าวว่า “มโนทัศน์ คือ ความคิด ความเข้าใจของบุคคลที่เกี่ยวกับสิ่งของ หรือเหตุการณ์ต่างๆ ซึ่งทำให้บุคคลนั้นสามารถสรุปรวมลักษณะเหมือน หรือแยกแยะลักษณะที่แตกต่างเชิงคุณสมบัติของสิ่งของ หรือเหตุการณ์นั้นได้”

ราชบัณฑิตยสถาน (2551: 83) กล่าวว่า “มโนทัศน์ หรือความคิดรวบยอด คือภาพหรือความคิดในสมองที่เป็นตัวแทนของสิ่งใดสิ่งหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วยคุณสมบัติร่วมที่เป็นลักษณะเฉพาะหรือลักษณะสำคัญของสิ่งนั้น ในสิ่งหรือประเด็นเดียวกันบุคคลอาจมีมโนทัศน์แตกต่างกันก็ได้”

กล่าวโดยสรุป มโนทัศน์ คือ ความคิดและความเข้าใจของบุคคลที่สรุปรวมจากลักษณะที่แตกต่างหรือคล้ายคลึงกันของสิ่งใดสิ่งหนึ่งหรือเรื่องใดเรื่องหนึ่งแล้วประมวลเป็นความคิดโดยสรุปของสิ่งนั้นๆ

3.2 ความหมายมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์

มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์จัดเป็นความรู้หนึ่งในองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Body of Knowledge) (ภพ เลาหไพบูลย์, 2537: 2) ซึ่งด้านของความรู้ที่เกี่ยวกับมโนทัศน์นั้นประกอบด้วยข้อเท็จจริง กฎหรือหลักการ และทฤษฎี (Enger and Yager, 2000: 2) หรือกล่าวได้ว่ามโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์มีลักษณะเป็นการให้คำจำกัดความ (Definition) และความคิดสำคัญ

(Main Idea) (Lovell, 1961: 67-74; พิมพันธ์ เดชะคุปต์ และคณะ, 2549: 11) ทั้งนี้มีนักการศึกษาวิทยาศาสตร์ทั้งในและต่างประเทศได้ให้ความหมายของมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ไว้ดังต่อไปนี้

Klopfer (1971) กล่าวว่า “มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ คือ สิ่งที่เป็นนามธรรมอันเป็นผลที่ได้มาจากการศึกษาปรากฏการณ์ หรือความสัมพันธ์ต่างๆ ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ได้พบว่า มโนทัศน์นั้นมีประโยชน์ในการศึกษาโลกธรรมชาติ”

Jones (1990: 163-164) กล่าวว่า “มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ คือ แนวคิดและความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะของโลกที่เกิดจากการสรุปหรือการรวบรวมข้อคิดเห็นและตัวอย่างจากความเข้าใจในลักษณะทั่วไปของบุคคลที่เป็นสมาชิกในสังคมวิทยาศาสตร์”

Vygotsky (1987 อ้างถึงใน Yoshida, 2004: 473) ได้กล่าวถึง มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ไว้ว่า “มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ คือ การให้คำจำกัดความตามระบบที่มนุษย์ได้พัฒนาขึ้นในอดีตโดยมีลักษณะเป็นกฎเกณฑ์ทั่วไป และจัดอยู่อย่างเป็นระบบ”

Jacobson and Bergman (1999: 120,130) กล่าวว่า “มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ คือ ความคิดที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ทางธรรมชาติ สามารถพัฒนาผ่านประสบการณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่หลากหลาย โดยเด็กจะพัฒนามโนทัศน์เมื่อเขาเข้าใจสิ่งที่เกิดขึ้นจากการสำรวจตรวจสอบ ปฏิบัติการทดลอง และประสบการณ์วิทยาศาสตร์อื่นๆ และเชื่อมโยงสัมพันธ์ความเข้าใจนี้ไปยังประสบการณ์เดิมที่มีอยู่”

ผดุงยศ ดวงมาลา (2523: 5) กล่าวว่า “มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ คือ การนำเอาข้อเท็จจริงที่เกี่ยวข้องกันมาผสมผสานกันให้ดีจนเป็นรูปแบบใหม่ มโนทัศน์ของสิ่งใดก็คือ ความคิดหลักของสิ่งนั้นๆ หรือเป็นความคิดโดยสรุปต่อสิ่งนั้น”

ปรีชา วงศ์ชูศิริ (2531: 50) กล่าวว่า “มโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ คือ ความคิดหลักที่คนเรามีต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่ง ซึ่งช่วยให้มีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับวัตถุ หรือสถานการณ์ต่างๆ โดยที่ความเข้าใจดังกล่าวจะแตกต่างไปตามประสบการณ์ของแต่ละบุคคล”

จากการศึกษาข้างต้นสรุปได้ว่า ความหมายของมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ว่า หมายถึง ความคิดหลักหรือความคิดสำคัญเกี่ยวกับปรากกฏการณ์ทางธรรมชาติ

3.3 ประเภทของมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์

จากการศึกษามโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์พบว่ามีลักษณะการอธิบายที่แตกต่างกันระหว่างมโนทัศน์เรื่องหนึ่งกับมโนทัศน์อีกเรื่องหนึ่งโดยขึ้นอยู่กับหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาทั้งนี้นักการศึกษาวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาความแตกต่างของมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์โดยสามารถจัดแบ่งเป็นประเภทของมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ตามเกณฑ์ต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

Romey (1968: 117) ได้แบ่งประเภทของมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ตามลักษณะการอธิบายออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

(1) มโนทัศน์เชิงจำแนกประเภท (Classificational Concepts) หมายถึง มโนทัศน์ที่เป็นคำอธิบายลักษณะร่วม โดยนำไปใช้ในการบรรยายวัตถุ หรือสถานการณ์นั้นๆ

(2) มโนทัศน์เชิงความสัมพันธ์ (Correlational Concepts) หมายถึง มโนทัศน์ที่บอกความสัมพันธ์ระหว่างข้อเท็จจริงที่เกี่ยวข้องกัน เช่น แรงเป็นอำนาจที่ผลักหรือดึงวัตถุให้เคลื่อนที่ได้เป็นต้น

(3) มโนทัศน์เชิงทฤษฎี (Theoretical Concepts) หมายถึง เป็นมโนทัศน์ที่กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล โดยจะนำไปใช้ในการพยากรณ์สิ่งต่างๆ เช่น ความร้อน 1 องศาเซลเซียส จะทำให้ปริมาณพลังงานเพิ่มขึ้น 1 กิโลแคลอรี เป็นต้น

Scriven (1968: 154) ได้วิเคราะห์ประเภทของมโนทัศน์ตามวัตถุประสงค์ที่นักเรียนใช้อธิบายในภาระงานที่เกี่ยวข้องกับวิชาวิทยาศาสตร์ แบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

(1) มโนทัศน์เชิงโครงสร้าง (Structure Concepts) คือ การอธิบายสิ่งที่ศึกษา ในลักษณะการบอกข้อเท็จจริง

(2) มโนทัศน์เชิงกระบวนการ (Process Concepts) คือ การอธิบายสิ่งที่ศึกษาในเชิงกลไกความสามารถ หรือเป็นลำดับขั้นตอน

(3) มโนทัศน์เชิงคุณภาพ (Quality Concepts) คือ การอธิบายสิ่งที่ศึกษาในเชิงคุณค่าของแต่ละบุคคล

Sund and Trowbridge (1973: 17-18) ได้จำแนกประเภทของมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ตามลักษณะเฉพาะของเนื้อหาที่ใช้ในการเรียนการสอน โดยแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

(1) มโนทัศน์ที่มีลักษณะเป็นรูปธรรม (Concrete Concepts)เช่น มโนทัศน์ เรื่อง แม่เหล็กเลนส์ สารประเภทคอลลอยด์ เหล็ก และหิน เป็นต้น

(2) มโนทัศน์ที่มีลักษณะเป็นกระบวนการ (Dynamic Process Concepts) เช่น มโนทัศน์เรื่อง กระบวนการออสโมซิสและการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช กระบวนการแตกตัวนิวเคลียสของอะตอม เป็นต้น

Lawson et al. (2000: 2012) ได้จำแนกประเภทของแนวคิดหรือมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ตามวิธีการศึกษาเพื่อกำหนดเป็นแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ โดยแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

(1) มโนทัศน์เชิงทฤษฎี (Theoretical Concepts) หมายถึง แนวคิดที่อาศัยทฤษฎีในการสรุปเป็นมโนทัศน์ เนื่องจากไม่สามารถสังเกตลักษณะและกระบวนการของสิ่งต่างๆ ได้โดยตรง เช่น มโนทัศน์ของวัตถุที่มีขนาดเล็กระดับโฟตอน อิเล็กตรอน ควาร์ก และมโนทัศน์ของกระบวนการการมีปฏิสัมพันธ์ของอะตอมและโมเลกุล เป็นต้น

(2) มโนทัศน์เชิงบรรยาย (Descriptive Concepts) หมายถึง แนวคิดที่อาศัยการสังเกตลักษณะและกระบวนการต่างๆ ผ่านประสาทสัมผัสโดยตรง ของวัตถุ เหตุการณ์ และสถานการณ์ในการสรุปเป็นความหมายของมโนทัศน์ เช่น มโนทัศน์ของโต๊ะและเฟอร์นิเจอร์ มโนทัศน์ของการกินและการนอน เป็นต้น

(3) มโนทัศน์เชิงสอดแทรก (Intermediate Concepts) หมายถึง แนวคิดที่อาศัยทฤษฎีในการสรุปเป็นมโนทัศน์ เนื่องจากลักษณะและกระบวนการของสิ่งต่างๆ ไม่สามารถสังเกตได้ภายในช่วงชีวิตของคนๆ หนึ่ง หรือมีข้อจำกัดในด้านเวลา เช่น มโนทัศน์ของการเกิดไดโนเสาร์ การเกิดแกรนแคนยอนทางตอนเหนือของรัฐแอริโซนา เป็นต้น

ปรีชา วงศ์ชูศิริ และคณะ (2525: 140-143; อ้างถึงใน ภพ เลาหไพบูลย์, 2537: 4) ได้แบ่งประเภทของมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ตามลักษณะการนำไปใช้อธิบายสิ่งต่างๆ โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

(1) มโนทัศน์เกี่ยวกับการแบ่งประเภท (Classification Concepts) หมายถึง คำอธิบายหรือชี้แจงสมบัติที่ บอกคุณสมบัติรวม โดยนำไปใช้ในการบรรยายวัตถุหรือปรากฏการณ์นั้นๆ เช่น สัตว์แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง และสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เป็นต้น

(2) มโนทัศน์ทางทฤษฎี (Theoretical Concepts) หมายถึง การอธิบายของลักษณะบางสิ่งบางอย่าง หรือปรากฏการณ์ที่ไม่อาจสังเกตได้โดยตรงทั้งหมด แต่มีหลักฐานเป็นเหตุผลสนับสนุนแล้วสร้างเป็นความเข้าใจของตนเอง เช่น น้ำดีในลำไส้เล็กช่วยย่อยไขมัน เป็นต้น

(3) มโนทัศน์เกี่ยวกับความสัมพันธ์ (Correlational Concepts) หมายถึง ความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล นำไปใช้ในการทำนายหรือพยากรณ์เหตุการณ์ต่างๆ ได้ เช่น ของเหลวได้รับความร้อนจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้น เป็นต้น

วีระชาติ สวนไพรินทร์ (2531: 4-5) ได้แบ่งประเภทของมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

(1) มโนทัศน์เกี่ยวกับการแบ่งประเภท หมายถึง การกำหนดสมบัติร่วมของสิ่งต่างๆ ไว้เป็นพวกๆ เพื่อใช้ในการบรรยายถึงสิ่งนั้นๆ ให้เข้าใจตรงกัน เช่น สสารคือสิ่งที่มีมวลต้องการที่อยู่ เป็นต้น

(2) มโนทัศน์เกี่ยวกับความสัมพันธ์ หมายถึง การกำหนดความสัมพันธ์ของมโนทัศน์ย่อยที่เกี่ยวข้องกัน ซึ่งช่วยให้สามารถพยากรณ์หรือคาดคะเนล่วงหน้าในเหตุการณ์นั้นได้ เช่น แรง คือ สิ่งที่ทำให้มวลมีความเร่งหรืออำนาจที่ผลักหรือดึงวัตถุให้เกิดการเคลื่อนที่ เป็นต้น

(3) มโนทัศน์ทางทฤษฎี หมายถึง การกำหนดสิ่งที่มองไม่เห็นแต่รู้ว่ามีสิ่งนั้นอยู่จริง เพราะมีหลักฐานสนับสนุนว่าเป็นจริง มโนทัศน์ประเภทนี้นักวิทยาศาสตร์สร้างขึ้นโดยอาศัยจินตนาการหรือนึกวาดภาพขึ้นในสมองเพื่อกำหนดลักษณะของสิ่งนั้นขึ้น เช่น แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น

นอกจากนี้ Halloun (1998: 246) ได้จำแนกประเภทของมโนทัศน์ในปรัชญาที่ศึกษาเกี่ยวกับความรู้โดยเฉพาะในสาขาฟิสิกส์ ออกเป็น 3ประเภท ได้แก่

(1) มโนทัศน์ของวัตถุ (Object Concepts)หมายถึง วัตถุต่างๆ ทางกายภาพที่พบในโลก เช่น มโนทัศน์ของอนุภาคทางกลศาสตร์ เป็นต้น

(2) มโนทัศน์ทางคุณสมบัติ (Property Concepts)หมายถึงคุณสมบัติต่างๆ ทางกายภาพที่บอกลักษณะทางกายภาพของวัตถุโดยเฉพาะหรือบอกลักษณะเชิงปฏิสัมพันธ์กับวัตถุทางกายภาพอื่นๆ เช่น มโนทัศน์ของอัตราเร็ว มโนทัศน์ของแรง เป็นต้น

(3) มโนทัศน์ของตัวดำเนินการ (Operational Concepts)หมายถึงตัวจัดกระทำทางคณิตศาสตร์ที่ใช้เพื่อบอกกระบวนการและคุณสมบัติของวัตถุ เช่น การใช้สัญลักษณ์เวกเตอร์ เป็นต้น โดยมโนทัศน์ของตัวดำเนินการสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

3.1) สัญลักษณ์แทนวัตถุ (Object Descriptor) หมายถึง การบอกลักษณะที่เป็นแบบฉบับของวัตถุทางกายภาพ ซึ่งสามารถเป็นได้ทั้งคุณสมบัติที่คงตัว เช่น มวล และสภาวะที่เปลี่ยนไปตามกรอบ เช่น อัตราเร็ว เป็นต้น

3.2) สัญลักษณ์แทนการปฏิสัมพันธ์ (Interaction Descriptor) หมายถึง การบอกลักษณะการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างวัตถุอย่างน้อย 2 วัตถุ เช่น แรง เป็นต้น

จากการศึกษาข้างต้นพบว่า เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อจัดประเภทของมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์มี 3 เกณฑ์ คือ (1) วัตถุประสงค์ที่นำไปใช้อธิบาย (2) ลักษณะเฉพาะของเนื้อหาที่ใช้ในการเรียนการสอน (3) วิธีการศึกษาเพื่อกำหนดเป็นแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ โดยประเภทของมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษามโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ สำหรับการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 2 ประเภท คือ (1) มโนทัศน์เชิงความสัมพันธ์ (Correlational Concepts) เนื่องจากเป็นเรื่องที่ศึกษาเกี่ยวกับแรงและผลของแรงที่เกิดขึ้นต่อวัตถุ ซึ่งเป็นการบอกความสัมพันธ์ระหว่างข้อเท็จจริงที่เกี่ยวข้องกันและเป็นเหตุเป็นผลกัน (2) มโนทัศน์เชิงบรรยาย (Descriptive Concepts) เนื่องจากมีการศึกษาถึงลักษณะการเคลื่อนที่แบบต่างๆ ของวัตถุ ซึ่งเป็นความคิดที่ต้องอาศัยการสังเกตลักษณะและกระบวนการต่างๆ ผ่านประสาทสัมผัสโดยตรง

3.4 มโนทัศน์หลัก และมโนทัศน์พื้นฐานเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

ในการศึกษามโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์คำสำคัญที่เกี่ยวข้องในปรากฏการณ์ที่ศึกษา เพื่อนำมาใช้กำหนดโครงสร้างมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์และสามารถเชื่อมโยงมโนทัศน์ที่มีความเกี่ยวข้องกันได้ (Chen, Lin and Lin, 2003: 107-108) โดยเฉพาะในมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ จึงต้องศึกษาความหมายของมโนทัศน์หลักและมโนทัศน์พื้นฐานดังรายละเอียดต่อไปนี้

จากการศึกษาหลักสูตรและตำราที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิทยาศาสตร์ พบว่าคำศัพท์ที่ใช้แทนมโนทัศน์หลัก ได้แก่ Fundamental Concepts, Conceptual Scheme หรือตามที่ Erickson (2007: 12) ได้กล่าวไว้ว่าเป็น “Conceptual Ideas, Essential Understanding, Enduring Understanding หรือ Big Ideas” ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน และคำศัพท์ที่ใช้แทนมโนทัศน์พื้นฐาน คือ Basic Concepts โดยคำศัพท์ดังกล่าวมีความหมายที่แตกต่างกัน ซึ่งมีหน่วยงานทางการศึกษาและนักการศึกษาได้ให้ความหมายไว้ดังนี้

Ontario Ministry of Education (2007: online) ได้ให้ความหมายของมโนทัศน์หลัก (Fundamental Concepts) ว่าหมายถึง “ความคิดหลักที่กำหนดกรอบในการศึกษาเพื่อการได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทั้งหมด”

Ontario Ministry of Education (2008: online) ได้ให้ความหมายของมโนทัศน์หลัก (Fundamental Concepts) ว่าหมายถึง “มโนทัศน์เกี่ยวกับปรากฏการณ์ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงและเป็นเรื่องทั่วไปสำหรับทุกวัฒนธรรม โดยสามารถกำหนดกรอบเพื่อให้เกิดความเข้าใจอย่างลึกซึ้งในความรู้ทางวิทยาศาสตร์ทุกแขนง”

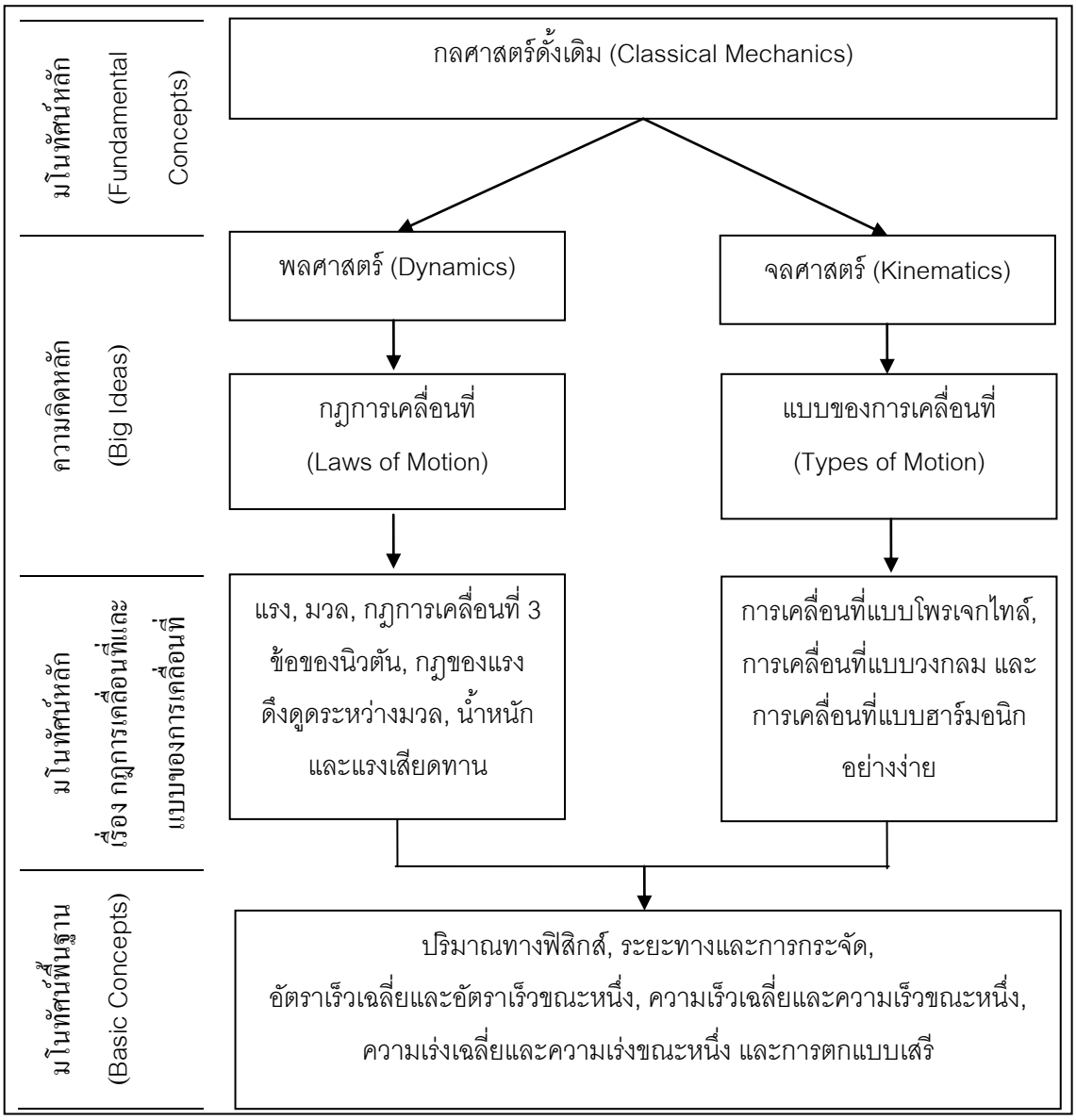
Ontario Ministry of Education (2008: online) ได้ให้ความหมายของความคิดหลัก (Big Ideas) หมายถึง “ความเข้าใจอย่างกว้างๆ และสำคัญที่นักเรียนควรจะยังคงอยู่อย่างยาวนานแม้รายละเอียดที่ได้รับศึกษาจากห้องเรียนอาจลืมไปบางส่วน”

Wiggins and Mctighe (1998: 10; อ้างถึงใน Ontario Ministry of Education, 2008: online) ได้ให้ความหมาย ความคิดหลัก (Big Ideas) ว่าหมายถึง “สิ่งที่เป็นมากกว่าข้อเท็จจริงหรือทักษะโดยให้ความสำคัญกับมโนทัศน์ที่ใหญ่กว่า หลักการ หรือกระบวนการ”

Romey (1986: 14; อ้างถึงใน สุวัฒน์ นิยมค้า, 2531: 121) ได้ให้ความหมาย กลุ่มมโนทัศน์ (Conceptual Scheme) ว่าหมายถึง การรวมข้อเท็จจริง หลักการ หรือมโนทัศน์ขึ้นเป็นระบบใหญ่อันหนึ่ง

ทั้งนี้การศึกษาความหมายของมโนทัศน์พื้นฐาน (Basic Concepts) พบว่าไม่ได้มีการกล่าวไว้โดยตรงแต่สามารถสรุปสาระสำคัญจาก Ontario Ministry of Education (2008: online) ได้ว่า มโนทัศน์พื้นฐาน หมายถึง ความคิดย่อยที่ประกอบรวมกันขึ้นเป็นกลุ่มมโนทัศน์หรือมโนทัศน์หลัก

กล่าวโดยสรุป มโนทัศน์หลัก ความคิดหลักและมโนทัศน์พื้นฐานนั้นมีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือ แนวคิดหลักจะบรรยายลักษณะของมโนทัศน์หลักเพื่อต้องการให้นักเรียนเข้าใจมโนทัศน์พื้นฐานที่เป็นความคิดย่อยที่ประกอบรวมกันขึ้นเป็นกลุ่มมโนทัศน์หรือมโนทัศน์หลัก และจากผลการศึกษาเอกสารและตำราที่เกี่ยวข้องในวิชาฟิสิกส์และวิธีการวิเคราะห์มโนทัศน์หลักและมโนทัศน์พื้นฐาน (Erickson, 2007) พบว่า การศึกษาในมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ ของนักเรียนสามารถสรุปได้ดังแผนภาพต่อไปนี้



แผนภาพที่ 8 การวิเคราะห์มโนทัศน์หลักและมโนทัศน์พื้นฐานเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

จากการศึกษาคำจำกัดความและความคิดสำคัญของมโนทัศน์ข้างต้น สรุปได้ว่า มโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ หมายถึง ความคิดหลักหรือความคิดสำคัญเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางกายภาพที่ศึกษาเกี่ยวกับแรง ผลของแรงที่เกิดขึ้นต่อวัตถุและลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุ (รายละเอียดของมโนทัศน์หลักและมโนทัศน์พื้นฐาน แสดงในภาคผนวก ง)

3.5 แนวทางการวัดมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์และมโนทัศน์ทางฟิสิกส์

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความเข้าใจในมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ข้างต้นพบว่า การวัดมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ มีลักษณะเป็นการประเมินด้านพุทธิพิสัย (Cognitive Domain) ที่เน้นด้านความรู้ความจำ ความเข้าใจ และการนำไปใช้ (Ingec, 2009: 1914) โดยลักษณะคำถามที่ใช้ถามในแบบวัดมโนทัศน์นั้นมีความเกี่ยวข้องกับตัวเลขน้อยมากหรือไม่มีการคำนวณทางตัวเลข (Cutnelland Johnson, 2007: 26) และ Carnegie Mellon (2012: online) ซึ่งเป็นหน่วยงานด้านการประเมิน การออกแบบด้านการสอนและการเรียนรู้ได้กล่าวถึงลักษณะของแบบวัดมโนทัศน์ (Concept Test) ว่า “ควรตรวจสอบมโนทัศน์ด้านความเข้าใจหรือการนำไปใช้ของนักเรียนมากกว่าการทดสอบความรู้ความจำ” จากการศึกษาพบว่ามีนักการศึกษาได้ให้แนวทางในการวัดมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ไว้ดังนี้

3.5.1แนวทางการวัดมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ ใช้วิธีการทดสอบด้วยแบบวัดที่มีลักษณะเป็นแบบอัตนัย แบบเลือกตอบ (Cruickshank, 1995) และแบบเลือกตอบที่ประกอบด้วยคำถาม 2 ตอน (Odum and Kelly, 2001; Cem et al., 2003) ซึ่งแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Cruickshank (1995: 308-312) ได้เสนอลักษณะของแบบวัดที่ใช้วัดมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ไว้ 2 ประเภท ดังนี้

(1) แบบวัดที่กำหนดให้เขียนตอบ (Created Response Items) ได้แก่ แบบอัตนัยซึ่งต้องการให้นักเรียนเรียบเรียงคำตอบของตนเองมากกว่าการเลือกคำตอบที่เหมาะสมจากที่กำหนดให้ ซึ่งการเขียนตอบจะแสดงออกถึงระดับสติปัญญา องค์ความรู้ที่มี และมโนทัศน์ของนักเรียนได้

(2) แบบวัดที่กำหนดให้เลือกตอบ (Selected Response Items) ได้แก่ แบบเลือกตอบแบบจับคู่ แบบถูก-ผิด ในส่วนของแบบเลือกตอบจะสามารถประเมินการเรียนรู้ลงในขอบเขตเนื้อหาและระดับสติปัญญาได้กว้างกว่า เนื่องจากใช้เวลาในการทำแบบวัดน้อย และครูประเมินผลได้ตรงตามวัตถุประสงค์ จึงสามารถนำไปวัดมโนทัศน์ได้

Odum and Kelly (2001: 616-635) ศึกษามโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน โดยใช้แบบวัดแบบเลือกตอบที่กำหนดให้นักเรียนเขียนเหตุผลสนับสนุนในการเลือกตอบซึ่งประกอบด้วยข้อคำถาม 2 ตอน (Two-Tier Multiple Choice Format) ได้แก่

ตอนที่ 1 เป็นข้อคำถามเชิงเนื้อหา ซึ่งอาจมีตัวเลือก 2-4 ตัวเลือก

ตอนที่ 2 เป็นส่วนของเหตุผลสนับสนุนคำตอบที่เลือกในตอนที่ 1 มี 4 เหตุผลสนับสนุน

Cem et al. (2003: 134-135) ได้ออกแบบวัดมโนทัศน์ทางชีววิทยาที่ประกอบด้วยคำถาม 2 ตอน (Two-Tier Multiple-Choice Format) ได้แก่

ตอนที่ 1 เป็นข้อคำถามเพื่อทดสอบความรู้ ความเข้าใจในเนื้อหา (Content Knowledge) ซึ่งประกอบด้วย 3-4 ตัวเลือก

ตอนที่ 2 เป็นส่วนของเหตุผลสนับสนุนคำตอบที่เลือกในตอนที่ 1 ซึ่งมีเหตุผลสนับสนุน คือ เหตุผลสนับสนุน 3 เหตุผลแรกเป็นมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน และเหตุผลสนับสนุนที่ 4 เป็นเหตุผลสนับสนุนที่ถูกต้อง

3.5.2 **แนวทางการวัดมโนทัศน์ทางฟิสิกส์** ใช้วิธีการทดสอบด้วยแบบวัดที่มีลักษณะเป็นแบบเลือกตอบที่ประกอบด้วยคำถาม 2 ตอน (Chen, Lin and Lin, 2003; Tsai and Chou, 2002; โสภาพรรณ แสงศัพท์, 2535) และ 3 ตอน (Caleon and Subramaniam, 2010) ซึ่งแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Chen, Lin and Lin (2003: 107, 109) ได้พัฒนาแบบวัดปรนัยแบบสองตอน (Two-tier Diagnostic Instrument) เพื่อประเมินความรู้ความเข้าใจในการเกิดภาพจากกระจกเงาราบของนักเรียนเกรด 10-12 โดยในแต่ละข้อของแบบวัดนั้นประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่

ตอนที่ 1 ประกอบด้วยข้อคำถามเชิงเนื้อหาเพื่อให้นักเรียนทำนายผลที่เกิดขึ้นจากสถานการณ์ที่กำหนด คำตอบที่เป็นตัวลวงซึ่งสอดคล้องกับมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนของนักเรียน และคำตอบที่ถูกต้องโดยในแต่ละข้อมีจำนวนตัวเลือกในตอนที่ 1 ไม่เท่ากัน

ตอนที่ 2 เป็นคำถามเพื่อให้นักเรียนบอกเหตุผลที่เลือกคำตอบในตอนที่ 1 โดยเหตุผลประกอบด้วยคำตอบที่ถูกต้อง มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อนและพื้นที่ว่างให้นักเรียนเขียนเหตุผลเพิ่มเติม ซึ่งลักษณะตัวอย่างของแบบวัดมีดังต่อไปนี้ (Chen, Lin and Lin, 2003:115)

คืนวันหนึ่ง เจมส์ตื่นขึ้นมาเนื่องจากยุงได้กัดที่คางของเขา เจมส์จึงไปยืนหน้ากระจกและฉายไฟฉายไปยังกระจก ถ้าเขาต้องการดูร่องรอยที่ยุงกัดให้ชัดเจน เขาควรส่องไฟฉายไปยังตำแหน่งใดในขณะที่ห้องนอนไม่มีแสงสว่าง

(1) จงเลือกคำตอบ

☐ (A) ควรส่องไฟฉายเล็งไปยังกระจกเงาราบ

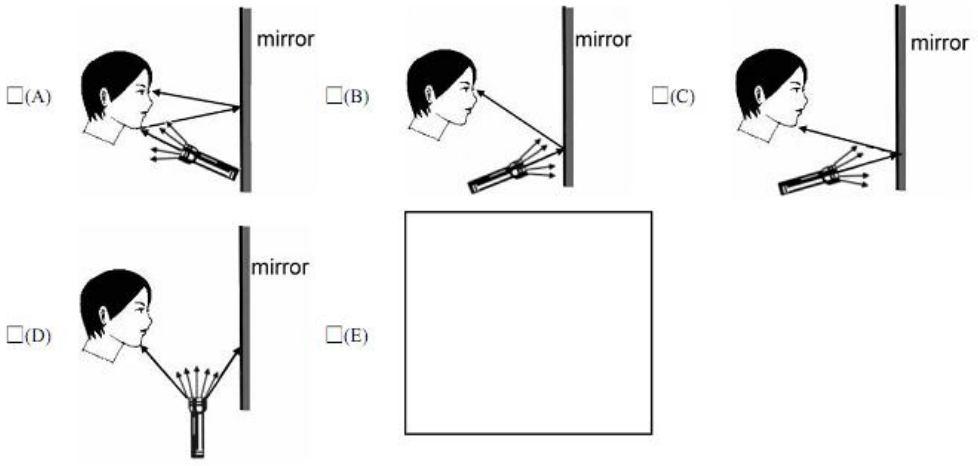
☐ (B) ควรส่องไฟฉายเล็งไปยังที่คางของเขา

☐ (C) ควรส่องไฟฉายในแนวขนานกับกระจก

☐ (D) ส่องไฟฉายไปในทิศทางใดก็ได้

☐ (E) .....

(2) แผนภาพในข้อใดที่สามารถอธิบายแนวรังสีของคำตอบในข้อที่ 1 ได้ดีที่สุด



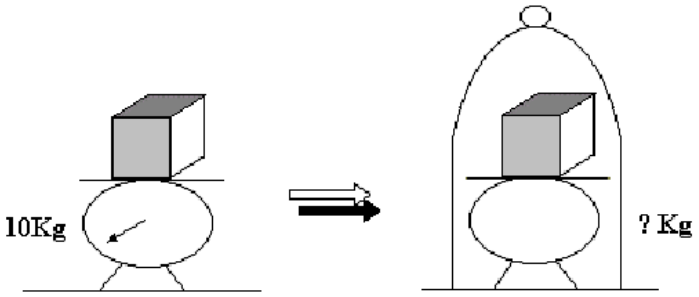
Tsai and Chou (2002) ได้พัฒนาระบบแบบวัดปรนัยแบบสองตอนผ่านระบบเครือข่าย (Networked Two-Tier Test System) เพื่อวัดมโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน (Alternative Conceptions) ได้แก่ มโนทัศน์เรื่องน้ำหนัก เสียง ความร้อนและแสง ของนักเรียนเกรด 8 และ 10 โดยแบบวัดประกอบด้วย 2 ตอน ได้แก่

ตอนที่ 1 ประเมินความรู้เชิงบรรยาย (Descriptive Knowledge) เกี่ยวกับปรากฏการณ์ เช่น เรื่องน้ำหนักในสภาพสุญญากาศบนโลก เป็นต้น

ตอนที่ 2 เพื่อหาเหตุผลที่นักเรียนเลือกตอบในตอนที่ 1 หรือกล่าวได้ว่าเป็นการสำรวจตรวจสอบความรู้เชิงอธิบาย (Explanatory Knowledge) หรือที่เรียกกันว่า แบบจำลองทางความคิด (Mental Model) ของนักเรียนซึ่งลักษณะตัวอย่างของแบบวัดมีดังต่อไปนี้(Tsai and Chou, 2002: 157)

วัตถุชิ้นหนึ่งชั่งมวลได้ 10 กิโลกรัม บนโลก ถ้าตั้งใจนำแก้วครอบวัตถุดังกล่าวไว้ และดูดอากาศออกจนหมด เครื่องชั่งจะชั่งมวลได้เท่าใด

A. 0 kg
B. น้อยกว่า 10 kg แต่ไม่เท่ากับ 0 kg
C. เท่ากับ 10 kg
D. มากกว่า 10 kg



สาเหตุที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ข้างต้นคือ

(i) น้ำหนักได้รับผลจากความดันที่อยู่ภายในขวดแก้ว

(ii) น้ำหนักของวัตถุขึ้นอยู่กับสภาพของอากาศที่เข็มชี้ไป อากาศมีส่วนสำคัญในการกำหนดน้ำหนักของวัตถุ

(iii) วัตถุที่เหมือนกันจะได้รับผลของค่าความโน้มถ่วงที่เหมือนกัน ณ ตำแหน่งเดียวกันบนโลก

(iv) ค่าที่แสดงบนตราชั่งแสดงมวลของวัตถุและควรจะมีค่าคงที่

Caleon and Subramaniam (2010: 939, 941, 944) ได้พัฒนาแบบวัดแบบสามตอน (Three-Tier Diagnostic Testor Three-Tier Test) เพื่อประเมินความเข้าใจในมโนทัศน์เรื่อง คลื่น ของนักเรียนมัธยมศึกษา โดยแบบวัดประกอบด้วย 3 ตอน ได้แก่

ตอนที่ 1 เป็นข้อคำถามเชิงเนื้อหาที่กำหนดสถานการณ์ (Content Tier) ซึ่งใช้เพื่อวัดความรู้เชิงเนื้อหา (Content Knowledge)

ตอนที่ 2 เป็นส่วนของคำถามการให้เหตุผล (Reason Tier) ซึ่งใช้เพื่อวัดความรู้เชิงอธิบาย (Explanatory Knowledge)

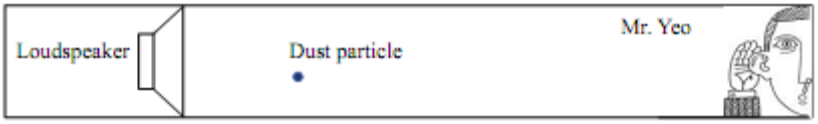
ตอนที่ 3 เป็นส่วนของความเชื่อมั่น (Confidence Tier) ซึ่งใช้เพื่อวัดระดับความมั่นใจในคำตอบของนักเรียน (Strength of Conceptual Understanding)

โดยในแต่ละข้อคำถามมีคะแนนเต็ม 2 คะแนน และเกณฑ์การให้คะแนนเป็นดังนี้

(1) ได้ 1 คะแนน เมื่อตอบคำถามถูกในตอนที่ 1 และถ้าตอบผิดจะไม่ได้คะแนน

(2) ได้ 1 คะแนน เมื่อตอบคำถามถูกทั้งในตอนที่ 1 และตอนที่ 2 และถ้าตอบผิดทั้งสองตอนจะไม่ได้คะแนน ซึ่งลักษณะตัวอย่างของแบบวัดมีดังต่อไปนี้

ภายในห้องที่มีอากาศนิ่ง อนุภาคฝุ่นเคลื่อนที่แกว่งไปมาหน้าเครื่องขยายเสียง (ดังรูป) ในขณะที่นายยีโอกำลังฟังที่ห่างจากเครื่องขยายเสียง เมื่อเปิดเครื่องขยายเสียงและเล่นด้วยความถี่คงตัว ข้อใดอธิบายการเคลื่อนที่ของอนุภาคฝุ่นได้ดีที่สุด

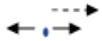


คำตอบ:

A. อนุภาคฝุ่นจะเคลื่อนที่ขึ้นและลง โดยยังคงอยู่ในตำแหน่งเดิม

B. อนุภาคฝุ่นจะเคลื่อนที่ไปทางซ้ายและขวา โดยยังคงอยู่ในตำแหน่งเดิม

C. อนุภาคฝุ่นจะเคลื่อนที่เป็นคลื่นรูปไซน์ในขณะเคลื่อนที่ไปทางด้านนายยีโอ

D. อนุภาคฝุ่นจะเคลื่อนที่จากซ้ายไปขวาในขณะเคลื่อนที่ไปทางด้านนายยีโอ 

เหตุผลทางวิทยาศาสตร์คือ:

คลื่นเสียงทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ในตัวกลาง (รวมถึงอนุภาคฝุ่น) เคลื่อนที่ในลักษณะ

a. สั่นในแนวตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของคลื่น อนุภาคในตัวกลางเคลื่อนที่กลับหรือยังคงอยู่ในตำแหน่งเดิมหลังคลื่นเคลื่อนที่ผ่านไป

b. สั่นในแนวขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น อนุภาคในตัวกลางเคลื่อนที่กลับหรือยังคงอยู่ในตำแหน่งเดิมหลังคลื่นเคลื่อนที่ผ่านไป

c. เคลื่อนที่ไปตามแอมพลิจูด/รูปร่างของคลื่นตามยาว และไม่เคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง คลื่นเสียงผลักอนุภาคในตัวกลางให้เคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิด

d. สั่นในแนวขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น คลื่นเสียงผลักอนุภาคในตัวกลางให้เคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิด

e. _____

ระดับความมั่นใจ: 1 2 3 4 5 6

คาดเดา ไม่มั่นใจอย่างมาก ไม่มั่นใจ มั่นใจ มั่นใจมาก มั่นใจที่สุด

โสภาพรรณ แสงศัพท์ (2538) ได้พัฒนาแบบวัดชนิดปรนัยทั้งคำตอบและเหตุผล (Two-Tiered Multiple Choice Test) เพื่อใช้วัดความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนทางฟิสิกส์ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของคำตอบ และส่วนของเหตุผล โดยมีหลักการให้คะแนนดังนี้

(1) เลือกคำตอบได้ถูกต้องทั้งตอนที่ 1 และตอนที่ 2 ได้1 คะแนน

(2) เลือกคำตอบได้ถูกต้องในตอนที่ 1 แต่เลือกคำตอบไม่ถูกต้องหรือไม่เลือกคำตอบในตอนที่ 2 ได้ 0 คะแนน

(3) เลือกคำตอบไม่ถูกต้องในตอนที่ 1 และเลือกคำตอบในตอนที่ 2 ได้ถูกต้องหรือไม่ถูกต้อง ได้ 0 คะแนน

(4) กรณีเลือกคำตอบได้ถูกต้องในตอนที่ 1 แต่ไม่เลือกคำตอบในตอนที่ 2 ซึ่งผู้ตอบได้ให้เหตุผลลงในช่องว่างที่ให้ไว้ได้ 1 คะแนน ถ้าเหตุผลดังกล่าวได้รับการตัดสินว่าถูกต้องจากครูฟิสิกส์อย่างน้อย 2 คน ในทางตรงกันข้ามถ้าเหตุผลดังกล่าวไม่ถูกต้องจะได้ 0 คะแนน

กล่าวโดยสรุป แบบวัดมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ คือ การตรวจสอบความรู้ ความเข้าใจ และการนำไปใช้ที่ไม่มีการคำนวณทางตัวเลขในเรื่องการศึกษาเกี่ยวกับแรง ผลของแรงที่เกิดขึ้นต่อวัตถุและลักษณะการเคลื่อนที่แบบต่างๆ ของวัตถุ มีลักษณะแบบวัดเป็นชนิดปรนัยแบบสองตอน (Two-Tier Multiple Choice Format) โดยตอนที่ 1 เป็นคำถามเชิงเนื้อหาที่กำหนดสถานการณ์ (Content Tier) และตอนที่ 2 เป็นส่วนของคำถามการให้เหตุผลสนับสนุนคำตอบที่เลือกตอบ (Reason Tier) ตามแนวคิดของ Chen, Lin and Lin (2003) และ Tsai and Chou (2002)

4.งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้แบบจำลองในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์และมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้แบบจำลองในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์

White and Frederiksen (1998) ได้ทำการวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนที่ทำให้การสืบสอบทางวิทยาศาสตร์เป็นเรื่องนักเรียนสามารถเข้าถึงได้ง่าย โดยใช้วงจรการเรียนรู้แบบสืบสอบที่มีลักษณะเป็นการซ่อมเสริม (Scaffolded Inquiry) ที่ประกอบด้วย 5 ขั้นได้แก่ ขั้นคำถาม ขั้นสมมติฐาน ขั้นสำรวจตรวจสอบ ขั้นวิเคราะห์ ขั้นแบบจำลอง และขั้นประเมินประสานกับแนวคิดเกี่ยวกับความรู้เกี่ยวกับความรู้ (Metacognition) ซึ่งมีลักษณะเป็นการประเมินโดยการสะท้อนความคิดเพื่อประเมินการเรียนรู้ของตนเอง โดยลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนเกรด

7-9 ที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำ และนักเรียนเกรด 11-12 ที่เรียนในวิชาฟิสิกส์เรื่อง กลศาสตร์ของนิวตัน ผลที่เกิดขึ้นพบว่าการใช้ แนวการสอนแบบสืบสอบ และใช้แบบจำลองเป็นฐานตามทฤษฎีคอนสตรักติวิสต์กับการศึกษาวิทยาศาสตร์ทำให้นักเรียนมีความสนใจในวิทยาศาสตร์และสามารถเข้าถึงได้ง่ายกว่าแนวการสอนแบบประเพณีนิยม และผลที่เกิดขึ้นกับนักเรียนกลุ่มที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำพบว่า ผลการเรียนรู้ฟิสิกส์และสืบสอบเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญและมีสมรรถนะในการทำโครงงานและสืบสอบเพิ่มขึ้นเทียบเท่ากับกลุ่มนักเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูง และให้ข้อเสนอแนะว่าควรให้ความสำคัญกับการสร้างแบบจำลองที่ใช้เพื่อตั้งสมมติฐานในการเรียนรู้แบบสืบสอบร่วมกับแนวคิดเกี่ยวกับความรู้เกี่ยวกับความรู้ และการประเมินโดยการสะท้อนความคิดเพื่อประเมินการเรียนรู้ของตนเองช่วยส่งเสริมให้การให้เหตุผลและการสื่อความหมายข้อมูลดีขึ้น

Schawrz and White (2005) ได้ทำการศึกษาความเข้าใจในธรรมชาติและกระบวนการสร้างแบบจำลอง ทักษะการสืบสอบ มโนทัศน์ฟิสิกส์ และความสัมพันธ์ระหว่างความรู้เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองกับการพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์และทักษะการสืบสอบ โดยใช้รูปแบบการเรียนการสอนแบบการสืบสอบที่มีแบบจำลองเป็นฐาน (Model-Based Inquiry) ร่วมกับการเรียนการสอนโดยใช้ความรู้ที่ใช้สร้างแบบจำลอง (Metamodeling Knowledge) โดยใช้แบบสอบข้อเขียน (Paper-and-Pencil) ได้แก่ แบบวัดความเข้าใจแบบจำลอง(Modeling Test) แบบวัดการสืบสอบ (Inquiry Test) แบบวัดมโนทัศน์ฟิสิกส์ (Conceptual Physics Test) วัดก่อนและหลังเรียน และทำการสัมภาษณ์เพื่อประเมินความรู้เกี่ยวกับแบบจำลองหลังเรียนจำนวน 12 คน หลังจากจบการเรียนการสอนเป็นระยะเวลา 2.5 เดือน ผลปรากฏว่าความรู้ที่ใช้สร้างแบบจำลองกับทักษะการสืบสอบหลังสอบมีความสัมพันธ์กันที่ระดับ .05 และทักษะการสืบสอบและความรู้ที่ใช้สร้างแบบจำลองมีความสัมพันธ์กันกับคะแนนฟิสิกส์หลังการทดลอง

Ibrahim (2009) ได้ทดลองใช้แนวการสอนที่เน้นแบบจำลองเป็นฐาน (Model-Based Approach) เพื่อศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาและความเข้าใจในมโนทัศน์ เรื่อง จลน์ศาสตร์ ในวิชาฟิสิกส์เบื้องต้นของนักศึกษาที่เรียนคณะวิทยาศาสตร์ (GEPS) มหาวิทยาลัยเคปทาวน์ จำนวน 69 คน โดยให้นักศึกษาใช้กระบวนการสร้างแบบจำลองในการเรียนรู้ฟิสิกส์จากการให้วาดแผนภาพแสดงการเคลื่อนที่ของวัตถุ ตามด้วยการเขียนแผนผังเวกเตอร์ และสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ ตามลำดับ และการใช้แบบจำลองเชิงมโนทัศน์ที่เขียนออกมาในลักษณะแผนภาพแช่แข็ง (Freeze Frame) กราฟการเคลื่อนที่ และแผนผังเวกเตอร์ เพื่อแสดงวิธีคิดในการหาคำตอบในลักษณะการคำนวณและการเขียนอธิบาย ผลการวิจัยสรุปได้ว่านักศึกษามี

ความสามารถในการเขียนรูปแบบการเป็นตัวแทนที่หลากหลายเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 60 ของนักศึกษาทั้งหมด โดยสามารถสรุปได้ 3 ประเด็น

(1) การทดลองใช้รูปแบบการเป็นตัวแทนทางความคิดเป็นกลยุทธในการแก้ปัญหาพบว่าไม่มีผลต่อการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาจากการกำหนดให้ตอบในภาระงานที่เหมือนกัน โดยใช้แบบวัดที่กำหนดให้นักศึกษาเขียนตอบในรูปแบบที่หลากหลาย ทดสอบโดยการให้เขียนตอบเป็นตัวแทนทางความคิดในหลายรูปแบบ โดยพบว่า นักศึกษาเขียนตอบในรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ได้ถูกต้องสมบูรณ์คิดเป็นร้อยละ1 ของนักศึกษาทั้งหมด ซึ่งน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการเขียนตอบในรูปแบบกราฟที่นักศึกษาเขียนได้ถูกต้องคิดเป็นร้อยละ43 ของนักศึกษาทั้งหมด

(2) การศึกษาความสามารถในการสร้างและจัดการกับรูปแบบการเป็นตัวแทนทางความคิดที่หลากหลาย ทดสอบโดยกำหนดภาระงานในรูปแบบที่ต่างกันเพื่อให้นักศึกษาเขียนเป็นรูปแบบต่างๆ สรุปได้ดังนี้ (1) ผลของการศึกษาการใช้รูปแบบการเขียนแผนภาพแช่แข็ง (Freeze Frame)ในการสร้างกราฟและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในเรื่องจลศาสตร์ พบว่านักศึกษาสร้างกราฟได้ดีขึ้นเมื่อมีการใช้แผนภาพแช่แข็ง แต่มีคะแนนการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ต่ำกว่าเมื่อไม่ใช้แผนภาพแช่แข็ง จึงไม่สามารถสรุปได้ว่าการใช้แผนภาพแช่แข็งจะมีผลต่อการเขียนกราฟและสมการทางคณิตศาสตร์ได้ถูกต้อง (2) การกำหนดให้นักศึกษาแก้ปัญหาโดยกำหนดเป็นภาพวาดแล้วให้เขียนกราฟและแผนภาพแช่แข็งพบว่า นักศึกษาส่วนมาก (41 คน จาก 69 คน) เขียนรูปแบบทั้งสองได้ถูกต้อง และสามารถเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ได้ถูกต้องเมื่อกำหนดสถานการณ์ปัญหาเป็นข้อความ และการเขียนภาพวาดไม่ได้มีส่วนช่วยให้นักศึกษามีความสามารถในการเขียนสมการทางคณิตศาสตร์เพิ่มขึ้น

(3) การศึกษาความสามารถในการเขียนอธิบายสารสนเทศจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และกราฟการเคลื่อนที่ นักศึกษาสามารถเขียนอธิบายโดยอ้างอิงกับมโนทัศน์ที่เกี่ยวข้องได้เพิ่มขึ้น

Fortus et al. (2010) ได้ทำการศึกษาระดับของพัฒนาการการเรียนรู้ (Learning Progression) และประเมินระดับของความรู้เกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองว่าขึ้นกับเนื้อหาความรู้หรือไม่ โดยมีกลุ่มตัวอย่างคือ นักเรียนชาวอิสราเอลจำนวน 9 คน ที่เรียนในโรงเรียนต่างกัน ซึ่งเรียนอยู่เกรด 11 แบ่งออกเป็นชาย 4 คน และหญิง 5 คน โดยทำการเก็บข้อมูลด้วยวิธีการสัมภาษณ์กับนักเรียนที่เรียนฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา และวิทยาศาสตร์ทั่วไป โดยในวิชาฟิสิกส์ทำการสัมภาษณ์ความรู้ที่ใช้สร้างแบบจำลอง (Meta-Modeling Knowledge) ของระบบสุริยะตาม

แนวคิดของปโตเลมี โคเปอร์นิคัส เคปเลอร์ นิวตัน และไอน์สไตน์ ใน 4 ประเด็น ได้แก่ มโนทัศน์เกี่ยวกับความหมายของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ความสามารถในการใช้แบบจำลองที่หลากหลายเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ การประเมินแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในด้านข้อดีและข้อจำกัด และการปรับปรุงแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ผลปรากฏว่านักเรียนแสดงให้เห็นว่ามีความรู้ที่ใช้สร้างแบบจำลองสูงกว่านักเรียนประถมศึกษาตอนปลายและมัธยมศึกษาตอนต้น โดยสรุปได้ว่าความรู้ที่ใช้สร้างแบบจำลองไม่ขึ้นกับเนื้อหาความรู้ แต่พัฒนาการของความสามารถในการปฏิบัตินั้นขึ้นกับเนื้อหาความรู้ซึ่งอยู่ในระดับที่ 3 จาก 4 ระดับ ตามแนวทางของ Schwarz et al. (2009) และผลการวิจัยยังพบว่านักเรียนชอบแนวคิดที่นำการสร้างแบบจำลองมาใช้ในการเรียนการสอนเพราะ นักเรียนคิดว่าการสอนการสร้างแบบจำลองทำให้เนื้อหามีความน่าสนใจ เกิดความท้าทาย และอยู่ในสภาพจริง ดังที่นักเรียนได้กล่าวไว้ว่า “การใช้แบบจำลองเป็นแนวทางที่ดีในการเรียนรู้ เพราะการได้เรียนรู้พัฒนาการของสูตรต่างๆ จะช่วยให้เข้าใจที่มาที่ไป เกิดความเข้าใจและจดจำได้ดีขึ้น”

Baek et al. (2010) ได้พัฒนารูปแบบการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS เพื่อศึกษาการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Modeling) ในมิติด้านการสร้างและการปรับปรุงแบบจำลองภายใต้โครงการ MoDeLS ของนักเรียนเกรด 5 จำนวน 28 คน เป็นระยะเวลา 6-8 สัปดาห์ ในหน่วยการเรียนรู้เรื่องการระเหยและการควบแน่นของสาร เก็บข้อมูลก่อนและหลังเรียนโดยใช้แบบวัด การบันทึกวีดิทัศน์และการใช้แบบตอบการสัมภาษณ์ ผลพบว่านักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 64 ของนักเรียนทั้งหมด กล่าวคือ นักเรียนสามารถวาดภาพแบบจำลองที่อธิบายการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ไม่สามารถมองเห็นได้ ซึ่งเป็นการแสดงการอธิบายลักษณะที่สำคัญด้วยแบบจำลองและการสื่อสารด้วยแบบจำลอง และจากการเก็บข้อมูลด้วยการสัมภาษณ์นักเรียนจำนวน 12 คน ผลพบว่านักเรียนมีความคิดเห็นว่าแบบจำลองสามารถใช้อธิบายปรากฏการณ์ได้ และคำนึงถึงเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาประเมินแบบจำลอง

4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้แบบจำลองในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์และมโนทัศน์ที่เกี่ยวข้องกับ เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

Halloun (1998) ได้ทดลองใช้ แนวการสอนที่เน้นการสร้างแบบจำลองทางความคิด (Schematic Modeling Approach) หรือการเรียนการสอนที่เน้นแบบจำลองเป็นฐาน (Model-Based Instruction) ที่เป็นแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้กระบวนการสร้างแบบจำลอง 5 ขั้น

ได้แก่ การเลือก การสร้าง การตรวจสอบ การวิเคราะห์ และการนำแบบจำลองไปใช้ เสริมกับการเน้นการอภิปรายภายในกลุ่มหรือทีม ทดลองกับนักเรียนชาวเลบานอนจำนวน 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่เรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย และกลุ่มที่เรียนระดับวิทยาลัย เพื่อศึกษาใน 2 ด้าน คือ (1) ด้านการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ศึกษาใน 4 ประเด็นอันเป็นองค์ประกอบของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ ขอบเขต (Domain) และโครงสร้าง (Structure) ที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีที่ใช้แสดงในแบบจำลอง ส่วนประกอบ (Composition) และการจัดระบบ (Organization) ความสัมพันธ์ที่ปรากฏในแบบจำลอง (2) การศึกษามโนทัศน์ของแรงอันเป็นมโนทัศน์เชิงปฏิสัมพันธ์ที่เป็นพื้นฐานในวิชาฟิสิกส์ ผลการทดลองเปรียบเทียบก่อนและหลังทดสอบสรุปได้ว่า (1) การสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลองทั้ง 4 ประเด็น (2) การใช้แนวการสอนที่เน้นการสร้างแบบจำลองทางความคิดทำให้นักเรียนมีคะแนนมโนทัศน์เรื่องแรงหลังการทดลองเพิ่มขึ้น

Meltzer (2002) ทดลองใช้รูปแบบการเป็นตัวแทนที่หลากหลายเพื่อศึกษาแนวทางที่นักเรียนใช้ในการเรียนรู้และความเข้าใจในมโนทัศน์ทางฟิสิกส์โดยเปรียบเทียบระหว่างความสามารถในการพูดหรือเขียนอธิบายและการใช้กราฟ กับการเขียนแผนภาพและสมการทางคณิตศาสตร์ โดยทดลองกับนักเรียนที่เรียนฟิสิกส์จำนวน 18 คน ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนสามารถแสดงความเข้าใจในมโนทัศน์เรื่องกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันเมื่อใช้กราฟอธิบายได้ดีกว่า อีกทั้งนักเรียนแสดงการนำรูปแบบการเป็นตัวแทนทางความคิดทั้ง 4 แบบ ไปประยุกต์ใช้จากภาระงานที่กำหนดเพิ่มมากขึ้น และสรุปได้ว่าผลของการใช้รูปแบบการเป็นตัวแทนของความคิดนั้นมีผลต่อแนวทางที่นักเรียนใช้ในการเรียนรู้และการทำความเข้าใจในมโนทัศน์ทางฟิสิกส์

Hestenes (2006) ได้ทดลองเปรียบเทียบการสอนแบบปกติที่เน้นการสอนแบบบรรยาย การสาธิต และการทำการทดลอง กับการเรียนการสอนด้วยการสร้างแบบจำลอง (Modeling Instruction) ที่เน้นการสร้าง การตรวจสอบ และการนำไปใช้ของแบบจำลองเพื่อทำความเข้าใจปรากฏการณ์ทางกายภาพในวิชาฟิสิกส์ ซึ่งเป็นโครงการที่เก็บข้อมูลในระหว่างปี ค.ศ. 1995-1998 จากการให้นักเรียนเข้าอบรมเชิงปฏิบัติการการสร้างแบบจำลองเป็นเวลา 3-4 สัปดาห์ในภาคฤดูร้อน และทำการวัดหลังจากเรียนจบ 1 ปีการศึกษา โดยใช้แบบสอบที่เรียกว่า Force Concept Inventory (FCI) ซึ่งพัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถใช้ประเมินผลการเรียนรู้ด้านมโนทัศน์เรื่องกลศาสตร์ของนักเรียนที่เรียนด้วยวิธีการสอนที่แตกต่างกันได้ ผลการทดลองกับนักเรียนจำนวน 3,394 คน พบว่า นักเรียนมีคะแนนมโนทัศน์เรื่องกลศาสตร์หลังการทดลองคิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 52 ซึ่งสูงกว่ากลุ่มที่เรียนด้วยการสอนแบบปกติที่ได้คะแนนค่าเฉลี่ยร้อยละ 42 และทดลองเลือกนักเรียนที่มี

ความสามารถในการสร้างแบบจำลองอยู่ในระดับดีเยี่ยมหลังจากเข้าอบรมเชิงปฏิบัติการเมื่อเวลาผ่านไป 2 ปีการศึกษา จำนวน 647 คน และทำการวัดด้วยแบบวัด FCI พบว่า นักเรียนมีคะแนนมโนทัศน์เรื่องกลศาสตร์หลังการทดลองคิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 69

Nieminen, Savinainen and Viiri (2010) ได้ทดลองจัดการเรียนการสอนที่เน้นการใช้รูปแบบการเป็นตัวแทนที่หลากหลายในวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนมัธยมปลายชั้นปีที่หนึ่งจำนวน 87 คน เพื่อศึกษาความสามารถในการแปลความหมายของรูปแบบการเป็นตัวแทนทางความคิดที่หลากหลายในมโนทัศน์ที่เกี่ยวข้องกับแรง 4 เรื่อง ได้แก่ กฎการเคลื่อนที่ทั้งสามข้อของนิวตัน และกฎแรงโน้มถ่วงสากล โดยใช้แบบสอบแบบเลือกตอบที่พัฒนาขึ้นซึ่งมีชื่อว่า “Representational Variant of the Force Concept Inventory” (R-FCI) โดยกำหนดให้นักเรียนเขียนแผนผังการเคลื่อนที่ การเขียนเวกเตอร์ และกราฟ ผลการทดลองพบว่านักเรียนมีความคงเส้นคงวาในการเขียนรูปแบบการเป็นตัวแทนที่หลากหลายและมีความเข้าใจในมโนทัศน์เพิ่มขึ้น ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวัดความเข้าใจในมโนทัศน์หลังการทดลองด้วยแบบวัด Force Concept Inventory (FCI) ที่มีคะแนนเพิ่มขึ้นเช่นกัน

กรอบแนวคิดในการวิจัย

ทฤษฎีคอนสตรักติวิสต์ (Constructivism) มีลักษณะสำคัญที่ส่งเสริมการเรียนรู้ด้วยการสร้างแบบจำลองดังนี้

1.การเรียนรู้เป็นกระบวนการสร้างและจัดระบบโครงสร้างความรู้ใหม่อย่างต่อเนื่อง และต้องสร้างและปรับโครงสร้างใหม่ด้วยตนเอง

2.การให้ความหมายกับประสบการณ์ที่ได้รับให้เป็นไปตามความเข้าใจของตนเอง โดยใช้ประสบการณ์ที่มีอยู่เดิมเป็นพื้นฐาน

3.การเรียนรู้เกิดขึ้นเมื่อได้แลกเปลี่ยนหรือตรวจสอบความรู้และมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่น

4.การเน้นให้มีส่วนร่วมอย่างกระตือรือร้นในการเรียนรู้หรือเป็นการเรียนรู้ที่เน้นการลงมือปฏิบัติ

ทฤษฎีการสร้างแบบจำลอง (Modeling Theory) ที่ส่งเสริมการเรียนรู้ด้วยแบบจำลอง สรุปดังนี้

เมื่อบุคคลรับรู้ปรากฏการณ์ บุคคลจะสร้างความคิดขึ้นมาภายในตนที่เรียกว่าแบบจำลองทางความคิด จากนั้นบุคคลจะแสดงแบบจำลองออกมาเป็นสัญลักษณ์ที่เป็นตัวแทนความคิด ความเข้าใจของบุคคลที่อยู่บนพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ ออกมาเป็นแบบจำลองเชิงมโนทัศน์ที่แสดงลักษณะทาวิทยาศาสตร์ ซึ่งสะท้อนโครงสร้างทางปัญญาของบุคคล

การเรียนรู้ที่มีแบบจำลองเป็นฐาน (Model-Based Learning) มีแนวคิดสำคัญที่อธิบายกระบวนการเรียนรู้ ดังนี้

1.ความเข้าใจเกิดจากการสร้างแบบจำลองทางความคิดจากปรากฏการณ์ที่ได้ศึกษา หลังจากได้แก้ปัญหา ลงข้อสรุป หรือให้เหตุผลด้วยแบบจำลอง

2.บุคคลจะสร้างแบบจำลองจากความรู้เดิมและสารสนเทศใหม่ที่ได้รับในระหว่างการสร้างแบบจำลองเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองทางความคิดของปรากฏการณ์

3.เมื่อบุคคลประเมินแบบจำลองแล้วพบว่ามีข้อบกพร่อง อาจปรับปรุงแก้ไข หรือสร้างแบบจำลองขึ้นใหม่ แต่ถ้าแบบจำลองมีความถูกต้องจะคงแบบจำลองไว้

การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS (Model-Centered Instruction Sequence) ประกอบด้วยขั้นตอนการสอน 9 ขั้นดังนี้

1.ขั้นการมุ่งปรากฏการณ์และตั้งคำถามสำคัญ (Anchoring Phenomena and Central Question)

2.ขั้นการสร้างแบบจำลองเบื้องต้น (Construct an Initial Model)

3.ขั้นการสำรวจตรวจสอบเชิงประจักษ์ (Empirical Investigations)

4.ขั้นการประเมินและปรับปรุงแบบจำลองเบื้องต้น (Evaluate and Revise the Initial Model)

5.ขั้นการแนะนำความคิดทางวิทยาศาสตร์และสถานการณ์จำลอง (Introduce Scientific Ideas and Simulations)

6.ขั้นการประเมินและปรับปรุงแบบจำลอง (Evaluate and Revise the Model)

7.ขั้นการประเมินโดยเพื่อน(Peer Evaluation)

8.ขั้นการลงมติแบบจำลองที่สร้าง (Construct a Consensus Model)

9.ขั้นการใช้แบบจำลองเพื่อทำนายหรืออธิบาย (Use the Model to Predict or Explain)

มโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ หมายถึง ความคิดหลักหรือความคิดสำคัญเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางกายภาพที่ศึกษาเกี่ยวกับแรง ผลของแรงที่เกิดขึ้นต่อวัตถุและลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุ

ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง การสร้างภาพวาด แผนการทดลอง ตาราง แผนภูมิแท่ง กราฟ สมการ หรือเขียนข้อความที่แสดงความรู้ความคิดและความเข้าใจของนักเรียน ซึ่งใช้ในการตั้งสมมติฐาน อธิบายหรือทำนายปรากฏการณ์ทางกายภาพ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง ผลของการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ที่มีต่อความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. รูปแบบการวิจัย
2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
4. การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล
5. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi-Experimental Research) โดยมีรูปแบบการวิจัยแบบ Two Group Pretest-Posttest Design คือ มีการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลองที่เรียนฟิสิกส์ด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS และกลุ่มควบคุมที่เรียนฟิสิกส์ด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยวิธีสอนแบบปกติ มีการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งก่อนและหลังการทดลอง ดังแผนภาพที่ 9

แผนภาพที่ 9 รูปแบบการวิจัยแบบ Two Group Pretest-Posttest Design

กลุ่มทดลอง	O_1----------X----------O_2
กลุ่มควบคุม	O_1----------~X----------O_2

O_1 หมายถึง การเก็บรวบรวมข้อมูลก่อนการทดลอง

X หมายถึง การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS

~X หมายถึง การจัดการเรียนการโดยวิธีสอนแบบปกติ

O_2 หมายถึง การเก็บรวบรวมข้อมูลหลังการทดลอง

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 2 กรุงเทพมหานคร สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2554 โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) โดยดำเนินการกำหนดกลุ่มตัวอย่างตามขั้นตอนดังนี้

2.1 การเลือกโรงเรียน

ผู้วิจัยเลือกโรงเรียนโดยใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Selection) คือ เลือกโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพมหานคร เป็นแหล่งกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย เนื่องจากเป็นโรงเรียนมัธยมศึกษาที่ตั้งอยู่ในพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 2 กรุงเทพมหานคร ที่มีการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 เช่นเดียวกันกับโรงเรียนในเขต 2 กรุงเทพมหานคร กล่าวคือ มีแผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย และทางโรงเรียนจัดให้มีสิ่งอำนวยความสะดวกและแหล่งเรียนรู้ที่เอื้อต่อการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ได้แก่ วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ คอมพิวเตอร์และโปรเจคเตอร์

ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ มีมุมความรู้วิทยาศาสตร์ ห้องสมุดซึ่งมีเอกสารตำราทางวิทยาศาสตร์ที่หลากหลาย นอกจากนี้ผู้บริหารและครูในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในโรงเรียนดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ได้ให้การสนับสนุนและร่วมมือในการวิจัยเป็นอย่างดี

2.2 การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

การเลือกกลุ่มตัวอย่างใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง คือ เลือกนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2554 เนื่องจากเป็นระดับเริ่มต้นที่เหมาะสมในการพัฒนาให้เป็นผู้ที่มีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เช่น การตั้งสมมติฐานเพื่อแสดงความคิดออกมาเป็นแบบจำลองทั้ง 5 แบบ การประเมินความรู้ด้วยตนเองโดยหลักฐานเชิงประจักษ์ และการนำความรู้ที่ได้จากการสร้างแบบจำลองไปประยุกต์ใช้ ควรได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้การได้รับพัฒนาตั้งแต่ต้นจะช่วยให้นักเรียนมีเครื่องมือที่ใช้ในการเรียนรู้ที่จำเป็นในการศึกษามโนทัศน์ที่มีความเป็นนามธรรมในขั้นสูงต่อไป โดยนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีจำนวน 12 ห้อง ประกอบด้วยห้องมัธยมศึกษาปีที่ 4/5- 4/16 แต่เนื่องด้วยห้อง 4/16 นั้นถูกจัดให้เป็นห้องพิเศษของโรงเรียน จากนั้นกำหนดกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมจากห้องทั้งหมด 11 ห้อง โดยมีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

2.2.1 นำแบบวัดมโนทัศน์พื้นฐานเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ ที่สร้างขึ้นมาทดสอบกับนักเรียนทั้ง 11 ห้อง เพื่อทดสอบความเท่าเทียมกันของกลุ่มตัวอย่าง จากนั้นนำคะแนนมโนทัศน์พื้นฐานของนักเรียนทั้ง 11 ห้อง มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ด้วยสถิติทดสอบเอฟ (F-test) เพื่อทดสอบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ย ($\bar{x}$) พบว่า มีอย่างน้อยหนึ่งห้องที่มีค่าเฉลี่ยแตกต่างจากห้องอื่น จากนั้นทำการทดสอบคะแนนเฉลี่ยภายหลัง (Post Hoc Test) เพื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยรายคู่ (Pairwise Comparisons) ด้วยสถิติของ Dunnett's T_3 และผลปรากฏว่ามีห้องเรียนที่มีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์พื้นฐานไม่แตกต่างกันจำนวน 31 คู่ ดังแสดงในตารางที่ 9 (ค่าสถิติทดสอบรายคู่แสดงในภาคผนวก จ)

ตารางที่ 9 ห้องเรียนที่มีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์พื้นฐานเรื่องกฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ไม่แตกต่างกันจำนวน 31 คู่

คู่ที่	ห้อง	คู่ที่	ห้อง	คู่ที่	ห้อง	คู่ที่	ห้อง
1	4/5 และ 4/7	9	4/6 และ 4/14	17	4/10 และ 4/11	25*	4/11 และ 4/15
2	4/5 และ 4/8	10	4/6 และ 4/15	18	4/10 และ 4/12	26	4/12 และ 4/13
3	4/5 และ 4/9	11	4/7 และ 4/8	19	4/10 และ 4/13	27	4/12 และ 4/14
4	4/6 และ 4/7	12	4/7 และ 4/9	20	4/10 และ 4/14	28	4/12 และ 4/15
5	4/6 และ 4/8	13	4/7 และ 4/12	21	4/10 และ 4/15	29	4/13 และ 4/14
6	4/6 และ 4/9	14	4/8 และ 4/9	22	4/11 และ 4/12	30	4/13 และ 4/15
7	4/6 และ 4/10	15	4/8 และ 4/12	23	4/11 และ 4/13	31	4/14 และ 4/15
8	4/6 และ 4/12	16	4/8 และ 4/15	24	4/11 และ 4/14		

2.2.2 จากห้องที่มีคะแนนมโนทัศน์พื้นฐานไม่แตกต่างกัน 31 คู่ดังกล่าว ทางโรงเรียนได้อนุเคราะห์ให้ทดลองกับคู่ที่ 25 คือ ห้องมัธยมศึกษาปีที่ 4/11 และ 4/15 ห้อง 2 ห้องนี้ จึงเป็นกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ ซึ่งห้องดังกล่าวมีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์พื้นฐานไม่แตกต่างกัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.09 และ 4.58 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.53 และ 1.51 ตามลำดับ

2.2.3 ใช้วิธีการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling) ด้วยวิธีการจับสลากในการเลือกห้องที่ใช้เป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ผลปรากฏว่า ห้องมัธยมศึกษาปีที่ 4/11 จำนวน 52 คน เป็นกลุ่มทดลอง และห้องมัธยมศึกษาปีที่ 4/15 มีจำนวน 50 คน เป็นกลุ่มควบคุม

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มี 2 ประเภท คือ

1. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล มี 5 ฉบับ ได้แก่

1.1 การวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วย

1.1.1 แบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ซึ่งประเมินด้วยแบบประเมินแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

1.1.2 แบบประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

1.2 การวัดมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

1.2.1 แบบวัดมโนทัศน์พื้นฐานเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

1.2.2 แบบวัดมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง คือ แผนการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ มี 2 ประเภท ได้แก่

2.1 แผนการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์ด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS

2.2 แผนการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์ด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยวิธีสอนแบบปกติ

รายละเอียดของขั้นตอนการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือมีดังนี้

1. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลของ 2 ตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่ (1) การวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (2) การวัดมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ โดยมีขั้นตอนการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือดังนี้

1.1 การวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

การวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วยเครื่องมือที่ใช้วัด 2 ฉบับ ได้แก่ (1) แบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ซึ่งประเมินด้วยแบบประเมินแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (2) แบบประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดยเครื่องมือแต่ละฉบับมีขั้นตอนการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพดังนี้

1.1.1 แบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

แบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ คือ แบบวัดที่ใช้วัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ในส่วนที่เป็นแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มทดลอง มีลักษณะเป็นแบบวัดอัตนัยโดยเป็นแบบวัดที่กำหนด

สถานการณ์ เพื่อให้นักเรียนเขียนออกมาเป็นแบบจำลองทั้ง 5 แบบ โดยมีรายละเอียดของการพัฒนาและการตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดดังนี้

(1) ศึกษาและวิเคราะห์มาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 เพื่อกำหนดขอบข่ายเนื้อหาที่ใช้ในการสร้างแบบวัด

(2) กำหนดโครงสร้างแบบวัดให้คลอบคลุมเนื้อหา และแบบจำลองทั้ง 5 ประเภท โดยอ้างอิงกรอบแนวคิดของ Guttersrud (2007: 205-207) และ Chang (2008) ซึ่งผู้วิจัยสร้างแบบสอบที่ครอบคลุมเนื้อหาบทเรียนจำนวน 4 ข้อ ซึ่งประกอบด้วย 4 สถานการณ์ ได้แก่ 1) การออกแรงผลักลังไม้ 2) การแข่งขันรถจักรยานยนต์ 3) การเคลื่อนที่ของนาฬิกาแบบลูกตุ้ม 4) การแข่งขันกีฬาพุ่งแหลน

(3) ดำเนินการสร้างแบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ซึ่งประกอบด้วยข้อสอบ 4 ข้อ ในแต่ละข้อประกอบด้วย สถานการณ์ ข้อมูลประกอบสถานการณ์และข้อคำถามเพื่อให้นักเรียนเขียนตอบโดยแสดงเป็นแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ 5 ประเภท กำหนดระยะเวลาในการทำแบบสอบ 100 นาที

(4) นำแบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่สร้างเสร็จเรียบร้อยเสนออาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบความถูกต้อง ความสอดคล้องของสถานการณ์และประเภทของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งตรวจสอบภาษาที่ใช้ในข้อคำถาม แล้วจึงนำมาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของอาจารย์ที่ปรึกษา

(5) นำแบบวัดที่ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา ด้วยการพิจารณาความสอดคล้องระหว่างลักษณะข้อคำถามในข้อสอบกับวัตถุประสงค์การวัดในการเขียนเป็นแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์แต่ละประเภท รวมทั้งให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับความชัดเจนและความเหมาะสมของภาษาที่ใช้ จากนั้นพิจารณาข้อสอบที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างผู้ทรงคุณวุฒิ มากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 (Revinelli and Hambleton, 1977 อ้างถึงใน ศิริชัย กาญจนวาสี, 2552: 239) โดยผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาพบว่า ข้อสอบทั้ง 5 ข้อ มีค่าดัชนีความสอดคล้องของ

ผู้ทรงคุณวุฒิระหว่างลักษณะข้อคำถามในข้อสอบกับวัตถุประสงค์การวัดในการเขียนเป็นแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์แต่ละประเภทมากกว่า 0.5 ทุกข้อ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง) ทั้งนี้ผู้ทรงคุณวุฒิได้ให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสรุปได้ดังนี้

1) ปรับแก้ข้อความดังนี้

ข้อที่ 1 แก้ไขจาก “...การออกแรงเข็นรถเข็น...” เป็น “...สถานการณ์คนออกแรงผลักกล่อง...”

ข้อที่ 3 ตัดคำว่า “...นาฬิกาลูกตุ้มเป็นนาฬิกาที่เที่ยงตรงที่สุดในโลก...” ออก

ข้อที่ 3.2 เพิ่มข้อมูลเป็น “...ตารางความสัมพันธ์ระหว่าง T และ l...”

2) ปรับแก้การเฉลยการวาดรูปดังนี้

ข้อที่ 3 แก้ไขจาก “...แรงที่ทำหน้าที่ดึงลูกตุ้มนาฬิกากลับคือ $mg\sin\theta$ เป็น “...ผลของแรงลัพธ์ระหว่างแรง T และ W...”

ข้อที่ 4 ตัด “F” และ “w” ในแผนภาพออก โดยเขียน “g” ในอากาศแทน เนื่องจากเป็นคนละปริมาณกับ v

(6) นำแบบวัดที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนที่ได้เรียนเนื้อหาเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่มาแล้ว เพื่อตรวจสอบคุณภาพของข้อสอบรายข้อ ด้วยการตรวจสอบหาค่าความยาก และค่าอำนาจจำแนก โดยกำหนดเกณฑ์การพิจารณาค่าความยากที่มีค่าระหว่าง 0.2-0.8 (อวยพร เรืองตระกูล, 2552: 18) และมีค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.2 ขึ้นไป (Ebel, 1986: 399) และตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบทั้งฉบับโดยการคำนวณค่าความเที่ยงด้วยสูตรสัมประสิทธิ์แอลฟา (α -Coefficient) ของคอนบาร์ค

โดยงานวิจัยครั้งนี้ได้ทดลองใช้แบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/16 ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2554 ของโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) จำนวน 44 คน ผลการตรวจสอบคุณภาพ สรุปว่าข้อสอบมีค่าความยากอยู่ระหว่าง 0.23 – 0.47 ค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.20 – 0.45 และแบบวัดฉบับนี้มีค่าความเที่ยงเท่ากับ 0.83 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง)

คำตอบที่นักเรียนกลุ่มทดลองตอบในแบบทดสอบความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มีการตรวจให้คะแนนด้วยแบบประเมินแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีขั้นตอนการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพดังนี้

(1) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์แต่ละประเภทเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบหลักจากงานวิจัยของ Mayer, Kamens, and Benavot (1992: 206) Hestenes (1996) Gilbert, Boulter and Elmer (2000: 11) Etkina, Warren and Gentile (2005: 15) และศึกษาแนวทางการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 5 แบบ จากตำราของ วรรณทิพา รอดแรงค้า และพิมพันธ์ เดชะคุปต์ (2542: 78) และงานวิจัยของ Hestenes (2002: online) Guttersrud (2007: 59-60, 105) และ Herr (2008: 298, 400-404) จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อกำหนดรายการประเมินแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนสร้างขึ้น 3 รายการ ได้แก่ (1) ความสอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา (2) การแสดงมโนทัศน์หลักของปรากฏการณ์ที่ศึกษา (3) การเขียนหรือวาดตามลักษณะเฉพาะของแบบจำลองแต่ละประเภท

(2) กำหนดเกณฑ์การประเมินในแต่ละรายการประเมินของแบบจำลอง 5 ประเภท โดยแต่ละประเภทประกอบด้วยรายการประเมิน 3 รายการ และสร้างเกณฑ์การให้คะแนนรูบริกส์แบบทั่วไป (Generic Rubrics) รวมทั้งกำหนดรายละเอียดระดับความสามารถของแต่ละรายการซึ่งแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ ดี (3) พอใช้ (2) และต้องปรับปรุง (1)

(3) กำหนดการแปลผลคะแนนเป็นระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในด้านแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ได้ช่วงคะแนน 3 ช่วง และมีการแปลคะแนนระดับความสามารถของแต่ละช่วงคะแนนดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ช่วงคะแนน และระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ด้านแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

ช่วงคะแนน	**ระดับความสามารถ**
121 - 153	ความสามารถระดับดี
86 - 120	ความสามารถระดับพอใช้
51 - 85	ความสามารถระดับต้องปรับปรุง

(4) นำแบบประเมินคุณภาพแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่สร้างเสร็จเรียบร้อย เสนออาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบความถูกต้องความเหมาะสมของรายการประเมิน เกณฑ์การประเมิน และภาษาที่ใช้ แล้วจึงนำมาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของอาจารย์ที่ปรึกษา

(5) นำแบบประเมินที่ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน (รายนามในภาคผนวก ก) ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ด้วยการพิจารณาความสอดคล้องระหว่างรายการประเมินกับเกณฑ์การประเมิน รวมทั้งให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับความชัดเจนของการใช้ภาษาและความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมิน จากนั้นคัดเลือกรายการประเมินที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) มากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 (Revinelli and Hambleton, 1977 อ้างถึงใน ศิริชัย กาญจนวาสี, 2552: 239) ผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาพบว่ารายการประเมินทั้ง 15 รายการ มีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างรายการประเมินกับเกณฑ์การประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิมากกว่า 0.5 ทุกรายการ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง) ทั้งนี้ผู้ทรงคุณวุฒิข้อเสนอแนะเพิ่มเติม สรุปได้ดังนี้

1) ปรับแก้รายการประเมินข้อที่ 1 ของแบบประเมินแบบจำลองที่ใช้ภาพวาด ด้านความสอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษาเป็น “...วาดภาพ/แผนผังแสดงรายละเอียดเงื่อนไข หรือสิ่งที่ต้องการศึกษาได้...”

2) ปรับแก้ชื่อรายการประเมินข้อที่ 1 ของแบบประเมินแบบจำลองที่นำเสนอการทดลองเป็น “...การเขียนภาพวาดแสดงขั้นตอนการทดลอง...”

(6) นำแบบประเมินที่ปรับปรุงแล้วไปทดลองใช้ประเมินผลการทดสอบกับนักเรียนที่เป็นกลุ่มทดลองใช้แบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องในการให้คะแนน (Inter-Rater Reliability) กับอาจารย์ผู้สอนซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญ 1 ท่าน โดยนำผลคะแนนที่ได้จากการประเมินแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่ผู้วิจัยและอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญประเมิน มาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .01 ผลการตรวจสอบสรุปได้ว่า คะแนนการประเมินที่ได้จากผู้วิจัยและผู้เชี่ยวชาญมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์รวมทุกรายการเท่ากับ .93 (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแต่ละรายการประเมินแสดงในภาค

ผนวก ง)

1.1.2 แบบประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

แบบประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ คือ แบบประเมินการปฏิบัติซึ่งประเมินจากพฤติกรรมและร่องรอยของพฤติกรรมการสร้างแบบจำลองของนักเรียนกลุ่มทดลองระหว่างเรียนตามขั้นตอนการเรียนการสอน MCIS โดยมีรายละเอียดของการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพตามขั้นตอนดังนี้

(1) ศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของ Schwarz et al. (2009) Fortus et al. (2010) และ Baek et al. (2010) และขั้นตอนหรือองค์ประกอบของกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของ Hestenes (1993: 6-7) Schwarz and White (2005: 182) Nicolaou and Constantinou (2007: online) Schwarz et al. (2009: 635-636) และ Hung and Lin (2009: online) จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อกำหนดรายการในการประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน โดยใช้ประเมินในขั้นตอนการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ของขั้นตอนที่ 6-9 ซึ่งเป็นขั้นตอนที่นักเรียนลงมือสร้างแบบจำลอง แบบประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์มี 4 รายการ ได้แก่ 1) การสร้าง (Construction) 2) การปรับปรุง (Revision) 3) การประเมิน (Evaluation) และ 4) การนำไปใช้ (Using)

(2) กำหนดนิยามของรายการประเมินทั้ง 4 รายการ และขั้นตอนการจัดการเรียนการสอนที่ใช้ประเมิน ปรากฏดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 รายการประเมิน และขั้นตอนการสอนที่ทำการประเมินในกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

รายการประเมิน	**ขั้นตอนการสอนที่ทำการประเมิน**
1.การสร้าง การเขียนหรือวาดแบบจำลองเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น โดยแสดงตัวแปรที่เป็นสาเหตุและระบุความสัมพันธ์ในแบบจำลอง	**ขั้นตอนที่ 8 การสร้างแบบจำลองที่เป็นมติ** การสร้างแบบจำลองร่วมกันของนักเรียนทั้งชั้นเรียนหลังจากได้มีการพิจารณาปรับปรุงแบบจำลองภายในกลุ่มแล้ว

ตารางที่ 11 รายการประเมิน และขั้นตอนการสอนที่ทำการประเมินในกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (ต่อ)

รายการประเมิน	**ขั้นตอนการสอนที่ทำการประเมิน**
2.การปรับปรุง การแก้ไขแบบจำลองโดยใช้หลักฐานที่ได้จากการทดลองการศึกษาค้นคว้าการเรียนรู้หรือศึกษาจากสื่อแอนิเมชัน	**ขั้นตอนที่ 6 การประเมินและปรับปรุงแบบจำลอง** การพิจารณาและปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองหลังจากการเรียนรู้มโนทัศน์ที่สำคัญแล้ว
3.การประเมิน การเปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างของแบบจำลอง และประเมินแบบจำลองจากการที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ได้	**ขั้นตอนที่ 7 การประเมินโดยเพื่อน** การพิจารณาและประเมินแบบจำลองของสมาชิกภายในกลุ่ม
4.การนำไปใช้ การใช้แบบจำลองอธิบายหรือทำนายสถานการณ์ใหม่ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา	**ขั้นตอนที่ 9 การใช้แบบจำลองเพื่อทำนายหรืออธิบาย** การนำแบบจำลองที่เป็นมติ ซึ่งนักเรียนได้ร่วมกันสร้างขึ้นไปใช้ในการอธิบาย ทำนายปรากฏการณ์ หรือแก้ปัญหาจากสถานการณ์ใหม่ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา

(3) กำหนดพฤติกรรมบ่งชี้ของรายการประเมินทั้ง 4 รายการ เพื่อกำหนดเกณฑ์การประเมินที่สอดคล้องกับพฤติกรรมที่แสดงถึงกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ตามแนวทางการประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของ Schwarz et al. (2009) Fortus et al. (2010) และ Baek et al. (2010) แสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 พฤติกรรมบ่งชี้ของแต่ละรายการประเมิน และเกณฑ์การประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

พฤติกรรมบ่งชี้	**เกณฑ์การประเมิน**
1. **การสร้าง** การเขียนหรือวาดแบบจำลองที่แสดงการตั้งสมมติฐาน การอธิบายหรือทำนายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น โดยนำเสนอด้วยแบบจำลองทั้ง 5 แบบ ได้แก่ 1) แบบจำลองที่ใช้ภาพวาด 2) แบบจำลองที่นำเสนอด้วยการทดลอง 3) แบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิก 4) แบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ 5) แบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์	➲ สร้างแบบจำลองได้สอดคล้องกับปรากฏการณ์และประเภทของแบบจำลองได้สมบูรณ์ ➲ ระบุตัวแปรที่ใช้แทนปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าได้ครบถ้วน ➲ แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรได้ถูกต้องและชัดเจน
2.การปรับปรุง การแก้ไขแบบจำลองที่แสดงการตั้งสมมติฐาน การอธิบายหรือทำนายเพิ่มเติม โดยอ้างอิงจากหลักฐาน เพื่อใช้ปรับปรุงให้แบบจำลองมีความถูกต้องและชัดเจนมากขึ้น	➲ ปรับปรุงแบบจำลองจากหลักฐานที่ได้จากการทดลอง การศึกษาค้นคว้าหรือจากสื่อแอนิเมชัน ➲ แสดงความเข้าใจที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนและถูกต้องสอดคล้องกับปรากฏการณ์
3.การประเมิน การบอกความเหมือนและความแตกต่างโดยใช้เกณฑ์การประเมินเพื่อเปรียบเทียบและตัดสินการอธิบายปรากฏการณ์ของแบบจำลองที่เขียนหรือวาดขึ้น	➲ ใช้เกณฑ์ในการประเมินตั้งแต่ 2 เกณฑ์ขึ้นไป ➲ บอกความเหมือนและความแตกต่างของแบบจำลองที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์เดียวกันได้ ➲ ตัดสินได้ว่าแบบจำลองใดอธิบายปรากฏการณ์ได้ดี และดีกว่าแบบจำลองอื่นอย่างไร

ตารางที่ 12 พฤติกรรมบ่งชี้ของแต่ละรายการประเมิน และเกณฑ์การประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (ต่อ)

พฤติกรรมบ่งชี้	**เกณฑ์การประเมิน**
4.การนำไปใช้	
การเลือกแบบจำลอง 1 แบบจาก 5 แบบ ที่มีความเหมาะสมสำหรับใช้อธิบายสถานการณ์ใหม่ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา	➲ เลือกใช้แบบจำลองได้สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนด ➲ แบบจำลองที่ใช้อธิบายหรือทำนายสถานการณ์ใหม่ได้ถูกต้องและชัดเจน

(4) นำเกณฑ์การประเมินมาสร้างเกณฑ์การให้คะแนนแบบรูบริกส์แบบแยกประเด็น (Analytic Rubrics) โดยแบ่งระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์เป็น 4 ระดับ คือ ดีมาก (4) ดี (3) พอใช้ (2) ต้องปรับปรุง (1)

(5) กำหนดเกณฑ์ในการแปลผลคะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในด้านกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ตามแนวทางการประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของ Schwarz et al. (2009) Fortus et al. (2010) และ Baek et al. (2010) ที่กำหนดความสามารถระดับดีไว้ที่ร้อยละ 70 โดยแบ่งเป็นช่วงคะแนนได้ 4 ช่วง ซึ่งมีการแปลคะแนนระดับความสามารถของแต่ละช่วงคะแนนดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ช่วงคะแนน และระดับความสามารถของกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

ช่วงคะแนน	**ระดับความสามารถ**
14 - 16	ความสามารถระดับดีมาก
11 - 13	ความสามารถระดับดี
8 - 10	ความสามารถระดับพอใช้
4 - 7	ความสามารถระดับต้องปรับปรุง

(6) นำแบบประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่สร้างเสร็จเรียบร้อยเสนออาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบความถูกต้องความเหมาะสมของรายการประเมิน เกณฑ์การประเมินตามนิยามเชิงปฏิบัติการของรายการประเมิน และภาษาที่ใช้ แล้วจึงนำมาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของอาจารย์ที่ปรึกษา

(7) นำแบบประเมินที่ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน (รายนามในภาคผนวก ง) ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ด้วยการพิจารณาความสอดคล้องระหว่างรายการประเมินกับเกณฑ์การประเมิน รวมทั้งให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับความชัดเจนของการใช้ภาษาและความเหมาะสมของเกณฑ์การประเมิน จากนั้นคัดเลือกรายการประเมินที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) มากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 (Revinelli and Hambleton, 1977 อ้างถึงใน ศิริชัย กาญจนวาสี, 2552: 239) และปรับปรุงแบบประเมินตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ โดยผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาพบว่า รายการประเมินทั้ง 4 รายการ มีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างรายการประเมินกับเกณฑ์การประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิมากกว่า 0.5 ทุกรายการ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง) ทั้งนี้ผู้ทรงคุณวุฒิได้ให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม คือ

1) ให้ปรับแก้ข้อความในระดับคะแนนต้องปรับปรุงของรายการประเมินที่ (1) ด้านการสร้าง เป็น “...ไม่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปร...”

2) ให้ปรับข้อความในระดับคะแนนดีของรายการประเมินที่ (2) ด้านการปรับปรุง เป็น “...แสดงความเข้าใจที่เพิ่มขึ้นแต่สอดคล้องกับปรากฏการณ์บางส่วน...”

(8) นำแบบประเมินที่แก้ไขปรับปรุงแล้วไปทดลองใช้ โดยผู้วิจัยและอาจารย์ผู้สอนซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญ 1 ท่าน ใช้แบบประเมินนี้ในการให้คะแนนกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง ความหมายและประเภทของแรงเสียดทาน จากนั้นนำคะแนนจากการประเมินมาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ .01 เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องในการให้คะแนน (Inter-Rater Reliability) ระหว่างผู้วิจัยและอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญ ผลการวิเคราะห์พบว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ 4 รายการ คือ 1) การสร้าง 2) การปรับปรุง 3) การประเมิน 4) การนำไปใช้ มีค่า

ระหว่าง .56 -.94 และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์รวมทุกรายการมีค่าเท่ากับ .76 (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแต่ละรายการประเมินแสดงในภาคผนวก ง)

1.2 การวัดมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

การวัดมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ ประกอบด้วยเครื่องมือที่ใช้วัด 2 ฉบับ ได้แก่ (1) แบบวัดมโนทัศน์พื้นฐาน และ (2) แบบวัดมโนทัศน์หลักเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ โดยเครื่องมือทั้งสองฉบับมีขั้นตอนการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพดังนี้

(1) ศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์ของต่างประเทศ ได้แก่ The Ontario Curriculum Grades 11 and 12 (Science Revised 2008), Science Content Standards Grads K-12 (California State Board of Education), Michigan's High School Science Content Standards and Expectations ศึกษาตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ตามรายวิชาพื้นฐานฟิสิกส์มัธยมศึกษาปีที่ 4-6 ที่เกี่ยวข้องกับมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ เพื่อกำหนดเนื้อหาที่ต้องการวัดให้ครอบคลุมกับมาตรฐาน/ตัวชี้วัด และผลการเรียนรู้ของหลักสูตร

(2) ศึกษาคำจำกัดความและความคิดสำคัญของมโนทัศน์ จากเอกสารและตำราของ Kirkpatrick and Francis, 2007; Cutnell and Johnson, 2007; Jewett and Serway, 2008; จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชาฟิสิกส์, 2546; กระทรวงศึกษาธิการ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน สำนักงานวิชาการและมาตรฐานการศึกษา, 2551 และกระทรวงศึกษาธิการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553 เพื่อสรุปเป็นมโนทัศน์พื้นฐานและมโนทัศน์หลักเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ ซึ่งสรุปได้เป็น 11 มโนทัศน์พื้นฐาน และ 16 มโนทัศน์หลัก (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง)

(3) ดำเนินการสร้างแบบตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของเนื้อหามโนทัศน์พื้นฐานและมโนทัศน์หลักเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ จากนั้นนำแบบตรวจสอบที่สร้างเสร็จให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของเนื้อหา

มโนทัศน์ รวมทั้งความชัดเจนของภาษาที่ใช้ แล้วจึงนำมาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของอาจารย์ที่ปรึกษา

(4) นำข้อความมโนทัศน์พื้นฐานและมโนทัศน์หลักเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ ไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 ท่าน (รายนามในภาคผนวก ก) ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ด้วยการพิจารณาความสอดคล้องระหว่างมโนทัศน์กับคำจำกัดความและความคิดสำคัญ รวมทั้งให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับความความถูกต้องและความครบถ้วนของของมโนทัศน์ จากนั้นจึงพิจารณามโนทัศน์ที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) มากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 (Revinelli and Hambleton, 1977 อ้างถึงใน ศิริชัย กาญจนวาสี, 2552: 239) และปรับปรุงแบบประเมินตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ

ผลการตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของของมโนทัศน์พื้นฐานและมโนทัศน์หลัก พร้อมข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิสรุปได้ดังนี้

4.1) มโนทัศน์พื้นฐานมีการเสนอแนะให้ปรับปรุงแก้ไข 2 ประเด็น ได้แก่ แก้ไขคำจำกัดความของการกระจัดให้ถูกต้องและชัดเจน และลดจำนวนมโนทัศน์พื้นฐานลง คือ ตัดมโนทัศน์เรื่องอัตราเร็ว ความเร็ว และความเร่งออก

4.2) มโนทัศน์หลักมีการเสนอแนะให้ปรับปรุงแก้ไขคำจำกัดความให้ถูกต้องชัดเจน คือ คำจำกัดความเรื่องแรงและผลของแรง แรงเสียดทานสถิต กฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน และการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

(5) ศึกษาแนวทางการสร้างแบบวัดมโนทัศน์จากเอกสาร ตำรา และงานวิจัย ของ Cruickshank, 1995; Odum and Kelly, 2001; Cem and et al., 2003; Chen, Lin and Lin, 2003; Nitko and Brookhart, 2007; และ Caleon and Subramaniam, 2010

(6) สร้างแบบวัดมโนทัศน์พื้นฐานและแบบวัดมโนทัศน์หลักเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ จำนวนรวม 2 ฉบับ เป็นแบบปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 10 ข้อ และ 20 ข้อ ตามลำดับ ในแต่ละข้อประกอบด้วย 2 ตอน คือ 1) ข้อคำถามเชิงเนื้อหา 2) เหตุผลสนับสนุนคำตอบที่เลือกในตอนที่ 1 โดยเกณฑ์การให้คะแนนแต่ละข้อคือ ถ้าตอบถูกทั้งในส่วนข้อคำถามเชิงเนื้อหาและส่วนเหตุผลสนับสนุนได้ 1 คะแนน ถ้าตอบถูกเฉพาะข้อคำถามเชิงเนื้อหา

เพียงส่วนเดียวได้ 0.5 คะแนน และถ้าตอบถูกเฉพาะเหตุผลสนับสนุนหรือตอบไม่ถูกทั้ง 2 ส่วนได้ 0 คะแนน

(7) นำแบบวัดมโนทัศน์ทั้ง 2 ฉบับ เสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องใน 2 ประเด็น ได้แก่ (1) คำจำกัดความและความคิดสำคัญของมโนทัศน์ตามหัวข้อที่ศึกษากับข้อคำถามและเหตุผลสนับสนุนคำตอบ (2) ลักษณะข้อคำถามกับจุดประสงค์การวัด รวมทั้งความถูกต้องและความชัดเจนของการใช้ภาษา แล้วปรับปรุงแก้ไขแบบวัดตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา

(8) นำแบบวัดมโนทัศน์ทั้ง 2 ฉบับ ที่ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา ไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 5 ท่าน (รายนามในภาคผนวก ก) ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ด้วยการพิจารณาความสอดคล้องระหว่างข้อคำถาม และเหตุผลสนับสนุนกับคำจำกัดความและความคิดสำคัญของมโนทัศน์ ความสอดคล้องกับจุดประสงค์การวัด ลักษณะการใช้คำถาม ตัวเลือก ตัวลวง และความถูกต้องของภาษา จากนั้นจึงพิจารณามโนทัศน์ที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) มากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 (Revinelli and Hambleton, 1977 อ้างถึงใน ศิริชัย กาญจนวาสี, 2552: 239) และปรับปรุงแบบประเมินตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ จากนั้นนำแบบสอบมาปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ

ผลการตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและเหตุผลสนับสนุนกับคำจำกัดความ ความคิดสำคัญของแบบวัดมโนทัศน์พื้นฐานและมโนทัศน์หลัก และข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิสรุปได้ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ข้อเสนอแนะจากการตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและเหตุผลสนับสนุนกับคำจำกัดความ ความคิดสำคัญของแบบวัดมโนทัศน์พื้นฐานและมโนทัศน์หลักเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

ประเด็นการปรับแก้	แบบวัด	ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ
1.ข้อความ	มโนทัศน์พื้นฐาน	➲ คำถามข้อที่ 5 ให้เพิ่มเงื่อนไข เป็น “เมื่อพิจารณาขณะที่รถทั้งสองกำลังเคลื่อนที่ปกติ ณ ตำแหน่งเดียวกัน” ➲ ตัวเลือกข้อที่ 8 ปรับแก้ข้อ ก เป็น “เป็นปริมาณสเกลาร์ทั้งสองค่า”

ตารางที่ 14 ข้อเสนอแนะจากการตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและเหตุผลสนับสนุนกับคำจำกัดความ ความคิดสำคัญของแบบวัดมโนทัศน์พื้นฐานและมโนทัศน์หลักเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ (ต่อ)

ประเด็นการปรับแก้	แบบวัดมโนทัศน์	ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ
1.ข้อความ (ต่อ)	มโนทัศน์พื้นฐาน	ปรับแก้เหตุผลข้อ 2 จากความเร่งเป็น“ความเร็ว” และข้อ 3 ปรับแก้แรงเสียดทานสถิตเป็น “แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะที่วัตถุได้รับแรงกระทำและยังคงอยู่นิ่งได้”
	มโนทัศน์หลัก	➲ ข้อที่ 1 ให้ปรับจาก อัตราเร็วคงที่ เป็น “อัตราเร็วคงตัว” ทุกคำ ➲ คำถามข้อที่ 6 ให้แก้เป็น “วัตถุชนิดเดียวกัน วางบนพื้นสัมผัสเดียวกันที่ไม่มีแรงเสียดทาน เมื่อให้แรงผลักเท่ากัน วัตถุจะเคลื่อนที่ออกจากจุดหยุดนิ่ง โดยมีอัตราเร็วที่เปลี่ยนไปเป็นค่าต่างๆ ดังตาราง” ➲ คำถามข้อที่ 15 ให้แก้เป็น “กำหนดให้ปล่อย และตัดคำว่ามีความเร็วเริ่มต้น” ➲ ข้อที่ 16 แก้เหตุผลข้อ 1 เป็น “ลูกตุ้มโลหะมีความเฉื่อยในการเคลื่อนที่” และแก้เหตุผลข้อ 2 เป็น “ลูกตุ้มโลหะสูญเสียแรงเข้าสู่ศูนย์กลางแต่ยังคงได้รับแรงดึงจากเส้นเชือก” ➲ ข้อที่ 19 แก้ตัวเลือกข้อ ข เป็น “มีความถี่ของการแกว่งมากกว่า B แต่มีคาบการแกว่งน้อยกว่า” และปรับแก้เหตุผลข้อ 2 เป็น “ปฏิภาคโดยตรงกับค่ารากที่สองของความยาวโซ่”
2.รูปภาพ	มโนทัศน์พื้นฐาน	➲ ข้อที่ 9 โดยให้เปลี่ยนรูปวัตถุเป็นวัตถุที่มีผิวเหมือนกัน เนื่องจากรูปลูกกอล์ฟอาจมีผลของสภาพผิวมาเกี่ยว
	มโนทัศน์หลัก	➲ ข้อที่ 1 แก้จุดในภาพให้ห่างเท่ากัน ➲ ข้อที่ 15 ให้เพิ่มคำว่า “ลูกเปตองและลูกเทนนิส” ลงในรูปภาพ

(9) นำแบบวัดมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ทั้ง 2 ฉบับที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบคุณภาพของข้อสอบรายข้อ ด้วยการตรวจสอบค่าความยาก (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) แบบอัตนัยโดยใช้สูตรของ D.R. Whitney และ D.L. Sebers กำหนดเกณฑ์การพิจารณาค่าความยากที่มีค่าระหว่าง 0.2-0.8 (อวยพร เรืองตระกูล, 2552: 18) และมีค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.2 ขึ้นไป (Ebel, 1986: 399) และตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดทั้งฉบับ โดยการคำนวณค่าความเที่ยงด้วยสูตร KR-20 ของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ได้ทดลองใช้แบบวัดมโนทัศน์พื้นฐานและมโนทัศน์หลักกับนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5/8 และ 5/16 ตามลำดับ ซึ่งทั้งสองห้องกำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2554 ของโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) จำนวน 54 และ 44 คน ตามลำดับ ผลการตรวจสอบคุณภาพ สรุปว่าแบบวัดมโนทัศน์พื้นฐานมีค่าความยากอยู่ระหว่าง 0.27 – 0.61 ค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.20 – 0.39 และมีค่าความเที่ยงเท่ากับ 0.82 และแบบวัดมโนทัศน์หลักมีค่าความยากอยู่ระหว่าง 0.26 – 0.79 ค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.22 – 0.32 และมีค่าความเที่ยงเท่ากับ 0.85 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง)

2. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองสำหรับการวิจัยครั้งนี้ คือ แผนการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ ซึ่งมี 2 ประเภท ได้แก่ (1) แผนการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์ด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS สำหรับสอนกลุ่มทดลอง และ (2) แผนการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์ด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยวิธีสอนแบบปกติสำหรับสอนกลุ่มควบคุม โดยมีขั้นตอนในการพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้และตรวจสอบคุณภาพดังนี้

(1) ศึกษาขอบข่ายเนื้อหาโดยวิเคราะห์ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ที่จะใช้ในการจัดการเรียนการสอนรายวิชาพื้นฐานฟิสิกส์ และศึกษาแนวทางการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS จากเอกสาร ตำรา วารสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อวิเคราะห์เนื้อหาที่เหมาะสมในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งได้แก่ เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

(2) กำหนดเนื้อหาและจำนวนคาบเรียนที่ใช้ในการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้ ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 หน่วยการเรียนรู้ แบ่งเป็น 10 แผน จำนวน 20 คาบ สรุปได้ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 เนื้อหาและจำนวนคาบที่ใช้ในการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้วิชาพื้นฐานฟิสิกส์

แผนลำดับที่	หัวข้อ	จำนวนคาบ
หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 กฎการเคลื่อนที่		
1	ความหมายของแรงและผลของแรงที่มีต่อการเคลื่อนที่	2
2	ความหมายของมวล น้ำหนักและความเฉื่อย	2
3	ความหมายและประเภทของแรงเสียดทาน	2
4	กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน	2
5	กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน	2
6	กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน	2
7	กฎการดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน	2
หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 แบบของการเคลื่อนที่		
8	การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์	2
9	การเคลื่อนที่แบบวงกลมด้วยอัตราเร็วคงตัว	2
10	การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	2
	รวม	20

(3) ดำเนินการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้รายคาบตามเนื้อหาและจำนวนคาบที่กำหนด โดยใช้กิจกรรมการเรียนการสอนที่แตกต่างกันระหว่างกลุ่มทดลองที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS และกลุ่มควบคุมที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยวิธีสอนแบบปกติ รายละเอียดของกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ทั้งสองแบบแสดงดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบขั้นตอนกิจกรรมการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS และการจัดการเรียนการสอนโดยวิธีสอนแบบปกติ

การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS	**การจัดการเรียนการสอนโดยวิธีสอนแบบปกติ**
ขั้นที่ 1 **การมุ่งปรากฏการณ์และตั้งคำถามสำคัญ** ขั้นตอนนี้เป็นการกระตุ้นความสนใจด้วยเหตุการณ์หรือปรากฏการณ์ที่สามารถพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน เพื่อให้นักเรียนเกิดความสงสัยและตั้งคำถามสำคัญ ซึ่งจะนำไปสู่การคิดสมมติฐานและการค้นหาคำตอบ	**ขั้นที่** 1 **การนำเข้าสู่บทเรียน** ขั้นตอนนี้เป็นการกระตุ้นความสนใจหรือทบทวนและตรวจสอบความรู้ที่มีอยู่เดิมของนักเรียน โดยการนำสนทนา สาธิต หรือใช้คำถามเป็นต้น เพื่อให้นักเรียนมีความพร้อมในการเรียน
ขั้นที่ 2 **การสร้างแบบจำลองเบื้องต้น** ขั้นตอนนี้เป็นการการให้นักเรียนสร้างแบบจำลองเป็นรายบุคคลโดยแสดงความเข้าใจของตนเองที่มีอยู่ต่อปรากฏการณ์ที่จะศึกษา และแสดงการคิดสมมติฐานออกมาเป็นแบบจำลองเบื้องต้นที่แสดงด้วยภาพวาด	
ขั้นที่ 3 **การสำรวจตรวจสอบเชิงประจักษ์** ขั้นตอนนี้เป็นการให้นักเรียนทำงานเป็นกลุ่ม มีการแลกเปลี่ยนสมมติฐานที่เป็นแบบจำลองเบื้องต้นกับสมาชิกภายในกลุ่ม ร่วมกันวางแผนการสำรวจตรวจสอบจากปรากฏการณ์ โดยสร้างแบบจำลองที่นำเสนอแผนการศึกษาค้นคว้าหรือการ	**ขั้นที่** 2 **กิจกรรม** ขั้นตอนนี้เป็นการให้นักเรียนได้ศึกษาค้นคว้าข้อมูลสำรวจตรวจสอบ หรือทดลองด้วยตนเอง

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบขั้นตอนกิจกรรมการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS และการจัดการเรียนการสอนโดยวิธีสอนแบบปกติ (ต่อ)

การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS	**การจัดการเรียนการสอนโดยวิธีสอนแบบปกติ**
ขั้นที่ 3 **การสำรวจตรวจสอบเชิงประจักษ์ (ต่อ)** ปฏิบัติการทดลอง ดำเนินการสำรวจตรวจสอบ เก็บรวบรวมข้อมูลและหลักฐาน รวมทั้งมีการวิเคราะห์และนำเสนอผลโดยสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิก หรือสมการทางคณิตศาสตร์	
ขั้นที่ 4 **การประเมินและปรับปรุงแบบจำลองเบื้องต้น** ขั้นตอนนี้เป็นการให้นักเรียนนำผลการศึกษาค้นคว้า ทดลอง มาพิจารณาว่าเป็นไปตามแบบจำลองที่ได้สร้างไว้เบื้องต้น (สมมติฐาน) ในขั้นที่ 2 หรือไม่ จากนั้นปรับปรุงและแก้ไขแบบจำลอง *(ปรับปรุงและแก้ไขแบบจำลองครั้งที่ 1)*	
ขั้นที่ 5 **การแนะนำความคิดทางวิทยาศาสตร์และสถานการณ์จำลอง** ขั้นตอนนี้เป็นการให้นักเรียนศึกษาสถานการณ์จำลองหรือศึกษาแบบจำลอง ที่นักเรียนไม่สามารถเรียนรู้ได้หรือเรียนรู้ไม่ชัดเจนจากการสำรวจตรวจสอบ และมีอภิปรายร่วมกันเพื่อเชื่อมโยงความคิดหรือทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ในสถานการณ์จำลองกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา	
ขั้นที่ 6 **การประเมินและปรับปรุงแบบจำลอง** ขั้นตอนนี้เป็นการให้นักเรียนแต่ละคนนำความรู้ความเข้าใจที่ได้จากการเรียนรู้มโนทัศน์สำคัญในบทเรียนในขั้นที่ 5 มาพิจารณาและปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองของตนเองอีกครั้ง เพื่อสนับสนุนความสอดคล้องระหว่างข้อสรุปความคิดทางวิทยาศาสตร์กับปรากฏการณ์ที่ศึกษา *(ปรับปรุงและแก้ไขแบบจำลองครั้งที่ 2)*	

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบขั้นตอนกิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS การจัดการเรียนการสอนโดยวิธีสอนแบบปกติ (ต่อ)

การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS	**การจัดการเรียนการสอนโดยวิธีสอนแบบปกติ**
ขั้นที่ 7 **การประเมินโดยเพื่อน** ขั้นตอนนี้เป็นการให้นักเรียนแต่ละกลุ่มพิจารณาและประเมินแบบจำลองของสมาชิกในกลุ่มตนเอง เพื่อประเมินแบบจำลองของแต่ละคนโดยใช้เกณฑ์การประเมินแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งมีการให้ผลสะท้อนกลับซึ่งกันและกัน	
ขั้นที่ 8 **การลงมติแบบจำลองที่สร้าง** ขั้นตอนนี้ครูให้ตัวแทนแต่ละกลุ่มนำเสนอแบบจำลองของกลุ่มตนเอง จากนั้นอภิปรายร่วมกันเพื่อนำลักษณะสำคัญของแบบจำลองที่อาจแตกต่างกันมาพิจารณาเพื่อสร้างแบบจำลองที่เป็นมติร่วมกันของชั้นเรียน และให้นักเรียนสรุปความคิดสำคัญของบทเรียนโดยเขียนแบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์เป็นรายบุคคล	**ขั้นที่** 3 **การสรุป** ขั้นตอนนี้เป็นการให้นักเรียนได้นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้า มาอภิปรายร่วมกันกับครู เพื่อนำไปสู่ข้อสรุปเป็นความคิดสำคัญของบทเรียน
ขั้นที่ 9 **การใช้แบบจำลองเพื่อทำนายหรืออธิบาย** ขั้นตอนนี้เป็นการให้นักเรียนนำแบบจำลองที่มีความเห็นร่วมกันไปประยุกต์ใช้เพื่ออธิบาย ทำนาย ปรากฏการณ์ โดยแก้ปัญหาจากสถานการณ์ใหม่ในปรากฏการณ์ที่สอดคล้องกัน จากนั้นครูจึงนำอภิปรายเพื่อตรวจเฉลยคำตอบของนักเรียน	

(4) นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อพิจารณาตรวจสอบความถูกต้องและความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์การเรียนรู้ เนื้อหาสาระ กิจกรรมการเรียนรู้ การวัดและการประเมินผลของแผนการจัดการเรียนรู้ตามรูปแบบการเรียนการสอนโดย

ใช้ MCIS และตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมของการใช้ภาษา จากนั้นนำแผนการจัดการเรียนรู้มาปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา

(5) นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ได้แก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาแล้วไปให้ผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งมีประสบการณ์การสอนฟิสิกส์มากกว่า 10 ปี และมีประสบการณ์ในการตรวจคุณภาพเครื่องมือวิจัย จำนวน 3 ท่าน (รายนามดังภาคผนวก ก) พิจารณาตรวจสอบความถูกต้องและความสอดคล้องระหว่างองค์ประกอบต่างๆ ของแผนการจัดการเรียนรู้ เช่นเดียวกับการตรวจพิจารณาของอาจารย์ที่ปรึกษา

จากผลการพิจารณาตรวจสอบแผนการจัดการเรียนรู้ ผู้ทรงคุณวุฒิมีข้อเสนอแนะในการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้ สรุปได้ 4 ประเด็น ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ข้อเสนอแนะจากการตรวจสอบแผนการจัดการเรียนรู้ของผู้ทรงคุณวุฒิ

ประเด็นการปรับแก้	**ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ**
1.ด้านเนื้อหาสาระ	➲ เสนอให้พิจารณาปรับแก้ไขและประเมินเนื้อหาสาระของแผนการจัดการเรียนรู้จำนวน 6 แผน ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 3 4 6 7 และ 9 โดยให้เพิ่มความหมายของแรง แรงเสียดทาน เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาประเภทของแรงเสียดทาน ปรับแก้ไขภาพของแรงกิริยา-ปฏิกิริยา แก้ไขสัญลักษณ์ที่ใช้แทนค่าคงตัว และการเฉลยคำตอบ
2.ด้านขั้นตอนการจัดการเรียนการสอน	➲ เสนอให้ปรับแก้ในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 ขั้นที่ 1 โดยให้มีการทบทวนเรื่อง แรงลัพธ์และแรงเสียดทาน เพิ่มเติมในข้อที่ 3 โดยให้นักเรียนคิดหลักในการจำแนกประเภทเพื่อสรุปเป็นประเภทของแรง
3. ด้านการใช้ภาษา	➲ เสนอให้ปรับแก้จำนวน 5 แผน ดังนี้ แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 ขั้นที่ 5 ให้ปรับแก้คำถามจากอย่างไร เป็น “หรือไม่อย่างไร” แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 ขั้นที่ 1 ข้อที่ 2 เพิ่มคำว่า โดยขวดน้ำทั้ง 3 ขวดวางอยู่บนผ้า“ผืนเดียวกัน” ขั้นที่ 1 ข้อที่ 3.1 ปรับแก้เป็น หากครูดึงผ้าที่

ตารางที่ 17 ข้อเสนอแนะจากการตรวจสอบแผนการจัดการเรียนรู้ของผู้ทรงคุณวุฒิ (ต่อ)

ประเด็นการปรับแก้	ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ
3) ด้านการใช้ภาษา (ต่อ)	รองขวดน้ำทั้ง 3 ขวดออก“อย่างรวดเร็ว” แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5 ปรับแก้คำถามในขั้นที่ 1 ข้อที่ 3.1 โดยให้ระบุชื่อเป็น “ถ้าทีม A กับทีม B ออกแรงมากกว่า การเคลื่อนที่ของทั้งสองทีมจะเป็นอย่างไร” แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 6 ขั้นที่ 5 ข้อที่ 11.3 ปรับแก้คำถามเป็น แรงทั้งสองมีขนาด“สัมพันธ์กันอย่างไร” แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 9 ปรับแก้คำถามในขั้นที่ 1 ข้อที่ 3.2 เป็น ถ้าเพิ่มรัศมีในการแกว่งให้ยาวขึ้นกว่าเดิม “ความเร็วเชิงเส้นเท่าเดิมหรือไม่ทราบได้อย่างไร”
4) ด้านสื่อและแหล่งเรียนรู้ การวัดและการประเมินผลการเรียนรู้	➲ เสนอให้ปรับแก้จำนวน 3 แผน ดังนี้ แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เอกสารประกอบกิจกรรมที่ 1.2 ให้เพิ่มสัญลักษณ์ของแรงและความเร็ว แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 4 ให้แก้ไขภาพวาดให้ชัดเจน โดยปรับแก้ขนาดของกระดาษทั้งก่อนดึงและหลังดึงให้เท่ากัน แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 10 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ปรับแก้เฉลยเอกสารประกอบกิจกรรมที่ 10.1 โดยเพิ่มเติมข้อความในภาพวาดที่ 2.1 กรณีเพิ่มความยาวเชือก เป็น เมื่อ T เพิ่มขึ้น “นอตจะแกว่งช้าลง”

(6) นำแผนการจัดการเรียนรู้มาปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ และนำเสนอให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบอีกครั้ง จากนั้นจึงนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่าง โดยผู้วิจัยเลือกห้องมัธยมศึกษาปีที่ 4/10 ที่เรียนใน

ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2554 โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ซึ่งเป็นห้องที่มีค่าคะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนไม่แตกต่างกันกับกลุ่มตัวอย่าง

4. การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการทดลองสอนและเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเองทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ตามขั้นตอนดังนี้

4.1 การเตรียมนักเรียนและการเก็บรวบรวมข้อมูลก่อนการทดลอง

เตรียมนักเรียนทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมก่อนทดลองสอน ด้วยการทดสอบนักเรียนทั้งสองกลุ่มโดยใช้แบบวัดมโนทัศน์พื้นฐานเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ จากนั้นแนะนำรายวิชา จุดประสงค์รายวิชา การวัดและประเมินผลให้แก่นักเรียนกลุ่มควบคุม สำหรับนักเรียนกลุ่มทดลองทดสอบนักเรียนด้วยแบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ในสัปดาห์แรกก่อนดำเนินการทดลอง ใช้เวลาในการสอบ 100 นาที จากนั้นเตรียมนักเรียนก่อนทดลองสอนโดยแนะนำวิธีการเรียนตามขั้นตอนของการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ให้กับนักเรียนกลุ่มทดลองเข้าใจใน 3 ประเด็น ได้แก่ (1) ลักษณะการเรียนตามขั้นตอนของการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS (2) บทบาทของนักเรียนในกิจกรรมการเรียนการสอน (3) จุดประสงค์ของการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และประเภทของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

4.2 การดำเนินการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างการทดลอง

ดำเนินการสอนตามแผนการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์โดยใช้ MCIS กับกลุ่มทดลองและดำเนินการสอนตามแผนการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์ด้วยวิธีสอนแบบปกติกับกลุ่มควบคุม เป็นระยะเวลาเท่ากัน คือ 8 สัปดาห์ จำนวน 20 คาบ คาบละ 50 นาที โดยทดลองตั้งแต่วันที่

12 กรกฎาคม พ.ศ.2554 ถึงวันที่ 26 สิงหาคม พ.ศ.2554 และเก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างเรียนจากการสังเกตกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์โดยใช้แบบประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อีกครั้งในคาบเรียนสุดท้ายของแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 10 เรื่อง การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

จากการทดลองจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ได้ข้อค้นพบที่สำคัญ 4 ประการดังนี้

1) การใช้สีแตกต่างกันในกระบวนการสร้างแบบจำลอง ทำให้ครูสามารถตรวจสอบพัฒนาการทางความคิดความเข้าใจของนักเรียนได้ การใช้ดินสอวาดแบบจำลองเพื่อแสดงความคิดที่เป็นข้อสมมติฐานในขั้นที่ 2 *ขั้นการสร้างแบบจำลองเบื้องต้น* ทำให้ครูทราบความรู้เดิมของนักเรียน การใช้สีแตกต่างกันยังทำให้ครูทราบการเปลี่ยนแปลงความรู้หลังจากนักเรียนได้นำหลักฐานที่ได้จากการทดลองมาปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองด้วยปากกาสีแดงในขั้นที่ *4 ขั้นการประเมินและปรับปรุงแบบจำลองเบื้องต้น* ถ้าหลักฐานที่ได้จากการทดลองยังไม่สามารถอธิบายตัวแปรที่ไม่สามารถสังเกตหรือมองเห็นได้ นักเรียนนำผลที่ได้จากการศึกษาสถานการณ์จำลองมาปรับปรุงแบบจำลองด้วยปากกาสีน้ำเงินในขั้นที่ 6 *ขั้นการประเมินและปรับปรุงแบบจำลอง* เพื่อแสดงความคิดความเข้าใจที่เพิ่มมากขึ้น

2) การมีเอกสารประเมินแบบจำลองเป็นรายบุคคล ช่วยให้นักเรียนทราบประเด็นและเกณฑ์ที่ต้องใช้ในการประเมินแบบจำลองของสมาชิก ซึ่งส่งผลให้นักเรียนสามารถแสดงพฤติกรรมการประเมินแบบจำลองได้ชัดเจนและครบถ้วน อีกทั้งเอกสารประเมินแบบจำลองนี้ช่วยให้การจัดการเรียนการสอนเป็นไปอย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพ เพราะการจัดการเรียนการสอนในคาบแรกซึ่งนักเรียนไม่มีเอกสารประเมินเป็นรายบุคคล ทำให้ครูต้องคอยกระตุ้นเตือนให้นักเรียนประเมินแบบจำลองของสมาชิกภายในกลุ่มเป็นระยะๆ

3) ใน 3 สัปดาห์แรกพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ประสบปัญหาในการสร้างแบบจำลองที่นำเสนอการทดลอง โดยให้ความสำคัญกับประเด็นรองซึ่งนักเรียนใช้เวลาในการวาดและตกแต่งแผนภาพที่แสดงการทดลองมากกว่าการวาดเพื่อบอกความคิดที่ใช้ในการทดลอง ทั้งนี้ครูควรแนะนำถึงประเด็นสำคัญที่นักเรียนต้องวาดและเขียนเพียงเท่านั้น

4) ครูสามารถสังเกตเห็นพัฒนาการการสร้างแบบจำลองทางความคิดของนักเรียนได้ในสัปดาห์ที่ 3 ตัวอย่างเช่น ในการสร้างแบบจำลองเบื้องต้นเดิมนักเรียนมักสร้างแบบจำลองที่แสดงเพียงรูปลักษณ์ภายนอก ต่อมานักเรียนมีการเพิ่มรายละเอียดลงในแบบจำลองมากขึ้น เป็นต้น

4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลหลังการทดลอง

หลังจากดำเนินการทดลองสอนครบตามแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 10 แผน ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลหลังการทดลองกับนักเรียนทั้ง 2 กลุ่ม สำหรับนักเรียนกลุ่มทดลองวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ด้วยแบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ใช้เวลาสอบ 100 นาที และดำเนินการวัดมโนทัศน์ของนักเรียนกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมด้วยแบบวัดมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ ใช้เวลาสอบ 50 นาที

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ค่าสถิติสำเร็จรูป SPSS version 17.0 ดังนี้

5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มทดลองวิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ย ($\overline{x}$) ค่าเฉลี่ยร้อยละ ($\overline{x}_{\text{ร้อยละ}}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของคะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งพิจารณาจากคะแนนในสองส่วน คือ คะแนนเฉลี่ยการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และคะแนนเฉลี่ยกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ วิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1) นำผลคะแนนทั้งสองส่วนมาเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ร้อยละ 70 ซึ่งจัดอยู่ในระดับดี ได้แก่ คะแนนเฉลี่ยกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อยู่ที่ระดับคะแนน 11 คะแนน และคะแนนเฉลี่ยการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อยู่ที่ระดับคะแนน 121 คะแนน

2) ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเลขคณิตของคะแนนที่ได้จากแบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มทดลองระหว่างก่อนและหลังเรียนด้วยสถิติทดสอบที (t-test) กำหนดระดับนัยสำคัญ (α) ที่ระดับ .05

5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อวัดมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

มโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ของนักเรียนกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม วิเคราะห์โดยหาค่าเฉลี่ย ($\overline{x}$) ค่าเฉลี่ยร้อยละ ($\overline{x}_{ร้อยละ}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของคะแนนที่ได้จากแบบวัดมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ ของนักเรียนกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม วิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1) นำผลคะแนนที่ได้จากแบบวัดมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ของนักเรียนกลุ่มทดลอง มาเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ร้อยละ 70

2) ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเลขคณิตของคะแนนที่ได้จากแบบวัดมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุมหลังการทดลอง โดยใช้สถิติทดสอบทดสอบที (t-test) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญ (α) ที่ระดับ .05

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยเรื่อง ผลของการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ที่มีต่อความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ผู้วิจัยนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์มโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนพิจารณาจากข้อมูล 2 แหล่ง คือ (1) ผลการทดสอบความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และ (2) ผลการประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) ผลการทดสอบความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เป็นคะแนนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์จากการทดสอบนักเรียนกลุ่มทดลองก่อนเรียนและหลังเรียน ด้วยแบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีคะแนนเต็ม 153 คะแนน จากนั้นนำคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ ซึ่งกำหนดไว้ที่ร้อยละ 70 (Guttersrud, 2007; Angell et. al, 2008) และนำมาวิเคราะห์ดังนี้

1.1) เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ของกลุ่มทดลองกับเกณฑ์ระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่กำหนดไว้

ตารางที่ 18 ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ค่าเฉลี่ยร้อยละ ($\overline{X}_{ร้อยละ}$) และระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ของนักเรียนกลุ่มทดลอง (n = 52)

ประเภทของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้			ระดับความสามารถ
		$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}_{ร้อยละ}$	
1. ภาพวาด	36	22.27	3.57	61.86	พอใช้
2. การทดลอง	27	16.50	3.63	61.11	พอใช้
3. กราฟิก	27	19.31	4.05	71.51	ดี
4. สมการทางคณิตศาสตร์	27	21.00	5.93	77.78	ดี
5. ข้อความมโนทัศน์	36	20.94	5.30	58.17	ต้องปรับปรุง
รวม	**153**	**100.02**	**22.48**	**66.09**	**พอใช้**

เมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ยและร้อยละรวมของแบบจำลองทั้ง 5 แบบโดยเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70 ที่กำหนด พบว่า ระดับความสามารถด้านการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มทดลองจัดอยู่ในระดับพอใช้ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาแต่ละรายการพบว่า แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนสร้างได้ในระดับดี คือ แบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์และกราฟิก (แสดงในแผนภาพที่ 10 และ 11) ส่วนแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนสร้างได้ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดมี 3 แบบ คือ แบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาด (แสดงในแผนภาพที่ 12) และแบบจำลองที่นำเสนอการทดลอง (แสดงในแผนภาพที่ 13) ซึ่งนักเรียนมีความสามารถในระดับพอใช้ ในขณะที่แบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์ (แสดงในแผนภาพที่ 14) นักเรียนมีความสามารถอยู่ในระดับต้องปรับปรุง

ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 5 แบบของนักเรียนโดยเรียงตามลำดับความสามารถแสดงได้ดังแผนภาพที่ 10-14

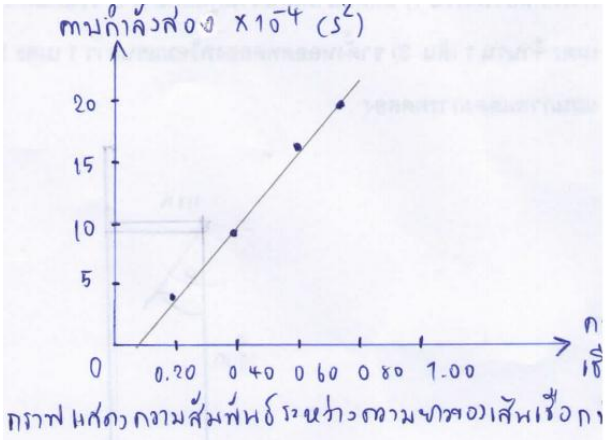
(1) แบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งนักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองประเภทนี้ในระดับดี

สมการทางคณิตศาสตร์ คือ $y = ax + c$	y แทนด้วย ความกำลังสอง T^2 (s^2)
	x แทนด้วย รัศมีที่ใช้ในการเคลื่อนที่ r (m)
ฉะนั้น สมการทางคณิตศาสตร์เมื่อแทนด้วยตัวแปรทางฟิสิกส์ คือ $T^2 = ar + c$	

แผนภาพที่ 10 *ผลงานการสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลมของนักเรียนกลุ่มทดลองที่สามารถสร้างได้ในระดับดี*

จากตัวอย่างแบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ข้างต้นแสดงถึงความสามารถในการสร้างแบบจำลองของนักเรียนในระดับดี กล่าวคือ นักเรียนสามารถเลือกสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แทนแบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟ และระบุตัวแปรที่ใช้แทนในความสัมพันธ์ของสมการทางคณิตศาสตร์ได้ถูกต้อง

(2) แบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิก ซึ่งนักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองประเภทนี้ในระดับดี

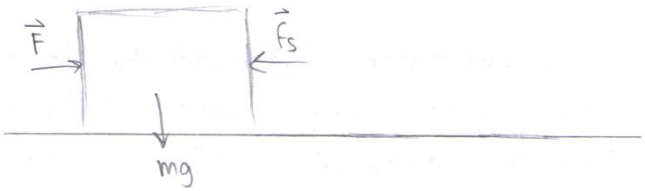


แผนภาพที่ 11 *ผลงานการสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิกเรื่องการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ของนักเรียนกลุ่มทดลองที่สามารถสร้างได้ในระดับดี*

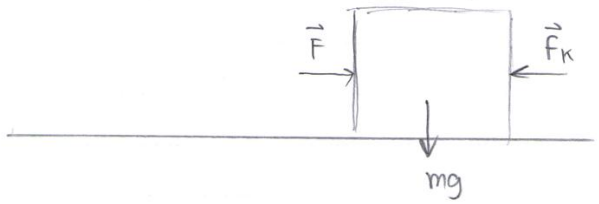
จากตัวอย่างแบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิกที่เขียนมาในรูปแบบกราฟข้างต้นแสดงถึงความสามารถในการสร้างแบบจำลองของนักเรียนในระดับดี กล่าวคือ นักเรียนสามารถระบุชื่อกราฟ ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามในแกน พร้อมทั้งลากเส้น Best Fit Line เพื่อแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรได้ถูกต้อง

(3) แบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาด ซึ่งนักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองประเภทนี้ในระดับพอใช้

ลังไม้เริ่มเคลื่อนที่



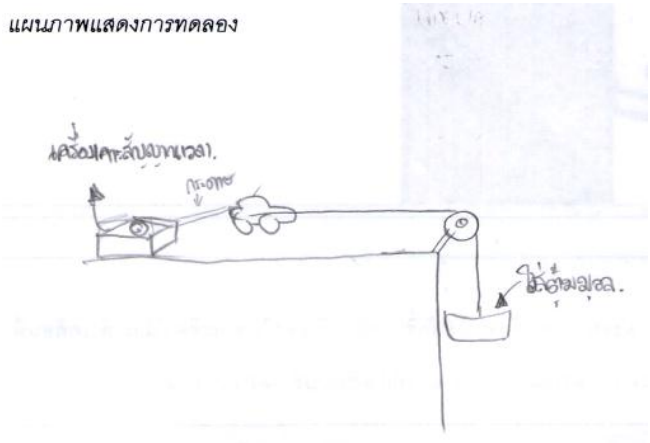
ลังไม้กำลังเคลื่อนที่



แผนภาพที่ 12 *ผลงานการสร้างแบบจำลองที่ใช้ภาพวาดเรื่อง แรงเสียดทานและกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ของนักเรียนกลุ่มทดลองที่สามารถสร้างได้ในระดับพอใช้*

จากตัวอย่างแบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาดข้างต้นแสดงถึงความสามารถในการสร้างแบบจำลองของนักเรียนในระดับพอใช้ กล่าวคือ นักเรียนไม่สามารถระบุแรงเสียดทานให้เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัส การใช้สัญลักษณ์ที่ไม่ถูกต้อง ดังเห็นได้จากการระบุประเภทของแรงเสียดทานและขนาดความยาวของลูกศรคลาดเคลื่อน

(4) แบบจำลองที่นำเสนอด้วยการทดลอง ซึ่งนักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองประเภทนี้อยู่ในระดับพอใช้



ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

1.เตรียมอุปกรณ์ นำกระดาษติดกับรถ ทำตามรูปด้านบน

2.เพิ่มมวลทีละก้อน

3.คำนวณค่าความเร่งจากกระดาษ

แผนภาพที่ 13 *ผลงานการสร้างแบบจำลองที่นำเสนอการทดลองเรื่องกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน ของนักเรียนกลุ่มทดลองที่สามารถสร้างได้ในระดับพอใช้*

จากตัวอย่างแบบจำลองที่นำเสนอการทดลองข้างต้นแสดงถึงความสามารถในการสร้างแบบจำลองของนักเรียนในระดับพอใช้ กล่าวคือ นักเรียนวาดภาพแสดงวิธีการทดลองไม่ชัดเจน ดังเห็นได้จากการระบุตัวแปรที่ศึกษาไม่ชัดเจน นอกจากนั้นการเขียนข้อความอธิบายขั้นตอนการดำเนินการทดลองไม่เป็นลำดับและไม่สอดคล้องกับภาพวาด

(5) แบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์ ซึ่งนักเรียนมีระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองประเภทนี้อยู่ในระดับต้องปรับปรุง

กรณีลังไม้ยังคงหยุดนิ่งอยู่กับที่ นักเรียนเขียนอธิบายว่า ...

❷ “$\sum F = 0$ *แรงที่ผลักลังไม้**ไม่สามารถชนะ**แรงเสียดทานได้จึงนิ่ง*❶

และ กรณีลังไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง นักเรียนเขียนอธิบายว่า ...

❷ “$\sum F = ma$ *แรงที่ผลัก**มีมากพอ**จึงทำให้เกิดความเร็วเปลี่ยนไปเพราะมีความเร่ง*❶

แผนภาพที่ 14 *ผลงานการสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์เรื่อง แรงเสียดทาน กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1และ 2 ของนิวตัน ของนักเรียนกลุ่มทดลองที่สามารถสร้างได้ในระดับต้องปรับปรุง*

จากตัวอย่างแบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์ข้างต้นแสดงถึงความสามารถในการสร้างแบบจำลองของนักเรียนในระดับต้องปรับปรุง กล่าวคือ นักเรียนไม่ได้ระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้องและไม่เขียนอธิบายเพื่อเชื่อมโยงระหว่างตัวแปรดังกรอบหมายเลข 2 นอกจากนั้นการเขียนอธิบายปรากฏการณ์ของนักเรียนไม่ใช้คำจำกัดความทางฟิสิกส์ที่ถูกต้องแต่

นักเรียนเขียนอธิบายโดยใช้ภาษาแบบบอกเล่าหรือใช้คำทั่วไป ดังเห็นได้จากกรอบหมายเลข 1 “แรงที่ผลักลังไม้ไม่สามารถชนะแรงเสียดทานได้ และแรงที่ผลักมีมากพอ” ตามลำดับ

1.2) เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มทดลองระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS

เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยด้านการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยของคะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนในแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ทุกประเภทอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ตารางที่ 19 ค่าเฉลี่ย ($\overline{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าที (t) ของคะแนนความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มทดลอง (n = 52) ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS

ประเภทของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์	คะแนนเต็ม	ค่าสถิติ				t
		ก่อนเรียน		หลังเรียน		
		$\overline{x}$	S.D.	$\overline{x}$	S.D.	
1. ภาพวาด	36	13.25	3.97	22.27	3.57	6.09*
2. การทดลอง	27	7.83	3.81	16.50	3.63	5.94*
3. กราฟิก	27	9.65	4.19	19.31	4.05	5.98*
4. สมการทางคณิตศาสตร์	27	8.42	6.53	21.00	5.93	5.14*
5. ข้อความมโนทัศน์	36	13.13	4.33	20.94	5.30	4.12*
รวม	153	52.29	22.83	100.02	22.48	5.45*

*$p < .05$

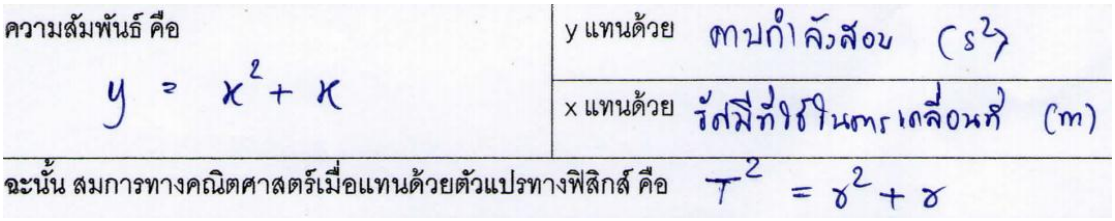
จากตารางที่ 19 เมื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยด้านการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ระหว่างก่อนและหลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS รวมทั้ง 5 แบบ

พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

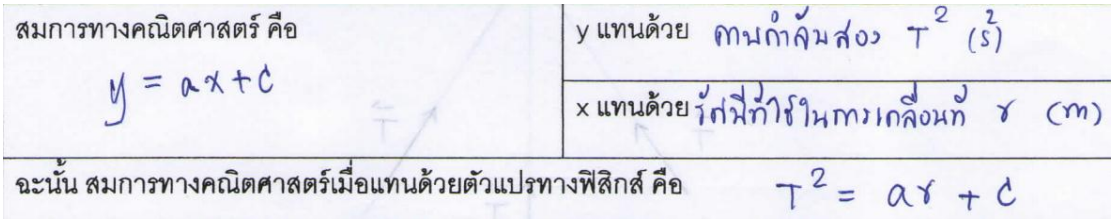
ตัวอย่างการเปรียบเทียบการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มทดลองระหว่างก่อนและหลังเรียน นำเสนอโดยพิจารณาคะแนนการสร้างแบบจำลองหลังเรียนที่อยู่ในระดับดีของแบบจำลองแต่ละแบบ แสดงดังแผนภาพที่ 14-18

ตัวอย่างที่ 1 *แบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์*

ผลงาน<u>ก่อนเรียน</u>อยู่ในระดับพอใช้



ผลงาน<u>หลังเรียน</u>อยู่ในระดับดี

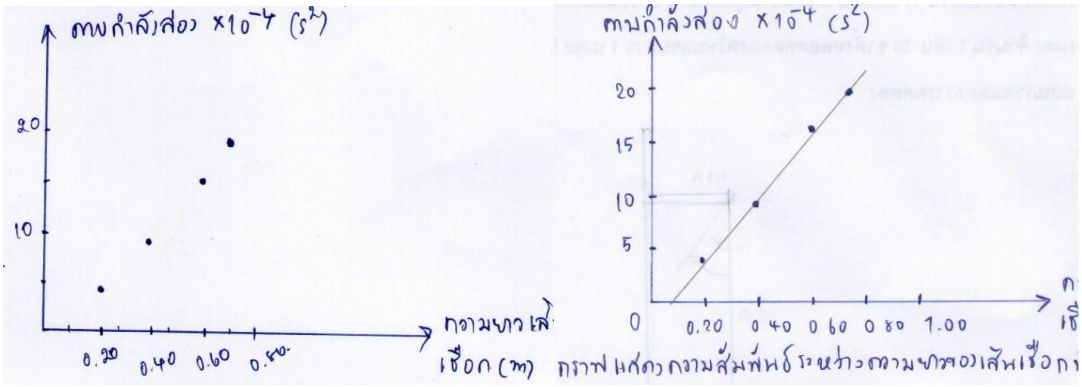


แผนภาพที่ 15 *ผลงานการสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์เรื่องการเคลื่อนที่แบบวงกลม ของนักเรียนกลุ่มทดลองระหว่างก่อนและหลังเรียน*

จากภาพตัวอย่างผลงานนักเรียนที่มีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หลังเรียนอยู่ในระดับดีข้างต้นพบว่า หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS แล้วนักเรียนสามารถเลือกสมการทาคณิตศาสตร์ได้สอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษาและระบุสัญลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์ลงในตัวแปรทางคณิตศาสตร์ได้ถูกต้องหลังเรียน ซึ่งต่างจากก่อนการเรียนที่นักเรียนเลือกสมการทางคณิตศาสตร์และแทนค่าได้คลาดเคลื่อนที่จากปรากฏการณ์

ตัวอย่างที่ 2 *แบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิกที่เป็นกราฟ*

ผลงาน<u>ก่อนเรียน</u>อยู่ในระดับพอใช้ *ผลงาน<u>หลังเรียน</u>อยู่ในระดับดี*

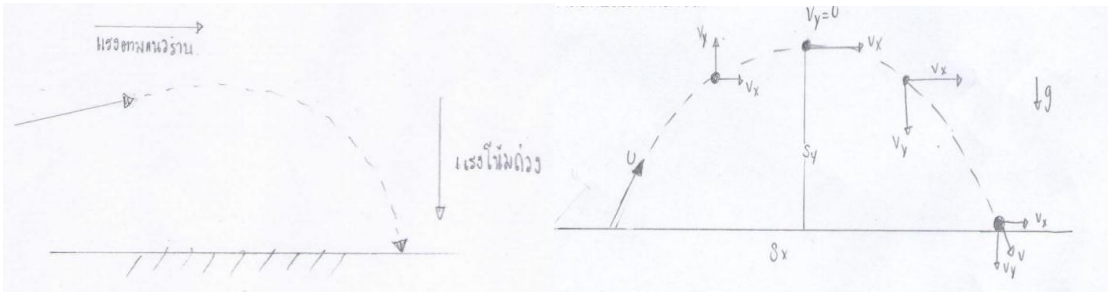


แผนภาพที่16 *ผลงานการสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิก เรื่องการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายของนักเรียนกลุ่มทดลองระหว่างก่อนและหลังเรียน*

จากภาพตัวอย่างผลงานนักเรียนที่มีความสามารถในการสร้างแบบจำลองแสดงด้วยกราฟิกหลังเรียนอยู่ในระดับดีข้างต้นพบว่า หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS แล้วนักเรียนสามารถเขียนชื่อกราฟโดยระบุตัวแปรที่ศึกษาได้ครบถ้วน แสดงค่าของตัวแปรอิสระบนแกน x และแสดงค่าตัวแปรตามบนแกน y ระบุหน่วยของตัวแปรได้ถูกต้อง อีกทั้งยังสามารถกำหนดจุดแสดงความสัมพันธ์จากข้อมูลที่กำหนดพร้อมลากเส้น Best Fit Line ได้

ตัวอย่างที่ 3 *แบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาด*

ผลงาน<u>ก่อนเรียน</u>อยู่ในระดับพอใช้ *ผลงาน<u>หลังเรียน</u>อยู่ในระดับดี*

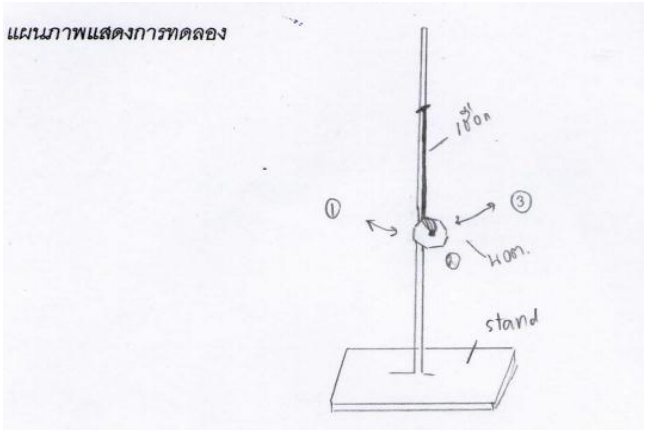


แผนภาพที่ 17 *ผลงานการสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาดเรื่องการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ของนักเรียนกลุ่มทดลองระหว่างก่อนและหลังเรียน*

จากภาพตัวอย่างผลงานนักเรียนที่มีความสามารถในการสร้างแบบจำลอง การสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาดหลังเรียนอยู่ในระดับดีข้างต้นพบว่า หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS แล้วนักเรียนสามารถวาดภาพโดยระบุตัวแปรอันเป็นสาเหตุให้เกิดปรากฏการณ์ได้ครบถ้วน ซึ่งพัฒนาจากก่อนการเรียนที่นักเรียนยังขาดการระบุสาเหตุที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์เป็นภาพวาดหรือใช้สัญลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์ และการแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรในปรากฏการณ์ที่ศึกษา

ตัวอย่างที่ 4 *แบบจำลองที่นำเสนอด้วยการทดลอง*

ผลงาน<u>ก่อนเรียน</u>อยู่ในระดับพอใช้



ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

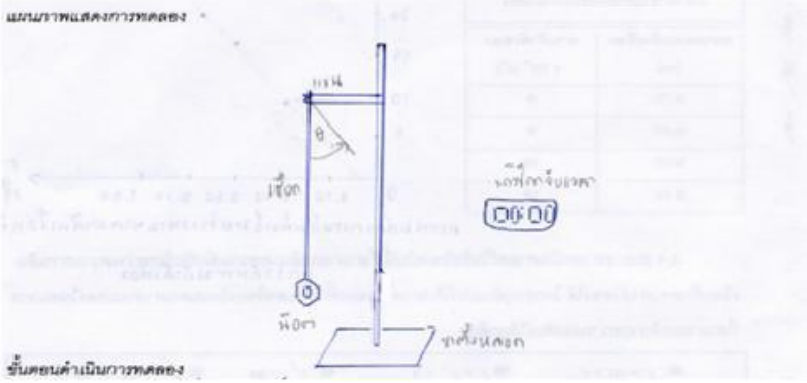
1. ใช้อุปกรณ์ดังภาพ

2. ปรับความยาวเส้นเชือกเป็น 0.5 m

3. เริ่มปล่อยนอตจากตำแหน่งที่ 1 และจับเวลาทันที รอให้นอตกลับสู่ตำแหน่งที่ 1 อีกครั้ง แล้วบันทึกเวลา ณ ตำแหน่งที่ 1

4. ปรับความยาวเส้นเชือกเพิ่มขึ้นทีละ 10 cm (0.1 m) แล้วทำตามข้อ 2-3

ผลงานหลังเรียนอยู่ในระดับดี



ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

1. จัดเตรียมอุปกรณ์ดังภาพ

2. เริ่มแกว่งนอตจากมุม θ โดยกุมมุม θ ให้คงที่ทุกครั้งที่แกว่ง เริ่มปล่อยนอตจากนั้นจับเวลาทันที นับจำนวนรอบที่นอตเคลื่อนที่ได้ 20 รอบ จากนั้นหยุดเวลา

3. บันทึกผล และวัดความยาวเชือกที่ใช้

4. เปลี่ยนระดับความยาวเชือกไปเรื่อยๆ แล้วทำตามข้อ 2 และ 3 ทำซ้ำอีก 3 ครั้ง

5. นำข้อมูลมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเชือกกับคาบ^2

แผนภาพที่ 18 *ผลงานการสร้างแบบจำลองที่นำเสนอด้วยการทดลอง เรื่องการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย ของนักเรียนกลุ่มทดลองระหว่างก่อนและหลังเรียน*

จากภาพตัวอย่างผลงานนักเรียนที่มีความสามารถในการสร้างแบบจำลองที่นำเสนอการทดลองหลังเรียนอยู่ในระดับดีข้างต้นพบว่า หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS แล้วนักเรียนบางกลุ่มสามารถวาดภาพแสดงขั้นตอนการทดลองโดยระบุสิ่งที่ต้องการศึกษาลงในแผนภาพได้ และเขียนวิธีการทดลองเป็นลำดับขั้นตอนในตัวแปรที่ศึกษาได้ ซึ่งพัฒนาจากก่อนการเรียนที่นักเรียนยังขาดความชัดเจนในวัตถุประสงค์ที่ศึกษา

ตัวอย่างที่ 5 *แบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์*

ผลงาน<u>ก่อนเรียน</u>อยู่ในระดับพอใช้

"แหลนมีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ โดยมีแรงขว้าง คือ แรงในแนวราบ ทำให้แหลนเคลื่อนที่ตรงออกไปในแนวขนานกับพื้น และมีแรงดึงดูดของโลก ดึงแหลนให้โค้งตกลงมา"

ผลงาน<u>หลังเรียน</u>อยู่ในระดับดี

"เป็นการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ โดยมีความเร็วของวัตถุ 2 ทิศ คือ ความเร็วตามแนวแกน x (v_x) ซึ่งมีค่าคงที่ และมีความเร็วในแนวแกน y (v_y) มีความเร่งในแกน y คือ ค่า g โดยวัตถุจะเคลื่อนที่ในแนวระนาบด้วยความเร็วคงที่ และถูกแรงโน้มถ่วงดึงให้ตกลงสู่พื้น"

แผนภาพที่ 19 *ผลงานการสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์ เรื่องการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ของนักเรียนกลุ่มทดลองระหว่างก่อนและหลังเรียน*

จากภาพตัวอย่างผลงานนักเรียนที่มีความสามารถในการสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์หลังเรียนอยู่ในระดับดีข้างต้นพบว่า หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS แล้วนักเรียนบางกลุ่มสามารถเขียนอธิบายโดยแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรได้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของปรากฏการณ์ที่ศึกษาโดยมีการอ้างเหตุผลเชื่อมโยงกับมโนทัศน์ได้ถูกต้อง ซึ่งพัฒนาจากก่อนการเรียนที่นักเรียนยังขาดการอ้างเหตุผลเชื่อมโยงกับมโนทัศน์

(2) **ผลการประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์** เป็นคะแนนจากการสังเกตพฤติกรรมการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มทดลองในการเรียนคาบสุดท้ายของการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ซึ่งพิจารณากระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนใน 4 องค์ประกอบ ได้แก่ (1) การสร้าง (2) การปรับปรุง (3) การประเมิน (4) การนำไปใช้ โดยนำคะแนนเฉลี่ยมาเทียบกับเกณฑ์ระดับความสามารถของกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ซึ่งกำหนดไว้ที่ร้อยละ 70 ผลการประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์แสดงดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ค่าเฉลี่ย ($\overline{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ค่าเฉลี่ยร้อยละ($\overline{x}_{ร้อยละ}$) และระดับความสามารถของกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ของนักเรียนกลุ่มทดลอง (n = 52)

กระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์	**คะแนนเต็ม**	**ค่าสถิติ**			**ระดับความสามารถ**
		$\overline{x}$	S.D.	$\overline{x}_{ร้อยละ}$	
1. การสร้าง	4	2.77	0.81	69.50	ดี
2. การปรับปรุง	4	2.94	1.07	73.56	ดี
3. การประเมิน	4	2.92	0.52	73.08	ดี
4. การนำไปใช้	4	2.21	0.41	55.29	พอใช้
รวม	**16**	**10.85**	**2.81**	**67.81**	**ดี**

เมื่อพิจารณารวมทุกรายการของกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์โดยเทียบกับเกณฑ์ซึ่งกำหนดไว้ที่ร้อยละ 70 พบว่า ระดับความสามารถด้านกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองจัดอยู่ในระดับดี อีกทั้งเมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ยและร้อยละของแต่ละรายการ พบว่า ระดับความสามารถด้านกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดมี 3 รายการ คือ การสร้าง การปรับปรุง และการประเมินซึ่งอยู่ในระดับดี แต่อย่างไรก็ตามระดับความสามารถด้านกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดพบว่ามี 1 รายการ คือ การนำไปใช้ซึ่งจัดอยู่ในระดับพอใช้

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์มโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

มโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ ของนักเรียนพิจารณาจากผลการทดสอบมโนทัศน์หลัก ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ผลการวัดมโนทัศน์หลักเป็นคะแนนจากการทดสอบมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ด้วยแบบวัดมโนทัศน์หลักแบบเลือกตอบแบบสองตอน ซึ่งมีคะแนนเต็ม 20 คะแนน โดยทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน จากนั้นนำคะแนนมาวิเคราะห์ดังนี้

1) เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์หลักเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่หลังเรียนของกลุ่มทดลองกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่สูงกว่าร้อยละ 70 (วิชาการและมาตรฐาน, 2552: 18) ได้ผลแสดงดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ค่าเฉลี่ย ($\overline{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าเฉลี่ยร้อยละของคะแนนมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ของนักเรียนกลุ่มทดลอง (n = 52)

มโนทัศน์เรื่อง	คะแนนเต็ม	ค่าสถิติ		
		$\overline{x}$	S.D.	$\overline{x}_{\text{ร้อยละ}}$
กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่	20	14.09	2.07	70.45

จากตารางที่ 21 พบว่า หลังจากที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่เท่ากับ 14.09 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 70.45 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละที่กำหนดไว้

2) เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์หลักเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ หลังเรียนของกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม ได้ผลแสดงดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าที (t) ของคะแนนมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ระหว่างนักเรียนกลุ่มทดลอง (n = 52) และกลุ่มควบคุม (n=50)

มโนทัศน์ เรื่อง	คะแนนเต็ม	ค่าสถิติ				t
		กลุ่มทดลอง		กลุ่มควบคุม		
		$\overline{X}$	S.D.	$\overline{X}$	S.D.	
กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่	20	14.09	2.07	9.47	3.22	4.27*

*p < .05

จากตารางที่ 22 พบว่าคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 14.09 คะแนน ซึ่งสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 9.47 คะแนน จึงสรุปได้ว่านักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ หลังเรียนสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง มุ่งศึกษาผลของการจัดการเรียนการสอนที่ใช้ MCIS ที่มีต่อความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และมโนทัศน์เรื่องกฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย กลุ่มตัวอย่างคือนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) กรุงเทพมหานคร ที่เรียนในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2554 จำนวน 102 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลองที่เรียนฟิสิกส์ด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS จำนวน 52 คน กลุ่มควบคุมที่เรียนฟิสิกส์ด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยวิธีสอนแบบปกติ จำนวน 50 คน เวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนการสอนทั้งสองกลุ่มเท่ากันคือ 20 คาบ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ มีการเก็บรวบรวมข้อมูลก่อนการทดลองด้วยแบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ เก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างการทดลองด้วยการประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในการเรียนคาบเรียนสุดท้าย และเก็บรวบรวมข้อมูลหลังการทดลองด้วยการทดสอบมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยสถิติค่าเฉลี่ย ($\overline{x}$) ค่าเฉลี่ยร้อยละ ($\overline{x}_{\text{ร้อยละ}}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และทดสอบสมมติฐานด้วยสถิติทดสอบที (t-test)

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1.เมื่อพิจารณาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนจากคะแนนทั้ง 2 ด้านคือ ด้านการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ สรุปได้ว่านักเรียนที่เรียนฟิสิกส์ด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS มีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับพอใช้

2.หลังเรียนฟิสิกส์ด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS แล้วนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์สูงกว่าก่อนเรียน

3.นักเรียนที่เรียนฟิสิกส์ด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS มีคะแนนเฉลี่ยร้อยละมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ สูงกว่าร้อยละ 70

4.นักเรียนที่เรียนฟิสิกส์ด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS มีมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ หลังเรียนสูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยวิธีสอนแบบปกติ

อภิปรายผล

ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่า การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ในวิชาฟิสิกส์ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และมีความรู้ความเข้าใจในมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ได้ การนำเสนอการอภิปรายจึงแบ่งเป็น 2 ประเด็น คือ 1) ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และ 2) มโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ ซึ่งได้อภิปรายตามลำดับดังนี้

1. **ความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์**

ผลการวิจัยสรุปว่า นักเรียนกลุ่มทดลองที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS มีความสามารถในการสร้างแบบจำลองอยู่ในระดับพอใช้ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1 เมื่อพิจารณาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนจากความสามารถใน 2 ส่วน พบว่า (1) การสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์จัดอยู่ในระดับพอใช้ (2) กระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์จัดอยู่ในระดับดี ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Schwarz et al. (2009) ที่ใช้ขั้นตอนการเรียนการสอนการสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาการสร้างแบบจำลองของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นที่เรียนในวิชาฟิสิกส์ ผลการศึกษาพบว่านักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับที่ 3 (ระดับดี) จาก 4 ระดับ การที่นักเรียนกลุ่ม

ทดลองมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับพอใช้ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเหตุผลดังต่อไปนี้

เหตุผลประการสำคัญที่ทำให้นักเรียนสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับพอใช้อาจเนื่องมาจากธรรมชาติหรือลักษณะเฉพาะของวิชาฟิสิกส์ที่เนื้อหาสาระมีความเป็นนามธรรมสูง แม้ว่าปรากฏการณ์ที่ศึกษานั้นจะมีอยู่จริงแต่อาจมองไม่เห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือสัมผัสไม่ได้ เช่น การศึกษาเกี่ยวกับแรงและผลของแรง เป็นต้น และมักเกี่ยวข้องกับการคำนวณหรือการใช้ตัวเลขในการอธิบายและทำนายปรากฏการณ์ทางกายภาพ ซึ่งเป็นเรื่องที่นักเรียนทำความเข้าใจได้ยาก ดังที่ Mulhall and Gunstone (2008: 435) ได้กล่าวถึงธรรมชาติของวิชาฟิสิกส์ไว้ว่า “เป็นสาขาที่พยายามอธิบายปรากฏการณ์ของสิ่งต่างๆ ที่มีขนาดใหญ่มากๆ ไปจนขนาดเล็กมากๆ โดยมีความเป็นนามธรรมและเกี่ยวข้องกับคณิตศาสตร์เป็นอย่างมาก” อีกทั้งการนำเสนอเนื้อหาที่ศึกษาเกี่ยวกับแรงและผลของแรงในหลายรูปแบบและเกี่ยวข้องกับคำศัพท์เฉพาะทางฟิสิกส์ ทำให้เป็นเรื่องที่ค่อนข้างซับซ้อน สอดคล้องกับข้อคิดเห็นของ Meltzer (2002: online) ที่กล่าวถึงปัญหาในการเรียนรู้ของนักเรียนว่า “นักเรียนมีปัญหาในการเรียนรู้ที่นำเสนอในรูปแบบการเป็นตัวแทนทางความคิดที่หลากหลายและวิชาฟิสิกส์มีคำจำกัดความซึ่งต่างจากความหมายที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ทำให้นักเรียนทำความเข้าใจได้ยาก” โดยเฉพาะปัญหาในด้านความเข้าใจมโนทัศน์ในวิชาฟิสิกส์ อย่างเช่น เรื่องกลศาสตร์ เป็นต้น (Obaidat and Malkawi, 2009)

เมื่อพิจารณาระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์โดยแยกแต่ละประเภทแบบจำลอง นักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองได้แตกต่างกัน กล่าวคือ นักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองอยู่ในระดับดี เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดคือ (1) แบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ และ (2) แบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิก และแบบจำลองที่นักเรียนสร้างได้ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด คือ (3) แบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาด (4) แบบจำลองที่นำเสนอการทดลอง และ (5) แบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์ การที่นักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองแต่ละประเภทแตกต่างกันนั้น อภิปรายได้ดังนี้

(1) การสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิก นักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองประเภทนี้ในระดับดี ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก แบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิกโดยเฉพาะกราฟ เป็นแบบจำลองที่ต้องอาศัยข้อมูลหรือหลักฐานการทดลองแล้ววิเคราะห์เป็นความสัมพันธ์ด้วยกราฟ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการแสดงความเข้าใจในตัวแปร 2 ตัวแปร จึงทำให้แบบจำลองประเภทนี้มีความชัดเจนและนักเรียนสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย ประกอบกับการที่นักเรียนมีความเข้าใจในการระบุค่าของตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม และการลากเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้สอดคล้องกับตัวแปรในปรากฏการณ์ที่ศึกษา จึงอาจส่งผลให้นักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟอยู่ในระดับดี

(2) การสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ นักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองประเภทนี้ในระดับดี ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกราฟและสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีความสอดคล้องกัน จึงอาจทำให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงสมการทางคณิตศาสตร์ไปยังลักษณะของแบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟได้ดี ถ้านักเรียนสามารถเขียนกราฟอธิบายปรากฏการณ์ได้สอดคล้องและถูกต้องจะทำให้การเขียนทางคณิตศาสตร์มีโอกาสถูกต้องเช่นกัน จึงจะทำให้นักเรียนสามารถเลือกสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์และสามารถสรุปเป็นแนวคิดหลักของปรากฏการณ์นั้นๆ ได้ อีกทั้งถ้านักเรียนเข้าใจความสัมพันธ์ของตัวแปรโดยระบุหรือแทนค่าตัวแปรที่ใช้แทนในความสัมพันธ์ของสมการทางคณิตศาสตร์ได้ถูกต้อง จึงอาจส่งผลให้นักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์อยู่ในระดับดี

(3) การสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาด นักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองประเภทนี้ในระดับพอใช้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการวาดภาพเพื่อแสดงความรู้ความเข้าใจทางฟิสิกส์นั้นไม่เพียงแต่จะเป็นการวาดภาพสิ่งที่เป็นนามธรรมออกมาเป็นรูปธรรมแล้ว ยังมีเรื่องของระบบสัญลักษณ์ต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้องอีกด้วย ดังนั้นการสร้างแบบจำลองทางความคิดที่แสดงด้วยภาพวาดจึงค่อนข้างยาก ดังที่ Gilbert, Boulter and Elmer (2000: 11) ได้กล่าวถึงแบบจำลองซึ่งสรุปได้ว่า แบบจำลองที่สร้างขึ้นต้องเด่นชัดและต้องประกอบด้วยเอกลักษณ์ที่มีความเป็นนามนามธรรมซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาหรือไม่สามารถจับต้องได้แต่ประพฤติตัว

ราวกับเป็นวัตถุที่สามารถสัมผัสได้ เช่น แรง เป็นต้น

*(4) การสร้างแบบจำลองที่นำเสนอด้วยการทดลอง*นั้นพบว่า นักเรียนมีระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองที่นำเสนอการทดลองอยู่ในระดับพอใช้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากนักเรียนจะต้องแสดงขั้นตอนการทดลองออกมาเป็นภาพวาดที่ชัดเจน มีลำดับ พร้อมทั้งต้องแสดงการเขียนข้อความอธิบายที่สอดคล้องกับภาพวาดดังกล่าว จึงกล่าวได้ว่าการสร้างแบบจำลองที่นำเสนอด้วยการทดลองนั้น นักเรียนต้องมีความสามารถทั้งการวาดภาพและการเขียนข้อความอธิบายให้มีความสอดคล้องกัน ทำให้แบบจำลองที่นำเสนอการทดลองเป็นแบบจำลองแบบผสมที่ต้องแสดงความสัมพันธ์ในภาพวาดและการเขียนข้อความอธิบายขั้นตอน จึงทำให้แบบจำลองมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ดังที่ Gilbert (2004: 117-118) ได้อธิบายไว้ว่าแบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองที่เกิดจากการผสมกันของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในลักษณะที่เป็นภาษาและภาพ จึงอาจทำให้แบบจำลองนี้มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

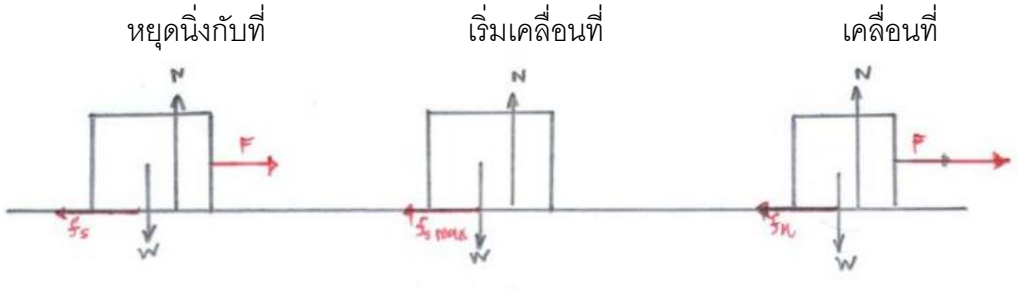
*(5) การสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์*นั้นพบว่า นักเรียนมีระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองประเภทนี้อยู่ในระดับต้องปรับปรุง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการสร้างแบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์นั้น นักเรียนต้องมีความเข้าใจที่ถูกต้อง ชัดเจน สามารถระบุตัวแปรที่เกี่ยวข้องและเชื่อมโยงตัวแปรเพื่ออธิบายมโนทัศน์ รวมทั้งต้องแสดงความสามารถในการเขียนข้อความที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรได้ถูกต้อง ทำให้การเขียนแบบจำลองประเภทนี้นักเรียนมักประสบปัญหาจากการใช้ภาษาที่ขาดการระบุความสัมพันธ์ของตัวแปรและคำศัพท์เฉพาะทางฟิสิกส์ ดังที่ Meltzer (2002) ได้กล่าวถึงปัญหาการเขียนอธิบายของนักเรียนว่า “นักเรียนมีปัญหาในการเรียนรู้ที่จะเขียนเชื่อมโยงกับคำศัพท์เฉพาะในวิชาฟิสิกส์ โดยมักใช้ภาษาที่ใช้กันทั่วไป (Ordinary Language) แทนการใช้คำจำกัดความทางฟิสิกส์ที่ถูกต้อง”

ถึงแม้ว่าผลการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนจะอยู่ในระดับพอใช้ แต่พบว่ากระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนจัดอยู่ในระดับดี ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเหตุผล 3 ประการดังนี้

(1) การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS นั้นอยู่บนพื้นฐานแนวคิดของการสืบสอบที่เน้นแบบจำลองเป็นฐาน ซึ่งเป็นกิจกรรมการเรียนการสอนที่เน้นการปฏิบัติการสร้างแบบจำลองทาง

วิทยาศาสตร์ (Scientific Modeling Practice) ใน 4 ด้าน กล่าวคือ 1) การสร้างแบบจำลองเพื่อแสดงสิ่งที่ตนเองเข้าใจ 2) การใช้แบบจำลองในการสร้างคำอธิบายและตั้งสมมติฐานเพื่อตรวจสอบกับปรากฏการณ์ใหม่ หรือใช้ในการให้เหตุผล 3) การประเมินแบบจำลองเพื่อปรับปรุงข้อมูลที่ค้นพบ และ 4) การปรับปรุงแบบจำลองเพื่อสะท้อนความเข้าใจที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ Schwarz et al. (2009) และ Baek et al. (2010) ได้แสดงข้อคิดเห็นสรุปได้ว่า การสร้างแบบจำลองจะช่วยให้นักเรียนเข้าใจในกระบวนการสร้าง การประเมิน และการสื่อสารความรู้ทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น

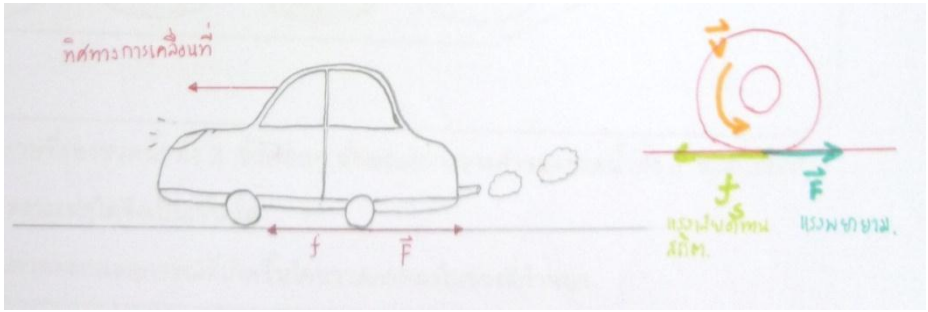
(2) การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS นั้นมีกิจกรรมที่ให้นักเรียนได้ประเมินการสร้างแบบจำลองถึง 3 ครั้ง คือ การนำผลการศึกษาค้นคว้า ทดลองมาปรับปรุงแก้ไขแบบจำลอง ในขั้นที่ 4 *ขั้นการประเมินและปรับปรุงแบบจำลองเบื้องต้น* การนำผลที่ได้จากการศึกษาความคิดทางวิทยาศาสตร์และสถานการณ์จำลองประเมินและปรับปรุงแบบจำลองในขั้นที่ 6 *ขั้นการประเมินและปรับปรุงแบบจำลอง* และการประเมินโดยให้ผลสะท้อนกับสมาชิกภายในกลุ่มในขั้นที่ 7 *ขั้นการประเมินโดยเพื่อน* การประเมินการสร้างแบบจำลองดังกล่าวนี้จะช่วยให้นักเรียนได้ฝึกกระบวนการทางความคิดทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจที่ชัดเจนมากขึ้น ดังข้อคิดเห็นของ Wiggins and McTighe (2005: 243) สรุปได้ว่า การให้นักเรียนได้ตรวจสอบจุดแข็งจุดอ่อนของแบบจำลอง เช่น ในการเขียนหรือการวาดภาพ นั้นเป็นการช่วยให้นักเรียนทำความเข้าใจอันลุ่มลึกเพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีคุณภาพ และเป็นกระบวนการทางความคิดที่ช่วยให้เข้าใจปรากฏการณ์ได้ ตัวอย่างการสร้างและการปรับปรุงแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่แสดงถึงกระบวนการสร้างแบบจำลอง แสดงดังแผนภาพต่อไปนี้



แผนภาพที่ 20 *การสร้างและการปรับปรุงแบบจำลองที่ใช้ภาพวาดเรื่อง แรงเสียดทานและประเภทของแรงเสียดทาน ของนักเรียนกลุ่มทดลอง*

จากแผนภาพเป็นช่วงสัปดาห์ที่ 3 ของการฝึกกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนเริ่มมีพัฒนาการในการสร้าง การประเมิน การปรับปรุงแบบจำลอง นักเรียนเกิดการปรับเปลี่ยนความคิดจากเดิมสังเกตได้จากการวาดด้วยดินสอว่า การสร้างแบบจำลองเป็นการวาดภาพสิ่งที่สังเกตได้จากลักษณะภายนอกของวัตถุหรือปรากฏการณ์เท่านั้น ไปเป็นความคิดใหม่ซึ่งสังเกตได้จากการวาดด้วยปากกาสีแดงว่า การสร้างแบบจำลองต้องระบุความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ซึ่งอาจไม่สามารถสังเกตได้โดยตรง

(3) การที่นักเรียนได้นำแบบจำลองที่เป็นมติไปใช้ทำนาย อธิบาย หรือแก้ปัญหาในสถานการณ์ใหม่ ช่วยให้นักเรียนมีประสบการณ์การใช้กระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในการนำความรู้ไปใช้เพิ่มมากขึ้น ดังที่ Meltzer (2002) ได้ทำการวิจัยให้นักเรียนวาดภาพ เขียนกราฟ สมการ และเขียนข้อความอธิบายซึ่งพบว่า นักเรียนนำกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไปใช้อธิบายและแก้ปัญหาภาระงานที่ครูมอบหมายให้ได้เพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างแผนภาพ



แผนภาพที่ 21 *การนำแบบจำลองไปใช้เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะที่รถยนต์กำลังเคลื่อนที่ ของนักเรียนกลุ่มทดลอง*

จากการเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นทั้งทางด้านการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้นักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับพอใช้

ในส่วนของการเปรียบเทียบความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ระหว่างก่อนและหลังเรียน ผลการวิจัยสรุปได้ว่า นักเรียนกลุ่มทดลองมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และเมื่อพิจารณาความสามารถในการสร้างแบบจำลองแต่ละประเภทพบว่า คะแนนเฉลี่ยหลังเรียนของการสร้างแบบจำลองทั้ง 5 ประเภทสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกิจกรรมการเรียนการสอนของ MCIS เน้นให้นักเรียนกลุ่มทดลองมีส่วนร่วมในการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ การสำรวจตรวจสอบเชิงประจักษ์ การหารือกันเกี่ยวกับแบบจำลองและมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ การประเมินโดยเพื่อน การโต้แย้งเพื่อลงมติสร้างแบบจำลอง และการให้เหตุผลด้วยแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ทำให้นักเรียนได้เรียนรู้และฝึกการสร้างแบบจำลอง การตรวจสอบ การประเมินและปรับปรุงแบบจำลองอย่างต่อเนื่อง จึงถือเป็นลักษณะที่สำคัญที่ส่งเสริมการเรียนรู้แก่นักเรียนตามทฤษฎีคอนสตรักติวิสต์ ที่เน้นให้นักเรียนมีส่วนร่วมอย่างกระตือรือร้นในการเรียนรู้หรือเป็นการเรียนรู้ที่เน้นนักเรียนเป็นผู้ลงมือปฏิบัติ (Krause, Bochner and Duchesne, 2003) รวมไปถึงภาระงานที่เกิดขึ้นในทุกๆ ครั้งที่เรียนผ่านกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อันได้แก่ การสร้าง การประเมิน การปรับปรุงและการนำแบบจำลองไปใช้ ส่งผลให้นักเรียนได้ฝึกการแสวงหาความรู้อย่างนักวิทยาศาสตร์ ดังจะเห็นได้จากกิจกรรมดังต่อไปนี้

(1) นักเรียนได้สร้างแบบจำลองเบื้องต้นเป็นรายบุคคลในขั้นตอนที่ 2 ซึ่งเป็นขั้นที่ให้นักเรียนได้แสดงความเข้าใจของตนเองที่มีอยู่ต่อปรากฏการณ์ที่จะศึกษา แสดงการคิดสมมติฐานออกมาในลักษณะของภาพวาดที่แสดงความสัมพันธ์ของสิ่งต่างๆ ในปรากฏการณ์ ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนสามารถกำหนดสมมติฐานและแสวงหาความรู้โดยใช้กระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ได้ ดังที่ Gilbert (1995 อ้างถึงใน Gobert and Buckley, 2000: 891) ได้กล่าวไว้ว่าแบบจำลองมีส่วนสำคัญในการตั้งสมมติฐานเพื่อทดสอบความคิด และการบรรยายปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ นอกจากนี้แบบจำลองยังเป็นเครื่องมือสำคัญในด้านการคิดและการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากแบบจำลองช่วยส่งเสริมการสำรวจตรวจสอบ การสร้างความเข้าใจ และการสื่อสารความรู้ได้ (Harrison and Treagust, 2000: 1011-1012)

(2) นักเรียนได้นำข้อมูลและหลักฐานที่ได้จากการสำรวจตรวจสอบ ศึกษา ค้นคว้า มาพิจารณาเพื่อประเมินแบบจำลองเบื้องต้น และปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองของตนเองในขั้นที่ 4 ขั้นการประเมินและปรับปรุงแบบจำลองเบื้องต้น และได้นำความคิดทางวิทยาศาสตร์มาปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองของตนเองอีกครั้งในขั้นที่ 6 *ขั้นการประเมินและปรับปรุงแบบจำลอง* ซึ่งสามารถช่วยให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจชัดเจนมากยิ่งขึ้น ดังที่ Schwarz et al. (2009) ได้กล่าวไว้ว่า “แบบจำลองนั้นช่วยให้นักเรียนมีความคิดชัดเจนมากขึ้น” จึงอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนของการสร้างแบบจำลองทั้ง 5 ประเภทสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

2. มโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

ผลการวิจัยสรุปว่า ภายหลังการทดลองสอนโดยใช้ MCIS นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์เรื่องกฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ร้อยละ 70 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 3 และนักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์เรื่องกฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่สูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 4 โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Halloun (1998) Hestenes (2006) Nieminen, Savinainen and Viiri (2010) ที่ทำการวิจัยจัดการเรียนการสอนโดยให้นักเรียนได้สร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในวิชาฟิสิกส์ ซึ่งผลการวิจัยพบว่านักเรียนมีคะแนนมโนทัศน์เรื่องกลศาสตร์หลังการทดลองเพิ่มขึ้น

การที่นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยมโนทัศน์เรื่องกฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด และสูงกว่ากลุ่มควบคุมอาจเนื่องมาจากเหตุผลดังต่อไปนี้

(1) การที่นักเรียนได้ประเมินและปรับปรุงแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง ถือเป็นกระบวนการตรวจสอบความคิดที่เป็นสมมติฐาน หากนักเรียนพบว่าแบบจำลองสร้างขึ้นนั้นยังไม่สมบูรณ์มากพอ นักเรียนใช้หลักฐานที่ได้จากการทดลองหรือสารสนเทศใหม่มาแก้ไขแบบจำลองในขั้นที่ 4 *การประเมินและปรับปรุงแบบจำลองเบื้องต้น* และขั้นที่ 6 *การประเมินและปรับปรุง*

แบบจำลอง กระบวนการดังกล่าวช่วยให้นักเรียนเกิดความคิดความเข้าใจที่ลึกซึ้งชัดเจนมากขึ้น ดังที่ Ramirez Clement and Oviedo (2008) ได้กล่าวถึงกระบวนการที่นักวิทยาศาสตร์และคนทั่วไปใช้สร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไว้ว่า “กระบวนการที่นักวิทยาศาสตร์และคนทั่วไปใช้สร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ในการสำรวจตรวจสอบและให้เหตุผลเป็นการสร้างมโนทัศน์และปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ที่คลาดเคลื่อน” อีกทั้งการที่นักเรียนได้ปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองถึง 2 ครั้ง ช่วยให้นักเรียนได้ทบทวนความรู้เดิม สะท้อนความรู้ความเข้าใจที่เพิ่มขึ้นจากการได้สำรวจและค้นหาในระหว่างที่สร้างแบบจำลอง ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีคอนสตรักติวิสต์ที่กล่าวว่า “การเรียนรู้เป็นกระบวนการสร้างและจัดระบบโครงสร้างความรู้ใหม่อย่างต่อเนื่อง นักเรียนจะต้องสร้างและปรับโครงสร้างใหม่ด้วยตนเอง หรือเป็นผู้ให้ความหมายกับประสบการณ์ที่ได้รับให้เป็นไปตามความเข้าใจของตนเองโดยใช้ประสบการณ์ที่มีอยู่เดิมเป็นพื้นฐาน” (Bodner et al., 2001, อ้างถึงใน Hrepic, 2004: 7) และการให้นักเรียนได้ร่วมกันตรวจสอบข้อบกพร่องของแบบจำลองโดยพิจารณาในประเด็นที่เหมือนและแตกต่างกันของแบบจำลองแต่ละกลุ่มจากการนำเสนอแบบจำลองของตนเองและให้เพื่อนร่วมชั้นเรียนเป็นผู้ประเมินในขั้นที่ 7 *การประเมินโดยเพื่อน* ช่วยให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ในมโนทัศน์จากการเป็นผู้ตรวจสอบได้ สอดคล้องกับแนวคิดของ Wiggins and McTighe (2005: 243) ซึ่งสรุปได้ว่า “การให้นักเรียนได้พิจารณาจุดแข็งและจุดอ่อนของแบบจำลองนั้นเปรียบเสมือนการใช้ความเข้าใจอันลุ่มลึกซึ่งช่วยให้นักเรียนมีพัฒนาการในการปรับเปลี่ยนมโนทัศน์ได้เพิ่มมากขึ้น”

(2) การนำความรู้ไปใช้ในขั้นตอนที่ 9 *การใช้แบบจำลองเพื่อทำนายหรืออธิบาย* เป็นการแสดงการนำความรู้ไปใช้และให้เหตุผลในสถานการณ์ปัญหาที่สอดคล้องกัน ซึ่งนักเรียนได้ใช้แบบจำลองในการอธิบายหรือแก้ปัญหาจนเกิดความเข้าใจมโนทัศน์ในปรากฏการณ์ที่ศึกษาอย่างสมบูรณ์ ดังที่ Buckley et. al. (2004: 23; อ้างถึงใน Johnson-Laird, 1983) ได้กล่าวไว้ว่า “ความเข้าใจเกิดจากการสร้างแบบจำลองทางความคิดจากปรากฏการณ์ที่ศึกษา หลังจากได้แก้ปัญหา (Problem-Solving) การลงข้อสรุป (Inferencing) และการให้เหตุผล (Reasoning) จากการใช้แบบจำลองทางความคิด” และสอดคล้องกับแนวคิดของ Schwarz et al. (2009) ที่ได้กล่าวถึงความสำคัญของการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ไว้ว่า “การสร้างแบบจำลองเป็นส่วนสำคัญ

ที่ก่อให้เกิดการสร้างความรู้ทางวิทยาศาสตร์”

(3) การที่นักเรียนกลุ่มทดลองได้แสดงความคิด ความเข้าใจในรูปแบบที่หลากหลายด้วยกิจกรรมการเรียนการสอน MCIS นี้ ทำให้นักเรียนกลุ่มทดลองได้เรียนรู้และฝึกการสร้างแบบจำลองออกมาในแบบที่หลากหลายได้แก่ ภาพวาด แผนการทดลอง กราฟิก สมการ และการเขียนบรรยาย เพื่อแสดงความรู้ความเข้าใจในมโนทัศน์ของปรากฏการณ์ที่ศึกษาในทุกๆ ครั้งที่เรียน ซึ่งช่วยให้นักเรียนได้มีโอกาสใช้มโนทัศน์แสดงความเข้าใจต่อปรากฏการณ์ที่ศึกษาได้ ดังข้อสรุปงานวิจัยของ Meltzer (2002) ที่ศึกษาผลของการใช้รูปแบบการเป็นตัวแทนที่หลากหลายในการเรียนรู้มโนทัศน์ทางฟิสิกส์ของนักเรียน เพื่อศึกษาความสามารถในการใช้และเขียนรูปแบบการแสดงความเข้าใจของนักเรียนอันได้แก่ การเขียนสมการ แผนภาพ และกราฟ ผลการวิจัยสรุปได้ว่าการใช้รูปแบบดังกล่าวช่วยให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจในมโนทัศน์ที่ถูกต้องชัดเจนเพิ่มมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

จากผลการนำการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ไปทดลองใช้ในการจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์ เพื่อพัฒนาความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์และมโนทัศน์เรื่องกฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้และการวิจัยในครั้งต่อไป ดังนี้

1. **ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้**

การจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS เป็นแนวทางหนึ่งที่ร่วมสมัยที่ครูสามารถนำไปใช้ในวิชาวิทยาศาสตร์ เนื่องจากเป็นการจัดการเรียนการสอนแนวใหม่ที่ในแต่ละขั้นตอนการสอนเน้นให้นักเรียนเรียนรู้และเกิดความรู้ความเข้าใจในมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์จากการสร้างแบบจำลองทางความคิด และการสื่อสารความรู้ความเข้าใจด้วยแบบจำลองในวิชาวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้การนำการจัดการเรียนการสอนดังกล่าวไปใช้ ครูควรมีการเตรียมตัวในด้านต่างๆ ได้แก่ การให้นักเรียนใช้ปากกาที่มีสีแตกต่างกันเพื่อนำมาใช้ในการสร้างและปรับปรุงแบบจำลอง ซึ่งจะ

ช่วยให้ครูทราบพัฒนาการความคิดความเข้าใจของนักเรียนได้ ครูควรให้นักเรียนใช้แบบประเมินแบบจำลองเป็นรายบุคคลในขั้นการประเมินและปรับปรุงแบบจำลองและขั้นการประเมินโดยเพื่อน ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนแสดงพฤติกรรมการประเมินแบบจำลองได้ชัดเจนและครบถ้วน เนื่องจากเป็นต่างเป็นขั้นที่สะท้อนกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ด้านการประเมิน

นอกจากนี้ในการเตรียมการจัดการเรียนการสอนครูควรพิจารณาความเหมาะสมของแบบจำลองแต่ละแบบกับเนื้อหาที่ใช้ในการจัดการเรียนการสอน เนื่องจากแบบจำลองแต่ละแบบมีความเหมาะสมกับเนื้อหาวิทยาศาสตร์แตกต่างกัน กล่าวคือ ลักษณะเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับความคิดสำคัญ กฎ และหลักการทางวิทยาศาสตร์ที่ต้องเรียนรู้ด้วยการปฏิบัติการทดลองหรือใช้สถานการณ์จำลอง มีความเหมาะสมกับการจัดการเรียนการสอนที่ให้นักเรียนสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ได้ครบทั้ง 5 แบบ และลักษณะเนื้อหาเชิงบรรยายที่เกี่ยวข้องกับข้อเท็จจริงและคำจำกัดความต่างๆ มีความเหมาะสมกับแบบจำลอง 4 แบบ ได้แก่ แบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาด แบบจำลองที่นำเสนอการทดลอง แบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟ และแบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์ นอกจากนี้ยังพบว่าแบบจำลองแต่ละแบบมีจุดประสงค์ในการนำไปใช้แตกต่างกัน กล่าวคือ แบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาดมีจุดประสงค์เพื่อกำหนดสมมติฐานที่ใช้ตรวจสอบความคิดและอธิบายปรากฏการณ์ แบบจำลองที่นำเสนอการทดลองเหมาะสมกับการใช้วางแผนในการสำรวจตรวจสอบ แบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิกใช้เพื่อจัดกระทำและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจตรวจสอบ แบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์เหมาะสมกับการใช้เพื่อบอกความสัมพันธ์และทำนายปรากฏการณ์ และแบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์เหมาะสมในการนำไปใช้เพื่อลงข้อสรุปเป็นความคิดสำคัญ

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในครั้งต่อไป

2.1 เนื่องจากผลการวิจัยครั้งนี้พบว่า นักเรียนมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองที่แสดงข้อความมโนทัศน์อยู่ในระดับต้องปรับปรุง ซึ่งแสดงให้เห็นว่านักเรียนประสบปัญหาในการเขียนข้อความอธิบายที่ต้องอาศัยการเชื่อมโยงกับคำศัพท์เฉพาะทางวิทยาศาสตร์และการระบุ

ความสัมพันธ์ของตัวแปรทางวิทยาศาสตร์ ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไป จึงควรมีการศึกษาเพื่อพัฒนาความสามารถในการเขียนข้อความอธิบายทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน

2.2 ควรมีการนำผลการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ไปพัฒนาความสามารถทางวิทยาศาสตร์ที่สำคัญ เช่น ความสามารถในการให้เหตุผล ความสามารถในการแก้ปัญหา เป็นต้น โดยใช้แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์หรือรูปแบบการเป็นตัวแทนทางความคิด เป็นต้น เนื่องจากรูปแบบการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS มีขั้นตอนสำคัญที่ช่วยส่งเสริมการให้เหตุผลแก่นักเรียนกล่าวคือ ในขั้นการสร้างและปรับปรุงแบบจำลองซึ่งนักเรียนต้องนำหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ได้จากการสำรวจตรวจสอบมาใช้สร้างแบบจำลองและปรับปรุงแบบจำลองเพื่ออธิบายปรากฏการณ์อย่างเป็นเหตุเป็นผล รวมทั้งในขั้นตอนที่ 9 ขั้นการใช้แบบจำลองเพื่อทำนายหรืออธิบาย ซึ่งนักเรียนต้องนำความรู้ความเข้าใจมโนทัศน์ไปใช้แก้ปัญหาในสถานการณ์ใหม่ โดยสามารถแสดงออกในลักษณะของแบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาด แบบจำลองที่นำเสนอการทดลอง และแบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ภาควิชาฟิสิกส์. (2546). **ฟิสิกส์ 1**. พิมพ์ครั้งที่ 12., กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทิศนา แขมมณี. (2552). **ศาสตร์การสอน: องค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ**. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธีระชัย ปูรณโชติ. (2537). **ประมวลสาระชุดวิชาสารัตถะและวิทยวิธีทางวิชาวิทยาศาสตร์ หน่วยที่ 1-4**. นนทบุรี: โรงพิมพ์แห่งมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ปรีชา วงศ์ชูศิริ. (2531). **อนุสรณ์งานศพ ปรีชา วงศ์ชูศิริ ณ เมรุวัดธาตุทอง 18 ธันวาคม 2531**. ม.ป.ท.:ม.ป.พ.

ผดุงยศ ดวงมาลา. (2523). **การสอนวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษา**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พิมพันธ์ เดชะคุปต์ และคณะ. (2549). **วิธีวิทยาการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ด้วยหลักการสอน 3S+I: การบูรณาการที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง**. กรุงเทพฯ: สถาบันพัฒนาคุณภาพวิชาการ.

ภพ เลาหไพบูลย์. (2537). **แนวการสอนวิทยาศาสตร์**. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช.

ราชบัณฑิตยสถาน. (2551). **พจนานุกรมศัพท์ศึกษาศาสตร์ อักษร A-L ฉบับราชบัณฑิตยสถาน**. กรุงเทพฯ: อรุณการพิมพ์.

เลขาธิการสภาการศึกษา, สำนักงาน. (2552). **สภาวการณ์การศึกษาไทยในเวทีโลก พ.ศ. 2550**. กรุงเทพฯ: พริกหวานกราฟฟิค.

เลขาธิการสภาการศึกษา, สำนักงาน. (2554). **คู่มือสร้างความรู้ความเข้าใจแก่ผู้บริหาร ครู และนักเรียนเพื่อเตรียมความพร้อมรองรับการประเมินตามโครงการวิจัยนานาชาติ (PISA และ TIMSS)**. กรุงเทพฯ: พริกหวานกราฟฟิค.

วีระชาติ สวนไพรินทร์. (2531). **การสอนวิทยาศาสตร์**. กรุงเทพมหานคร: คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรรณทิพา รอดแรงค้า. (2544). **การสอนวิทยาศาสตร์ที่เน้นทักษะกระบวนการ**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สถาบันพัฒนาคุณภาพวิชาการ.

วรรณทิพา รอดแรงค้า และพิมพันธ์ เดชะคุปต์. (2551). **การพัฒนาการคิดของครูด้วยกิจกรรมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สถาบันพัฒนาคุณภาพวิชาการ.

วิชาการและมาตรฐาน, สำนัก. (2552). **เอกสารประกอบหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 "แนวปฏิบัติการวัดและประเมินผลการเรียนรู้"**. กรุงเทพมหานคร: ชุมนุมสหกรณ์ประเทศไทย.

สุจินต์ วิศวธีรานนท์. (2538). **ระบบการเรียนการสอน**. นนทบุรี: โรงพิมพ์แห่งมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2554). **ปัจจัยที่ทำให้ระบบโรงเรียนประสบความสำเร็จ ข้อมูลพื้นฐานจาก โครงการ PISA 2009**. กรุงเทพฯ: สสวท.

โสภาพรรณ แสงศัพท์. (2538). **มโนภาพที่คลาดเคลื่อนทางฟิสิกส์ในวิชาแสงที่ได้จากการพิจารณาคำตอบอย่างเดียวกับวิธีที่พิจารณาทั้งคำตอบและเหตุผลของนักเรียนโปรแกรมวิทยาศาสตร์ในเขตกรุงเทพมหานคร กลุ่มโรงเรียนที่ 5**. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิริชัย กาญจนวาสี. (2552). **ทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม**. พิมพ์ครั้งที่ 6, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศึกษาธิการ, กระทรวง. คณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, สำนักงาน. วิชาการและมาตรฐานการศึกษา, สำนักงาน. (2551). **ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551**. จตุจักร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

ศึกษาธิการ, กระทรวง. ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, สถาบัน. (2553). **หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐานฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 กลุ่มสาระการเรียนรู้**

วิทยาศาสตร์ (สำหรับนักเรียนที่เน้นวิทยาศาสตร์). พิมพ์ครั้งที่ 1., ลาดพร้าว: โรงพิมพ์ สกสค.

ศึกษาธิการ, กระทรวง. (2551). **หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551**. กรุงเทพฯ: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

อวยพร เรืองตระกูล. (2552). **สถิติประยุกต์ทางพฤติกรรมศาสตร์ I**. ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

American Association for the Advancement of Science (AAAS). (1990). **Science for All Americans: Project 2061**.[online] Available from: http://www.project2061.org/publications/sfaa/online/intro.htm[August 11, 2010]

Angell, C. et al. (2006). Rationale for and implementation of an empirical-mathematical modeling approach in upper secondary physics in Norway. In **Proceedings GIERP Conference 2006**.[online]. Available from:http://www.science.uva.nl/research/amstel/dws/girep2006/index.php?PageName=articles[June 24, 2010]

Angell et al. (2008). An empirical-mathematical modeling approach to upper secondary physics.**Physics Education** 43, 3: 256-264.

Baek, H. et al. (2010). **Engaging Elementary Student in Scientific Modeling**. Paper presented at National Association for Research in Science Teaching.

Bilal, E and Mustafa, E. (2009). Investigating Students' Conceptions of Some Electricity Concepts. **American Journal of Physics** 3, 2: 193-201.

Bodner, G., Klobuchar, M., and Geelan, D. (2001). The many forms of constructivism. **Journal of Chemical Education** 78, 8. Cited in Hrepic, Z. (2004). **Development of a Real-Time Assessment of Students' Mental Models of Sound**

Propagation. Doctoral dissertation, Department of Curriculum and Instruction College of Education Kansas State University.

Brandt, D.S. (2002). Constructivist approaches to teaching internet-related topics. [online]. Available from:http://thorplus.lib.purdue.edu/~techman/cpmstr.html Cited in Hrepic, Z. (2004). **Development of a Real-Time Assessment of Students' Mental Models of Sound Propagation.** Doctoral dissertation, Department of Curriculum and Instruction College of Education Kansas State University.

Buckley, B.C. et al. (2010). Looking inside the black box: assessing model-based learning and inquiry in BioLogica™. **International Journal Learning Technology** 5, 2: 166-190.

Buckley, B.C. et al. (2004). Model-Based Teaching and Learning With BioLogica™: What Do They Learn? How Do They Learn? How Do We Know? **Journal of Science Education and Technology** 13, 1: 23-41.

Buckley, B.C. and Boulter, C.J. (2000). Investigating the Role of Representations and Expressed Models in Building Mental Models. In Gilbert, J.K. Boulter, C.J., **Developing Models in Science Education**, pp.120-135. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Caleon, I. and Subramaniam, R. (2010). Development and Application of a Three-Tier Diagnostic Test to Assess Secondary Students' Understanding of Waves. **International Journal of Science Education** 32, 7: 939-961.

California State, Board of Education. (1998). **Science Content Standards for California Public Schools Kindergarten Through Grade Twelve.**[online]. Available from: http://www.cde.ca.gov/be/st/ss/documents/sciencestnd.pdf[March 2, 2011]

Carnegie Mellon. (2012). **Using Concept Tests.**[online]. Available from: http://www.cmu.edu/teaching/assessment/assesslearning/concepTests.html[January 24, 2012]

Cem, A. et al. (2003). Using the Conceptual Change Intruction to Improve Learning. **Journal of Biological Education** 37(3): 133-137.

Chang, S.N. (2008). The learning effect of modeling ability instruction. **Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching** 9, 2.

Chen, C.C., Lin, H.S., and Lin, M.L. (2002). Developing a Two-Tier Diagnostic Instrument to Assess High School Students' Understanding-The Formation of Images by a Plane Mirror. **Proc. Narl. Sci. Counc. ROC(D)** 12, 3: 106-121.

Coll, R.K., France, B., and Taylor, I. (2005). The role of model/and analogies in science education: implications from research. **International Journal of Science Education** 27, 2: 183-198.

Collins, A. and Gentner, D. (1987). How people construct mental models. Cited in Rea-Ramirez, M. A., Clement, J., and Nunez-Oviedo, M.C. (2008). An Instructional Model Derived from Model Construction and Critism Theory. In Clement, J.J. and Rea-Ramirez, M. A., **Model Based Learning and Instruction in Science** Volume 2., pp. 23-43. Springer Science.

Cotterman, M.E. (2009). **The Development of Preservice Elementary Teachers' Pedagogical Content Knowledge for Scientific Modeling.** Degree of Master of Science. Wright State University.

Cruickshank, D.R. et al. (1995). **The Act of Teaching.** 5th ed. New York: McGraw-Hill.

Cutnell, J.D. and Johnson, K.W. (2007). **Physics.** 7th ed., n.p.: John Wiley & Sons (Asia).

Davis, E.A. et al. (2008). **MoDeLS: Designing Supports for Teachers Using Scientific Modeling.** Paper presented at the Association for Science Teacher Education.

Dolin, J. (2002). Fysikfaget i forandring. Laering og undervisning i fysik i gymnasiet med focus pa dialogiske processer, autencitet og kompetenceudvikling. Roskilde Universitet, Roskilde. Cited in Guttersrud, Ø . (2007). **Mathematical Modeling in Upper Secondary Physics Education**. Doctoral dissertation, Department of Physics Faculty of Mathematics and Natural Sciences University of Oslo.

Ebel, R.L. (1986). **Essential of Educational Measurement.** 2nd ed, New Jersey: Prentic-Hall.

Enger, U., and Yager, R.E. (2001). **Assessing Student Understanding in Science: A Standards-Based K-12 handbook.** Thousand Oaks, Calif: Corwin Press.

Erickson, H.L. (2007). **Concept-based curriculum and instruction: Teaching beyond the facts**. Thousand Oaks: sage.

Etkina, E., Warren, A., and Gentile, M. (2005). The Role of Models in Physics Instruction. **The Physics Teacher** 43: 15-20.

Feldmad, R.S. (1990). **Understanding Psychology**. 5th ed. New York: McGraw-Hill.

Fortus, D. et al. (2010). **High School Students' Modeling Knowledge.** Paper presented at the Association for Science Teacher Education.

Gilbert, J.K. Boulter, C.J. and Elmer, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. In Gilbert, J.K. Boulter, C.J., **Developing Models in Science Education**, pp.3-17. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Gilbert, J.K. et al. (2000). Science and Education: Notions of Reality, Theory and Model. In Gilbert, J.K. Boulter, C.J., **Developing Models in Science Education**, pp.20-40. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Gilbert, J.K. (1995). The role of models and modeling in science education. Cited in Gobert, J.D. and Buckley, B.C. (2000). Model-Based teaching and learning in science education. **International Journal of Science Education** 22, 9: 891-894.

Gilbert, J.K. (1993). Models and modeling in science education. Cited in Harrison, A.G. and Treagust, D.F. (2000). A typology of school science models. **International Journal of Science Education** 22, 9: 1011-1026.

Glynn, S.M., and Duit, R. (1995). Learning science meaningfully: Constructing conceptual model. Cited in Wang, C.Y. (2007). **The Role of Mental-Modeling Ability, Content Knowledge, and Mental Models in General Chemistry Students' Understanding about Molecular Polarity**. Doctoral dissertation, the Faculty of the Graduate School University of Missouri-Columbia.

Greca, I.M. and Moreira, M.A. (2001). Mental, Physical, and Mathematical Models in the Teaching and Learning of Physics. **Sciecne Education** 86, 106-121.

Griffith, W.T. and Brosing, J.W. (2012). **The Physics of Everyday Phenomena: A Conceptual Introduction to Physics**. 7th ed. New York: McGraw-Hill.

Grosslight, L. et al. (1991). Understanding Models and their Use in Science: Conceptions of Middle and High School Students and Experts. **Journal of Research in Science Teaching** 28, 9: 799-822.

Guttersrud, Ø . (2007). **Mathematical Modeling in Upper Secondary Physics Education.** Doctoral dissertation, Department of Physics Faculty of Mathematics and Natural Sciences University of Oslo.

Halloun, I. (1998). Schematic Concepts for Schematic Models of the Real World: The Newtonian Concept of Force. **Science Education** 82: 239-263.

Halloun, I.A. (2006). **Modeling Theory in Science Education.** Dordrecht, The Netherlands: Springer.

Harrison, A.G. and Jong, O.D. (2005). Exploring the Use of Multiple Analogical Models When Teaching and Learning Chemical Equilibrium. **Journal of Research in Science Teaching** 42, 10: 1135-1159.

Harrison, A.G. and Treagust, D.F. (2000). A typology of school science models. **International Journal of Science Education** 22, 9: 1011-1026.

Herr, N. (2008). **The Sourcebook for Teaching Science, grades 6-12: strategies, activities, and instructional Resources.** United States of America: John Wiley & Sons.

Hestenes, D. (2006). Notes for a Modeling Theory of Science, Cognition and Instruction. In Berg, E., Ellermeijer, T., and Sloonten, O., **Proceedings GIREP Conference 2006: Modeling in Physics and Physics Education.** Amstel Institute, Faculty of Science Universiteit van Amsterdam.

Hestenes, D. (2002). **Writing the Physics Lab Report.**[online]. Available from: http://modeling.asu.edu/Modeling-pub/Mechanics_curriculum/%20Intro%20stuff/5-lab%20report%20format.pdf[July 23, 2010]

Hestenes, D. (1996). Modeling Methodology for Physics Teachers. In **Proceedings of the International Conference on Undergraduate Physics Education.** College Park.

Hestenes, D. (1993). **MODELING in the name of the game.** A presentation at the NSF Modeling Conference.[online]. Available from: http://modeling.asu.edu/R&E/ModelingIsTheName_DH93.pdf[July 23, 2010]

Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. **International Journal of Science Education** 14: 541-562. Cited in Justi, R.S. and Gilbert, J.K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modeling, and implications for the

education of modelers. **International Journal of Science Education** 24, 4: 369-387.

Hrepic, Z. (2004). **Development of a Real-Time Assessment of Students' Mental Models of Sound Propagation.** Doctoral dissertation, Department of Curriculum and Instruction College of Education Kansas State University.

Hung, J.F. and Lin, J.C. (2009). **The Development of the Simulation Modeling System and Modeling Ability Evaluation.**[online]. Available from: http://www.sersc.org/journals/IJUNESST/vol2_no4/1.pdf[July 28, 2010]

Ibrahim, B. B. (2009). **Model-based teaching and learning of kinematics in an introductory physics course for underprepared students.** Doctoral dissertation, Department of Physics Faculty of Science at the University of Cape Town.

Ingec, S.K. (2009). Analysing Concept Maps as an Assessment Tool in Teaching Physics and Comparison with the Achievement Tests. **International Journal of Science Education** 31, 14: 1897-1915.

Jackson, V. (2001). The Multidimensional Assessment of Student Performance in Middle School Science. In Daniel P. Shepardson, ed. **Assessment in Science: A Guide to Professional Development and Classroom Practice**, 181-196. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Jacobson, W.J. and Bergman, A.B. (1999). **Science for Children a Book for Teachers.** 3rd ed. Englewood Cliffts, New Jersey: Prentice Hall.

Jewett, J.W. and Serway, R.A. (2008). **Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics.** 7th ed., China: Thomson Brooks/Cole.

Johnson-Laird, P.N. (1983). **Mental Models.** Harvard University Press, Cambridge, MA. Cited in Buckley, B.C. et al. (2004). Model-Based Teaching and Learning With

BioLogica™: What Do They Learn? How Do They Learn? How Do We Know? **Journal of Science Education and Technology** 13, 1: 23-41.

Jones. (1990). Developing a Taxonomy of Science Concepts Based on a Scale of Empirical Distance. **Research in Science Education** 20: 161-170.

Justi, R.S. and Gilbert, J.K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modeling, and implications for the education of modelers. **International Journal of Science Education** 24, 4: 369-387.

Kirkpatrick, L.D. and Francis, G.E. (2007). **Kirkpatrick's Physics: A World View.** 6th ed., California, CA: Thomson Brooks/Cole.

Klopfer, E.L. (1971). **Handbook on Formative and Summative Evaluation.** New York: Addison-Wesley.

Krause, K.L., Bochner, S., and Duchesne, S. (2003). **Educational Psychology for learning and teaching.** South Melbourne, Vic: Thomson Learning Australia.

Lawson, A.E. et al. (2000). What Kinds of Scientific Concepts Exist? Concept Construction and Intellectual Development in College Biology. **Journal of Research in Science Teaching** 37, 9: 996-1018.

Lovell, K. (1961). **The Growth of Basic Mathematical and Scientific Concepts in Children.** Great Britain for the University of London: Neill & Co.

Mayer, J., Kamens, D., and Benavot, A. (1992). School Knowledge for the Masses. Edited by Studies in Curriculum History. London: Falmer. Cited in Gilbert, J.K., Boulter, C.J., and Rutherford, M. (2000). Explanations with Models in Science Education. In Gilbert, J.K. Boulter, C.J., **Developing Models in Science Education**, pp.193-208. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Meltzer, D.E. (2002). **Student learning of physics concepts: efficacy of verbal and written forms of expression in comparison to other representational modes.**[online].

Available from: http://www.physicseducation.net/docs/Victoria-paper-rev.pdf.[February 15, 2011]

Michigan State Board of Education. (2009). **High School Science Content Expectations /Physics.**[online]. Available from: http://www.michigan.gov/documents/Physics_HSCE__168208_7.pdf[March 2, 2011]

Mulhall, P., and Gunstone, R. (2008). Views about Physics held by Physics Teachers with Differing Approaches to Teaching Physics. **Journal of Research in Science Education** 38: 435-462.

National Center for Mathematics and Science. (2002). Explanatory Models in Science. The Board of Regents of the University of Wisconsin System.[online]. Available from: http://ncisla.wceruw.org/muse/MODELS/index.html[July 23, 2010]

National Science Education Standards. (1996). Washington, DC: National Academy Press.

National Science Teachers Association. (1995). **Scope, Sequence, and Coordination of Secondary School Science. Volume 3. A High School Framework for National Science Education Standards.** Washington, DC: NSTA.

Nicolaou, C.T. and Constantinou, C.P. (2007). **Assessing modeling skills, meta-cognitive modeling knowledge and meta-modeling knowledge.**[online]. Available from: http://earli2007.hu/nq/home/scientific_program/programme/proposal_view/&abstractid=71[August 11, 2010]

Nieminen, P., Savinainen, A., and Viiri, J. (2010). Force Concept Inventory-based multiple-choice test for investigating students' representational consistency. **Physics Education Research** 6, 020109-12.

Nitko, A.J. and Brookhart, S.M . (2007). **Educational Assessment of Students.** 5th ed., New Jersey: Pearson Merrill Prentice Hall.

Obaidat, I., and Malkawi, E. (2009). The Grasp of Physics Concepts of Motion: Identifying Particular Patterns in Students' Thinking. **International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning** 3, 1: 1-16.

Odum, A.L., and Kelly, P.V. (2001). Integrating Concept Mapping and the Learning Cycle to Teach Diffusion and Osmosis Concept to High School Biology Student. **Science Education** 85: 615-635.

Ontario, Ministry of Education. (2007). **The Ontario Curriculum Grades 1-8: Science and Technology.**[online]. Available from: http://www.edu.gov.on.ca/eng/curriculum/elementary/scientec18currb.pdf[March 2, 2011]

Ontario, Ministry of Education. (2008). **The Ontario Curriculum Grades 9 and 10: Science.**[online]. Available from: http://www.edu.gov.on.ca/eng/curriculum/secondary/science910_2008.pdf[March 2, 2011]

Ontario, Ministry of Education. (2008). **The Ontario Curriculum Grades 11 and 12: Science.**[online]. Available from: http://www.edu.gov.on.ca/eng/curriculum/secondary/science1112currb.pdf [March 2, 2011]

Ornek, F. (2008). Models in Science Education: Applications of Models in Learning and Teaching Science. **International Journal of Environmental and Science Education** 3, 2: 35-45.

Osborn, R.J., and Whittrock, M.C. (1983). Learning Science: A Generative Process. **Science Education** 67, 4: 489-508. Cited in Osborn, J. (1993). Beyond Constructivism. In **The Proceedings of the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics, NY**: Misconceptions Trust.

Osborn, R.J., and Whittrock, M.C. (1985). The generative learning model and its implication for science education 12: 59-87. Cited in Gilbert, J.K. Boulter, C.J. (2000). Investigating the Role of Representations and Expressed Models in Building Mental Models. In Gilbert, J.K. Boulter, C.J., **Developing Models in Science Education**, pp.120-135. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Ramlo, S.E. (2003). **A Multivariate Assessment of The Effect of The Laboratory Homework Component of A Microcomputer-Based Laboratory for A College Freshman Physics Course.** Doctoral dissertation, The Graduate Faculty of The University of Akron.

Rea-Ramirez, M. A., Clement, J., and Nunez-Oviedo, M.C. (2008). An Instructional Model Derived from Model Construction and Critism Theory. In Clement, J.J. and Rea-Ramirez, M. A., **Model Based Learning and Instruction in Science** Volume 2., pp. 23-43. Springer Science.

Romey, W.D. (1968). **Inquiry Techniques for Teaching Science.** New Jersey: Prentice-Hall.

Rutherford, M. (2000). Models in the Explanations of Physics: The Case of Light. In Gilbert, J.K. Boulter, C.J., **Developing Models in Science Education**, pp.253-269. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Schwarz, C.V. and White, B.Y. (2005). Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding of Scientific Modeling. **Cognition and Instruction** 23, 2: 165-205

Schwarz, C.V. (2009). **A Learning Progression of Elementary Teachers' Knowledge and Practices for Model-Based Scientific Inquiry.**[online]. Available from: http// schwarz.wiki.edu.msu.edu/file/view/Schwarz%20AREA%202009%20TLP%20 session.pdf. [July 23, 2010]

Schwarz, C.V. et al. (2009). Developing a Learning Progression for Scientific Modeling:

Making Scientific Modeling Accessible and Meaningful for Learners. **Journal of Reserarch in Science** 46, 632-654.

Scriven, E.G. (1968). An Analysis of the Types of Concepts Used by Fourth Through Ninth Graders to Explain Meaning. **The Journal of Educational Research** 62, 4: 153-156.

Stavy, R. (1991). Using analogy to overcome misconceptions about conservation of matter. **Journal of Research in Science Teaching** 28, 4: 305-313. Cited in Coll, R.K., France, B., and Taylor, I. (2005). The role of model/and analogies in science education: implications from research. **International Journal of Science Education** 27, 2: 183-198.

Sund, R.B. and Trowbridge, L.W. (1973). **Teaching Science by Inquiry in the Secondary School.** 2nd ed. Ohio: A Bell & Howell.

The International Academy of Education (IAE). (2012) **Teaching science EDUCATIONAL PRACTICES SERIES-17.**[online]. Available from: http://www.curtin.edu.au/ curtin/dept/smec/iae[March 26, 2012]

Tregidgo, D., and Ratcliffe, M. (2000). The use of modeling for improving pupils' learning about cells. School Science Review 81: 53-59. Cited in Ornek, F. (2008). Models in Science Education: Applications of Models in Learning and Teaching Science. **International Journal of Environmental and Science Education** 3, 2: 35-45.

Tsai, C.-C., and Chou, C. (2002). Diagnosing students' alternative conceptions in science. **Journal of Computer Assisted Learning** 18: 157-165.

UNESCO. (2012). **Why is literacy important?**[online]. Available from: http://www.unesco. org/ new/en/education/themes/education-building-blocks/literacy[March 26, 2012]

Van Driel, J.H., and Verloop, N. (1999). Teachers' Knowledge of models and modeling in science. **International Journal of Science Education** 21, 11: 1141-1153.

Vosniadou, S., and Ioannides, C. (1998). From conceptual development to science education: A psychological point of view. **International Journal of Science Education**, 20: 1213-1230.

Wang, C.Y. (2007). **The Role of Mental-Modeling Ability, Content Knowledge, and Mental Models in General Chemistry Students' Understanding about Molecular Polarity.** Doctoral dissertation, the Faculty of the Graduate School University of Missouri-Columbia.

Weizman, A., and Fortus, D. (2007). Using scientific models to learn about shadows. Paper presented at the annual meeting of the National Association of Research in Science Teaching, New Orleans, LA. Cited in Schwarz, C.V. et al. (2009). Developing a Learning Progression for Scientific Modeling: Making Scientific Modeling Accessible and Meaningful for Learners. **Journal of Research in Science** 46, 632-654.

White, B.Y. and Frederiksen, J.R. (1998). Inquiry, Modeling, and Metacognition: Making Science Accessible to All Students. **Cognition and Instruction** 16, 1: 3-118.

Wiggins, G., and Mctighe, J. (2005). **Understanding by Design.** expanded 2nd ed, Virginia USA: Association for Supervision and Curriculum Development.

Windschitl, M. et al. (2008). Beyond the Scientific Method: Model-Based Inquiry as a New Paradigm of Preference for School Science Investigations. **Science Education**, 1-27.

Yoshida, K. (2004). Understanding How the Concept of Fractions Develops: a Vygotskian Perspective. **Group for the Psychology of Mathematics Education** 4: 473-480.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบเครื่องมือวิจัย

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบเครื่องมือวิจัย

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบแผนการจัดการเรียนรู้

รองศาสตราจารย์ ดร.โสภาพรรณ แสงศัพท์	กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อาจารย์ สุรสิงห์ นิรชร	ข้าราชการบำนาญ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ฝ่ายมัธยม
อาจารย์ วิศาล จิตต์วาริน	กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี)

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบแบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

อาจารย์ ดร. ประมวล ศิริผันแก้ว	ข้าราชการบำนาญ สาขาฟิสิกส์ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
อาจารย์ ดร. สธน วิจารณ์วรรณลักษณ์	ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมศักดิ์ เตชะโกสิต	กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบแบบวัดมโนทัศน์พื้นฐานเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

อาจารย์ ตฤษณา เขมะภาตะพันธ์	กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
อาจารย์ ดร.บุรินทร์ อัศวพิภพ	ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาจารย์ วิศาล จิตต์วาริน	กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี)

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบแบบวัดมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

อาจารย์ ตฤษณา เขมะภาตะพันธ์	กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
อาจารย์ ดร.นฤมล สุวรรณจันทร์ดี	ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาจารย์ ธีรศานต์ ปรุงจิตวิทยาภรณ์	กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี)

ภาคผนวก ข

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. การวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วย

    1.1 แบบประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

    1.2 แบบประเมินแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

    1.3 แบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

2. การวัดมโนทัศน์เรื่องกฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ ประกอบด้วย

    2.1 แบบวัดมโนทัศน์พื้นฐาน

    2.2 แบบวัดมโนทัศน์หลัก

ꕥ แบบประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ꕥ

คำชี้แจง

1.แบบประเมินฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ประเมินความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดยสังเกตจากกระบวนการปฏิบัติระหว่างการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS ในขั้นตอนที่ 6 ขั้นการประเมินและปรับปรุงแบบจำลอง ขั้นที่ 7 ขั้นการประเมินโดยเพื่อน ขั้นที่ 8 ขั้นการสร้างแบบจำลองที่เป็นมติ และขั้นที่ 9 ขั้นการใช้แบบจำลองเพื่อทำนายหรืออธิบาย

2.แบบประเมินฉบับนี้ ใช้เกณฑ์การประเมินแบบแยกประเด็น (Analytic Rubrics) ในการประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นลำดับขั้นตอนการปฏิบัติที่ปรากฏในกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ระหว่างการจัดการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS แล้ววิเคราะห์องค์ประกอบที่สำคัญเพื่อใช้สังเกตและประเมินได้ 4 รายการ โดยแต่ละรายการมีระดับคะแนน 4 ระดับ ดังนั้นคะแนนของกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อยู่ในช่วง 4-16 คะแนน โดยมีเกณฑ์ที่บ่งชี้ถึงระดับความสามารถดังนี้

ช่วงคะแนน	ระดับความสามารถ
14 - 16	ความสามารถระดับดีมาก
11 - 13	ความสามารถระดับดี
8 - 10	ความสามารถระดับพอใช้
4 - 7	ความสามารถระดับควรปรับปรุง

ส่วนที่ 1 ผลการประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

ชื่อ.....**นามสกุล**..... **ชั้น**..... **เลขที่**..... **กลุ่มที่**.....
หน่วยการเรียนรู้ที่ ..... **เรื่อง** ..... **สร้างแบบจำลองเรื่อง** .....

รายการประเมิน	ผลการประเมิน			
	4	3	2	1
1.การสร้าง				
2.การปรับปรุง				
3.การประเมิน				
4.การนำไปใช้				
รวมคะแนน				

ระดับความสามารถ

☐ มีความสามารถอยู่ในระดับดีมาก
☐ มีความสามารถอยู่ในระดับดี
☐ มีความสามารถอยู่ในระดับพอใช้
☐ มีความสามารถอยู่ในระดับควรปรับปรุง

ลงชื่อ.....(ผู้ประเมิน)

ส่วนที่ 2 ตารางเกณฑ์การประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

รายการประเมิน	ระดับคะแนน			
	4 (ดีมาก)	3 (ดี)	2 (พอใช้)	1 (ควรปรับปรุง)
1.**การสร้าง** (Construction) (ใช้ในขั้นที่ 8 โดยนักเรียนเริ่มสร้างแบบจำลองในขั้นที่ 2)	➲ สร้างแบบจำลองได้สอดคล้องกับปรากฏการณ์และประเภทของแบบจำลองได้สมบูรณ์ ➲ ระบุตัวแปรที่ใช้แทนปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าได้ครบถ้วน ➲ แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรได้ถูกต้องและชัดเจน	➲ สร้างแบบจำลองได้สอดคล้องกับปรากฏการณ์และประเภทของแบบจำลองได้สมบูรณ์ ➲ ระบุตัวแปรที่ใช้แทนปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าได้ครบถ้วน ➲ แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรไม่ถูกต้องหรือไม่ชัดเจน	➲สร้างแบบจำลองได้สอดคล้องกับปรากฏการณ์และประเภทของแบบจำลองได้สมบูรณ์ ➲ระบุตัวแปรที่ใช้แทนปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าไม่ครบถ้วน ➲แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรไม่ถูกต้องหรือไม่ชัดเจน	➲ สร้างแบบจำลองจากความพอใจส่วนตน ขาดความสัมพันธ์กับปรากฏการณ์ ไม่สอดคล้องตามประเภทของแบบจำลอง ➲ ไม่มีการแสดงตัวแปรหรือสิ่งที่เป็นสาเหตุให้เกิดปรากฏการณ์ ➲ ไม่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปร
2.**การปรับปรุง** (Revision) (ใช้ในขั้นที่ 6)	➲ ปรับปรุงแบบจำลองจากหลักฐานที่ได้จากการทดลองด้วยตนเองหรือจากการเรียนรู้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ➲ แสดงความเข้าใจที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนและถูกต้องสอดคล้องกับปรากฏการณ์	➲ ปรับปรุงแบบจำลองจากหลักฐานที่ได้จากการทดลองด้วยตนเองหรือจากการเรียนรู้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ➲ แสดงความเข้าใจที่เพิ่มขึ้นแต่สอดคล้องกับปรากฏการณ์บางส่วน	➲ ปรับปรุงแบบจำลองจากหลักฐานที่ได้จากการทดลองด้วยตนเองหรือจากการเรียนรู้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ➲ ไม่มีการแสดงความเข้าใจที่เพิ่มขึ้น	➲ ไม่มีการปรับปรุงแบบจำลองหรือปรับปรุงตามความพอใจส่วนตน ➲ ไม่มีการแสดงความเข้าใจที่เพิ่มขึ้น

รายการประเมิน	ระดับคะแนน			
	4 (ดีมาก)	3 (ดี)	2 (พอใช้)	1 (ควรปรับปรุง)
3.การประเมิน (Evaluation) (ใช้ในขั้นที่ 7)	➲ ใช้เกณฑ์ในการประเมินตั้งแต่ 2 เกณฑ์ขึ้นไป ➲ บอกความแตกต่างของแบบจำลองในปรากฏการณ์เดียวกันได้ ➲ ตัดสินได้ว่าแบบจำลองใดอธิบายปรากฏการณ์ได้ดี และดีกว่าแบบจำลองอื่นอย่างไร	➲ ใช้เกณฑ์ในการประเมินตั้งแต่ 2 เกณฑ์ขึ้นไป ➲ บอกความแตกต่างของแบบจำลองในปรากฏการณ์เดียวกันได้ ➲ ตัดสินได้ว่าแบบจำลองใด อธิบายปรากฏการณ์ได้ดี แต่บอกไม่ได้ว่าดีอย่างไร หรือไม่สามารถตัดสินได้	➲ ใช้เกณฑ์ในการประเมินเพียง 1 เกณฑ์ ➲ ไม่สามารถบอกความแตกต่างของแบบจำลองในปรากฏการณ์เดียวกันได้ ➲ ไม่สามารถตัดสินแบบจำลองได้	➲ ไม่มีเกณฑ์ในการประเมิน หรือใช้ความพอใจส่วนตนในการประเมิน ➲ ไม่สามารถบอกความแตกต่างของแบบจำลองในปรากฏการณ์เดียวกันได้ ➲ ไม่สามารถตัดสินแบบจำลองได้
4.การนำไปใช้ (Using) (ใช้ในขั้นที่ 9)	➲ เลือกใช้แบบจำลองได้สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนด ➲ แบบจำลองที่ใช้อธิบายหรือทำนายสถานการณ์ใหม่ได้ถูกต้องและชัดเจน	➲ เลือกใช้แบบจำลองได้สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนด ➲ แบบจำลองที่ใช้อธิบายหรือทำนายสถานการณ์ใหม่ได้ถูกต้องแต่ไม่ชัดเจน	➲ เลือกใช้แบบจำลองได้สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนด ➲ แบบจำลองที่ใช้อธิบายหรือทำนายสถานการณ์ใหม่ไม่ถูกต้อง	➲ เลือกใช้แบบจำลองไม่สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนด ➲ แบบจำลองที่ใช้อธิบายหรือทำนายสถานการณ์ใหม่ไม่ถูกต้อง

๛ แบบประเมินแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ๛

✍คำชี้แจง

1. แบบประเมินแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์นี้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการตรวจให้คะแนนคุณภาพของแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนสร้างขึ้น หลังจากที่ได้เรียนรู้ด้วยรูปแบบการจัดการเรียนการสอน MCIS

2. แบบประเมินที่พัฒนาขึ้นนี้มีลักษณะเป็นแบบรูบริกส์แบ่งระดับการให้คะแนนความสามารถเป็น 3 ระดับ คือ ดี (3) พอใช้ (2) ควรปรับปรุง (1) การประเมินแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ประกอบด้วยแบบประเมิน 5 ฉบับ แบ่งตามประเภทของแบบจำลอง ซึ่งได้แก่

1) แบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาด
2) แบบจำลองที่นำเสนอการทดลอง
3) แบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิก
4) แบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์
5) แบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์

<u>แบบประเมินแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์</u> เรื่อง .....

ชื่อ.....**นามสกุล**..... **ชั้น**.....**เลขที่**.....

- **ระบุเครื่องหมาย ✓ หน้าระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์**

คะแนนรวม	
	มีความสามารถอยู่ในระดับดี
	มีความสามารถอยู่ในระดับพอใช้
	มีความสามารถอยู่ในระดับควรปรับปรุง

❶ แบบประเมินแบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาด

รายการประเมิน	**ระดับคะแนน**			**คะแนน**
	ควรปรับปรุง(1)	**พอใช้**(2)	**ดี**(3)	
1.ความสอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา	วาดภาพ/แผนผังที่แสดงรายละเอียดเงื่อนไข หรือสิ่งที่ต้องการศึกษาไม่ครบถ้วนและไม่ชัดเจน	วาดภาพ/แผนผังที่แสดงรายละเอียดเงื่อนไข หรือสิ่งที่ต้องการศึกษาได้ครบถ้วนแต่ไม่ชัดเจน	วาดภาพ/แผนผังแสดงรายละเอียดเงื่อนไข หรือสิ่งที่ต้องการศึกษาได้ครบถ้วนและชัดเจน	
2.การระบุตัวแปร/สัญลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์	ระบุตัวแปรที่ศึกษา/สัญลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์ไม่ถูกต้องและไม่ครบถ้วน	ระบุตัวแปรที่ศึกษา/สัญลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์ได้ถูกต้องแต่ไม่ครบถ้วน	ระบุตัวแปรที่ศึกษา/สัญลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์ได้ถูกต้องและครบถ้วน	
3.การแสดงมโนทัศน์หลักของปรากฏการณ์ที่ศึกษา	วาดภาพบนพื้นฐานของมโนทัศน์หลักที่มีในปรากฏการณ์ไม่ถูกต้องและไม่ครบถ้วน	วาดภาพบนพื้นฐานของมโนทัศน์หลักที่มีในปรากฏการณ์ได้ถูกต้องแต่ไม่ครบถ้วน	วาดภาพบนพื้นฐานของมโนทัศน์หลักที่มีในปรากฏการณ์ได้ถูกต้องและครบถ้วน	
คะแนนรวม				

❷ แบบประเมินแบบจำลองที่นำเสนอการทดลอง

รายการประเมิน	ระดับคะแนน			คะแนน
	ควรปรับปรุง(1)	พอใช้(2)	ดี(3)	
1.การเขียนภาพวาดแสดงขั้นตอนการทดลอง	ภาพวาดแสดงขั้นตอนการทดลอง ไม่ชัดเจน และระบุตัวแปรที่ศึกษาไม่ถูกต้อง	ภาพวาดแสดงขั้นตอนการทดลอง หรือระบุตัวแปรที่ศึกษาไม่ถูกต้องและไม่ชัดเจนเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง	ภาพวาดแสดงขั้นตอนการทดลอง พร้อมระบุตัวแปรที่ศึกษาได้ถูกต้องและชัดเจน	
2.การกำหนดแผนการทดลอง	เขียนวิธีทำการทดลองไม่เป็นลำดับขั้นตอน ไม่ระบุอุปกรณ์ และไม่สามารถปฏิบัติได้	เขียนวิธีทำการทดลองเป็นลำดับขั้นตอน โดยระบุอุปกรณ์ และตัวแปรที่ศึกษาอย่างใดอย่างหนึ่งไม่ถูกต้องและปฏิบัติได้	เขียนวิธีทำการทดลองเป็นลำดับขั้นตอน โดยระบุอุปกรณ์ และตัวแปรที่ศึกษาได้อย่างถูกต้องและปฏิบัติได้	
3.ความสอดคล้องระหว่างภาพขั้นตอนการทดลองและปรากฏการณ์ที่ศึกษา	แผนภาพประกอบการทดลองและลำดับขั้นตอนการทดลองไม่มีความสอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา	แผนภาพประกอบการทดลองหรือลำดับขั้นตอนการทดลองมีความสอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษาเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง	แผนภาพประกอบการทดลองและลำดับขั้นตอนการทดลองมีความสอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา	
คะแนนรวม				

❸ แบบประเมินแบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิกที่เป็นกราฟ

รายการประเมิน	ระดับคะแนน			คะแนน
	ควรปรับปรุง(1)	พอใช้(2)	ดี(3)	
1.การแสดงชื่อกราฟ ค่าตัวแปรและการระบุหน่วย	ไม่เขียนชื่อกราฟ แสดงค่าของตัวแปรอิสระบนแกน Y และแสดงค่าของตัวแปรตามบนแกน X ไม่ถูกต้อง และไม่ระบุหน่วยของตัวแปรหรือระบุไม่ถูกต้อง	เขียนชื่อกราฟโดยระบุตัวแปรครบถ้วน แสดงค่าของตัวแปรอิสระบนแกน X และแสดงค่าของตัวแปรตามบนแกน Y ถูกต้อง แต่ไม่ระบุหน่วยของตัวแปรหรือระบุหน่วยไม่ถูกต้อง	เขียนชื่อกราฟโดยระบุตัวแปรครบถ้วนและถูกต้อง แสดงค่าของตัวแปรอิสระบนแกน X และแสดงค่าของตัวแปรตามบนแกน Y และระบุหน่วยของตัวแปรได้ถูกต้อง	
2.ความสอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา	กำหนดจุดที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรไม่สอดคล้องและไม่ถูกต้องในปรากฏการณ์ที่ศึกษา	กำหนดจุดที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรคลาดเคลื่อนจากปรากฏการณ์ที่ศึกษา	กำหนดจุดที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรได้สอดคล้องและถูกต้องตามปรากฏการณ์ที่ศึกษา	
3.การแสดงมโนทัศน์หลักของปรากฏการณ์ที่ศึกษา	เขียนกราฟความสัมพันธ์แสดงมโนทัศน์หลักที่มีในปรากฏการณ์ที่ศึกษาไม่ถูกต้อง	เขียนกราฟความสัมพันธ์คลาดเคลื่อนจากมโนทัศน์หลักที่มีในปรากฏการณ์ที่ศึกษา	เขียนกราฟความสัมพันธ์แสดงมโนทัศน์หลักที่มีในปรากฏการณ์ที่ศึกษาได้สอดคล้องและถูกต้อง	
คะแนนรวม				

❹ แบบประเมินแบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์

รายการประเมิน	ระดับคะแนน			คะแนน
	ควรปรับปรุง(1)	พอใช้(2)	ดี(3)	
1.ความสอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา	เลือกสมการทางคณิตศาสตร์ ตัวแปรและค่าคงที่ไม่สอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา	เลือกสมการทางคณิตศาสตร์ ตัวแปร หรือ ค่าคงที่ได้สอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษาเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง	เลือกสมการทางคณิตศาสตร์ ตัวแปรและค่าคงที่ได้สอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา	
2.ความสอดคล้องระหว่างสมการทางคณิตศาสตร์และกราฟ	เลือกใช้สมการทางคณิตศาสตร์ไม่สอดคล้องกับกราฟและไม่ถูกต้อง	เลือกใช้สมการทางคณิตศาสตร์สอดคล้องกับกราฟแต่ไม่ถูกต้อง	เลือกใช้สมการทางคณิตศาสตร์สอดคล้องกับกราฟและถูกต้อง	
3.การระบุสัญลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์	ระบุสัญลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์ลงในตัวแปรทางคณิตศาสตร์ไม่ถูกต้อง	ระบุสัญลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์ลงในตัวแปรทางคณิตศาสตร์ได้ครบถ้วนแต่ไม่ถูกต้อง	ระบุสัญลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์ลงในตัวแปรทางคณิตศาสตร์ได้ครบถ้วนและถูกต้อง	
คะแนนรวม				

❺ แบบประเมินแบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์

รายการประเมิน	ระดับคะแนน			คะแนน
	ควรปรับปรุง(1)	พอใช้(2)	ดี(3)	
1.ความสอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา	เขียนอธิบายโดยระบุการเปลี่ยนแปลงในวัตถุ สถานการณ์หรือกระบวนการไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และปรากฏการณ์ที่ศึกษา	เขียนอธิบายโดยระบุการเปลี่ยนแปลงในวัตถุ สถานการณ์หรือกระบวนการได้คลาดเคลื่อนจากวัตถุประสงค์หรือปรากฏการณ์ที่ศึกษา	เขียนอธิบายได้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และปรากฏการณ์ที่ศึกษา	
2.ระบุความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษา	มีการอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรไม่สอดคล้องกับข้อมูล	มีการอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปร ได้สอดคล้องกับข้อมูล	มีการอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรได้สอดคล้องกับข้อมูลและถูกต้อง	
3.การเขียนแสดงมโนทัศน์หลักของปรากฏการณ์ที่ศึกษา	เขียนอธิบายไม่ถูกต้องและระบุมโนทัศน์ไม่ถูกต้อง	เขียนอธิบายโดยอ้างเหตุผลเชื่อมโยงกับมโนทัศน์ได้ถูกต้องแต่ไม่ครบถ้วน	เขียนอธิบายโดยอ้างเหตุผลเชื่อมโยงกับมโนทัศน์ได้ถูกต้องและครบถ้วน และระบุมโนทัศน์ได้ถูกต้อง	
คะแนนรวม				

ꕥ แบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ꕥ

คำชี้แจง

1. แบบวัดฉบับนี้เป็นแบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดยสร้างขึ้นมาจากสถานการณ์ที่กำหนดขึ้นและพบเห็นได้ในชีวิตประจำวัน

2. แบบวัดนี้เป็นแบบอัตนัยที่เกี่ยวข้องกับบทเรียนในเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ ซึ่งประกอบด้วย 4 สถานการณ์ คือ

2.1 สถานการณ์ที่ 1 คือ การออกแรงผลักลังไม้

2.2 สถานการณ์ที่ 2 คือ การแข่งขันรถจักรยานยนต์

2.3 สถานการณ์ที่ 3 คือ การเคลื่อนที่ของนาฬิกาลูกตุ้ม

2.4 สถานการณ์ที่ 4 คือ การแข่งขันกีฬาพุ่งแหลน

3. ให้นักเรียนเขียนชื่อ นามสกุล ชั้น และเลขที่ ลงในข้อสอบทุกหน้า

4. ให้นักเรียนตอบคำถามในแต่ละสถานการณ์โดยเขียนคำตอบออกมาเป็นแบบจำลอง 5 แบบ ได้แก่ 1) แบบจำลองที่แสดงด้วยภาพวาด 2) แบบจำลองที่นำเสนอการทดลอง 3) แบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟิก 4) แบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ 5) แบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์

5. กำหนดระยะเวลาในการทำแบบสอบ 100 นาที

---- ขอให้ทุกคนโชคดีในการสอบ ----

ชื่อ.....**นามสกุล**..... **ชั้น**.....**เลขที่**.....

ข้อที่	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้
1	45	
2	45	
3	45	
4	18	
รวม	**153**	

ระดับความสามารถในการสร้างแบบจำลองทาง

☐ มีความสามารถอยู่ในระดับดี

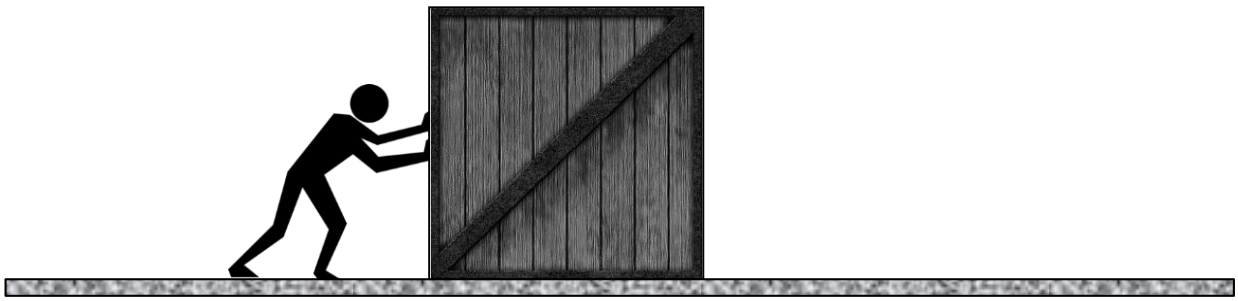
☐ มีความสามารถอยู่ในระดับพอใช้

☐ มีความสามารถอยู่ในระดับควรปรับปรุง

ตารางที่ 23 วิเคราะห์แบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

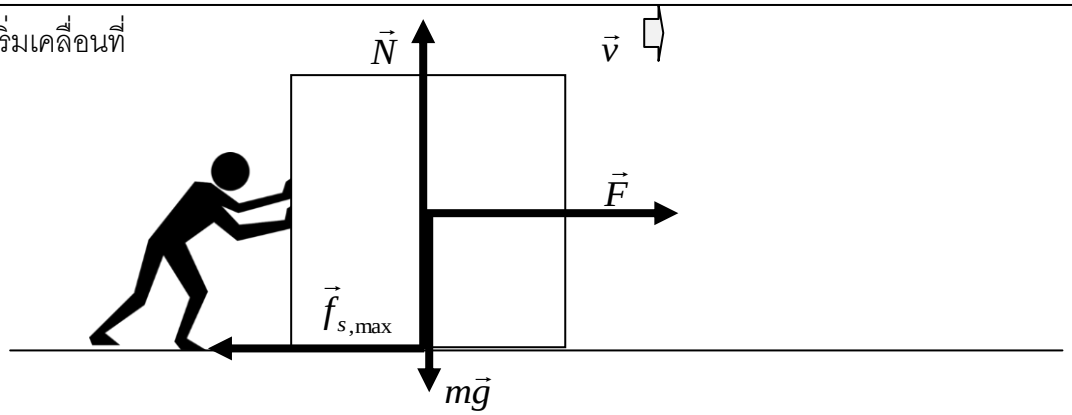
เนื้อหา	หัวข้อเรื่อง	สถานการณ์ (ข้อที่)	ประเภทของแบบจำลอง					สัดส่วนน้ำหนัก (ร้อยละ)
			ภาพวาด	การทดลอง	กราฟิก	สมการทางคณิตศาสตร์	การเขียนข้อความ	
1.กฎการเคลื่อนที่	● แรง	1	✓	✓	✓	✓	✓	29.41
	● แรงเสียดทาน							
	● น้ำหนัก							
	● กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน							
	● กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน							
2.แบบของการเคลื่อนที่	● การเคลื่อนที่แบบวงกลม	2	✓	✓	✓	✓	✓	29.41
	● การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	3	✓	✓	✓	✓	✓	29.41
	● การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์	4	✓	-	-	-	✓	11.76
รวม		***4***	***4***	***3***	***3***	***3***	***4***	***100***

❶ ผู้ชายคนหนึ่งมีมวล 60 กิโลกรัม ออกแรงผลักลังไม้มวล 50 กิโลกรัม ให้เคลื่อนที่บนพื้นซีเมนต์ไปทางขวามือ ดังรูป

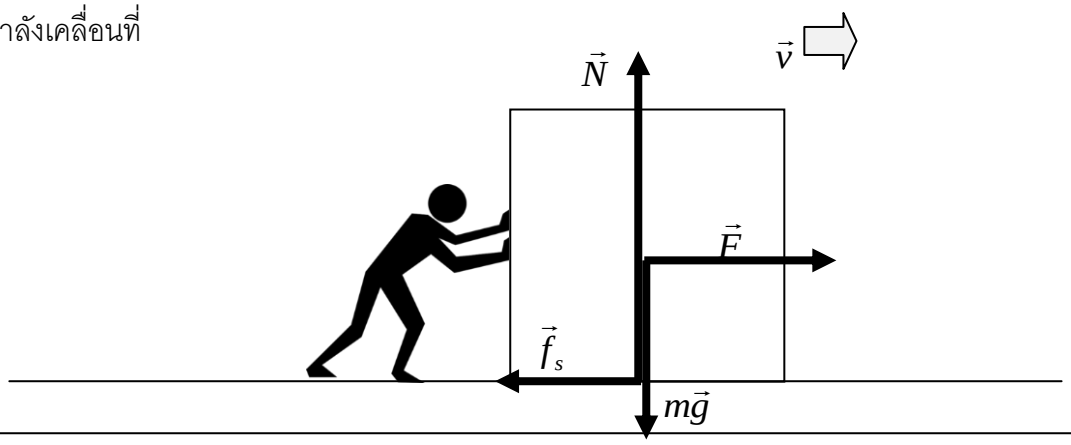


1.1 ในขณะที่ผู้ชายคนนี้กำลังออกแรงผลักจนลังไม้เริ่มเคลื่อนที่ และในขณะที่ลังไม้กำลังเคลื่อนที่ จงวาดภาพอธิบายแรงทุกแรงที่กระทำกับลังไม้และผลของแรงที่เกิดขึ้นกับลังไม้ทั้ง 2 กรณี

ลังไม้เริ่มเคลื่อนที่

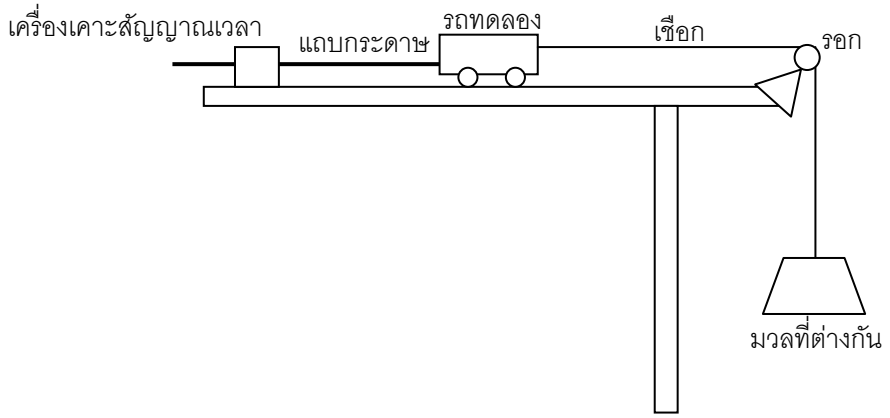


ลังไม้กำลังเคลื่อนที่



1.2 ถ้าต้องการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเร่งจากสถานการณ์ข้างต้น จะต้องวางแผนดำเนินการทดลองอย่างไร พร้อมระบุแผนภาพลักษณะการทดลองลงในพื้นที่ที่กำหนด โดยอุปกรณ์การทดลองมีดังนี้ 1) เครื่องเคาะสัญญาณเวลา 1 เครื่อง 2) แถบกระดาษ 1 เส้น 3) รถทดลอง 1 คัน 4) รางไม้ 1 ราง 5) เชือก 1 เส้น 6) รอกลื่น 1 อัน 7) ตุ้มมวล 0.5 กิโลกรัม จำนวน 4 ก้อน

แผนภาพแสดงการทดลอง



ขั้นตอนดำเนินการทดลอง

1.กำหนดให้รถทดลองมีมวลคงที่ แล้วทดลองดึงโดยถ่วงด้วยมวลที่แตกต่างกัน โดยมวลที่ถ่วงแทนการออกแรงผลักของชายคนดังกล่าวในสถานการณ์ข้างต้น

2.สังเกตจุดบนแถบกระดาษเมื่อรถถูกถ่วงให้เคลื่อนที่ผ่านเครื่องเคาะสัญญาณเวลาเพื่อหาค่าความเร่ง

3.ทดลองตามข้อ 1 และ 2 โดยเปลี่ยนมวลที่ถ่วงต่างกัน 4 – 5 ครั้ง เพื่อหาความเร่งที่เกิดขึ้น

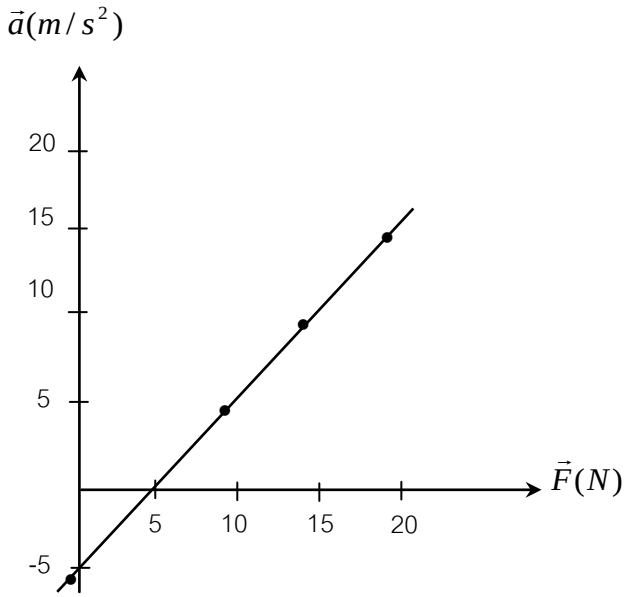
4.เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับความเร่งของรถทดลอง

1.3 จากการทดลองข้างต้นสามารถรวบรวมข้อมูลได้ดังตาราง กราฟที่สามารถอธิบายแรงที่เกิดจากตุ้มมวลดึงให้รถทดลองเริ่มเคลื่อนที่จนเคลื่อนที่ได้มีลักษณะเป็นอย่างไร จงเขียนกราฟเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับความเร่งของรถทดลอง

ตาราง แสดงตุ้มมวลและความเร่ง

ตุ้มมวล (kg)	**ความเร่ง** (m/s^2)
0.5	-5
1	5
1.5	10
2	15

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับความเร่งของรถทดลอง



1.4 สมการทางคณิตศาสตร์ในข้อใดต่อไปนี้ ที่สามารถอธิบายแรงดึงจากตุ้มมวลที่ทำให้รถทดลองเกิดการเคลื่อนที่ตั้งแต่เริ่มเคลื่อนที่จนเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น พร้อมระบุตัวแปรที่ศึกษาลงในช่องที่กำหนดพร้อมเขียนแทนค่าตัวแปรลงในสมการที่สามารถอธิบายการเคลื่อนที่ได้ให้ถูกต้อง

❶ $y = mx + c$ ❷ $y = x^2 + x$ ❸ $y = x^2$ ❹ $y = -ax^2 + bx$

สมการ คือ $y = mx + c$	y แทนด้วย a
	x แทนด้วย F
ฉะนั้น สมการทางคณิตศาสตร์เมื่อแทนด้วยตัวแปรทางฟิสิกส์ คือ $F - f = ma$ โดยที่ m คือค่าคงตัว	

1.5 จงเขียนสรุปเป็นแนวคิดสำคัญเกี่ยวกับการอธิบายผลของแรงที่เกิดขึ้น เมื่อชายคนนี้ออกแรงผลักลังไม้ในขณะที่ลังไม้ยังคงหยุดนิ่งอยู่กับที่ และลังไม้กำลังเริ่มเคลื่อนที่ พร้อมทั้งระบุว่าสอดคล้องตามกฎหรือหลักการใด

(1) ลังไม้ยังคงหยุดนิ่งอยู่กับที่

ลังไม้ยังคงหยุดนิ่งอยู่กับที่เนื่องจาก การออกแรงผลักของชายคนนี้ยังคงมีค่าน้อยกว่าแรงเสียดทานสถิตสูงสุด จึงทำให้ลังไม้ยังคงรักษาสภาพเดิมของการเคลื่อนที่ คือ หยุดนิ่งอยู่กับที่ สอดคล้องตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน

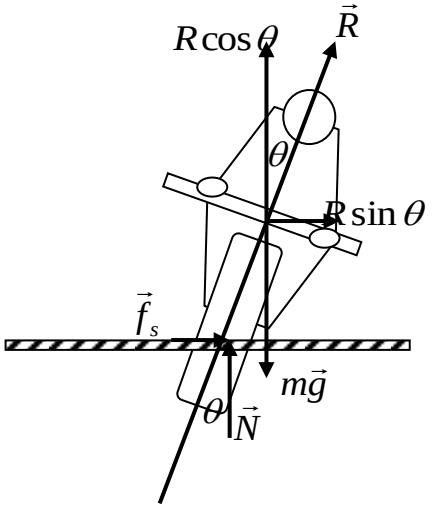
(2) ลังไม้เริ่มเคลื่อนที่

ลังไม้เริ่มเคลื่อนที่เนื่องจาก แรงผลักจากชายคนนี้ที่กระทำต่อลังไม้มีค่ามากกว่าแรงเสียดทาน สถิตสูงสุด จึงทำให้ลังไม้เคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันกับแรงผลัก ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ กล่าวคือ ลังไม้มีอัตราเร็วเพิ่มขึ้นหรือเกิดความเร่ง โดยแรงที่ผลักมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับความเร่งที่เกิดขึ้น สอดคล้องตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน

❷ ให้นักเรียนพิจารณาข้อมูลต่อไปนี้ แล้วตอบคำถามในข้อที่ 2.1-2.5

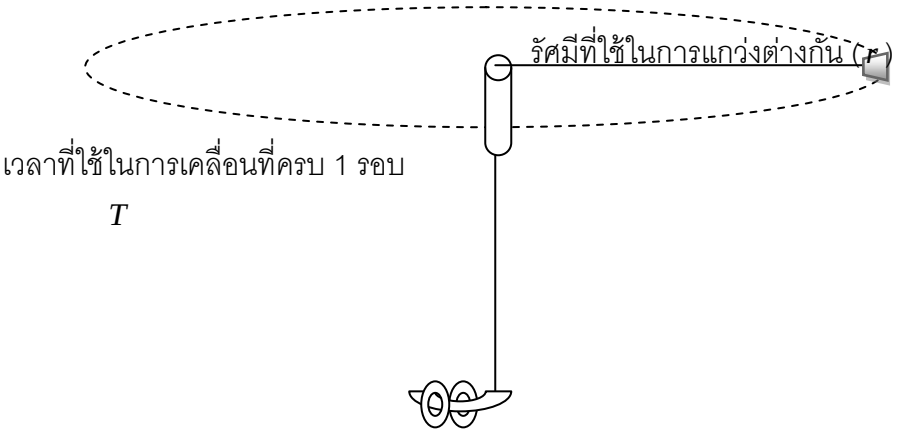
ภาพแสดงการแข่งขันรถจักรยานยนต์ในขณะเข้าโค้ง โดยในการเข้าโค้งนั้นพบว่าผู้เข้าแข่งขันจำเป็นต้องเอียงตัวเพื่อให้สามารถเข้าโค้งได้ด้วยความเร็วสูงและเกิดความปลอดภัย

2.1 จากสถานการณ์ข้างต้น นักเรียนสามารถวาดภาพอธิบายในขณะที่รถจักรยานยนต์กำลังเคลื่อนที่เข้าโค้งได้อย่างไร โดยจะต้องระบุแรงที่เป็นสาเหตุสำคัญให้รถจักรยานยนต์เคลื่อนที่เข้าโค้งได้และแรงที่กระทำต่อรถจักรยานยนต์ทุกแรง



2.2 ถ้าทำการทดลองแกว่งจุกยางให้เคลื่อนที่แบบวงกลมในแนวระดับ เพื่อต้องการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีที่ใช้ในการเคลื่อนที่กับเวลา นักเรียนจะต้องวางแผนดำเนินการทดลองเพื่อเป็นตัวแทนของสถานการณ์ข้างต้นอย่างไร พร้อมระบุแผนภาพลักษณะการทดลอง โดยกำหนดอุปกรณ์การทดลองให้ดังนี้ 1) ท่อพีวีซีสั้น 1 แท่ง 2) เชือกยาว 1 เส้น 3) จุกยาง 1 ชิ้น 4) ตะขอลวด 1 อัน 5) นอต 3 ตัว 6) นาฬิกาจับเวลา 1 เรือน

แผนภาพแสดงการทดลอง



ขั้นตอนดำเนินการทดลอง

1.ถ่วงน้ำหนักด้วยนอต 3 ตัว แล้วแกว่งให้จุกยางเคลื่อนที่เป็นวงกลมในแนวระดับด้วยรัศมีต่างๆจากนั้นจึงบันทึกรัศมีการแกว่งแต่ละครั้ง

2.จับเวลาที่จุกยางใช้ในการเคลื่อนที่กำหนดจำนวนรอบประมาณ 20 รอบเพื่อหาเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ และบันทึกผล

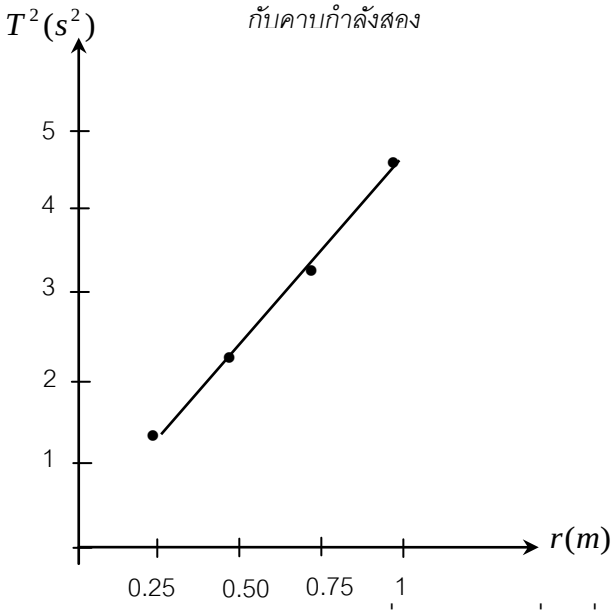
3.เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีที่ใช้ในการเคลื่อนที่กับคาบกำลังสอง

2.3 จากการทดลองข้างต้นสามารถรวบรวมข้อมูลได้ดังตาราง กราฟที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีที่ใช้ในการเคลื่อนที่กับคาบกำลังสองมีลักษณะเป็นอย่างไร จงเขียนกราฟเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีที่ใช้ในการเคลื่อนที่กับคาบกำลังสอง

ตารางแสดง รัศมีการแกว่งของจุกยางกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่กำลังสอง

รัศมีที่ใช้ในการเคลื่อนที่ (m)	**คาบกำลังสอง** (s^2)
0.25	1.44
0.50	2.25
0.75	3.24
1.00	4.84

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีที่ใช้ในการเคลื่อนที่กับเคาบกำลังสอง



2.4 สมการความสัมพันธ์ที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีที่ใช้ในการเคลื่อนที่กับคาบกำลังสองได้เป็นอย่างไร

❶ $y = ax + c$ ❷ $y = x^2 + x$ ❸ $y^2 = ax$ ❹ $y = -ax^2 + bx$

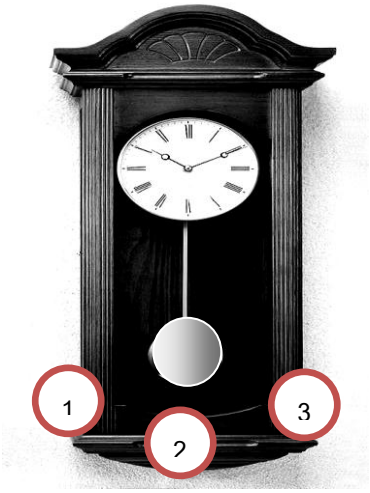
ความสัมพันธ์ คือ $y = ax + c$	y แทนด้วย T^2
	x แทนด้วย r
ฉะนั้น สมการทางคณิตศาสตร์เมื่อแทนด้วยตัวแปรทางฟิสิกส์ คือ $T^2 = ar$ โดยที่ a คือค่าคงตัว	

2.5 จงเขียนอธิบายการเคลื่อนที่ของรถจักรยานยนต์ที่กำลังเคลื่อนที่เข้าโค้ง จัดเป็นการเคลื่อนที่ประเภทใด และอธิบายว่าอะไรเป็นสาเหตุที่ทำให้รถจักรยานยนต์เคลื่อนที่เข้าโค้งได้

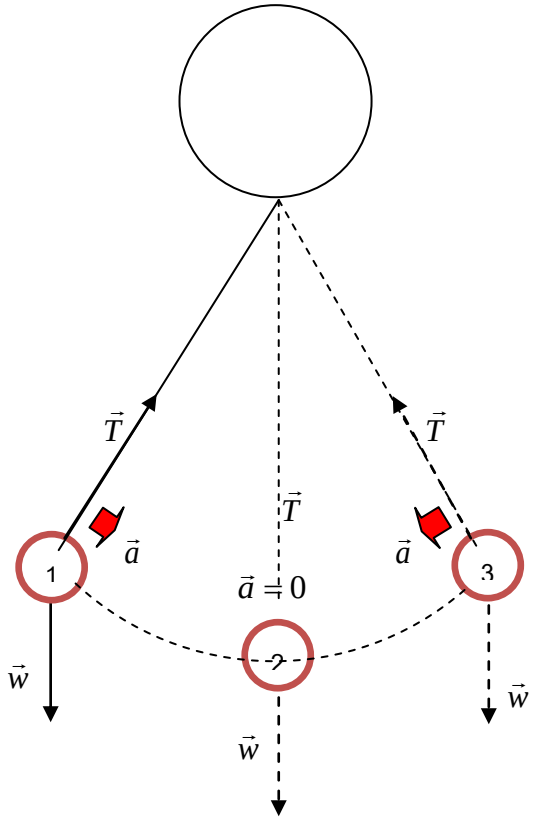
การที่นักแข่งรถมอเตอร์ไซด์สามารถเคลื่อนที่เข้าโค้งได้เนื่องมาจาก เกิดแรงเสียดทานระหว่างล้อรถกับผิวถนน และแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อล้อ ทำให้เกิดแรงลัพธ์ โดยแรงลัพธ์ดังกล่าวทำหน้าที่ดึงรถให้สามารถเคลื่อนที่เข้าโค้งได้หรือกล่าวได้ว่าแรงลัพธ์ทำหน้าที่เป็นแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง ซึ่งจัดเป็นการเคลื่อนที่แบบวงกลม

❸ ให้นักเรียนพิจารณาข้อมูลต่อไปนี้ แล้วตอบคำถามในข้อที่ 3.1-3.5

นาฬิกาลูกตุ้ม (Pendulum Clock) ถูกประดิษฐ์ขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1656 โดยคริสเตียน ฮอยเก็นส์ (Christian Huygens) นักวิทยาศาสตร์ชาวเนเธอร์แลนด์ มีหลักการทำงาน คือ อาศัยการแกว่งของลูกตุ้ม ซึ่งกำหนดช่วงเวลาได้โดยการปรับความยาวของสายลูกตุ้ม

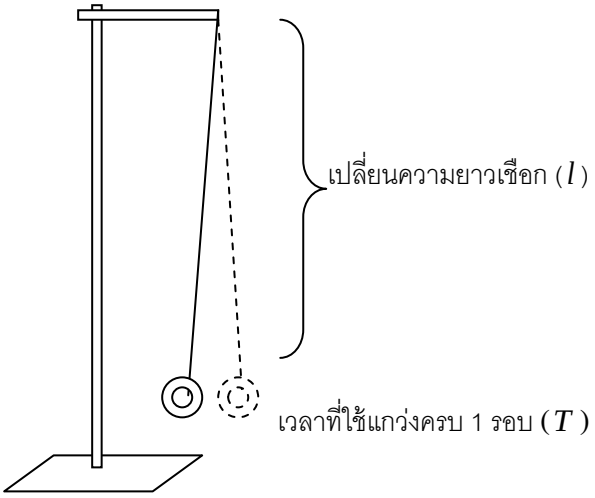


3.1 จากข้อมูลและภาพที่กำหนดข้างต้น จงวาดแผนภาพที่อธิบายการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาในขณะที่อยู่ตำแหน่งที่ 1 ตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 3 โดยระบุแนวการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาและสาเหตุที่ทำให้ลูกตุ้มนาฬิกาแกว่งไปตามแนวดังกล่าว



3.2 ถ้าทำการทดลองเพื่อต้องการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของเส้นเชือกกับเวลาในการแกว่ง นักเรียนจะต้องวางแผนดำเนินการทดลองเพื่อเป็นตัวแทนในการสร้างนาฬิกาลูกตุ้มอย่างไร พร้อมระบุแผนภาพลักษณะการทดลอง โดยกำหนดอุปกรณ์การทดลองให้ดังนี้ 1) นอตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร จำนวน 1 ตัว 2) เชือกยาวประมาณ 1 เมตร จำนวน 1 เส้น 3) ขาตั้งหลอดทดลอง 1 ขา 4) นาฬิกาจับเวลา 1 เรือน

แผนภาพแสดงการทดลอง



ขั้นตอนดำเนินการทดลอง

1. ผูกเชือกกับนอตและเชือกอีกปลายข้างหนึ่งผูกไว้กับขาตั้ง แล้วให้นอตห้อยอยู่ในแนวดิ่ง

2. แกว่งนอตและจับเวลาการแกว่งเมื่อนอตแกว่งครบ 30 รอบเพื่อหาคาบ โดยเปลี่ยนความยาวของเส้นเชือกที่ต่างกัน

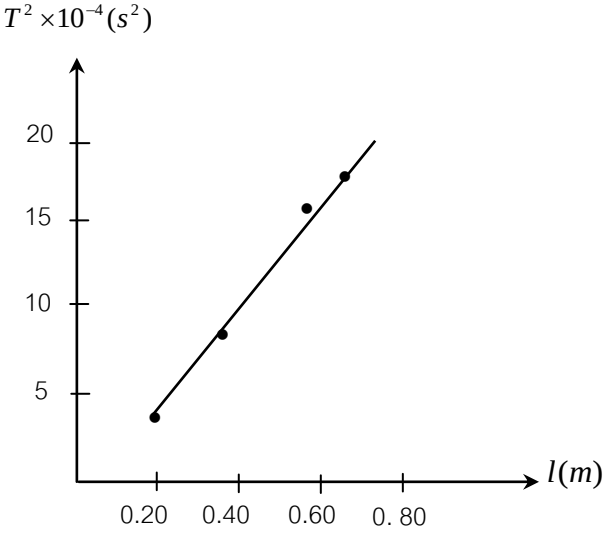
3.เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของเส้นเชือกที่ใช้ในการแกว่งกับคาบกำลังสอง

3.3 จากการทดลองข้างต้นสามารถรวบรวมข้อมูลได้ดังตาราง กราฟที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของเส้นเชือกกับคาบกำลังสองมีลักษณะเป็นอย่างไร จงเขียนกราฟเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของเส้นเชือกที่ใช้ในการแกว่งกับคาบกำลังสอง

ตารางแสดง ความยาวของเส้นเชือกกับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่กำลังสอง

ความยาวเส้นเชือก (m)	**คาบกำลังสอง** x 10^{-4} (s^2)
0.20	4
0.40	9
0.60	16
0.70	18

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความยาวของเส้นเชือกที่ใช้ในการแกว่งกับคาบกำลังสอง



3.4 สมการความสัมพันธ์ที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเส้นเชือกกับคาบกำลังสองได้เป็นอย่างไร

❶ $y = ax + c$ ❷ $y = x^2 + x$ ❸ $y^2 = ax$ ❹ $y = -ax^2 + bx$

ความสัมพันธ์ คือ $y = ax + c$	y แทนด้วย T^2
	x แทนด้วย l
ฉะนั้น สมการทางคณิตศาสตร์เมื่อแทนด้วยตัวแปรทางฟิสิกส์ คือ $T^2 = al$ เมื่อ a เป็นค่าคงตัว	

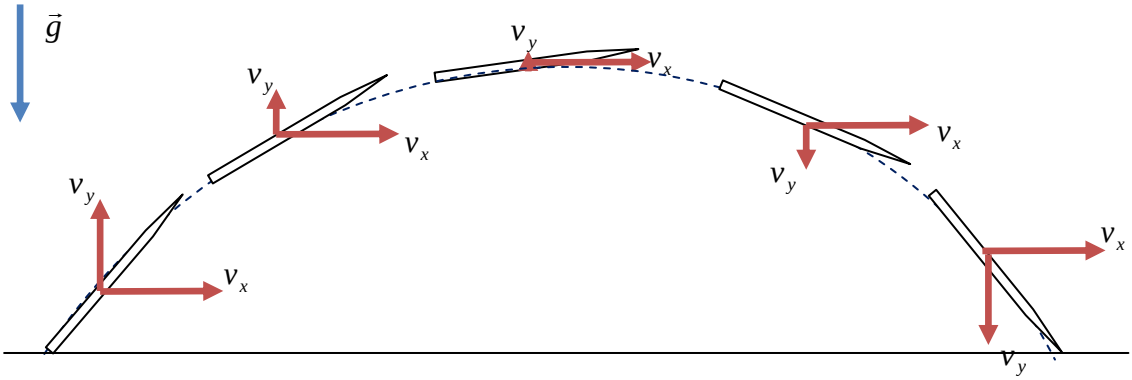
3.5 จงเขียนอธิบายโดยสรุปเป็นแนวคิดสำคัญเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มนาฬิกา

สาเหตุที่ทำให้ลูกตุ้มนาฬิกาแกว่งกลับไปกลับมาได้เนื่องจากแรงดึงกลับที่เป็นแรงลัพธ์ระหว่างแรงดึงในเส้นเชือกและน้ำหนักที่กระทำต่อลูกตุ้มในทิศเข้าสู่แนวสมดุล ส่งผลให้ลูกตุ้มของนาฬิกามีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำทางเดิมผ่านตำแหน่งสมดุลที่เรียกว่า การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

❹ ให้นักเรียนพิจารณาข้อมูลต่อไปนี้ แล้วตอบคำถามในข้อที่ 4.1-4.2

ในการตัดสินผลชนะเลิศการแข่งขันกีฬาพุ่งแหลน (Sports javelin) พิจารณาจาก ระยะที่แหลนเคลื่อนที่ไปได้ไกลที่สุด ทำให้นักกีฬาต้องเลือกมุมเทียบกับแนวราบในการที่จะพุ่งแหลนออกไปได้ไกลที่สุด

4.1 จากสถานการณ์ที่กำหนด จงวาดแผนภาพที่สามารถอธิบายการเคลื่อนที่ของแหลนที่พุ่งออกไปจนกระทั่งแหลนปักลงพื้น โดยจะต้องระบุแนวการเคลื่อนที่ของแหลนและสาเหตุที่ทำให้แหลนเคลื่อนที่ไปตามลักษณะดังกล่าวได้



4.2 จงเขียนอธิบายโดยสรุปเป็นแนวคิดสำคัญเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของแหลน

แหลนเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นโค้งพาราโบลา ประกอบด้วยการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งและแนวระดับที่เป็นอิสระต่อกัน เนื่องจากมีแรงโน้มถ่วงกระทำต่อแหลนในแนวดิ่งอยู่เสมอส่งผลให้ความเร็วในแนวดิ่งมีค่าไม่คงตัว ส่วนความเร็วในแนวระดับไม่มีแรงกระทำส่งผลให้ความเร็วในแนวระดับจึงมีค่าคงตัว

ꕥ แบบวัดมโนทัศน์พื้นฐานเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ ꕥ

(A Basic Concept Tests: Laws of Motion and Types of Motion)

คำชี้แจงในการทำแบบสอบ

1. แบบวัดฉบับนี้มีทั้งหมด 8 หน้า จำนวนข้อสอบ 10 ข้อ คะแนนเต็ม 10 คะแนน เวลาที่ใช้ในการสอบ 20 นาที
2. ข้อสอบทุกข้อเป็นข้อสอบแบบเลือกตอบ โดยแบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ ข้อคำถาม และเหตุผลในการเลือกตัวเลือกของคำตอบนั้นๆ
3. เกณฑ์การให้คะแนน ถ้าตอบถูกทั้งในส่วนข้อคำถามและส่วนเหตุผลสนับสนุนได้ 1 คะแนน ถ้าตอบถูกเฉพาะข้อคำถามเพียงส่วนเดียวได้ 0.5 คะแนน และถ้าตอบถูกเฉพาะเหตุผลสนับสนุนหรือตอบไม่ถูกทั้ง 2 ส่วนได้ 0 คะแนน
4. ให้นักเรียนอ่านคำถามให้เข้าใจแล้วเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว แล้วทำเครื่องหมาย X ให้ตรงกับตัวอักษรในกระดาษคำตอบ ตัวอย่างเช่น

ข้อ	ข้อคำถาม				เหตุผล			
	ก	ข	ค	ง	1	2	3	4
1		X				X		

5. ถ้านักเรียนต้องการเปลี่ยนแปลงคำตอบให้ขีดฆ่าคำตอบเดิม แล้วทำเครื่องหมาย X ลงในช่องคำตอบใหม่ ตัวอย่างเช่น

ข้อ	ข้อคำถาม				เหตุผล			
	ก	ข	ค	ง	1	2	3	4
1		~~X~~		X		~~X~~		X

6. ห้ามทำเครื่องหมายใดๆ ลงในตัวข้อสอบ

ตารางที่ 24 หัวข้อเรื่อง มโนทัศน์พื้นฐาน และจุดประสงค์ที่ต้องการวัดของแบบวัดมโนทัศน์พื้นฐานเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

หัวข้อเรื่อง	มโนทัศน์พื้นฐาน	ข้อที่	จุดประสงค์ที่ต้องการวัด		
			ความจำ	ความเข้าใจ	การนำไปใช้
1.ปริมาณทางกายภาพ	● คำจำกัดความของปริมาณเวกเตอร์	1	-	✓	-
	● คำจำกัดความของปริมาณสเกลาร์	1	-	✓	-
2.ระยะทาง	● คำจำกัดความของระยะทาง	2	-	✓	-
3.การกระจัด	● คำจำกัดความของการกระจัด	2	-	✓	-
4.อัตราเร็วเฉลี่ย	● คำจำกัดความของอัตราเร็วเฉลี่ย	3,(4),5	-	-	✓
5.อัตราเร็วขณะหนึ่ง	● คำจำกัดความของอัตราเร็วขณะหนึ่ง	5	-	-	✓
6.ความเร็วเฉลี่ย	● คำจำกัดความของความเร็วเฉลี่ย	4,6	-	-	✓
7.ความเร็วขณะหนึ่ง	● คำจำกัดความของความเร็วขณะหนึ่ง	6	-	-	✓
8.ความเร่งเฉลี่ย	● คำจำกัดความของความเร่งเฉลี่ย	7,8	✓	-	-
9.ความเร่งขณะหนึ่ง	● คำจำกัดความของความเร่งขณะหนึ่ง	8	✓	-	-
10.การตกแบบเสรี	● ความคิดสำคัญของการตกแบบเสรี	9,10	-	-	✓
รวมทั้งหมด		10	1	3	6

2. ข้อใดกล่าวถึงระยะทางและการกระจัดได้ถูกต้อง

ก. การกระจัดมีค่าเท่ากับระยะทางในทุกกรณี

ข. ถ้าวัตถุมีการเคลื่อนที่ระยะทางจะมีค่ามากกว่าการกระจัดเสมอ

ค. ถ้าวัตถุมีการเคลื่อนที่ ระยะทางที่ได้จะมีค่าไม่เป็นศูนย์ แต่การกระจัดมีค่าเป็นศูนย์ได้

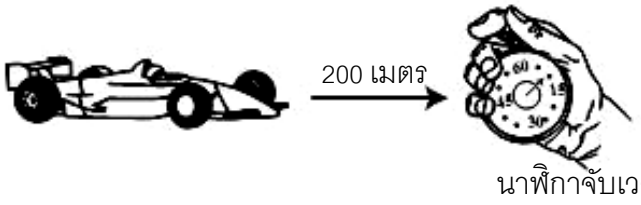
ง. ถ้าปั่นจักรยานให้เคลื่อนที่ไปตามถนนเป็นเส้นตรงขนาดของการกระจัดจะมีค่าเท่ากับระยะทาง

เหตุผลเนื่องจาก

1. การกระจัดมีค่าเท่ากับระยะทางในกรณีที่วัตถุเคลื่อนที่เป็นแนวตรง
2. ระยะทางอาจมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าการกระจัดเมื่อวัตถุเคลื่อนที่เป็นวงกลม
3. ระยะทางและการกระจัดเป็นความยาวตามเส้นทางที่วัตถุเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้าย
4. ระยะทางมีค่าไม่เป็นศูนย์ และการกระจัดมีค่าเป็นศูนย์เมื่อวัตถุมีจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายเป็นจุดเดียวกัน

วัดมโนทัศน์เรื่อง ระยะทางและการกระจัด (ความเข้าใจ) เฉลย ค และ 4

3. จากรูปแสดงการวัดของปริมาณในข้อใด



นาฬิกาจับเวลา

ก. ระยะทาง (Distance)

ข. อัตราเร็วเฉลี่ย (Average Speed)

ค. ความเร่ง (Acceleration)

ง. อัตราเร็วขณะหนึ่ง (Instantaneous Speed)

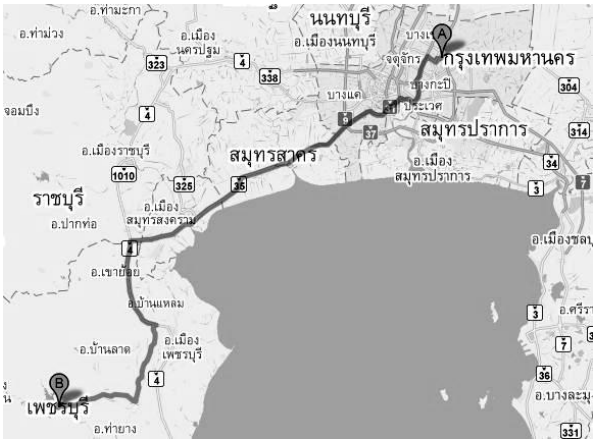
เหตุผลเนื่องจาก

1. เป็นการวัดความยาวตามเส้นทางที่รถยนต์เคลื่อนที่
2. เป็นการวัดอัตราเร็วที่เปลี่ยนไปของรถยนต์เทียบกับเวลา
3. เป็นวัดความยาวตามเส้นทางที่รถยนต์เคลื่อนที่ได้ในช่วงเวลาหนึ่ง
4. เป็นการวัดอัตราเร็วเฉลี่ยการเคลื่อนที่ของรถยนต์ในช่วงเวลาสั้นมากๆ

วัดมโนทัศน์เรื่อง อัตราเร็วเฉลี่ย (การนำไปใช้) เฉลย ข และ 3

จากสถานการณ์ต่อไปนี้ใช้ตอบคำถามข้อ 5-6

นายใหญ่และนายกลางเดินทางออกจากกรุงเทพมหานคร (จุด A) พร้อมกัน ไปยังจังหวัดเพชรบุรี (จุด B) โดยใช้เส้นทางเดียวกัน นายใหญ่เดินทางโดยปั่นจักรยาน ในขณะที่นายกลางขับรถยนต์ ในระหว่างการเดินทางนั้นนายกลางประสบอุบัติเหตุที่จังหวัดสมุทรสาคร เป็นผลให้นายกลางเดินทางมาถึงจังหวัดเพชรบุรีพร้อมกับนายใหญ่



5.ข้อใดกล่าวถึงอัตราเร็วเฉลี่ยและอัตราเร็วขณะหนึ่งของนายใหญ่และนายกลางได้ถูกต้อง เมื่อพิจารณาขณะที่รถทั้งสองกำลังเคลื่อนที่ปกติ ณ ตำแหน่งเดียวกัน

ก. นายใหญ่มีอัตราเร็วเฉลี่ยและอัตราเร็วขณะหนึ่งน้อยกว่านายกลาง

ข. นายใหญ่มีอัตราเร็วเฉลี่ยและอัตราเร็วขณะหนึ่งมากกว่านายกลาง

ค. นายใหญ่และนายกลางมีอัตราเร็วเฉลี่ยเท่ากัน แต่นายใหญ่มีอัตราเร็วขณะหนึ่งมากกว่า

ง. นายใหญ่และนายกลางมีอัตราเร็วเฉลี่ยเท่ากัน แต่นายกลางมีอัตราเร็วขณะหนึ่งมากกว่า

เหตุผลเนื่องจาก

1. ระยะเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่มีค่าเท่ากัน
2. ระยะทางที่นายใหญ่และนายกลางเคลื่อนที่มีค่าเท่ากัน
3. ทิศทางที่นายใหญ่และนายกลางเคลื่อนที่อยู่ในทิศทางเดียวกัน
4. อัตราเร็วเฉลี่ยพิจารณาจากช่วงเวลาทั้งหมด แต่อัตราเร็วขณะหนึ่งพิจารณาจากช่วงเวลาสั้นๆ เข้าใกล้ศูนย์ ในระยะทางที่ทั้งสองเคลื่อนที่ได้เท่ากัน

วัดมโนทัศน์เรื่อง อัตราเร็วเฉลี่ยและอัตราเร็วขณะหนึ่ง (การนำไปใช้) เฉลย ง และ 4

6.ข้อใดกล่าวถึงความเร็วเฉลี่ยและความเร็วขณะหนึ่งของนายใหญ่และนายกลางได้ถูกต้อง เมื่อพิจารณาขณะที่รถทั้งสองกำลังเคลื่อนที่ปกติ ณ ตำแหน่งเดียวกัน

ก. นายใหญ่มีความเร็วเฉลี่ยและความเร็วขณะหนึ่งมากกว่านายกลาง

ข. นายใหญ่มีความเร็วเฉลี่ยและความเร็วขณะหนึ่งน้อยกว่านายกลาง

ค. นายใหญ่และนายกลางมีความเร็วเฉลี่ยเท่ากัน แต่นายใหญ่มีความเร็วขณะหนึ่งมากกว่า

ง. นายใหญ่และนายกลางมีความเร็วเฉลี่ยเท่ากัน แต่นายกลางมีความเร็วขณะหนึ่งมากกว่า

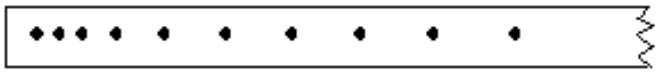
เหตุผลที่สอดคล้องกับความเร็วเฉลี่ยและความเร็วขณะหนึ่งเนื่องจาก

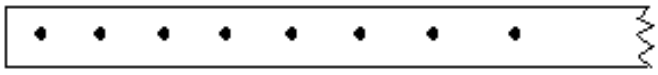
1. ทั้งสองปริมาณเป็นระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา
2. ทั้งสองปริมาณมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับทิศทาง และพิจารณาในช่วงเวลาสั้นมากๆ เข้าใกล้ศูนย์
3. ทั้งสองปริมาณเป็นความเร็วที่เปลี่ยนไปในหนึ่งหน่วยเวลา และพิจารณาในช่วงเวลาสั้นมากๆ เข้าใกล้ศูนย์
4. ทั้งสองปริมาณเป็นการกระจัดต่อหนึ่งหน่วยเวลา แต่ความเร็วขณะหนึ่งพิจารณาในช่วงเวลาสั้นมากๆ เข้าใกล้ศูนย์

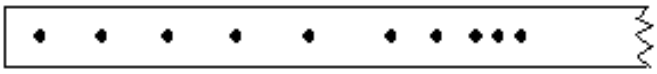
วัดมโนทัศน์เรื่อง ความเร็วเฉลี่ยและความเร็วขณะหนึ่ง (การนำไปใช้) เฉลย ง และ 4

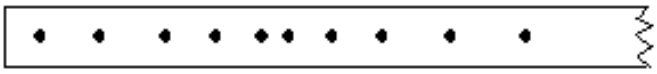
7.

หนอนผีเสื้อตัวหนึ่งกำลังเดินไปบนกิ่งไม้ในแนวเส้นตรง โดยเริ่มต้นจากหยุดนิ่งแล้วค่อยๆ มีความเร่งเพิ่มขึ้นจนมีอัตราเร็วคงตัว ข้อใดแสดงการวาดจุดเพื่ออธิบายการเคลื่อนที่ของหนอนผีเสื้อข้างต้นได้ถูกต้อง

ก. จุดเริ่มต้น  จุดปลาย

ข. จุดเริ่มต้น  จุดปลาย

ค. จุดเริ่มต้น  จุดปลาย

ง. จุดเริ่มต้น  จุดปลาย

เหตุผลเนื่องจาก

1. ระยะห่างของจุดเท่ากันแสดงว่ามีอัตราเร็วเป็นศูนย์
2. ระยะห่างของจุดไม่เท่ากันแสดงว่ามีอัตราเร็วเปลี่ยนแปลงลดลง
3. ระยะห่างของจุดเท่ากันแสดงอัตราเร็วคงตัว และระยะห่างลดลงแสดงอัตราเร็วเพิ่มขึ้น
4. ระยะห่างของจุดเพิ่มขึ้นแสดงอัตราเร็วเพิ่มขึ้น และระยะห่างเท่ากันแสดงอัตราเร็วคงตัว

วัดมโนทัศน์เรื่อง ความเร่ง (การนำไปใช้) เฉลย ก และ 4

๛ แบบวัดมโนทัศน์หลักเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ ๛

(A Core Concept Tests: Laws of Motion and Types of Motion)

คำชี้แจงในการทำแบบสอบ

1. แบบวัดฉบับนี้มีทั้งหมด 19 หน้า จำนวนข้อสอบ 20 ข้อ
   คะแนนเต็ม 20 คะแนน เวลาที่ใช้ในการสอบ 50 นาที
2. ข้อสอบทุกข้อเป็นข้อสอบแบบเลือกตอบ โดยแบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ ข้อคำถาม และเหตุผลในการเลือกตัวเลือกของคำตอบนั้นๆ
3. เกณฑ์การให้คะแนน ถ้าตอบถูกทั้งในส่วนข้อคำถามและส่วนเหตุผลสนับสนุนได้ 1 คะแนน ถ้าตอบถูกเฉพาะข้อคำถามเพียงส่วนเดียวได้ 0.5 คะแนน และถ้าตอบถูกเฉพาะเหตุผลสนับสนุนหรือตอบไม่ถูกทั้ง 2 ส่วนได้ 0 คะแนน
4. ให้นักเรียนอ่านคำถามให้เข้าใจแล้วเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว แล้วทำเครื่องหมาย X ให้ตรงกับตัวอักษรและตัวเลขที่เลือกลงในกระดาษคำตอบ ตัวอย่างเช่น

ข้อ	ข้อคำถาม				เหตุผล			
	ก	ข	ค	ง	1	2	3	4
1		X					X	

5. ถ้านักเรียนต้องการเปลี่ยนแปลงคำตอบให้ขีดฆ่าคำตอบเดิม แล้วทำเครื่องหมาย X ลงในช่องคำตอบใหม่ ตัวอย่างเช่น

ข้อ	ข้อคำถาม				เหตุผล			
	ก	ข	ค	ง	1	2	3	4
1	X		X			X		X

6. ห้ามทำเครื่องหมายใดๆ ลงในตัวข้อสอบ

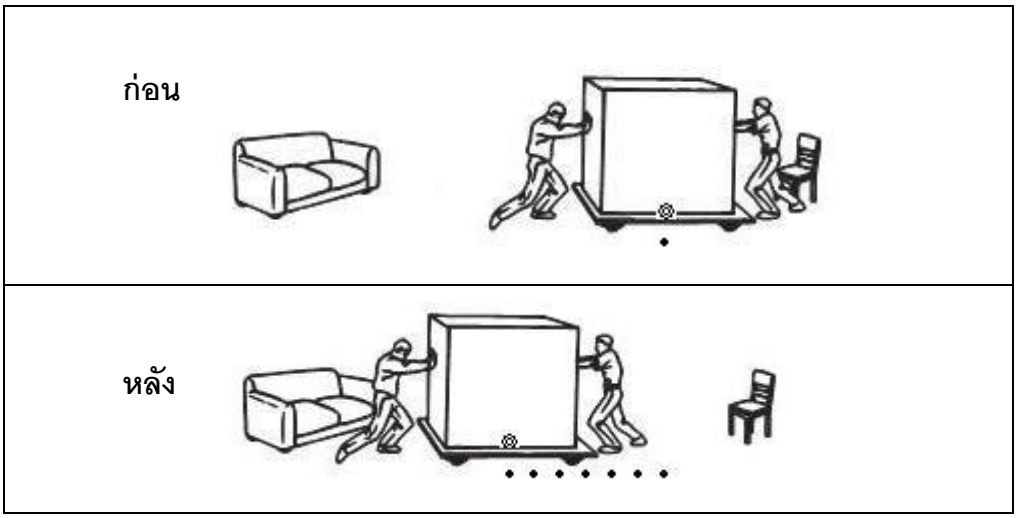
ตารางที่ 25 หัวข้อเรื่อง มโนทัศน์หลัก และจุดประสงค์ที่ต้องการวัดของแบบวัดมโนทัศน์หลัก เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

หัวข้อเรื่อง	มโนทัศน์หลัก	ข้อที่	จุดประสงค์ที่ต้องการวัด	
			ความเข้าใจ	การนำไปใช้
1.แรง	● คำจำกัดความของแรง	1,2	✓	-
	● ผลของแรงที่มีต่อสภาพการเคลื่อนที่	(1),2	✓	-
2.แรงเสียดทาน	● คำจำกัดความของแรงเสียดทาน	3	✓	-
	● ประเภทของแรงเสียดทาน			
3.มวล	● คำจำกัดความของมวล	4,(5)	✓	-
4.น้ำหนัก	● คำจำกัดความของน้ำหนัก	(4),5	-	✓
5.ความเฉื่อย	● คำจำกัดความของความเฉื่อย	6	-	✓
6.กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน	● ความคิดสำคัญของกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน	7	✓	-
		8	✓	-
7.กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน	● ความคิดสำคัญของกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน	9	✓	-
		10	-	✓
8.กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน	● ความคิดสำคัญของกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน	11	-	✓
		12	-	✓
9.กฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน	● ความคิดสำคัญของกฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน	13	-	✓
10.การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์	● คำจำกัดความของการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์	14,	-	✓

ตารางที่ 25 หัวข้อเรื่อง มโนทัศน์หลักและจุดประสงค์ที่ต้องการวัดของแบบวัดมโนทัศน์หลักเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ (ต่อ)

หัวข้อเรื่อง	มโนทัศน์หลัก	ข้อที่	จุดประสงค์ที่ต้องการวัด	
			ความเข้าใจ	การนำไปใช้
11.การเคลื่อนที่แบบวงกลม	● คำจำกัดความของการเคลื่อนที่แบบวงกลม	16	-	✓
		17	-	✓
	● คำจำกัดความของคาบ	18,19	✓	✓
	● คำจำกัดความของความถี่			
12.การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	● คำจำกัดความของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย	20	-	✓
รวมทั้งหมด		20	8	12

1.ภาพแสดงเหตุการณ์ผู้ชายสองคนต่างออกแรงผลักกล่องไม้ที่มีหมึกหยดด้วยอัตราคงตัว ข้อใดกล่าวถึงการเคลื่อนที่ของกล่องไม้ได้ถูกต้อง

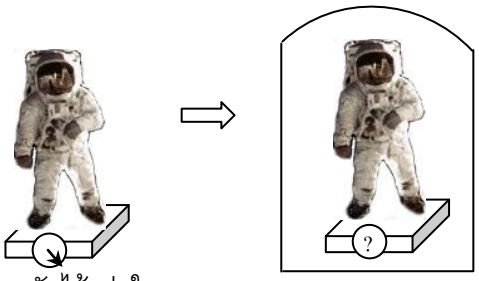


ก. วัตถุเคลื่อนที่ไปทางซ้ายด้วยความเร็วคงตัว
ข. วัตถุเคลื่อนที่ช้าลงด้วยอัตราคงตัวและมีความเร่งไปทางซ้าย
ค. วัตถุเคลื่อนที่ไปทางซ้ายและมีอัตราเร็วเพิ่มขึ้นด้วยอัตราคงตัว
ง. วัตถุเริ่มต้นจากจุดหยุดนิ่งและเคลื่อนที่ต่อไปด้วยความเร็วคงตัวไปทางซ้าย

สาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ข้างต้นเนื่องมาจาก

1. เกิดความสมดุลของแรงจากผู้ชายทั้งสอง
2. วัตถุวางบนล้อเลื่อนทำให้พื้นไม่มีความเสียดทาน
3. ผู้ชายทางซ้ายมือออกแรงผลักมากกว่าผู้ชายที่อยู่ทางขวามือ
4. ผู้ชายทางขวามือออกแรงผลักมากกว่าผู้ชายที่อยู่ทางซ้ายมือด้วยขนาดคงตัว

5.นักบินอวกาศคนหนึ่งชั่งน้ำหนักพร้อมชุดโดยรวมน้ำหนักของชุดนักบินอวกาศบนโลกได้ 1200 นิวตัน ถ้านักบินอวกาศคนเดียวกันนี้เข้าไปชั่งน้ำหนักของตนเองในห้องที่สูบเอาอากาศออกจนหมดบนโลกดังภาพ



นักบินอวกาศคนนี้จะชั่งน้ำหนักได้เท่าใด

ก. 0 นิวตัน

ข. เท่ากับ 1200 นิวตัน

ค. มากกว่า 1200 นิวตัน

ง. น้อยกว่า 1200 นิวตัน แต่ไม่เท่ากับ 0 นิวตัน

เหตุผลที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ข้างต้นเนื่องมาจาก

1. ความดันที่อยู่ภายในห้องส่งผลต่อน้ำหนัก
2. ค่าที่ปรากฏบนมาตรวัดแสดงมวลของวัตถุ และมีค่าคงที่
3. นักบินอวกาศได้รับผลของแรงโน้มถ่วงที่กระทำ ณ ตำแหน่งเดียวกันบนโลก
4. น้ำหนักของวัตถุเกี่ยวข้องกับสภาพของอากาศ โดยอากาศจะกำหนดค่าน้ำหนักของวัตถุ

วัดมโนทัศน์เรื่อง <u>มวลและน้ำหนัก</u> (ความเข้าใจและการนำไปใช้) เฉลย ข และ 3

6. วัตถุชนิดเดียวกันที่มีมวลต่างกัน วางบนพื้นสัมผัสเดียวกันที่ไม่มีแรงเสียดทาน เมื่อให้แรงผลักเท่ากัน วัตถุจะเคลื่อนที่ออกจากจุดหยุดนิ่ง โดยมีอัตราเร็วที่เปลี่ยนไปเป็นค่าต่างๆ ดังตาราง

วัตถุชิ้นที่	มวล (kg)	อัตราเร็ว (m/s)
1	80.0	6.0
2	70.0	10.0
3	50.0	15.0
4	40.0	20.0

วัตถุชิ้นใดมีความเฉื่อยมากที่สุด

ก. วัตถุชิ้นที่ 1 ข. วัตถุชิ้นที่ 2

ค. วัตถุชิ้นที่ 3 ง. วัตถุชิ้นที่ 4

เหตุผลเนื่องจาก

1. วัตถุที่มีมวลมากจะมีความเฉื่อยน้อยหรือต้านการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่น้อย
2. วัตถุที่มีมวลมากจะมีความเฉื่อยมากหรือต้านการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่มาก
3. วัตถุที่มีมวลน้อยจะมีความเฉื่อยมากหรือต้านการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่มาก
4. วัตถุที่มีมวลน้อยจะมีความเฉื่อยน้อยหรือต้านการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่น้อย

วัดมโนทัศน์เรื่อง ความเฉื่อย (การนำไปใช้) เฉลย ก และ 2

7.ชายคนหนึ่งออกแรงผลักลังมวล m ด้วยแรงกระทำ $\vec{F}$ ให้เคลื่อนที่ไปบนพื้นผิวลื่นที่ไร้ความเสียดทาน ดังภาพ

ถ้าชายคนนี้หยุดออกแรงผลักกะทันหันจะเกิดเหตุการณ์ใดขึ้น

ก. วัตถุมีความเร็วลดลง

ข. วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเพิ่มขึ้น

ค. วัตถุเปลี่ยนจากเคลื่อนที่เป็นหยุดนิ่ง

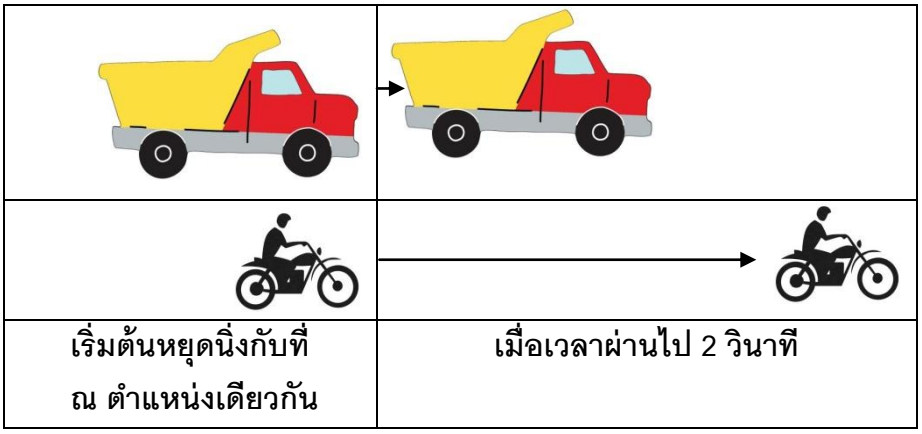
ง. วัตถุยังคงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่าเดิม

เหตุผลที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ข้างต้นคือข้อใด

1. มีใครบางคนมาผลักวัตถุ
2. มีแรงลัพธ์ผลักให้วัตถุเคลื่อนที่ไปด้านหน้า
3. ความเฉื่อยทำให้วัตถุยังคงเคลื่อนที่ไปด้านหน้า
4. แรงปฏิกิริยาที่กล่องกระทำต่อชายคนนี้ทำให้วัตถุเคลื่อนที่

วัดมโนทัศน์เรื่อง <u>กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน</u> (ความเข้าใจ) เฉลย ง และ 3

10.จากภาพแสดงการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกและรถจักรยานยนต์ ต่อไปนี้



การเคลื่อนที่ของรถทั้งสองประเภทสามารถอธิบายได้ด้วยกฎทางวิทยาศาสตร์ข้อใด

ก. กฎของความโน้มถ่วง
ข. กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน
ค. กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน
ง. กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน

สาเหตุที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวเนื่องจาก

1. มวลของรถบรรทุกมีค่ามากกว่ารถมอเตอร์ไซค์
2. แรงโน้มถ่วงที่กระทำต่อรถบรรทุกมีค่ามากกว่ารถมอเตอร์ไซค์
3. แรงที่กระทำต่อรถมอเตอร์ไซค์มีค่ามากจึงทำให้รถมอเตอร์ไซค์มีความเร่งมาก
4. แรงที่กระทำต่อรถมอเตอร์ไซค์มีค่ามากกว่าจึงทำให้เคลื่อนที่ได้เร็วกว่ารถบรรทุก

วัดมโนทัศน์เรื่อง <u>กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน</u> (การนำไปใช้) เฉลย ค และ 1

จากสถานการณ์ที่กำหนดต่อไปนี้ใช้ตอบคำถามข้อ 11-12

มีนักเรียน 2 คน คือ นายขยันและนายซื่อสัตย์ต่างนั่งบนเก้าอี้ที่มีล้อหมุนลื่นหันหน้าเข้าหากันบนพื้นที่มีความเสียดทานน้อยมาก และนายขยันวางฝ่าเท้าบนเข่าของนายซื่อสัตย์ ดังภาพ

นายขยัน
มวล 80 กิโลกรัม

นายซื่อสัตย์
มวล 68 กิโลกรัม

11.ในขณะที่ฝ่าเท้าของนายขยันสัมผัสกับเข่าของนายซื่อสัตย์ ข้อใดถูกต้อง

ก. ทั้งสองต่างมีแรงกระทำซึ่งกันและกันในขนาดเท่ากัน
ข. ทั้งสองต่างมีแรงกระทำซึ่งกันและกัน แต่นายขยันออกแรงกระทำมากกว่า
ค. ทั้งสองต่างมีแรงกระทำซึ่งกันและกัน แต่นายซื่อสัตย์ออกแรงกระทำมากกว่า
ง. นายขยันออกแรงกระทำต่อนายซื่อสัตย์ แต่นายซื่อสัตย์ไม่มีแรงกระทำต่อนายขยัน

เหตุผลเนื่องจาก

1. มวลไม่มีผลต่อแรงที่กระทำระหว่างนายขยันและนายซื่อสัตย์
2. นายซื่อสัตย์มีมวลน้อยกว่านายขยันทำให้ต้องออกแรงมากกว่า
3. นายขยันมีมวลมากกว่านายซื่อสัตย์ทำให้นายขยันออกแรงกระทำมากกว่า
4. นายซื่อสัตย์ถูกแรงกระทำที่เข่าทำให้ไม่สามารถออกแรงกระทำต่อนายขยัน

วัดมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน (การนำไปใช้) เฉลย ก และ 1

12.ถ้านายขยันใช้ฝ่าเท้าดันเข่านายซื่อสัตย์ การเคลื่อนที่ของนายขยันและนายซื่อสัตย์เป็นอย่างไร

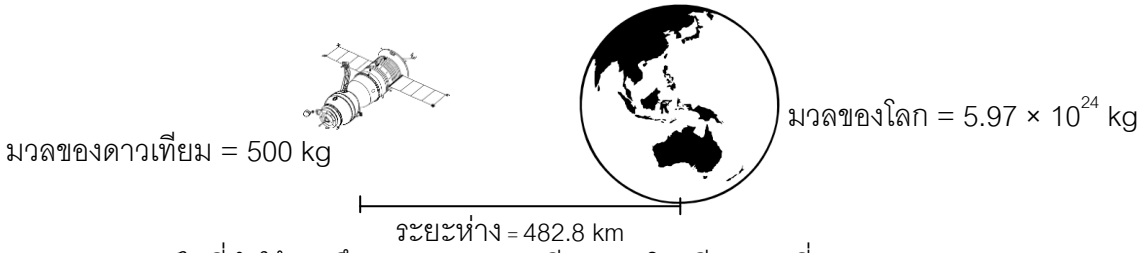
ก. นายขยันและนายซื่อสัตย์ไม่เคลื่อนที่
ข. นายขยันและนายซื่อสัตย์ต่างเคลื่อนที่ถอยหลัง
ค. นายขยันไม่เคลื่อนที่ และนายซื่อสัตย์เคลื่อนที่ถอยหลัง
ง. นาย ขยันเคลื่อนที่ไปด้านหน้า และนายซื่อสัตย์เคลื่อนที่ถอยหลัง

เหตุผลเนื่องจาก

1. แรงกิริยาที่ทำต่อนายขยันมีขนาดเท่ากับแรงปฏิริยาที่ทำต่อนายซื่อสัตย์และมีทิศทางตรงกันข้าม
2. แรงปฏิกิริยาที่ทำต่อนายขยันมีขนาดเท่ากับแรงกิริยาที่ทำต่อนายซื่อสัตย์และมีทิศทางตรงกันข้าม
3. แรงปฏิกิริยาที่ทำต่อนายขยันมีขนาดน้อยกว่าแรงกิริยาที่ทำต่อนายซื่อสัตย์และมีทิศไปทางนายขยัน
4. แรงกิริยาที่ทำต่อนายขยันมีขนาดมากกว่าแรงปฏิกิริยาที่ทำต่อนายซื่อสัตย์และมีทิศไปทางนายซื่อสัตย์

วัดมโนทัศน์เรื่อง <u>กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน</u> (การนำไปใช้) เฉลย ข และ 2

13. จากข้อมูลที่กำหนดให้ดังภาพต่อไปนี้



เหตุการณ์ใดที่ทำให้แรงดึงดูดระหว่างดาวเทียมและโลกมีค่ามากที่สุด

ก. ลดมวลของดาวเทียมลงครึ่งหนึ่ง

ข. เพิ่มมวลของดาวเทียมเป็นสองเท่า

ค. ลดระยะห่างระหว่างดาวเทียมและโลกลงครึ่งหนึ่ง

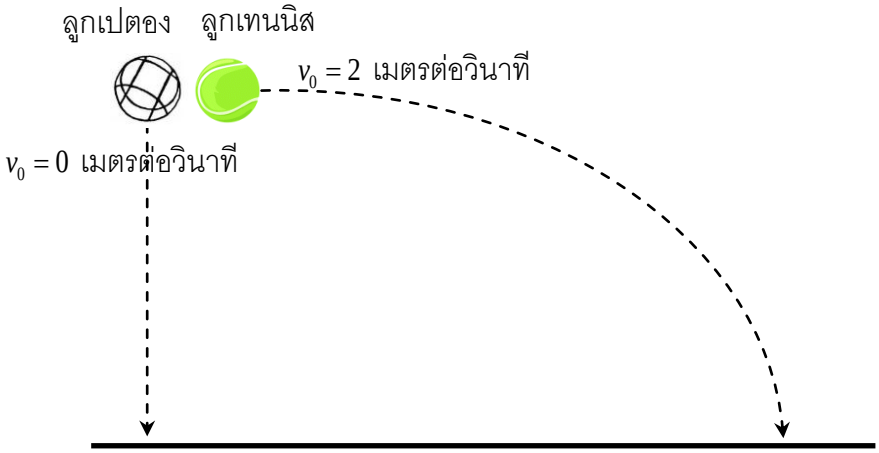
ง. เพิ่มระยะห่างระหว่างดาวเทียมและโลกขึ้นสองเท่า

เหตุผลเนื่องจาก

1. ค่าแรงโน้มถ่วงสากลกับมวลของดาวเทียมมีความสัมพันธ์แบบผกผันกัน
2. มวลของโลกมีค่าคงตัวจึงทำให้ค่าแรงโน้มถ่วงสากลระหว่างดาวเทียมและโลกมีค่ามาก
3. ค่าแรงโน้มถ่วงสากลมีความสัมพันธ์แบบผกผันกันกับระยะห่างกำลังสองระหว่างดาวเทียมและโลก
4. ค่าแรงโน้มถ่วงสากลมีความสัมพันธ์แบบผันตรงกันกับระยะห่างกำลังสองระหว่างดาวเทียมและโลก

วัดมโนทัศน์เรื่อง กฎแรงดึงดูดระหว่างมวล (การนำไปใช้) เฉลย ค และ 3

15. ลูกเปตองและลูกเทนนิสต่างเคลื่อนที่ภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก โดยเริ่มต้นเคลื่อนที่ที่ระดับความสูงเดียวกันดังแสดงในภาพ กำหนดให้ปล่อยลูกเปตองในแนวดิ่งและลูกเทนนิสมีความเร็วในแนวระดับดังภาพ (แรงต้านอากาศมีค่าน้อยมาก)



ข้อใดกล่าวได้<u>ถูกต้อง</u>

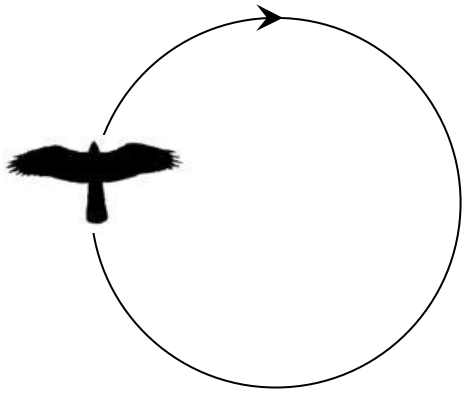
ก. ลูกเปตองตกถึงพื้นก่อน
ข. ลูกเทนนิสตกถึงพื้นก่อน
ค. ทั้งลูกเปตองและลูกเทนนิสตกถึงพื้นพร้อมกัน
ง. ทั้งลูกเปตองและลูกเทนนิสตกถึงพื้นในระยะเวลาใกล้เคียงกัน

เหตุผลเนื่องจาก

1. ลูกเปตองมีน้ำหนักมากกว่าลูกเทนนิส
2. ลูกเทนนิสมีความเร็วเริ่มต้นมากกว่าลูกเปตอง
3. ลูกเปตองมีระยะทางในการเคลื่อนที่น้อยกว่าลูกเทนนิส
4. ลูกปิงปองและลูกเทนนิสต่างมีความเร็วต้นในแนวดิ่งและความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเหมือนกัน

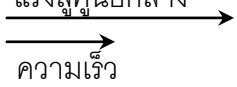
วัดมโนทัศน์เรื่อง <u>การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์</u> (การนำไปใช้) เฉลย ค และ 4

17. รูปด้านล่างแสดงเหยี่ยวที่กำลังบินวนหาเหยื่อบนท้องฟ้าด้วยอัตราเร็วคงตัวในทิศตามเข็มนาฬิกา

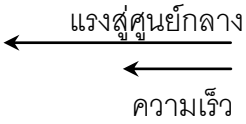


ความเร็วของเหยี่ยวและแรงสู่ศูนย์กลางที่กระทำต่อเหยี่ยว ณ ตำแหน่งการบินดังรูป มีทิศทางตามข้อใด

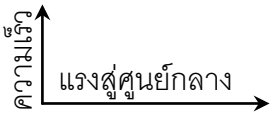
ก.



ข.



ค.



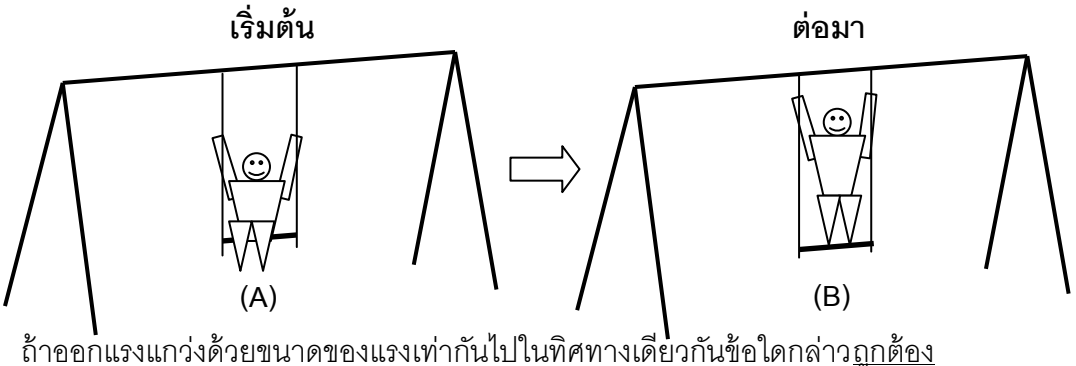
ง.

ข้อใดกล่าวถึงการเคลื่อนที่ของเหยี่ยวได้ถูกต้อง

1. มีทิศทางของความเร็วคงตัว
2. แรงเข้าสู่ศูนย์กลางมีทิศทางเดียวกันกับทิศทางของความเร็ว
3. แรงเข้าสู่ศูนย์กลางมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของความเร็ว
4. แรงเข้าสู่ศูนย์กลางมีทิศเข้าสู่จุดศูนย์กลางของการเคลื่อนที่และมีทิศทางตั้งฉากกับความเร็ว

วัดมโนทัศน์เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม (การนำไปใช้) เฉลย ค และ 4

19.เด็กชายเรียนดีนั่งเล่นชิงช้าดังภาพ A และจากนั้นได้เปลี่ยนเป็นท่ายืนเล่นชิงช้าดังภาพ B



ถ้าออกแรงแกว่งด้วยขนาดของแรงเท่ากันไปในทิศทางเดียวกันข้อใดกล่าวถูกต้อง

ก. (A) มีความถี่และคาบของการแกว่งเท่ากับ (B)

ข. (A) มีความถี่ของการแกว่งมากกว่า (B) แต่มีคาบการแกว่งน้อยกว่า

ค. (A) มีความถี่ของการแกว่งน้อยกว่า (B) แต่มีคาบของการแกว่งเท่ากัน

ง. (A) มีความถี่ของการแกว่งน้อยกว่า (B) แต่มีคาบของการแกว่งมากกว่า

เหตุผลเนื่องจาก

1. เวลาที่เด็กชายเรียนดีแกว่งได้ครบ 1 รอบเป็นปฏิภาคผกผันกับมวล
2. จำนวนรอบที่เด็กชายเรียนดีแกว่งได้ในหนึ่งหน่วยเวลาเป็นปฏิภาคโดยตรงกับมวล
3. เวลาที่เด็กชายเรียนดีแกว่งได้ครบ 1 รอบเป็นปฏิภาคโดยตรงกับค่ารากที่สองของความยาวโซ่
4. จำนวนรอบที่เด็กชายเรียนดีแกว่งได้ในหนึ่งหน่วยเวลาเป็นปฏิภาคโดยตรงกับค่ารากที่สองของความยาวโซ่

วัดมโนทัศน์เรื่อง การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (การนำไปใช้) เฉลย ง และ 3

ภาคผนวก ค

เครื่องมือที่ใช้ในทดลอง

1. **ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์โดยใช้รูปแบบการเรียนการสอน** MCIS

2. **ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์โดยใช้รูปแบบการเรียนการสอนแบบปกติ**

แผนการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์ตามการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS

เรื่อง แรงเสียดทานและประเภทของแรงเสียดทาน

สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ **วิชา ว 30108 ฟิสิกส์พื้นฐาน**
มัธยมศึกษาปีที่ 4 **จำนวน** 2 **คาบ เวลา** 100 **นาที**
ผู้สอน นายโกเมศ นาแจ้ง

มาตรฐาน ว 4.1 เข้าใจธรรมชาติของแรงแม่เหล็กไฟฟ้า แรงโน้มถ่วง และแรงนิวเคลียร์ มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์อย่างถูกต้องและมีคุณธรรม

ตัวชี้วัด

ว 4.1 **ม**.4-6/1 ทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเคลื่อนที่ของวัตถุในสนามโน้มถ่วง และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐาน ว 8.1 ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหารู้ว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีรูปแบบที่แน่นอน สามารถอธิบายและตรวจสอบได้ ภายใต้ข้อมูลและเครื่องมือที่มีอยู่ในช่วงเวลานั้นๆ เข้าใจว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคมและสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

ตัวชี้วัด

ว 8.1 ม.4-6/2 สร้างสมมติฐานที่มีทฤษฎีรองรับ หรือคาดการณ์สิ่งที่จะพบหรือสร้างแบบจำลองหรือสร้างรูปแบบ เพื่อนำไปสู่การสำรวจตรวจสอบ

ว 8.1 ม.4-6/7 วิเคราะห์ข้อมูล แปลความหมายข้อมูล และประเมินความสอดคล้องของข้อสรุป หรือสาระสำคัญเพื่อตรวจสอบกับสมมติฐานที่ตั้งไว้

ว 8.1 ม.4-6/12 จัดแสดงผลงาน เขียนรายงาน และ/หรืออธิบายเกี่ยวกับแนวคิด กระบวนการและผลของโครงงานหรือชิ้นงานให้ผู้อื่นเข้าใจ

จุดประสงค์การเรียนรู้

เมื่อนักเรียนจบบทเรียนนี้แล้วนักเรียนสามารถ

1. ตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับสถานการณ์โดยเขียนเป็นแบบจำลองเพื่อนำไปสู่การสำรวจตรวจสอบได้
2. ประเมินความสอดคล้องของสาระสำคัญเพื่อตรวจสอบกับสมมติฐานที่เป็นแบบจำลองได้
3. เขียนแบบจำลองที่อธิบายแรงเสียดทานและประเภทของแรงเสียดทานได้
4. นำเสนอแบบจำลองที่อธิบายแรงเสียดทานและประเภทของแรงเสียดทานได้
5. เขียนแบบจำลองที่อธิบายสถานการณ์ใหม่ที่เกี่ยวข้องกับแรงเสียดทานและประเภทของแรงเสียดทานได้
6. แสดงความสนใจในการใช้แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์อธิบายสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับแรงเสียดทาน

สาระสำคัญ

แรงเสียดทาน คือ แรงที่มีทิศตรงข้ามกับแรงที่พยายามทำให้วัตถุเคลื่อนที่ โดยเกิดขึ้นจากการสัมผัสกันระหว่างผิวของวัตถุกับผิวของพื้น หรือผิวของวัตถุสองผิว

แรงเสียดทาน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1.แรงเสียดทานสถิต คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุแต่วัตถุไม่เคลื่อนที่

2.แรงเสียดทานจลน์ คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกระทำขณะวัตถุเคลื่อนที่

กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นที่ 1 ขั้นปรากฏการณ์หลักและคำถามสำคัญ (5 นาที)

1. ครูแสดงแผนภาพตัวอย่างสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับความสำคัญของ แรงเสียดทาน ที่พบเห็นในชีวิตประจำวัน ดังภาพ

จากนั้นจึงใช้คำถามดังต่อไปนี้

1.1 จากแผนภาพนักเรียนเคยพบเห็นป้ายเตือนดังกล่าวหรือไม่ และป้ายเตือนดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อเตือนให้ระวังในเรื่องอะไร (เตือนให้ระวังถนนลื่นและระวังพื้นลื่น)

1.2 สาเหตุสำคัญที่ทำให้ถนนและพื้นมีความลื่นและเป็นอันตรายสำหรับการเกิดอุบัติเหตุคืออะไร (พื้นผิวขาดแรงเสียดทาน)

2. ครูยกตัวอย่างสถานการณ์โดยแสดงอุปกรณ์ที่ประกอบด้วย กล่อง 2 ใบที่มีมวลเท่ากัน แต่มีลักษณะของผิวแตกต่างกัน คือ กล่องใบที่ 1 ห่อด้วยกระดาษทราย และกล่องใบที่ 2 ไม่มีกระดาษทรายห่อ จากนั้นครูให้นักเรียนคาดคะเนสภาพการเคลื่อนที่ของกล่องทั้งสองใบ และสาเหตุที่ทำให้กล่องทั้งสองใบมีสภาพการเคลื่อนที่แตกต่างกัน โดยใช้คำถามดังต่อไปนี้

2.1 เมื่อครูออกแรงดึงกล่องทั้ง 2 ใบด้วยแรงขนาดเท่ากันไปในทิศทางเดียวกัน สภาพการเคลื่อนที่ของกล่องทั้งสองใบเหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไร

2.2 ถ้าสภาพการเคลื่อนที่ของกล่องทั้งสองใบแตกต่างกัน อะไรเป็นสาเหตุที่ทำให้กล่องทั้งสองมีสภาพการเคลื่อนที่แตกต่างกัน

2.3 ถ้าทำให้กล่องทั้งสองใบมีน้ำหนักแตกต่างกัน จะส่งผลต่อสภาพการเคลื่อนที่ของกล่องทั้งสองใบหรือไม่ และส่งผลต่อแรงเสียดทานอย่างไร

3. ครูกล่าวต่อไปว่า สาเหตุที่ทำให้กล่องทั้งสองใบมีสภาพการเคลื่อนที่แตกต่างกัน คือ แรงเสียดทาน นักเรียนคิดว่าแรงเสียดทานคืออะไร และแรงเสียดทานแบ่งออกได้เป็นกี่ประเภท วันนี้นักเรียนจะได้เรียนรู้กัน

ขั้นที่ 2 ขั้นสร้างแบบจำลองเบื้องต้น (10 นาที)

4. ครูให้นักเรียนออกมารับเอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.1 เรื่อง แรงเสียดทาน

5. ครูให้นักเรียนคาดคะเนเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นโดยวาดภาพด้วยดินสอลงในเอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.1 ข้อที่ 2 และ 3 การเขียนภาพวาดเบื้องต้นเป็นรายบุคคลในประเด็นดังต่อไปนี้

1) ทิศทางและขนาดของแรงดึง และแรงเสียดทานที่กระทำต่อกล่องที่บรรจุถุงทรายมวล 1 กิโลกรัม ของกล่องที่หุ้มด้วยกระดาษทรายและกล่องที่ไม่หุ้มด้วยกระดาษทราย ในขณะที่

ออกแรงดึงกล่อง ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่ของกล่องกระดาษทั้งสองจากหยุดนิ่งกับที่ เป็นเริ่มเคลื่อนที่ และเคลื่อนที่ในที่สุด โดยระบุสมมติฐานที่ทำให้เกิดลักษณะดังกล่าว

2) ทิศทางและขนาดของแรงดึง และแรงเสียดทานที่กระทำต่อกล่องที่บรรจุถุงทราย มวล 1 และ 2 กิโลกรัม ตามลำดับ ของกล่องที่ไม่หุ้มด้วยกระดาษทราย ในขณะที่ออกแรงดึงกล่องที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่ของกล่องกระดาษทั้งสองจากหยุดนิ่งกับที่ เป็นเริ่มเคลื่อนที่ และเคลื่อนที่ในที่สุด โดยระบุสมมติฐานที่ทำให้เกิดลักษณะดังกล่าว

ขั้นที่ 3 ขั้นสำรวจตรวจสอบเชิงประจักษ์ (10 นาที)

6. ครูให้นักเรียนแบ่งกลุ่ม 12 กลุ่ม กลุ่มละ 4 คน

7. ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มปฏิบัติดังต่อไปนี้

7.1 แลกเปลี่ยนภาพวาดที่แสดงถึงการตั้งสมมติฐานของตนเองกับเพื่อนในกลุ่มและพิจารณาความเหมือนและความแตกต่างของภาพวาดของตนเองและของเพื่อน

7.2 ให้ตัวแทนแต่ละกลุ่มออกมารับเอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.2 และอุปกรณ์ โดยมีรายการดังต่อไปนี้ 1) กล่องบรรจุถุงทรายจำนวน 2 กล่อง ได้แก่ กล่องที่หุ้มด้วยกระดาษทรายและกล่องที่ไม่หุ้มด้วยกระดาษทราย 2) ถุงทรายจำนวน 4 ถุง ถุงละ 500 กรัม 3) ตราชั่งสปริง จำนวน 1 อัน

7.3 ให้นักเรียนทำการทดลองออกแรงดึงกล่องที่บรรจุถุงทรายด้วยแรงขนาดต่างๆ กัน สังเกตการเคลื่อนที่และขนาดของแรงที่กระทำต่อกล่อง และบันทึกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ดังกล่าวลงในเอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.2

ขั้นที่ 4 ขั้นประเมินและปรับปรุงแบบจำลองเบื้องต้น (5 นาที)

8. ครูใช้คำถามดังต่อไปนี้

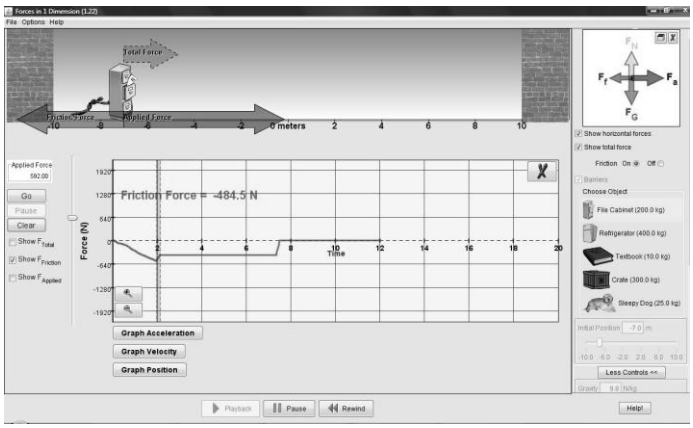
8.1 ผลที่ได้แตกต่างจากสมมติฐานที่นักเรียนคาดคะเนไว้ในเอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.1 หรือไม่ อย่างไร

8.2 จากข้อ 8.1 ถ้าต่างนักเรียนจะปรับปรุงแบบจำลองของตนเองอย่างไร

9. ครูให้นักเรียนแก้ไขแบบจำลองของตนเองเป็นรายบุคคลโดยวาดภาพด้วยปากกาสีแดงลงในเอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.1

ขั้นที่ 5 ขั้นแนะนำความคิดทางวิทยาศาสตร์และสถานการณ์จำลอง (20 นาที)

10. ครูแสดงสื่อแอนิเมชันเรื่อง แรงเสียดทานที่มีลักษณะดังภาพ



และใช้คำถามดังต่อไปนี้

10.1 จากภาพแสดงสถานการณ์เกี่ยวกับอะไร (แสดงการออกแรงผลักตู้เก็บเอกสาร)

10.2 จากภาพมีแรงใดกระทำต่อตู้เก็บเอกสารบ้าง และกระทำไปในทิศทางใด (แรงผลักมีทิศไปทางขวา และแรงเสียดทานมีทิศไปทางซ้าย)

10.3 ขนาดของแรงผลักและแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะที่วัตถุหยุดนิ่งกับที่มีค่าเป็นอย่างไร (เมื่อออกแรงผลักมากขึ้น แรงเสียดทานก็มีค่ามากขึ้น)

10.4 ทิศทางของแรงเสียดทานและทิศทางการเคลื่อนที่ของตู้เก็บเอกสารเป็นอย่างไร (ทิศทางของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นมีทิศทางตรงข้ามกับทิศการเคลื่อนที่ของตู้เก็บเอกสาร)

10.5 แรงเสียดทานเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งใด (ระหว่างผิวสัมผัสของตู้เอกสารและพื้น)

10.6 ณ ตำแหน่งที่ตู้เก็บเอกสารเริ่มเคลื่อนที่ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นมีค่าเป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นเมื่อตู้เก็บเอกสารกำลังเคลื่อนที่ (แรงเสียดทานมีค่ามากที่สุด)

10.7 ในขณะที่ตู้เก็บเอกสารเคลื่อนที่แล้วขนาดของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นมีค่าเป็นอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของแรงที่ใช้ผลัก (มีค่าน้อยกว่าแรงเสียดทานขณะเริ่มเคลื่อนที่และมีค่าคงที่)

11. ครูอธิบายแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะที่ตู้เก็บเอกสารหยุดนิ่งอยู่กับที่ว่าเป็นแรงเสียดทานสถิต (Static friction) โดยใช้สัญลักษณ์ f_s และแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะที่มีการเคลื่อนที่เรียกว่า แรงเสียดทานจลน์ (Kinetic friction) โดยใช้สัญลักษณ์ f_k โดยทั้งสองปริมาณสามารถหาได้จากสมการความสัมพันธ์ดังนี้ $f_s = \mu_s N$ และ $f_k = \mu_k N$

12. ครูให้นักเรียนเขียนกราฟเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดึง (F) และแรงเสียดทานทั้ง 2 ประเภท คือ แรงเสียดทานสถิต (f_s) และแรงเสียดทานจลน์ (f_k) โดยใช้คำถามดังต่อไปนี้

12.1 ควรให้ปริมาณใดอยู่บนแกน x และปริมาณใดอยู่บนแกน y

12.2 จงเขียนกราฟอธิบายความสัมพันธ์ของแรงดึง และแรงเสียดทานทั้ง 2 ประเภท ลงในเอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.3 ข้อที่ 1

13. ครูนำนักเรียนอภิปรายเพื่อให้นักเรียนนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาสื่อแอนิเมชันมาอธิบายผลที่ได้จากการทดลองโดยใช้คำถามดังต่อไปนี้

13.1 ทิศทางและขนาดของแรงที่กระทำต่อกล่องทั้งสองใบเป็นอย่างไร

13.2 ทิศทางการเคลื่อนที่ของกล่องทั้งสองใบในขณะที่หยุดนิ่ง เริ่มเคลื่อนที่ และเคลื่อนที่สัมพันธ์กับขนาดของแรงและทิศทางของแรงอย่างไร

ขั้นที่ 6 ขั้นประเมินและปรับปรุงแบบจำลอง (10 นาที)

14. ครูให้นักเรียนแต่ละคนนำแนวคิดสำคัญเรื่อง แรงเสียดทาน ที่ได้จากการทดลองมาประเมินและปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองเบื้องต้นที่สร้างขึ้นโดยใช้คำถามดังต่อไปนี้

14.1 จากผลการศึกษาสื่อแอนิเมชัน นักเรียนพบประเด็นที่แตกต่างไปจากแบบจำลองของตนเองหรือไม่ อย่างไร

14.2 จากผลการศึกษาสื่อแอนิเมชัน นักเรียนคิดว่าแบบจำลองของตนเองถูกต้องเหมาะสมแล้วหรือไม่ มีประเด็นใดบ้างที่ต้องปรับปรุงและแก้ไข

15. ครูให้นักเรียนแต่ละคนนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาความคิดสำคัญในขั้นที่ 5 ไปปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองของตนเองโดยวาดด้วยปากกาสีน้ำเงินลงในเอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.1

ขั้นที่ 7 ขั้นประเมินโดยเพื่อน (10 นาที)

16. ครูนำนักเรียนอภิปรายเพื่อกำหนดประเด็นในการประเมินแบบจำลอง โดยใช้คำถามดังต่อไปนี้

16.1 แบบจำลองที่อธิบายแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างกล่องที่มีมวลเท่ากันแต่มีผิวต่างกันให้มีความถูกต้องนั้นควรมีลักษณะเป็นอย่างไร

16.2 แบบจำลองที่อธิบายแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นให้สามารถเข้าใจได้ง่ายควรมีลักษณะเป็นอย่างไร

17. ครูให้นักเรียนประเมินแบบจำลองของเพื่อนในแบบจำลองของแต่ละคนที่ปรับแก้จากขั้นที่ 6

ขั้นที่ 8 ขั้นลงมติแบบจำลองที่สร้าง (20 นาที)

18. ครูให้ตัวแทนแต่ละกลุ่มนำเสนอแบบจำลอง กลุ่มละ 2 นาที พร้อมให้สมาชิกในชั้นเรียนระบุจุดเด่น และจุดที่ควรปรับปรุง

19. ครูนำอภิปรายเพื่อตรวจสอบความถูกต้องครบถ้วนของแบบจำลองโดยเปรียบเทียบลักษณะที่เหมือนกันและแตกต่างกันของแต่ละกลุ่มโดยใช้คำถามดังต่อไปนี้

19.1 มีแบบจำลองของกลุ่มใดบ้างที่มีลักษณะเหมือนกันและเหมือนกันอย่างไร

19.2 แบบจำลองของกลุ่มใดบ้างที่มีลักษณะแตกต่างกันและแตกต่างกันอย่างไร

19.3 นักเรียนคิดว่าแบบจำลองที่สามารถอธิบายแนวคิดสำคัญของแรงเสียดทานควรมีภาพเป็นอย่างไร

21. ครูและนักเรียนร่วมกันวาดภาพแบบจำลองที่ปรับปรุงแก้ไขบนกระดาน

22. ครูนำนักเรียนอภิปรายเพื่อนำไปสู่การสรุปบทเรียนเรื่อง แรงเสียดทานและประเภทของแรงเสียดทานโดยใช้คำถามดังต่อไปนี้

22.1 ทิศทางของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นกับกล่องกระดาษมีทิศทางเป็นอย่างไร (มีทิศทางตรงข้ามกับแรงที่พยายามทำให้วัตถุเคลื่อนที่)

22.2 แรงเสียดทานเกิดขึ้นที่บริเวณใดของกล่องกระดาษ (เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสระหว่างวัตถุกับพื้น)

22.3 นักเรียนจะสรุปความหมายของแรงเสียดทานได้ว่าอย่างไร (แรงที่มีทิศตรงข้ามกับแรงที่พยายามทำให้วัตถุเคลื่อนที่ โดยเกิดขึ้นจากการสัมผัสกันระหว่างผิวของวัตถุกับผิวของพื้น หรือผิวของวัตถุสองผิว)

22.4 แรงเสียดทานแบ่งออกเป็นกี่ประเภท และแรงเสียดทานแต่ละประเภทมีความหมายว่าอย่างไร (2 ประเภท ได้แก่ แรงเสียดทานสถิต คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุแต่วัตถุไม่เคลื่อนที่ และแรงเสียดทานจลน์ คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกระทำขณะวัตถุเคลื่อนที่)

22.5 มีปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อแรงเสียดทาน (ประเภทของผิวสัมผัส และขนาดของน้ำหนัก)

23. ครูให้นักเรียนเขียนนิยามที่มีความเห็นร่วมกันของแรงเสียดทานและประเภทของแรงเสียดทานลงในเอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.3 ข้อที่ 2

ขั้นที่ 9 ขั้นใช้แบบจำลองเพื่อทำนายหรืออธิบาย (10 นาที)

24. ครูให้ตัวแทนแต่ละกลุ่มออกมารับเอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.4 จากนั้นใช้คำถามดังต่อไปนี้

24.1 จากสถานการณ์ที่กำหนดเกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ใด (การขับขี่รถยนต์บนท้องถนน)

24.2 สาเหตุที่ทำให้รถยนต์สามารถวิ่งไปบนท้องถนนได้เนื่องมาจากมีแรงใดกระทำและเกิดขึ้นที่ใด (แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นกับล้อรถยนต์)

24.3 นักเรียนคิดว่า แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่ล้อรถยนต์มีขนาดและทิศทางเป็นอย่างไรและสัมพันธ์กับแรงพยายามที่ล้อรถกระทำต่อผิวถนน และทิศทางการเคลื่อนที่ในขณะที่รถยนต์คันนี้เคลื่อนที่อย่างไร ให้นักเรียนเขียนภาพวาดและเขียนข้อความอธิบายสถานการณ์ที่กำหนดเป็นรายบุคคลในเอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.4

การวัดและประเมินผล

1. ประเมินแบบจำลองที่นักเรียนสร้างขึ้นได้แก่ 1) แบบจำลองที่ใช้ภาพวาดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึง น้ำหนัก และแรงเสียดทาน 2) แบบจำลองที่นำเสนอด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานสถิต แรงเสียดทานจลน์ และแรงดึง และ 3) แบบจำลองที่นำเสนอด้วยข้อความมโนทัศน์ของแรงเสียดทานและประเภทของแรงเสียดทาน โดยใช้แบบประเมินแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

2. ประเมินความถูกต้องของการเขียนตอบในเอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.1 – 3.4

สื่อการเรียนรู้

1. เอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.1-3.4 เรื่อง แรงเสียดทานและประเภทของแรงเสียดทาน
2. สื่อแอนิเมชัน เรื่อง แรงเสียดทาน สืบค้นได้จาก http://phet.colorado.edu/en/simulation/forces-1d
3. อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบการศึกษาเรื่อง แรงเสียดทานและประเภทของแรงเสียดทาน ได้แก่ 3.1 กล่องบรรจุถุงทราย ได้แก่ 1) กล่องที่หุ้มด้วยกระดาษทราย จำนวน 12 กล่อง 2) กล่องที่ไม่หุ้มด้วยกระดาษทราย จำนวน 12 กล่อง 3.2 ถุงทรายจำนวน 48 ถุง บรรจุถุงละ 500 กรัม 3.3 ตราชั่งสปริงจำนวน 12 อัน

เอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.1

แรงเสียดทานและประเภทของแรงเสียดทาน

ชื่อ.....**นามสกุล**.....
ชั้น.....**เลขที่**..... **กลุ่มที่**.....

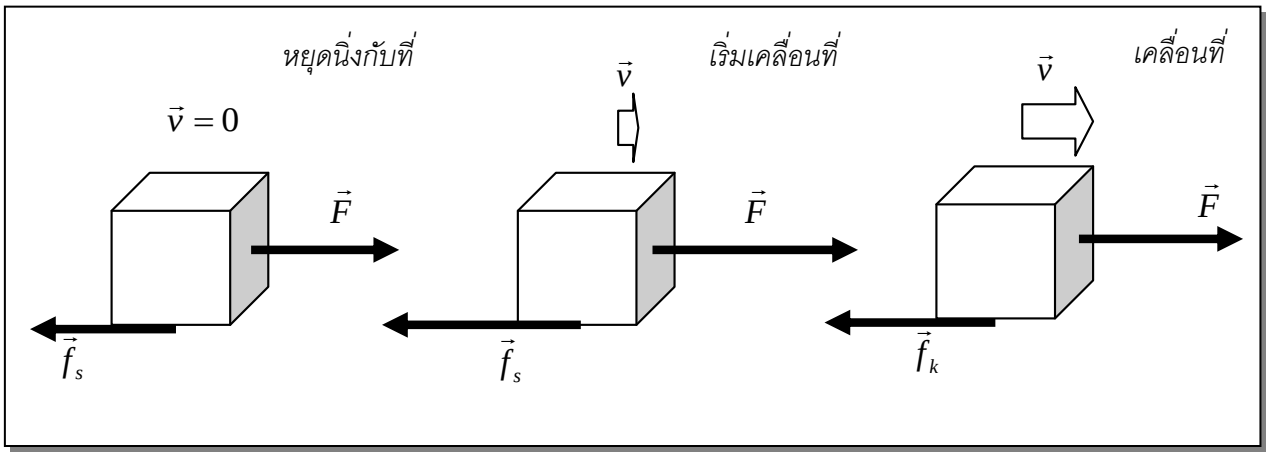
<u>คำสั่ง</u> 1. ให้นักเรียนศึกษาจากสถานการณ์ที่กำหนดและปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

สถานการณ์ที่ 1: ทดลองออกแรงดึงกล่องมวล 1 kg ที่ห่อด้วยกระดาษทรายและที่ไม่ห่อด้วยกระดาษทรายเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับขนาดและทิศทางของแรงเสียดทาน

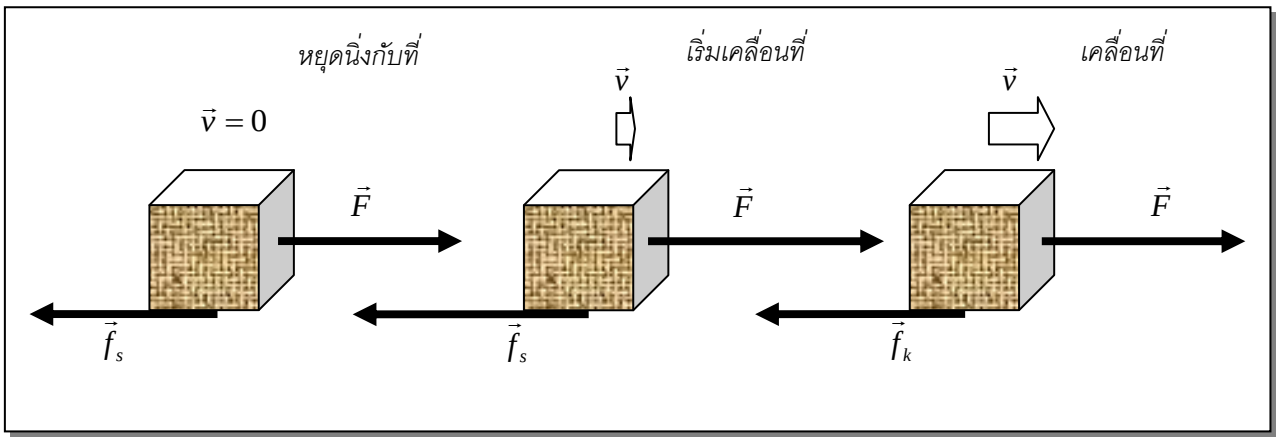
สถานการณ์ที่ 2: ทดลองออกแรงดึงกล่องที่มีมวลต่างกัน 1 kg และ 2 kg เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงเสียดทานและน้ำหนักของวัตถุ

2.จากสถานการณ์ที่ 1 จงวาดภาพแสดงทิศทางและขนาดของแรงดึง แรงเสียดทาน และสภาพการเคลื่อนที่ในขณะที่วัตถุหยุดนิ่งกับที่ เริ่มเคลื่อนที่ และเคลื่อนที่ ในกรณีต่อไปนี้

2.1 กรณีที่กล่องกระดาษไม่หุ้มด้วยกระดาษทราย

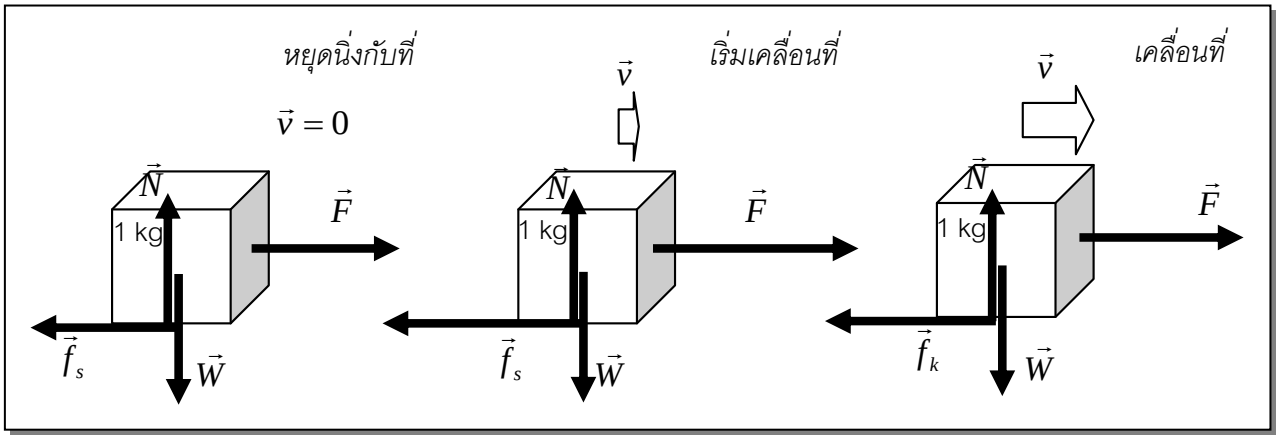


2.2 กรณีที่กล่องกระดาษหุ้มด้วยกระดาษทราย

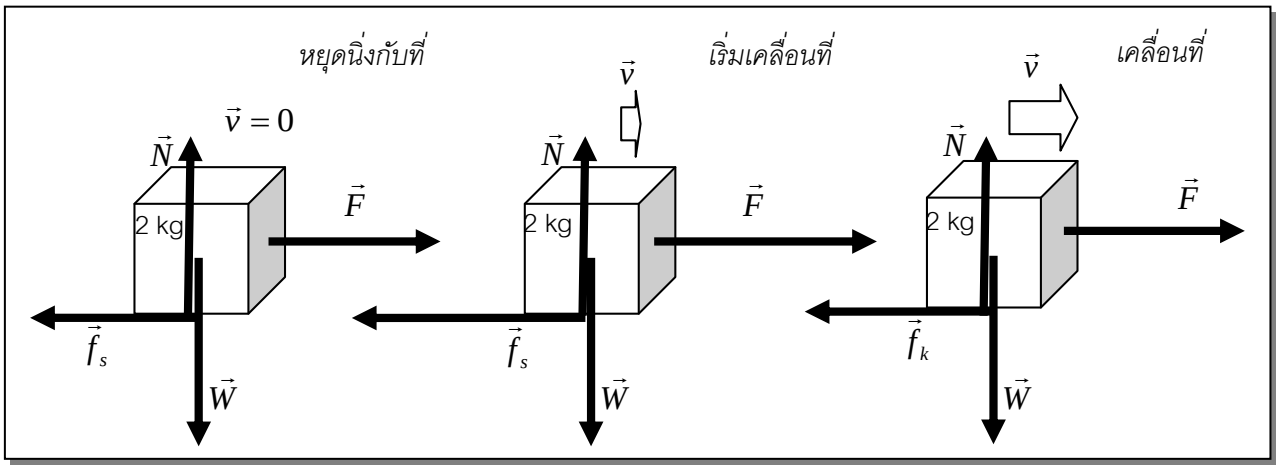


3. จากสถานการณ์ที่ 2 จงวาดภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงเสียดทานและน้ำหนักของวัตถุในขณะที่วัตถุหยุดนิ่งกับที่ เริ่มเคลื่อนที่ และเคลื่อนที่ ในกรณีต่อไปนี้

3.1 กรณีกล่องมีมวล 1 kg



3.2 กรณีกล่องมีมวล 2 kg



เอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.2

แรงเสียดทานและประเภทของแรงเสียดทาน

ชื่อ.....**นามสกุล**.....
ชั้น.....**เลขที่**..... **กลุ่มที่**.....

<u>กิจกรรม</u> การทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึง แรงเสียดทาน น้ำหนักและสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ

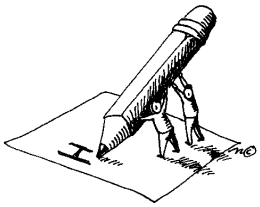
<u>วัตถุประสงค์ที่</u> 1: เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับขนาดและทิศทางของแรงเสียดทาน

<u>คำชี้แจง</u> :

1. ให้นักเรียนภายในกลุ่มร่วมกันทดลองออกแรงดึงกล่องที่ห่อด้วยกระดาษทรายและที่ไม่ห่อด้วยกระดาษทรายและบรรจุถุงทรายมวล 1 กิโลกรัม

2. บันทึกผลจากการออกแรงดึงกล่องที่บรรจุถุงทราย ด้วยขนาดของแรงต่างๆ กัน พร้อมระบุสภาพการเคลื่อนที่ของกล่องทั้งสองกรณีลงในตารางที่กำหนด

<u>ตารางบันทึกผลที่</u> 1.1 **ขนาดของแรงดึงกับสภาพการเคลื่อนที่ของกล่องที่มีผิวสัมผัส**



ครั้งที่	ลักษณะของกล่องกระดาษ	ขนาดของแรงดึง (N)	สภาพการเคลื่อนที่/ไม่เคลื่อนที่
1	ห่อกระดาษทราย		
	ไม่ห่อกระดาษทราย		
2	ห่อกระดาษทราย		
	ไม่ห่อกระดาษทราย		
3	ห่อกระดาษทราย		
	ไม่ห่อกระดาษทราย		
4	ห่อกระดาษทราย		
	ไม่ห่อกระดาษทราย		

<u>สรุปผลการทดลอง</u> :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

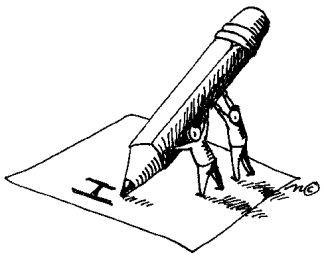
<u>วัตถุประสงค์ที่</u> 2: เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงเสียดทานและน้ำหนักของวัตถุ

<u>คำชี้แจง</u> :

1. ให้นักเรียนภายในกลุ่มร่วมกันทดลองออกแรงดึงกล่องที่บรรจุถุงทรายมวล 1 และ 2 กิโลกรัม ตามลำดับ

2. บันทึกผลจากการออกแรงดึงกล่องที่บรรจุถุงทราย ด้วยขนาดของแรงต่างๆ กัน พร้อมระบุสภาพการเคลื่อนที่ของกล่องทั้งสองกรณีลงในตารางที่กำหนด

<u>ตารางบันทึกผลที่</u> 1.2 ขนาดของแรงดึงกับสภาพการเคลื่อนที่ของกล่องที่มีน้ำหนัก 2 นิวตัน



ครั้งที่	ขนาดของแรงดึง (N)	สภาพการเคลื่อนที่/ไม่เคลื่อนที่
1		
2		
3		
4		

<u>สรุปผลการทดลอง</u> :

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.3

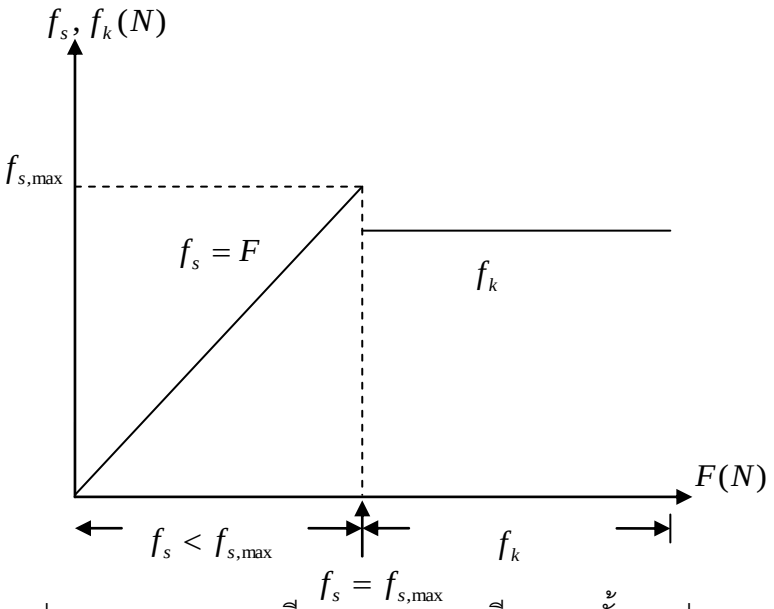
แรงเสียดทานและประเภทของแรงเสียดทาน

ชื่อ.....**นามสกุล**.....
ชั้น.....**เลขที่**..... **กลุ่มที่**.....

<u>คำสั่ง</u> ให้นักเรียนนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาเติมคำตอบลงในข้อต่อไปนี้

1.จงเขียนระบุกราฟอธิบายความสัมพันธ์ของแรงดึง และแรงเสียดทานทั้ง 2 ประเภท พร้อมระบุชื่อกราฟ

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับแรงเสียดทานสถิตและแรงเสียดทานจลน์



2.จงเขียนข้อความสรุปความหมายของแรงเสียดทานและแรงเสียดทานทั้งสองประเภทลงในช่องที่กำหนด

แรงเสียดทาน คือ แรงที่มีทิศตรงข้ามกับแรงที่พยายามทำให้วัตถุเคลื่อนที่ โดยเกิดขึ้นจากการสัมผัสกันระหว่างผิวของวัตถุกับผิวของพื้น หรือผิวของวัตถุสองผิว

แรงเสียดทาน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1.แรงเสียดทานสถิต คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุแต่วัตถุไม่เคลื่อนที่

2.แรงเสียดทานจลน์ คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกระทำขณะวัตถุเคลื่อนที่

เอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.4

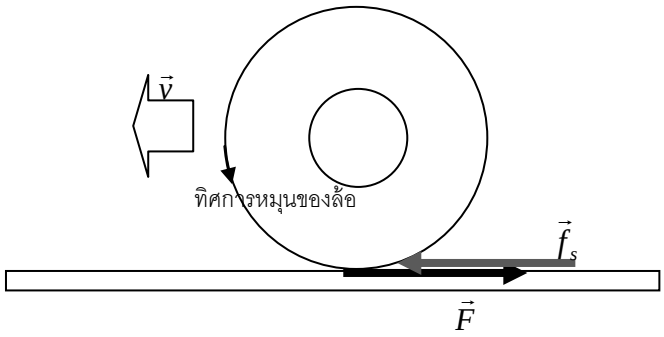
แรงเสียดทานและประเภทของแรงเสียดทาน

ชื่อ.....**นามสกุล**.....
ชั้น.....**เลขที่**..... **กลุ่มที่**.....

<u>คำสั่ง</u> ให้นักเรียนศึกษาแผนภาพและสถานการณ์ที่กำหนดให้ดังต่อไปนี้ จากนั้นให้เขียนภาพวาดและข้อความอธิบายในข้อที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

"ความปลอดภัยของการขับขี่ยวดยานพาหนะไปบนท้องถนนนั้น สภาพของยางรถยนต์มีส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ขับขี่ ถ้ารถคันนี้กำลังวิ่งบนถนนด้วยความเร็วคงตัวไปทางซ้ายมือ"

1.จงวาดภาพอธิบายทิศทางและขนาดของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น แรงพยายามที่ล้อรถกระทำต่อผิวถนน และทิศทางการเคลื่อนที่ในขณะที่รถยนต์คันนี้เคลื่อนที่



2. จงเขียนข้อความอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างล้อรถกับผิวถนนและการเคลื่อนที่ของรถยนต์

รถยนต์เคลื่อนที่ไปบนท้องถนนได้เนื่องจาก แรงเสียดทานสถิตที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของล้อรถยนต์และผิวถนนในขณะที่รถยนต์กำลังเคลื่อนที่ โดยแรงเสียดทานสถิตมีทิศตรงข้ามกับแรงที่ล้อรถพยายามทำให้รถเคลื่อนที่ แต่มีทิศทางเดียวกันกับทิศทางการเคลื่อนที่ของรถยนต์

แผนการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์ตามการเรียนการสอนแบบปกติ
เรื่อง แรงเสียดทานและประเภทของแรงเสียดทาน

สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ **วิชา ว 30108 ฟิสิกส์พื้นฐาน**
มัธยมศึกษาปีที่ 4 **จำนวน** 2 **คาบ เวลา** 100 **นาที**
ผู้สอน นายโกเมศ นาแจ้ง

มาตรฐาน ว 4.1 เข้าใจธรรมชาติของแรงแม่เหล็กไฟฟ้า แรงโน้มถ่วง และแรงนิวเคลียร์ มีกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์อย่างถูกต้องและมีคุณธรรม

ตัวชี้วัด

ว 4.1 ม.4-6/1 ทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการเคลื่อนที่ของวัตถุในสนามโน้มถ่วง และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

มาตรฐาน ว 8.1 ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหารู้ว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีรูปแบบที่แน่นอน สามารถอธิบายและตรวจสอบได้ ภายใต้ข้อมูลและเครื่องมือที่มีอยู่ในช่วงเวลานั้นๆ เข้าใจว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคมและสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

ตัวชี้วัด

ว 8.1 ม.4-6/7 วิเคราะห์ข้อมูล แปลความหมายข้อมูล และประเมินความสอดคล้องของข้อสรุป หรือสาระสำคัญเพื่อตรวจสอบกับสมมติฐานที่ตั้งไว้

จุดประสงค์การเรียนรู้

เมื่อนักเรียนจบบทเรียนนี้แล้วนักเรียนสามารถ

1. บอกความหมายและประเภทของแรงเสียดทานได้
2. อธิบายสถานการณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับแรงเสียดทานและประเภทของแรงเสียดทานได้
3. ให้ความร่วมมือด้วยการแสดงความคิดเห็นและตอบคำถามในระหว่างจัดการเรียนการสอน

สาระสำคัญ

แรงเสียดทาน คือ แรงที่มีทิศตรงข้ามกับแรงที่พยายามทำให้วัตถุเคลื่อนที่ โดยเกิดขึ้นจากการสัมผัสกันระหว่างผิวของวัตถุกับผิวของพื้น หรือผิวของวัตถุสองผิว

แรงเสียดทาน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1.แรงเสียดทานสถิต คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุแต่วัตถุไม่เคลื่อนที่

2.แรงเสียดทานจลน์ คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกระทำขณะวัตถุเคลื่อนที่

กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นที่ 1 ขั้นนำ (5 นาที)

1. ครูแสดงแผนภาพตัวอย่างสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับความสำคัญของ แรงเสียดทาน ที่พบเห็นในชีวิตประจำวัน ดังภาพ

จากนั้นจึงใช้คำถามดังต่อไปนี้

1.3 จากแผนภาพนักเรียนเคยพบเห็นป้ายเตือนดังกล่าวหรือไม่ และป้ายเตือนดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อเตือนให้ระวังในเรื่องอะไร (เตือนให้ระวังถนนลื่นและระวังพื้นลื่น)

1.4 สาเหตุสำคัญที่ทำให้ถนนและพื้นมีความลื่นและเป็นอันตรายสำหรับการเกิดอุบัติเหตุคืออะไร (พื้นผิวขาดแรงเสียดทาน)

2. ครูยกตัวอย่างสถานการณ์โดยแสดงอุปกรณ์ที่ประกอบด้วย กล่อง 2 ใบที่มีมวลเท่ากัน แต่มีลักษณะของผิวแตกต่างกัน คือ กล่องใบที่ 1 ห่อด้วยกระดาษทราย และกล่องใบที่ 2 ไม่มีกระดาษทรายห่อ จากนั้นครูให้นักเรียนคาดคะเนสภาพการเคลื่อนที่ของกล่องทั้งสองใบ และสาเหตุที่ทำให้กล่องทั้งสองใบมีสภาพการเคลื่อนที่แตกต่างกัน โดยใช้คำถามดังต่อไปนี้

2.1 เมื่อครูออกแรงดึงกล่องทั้ง 2 ใบด้วยแรงขนาดเท่ากันไปในทิศทางเดียวกัน สภาพการเคลื่อนที่ของกล่องทั้งสองใบเหมือนกันหรือแตกต่างกันอย่างไร

2.2 ถ้าสภาพการเคลื่อนที่ของกล่องทั้งสองใบแตกต่างกัน อะไรเป็นสาเหตุที่ทำให้กล่องทั้งสองมีสภาพการเคลื่อนที่แตกต่างกัน

2.3 ถ้าทำให้กล่องทั้งสองใบมีน้ำหนักแตกต่างกัน จะส่งผลต่อสภาพการเคลื่อนที่ของกล่องทั้งสองใบหรือไม่ และส่งผลต่อแรงเสียดทานอย่างไร

3. ครูกล่าวต่อไปว่า สาเหตุที่ทำให้กล่องทั้งสองใบมีสภาพการเคลื่อนที่แตกต่างกัน คือ แรงเสียดทาน นักเรียนคิดว่าแรงเสียดทานคืออะไร และแรงเสียดทานแบ่งออกได้เป็นกี่ประเภท วันนี้นักเรียนจะได้เรียนรู้กัน

ขั้นที่ 2 ขั้นกิจกรรม (60 นาที)

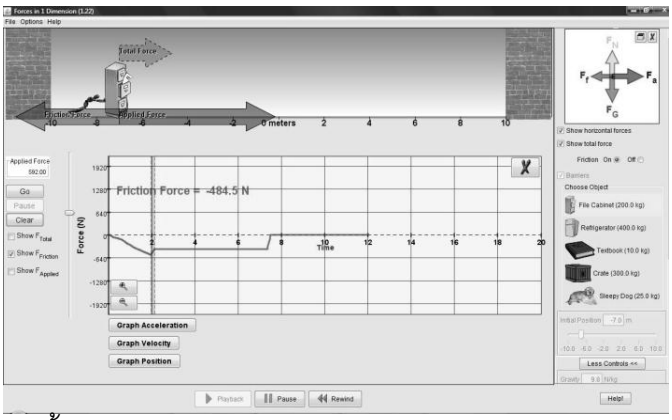
4. ครูให้นักเรียนแบ่งกลุ่ม 12 กลุ่ม กลุ่มละ 4 คน

5. ครูให้นักเรียนออกมารับเอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.1 เรื่อง แรงเสียดทานและอุปกรณ์ โดยมีรายการดังต่อไปนี้ 1) กล่องบรรจุถุงทรายจำนวน 2 กล่อง ได้แก่ กล่องที่หุ้มด้วยกระดาษทราย และกล่องที่ไม่หุ้มด้วยกระดาษทราย 2) ถุงทรายจำนวน 4 ถุง ถุงละ 500 กรัม 3) ตราชั่งสปริงจำนวน 1 อัน

6. ให้นักเรียนทำการทดลองออกแรงดึงกล่องที่บรรจุถุงทรายด้วยแรงขนาดต่างๆ กัน สังเกตการเคลื่อนที่และขนาดของแรงที่กระทำต่อกล่อง และบันทึกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ดังกล่าวลงในเอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.1

7. ครูให้ตัวแทนแต่ละกลุ่มนำเสนอขั้นตอนการทดลองและผลที่ได้จากการทดลองกลุ่มละ 2 นาที

8. ครูแสดงสื่อเรื่อง แรงเสียดทานที่มีลักษณะดังภาพ



และใช้คำถามดังต่อไปนี้

8.1 จากภาพแสดงสถานการณ์เกี่ยวกับอะไร (แสดงการออกแรงผลักตู้เก็บเอกสาร)

8.2 จากภาพมีแรงใดกระทำต่อตู้เก็บเอกสารบ้าง และกระทำไปในทิศทางใด (แรงผลักมีทิศไปทางขวา และแรงเสียดทานมีทิศไปทางซ้าย)

8.3 ขนาดของแรงผลักและแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะที่วัตถุหยุดนิ่งกับที่มีค่าเป็นอย่างไร (เมื่อออกแรงผลักมากขึ้น แรงเสียดทานก็มีค่ามากขึ้น)

8.4 ทิศทางของแรงเสียดทานและทิศทางการเคลื่อนที่ของตู้เก็บเอกสารเป็นอย่างไร (ทิศทางของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นมีทิศทางตรงข้ามกับทิศการเคลื่อนที่ของตู้เก็บเอกสาร)

8.5 แรงเสียดทานเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งใด (ระหว่างผิวสัมผัสของตู้เอกสารและพื้น)

8.6 ณ ตำแหน่งที่ตู้เก็บเอกสารเริ่มเคลื่อนที่ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นมีค่าเป็นอย่างไร (แรงเสียดทานมีค่ามากที่สุด)

8.7 ในขณะที่ตู้เก็บเอกสารเคลื่อนที่แล้วขนาดของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นมีค่าเป็นอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของแรงที่ใช้ผลัก (มีค่าน้อยกว่าแรงเสียดทานขณะเริ่มเคลื่อนที่และมีค่าคงที่)

9. ครูอธิบายแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะที่ตู้เก็บเอกสารหยุดนิ่งอยู่กับที่ว่าเป็นแรงเสียดทานสถิต (Static friction) โดยใช้สัญลักษณ์ f_s และแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะที่มีการเคลื่อนที่เรียกว่า แรงเสียดทานจลน์ (Kinetic friction) โดยใช้สัญลักษณ์ f_k โดยทั้งสองปริมาณสามารถหาได้จากสมการความสัมพันธ์ดังนี้ $f_s = \mu_s N$ และ $f_k = \mu_k N$

10. ครูให้นักเรียนเขียนกราฟเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดึง (F) และแรงเสียดทานทั้ง 2 ประเภท คือ แรงเสียดทานสถิต (f_s) และแรงเสียดทานจลน์ (f_k) โดยใช้คำถามดังต่อไปนี้

10.1 ควรให้ปริมาณใดอยู่บนแกน x และปริมาณใดอยู่บนแกน y

10.2 จงเขียนกราฟอธิบายความสัมพันธ์ของแรงดึง และแรงเสียดทานทั้ง 2 ประเภท ลงในเอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.2 ข้อที่ 1

11. ครูนำนักเรียนอภิปรายเพื่อให้นักเรียนนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาสื่อแอนิเมชันมาอธิบายผลที่ได้จากการทดลองโดยใช้คำถามดังต่อไปนี้

11.1 ทิศทางและขนาดของแรงที่กระทำต่อกล่องทั้งสองใบเป็นอย่างไร

11.2 ทิศทางการเคลื่อนที่ของกล่องทั้งสองใบในขณะที่หยุดนิ่ง เริ่มเคลื่อนที่ และเคลื่อนที่สัมพันธ์กับขนาดของแรงและทิศทางของแรงอย่างไร

ขั้นที่ 3 ขั้นสรุป (35 นาที)

12. ครูนำนักเรียนอภิปรายเพื่อนำไปสู่การสรุปบทเรียนเรื่อง แรงเสียดทานและประเภทของแรงเสียดทานโดยใช้คำถามดังต่อไปนี้

12.1 ทิศทางของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นกับกล่องกระดาษมีทิศทางเป็นอย่างไร (มีทิศทางตรงข้ามกับแรงที่พยายามทำให้วัตถุเคลื่อนที่)

12.2 แรงเสียดทานเกิดขึ้นที่บริเวณใดของกล่องกระดาษ (เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสระหว่างวัตถุกับพื้น)

12.3 นักเรียนจะสรุปความหมายของแรงเสียดทานได้ว่าอย่างไร (แรงที่มีทิศตรงข้ามกับแรงที่พยายามทำให้วัตถุเคลื่อนที่ โดยเกิดขึ้นจากการสัมผัสกันระหว่างผิวของวัตถุกับผิวของพื้น หรือผิวของวัตถุสองผิว)

12.4 แรงเสียดทานแบ่งออกเป็นกี่ประเภท และแรงเสียดทานแต่ละประเภทมีความหมายว่าอย่างไร (2 ประเภท ได้แก่ แรงเสียดทานสถิต คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุแต่วัตถุไม่เคลื่อนที่ และแรงเสียดทานจลน์ คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกระทำขณะวัตถุเคลื่อนที่)

12.5 มีปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อแรงเสียดทาน (ประเภทของผิวสัมผัส และขนาดของน้ำหนัก)

13. ครูให้ตัวแทนแต่ละกลุ่มออกมารับเอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.3 จากนั้นใช้คำถามดังต่อไปนี้

13.1 จากสถานการณ์ที่กำหนดเกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ใด (การขับขี่รถยนต์บนท้องถนน)

13.2 สาเหตุที่ทำให้รถยนต์สามารถวิ่งไปบนท้องถนนได้เนื่องมาจากมีแรงใดกระทำและเกิดขึ้นที่ใด (แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นกับล้อรถยนต์)

13.3 นักเรียนคิดว่า แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นที่ล้อรถยนต์มีขนาดและทิศทางเป็นอย่างไรและสัมพันธ์กับแรงพยายามที่ล้อรถกระทำต่อผิวถนน และทิศทางการเคลื่อนที่ในขณะที่รถยนต์คันนี้เคลื่อนที่อย่างไร จงเขียนอธิบายสถานการณ์ที่กำหนดลงในเอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.3

การวัดและประเมินผล

ประเมินความถูกต้องของการเขียนตอบในเอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.1 – 3.3

สื่อการเรียนรู้

1. เอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.1-3.3 เรื่อง แรงเสียดทานและประเภทของแรงเสียดทาน
2. สื่อแอนิเมชัน เรื่อง แรงเสียดทาน (Forces in 1 Dimension) สืบค้นได้จาก http://phet.colorado.edu/en/simulation/forces-1d
3. อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบการศึกษาเรื่อง แรงเสียดทานและประเภทของแรงเสียดทาน ได้แก่ 3.1 กล่องบรรจุถุงทราย ได้แก่ 1) กล่องที่หุ้มด้วยกระดาษทราย จำนวน 12 กล่อง 2) กล่องที่ไม่หุ้มด้วยกระดาษทราย จำนวน 12 กล่อง 3.2 ถุงทรายจำนวน 48 ถุง บรรจุถุงละ 500 กรัม 3.3 ตราชั่งสปริงจำนวน 12 อัน

เอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.1

แรงเสียดทานและประเภทของแรงเสียดทาน

ชื่อ.....**นามสกุล**.....

ชั้น.....**เลขที่**..... **กลุ่มที่**.....

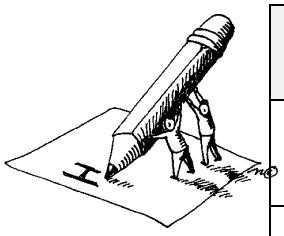
<u>กิจกรรม</u> การทดลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึง แรงเสียดทาน น้ำหนักและสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ

<u>วัตถุประสงค์ที่</u> 1: เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับขนาดและทิศทางของแรงเสียดทาน

<u>คำชี้แจง</u> :

1. ให้นักเรียนภายในกลุ่มร่วมกันทดลองออกแรงดึงกล่องที่ห่อด้วยกระดาษทรายและที่ไม่ห่อด้วยกระดาษทรายและบรรจุถุงทรายมวล 1 กิโลกรัม

2. บันทึกผลจากการออกแรงดึงกล่องที่บรรจุถุงทราย ด้วยขนาดของแรงต่างๆ กัน พร้อมระบุสภาพการเคลื่อนที่ของกล่องทั้งสองกรณีลงในตารางที่กำหนด



ครั้งที่	ลักษณะของกล่องกระดาษ	ขนาดของแรงดึง (N)	สภาพการเคลื่อนที่/ไม่เคลื่อนที่
1	ห่อกระดาษทราย		
	ไม่ห่อกระดาษทราย		
2	ห่อกระดาษทราย		
	ไม่ห่อกระดาษทราย		
3	ห่อกระดาษทราย		
	ไม่ห่อกระดาษทราย		
4	ห่อกระดาษทราย		
	ไม่ห่อกระดาษทราย		

<u>สรุปผลการทดลอง</u> :

.....

.....

.....

.....

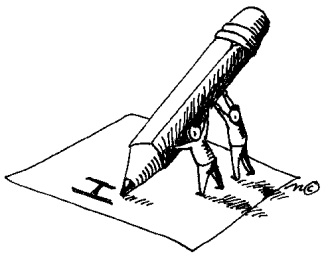
<u>วัตถุประสงค์ที่</u> 2: เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของแรงเสียดทานและน้ำหนักของวัตถุ

<u>คำชี้แจง</u> :

1. ให้นักเรียนภายในกลุ่มร่วมกันทดลองออกแรงดึงกล่องที่บรรจุถุงทรายมวล 1 และ 2 กิโลกรัม ตามลำดับ

2. บันทึกผลจากการออกแรงดึงกล่องที่บรรจุถุงทราย ด้วยขนาดของแรงต่างๆ กัน พร้อมระบุสภาพการเคลื่อนที่ของกล่องทั้งสองกรณีลงในตารางที่กำหนด

<u>ตารางบันทึกผลที่</u> 1.2 **ขนาดของแรงดึงกับสภาพการเคลื่อนที่ของกล่องที่มีน้ำหนัก 2 นิวตัน**



ครั้งที่	ขนาดของแรงดึง (N)	สภาพการเคลื่อนที่/ไม่เคลื่อนที่
1		
2		
3		
4		

<u>สรุปผลการทดลอง</u> :

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.2

แรงเสียดทานและประเภทของแรงเสียดทาน

ชื่อ.....**นามสกุล**.....
ชั้น.....**เลขที่**..... **กลุ่มที่**.....

<u>คำสั่ง</u> ให้นักเรียนนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาเติมคำตอบลงในข้อต่อไปนี้

1.จงเขียนระบุกราฟอธิบายความสัมพันธ์ของแรงดึง และแรงเสียดทานทั้ง 2 ประเภท พร้อมระบุชื่อกราฟ

2.จงเขียนข้อความสรุปความหมายของแรงเสียดทานและแรงเสียดทานทั้งสองประเภทลงในช่องที่กำหนด

แรงเสียดทาน คือ .....

.....

แรงเสียดทาน แบ่งออกเป็น ..... ประเภท ได้แก่

.....

.....

.....

.....

เอกสารประกอบกิจกรรมที่ 3.3

แรงเสียดทานและประเภทของแรงเสียดทาน

ชื่อ.....**นามสกุล**.....
ชั้น.....**เลขที่**..... **กลุ่มที่**.....

คำสั่ง ให้นักเรียนศึกษาแผนภาพและสถานการณ์ที่กำหนดให้ดังต่อไปนี้

“ความปลอดภัยของการขับขี่ยวดยานพาหนะไปบนท้องถนนนั้น สภาพของยางรถยนต์มีส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ขับขี่ ถ้ารถคันนี้กำลังวิ่งบนถนนด้วยความเร็วคงที่ไปทางซ้ายมือ”

จงเขียนข้อความอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างล้อรถกับผิวถนน และการเคลื่อนที่ของรถยนต์

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ง

คุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. คุณภาพของแบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

2. คุณภาพของแบบวัดมโนทัศน์เรื่องกฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

1. คุณภาพของแบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

แบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วยเครื่องมือ 2 ฉบับ ได้แก่ (1) แบบประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ และ (2) แบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ที่ประเมินด้วยแบบประเมินแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดยเครื่องมือแต่ละฉบับมีการตรวจสอบคุณภาพและได้ผลการตรวจสอบดังนี้

1.1 คุณภาพของแบบประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

การตรวจสอบคุณภาพของแบบประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วย

(1) **ความตรงเชิงเนื้อหา** (Content Validity) พิจารณาจากค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างรายการประเมินกับเกณฑ์การประเมิน ได้ผลการตรวจสอบดังตารางที่ 26

(2) **ความสัมพันธ์** (Correlation) พิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ระหว่างผู้วิจัยและผู้เชี่ยวชาญ (Inter-Rater Reliability) ด้วยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ .01 ได้ผลการตรวจสอบดังตารางที่ 27

ตารางที่ 26 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างรายการประเมินกับเกณฑ์การประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

รายการประเมิน	เกณฑ์การประเมิน	IOC	ความหมาย
1.**การสร้าง** (Construction) คือ การเขียนหรือวาดแบบจำลองเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น โดยแสดงตัวแปรที่เป็นสาเหตุและระบุความสัมพันธ์ในแบบจำลอง	➲ สร้างแบบจำลองได้สอดคล้องกับปรากฏการณ์และประเภทของแบบจำลองได้สมบูรณ์ ➲ ระบุตัวแปรที่ใช้แทนปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าได้ครบถ้วน ➲ แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรได้ถูกต้องและชัดเจน	1	วัดได้สอดคล้อง
2.**การปรับปรุง** (Revision) คือ การแก้ไขแบบจำลองโดยใช้หลักฐานที่ได้จากการทดลองหรือจากการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์	➲ ปรับปรุงแบบจำลองจากหลักฐานที่ได้จากการทดลองด้วยตนเอง หรือจากการเรียนรู้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ➲ แสดงความเข้าใจที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนและถูกต้องสอดคล้องกับปรากฏการณ์	1	วัดได้สอดคล้อง

ตารางที่ 26 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างรายการประเมินกับเกณฑ์การประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ (ต่อ)

รายการประเมิน	เกณฑ์การประเมิน	IOC	ความหมาย
3. **การประเมิน** (Evaluation) คือ การเปรียบเทียบความแตกต่างของแบบจำลอง และใช้เกณฑ์ในการประเมินเพื่อตัดสินการอธิบายปรากฏการณ์ของแบบจำลอง	➲ใช้เกณฑ์ในการประเมินตั้งแต่ 2 เกณฑ์ขึ้นไป ➲บอกความแตกต่างของแบบจำลองในปรากฏการณ์เดียวกันได้ ➲ตัดสินได้ว่าแบบจำลองใดอธิบายปรากฏการณ์ได้ดี และดีกว่าแบบจำลองอื่นอย่างไร	1	วัดได้สอดคล้อง
4. **การนำไปใช้** (Using) คือ การเลือกใช้แบบจำลองในการอธิบายหรือทำนายสถานการณ์ใหม่ในปรากฏการณ์ที่ศึกษา	➲เลือกใช้แบบจำลองได้สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนด ➲แบบจำลองที่ใช้อธิบายหรือทำนายสถานการณ์ใหม่ได้ถูกต้องและชัดเจน	1	วัดได้สอดคล้อง

ตารางที่ 27 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างผู้วิจัยและผู้เชี่ยวชาญของแบบประเมินกระบวนการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

รายการประเมิน	r
1. การสร้าง (Construction)	.56**
2. การปรับปรุง (Revision)	.94**
3. การประเมิน (Evaluation)	.66**
4. การนำไปใช้ (Using)	.87**
รวม	**.76****

** Correlation is significant at the 0.01 level

1.2 คุณภาพของแบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

การตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ประกอบด้วย

(1) **ความตรงเชิงเนื้อหา** (Content Validity) พิจารณาจากค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ลักษณะข้อคำถามในข้อสอบกับวัตถุประสงค์การวัดในการเขียนเป็นแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์แต่ละประเภท ได้ผลการตรวจสอบดังตารางที่ 28

(2) **คุณภาพของข้อสอบรายข้อ** พิจารณาจากการตรวจสอบค่าความยาก (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ได้ผลดังตารางที่ 29

ตารางที่ 28 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างลักษณะข้อคำถามกับวัตถุประสงค์การวัดในการเขียนเป็นแบบจำลองวิทยาศาสตร์แต่ละแบบ

สถานการณ์ที่	ข้อที่	วัตถุประสงค์การวัดในการเขียนเป็นแบบจำลอง	IOC	ความหมาย
1. **การออกแรงผลักลังไม้**	1.1	➲ วาดภาพอธิบายแรงทุกแรงที่กระทำกับลังไม้และผลของแรงที่เกิดขึ้นกับลังไม้กรณีที่ลังไม้เริ่มเคลื่อนที่ และในขณะที่ลังไม้กำลังเคลื่อนที่	1	วัดได้สอดคล้อง
	1.2	➲ เขียนแผนการทดลองการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเร่ง	1	วัดได้สอดคล้อง
	1.3	➲ เขียนกราฟอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับความเร่งของรถทดลอง	1	วัดได้สอดคล้อง
	1.4	➲ เขียนสมการทางคณิตศาสตร์อธิบายแรงดึงจากตุ้มมวลที่ทำให้รถทดลองเกิดการเคลื่อนที่ตั้งแต่เริ่มเคลื่อนที่จนเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น	1	วัดได้สอดคล้อง
	1.5	➲ เขียนสรุปเป็นแนวคิดสำคัญเกี่ยวกับการอธิบายผลของแรงที่เกิดขึ้น เมื่อชายคนนี้ออกแรงผลักลังไม้ในขณะที่ลังไม้ยังคงหยุดนิ่งอยู่กับที่ และลังไม้กำลังเริ่มเคลื่อนที่	1	วัดได้สอดคล้อง
2.การแข่งขันรถจักรยานยนต์	2.1	➲วาดภาพอธิบายในขณะที่รถจักรยานยนต์กำลังเคลื่อนที่เข้าโค้ง	1	วัดได้สอดคล้อง
	2.2	➲เขียนแผนการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีที่ใช้ในการเคลื่อนที่กับเวลา	1	วัดได้สอดคล้อง
	2.3	➲เขียนกราฟอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีที่ใช้ในการเคลื่อนที่กับคาบกำลังสอง	1	วัดได้สอดคล้อง

ตารางที่ 28 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างลักษณะข้อคำถามกับวัตถุประสงค์การวัดในการเขียนเป็นแบบจำลองวิทยาศาสตร์แต่ละแบบ (ต่อ)

สถานการณ์ที่	ข้อที่	วัตถุประสงค์การวัดในการเขียนเป็นแบบจำลอง	IOC	ความหมาย
	2.4	➲เขียนสมการทางคณิตศาสตร์ที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีที่ใช้ในการเคลื่อนที่กับคาบกำลังสอง	1	วัดได้สอดคล้อง
	2.5	➲เขียนอธิบายการเคลื่อนที่ของรถจักรยานยนต์ที่กำลังเคลื่อนที่เข้าโค้ง	1	วัดได้สอดคล้อง
3.การเคลื่อนที่ของนาฬิกาลูกตุ้ม	3.1	➲วาดแผนภาพที่อธิบายการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกา	1	วัดได้สอดคล้อง
	3.2	➲เขียนแผนการทดลองการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของเส้นเชือกกับเวลาในการแกว่ง	1	วัดได้สอดคล้อง
	3.3	➲เขียนกราฟอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความยาวของเส้นเชือกกับคาบกำลังสอง	1	วัดได้สอดคล้อง
	3.4	➲เขียนสมการทางคณิตศาสตร์ที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเส้นเชือกกับคาบกำลังสอง	1	วัดได้สอดคล้อง
	3.5	➲เขียนอธิบายโดยสรุปเป็นแนวคิดสำคัญเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มนาฬิกา	1	วัดได้สอดคล้อง
4.การแข่งขันกีฬาพุ่งแหลน	4.1	➲วาดแผนภาพที่สามารถอธิบายการเคลื่อนที่ของแหลนที่พุ่งออกไปจนกระทั่งแหลนปักลงพื้น	1	วัดได้สอดคล้อง
	4.2	➲เขียนอธิบายโดยสรุปเป็นแนวคิดสำคัญเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของแหลน	1	วัดได้สอดคล้อง

ตารางที่ 29 ค่าความยาก (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของข้อสอบการสร้างแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

สถานการณ์ที่	ข้อที่	p	r	ความหมาย
1. การออกแรงผลักลังไม้	1.1	.47	.23	ยากพอเหมาะ จำแนกพอใช้
	1.2	.38	.20	ยากพอเหมาะ จำแนกพอใช้
	1.3	.40	.24	ยากพอเหมาะ จำแนกพอใช้
	1.4	.39	.22	ค่อนข้างยาก จำแนกพอใช้
	1.5	.45	.20	ยากพอเหมาะ จำแนกพอใช้
2.การแข่งขันรถจักรยานยนต์	2.1	.43	.21	ยากพอเหมาะ จำแนกพอใช้
	2.2	.32	.22	ค่อนข้างยาก จำแนกพอใช้
	2.3	.46	.21	ยากพอเหมาะ จำแนกพอใช้
	2.4	.39	.31	ค่อนข้างยาก จำแนกได้ดี
	2.5	.41	.22	ยากพอเหมาะ จำแนกพอใช้
3.การเคลื่อนที่ของนาฬิกาลูกตุ้ม	3.1	.43	.20	ยากพอเหมาะ จำแนกพอใช้
	3.2	.24	.23	ค่อนข้างยาก จำแนกพอใช้
	3.3	.36	.31	ค่อนข้างยาก จำแนกได้ดี
	3.4	.30	.45	ค่อนข้างยาก จำแนกได้ดีมาก
	3.5	.23	.26	ค่อนข้างยาก จำแนกพอใช้
4.การแข่งขันกีฬาพุ่งแหลน	4.1	.38	.21	ค่อนข้างยาก จำแนกพอใช้
	4.2	.36	.26	ค่อนข้างยาก จำแนกพอใช้

คุณภาพของแบบประเมินแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

การตรวจสอบคุณภาพของแบบประเมินแบบจำลองวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วย

(1) **ความตรงเชิงเนื้อหา** (Content Validity) พิจารณาจากค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างรายการประเมินกับเกณฑ์การประเมิน ได้ผลการตรวจสอบดังตารางที่ 30

(2) **ความสัมพันธ์** (Correlation) พิจารณาจากค่าสหสัมพันธ์ระหว่างผู้วิจัยและผู้เชี่ยวชาญ (Inter-Rater Reliability) ด้วยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ .01 ได้ผลการตรวจสอบดังตารางที่ 31

ตารางที่ 30 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างรายการประเมินกับเกณฑ์การประเมินแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 5 แบบ

ประเภทแบบจำลอง	รายการประเมิน	เกณฑ์การประเมิน	IOC	ความหมาย
1.แบบจำลองที่ใช้ภาพวาด	1.ความสอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา	วาดภาพ/แผนผังแสดงรายละเอียด เงื่อนไข หรือสิ่งที่ต้องการศึกษาได้ครบถ้วนและชัดเจน	1	วัดได้สอดคล้อง
	2.การระบุตัวแปร/สัญลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์	ระบุตัวแปรที่ศึกษา/สัญลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์ได้ถูกต้องและครบถ้วน	1	วัดได้สอดคล้อง
	3.การแสดงมโนทัศน์หลักของปรากฏการณ์ที่ศึกษา	วาดภาพบนพื้นฐานของมโนทัศน์หลักที่มีในปรากฏการณ์ได้ถูกต้องและครบถ้วน	0.67	วัดได้สอดคล้อง
2.แบบจำลองที่นำเสนอด้วยการทดลอง	1.การเขียนภาพวาดแสดงขั้นตอนการทดลอง	ภาพวาดแสดงขั้นตอนการทดลอง พร้อมระบุตัวแปรที่ศึกษาได้ถูกต้องและชัดเจน	1	วัดได้สอดคล้อง
	2.การกำหนดแผนการทดลอง	เขียนวิธีทำการทดลองเป็นลำดับขั้นตอน โดยระบุอุปกรณ์และตัวแปรที่ศึกษาได้อย่างถูกต้องและปฏิบัติได้	1	วัดได้สอดคล้อง
	3.ความสอดคล้องระหว่างภาพขั้นตอนการทดลองและปรากฏการณ์ที่ศึกษา	แผนภาพประกอบการทดลองและลำดับขั้นตอนการทดลองมีความสอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา	1	วัดได้สอดคล้อง
3.แบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟ	1.การแสดงชื่อกราฟ ค่าตัวแปรและการระบุหน่วย	เขียนชื่อกราฟโดยระบุตัวแปรครบถ้วนและถูกต้อง แสดงค่าของตัวแปรอิสระบนแกน X และแสดงค่าของตัวแปรตามบนแกน Y และระบุหน่วยของตัวแปรได้ถูกต้อง	1	วัดได้สอดคล้อง

ตารางที่ 30 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างรายการประเมินกับเกณฑ์การประเมินแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 5 แบบ (ต่อ)

ประเภทแบบจำลอง	รายการประเมิน	เกณฑ์การประเมิน	IOC	ความหมาย
3.แบบจำลองที่แสดงด้วยกราฟ (ต่อ)	2.ความสอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา	กำหนดจุดที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรได้สอดคล้องและถูกต้องตามปรากฏการณ์ที่ศึกษา	1	วัดได้สอดคล้อง
	3.การแสดงมโนทัศน์หลักของปรากฏการณ์ที่ศึกษา	เขียนกราฟความสัมพันธ์แสดงมโนทัศน์หลักที่มีในปรากฏการณ์ที่ศึกษาได้สอดคล้องและถูกต้อง	0.67	วัดได้สอดคล้อง
4.แบบจำลองที่แสดงด้วยสมการทางคณิตศาสตร์	1.ความสอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา	เลือกสมการทางคณิตศาสตร์ตัวแปรและค่าคงที่ได้สอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา	1	วัดได้สอดคล้อง
	2.ความสอดคล้องระหว่างสมการทางคณิตศาสตร์และกราฟ	เลือกใช้สมการทางคณิตศาสตร์สอดคล้องกับกราฟและถูกต้อง	1	วัดได้สอดคล้อง
	3.การระบุสัญลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์	ระบุสัญลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์ลงในตัวแปรทางคณิตศาสตร์ได้ครบถ้วนและถูกต้อง	1	วัดได้สอดคล้อง
5.แบบจำลองที่แสดงด้วยข้อความมโนทัศน์	1.ความสอดคล้องกับปรากฏการณ์ที่ศึกษา	เขียนอธิบายได้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และปรากฏการณ์ที่ศึกษา	1	วัดได้สอดคล้อง
	2.ระบุความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษา	มีการอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรได้สอดคล้องกับข้อมูลและถูกต้อง	1	วัดได้สอดคล้อง
	3.การเขียนแสดงมโนทัศน์หลักของปรากฏการณ์ที่ศึกษา	เขียนอธิบายโดยอ้างเหตุผลเชื่อมโยงกับมโนทัศน์ได้ถูกต้องและครบถ้วน และระบุมโนทัศน์ได้ถูกต้อง	1	วัดได้สอดคล้อง

ตารางที่ 31 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างผู้วิจัยและผู้เชี่ยวชาญของแบบประเมินแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 5 แบบ

ข้อสอบข้อที่	สถานการณ์	ค่า r ของแบบจำลองแต่ละประเภท					
		ภาพวาด	การทดลอง	กราฟ	สมการ	ข้อความ	รวม
1	การออกแรงผลักลังไม้	0.921**	0.998**	0.940**	0.998**	0.970**	
2	การแข่งขันรถจักรยานยนต์	0.916**	0.983**	0.995**	0.997**	0.980**	
3	การเคลื่อนที่ของนาฬิกาแบบลูกตุ้ม	0.936**	0.993**	0.675**	0.921**	0.990**	
4	การแข่งขันกีฬาพุ่งแหลน	0.675**	-	-	-	0.963**	
	รวม	0.862**	0.991**	0.870**	0.972**	0.976**	**0.934****

** Correlation is significant at the 0.01 level

2.คุณภาพของแบบวัดมโนทัศน์เรื่องกฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ

แบบวัดมโนทัศน์เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วยเครื่องมือ 2 ฉบับ ได้แก่ (1) แบบวัดมโนทัศน์พื้นฐาน และ (2) แบบวัดมโนทัศน์หลัก โดยมีการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ ดังต่อไปนี้

2.1 คุณภาพของแบบวัดมโนทัศน์พื้นฐาน

การตรวจสอบคุณภาพของแบบวัดมโนทัศน์พื้นฐาน ประกอบด้วย

(1) **ความตรงเชิงเนื้อหา** (Content Validity) พิจารณาจากค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ใน 2 ประเด็น ได้แก่ 1) ความถูกต้องและความครบถ้วนของมโนทัศน์พื้นฐาน เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ ได้ผลการตรวจสอบดังตารางที่ 32 2) มโนทัศน์กับข้อคำถามและเหตุผลสนับสนุนคำตอบ ได้ผลการตรวจสอบดังตารางที่ 33

(2) **คุณภาพของข้อสอบรายข้อ** พิจารณาจากการตรวจสอบค่าความยาก (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ได้ผลดังตารางที่ 34

ตารางที่ 32 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างความถูกต้องและความครบถ้วนของมโนทัศน์พื้นฐานเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

มโนทัศน์พื้นฐาน	IOC	ความหมาย
1. **คำจำกัดความของปริมาณเวกเตอร์** ปริมาณที่มีทั้งขนาดและทิศทาง ตัวอย่างเช่น การกระจัด ความเร็ว และความเร่ง เป็นต้น	1	วัดได้สอดคล้อง
2. **คำจำกัดความของปริมาณสเกลาร์** ปริมาณที่มีขนาดเพียงอย่างเดียว ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิ ความดัน พลังงาน มวล และเวลา เป็นต้น	1	วัดได้สอดคล้อง
3. **คำจำกัดความของระยะทาง** ความยาวตามเส้นทางที่เคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งสุดท้าย มีหน่วยในระบบเอสไอเป็นเมตร	1	วัดได้สอดคล้อง
4. **คำจำกัดความของการกระจัด** การเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุที่วัดจากตำแหน่งเริ่มต้นพุ่งตรงไปยังตำแหน่งสุดท้าย เป็นปริมาณเวกเตอร์ มีหน่วยในระบบเอสไอเป็นเมตร	.67	วัดได้สอดคล้อง
5. **คำจำกัดความของอัตราเร็วเฉลี่ย** อัตราส่วนระหว่างระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ได้กับช่วงเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ มีหน่วยในระบบเอสไอเป็น เมตรต่อวินาที	1	วัดได้สอดคล้อง
6. **คำจำกัดความของอัตราเร็วขณะหนึ่ง** เป็นอัตราเร็วที่เกิดขึ้นในขณะใดขณะหนึ่งของการเคลื่อนที่ วัดจากอัตราเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ในช่วงเวลาสั้นมากเข้าใกล้ศูนย์ในขณะนั้น มีหน่วยในระบบเอสไอเป็น เมตรต่อวินาที	.50	วัดได้สอดคล้อง
7. **คำจำกัดความของความเร็วเฉลี่ย** อัตราส่วนระหว่างการกระจัดของวัตถุกับช่วงเวลาที่วัตถุได้การกระจัดนั้น มีหน่วยในระบบเอสไอเป็น เมตรต่อวินาที	.67	วัดได้สอดคล้อง
8. **คำจำกัดความของความเร็วขณะหนึ่ง** เป็นความเร็วที่เกิดขึ้นในขณะใดขณะหนึ่งของการเคลื่อนที่ วัดจากความเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ในช่วงเวลาสั้นมากเข้าใกล้ศูนย์ในขณะนั้น มีหน่วยในระบบเอสไอเป็น เมตรต่อวินาที	.50	วัดได้สอดคล้อง

ตารางที่ 32 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างความถูกต้องและความครบถ้วนของมโนทัศน์พื้นฐานเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ (ต่อ)

มโนทัศน์พื้นฐาน	IOC	ความหมาย
9. **คำจำกัดความของความเร่งเฉลี่ย**		
อัตราส่วนระหว่างความเร็วที่เปลี่ยนไปกับช่วงเวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ มีหน่วยในระบบเอสไอเป็น เมตรต่อวินาที	.67	วัดได้สอดคล้อง
10. **คำจำกัดความของความเร่งขณะหนึ่ง**		
เป็นความเร่งที่เกิดขึ้นในขณะใดขณะหนึ่งของการเคลื่อนที่ วัดจากความเร่งเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ในช่วงเวลาสั้นมากเข้าใกล้ศูนย์ในขณะนั้น มีหน่วยในระบบเอสไอเป็น เมตรต่อวินาที^{2}	.50	วัดได้สอดคล้อง
11. **แนวคิดสำคัญของการตกแบบเสรี**		
การเคลื่อนที่ของวัตถุภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกเพียงแรงเดียว โดยไม่คิดแรงต้านหรือแรงเสียดทานอากาศที่กระทำต่อวัตถุ	1	วัดได้สอดคล้อง

ตารางที่ 33 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างมโนทัศน์พื้นฐานกับข้อคำถามและเหตุผลสนับสนุนคำตอบ

ข้อที่	IOC	ความหมาย
1	.50	วัดได้สอดคล้อง
2	.67	วัดได้สอดคล้อง
3	1	วัดได้สอดคล้อง
4	.50	วัดได้สอดคล้อง
5	.50	วัดได้สอดคล้อง
6	.50	วัดได้สอดคล้อง
7	1	วัดได้สอดคล้อง
8	.50	วัดได้สอดคล้อง
9	.50	วัดได้สอดคล้อง
10	1	วัดได้สอดคล้อง

ตารางที่ 34 ค่าความยาก (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบสอบมโนทัศน์พื้นฐานเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

ข้อที่	p	r	ความหมาย
1	0.33	0.33	ค่อนข้างยาก และจำแนกได้ดี
2	0.59	0.30	ยากพอเหมาะ และจำแนกได้ดี
3	0.56	0.30	ยากพอเหมาะ และจำแนกได้ดี
4	0.36	0.35	ค่อนข้างยาก และจำแนกได้ดี
5	0.53	0.24	ยากพอเหมาะ และจำแนกพอใช้
6	0.40	0.39	ยากพอเหมาะ และจำแนกได้ดี
7	0.61	0.30	ค่อนข้างง่าย และจำแนกได้ดี
8	0.61	0.37	ค่อนข้างง่าย และจำแนกได้ดี
9	0.38	0.35	ค่อนข้างยาก และจำแนกได้ดี
10	0.27	0.20	ค่อนข้างยาก และจำแนกพอใช้

2.2 คุณภาพของแบบสอบมโนทัศน์หลักเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ

การตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบมโนทัศน์หลัก ประกอบด้วย

(1) **ความตรงเชิงเนื้อหา** (Content Validity) พิจารณาจากค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ใน 2 ประเด็น ได้แก่ 1) ความถูกต้องและความครบถ้วนของมโนทัศน์หลัก เรื่อง กฎการเคลื่อนที่และการเคลื่อนที่แบบต่างๆ ได้ผลการตรวจสอบดังตารางที่ 35 2) มโนทัศน์กับข้อคำถามและเหตุผลสนับสนุนคำตอบ ได้ผลการตรวจสอบดังตารางที่ 36

(2) **คุณภาพของข้อสอบรายข้อ** พิจารณาจากการตรวจสอบค่าความยาก (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ได้ผลดังตารางที่ 37

ตารางที่ 35 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างความถูกต้องและความครบถ้วนของมโนทัศน์หลักเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

มโนทัศน์หลัก	IOC	ความหมาย
1. **คำจำกัดความของแรง** การดึงหรือผลักซึ่งอาจมีผลทำให้วัตถุคงสภาพอยู่นิ่งหรือเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ ขนาดของแรงมีหน่วยเป็นนิวตัน	.50	วัดได้สอดคล้อง
2. **ผลของแรงที่มีต่อสภาพการเคลื่อนที่** แรงส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ ดังนี้ 1) วัตถุมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง และ/หรือ 2) วัตถุมีการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่	.67	วัดได้สอดคล้อง
3. **คำจำกัดความของแรงเสียดทาน** แรงที่ต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยเกิดขึ้นจากการสัมผัสกันระหว่างผิวของวัตถุกับผิวของพื้น หรือผิวของวัตถุสองผิว	.50	วัดได้สอดคล้อง
4. **ประเภทของแรงเสียดทาน** แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) แรงเสียดทานสถิต คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะที่วัตถุได้รับแรงกระทำและยังคงอยู่นิ่งได้ 2) แรงเสียดทานจลน์ คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นขณะวัตถุเคลื่อนที่	.67	วัดได้สอดคล้อง
5. **คำจำกัดความของมวล** ปริมาณของเนื้อสารที่มีอยู่ในวัตถุทั้งหมด หรือเป็นปริมาณที่ต้านการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม	.67	วัดได้สอดคล้อง
6. **คำจำกัดความของน้ำหนัก** ขนาดของแรงโน้มถ่วงของโลกที่กระทำต่อวัตถุ มีหน่วยเป็นนิวตัน	1	วัดได้สอดคล้อง
7. **คำจำกัดความของความเฉื่อย** เป็นสมบัติของวัตถุที่ต้านการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ วัดได้จากมวล โดยวัตถุที่มีมวลมากจะมีความเฉื่อยมากหรือต้านการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่มาก วัตถุที่มีมวลน้อยจะมีความเฉื่อยน้อยหรือต้านการเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่น้อย	1	วัดได้สอดคล้อง

ตารางที่ 35 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างความถูกต้องและความครบถ้วนของมโนทัศน์พื้นฐานเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ (ต่อ)

มโนทัศน์หลัก	IOC	ความหมาย
8. **ความคิดสำคัญของกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน**		
วัตถุจะยังคงสภาวะอยู่นิ่ง หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวในแนวเส้นตรง หากไม่มีแรงมากระทำให้เปลี่ยนสภาวะนั้นๆ ไป	1	วัดได้สอดคล้อง
9. **ความคิดสำคัญของกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน**		
ความเร่งของวัตถุจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุโดยมีทิศทางเดียวกันและเป็นปฏิภาคผกผันกับมวลของวัตถุ	1	วัดได้สอดคล้อง
10. **ความคิดสำคัญของกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน**		
ทุกแรงกิริยาย่อมมีแรงปฏิกิริยาซึ่งมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงข้ามกันเสมอ และเป็นแรงกระทำซึ่งกันและกัน	1	วัดได้สอดคล้อง
11. **ความคิดสำคัญของกฎแรงดึงดูดระหว่างมวลของนิวตัน**		
วัตถุทุกชนิดในเอกภพจะดึงดูดซึ่งกันและกัน โดยขนาดของแรงดึงดูดระหว่างวัตถุจะแปรผันตรงกับกำลังสองของระยะทางระหว่างวัตถุทั้งสอง	1	วัดได้สอดคล้อง
12. **คำจำกัดความของการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์**		
เป็นการเคลื่อนที่ตามแนววิถีโค้งรูปพาราโบลาที่มีความเร็วในแนวระดับและความเร่งในแนวดิ่งคงตัว	1	วัดได้สอดคล้อง
13. **คำจำกัดความของการเคลื่อนที่แบบวงกลม**		
เป็นการเคลื่อนที่ที่มีความเร็วอยู่ในแนวเส้นสัมผัสวงกลมด้วยอัตราเร็วคงตัว และมีแรงลัพธ์ในทิศเข้าสู่ศูนย์กลาง	.50	วัดได้สอดคล้อง
14.**คำจำกัดความของคาบ**		
เวลาที่วัตถุใช้ในการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ โดยคาบเป็นปฏิภาคผกผันกับความถี่ มีหน่วยเป็นวินาที	.67	วัดได้สอดคล้อง
15.**คำจำกัดความของความถี่**		
จำนวนรอบที่วัตถุเคลื่อนที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา โดยความถี่จะเป็นปฏิภาคผกผันกับคาบ มีหน่วยเป็น รอบต่อวินาที หรือ Hz	1	วัดได้สอดคล้อง

ตารางที่ 35 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างความถูกต้องและความครบถ้วนของมโนทัศน์พื้นฐานเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ (ต่อ)

มโนทัศน์หลัก	IOC	ความหมาย
16.คำจำกัดความของการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย		
เป็นการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาซ้ำทางเดิมในมุมแคบๆ โดยมีแรงดึงย้อนกลับกระทำต่อวัตถุในทิศสู่แนวสมดุลหรือมีทิศตรงข้ามกับทิศของการกระจัด	1	วัดได้สอดคล้อง

ตารางที่ 36 ค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ระหว่างมโนทัศน์หลักกับข้อคำถามและเหตุผลสนับสนุนคำตอบ

ข้อที่	IOC	ความหมาย
1	1	วัดได้สอดคล้อง
2	1	วัดได้สอดคล้อง
3	1	วัดได้สอดคล้อง
4	1	วัดได้สอดคล้อง
5	1	วัดได้สอดคล้อง
6	.67	วัดได้สอดคล้อง
7	1	วัดได้สอดคล้อง
8	1	วัดได้สอดคล้อง
9	.67	วัดได้สอดคล้อง
10	.67	วัดได้สอดคล้อง
11	.67	วัดได้สอดคล้อง
12	.67	วัดได้สอดคล้อง
13	.67	วัดได้สอดคล้อง
14	.67	วัดได้สอดคล้อง
15	.67	วัดได้สอดคล้อง
16	1	วัดได้สอดคล้อง
17	1	วัดได้สอดคล้อง
18	1	วัดได้สอดคล้อง
19	.67	วัดได้สอดคล้อง
20	1	วัดได้สอดคล้อง

ตารางที่ 37 ค่าความยาก (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบสอบมโนทัศน์หลักเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่

ข้อที่	p	r	ความหมาย
1	0.46	0.24	ยากพอเหมาะ จำแนกพอใช้
2	0.78	0.24	ค่อนข้างง่าย จำแนกพอใช้
3	0.79	0.37	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้ดี
4	0.65	0.22	ค่อนข้างง่าย จำแนกพอใช้
5	0.43	0.27	ยากพอเหมาะ จำแนกพอใช้
6	0.74	0.27	ค่อนข้างง่าย จำแนกพอใช้
7	0.26	0.22	ค่อนข้างยาก จำแนกพอใช้
8	0.41	0.24	ยากพอเหมาะ จำแนกพอใช้
9	0.46	0.29	ยากพอเหมาะ จำแนกพอใช้
10	0.49	0.24	ยากพอเหมาะ จำแนกพอใช้
11	0.40	0.32	ยากพอเหมาะ จำแนกได้ดี
12	0.65	0.27	ค่อนข้างง่าย จำแนกพอใช้
13	0.60	0.22	ยากพอเหมาะ จำแนกพอใช้
14	0.32	0.49	ค่อนข้างยาก จำแนกได้ดีมาก
15	0.39	0.39	ค่อนข้างยาก จำแนกได้ดี
16	0.43	0.22	ยากพอเหมาะ จำแนกพอใช้
17	0.78	0.29	ค่อนข้างง่าย จำแนกพอใช้
18	0.46	0.20	ยากพอเหมาะ จำแนกพอใช้
19	0.45	0.22	ยากพอเหมาะ จำแนกพอใช้
20	0.57	0.46	ยากพอเหมาะ จำแนกได้ดีมาก

ภาคผนวก จ

1. ค่าสถิติทดสอบคะแนนเฉลี่ยรายคู่

2. ตัวอย่างภาพกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS

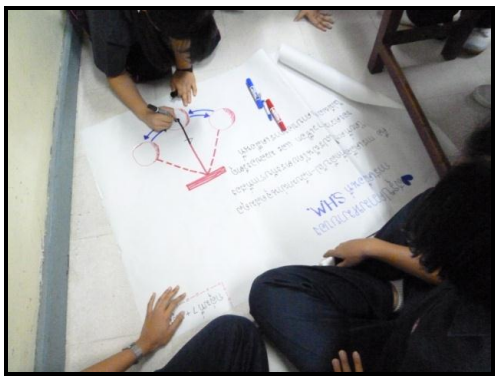
ตารางที่ 38 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ค่าสถิติทดสอบรายคู่ของ Dunnett's T_3 ของคะแนนมโนทัศน์พื้นฐานเรื่อง กฎการเคลื่อนที่และแบบของการเคลื่อนที่ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 11 ห้องเรียน

ห้อง	$\bar{x}$	S.D	ผลการวิเคราะห์รายคู่										
			4/5	4/6	4/7	4/8	4/9	4/10	4/11	4/12	4/13	4/14	4/15
4/5	2.85	1.44	-	.009*	.926	.438	.982	.000*	.000*	.000*	.000*	.000*	.000*
4/6	4.00	1.48	-	-	.971	1.000	.511	.071	.023*	.998	.001*	.834	.936
4/7	3.44	1.61	-	-	-	1.000	1.000	.000*	.000*	.118	.000*	.006*	.020*
4/8	3.60	1.46	-	-	-	-	1.000	.001*	.000*	.309	.000*	.024*	.072
4/9	3.32	1.22	-	-	-	-	-	.000*	.000*	.014*	000*	.000*	.001*
4/10	5.12	1.89	-	-	-	-	-	-	1.000	.996	1.000	.983	.997
4/11	5.09	1.53	-	-	-	-	-	-	-	.991	.999	945	.991
4/12	4.52	1.86	-	-	-	-	-	-	-	-	.257	1.000	1.000
4/13	5.59	1.93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	.102	.207
4/14	4.57	1.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.000
4/15	4.58	1.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*. The mean difference is significant at the .05 level.

ตัวอย่างภาพกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบการเรียนการสอนโดยใช้ MCIS
เรื่อง การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย

นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันสำรวจตรวจสอบหาข้อมูลเชิงประจักษ์
เพื่อนำหลักฐานการทดลองที่ได้มาใช้ปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองที่เป็นสมมติฐานในเบื้องต้น



นักเรียนร่วมกันสร้างแบบจำลองที่เป็นมติของกลุ่มย่อย และนำเสนอแบบจำลองต่อชั้นเรียน
ในขั้นการประเมินโดยเพื่อนเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองที่เป็นมติของชั้นเรียน

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายโกเมศ นาแจ้ง เกิดวันที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ. 2528 ภูมิลำเนาจังหวัดตรัง สำเร็จการศึกษาครุศาสตรบัณฑิต วิชาเอกฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรครุศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552 และได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ (2/2554) เพื่อสนับสนุนการทำวิจัย จากบัณฑิตวิทยาลัย