



การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา
เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

THE DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC CREATIVITY THROUGH STEAM EDUCATION IN
FORCE AND MOTION TOPIC FOR TENTH GRADE STUDENTS

เดือนเพ็ญ หาญยุทธ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2567

การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา
เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2567
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

THE DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC CREATIVITY THROUGH STEAM EDUCATION IN
FORCE AND MOTION TOPIC FOR TENTH GRADE STUDENTS



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF EDUCATION
(Science Education)

Faculty of Science, Srinakharinwirot University

2024

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

ของ

เดือนเพ็ญ หาญยุทธ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพงษ์ แสงประดิษฐ์)

ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.โชคชัย ยืนยง)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินันท์ พุกฤษ์ประมุล)

ชื่อเรื่อง	การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4
ผู้วิจัย	เดือนเพ็ญ หาญยุทธ
ปริญญา	การศึกษามหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2567
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อธิพงษ์ แสงประดิษฐ์

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ กลุ่มที่ศึกษาที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้คือนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 30 คน โรงเรียนแห่งหนึ่งในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา จังหวัดนครปฐม ซึ่งได้มาจากวิธีเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเบื้องต้นตามแบบแผนการวิจัยแบบหนึ่งกลุ่มทดลองก่อนและหลังเรียน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1) แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็ม 2) แบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ และ 3) แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน การวิเคราะห์ข้อมูลใช้ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยร้อยละ ผลการวิจัยพบว่า 1) นักเรียนกลุ่มตัวอย่างมีคะแนนเฉลี่ยความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์หลังเรียน ($M = 40.63$, $S.D. = 4.25$) สูงกว่าก่อนเรียน ($M = 37.53$, $S.D. = 4.18$) และ 2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนหลังเรียน ($M = 19.63$, $S.D. = 3.89$) สูงกว่าก่อนเรียน ($M = 13.23$, $S.D. = 4.61$)

คำสำคัญ : ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์, สะเต็มศึกษา, แรงและการเคลื่อนที่

Title	THE DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC CREATIVITY THROUGH STEAM EDUCATION IN FORCE AND MOTION TOPIC FOR TENTH GRADE STUDENTS
Author	DUEANPEN HANYUT
Degree	MASTER OF EDUCATION
Academic Year	2024
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Theerapong Sangpradit

This research aims to study the effects of science learning on the topic of force and motion using STEAM education in term of scientific creativity and learning achievement among tenth-grade students. The samples were 30 tenth-grade students who studied in the second semester of the 2024 academic year in a school in Nakhon Pathom, selected through purposive sampling. This research is a pre-experimental research using a one group pre-test post-test design. The research instruments consisted of the following: 1) STEAM-based lesson plans; 2) a scientific creativity test; and 3) a learning achievement test. The statistics employed for the analysis of data included mean, standard deviation and percentage mean. The results of this study were as follows: 1) the scientific creativity posttest mean score of the students ($M = 40.63$, $S.D. = 4.25$) was higher than the pretest one ($M = 37.53$, $S.D. = 4.18$); and 2) the learning achievement posttest mean score ($M = 19.63$, $S.D. = 8.39$) was higher than the pretest one ($M = 13.23$, $S.D. = 4.61$).

Keyword : Scientific Creativity, STEAM Education, Force and Motion

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีเพราะผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือและความเอาใจใส่อย่างดียิ่งตลอดจนการให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการปรับแก้ไขข้อบกพร่อง จากคณะกรรมการผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรพงษ์ แสงประดิษฐ์ ที่ได้ให้ความเมตตากรุณาเป็นที่ปรึกษาและให้ความช่วยเหลือชี้แนะแนวทางในสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและการทำปริญญานิพนธ์นี้ด้วยความเอาใจใส่ตลอด จนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จเรียบร้อยไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินันท์ พงษ์ประมุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรรยา ดาสา อาจารย์ ดร.เทพกัญญา พรหมขัติแก้ว และอาจารย์ ดร.พินิจ ขำวงศ์ ที่ท่านให้ความกรุณาแนะนำแนวทางและข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. โชคชัย ยืนยง และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินันท์ พงษ์ประมุล ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบปากเปล่าและให้คำแนะนำเพิ่มเติมที่ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ลัดดา ปัญญาจิรภูมิ อาจารย์ ดร. อภิลิทธิ์ ธงไชย และ อาจารย์ ดร. สิทธิศักดิ์ จินดาวงศ์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบแก้ไขเครื่องมืองานวิจัย โดยได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณพี่ ๆ และเพื่อน ๆ เจ้าหน้าที่ ของศูนย์วิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ รวมถึงบุคคลอีกหลายท่าน ที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอโน้มรำลึกถึงคุณของบิดามารดาและครูอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอนให้ความรู้เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

เดียนเพ็ญ หาญยุทธ

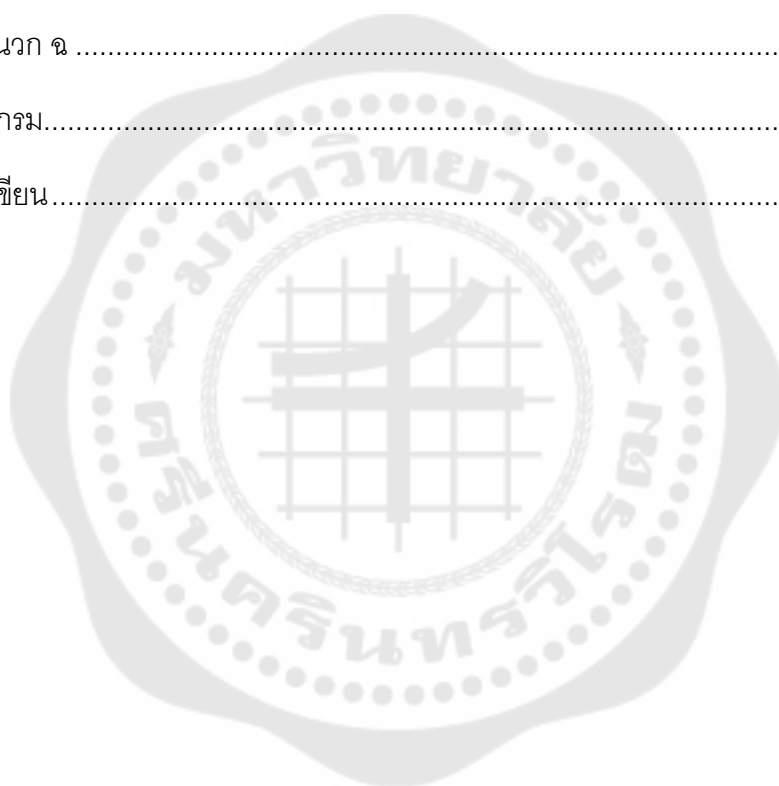
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
คำถามของการวิจัย.....	5
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	5
ความสำคัญของการวิจัย.....	6
ขอบเขตของการวิจัย.....	6
ประชากรที่ใช้ในการวิจัย.....	6
กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย.....	6
ตัวแปรที่ศึกษา.....	6
เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย.....	7
ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย.....	7
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	7
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	10
สมมติฐานของการวิจัย.....	10
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11

1. ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์.....	12
1.1 ความสำคัญของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์.....	12
1.2 ความหมายของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์.....	13
1.3 องค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์.....	14
1.4 การจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์.....	17
1.5 การวัดและประเมินความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์.....	31
2. การจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในรายวิชาฟิสิกส์.....	46
2.1 แนวคิดหลักของรายวิชาฟิสิกส์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์.....	46
2.2 แนวทางการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในรายวิชา ฟิสิกส์.....	49
3. สะเต็มศึกษา.....	51
3.1 ความเป็นมาและความสำคัญของสะเต็มศึกษา.....	51
3.2 ความหมายของสะเต็มศึกษา.....	53
3.3 องค์ประกอบของสะเต็มศึกษา.....	54
3.4 ทฤษฎีการเรียนรู้ที่สนับสนุนแนวคิดสะเต็มศึกษา.....	56
3.5 แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทาง วิทยาศาสตร์.....	58
4. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน.....	65
4.1 ความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน.....	65
4.2 พฤติกรรมที่แสดงออกถึงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน.....	66
4.3 การวัดและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน.....	70
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	71
การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง.....	71

ประชากร	71
การเลือกกลุ่มตัวอย่าง.....	71
แบบแผนในการวิจัย.....	72
การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	72
เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	73
เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล.....	82
การเก็บรวบรวมข้อมูล	90
การจัดกระทำข้อมูลการวิเคราะห์ข้อมูล	91
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล	92
การดำเนินการด้านจริยธรรมวิจัยในมนุษย์.....	94
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	95
ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนก่อนและหลังเรียน.....	95
ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์ของนักเรียนก่อนและหลังเรียน	99
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	102
ความมุ่งหมายของการวิจัย	102
สมมติฐานของการวิจัย.....	102
วิธีการดำเนินการวิจัย.....	103
สรุปผลการวิจัย	105
อภิปรายผลการวิจัย	105
ข้อเสนอแนะ	111
1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้	111
2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป	111
บรรณานุกรม.....	113

ภาคผนวก.....	128
ภาคผนวก ก	129
ภาคผนวก ข.....	132
ภาคผนวก ค	134
ภาคผนวก ง.....	150
ภาคผนวก จ.....	225
ภาคผนวก ฉ	228
บรรณานุกรม.....	97
ประวัติผู้เขียน.....	99



สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 ข้อดีและข้อจำกัดของแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่สามารถพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์.....	27
ตาราง 2 ข้อคำถามและเกณฑ์การให้คะแนนของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของ Hu & Adey.....	38
ตาราง 3 ข้อคำถามและเกณฑ์การให้คะแนนของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของ Aktamis et al.....	41
ตาราง 4 ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับแรงและกฎการเคลื่อนที่	47
ตาราง 5 แบบแผนการวิจัยเชิงปริมาณ	72
ตาราง 6 ลำดับแผนการจัดการเรียนรู้ จำนวนคาบเรียน สถานการณ์ และความรู้ที่ใช้สร้างผลงานของหน่วยการเรียนรู้สะเต็มเรื่อง แรงและการเคลื่อนที่.....	75
ตาราง 7 โครงสร้างของแผนการจัดการเรียนรู้หน่วยการเรียนรู้สะเต็ม ในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่.....	79
ตาราง 8 องค์ประกอบและตัวชี้วัดพฤติกรรมของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์.....	82
ตาราง 9 เกณฑ์การให้คะแนนของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ตามเกณฑ์ของ Torrance และ Aktamis et al.....	83
ตาราง 10 ช่วงคะแนนร้อยละและระดับความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์.....	85
ตาราง 11 พฤติกรรมที่ต้องการวัดและตัวชี้วัดพฤติกรรม ตามหลักของ Klopfer	87
ตาราง 12 จำนวนข้อของแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่	88
ตาราง 13 คะแนนเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยร้อยละ และระดับคุณภาพของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง (n=30).....	95
ตาราง 14 คะแนนเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยร้อยละของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียนแบบแยกองค์ประกอบของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง (n=30)....	96

ตาราง 15 จำนวนนักเรียนและร้อยละความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียน แบบแยกองค์ประกอบของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง (n=30).....	98
ตาราง 16 คะแนนเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยร้อยละของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง (n=30)	100
ตาราง 17 คะแนนเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยร้อยละของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มตัวอย่างที่แยกพฤติกรรมพิสัยตามแนวคิดของ Klopfer (n=30)	100
ตาราง 18 การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนกับเกณฑ์ (n=30) ...	102
ตาราง 19 การเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง (n=30) .	102
ตาราง 20 ตารางวิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด สะเต็มศึกษา	135
ตาราง 21 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ...	139
ตาราง 22 ค่าความสอดคล้องของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์รายข้อ	142
ตาราง 23 ค่าความยากและค่าอำนาจจำแนกของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ฉบับก่อนเรียน	143
ตาราง 24 ค่าความยากและค่าอำนาจจำแนกของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ฉบับหลังเรียน	143
ตาราง 25 ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่	144
ตาราง 26 ค่าความยากและค่าอำนาจจำแนกแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่	149

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย	10
ภาพประกอบ 2 แผนภูมิแสดงผลคะแนนความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา	97
ภาพประกอบ 3 แผนภูมิแสดงผลคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนเรียนและหลังเรียนตามแนวคิดของ Klopfer	101
ภาพประกอบ 4 แสดง Rube Goldberg สไตล์นครปฐมของกลุ่มที่ 2	107



บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ความคิดสร้างสรรค์ถือเป็นทักษะสำคัญในทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม (Learning and Innovation Skills) ที่ส่งเสริมความสำเร็จในการดำรงชีวิต การประกอบอาชีพ และการเป็นพลเมืองในสังคมแห่งศตวรรษที่ 21 ตามกรอบแนวคิดของเครือข่ายองค์กรความร่วมมือเพื่อทักษะแห่งการเรียนรู้ในโลกศตวรรษที่ 21 (Framework for 21st Century Learning, 2019) การเปลี่ยนแปลงด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว การแข่งขันเพื่อผลประโยชน์ทางการค้าทำให้ทุกประเทศเร่งพัฒนาประชากรให้มีคุณภาพ กลไกสำคัญที่ช่วยพัฒนาประเทศให้เจริญก้าวหน้าและสามารถแข่งขันกับนานาประเทศได้คือ เยาวชนคนรุ่นใหม่ การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นในสังคมปัจจุบัน เพราะสังคมมีการเปลี่ยนแปลงและมีปัญหาใหม่ ๆ เกิดขึ้นตลอดเวลา นักเรียนจึงควรได้รับการฝึกฝนให้รู้จักการคิดใหม่ ๆ เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่ต้องพบในชีวิตประจำวัน (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2567; อัจฉรี ศิลางัด, 2565) ความคิดสร้างสรรค์เมื่อผสมรวมกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ การลงมือปฏิบัติจริง รวมถึงการร่วมมือกันก่อให้เกิดแนวคิดที่เรียกว่า ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Creativity) ซึ่งหมายถึงความสามารถในการคิดและสร้างแนวคิดใหม่ ๆ โดยใช้หลักการและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการแก้ปัญหาได้หลากหลายแนวทาง มีความแปลกใหม่ ไม่ซ้ำกับคนอื่น (Aktamis et al., 2008; Grosul & Feist, 2014) ผลลัพธ์ของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ไม่เพียงแต่สร้างประโยชน์ต่อสังคมในวงกว้าง แต่ยังเป็นรากฐานสำคัญของการสร้างองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เช่น การสร้างทฤษฎีใหม่ การออกแบบการทดลองเพื่อตรวจสอบกฎธรรมชาติ และการริเริ่มงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งนำไปสู่การพัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยีที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์มีองค์ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลัก ดังนี้ 1) ความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Fluency) คือความสามารถในการคิดค้นวิธีแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ที่กำหนด โดยนำหลักการทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มาใช้ในการหาคำตอบที่ถูกต้องและมีจำนวนมากที่สุดในเวลาจำกัด 2) ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Flexibility) คือความสามารถในการคิดค้นคำตอบทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง และมีหลากหลายหมวดหมู่ หรือมีหลายแนวทาง และ 3) ความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Originality) คือความสามารถในการคิดค้นวิธีแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ที่กำหนด โดยนำหลักการทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มาใช้ในการหาคำตอบที่แปลกใหม่ แตกต่างไป

จากความคิดของคนส่วนใหญ่ (Hu & Adey, 2002; Ozkan & Topaskal 2021) ซึ่งนักการศึกษาและนักวิจัยต่างกล่าวไปทิศทางเดียวกันว่าความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์เป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการแก้ไขปัญหาในชีวิตจริงที่ซับซ้อนขึ้นเรื่อย ๆ ที่นักเรียนต้องเผชิญในอนาคต จากการศึกษาของ ศิริินนาถ ทับทิมใส (2563) ที่ทำการศึกษาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้แบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ที่สร้างขึ้น พบว่านักเรียนมีความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ต่ำกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ เนื่องจากนักเรียนมีพฤติกรรมลอกเลียนแบบ นักเรียนไม่กล้าคิดกล้าแสดงออกด้วยตนเอง สอดคล้องกับการศึกษาของ วรณนภา ธูวิทย์ และจุฬารัตน์ ธรรมประทีป (2565) ได้ทำการสังเกตและประเมินความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 การวิจัยพบว่า นักเรียนยังไม่สามารถที่จะนำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาที่หลากหลาย หรือการแสดงกระบวนการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ บนหลักฐานแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่สะท้อนความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะมิติของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และผลลัพธ์ทางวิทยาศาสตร์

การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในห้องเรียนวิทยาศาสตร์มีหลักการเดียวกันกับการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์แต่มุ่งเน้นไปที่แนวทางที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์เป็นหลัก สามารถพัฒนาได้ทั้งทั้งตรงและทางอ้อม ทางตรงโดยการฝึกฝนและอบรม ส่วนทางอ้อมนั้นโดยการสร้างสภาพแวดล้อมที่ส่งเสริมการเรียนรู้ (Torrance, 1977) การจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์เป็นการจัดการเรียนรู้ที่มีจุดมุ่งเน้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านความรู้ ความคิด ความรู้สึก ทักษะ และเป็นการพัฒนาตนเองของผู้เรียน (Hsiao et al., 2022; อารี พันธุ์มณี, 2557) จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ พบว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา (STEAM Education) เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ โดยเป็นการบูรณาการวิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) ศิลปะ (Arts) และคณิตศาสตร์ (Mathematics) โดยมีลักษณะสำคัญคือ 1) เน้นสถานการณ์จริง ส่งเสริมให้ผู้เรียนคิดค้น หาเหตุผล และลงมือสร้างสรรค์ผลงานเพื่อแก้ปัญหา 2) ส่งเสริมการออกแบบเชิงวิศวกรรม บูรณาการร่วมกับจินตนาการด้านสุนทรียภาพเพื่อสร้างสรรค์นวัตกรรม และ 3) การนำศิลปะมาผสมผสาน ช่วยให้นักเรียนได้รับประสบการณ์การเรียนรู้ที่หลากหลายและน่าสนใจยิ่งขึ้น (Conradty & Bogner, 2020; Kim & Kim, 2016; Özkan & Umdü, 2021; Perales & Aguilera, 2021)

หัวใจหลักของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาอยู่ที่ความสามารถของผู้เรียนในการคิดค้นและหาคำตอบ หาเหตุผลในการแก้ปัญหา และลงมือสร้างสรรค์ผลงานหรือปฏิบัติการ เพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบหรือวิธีในการแก้ประเด็นปัญหาที่ตั้งขึ้นนั้น ทำให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความเข้าใจ ผ่านขั้นตอนและกระบวนการการปฏิบัติจริงควบคู่ไปกับการพัฒนาทักษะทางด้านต่าง ๆ (Park et al., 2016; สุกัด โอฟาพิริยกุล, 2562) สำหรับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาให้กับผู้เรียนนั้น จากการทบทวนวรรณกรรมจากบทความและงานวิจัย พบว่า การจัดการเรียนการสอนตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่พัฒนาความคิดสร้างสรรค์ มีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ 6 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นระบุปัญหา (Problem Identification) 2) ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา (Related Information Search) 3) ขั้นตอนออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Solution Design) 4) ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (Planning and Development) 5) ขั้นตอนทดสอบประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Testing, Evaluation and Design Improvement) และ 6) ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Presentation) (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560) ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ เช่น จากงานวิจัยของ รัญญูเรศ ก้อนจันทร์เทศ (2566) ที่ได้จัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง สารอาหาร ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนสามารถพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้ และควรกำหนดสถานการณ์ที่ทันสมัย มีความท้าทาย และเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน ในทำนองเดียวกันกับ รัญชนก ทาระเนตร (2565) ได้ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง เทคโนโลยีดีเอ็นเอ พบว่า คะแนนความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษามากกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญอยู่ในระดับดี ดังนั้นการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมสามารถส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนได้

การส่งเสริมความรู้และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นระดับชั้นที่ผู้เรียนจะได้เรียนเนื้อหาพื้นฐานสำหรับการเรียนรู้ในระดับที่สูงขึ้น หากผู้เรียนขาดความเข้าใจเนื้อหาพื้นฐานและมีเจตคติที่ไม่ดีต่อวิชาวิทยาศาสตร์ จะส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทำให้ไม่สามารถเข้าใจสิ่งที่โจทย์ต้องการ หรือวิเคราะห์ขั้นตอนการแก้ปัญหาได้ตามเกณฑ์ที่คาดหวัง (ณัฏพร อุทธา, วีระ วงศ์สรรค์ และธนาถล สมบูรณ์, 2566) ดังนั้นในการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาวิทยาศาสตร์ นอกจากความคิดสร้างสรรค์ทาง

วิทยาศาสตร์ที่ควรพัฒนาแล้ว ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในรายวิชาวิทยาศาสตร์ก็ยังคงมีความสำคัญต่อการพัฒนาการเรียนรู้อันผู้เรียน เพราะทำให้ครูผู้สอนทราบถึงระดับความรู้และความสามารถของผู้เรียน และสามารถนำผลที่ได้ไปพัฒนาการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับศักยภาพผู้เรียนและช่วยเหลือผู้เรียนให้มีระดับความรู้และความสามารถที่สูงขึ้นได้ (พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์ และ พเยาว์ ยินดีสุข, 2548) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรายวิชาฟิสิกส์ที่มีการศึกษาเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติมีความเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของผู้เรียนโดยตรง (สสวท., 2560) การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มที่สามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในรายวิชาฟิสิกส์ได้ จากผลการวิจัยของ รพีพล อินสุพรรณ (2562) ได้ศึกษาผลการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนเรื่อง โมเมนตัมและการชน พบว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน สอดคล้องกับ พิพิชญ์ สร้อยชมพูพงศ์ (2565) ที่ได้จัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง สภาพสมดุล พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 เนื่องจากนักเรียนได้ทำกิจกรรมที่บูรณาการความรู้ ได้ลงมือทำกิจกรรม และได้แสวงหาความรู้จากทรัพยากรในท้องถิ่น นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้กับชีวิตประจำวัน จนเกิดทักษะกระบวนการเรียนรู้ที่ช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนพัฒนาความคิดทั้งความคิดเป็นเหตุเป็นผล คิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์วิจารณ์ มีจิตวิทยาศาสตร์ เข้าใจการทำงานทางด้านวิทยาศาสตร์ดีขึ้น

เนื้อหาเรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ เป็นองค์ความรู้ทางฟิสิกส์ที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากในชีวิตประจำวัน เราสามารถพบเห็นแรงและการเคลื่อนที่ของวัตถุต่าง ๆ ได้ตลอดเวลา และยังสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้มาออกแบบการเคลื่อนที่ของเครื่องจักร ยานพาหนะ รวมถึงกลไกการทำงานของเครื่องยนต์ ระบบเบรกของรถ การกระโดดร่ม และการคำนวณออกแบบวิธีการใช้แรงให้เหมาะสมในแต่ละสถานการณ์ (ฐิติวุฒินันท์ ภาควิทยาศาสตร์, 2565) หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 โดยตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) ได้กำหนดให้เนื้อหาของแรงและการเคลื่อนที่อยู่ทั้งในสาระพื้นฐาน (แผนการเรียนรู้ที่ไม่เน้นวิทยาศาสตร์) และสาระเพิ่มเติม (แผนการเรียนรู้ที่เน้นวิทยาศาสตร์) เพื่อให้ให้นักเรียนได้เรียนรู้และนำไปปรับประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยที่ชี้ให้เห็นถึงปัญหาในการเรียนรู้ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ เช่น งานวิจัยของ มยุรี เจริญศิริ (2557) พบว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 มีผลสัมฤทธิ์ในการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะเรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ อยู่ในเกณฑ์ต่ำ สาเหตุหลักมาจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

ที่ไม่ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของนักเรียน เนื้อหาที่สอนเข้าใจยาก และครูขาดเทคนิคในการถ่ายทอดความรู้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ จุฑามาศ วินทะสมบัติ, ทศนัยน์ ทิงช้า และวลิดา อุ่นเรือน (2566) ที่ระบุว่าผลสัมฤทธิ์ในการเรียนในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีผลการเรียนอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์ ปัญหานี้เน้นย้ำถึงความจำเป็นที่ครูผู้สอนควรออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้นักเรียนเกิดกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง และเรียนรู้อย่างเป็นอิสระ เพื่อให้ผู้เรียนสามารถทำความเข้าใจและนำหลักการของแรงและการเคลื่อนที่ไปใช้ได้อย่างแท้จริง

จากเหตุผลและความสำคัญที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงดำเนินการศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ โดยใช้แนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่มีต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 4 การวิจัยนี้ช่วยส่งเสริมทักษะและกระบวนการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ พัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบแก้ปัญหาทางด้านวิศวกรรม โดยผสมผสานจินตนาการและความคิดสร้างสรรค์ด้านสุนทรียศาสตร์ นอกจากนี้ยังส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถทำงานร่วมกับผู้อื่น ตัดสินใจโดยใช้ข้อมูลหลากหลาย และพัฒนาสิ่งใหม่ ๆ เพื่อสร้างสรรค์และต่อยอดนวัตกรรมที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาประเทศในอนาคต

คำถามของการวิจัย

1. การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ส่งผลต่อการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 อย่างไร
2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาอยู่ในระดับใด

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. เพื่อศึกษาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่
2. เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่

ความสำคัญของการวิจัย

ผลการวิจัยในครั้งนี้ทำให้ทราบถึงผลของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่มีต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ และเพื่อเป็นแนวทางให้ครูผู้สอน บุคลากรทางการศึกษา หรือผู้ที่สนใจนำไปต่อยอดและปรับใช้ในการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนให้สูงขึ้น

ขอบเขตของการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากร คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 โรงเรียนในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา จังหวัดนครปฐม จำนวน 10 ห้องเรียน รวม 365 คน ที่เรียนวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างคือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 โรงเรียนในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา จังหวัดนครปฐม ซึ่งได้มาจากวิธีเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยเจาะจงห้องเรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ 1 ห้องเรียน รวม 30 คน เนื่องจากนักเรียนกลุ่มนี้มีเป็นผู้มีความสนใจและตั้งใจในการเรียนวิทยาศาสตร์ อีกทั้งยังเป็นผู้มีความรับผิดชอบต่อการเรียน มีความใฝ่รู้ และสามารถสืบค้นข้อมูลด้วยตนเอง อย่างไรก็ตามจากการสัมภาษณ์ครูผู้สอน พบว่านักเรียนกลุ่มนี้ยังมีข้อจำกัดในด้านความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์โดยนักเรียนมักจะประดิษฐ์ชิ้นงานทางด้านวิทยาศาสตร์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ขาดความแปลกใหม่

ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรที่ศึกษา มีดังนี้

1. ตัวแปรอิสระ: การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

2. ตัวแปรตาม: ได้แก่

- 1) ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์
- 2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยเป็นเนื้อหาวิทยาศาสตร์ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 รายวิชาฟิสิกส์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 หน่วยการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

การจัดการเรียนรู้อ้างอิงตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ใช้ระยะเวลาในการวิจัย 6 สัปดาห์ การจัดการเรียนรู้เรื่องละ 4 ชั่วโมง มีการประเมินก่อนเรียนและหลังเรียน 2 ชั่วโมง รวมใช้เวลา 24 ชั่วโมง ดำเนินการวิจัยในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567

นิยามศัพท์เฉพาะ

ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความสามารถในการคิดและสร้างมโนทัศน์ใหม่ ๆ โดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการแก้ปัญหาได้หลายแนวทาง ความคิดที่เกิดขึ้นมีความแปลกใหม่ ไม่ซ้ำกับคนอื่น ผลลัพธ์ที่ได้มีความสำคัญหรือมีประโยชน์ต่อวิทยาศาสตร์ แบ่งองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ตามองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ของ Torrance (1990) โดยแบ่งเป็น 3 องค์ประกอบ ดังนี้

1. ความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Fluency) หมายถึงความสามารถในการคิดค้นวิธีแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ที่กำหนด โดยนำหลักการทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มาใช้ในการหาคำตอบที่ถูกต้องและมีจำนวนมากที่สุดในเวลาจำกัด

2. ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Flexibility) หมายถึงความสามารถในการคิดค้นคำตอบทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง และมีหลากหลายหมวดหมู่ หรือมีหลายแนวทาง

3. ความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Originality) หมายถึงความสามารถในการคิดค้นวิธีแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ที่กำหนด โดยนำหลักการทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มาใช้ในการหาคำตอบที่แปลกใหม่ แตกต่างไปจากความคิดของคนส่วนใหญ่

โดยความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ทางวิทยาศาสตร์สามารถวัดได้ด้วยแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นตามแบบทดสอบของ Aktamis et al. (2008) และใช้เกณฑ์การให้คะแนนของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์โดยอาศัยภาษาของ Torrance (1990)

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

หมายถึง กระบวนการที่ครูผู้สอนใช้ในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เพื่อมุ่งเน้นการให้นักเรียนได้ทำความเข้าใจและแก้ปัญหาในสถานการณ์จริง โดยใช้ทักษะทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี รวมถึงการใช้ศิลปะในการสร้างสรรค์ผลงานและการออกแบบเชิงวิศวกรรม บูรณาการร่วมกับจินตนาการด้านสุนทรียภาพ เพื่อสร้างสรรค์นวัตกรรม การจัดการเรียนรู้มีขั้นตอนเรียนรู้ 6 ขั้นตอน ดังนี้ (สสวท., 2560)

ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา (Problem Identification) เป็นขั้นตอนที่นักเรียนทำความเข้าใจปัญหาผ่านสถานการณ์ในชีวิตประจำวันที่คุณกำหนด เช่น การสร้างสถานการณ์ การชมสื่อวิดีโอ เป็นต้น นักเรียนทำการวิเคราะห์ปัญหาและเขียนอธิบายเงื่อนไขที่เหมาะสมในการแก้ปัญหานั้น ๆ ได้ ด้วยการวาดภาพหรือการสร้างโมเดลเพื่อให้เห็นปัญหาได้ชัดเจนมากขึ้น แล้วอภิปรายภายในกลุ่ม

ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา (Related Information Search) เป็นขั้นตอนที่นักเรียนภายในกลุ่มช่วยกันรวบรวมข้อมูลแนวคิด และองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์หรือศาสตร์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหรือสถานการณ์ ที่สามารถใช้ในการแก้ปัญหานั้น ๆ ได้ โดยการค้นหาและรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่างๆ เช่น สอบถามจากผู้รู้ สืบค้นหรือสำรวจจากสื่อและแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ จากนั้นนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาวิเคราะห์และสรุปเป็นสารสนเทศและวิธีการแก้ปัญหาหรือสถานการณ์ โดยอาจจะใช้ภาพวาดหรือโมเดลเพื่ออธิบายหลักการทางวิทยาศาสตร์หรือศาสตร์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้มากกว่า 1 วิธี จากนั้นจึงพิจารณาและเลือกวิธีการแก้ปัญหาหรือสถานการณ์ที่เหมาะสมและสอดคล้องกับปัญหาหรือสถานการณ์ในประเด็นต่าง ๆ เช่น ข้อดี ข้อเสีย ความสอดคล้องและการนำไปใช้ได้จริงของวิธีการแต่ละวิธี ดังนั้นวิธีการที่จะถูกพิจารณาคัดเลือกจะอยู่ภายใต้วัสดุอุปกรณ์ และเงื่อนไขที่ครูผู้สอนกำหนดให้มาเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจ

ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Solution Design) เป็นขั้นตอนที่นักเรียนสามารถนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาวิเคราะห์ หาข้อดีและข้อจำกัดของวิธีในการแก้ปัญหาแต่ละข้อ พร้อมทั้งตัดสินใจเลือกวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหานั้น ๆ โดยจะต้องคำนึงถึงวัสดุ อุปกรณ์ และเงื่อนไขที่ครูจัดเตรียมและกำหนดไว้ แล้วออกแบบแนวทางการแก้ปัญหาโดยเขียนเป็นแผนภาพหรือร่างภาพตามบริบทของปัญหานั้น ๆ

ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (Planning and Development) เป็นขั้นตอนที่นักเรียนสามารถวางลำดับขั้นตอนของการสร้างชิ้นงานหรือวิธีการในการแก้ปัญหา จากนั้นลงมือ

สร้างหรือพัฒนาชิ้นงานหรือวิธีการ โดยการใช้ศิลปะในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมและสร้างผลงานที่เหมาะสมเพื่อที่จะนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้ในการขั้นตอนต่อไป

ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Testing, Evaluation and Design Improvement) เป็นขั้นตอนที่นักเรียนนำชิ้นงานหรือวิธีการที่สร้างขึ้นไปทดสอบว่าสามารถทำงานหรือใช้ในการแก้ปัญหาหรือสถานการณ์ได้หรือไม่ มีข้อบกพร่องอย่างไร และควรปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานหรือแบบจำลองหรือวิธีการในส่วนใด ควรปรับปรุงแก้ไขอย่างไร แล้วจึงดำเนินการปรับปรุงแก้ไขในส่วนนั้นจนได้ชิ้นงานหรือวิธีการที่สอดคล้องตามรูปแบบที่ออกแบบไว้

ขั้นที่ 6 ชี้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Presentation) เป็นขั้นตอนที่นักเรียนสามารถนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาตั้งแต่แนวคิด ขั้นตอนการสร้างชิ้นงานหรือวิธีการโดยนำเสนอให้เกิดความน่าสนใจต่อผู้ฟังและเข้าใจได้ง่าย มีวาทีศิลป์ในการพูด โดยมีครูและเพื่อร่วมชั้นเรียนช่วยกันอภิปรายและให้ข้อเสนอแนะ

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ความสามารถในการเรียนรู้ของผู้เรียนในรายวิชา ฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ซึ่งวัดได้จากคะแนนของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ แบบทดสอบเป็นแบบปรนัย ประเภท 5 ตัวเลือก แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทั้งก่อนเรียนและหลังเรียน จำนวน 30 ข้อ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยวัดพฤติกรรมด้านพุทธิพิสัยของผู้เรียน 4 ด้าน ตามหลักของ Klopfer (1971) ดังนี้

ด้านที่ 1 ความรู้ความจำ เป็นพฤติกรรมที่ผู้เรียนแสดงออกถึงความสามารถในการจำถึงข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ได้เรียนรู้จากการค้นคว้าด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การอ่านหนังสือ หรือฟังบรรยาย เป็นต้น

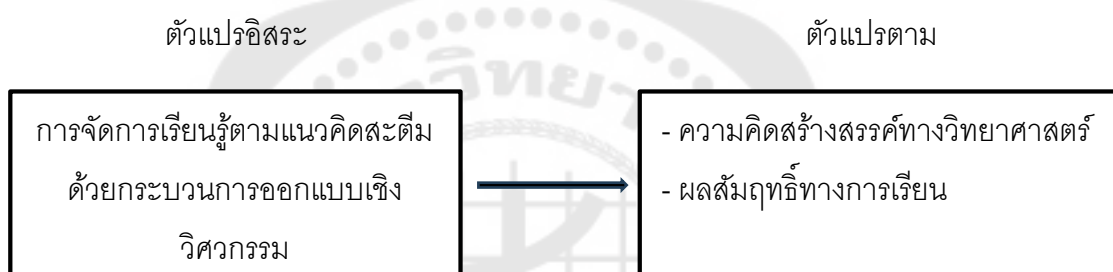
ด้านที่ 2 ความเข้าใจ เป็นพฤติกรรมที่ผู้เรียนสามารถเข้าใจความรู้ทางวิทยาศาสตร์และแสดงออกมาซึ่งความเข้าใจออกมาในรูปแบบต่าง ๆ

ด้านที่ 3 กระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เป็นพฤติกรรมที่ผู้เรียนแสวงหาความรู้ และแก้ไขด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติทางวิทยาศาสตร์

ด้านที่ 4 การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ เป็นพฤติกรรมที่ผู้เรียนแสดงออกถึงการนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ในการแก้ไขปัญหาในสถานการณ์ที่ยังไม่ทราบคำตอบ

กรอบแนวคิดในการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้จัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เป็นการจัดการเรียนรู้ที่มีสถานการณ์ปัญหาในชีวิตจริงให้นักเรียนได้คิดค้นและหาคำตอบ หาเหตุผลในการแก้ปัญหา และลงมือสร้างสรรค์ผลงานหรือปฏิบัติกิจกรรม เพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบหรือวิธีในการแก้ประเด็นปัญหาที่ตั้งขึ้นนั้น ทำให้ผู้เรียนเกิดความรู้ ความเข้าใจ ผ่านขั้นตอนและกระบวนการการปฏิบัติจริง ส่งผลให้กลุ่มตัวอย่างมีความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ดีขึ้น ซึ่งความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม แสดงดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

สมมติฐานของการวิจัย

1. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา มีความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน
2. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

- 1.1 ความสำคัญของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์
- 1.2 ความหมายของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์
- 1.3 องค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์
- 1.4 การจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์
- 1.5 การวัดและประเมินผลความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

2. การจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในรายวิชาฟิสิกส์

- 2.1 แนวคิดหลักของรายวิชาฟิสิกส์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
- 2.2 แนวทางการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในรายวิชาฟิสิกส์

3. สะเต็มศึกษา

- 3.1 ความเป็นมาและความสำคัญของสะเต็มศึกษา
- 3.2 ความหมายของสะเต็มศึกษา
- 3.3 องค์ประกอบของสะเต็มศึกษา
- 3.4 ทฤษฎีการเรียนรู้ที่สนับสนุนแนวคิดสะเต็มศึกษา
- 3.5 แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

4. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

- 4.1 ความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
- 4.2 พฤติกรรมที่แสดงออกถึงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
- 4.3 การวัดและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

1. ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

การศึกษาเกี่ยวกับความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ นำเสนอประเด็นสำคัญที่นำไปสู่การวิจัย ดังนี้

1.1 ความสำคัญของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

ความคิดสร้างสรรค์เป็นหนึ่งในทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม (Learning and Innovation Skills) ซึ่งเป็นทักษะสำหรับดำรงชีวิตในศตวรรษที่ 21 ตามรูปแบบ (model) ที่มาจากเครือข่ายองค์กรความร่วมมือเพื่อทักษะแห่งการเรียนรู้ในโลกศตวรรษที่ 21 (Partnership for 21st Century Skills) หรือเรียกย่อว่า เครือข่าย P21 ซึ่งเกิดขึ้นจากความร่วมมือของครู นักการศึกษา ผู้นำทางธุรกิจของบริษัทเอกชนขนาดใหญ่ และองค์กรวิชาชีพในประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อร่วมกันพัฒนารูปแบบทักษะการเรียนรู้ในโลกศตวรรษที่ 21 (Framework for 21st Century Learning, 2019) สภาการศึกษาของประเทศไทยได้เล็งเห็นการพัฒนาประเทศให้เจริญก้าวหน้าทัดเทียมนานาประเทศในเวทีโลก ท่ามกลางกระแสการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของโลกศตวรรษที่ 21 จึงได้จัดทำแผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579 เพื่อให้คนไทยทุกคนได้รับการศึกษาและเรียนรู้ตลอดชีวิตอย่างมีคุณภาพ ดำรงชีวิตอย่างเป็นสุข สอดคล้องกับหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง และการเปลี่ยนแปลงของโลกศตวรรษที่ 21 โดยมุ่งพัฒนาผู้เรียนทุกคนให้มีคุณลักษณะและทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ประกอบด้วยทักษะที่เรียกตามคำย่อว่า 3Rs + 8Cs ซึ่งทักษะด้านการสร้างสรรค์และนวัตกรรม (Creativity and Innovation) ถือเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้ได้กำลังคนที่สามารถรับมือกับการค้นพบทางวิทยาศาสตร์ การทดลองทางวิทยาศาสตร์ ทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ การวิจัยทางวิทยาศาสตร์ หรือเทคนิคใหม่ ๆ ที่จะนำไปสู่การพัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยีที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2567; อึ้งฉวี ศิลางัด, 2565)

การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์เป็นเป้าหมายหนึ่งในการพัฒนาความสามารถในการคิดของผู้เรียน จากหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ได้ระบุให้มีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนพัฒนาความคิดทั้งความคิดเป็นเหตุเป็นผล คิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์วิจารณ์ มีทักษะที่สำคัญทั้งทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะในศตวรรษที่ 21 ในการค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้ด้วยกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ สามารถแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ สามารถตัดสินใจโดยใช้ข้อมูลหลากหลายและประจักษ์พยานที่ตรวจสอบได้ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) ความคิดสร้างสรรค์จึงถูกนำมาเชื่อมโยงเข้ากับกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ทำให้สามารถคิดแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนได้อย่างรวดเร็ว แปลกใหม่ ทำให้เกิดการพัฒนานวัตกรรมก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมอย่างกว้างขวาง ก่อให้เกิดองค์ความรู้ทาง

วิทยาศาสตร์ในการกำหนดทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ใหม่ การคิดค้นการทดลองใหม่ เพื่อตรวจสอบกฎทางธรรมชาติ และการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ใหม่ ๆ นำไปสู่การพัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยีที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น (Hsiao et al., 2022; อารี พันธุ์มณี, 2557) ความคิดสร้างสรรค์เป็นคุณลักษณะที่มีอยู่ในตัวคนทุกคน และสามารถส่งเสริมคุณลักษณะนี้ให้สูงขึ้นได้ แต่อาจแตกต่างกันในระดับความมากน้อยขึ้นอยู่กับประสบการณ์ที่ผ่านมาของแต่ละคนรวมถึงการเลี้ยงดูสภาพแวดล้อม การเรียนรู้ สังคมและวัฒนธรรมในชุมชนที่อยู่อาศัย ความคิดสร้างสรรค์สามารถพัฒนาได้ด้วยการสอน ฝึกฝน และการฝึกปฏิบัติที่ถูกต้อง (Daud et al., 2012) การพัฒนาผู้เรียนให้เป็นนักวิทยาศาสตร์ที่มีความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากผู้เรียนในยุคปัจจุบันต้องเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงของระบบเศรษฐกิจ สังคม และสถานการณ์ที่ทักษะการทำงานบางประเภทถูกแทนที่ด้วยหุ่นยนต์และเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่มีความซับซ้อนมากขึ้น (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2560)

สามารถสรุปได้ว่าความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์มีส่วนช่วยให้ผู้เรียนมีองค์ความรู้และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้น พร้อมทั้งจะเผชิญกับปัญหาที่ซับซ้อนและแก้ปัญหา นั้นได้อย่างสร้างสรรค์ ก่อให้เกิดองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการกำหนดทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ใหม่ การคิดค้นการทดลองใหม่ เพื่อตรวจสอบกฎทางธรรมชาติ และการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ใหม่ ๆ นำไปสู่การพัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยีที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ทั้งยังช่วยพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศให้เจริญก้าวหน้าทัดเทียมนานาประเทศในโลกได้

1.2 ความหมายของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความหมายของความคิดสร้างสรรค์ (Creativity) พบว่า การศึกษาความคิดสร้างสรรค์เริ่มเป็นที่นิยมเมื่อ กิลฟอร์ด (Guilford) นักจิตวิทยาชาวอเมริกันได้เสนอแนวคิดเกี่ยวกับความคิดสร้างสรรค์ด้วยแบบจำลองโครงสร้างทางสติปัญญา (The structure of intellect model) เป็นครั้งแรกในปี 1950 ซึ่งกิลฟอร์ดได้อธิบายว่าความคิดสร้างสรรค์เป็นความสามารถของบุคคลในการคิด โดยแสดงออกให้เห็นผ่านกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การประดิษฐ์ การออกแบบ การคิดค้น การเขียน และการวางแผน (Guilford, 1950) ความคิดสามารถคิดได้หลายทิศทาง หลายแง่มุม และสามารถนำความคิดนั้นมาบูรณาการกับสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่รอบตัว (Guilford, 1967) ทำให้เกิดการประดิษฐ์หรือการสร้างสิ่งใหม่ที่ไม่เคยมีมาก่อน ซึ่งต่อมาได้มีการศึกษาความคิดสร้างสรรค์โดยเชื่อมโยงกับความรู้ในหลากหลายศาสตร์รวมถึงด้านวิทยาศาสตร์เรียกว่า ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ (Scientific creativity) โดยที่มีการ

รวมเอาความรู้ความเข้าใจทางด้านวิทยาศาสตร์เข้ากับความคิดสร้างสรรค์เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ทางวิทยาศาสตร์ ทั้ง 3 ประการ คือ ประการแรกเพื่อเป็นพื้นฐานทางเทคโนโลยี ประการที่สองเพื่อสนองความอยากรู้อยากเห็นของมนุษย์กับการพยายามอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ตัว และประการสุดท้ายเพื่อศึกษาผลกระทบต่อมุมมองและบทบาทของคนที่มีต่อโลก (Moracesik, 1981) จากการศึกษาความหมายความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์จากงานวิจัยและงานเขียนของนักวิจัยและนักการศึกษาหลาย ๆ ท่าน มีความสอดคล้องกันกล่าวว่า ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ คือ ความสามารถในการสร้างความคิดหรือแนวคิดใหม่ๆ ที่มีความแปลกใหม่ และสร้างสรรค์ผลงานที่มีคุณค่าทางวิทยาศาสตร์ ผ่านการใช้เหตุผล การวิเคราะห์ และการสร้างความเข้าใจที่ลึกซึ้งในทางวิทยาศาสตร์ (Hu & Adey, 2002; Moracesik, 1981; Sternberg & Lubart, 1999; Tran, et al., 2021) นอกจากนี้ ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ยังเกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหา การค้นพบความรู้ใหม่ และการพัฒนาเทคโนโลยีที่มีประโยชน์ เน้นการสร้างความเข้าใจในวิธีการตั้งคำถาม การตั้งสมมติฐานในการแก้ปัญหา การออกแบบการทดลอง การทดลอง และการค้นพบคำตอบที่สามารถแก้ปัญหาได้อย่างเป็นระบบ ทำให้สิ่งใหม่ ผสานกับประสบการณ์เดิมจนเกิดองค์ความรู้หรือสิ่งประดิษฐ์ที่มีความแปลกใหม่ ไม่ซ้ำกับคนอื่น (Aktamis et al., 2008; Grosul & Feist, 2014; Ozkan & Topaskal 2021)

สรุปได้ว่า ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ คือความสามารถในการคิดและสร้างมโนทัศน์ใหม่ ๆ โดยใช้หลักการและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการแก้ปัญหาได้หลายแนวทาง ความคิดที่เกิดขึ้นมีความแปลกใหม่ ไม่ซ้ำกับคนอื่น ผลลัพธ์ที่ได้มีความสำคัญหรือมีประโยชน์ต่อวิทยาศาสตร์

1.3 องค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

โดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึงความคิดสร้างสรรค์มักเข้าใจและมุ่งเน้นไปที่ความคิดริเริ่ม ซึ่งแท้จริงแล้วความคิดสร้างสรรค์ประกอบด้วยลักษณะความคิดอื่น ๆ ด้วย มิใช่แค่ความคิดริเริ่มเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตามความคิดริเริ่มเป็นลักษณะสำคัญที่ทำให้เกิดการเริ่มต้นขึ้น แต่ความสำเร็จของการสร้างสรรค์ก็จำเป็นต้องอาศัยลักษณะความคิดอื่น ๆ ประกอบด้วย (อารี พันธมณี, 2557) จากการศึกษาของนักวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ ผู้วิจัยสามารถสรุปองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ โดยแบ่งเป็น 4 องค์ประกอบดังนี้ (Guilford, 1967; Torrance, 1977; อารี พันธมณี, 2557)

1. ความคิดคล่อง (Fluency) เป็นความสามารถในการคิดคำตอบได้อย่างรวดเร็ว มีปริมาณมาก และไม่ซ้ำ โดยมีความแปลกใหม่แตกต่างจากความคิดเดิม แบ่งออกเป็นความคิดคล่องด้านถ้อยคำ (Word Fluency) ออกมาอย่างคล่องแคล่ว, ความคิดคล่องในการโยงสัมพันธ์ (Associational Fluency) โดยสามารถคิดหาถ้อยคำที่เหมือนกันหรือคล้ายกันได้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ภายในเวลาที่กำหนด, ความคิดคล่องในการคิด (Ideational Fluency) โดยสามารถที่จะคิดสิ่งที่ต้องการภายในเวลาที่กำหนด และความคิดคล่องในการแสดงออก (Expressional Fluency) โดยสามารถนำคำมาเรียงกันอย่างรวดเร็วเพื่อให้ได้ประโยคที่ต้องการ

2. ความคิดยืดหยุ่น (Flexibility) เป็นความสามารถในการคิดคำตอบให้มีหลายประเภทหลายทิศทาง และสามารถประยุกต์ให้เกิดสิ่งใหม่ที่ไม่ซ้ำของเดิมในหลากหลายรูปแบบ

3. ความคิดริเริ่ม (Originality) เป็นความสามารถในการคิดหาสิ่งแปลกใหม่เกิดขึ้นเป็นครั้งแรก ไม่ซ้ำกับผู้อื่น

4. ความคิดละเอียดลออ (Elaboration) เป็นความสามารถในการลงรายละเอียดของความคิดเพื่ออธิบายถึงขั้นตอน และขยายความคิดให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จากการศึกษาความหมายของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์มีการพัฒนาต่อออกมาจากความคิดสร้างสรรค์ จึงสามารถเชื่อมโยงองค์ประกอบความคิดสร้างสรรค์ ได้แก่ ความคิดคล่อง ความคิดยืดหยุ่น ความคิดริเริ่ม และความคิดละเอียดลออ กับหลักการและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เข้าไปจนได้องค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ตัวอย่างงานวิจัย เช่น มลิวัลย์ จันทรบาง (2565), ศิริินนาถ ทับทิมใส (2563) ได้แบ่งองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ออกเป็น 4 องค์ประกอบ ได้แก่ ความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ ความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ และ ความคิดละเอียดลออทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยสามารถสรุปองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ได้ดังนี้

1. ความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Fluency) หมายถึงความสามารถของบุคคลในการคิดร่างแบบจำลอง อุปกรณ์ หรือสิ่งประดิษฐ์ที่ช่วยประยุกต์ใช้องค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้คำตอบจำนวนมากที่สุดในเวลาที่จำกัด

2. ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Flexibility) หมายถึงความสามารถของบุคคลในการคิดหาคำตอบหรือทางเลือกที่หลากหลายไม่ซ้ำกัน มาปรับใช้ให้เกิดประโยชน์ให้ได้หลากหลายมากที่สุด

3. ความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Originality) หมายถึงความสามารถของบุคคลในการคิดนำความรู้และหลักการทางวิทยาศาสตร์มาวางแผนการคิด และอธิบายรูปแบบแปลกใหม่ คิดต่างจากผู้อื่น

4. ความคิดละเอียดลออทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Elaboration) หมายถึงความสามารถของบุคคลในการนำองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาอธิบายรายละเอียดให้เห็นภาพชัดเจน หรือเป็นผลงานให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

แตกต่างจากงานวิจัยของ Aktamis et al. (2008), Diplo & Kudrowitz (2015), Hu & Adey (2002) ที่แบ่งองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ตามองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ของ Torrance (1990) โดยแบ่งเป็น 3 องค์ประกอบ ได้แก่ ความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ จากงานวิจัยของ Diplo & Kudrowitz (2015) ได้ศึกษาผลกระทบของการพัฒนาแบบทดสอบความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่า ในการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์นั้น ความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์มีผลต่อความคิดสร้างสรรค์ และการตอบโดยการอธิบายรายละเอียดเพื่อใช้วัดองค์ประกอบความคิดสร้างสรรค์ด้านความคิดละเอียดลออทางวิทยาศาสตร์ อาจส่งผลกระทบต่อความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ ทำให้เกิดแนวคิดใหม่ ๆ ลดลง สอดคล้องกับ Guilford (1967) ที่กล่าวว่าความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์มีผลต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ส่วนการนำความคิดละเอียดลออทางวิทยาศาสตร์ไปใช้จริงในห้องเรียนจะวัดได้ค่อนข้างยาก งานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้สรุปและกำหนดองค์ประกอบความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ 3 องค์ประกอบ ตามแนวคิดของ Torrance (1990) เนื่องจากมีความสอดคล้องกับบริบทการเรียนการสอนในรายวิชาฟิสิกส์ ซึ่งมีองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ดังนี้

1. ความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Fluency) หมายถึงความสามารถในการคิดค้นวิธีแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ที่กำหนด โดยนำหลักการทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มาใช้ในการหาคำตอบที่ถูกต้องและมีจำนวนมากที่สุดในเวลาจำกัด

2. ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Flexibility) หมายถึงความสามารถในการคิดค้นคำตอบทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง และมีหลากหลายหมวดหมู่ หรือมีหลายแนวทาง

3. ความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Originality) หมายถึงความสามารถในการคิดค้นวิธีแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ที่กำหนด โดยนำหลักการทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มาใช้ในการหาคำตอบที่แปลกใหม่ แตกต่างไปจากความคิดของคนส่วนใหญ่

1.4 การจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

การจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์เป็นการจัดการเรียนรู้ที่มีจุดมุ่งเน้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านความรู้ ความคิด ความรู้สึก ทักษะ และเป็นการพัฒนาตนเองของผู้เรียน (Hsiao et al., 2022; อารี พันธุ์ณี, 2557) การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์สามารถพัฒนาได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ทางตรงโดยการฝึกฝนและอบรม ส่วนทางอ้อมนั้นโดยการสร้างสภาพแวดล้อมที่ส่งเสริมการเรียนรู้ Torrance, 1977) การจัดการเรียนรู้เพื่อให้เกิดการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์นั้น ครูผู้สอนถือว่าเป็นบุคคลสำคัญที่จะออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ทำให้เกิดการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ (Daud et al., 2012; อารี พันธุ์ณี, 2557) ครูผู้สอนต้องมีทัศนคติที่ดีและยอมรับว่าผู้เรียนทุกคนมีความคิดสร้างสรรค์ และสามารถส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ของผู้เรียนให้สูงขึ้น โดยครูผู้สอนจะต้องส่งเสริมพัฒนาทักษะและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และคอยสนับสนุนผู้เรียนให้แสดงพฤติกรรมต่าง ๆ ออกมา ไม่ว่าจะเป็นการพูด การกระทำ และสังเกตพฤติกรรมผู้เรียนอย่างใกล้ชิดตลอดเวลาที่ผู้เรียนทำกิจกรรมหรือทำงาน ไม่วิพากษ์วิจารณ์หรือดูถูกผลงานของผู้เรียน ใช้วิธีการประเมินผลที่หลากหลายสนับสนุนให้ผู้เรียนประเมินผลการเรียนรู้ด้วยตนเอง (Hadzigeorgiou et al., 2012; Kind & Kind, 2007) เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ซักถาม ให้เข้าร่วมกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์อย่างต่อเนื่อง จัดกิจกรรมกลุ่มที่เป็นกลุ่มส่งเสริมการระดมความคิด ทำให้นักเรียนสนุกสนาน จะทำให้นักเรียนมีความกล้าแสดงออก มั่นใจในความคิดของตนเองทำให้นักเรียนเห็นว่าความคิดของตนเองมีคุณค่าและเป็นประโยชน์ นอกจากทัศนคติแล้วครูผู้สอนยังต้องออกแบบวิธีการจัดการเรียนรู้โดยให้อิสระในการคิดให้กับนักเรียน และจัดสภาพแวดล้อมของการเรียนรู้ที่จะอำนวยความสะดวกให้นักเรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์ได้ทุกโอกาส (Hadzigeorgiou et al., 2012; Torrance, 1977; ศิริินนาถ ทับทิมใส, 2563)

การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในห้องเรียนวิทยาศาสตร์มีหลักการเดียวกันกับการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์แต่มุ่งเน้นไปที่แนวทางที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์เป็นหลัก โดยมีข้อเสนอแนะในการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในห้องเรียนวิทยาศาสตร์ ดังนี้ (Hadzigeorgiou et al., 2012; Kind & Kind, 2007; ญัฐณิชา เต็มสินวาณิช, 2550; อารี พันธุ์ณี, 2557)

1. ปลุกฝังให้เด็กมีเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์หรือมีความชอบและเห็นคุณค่าของวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วยความสนใจใฝ่รู้ ความอดทน มุ่งมั่น มีใจกว้าง และยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น มีความคิดสร้างสรรค์ มีความสงสัย กระตือรือร้นหาคำตอบ และยอมรับเมื่อมี

ประจักษ์พยานหรือมีเหตุผลเพียงพอ ซึ่งคุณลักษณะของนักวิทยาศาสตร์ดังกล่าวสอดคล้องกับลักษณะของผู้มีความคิดสร้างสรรค์

2. สร้างลักษณะนิสัยความเป็นคนช่างสังเกต ช่างคิด ช่างสงสัย ตั้งแต่วัยเด็ก เช่น สังเกตเกี่ยวกับบรรยากาศรอบ ๆ ตัว การพูดคุยกับเด็กถึงเรื่องราวต่าง ๆ ทั้งที่พบเห็นในชีวิตประจำวัน

3. จัดหาสื่อเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์อย่างง่ายและปลอดภัยสำหรับเด็กเพื่อทดลองศึกษาในสิ่งที่เด็กสนใจ โดยอาจเป็นของเล่นที่สามารถถอดประกอบได้ หรือเอกสารหนังสือที่เกี่ยวข้องกับชีวประวัติและการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ที่แสดงให้เห็นถึงความพยายาม จินตนาการ และความสามารถในการประดิษฐ์สิ่งที่ไม่ถึงหรือไม่เข้าใจ

4. สนับสนุนให้นักเรียนเข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ เช่น ค่ายวิทยาศาสตร์ ชุมนุมวิทยาศาสตร์ หรือทำโครงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อให้นักเรียนได้เกิดการคิดที่กว้างขวางไม่ยึดติดกับความคิดเดิมหรือประสบการณ์เดิม

5. ให้นักเรียนได้เห็นตัวอย่างการปรับปรุงหรือดัดแปลงวัตถุต่าง ๆ จากผู้ใหญ่ อาจเป็นวัสดุเหลือใช้นำมาดัดแปลง และควรให้มีส่วนร่วมในการทำงานเพื่อให้เกิดความภาคภูมิใจในผลงานที่สำเร็จของตนเอง

6. ฝึกให้นักเรียนได้ลองสร้าง ปรับปรุง หรือดัดแปลงสิ่งของที่อยู่รอบตัว เพื่อแก้ปัญหาการผลิตเป็นชิ้นงานของตนเอง

7. จัดกิจกรรมที่ส่งเสริมให้นักเรียนกล้าคิด กล้าทำ อีกทั้งยังมีความสัมพันธ์กับสิ่งของที่อยู่รอบตัว

นอกจากนี้ยังพบว่าอุปสรรคเกิดขึ้นระหว่างที่มีการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์โดยอุปสรรคส่วนใหญ่เป็นเรื่องเกี่ยวกับตัวบุคคลและสิ่งแวดล้อมที่ทำให้ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์นั้นไม่มีการพัฒนาไปตามความเหมาะสม บางครั้งถูกสกัดกั้นหรือบั่นทอนลงได้ โดยอุปสรรคที่จะสกัดกั้นความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ไว้มี ดังนี้ (สมพร หลิมเจริญ, 2552; อารี พันธุ์มณี, 2557)

1. การต้องการคำตอบที่ถูกต้องเพียงคำตอบเดียว (The one right answer) บุคคลทั่ว ๆ ไป หรือแม้แต่ นักวิทยาศาสตร์ที่ขอวิเคราะห์จะพยายามหาคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียวและจะมีความพอใจเมื่อได้พบคำตอบนั้นแล้ว แต่ผู้ที่มีความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์เมื่อพบคำตอบแล้วจะหาผลลัพธ์อื่นนอกเหนือจากคำตอบที่ถูกต้องนั้น

2. การจำกัดความคิดตนเอง (The self-imposed barrier) บุคคลทั่ว ๆ ไป จะคิดในขอบเขตที่จำกัด ซึ่งในบางปัญหาก็จะไม่สามารถหาคำตอบได้ แต่ผู้ที่มีความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์จะคิดเกินขอบเขต ไม่อยู่ในกรอบ และสามารถหาคำตอบได้ในที่สุด

3. ความเคยชิน (Conformity) บุคคลทั่ว ๆ ไป จะคิดเท่าที่เห็นปรากฏตามความเคยชินหรือประสบการณ์ที่เคยมีมา ซึ่งในบางปัญหาก็จะไม่สามารถหาคำตอบได้ แต่ผู้ที่มีความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์จะคิดในมุมมองอื่น ๆ นอกจากที่เป็นอยู่ เช่น อาจจะมีสิ่ง ๆ หนึ่ง ในหลายมิติในขณะที่คนทั่วไปมองเห็นเพียงมิติเดียว

4. การไม่สนใจในสิ่งที่ท้าทายความคิด (Failing to challenge the obvious) เมื่อมีสถานการณ์หรือปัญหาที่ท้าทาย ซึ่งถ้าพิจารณาแล้วอาจจะมีคำตอบหรือไม่มีคำตอบ คนทั่วไปจะไม่สนใจค้นหาคำตอบ แต่ผู้ที่มีความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์จะพยายามหาคำตอบของสถานการณ์หรือปัญหานั้นจนพบ

5. การประเมินผลความคิดเร็วเกินไป (Evaluating ideas too quickly) บุคคลทั่ว ๆ ไป หรือแม้แต่ในวิทยาศาสตร์ที่ชอบวิเคราะห์มักจะประเมินผลความคิดเกือบจะทันทีเมื่อเริ่มใช้ความคิดเกี่ยวกับสถานการณ์หรือปัญหานั้น ๆ เช่น อาจประเมินว่าความคิดของตนเองนั้นเป็นความคิดโง่ ๆ หรืออาจเป็นไปได้ ซึ่งจะทำให้ความคิดนั้นไม่ถูกนำมาใช้ ดังนั้นการประมวลผลยังไม่ควรมีบทบาทในขณะที่สมองกำลังใช้ความคิดสร้างสรรค์ ควรจะรั้งรอพิจารณาความคิดที่เกิดขึ้นก่อน เพราะความคิดนั้นอาจจะเป็นก้าวหนึ่งของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

6. ความกลัวถูกมองว่าโง่ (The fear of looking a fool) บุคคลทั่ว ๆ ไปจะไม่พยายามแสดงความคิดเห็นของตนเองออกมาด้วยกลัวจะถูกมองว่าโง่ แต่ผู้ที่มีความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์จะไม่คิดเช่นนั้น เขาจะกล้าแสดงความคิดเห็นออกมาให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยไม่คำนึงถึงคุณภาพของความคิดนั้น เพราะอาจมีความคิดใดความคิดหนึ่งที่เป็นความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ที่ดีมากก็ได้

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ พบว่า มีแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่สามารถพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ได้ 3 แนวทาง คือ 1. การใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ 2. การใช้เทคนิคร่วมกับการจัดการเรียนรู้ และ 3. การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด แต่ละแนวทางมีรายละเอียดดังนี้

1. การใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ พบว่ามีการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 3 แนวทาง ได้แก่ 1) การ

จัดการเรียนรู้แบบใช้โครงงานเป็นฐาน 2) การจัดการเรียนรู้แบบระดมสมอง และ 3) การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ โดยแต่ละแนวทางมีรายละเอียด ดังนี้

1.1 การจัดการเรียนรู้แบบใช้โครงงานเป็นฐาน เป็นการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนได้สำรวจปัญหา วางแผนดำเนินการ และสรุปผลโครงงานด้วยตนเองอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อสร้างองค์ความรู้และทักษะที่จำเป็นในชีวิตจริง (ชูชาติ พยอม และศุภชัย แก้วจันทร์, 2561; บัญชา ธรรมบุตร, คชา ประณีตพลกรัง และไชศชัย จิตชโย, 2562) มีขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 6 ขั้นตอน ดังนี้

1) ขั้นการเลือกปัญหา นักเรียนเลือกหัวข้อหรือปัญหาที่สนใจจะศึกษา โดยอาจมาจากการสังเกต สอบถาม หรือความอยากรู้ จากนั้นศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและเชื่อมโยงกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดปัญหาอย่างชัดเจน

2) ขั้นการวางแผน วางแผนการดำเนินโครงงานร่วมกันในกลุ่ม เช่น กำหนดวิธีการทำงาน กำหนดเครื่องมือ อุปกรณ์ ระยะเวลา และแบ่งหน้าที่ความรับผิดชอบ เพื่อให้การทำโครงงานเป็นไปอย่างมีระบบและมีประสิทธิภาพ

3) ขั้นการเริ่มต้นทำโครงงาน ลงมือปฏิบัติตามแผนที่วางไว้ เช่น การเก็บรวบรวมข้อมูล ทดลอง หรือดำเนินกิจกรรมต่างๆ พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลและผลการดำเนินงานอย่างละเอียด

4) ขั้นการสำรวจ วิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการปฏิบัติโครงงาน เพื่อหาข้อสรุปหรือผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น โดยอาจมีการปรึกษากับครูหรือเพื่อนร่วมกลุ่ม

5) ขั้นการวางแผนและการดำเนินโครงงาน เป็นขั้นตอนที่รวมการวางแผนรายละเอียดและการดำเนินงานจริงของโครงงานอย่างต่อเนื่อง โดยมีการปรับปรุงแผนตามความเหมาะสมและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างทำโครงงาน

6) ขั้นการสรุปผล นำเสนอผลการเรียนรู้และผลงานที่ได้จากโครงงานในรูปแบบต่างๆ เช่น รายงาน การแสดงผลงาน หรือการนำเสนอต่อชั้นเรียน เพื่อแลกเปลี่ยนความรู้และรับข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยของ Putri, Sumiati, & Larasati (2019) ได้พัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ด้วยการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานกับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โดยแบ่งกลุ่มศึกษาออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มทดลองที่ได้รับการเรียนการสอนแบบโครงงานเป็นฐาน และกลุ่มควบคุมที่ได้รับการเรียนการสอนแบบเดิม ๆ ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนกลุ่มทดลองมีความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์สูงกว่ากลุ่มควบคุม

ซึ่งข้อดีของการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน คือ นักเรียนได้เรียนรู้โดยใช้วิธีการที่หลากหลาย โดยการแก้ปัญหาจริงตามที่ตนเองสนใจ ได้ค้นพบความรู้ด้วยตนเองและได้ลงมือปฏิบัติจริง ส่วนข้อจำกัด คือ ใช้เวลาเตรียมการสอนมากกว่าการเรียนรูปแบบดั้งเดิม และการ

จัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานอาจจะซับซ้อนและยากต่อการเรียนรู้ โดยเฉพาะนักเรียนที่มีทักษะการเรียนรู้ยังไม่เพียงพอ และบางครั้งต้องการทรัพยากรเพิ่มเติม เช่น อุปกรณ์เทคโนโลยี หรือผู้เชี่ยวชาญเพิ่มเติม

1.2 จัดการเรียนรู้แบบระดมสมอง เป็นวิธีการจัดการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงความคิดเห็นหรือความคิดอย่างอิสระ เพื่อกระตุ้นความคิดสร้างสรรค์และการมีส่วนร่วมของนักเรียนทุกคน (นัฐยา ทองจันทร์ และพงษ์ศักดิ์ แป้นแก้ว, 2559; วิริยา พลเมฆ, 2562) มีขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังนี้

1) ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน เป็นการสร้างบรรยากาศ เตรียมความพร้อม และกระตุ้นความสนใจให้กับนักเรียน โดยครูผู้สอนอาจใช้คำถามนำหรือสถานการณ์ใกล้ตัว เพื่อเปิดประเด็นเข้าสู่เนื้อหา

2) ขั้นระดมสมอง ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนเสนอความคิดเห็น หรือแนวทางได้อย่างอิสระโดยไม่วิจารณ์ พร้อมบันทึกความคิดเห็นทั้งหมดตามลำดับ เพื่อรวบรวมแนวคิดที่หลากหลาย

3) ขั้นอภิปราย นักเรียนร่วมกันพิจารณา วิเคราะห์ หรือต่อยอดความคิดเห็นที่ได้จากขั้นระดมสมอง แบ่งปันและแลกเปลี่ยนเหตุผลเพื่อเพิ่มความเข้าใจและเชื่อมโยงแนวคิด

4) ขั้นลำดับความคิด คัดเลือก จัดหมวดหมู่ หรือลำดับความสำคัญความคิดเห็นและแนวคิดที่ได้ อาจเลือกให้เหลือเฉพาะแนวคิดที่เหมาะสมหรือจำเป็นต้องได้สำหรับการนำไปปฏิบัติต่อไป

5) ขั้นวางแผนเพื่อนำไปสู่การปฏิบัติ ร่วมกันกำหนดแผนการปฏิบัติตามแนวคิดที่เลือกไว้ระบุนขั้นตอน วิธีการ เงื่อนไข หรือบุคคลที่เกี่ยวข้อง เพื่อเตรียมความพร้อมในการนำไปสู่การปฏิบัติจนเกิดผลลัพธ์

จากงานวิจัยของ นัฐยา ทองจันทร์ และพงษ์ศักดิ์ แป้นแก้ว (2559) ได้พัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นด้วยการจัดการเรียนรู้แบบระดมสมอง ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้นที่ได้รับด้วยการจัดการเรียนสอนแบบระดมสมอง มีค่าเฉลี่ยความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ความคิดคล่อง ความคิดยืดหยุ่น ความคิดริเริ่ม และความคิดละเอียดลออ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ซึ่งข้อดีของการจัดการเรียนรู้แบบระดมสมอง คือ ผู้เรียนได้คิดแก้ปัญหาหลายทิศทาง นักเรียนได้เรียนรู้วิธีการคิดและแก้ปัญหาต่าง ๆ ด้วยตนเองและเปิดโอกาสให้นักเรียนทุกคนได้เสนอความคิดเพื่อหาคำตอบเป็นการช่วยส่งเสริมการเรียนรู้แบบเป็นกลุ่ม ส่วนข้อจำกัด คือ ใช้

เวลาในการจัดการเรียนรู้นี้มากเนื่องจากต้องใช้เวลาในการระดมสมองและอภิปราย นักเรียนที่ไม่คุ้นเคยกับการจัดการเรียนรู้แบบระดมสมองอาจจะไม่เข้าใจหรือเรียนรู้ได้ดีเท่ากับเพื่อนนักเรียนคนอื่น

1.3 การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (ธัญชนก ชูจันทร์, 2561 มลิวัดย์; มลิวัดย์ จันทราบาง, 2565) มีขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังนี้

1) ขั้นสร้างความสนใจ เป็นขั้นนำเข้าสู่บทเรียน โดยการกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสงสัยและสนใจโดยการสร้างสถานการณ์ที่น่าสนใจ เชื่อมโยงความรู้เดิมที่เรียนมาหรือการถามคำถามเพื่อให้นักเรียนเกิดความสงสัยและกระตุ้นให้นักเรียนกำหนดประเด็นที่จะศึกษาและคิดหาคำตอบ

2) ขั้นสำรวจและค้นหา เป็นขั้นที่ให้นักเรียนวางแผนกำหนดแนวทางการแสวงหาคำตอบที่เป็นไปได้ ให้นักเรียนได้ใช้ทักษะการสังเกต ตั้งสมมติฐานและทดสอบสมมติฐาน ศึกษาหาข้อมูลจากเอกสารอ้างอิง หรือแหล่งข้อมูลต่าง ๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลให้นักเรียนคิดหาคำตอบสรุปเป็นความคิดของตน

3) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจตรวจสอบมาวิเคราะห์ แปลผล สรุปผล และนำเสนอ ในขั้นนี้นักเรียนจะได้พิจารณาประเด็นต่าง ๆ ที่ได้จากขั้นสำรวจและค้นหาที่ผ่านมา ทำให้นักเรียนเกิดความเข้าใจในแนวคิดกระบวนการ และเปิดโอกาสให้แสดงความเข้าใจกระบวนการหรือทักษะของตน

4) ขั้นขยายความรู้ เป็นการขยายความเข้าใจของนักเรียน โดยนำความรู้ที่สร้างขึ้นไปเชื่อมโยงกับความรู้เดิม อธิบายสถานการณ์หรือเหตุการณ์อื่น ๆ ทำให้นักเรียนได้เผชิญกับสถานการณ์หรือปัญหาใหม่ เกิดการขยายความรู้ที่กว้างมากขึ้น

5) ขั้นการประเมิน เป็นขั้นตอนประเมินความเข้าใจและความสามารถของนักเรียนด้วยกระบวนการต่าง ๆ ว่านักเรียนมีความรู้อะไรบ้าง มากน้อยเพียงใด โดยครูทำการวัดและประเมินการเรียนรู้ตามผลการเรียนรู้ที่คาดหวังและประเมินพัฒนาการของนักเรียนว่าเป็นไปตามผลการเรียนรู้ที่คาดหวังหรือไม่อย่างไร

จากงานวิจัยของ สิทธิเชษฐ บัญประพันธ์พงศ์, จิตตมาศ สุขแสง และเอกพันธ์ ไกรจักร (2561) ได้ศึกษาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ 5 ขั้น ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้น โดยเฉพาะองค์ประกอบทางด้านความคิดยืดหยุ่นและความคิดคล่อง

ซึ่งข้อดีของการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ คือ ช่วยให้นักเรียนได้เรียนรู้แบบเปิดกว้าง โดยให้นักเรียนได้สำรวจและค้นหาข้อมูลเอง และนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาหรือแก้ไขสถานการณ์ต่าง ๆ ทำให้นักเรียนมีความกระตือรือร้นในการเรียนรู้ และข้อจำกัด คือ ปัญหาหรือสถานการณ์ที่ครูสร้างขึ้นควรมีความน่าสนใจ นักเรียนควรมีความเข้าใจในหลาย ๆ ด้าน เพื่อที่จะได้เรียนรู้เนื้อหาที่ซับซ้อนได้หากนักเรียนไม่มีความเข้าใจในเนื้อหาเรื่องนั้น ๆ เลยจะมีความยากลำบากในการเรียนรู้

2. การใช้เทคนิคร่วมกับการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้เทคนิคร่วมกับการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ พบว่ามีเทคนิคทั้งหมด 2 เทคนิค ได้แก่ 1) เทคนิคการคิดนอกกรอบ และ 2) เทคนิค 4 MAT โดยแต่ละเทคนิคมีรายละเอียด ดังนี้

2.1 เทคนิคการคิดนอกกรอบ เป็นการคิดในลักษณะที่ไม่นำกรอบการปฏิบัติแบบเดิม ๆ มาเป็นข้อจำกัด เพื่อให้ได้วิธีการปฏิบัติใหม่ ๆ โดยไม่ยึดติดกับกรอบความคิดเดิม ๆ เพื่อใช้ในการคิดค้นสร้างแนวทางใหม่ ๆ สร้างสรรค์นวัตกรรมและแก้ปัญหาให้สำเร็จลุล่วงไป (De Bono, 2015) จากงานวิจัยของ บุศญา แก้วแพทย์ (2563) ได้ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับเทคนิคการคิดนอกกรอบที่มีต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในรายวิชาชีววิทยาของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 พบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับเทคนิคการคิดนอกกรอบ มีความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังการใช้เทคนิคการคิดนอกกรอบสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ซึ่งข้อดีของการใช้เทคนิคการคิดนอกกรอบ คือ ช่วยให้นักเรียนมองปัญหาหรือสถานการณ์จากมุมมองที่แตกต่างกันได้ ช่วยทำให้ได้วิธีการใหม่ ๆ ในการแก้ปัญหา ส่วนข้อจำกัด คือ อาจทำให้เกิดความสับสนหรือไม่เห็นภาพรวมของปัญหา

2.2 เทคนิค 4 MAT เป็นเทคนิคที่มีการรวมมิติการรับรู้เชิงทฤษฎี (รูปธรรมและนามธรรม) กับมิติการจัดการข้อมูลในทางปฏิบัติ (การสังเกตและปฏิบัติ) ทำให้เกิดการใช้สมองซีกซ้ายและขวาตลอด จากงานวิจัยของ พัชรี เทพสุริบุญณ์, จิต นวนแก้ว และสุมาลี เลี่ยมทอง (2562) ได้พัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) เสริมด้วยเทคนิค 4 MAT เรื่องความหลากหลายทางชีวภาพ

ผลการวิจัยพบว่า ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ซึ่งข้อดีของการใช้เทคนิค 4 MAT คือ ช่วยให้นักเรียนเรียนรู้อย่างเป็นระบบ กระตุ้นให้นักเรียนมีส่วนร่วม กล้าคิดกล้าแสดงความคิดเห็น มีความคิดสร้างสรรค์ มีความกระตือรือร้นในการเรียน ส่วนข้อจำกัด คือ การใช้เทคนิค 4 MAT อาจไม่เหมาะสมกับบางบทเรียน เช่น บทเรียนที่เน้นการจำ การฝึกทักษะ หรือการเรียนที่เน้นการศึกษาข้อมูลที่เป็นความจริง

3. การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดเพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดเพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ พบว่ามี 1) การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา และ 2) การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา โดยมีรายละเอียดการจัดการเรียนรู้ ดังนี้

3.1 การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา (STEM Education) คือ แนวทางการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ เน้นการลงมือปฏิบัติ เพื่อแก้ไขปัญหาหรือสถานการณ์ และสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ได้จริงในชีวิตประจำวัน (Bybee, 2013; วรรณิภา เวทการ, 2565; สุทธิดา วันสุดล, 2561) จากงานวิจัยของ อับดุลยามีน หะยีชาเดร์ (2559) ได้ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่มีต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ พบว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนสอนตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในรายวิชาชีววิทยา มีความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ .01 สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุทธิณี กรุดเงิน (2564) ได้ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่มีต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ พบว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่ได้รับการจัดการเรียนสอนตามแนวคิดสะเต็มศึกษามีความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ .05 โดยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

ซึ่งข้อดีของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา คือ มีการกำหนดปัญหาและสถานการณ์ ผู้เรียนได้บูรณาการและเชื่อมโยงความรู้หลายวิชาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา ช่วยเพิ่มทักษะในการแก้ปัญหา ความคิดวิเคราะห์ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตจริงได้ ข้อจำกัดคือ มุ่งเน้นการใช้ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในการแก้ปัญหาทางตรรกะ ไม่สามารถจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มกับนักเรียนกลุ่มที่มีความสามารถในการสร้างองค์ความรู้แตกต่างกัน เวลาในการวางแผนและดำเนินการนาน

3.2 การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา (STEAM Education) คือ แนวทางการจัดการเรียนรู้บูรณาการที่พัฒนามาจากแนวคิดสะเต็มศึกษา โดยเพิ่มเนื้อหาวิชาศิลปะร่วมกับวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ การบูรณาการหลายศาสตร์ช่วยทำให้นักเรียนเป็นภาพรวมของปัญหาและแนวทางแก้ไขหลายมิติ โดยมีศิลปะเป็นตัวช่วยขยายขอบเขตของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ให้ครอบคลุมถึงความสวยงามสุนทรีย์ภาพ การออกแบบ การสื่อสาร และการเชื่อมโยงกับมิติทางวัฒนธรรมและสังคม ซึ่งสร้างโอกาสให้เกิดการคิดวิเคราะห์ และคิดสร้างสรรค์ได้อย่างเต็มที่ นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเองในการแก้ไขปัญหา หรือสถานการณ์ ทำให้เกิดวิธีการใหม่ ๆ ที่ไม่จำกัดเฉพาะความรู้วิทยาศาสตร์อย่างเดียว (Kim & Kim, 2016; Yakman, 2008; สุภค โอฬารพิริยกุล, 2562; วันชัย น้อยวงศ์ และภิญโญ วงษ์ทอง, 2563) การแก้ปัญหาหรือสถานการณ์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง ทำให้นักเรียนเห็นคุณค่าและความสำคัญของวิทยาศาสตร์ ทำให้เกิดความกระตือรือร้นในการเรียนและสร้างสรรค์ผลงาน (ชนัญดา ภูโปร่ง, 2560; สมรัก อินทวิมลศรี, 2560) จากงานวิจัยของ อรยา แจ่มใจ (2563) ได้ศึกษาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่ได้รับการจัดการเรียนการสอนตามแนวคิดสะเต็มศึกษาบูรณาการภูมิปัญญาท้องถิ่น ต่อเนื่อง 4 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 4 คาบ พบว่า คะแนนเฉลี่ยความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนทั้งในภาพรวมและรายด้านได้แก่ ความคิดคล่อง ความคิดยืดหยุ่น และความคิดริเริ่มของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาบูรณาการภูมิปัญญาท้องถิ่นสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับงานวิจัยของ ภัณฑกร ทาระเนตร (2564) ได้ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่มีต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ ผลการวิจัยพบว่า คะแนนเฉลี่ยร้อยละความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนมีค่าเท่ากับ 51.31 อยู่ในเกณฑ์ระดับดี และคะแนนเฉลี่ยร้อยละในแต่ละองค์ประกอบคือ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ ความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ และความคิดละเอียดลออทางวิทยาศาสตร์ มีค่า 56.25 57.00 และ 55.00 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ระดับคุณภาพดี ส่วนองค์ประกอบความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์มีคะแนนเฉลี่ยร้อยละเท่ากับ 42.58 อยู่ในเกณฑ์ระดับคุณภาพปานกลาง

ซึ่งข้อดีของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา คือ การจัดการเรียนรู้เน้นการบูรณาการหลากหลายวิชา มีการกำหนดสถานการณ์ปัญหาที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง ฝึกให้ผู้เรียนคิดหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาได้หลายแนวทาง มีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ได้สร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองโดยเชื่อมโยงความรู้ทางวิทยาศาสตร์กับคณิตศาสตร์ เทคโนโลยีและวิศวกรรมเพื่อหาทาง

ออกในการแก้ปัญหาทำให้เข้าใจเนื้อหาได้ดีมากยิ่งขึ้น โดยมีศิลปะช่วยทั้งในการออกแบบ สร้าง และปรับปรุงผลงานให้มีความแปลกใหม่แล้วศิลปะยังมีส่วนช่วยกระตุ้นให้นักเรียนคิดอย่าง สร้างสรรค์ด้วยวิธีการที่หลากหลายเพื่อมาแก้ไขปัญหา ทำให้เกิดการพัฒนาทักษะกระบวนการ ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้อย่างเต็มที่ ส่วนข้อจำกัด คือ การจัดการเรียนการสอนต้องใช้ เวลาในการทำกิจกรรมนาน ซึ่งอาจทำให้นักเรียนรู้สึกเบื่อหน่าย และครูผู้สอนต้องมีอุปกรณ์และ เครื่องมือที่เหมาะสมเพื่อให้นักเรียนสามารถทำกิจกรรมได้อย่างเต็มที่

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความคิด สร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ พบว่า มีแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่สามารถพัฒนาความคิด สร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ทั้งการใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด และ การใช้เทคนิคร่วมกับการจัดการเรียนรู้ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้สรุปข้อดีและข้อจำกัดของแนวทางการจัดการ เรียนรู้ที่สามารถพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ดังตาราง 1 ผู้วิจัยนำข้อดีและ ข้อจำกัดของแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่สามารถพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์มา วิเคราะห์เพื่อหาการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับงานวิจัย ซึ่งการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่สามารถ ส่งเสริมและพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ได้นั้นครูผู้สอนจะออกแบบกิจกรรมการ เรียนรู้โดยจัดให้นักเรียนทำกิจกรรมแบบกลุ่มเพื่อส่งเสริมการระดมความคิด และออกแบบ สภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมการพัฒนาทักษะและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ซักถาม ได้เข้าร่วมกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์ จะทำให้นักเรียนสนุกสนาน มีความกล้าแสดงออก มั่นใจในความคิดของตนเอง มีการปรับปรุงหรือดัดแปลงวัตถุต่าง ๆ จาก วัสดุเหลือใช้หรือสิ่งของที่อยู่รอบตัว สร้างเป็นผลงานที่มีคุณค่าและเป็นประโยชน์ จนเกิดความ ภาคภูมิใจในผลงานที่สำเร็จของตนเอง

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็ม ที่มีการกำหนดสถานการณ์ปัญหา ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง ฝึกให้ผู้เรียนคิดหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาได้หลายแนวทาง สร้างองค์ ความรู้ด้วยตนเองโดยเชื่อมโยงความรู้ทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมเพื่อ หาทางออกในการแก้ปัญหาทำให้เข้าใจเนื้อหาได้ดีมากยิ่งขึ้น โดยมีศิลปะช่วยขยายขอบเขตของ ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ให้ครอบคลุมถึงความสวยงาม สุนทรียภาพ การออกแบบ การสื่อสาร และการเชื่อมโยงกับมิติทางวัฒนธรรมและสังคม ทำให้การแก้ปัญหาหรือการสร้าง ขึ้นงานนั้น ๆ มีความสมบูรณ์ทั้งการใช้งานและความสวยงามมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงเลือกสร้างหน่วย การเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทาง วิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในรายวิชาฟิสิกส์

ตาราง 1 ข้อดีและข้อจำกัดของแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่สามารถพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

ทางการจัดการเรียนรู้ที่สามารถพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์		ข้อดี	ข้อจำกัด
1.รูปแบบการ จัดการเรียนรู้	1.1 การเรียนรู้แบบ โครงงานเป็นฐาน	นักเรียนได้เรียนรู้โดยใช้วิธีการที่หลากหลาย โดยการแก้ปัญหาจริงตามที่ตนเองสนใจ ได้ค้นพบความรู้ด้วยตนเอง และได้ลงมือปฏิบัติจริง	ใช้เวลาเตรียมการสอนมากกว่าการเรียนรู้แบบดั้งเดิม และการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานอาจจะซับซ้อนและยากต่อการเรียนรู้ โดยเฉพาะนักเรียนที่มีทักษะการเรียนรู้ยังไม่เพียงพอ และบางครั้งต้องการทรัพยากรเพิ่มเติม เช่น อุปกรณ์เทคโนโลยี หรือผู้เชี่ยวชาญเพิ่มเติม
	1.2 การเรียนรู้แบบ ระดมสมอง	ผู้เรียนได้คิดแก้ปัญหาหลายทิศทาง นักเรียนได้เรียนรู้วิธีการคิดและแก้ปัญหาต่างๆ ด้วยตนเองและเปิดโอกาสให้นักเรียนทุกคนได้เสนอความคิดเพื่อหาคำตอบเป็นการช่วยส่งเสริมการเรียนรู้แบบเป็นกลุ่ม	ใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้มากเนื่องจากต้องใช้เวลาในการระดมสมองและอภิปราย นักเรียนที่ไม่คุ้นเคยกับการจัดการเรียนรู้แบบระดมสมองอาจจะไม่เข้าใจหรือเรียนรู้ได้เท่ากับเพื่อนนักเรียนคนอื่น

ทางการจัดการเรียนรู้ที่สามารถพัฒนา ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์		ข้อดี	ข้อจำกัด
2.การใช้เทคนิค ร่วมกับการ จัดการเรียนรู้	1.3 จัดการเรียนรู้แบบ สืบเสาะหาความรู้ ทางวิทยาศาสตร์	ช่วยให้ให้นักเรียนได้เรียนรู้แบบเปิดกว้าง โดยให้นักเรียนได้สำรวจและค้นหาข้อมูล เอง และนำมาประยุกต์ใช้ในการ แก้ปัญหาหรือแก้ไขสถานการณ์ต่าง ๆ ทำให้นักเรียนมีความกระตือรือร้นในการ เรียนรู้	ปัญหาหรือสถานการณ์ที่ครูสร้างขึ้นควรมีความน่าสนใจ นักเรียนควรมีความเข้าใจในหลาย ๆ ด้าน เพื่อจะได้เรียนรู้ เนื้อหาที่ซับซ้อนได้หากนักเรียนไม่มีความเข้าใจในเนื้อหา เรื่องนั้น ๆ เลยจะมีความยากลำบากในการเรียนรู้
	2.1 เทคนิคการคิด นอกกรอบ	ช่วยให้นักเรียนมองปัญหาหรือ สถานการณ์จากมุมมองที่แตกต่างกันได้ ช่วยทำให้ได้วิธีการใหม่ ๆ ในการ แก้ปัญหา	อาจทำให้เกิดความสับสนหรือไม่เห็นภาพรวมของปัญหา

ทางการจัดการเรียนรู้ที่สามารถพัฒนา ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์			ข้อดี	ข้อจำกัด
2.การใช้เทคนิค ร่วมกับการจัดการ เรียนรู้	2.2 เทคนิค 4 MAT	ช่วยให้นักเรียนเรียนรู้อย่างเป็นระบบ กระตุ้นให้นักเรียนมีส่วนร่วม		การใช้เทคนิค 4 MAT อาจไม่เหมาะสมกับบางบทเรียน เช่น บทเรียนที่เน้นการจำ การฝึกทักษะ หรือการเรียนรู้ที่เน้น การศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เป็นความจริง
3.การจัดการเรียนรู้ ตามแนวคิด	3.1 การจัดการ เรียนรู้ตามแนวคิด สะเต็มศึกษา	มีการกำหนดปัญหาและสถานการณ์ ผู้เรียนได้บูรณาการและเชื่อมโยงความรู้ หลายวิชาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา ช่วย เพิ่มทักษะในการแก้ปัญหา ความคิด วิเคราะห์ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ ในชีวิตจริงได้		มุ่งเน้นการใช้ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในการ แก้ปัญหาทางตรรกะ ไม่สามารถจัดการเรียนรู้ตาม แนวคิดสะเต็มกับนักเรียนกลุ่มที่มีความสามารถในการสร้าง องค์ความรู้แตกต่างกัน เวลาในการวางแผนและดำเนินการ นาน

ทางการจัดการเรียนรู้ที่สามารถพัฒนา ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์		ข้อดี	ข้อจำกัด
3.การจัดการเรียนรู้ ตามแนวคิด	3.2 การจัดการ เรียนรู้ตามแนวคิด สะเต็มศึกษา	การจัดการเรียนรู้เน้นการบูรณาการ หลากหลายวิชา มีการกำหนด สถานการณ์ปัญหาที่เชื่อมโยงกับชีวิต จริง ฝึกให้ผู้เรียนคิดหาแนวทางในการ แก้ไขปัญหาได้หลายแนวทาง โดยมี ศิลปะช่วยให้เด็กเรียนรู้คิดอย่างสร้างสรรค์ ด้วยวิธีการที่หลากหลายเพื่อมาแก้ไข ปัญหา ทำให้เกิดการพัฒนาทักษะ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยีได้อย่างเต็มที่	การจัดการเรียนการสอนต้องใช้เวลาในการทำกิจกรรมนาน ซึ่งอาจทำให้เด็กเรียนรู้สึกเบื่อหน่าย และครูผู้สอนต้องมี อุปกรณ์และเครื่องมือที่เหมาะสมเพื่อให้เด็กเรียนสามารถทำ กิจกรรมได้อย่างเต็มที่

1.5 การวัดและประเมินความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

จากการศึกษาบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางในการวัดและประเมินความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ พบว่า มีการใช้แบบทดสอบในการวัดและประเมินความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ มีลักษณะเป็นชุดข้อคำถามที่เร้าให้เกิดการแสดงความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ โดยมีการใช้ภาพและภาษาเป็นสื่อในการเร้าและให้นักเรียนเขียนคำตอบ (paper-pencil test) มีการกำหนดเวลาในการตอบคำถามที่ชัดเจน ประเมินผลจากคำตอบในแต่ละองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ แล้วคิดเป็นคะแนน (Kitto et al., 1994) ตัวอย่างแบบทดสอบความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ เช่น

Torrance (1990) ได้สร้างแบบทดสอบวัดความคิดสร้างสรรค์ (Torrance Test of Creative Thinking: TTCT) โดยมันใช้ในการประเมินความคิดสร้างสรรค์ในหลายมิติ รวมถึงในบริบททางวิทยาศาสตร์ด้วย แม้ว่าแบบทดสอบวัดความคิดสร้างสรรค์ไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์โดยตรง แต่แนวคิดเพื่อใช้วัด 3 องค์ประกอบ คือ ความคิดคล่อง ความคิดยืดหยุ่น และความคิดริเริ่ม สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินความคิดสร้างสรรค์ในบริบทของวิทยาศาสตร์ได้ (Lu et al., 2022; Ozkan & Topsakal, 2021) โดยแบบทดสอบแต่ละชุดจะกำหนดสถานการณ์ให้แตกต่างกัน ซึ่งจะใช้สถานการณ์ของสิ่งที่ใกล้ตัวผู้ถูกประเมินเพื่อเป็นสิ่งเร้าให้ผู้ถูกประเมินใช้ความรู้ และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วยการวัดกิจกรรม 3 รูปแบบ คือ แบบทดสอบความคิดสร้างสรรค์โดยอาศัยรูปภาพ แบบทดสอบความคิดสร้างสรรค์โดยอาศัยภาษา และแบบทดสอบความคิดสร้างสรรค์โดยอาศัยเสียงและภาษา ในการวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์จะสอดคล้องกับแบบทดสอบความคิดสร้างสรรค์โดยอาศัยภาษา มี 2 ฉบับ คือ Form A และ Form B เป็นแบบทดสอบคู่ขนานเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้นักเรียนคิดว่าตนตอบคำถามเดียวกัน แบบทดสอบนี้เหมาะกับนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาจนถึงระดับอุดมศึกษา (Torrance, 1977; Lu et al., 2022; นิธิพัฒน์ เมฆขจร, 2547; วัชรภรณ์ แสนนา, 2565; ศิริินนาถ ทับทิมใส, 2563; สมพร หลิมเจริญ, 2552) แบบทดสอบทั้ง 2 ฉบับ ใช้เวลารวมทั้งสิ้น 40 นาที ซึ่งแต่ละแบบจะมีทั้งหมด 6 กิจกรรม ดังนี้

กิจกรรมที่ 1 การตั้งคำถาม (Asking) เป็นการตั้งคำถามจากภาพที่กำหนดให้มากที่สุด เพื่อให้รู้ว่าเกิดอะไรขึ้นมากที่สุด และคำถามที่ตั้งขึ้นนั้นต้องไม่เป็นคำถามที่สามารถตอบได้เพียงแค่อธิบายภาพเท่านั้น แต่จะต้องตอบจากการคิด

กิจกรรมที่ 2 การเดาสาเหตุ (Guessing Causes) เป็นการเขียนสาเหตุที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นของรูปภาพในกิจกรรมที่ 1 ให้มากที่สุด

กิจกรรมที่ 3 การเดาผลที่จะเกิดตามมา (Guessing Consequences) เป็นการเขียนผลที่อาจจะเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากเหตุการณ์ในภาพที่กำหนดให้รูปภาพของกิจกรรมที่ 1

ในกิจกรรมที่ 1 ถึง 3 ทั้ง Form A และ B เป็นการกำหนดภาพเหตุการณ์ให้แต่จะเป็นภาพเหตุการณ์ที่แตกต่างกัน โดยผู้ทำแบบทดสอบจะต้องดูภาพเหตุการณ์ดังกล่าวแล้วทำกิจกรรมที่ 1 คือให้ตั้งคำถามเกี่ยวกับภาพเหตุการณ์นั้นให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ภายในเวลาที่กำหนด จากนั้นเป็นกิจกรรมที่ 2 คือให้คาดเดาสาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ภาพหรือสถานการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นก่อนเหตุการณ์ในภาพมาให้มากที่สุดภายในเวลาที่กำหนด และทำกิจกรรมที่ 3 คือให้คาดเดาผลที่จะเกิดขึ้นตามมาหลังจากเหตุการณ์ในภาพมาให้มากที่สุดภายในเวลาที่กำหนดเช่นกัน

กิจกรรมที่ 4 ปรับปรุงผลผลิตให้ดีขึ้น (Product improvement) เป็นการดัดแปลงสิ่งของในภาพที่กำหนดให้และมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

กิจกรรมนี้ทั้ง Form A และ B ในแบบทดสอบจะกำหนดภาพสัตว์ที่เป็นของเล่นให้ โดย Form A เป็นภาพช้าง และ Form B เป็นภาพลิง ให้นักเรียนดูภาพแล้วตอบว่าจะปรับปรุงเปลี่ยนแปลงสัตว์ทั้งสองชนิดในภาพให้เป็นของเล่นที่น่าเล่นและทำให้เกิดความสนุกสนานมากขึ้น

กิจกรรมที่ 5 การใช้ประโยชน์จากสิ่งของ (Unusual uses) เป็นการเขียนรายชื่อหรือบอกรายการของสิ่งของที่น่าสนใจและแปลกที่ทำมาจากสิ่งของที่กำหนดให้

กิจกรรมนี้ทั้ง Form A และ B ในแบบทดสอบจะกำหนดสิ่งของมาให้ โดย Form A เป็นกล่องกระดาษแข็งเปล่า ๆ และ Form B เป็นกระป๋องเปล่า แล้วให้นักเรียนคิดที่จะนำสิ่งของทั้งสองชนิดมาใช้ประโยชน์ให้ได้จำนวนมากที่สุดภายในเวลาที่กำหนด

กิจกรรมที่ 6 การสมมติอย่างมีเหตุผล (Just suppose) เป็นการเขียนสิ่งที่คิดหรือคาดเดาว่าจะเกิดขึ้นจากสถานการณ์ที่ไม่น่าเป็นไปได้ที่กำหนดให้

กิจกรรมนี้ทั้ง Form A และ B ในแบบทดสอบจะกำหนดสถานการณ์สมมติให้ โดย Form A เป็นสถานการณ์ที่สมมติว่าหากก้อนเมฆที่ลอยอยู่มีเชื้อจุลินทรีย์ติดอยู่กับพื้นโลกจะเกิดอะไรขึ้นได้บ้าง และ Form B เป็นภาพของชาคนสองคนแล้วสมมติว่าหากเราได้มีโอกาสเห็นหน้าแล้วตัวของคนทั้งสองมีโอกาสเป็นอะไรได้บ้าง โดยให้คิดมาให้ได้มากที่สุด ภายในเวลาที่กำหนด

เกณฑ์การให้คะแนนแบบทดสอบความคิดสร้างสรรค์ตามกรอบแนวคิดของ Torrance (1990) จะให้คะแนนโดยแบ่งตามองค์ประกอบ 3 องค์ประกอบ คือ 1) ความคิดคล่อง ให้คะแนนจากจำนวนคำตอบทั้งหมดที่สอดคล้องกับข้อคำถามและเป็นคำตอบที่ไม่ซ้ำ ภายในระยะเวลาที่กำหนด 2) ความคิดยืดหยุ่น ให้คะแนนคำตอบที่สอดคล้องกับคำถาม คำตอบที่ได้จะถูกลำมาจัดกลุ่มคำตอบที่มีทิศทางเดียวกันหรือความหมายเดียวกัน และ 3) ความคิดริเริ่ม ให้คะแนนจากการ

พิจารณาคำตอบที่สอดคล้องกับข้อความและมีความแตกต่างจากคำตอบของนักเรียนทั้งหมด มีรายละเอียด ดังนี้

1. เกณฑ์การให้คะแนนของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ โดยอาศัยภาษา ฉบับ A ของ Torrance

กิจกรรมที่ 1 การตั้งคำถาม มีเกณฑ์การตรวจให้คะแนน ดังนี้

1.1.1 ความคิดคล่อง จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำถามที่ตั้งขึ้น โดยจะให้คะแนนคำถามละ 1 คะแนน แต่ถ้าคำตอบที่เกี่ยวกับการตั้งคำถามนั้นตอบจากรูปภาพที่ปรากฏให้ 0 คะแนน เช่น “เขามีหูยาวไหม?” เป็นต้น

1.1.2 ความคิดยืดหยุ่น จะตรวจให้คะแนนโดยการนับคะแนนจากกลุ่มของคำตอบ โดยจะให้คะแนนกลุ่มคำตอบละ 1 คะแนน เช่น ตอบว่า “อะไรอยู่บนหมวกของเขา?” “อะไรเปื้อนกางเกงของเขา” จากคำตอบข้างต้นให้ 1 คะแนน เพราะคำตอบอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

1.1.3 ความคิดริเริ่ม จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำตอบที่แปลกใหม่ โดยจะให้คะแนนคำตอบละ 1 คะแนน แต่ถ้าตอบซ้ำกับในคู่มือให้ 0 คะแนน

กิจกรรมที่ 2 การคาดเดาสาเหตุ มีเกณฑ์การตรวจให้คะแนน ดังนี้

1.2.1 ความคิดคล่อง จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำถามที่ตั้งขึ้น โดยจะให้คะแนนคำถามละ 1 คะแนน แต่ถ้าคำตอบนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับภาพที่กำหนดให้ให้ 0 คะแนน เช่น “เขารับประทานอาหารเข้า” เป็นต้น

1.2.2 ความคิดยืดหยุ่น จะตรวจให้คะแนนโดยการนับคะแนนจากกลุ่มของคำตอบ โดยจะให้คะแนนกลุ่มคำตอบละ 1 คะแนน เช่น ตอบว่า “อะไรอยู่บนหมวกของเขา?” “อะไรเปื้อนกางเกงของเขา” จากคำตอบข้างต้นให้ 1 คะแนน เพราะคำตอบอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

1.2.3 ความคิดริเริ่ม จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำตอบที่แปลกใหม่ โดยจะให้คะแนนคำตอบละ 1 คะแนน แต่ถ้าตอบซ้ำกับในคู่มือให้ 0 คะแนน

กิจกรรมที่ 3 การตั้งคำถาม มีเกณฑ์การตรวจให้คะแนน ดังนี้

1.3.1 ความคิดคล่อง จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำถามที่ตั้งขึ้น โดยจะให้คะแนนคำถามละ 1 คะแนน แต่ถ้าคำตอบนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับภาพที่กำหนดให้ให้ 0 คะแนน เช่น “เขาไปนอนที่เตียงนอน” เป็นต้น

1.3.2 ความคิดยืดหยุ่น จะตรวจให้คะแนนโดยการนับคะแนนจากกลุ่มของคำตอบ โดยจะให้คะแนนกลุ่มคำตอบละ 1 คะแนน เช่น ตอบว่า “หมวกของเขาอาจตกน้ำ” “รองเท้าของเขาสกปรก” จากคำตอบข้างต้นให้ 1 คะแนน เพราะคำตอบอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

1.3.3 ความคิดริเริ่ม จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำตอบที่แปลกใหม่ โดยจะให้คะแนนคำตอบละ 1 คะแนน แต่ถ้าตอบคำตอบซ้ำกับในคู่มือให้ 0 คะแนน

กิจกรรมที่ 4 การปรับปรุงผลงานให้ดีขึ้น มีเกณฑ์การตรวจให้คะแนน ดังนี้

1.4.1 ความคิดคล่อง จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำถามที่ตั้งขึ้น โดยจะให้คะแนนคำถามละ 1 คะแนน แต่ถ้าคำตอบนั้นไม่ได้ปรับปรุงเพื่อนำไปใช้ในการเล่นให้ 0 คะแนน เช่น “ทำให้ข้าวของที่เป็นของเล่นให้เป็นที่ยกเข้มนุ่ม” เป็นต้น

1.4.2 ความคิดยืดหยุ่น จะตรวจให้คะแนนโดยการนับคะแนนจากกลุ่มของคำตอบ โดยจะให้คะแนนกลุ่มคำตอบละ 1 คะแนน เช่น ตอบว่า “ทำช้างให้มีสีแดง” “ทำช้างให้มีหลาย ๆ สี” จากคำตอบข้างต้นให้ 1 คะแนน เพราะคำตอบอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

1.4.3 ความคิดริเริ่ม จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำตอบที่แปลกใหม่ โดยจะให้คะแนนคำตอบละ 1 คะแนน แต่ถ้าตอบคำตอบซ้ำกับในคู่มือให้ 0 คะแนน

กิจกรรมที่ 5 การใช้ประโยชน์จากสิ่งของ มีเกณฑ์การตรวจให้คะแนน ดังนี้

1.5.1 ความคิดคล่อง จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำถามที่ตั้งขึ้น โดยจะให้คะแนนคำถามละ 1 คะแนน แต่ถ้าคำตอบนั้นเป็นการดัดแปลงแบบเพื่อผืนหรือทำในสิ่งที่เป็นไปได้ให้ 0 คะแนน เช่น “ทำให้เป็นสุนัขที่มีชีวิต” เป็นต้น

1.5.2 ความคิดยืดหยุ่น จะตรวจให้คะแนนโดยการนับคะแนนจากกลุ่มของคำตอบ โดยจะให้คะแนนกลุ่มคำตอบละ 1 คะแนน เช่น ตอบว่า “นำไปทำบ้านแมว” “สร้างบ้านให้สุนัข” จากคำตอบข้างต้นให้ 1 คะแนน เพราะคำตอบอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

1.5.3 ความคิดริเริ่ม จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำตอบที่แปลกใหม่ โดยจะให้คะแนนคำตอบละ 1 คะแนน แต่ถ้าตอบคำตอบซ้ำกับในคู่มือให้ 0 คะแนน

กิจกรรมที่ 6 การสมมติอย่างมีเหตุผล มีเกณฑ์การตรวจให้คะแนน ดังนี้

1.6.1 ความคิดคล่อง จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำถามที่ตั้งขึ้น โดยจะให้คะแนนคำถามละ 1 คะแนน แต่ถ้าคำตอบนั้นมีความใกล้เคียงกันมากให้ 0 คะแนน เช่น “มีเชื้อกูกูมากมาย” “มีเชื้อกูกูติดกับก้อนเมฆมากมาย” เป็นต้น

1.6.2 ความคิดยืดหยุ่น จะตรวจให้คะแนนโดยการนับคะแนนจากกลุ่มของคำตอบ โดยจะให้คะแนนกลุ่มคำตอบละ 1 คะแนน เช่น ตอบว่า “ฝนจะตกอยู่บางพื้นที่” “จะมีพายุทอร์นาโดเกิดขึ้น” จากคำตอบข้างต้นให้ 1 คะแนน เพราะคำตอบอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

1.6.3 ความคิดริเริ่ม จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำตอบที่แปลกใหม่ โดยจะให้คะแนนคำตอบละ 1 คะแนน แต่ถ้าตอบคำตอบซ้ำกับในคู่มือให้ 0 คะแนน

2. เกณฑ์การให้คะแนนของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์โดยอาศัยภาษา ฉบับ B ของ Torrance

กิจกรรมที่ 1 การตั้งคำถาม มีเกณฑ์การตรวจให้คะแนน ดังนี้

2.1.1 ความคิดคล่อง จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำถามที่ตั้งขึ้น โดยจะให้คะแนนคำถามละ 1 คะแนน แต่ถ้าคำตอบที่เกี่ยวกับการตั้งคำถามนั้นตอบจากรูปภาพที่ปรากฏให้ 0 คะแนน เช่น “ผู้ชายใส่หมวกใช้หรือไม่?” เป็นต้น

2.1.2 ความคิดยืดหยุ่น จะตรวจให้คะแนนโดยการนับคะแนนจากกลุ่มของคำตอบ โดยจะให้คะแนนกลุ่มคำตอบละ 1 คะแนน เช่น ตอบว่า “ผู้หญิงใส่ผ้าพันคอใช้หรือไม่?” “ทำไมพวกเขาจึงไม่ใส่รองเท้า?” จากคำตอบข้างต้นให้ 1 คะแนน เพราะคำตอบอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

2.1.3 ความคิดริเริ่ม จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำตอบที่แปลกใหม่ โดยจะให้คะแนนคำตอบละ 1 คะแนน แต่ถ้าตอบซ้ำกับในคู่มือให้ 0 คะแนน

กิจกรรมที่ 2 การคาดเดาสาเหตุ มีเกณฑ์การตรวจให้คะแนน ดังนี้

2.2.1 ความคิดคล่อง จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำถามที่ตั้งขึ้น โดยจะให้คะแนนคำถามละ 1 คะแนน แต่ถ้าคำตอบนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับภาพที่กำหนดให้ให้ 0 คะแนน เช่น “นาฬิกาที่อยู่ในกรง” เป็นต้น

2.2.2 ความคิดยืดหยุ่น จะตรวจให้คะแนนโดยการนับคะแนนจากกลุ่มของคำตอบ โดยจะให้คะแนนกลุ่มคำตอบละ 1 คะแนน เช่น ตอบว่า “พวกเขาเป็นนักแสดง” “ผู้ชายเป็นนักแสดงละครสัตว์” จากคำตอบข้างต้นให้ 1 คะแนน เพราะคำตอบอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

2.2.3 ความคิดริเริ่ม จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำตอบที่แปลกใหม่ โดยจะให้คะแนนคำตอบละ 1 คะแนน แต่ถ้าตอบซ้ำกับในคู่มือให้ 0 คะแนน

กิจกรรมที่ 3 การตั้งคำถาม มีเกณฑ์การตรวจให้คะแนน ดังนี้

2.3.1 ความคิดคล่อง จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำถามที่ตั้งขึ้น โดยจะให้คะแนนคำถามละ 1 คะแนน แต่ถ้าคำตอบนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับภาพที่กำหนดให้ให้ 0 คะแนน เช่น “พวกเขารับประทานอาหารเย็น” เป็นต้น

2.3.2 ความคิดยืดหยุ่น จะตรวจให้คะแนนโดยการนับคะแนนจากกลุ่มของคำตอบ โดยจะให้คะแนนกลุ่มคำตอบละ 1 คะแนน เช่น ตอบว่า “พวกเขารู้สึกกลัว” “พวกเขารู้สึกตกใจ” จากคำตอบข้างต้นให้ 1 คะแนน เพราะคำตอบอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

2.3.3 ความคิดริเริ่ม จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำตอบที่แปลกใหม่ โดยจะให้คะแนนคำตอบละ 1 คะแนน แต่ถ้าตอบซ้ำกับในคู่มือให้ 0 คะแนน

กิจกรรมที่ 4 การปรับปรุงผลงานให้ดีขึ้น มีเกณฑ์การตรวจให้คะแนน ดังนี้

2.4.1 ความคิดคล่อง จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำถามที่ตั้งขึ้น โดยจะให้คะแนนคำถามละ 1 คะแนน แต่ถ้าคำตอบนั้นไม่ได้ปรับปรุงเพื่อนำไปใช้ในการเล่นให้ 0 คะแนน เช่น “ทำลิงของเล่นตัวนั้นให้เป็นที่ปักเข็มหมุด” เป็นต้น

2.4.2 ความคิดยืดหยุ่น จะตรวจให้คะแนนโดยการนับคะแนนจากกลุ่มของคำตอบ โดยจะให้คะแนนกลุ่มคำตอบละ 1 คะแนน เช่น ตอบว่า “ทำลิงให้มีสีแดง” “ทำให้ลิงมีหลาย ๆ สี” จากคำตอบข้างต้นให้ 1 คะแนน เพราะคำตอบอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

2.4.3 ความคิดริเริ่ม จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำตอบที่แปลกใหม่ โดยจะให้คะแนนคำตอบละ 1 คะแนน แต่ถ้าตอบคำตอบซ้ำกับในคู่มือให้ 0 คะแนน

กิจกรรมที่ 5 การใช้ประโยชน์จากสิ่งของ มีเกณฑ์การตรวจให้คะแนน ดังนี้

2.5.1 ความคิดคล่อง จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำถามที่ตั้งขึ้น โดยจะให้คะแนนคำถามละ 1 คะแนน แต่ถ้าคำตอบนั้นเป็นการดัดแปลงแบบเพื่อฝันหรือทำในสิ่งที่เป็นไปได้ ให้ 0 คะแนน เช่น “ทำให้เป็นแมวที่มีชีวิต” เป็นต้น

2.5.2 ความคิดยืดหยุ่น จะตรวจให้คะแนนโดยการนับคะแนนจากกลุ่มของคำตอบ โดยจะให้คะแนนกลุ่มคำตอบละ 1 คะแนน เช่น ตอบว่า “นำไปทำบ้านนก” “สร้างบ้านให้สัตว์” จากคำตอบข้างต้นให้ 1 คะแนน เพราะคำตอบอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

2.5.3 ความคิดริเริ่ม จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำตอบที่แปลกใหม่ โดยจะให้คะแนนคำตอบละ 1 คะแนน แต่ถ้าตอบคำตอบซ้ำกับในคู่มือให้ 0 คะแนน

กิจกรรมที่ 6 การสมมติอย่างมีเหตุผล มีเกณฑ์การตรวจให้คะแนน ดังนี้

2.6.1 ความคิดคล่อง จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำถามที่ตั้งขึ้น โดยจะให้คะแนนคำถามละ 1 คะแนน แต่ถ้าคำตอบนั้นมีความใกล้เคียงกันมากให้ 0 คะแนน เช่น “มอง ๆ ไม่เห็นหน้าประชาชน” “มองไม่เห็นหน้าอื่น ๆ” เป็นต้น

2.6.2 ความคิดยืดหยุ่น จะตรวจให้คะแนนโดยการนับคะแนนจากกลุ่มของคำตอบ โดยจะให้คะแนนกลุ่มคำตอบละ 1 คะแนน เช่น ตอบว่า “พวกเรามองไม่เห็นบุคคลอื่น ๆ” “พวกเราต้องใช้สัมผัสทางการได้ยินมากกว่าการมองเห็น” จากคำตอบข้างต้นให้ 1 คะแนน เพราะคำตอบอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

2.6.3 ความคิดริเริ่ม จะตรวจให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำตอบที่แปลกใหม่ โดยจะให้คะแนนคำตอบละ 1 คะแนน แต่ถ้าตอบคำตอบซ้ำกับในคู่มือให้ 0 คะแนน

ข้อดีของแบบทดสอบวัดความคิดสร้างสรรค์ของ Torrance (1990) คือแบบทดสอบถูกพัฒนามาอย่างยาวนานทำให้มีความน่าเชื่อถือและความตรง สามารถนำมาใช้กับนักเรียนได้หลายระดับตั้งแต่นักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาไปจนถึงระดับอุดมศึกษา เป็นแบบทดสอบคู่ขนานสามารถหลีกเลี่ยงไม่ให้นักเรียนตอบคำถามเดิมซ้ำ แบบทดสอบมีหลายชุดโดยแบบทดสอบแต่ละชุดจะกำหนดสถานการณ์ของสิ่งที่ใกล้ตัวนักเรียน เกณฑ์ที่ใช้ในการให้คะแนนในแต่ละองค์ประกอบมีความชัดเจน ทำให้ลดความลำเอียงในการให้คะแนนและสามารถเปรียบเทียบผลได้ ส่วนข้อจำกัดคือ เป็นแบบทดสอบที่ไม่ได้ใช้วัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์โดยตรง เนื่องจากแบบทดสอบถูกออกแบบมาเพื่อวัดความคิดสร้างสรรค์ทั่วไป

Hu & Adey (2002) ได้สร้างแบบทดสอบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาและมัธยมศึกษาในประเทศอังกฤษ เป็นแบบวัดที่สอดคล้องกับโมเดลโครงสร้างความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ (A Scientific Creativity Structure Model:SCSM) เพื่อใช้วัดใน 3 องค์ประกอบ คือ ความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ เป็นแบบทดสอบประเภทเขียนตอบ มีทั้งหมด 7 ข้อ ใช้เวลาในการทำ 60 นาที โดยแต่ละข้อวัดองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ที่ต่างกัน ได้แก่ ข้อที่ 1-4 วัดได้ทั้งความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ ข้อ 5-7 เน้นวัดความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ โดยข้อที่ 5 ใช้คำถามที่เน้นการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ ข้อที่ 6 ใช้คำถามที่ทดสอบความสามารถในการทดลองเชิงสร้างสรรค์ (Creative Experimental Ability) และข้อที่ 7 ทดสอบความสามารถในการออกแบบผลิตภัณฑ์ทางวิทยาศาสตร์เชิงสร้างสรรค์ (Creativity Science Design Ability) โดยมีข้อคำถามและเกณฑ์การให้คะแนน ดังตาราง 2

ตาราง 2 ข้อคำถามและเกณฑ์การให้คะแนนของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของ Hu & Adey

ข้อคำถาม	เกณฑ์การให้คะแนน
ข้อที่ 1-4: วัดความคิดคล่อง ทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์	คะแนนแต่ละข้อได้มาจากการรวมทั้ง 3 องค์ประกอบ โดยแต่ละองค์ประกอบคิดคะแนนได้จาก
ข้อที่ 1. จงเขียนประโยชน์ของแก้วที่มีต่อการใช้งานทางวิทยาศาสตร์มาให้ได้มากที่สุด	1. ความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ จะพิจารณาจากคำตอบที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบบทดสอบ โดยให้คะแนนคำตอบที่เป็นไปได้คำตอบละ 1 คะแนน ไม่ว่าคำตอบนั้นจะซ้ำกับคำตอบของผู้อื่นหรือไม่ (แต่ต้องไม่ซ้ำกับคำตอบของตนเอง)
ข้อที่ 2. ถ้านักเรียนมีโอกาสนั่งยานอวกาศไปนอกโลกและไปที่ดาวดวงอื่น คำถามทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนอยากศึกษามีอะไรบ้าง จงเขียนมาให้มากที่สุด	2. ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ จะพิจารณาจากจำนวนกลุ่มหรือจำนวนประเภทของคำตอบ โดยนำคำตอบที่ให้คะแนนความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ไปแล้วมาจัดกลุ่มหรือประเภทคำตอบใดเป็นคำตอบที่อยู่ในกลุ่มหรือประเภทเดียวกัน หรือความหมายอย่างเดียวกัน แล้วตรวจนับให้คะแนนตามจำนวนกลุ่มที่จัดไว้ โดยให้คะแนนกลุ่มละ 1 คะแนน นับจำนวนกลุ่มหรือแนวทางของคำตอบที่ไม่ซ้ำ และมีความเป็นไปได้
ข้อที่ 3. จงคิดวิธีที่ทำให้จักรยานธรรมดาคันหนึ่งมีความน่าสนใจ ไขประโยชน์ได้มากที่สุด และมีความสวยงามมากขึ้นจงเขียนมาให้มากที่สุด	3. ความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ จะพิจารณาจากความถี่ของคำตอบที่เป็นความคิดแปลก ไม่ซ้ำ คำตอบใดที่กลุ่มที่ศึกษาตอบซ้ำกันมาก ๆ ก็ให้คะแนนน้อยหรือไม่ได้คะแนนเลย แต่ถ้าคำตอบซ้ำกับคนอื่นน้อยหรือไม่ซ้ำกับคนอื่นเลยก็ให้คะแนนมากขึ้น ๆ โดยกำหนดคะแนนออกมาเป็นร้อยละของความถี่ของคำตอบทั้งหมด มีเกณฑ์ดังนี้
ข้อที่ 4 สมมติว่าไม่มีแรงดึงดูดของโลก นักเรียนคิดว่าโลกจะเป็นอย่างไร จงเขียนคำตอบมาให้มากที่สุด	3.1 จำนวนความถี่ของคำตอบซ้ำน้อยกว่าร้อยละ 5 ของความถี่ของคำตอบทั้งหมด คิดเป็น 3 คะแนน 3.2 จำนวนความถี่ของคำตอบซ้ำมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 5 ถึง 10 ของความถี่ของคำตอบทั้งหมด คิดเป็น 2 คะแนน 3.3 จำนวนความถี่ของคำถามซ้ำมากกว่าร้อยละ 10 ของความถี่ของคำตอบทั้งหมด คิดเป็น 1 คะแนน

ตาราง 2 (ต่อ)

ข้อคำถาม	เกณฑ์การให้คะแนน
ข้อที่ 5 ใช้คำถามที่เน้นการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ วัดความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์	คำนวณจากความถี่ของคำตอบออกมาเป็นค่าร้อยละของความถี่ของคำตอบทั้งหมด ดังนี้ 1. จำนวนความถี่ของคำตอบที่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของความถี่ของคำตอบทั้งหมด คิดเป็น 3 คะแนน 2. จำนวนความถี่ของคำตอบที่มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 5 ถึง 10 ของความถี่ของคำตอบทั้งหมด คิดเป็น 2 คะแนน 3. จำนวนความถี่ของคำถามซ้ำมากกว่าร้อยละ 10 ของความถี่ของคำตอบทั้งหมด คิดเป็น 1 คะแนน
ข้อที่ 5. จงหาวิธีแบ่งสี่เหลี่ยม 1 รูปออกเป็น 4 ส่วนเท่า ๆ กัน โดยวาดรูปลงในกระดาษคำตอบให้ได้มากที่สุด	คะแนนในข้อนี้ได้มาจากการรวมกันขององค์ประกอบ 2 ส่วน โดยแต่ละองค์ประกอบมีการคิดคะแนน ดังนี้ 1. ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ มีคะแนนเต็ม 9 คะแนน จากคำตอบ 1 วิธีการที่ถูกต้อง แบ่งเป็นคะแนนวิธีการใช้เครื่องมือถูกต้อง 3 คะแนน คะแนนหลักการ 3 คะแนน และคะแนนขั้นตอน 3 คะแนน 2. ความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ คำนวณจากความถี่ของคำตอบออกมาเป็นร้อยละของความถี่ของคำตอบทั้งหมด มีเกณฑ์การคิดคะแนนดังนี้ 2.1 จำนวนความถี่ของคำตอบที่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของความถี่ของคำตอบทั้งหมด คิดเป็น 3 คะแนน 2.2 จำนวนความถี่ของคำตอบที่มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 5 ถึง 10 ของความถี่ของคำตอบทั้งหมด คิดเป็น 2 คะแนน 2.3 จำนวนความถี่ของคำถามซ้ำมากกว่าร้อยละ 10 ของความถี่ของคำตอบทั้งหมด คิดเป็น 1 คะแนน
ข้อที่ 6. หากมีผ้าเช็ดปาก 2 แบบ นักเรียนจะทดสอบอย่างไรว่าผ้าเช็ดปากแบบใดดีกว่า เขียนวิธีการให้มากที่สุด พร้อมระบุเครื่องมือและขั้นตอนการทดสอบ	

ตาราง 2 (ต่อ)

ข้อคำถาม	เกณฑ์การให้คะแนน
ข้อที่ 7 ทดสอบความสามารถ ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ทาง วิทยาศาสตร์เชิงสร้างสรรค์ วัดความคิดยืดหยุ่นทาง วิทยาศาสตร์และความคิดริเริ่ม ทางวิทยาศาสตร์ ข้อ 7. จงออกแบบเครื่อง บรรจุแอปเปิ้ล 1 เครื่อง โดยวาด รูปพร้อมระบุชื่อและหน้าที่ของ แต่ละส่วนของเครื่อง	นับจำนวนหน้าที่ของแต่ละส่วนของเครื่องที่ไม่ซ้ำกันและให้ คะแนนหน้าที่ละ 3 คะแนน

ที่มา : Hu, W., & Adey, P. (2002). *A scientific creativity test for secondary school students. International Journal of Science Education*, 24(4), 389–403.

ข้อดีของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของ Hu & Adey (2002) คือแบบทดสอบนี้เหมาะกับนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาและมัธยมศึกษา มีความครอบคลุมทุกองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ส่วนข้อจำกัดคือ มีความซับซ้อนในการออกแบบและให้คะแนนแบบทดสอบ ต้องพิจารณาถึงความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ของผู้ถูกทดสอบด้วย เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่สะท้อนความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ที่แท้จริงและมีคุณภาพ

Aktamis et al. (2008) ได้พัฒนาแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และแบบประเมินผลงานของ Hu & Adey (2002) โดยได้ปรับข้อคำถามและลดจำนวนข้อคำถามจาก 7 ข้อ เหลือ 6 ข้อ ใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบทดสอบคล้ายคลึงกัน และมีการปรับเวลาในการทำแบบทดสอบจาก 60 นาที ให้เหลือเวลาในการทำ 40 นาที แบบทดสอบที่สร้างขึ้นใหม่ประกอบไปด้วยการวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรียกว่า SCSPS (Scientific Creativity and Scientific Process Skill) ใช้วัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาและมัธยมศึกษาในประเทศไทย มีข้อคำถามและเกณฑ์การให้คะแนนดังตาราง 3

ตาราง 3 ข้อคำถามและเกณฑ์การให้คะแนนของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของ Aktamis et al.

ข้อคำถาม	เกณฑ์การให้คะแนน
ข้อที่ 1-4: วัดความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ ข้อที่ 1a จงเขียนประโยชน์ของการใช้ขวดพลาสติกในห้องปฏิบัติการมาให้มากที่สุด ข้อที่ 1b จงเขียนประโยชน์ของการใช้กระป๋องในห้องปฏิบัติการมาให้มากที่สุด ข้อที่ 2. ถ้านักเรียนสามารถสร้างเครื่องย่นเวลาได้นักเรียนจะย่นเวลากลับไปในช่วงใด และคำถามทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนอยากรู้มากที่สุดคืออะไร จงเขียนคำตอบให้ได้มากที่สุด ข้อที่ 3. นักเรียนจะมีวิธีการอย่างไรที่จะทำให้กระเป๋านักเรียนมีความน่าสนใจ ใช้ประโยชน์ได้มาก และมีความสุข จงเขียนคำตอบให้ได้มากที่สุด พร้อมอธิบายเหตุผลว่าเหตุใดจึงต้องใช้วิธีการนั้นและวิธีการดังกล่าวมีความเหมาะสมอย่างไร	คะแนนแต่ละข้อได้มาจากการรวมทั้ง 3 องค์ประกอบ โดยแต่ละองค์ประกอบคิดคะแนนได้จาก 1. ความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ จะพิจารณาจากคำตอบที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบบทดสอบ โดยให้คะแนนคำตอบที่เป็นไปได้คำตอบละ 1 คะแนน ไม่ว่าคำตอบนั้นจะซ้ำกับคำตอบของผู้อื่นหรือไม่ (แต่ต้องไม่ซ้ำกับคำตอบของตนเอง) 2. ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ จะพิจารณาจากจำนวนกลุ่มหรือจำนวนประเภทของคำตอบ โดยนำคำตอบที่ให้คะแนนความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ไปแล้วมาจัดกลุ่มหรือประเภท คำตอบใดเป็นคำตอบที่อยู่ในกลุ่มหรือประเภทเดียวกัน หรือความหมายอย่างเดียวกัน แล้วตรวจนับให้คะแนนตามจำนวนกลุ่มที่จัดไว้ โดยให้คะแนนกลุ่มละ 1 คะแนน นับจำนวนกลุ่มหรือแนวทางของคำตอบที่ไม่ซ้ำ และมีความเป็นไปได้ 3. ความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ จะพิจารณาจากความถี่ของคำตอบที่เป็นความคิดแปลก ไม่ซ้ำ คำตอบใดที่กลุ่มที่ศึกษาตอบซ้ำกันมาก ๆ ก็ให้คะแนนน้อยหรือไม่ได้คะแนนเลย แต่ถ้าคำตอบซ้ำกับคนอื่นน้อยหรือไม่ซ้ำกับคนอื่นเลยก็ให้คะแนนมากขึ้น โดยกำหนดคะแนนออกมาเป็นร้อยละของความถี่ของคำตอบทั้งหมด มีเกณฑ์ดังนี้ 3.1 จำนวนความถี่ของคำตอบซ้ำน้อยกว่าร้อยละ 5 ของความถี่ของคำตอบทั้งหมด คิดเป็น 3 คะแนน

ตาราง 3 (ต่อ)

ข้อคำถาม	เกณฑ์การให้คะแนน
ข้อที่ 4a สมมติว่าโลกไม่มีตอนกลางคืน มีเพียงตอนกลางวันอย่างเดียว นักเรียนคิดว่าโลกจะเป็นอย่างไร จงเขียนคำตอบให้ได้มากที่สุด	3.2 จำนวนความถี่ของคำตอบซ้ำมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 5 ถึง 10 ของความถี่ของคำตอบทั้งหมด คิดเป็น 2 คะแนน
ข้อที่ 4b สมมติโลกไม่หมุนรอบดวงอาทิตย์ นักเรียนคิดว่าโลกจะเป็นอย่างไร จงเขียนคำตอบให้ได้มากที่สุด	3.3 จำนวนความถี่ของคำตอบซ้ำมากกว่าร้อยละ 10 ของความถี่ของคำตอบทั้งหมด คิดเป็น 1 คะแนน
ข้อที่ 5 ใช้คำถามที่ทดสอบความสามารถในการทดลองเชิงสร้างสรรค์ วัดความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์	ให้คะแนนจากการนับจำนวนตัวแปรที่ไม่ซ้ำ ให้คะแนนตัวแปรละ 1 คะแนน
ข้อที่ 5. มีผ้าเช็ดปากอยู่ 2 แบบ นักเรียนจะตรวจสอบได้อย่างไรว่าผ้าเช็ดปากแบบใดดีกว่ากัน จงเขียนวิธีการพร้อมระบุเครื่องมือ หลักการ และขั้นตอนการตรวจสอบมาให้มากที่สุด	
ข้อที่ 6 ทดสอบความสามารถในการออกแบบผลิตภัณฑ์ทางวิทยาศาสตร์เชิงสร้างสรรค์ วัดความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์	ให้นับจำนวนหน้าที่ของแต่ละส่วนของเครื่องที่ไม่ซ้ำกันและให้คะแนนหน้าที่ละ 3 คะแนน
ข้อที่ 6. จงออกแบบเครื่องบรรจุแอปเปิล 1 เครื่อง โดยวาดรูปพร้อมระบุชื่อและหน้าที่ของแต่ละส่วนของ	

ที่มา : Aktamis, H., Permez, S., Can, T., & Ergin, O. (2008). Developing Scientific Creativity Test. Fen Bolumu: University of Dokuz Eylul.

ข้อดีของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของ Aktamis et al. (2008) คือแบบทดสอบนี้มีการบูรณาการความคิดสร้างสรรค์กับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ มีความเกี่ยวข้องกับบริบททางวิทยาศาสตร์ไม่ว่าจะเป็น สถานการณ์ ปัญหา หรือปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ การวัดผลจึงมีความหมายและสามารถนำไปใช้ในการประเมินและพัฒนาการเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์ได้อย่างตรงจุด แบบทดสอบเหมาะกับนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาและมัธยมศึกษา และมีความครอบคลุมทุกองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ส่วนข้อจำกัดคือ การให้คะแนนอาจใช้เวลานาน และแบบทดสอบถูกพัฒนาในบริบทของประเทศไทย การนำมาใช้ในประเทศอื่น ๆ อาจต้องมีการปรับปรุง ตรวจสอบความเที่ยงตรงและความน่าเชื่อถืออีกครั้งเพื่อให้เหมาะสมกับหลักสูตร วัฒนธรรม และระดับการพัฒนาของนักเรียนในประเทศนั้น ๆ

Ayas & Sak (2013) ได้พัฒนาเครื่องมือที่ชื่อว่า Creative Scientific Ability Test (C-SAT) เป็นอีกหนึ่งเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้วัดของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาและมัธยมศึกษาโดยเฉพาะ โดยมีพื้นฐานมาจากทฤษฎี Scientific Discovery as Dual Search ของ Klahr & Dunbar (1988) ที่มองว่าการค้นพบทางวิทยาศาสตร์เป็นกระบวนการค้นหาคู่ขนานระหว่างการตั้งสมมติฐานและการทดลอง ข้อคำถามของแบบทดสอบครอบคลุมเนื้อหาวิทยาศาสตร์ในหลายสาขาทั้งวิชาชีววิทยา ฟิสิกส์ เคมี นิเวศวิทยา และวิทยาศาสตร์แบบบูรณาการ โดยเน้นกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ 3 กระบวนการ ได้แก่ การสร้างสมมติฐาน (Hypothesis generation) คือความสามารถในการคิดสมมติฐานที่เป็นไปได้หลากหลายแนวทางและแปลกใหม่ การออกแบบการทดลอง (Experiment design) คือความสามารถในการวางแผนการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐาน และการประเมินหลักฐาน (Evidence evaluation) คือความสามารถในการวิเคราะห์และตีความข้อมูลหรือหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งในแต่ละกระบวนการทางวิทยาศาสตร์แบ่งองค์ประกอบของการวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ออกเป็น 3 องค์ประกอบได้แก่ ความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ โดยลักษณะข้อคำถามและตัวอย่างของเครื่องมือมีรายละเอียด ดังนี้

1. ข้อคำถามของเครื่องมือเป็นคำถามปลายเปิดทั้งหมด
2. เครื่องมือวัดแบ่งชุดคำถามเป็นทั้งหมด 5 ชุด (subtest) ตัวอย่างชุดคำถาม

2.1 คำถามการทดลองเกี่ยวกับแมลงวัน (Fly experiment) ใช้วัดองค์ประกอบความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ และความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ จากการสร้างสมมติฐานในเนื้อหา

ชีววิทยา โดยให้รูปภาพเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองของนักวิจัยท่านหนึ่ง และให้นักเรียนสร้างสมมติฐานมาให้ได้มากที่สุดที่นักวิจัยท่านนี้สามารถนำสมมติฐานมาทดสอบได้

2.2 คำถามของการเปลี่ยนกราฟ (Change graph) ใช้วัดองค์ประกอบความคิดคล้องทางวิทยาศาสตร์ และความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในการสร้างสมมติฐานในเนื้อหาหลายสาขาวิชาทางวิทยาศาสตร์ โดยให้รูปภาพที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของ 2 ตัวแปร และผลกระทบที่เริ่มทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ ให้นักเรียนนึกถึงคู่ของตัวแปรให้มากที่สุดที่ทำให้กราฟกลับมาอยู่ที่ตำแหน่งเดิม

2.3 คำถามการทดลองเกี่ยวกับน้ำตาล (Sugar experiment) ใช้วัดองค์ประกอบความคิดคล้องทางวิทยาศาสตร์ และความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในการออกแบบการทดลอง (การทดสอบสมมติฐาน) ในเนื้อหาเคมี โดยให้รูปภาพเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองและกราฟที่แสดงสมมติฐานของนักวิจัยท่านหนึ่ง ให้นักเรียนคิดถึงการเปลี่ยนแปลงที่ควรทำในการทดลองให้มากที่สุดที่นักวิจัยท่านนี้สามารถพิสูจน์สมมติฐานได้

2.4 คำถามการทดลองเกี่ยวกับเชือก (String experiment) ใช้วัดองค์ประกอบความคิดคล้องทางวิทยาศาสตร์ และความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในการออกแบบการทดลอง (การทดสอบสมมติฐาน) ในเนื้อหาฟิสิกส์ โดยให้รูปภาพร่างคร่าว ๆ เกี่ยวกับปัญหา และให้นักเรียนคิดการเปลี่ยนแปลงให้มากที่สุดที่สามารถทำให้การทดลองนี้ประสบความสำเร็จได้

2.5 คำถามของห่วงโซ่อาหาร (Food chain) ใช้วัดองค์ประกอบความคิดคล้องทางวิทยาศาสตร์ และความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ จากการประเมินหลักฐานในเนื้อหาเรื่องระบบนิเวศ โดยให้รูปภาพห่วงโซ่อาหารและกราฟเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของห่วงโซ่อาหารนั้น และให้นักเรียนคิดสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว

เกณฑ์การประเมินให้คะแนนแบบทดสอบความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของ Ayas & Sak (2013) ใช้วัดความคิดคล้องทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์รวม คะแนนแต่ละข้อได้มาจากการรวมทั้ง 3 องค์ประกอบ ความคิดคล้องทางวิทยาศาสตร์ จะพิจารณาจากคำตอบที่เป็นไปตามเงื่อนไขของแบบทดสอบ โดยให้คะแนนคำตอบที่เป็นไปได้คำตอบละ 1 คะแนน ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ จะพิจารณาจากจำนวนกลุ่มหรือจำนวนประเภทของคำตอบ โดยให้คะแนนกลุ่มละ 1 คะแนน และความคิด

สร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์รวมจะประเมินโดยใช้สมการ Creativity Quotient (CQ) จากสมการของ Snyder et al. (2004)

$$CQ = \log_2 \{(1 + u_1) (1 + u_2) \dots (1 + u_c)\}$$

โดย u คือ จำนวนคำตอบที่ถูกต้องในหมวดหมู่ที่แตกต่างกัน

วิธีการวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์รวมแบบนี้จะมีความแตกต่างกันจากปกติที่มักจะพิจารณาองค์ประกอบความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ และความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ก่อน แล้วจึงนำคะแนนมาพิจารณาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์โดยรวม ซึ่ง Ayas & Sak (2013) มีความเชื่อมั่นว่าวิธีการและเกณฑ์การประเมินใหม่นี้จะส่งเสริมความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์เพิ่มการมีส่วนร่วมในคะแนนทั้งหมด คะแนนความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์และความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์จะใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการวิจัย ในขณะที่คะแนนความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์รวมสามารถนำมาใช้ทั้งเพื่อวัตถุประสงค์ในการวิจัยและเพื่อระบุตัวนักเรียนที่มีความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ได้

ข้อดีของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของ Ayas & Sak (2013) คือแบบทดสอบนี้เป็นแบบวัดเฉพาะทางสำหรับวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และครอบคลุมทักษะสำคัญของกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ แบบทดสอบเหมาะกับนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาและมัธยมศึกษา พิจารณาองค์ประกอบความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ส่วนข้อจำกัดคือ ผู้ทำแบบทดสอบจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ และแบบทดสอบถูกพัฒนาในบริบทของประเทศตุรกี การนำมาใช้ในประเทศอื่น ๆ อาจต้องมีการปรับปรุง ตรวจสอบความเที่ยงตรงและความน่าเชื่อถืออีกครั้งเพื่อให้เหมาะสมกับหลักสูตร วัฒนธรรม และระดับการพัฒนาของนักเรียนในประเทศนั้น ๆ

จากการทบทวนวรรณกรรมสรุปได้ว่า แบบทดสอบการวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์แบบเขียนตอบ (paper-pencil test) สามารถวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้โดยใช้คำถามปลายเปิด ซึ่งคำถามประกอบด้วยรูปภาพ ตัวอย่างของสถานการณ์จากปรากฏการณ์ที่อยู่ใกล้ตัวหรือปรากฏการณ์ที่สอดคล้องกับเนื้อหาที่เรียนเป็นสื่อรื้อให้ผู้เรียนได้แสดงความคิดสร้างสรรค์ออกมาให้มากที่สุด สามารถวัดองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ ความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ได้ครบทุกองค์ประกอบในครั้งเดียว มีเกณฑ์การประเมินที่ชัดเจน

สามารถใช้ทดสอบนักเรียนได้จำนวนมาก ๆ ในครั้งเดียว ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ปรับใช้แบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ตามแบบทดสอบของ Aktamis et al. (2008) ซึ่งปรับมาจากแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของ Hu & Adey (2002) เนื่องจากเป็นแบบวัดที่วิเคราะห์องค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างชัดเจน คำถามแต่ละข้อสามารถวัดองค์ประกอบความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ได้หลายองค์ประกอบ จำนวนข้อคำถามและเวลาในการทดสอบมีความเหมาะสมในการทดสอบความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 และใช้เกณฑ์การให้คะแนนของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์โดยอาศัยภาษาของ Torrance (1990) เนื่องจากมีการกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนได้อย่างละเอียดและครอบคลุมองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ได้ 3 องค์ประกอบ

2. การจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในรายวิชาฟิสิกส์

2.1 แนวคิดหลักของรายวิชาฟิสิกส์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ที่ใช้เป็นแนวทางในการกำหนดเป้าหมายของการเรียนรู้สำหรับผู้เรียนในแต่ละช่วงวัย มีการปรับมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดให้มีความชัดเจน ลดความซ้ำซ้อน สอดคล้องและเชื่อมโยงองค์ความรู้กันภายในกลุ่มสาระการเรียนรู้ และระหว่างกลุ่มสาระการเรียนรู้ ตลอดจนเชื่อมโยงองค์ความรู้และกระบวนการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี เข้าด้วยกัน ทำให้ผู้เรียนมีทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ที่เทคโนโลยีไม่สามารถทดแทนได้ ได้แก่ ทักษะทางสังคม การคิดเชิงวิพากษ์ การทำงานเป็นทีม ความคิดสร้างสรรค์ แสดงความคิดเห็นโดยมีข้อมูลอ้างอิงและเหตุผล ประกอบเกี่ยวกับผลการพัฒนาและการใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างมีคุณธรรมต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม (Daud et al., 2012; กระทรวงศึกษาธิการ, 2560; วิชัย วงษ์ใหญ่ และ มารุต พัฒนาผล, 2558)

หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ได้กำหนดสาระการเรียนรู้ออกเป็น 4 สาระ ได้แก่ สาระที่ 1 วิทยาศาสตร์ชีวภาพ สาระที่ 2 วิทยาศาสตร์กายภาพ สาระที่ 3 วิทยาศาสตร์โลก และอวกาศ และสาระที่ 4 เทคโนโลยี มีสาระเพิ่มเติม 4 สาระ ได้แก่ สาระชีววิทยา สาระเคมี สาระฟิสิกส์ และสาระโลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) สาระการเรียนรู้ที่มี

แนวคิดหลักของรายวิชาฟิสิกส์คือสาระวิทยาศาสตร์กายภาพ และสาระฟิสิกส์ โดยงานวิจัยในครั้งนี้ทำการศึกษากับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนที่เน้นวิทยาศาสตร์ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาฟิสิกส์ ซึ่งเป็นระดับชั้นที่นักเรียนควรได้รับการส่งเสริมให้มีความรู้และทักษะกระบวนการเรียนรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ เพราะหากนักเรียนขาดความรู้ความเข้าใจในเรื่องเดิมที่เป็นพื้นฐานของเรื่องใหม่และมีเจตคติที่ไม่ดีต่อวิชาวิทยาศาสตร์ จะส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน นักเรียนไม่สามารถเข้าใจสิ่งที่โจทย์ถามได้ หรือวิเคราะห์ขั้นตอนการแสดงวิธีคิด การหาคำตอบได้ในเกณฑ์ขั้นต่ำ (ธนัชพร อุทธา, วีระ วงศ์สรรค์ และ ธนาตล สมบูรณ์, 2566) กล่าวคือ หากนักเรียนมีประสบการณ์ด้านวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องลึกซึ้ง ก็จะสามารถเชื่อมโยงความรู้กับชีวิตประจำวัน จนเกิดทักษะกระบวนการเรียนรู้ที่ช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนพัฒนาความคิดทั้งความคิดเป็นเหตุเป็นผล คิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์วิจารณ์ มีจิตวิทยาศาสตร์ เข้าใจการทำงานทางด้านวิทยาศาสตร์ได้ดีขึ้น โดยผู้วิจัยมุ่งเน้นศึกษาหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับแรงและกฎการเคลื่อนที่ มีรายละเอียดดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับแรงและกฎการเคลื่อนที่

ผลการเรียนรู้	สาระการเรียนรู้เพิ่มเติม
1. ทดลอง และอธิบายการหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน	แรงเป็นปริมาณเวกเตอร์จึงมีทั้งขนาดและทิศทาง กรณีที่มีแรงหลาย ๆ แรงกระทำต่อวัตถุ สามารถหาแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุ โดยใช้วิธีเขียนเวกเตอร์ของแรงแบบหางต่อหัว วิธีสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานของแรงและวิธีคำนวณ
2. เขียนแผนภาพของแรงที่กระทำต่อวัตถุอิสระ ทดลอง และอธิบายกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน และการใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันกับสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง	- การหาแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุสามารถเขียนเป็นแผนภาพของแรงที่กระทำต่อวัตถุอิสระได้ - กรณีที่ไม่มีแรงภายนอกมากระทำ วัตถุจะไม่เปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ซึ่งเป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตัน - กรณีที่มีแรงภายนอกมากระทำโดยแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุไม่เป็นศูนย์ วัตถุจะมีความเร่งโดยความเร่งมีทิศทางเดียวกับแรงลัพธ์ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงลัพธ์ มวล และความเร่งเขียนแทนได้ด้วยสมการ $\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = m\vec{a}$ ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน

ตาราง 4 (ต่อ)

ผลการเรียนรู้	สาระเรียนรู้เพิ่มเติม
	เมื่อวัตถุสองก้อนออกแรงกระทำต่อกัน แรงระหว่างวัตถุทั้งสองจะมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงข้ามและกระทำต่อวัตถุคนละก้อน เรียกว่า แรงคู่กิริยา-ปฏิกิริยา ซึ่งเป็นไปตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สามของนิวตัน และเกิดขึ้นได้ทั้งกรณีที่วัตถุทั้งสองสัมผัสกันหรือไม่สัมผัสกันก็ได้
3. อธิบายกฎความโน้มถ่วงสากล และผลของสนามโน้มถ่วงที่ทำให้วัตถุน้ำหนัก รวมทั้ง คำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง	- แรงดึงดูดระหว่างมวลเป็นแรงที่มวลสองก้อนดึงดูดซึ่งกันและกัน ด้วยแรงขนาดเท่ากันแต่ทิศทางตรงข้ามและเป็นไปตามกฎความโน้มถ่วงสากล เขียนแทนได้ด้วยสมการ $F_G = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$ - รอบโลกมีสนามโน้มถ่วงทำให้เกิดแรงโน้มถ่วง ซึ่งเป็นแรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อวัตถุ ทำให้อัตถุมีน้ำหนัก
4. วิเคราะห์ อธิบาย และคำนวณแรงเสียดทาน ระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่ง ๆ ในกรณีที่วัตถุหยุดนิ่งและวัตถุเคลื่อนที่ รวมทั้งหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่ง ๆ และนำความรู้เรื่องแรงเสียดทานไปใช้ในชีวิตประจำวัน	- แรงที่เกิดขึ้นที่ผิวสัมผัสระหว่างวัตถุสองก้อนในทิศทางตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่หรือแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ของวัตถุ เรียกว่า แรงเสียดทาน แรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสคู่หนึ่ง ๆ ขึ้นกับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและแรงปฏิกิริยาตั้งฉากระหว่างผิวสัมผัสคู่หนึ่ง ๆ - ขณะออกแรงพยายามแต่วัตถุยังคงอยู่นิ่ง แรงเสียดทานมีขนาดเท่ากับแรงพยายามที่กระทำต่อวัตถุนั้น และแรงเสียดทานมีค่ามากที่สุดเมื่อวัตถุเริ่มเคลื่อนที่ เรียกแรงเสียดทานนี้ว่า แรงเสียดทานสถิต แรงเสียดทานที่กระทำต่อวัตถุขณะเคลื่อนที่ เรียกว่า แรงเสียดทานจลน์ โดยแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่ง ๆ คำนวณได้จากสมการ $f_s \leq \mu_s N$ $f_k = \mu_k N$ - การเพิ่มหรือลดแรงเสียดทานมีผลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุซึ่งสามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน

ที่มา: กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 .

กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

จากตาราง 4 แสดงผลการเรียนรู้และสาระเรียนรู้เพิ่มเติมของสาระฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เนื่องจากเป็นเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับหลักการพื้นฐานทางฟิสิกส์และเป็นเรื่องที่อยู่ใกล้ตัวนักเรียนเป็นอย่างมาก นักเรียนสามารถเชื่อมโยงกับชีวิตจริงได้ ผู้วิจัยจึงเลือกพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ร่วมกับเนื้อหาในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่

2.2 แนวทางการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในรายวิชาฟิสิกส์

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับแนวทางการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในรายวิชาฟิสิกส์ มีหัวข้อที่เป็นแนวทาง 3 หัวข้อ ดังนี้

2.2.1 การจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในรายวิชาฟิสิกส์

2.2.1.1 สะเต็มศึกษา (STEM Education) คือ แนวทางการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ เน้นการลงมือปฏิบัติ เพื่อแก้ไขปัญหาหรือสถานการณ์ที่เกิดขึ้น จากงานวิจัยของ รพีพล อินสุพรรณ (2562) ได้จัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องโมเมนตัมและการชน ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอนตามแนวคิดสะเต็มศึกษา โดย 1) ขั้นสร้างความสนใจ เป็นการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสงสัย และสร้างประเด็นที่จะศึกษาผ่านการตั้งคำถามหรือกิจกรรมการเรียนรู้ 2) ขั้นรวบรวมและค้นหา เป็นขั้นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้จากสถานการณ์ปัญหาที่ครูให้ โดยการให้นักเรียนสืบค้นความรู้เพื่อแก้ปัญหาในกิจกรรมการเรียนรู้ นักเรียนได้ศึกษาความรู้วิทยาศาสตร์ในหัวข้อที่กำลังเรียนร่วมกับครู 3) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป เป็นขั้นที่มีการวิเคราะห์ข้อมูล อภิปรายตามประเด็นและทฤษฎีที่ทำการศึกษา เพื่อหาองค์ความรู้ที่เกิดขึ้น โดยนักเรียนจะต้องสามารถแก้ปัญหาจากการศึกษาหาความรู้ร่วมกับครู สืบค้นและแก้ปัญหาโดยใช้เทคโนโลยี จนสามารถอธิบายองค์ความรู้ที่เกิดขึ้นได้ 4) ขั้นขยายความรู้ เป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนได้ขยายความรู้ที่เกิดขึ้นได้ และ 5) ขั้นประเมินผล ครูและนักเรียนจะประเมินกระบวนการสร้างองค์ความรู้ใหม่ เพื่อปรับปรุงความรู้ที่ถูกต้องและยั่งยืน โดยนักเรียนจะตรวจสอบความเข้าใจเนื้อหาวิชาฟิสิกส์จากการสรุปผลกิจกรรมการเรียนรู้และการเฉลยปัญหาทำกิจกรรมการเรียนรู้ร่วมกับครู การจัดการเรียนการสอนตามแนวทางสะเต็มศึกษา พบว่านักเรียนเกิดการเรียนรู้ด้วยตนเอง เกิดการเรียนรู้เป็นหมู่คณะ มีทักษะในการสืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล จนนำความรู้นั้นไปแก้ปัญหที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน และสามารถสร้างนวัตกรรมได้ จึงส่งผลให้นักเรียนที่มีคะแนนความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์เพิ่มมากขึ้นในทุกวงจรปฏิบัติการ

2.2.1.2 การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry-Based Learning) คือ การเรียนรู้จากการสร้างสถานการณ์ให้นักเรียนได้เรียนรู้เนื้อหาที่สำคัญของแต่ละปัญหาหรือสร้างสิ่งใหม่ขึ้น เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลางของการเรียนรู้ จากงานวิจัยของ บุญรัตน์ จันทร (2558) ได้จัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องสมดุลกล ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน ประกอบด้วยขั้นตอน 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นสร้างความสนใจ 2) ขั้นรวบรวมและค้นหา 3) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป 4) ขั้นขยายความรู้ และ 5) ขั้นประเมินผล จัดกิจกรรมการเรียนรู้ทั้งหมด 6 แผน วัตถุประสงค์ประกอบความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ 3 ด้าน ได้แก่ ความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีคะแนนความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในแต่ละองค์ประกอบอยู่ในระดับดีและดีมากเพิ่มขึ้น

2.2.1.3 การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้แบบชี้แนะแนวทาง (Guided Inquiry Model) เป็นการสืบเสาะหาความรู้ที่ให้นักเรียนค้นพบความรู้ใหม่ด้วยตนเอง โดยนักเรียนเป็นผู้กำหนดปัญหา โดยครูเป็นผู้ชี้แนะแนวทางในการสำรวจตรวจสอบ จากงานวิจัยของ Susilawati et al. (2021) ได้พัฒนาองค์ความรู้ในวิชาฟิสิกส์และความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 เรื่องคลื่น โดยใช้สื่อการเรียนรู้ด้านฟิสิกส์ในการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้แบบชี้แนะแนวทาง ผลการวิจัยพบว่า สื่อการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพ และสามารถนำไปใช้ในการเรียนรู้ฟิสิกส์และทำให้นักเรียนมีความรู้ทางฟิสิกส์และความคิดสร้างสรรค์เพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากนักเรียนได้มีโอกาสทดลอง และค้นพบความรู้ด้วยตนเอง

2.2.1.4 การจัดการเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem-Based Learning) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการแก้ปัญหา โดยใช้ปัญหาในชีวิตจริงเป็นตัวกลางในการเรียนรู้ จากงานวิจัยของ Azyyati & Sulisworo (2022) ได้พัฒนาความคิดสร้างสรรค์ในการเรียนรู้ฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 เรื่องแรงและพลังงาน โดยการจัดการเรียนสอนแบบใช้ปัญหาเป็นฐาน จัดกิจกรรมการเรียนรู้ทั้งหมด 8 ครั้ง วัดความคิดสร้างสรรค์โดยใช้โจทย์ฟิสิกส์ให้นักเรียนเขียนข้อความในการแก้โจทย์ปัญหา ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีทักษะในการคิดสร้างสรรค์สูงขึ้น

2.2.2 เนื้อหาสาระและระดับชั้นที่ศึกษา

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับเนื้อหาสาระและระดับชั้นที่ศึกษา พบว่า เนื้อหาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในรายวิชาฟิสิกส์ มีดังนี้ เรื่องโมเมนตัมและการชน (รพีพล อินสุพรรณ, 2562) เรื่องเครื่องกล (ศิริพร เครือทอง และสุพัตรา ฝ่ายจันทร์, 2563) เรื่องสมดุลกล (บุญรัตน์ จันทร, 2558; พิพิชัย สร้อยชมภูวงศ์, 2565) เรื่องคลื่น (Susilawati et al., 2021) และเรื่องแรงและพลังงาน (Azyyati & Sulisworo, 2022) โดยพบว่ามีระดับชั้นที่ศึกษาคือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 (Azyyati & Sulisworo, 2022; Susilawati et al., 2021) นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 (ศิริพร เครือทอง และสุพัตรา ฝ่ายจันทร์, 2563) นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 (รพีพล อินสุพรรณ, 2562) และนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 (บุญรัตน์ จันทร, 2558)

2.2.3 ระยะเวลาในการจัดการเรียนรู้

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับระยะเวลาในการจัดการเรียนรู้ พบว่า ระยะเวลาในการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในรายวิชาฟิสิกส์ จะใช้เวลาประมาณ 12-20 คาบ (บุญรัตน์ จันทร, 2558; รพีพล อินสุพรรณ, 2562; ศิริพร เครือทอง และสุพัตรา ฝ่ายจันทร์, 2563)

ในงานวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ เพื่อใช้ในการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ใช้ระยะเวลา 16 คาบ คาบละ 60 นาที

3. สะเต็มศึกษา

การศึกษาเกี่ยวกับแนวคิดสะเต็มศึกษา นำเสนอประเด็นสำคัญที่นำไปสู่การวิจัย ดังนี้

3.1 ความเป็นมาและความสำคัญของสะเต็มศึกษา

สะเต็มศึกษา (STEM Education) เป็นแนวทางการจัดการศึกษาที่ให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ และสามารถบูรณาการความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology) วิศวกรรม (Engineering) และคณิตศาสตร์ (Mathematics) (Lu, Wu & Huang, 2022) ซึ่งเป็นที่สนใจในหลายประเทศโดยมีการกำหนดเป้าหมายด้านการจัดการศึกษาเพื่อพัฒนาเยาวชนให้มีความรู้และทักษะในสาขาสะเต็ม ยกตัวอย่างเช่นประเทศอังกฤษ ฝรั่งเศส ออสเตรเลีย จีน ญี่ปุ่น และเกาหลี (Ritz & Fan, 2015) ตัวอย่างประเทศที่มีความเคลื่อนไหวด้านสะเต็มศึกษาอย่างต่อเนื่องคือ ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยกำหนดให้สะเต็มอยู่ในยุทธศาสตร์ชาติ และประกาศใช้เป็นมาตรฐาน

การศึกษา (Next Generation Science Standards: NGSS) เริ่มต้นตั้งแต่โรงเรียนอนุบาลและดำเนินการต่อเนื่องไปจนถึงระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยมีเป้าหมายเพื่อให้เยาวชนของชาติหันมาสนใจอาชีพทางด้านสะเต็ม และสร้างบุคลากรที่เชี่ยวชาญทางด้านสะเต็ม รวมถึงการขยายศักยภาพของเด็กผู้หญิงและชนกลุ่มน้อยให้มีความรู้เกี่ยวกับสะเต็มมากยิ่งขึ้น สอดคล้องกับคณะกรรมการการการสื่อสารมวลชน การวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสารสนเทศ คณะกรรมการการศึกษาและการกีฬา สภานิติบัญญัติแห่งชาติของประเทศไทย ได้มีข้อเสนอเชิงนโยบายสะเต็มศึกษา โดยมีเป้าหมายหลักคือการผลิตและพัฒนากำลังคนที่มีทักษะด้านสะเต็ม การสร้างเยาวชนรุ่นใหม่ให้มีทักษะด้านสะเต็มและการพัฒนากำลังคนที่มีคุณภาพด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ จะช่วยเพิ่มขีดความสามารถระดับสากล และได้กำหนดให้สะเต็มอยู่ในแผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579 (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2560) เพื่อให้สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานและหน่วยงานอื่น ส่งเสริมกระบวนการเรียนรู้เชิงรุก และการบูรณาการองค์ความรู้แบบสะเต็มศึกษา อย่างไรก็ตาม นักวิชาการบางท่านแนะนำว่ายังมีช่องว่างสำหรับการปรับปรุงการศึกษา STEM ซึ่งควรรวมศิลปะและมนุษยศาสตร์เข้าด้วยกันเพื่อให้เกิดการเรียนรู้ STEM โดยรวมที่สมดุลมากขึ้น (Connor, Karmokar & Whittington, 2015; Yakman, 2008) แนวคิดนี้นำไปสู่การสร้างคำว่า STEAM ซึ่งแต่ละตัวอักษรแสดงถึงเนื้อหาวิชาที่จะนำมาบูรณาการได้แก่ วิทยาศาสตร์ (S= Science) เทคโนโลยี (T= Technology) วิศวกรรม (E= Engineering) ศิลปะ (A= Art) และคณิตศาสตร์ (M= Mathematics) โดยรายวิชาต่าง ๆ สามารถเชื่อมโยงและสนับสนุนซึ่งกันและกันได้ผ่านการประยุกต์กับสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตจริง การแก้ปัญหาทางด้านวิศวกรรมร่วมกับจินตนาการและนวัตกรรมด้านสุนทรียภาพของมนุษย์ ทำให้สามารถสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ที่อยู่เหนือคุณค่าดั้งเดิมได้ ซึ่งจะช่วยเพิ่มความคิดสร้างสรรค์และกระบวนการของผู้เรียนได้ (Hsiao et al., 2022; Kim & Kim, 2016) ตัวอย่างประเทศที่มีความเคลื่อนไหวด้านสะเต็มเป็นประเทศแรก ๆ คือประเทศสาธารณรัฐเกาหลีใต้ โดยรัฐบาลเกาหลีใต้กำหนดให้มีการประกาศใช้สะเต็มศึกษาในหลักสูตรการศึกษา เนื่องจากความรู้เพียงด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียังไม่เพียงพอที่จะพัฒนาประเทศ จึงต้องยกระดับความสามารถของเยาวชนในประเทศให้สามารถเผชิญกับปัญหาที่มีความซับซ้อนและแก้ปัญหาได้อย่างสร้างสรรค์ (Hong, 2017; Kim & Kim, 2016; สุภัค โธพาพิริยกุล, 2562) สอดคล้องกับในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2559 ได้นำแนวคิดสะเต็มศึกษามาพัฒนาเป็นหลักสูตรวิทยาศาสตร์ STEM+A โดยสถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้มหาวิทยาลัยมหิดล สถาบัน Imagineering Education และสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมี

เป้าหมายเพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนเป็นนักคิด นักประดิษฐ์ที่สามารถสร้างนวัตกรรมได้อย่างเหมาะสม มีคุณธรรมจริยธรรม มีจิตอาสาและช่วยเหลือผู้อื่น ตอบโจทย์ยุคการศึกษา 4.0 ของประเทศไทย (สสวท., 2565) ที่เน้นขับเคลื่อนเศรษฐกิจของชาติด้วยเทคโนโลยี ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมทำให้คนไทยให้มีรายได้สูงขึ้นด้วยนวัตกรรมที่คนไทยสร้างและพัฒนา (สิริววรรณ จรัสวีวัฒน์, 2560; สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2560)

3.2 ความหมายของสะเต็มศึกษา

จากการทบทวนบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความหมายของสะเต็มศึกษา พบว่า สะเต็มศึกษา (STEAM Education) มีนิยามความหมายใน 3 ลักษณะ ดังนี้ นิยามแรกหมายถึง การเป็นรูปแบบการศึกษาแบบบูรณาการที่พัฒนามาจากสะเต็มศึกษา (STEM Education) โดยผนวก “ศิลปะ” เข้ามาเพิ่มเติมทำให้สะเต็มศึกษาประกอบด้วย 5 สาขาวิชาหลัก ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม ศิลปะ และคณิตศาสตร์ โดยมีการเน้นกระบวนการและผลลัพธ์ที่เป็นรูปธรรม ซึ่งเชื่อมโยงวิชาต่าง ๆ เข้าด้วยกันผ่านสถานการณ์จริง เพื่อนำไปสู่การออกแบบหรือสร้างสรรค์ผลงาน (Lu, Wu & Huang, 2022; Tran, et al., 2021; Yakman, 2008; สิริววรรณ จรัสวีวัฒน์, 2560) นิยามที่สองหมายถึงแนวคิดทางการศึกษา (Education Approach) สำหรับการเรียนรู้แบบบูรณาการที่รวมวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม ศิลปะ และคณิตศาสตร์ เพื่อพัฒนาการเรียนรู้ ทักษะต่าง ๆ ด้วยการลงมือปฏิบัติด้วยตนเองควบคู่ไปกับการพัฒนาทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 โดยเฉพาะการสื่อสาร การคิดอย่างมีวิจารณญาณ การแก้ปัญหา และความคิดสร้างสรรค์ของผู้เรียน (สุภัค โอฬาริยกุล, 2562) โดยเฉพาะการสื่อสาร การคิดอย่างมีวิจารณญาณ การแก้ปัญหา และความคิดสร้างสรรค์ของผู้เรียน (Kim & Kim, 2016; Riley, 2014; วรณิภา เวทการ, 2556; สมรัก อินทวิมลศรี, 2560) และนิยามที่สามหมายถึง กรอบแนวคิด (Framework for Teaching) และหลักสูตรที่อยู่บนพื้นฐานการสอนแบบบูรณาการข้ามสาขาวิชา ประกอบไปด้วย วิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม ศิลปะ และคณิตศาสตร์ (Chappell et al., 2025; Lacob, 2021)

จากการศึกษาความหมายของสะเต็มศึกษาสรุปได้ว่า สะเต็มศึกษา (STEAM Education) หมายถึง แนวคิดของการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการระหว่าง 5 วิชาที่เชื่อมโยงและสนับสนุนกันผ่านสถานการณ์ปัญหาที่นำไปสู่การออกแบบหรือสร้างผลงาน แนวคิดนี้พัฒนามาจากแนวคิด

สะเต็มศึกษา (STEM Education) โดยมีกรอบความคิดที่เพิ่มเนื้อหาในศาสตร์ทางด้านศิลปะ (Art) เข้าไปพร้อมกับวิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology) วิศวกรรม (Engineering) และคณิตศาสตร์ (Mathematics)

3.3 องค์ประกอบของสะเต็มศึกษา

สะเต็มศึกษาเป็นแนวคิดที่ถูกพัฒนามาจากแนวคิดสะเต็มศึกษา การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาจะมีการเชื่อมโยงและสนับสนุนกันระหว่าง 5 รายวิชา (Tran, et al., 2021; Wu & Huang, 2022; Yakman, 2008; Lu, Yakman & Lee, 2012; มัสยา บัวผัน, 2563; สิริวารรณ จรัสวีวัฒน์, 2560) แต่ละรายวิชามีความหมายและรายละเอียด ดังนี้

1. วิทยาศาสตร์ (Science) คือ การเรียนรู้สิ่งที่เป็นจริงอยู่ในธรรมชาติที่ได้จากการค้นพบ และการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการและการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วยวิทยาศาสตร์สาขาต่าง ๆ ได้แก่ ฟิสิกส์ ชีววิทยา เคมี วิทยาศาสตร์โลก วิทยาศาสตร์อวกาศ ชีวเคมี เทคโนโลยีชีวภาพ และชีวการแพทย์

2. เทคโนโลยี (Technology) คือ สิ่งที่มีมนุษย์สร้างขึ้นเพื่อแก้ปัญหา ปรับปรุงแก้ไข พัฒนา ด้านต่าง ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ ประกอบด้วยเทคโนโลยีทางการแพทย์ เกษตรกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพ การก่อสร้าง การผลิต ข้อมูลและการสื่อสาร การขนส่ง

3. วิศวกรรม (Engineering) คือ กระบวนการทำงานภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัดเพื่อ ออกแบบและสร้างสรรค์ผลงาน ทำให้เกิดกระบวนการทำงานที่เหมาะสมที่สุด ด้วยการใช้ความคิด สร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ตรรกศาสตร์ทางคณิตศาสตร์ เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับมนุษย์ โดยใช้เทคโนโลยีเป็นตัวเชื่อมในการสร้างผลงาน เช่น การบินอวกาศ สถาปัตยกรรมโยธา การเกษตร คอมพิวเตอร์ไฟฟ้า นิวเคลียร์ เป็นต้น

4. คณิตศาสตร์ (Mathematics) คือ เป็นวิชาที่ไม่ได้หมายถึงตัวเลขหรือการนับจำนวน เท่านั้น แต่ยังมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการคิดทางคณิตศาสตร์ ความสัมพันธ์ของสิ่งต่าง ๆ ซึ่ง อาจเป็นตัวเลข รูปทรงเรขาคณิต หรือชุดของสมการต่าง ๆ โดยใช้ทักษะด้านการคำนวณเป็น พื้นฐาน ประกอบด้วย พีชคณิต แคลคูลัส การวิเคราะห์ข้อมูล การใช้เหตุผล การแก้ปัญหา เป็นต้น วิชาคณิตศาสตร์ประกอบด้วย ความน่าจะเป็น ตรรกศาสตร์ ตรรกณมิติ หลักการและทฤษฎี

5. ศิลปะ (Art) คือ การเรียนรู้ในเรื่องของการพัฒนา ผลกระทบ การสื่อสาร ความเข้าใจ ทักษะคิด จิตวิทยา การเมือง ปรัชญา ขนบธรรมเนียมในอดีต ปัจจุบัน และอนาคต โดยมี จุดมุ่งหมายเพื่อส่งเสริมให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ การตัดสินใจ และการมีทักษะในการสร้างสรรค์ ผลงาน โดยแบ่งเนื้อหาศิลปะออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

5.1 ภาษาศาสตร์ (Language Arts) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการสื่อสารและความเข้าใจ ประกอบด้วย การฟัง การพูด การอ่าน และการเขียน

5.2 ศิลปกายภาพ (Physical Arts) เป็นศิลปะการเคลื่อนไหวร่างกายของบุคคลหรือหมู่คณะ ได้แก่ กีฬา การเต้น และการแสดง

5.3 ศิลปศาสตร์ (Liberal Arts) เป็นการศึกษาที่เน้นพื้นฐานทางวัฒนธรรม สังคมศาสตร์ เช่น สังคมวิทยา ปรัชญา จิตวิทยา ประวัติศาสตร์ หน้าที่พลเมือง การเมือง และการศึกษา เป็นต้น

5.4 ศิลปอุตสาหกรรม (Manual arts) เป็นศิลปะที่อาศัยทักษะที่มีความเฉพาะเจาะจงหรือเทคนิคที่จำเป็นสำหรับสร้างวัตถุเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม เช่น งานออกแบบเครื่องจักรกลและทอผ้า งานออกแบบและสร้างบรรจุภัณฑ์ เฟอร์นิเจอร์ หรือออกแบบเสื้อผ้า เป็นต้น

5.5 วิจิตรศิลป์ (Fine Arts) เป็นงานศิลปะที่มุ่งเรื่องความสวยงาม เช่น ภาพวาด งานประติมากรรม ทฤษฎีสี และการแสดงความคิดสร้างสรรค์ เช่น การถ่ายภาพ ดนตรี การออกแบบสื่อผสม เป็นต้น

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้เนื้อหาทางศิลปะเพื่อช่วยขยายขอบเขตของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ให้ครอบคลุมถึงความสวยงามสุนทรีภาพ การออกแบบ การสื่อสาร และการเชื่อมโยงกับมิติทางวัฒนธรรมและสังคม ในองค์ประกอบของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เนื่องจากมีความสอดคล้องกับการประยุกต์กับสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตจริง สามารถเชื่อมโยงกับวิชาอื่น ๆ นำไปสู่การออกแบบหรือสร้างผลงานได้

สรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษามีการเชื่อมโยงและสนับสนุนกันระหว่าง 5 วิทยาการ ที่เป็นองค์ประกอบของสะเต็ม ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม ศิลปะ และคณิตศาสตร์ ในงานวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยต้องการศึกษานูรณการความรู้ในรายวิชาวิทยาศาสตร์เพิ่มเติมฟิสิกส์ หน่วยการเรียนรู้ เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ เพื่อพัฒนาองค์ความรู้และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยมีองค์ความรู้อีก 4 วิทยาการเชื่อมโยงและสนับสนุน ดังคำกล่าวของ Yakman (2008) ที่ว่า “วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสามารถสร้างออกมาในรูปของผลงานเชิงวิศวกรรมและศิลปะ โดยทั้งหมดนั้นอยู่บนพื้นฐานความรู้ทางคณิตศาสตร์” ดังนั้น การสอนแบบบูรณาการตามแนวคิดสะเต็มศึกษาสามารถยกระดับองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีรวมถึงศาสตร์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ทำให้ผู้เรียนเชื่อมโยงความรู้ที่ได้กับชีวิตจริง

3.4 ทฤษฎีการเรียนรู้ที่สนับสนุนแนวคิดสะเต็มศึกษา

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเป็นการจัดเรียนรู้แบบบูรณาการเชื่อมโยงและสนับสนุนกันระหว่าง 5 วิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม คณิตศาสตร์ และศิลปะ โดยเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเองด้วยการลงมือปฏิบัติ ผู้เรียนมีบทบาทในกิจกรรมการเรียนรู้มากกว่าครูผู้สอน (Yakman, 2008; Lu, Yakman & Lee, 2012; มัสยา บัวพันธ์, 2563) การเรียนรู้เริ่มต้นจากการกำหนดปัญหาให้ผู้เรียนได้คิดค้นและค้นหาคำตอบ แสดงหาเหตุผลในการแก้ปัญหา และลงมือสร้างสรรค์ผลงานหรือปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบหรือวิธีในการแก้ปัญหา การฝึกให้ผู้เรียนรู้จักคิดให้ความสำคัญกับกระบวนการในการนำความรู้ไปใช้กับสถานการณ์ในชีวิตจริง จะช่วยสนับสนุนให้ผู้เรียนเกิดประสบการณ์เรียนรู้ตามความสามารถที่สอดคล้องกับความถนัด ความสนใจ และความต้องการของผู้เรียน ผู้เรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเองโดยการสร้างสรรค์ชิ้นงาน (Kim & Kim, 2016; สุภักดิ์ โอฬารพิริยกุล, 2562; สิริวรรณ จรัสวีวัฒน์, 2560)

ทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองโดยการสร้างสรรค์ชิ้นงาน (Constructionism) เป็นทฤษฎีที่ Seymour Papert ได้เริ่มพัฒนาขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 โดยมีรากฐานมาจากทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเองของ Jean Piaget นักจิตวิทยาชาวสวิสเซอร์แลนด์ (1896-1980) ที่ให้ความสำคัญด้านกระบวนการพัฒนาการเรียนรู้ของเด็ก Piaget เชื่อว่าเด็กสามารถสร้างความรู้ขึ้นเองได้ โดยเด็กจะเป็นเสมือนนักทดลองรุ่นเยาว์ที่สร้างและทดสอบทฤษฎีที่เกี่ยวกับสิ่งต่าง ๆ อยู่ตลอดเวลา และเมื่อเด็กมีโอกาสได้สร้างความรู้ขึ้นด้วยตัวของเขาเอง เขาก็จะเข้าใจสิ่งต่าง ๆ อย่างลึกซึ้ง สามารถจัดระบบโครงสร้างความรู้ของตนเองและมีความสามารถในการเรียนรู้ได้เป็นอย่างดี (Papert, 1980) Papert ได้นำสิ่งที่ Piaget เรียนรู้เกี่ยวกับเด็ก ๆ มาเป็นพื้นฐานในการคิดทบทวนเกี่ยวกับทฤษฎีทางการศึกษา โดยเขามีความเห็นแตกต่างไปจาก Piaget ที่อธิบายว่า เด็กไม่สามารถเรียนรู้เรื่องบางเรื่องได้ในช่วงวัยหนึ่ง ๆ เนื่องจากบางเรื่องมีความซับซ้อนหรือมีระบบแบบแผนที่ยากต่อการทำความเข้าใจ ควรต้องรอให้ถึงวัยที่เหมาะสมเสียก่อน ซึ่ง Papert เชื่อว่าสาเหตุที่แท้จริงของการไม่สามารถเรียนรู้ขึ้นนั้น เกิดจากการขาดแคลนวัสดุอุปกรณ์ที่นำมาใช้ เพื่อช่วยให้สิ่งที่เรียนรู้ได้ยาก กลายเป็นเรื่องง่ายและเป็นรูปธรรมเพียงพอ โดยในสังคมทั่วไปอาจมีวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ อยู่แล้ว แต่ไม่ได้รับการส่งเสริมให้นำมาใช้อย่างถูกต้องและเกี่ยวข้องกับการศึกษามากพอ

การมีวัสดุสำหรับสร้างความรู้ที่หลากหลายอย่างเพียงพอนี้ จะช่วยให้เด็กมีโอกาสในการเลือกใช้วัสดุเหล่านั้นเป็นสื่อสำหรับช่วยคิด (Object-to-Think-with) ซึ่งเด็กแต่ละคนควรจะมีสื่อของตนเอง และสามารถทดลองใช้ตามวิธีการของตนเองได้ (Papert, 1980)

แก่นความเชื่อที่สำคัญของทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองโดยการสร้างสรรค์ชิ้นงาน คือ ความรู้ไม่ได้มาจากการสอนของครูผู้สอนเพียงอย่างเดียว แต่มนุษย์ทุกคนมีความสามารถสร้างความรู้ได้ด้วยตนเองภายใต้เงื่อนไขสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวย ได้แก่ 1) การมีอิสระในการเลือกเรียนรู้ในสิ่งที่ตนเองสนใจหรือถนัด มิใช่การบังคับให้ต้องเรียนเหมือน ๆ กัน มีพฤติกรรมแบบเดียวกันหรือบรรลุผลที่เหมือนกัน 2) การมีกระบวนการเรียนรู้ที่มีความหมายกับผู้เรียน ด้วยการสนับสนุนให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติหรือคิดแก้ไขปัญหาต่างๆ เอง ซึ่งจะนำไปสู่การสร้าง ความเชื่อมโยงระหว่างความรู้ที่มีอยู่กับการประสบการณ์หรือความรู้ใหม่ เกิดเป็นองค์ความรู้ที่สร้างขึ้นด้วยตนเอง (3) การสามารถเข้าถึงสารสนเทศที่สอดคล้องกับความต้องการได้อย่างสะดวก เช่น หนังสือ สารสนเทศอิเล็กทรอนิกส์ ผู้รู้หรือปราชญ์ชาวบ้าน และแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ (ทัศนีย์ แซ่ลิ้ม, 2564) ซึ่งการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มที่ผู้เรียนได้มีโอกาสสร้างความรู้และนำความรู้ที่ตนเองสร้างขึ้นไปคิดสร้างสรรค์ชิ้นงาน โดยอาศัยสื่อ วัสดุ เทคโนโลยี และอุปกรณ์ที่เหมาะสม ให้ผู้เรียนได้เผชิญสถานการณ์และแก้ปัญหา และแก้ปัญหาด้วยกระบวนการที่บูรณาการความรู้หลายวิชาในการสร้างสรรค์ผลงาน จะช่วยให้ความคิดนั้นเห็นเป็นรูปธรรมที่ชัดเจน ซึ่งความรู้นั้นจะอยู่คงทนและไม่ลืมง่าย (พันเพชร เขยแจ้ง, 2565; สมรัก อินทวิมลศรี, 2560) นอกจากนี้ การสร้างสภาพแวดล้อมในการเรียนรู้ (Learning Environment) หรือบริบททางสังคม ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างความรู้ก็มีส่วนทำให้ผู้เรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์ตามแนวคิดทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองโดยการสร้างสรรค์ชิ้นงาน ห้องเรียนที่มีสิ่งแวดล้อมที่ดีจะเพิ่มสมรรถภาพการเรียนรู้ของผู้เรียน โดยเปิดโอกาสให้ผู้เรียนเลือกตามความสนใจ มีการร่วมกันทำงานเป็นทีม มีบรรยากาศเป็นกันเอง ให้ผู้เรียนรู้สึกอบอุ่น น่าเรียน ให้ผู้เรียนเรียนรู้ไปอย่างมีความสุข ผู้เรียนจะมีความกระตือรือร้นในการเรียนส่งผลให้การเรียนการสอนมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (ทศนา แหมมณี, 2558)

สรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเป็นการจัดเรียนรู้ที่สอดคล้องกับทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเองโดยการสร้างสรรค์ชิ้นงาน (Constructionism) ที่พัฒนาขึ้นโดย Seymour Papert (1980) มีการจัดการเรียนรู้โดยเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ได้

ด้วยตนเองด้วยการลงมือปฏิบัติ แก้ปัญหา สำรวจและทดลองด้วยตนเอง และนำองค์ความรู้ที่ได้ไปคิดสร้างสรรค์ชิ้นงานโดยอาศัยเทคโนโลยีและอุปกรณ์ที่เหมาะสม ซึ่งครูผู้สอนควรจัดการเรียนการสอน และเตรียมสภาพแวดล้อมให้เอื้อต่อการเรียนรู้จะส่งผลทำให้การสอนมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

3.5 แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับแนวการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาพบว่า มีนักการศึกษาและนักวิจัยทางการศึกษาได้เสนอขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 4 แนวทาง ได้แก่ 1) การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการคิดสร้างสรรค์ (Creative Process) 2) การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering Design Process) 3) การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นโครงงานเป็นฐาน (PBL Based) 4) การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการสะเต็ม (The STEAM Process) และ 5) การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการคิดเชิงออกแบบ (Design Thinking Process) โดยแต่ละแนวทางมีรายละเอียด ดังนี้

3.5.1 การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการคิดสร้างสรรค์ (Creative Process)

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการคิดสร้างสรรค์ ถูกพัฒนาขึ้นโดย Riley (2016) มีขั้นตอนการจัดการเรียนการสอนทั้งหมด 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ระบุสถานการณ์ (Focus) เป็นขั้นตอนที่ครูและนักเรียนร่วมกันเลือกปัญหาที่จำเป็นในการตอบคำถามหรือแก้ไขสถานการณ์ สิ่งสำคัญคือต้องให้ความสำคัญอย่างชัดเจนกับทั้งคำถามและปัญหานี้เกี่ยวข้องกับเนื้อหา STEAM ที่ครูและนักเรียนร่วมกันเลือกอย่างไร

ขั้นที่ 2 วิเคราะห์สถานการณ์ (Detail) เป็นขั้นตอนที่มองหาองค์ประกอบที่สนับสนุนว่าคำถามหรือปัญหานั้นมีสาเหตุมาจากอะไร ทำไมถึงเกิดคำถามหรือปัญหาเหล่านั้นขึ้นมา ในขั้นตอนนี้ครูผู้สอนจะได้รับข้อมูลในส่วนที่เกี่ยวข้องกับทักษะหรือกระบวนการที่นักเรียนใช้แก้ไขปัญหา

ขั้นที่ 3 การศึกษาค้นคว้า (Discovery) เป็นขั้นตอนของการศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องและจำเป็นต่อการคิดหาคำตอบหรือการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการที่หลากหลาย ครู

สามารถใช้ขั้นตอนนี้เพื่อวิเคราะห์ช่องว่างของทักษะหรือกระบวนการของนักเรียนที่ยังขาดไปและช่วยเสริมทักษะหรือกระบวนการเหล่านั้นให้กับนักเรียนเพิ่มเติมจนนักเรียนมีความเข้าใจมากขึ้น

ขั้นที่ 4 การประยุกต์ (Application) เป็นขั้นตอนหลังจากที่นักเรียนเข้าใจปัญหาหรือคำถามที่เกิดขึ้นและวิเคราะห์วิธีแก้ปัญหา นักเรียนสามารถเริ่มสร้างและอธิบายวิธีการแก้ปัญหาเพื่อแสดงทักษะและความรู้ที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าและความรู้ที่ได้รับการสอนในขั้นตอนการค้นพบสู่การสร้างสรรค์ผลงานด้วยตนเอง

ขั้นที่ 5 การนำเสนอ (Presentation) เป็นขั้นตอนที่นักเรียนต้องมีการนำเสนอผลงาน มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลเพื่อรับฟังความคิดเห็นจากครูและเพื่อนร่วมชั้น และเป็นแนวทางในการแสดงออกตามมุมมองของนักเรียน ช่วยทำให้นักเรียนได้เรียนรู้วิธีการให้และรับความคิดเห็น

ขั้นที่ 6 ประเมินและปรับปรุง (Link) เป็นขั้นตอนที่ให้นักเรียนได้ไตร่ตรองความคิดเห็นที่ได้จากการแลกเปลี่ยนข้อมูลความรู้ รวมถึงทักษะและกระบวนการที่นักเรียนสามารถแก้ไขงานของตนให้ได้ตามที่ต้องการและทำให้เกิดแนวทางแก้ไขที่ได้ยิ่งขึ้น

จากงานวิจัยของ สมรัก อินทวิมลศรี (2560) ได้ศึกษาผลของการนำการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มกระบวนการคิดสร้างสรรค์ที่มีต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนวิชาชีววิทยา ตามแนวคิดของ Riley (2016) ผลงานวิจัยพบว่า ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในภาพรวมมีระดับดีขึ้น แต่เมื่อนำผลของคะแนนความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียนมาเปรียบเทียบพบว่าคะแนนไม่แตกต่างกันซึ่งข้อดีของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการคิดสร้างสรรค์คือ ครูและนักเรียนมีส่วนร่วมในการเลือกปัญหาและคิดหาสาเหตุที่จำเป็นต่อการแก้ไขสถานการณ์ ครูกระตุ้นให้นักเรียนค้นคว้าหาข้อมูลด้วยวิธีการที่หลากหลาย ทำให้นักเรียนสร้างสรรค์ผลงานนักเรียนมีโอกาสนำเสนอผลงานให้ครูและเพื่อนฟัง เพื่อรับฟังและนำข้อเสนอแนะไปปรับปรุงวิธีการแก้ปัญหาต่อไป

3.5.2 การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering Design Process)

จากการศึกษาพบว่า สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท., 2560) ได้ระบุขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมไว้ในแบบเรียนวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (การออกแบบและเทคโนโลยี) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 มีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา (Problem Identification) เป็นขั้นตอนที่นักเรียนทำความเข้าใจปัญหาผ่านสถานการณ์เรื่องพลังงานความร้อนในชีวิตประจำวันที่ครูกำหนด เช่น การสร้างสถานการณ์ การชมสื่อวิดีโอ เป็นต้น โดยนักเรียนกำหนดวิเคราะห์ปัญหาและสร้างชิ้นงานหรือพัฒนาวิธีการในการแก้ปัญหานั้น ๆ ได้ ผ่านการอภิปรายภายในกลุ่ม

ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา (Related Information Search) เป็นขั้นตอนที่นักเรียนภายในกลุ่มช่วยกันรวบรวมข้อมูลแนวคิด และองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ หรือศาสตร์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเรื่อง พลังงานความร้อน ที่สามารถใช้ในการแก้ปัญหานั้น ๆ ได้

ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Solution Design) เป็นขั้นตอนที่นักเรียนสามารถนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาวิเคราะห์ หาข้อดีและข้อจำกัดของวิธีในการแก้ปัญหาแต่ละข้อ พร้อมทั้งตัดสินใจเลือกวิธีการที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหานั้น ๆ โดยจะต้องคำนึงถึงวัสดุและอุปกรณ์ที่ครูจัดเตรียมให้ แล้วออกแบบแนวทางการแก้ปัญหาโดยเขียนเป็นแผนภาพหรือร่างภาพตามบริบทของปัญหานั้น ๆ

ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (Planning and Development) เป็นขั้นตอนที่นักเรียนสามารถวางแผนพร้อมทั้งเรียงลำดับขั้นตอนในการแก้ปัญหา และระบุระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน อีกทั้งยังลงมือแก้ปัญหามาตามที่ได้ออกแบบและวางแผนไว้ได้

ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Testing, Evaluation and Design Improvement) เป็นขั้นตอนที่นักเรียนนำชิ้นงานหรือวิธีการไปทดสอบพร้อมทั้งประเมินชิ้นงานหรือวิธีการที่ใช้แก้ปัญหา เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Presentation) เป็นขั้นตอนที่นักเรียนสามารถนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาดังแต่แนวคิด ขั้นตอนการสร้างชิ้นงานหรือวิธีการโดยนำเสนอให้เกิดความน่าสนใจต่อผู้ฟังและเข้าใจได้ง่าย โดยมีครูและเพื่อนร่วมชั้นเรียนช่วยกันอภิปรายและเสนอแนะ

จากงานวิจัยของ ธัญชนก ทาระเนตร (2564) ที่ได้ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่มีต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ ผลการวิจัยพบว่า คะแนนเฉลี่ยร้อยละความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนมีค่าเท่ากับ 51.31 อยู่ในเกณฑ์ระดับดี ซึ่งข้อดีของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษานั้นกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม คือ ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนตั้งคำถามและหาแนวทางที่ดีที่สุดเพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหา นักเรียนสืบค้นข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้หรือ

ปฏิบัติการทดลอง สร้างผลงานตามที่ได้ออกแบบไว้ นำเสนอผลงานในรูปแบบต่าง ๆ และสามารถปรับปรุงแก้ไขผลงานจากข้อเสนอแนะของครูและเพื่อนแล้วนำไปทดสอบซ้ำ

3.5.3 การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นโครงงานเป็นฐาน (PBL Based)

จากการศึกษาการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นโครงงานเป็นฐาน เป็นการเรียนรู้ที่บูรณาการศาสตร์ทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ ศิลปะ และคณิตศาสตร์เข้ากับโครงงาน เพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้ผ่านการปฏิบัติ แก้ไขปัญหาและสร้างสรรค์ผลงาน มีขั้นตอนการจัดการเรียนการสอนทั้งหมด 6 ขั้นตอน ดังนี้ (Ekayana et al., 2025; Lu et al., 2021)

ขั้นที่ 1 ขั้นกำหนดปัญหาหรือสถานการณ์ (Problem Definition) ครูกระตุ้นความสนใจของนักเรียนโดยให้นักเรียนศึกษาปัญหาหรือสถานการณ์ที่กำหนดให้

ขั้นที่ 2 ขั้นการออกแบบโครงงาน (Project Design) ออกแบบโครงร่างโครงงานที่เสริมด้วยองค์ประกอบเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ ในการทำโครงงานครูให้นักเรียนรวมกลุ่มกันทำงาน รวบรวมข้อมูลและแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหรือสถานการณ์

ขั้นที่ 3 ขั้นการวางแผนกิจกรรมและกำหนดเวลา (Activity Scheduling & Time Management) เป็นการประยุกต์ใช้ข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องเพื่อการออกแบบชิ้นงานหรือวิธีการในการแก้ปัญหา แผนกิจกรรมโครงงานจะต้องได้รับการคำนวณอย่างเหมาะสม และกำหนดเวลาของกิจกรรมโครงงาน โดยคำนึงถึงทรัพยากรข้อจำกัดและเงื่อนไขตามปัญหาหรือสถานการณ์ที่กำหนด

ขั้นที่ 4 ขั้นการติดตามและประเมินผลระหว่างดำเนินการ (Monitoring & Formative Assessment) ครูติดตามความคืบหน้าของโครงงาน นักเรียนได้รับการฝึกฝนให้รายงานความคืบหน้าของกิจกรรมโครงงานเสริมด้วยองค์ประกอบวิศวกรรมศาสตร์และศิลปะ

ขั้นที่ 5 ขั้นการนำเสนอผลงาน (Presentation of Outcomes) นักเรียนนำเสนอผลงานของกลุ่มที่ทำการศึกษา คำนวณ เก็บรวบรวม มาทำการวิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผลการดำเนินงาน โดยอาจนำเสนอในรูปแบบการจัดทำรายงาน นำเสนอผลงาน หรือการจัดป้ายนิเทศ เป็นต้น และเปรียบเทียบผลที่ได้กับกลุ่มอื่น ๆ และร่วมกันอภิปรายว่ามีการใช้องค์ประกอบของศิลปะในสะเต็มศึกษาอย่างไร

ขั้นที่ 6 ขั้นการสะท้อนผลและสรุปบทเรียน (Reflection & Summative Assessment) เป็นขั้นที่นักเรียนแสดงความรู้สึกและประสบการณ์ผ่านรายงานที่เป็นลายลักษณ์

อักษร ครุณำอธิบายเชื่อมโยงแต่ละองค์ประกอบของสะเต็มศึกษา และเสริมสร้างกระบวนการของกิจกรรมโครงการที่ได้ดำเนินการไปแล้ว

จากงานวิจัยของ จินตหรา คำภาพักตร์ (2564) ได้ศึกษาผลของการนำการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาร่วมกับโครงการเป็นฐานในนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนวิชาชีววิทยา ผลงานวิจัยพบว่า ความคิดสร้างสรรค์นวัตกรรมของนักเรียนหลังเรียนอยู่ในระดับดี ซึ่งข้อดีของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นโครงการเป็นฐาน คือ ครูทำหน้าที่กระตุ้นให้นักเรียนเกิดแรงจูงใจในการทำโครงการ แล้วให้นักเรียนเลือกหัวข้อโครงการที่จะทำพร้อมช่วยกันหาข้อมูล ทำการทดลองและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันภายในกลุ่ม นักเรียนนำเสนอโครงการสะเต็ม ครูและนักเรียนร่วมกันประเมินโครงการของเพื่อนเพื่อนำไปสู่การปรับปรุงโครงการ

3.5.4 การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการสะเต็ม (STEAM Process)

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการคิดสร้างสรรค์ มีขั้นตอนการจัดการเรียนการสอนทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังนี้ (Oh et al., 2013)

ขั้นที่ 1 ขั้นสำรวจตรวจสอบ (Investigate) ครูและนักเรียนร่วมกันสำรวจคำถามหรือประเด็นปัญหาภายในขอบเขตที่กำหนด และคำนึงถึงคำถามที่จำเป็นที่จะต้องตอบ

ขั้นที่ 2 ขั้นค้นพบ (Discovery) นักเรียนสร้างผังความคิดเกี่ยวกับปัญหาหรือคำถามที่นักเรียนสำรวจ

ขั้นที่ 3 ขั้นสร้างความคิด (Connect) นักเรียนเลือกหัวข้อคำถามหรือหัวข้อย่อยที่ได้จากการสร้างผังความคิด โดยหัวข้อที่นักเรียนเลือกต้องสามารถประเมินผลได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด

ขั้นที่ 4 ขั้นสร้างต้นแบบ (Create) นักเรียนสร้างผลงานตามผังความคิดและการประเมินที่วางไว้ โดยนักเรียนจะได้สืบเสาะหาความรู้เพื่อตอบปัญหาหรือคำถาม ผ่านการเรียนรู้ที่เชื่อมกับปัญหาหรือสถานการณ์

ขั้นที่ 5 ขั้นทดสอบ (Reflect) นักเรียนทดสอบผลงาน ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายและประเมินผลงานด้วยรูปวาดหรือแฟ้มสะสมผลงาน

จากงานวิจัยของ Ozkan & Topsakal (2021) ได้ศึกษาผลของความคิดสร้างสรรค์ทั้งด้านภาษาและด้านภาพด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาร่วมกับกระบวนการสะเต็ม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ผลงานวิจัยพบว่า กลุ่มทดลองมีคะแนนความคิดสร้างสรรค์ทั้งด้านภาษาและด้านภาพสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งข้อดีของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด

สะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการสะเต็ม คือ ครูและนักเรียนร่วมกันหาหัวข้อของปัญหาทำให้นักเรียนเกิดความสนใจ นักเรียนสร้างผังความคิดที่เชื่อมโยงหัวข้อทำให้เกิดการค้นคว้าหาข้อมูล เพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหา และยังมีการสร้างชิ้นงานที่สอดคล้องกับการแก้ปัญหา นักเรียนได้นำเสนอผลงานและร่วมประเมินผลงานของตนเองและของเพื่อนร่วมกัน

3.5.5 การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการคิดเชิงออกแบบ (Design Thinking Process)

จากการศึกษาการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการคิดเชิงออกแบบ เป็นการเรียนรู้ที่บูรณาการศาสตร์ทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ ศิลปะ และคณิตศาสตร์เข้ากับกระบวนการคิดเชิงออกแบบ เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนลงมือปฏิบัติแก้ปัญหการออกแบบ มุ่งเน้นในเรื่องของการสร้างทักษะผ่านกระบวนการสร้างผลงานหรือชิ้นงานอย่างสร้างสรรค์ มีขั้นตอนการจัดการเรียนการสอนทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังนี้ (Kijima et al., 2021; Li et al., 2019)

ขั้นที่ 1 ขั้นทำความเข้าใจปัญหา (Empathy) ครูใช้สถานการณ์ใกล้เคียงตัวหรือเกิดขึ้นในชีวิตประจำวันกระตุ้นความสนใจของนักเรียน แล้วให้นักเรียนรวบรวมข้อมูลจากการสอบถามและบูรณาการความรู้เดิมของตนเพื่อทำความเข้าใจปัญหา

ขั้นที่ 2 ขั้นนิยามปัญหา (Define) ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปราย แสดงความคิดเห็น และเขียนรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ช่วยให้ได้ประเด็นปัญหาที่หลากหลายตรงตามเงื่อนไขของสถานการณ์ปัญหาเพื่อหาข้อสรุปเกี่ยวกับสถานการณ์ปัญหาเป็นการกำหนดเป้าหมายที่จะนำไปสู่การสร้างชิ้นงาน

ขั้นที่ 3 ขั้นสร้างความคิด (Ideate) นักเรียนร่วมกันระดมสมอง ทำการสอบทดลองเพื่อหาแนวคิดที่หลากหลายในการสร้างชิ้นงาน

ขั้นที่ 4 ขั้นสร้างต้นแบบ (Prototype) นักเรียนเขียนแบบร่างชิ้นงานให้มีองค์ประกอบศิลป์ คือ มีความกลมกลืน มีความสมดุล มีความน่าสนใจ รวมถึงมีรูปร่าง เส้น มีชัดเจน และมีความคิดสร้างสรรค์ โดยครูใช้คำถามนำและหาตัวอย่างที่หลากหลายเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบชิ้นงานให้มีรูปร่างและลวดลายที่แตกต่างกันไม่เลียนแบบตัวอย่างครูและของเพื่อน ก่อนที่นักเรียนจะช่วยกันสร้างชิ้นงานตามแบบร่างและสร้างชิ้นงานตามที่วางแผนไว้ โดยเลือกใช้วัสดุตามเงื่อนไข

ขั้นที่ 5 ขั้นทดสอบ (Test) นักเรียนทำการทดสอบชิ้นงาน นำเสนอชิ้นงานและผลการทดสอบ และการปรับปรุงแก้ไขชิ้นงาน หลังจากนั้นร่วมกันอภิปรายผลการทำชิ้นงานเพื่อนำไปสู่การปรับปรุงผลงานให้ดียิ่งขึ้น

จากงานวิจัยของ Kijima et al. (2021) ได้ศึกษาผลของการนำการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาร่วมกับกระบวนการคิดเชิงออกแบบ ในเยาวชนหญิงประเทศญี่ปุ่น ผลงานวิจัยพบว่า สามารถสร้างการเปลี่ยนแปลงเชิงบวกในความสัมพันธ์ระหว่างเยาวชนหญิงที่เข้าร่วมกิจกรรมเวิร์กช็อปการคิดเชิงออกแบบ (Design Thinking Workshop) กับการศึกษาต่อในสาขาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ (STEM) ในสังคมที่ให้ความสำคัญกับเพศสภาพ เยาวชนหญิงที่เข้าร่วมกิจกรรมมีความสนใจในวิศวกรรมศาสตร์เพิ่มขึ้น มีความมั่นใจในความคิดสร้างสรรค์มากขึ้น และมีทัศนคติเชิงบวกและมุมมองที่หลากหลายมากยิ่งขึ้นเกี่ยวกับการเลือกอาชีพ ซึ่งข้อดีของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการคิดเชิงออกแบบคือ นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการสำรวจปัญหาทำให้เกิดความรู้สึกมีส่วนร่วมทำให้เกิดแรงจูงใจในการแก้ปัญหา มีการระดมสมองเพื่อหาแนวคิดที่หลากหลาย นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติชิ้นงาน ได้ทดสอบ และปรับปรุงแก้ไขชิ้นงาน

จากการศึกษาแนวทางการจัดการเรียนการสอนตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่พัฒนาความคิดสร้างสรรค์พบว่า มี 5 แนวทาง ได้แก่ การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการคิดสร้างสรรค์ การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นโครงงานเป็นฐาน การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการสะเต็ม และการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการคิดเชิงออกแบบ เมื่อวิเคราะห์ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ของแต่ละแนวทาง จะพบทั้งส่วนที่มีความคล้ายคลึงกันและส่วนที่แตกต่างกัน ในขั้นเริ่มต้นของการจัดการเรียนรู้ ทุกแนวทางล้วนเริ่มต้นด้วยการ ระบุปัญหาหรือสถานการณ์ที่สนใจ และนำไปสู่การวิเคราะห์เพื่อหาวิธีการแก้ไข อย่างไรก็ตาม การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม มีจุดเด่นที่การระบุปัญหาหรือสถานการณ์มีความชัดเจนกว่าเมื่อเทียบกับแนวทางอื่น ๆ อาทิ การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการคิดสร้างสรรค์ หรือการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการสะเต็ม และการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการคิดเชิงออกแบบ ซึ่งแนวทางเหล่านี้อาจเพียงเสนอสถานการณ์หรือคำถามปลายเปิดที่ต้องการหาวิธีแก้ไข และหากขาดกรอบที่ชัดเจนในการแปลงความคิดไปสู่การปฏิบัติ อาจทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความหลากหลายยากต่อการวัดผล หรือการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นโครงงาน

เป็นฐาน การเริ่มต้นอาจขึ้นอยู่กับแรงจูงใจและความสนใจของผู้เรียนเป็นหลัก หากนักเรียนขาดแรงบันดาลใจหรือครูไม่สามารถกระตุ้นได้อย่างเหมาะสม โครงการอาจไม่ประสบความสำเร็จตามที่คาดหวัง ทั้งนี้การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ยังมีจุดเด่นในด้านการส่งเสริมให้นักเรียนออกแบบและวางแผนดำเนินการแก้ปัญหาให้ได้มากกว่าหนึ่งวิธี ก่อนที่จะพิจารณาและเลือกวิธีการแก้ปัญหาหรือสถานการณ์ที่เหมาะสมและสอดคล้องกับปัญหาหรือสถานการณ์ที่กำหนดไว้

จากการศึกษาและวิเคราะห์ขั้นตอนการจัดการเรียนการสอนตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเน้นกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม ได้เผยให้เห็นถึงศักยภาพในการเป็นแนวทางการจัดการเรียนการสอนที่ส่งเสริมการพัฒนาทักษะที่สำคัญสำหรับผู้เรียน กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมที่กล่าวถึงนี้เป็นขั้นตอนการจัดการเรียนการสอนที่มีความชัดเจนในการ ระบุปัญหา เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ คิดวิเคราะห์และนำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาที่หลากหลาย นอกจากนี้ ยังส่งเสริมการ บูรณาการความรู้จากศาสตร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาอย่างรอบด้าน เมื่อผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง จะเกิดการพัฒนาด้านทักษะและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งนำไปสู่การสร้างสรรคผลงานที่สามารถแก้ไขปัญหาคือตอบสนองความต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเองโดยการสร้างสรรค์ชิ้นงาน (Constructionism) ซึ่งเน้นการเรียนรู้ผ่านการลงมือสร้างสรรคผลงานจริง การที่ผู้เรียนได้ปรับปรุงหรือดัดแปลงวัตถุต่าง ๆ จากวัสดุเหลือใช้หรือสิ่งของรอบตัว สร้างเป็นผลงานที่มีคุณค่าและเป็นประโยชน์ ถือเป็นการเรียนรู้เชิงปฏิบัติที่ส่งเสริมการคิดอย่างสร้างสรรค์และนวัตกรรม

4. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

การศึกษาเกี่ยวกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน นำเสนอประเด็นสำคัญที่นำไปสู่การวิจัย ดังนี้

4.1 ความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีความสำคัญกับทั้งครูผู้สอนและผู้เรียน เนื่องจากผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนช่วยในครุทราบถึงระดับความรู้และความสามารถของผู้เรียนได้ครอบคลุมเนื้อหา เพื่อไปพัฒนาการจัดการเรียนการสอนให้สอดคล้องกับศักยภาพผู้เรียนและช่วยเหลือผู้เรียนให้มีระดับความรู้และความสามารถที่สูงขึ้น (สมรัก อินทวิมลศรี, 2560) ทั้งนี้จากการศึกษาบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวกับความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน พบว่า มีงานวิจัยที่นิยามว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (Achievement) หมายถึงความสามารถในการเรียนรู้ของบุคคลที่เป็นผลมาจากประสบการณ์การเรียนรู้ที่สอดคล้องกับจุดประสงค์ของรายวิชา ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

และมาตรฐานการเรียนรู้ที่สถานศึกษากำหนดไว้ในรายวิชาวิทยาศาสตร์ (บุศญา แก้วแพทย์, 2563; มัสยา บัวผัน, 2563; สมรัก อินทิมลศรี, 2560; อนุสรฯ พุ่มพิกุล, 2562) ทั้งทางด้านความรู้ ทักษะกระบวนการ และคุณลักษณะที่ได้รับหลังจากการจัดการเรียนรู้ (บุศญา แก้วแพทย์, 2563) ซึ่งอาจวัดได้จากคะแนนสอบ จากภาระชิ้นงานที่ได้รับมอบหมาย หรือวัดด้วยแบบทดสอบ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (มัสยา บัวผัน, 2563) และนิยามว่าเป็นระดับความรู้ ความสามารถที่นักเรียนได้รับหลังจากการจัดการเรียนรู้ของผู้สอนว่าอยู่ในระดับใด โดยสามารถวัดตาม วัตถุประสงค์ของ Bloom ทั้ง 3 ด้าน คือ ด้านพุทธิพิสัย ด้านจิตพิสัย และด้านทักษะพิสัย

ดังนั้น ความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ความสามารถในการเรียนรู้ของ ผู้เรียนในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ซึ่งวัดได้จากคะแนนของแบบทดสอบวัดผล สัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนที่ ผู้วิจัยสร้างขึ้น

4.2 พฤติกรรมที่แสดงออกถึงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

การจัดการเรียนรู้เพื่อให้ผู้เรียนพัฒนาความรู้ ทักษะ และคุณลักษณะที่กำหนดในตัวชี้วัด การวัดและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ผู้สอนต้องตรวจสอบความรู้ความสามารถที่แสดง พัฒนาการของผู้เรียนอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง การประเมินในชั้นเรียนซึ่งต้องอาศัยทั้งการ ประเมินเพื่อการพัฒนาและการประเมินเพื่อสรุปการเรียนรู้จะเป็นเครื่องมือสำคัญในการตรวจสอบ ความก้าวหน้าในการเรียนรู้ของผู้เรียน การตัดสินใจให้คะแนนหรือให้ระดับคุณภาพควรดำเนินการ ประเมินสรุปผลรวมเมื่อจบหน่วยการเรียนรู้และจบรายวิชา (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) จาก การศึกษาบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมที่แสดงออกถึงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน พบว่า การเรียนรู้ตามทฤษฎีของ Bloom (1956) เชื่อว่าการเรียนการสอนที่จะประสบความสำเร็จและมี ประสิทธิภาพนั้นจะต้องกำหนดจุดมุ่งหมายให้ชัดเจน และได้แบ่งประเภทของพฤติกรรมโดยอาศัย ทฤษฎีการเรียนรู้และจิตวิทยาพื้นฐานว่ามนุษย์จะเกิดการเรียนรู้ ต่อมา Anderson & Krathwohl (2001) ได้ปรับปรุงลำดับชั้นอนุกรมวิธานตามแนวคิดของ Bloom โดยมีการเพิ่มมิติด้านลักษณะ ความรู้เพื่อช่วยให้การกำหนดวัตถุประสงค์การเรียนรู้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น และมีการปรับ รูปแบบคำที่ใช้จากคำนามเป็นคำกริยา สอดคล้องกับการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ตาม หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 มีที่มาจากองค์ประกอบ 3 ด้าน ด้าน คือ ด้านพุทธิพิสัย (Cognitive Domain) ด้านจิตพิสัย (Affective Domain) และด้านทักษะพิสัย (Psychomotor Domain) (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) โดยทั้ง 3 ด้านมีลักษณะสำคัญที่สามารถ

นำมาอธิบายโดยสังเขป ดังนี้ (Anderson & Krathwohl, 2001; กระทรวงศึกษาธิการ, 2560; อนุสรฯ พุ่มพิกุล, 2562)

1. ด้านพุทธิพิสัย (Cognitive Domain) หมายถึง ข้อมูล สารสนเทศ หลักฐานต่าง ๆ ที่แสดงถึงความสามารถด้านสติปัญญา 6 ด้าน คือ การจำ การเข้าใจ การประยุกต์ใช้ การวิเคราะห์ การประเมินค่า และการคิดสร้างสรรค์ โดยพฤติกรรมที่สะท้อนว่าผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ด้านพุทธิพิสัย ได้แก่ การบอกเล่า อธิบายหรือเขียนแสดงความคิดรวบยอดโดยการตอบคำถาม เขียนแผนภูมิ แผนภาพ นำเสนอแนวคิดขั้นตอนในการแก้ปัญหา การจัดการ การออกแบบประดิษฐ์หรือสร้างสรรค์ชิ้นงาน เป็นต้น

ด้านที่ 1 การจำ (Remembering) หมายถึง การรับรู้หรือระลึกถึงความรู้จากหน่วยความจำ การจำเกิดขึ้นเมื่อใช้ความจำในการสร้างหรือค้นหานิยาม ข้อเท็จจริง หรือทบทวนข้อมูลที่เรียนมาก่อนหน้า ซึ่งการที่ผู้เรียนจะสามารถตอบได้ว่าสิ่งที่เรียนคือสิ่งใด มาจากไหน นั้นเกิดจากการจดจำ

ด้านที่ 2 การเข้าใจ (Understanding) หมายถึง การสร้างเข้าใจความสัมพันธ์ ความหมายของสิ่งที่ได้เรียน จากองค์ความรู้หลากหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นการเขียน ภาพ หรือกิจกรรม เช่น การตีความ การยกตัวอย่าง การจำแนก การสรุป การเปรียบเทียบ ผู้การนำเสนอหรือสามารถอธิบายตามความเข้าใจของตนเองได้

ด้านที่ 3 การประยุกต์ใช้ (Applying) หมายถึง กระบวนการหรือวิธีการดำเนินการอย่างเป็นขั้นเป็นตอนของผู้เรียน โดยการประยุกต์ใช้เนื้อหาความรู้ที่เรียนมาโดยผ่านการประมวลผลเพื่อนำไปปฏิบัติ และใช้ในการแก้ปัญหาได้ เช่น แบบจำลอง การนำเสนอ การสัมภาษณ์ หรือการจำลอง

ด้านที่ 4 การวิเคราะห์ (Analyzing) หมายถึง กระบวนการนำส่วนต่าง ๆ ของการเรียนรู้มาประกอบเป็นโครงสร้างใหม่ ด้วยการพิจารณาว่ามีส่วนใดสัมพันธ์กับส่วนอื่นอย่างไร พิจารณาโครงสร้างโดยรวมของสิ่งที่เรียนรู้ แยกแยะวัตถุประสงค์ที่แตกต่างผ่านกระบวนการอย่างเป็นระบบ โดยการสร้างตารางจัดการ (Spreadsheets) แบบสำรวจ แผนภูมิ แผนภาพ หรือการแสดงภาพกราฟิก

ด้านที่ 5 การประเมินค่า (Evaluation) หมายถึง การที่ผู้เรียนสามารถตั้งเกณฑ์ตัดสินเปรียบเทียบคุณภาพหรือประสิทธิภาพของการเรียนรู้ได้ สามารถตัดสินใจตรวจสอบ และไตร่ตรองคุณค่าของข้อมูลได้

ด้านที่ 6 การสร้างสรรค์ (Creating) หมายถึง การเรียบเรียงองค์ประกอบของสิ่งที่เรียนรู้ด้วยการสังเคราะห์ เพื่อเชื่อมโยงให้รูปแบบใหม่ของสิ่งที่เรียนรู้หรือโครงสร้างของความรู้ที่ผ่านการวางแผน และสร้างหรือการผลิตอย่างเหมาะสม

นอกจากนี้ จากการศึกษาของ Klopfer (1971) ได้ให้แนวทางในการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ โดยมีจุดมุ่งหมายด้านพฤติกรรมของผู้เรียนสอดคล้องกับอนุกรมวิธานตามแนวคิดของ Bloom (1956) แต่ส่วนที่แตกต่างคือ พฤติกรรมประเภทต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนด้านพุทธิพิสัย ประกอบด้วยพฤติกรรมทั้งหมด 4 ด้าน ดังนี้ (รัตนเกล้า ประดิษฐ์ด้วง, 2562; สมรัก อินทวิมลศรี, 2560)

ด้านที่ 1 ความรู้ความจำ เป็นพฤติกรรมที่ผู้เรียนแสดงออกถึงความสามารถในการรำลึกถึงข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ได้เรียนรู้จากการค้นคว้าด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การอ่านหนังสือ หรือฟังบรรยาย

ด้านที่ 2 ความเข้าใจ เป็นพฤติกรรมที่ผู้เรียนสามารถเข้าใจความรู้ทางวิทยาศาสตร์และแสดงออกมาซึ่งความเข้าใจออกมาในรูปแบบต่าง ๆ

ด้านที่ 3 กระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เป็นพฤติกรรมที่ผู้เรียนแสวงหาความรู้ และแก้ไขด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติทางวิทยาศาสตร์

ด้านที่ 4 การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ เป็นพฤติกรรมที่ผู้เรียนแสดงออกถึงการนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ในการแก้ไขปัญหาในสถานการณ์ที่ยังไม่ทราบคำตอบ

2. ด้านจิตพิสัย (Affective Domain) หมายถึง ข้อมูล สารสนเทศที่สะท้อนความสามารถด้านการเรียนรู้ในการจัดการอารมณ์ ความรู้สึก ค่านิยม คุณธรรม จริยธรรม และเจตคติ โดยพฤติกรรมที่สะท้อนว่าผู้เรียนสามารถเกิดการเรียนรู้ด้านจิตพิสัย คือ ผู้เรียนมีการแสดงอารมณ์ ความรู้สึก ในสถานการณ์ต่าง ๆ อย่างเหมาะสมตามบรรทัดฐานของสังคม มีความสามารถในการตัดสินใจเชิงจริยธรรม และมีค่านิยมพื้นฐานที่ได้รับการปลูกฝัง การจะทำให้พฤติกรรมของผู้เรียนเปลี่ยนไปในแนวทางที่พึงประสงค์ได้ประกอบด้วยพฤติกรรมย่อย ๆ 5 ระดับ ได้แก่

ระดับที่ 1 การรับรู้ เป็นความรู้สึกที่เกิดขึ้นต่อปรากฏการณ์ หรือสิ่งเร้าอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งเป็นไปในลักษณะของการแปลความหมายของสิ่งเร้านั้นว่าคืออะไร แล้วจะแสดงออกมาในรูปแบบของความรู้สึกที่เกิดขึ้น

ระดับที่ 2 การตอบสนอง เป็นการกระทำที่แสดงออกมาในรูปของความเต็มใจ ยินยอม และพอใจต่อสิ่งเร้านั้น ซึ่งเป็นการตอบสนองที่เกิดจากการเลือกสรรแล้ว

ระดับที่ 3 การเกิดค่านิยม การเลือกปฏิบัติในสิ่งที่เป็นที่ยอมรับกันในสังคม การยอมรับนับถือในคุณค่านั้น ๆ หรือปฏิบัติตามในเรื่องใดเรื่องหนึ่ง จนกลายเป็นความเชื่อ แล้วจึงเกิดทัศนคติที่ดีในสิ่งนั้น

ระดับที่ 4 การจัดระบบ การสร้างแนวคิด จัดระบบของค่านิยมที่เกิดขึ้นโดยอาศัยความสัมพันธ์ ถ้าเข้ากันได้ก็จะยึดถือต่อไป แต่ถ้าขัดกันอาจไม่ยอมรับอาจจะยอมรับค่านิยมใหม่ โดยยกเลิกค่านิยมเดิม

ระดับที่ 5 บุคลิกภาพ การนำค่านิยมที่ยึดถือมาแสดงพฤติกรรมที่เป็นนิสัยประจำตัว ให้ประพฤติปฏิบัติแต่สิ่งที่ถูกต้องดีงาม พฤติกรรมด้านนี้จะเกี่ยวข้องกับความรู้สึกและจิตใจ ซึ่งจะเริ่มมาจากการได้รับรู้จากสิ่งแวดล้อม แล้วจึงเกิดปฏิกิริยาโต้ตอบ ขยายกลายเป็นความรู้สึกด้านต่าง ๆ จนกลายเป็นค่านิยม และยังพัฒนาต่อไปเป็นความคิด อุดมคติ ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมทิศทางพฤติกรรมของคนให้คนรู้ตัว

3. ด้านทักษะพิสัย (Psychomotor Domain) หมายถึง ข้อมูล สารสนเทศที่แสดงถึงทักษะการปฏิบัติงานเกี่ยวกับ การเคลื่อนไหวกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ซึ่งเกิดจากการประสานงานของสมองและกล้ามเนื้อที่ใช้กันอย่างคล่องแคล่วประสานสัมพันธ์กัน ซึ่งแสดงออกมาได้โดยตรงโดยมีเวลาและคุณภาพของงานเป็นตัวชี้ระดับของพฤติกรรมด้านทักษะพิสัย ประกอบด้วยพฤติกรรมย่อย 5 ชั้น ได้แก่

ขั้นที่ 1 การรับรู้ เป็นการให้ผู้เรียนได้รับรู้หลักการปฏิบัติที่ถูกต้อง หรือเป็นการเลือกหาตัวแบบที่สนใจ

ขั้นที่ 2 กระทำตามแบบหรือเครื่องชี้แนะ เป็นพฤติกรรมที่ผู้เรียนพยายามฝึกตามแบบที่ตนสนใจและพยายามทำซ้ำ เพื่อที่จะให้เกิดทักษะตามแบบที่ตนสนใจให้ได้ หรือสามารถปฏิบัติงานได้ตามข้อแนะนำ

ขั้นที่ 3 การหาความถูกต้อง พฤติกรรมสามารถปฏิบัติได้ด้วยตนเอง โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องชี้แนะ เมื่อได้กระทำซ้ำแล้วก็พยายามหาความถูกต้องในการปฏิบัติ

ขั้นที่ 4 การกระทำอย่างต่อเนื่อง เป็นพฤติกรรมที่เกิดหลังจากตัดสินใจเลือกรูปแบบที่เป็นของตัวเองจะกระทำตามรูปแบบนั้นอย่างต่อเนื่อง จนปฏิบัติงานที่ยุ่งยากซับซ้อนได้อย่างรวดเร็วถูกต้อง คล่องแคล่ว การที่ผู้เรียนเกิดทักษะได้ต้องอาศัยการฝึกฝนและการกระทำอย่างสม่ำเสมอ

ขั้นที่ 5 การกระทำได้อย่างเป็นธรรมชาติ พฤติกรรมที่ได้จากการฝึกอย่างต่อเนื่องจนสามารถปฏิบัติได้คล่องแคล่วว่องไวโดยอัตโนมัติ เป็นไปอย่างธรรมชาติ ซึ่งถือเป็นความสามารถของการปฏิบัติในระดับสูง

จากข้อมูลดังกล่าวสรุปได้ว่า การเรียนการสอนที่จะประสบความสำเร็จและมีประสิทธิภาพนั้นจะเกิดขึ้นจากการพัฒนาในกระบวนการจัดการเรียนการสอนตามหลักสูตรและกิจกรรมเสริมหลักสูตร ตลอดจนจนประสบการณ์ต่าง ๆ ในชีวิตจริงที่ผู้เรียนได้รับ ทฤษฎีการเรียนรู้และจิตวิทยาพื้นฐานแบ่งพฤติกรรมโดยอาศัยว่ามนุษย์จะเกิดการเรียนรู้จนบรรลุตามแนวคิดของ Bloom โดยมีองค์ประกอบ 3 ด้าน คือ ด้านพุทธิพิสัย (Cognitive Domain) ด้านจิตพิสัย (Affective Domain) และด้านทักษะพิสัย (Psychomotor Domain) และเพื่อให้สอดคล้องกับการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยจึงเลือกหลักของ Klopfer (1971) ในการวัดพฤติกรรมด้านพุทธิพิสัยที่ประกอบด้วยพฤติกรรมทั้งหมด 4 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านความรู้ความจำ 2) ด้านความเข้าใจ 3) ด้านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และ 4) ด้านการนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ เพื่อใช้ในการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่

4.3 การวัดและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

การวัดและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนตามหลักสูตรแกนกลางขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 การวัดและประเมินระดับชั้นเรียน มีความเกี่ยวข้องกับผู้สอนและเป็นหัวใจสำคัญในการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ของผู้เรียน การวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นการประเมินเพื่อสรุปผลการเรียนรู้จะเกิดขึ้นเมื่อจบหน่วยการเรียนรู้ เพื่อตรวจสอบผลการเรียนรู้ของผู้เรียนตามตัวชี้วัด และยังใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบกับการประเมินก่อนเรียนทำให้ทราบพัฒนาการของผู้เรียน (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560) จากการศึกษาบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน พบว่า การวัดและประเมินด้านพุทธิพิสัยโดยการจัดสอบจากแบบทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1) แบบทดสอบแบบมาตรฐาน เป็นแบบทดสอบที่สร้างโดยผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ในเนื้อหา เช่น แบบทดสอบ TIMSS และ PISA ซึ่งมีความเที่ยงตรง (Validity) และความเชื่อมั่น (Reliability) ระดับสูง และ 2) แบบทดสอบแบบไม่ได้มาตรฐาน เป็นแบบทดสอบที่ครูสร้างขึ้นเพื่อใช้ทดสอบผู้เรียนในชั้นเรียนครอบคลุมตามตัวชี้วัด (Cohen & Chang, 2020; รัตนเกล้า ประดิษฐ์ดั่ง, 2562) สามารถใช้ได้ทั้งประเภทอัตนัย เช่น แบบทดสอบความเรียง เป็นต้น และประเภทปรนัย เช่น แบบทดสอบเลือกตอบ แบบทดสอบถูก-

ผิด แบบทดสอบจับคู่ แบบทดสอบเติมคำ เป็นต้น โดยการทดสอบแบบปรนัยเป็นการทดสอบแบบ มีกฎเกณฑ์ตายตัว คำถามแต่ละข้อวัดความสามารถเรื่องใดเรื่องหนึ่งเพียงเรื่องเดียว สามารถ นำมาวิเคราะห์และแปลความได้ดี แต่สร้างให้มีคุณภาพได้ยาก (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560; บุญญา แก้วแพทย์, 2563)

ดังนั้น จากหลักการวัดและประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของ Klopfer (1971) ผู้วิจัยจึงได้สร้างแบบทดสอบปรนัย วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรง และการเคลื่อนที่ ที่ใช้หลักของ Klopfer (1971) ในการวัดพฤติกรรม 4 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านความรู้ ความจำ 2) ด้านความเข้าใจ 3) ด้านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และ 4) ด้านการนำความรู้และ กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ จำนวน 30 ข้อ โดยให้ผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ในเนื้อหา และการ สร้างแบบทดสอบทำการตรวจสอบ ทำให้แบบทดสอบที่พัฒนาและปรับปรุงขึ้นมีคุณภาพเพื่อนำไปวัดและประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนได้



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง
2. แบบแผนในการวิจัย
3. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
4. การเก็บรวบรวมข้อมูล
5. การจัดกระทำข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล
6. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล
7. จริยธรรมวิจัย

การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

ประชากร คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 โรงเรียนในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา จังหวัดนครปฐม จำนวน 10 ห้องเรียน รวม 365 คน ที่เรียนวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่

การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างคือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 โรงเรียนในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา จังหวัดนครปฐม ซึ่งได้มาจากวิธีเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยเจาะจงห้องเรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ 1 ห้องเรียน รวม 30 คน เนื่องจากนักเรียนกลุ่มนี้มีเป็นผู้มีความสนใจและตั้งใจในการเรียนวิทยาศาสตร์ อีกทั้งยังเป็นผู้มีความรับผิดชอบต่อการเรียน มีความใฝ่รู้ และสามารถสืบค้นข้อมูลด้วยตนเอง อย่างไรก็ตามจากการสัมภาษณ์ครูผู้สอน พบว่านักเรียนกลุ่มนี้ยังมีข้อจำกัดในด้านการคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ โดยนักเรียนมักจะประดิษฐ์ชิ้นงานทางด้านวิทยาศาสตร์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ขาดความแปลกใหม่

แบบแผนในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเบื้องต้น (Pre-experiment design) มีกลุ่มตัวอย่างเพียงกลุ่มเดียว คือกลุ่มที่ศึกษา ซึ่งดำเนินการตามแบบแผนการวิจัยแบบ One group pretest-posttest design (Creswell & Plano Clark, 2018) ดังตาราง 5

ตาราง 5 แบบแผนการวิจัยเชิงปริมาณ

กลุ่ม	Pre-test	Treatment	post-test
G_1	T_1	X	T_2

สัญลักษณ์ที่ใช้ในแบบแผนการวิจัยเชิงปริมาณ

G_1	หมายถึง	กลุ่มที่ศึกษา
T_1	หมายถึง	- ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียน - ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน
X	หมายถึง	การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา
T_2	หมายถึง	- ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์หลังเรียน - ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน

การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ทั้งหมด 2 ประเภท ดังนี้

1. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง คือ แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา
หน่วยการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่

2.1 แบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

2.2 แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ผู้วิจัยดำเนินการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบและเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยมีรายละเอียดการพัฒนาเครื่องมือและการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ ดังนี้

3. ศึกษาหลักการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยผู้วิจัยเลือกใช้ขั้นตอนการสอนตามสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท., 2560) เนื่องจากแต่ละขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้มีการเน้นให้เห็นถึงความเชื่อมโยงและสนับสนุนให้นักเรียนคิด การตัดสินใจ และง่ายต่อการลงมือปฏิบัติ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา (Problem Identification)

ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา (Related Information Search)

ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Solution Design)

ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (Planning and Development)

ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Testing, Evaluation and Design Improvement)

ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Presentation)

4. ศึกษาตัวอย่างการจัดการเรียนการสอนโดยใช้แนวคิดสะเต็มศึกษาจากบทความวิจัยเพื่อกำหนดสถานการณ์ที่ใช้ในการเรียนรู้ และกำหนดความรู้ทักษะที่ใช้ในการสร้างผลงานในหน่วยการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เหตุที่เลือกเนื้อหาดังกล่าวเพราะเป็นเรื่องใกล้ตัว มีบริบทที่สอดคล้องกับจังหวัดนครปฐม ทำให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้กับชีวิตประจำวันได้ ดังตาราง 6

ตาราง 6 ลำดับแผนการจัดการเรียนรู้ จำนวนคาบเรียน สถานการณ์ และความรู้ที่ใช้สร้างผลงานของหน่วยการเรียนรู้สะสมเรื่อง แรงและการเคลื่อนที่

แผน ลำดับที่	จำนวน คาบ	สถานการณ์	ความรู้และทักษะที่ใช้ในการสร้างผลงาน
1	4	สะพานไม้ไอศกรีม (Popsicle stick Bridge) สะพานไม้ข้ามแม่น้ำท่าจีนหลายแห่งกำลังจะพังทลายชำรุดเสียหาย ชาวบ้านที่ใช้สะพานข้ามไปอีกฝั่งได้รับความเดือดร้อน บริษัท พระปฐมวิริยะ จำกัด เมื่อทราบปัญหาสะพานชำรุดจึงจัดให้มีแข่งขันการออกแบบและสร้างสะพานเพื่อคัดเลือกแบบสะพานที่มีคุณภาพมากที่สุดไปสร้างสะพานใหม่กับชาวบ้าน โดยผู้ประกอบการที่กำหนดให้นักเรียนจะต้องใช้งบอย่างคุ้มค่า สะพานใหม่ที่สร้างขึ้นต้องมีลักษณะแข็งแรง ปลอดภัย สวยงาม แสดงเอกลักษณ์ของจังหวัดนครปฐม และตั้งชื่อสะพานให้ไพเราะ	ความรู้และทักษะที่ใช้ในการสร้างผลงาน วิทยาศาสตร์ (S) 1) แรงที่กระทำต่อสะพาน 2) แผนภาพอิสระ เทคโนโลยี (T) 1) การสืบค้นข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้ออนไลน์ 2) การสร้างต้นแบบสะพานไม้ไอศกรีม วิศวกรรม (E) 1) การเลือกแบบและพัฒนาแนวคิดสะพานไม้ไอศกรีมให้สอดคล้องกับเงื่อนไขในสถานการณ์ 2) การประยุกต์ใช้หลักการและกระบวนการทางวิศวกรรมในการแก้ปัญหา 3) การทดสอบสะพานไม้ไอศกรีม และการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการสร้างและการทดสอบ ศิลปะ (A) 1) ประยุกต์ใช้สุนทรียศาสตร์ และมนุษยศาสตร์ในการสร้างสะพานไม้ไอศกรีม 2) การนำเสนอแนวคิดในการสร้างสะพานไม้ไอศกรีม คณิตศาสตร์ (M) 1) รูปทรงเรขาคณิต 2) การคำนวณ และการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ

แผน ลำดับที่	จำนวน คาบ	สถานการณ์	ความรู้และทักษะที่ใช้ในการสร้างผลงาน
2	4	Rube Goldberg สไตน์ครปฐม 1) สำนักงานการท่องเที่ยวและกีฬาจังหวัด นครปฐมร่วมกับ สพม.นครปฐม เปิดเวทีให้นักเรียนทุกคนได้ปล่อยของ! ขวมนมาโครเดียวสุดเจ๋งกับการออกแบบพิธีเปิดสุดสร้างสรรค์ในรูปแบบเครื่องจักร รูป โกลด์เบิร์ก (Rube Goldberg Machine) เพื่อส่งเสริมให้เยาวชนได้แสดงออกถึงความ คิดสร้างสรรค์และความสามารถในการนำเสนอเอกลักษณ์ของ จังหวัดนครปฐมผ่านการออกแบบพิธีเปิด ผลงานชนะเลิศมีสิทธิ์นำไปใช้จริงในการเปิดงานสำคัญของจังหวัด!	วิทยาศาสตร์ (S) 1) แรง และกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน 2) แรง และกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 3 ของนิวตัน เทคโนโลยี (T) 1) การสืบค้นข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้ออนไลน์ 2) การสร้างต้นแบบและจำลองกับ Rube Goldberg สไตน์ครปฐม วิศวกรรม (E) 1) การออกแบบและเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมสอดคล้องกับเงื่อนไข 2) ลงมือสร้าง ทดสอบการทำงานและแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ศิลปะ (A) 1) การสร้างสรรค์แนวคิดและรูปลักษณ์ Rube Goldberg ให้มีเอกลักษณ์ของ จังหวัดนครปฐม 2) การนำเสนอแนวคิดและผลงาน ในรูปแบบที่น่าสนใจ คณิตศาสตร์ (M) 1) การวัด และการคำนวณ 2) การวิเคราะห์ข้อมูล

แผน ลำดับ ที่	จำนวน คาบ	สถานการณ์	ความรู้และทักษะที่ใช้ในการสร้างผลงาน
3	4	ระบบลงจอดของยานอวกาศบนดวงจันทร์ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (สทอภ.) หรือ GISTDA ร่วมกับ Space Nakhon Pathom บริษัทการขนส่งทางอวกาศเอกชนสัญชาติไทย มีสำนักงานใหญ่อยู่ที่ฐานบินกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม จัดทำโครงการส่งยานอวกาศเข้าร่วมการแข่งขันเพื่อพัฒนาระบบลงจอดของยานอวกาศบนดวงจันทร์ให้มี ความแม่นยำ ความเร็วในการลงจอดมีค่าลดลงจนทำให้การจอดมีความปลอดภัยกับบินอวกาศและยานอวกาศ หากนักเรียนและสมาชิกภายในกลุ่มเป็นทีมวิศวกรที่บริษัท ใฝ่ใจให้รับผิดชอบในการส่งผลงานเข้าร่วมการแข่งขัน ในครั้งนี้ ยานอวกาศมีรูปทรงที่สวยงามเหมาะกับการใช้งาน วัสดุที่ใช้สร้างมีความเหมาะสม สัญลักษณ์ที่สื่อถึงจังหวัดนครปฐม และต้องตั้งชื่อดาวเทียมให้เพราะ	วิทยาศาสตร์ (S) 1) แรงดึงดูดระหว่างมวล 2) แรงโน้มถ่วง เทคโนโลยี (T) 1) การสืบค้นข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้ออนไลน์ 2) การใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์การลงจอดของยานอวกาศบนดวงจันทร์ วิศวกรรม (E) 1) การออกแบบและเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมสอดคล้องกับเงื่อนไข 2) ลงมือสร้าง ทดสอบการทำงานและแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ศิลปะ (A) 1) การสร้างสรรค์แนวคิดและรูปลักษณ์ ของยานอวกาศบนดวงจันทร์ให้มีเอกลักษณ์ของจังหวัดนครปฐม 2) การนำเสนอระบบลงจอดของยานอวกาศบนดวงจันทร์ คณิตศาสตร์ (M) 1) การแก้สมการ 2) การวิเคราะห์ข้อมูล

แผน ลำดับที่		จำนวน คาบ	สถานการณ์	ความรู้และทักษะที่ใช้ในการสร้างผลงาน
4	4		รถแข่งฝึก ตลาดปฐมนมงคล จังหวัดนครปฐม มีการจัด แข่งขันรถแข่งฝึกขนาดความกว้างxยาวxสูง ไม่เกิน 10x15x10 เซนติเมตร ตามลำดับ มี ส่วนประกอบของรถอย่างน้อย 3 ส่วนที่มี ลักษณะเป็นรูปทรงเรขาคณิต ในหัวข้อ “ฝึก พาหนะแห่งอนาคต” โรงเรียนพระปฐมวิทยาลัยจึงคัดเลือกทีมนักเรียนเป็นตัวแทนเข้าร่วมการแข่งขัน เพื่อให้ให้นักเรียนฝึกทักษะการออกแบบกระบวนการทางวิศวกรรมและมีความคิดสร้างสรรค์	วิทยาศาสตร์ (S) 1) กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน 2) แรงเสียดทาน เทคโนโลยี (T) 1) การสืบค้นข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้ออนไลน์ 2) การสร้างต้นแบบของรถแข่งฝึก วิศวกรรม (E) 1) การกำหนดโครงสร้าง กลไกของรถ และการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมสอดคล้องกับเงื่อนไข 2) ลงมือสร้าง ทดสอบการทำงานและแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ศิลปะ (A) 1) การสร้างสรรค์รูปลักษณะภายนอกของรถแข่งฝึก ให้มีเอกลักษณ์ของจังหวัดนครปฐม 2) การนำเสนอเรื่องราวเกี่ยวกับแนวคิดในการสร้างรถแข่งฝึก
				คณิตศาสตร์ (M) 1) การวัดและปริมาตร 2) รูปทรงเรขาคณิต

5. ดำเนินการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้ หน่วยการเรียนรู้สะเต็ม เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ จำนวน 4 แผน จำนวน 16 คาบเรียน ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้เนื้อหาทางศิลปะเพื่อช่วยขยายขอบเขตของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ให้ครอบคลุมถึงความสวยงามสุนทรีภาพ การออกแบบ การสื่อสาร และการเชื่อมโยงกับมิติทางวัฒนธรรมและสังคม ในองค์ประกอบของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ประยุกต์กับสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตจริง ดังตาราง 7

ตาราง 7 โครงสร้างของแผนการจัดการเรียนรู้หน่วยการเรียนรู้สะเต็ม ในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่

แผนที่	สถานการณ์	จำนวนคาบ
1	สถานการณ์ที่ 1 สะพานไม้ไผ่ศุกริม	4
2	สถานการณ์ที่ 2 Rube Goldberg สไตร์ไลน์ครบรูป	4
3	สถานการณ์ที่ 3 ระบบลงจอดของยานอวกาศบนดวงจันทร์	4
4	สถานการณ์ที่ 4 รถแข่งผัก	4
รวม		16 คาบ

6. นำแผนการจัดการเรียนรู้ หน่วยการเรียนรู้สะเต็ม เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ที่ผู้วิจัยทำขึ้นจำนวน 4 แผน เสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท พิจารณาความถูกต้องเนื้อหาสาระที่ใช้ในการทำกิจกรรม ความสอดคล้องระหว่างผลการเรียนรู้ เนื้อหาสาระ การจัดกิจกรรม และประเมินผลของแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา และตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของการใช้ภาษา จากนั้นนำแผนการจัดการเรียนรู้มาปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท

ข้อเสนอแนะของอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโทในการตรวจสอบแผนการจัดการเรียนรู้สรุปได้ดังนี้

- 1) สถานการณ์ที่นำมาใช้ควรมีความสอดคล้องกับเนื้อหาเรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ และมีความเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของนักเรียน
- 2) ในการกำหนดจุดประสงค์ของแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ควรเพิ่มเติมเกี่ยวกับศิลปะเพิ่มเข้าไปให้ชัดเจน

3) ในแต่ละขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ ควรเน้นพฤติกรรมของนักเรียนที่จะแสดงออก ครูผู้สอนควรสร้างความสนใจให้กับผู้เรียน โดยที่ครูควรเป็นผู้นำนักเรียนในการเรียนรู้

4) ชั้นระบุปัญหาของแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้หลังจากที่ครูกระตุ้นความสนใจด้วยการเปิดวิดีโอให้นักเรียนดู ครูควรตั้งคำถามเพื่อให้นักเรียนรับฟัง และติดตามเนื้อหาจากสื่อ

5) ชั้นการประเมินผลชิ้นงาน ควรมีการเพิ่มประเด็นการประเมินด้านศิลปะให้ชัดเจน

7. นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ได้แก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโทแล้วให้ผู้เชี่ยวชาญ ด้านวิทยาศาสตร์ศึกษาและการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา จำนวน 3 ท่าน เพื่อพิจารณาตรวจสอบค่าดัชนีความตรง (Index of Item Objective Congruence: IOC) ความสอดคล้องระหว่างผลการเรียนรู้ ความถูกต้องของเนื้อหาสาระที่ใช้ในการจัดกิจกรรม การจัดกิจกรรมการเรียนการสอน และการประเมินผลของแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา และตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของการใช้ภาษา โดยมีเกณฑ์ดังนี้

+1 หมายถึง แน่ใจว่าแผนการจัดการเรียนรู้นั้นมีความสอดคล้อง ความเหมาะสมด้านภาษา และการนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้กับนักเรียน

0 หมายถึง ไม่แน่ว่าแผนการจัดการเรียนรู้นั้นมีความสอดคล้อง ความเหมาะสมด้านภาษา และการนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้กับนักเรียน

-1 หมายถึง แน่ใจว่าแผนการจัดการเรียนรู้นั้นไม่มีความสอดคล้อง ไม่มีความเหมาะสมด้านภาษา และไม่ควรมนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้กับนักเรียน

พิจารณาค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้เชี่ยวชาญ (IOC) ในแต่ละประเด็นของทุกแผนการเรียน (อาฟีพี ลาเต๊ะ, 2565) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.67-1.00 แสดงว่า แผนจัดการเรียนรู้มีความสอดคล้องและพร้อมที่จะนำไปใช้ได้ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการปรับแก้ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ โดยผู้วิจัยได้ปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญดังนี้

1) ด้านกิจกรรมการเรียนรู้ ผู้เชี่ยวชาญให้ปรับลดการคำนวณและให้เพิ่มการคิดวิเคราะห์และการสร้างสรรค์ผลงานให้มากขึ้นในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 ผู้วิจัยได้ปรับลดตัวอย่างการคำนวณ โดยเน้นไปที่ตัวอย่างโจทย์คำนวณที่สอดคล้องกับสถานการณ์ และเพิ่มคำถามที่กระตุ้นให้นักเรียนเกิดการคิดมากขึ้น

2) ด้านการประเมินผลการเรียนรู้ ผู้เชี่ยวชาญให้ปรับการประเมินให้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้มากขึ้นในทุกแผนการจัดการเรียนรู้ โดยปรับให้ rubric ให้จำเพาะกับกิจกรรมและจุดเน้นที่ต้องการจริง ๆ ผู้วิจัยได้ระบุกิจกรรมการทดสอบและเกณฑ์การประเมินกิจกรรมให้ชัดเจน

8. นำแผนการจัดการเรียนรู้มาปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ และนำเสนอให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้ง

9. นำแผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ปีการศึกษา 2567 ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 40 คน ที่เป็นเด็กเก่ง ปานกลาง และอ่อนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ผลการทดลองใช้แผนการจัดการเรียนรู้พบประเด็นที่ต้องปรับปรุงและแก้ไข ดังนี้

1) ปรับแบบบันทึกกิจกรรมสำหรับสถานการณ์ของแผนการเรียนรู้ที่ 1-4 ให้เหมาะสมกับการตอบคำถามในชั้นระบุนปัญหา เพื่อพัฒนาความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ โดยปรับให้นักเรียนเขียนคำตอบลงในกระดาษเปล่าแทนการเติมในแบบบันทึกกิจกรรม ซึ่งจะทำให้นักเรียนไม่เห็นคำถามก่อนการจับเวลา

2) ปรับเวลาในการทดสอบชิ้นงานในแผนการเรียนรู้ที่ 1 เนื่องจากการสร้างสะพานไม้ไผ่เสริมโดยใช้การร้อยอาจจะต้องใช้เวลาเพื่อให้กาวแห้ง โดยอาจปรับให้นักเรียนเตรียมบทพูดนำเสนอชิ้นงานก่อน แล้วค่อยทดสอบและแก้ไขผลงานในคาบเรียนถัดไป

3) รายละเอียดในการปรับแก้รายแผน

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 ในการจัดการเรียนรู้ขั้นที่ 1 ชั้นระบุนปัญหา สถานการณ์ที่ครูกำหนดยังไม่ชัดเจน สังเกตได้จากที่นักเรียนยังต้องถามว่า ไม้ไผ่เสริมต้องไม่ซ้อนกันเป็นชั้น ๆ หมายความว่าอย่างไร

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 ในการจัดการเรียนรู้ขั้นที่ 1 ชั้นระบุนปัญหา สถานการณ์ที่ครูกำหนดยังไม่ชัดเจน สังเกตได้จากที่นักเรียนยังต้องถามว่า ในการสร้าง Rube Goldberg สไตล์นครปฐม ให้วัตถุเคลื่อนที่ตกลงมาจากความสูง 100 เซนติเมตร จะต้องวางวัตถุไว้ ณ ความสูง 100 เซนติเมตรเลยหรือไม่ หรือสามารถปล่อยวัตถุจากความสูงอื่นแล้วถึงจับเวลา ณ ความสูง 100 เซนติเมตร และในการจัดการเรียนรู้ขั้นที่ 5 ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน เวลาล้นย สังเกตได้จากนักเรียนยังไม่สามารถทดสอบประสิทธิภาพของชิ้นงานได้สำเร็จแต่หมดเวลาก่อน

10. นำผลการทดลองใช้แผนการจัดการเรียนรู้เสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

11. นำแผนการจัดการเรียนรู้มาปรับปรุงแก้ไขอีกครั้งแล้วนำไปใช้จริงกับกลุ่มตัวอย่าง โดยผู้วิจัยได้ปรับแก้แผนการจัดการเรียนรู้ดังนี้

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 ผู้วิจัยได้ปรับแก้สื่อการสอนให้มีความครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 ในการจัดการเรียนรู้ขั้นที่ 1 ชั้นระบุปัญหา สถานการณ์ที่ครูกำหนดยังไม่ชัดเจน ผู้วิจัยได้ปรับแก้จากการแสดงรูปจากสื่อการสอนและพูดอธิบายให้นักเรียนปล่อยวัตถุที่ความสูง 100 เซนติเมตรเหมือนกันทุกกลุ่ม และการจัดการเรียนรู้ขั้นที่ 5 ขั้นทดสอบประเมินผล เวลานั้นไม่สามารถบันทึกผลการทำกิจกรรมได้ ผู้วิจัยปรับแก้จากให้นักเรียน 2 กลุ่มจับคู่ และทำการทดสอบพร้อมกันแทนการนำทดสอบรายกลุ่ม โดยให้แต่ละกลุ่มบันทึกวิธีติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุระหว่างการทดสอบและบันทึกเวลาการเคลื่อนที่ของฝั่งตรงข้ามด้วย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลสำหรับการวิจัยครั้งนี้ คือ แบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ และแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน มีข้อคำถามสอดคล้องกับเนื้อหาในวิชาฟิสิกส์ เรื่องแรงและการเคลื่อนที่ มีขั้นตอนในการพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้

1. แบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

1.1 ศึกษาบทความวิชาการ Torrance (1977) และบทความวิจัยของ Hu & Adey (2002) และ Aktamis et al. (2008) เป็นหลัก ซึ่งเป็นเอกสารในต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการวัดและประเมินความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบและกำหนดตัวชี้วัดพฤติกรรมที่ใช้สร้างแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ได้ข้อความตัวชี้วัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ดังตาราง 8

ตาราง 8 องค์ประกอบและตัวชี้วัดพฤติกรรมของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

องค์ประกอบ	ตัวชี้วัดพฤติกรรม
ความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์	ผู้เรียนความสามารถการคิดหาทางแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ที่กำหนดโดยมีความเป็นไปได้ทางวิทยาศาสตร์ในการคิดให้ได้คำตอบได้ถูกต้องและมีจำนวนมากที่สุดในเวลาจำกัด
ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์	ผู้เรียนความสามารถที่จะคิดหาคำตอบในทางวิทยาศาสตร์ได้ถูกต้องและมีหลากหลายหมวดหมู่หรือมีหลายแนวทาง
ความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์	ผู้เรียนความสามารถการคิดหาทางแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ที่กำหนดโดยนำหลักการทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการคิดให้ได้คำตอบแปลกใหม่ แตกต่างไปจากความคิดของคนส่วนใหญ่

1.2 สร้างแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ฉบับก่อนเรียนและฉบับหลังเรียนซึ่งเป็นแบบวัดคู่ขนานกัน ให้สอดคล้องกับตัวชี้วัดพฤติกรรม โดยเป็นข้อสอบอัตนัยจำนวน 12 ข้อ โดยข้อ 1-8 ใช้เวลาข้อละ 3 นาที วัดทั้ง 3 องค์ประกอบคือ วัดความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ เลือกใช้ 4 ข้อ หลังจากผ่านการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ และข้อ 9-12 ให้เวลาทำแบบวัดทั้งภายในเวลา 33 นาที วัดความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์เลือกใช้ 2 ข้อ หลังจากผ่านการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ

1.3 สร้างเกณฑ์การให้คะแนนของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยเลือกใช้เกณฑ์การให้คะแนนของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์โดยอาศัยภาษาของ Torrance (1990) และ Aktamis et al. (2008) เนื่องจากมีการกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนได้อย่างละเอียดและครอบคลุมองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ได้ 3 องค์ประกอบ รายละเอียดดังตาราง 9

ตาราง 9 เกณฑ์การให้คะแนนของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ตามเกณฑ์ของ Torrance และ Aktamis et al.

องค์ประกอบ	เกณฑ์การให้คะแนน	ระดับ ความสามารถ
ความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ จำนวน 4 ข้อ ข้อละ 4 คะแนน (ข้อ 1-4)	พิจารณาจากคำตอบทั้งหมดที่สอดคล้องกับข้อคำถาม และเป็นคำตอบที่ไม่ซ้ำ ไม่ว่าคำตอบนั้นจะซ้ำกับคำตอบของผู้อื่นหรือไม่ (แต่ต้องไม่ซ้ำกับคำตอบของตนเอง) ทำภายในเวลาที่กำหนด ให้คะแนนคำตอบที่เป็นไปได้ คำตอบละ 1 คะแนน โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนตามจำนวนคำตอบที่สอดคล้องกับข้อคำถามดังนี้	
	1. คำตอบ 10 คำตอบขึ้นไป ได้ 4 คะแนน	ดีมาก
	2. คำตอบ 7-9 คำตอบ ได้ 3 คะแนน	ดี
	3. คำตอบ 4-6 คำตอบ ได้ 2 คะแนน	พอใช้
	4. คำตอบ 1-3 คำตอบ ได้ 1 คะแนน	ควรปรับปรุง

ตาราง 9 (ต่อ)

องค์ประกอบ	เกณฑ์การให้คะแนน	ระดับ ความสามารถ
ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ จำนวน 6 ข้อ ข้อละ 4 คะแนน (ข้อ 1-6)	พิจารณาจากจำนวนกลุ่มหรือจำนวนประเภทของคำตอบที่สอดคล้องกับข้อคำถาม โดยนำคำตอบที่ให้คะแนนความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ไปแล้วมาจัดกลุ่มหรือประเภท คำตอบใดเป็นคำตอบที่อยู่ในกลุ่มหรือประเภทเดียวกัน หรือความหมายอย่างเดียวกัน แล้วตรวจนับให้คะแนนตามจำนวนกลุ่มที่จัดไว้ โดยให้คะแนนกลุ่มละ 1 คะแนน นับจำนวนกลุ่มหรือแนวทางของคำตอบที่ไม่ซ้ำ และมีความเป็นไปได้โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนตามจำนวนคำตอบที่สอดคล้องกับข้อคำถามดังนี้ 1. กลุ่มคำตอบ 6 กลุ่มขึ้นไป ได้ 4 คะแนน 2. กลุ่มคำตอบ 4-5 กลุ่ม ได้ 3 คะแนน 3. กลุ่มคำตอบ 2-3 กลุ่ม ได้ 2 คะแนน 4. กลุ่มคำตอบ 1 กลุ่ม ได้ 1 คะแนน	ดีมาก ดี พอใช้ ควรปรับปรุง
ความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ จำนวน 6 ข้อ ข้อละ 4 คะแนน (ข้อ 1-6)	พิจารณาจากความถี่ของคำตอบที่เป็นความคิดแปลก ไม่ซ้ำ คำตอบใดที่กลุ่มที่ศึกษาตอบซ้ำกันมาก ๆ ก็ให้คะแนนน้อยหรือไม่ได้คะแนนเลย แต่ถ้าคำตอบซ้ำกับคนอื่นน้อยหรือไม่ซ้ำกับคนอื่นเลยก็ให้คะแนนมากขึ้น โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้ 1. คำตอบที่มีผู้ตอบ 1 คน ได้ 4 คะแนน 2. คำตอบที่มีผู้ตอบ 2-3 คน ได้ 3 คะแนน 3. คำตอบที่มีผู้ตอบ 4-6 คน ได้ 2 คะแนน 4. คำตอบที่มีผู้ตอบตั้งแต่ 7 คนขึ้นไป ได้ 1 คะแนน	ดีมาก ดี พอใช้ ควรปรับปรุง
รวมทั้งหมด	64 คะแนน	

1.4 กำหนดช่วงคะแนนร้อยละและระดับความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ โดยนำคะแนนที่ได้จากการตอบคำถามทั้งหมดมาแปลผลเป็นระดับความสามารถ โดยกำหนดช่วงคะแนนร้อยละและระดับความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ได้ดังตาราง 10

ตาราง 10 ช่วงคะแนนร้อยละและระดับความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

ช่วงคะแนนร้อยละ	ระดับความสามารถ
76-100	ดีมาก
51-75	ดี
26-50	พอใช้
0-25	ควรปรับปรุง

1.5 นำแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ฉบับก่อนเรียนและฉบับหลังเรียนซึ่งเป็นแบบวัดคู่ขนานกัน รวมทั้งเกณฑ์การประเมินความคิดสร้างสรรค์ที่สร้างขึ้นเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ตรวจสอบความสอดคล้อง ความถูกต้องความเหมาะสมของข้อคำถาม ตัวชี้วัดพฤติกรรม และการใช้ภาษา จากนั้นนำมาปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท

ข้อเสนอแนะของอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโทในการตรวจสอบแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ สรุปได้ดังนี้

1) ปรับสถานการณ์ให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยผู้วิจัยได้ปรับแก้ข้อคำถามที่ 9 จากให้นักเรียนเขียนวิธีการเปรียบเทียบผ้าเช็ดปาก 2 แบบ นักเรียนจะทดสอบอย่างไรว่าผ้าเช็ดปากแบบใดดีกว่า ปรับเป็นหากลีกล้วย 2 ชนิด นักเรียนจะทดสอบอย่างไรว่ากล้วยชนิดใดดีกว่า

2) ปรับข้อความเพื่อให้ชัดเจนกับจุดประสงค์การวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ไม่ใช่ความคิดสร้างสรรค์ปกติ

1.6 นำแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ฉบับก่อนเรียนและฉบับหลังเรียนซึ่งเป็นแบบวัดคู่ขนานกัน รวมทั้งเกณฑ์การประเมินความคิดสร้างสรรค์ที่ได้แก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโทแล้วให้ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษาและด้านการวัดและประเมินผล จำนวน 3 ท่าน เพื่อพิจารณาตรวจสอบค่าดัชนีความตรง (Index of Item Objective Congruence: IOC) ความเหมาะสมของการใช้ภาษา และตรวจสอบความถูกต้องของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ทั้งฉบับก่อนเรียนและฉบับหลังเรียน โดยมีเกณฑ์ดังนี้

- +1 หมายถึง แน่ใจว่าข้อคำถามข้อนั้นมีความชัดเจน สอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด และมีความเหมาะสมของข้อคำถามกับเวลาที่ใช้ในการวัดองค์ประกอบความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์
- 0 หมายถึง ไม่แน่ใจว่าข้อคำถามข้อนั้นมีความชัดเจน สอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด และมีความเหมาะสมของข้อคำถามกับเวลาที่ใช้ในการวัดองค์ประกอบความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์
- 1 หมายถึง แน่ใจว่าข้อคำถามข้อนั้นไม่มีความชัดเจน ไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด และมีความไม่เหมาะสมของข้อคำถามกับเวลาที่ใช้ในการวัดองค์ประกอบความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

พิจารณาคำตัดสินความสอดคล้องของผู้เชี่ยวชาญ (IOC) ในแต่ละข้อของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ (อาพีพี อาเต๊ะ, 2565) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.67-1.00 แสดงว่า แบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์มีความสอดคล้องและพร้อมที่จะนำไปใช้ได้ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการปรับแก้ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ โดยผู้วิจัยได้ปรับปรุงแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญดังนี้

1) ปรับแก้เวลาที่ใช้ในการตอบคำถามของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ดังนี้ ข้อที่ 5-6 จากเวลารวม 33 นาที เป็น 23 นาที ทำให้เวลาที่ใช้ในการสอบทั้งหมดจาก 45 นาที เป็น 35 นาที

2) ปรับแก้ข้อคำถามให้มีความชัดเจน เช่น คำถามข้อที่ 2 ถ้านักเรียนมีโอกาสนั่งยานอวกาศไปนอกโลกและไปที่ดาวดวงอื่น คำถามทางวิทยาศาสตร์ที่นักเรียนอยากศึกษามีอะไรบ้าง ข้อคำถามกว้างเกินไปควรเน้นประเด็นข้อคำถามให้มีความเจาะจงเพื่อให้ นักเรียนตอบได้ตรงประเด็นมากขึ้น ผู้วิจัยได้ปรับข้อคำถามจากนั่งยานอวกาศไปนอกโลกและไปที่ดาวดวงอื่นเป็นดาวอังคาร เป็นเป้าหมายในการสำรวจแทน

1.7 นำข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ ทั้ง 3 ท่าน มาปรับปรุงแก้ไขแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ฉบับก่อนเรียนและฉบับหลังเรียนซึ่งเป็นแบบวัดคู่ขนานกัน และเกณฑ์การประเมินอีกครั้ง

1.8 นำแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ฉบับก่อนเรียนและฉบับหลังเรียนซึ่งเป็นแบบวัดคู่ขนานกัน รวมทั้งเกณฑ์การประเมินความคิดสร้างสรรค์ไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ปีการศึกษา 2567 ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 40 คน แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ เพื่อตรวจสอบคุณภาพแบบวัดรายข้อในด้านคำตัดสินความยาก คำตัดสิน

อำนาจจำแนก (Whitney & Sabers, 1970) โดยแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ฉบับก่อนเรียนมีค่าดัชนีความยากระหว่าง 0.44-0.70 มีค่าดัชนีอำนาจจำแนกระหว่าง 0.41-0.51 และแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ฉบับหลังเรียนมีค่าดัชนีความยากระหว่าง 0.53-0.73 มีค่าดัชนีอำนาจจำแนกระหว่าง 0.45-0.65 ตรวจสอบความเชื่อมั่นของข้อสอบด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนของข้อสอบคู่ขนานทั้งสองชุด (Correlation Coefficient between Parallel Forms) (ชูศรี วงศ์รัตนะ, 2564) มีค่าเท่ากับ 0.78

1.9 นำผลการทดลองใช้แบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ที่ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ปรับแก้ไข และนำไปใช้จริงกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง

2. แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

2.1 ศึกษาแนวทางการวัดและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จากเอกสารทั้งในและต่างประเทศ เพื่อกำหนดพฤติกรรมที่ต้องการวัดของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและตัวชี้วัดพฤติกรรม ดังตาราง 11

ตาราง 11 พฤติกรรมที่ต้องการวัดและตัวชี้วัดพฤติกรรม ตามหลักของ Klopfer

องค์ประกอบ	ตัวชี้วัดพฤติกรรม
ความรู้ความจำ	พฤติกรรมที่ผู้เรียนแสดงออกถึงความสามารถในการจำถึงข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ได้เรียนรู้จากการค้นคว้าด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การอ่านหนังสือ หรือฟังบรรยาย
ความเข้าใจ	พฤติกรรมที่ผู้เรียนสามารถเข้าใจความรู้ทางวิทยาศาสตร์และแสดงออกมาซึ่งความเข้าใจออกมาในรูปแบบต่าง ๆ
กระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์	พฤติกรรมที่ผู้เรียนแสวงหาความรู้ และแก้ไขด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติทางวิทยาศาสตร์
การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้	พฤติกรรมที่ผู้เรียนแสดงออกถึงการนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ในการแก้ไขปัญหาในสถานการณ์ที่ยังไม่ทราบคำตอบ

2.2 กำหนดสัดส่วนของพฤติกรรมที่ต้องการวัด ทั้ง 4 ด้าน ให้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ เพื่อกำหนดรูปแบบของแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยเป็นข้อสอบปรนัย 5 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ ใช้เวลาทำ 50 นาที ซึ่งมีจำนวนข้อของแบบทดสอบ ดังตาราง 12

ตาราง 12 จำนวนข้อของแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่

ผลการเรียนรู้	ระดับพฤติกรรมที่ต้องการวัด				รวม
	ความรู้ความจำ	ความเข้าใจ	กระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์	การนำความรู้และกระบวนการไปใช้ทางวิทยาศาสตร์ได้	
1. อธิบายแรงและผลของแรงลัพธ์ที่มีต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ รวมทั้งทดลองหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน	4	4	2	4	14
2. เขียนแผนภาพของแรงที่กระทำต่อวัตถุอิสระ และอธิบายกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันและการใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันกับสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ รวมทั้งทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่งตามกฎข้อที่สองของนิวตัน	4	4	2	6	16
3. อธิบายกฎความโน้มถ่วงสากลและผลของสนามโน้มถ่วงที่ทำให้วัตถุมีน้ำหนัก รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง	2	4	4	4	14
4. วิเคราะห์และอธิบายแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่ง ๆ ในกรณีที่วัตถุหยุดนิ่งและวัตถุเคลื่อนที่ รวมทั้งทดลองหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่ง ๆ และนำความรู้เรื่องแรงเสียดทานไปใช้ในชีวิตประจำวัน	2	4	4	6	16
จำนวนข้อสอบทั้งหมด	12	16	12	20	60

2.3 สร้างแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฉบับก่อนเรียนและฉบับหลังเรียนซึ่งเป็นแบบวัดคู่ขนานกัน แบบปรนัย 5 ตัวเลือก จำนวน 60 ข้อ เลือกใช้ 30 ข้อ ให้อาจารย์ทำแบบวัดทั้งภายในเวลา 60 นาที ให้สอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัดทั้ง 4 ด้าน

2.4 นำแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฉบับก่อนเรียนและฉบับหลังเรียนที่สร้างขึ้นเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโทตรวจสอบความสอดคล้อง ความถูกต้องความเหมาะสมของเนื้อหา ตัวชี้วัดพฤติกรรม และการใช้ภาษา จากนั้นนำมาปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท

ข้อเสนอแนะของอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโทในการตรวจสอบแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน สรุปได้ดังนี้

- 1) ปรับข้อคำถามให้มีความถูกต้องชัดเจน เพื่อให้ให้นักเรียนเกิดความเข้าใจที่ตรงกัน
- 2) ปรับพฤติกรรมที่ต้องการวัดให้มีความครอบคลุมทุกประเด็นในแต่ละผลการเรียนรู้

2.5 นำแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฉบับก่อนเรียนและฉบับหลังเรียนที่ได้แก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโทแล้วให้ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษาและด้านการวัดและประเมินผล จำนวน 3 ท่าน เพื่อพิจารณาคัดค้านี้ความตรง (Index of Item Objective Congruence: IOC) ความเหมาะสมของการใช้ภาษา และตรวจสอบความถูกต้องของแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทั้งฉบับก่อนเรียนและฉบับหลังเรียน โดยมีเกณฑ์ดังนี้

- | | |
|------------|--|
| +1 หมายถึง | แน่ใจว่าข้อคำถามข้อนั้นมีความชัดเจน สอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด |
| 0 หมายถึง | ไม่แน่ใจว่าข้อคำถามข้อนั้นมีความชัดเจน สอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด |
| -1 หมายถึง | แน่ใจว่าข้อคำถามข้อนั้นไม่มีความชัดเจน ไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด |

พิจารณาคัดค้านี้ความสอดคล้องของผู้เชี่ยวชาญ (IOC) ในแต่ละข้อของแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฉบับก่อนเรียนและฉบับหลังเรียน (อาพีพี อาเต๊ะ, 2565) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.67-1.00 แสดงว่า แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทั้งฉบับก่อนเรียนและฉบับหลังเรียนมีความสอดคล้องและพร้อมที่จะนำไปใช้ได้ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการปรับแก้ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ โดยผู้วิจัยได้ปรับปรุงแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญดังนี้

1) ด้านความชัดเจนของข้อคำถาม ปรับภาษาให้สื่อความชัดเจนและแก้ไขคำที่สะกดคำให้ความถูกต้อง ผู้วิจัยได้ตรวจสอบความถูกต้องของการสะกดคำและแก้ไขให้ถูกต้อง

2) ด้านความเหมาะสมของข้อคำถามกับเนื้อหา ปรับตัวเลือกของข้อ 48 จากตอนแรกที่มีตัวเลือกที่ถูกต้อง 2 ตัวเลือกให้เหลือตัวเลือกที่ถูกต้องเพียงตัวเดียว

2.6 นำข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน มาปรับปรุงแก้ไขแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฉบับก่อนเรียนและฉบับหลังเรียน และนำมาปรึกษากับอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์อีกครั้ง

2.7 นำแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฉบับก่อนเรียนและฉบับหลังเรียนที่ปรับปรุงแก้ไขแล้ว ไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 ณ โรงเรียนเดียวกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 40 คน ซึ่งเป็นนักเรียนที่เคยผ่านการเรียน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่มาแล้ว เพื่อตรวจสอบคุณภาพแบบวัดรายข้อในด้านค่าดัชนีความยาก ค่าดัชนีอำนาจจำแนก (อาพีพี อาเต๊ะ, 2565) โดยแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฉบับก่อนเรียนมีค่าดัชนีความยากระหว่าง 0.44-0.70 มีดัชนีค่าอำนาจจำแนกระหว่าง 0.30-0.70 และแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฉบับหลังเรียนมีค่าดัชนีความยากระหว่าง 0.44-0.70 มีค่าดัชนีอำนาจจำแนกระหว่าง 0.30-0.80 ตรวจสอบความเชื่อมั่นของข้อสอบด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนของข้อสอบคู่ขนานทั้งสองชุด (Correlation Coefficient between Parallel Forms) (ชูศรี วงศ์รัตนะ, 2564) มีค่าเท่ากับ 0.95

2.8 นำผลการทดลองใช้แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ปรับแก้ไข และนำไปใช้จริงกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวน 3 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 ระยะของการเก็บรวบรวมข้อมูลก่อนการทดลอง

1. ดำเนินการขอความร่วมมือกับทางโรงเรียนที่จะทำการทดลอง โดยชี้แจงกิจกรรมให้กับทางโรงเรียนทราบทั้งในเรื่องของจุดประสงค์และแนวทางปฏิบัติในการเก็บผลการวิจัย

2. ชี้แจงข้อมูลเกี่ยวกับการวิจัยให้กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่างก่อนเข้าร่วมการวิจัยและให้ผู้ปกครองของนักเรียนกลุ่มตัวอย่างลงนามในหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย พร้อมทั้งอธิบายแนวปฏิบัติให้นักเรียนกลุ่มตัวอย่างรับทราบ

3. ดำเนินการให้กลุ่มตัวอย่างทดสอบก่อนเรียนทั้งแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ และแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ระยะที่ 2 ระยะดำเนินการทดลอง

1. ผู้วิจัยดำเนินการทดลอง โดยจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ โดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้จำนวน 4 แผน แผนละ 4 ชั่วโมง รวม 16 ชั่วโมง

2. นักเรียนกลุ่มตัวอย่างสามารถขอถอนสิทธิการเข้าร่วมได้ตลอดเวลา และจะไม่นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมวิจัยที่ถอนสิทธิมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ระยะที่ 3 ระยะของการเก็บรวบรวมข้อมูลหลังการทดลอง

1. หลังจากที่ได้จัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่กับกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยดำเนินการให้กลุ่มตัวอย่างทดสอบหลังเรียนทั้งแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ และแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

2. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ โดยเก็บรักษาข้อมูลต่าง ๆ ของนักเรียนกลุ่มตัวอย่างเป็นความลับ และมีการใช้รหัสหรือชื่อแทนข้อมูลจริงของนักเรียนกลุ่มตัวอย่างเพื่อปกป้องข้อมูลของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง

การจัดกระทำข้อมูลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล

ในงานวิจัยนี้มีการวิเคราะห์ข้อมูล จากการเก็บข้อมูลจากแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ และแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ดังนี้

1. ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ นำคะแนนของผู้เรียนไปหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยร้อยละ และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ทั้งภาพรวมและรายองค์ประกอบ

2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน นำคะแนนของผู้เรียนไปหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยร้อยละ และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. สถิติที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ ได้แก่

1.1 การตรวจสอบความเที่ยงตรง (Validity) ด้วยค่าความสอดคล้อง (Index of Item Objective Congruence: IOC) (อาพีพี อาเต๊ะ, 2565) คำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

เมื่อ IOC หมายถึง ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์การเรียนรู้ หรือพฤติกรรมที่ต้องการวัด

$\sum R$ หมายถึง ผลรวมของคะแนนการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญ

N หมายถึง จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

1.2 การวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p_e) ของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทาง วิทยาศาสตร์ เป็นข้อสอบอัตนัย (Whitney & Sabers, 1970) คำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$p_e = \frac{S_U + S_L - (nX_{min})}{2n(X_{max} - X_{min})}$$

เมื่อ p_e หมายถึง ค่าความยากง่าย

S_U หมายถึง ผลรวมของคะแนนกลุ่มผ่านเกณฑ์ที่ตอบถูก

S_L หมายถึง ผลรวมของคะแนนกลุ่มไม่ผ่านเกณฑ์ที่ตอบถูก

X_{min} หมายถึง คะแนนของนักเรียนที่ทำได้น้อยที่สุด

X_{max} หมายถึง คะแนนของนักเรียนที่ทำได้ดีที่สุด

n หมายถึง จำนวนนักเรียนทั้งหมด

1.3 การวิเคราะห์ค่าอำนาจจำแนก (D) ของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทาง วิทยาศาสตร์ เป็นข้อสอบอัตนัย (Whitney & Sabers, 1970) คำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$D = \frac{S_U + S_L}{n(X_{max} - X_{min})}$$

เมื่อ D หมายถึง ค่าอำนาจจำแนก

S_U หมายถึง ผลรวมของคะแนนกลุ่มผ่านเกณฑ์ที่ตอบถูก

S_L หมายถึง ผลรวมของคะแนนกลุ่มไม่ผ่านเกณฑ์ที่ตอบถูก

X_{min} หมายถึง คะแนนของนักเรียนที่ทำได้น้อยที่สุด

X_{max} หมายถึง คะแนนของนักเรียนที่ทำได้ดีที่สุด

n หมายถึง จำนวนนักเรียนทั้งหมด

1.4 การวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) ของแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (อาพีพี อาเต๊ะ, 2565) คำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$p = \frac{R}{n}$$

เมื่อ	p	หมายถึง	ค่าความยากง่าย
	R	หมายถึง	จำนวนนักเรียนที่ตอบถูก
	n	หมายถึง	จำนวนนักเรียนทั้งหมด

1.5 การวิเคราะห์ค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน (อาพีพี อาเต๊ะ, 2565) คำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$r = \frac{U}{n_1} - \frac{L}{n_2}$$

เมื่อ	r	หมายถึง	ค่าอำนาจจำแนก
	U	หมายถึง	จำนวนนักเรียนในกลุ่มผ่านเกณฑ์ที่ตอบถูก
	n_1	หมายถึง	จำนวนนักเรียนในกลุ่มผ่านเกณฑ์ทั้งหมด
	L	หมายถึง	จำนวนนักเรียนในกลุ่มไม่ผ่านเกณฑ์ที่ตอบถูก
	n_2	หมายถึง	จำนวนนักเรียนในกลุ่มไม่ผ่านเกณฑ์ทั้งหมด

1.6 ค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ และแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนของข้อสอบคู่ขนานทั้งสองชุด จากสูตรสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson product moment coefficient correlation) (ชูศรี วงศ์รัตน์, 2564) คำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

เมื่อ	r_{xy}	หมายถึง	ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ
	x	หมายถึง	ผลรวมคะแนนสอบก่อนเรียน
	y	หมายถึง	ผลรวมคะแนนสอบหลังเรียน
	n	หมายถึง	จำนวนนักเรียนทั้งหมด

2. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ ได้แก่

2.1 ค่าเฉลี่ย (Mean) (ชูศรี วงศ์รัตน์, 2564) คำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

เมื่อ	$\bar{x}$	หมายถึง	ค่าเฉลี่ย
	$\sum x$	หมายถึง	ผลรวมของคะแนนทั้งหมดในกลุ่มตัวอย่าง
	n	หมายถึง	จำนวนนักเรียนในกลุ่มตัวอย่าง

2.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) (ชูศรี วงศ์รัตน์, 2564) คำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

เมื่อ	$S.D.$	หมายถึง	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	$\bar{x}$	หมายถึง	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต
	x	หมายถึง	ข้อมูล (ตัวที่ 1, 2, 3,, n)
	n	หมายถึง	จำนวนนักเรียนในกลุ่มตัวอย่าง

การดำเนินการด้านจริยธรรมวิจัยในมนุษย์

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการด้านจริยธรรมวิจัยในมนุษย์ เนื่องด้วยกลุ่มตัวอย่างเป็นเด็กที่มีอายุต่ำกว่า 18 ปีบริบูรณ์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการขอใบรับรองโครงการวิจัยที่ดำเนินการในมนุษย์ และได้รับเอกสารรับรองโครงการวิจัยจากหน่วยจริยธรรมและมาตรฐานการวิจัย ตามหนังสือหมายเลข SWUEC-672285 เมื่อวันที่ 18 มิถุนายน 2567 โดยได้ขอความอนุเคราะห์เก็บข้อมูลจากโรงเรียนในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา จังหวัดนครปฐม เพื่อทำการวิจัยในระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน 2567 – 28 กุมภาพันธ์ 2568

ผู้วิจัยได้ทำการวิจัยภายใต้หลักจริยธรรมวิจัยตามหลัก 3 ประการ (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2560) ดังนี้

1) หลักความเคารพในบุคคล (Respect for person)

ในการทำวิจัยนี้ผู้วิจัยชี้แจงข้อมูลเกี่ยวกับการวิจัยให้กับผู้เข้าร่วมการวิจัยอย่างชัดเจน ก่อนเข้าร่วมการวิจัยและให้ผู้ปกครองของผู้ร่วมวิจัยลงนามในหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย เคารพในการตัดสินใจของผู้เข้าร่วมวิจัย ปราศจากการข่มขู่ บังคับ หรือให้สินจ้างรางวัล

โดยผู้เข้าร่วมการวิจัยสามารถขอถอนสิทธิการเข้าร่วมได้ตลอดเวลา และจะไม่นำข้อมูลของผู้เข้าร่วมวิจัยที่ถอนสิทธิมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ในการเก็บข้อมูลผู้วิจัยเก็บรักษาข้อมูลต่าง ๆ ของผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นความลับ และมีการใช้รหัสหรือชื่อแทนข้อมูลจริงของกลุ่มตัวอย่างเพื่อปกป้องข้อมูลของผู้เข้าร่วมวิจัย

2) หลักคุณประโยชน์ไม่ก่ออันตราย (Beneficence)

ในการทำวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จากนั้นได้เลือกรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่เกิดประโยชน์สูงสุดแก่ผู้เรียน ซึ่งผู้เรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้นี้จะได้เรียนรู้เนื้อหาครอบคลุมตามหลักสูตรเช่นเดียวกับผู้เรียนกลุ่มอื่น ๆ

3) หลักความยุติธรรม (Justice)

ในการทำวิจัยนี้ผู้วิจัยคำนึงถึงหลักความยุติธรรมและความเสมอภาค ไม่แสวงหาผลประโยชน์จากการทำวิจัย ไม่มีอคติ ไม่เลือกกลุ่มตัวอย่างที่หาง่าย สบาย ผู้เรียนทุกคนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างสามารถเลือกที่จะเข้าร่วมหรือไม่เข้าร่วมในงานวิจัยนี้ได้อย่างเสมอภาค และได้รับรู้ถึงสิทธิและบทบาทของตนก่อนการดำเนินการวิจัย และคำนึงถึงประโยชน์ของผู้เข้าร่วมการวิจัยไม่มีการแบ่งแยกบุคคลหรือกลุ่มคนที่อาจจะได้ผลประโยชน์จากความก้าวหน้าของการวิจัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

บทนี้นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ผู้วิจัยนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนก่อนและหลังเรียน
ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนก่อนและหลังเรียน

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนก่อนและหลังเรียน

การเปรียบเทียบความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลจากแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ทั้งฉบับก่อนเรียนและหลังเรียน ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปรากฏ ดังตาราง 13

ตาราง 13 คะแนนเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยร้อยละ และระดับคุณภาพของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง (n=30)

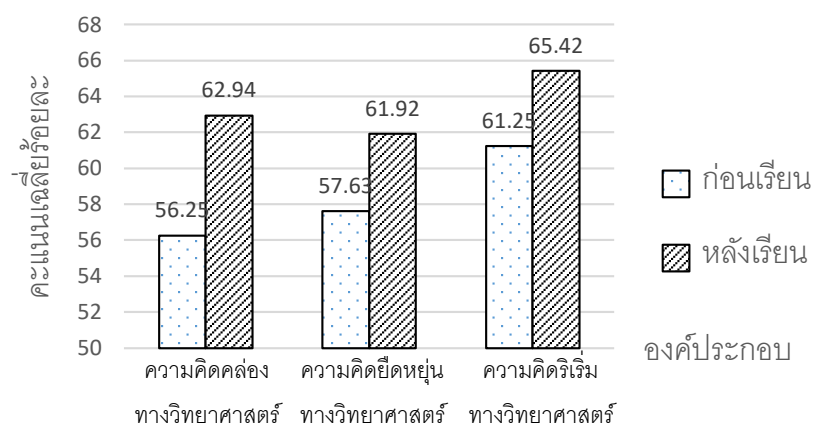
คะแนน	คะแนนเต็ม	ค่าสถิติ			ระดับคุณภาพ
		$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$ ร้อยละ	
ก่อนเรียน	64	37.53	4.18	58.64	ดี
หลังเรียน	64	40.63	4.25	63.48	ดี

จากตาราง 13 แสดงคะแนนเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยร้อยละ และระดับคุณภาพของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง พบว่า คะแนนเฉลี่ยความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนเท่ากับ 37.53 คะแนน ($\bar{x} = 37.53$, S.D. = 4.18) คิดเป็นร้อยละ 58.64 อยู่ในระดับคุณภาพดี และหลังเรียนเท่ากับ 40.63 คะแนน ($\bar{x} = 40.63$, S.D. = 4.25) คิดเป็นร้อยละ 63.48 ซึ่งยังคงอยู่ในระดับดีเช่นกัน จึงกล่าวได้ว่า นักเรียนกลุ่มตัวอย่างมีคะแนนเฉลี่ยความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ผลการศึกษาเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ และผลการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยร้อยละของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนแบบแยกองค์ประกอบมีผลการวิเคราะห์ข้อมูลปรากฏ ดังตาราง 14

ตาราง 14 คะแนนเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยร้อยละของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียนแบบแยกองค์ประกอบของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง (n=30)

องค์ประกอบ	คะแนนเต็ม	ผลการวิเคราะห์					
		ก่อนเรียน			หลังเรียน		
		$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$ ร้อยละ	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$ ร้อยละ
ความคิดคล้องทางวิทยาศาสตร์	16	9.00	1.95	56.25	10.07	1.62	62.94
ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์	24	13.83	1.60	57.63	14.86	2.34	61.92
ความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์	24	14.70	1.86	61.25	15.70	1.78	65.42
รวม	64	37.53	4.18	58.64	40.63	4.25	63.48

จากตาราง 14 แสดงคะแนนเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยร้อยละของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียนแบบแยกองค์ประกอบของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง โดยแยกเป็น 3 องค์ประกอบ ได้แก่ ความคิดคล้องทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ พบว่า ความคิดคล้องทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนมีคะแนนเฉลี่ย 9.00 คะแนน ($\bar{x} = 9.00$, S.D. = 1.95) คิดเป็นร้อยละ 56.25 และหลังเรียนเพิ่มขึ้นเป็น 10.07 คะแนน ($\bar{x} = 10.07$, S.D. = 1.62) คิดเป็นร้อยละ 62.94 ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ ก่อนเรียนมีคะแนนเฉลี่ย 13.83 คะแนน ($\bar{x} = 13.83$, S.D. = 1.60) คิดเป็นร้อยละ 57.63 และหลังเรียนเพิ่มขึ้นเป็น 14.86 คะแนน ($\bar{x} = 14.86$, S.D. = 2.34) คิดเป็นร้อยละ 61.92 และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนมีคะแนนเฉลี่ย 14.70 คะแนน ($\bar{x} = 14.70$, S.D. = 1.86) คิดเป็นร้อยละ 61.25 และหลังเรียนเพิ่มขึ้นเป็น 15.70 คะแนน ($\bar{x} = 15.70$, S.D. = 1.78) คิดเป็นร้อยละ 65.42 เมื่อพิจารณาคะแนนความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์รวมทุกองค์ประกอบ พบว่า มีการพัฒนาเพิ่มขึ้นจากก่อนเรียน และบางองค์ประกอบสามารถพัฒนาไปอยู่ในระดับคุณภาพที่ดีขึ้นไปได้ โดยคะแนนความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ทั้ง 3 องค์ประกอบ จากคะแนนเต็มทั้งก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา สามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 แผนภูมิแสดงผลคะแนนความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

ก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

และผลการเปรียบเทียบจำนวนนักเรียนและค่าร้อยละของจำนวนนักเรียนในแต่ละองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียน มีผลการวิเคราะห์ข้อมูลปรากฏ ดังตาราง 15

ตาราง 15 จำนวนนักเรียนและร้อยละความพึงพอใจต่อการสร้างสรรคทางวิทยาศาสตรที่อนเรียนและหลังเรียนแบบแยกองค์ประกอบของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง

ระดับ ความสามารถ	องค์ประกอบความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์									
	ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์		ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์		ความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์		ความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์		ความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์	
	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน	ก่อนเรียน	หลังเรียน
ดีมาก	0	0.00	1	3.33	0	0.00	1	3.33	0	0.00
ดี	10	33.33	21	73.34	8	26.66	14	46.67	18	60.00
พอใช้	19	63.34	8	23.33	22	73.34	15	50.00	12	40.00
ควรปรับปรุง	1	3.33	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
รวม	30	100.00	30	100.00	30	100.00	30	100.00	30	100.00

จากตาราง 15 พบว่า หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ จำนวนนักเรียนที่มีความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในแต่ละองค์ประกอบเพิ่มสูงขึ้นจากก่อนเรียน มีรายละเอียดในแต่ละองค์ประกอบ ดังนี้

1) ความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ ก่อนเรียนนักเรียนมีความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ระดับพอใช้มีจำนวนมากที่สุด จำนวน 19 คน คิดเป็นร้อยละ 63.34 รองลงมาคือ ระดับดี จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 33.33 และระดับควรปรับปรุง จำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 3.33 หลังเรียนพบว่า นักเรียนมีความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ระดับดีมาก จำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 3.33 ระดับดีเพิ่มขึ้นเป็น 21 คน คิดเป็นร้อยละ 73.34 และระดับพอใช้ลดลงเหลือ 8 คน คิดเป็นร้อยละ 23.33 ซึ่งนักเรียนที่มีความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ในระดับดีมาก 1 คน เป็นนักเรียนที่ก่อนเรียนมีความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ในระดับดี

2) ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ ก่อนเรียนนักเรียนมีความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ระดับพอใช้มีจำนวนมากที่สุด จำนวน 22 คน คิดเป็นร้อยละ 73.34 และระดับดี จำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 26.66 หลังเรียนพบว่า นักเรียนมีความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ระดับดีมาก 1 คน คิดเป็นร้อยละ 3.33 ระดับดีเพิ่มขึ้นเป็น 14 คน คิดเป็นร้อยละ 46.67 และระดับพอใช้ลดลงเหลือ 15 คน คิดเป็นร้อยละ 50.00 ซึ่งนักเรียนที่มีความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ในระดับดีมาก 1 คน เป็นนักเรียนที่ก่อนเรียนมีความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ในระดับดี

3) ความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ ก่อนเรียนนักเรียนมีความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ระดับดีมากมีจำนวนมากที่สุด จำนวน 18 คน คิดเป็นร้อยละ 60.00 และระดับพอใช้ จำนวน 12 คน คิดเป็นร้อยละ 40.00 หลังเรียนพบว่า นักเรียนมีความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ระดับดีเพิ่มขึ้นเป็น 26 คน คิดเป็นร้อยละ 86.67 และระดับพอใช้ลดลงเหลือ 4 คน คิดเป็นร้อยละ 13.33

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์ของนักเรียนก่อนและหลังเรียน

การวิเคราะห์ผลการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง แบ่งออกเป็น 2 ประเด็น ได้แก่ (1) ผลการศึกษาระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์ของนักเรียนระหว่างก่อนและหลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา และ (2) ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนกับเกณฑ์ร้อยละ 60

1. ผลการศึกษาระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์ของนักเรียนระหว่างก่อนและหลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

ผลการศึกษาระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์ของนักเรียนระหว่างก่อนและหลังเรียนตามแนวคิดของ Klopfer (1971) ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลจากแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ทั้งฉบับก่อนเรียนและหลังเรียน ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปรากฏดังตาราง 16

ตาราง 16 คะแนนเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยร้อยละของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง (n=30)

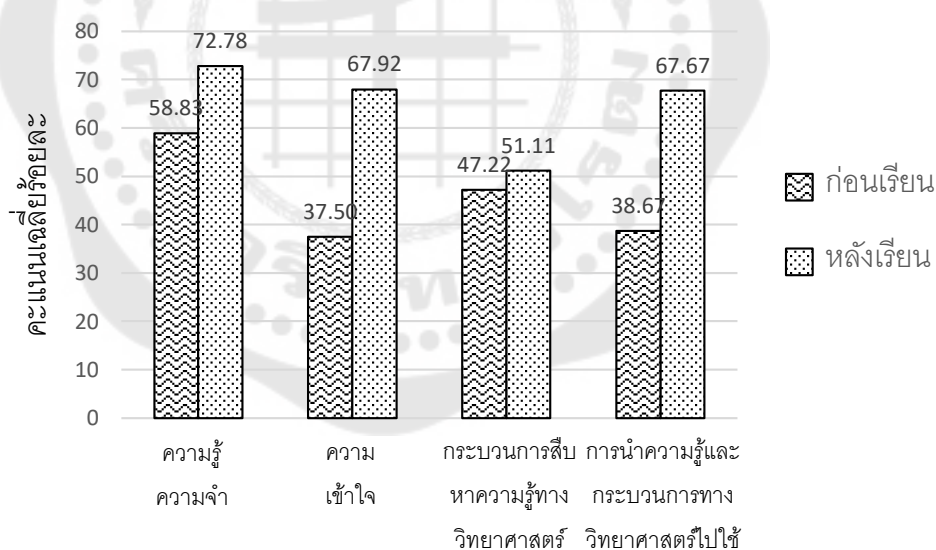
คะแนน	คะแนนเต็ม	Max	Min	ค่าสถิติ		
				$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}_{\text{ร้อยละ}}$
ก่อนเรียน	30	22	6	13.23	4.61	44.10
หลังเรียน	30	30	13	19.63	3.89	65.43

จากตาราง 16 คะแนนเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยร้อยละของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง พบว่า จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน นักเรียนกลุ่มตัวอย่างมีคะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนเท่ากับ 19.63 คะแนน ($\bar{x} = 19.63$, S.D. = 3.89) คิดเป็นร้อยละ 65.43 สูงกว่าคะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนที่มีค่าเท่ากับ 13.23 คะแนน ($\bar{x} = 13.23$, S.D. = 4.61) คิดเป็นร้อยละ 44.10 และผลการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยร้อยละของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มตัวอย่างที่แยกตามพุทธิพิสัยในแต่ละด้านตามแนวคิดของ Klopfer (1971) มีผลการวิเคราะห์ข้อมูลปรากฏ ดังตาราง 17

ตาราง 17 คะแนนเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยร้อยละของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มตัวอย่างที่แยกพุทธิพิสัยตามแนวคิดของ Klopfer (n=30)

พุทธิพิสัยตามแนวคิดของ Klopfer	คะแนนเต็ม	ผลการวิเคราะห์					
		ก่อนเรียน			หลังเรียน		
		$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}_{\text{ร้อยละ}}$	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}_{\text{ร้อยละ}}$
ความรู้ความจำ	6	3.53	1.55	58.83	4.37	1.00	72.78
ความเข้าใจ	8	3.00	1.31	37.50	5.43	1.22	67.92
กระบวนการสืบ							
หาความรู้ทางวิทยาศาสตร์	6	2.83	1.21	47.22	3.07	1.36	51.11
การนำความรู้และ							
กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้	10	3.87	2.00	38.67	6.77	2.18	67.67
รวม	30	13.23	4.61	44.10	19.63	3.89	65.43

จากตาราง 17 เมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเฉลี่ยร้อยละของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มตัวอย่างที่แยกตามพุทธิพิสัยในแต่ละด้านตามแนวคิดของ Klopfer (1971) พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนนักเรียนกลุ่มตัวอย่างมีคะแนนเฉลี่ยพฤติกรรมรายด้านเพิ่มขึ้น โดยพฤติกรรมความรู้ความจำมีค่าคะแนนเฉลี่ยสูงสุด ($\bar{x} = 4.37$, S.D. = 1.00) คิดเป็นร้อยละ 72.78 รองลงมาคือด้านความเข้าใจ ($\bar{x} = 5.43$, S.D. = 1.22) คิดเป็นร้อยละ 67.92 ถัดไปคือด้านการนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ ($\bar{x} = 6.77$, S.D. = 2.18) คิดเป็นร้อยละ 67.67 และด้านกระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ($\bar{x} = 3.07$, S.D. = 1.36) คิดเป็นร้อยละ 51.11 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในแต่ละพฤติกรรมที่ต้องการวัดทั้ง 4 พฤติกรรม คือ ความรู้ความจำ ความเข้าใจ กระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และการนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ จากคะแนนเต็มทั้งก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาสามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 แผนภูมิแสดงผลคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
ก่อนเรียนและหลังเรียนตามแนวคิดของ Klopfer

- ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนกับเกณฑ์ร้อยละ 60
ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนกับเกณฑ์ร้อยละ 60 (18 คะแนน จากคะแนนเต็ม 30 คะแนน) มีผลการวิเคราะห์ข้อมูลปรากฏ ดังตาราง 18

ตาราง 18 การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนกับเกณฑ์ (n=30)

คะแนน	คะแนนเต็ม	Max	Min	เกณฑ์	ค่าสถิติ		
					$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$ ร้อยละ
หลังเรียน	30	30	13	18	19.63	3.89	65.43

จากตาราง 18 พบว่า นักเรียนกลุ่มตัวอย่างมีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนผ่านเกณฑ์ร้อยละ 60 (18 คะแนน) จึงกล่าวได้ว่า ผลการศึกษาเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ และผลการเปลี่ยนแปลงคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง มีผลการวิเคราะห์ข้อมูลปรากฏ ดังตาราง 19

ตาราง 19 การเปรียบเทียบคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง (n=30)

รหัสนักเรียน	คะแนนก่อนเรียน	คะแนนหลังเรียน	การเปลี่ยนแปลงคะแนน (หลัง-ก่อน)	ผลการเปลี่ยนแปลงของคะแนน
001	9	16	+7	เพิ่มขึ้น
002	22	30	+8	เพิ่มขึ้น
003	8	17	+9	เพิ่มขึ้น
004	15	21	+6	เพิ่มขึ้น
005	14	19	+5	เพิ่มขึ้น
006	7	20	+13	เพิ่มขึ้น
007	14	18	+4	เพิ่มขึ้น
008	10	14	+4	เพิ่มขึ้น
009	12	18	+6	เพิ่มขึ้น
010	10	15	+5	เพิ่มขึ้น
011	10	16	+6	เพิ่มขึ้น
012	11	14	+3	เพิ่มขึ้น
013	10	15	+5	เพิ่มขึ้น
014	9	18	+9	เพิ่มขึ้น
015	20	27	+7	เพิ่มขึ้น
016	10	13	+3	เพิ่มขึ้น

ตาราง 19 (ต่อ)

รหัส นักเรียน	คะแนน ก่อนเรียน	คะแนน หลังเรียน	การเปลี่ยนแปลง คะแนน (หลัง-ก่อน)	ผลการ เปลี่ยนแปลง
017	17	24	+7	เพิ่มขึ้น
018	6	13	+7	เพิ่มขึ้น
019	15	19	+4	เพิ่มขึ้น
020	15	23	+8	เพิ่มขึ้น
021	15	24	+9	เพิ่มขึ้น
022	20	25	+5	เพิ่มขึ้น
023	18	29	+11	เพิ่มขึ้น
024	20	23	+3	เพิ่มขึ้น
025	9	16	+7	เพิ่มขึ้น
026	15	22	+7	เพิ่มขึ้น
027	10	18	+8	เพิ่มขึ้น
028	19	22	+3	เพิ่มขึ้น
029	12	22	+10	เพิ่มขึ้น
030	15	18	+3	เพิ่มขึ้น

จากตาราง 19 แสดงการเปลี่ยนแปลงคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนกลุ่มตัวอย่างเป็นรายบุคคล พบว่า นักเรียนกลุ่มตัวอย่างมีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนเพิ่มขึ้นจากก่อนเรียนทุกคน คิดเป็นร้อยละ 100 โดยมีคะแนนเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 3 คะแนน (เช่น นักเรียนรหัส 012, 016, 024 และ 030) ไปจนถึง 13 คะแนน (นักเรียนรหัส 006) แสดงให้เห็นถึงพัฒนาการด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ดีขึ้นของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

บทนี้นำเสนอการสรุปผลวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน สามารถสรุปผลการดำเนินงาน โดยแบ่งหัวข้อในการสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

1. ความมุ่งหมายของการวิจัย
2. สมมติฐานของการวิจัย
3. วิธีการดำเนินการวิจัย
4. สรุปผลการวิจัย
5. อภิปรายผลการวิจัย
6. ข้อเสนอแนะ

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. เพื่อศึกษาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่
2. เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่

สมมติฐานของการวิจัย

1. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา มีความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน
2. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 60

วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดกลุ่มที่ศึกษา

กลุ่มที่ศึกษาที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ คือ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 โรงเรียนในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา จังหวัดนครปฐม ซึ่งได้มาจากวิธีสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยเจาะจงห้องเรียนแผนการเรียน วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ 1 ห้องเรียน รวม 30 คน เนื่องจากนักเรียนกลุ่มนี้มีเป็นผู้มีความสนใจและตั้งใจในการเรียนวิทยาศาสตร์ อีกทั้งยังเป็นผู้มีความรับผิดชอบต่อการเรียน มีความใฝ่รู้ และสามารถสืบค้นข้อมูลด้วยตนเอง อย่างไรก็ตามจากการสัมภาษณ์ครูผู้สอน พบว่านักเรียนกลุ่มนี้ยังมีข้อจำกัดในด้านความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ โดยนักเรียนมักจะประดิษฐ์ชิ้นงานทางด้านวิทยาศาสตร์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ขาดความแปลกใหม่

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างเครื่องมือวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีทั้งหมด 2 ประเภท ดังนี้

1. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง คือ แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาจำนวน 4 แผน จัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน หน่วยการเรียนรู้สะเต็มศึกษา เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ผ่านการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน มีดัชนีความสอดคล้องผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งผู้วิจัยได้ปรับแก้แผนการจัดการเรียนรู้ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญก่อนที่จะนำไปใช้จริงกับกลุ่มตัวอย่าง

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่

2.1 แบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และเกณฑ์การให้คะแนนตามแนวคิดของ Torrance (1990) และ Aktamis et al. (2008) วัดทั้ง 3 องค์ประกอบคือ วัดความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ ผ่านการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน มีดัชนีความสอดคล้องผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งผู้วิจัยได้ปรับแก้แบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ หลังจากนั้นนำแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ปีการศึกษา 2567 ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 40 คน คำนวณหาค่าดัชนีความยากและค่าดัชนีอำนาจจำแนก เลือกใช้จริงจำนวน 6 ข้อ โดยมีค่าดัชนีความยาก 0.44-0.73 และค่าดัชนีอำนาจจำแนก 0.41-0.65 และมีความเชื่อมั่นสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนของข้อสอบคู่ขนานทั้งสองชุด มีค่าเท่ากับ 0.78

2.2 แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เป็นข้อสอบปรนัย 5 ตัวเลือก วัดพฤติกรรมด้านพุทธิพิสัยของผู้เรียน 4 ด้าน ตามหลักของ Klopfer (1971) คือ ความรู้ความจำ ความเข้าใจ กระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และการนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ ผ่านการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน มีดัชนีความสอดคล้องผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งผู้วิจัยได้ปรับแก้แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ หลังจากนั้นนำแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 40 คน ที่เคยเรียนเรื่องแรงและการเคลื่อนที่มาแล้ว จากนั้นคำนวณหาค่าดัชนีความยากและค่าดัชนีอำนาจจำแนก เลือกใช้จริง จำนวน 30 ข้อ โดยมีค่าดัชนีความยาก 0.40-0.70 และค่าดัชนีอำนาจจำแนก 0.30-0.80 และมีความเชื่อมั่นสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนของข้อสอบคู่ขนานทั้งสองชุด มีค่าเท่ากับ 0.95

ขั้นตอนที่ 3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้มีเป็นการวิจัยเชิงทดลองเบื้องต้น (Pre-experiment design) มีกลุ่มตัวอย่างเพียงกลุ่มเดียว คือกลุ่มที่ศึกษา ซึ่งดำเนินการตามแบบแผนการวิจัยแบบ One group pretest-posttest design (Creswell & Plano Clark, 2018) โดยทำการเก็บข้อมูลเชิงปริมาณ เก็บข้อมูลก่อนและหลังเรียนจากแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ขั้นตอนที่ 4 การจัดกระทำข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้จัดกระทำข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1. ตรวจให้คะแนนแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ตามเกณฑ์การให้คะแนนที่สร้างขึ้นทั้งก่อนเรียนและหลังเรียน นำคะแนนของนักเรียนไปหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยร้อยละ และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ทั้งภาพรวมและรายองค์ประกอบ
2. ตรวจให้คะแนนแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จากคำตอบที่ผู้วิจัยเฉลยทั้งก่อนเรียนและหลังเรียน นำคะแนนของนักเรียนไปหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าเฉลี่ยร้อยละ และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ และ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง สามารถสรุปการวิจัยได้ดังนี้

1. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา มีความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมและรายองค์ประกอบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน
2. นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยของความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงที่สุด รองลงมา คือความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ และความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ ตามลำดับ
3. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ร้อยละ 60)
4. นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้านความรู้ความจำสูงที่สุด รองลงมาคือด้านความเข้าใจ ด้านการนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ และด้าน กระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ตามลำดับ

อภิปรายผลการวิจัย

ประเด็นที่ผู้วิจัยนำมาทำการอภิปรายผลมี 2 ประเด็น ดังนี้

1. ผลการศึกษาการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 4 ในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ โดยจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็ม ศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม พบว่า คะแนนความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ทั้งในภาพรวมและรายองค์ประกอบ ได้แก่ ความคิดคล่อง ทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากการ จัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เป็นการบูรณาการศาสตร์ต่าง ๆ ทั้งวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ ศิลปะ และคณิตศาสตร์เข้าด้วยกัน ทำให้นักเรียนได้เรียนรู้แบบองค์ รวม เกิดความเข้าใจที่ลึกซึ้ง และสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริงได้ การที่ นักเรียนได้เรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติจริง และการสร้างชิ้นงานตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เป็นการ ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้ใช้ความคิดสร้างสรรค์ในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนและหลากหลาย โดยแต่ละ ขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมีส่วนช่วยส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์ ตั้งแต่ การระบุปัญหา การที่นักเรียนต้องวิเคราะห์สถานการณ์และระบุปัญหาให้ชัดเจน เป็นการกระตุ้น ให้เกิดการวิเคราะห์และทำความเข้าใจโจทย์ เป็นจุดเริ่มต้นของการสร้างสรรค์ ซึ่งในงานวิจัยมีการ ใช้สถานการณ์ปัญหา 4 สถานการณ์ ได้แก่ การสร้างสะพานไม้ไผ่เสริม, การออกแบบเครื่องจักร Rube Goldberg สไตร์ไลน์ครปูลูม, การออกแบบระบบลงจอดของยานอวกาศบนดวงจันทร์, และ

การสร้างรศงแข่งฝัก กระตุ้นความสนใจและความกระตือรือร้นของนักเรียน สถานการณ์เหล่านี้มีความท้าทาย สนุกสนาน และเปิดโอกาสให้นักเรียนได้สวมบทบาทเป็นวิศวกรหรือผู้เชี่ยวชาญในสาขาต่าง ๆ ซึ่งทำให้การเรียนรู้มีความหมายและเชื่อมโยงกับชีวิตจริง โดยการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องในการคิดแก้ไขปัญหา โดยการประยุกต์ใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ร่วมกับศิลปะมาใช้ในการออกแบบและสร้างชิ้นงานเพื่อให้สอดคล้องกับสถานการณ์ที่กำหนด ทำให้เกิดการคิดหาแนวทางที่หลากหลาย (ความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์) การปรับเปลี่ยนมุมมองในการแก้ปัญหา (ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์) นักเรียนได้ออกแบบ และสร้างชิ้นงานให้สมกับบทบาทและสถานการณ์ที่ได้รับ ส่งเสริมให้เกิดการใช้ความคิดสร้างสรรค์สิ่งใหม่ที่ไม่เหมือนใคร (ความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์) หรือปรับปรุงแนวคิดเดิมให้ดีขึ้น การทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขส่งเสริมให้นักเรียนคิดวิเคราะห์อย่างมีวิจารณ์ญาณ และพัฒนาความคิดยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนแนวคิดเพื่อแก้ปัญหาที่พบจากการทดสอบ และการนำเสนอผลงานเป็นการสรุปผลการเรียนรู้และเปิดโอกาสให้นักเรียนได้สื่อสารแนวคิดและผลงานของตนเอง ซึ่งเป็นการเสริมสร้างความมั่นใจและแรงจูงใจในการสร้างสรรค์ชิ้นงานของตนเอง และบรรยากาศการเรียนรู้จากบรรยากาศที่เป็นกันเอง ทำให้นักเรียนกล้าที่จะแสดงความคิดเห็น แลกเปลี่ยนเรียนรู้ ช่วยเหลือซึ่งกันและกัน และการทำงานร่วมกับเพื่อนยังส่งเสริมการเรียนรู้ในมุมมองที่แตกต่างก่อให้เกิดความริเริ่มทางความคิด ส่งผลให้ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์โดยภาพรวมและรายองค์ประกอบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน สอดคล้องกับงานวิจัยของ มัสยา บัวผัน (2563) ที่กล่าวว่าความคิดสร้างสรรค์หลังเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการจัดการเรียนการสอนมีการบูรณาการความรู้โดยมีวิชาวิทยาศาสตร์เป็นหลักและมีศิลปะเป็นสื่อกลางในการสร้างสรรค์ความคิด จินตนาการในการออกแบบประดิษฐ์ชิ้นงาน ทำให้นักเรียนมีองค์ความรู้และมีการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ผ่านการจัดกิจกรรมที่เน้นการสร้างประสบการณ์การคิด นักเรียนได้เรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง การเลือกใช้วัสดุที่จำเป็นและเหมาะสม ช่วยให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้ไปสู่การคิดขั้นสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ธีรชนก ทาระเนตร (2564) ที่กล่าวว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมสามารถส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนได้ โดยครูผู้สอนกำหนดสถานการณ์ที่มีความท้าทาย และเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน นักเรียนได้ตั้งคำถามและหาแนวทางที่ดีที่สุดเพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหาสืบค้นข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้หรือปฏิบัติการทดลอง สร้างผลงานตามที่ได้ออกแบบไว้ นำเสนอผลงานในรูปแบบต่าง ๆ และสามารถปรับปรุงแก้ไขผลงานจากข้อเสนอแนะของครูและ

เพื่อนแล้วนำไปทดสอบซ้ำ และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Setyawan (2024) กล่าวว่า การจัดการเรียนตามแนวคิดสะเต็มศึกษา มีการบูรณาการศาสตร์ต่าง ๆ ช่วยเพิ่มความคิดสร้างสรรค์ ความคิดริเริ่มและนวัตกรรมให้นักเรียนได้ เนื่องจากกระบวนการในการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษา สนับสนุนให้นักเรียนคิดนอกกรอบ และพัฒนาวิธีปัญหาให้มีความโดดเด่นมีเอกลักษณ์

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในแต่ละองค์ประกอบ พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์หลังการเรียนรู้มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมา คือความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ ตามลำดับ ทั้งนี้การที่ นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงที่สุดนั้น อาจอธิบายได้จากการ ที่นักเรียนสร้างสรรค์ชิ้นงานที่มีความแปลกใหม่ ไม่ซ้ำใคร และสถานการณ์ปัญหาทั้ง 4 สถานการณ์มีลักษณะปลายเปิดไม่มีคำตอบตายตัว เป็นการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ใช้ จินตนาการและความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ได้อย่างอิสระ ดังที่แสดงให้เห็นใน ภาพประกอบ 4 ที่มีการเลือกใช้วัสดุและกลไกที่แปลกใหม่ แตกต่างจากเพื่อนกลุ่มอื่น เช่น การนำ หลักการของเครื่องมือกลอย่างง่ายมาประยุกต์ใช้ในลักษณะที่คาดไม่ถึง นอกจากนี้นักเรียนการ สวมบทบาทเป็น “วิศวกร” หรือ “นักออกแบบ” ช่วยกระตุ้นให้นักเรียนคิดนอกกรอบ สร้างสรรค์สิ่งที่ไม่เคยมีมาก่อนหรือปรับปรุงพัฒนาสิ่งเดิมให้ดียิ่งขึ้น

ล้อและเพลลา

คาน



ภาพประกอบ 4 แสดง Rube Goldberg สไตน์ครปฐมของกลุ่มที่ 2

ในทางกลับกันความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์หลังการเรียนรู้มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด ซึ่งอาจ เป็นผลมาจากธรรมชาติของทักษะนี้ที่ต้องการความสามารถในการคิดหาคำตอบทางวิทยาศาสตร์

ให้ได้ในหลายหมวดหมู่ที่แตกต่างกัน แม้สถานการณ์จะเป็นปลายเปิด แต่อาจจะมีปัจจัยในเรื่องเกี่ยวกับข้อจำกัดด้านเวลา วัสดุ หรือความรู้พื้นฐาน จึงทำให้นักเรียนเลือกที่จะทำตามแบบเดิมหรือปรับปรุงแนวคิดเดิมแทนที่จะคิดหาทางใหม่ที่แตกต่างกันไปจากเดิม รวมถึงเกณฑ์การประเมินความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์อาจยากเกินไปสำหรับการพัฒนาในระยะเวลาอันสั้น การส่งเสริมให้นักเรียนคิดหลากหลายหมวดหมู่ที่ต่างกันอย่างจะต้องอาศัยระยะเวลาในการส่งเสริมมากกว่านี้ เพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนได้แลกเปลี่ยนประสบการณ์ สร้างสรรค์ผลงานที่ก้าวข้ามกรอบแนวคิดเดิม และมีความแปลกใหม่มากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องงานวิจัยของ ศิริินนาถ ทับทิมใส (2563) ที่กล่าวว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาทำให้ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์แต่ละองค์ประกอบมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากมีการใช้แบบวัดที่มีข้อคำถามที่อยู่ในชีวิตประจำวันของนักเรียน ส่งผลให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความคิดกับองค์ความรู้และประสบการณ์เดิมได้ง่าย และงานวิจัยของ ธีญชนก ทาระเนตร (2564) ยังกล่าวเพิ่มเติมอีกว่าจำนวนข้อคำถามและลักษณะของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ที่เป็นข้อสอบ มีผลต่อคะแนนความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน เนื่องจากการที่นักเรียนทำข้อสอบที่มีจำนวนข้อมากเกินไปในเวลาที่จำกัดทำให้นักเรียนเกิดความเบื่อหน่าย และนักเรียนบางส่วนมีทักษะในการตีความข้อคำถามในแบบวัดได้ไม่ดีเท่าที่ควรจึงส่งผลต่อคำตอบของนักเรียนที่ไม่ได้อยู่ในกรอบที่ต้องการ

2. ผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ส่งผลให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (ร้อยละ 60) ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ทั้งนี้เนื่องมาจากสถานการณ์ที่ใช้เพื่อกระตุ้นความสนใจในการเรียนรู้ของนักเรียน เป็นสถานการณ์ที่นักเรียนพบเห็นได้ในชีวิตประจำวันและใกล้ตัวนักเรียน ทั้งยังสอดคล้องกับเนื้อหาในรายวิชาฟิสิกส์ 1 เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ สถานการณ์ที่นำมาใช้ในการกระตุ้นความสนใจของนักเรียนเพื่อแก้ปัญหาที่มีจำนวน 4 สถานการณ์ ได้แก่ (1) นักเรียนรับบทเป็นวิศวกรงานสะพานเพื่อสร้างสะพานไม้ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด (2) นักเรียนรับบทเป็นผู้จัดงานของดีเมืองนครปฐม เพื่อออกแบบพิธีเปิดในรูปแบบเครื่องจักร รูป โกลด์เบิร์ก (Rube Goldberg Machine) (3) นักเรียนรับบทเป็นวิศวกรการบินและอวกาศ เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบลงจอดของยานอวกาศบนดวงจันทร์ และ (4) นักเรียนเป็นตัวแทนของโรงเรียนเข้าร่วมการแข่งขันออกแบบและสร้างรถแข่งผัก สถานการณ์ที่กำหนดขึ้นเป็นสถานการณ์สมมติที่ใช้กระตุ้นความสนใจของนักเรียนเพื่อให้นักเรียนคิดแก้ไขปัญหา ออกแบบ และสร้างชิ้นงานให้สมกับบทบาทที่นักเรียนได้รับ มีการร่วมกันทำงานเป็นทีม มีบรรยากาศเป็นกันเอง นักเรียนมีความกระตือรือร้นใน

การเรียนรู้ กระบวนการเรียนรู้มีความหมายกับผู้เรียน ครูผู้สอนสนับสนุนให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติ หรือคิดแก้ไขปัญหาต่าง ๆ เอง นำไปสู่การเชื่อมโยงความรู้ที่มีอยู่กับประสบการณ์หรือความรู้ใหม่ เกิดเป็นองค์ความรู้ที่สร้างขึ้นด้วยตนเอง ความรู้ที่เกิดขึ้นมีความคงทน ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน สอดคล้องกับ พิพิธชัย สร้อยชมภูพงศ์ (2565) ได้จัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง สภาพสมดุล พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .01$) เนื่องจากนักเรียนได้ทำกิจกรรมที่บูรณาการความรู้ ได้ลงมือทำกิจกรรม และได้แสวงหาความรู้จากทรัพยากรในท้องถิ่น ทำให้นักเรียนมีประสบการณ์ด้านวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องลึกซึ้ง มีจิตวิทยาศาสตร์ ทำให้การเรียนรู้มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้นักเรียนมีการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในทางที่ดีขึ้น และ ธัญชนก ทาระเนตร (2564) กล่าวว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนและสูงกว่าเกณฑ์นั้นเนื่องจากการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ซึ่งเป็นการบูรณาการและเชื่อมโยงกันของเนื้อหาในรายวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ ศิลปะ และคณิตศาสตร์ นักเรียนได้ทำงานร่วมกันเป็นทีมเพื่อวิเคราะห์รายละเอียด แลกเปลี่ยนหาสาเหตุของปัญหาของสถานการณ์ นักเรียนมีการแบ่งหน้าที่กันในการสืบค้นข้อมูลหรือวิธีการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์จากแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ อย่างเข้มข้นเพื่อให้เกิดองค์ความรู้และสามารถนำไปสู่ขั้นประยุกต์ใช้ โดยการออกแบบและสร้างผลงานหรือชิ้นงานอย่างสร้างสรรค์และลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ทำให้เกิดความรู้อย่างลึกซึ้งและตอบคำถามได้อย่างถูกต้องชัดเจนผ่านการนำเสนอผลงานหรือชิ้นงานของกลุ่มตนเอง รวมทั้งการแลกเปลี่ยนข้อมูล รับฟังความคิดเห็น ประเมินและปรับปรุง สะท้อนความคิดเห็นที่ได้รับจากการแลกเปลี่ยนข้อมูลความรู้ รวมทั้งทักษะกระบวนการของตนเอง แก้ไขปรับปรุงผลงานของกลุ่มตนให้ดียิ่งขึ้น รวมทั้งวิจารณ์ผลงานของตนเองและเพื่อนร่วมชั้นได้อย่างถูกต้อง จึงส่งผลให้คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในแต่ละพฤติกรรม พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยพฤติกรรมด้านความรู้ความจำสูงที่สุด รองลงมาคือพฤติกรรมด้านความเข้าใจ การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ และพฤติกรรมด้านกระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเนื้อหาบางส่วนในแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ เน้นประเด็นที่เป็นข้อเท็จและศัพท์เฉพาะที่ต้องอาศัยการจดจำ ซึ่งความรู้ความจำถือว่าเป็นพฤติกรรมพื้นฐานสำคัญสำหรับการพัฒนาทักษะหรือพฤติกรรมทางด้านอื่น ๆ ให้สูงขึ้น หากนักเรียนมีความรู้พื้นฐานที่ดี ก็อาจส่งผลให้นักเรียนเข้าใจ

เนื้อหาส่วนอื่นเพิ่มเติมได้ ส่วนพฤติกรรมด้านกระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์มีค่าคะแนนเฉลี่ยต่ำที่สุด เนื่องมาจากข้อคำถามของโจทย์ที่ต้องการศึกษาพฤติกรรมด้านกระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์มีข้อความค่อนข้างยาว สังเกตได้จากข้อความที่นักเรียนพูดกับครูว่า “โจทย์ยาว ไม่อยากทำข้อนี้เลย” “หนูข้ามข้อนี้ก่อนได้ไหมคะครู” เป็นต้น จากข้อความข้างต้นสังเกตได้ว่านักเรียนกังวลว่าจะทำไม่ได้หรือต้องใช้เวลาในการทำ รู้สึกเบื่อหน่ายกับโจทย์ที่ยาวและดูเหมือนจะยาก ทำให้นักเรียนเกิดความไม่มั่นใจและอยากหลีกเลี่ยงข้อคำถามที่ต้องการประเมินพฤติกรรมด้านกระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งจากจะต้องพัฒนาข้อคำถามของข้อสอบให้มีรูปภาพประกอบ ทำให้ข้อคำถามมีความน่าสนใจมากกว่านี้ และจากการวิเคราะห์การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า พบว่า นักเรียนได้ร่วมกิจกรรมปฏิบัติการทดลองทั้งหมด 4 การทดลอง ได้แก่ (1) การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ นักเรียนได้ศึกษาขนาดและแรงย่อย และแรงลัพธ์ของแรงสามแรงที่ทำมุมต่อกัน (2) การหาความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่ง นักเรียนได้วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของรถทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อวัตถุ มวลของวัตถุ และความเร่งที่เกิดจากแรงนั้น (3) การหาความสัมพันธ์ของผลคูณระหว่างมวลของวัตถุทั้งสองกับขนาดของแรงดึงดูดระหว่างมวล และ (4) การหาขนาดและทิศทางของแรงเสียดทาน ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานและแรงแนวฉาก ซึ่งการทดลองทั้งหมดนั้นครูมีวัสดุอุปกรณ์และขั้นตอนในการทดลอง รวมไปถึงแบบบันทึกการทดลองเป็นแบบแผนให้นักเรียนแล้วเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการทดลองมีจำกัด นักเรียนจึงไม่มีโอกาสได้ออกแบบการทดลองเอง สอดคล้องกับ สมรัก อินทวิมลศรี (2560) ที่กล่าวว่า กระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้เรียนตามแนวคิดสะเต็มศึกษามีคะแนนเฉลี่ยน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับพฤติกรรมด้านอื่น เนื่องจากกิจกรรมการทดลองที่เป็นแบบแผนและมีวัตถุประสงค์ในการทดลองจำกัด จึงไม่เอื้อให้นักเรียนออกแบบการทดลองด้วยตนเอง นักเรียนไม่มีโอกาสออกแบบตารางหรือกราฟเพื่อจัดกระทำข้อมูลที่ได้ด้วยตนเอง ซึ่งไม่สอดคล้องกับ ัญชนก ทาระเนตร (2564) ที่ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอ พบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ตามแนวคิดของ Kiopfer หลังเรียนด้านความเข้าใจมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือด้านความรู้ความจำ ลำดับถัดมาคือด้านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ส่วนด้านการนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้มีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากเนื้อหาค่อนข้างเป็นนามธรรม เนื้อหาค่อนข้างยาก นักเรียนขาดแรงจูงใจ และเป็นเรื่องที่น่าจะกล่าวนักเรียน

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1.1 หากมีการนำแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ไปใช้อาจต้องพิจารณาความเหมาะสมของเวลาในการทำกิจกรรมการเรียนรู้ โดยสามารถยืดหยุ่นเวลาในการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสมในแต่ละขั้นตอนได้

1.2 การเตรียมอุปกรณ์ในการทำกิจกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาต้องมีความหลากหลาย เพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนได้เลือกใช้อุปกรณ์ในการสร้างสรรค์ชิ้นงานได้มากขึ้น

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 งานวิจัยนี้ใช้การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ได้ทำการศึกษาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์โดยมีการวัดผลก่อนและหลังเรียน หากมีการวิจัยในครั้งต่อไปควรเพิ่มเติมการศึกษาในเชิงคุณภาพ เพื่อเจาะลึกถึงกระบวนการคิดและความรู้สึกของนักเรียนจากการสัมภาษณ์เชิงลึก การวิเคราะห์ผลงานนักเรียน หรือจากการสังเกตแบบมีส่วนร่วม

2.2 จากการวิเคราะห์ข้อมูลคะแนนเฉลี่ยความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ในแต่ละองค์ประกอบ พบว่า ความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ และความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนมีการเปลี่ยนแปลงจากระดับพอใช้เป็นระดับดี นั้นแสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มสามารถพัฒนาองค์ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 2 องค์ประกอบนี้ได้ แต่อาจจะต้องออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้เปิดโอกาสให้นักเรียนมีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้และสร้างสรรค์ผลงานที่หลากหลายหมวดหมู่มากขึ้น

2.3 จากการวิเคราะห์ข้อมูลผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนในแต่ละพฤติกรรม พบว่า พฤติกรรมด้านกระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำที่สุด ดังนั้นในการต่อยอดงานวิจัยครั้งต่อไป ควรศึกษาและพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่เน้นส่งเสริมทักษะกระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะ เช่น การเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry-based learning), การใช้โครงงานเป็นฐาน (Project-based learning), หรือการใช้สถานการณ์ปัญหา (Problem-based learning) เพื่อเสริมสร้างทักษะดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- Aktamis, H., & Ergin, O. (2008). The effect of scientific process skills education on students' scientific creativity, science attitudes, and academic achievements. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 9(1), 1-21.
- Aktamis, H., Permez, S., Can, T., & Ergin, O. (2008). *Developing Scientific Creativity Test*. University of Dokuz Eylul. Fen Bolumu. <https://www.scribd.com/document/388763019/58-pdf>
- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching and assessing: a revision of Bloom's taxonomy of educational objectives: complete edition*. New York: Longman.
- Ayas, M. B., & Sak U. (2013). Creative Scientific Ability Test (C-SAT): A new measure of scientific creativity. *Psychological Test and Assessment Modeling*. 55(3). 316-329
- Azyyati, A., & Sulisworo, D. (2022). Online Problem-Based Learning to Enhance Student Creativity in Physics Learning. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 6(1), 15-25.
- Bloom, B.S., et al. (1956) *A Taxonomy of Educational Objectives: Handbook I The Cognitive Domain*. Longman, Green Co., New York.
- Bybee, R. W. (2013). *The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities*, National Science Teachers Association.
- Cohen, J. (2020). Wuhan Seafood Market May Not Be Source of Novel Virus Spreading Globally. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.abb0611>
- Connor, A. M., Karmokar, S., & Whittington, C. (2015). *From STEM to STEAM: Strategies for Enhancing Engineering & Technology Education*. *International Journal of Engineering Pedagogy (iJEP)*, 5(2), 37. <https://doi:10.3991/ijep.v5i2.4458>
- Conradty, C., & Bogner, F. X. (2019). From STEM to STEAM: Cracking the Code? How Creativity & Motivation Interacts with Inquiry-based Learning. *Creativity Research Journal*, 31(3), 284–295. <https://doi.org/10.1080/10400419.2019.1641678>

- Conradty, C., & Bogner, F. X. (2020). Conceptual change when growing up: Frameset for role models? *International Journal of Adolescence and Youth*, 25(1), 292–304. <https://doi.org/10.1080/02673843.2019.1622581>
- Conradty, C., Sotiriou, S. A., & Bogner, F. X. (2020). How creativity in STEAM modules intervenes with self-efficacy and motivation. *Education Sciences*, 10(3), 1–15. <https://doi.org/10.3390/educsci10030070>
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and Conducting Mixed Methods Research* (3rd ed.). SAGE. <https://doi.org/10.1177/1049731508318695>
- Cropley, A. J. (2000). Defining and measuring creativity: Are creativity tests worth using? *Roeper Review: A Journal on Gifted Education*, 23(2), 72–79. <https://doi.org/10.1080/02783190009554069>
- Daud, A. M., Omar, J., Turiman, P., and Osman, K. (2012). Creativity in science education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 59, 467-474. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.302>
- Dippo, C., & Kudrowitz, B. (2015). The effects of elaboration in creativity tests as it pertains to overall scores and how it might prevent a person from thinking of creative ideas during the early stages of brainstorming and idea generation. *In International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*. (Vol. 57175, p. V007T06A007). American Society of Mechanical Engineers. <https://doi.org/10.1115/DETC2015-46789>
- Ekayana, A. A. G., Parwati, N. N., Agustini, K., & Ratnaya, I. G. (2024). Enhancing creative thinking skills and student achievement: An innovative approach through integrating project-based learning in STEAM and Self-Efficacy. *Pegem Journal of Education and Instruction*, 14(4), 19-29. <https://doi.org/10.47750/pegegog.14.04.03>

- Global Partnership for Education. (2020). *21st Century Skill: What potential role for the Global Partnership for Education?. A Landscape Review*. <https://www.globalpartnership.org/default/files/2020-01-GPE-21-century-skills-report.pdf>
- Gonski, D., Arcus, T., Boston, K., Gould, V., Johnson, W., O'Brien, L., . . . Roberts, M. (2018). *Through growth to achievement: The report of the review to achieve educational excellence in Australian schools*. Commonwealth of Australia.
- Grosul, M., & Feist, G. J. (2014). The creative person in science. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 8(1), 30–43. <https://doi.org/10.1037/a0034828>
- Guilford, J. P. (1950). Creativity. *American Psychologist*, 5(9), 444–454. <https://doi.org/10.1037/h0063487>
- Guilford, J. P. (1956). The structure of intellect. *Psychological Bulletin*, 53(4), 267–293. <https://doi.org/10.1037/h0040755>
- Guilford, J. P. (1967). Creativity: Yesterday, today, and tomorrow. *The Journal of Creative Behavior*, 1(1), 3–14. <https://doi.org/10.1002/j.2162-6057.1967.tb00002.x>
- Hadzigeorgiou, Y. (2012). Fostering a Sense of Wonder in the Science Classroom. *Research in Science Education*, 42, 985-1005. <http://dx.doi.org/10.1007/s11165-011-9225-6>
- Hong, O. (2017). STEAM education in Korea: current policies and future directions. *Asian Research Policy*, 8, 92–102. <https://www.researchgate.net/328202165>
- Hsiao, H.-S., Chen, J.-C., Chen, J.-H., Zeng, Y.-T., & Chung, G.-H. (2022). An assessment of Junior high school students' knowledge, creativity, and hands-on performance using PBL via cognitive–affective interaction model to achieve STEAM. *Sustainability*, 14(9), 5582. <https://doi.org/10.3390/su14095582>
- Hu, W., & Adey, P. (2002). A scientific creativity test for secondary school students. *International Journal of Science Education*, 24(4), 389–403. <https://doi.org/10.1080/09500690110098912>

- Kijima, R., Yang-Yoshihara, M. & Maekawa, M.S. (2021). Using design thinking to cultivate the next generation of female STEAM thinkers. *IJ STEM Ed* 8, 14
<https://doi.org/10.1186/s40594-021-00271-6>
- Kim, B. H., Kim, J. (2016). Development and validation of evaluation indicators for teaching competency in STEAM education in Korea. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*.12(7):1909-1924.
<https://doi:10.12973/eurasia.2016.1537a>
- Kim, K., & Lee, K. P. (2010). Two types of design approaches regarding industrial design and engineering design in product design. *In DS 60: Proceedings of DESIGN 2010, the 11th International Design Conference*, Dubrovnik, Croatia.
- Kind, P. M., & Kind, V. (2007). Creativity in Science Education: Perspectives and Challenges for Developing School Science. *Studies in Science Education*, 43, 1-37.
<https://doi.org/10.1080/03057260708560225>
- Kitto, J., Lok, D. and Rudowicz, E. (1994). Measuring creative thinking: an activity-based approach. *Creativity Research Journal*, 7, 59–69. <https://doi.org/10.1080/10400419409534509>
- Klopfer, L.E. (1971). Evaluation of learning in science. In *Handbook on formative and summative evaluation of student learning*. McGraw–Hill, 574–580.
- Land, M. H. (2013). Full STEAM Ahead: The Benefits of Integrating the Arts Into STEM. *Procedia Computer Science*, 20, 547–552. <https://doi:10.1016/j.procs.2013.09.317>
- Li, Y., Schoenfeld, A.H., diSessa, A.A. et al. (2019). Design and Design Thinking in STEM Education. *Journal for STEM Educ Res* 2, 93–104. <https://doi.org/10.1007/s41979-019-00020-z>

- Lu, R., Zhang, Y., Bao, N., Su, M., Zhang, X., & Shi, J. (2022). Visuospatial, rather than verbal working memory capacity plays a key role in verbal and figural creativity. *Thinking & Reasoning*, 28(1), 29-60.
- Lu, S.Y., Lo, C.C., & Syu, J.Y. (2021). Project-based learning oriented STEAM: the case of micro-bit paper-cutting lamp. *International Journal of Technology and Design Education*, 32, 2553-2575. <https://doi.org/10.1007/s10798-021-09714-1>
- Lu, S. Y., Wu, C. L., Huang, Y. M. (2022). Evaluation of disabled STEAM-students' education learning outcomes and creativity under the UN sustainable development goal: project-based learning oriented STEAM curriculum with micro:bit. *Sustainability*, 14(2),1-12. <https://doi:10.3390/su14020679>
- Moracesik, M. J. (1981). Creativity in science education. *Science Education*, 65(2), 221–227. <https://doi:10.1002/sce.3730650212>
- National Academies Press National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. National Academy Press.
- Next Generation Science Standard for State by State. (2013). Retrieved March 1, 2025, from <http://www.nextgenscience.org/next-generation-science-standards>
- Oh, J.; Lee, J.; Kim, J. (2013). Development and application of STEAM based education program using Scratch: Focus on 6th graders' science in elementary school. In Park, J.J., Ng, J.K.Y., Jeong, H.Y., Waluyo, B., (Eds), *Multimedia and Ubiquitous Engineering. Lecture Notes in Electrical Engineering* (Vol.240, pp.493–501). Springer.
- Ozkan, G., Umdü Topsakal, U. (2021). Exploring the effectiveness of STEAM design processes on middle school students' creativity. *International Journal of*

- Technology and Design Education*. 31, 95–116. <https://doi.org/10.1007/s10798-019-09547-z>
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*. New York: Basic Books.
- Putri, S. U., Sumiati, T., & Larasati, I. (2019). Improving creative thinking skill through project-based-learning in science for primary school. *Journal of Physics: Conference Series*, 1157, 022052. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1157/2/022052>
- Riley, P. (2014). Early career teacher attrition as arrested development: New thought on an intractable problem. *Teacher Education*, 18(4), 562- 580.
- Ritz, J. M., and Fan, S. C. (2015). STEM and technology education: international state-of-the-art. *Int. J. Technol. Des. Educ.* 25, 429–451. <https://doi.org/10.1007/s10798-014-9290-z>
- Setyawan, A. (2024). Application of STEAM and scientific approaches in various learning models. *Jurnal Impresi Indonesia*, 3(6), 455-461. <https://doi.org/10.58344/jii.v3i6.5007>
- Shi, B., Cao, X., Chen, Q., Zhuang, K., & Qiu, J. (2017). Different brain structures associated with artistic and scientific creativity: a voxel-based morphometry study. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/srep42911>
- Snyder, A., Mitchell, J., Bossomaier, T., & Pallier, G. (2004). The Creativity Quotient: An Objective Scoring of Ideational Fluency. *Creativity Research Journal*, 16(4), 415–420. https://doi.org/10.1207/s15326934crj1604_4
- Sternberg, R. J., & Lubart, T. I. (1995). *Defying the crowd: Cultivating creativity in a culture of conformity*. Free Press.

- Sternberg, R. J., & Lubart, T. I. (1999). The concept of creativity: Prospects and paradigms. In R. J. Sternberg (Ed.), *Handbook of creativity* (pp. 3–15). Cambridge University Press.
- Susilawati, A., Yusrizal, Y., Halim, A., Syukri, M., Khaldun, I., & Susanna, S. (2022). The effect of using physics education technology (PhET) simulation media to enhance students' motivation and problem-solving skills in learning physics. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 8(3), 1157-1167. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v8i3.1571>
- Suyidno, S., Susilowati, E., Arifuddin, M., Misbah, M., Sunarti, T., and Dwikoranto, D. (2019). Increasing Students' Responsibility and Scientific Creativity through Creative Responsibility Based Learning. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*. 9(2), 178–188. <https://doi:10.26740/jpfa.v9n2.p147-157>
- Torrance, E. P. (1977). *Creativity in the Classroom: What Research Says to the Teacher*. Washington DC: NEA.
- Torrance, E.P. (1990) *Torrance Tests of Creative Thinking*. Scholastic Testing Service, Bensenville.
- Torrance, E. P. (1992). A National Climate for Creativity and Invention. *Gifted Child Today Magazine*, 15(1), 10–14. <https://doi:10.1177/107621759201500103>
- Tran N-H, Huang C-F, Hsiao K-H, Lin K-L, & Hung J-F. (2021). Investigation on the Influences of STEAM-Based Curriculum on Scientific Creativity of Elementary School Students. *Frontiers in. Education*, 6, 694516. <https://doi: 10.3389/feduc.2021.694516>
- Whitney, D. R., & Sabers, D. L. (1970). *Improving Essay Examination III. Use of Item Analysis, Technical Bulletin 11, Mimeographed*. University Evaluation and Examination Service.

Willingham, D. T. (2009). *Why don't students like school? A cognitive scientist answers questions about how the mind works and what it means for the classroom*. Jossey-Bass/Wiley.

Yakman, G. G. (2008). *STE@M Education: an overview of creating a model of integrative education*. <http://steamedu.com/wp-content/uploads/2014/12/2008-PATT-Publication-STEAM.pdf>.

Yakman, G., & Lee, H. (2012). Exploring the exemplary STEAM Education in the U.S. as a Practical Educational Framework for Korea. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(6), 1072-1086. <https://doi:10.14697/jkase.2012.32.6.1072>

กิตติมา พันธุ์พุกษา. (2563). มโนทัศน์ที่คลาดเคลื่อน เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา*, 189-206. <https://buuir.buu.ac.th/handle/1234567890/4159?mode=full>

กระทรวงศึกษาธิการ. (2553). *แนวปฏิบัติการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ ตามหลักสูตรแกนกลางศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. ชุมชนสมรรถนะการเกษตรแห่งประเทศไทย.

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)*. ชุมชนสมรรถนะการเกษตรแห่งประเทศไทย.

เกรียงศักดิ์ เจริญวงศ์ศักดิ์. (2563). *การคิดเชิงสร้างสรรค์* (พิมพ์ครั้งที่ 12). ชัคเชส.

จารีพร ผลมูล. (2558). *การพัฒนาหน่วยการเรียนรู้บูรณาการแบบ STEAM สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3: กรณีศึกษา ชุมชนวังตะกอก จังหวัดชุมพร*. [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ]. iThesis Srinakharinwirot University. http://thesis.swu.ac.th/swuthesis/Ed_SLM/Jareeporn_P.pdf

จินตนา คำภาพักตร์. (2564). *การจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้สะเต็มศึกษาร่วมกับโครงการเป็นฐานที่ส่งเสริมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และการสร้างสรรค์นวัตกรรมของ*

- นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. [ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร].
iThesis Silpakorn University. <http://ithesis-ir.su.ac.th/dspace/handle/123456789/3860>
- ชาญณรงค์ พรุ่งโรจน์. (2546). *ความคิดสร้างสรรค์*. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชูศรี วงศ์รัตนะ. (2564). *เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย (พิมพ์ครั้งที่ 15)*. อมรการพิมพ์.
- จิตวุฒิ นันทิกาศยัหิรัญ. (2565). *ฟิสิกส์ พลศาสตร์ และการเคลื่อนที่*. โรงพิมพ์วิเศษ ศรีเอทีฟ.
- ทิตนา แคมมณี. (2558). *ศาสตร์การสอน: องค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ (พิมพ์ครั้งที่ 19)*. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธนัพร อุทธา, วีระ วงศ์สุวรรณ, และ ธนาตล สมบูรณ์. (2566). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ เรื่อง งานและพลังงาน โดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้น (5Es) สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนพนาศึกษา. *วารสารสังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม*, 4(1), 55–72. <https://so12.tci-thaijo.org/index.php/src/article/view/452>
- ัญชนก ทาระเนตร. (2564). *ผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่มีต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์เรื่อง เทคโนโลยีทางดีเอ็นเอของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4*. [ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา]. Burapha University Research Information. <https://buuir.buu.ac.th/xmlui/handle/1234567890/10083>
- ัญญเรศ ก้อนจันทร์เทศ. (2566). *การจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาเพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ เรื่อง สารอาหาร ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6*. [ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร]. Nu Intellectual Repository. <https://nuir.lib.nu.ac.th/dspace/bitstream/123456789/5942/3/TanyaredKonjantes.pdf>
- ัญฐนิชา เตมสินวาณิช. (2550). *การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์และความสามารถด้านความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่ได้รับการสอนแบบร่วมมือ*. [ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

- นฤมล กุลสีป. (2563). *การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์วิชาวิทยาศาสตร์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5*. [ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต. <http://libdoc.dpu.ac.th/thesis/Narumol.Kul.pdf>
- นัฐยา ทองจันทร์, และพงษ์ศักดิ์ แป้นแก้ว. (2559). *การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นโดยการจัดการเรียนรู้แบบระดมสมอง*. *วารสารบัณฑิตวิจัย*, 7(1), 1-14. <https://so02.tci-thaijo.org/index.php/banditvijai/article/view/96426>
- นิธิพัฒน์ เมฆขจร. (2547). *การแสดงผลหลักฐานความเที่ยงตรง ความเชื่อมั่น และเกณฑ์ปกติของแบบทดสอบความคิดสร้างสรรค์ของทอแรนซ์ ฉบับภาษาไทย และการรายงานผลการใช้แบบทดสอบในการให้คำปรึกษา*. [ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- บุญรัตน์ จันท. (2558). *การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่องสมดุลกลโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์*. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53*. https://kukrdb.lib.ku.ac.th/proceedings/kucon/search_detail/result/315394
- บุศญา แก้วแพทย์. (2563). *ผลการใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับเทคนิคการคิดนอกกรอบที่มีต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในรายวิชาชีววิทยา*. [ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ]. iThesis Srinakharinwirot University. <http://ir-ithesis.swu.ac.th/dspace/handle/123456789/1365>
- พันเพชร เขยแจ้ง, ณัฐวิวัฒน์ ผิวเหลือง, ภัทรฉัตร บุญเทียม, และ พงศ์ประพันธ์ พงษ์โสภณ. (2565). *สะเต็มศึกษากับการพัฒนาเจตคติทางวิทยาศาสตร์*. *วารสารวิจัยเพื่อปฏิบัติการเรียนรู้*, 5(2), 70-80.
- พัชรี เทพสุริบุญ, จิต นวนแก้ว, และ สุมาลี เลี่ยมทอง. (2562). *ผลการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5E ร่วมกับเกมวิทยาศาสตร์ ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความคิด*

สร้างสรรค์ในวิชาชีพวิทยา เรื่อง วิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ, 24(2), 195–205.

<https://doi.org/10.55164/jedutsu.v24i2.269036>

พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์ และ เพียวร์ ยินดีสุข. (2548). วิธีวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป. บริษัทพัฒนาคุณภาพวิชาการ (พ.ว.) จำกัด.

พิพิธชัย สร้อยชมภูพงศ์. (2565). การพัฒนาการจัดการเรียนรู้ตามแนวสเต็มศึกษา เรื่อง สภาพสมดุลงานของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. *Journal of Engineering Technology Access*, 2(1), 43-55. <https://doi.org/10.14456/jeta.2022.4>

มยุรี เจริญศิริ. (2557). การสร้างชุดการเรียนรู้เรื่องแรงและการเคลื่อนที่เพื่อพัฒนาความสามารถในการทำโครงงานวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร]. iThesis Silpakorn University. <http://ithesis-ir.su.ac.th/dspace/handle/123456789/3101>

มลิวัลย์ จันทร์บาง. (2565). การพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ด้วยการ จัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร]. iThesis Silpakorn University. <http://ithesis-ir.su.ac.th/dspace/bitstream/123456789/4109/1/60263324.pdf>

มัสยา บัวผัน. (2563). ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็ม ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนความคิดสร้างสรรค์ และเจตคติของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา]. Burapha University Research Information. <https://buuir.buu.ac.th/xmlui/handle/1234567890/8843>

รัตนะ บัวสนธ์. (2554). วิธีการวิจัยเชิงผสมผสานทางการศึกษา. วารสารศิลปการศึกษาศาสตร์วิจัย, 2(2). <https://so05.tci-thaijo.org/index.php/sueduresearchjournal/article/view/7084/6113>

- รพีพล อินสุพรรณ. (2562). การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา. (ปริญญาานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. <http://202.28.34.124/dspace/bitstream/123456789/499/1/60010556006.pdf>
- วรรณิภา เวทการ, (2565). การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม เรื่อง สมดุลกล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. (ปริญญาานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยนเรศวร. <https://nuir.lib.nu.ac.th/dspace/handle/123456789/5080>
- วิชัย วงษ์ใหญ่ และ มารุต พัฒนาผล. (2558). กระบวนการทัศน์การโค้ชเพื่อเสริมสร้างทักษะการสร้างสรรค์ และนวัตกรรม (พิมพ์ครั้งที่ 1). บริษัทสนทวงศ์การพิมพ์ จำกัด
- วิจารณ์ พานิช. (2556). ครูเพื่อศิษย์สร้างห้องเรียนกลับทาง (พิมพ์ครั้งที่ 2). มูลนิธิสยามกัมมาจล.
- วีระยุทธ พลายนเล็ก. (2563). การพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนตามแนวคิด *Active learning* เพื่อเสริมสร้างทักษะและกระบวนการและจิตคณิตศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษา. [ปริญญาานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยศิลปากร
- วีระยุทธ ชาติตะกานจน์ (2558). การวิจัยเชิงปฏิบัติการ. วารสารราชภัฏสุราษฎร์ธานี. 2(1) <https://e-journal.sru.ac.th/index.php/srj/article/view/241>
- ศิริินนาถ ทับทิมใส. (2563). ผลการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เรื่อง พลังงานความร้อน ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่มีต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. [ปริญญาานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ]. DSpace at Srinakharinwirot University. <http://ir-ithesis.swu.ac.th/dspace/handle/123456789/1105>
- ศิริพร เครือทอง, และ สุพัตรา ฝ่ายจันทร์. (2563). การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์และความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องกลอย่างง่ายผ่านการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ตามแนวทาง

สะเต็มศึกษาของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้, 12(1), 38–50. <https://doi.org/10.14456/jstel.2021.3>

21.3

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2558) *คู่มือการจัดการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์*. โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2560). *คู่มือการใช้หลักสูตร กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทยจำกัด.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (PISA 2022). *การประเมินความคิดสร้างสรรค์ใน PISA 2022*. สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2565,. จากการประเมินความคิดสร้างสรรค์ใน PISA 2022 – PISA THAILAND (ipst.ac.th).

สิทธิเชษฐ บุญประพันธ์พงศ์, จิตตมาศ สุขแสง, และ เอกพันธ์ ไกรจักร. (2561). การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ 5 ขั้น ในหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง ระบบนิเวศ. ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 56*, 11-18)

https://kukr.lib.ku.ac.th/kukr_es/index.php/bkn/search_detail/result/382415

สิรารวรรณ จรัสวีวัฒน์. (2560). การจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการในยุคประเทศไทย 4.0 ตามแนวคิด STEM, STEAM และ STREAM. *วารสารการศึกษาและพัฒนาสังคม*, 13(1), 19-30.

สมพร หลิมเจริญ. (2552). *การพัฒนาหลักสูตรเสริมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ สำหรับนักเรียน ช่วงชั้นที่ 2*. [ปริญญานิพนธ์ปริญญาคุุณบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ].

สมรัก อินทวิมลศรี. (2560). *ผลของการใช้แนวคิดสะเต็มศึกษาในวิชาชีววิทยาที่มีต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4*. (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย]. Office of academic resources Chulalongkorn University. <http://doi.org/10.58837/CHULA.THE.2017.785>

- สุภัค โอฬาริยกุล. (2562). STEAM Education: นวัตกรรมการศึกษาบูรณาการสู่การจัดการเรียนรู้. *วารสารวิจัยและพัฒนาหลักสูตร*. 9(1). <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/jrcd/article/view/156426>
- สุทธิดา วันสุตล. (2561). ผลการใช้หน่วยการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามแนวทางสะเต็มศึกษา เรื่อง ต้นอ่อนทานตะวัน เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. [ปริญ ญานิพนธ์ปริญ ญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ]. iThesis Srinakharinwirot University. <http://ir-ithesis.swu.ac.th/dspace/bitstream/123456789/463/1/gs571130411.pdf>
- สุทธาธิณี กรุดเงิน, และ พรสิริ เขี่ยมแก้ว. (2564). ผลการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้บูรณาการแนวคิดสะเต็มศึกษาที่มีต่อความคิดสร้างสรรค์และเจตคติต่อการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3. *วารสารวิชาการและวิจัยสังคมศาสตร์*. 16(3), 189-202.
- สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. (2560). จริยธรรมการวิจัยในคน. *Thai Dental Public Health Journal*, 22(2), 70–78. <https://he02.tci-thaijo.org/index.php/ThDPHJo/article/view/148769>
- สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2560). *แผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560 – 2579*. พรักหวานกราฟฟิค จำกัด.
- อนุสรฯ พุ่มพิกุล. (2562). ผลของการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาโดยใช้ปัญหาเป็นฐานที่เน้นกระบวนการคิดอย่างมีวิจารณญาณที่มีต่อสมรรถนะการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความพึงพอใจ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. [ปริญ ญานิพนธ์ปริญ ญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ]. iThesis Srinakharinwirot University. <http://ir-ithesis.swu.ac.th/dspace/handle/123456789/668>
- อับดุลยามีน หะยีซาเดร์. (2560). ผลของการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา ความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ และความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. [ปริญ ญานิพนธ์ปริญ ญามหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. <http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2016/11788>

อรรยา แจ่มใจ (2563). การศึกษากระบวนการถ่ายทอดความคิดสร้างสรรค์จากภูมิปัญญาท้องถิ่น เพื่อพัฒนารูปแบบ การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 1. [ปริญญานิพนธ์ปริญญา ดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ]. iThesis Srinakharinwirot University.

<http://ir-ithesis.swu.ac.th/dspace/bitstream/123456789/1319/1/g601150032.pdf>

อาฟีฟี ลาเต๊ะ. (2565). การวิจัยในชั้นเรียน (พิมพ์ครั้งที่ 3). โอ.เจ.สยาม.

อารี พันธุ์มณี. (2557). ฝึกให้คิด เป็นคิดให้สร้างสรรค์. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.





ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

รายนามผู้เชี่ยวชาญที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบค่าดัชนีความตรง (Index of Item Objective Congruence: IOC) ความสอดคล้องระหว่างผลการเรียนรู้ ความถูกต้องของเนื้อหาสาระที่ใช้ในการจัดกิจกรรม การจัดกิจกรรมการเรียนการสอน การประเมินผลของแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา พฤติกรรมที่ต้องการวัด ลักษณะการใช้คำถาม ความถูกต้องและความเหมาะสมของการใช้ภาษาของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน มีดังนี้

- | | |
|--|--|
| 1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ลัดดา ปัญญาจิรวุฒิ | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชา
ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขต
พระราชวังสนามจันทร์ |
| 2. อาจารย์ ดร. อภิสิทธิ์ ธงไชย | อาจารย์ผู้ชำนาญ สาขาเทคโนโลยี
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยี |

3. อาจารย์ ดร. สิทธิศักดิ์ จินดาวงศ์

อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียน
ศรีสะเกษวิทยาลัย



ภาคผนวก ข
ใบรับรองจริยธรรมในมนุษย์





AF19-03-03.1
August, 2023

หนังสือรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์
หนังสือฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

ชื่อโครงการวิจัย : การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย : นางสาวเดือนเพ็ญ หาญยุทธ

หน่วยงานต้นสังกัด : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

หมายเลขรับรองโครงการวิจัย : SWUEC-672285

รายการเอกสารที่รับรอง :

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1. แบบเสนอเพื่อขอรับการพิจารณา | ฉบับที่ 2 ลงวันที่ 5 มิถุนายน 2567 |
| 2. โครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์ | ฉบับที่ 1 ลงวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2567 |
| 3. เอกสารข้อมูลและขอความยินยอมสำหรับอาสาสมัคร | ฉบับที่ 2 ลงวันที่ 17 มิถุนายน 2567 |
| 4. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย | ฉบับที่ 1 ลงวันที่ 7 พฤษภาคม 2567 |
| 5. ประวัติผู้วิจัย | |

ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โดยยึดหลักเกณฑ์ตาม Declaration of Helsinki, Belmont Report, International Conference on Harmonization in Good Clinical Practice (ICH-GCP), International Guidelines for Human Research ตลอดจนกฎหมาย ข้อบังคับและข้อกำหนดภายในประเทศ จึงเห็นสมควรให้ดำเนินการวิจัยตามโครงการวิจัยนี้ได้

วันที่รับรอง : 18 มิถุนายน 2567

วันที่หมดอายุ : 17 มิถุนายน 2568

(ลงชื่อ).....

(รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิพงศ์ วัฒนานนท์สกุล)

ประธานคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

ชุดสังคมศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์ (ชุดที่ 2)

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

หน่วยจริยธรรมและมาตรฐานการวิจัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

อาคารนวัตกรรม ศ.ดร.สาโรช บัวศรี ชั้น 17

โทร. (02) 6495000 ต่อ 17503, 17506 โทรสาร (02) 2042590

ภาคผนวก ค
การตรวจคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา
2. ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ค่าดัชนีอำนาจจำแนก และค่าดัชนีความยากของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์
3. ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ค่าดัชนีอำนาจจำแนก และค่าดัชนีความยากของแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

างวิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

ความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ												
รายการประเมิน	แผนที่ 1			แผนที่ 2			แผนที่ 3			แผนที่ 4		
	1	2	3	IOC	1	2	3	IOC	1	2	3	IOC
สาระสำคัญกับกิจกรรมการเรียนรู้	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00
สาระสำคัญกับสาระการเรียนรู้	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00
สาระสำคัญกับความถูกต้องของ เนื้อหา	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00
จุดประสงค์การเรียนรู้กับ	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00
จุดประสงค์การเรียนรู้กับกิจกรรม	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00
สาระการเรียนรู้กับกิจกรรมการ	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00
สาระการเรียนรู้กับระดับผู้เรียน	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00

ความคิดเห็นผู้เสียหาย													
แผนที่ 2							แผนที่ 3						
แผนที่ 4													
OC	1	2	3	IOC	1	2	3	IOC	1	2	3	IOC	
1.00	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	0	0.67	+1	+1	0	0.67	
1.00	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00	
1.00	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00	





รายการประเมิน	ความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ											
	แผนที่ 1			แผนที่ 2			แผนที่ 3			แผนที่ 4		
	1	2	3	IOC	1	2	3	IOC	1	2	3	IOC
5. สื่อและแหล่งการเรียนรู้												
5.1 ความสอดคล้องของสื่อ/แหล่งการเรียนรู้กับกิจกรรมการเรียนรู้	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00
5.2 ความสอดคล้องของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษากับกิจกรรมการเรียนรู้	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00
5.3 ความเหมาะสมของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษากับเนื้อหา	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00
6. การวัดและประเมินผล												
6.1 ความสอดคล้องของการวัดและการประเมินผลการเรียนรู้กับจุดประสงค์การเรียนรู้	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	0	0.67
6.2 ความสอดคล้องของการวัดและการประเมินผลการเรียนรู้กับกิจกรรมการเรียนรู้	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	0	0.67
6.3 ความสอดคล้องของการวัดและการประเมินผลการเรียนรู้กับเครื่องมือ	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	+1	1.00	+1	+1	0	0.67

ตาราง 21 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์

ข้อ ที่	รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญคนที่			ΣR	IOC	ความ สอดคล้อง
		1	2	3			
1	วัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ (3 นาที)						
	1.1 ความชัดเจนของข้อคำถาม	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	1.2 ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ ต้องการวัด	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	1.3 ความเหมาะสมของข้อคำถามกับ เวลาที่ใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
2	วัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ (3 นาที)						
	2.1 ความชัดเจนของข้อคำถาม	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	2.2 ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ ต้องการวัด	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	2.3 ความเหมาะสมของข้อคำถามกับ เวลาที่ใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
3	วัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ (3 นาที)						

	3.1 ความชัดเจนของข้อคำถาม	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	3.2 ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ ต้องการวัด	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	3.3 ความเหมาะสมของข้อคำถามกับ เวลาที่ใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
4	วัดความคิดคลองทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่ม ทางวิทยาศาสตร์ (3 นาที)						
	4.1 ความชัดเจนของข้อคำถาม	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	4.2 ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ ต้องการวัด	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	4.3 ความเหมาะสมของข้อคำถามกับ เวลาที่ใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง

ตาราง 19 (ต่อ)

ข้อ ที่	รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญคนที่			ΣR	IOC	ความ สอดคล้อง
		1	2	3			
5	วัดความคิดคลองทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทาง วิทยาศาสตร์ (3 นาที)						
	5.1 ความชัดเจนของข้อคำถาม	+1	+1	0	+2	0.67	สอดคล้อง
	5.2 ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ ต้องการวัด	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	5.3 ความเหมาะสมของข้อคำถามกับ เวลาที่ใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
6	วัดความคิดคลองทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทาง วิทยาศาสตร์ (3 นาที)						
	6.1 ความชัดเจนของข้อคำถาม	+1	+1	0	+2	0.67	สอดคล้อง
	6.2 ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ ต้องการวัด	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	6.3 ความเหมาะสมของข้อคำถามกับ เวลาที่ใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
7	วัดความคิดคลองทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทาง						

วิทยาศาสตร์ (3 นาที)							
7.1	ความชัดเจนของข้อคำถาม	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
7.2	ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ ต้องการวัด	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
7.3	ความเหมาะสมของข้อคำถามกับ เวลาที่ใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
8	วัดความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทาง วิทยาศาสตร์ (3 นาที)						
8.1	ความชัดเจนของข้อคำถาม	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
8.2	ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ ต้องการวัด	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
8.3	ความเหมาะสมของข้อคำถามกับ เวลาที่ใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
ตาราง 19 (ต่อ)							
ข้อ ที่	รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญคนที่			ΣR	IOC	ความ สอดคล้อง
		1	2	3			
9	วัดความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ (10 นาที)						
9.1	ความชัดเจนของข้อคำถาม	+1	+1	0	+2	0.67	สอดคล้อง
9.2	ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ ต้องการวัด	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
9.3	ความเหมาะสมของข้อคำถามกับ เวลาที่ใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
10	วัดความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ (10 นาที)						
10.1	ความชัดเจนของข้อคำถาม	+1	+1	0	+2	0.67	สอดคล้อง
10.2	ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ ต้องการวัด	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
10.3	ความเหมาะสมของข้อคำถามกับ เวลาที่ใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
11	วัดความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ (10 นาที)						
11.1	ความชัดเจนของข้อคำถาม	+1	+1	0	+2	0.67	สอดคล้อง

11.2	ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ ต้องการวัด	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
11.3	ความเหมาะสมของข้อคำถามกับ เวลาที่ใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
12	วัดความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ (10 นาที)						
12.1	ความชัดเจนของข้อคำถาม	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
12.2	ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ ต้องการวัด	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
12.3	ความเหมาะสมของข้อคำถามกับ เวลาที่ใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง

ตาราง 22 ค่าความสอดคล้องของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์รายข้อ

ข้อที่	หัวข้อ	IOC ก่อนเรียน	IOC หลังเรียน	ความหมาย
1	วัดความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทาง วิทยาศาสตร์ (3 นาที)			
1.1	ความชัดเจนของข้อคำถาม	1.00	1.00	สอดคล้อง
1.2	ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด	1.00	1.00	สอดคล้อง
1.3	ความเหมาะสมของข้อคำถามกับเวลาที่ใช้	1.00	1.00	สอดคล้อง
2	วัดความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทาง วิทยาศาสตร์ (3 นาที)			
2.1	ความชัดเจนของข้อคำถาม	1.00	1.00	สอดคล้อง
2.2	ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด	1.00	1.00	สอดคล้อง
2.3	ความเหมาะสมของข้อคำถามกับเวลาที่ใช้	1.00	1.00	สอดคล้อง
3	วัดความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทาง วิทยาศาสตร์ (3 นาที)			

	3.1 ความชัดเจนของข้อคำถาม	0.67	0.67	สอดคล้อง
	3.2 ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด	1.00	1.00	สอดคล้อง
	3.3 ความเหมาะสมของข้อคำถามกับเวลาที่ใช้	1.00	1.00	สอดคล้อง
4	วัดความคิดคล้องทางวิทยาศาสตร์ ความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ (3 นาที)			
	4.1 ความชัดเจนของข้อคำถาม	1.00	1.00	สอดคล้อง
	4.2 ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด	1.00	1.00	สอดคล้อง
	4.3 ความเหมาะสมของข้อคำถามกับเวลาที่ใช้	1.00	1.00	สอดคล้อง
5	วัดความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ (12 นาที)			
	5.1 ความชัดเจนของข้อคำถาม	0.67	0.67	สอดคล้อง
	5.2 ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด	1.00	1.00	สอดคล้อง
	5.3 ความเหมาะสมของข้อคำถามกับเวลาที่ใช้	1.00	1.00	สอดคล้อง
6	วัดความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ (13 นาที)			
	6.1 ความชัดเจนของข้อคำถาม	1.00	1.00	สอดคล้อง
	6.2 ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด	1.00	1.00	สอดคล้อง
	6.3 ความเหมาะสมของข้อคำถามกับเวลาที่ใช้	1.00	1.00	สอดคล้อง

ตาราง 23 ค่าความยากและค่าอำนาจจำแนกของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ฉบับก่อนเรียน

ข้อที่	ค่าความยาก	ค่าอำนาจจำแนก	ความหมาย
1	0.68	0.51	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้ดี
2	0.70	0.50	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้ดี
3	0.61	0.41	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้ดี
4	0.52	0.48	ความยากพอเหมาะ จำแนกได้ดี
5	0.44	0.41	ความยากพอเหมาะ จำแนกได้ดี
6	0.49	0.45	ความยากพอเหมาะ จำแนกได้ดี

ตาราง 24 ค่าความยากและค่าอำนาจจำแนกของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ ฉบับหลังเรียน

ข้อที่	ค่าความยาก	ค่าอำนาจจำแนก	ความหมาย
1	0.73	0.51	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้ดี

2	0.72	0.57	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้ดี
3	0.58	0.52	ความยากพอเหมาะ จำแนกได้ดี
4	0.63	0.45	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้ดี
5	0.55	0.61	ความยากพอเหมาะ จำแนกได้ดีมาก
6	0.53	0.65	ความยากพอเหมาะ จำแนกได้ดีมาก

ตาราง 25 ค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่

ผลการ เรียนรู้	ข้อ	พฤติกรรม	ผู้เชี่ยวชาญคนที่			ΣR	IOC	ความ สอดคล้อง
			1	2	3			
1	1	ความรู้ความจำ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	2	ความรู้ความจำ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	3	ความรู้ความจำ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	4	ความรู้ความจำ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	5	ความเข้าใจ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	6	ความเข้าใจ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	7	ความเข้าใจ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	8	ความเข้าใจ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	9	กระบวนการสืบหาความรู้	+1	+1	0	+2	0.67	สอดคล้อง

ทางวิทยาศาสตร์							
10	กระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์	+1	+1	0	+2	0.67	สอดคล้อง
11	การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้	0	+1	+1	+2	0.67	สอดคล้อง
12	การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
13	การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้	+1	+1	0	+2	0.67	สอดคล้อง
14	การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้	+1	+1	0	+2	0.67	สอดคล้อง

ตาราง 23 (ต่อ)

ผลการเรียนรู้	ข้อ	พฤติกรรม	ผู้เชี่ยวชาญคนที่			ΣR	IOC	ความสอดคล้อง
			1	2	3			
2	15	ความรู้ความจำ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	16	ความรู้ความจำ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	17	ความรู้ความจำ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	18	ความรู้ความจำ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	19	ความเข้าใจ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง

20	ความเข้าใจ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
21	ความเข้าใจ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
22	กระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
23	กระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
24	ความเข้าใจ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
25	การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
26	การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
27	การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
28	การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
29	การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
30	การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง

ตาราง 23 (ต่อ)

ผลการเรียนรู้	ข้อ	พฤติกรรม	ผู้เชี่ยวชาญคนที่			ΣR	IOC	ความสอดคล้อง
			1	2	3			
3	31	ความรู้ความจำ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	32	ความรู้ความจำ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	33	ความเข้าใจ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง

34	ความเข้าใจ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
35	ความเข้าใจ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
36	ความเข้าใจ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
37	กระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
38	กระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
39	กระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
40	กระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
41	การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
42	การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
43	การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
44	การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง

ตาราง 23 (ต่อ)

ผลการ	ข้อ	พฤติกรรม	ผู้เชี่ยวชาญคนที่	ΣR	IOC	ความ
-------	-----	----------	-------------------	------------	-----	------

เรียนรู้			1	2	3	สอดคล้อง		
4	45	ความรู้ความจำ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	46	ความรู้ความจำ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	47	ความเข้าใจ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	48	ความเข้าใจ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	49	ความเข้าใจ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	50	กระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์	+1	+1	0	+2	0.67	สอดคล้อง
	51	กระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	52	กระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	53	กระบวนการสืบหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	54	การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	55	ความเข้าใจ	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	56	การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	57	การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	58	การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	59	การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง
	60	การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้	+1	+1	+1	+3	1.00	สอดคล้อง

ตาราง 26 ค่าความยากและค่าอำนาจจำแนกแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์
เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่

ข้อที่	p	r	สรุปผล	ข้อที่	p	r	สรุปผล	ข้อที่	p	r	สรุปผล
1	0.73	0.30	เลือกใช้	21	0.53	0.30	เลือกใช้	41	0.27	0.70	เลือกใช้
2	0.73	0.50	เลือกใช้	22	0.53	0.50	เลือกใช้	42	0.37	0.60	เลือกใช้
3	0.67	0.20	เลือกใช้	23	0.37	0.30	เลือกใช้	43	0.50	0.80	เลือกใช้
4	0.87	0.30	ตัดทิ้ง	24	0.70	0.40	เลือกใช้	44	0.23	0.60	เลือกใช้
5	0.73	0.40	เลือกใช้	25	0.53	0.30	เลือกใช้	45	0.83	0.40	ตัดทิ้ง
6	0.67	0.40	เลือกใช้	26	0.57	0.40	เลือกใช้	46	0.67	0.50	เลือกใช้
7	0.73	0.60	เลือกใช้	27	0.37	0.30	เลือกใช้	47	0.50	0.80	เลือกใช้
8	0.57	0.70	เลือกใช้	28	0.53	0.30	เลือกใช้	48	0.53	0.40	เลือกใช้
9	0.53	0.70	เลือกใช้	29	0.50	0.50	เลือกใช้	49	0.60	0.50	เลือกใช้
10	0.57	0.50	เลือกใช้	30	0.47	0.50	เลือกใช้	50	0.70	0.50	เลือกใช้
11	0.47	0.70	เลือกใช้	31	0.77	0.50	เลือกใช้	51	0.37	0.70	เลือกใช้
12	0.30	0.40	เลือกใช้	32	0.60	0.30	เลือกใช้	52	0.60	0.30	เลือกใช้
13	0.63	0.40	เลือกใช้	33	0.67	0.30	เลือกใช้	53	0.43	0.40	เลือกใช้
14	0.40	0.70	เลือกใช้	34	0.73	0.40	เลือกใช้	54	0.30	0.40	เลือกใช้
15	0.63	0.50	เลือกใช้	35	0.50	0.20	เลือกใช้	55	0.53	0.80	เลือกใช้
16	0.77	0.40	เลือกใช้	36	0.63	0.30	เลือกใช้	56	0.47	0.70	เลือกใช้
17	0.57	0.40	เลือกใช้	37	0.33	0.50	เลือกใช้	57	0.37	0.60	เลือกใช้
18	0.53	0.30	เลือกใช้	38	0.57	0.40	เลือกใช้	58	0.40	0.90	เลือกใช้
19	0.50	0.50	เลือกใช้	39	0.47	0.30	เลือกใช้	59	0.27	0.80	เลือกใช้
20	0.53	0.30	เลือกใช้	40	0.43	0.80	เลือกใช้	60	0.30	0.70	เลือกใช้



1. ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา
2. ตัวอย่างแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์
3. ตัวอย่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์

(ตัวอย่าง)

แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

รหัสวิชา ว31201 รายวิชา ฟิสิกส์ 1 กลุ่มสาระการจัดการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567

หน่วยการเรียนรู้เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่

จำนวน 16 ชั่วโมง

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง สะพานไม้ไอศกรีม (Popsicle stick Bridge) เวลา 4 ชั่วโมง

1. ผลการเรียนรู้

1. ทดลอง และอธิบายการหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน
2. เขียนแผนภาพของแรงที่กระทำต่อวัตถุอิสระ ทดลอง และอธิบายกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน และการใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันกับสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2. จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบาย ทดลองหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน และแสดงการหาแรงลัพธ์โดยใช้วิธีเขียนเวกเตอร์ของแรงแบบหางต่อหัว วิธีสร้างรูปสี่เหลี่ยมขนานของแรงและวิธีคำนวณ (K, P)
2. อธิบายและเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ (free-body diagram) ในกรณีต่าง ๆ (K, P)
3. ออกแบบสะพานไม้ไอศกรีมเพื่อแก้ปัญหาตามสถานการณ์ (P)

4. สร้าง และทดสอบสะพานไม้ไผ่เสริมที่สร้างขึ้นด้วยกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม ให้มีลักษณะแข็งแรง ปลอดภัย สวยงาม แสดงเอกลักษณ์ของจังหวัดนครปฐม และตั้งชื่อสะพาน ให้ไพเราะและสามารถใช้งานได้จริง (P)
5. นำเสนอการออกแบบสะพานไม้ไผ่เสริมให้ผู้อื่นเข้าใจได้ (P)
6. มีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมกลุ่มในชั้นเรียนและรับผิดชอบหน้าที่ของตนเอง (A)

3. สำคัญ

แรง (force) หมายถึง สิ่งที่สามารถทำให้วัตถุที่อยู่นิ่งเคลื่อนที่หรือทำให้วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่มีความเร็วเพิ่มขึ้นหรือช้าลง หรือเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุได้

แรงเป็นปริมาณเวกเตอร์ที่ต้องบอกทั้งขนาดและทิศทาง ดังนั้นการหาผลของแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุจากการรวมกันระหว่างแรงย่อย 2 แรงขึ้นไป เราสามารถคำนวณแบบเวกเตอร์ได้ โดยต้องรวมเวกเตอร์ของแรงย่อยที่มีอยู่ให้เป็นปริมาณเดียวกัน เนื่องจากปริมาณเวกเตอร์มีทั้งขนาดและทิศทาง ในการรวมเวกเตอร์ของแรงย่อยแต่ละแรงจึงต้องวิเคราะห์ทั้งขนาดและทิศทาง ขณะที่นำมารวมกันเพื่อหาค่าของแรงลัพธ์

มีการบูรณาการความรู้ทางวิทยาศาสตร์กับวิชาอื่นๆ ในการออกแบบและสร้างสรรค์ สะพาน โดยการสืบค้นข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้ แล้วนำมาวิเคราะห์ออกแบบและสร้างสะพานไม้ไผ่เสริม ให้มีความสอดคล้องกับเงื่อนไขของสถานการณ์

4. การเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

สะเต็มศึกษา	สาระตามแนวคิดสะเต็มศึกษา
วิทยาศาสตร์ (Science)	1) แรง (Force) เป็นปริมาณเวกเตอร์ที่มีทั้งขนาดและทิศทาง เมื่อมีแรงลัพธ์ที่ไม่เป็นศูนย์กระทำต่อวัตถุจะทำให้วัตถุเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่ การหาแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุอาจทำได้โดยวิธีการสร้างรูปและการคำนวณ 2) แผนภาพวัตถุอิสระ (free-body diagram) เป็นวิธีการหนึ่งที่จะทำให้การบรรยายแรงที่กระทำต่อวัตถุเป็นไปอย่างชัดเจน
เทคโนโลยี (Technology)	1) การสืบค้นข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้ออนไลน์ 2) ออกแบบรูปร่างของสะพานไม้ไผ่เสริม

วิศวกรรม (Engineering)	1) การออกแบบสะพานไม้ไผ่เสริม ให้สอดคล้องกับเงื่อนไขในสถานการณ์ 2) การทดสอบสะพานไม้ไผ่เสริม และการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการสร้างและการทดสอบ
ศิลปะ (Arts)	1) การออกแบบสะพานไม้ไผ่เสริมให้สอดคล้องกับเงื่อนไขของสถานการณ์ และตกแต่งสะพานไม้ไผ่เสริมให้มีลักษณะแข็งแรง ปลอดภัย สวยงาม แสดงเอกลักษณ์ของจังหวัดนครปฐม และตั้งชื่อสะพานให้ไพเราะ 2) นำเสนอแนวคิดในการสร้างสะพาน กระบวนการในการสร้างสะพาน และทักษะในการทำงาน
คณิตศาสตร์ (Mathematics)	1) รูปทรงเรขาคณิต 2) การคำนวณ และการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ

5. สมรรถนะสำคัญของผู้เรียน

- ☒ 1) ความสามารถในการสื่อสาร
- ☒ 2) ความสามารถในการคิด
- ☐ 3) ความสามารถในการแก้ปัญหา
- ☒ 4) ความสามารถในการใช้ทักษะชีวิต
- ☐ 5) ความสามารถในการใช้เทคโนโลยี

6. คุณลักษณะอันพึงประสงค์

- ☐ 1) รักชาติ ศาสน์ กษัตริย์
- ☐ 2) ซื่อสัตย์ สุจริต
- ☐ 3) มีวินัย
- ☒ 4) ใฝ่เรียนรู้
- ☐ 5) อยู่อย่างพอเพียง
- ☒ 6) มุ่งมั่นในการทำงาน
- ☐ 7) รักความเป็นไทย
- ☐ 8) มีจิตสาธารณะ

7. ชิ้นงาน/ภาระงาน

- แบบบันทึกผลการทดลอง เรื่อง การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์
- ใบงานที่ 1 เรื่อง แรงและแรงลัพธ์

- ใบกิจกรรมที่ 1 เรื่อง สะพานไม้ไอศกรีม (Popsicle stick Bridge)
- สะพานไม้ไอศกรีม (Popsicle stick Bridge)

8. เครื่องมือวัดผลการเรียนรู้

จุดประสงค์/ภาระชิ้นงาน	วิธีการวัดผล/ ประเมินผล	เครื่องมือวัดผล/ ประเมินผล	เกณฑ์การ วัดผล/ ประเมินผล
1. อธิบาย ทดลองหาแรงลัพธ์ ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน และแสดงการหาแรงลัพธ์โดยใช้ วิธีเขียนเวกเตอร์ของแรงแบบ ทางต่อหัว วิธีสร้างรูปสี่เหลี่ยม ขนานของแรงและวิธีคำนวณ	- สังเกตพฤติกรรม และตรวจแบบ บันทึกผลการ ทดลอง	- แบบประเมิน การบันทึกผลการ ทดลอง	ระดับคุณภาพ พอใช้ขึ้นไปถือว่า ผ่านเกณฑ์
	- ตรวจใบงานที่ 1	- แบบประเมินใบ งาน/ใบกิจกรรม	ระดับคุณภาพ พอใช้ขึ้นไปถือว่า ผ่านเกณฑ์

จุดประสงค์/ภาระชิ้นงาน	วิธีการวัดผล/ ประเมินผล	เครื่องมือวัดผล/ ประเมินผล	เกณฑ์การ วัดผล/ ประเมินผล
2. อธิบายและเขียนแผนภาพ วัตถุอิสระ (free-body diagram) ในกรณีต่าง ๆ	- ตรวจใบงานที่ 2	- แบบประเมินใบ งาน/ใบกิจกรรม	ระดับคุณภาพ พอใช้ขึ้นไปถือว่า ผ่านเกณฑ์
3. ออกแบบสะพานไอศกรีมเพื่อ แก้ปัญหาตามสถานการณ์	- ตรวจใบกิจกรรม 1	- แบบประเมินใบ งาน/ใบกิจกรรม	ระดับคุณภาพ พอใช้ขึ้นไปถือว่า ผ่านเกณฑ์
4. สร้าง และทดสอบสะพานไม้ ไอศกรีม ที่ สร้าง ขึ้น ด้วย กระบวนการออกแบบทาง วิศวกรรมให้มีลักษณะแข็งแรง ปลอดภัย สวยงาม แสดง เอกลักษณ์ของจังหวัดนครปฐม	- ประเมินผลชิ้นงาน	- แบบประเมิน ชิ้นงาน	ระดับคุณภาพ พอใช้ขึ้นไปถือว่า ผ่านเกณฑ์

และตั้งชื่อสะพานให้ไพเราะและสามารถใช้งานได้จริง			
5. นำเสนอการออกแบบสะพานไอศกรีมให้ผู้อื่นเข้าใจได้	- ประเมินผลชิ้นงาน	- แบบประเมินชิ้นงาน	ระดับคุณภาพพอใช้ขึ้นไปถือว่าผ่านเกณฑ์
6. มีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมกลุ่มในชั้นเรียนและรับผิดชอบหน้าที่ของตนเอง	- สังเกตพฤติกรรม	- แบบสังเกตพฤติกรรม	ระดับคุณภาพพอใช้ขึ้นไปถือว่าผ่านเกณฑ์

9. กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นที่ 1 ขั้นระบุปัญหา (Problem Identification) (เวลา 30 นาที)

1. ครูกล่าวทักทายกับนักเรียนและพูดถึงจุดประสงค์และเนื้อหาที่เราจะเรียนเป็นเรื่องเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่ ครูชวนนักเรียนพูดคุยเกี่ยวกับสะพาน แล้วตั้งคำถามว่า

- รูปร่างของสะพานมีผลต่อความแข็งแรงของสะพานหรือไม่? (ตอบตามความเข้าใจของนักเรียน)

- มีแรงอะไรบ้างที่มากระทำกับสะพาน? (ตอบตามความเข้าใจของนักเรียน)

2. ครูเปิดคลิปวิดีโอเกี่ยวกับประเภทและองค์ประกอบของสะพานให้นักเรียน

ดู <https://shorturl.at/mzINz> หลังจากนั้นครูตั้งคำถามกับนักเรียนว่า

- สะพานมีประโยชน์อย่างไร (เพื่อประโยชน์ในการสัญจรข้าม)

- สะพานมีกี่ชนิด (แบ่งตามลักษณะการใช้งานมี 2 ประเภท คือ สะพานข้ามน้ำและสะพานบก)

3. หลังจากทีครูเปิดคลิปวิดีโอเป็นสื่อเพื่อกระตุ้นความสนใจจากนักเรียนแล้ว ครูเชื่อมโยงเข้าสู่สถานการณ์ เรื่อง สะพานไม้ไอศกรีม (Popsicle Stick Bridge) โดยครูเป็นผู้เสนอสถานการณ์ ดังต่อไปนี้

สะพานไม้ข้ามแม่น้ำท่าจีนหลายแห่งกำลังจะพังทลายชำรุดเสียหาย ชาวบ้านที่ใช้สะพานข้ามไปอีกฝั่งได้รับความเดือดร้อน บริษัท พระปฐมวิศวะ จำกัด เมื่อทราบปัญหาสะพานชำรุดจึงจัดให้มีการแข่งขันการออกแบบและสร้างสะพานเพื่อคัดเลือกแบบสะพานที่มีคุณภาพมากที่สุดไปสร้างสะพานใหม่กับชาวบ้าน โดยใช้อุปกรณ์ตามที่กำหนดให้ นักเรียนจะต้องใช้บออย่างคุ้มค่า สะพานใหม่ที่สร้างขึ้นต้องมีลักษณะแข็งแรง ปลอดภัย สวยงาม แสดงเอกลักษณ์ของจังหวัดนครปฐม และตั้งชื่อสะพานให้ไพเราะ

เกณฑ์การแข่งขันสร้างสะพาน

1. ใช้ไม้ไอศกรีมแทนไม้ในการสร้างสะพาน และวัสดุมีเพียง 2 อย่างเท่านั้นคือ ไม้ไอศกรีมและ



จากสถานการณ์ดังกล่าวหากทีมของนักเรียนต้องการสร้างสะพานไม้ไผ่เสริมเข้าร่วมการแข่งขัน นักเรียนจะต้องออกแบบสร้างสะพานจะไม้ไผ่เสริมโดยใช้เพียงไม้ไผ่เสริมและกาวร้อน สะพานต้องมีความยาวอย่างน้อย 33 เซนติเมตร ยาวไม่เกิน 40 เซนติเมตร และมีความกว้างไม่เกินไม้ไผ่เสริม 1 อัน สามารถวางบนจุดรองรับที่มีความกว้างช่วง 30 เซนติเมตร ทีมที่มีค่าประสิทธิภาพของโครงสร้างมากที่สุดจะเป็นฝ่ายชนะ เวลาในการสร้างสะพานทั้งหมดไม่เกิน 40 นาที ตกแต่งและนำเสนอให้สอดคล้องกับเงื่อนไขการแข่งขันสร้างสะพาน โดยจะต้องทำงานร่วมกันเป็นทีม มีการแบ่งหน้าที่กันทำงาน และทำกิจกรรมด้วยความระมัดระวัง

4. จากนั้นครูเสนอภาพตัวอย่างของสะพานที่ทำมาจากสปริงเก็ตหรือหลอดให้นักเรียนได้ดู เพื่อให้นักเรียนเห็นตัวอย่างของการสร้างสะพานจากวัสดุอื่น



ตัวอย่างสะพานที่ทำจากสเปกเตตัส

ตัวอย่างสะพานที่ทำจากหลอด

5. ครูให้นักเรียนแบ่งเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 4-5 คน ให้สมาชิกในกลุ่มเลือกหัวหน้ากลุ่มเพื่อประสานงานกลุ่มและมอบหมายหน้าที่ให้สมาชิกในกลุ่มตามความสามารถ หลังจากนั้นนักเรียนช่วยกันวิเคราะห์สถานการณ์ใน 2 ประเด็น คือ ปัญหาจากสถานการณ์มีอะไรบ้าง และ เงื่อนไข/ข้อจำกัดจากสถานการณ์มีอะไรบ้าง หลังจากนั้นให้นักเรียนเขียนลงในใบบันทึกกิจกรรมที่ 1 ข้อ 1 ตามประเด็นต่อไปนี้อย่างมากที่สุด (เพื่อพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน)

ตัวอย่างคำตอบ ปัญหาจากสถานการณ์ “สะพานไม้ไผ่”

(ตอบ สร้างสะพานจากไม้ไผ่ให้มีค่าประสิทธิภาพของโครงสร้างมากที่สุดก่อนที่สะพานจะชำรุด โดยกำหนดให้ที่แขวนรับน้ำหนักทดสอบที่ตำแหน่งกึ่งกลางของสะพาน โดยใช้เพียงไม้ไผ่ 150 อัน และการร้อย 2 หลอดในการสร้าง จะต้องแบ่งหน้าที่กันอย่างไรเพื่อให้สะพานเสร็จภายในเวลาที่กำหนด

เงื่อนไขและข้อจำกัดของสถานการณ์ “สะพานไม้ไผ่”

1. สะพานต้องมีความยาวอย่างน้อย 33 เซนติเมตร ยาวไม่เกิน 40 เซนติเมตร และมีความกว้างไม่เกินไม้ไผ่ 1 อัน สามารถวางบนจุดรองรับที่มีความกว้างช่วง 30 เซนติเมตร
2. ไม้ไผ่จะต้องไม่ซ้อนกันเป็นชั้น ๆ เว้นแต่จะอยู่ที่ข้อต่อหรือบนแถบวางมวลถ่วง
3. มีเวลาในการสร้างสะพานทั้งหมดไม่เกิน 40 นาที
4. สะพานที่สร้างขึ้นต้องมีความแข็งแรง แสดงเอกลักษณ์ของจังหวัดนครปฐม
5. จะต้องพุดนำเสนอ ภายในเวลา 3 นาที)
6. จากนั้นครูตั้งคำถามกับนักเรียนโดยอ่านคำถามทีละข้อ (ครูย้ำกับนักเรียนว่าให้ฟังครูอ่านคำถามให้จบก่อนถึงจะเริ่มทำ) ให้นักเรียนแต่ละคนเขียนลงในใบบันทึกกิจกรรมที่ 1 ข้อ 2 เมื่อครูอ่านคำถามจบก็เริ่มจับเวลาโดยให้เวลาข้อละ 2 นาที เมื่อครบ 2 นาทีแล้วให้นักเรียนวางปากกา แล้วครูอ่านคำถามข้อถัดไปให้นักเรียนฟัง ครูย้ำกับนักเรียนว่าให้ฟังครูอ่านคำถามให้จบก่อนถึงจะเริ่มทำ เมื่อครูอ่านคำถามจบก็เริ่มจับเวลาโดยให้เวลาข้อละ 2 นาที เมื่อครบ 2 นาทีแล้วให้นักเรียนวางปากกา (เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียน)

- 1) นักเรียนคิดว่าสะพานไม้ไผ่มีความเกี่ยวข้องกับชีวิตหรือไม่ อย่างไร

(ตอบ 1. สะพานเป็นตัวกลางในการเชื่อมโยงผู้คนกับผู้คน/ผู้คนกับสถานที่เข้าด้วยกัน ทำให้เดินทางไปมาหาสู่กันได้สะดวกขึ้น

2. ทำให้การขนส่งรวดเร็วขึ้น

3. ทำให้เกิดการจ้างงานจากการสร้างสะพาน

4. สะพานที่สวยงามและเป็นเอกลักษณ์ สามารถดึงดูดนักท่องเที่ยวทำให้เกิดรายได้จากการท่องเที่ยว

5. สะพานช่วยเชื่อมโยงประวัติศาสตร์ หรือเป็นสัญลักษณ์ทางวัฒนธรรม)

2) ก่อนจะสร้างสะพานไม้อัศกริมนักเรียนคิดว่าต้องมีความรู้เกี่ยวกับอะไรบ้าง

(ตอบ ต้องมีความรู้เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ เช่น แรง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน โครงสร้าง

ความรู้เกี่ยวกับศิลปะ เช่น การออกแบบ เพื่อให้สะพานมีรูปทรงที่สวยงามน่าดึงดูด พุด

นำเสนอผลงานให้มีความน่าสนใจเชื่อมโยงกับชีวิต

ความรู้เกี่ยวกับคณิตศาสตร์ เช่น ขนาดและสัดส่วน ค่ามุม

ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยี เช่น การสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของการสร้างสะพาน)

7. ครูสุ่มตัวแทนนักเรียน 2-3 คน นำเสนอคำถามในใบกิจกรรมที่ 1 ข้อ 1 และข้อ 2 ครูและนักเรียนในชั้นเรียนร่วมกันอภิปราย

ขั้นที่ 2 ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา (Related Information Search)

(เวลา 80 นาที)

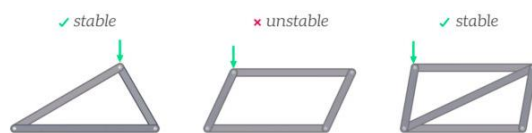
8. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายว่า ถ้าต้องการให้การออกแบบและสร้างสะพานไม้อัศกริมให้มีประสิทธิภาพสูงสุด จะต้องทำการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับอะไรบ้างที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสะพานไม้อัศกริม จากนั้นครูนำเข้าสู่กิจกรรมการเรียนรู้ 2 กิจกรรม โดยชี้แจงให้นักเรียนทราบว่า เพื่อให้การสร้างสะพานไม้อัศกริมให้มีประสิทธิภาพสูงสุดนักเรียนจะต้องมีความรู้ในเนื้อหา ดังต่อไปนี้

กิจกรรมที่ 1 สะพานเรขาคณิต

1. หลังจากที่นักเรียนสามารถระบุปัญหาและเงื่อนไขของสถานการณ์ได้แล้ว ครูให้นักเรียนเข้ากลุ่มแล้วนำหลอดพลาสติกและเชือกแล้วนำมาร้อยให้เป็นรูปเรขาคณิต แล้วให้

นักเรียนออกแรงกระทำ ณ บริเวณต่าง ๆ ของรูปเรขาคณิต สังเกตการเปลี่ยนแปลงแล้วบันทึกผลที่ได้ ครูถามกระตุ้นให้นักเรียนได้คิดด้วยคำถามต่อไปนี้

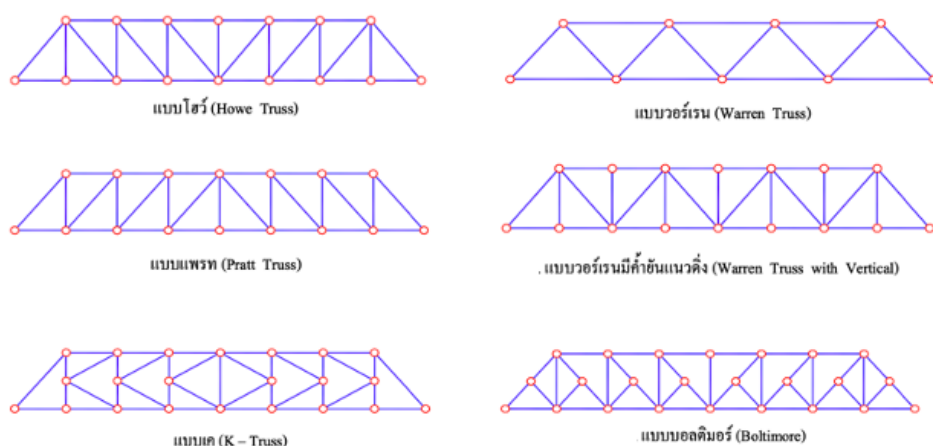
- เมื่อออกแรงกดทับบริเวณมุมของรูปเรขาคณิตแต่ละรูปเป็นอย่างไร



- ขนาดของแรงที่กดของรูปทรงเรขาคณิตแต่ละรูปเป็นอย่างไร (รูปทรงสามเหลี่ยมสามารถรับแรงกดได้มาก)

ครูสุ่มตัวแทนนักเรียน 2-3 กลุ่ม นำเสนอคำตอบ ครูและนักเรียนในชั้นเรียนร่วมกันอภิปรายและได้ข้อสรุปว่า เมื่อออกแรงกดทับบริเวณมุมของรูปเรขาคณิตรูปทรงสามเหลี่ยมจะเป็นรูปทรงที่มีความแข็งแรงมากที่สุด และจะต้องออกแรงมากกว่ารูปทรงอื่นเพื่อที่จะทำให้รูปทรงเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนรูปทรงไปจากเดิม เนื่องจากรูปทรงสามเหลี่ยมเป็นโครงสร้างที่เสถียร แรงที่มากระทำจะกระจายไปตามด้านทั้งสามอย่างเท่า ๆ กัน ครูกล่าวเพิ่มเติมว่า รูปทรงที่ประกอบด้วยรูปสามเหลี่ยมซ้ำ ๆ เช่น รูปทรงลูกบาศก์ หรือรูปทรงปริซึม จะมีความแข็งแรงมากขึ้น เนื่องจากมีโครงสร้างที่ซับซ้อนและสามารถรับแรงได้หลายทิศทาง

2. ครูให้ความรู้และยกตัวอย่างเกี่ยวกับรูปแบบของสะพาน ตามใบความรู้ที่ 1 เรื่อง สะพานโครงถัก



ตัวอย่างสะพานโครงถักที่นิยมนำมาสร้างสะพาน

3. จากกิจกรรมย่อยที่ 1 สะพานเรขาคณิต ครูถามคำถามเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนคิดต่อว่า

- เมื่อนักเรียนออกแรงกดทับบริเวณมุมของรูปเรขาคณิตรูปเรขาคณิตมีการเคลื่อนที่หรือไม่ อย่างไร (รูปเรขาคณิตเคลื่อนที่ เปลี่ยนรูปทรงไปจากเดิม)

- นักเรียนคิดว่าแรงกดทับบริเวณมุมของรูปเรขาคณิต ทำให้รูปเรขาคณิตเคลื่อนที่ได้เพราะเหตุใด (เพราะออกแรงกดไปที่รูปเรขาคณิต)

- นักเรียนคิดว่าความหมายของ แรง คืออะไร (แรง คือ สิ่งที่สามารถทำให้วัตถุที่อยู่นิ่งเคลื่อนที่หรือทำให้วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่มีความเร็วเพิ่มขึ้นหรือช้าลง หรือเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุได้)

- แล้วถ้านักเรียนออกแรงกระทำต่อวัตถุ เพื่อให้วัตถุเคลื่อนที่ แต่วัตถุกลับไม่เคลื่อนที่เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น (การออกแรงกระทำต่อวัตถุอาจทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้ หรือวัตถุอาจไม่เคลื่อนที่ เนื่องจากมีแรงย่อยอื่นมารวมกระทำ ทำให้เกิดการหักล้างของแรงในปริมาณเวกเตอร์ ดังนั้นวัตถุที่จะเคลื่อนที่ได้หรือไม่ได้ ขึ้นอยู่กับแรงลัพธ์ที่มากระทำต่อวัตถุ)

4. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายคำตอบของนักเรียนเพื่อเชื่อมโยงไปสู่เรื่อง แรงและแรงลัพธ์ ครูชวนนักเรียนสนทนา เกี่ยวกับเรื่องการทำวัตถุจะเคลื่อนที่หรือไม่เคลื่อนที่ แรงต้องมีส่วนเกี่ยวข้องทุกครั้งหรือไม่ และการหาแรงลัพธ์หาได้กี่วิธี อะไรบ้าง อย่างไร" (ทิ้งช่วงให้นักเรียนคิด)

5. ครูให้นักเรียนค้นคว้าหาความรู้เกี่ยวกับแรงและแรงลัพธ์ จากใบความรู้ที่ 2 เรื่อง แรงและแรงลัพธ์เพื่อเป็นการทำความเข้าใจเนื้อหาด้วยตนเองในเบื้องต้น ครูนำอภิปรายจนได้ใจความว่า ถ้ามีแรงหลาย ๆ แรง มากระทำต่อวัตถุเดียวกัน ในเวลาเดียวกัน เสมือนกับว่ามีแรงเพียงแรงเดียวมากระทำต่อวัตถุนั้น เรียกแรงเสมือนแรงเดียวนั้นว่า แรงลัพธ์ และอธิบายเพิ่มเติมว่าแรงลัพธ์คือ ผลรวมของแรงหลาย ๆ แรงที่กระทำต่อวัตถุนั้น

6. ครูถามนักเรียนว่า นักเรียนสามารถหาแรงลัพธ์ได้อย่างไร (ทิ้งช่วงให้นักเรียนคิด) หลังจากนั้นครูนำอภิปรายเรื่องวิธีการหาแรงลัพธ์ โดยอธิบายว่าวิธีการหาแรงลัพธ์นั้นมี 2 วิธี คือ วิธีวาดรูป และวิธีการคำนวณ พร้อมกับสาธิตการหาแรงลัพธ์จากวิธีวิธีวาดรูป และวิธีการคำนวณตามตัวอย่างในใบความรู้ที่ 2

กิจกรรม 2 การทดลองหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์

1. ครูชี้แจงจุดประสงค์การทดลองให้นักเรียนทราบ ดังนี้

- เพื่อหาขนาดของแรงย่อยและแรงลัพธ์

- เพื่อหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน

2. นักเรียนทำกิจกรรมการทดลอง เรื่อง การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ ครูให้ความรู้ที่จำเป็นต่อการทดลอง ให้ขั้นตอนและรายละเอียดในการทดลองแก่นักเรียน โดยใช้วิธีการต่าง ๆ ตามความเหมาะสม

3. นักเรียนลงมือทดลองตามขั้นตอนการทดลองที่กำหนดในแบบบันทึกผลการทดลอง เรื่อง การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ และบันทึกผลการทดลอง

4. นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอ และสรุปผลการทำกิจกรรม การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์หน้าชั้นเรียน ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายและหาข้อสรุปจากการปฏิบัติกิจกรรม โดยใช้คำถามต่อไปนี้

- เวกเตอร์ของแรงลัพธ์มีทิศทางอย่างไร และมีทิศเดียวกันหรือตรงข้ามกันกับแรงจากเครื่องชั่งสปริงตัวที่สาม

- เวกเตอร์ลัพธ์มีขนาดเท่าใด และมีค่าเท่ากับค่าที่บันทึกได้จากแรงที่อ่านได้จากเครื่องชั่งสปริงตัวที่หนึ่งและตัวที่สอง และค่าแรงลัพธ์ที่ได้จากการหาแบบรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานหรือไม่อย่างไร

5. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปผลจากการปฏิบัติกิจกรรม โดยให้ได้ข้อสรุปว่า ขณะกระดาษอยู่นิ่ง แรงลัพธ์ที่กระทำต่อกระดาษเป็นศูนย์ ซึ่งแสดงให้เห็นได้ด้วยการใช้วิธีทางเวกเตอร์ต่อหัวเวกเตอร์ (โดยให้นักเรียนวาดรูปแรงทั้งสามแรง)

6. ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนสอบถามเนื้อหาเรื่อง แรงและแรงลัพธ์ ว่ามีส่วนไหนที่ยังไม่เข้าใจและให้ความรู้เพิ่มเติมในส่วนนั้น ครูอาจเปิด Interactive 3D เรื่อง แรงลัพธ์ (<https://shorturl.at/uyAOG>) หลังจากนั้นให้นักเรียนทำใบงานที่ 1 เรื่อง แรงและแรงลัพธ์



กิจกรรม 3 การเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ

1. ครูชี้ให้เห็นว่าการเขียนแผนภาพวัตถุอิสระของแต่ละปัญหาตามใบความรู้ที่ 2 เป็นกระบวนการเริ่มต้นก่อนเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ปัญหาและแก้ปัญหา เรียกว่า แผนภาพวัตถุอิสระ (free-body diagram) จะเป็นการนำเอาวัตถุที่เป็นระบบออกมาเขียนโดยไม่นำสิ่งแวดล้อมมาเขียนด้วย ทำให้ทราบว่า เรากำลังพิจารณาวัตถุก้อนใดอยู่ แล้วจึงเขียนแรงทุกแรงที่กระทำต่อวัตถุ โดยไม่เขียนแรงอย่างอื่นที่ไม่ได้กระทำต่อวัตถุ ดังนั้นนักเรียนจะต้องเข้าใจองค์ประกอบต่าง ๆ ก่อนจะเข้าสู่หลักการเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ ดังนี้

ส่วนแรก คือ ชนิดของแรง ได้แก่ แรงกระทำหรือน้ำหนักที่มากระทำ ส่วนนี้เป็นส่วนสำคัญที่นักเรียนสามารถเขียนสัญลักษณ์หรือลูกศร ที่แสดงความหมายของแรงในแผนภาพวัตถุอิสระได้อย่างถูกต้อง

ส่วนที่สอง คือ แกนอ้างอิง นักเรียนต้องตั้งแกนอ้างอิงให้สัมพันธ์กับปัญหา และเป็นแนวเริ่มต้นในการแก้ปัญหา นั้น ๆ

ส่วนที่สาม คือ ขอบเขตของวัตถุ เช่น ลักษณะการเคลื่อนที่

2. ครูอธิบายเพิ่มเติมในเรื่องของการเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ (Free-body diagram) คือ การเขียนแผนภาพแทนวัตถุเพื่อแสดงให้เห็นเวกเตอร์ของแรงภายนอกที่กระทำต่อวัตถุ ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

- 1) วาดรูปร่างของวัตถุ โดยนิยมเขียนเป็นโครงรูปโดยสังเขป หรือแทนด้วยจุดก็ได้
- 2) แสดงแรงทั้งหมดที่กระทำกับวัตถุ
- 3) เขียนตัวเลขหรือสัญลักษณ์แทนแรงแต่ละแรง และเขียนลูกศรแสดงทิศของแรง

3. ครูช่วยอธิบายสรุปเพื่อให้นักเรียนเข้าใจดังนี้

- 1) เขียนภาพของปัญหาแล้วใส่แรงกระทำที่เป็นไปได้ทั้งหมด
- 2) นำวัตถุที่เป็นปัญหามาเขียนแยกอิสระพร้อมทั้งใส่กรอบอ้างอิงที่เหมาะสม
- 3) ถ้าแรงกระทำไม่ได้อยู่ในแนวแกนของระบบ ให้แตกเป็นแรงย่อย
- 4) เขียนเป็นสมการของแรงลัพธ์ในแต่ละแกน

- แนวการเคลื่อนที่ที่มีความเร่ง: $\sum F = ma$

- วัตถุอยู่นิ่งหรือมีความเร่งคงตัว: $\sum F = 0$

4. ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนสอบถามเนื้อหาเรื่อง การเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ ว่ามีส่วนไหนที่ยังไม่เข้าใจและให้ความรู้เพิ่มเติมในส่วนนั้น

5. นักเรียนได้ลงมือแก้โจทย์ปัญหาในสถานการณ์สร้างสะพานไม้ไผ่ศกริมที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด บันทึกผลลงในใบกิจกรรมที่ 1 ข้อที่ 3

ขั้นที่ 3 ขั้นตอนออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Solution Design) (เวลา 30 นาที)

9. ครูทบทวนสถานการณ์ปัญหาในกิจกรรมนี้อีกครั้งว่า นักเรียนต้องสร้างสะพานไม้ไผ่ศกริมที่สามารถรับน้ำหนักทดสอบที่กึ่งกลางของสะพานให้ได้น้ำหนักมากที่สุดโดยไม่ชำรุดเสียหาย และสะพานที่สร้างต้องมีลักษณะแข็งแรง ปลอดภัย สวยงามแสดงเอกลักษณ์ของจังหวัด

นครปฐม และตั้งชื่อสะพานให้ไพเราะ โดยเชื่อมความรู้ที่นักเรียนได้รับจากการทำกิจกรรมที่ 1-2 กับการออกแบบการสร้างสะพานไม้ไผ่เสริม ดังนี้

- กิจกรรมที่ 1 ทำให้นักเรียนได้ทราบว่า ในการออกแบบและสร้างสะพานไม้ไผ่เสริม เพื่อรับน้ำหนักทดสอบที่กึ่งกลางของสะพานให้น้ำหนักมากที่สุด นักเรียนควรประกอบไม้ไผ่เสริมให้มีรูปทรงสามเหลี่ยม แล้วสร้างเป็นแบบโครงถัก

- กิจกรรมที่ 2 ทำให้นักเรียนได้ทราบว่า สามารถหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ได้จากผลรวมของแรงหลาย ๆ แรงที่กระทำต่อวัตถุนั้น และการรวมแรงเป็นการหาค่าแรงลัพธ์ ทำได้โดยวิธีการวาดรูป และวิธีการคำนวณ

- กิจกรรมที่ 3 ทำให้นักเรียนได้ทราบว่า การเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ เป็นวิธีหนึ่งที่จะทำให้การบรรยายแรงที่กระทำต่อวัตถุเป็นไปอย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

10. ครูกำหนดเงื่อนไขเกี่ยวกับวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสะพานไม้ไผ่เสริม โดยวัสดุที่ใช้ในการสร้างสะพานจะต้องสร้างมาจากไม้ไผ่เสริมที่ครูได้จัดเตรียมไว้ให้

- | | | |
|-------------|----------------|---------------|
| วัสดุที่ใช้ | 1. ไม้ไผ่เสริม | จำนวน 150 อัน |
| | 2. กาวร้อน | จำนวน 2 หลอด |

ส่วนอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น กรรไกร ไม้บรรทัด คัตเตอร์ แผ่นรองตัด คุณครูได้เตรียมไว้ให้ในตะกร้าอุปกรณ์ของแต่ละกลุ่ม

11. นักเรียนนำความรู้ที่ได้จากการเรียน การทำกิจกรรม และการสืบค้นจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ มาช่วยในการออกแบบสะพานไม้ไผ่เสริมให้เป็นตามเงื่อนไขปัญหาของสถานการณ์ โดยเขียนเป็นแผนภาพหรือร่างภาพตามบริบทของปัญหานั้น ๆ ให้ได้มากกว่า 1 วิธี พร้อมระบุถึงวัสดุและเหตุผลที่เลือกใช้วัสดุนั้นลงในใบบันทึกกิจกรรมที่ 1 ข้อ 4 (เพื่อพัฒนาความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์และความคิดริเริ่มทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน)

12. จากนั้นครูให้นักเรียนนำแบบสะพานไม้ไผ่เสริมที่ออกแบบไว้ทั้งหมดมาวิเคราะห์หาข้อดีและข้อจำกัดของวิธีในการแก้ปัญหาแต่ละข้อ พร้อมทั้งตัดสินใจเลือกวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหานั้น โดยจะต้องคำนึงถึงการเลือกใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการสร้างสะพานไม้ไผ่เสริม พิจารณาปัจจัยต่าง ๆ เช่น การรับน้ำหนัก ความสวยงาม ขนาดของสะพาน รวมไปถึงความปลอดภัยแก่ผู้ใช้งาน เป็นต้น ให้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่ครูกำหนด และสามารถใช้งานได้จริงมา 1 วิธี พร้อมบอกปริมาณวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ และคาดการณ์น้ำหนักที่สะพานไม้ไผ่เสริมจะรับได้ โดยบันทึกลงในใบกิจกรรมที่ 1 ข้อ 5 (เพื่อพัฒนาความคิดคล่องทางวิทยาศาสตร์และความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน)

ขั้นที่ 4 ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (Planning and Development) (เวลา 50 นาที)

13. นักเรียนวางแผนการทำงานร่วมกันแล้วลงมือสร้างชิ้นงานตามแบบและอุปกรณ์ที่กลุ่มตนเองได้ออกแบบไว้ โดยเน้นย้ำว่าสะพานไม้ไผ่เสริมที่สร้างจะต้องตรงตามเงื่อนไขจากสถานการณ์ของปัญหา โดยใช้ศิลปะร่วมกับการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม และย้านักเรียนให้ใช้อุปกรณ์ด้วยความระมัดระวัง

ขั้นที่ 5 ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Testing, Evaluation and Design Improvement) (เวลา 20 นาที)

14. นักเรียนนำสะพานไม้ไผ่เสริมที่สร้างมาทดสอบให้รับน้ำหนักที่กึ่งกลางของสะพาน (ครูอาจเตรียมถังขนาดใหญ่ ตาชั่ง และทรายไว้) แล้วให้นักเรียนเป็นผู้ทดสอบการรับน้ำหนักของสะพานด้วยตนเองโดยการตักทรายเพิ่มเข้าไปในถังขนาดใหญ่ที่แขวนไว้ที่กึ่งกลางของสะพาน นักเรียนสังเกตและบันทึกผลการทดสอบลงในใบกิจกรรมที่ 1 ข้อ 6

15. นักเรียนนำผลการทดสอบสะพานไม้ไผ่เสริมที่สร้างขึ้นมาหาแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานให้ดีขึ้น เพื่อให้สามารถให้สะพานไม้ไผ่เสริมรับน้ำหนักได้มากที่สุด และใช้งบประมาณอย่างคุ้มค่ามากที่สุด จากนั้นลงมือปรับปรุงชิ้นงานแล้วนำไปทดสอบการทดสอบอีกครั้ง พร้อมกับบันทึกข้อมูลการทดสอบลงในใบกิจกรรมที่ 1 ข้อ 7 (เพื่อพัฒนาความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน)

ขั้นที่ 6 ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Presentation) (เวลา 30 นาที)

16. แต่ละทีมที่เข้าร่วมการแข่งขันต้องส่งตัวแทนพูดนำเสนอ เช่น แนวคิดในการสร้างสะพาน กระบวนการในการสร้างสะพาน และทักษะในการทำงาน เป็นต้น ภายในเวลา 3 นาที

17. ครูและเพื่อนร่วมชั้นเรียนช่วยกันอภิปรายและให้ข้อเสนอแนะวิธีการแก้ปัญหาขั้นตอนการสร้างชิ้นงานของกลุ่มที่นำเสนอ (เพื่อพัฒนาความคิดยืดหยุ่นทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน)

18. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายและสรุปเกี่ยวกับการทำกิจกรรมสะพานไม้ไผ่เสริมในประเด็นดังต่อไปนี้

- จากกิจกรรม สะพานไม้ไผ่เสริม นักเรียนมีความเข้าใจหลักการเกี่ยวกับการออกแบบทางวิศวกรรมอย่างไรบ้าง (เช่น แรงดึง แรงอัด โครงสร้างของสะพาน) แล้วสะพานที่สร้างมีความเกี่ยวข้องกับนักเรียนอย่างไรบ้าง

- สะพานไม้ไผ่เสริมที่นักเรียนสร้างขึ้นสามารถรับน้ำหนักได้เท่ากับน้ำหนักที่นักเรียนคาดการณ์หรือไม่ อย่างไร เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น

- การทำงานในระหว่างที่มีการทำกิจกรรมของกลุ่มนักเรียนเป็นอย่างไรบ้าง แล้วบทบาทของนักเรียนในกลุ่มเป็นอย่างไร พอใจกับผลลัพธ์ของสะพานที่สร้างขึ้นหรือไม่

19. นักเรียนบันทึกผลการอภิปรายลงในใบกิจกรรมที่ 1 ข้อ 8

10. สื่อ/แหล่งการเรียนรู้

10.1 สื่อการเรียนรู้

- 1) หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ ม. 4 เล่ม 1 หน่วยการเรียนรู้ เรื่องแรงและการเคลื่อนที่
- 2) แบบบันทึกผลการทดลอง เรื่อง การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์
- 3) ใบความรู้ที่ 1 เรื่อง สะพานโครงถัก
- 4) ใบความรู้ที่ 2 เรื่อง แรงและแรงลัพธ์
- 5) ใบงานที่ 1 เรื่อง แรงและแรงลัพธ์
- 6) Interactive 3D เรื่อง แรงลัพธ์
- 7) ใบกิจกรรมที่ 1 เรื่อง สะพานไม้ไผ่เสริม
- 8) PowerPoint เรื่อง สะพานไม้ไผ่เสริม

10.2 แหล่งการเรียนรู้

- 1) ห้องเรียน
- 2) ห้องสมุด
- 3) แหล่งข้อมูลสารสนเทศ

การทดลอง เรื่อง การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์



เวลา 30 นาที

จุดประสงค์

1. เพื่อหาขนาดของแรงย่อยและแรงลัพธ์
2. เพื่อหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน

วัสดุอุปกรณ์

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	
1	เครื่องชั่งสปริง	3	อัน
2	ถุงทราย (500 กรัม)	4	ถุง
3	ถุงพลาสติก (ถุงหิ้ว)	1	ถุง
4	เชือกเบา	3	เส้น
5	กระดาษบรูฟ	1	แผ่น
6	เครื่องกลม	1	อัน
7	ปากกาเมจิก	1	ด้าม
8	ที่ยึด	3	อัน

วิธีทำกิจกรรม

ตอนที่ 1 การหาขนาดของแรงย่อยและแรงลัพธ์

1. นำถุงทราย 500 กรัม ใส่ถุงพลาสติก แล้วใช้เครื่องชั่งสปริงสองอันเกี่ยวที่หูของถุงพลาสติก โดยค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งสปริงอันที่หนึ่งบันทึกลงในตาราง F_1 และอ่านค่าที่ได้จากเครื่องชั่งสปริงอันที่สองลงในตาราง F_2
2. นำถุงทราย 500 กรัม ใส่ถุงพลาสติก แล้วใช้เครื่องชั่งสปริงหนึ่งอันเกี่ยวที่หูของถุงพลาสติก ทั้งสองหู อ่านค่าที่ได้จากเครื่องชั่งสปริง บันทึกลงในตาราง F
3. ทำเช่นเดียวกับข้อ 1 และ 2 แต่ให้เพิ่มจำนวนถุงทรายเป็น 2, 3 และ 4 ถุง ตามลำดับ

ตอนที่ 2 การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน

1. นำปลายข้างหนึ่งของเชือกทั้งสามผูกรวมกันไว้ ปลายที่เหลือทำเป็นห่วงเชือกแล้ววางบนกระดาษบรูฟ

2. ใช้เครื่องชั่งสปริงทั้งสามอันเกี่ยวกับห่วงเชือกแล้วดึงเครื่องชั่งสปริงทั้งสามจนปมเชือกหยุดนิ่ง โดยยึดเครื่องชั่งสปริงตัวที่สามกับที่ยึด และใช้มือดึงเครื่องชั่งสปริงตัวที่หนึ่งและตัวที่สองให้ทำมุม 0 องศา กำหนดจุดกึ่งกลางของเชือกทั้งสามลงบนกระดาษกราฟ จากนั้นเขียนแนวแรงตามแนวเชือก และบันทึกค่าของแรงที่อ่านได้จากเครื่องชั่งสปริงที่หนึ่งและสอง

3. เขียนเวกเตอร์แทนขนาดและทิศทางของแรงจากเครื่องชั่งสปริงตัวที่หนึ่งและตัวที่สอง โดยทำการกำหนดอัตราส่วนให้ขนาดของแรง 1 นิวตันเท่ากับขนาดของเวกเตอร์ 1 เซนติเมตร

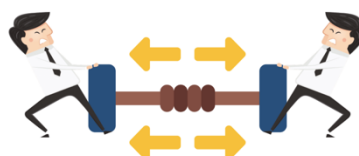
4. นำค่าขนาดของแรงที่อ่านได้จากเครื่องชั่งสปริงตัวที่หนึ่งและตัวที่สองมารวมกันโดยตรง จากนั้นบันทึกค่าที่ได้

5. สร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานซึ่งมีด้านประชิดกันสองด้านที่มาจากเวกเตอร์ของแรงจากเครื่องชั่งสปริงตัวที่หนึ่งและตัวที่สอง

6. หาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์จากรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน โดยลากเส้นทแยงมุมจากจุดปลายของเวกเตอร์ทั้งสองไปยังมุมตรงข้าม ขนาดของแรงลัพธ์เป็นความยาวของเส้นทแยงมุม และทิศของแรงลัพธ์เริ่มจากจุดปลายของเวกเตอร์ไปยังมุมด้านตรงข้าม

7. บันทึกค่าขนาดของแรงลัพธ์ที่วัดได้

8. ทำซ้ำข้อ 2-7 โดยให้เครื่องชั่งสปริงตัวที่หนึ่งและตัวที่สองทำมุม 45 องศา และ 90 องศาต่อกัน



แบบบันทึกการทดลอง เรื่อง การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์



ชื่อกลุ่ม		วันที่ทำการทดลอง	
รายชื่อสมาชิก			
1.	4.		
2.	5.		
3.	6.		

ตอนที่ 1

บันทึกผลการทำกิจกรรม

จำนวน ตุ้มน้ำหนัก (ก)	ขนาดของแรง (นิวตัน)		
	เครื่องชั่งสปริงที่ 1 (F_1)	เครื่องชั่งสปริงที่ 2 (F_2)	เครื่องชั่งสปริง 1 อัน (F)
1			
2			
3			
4			

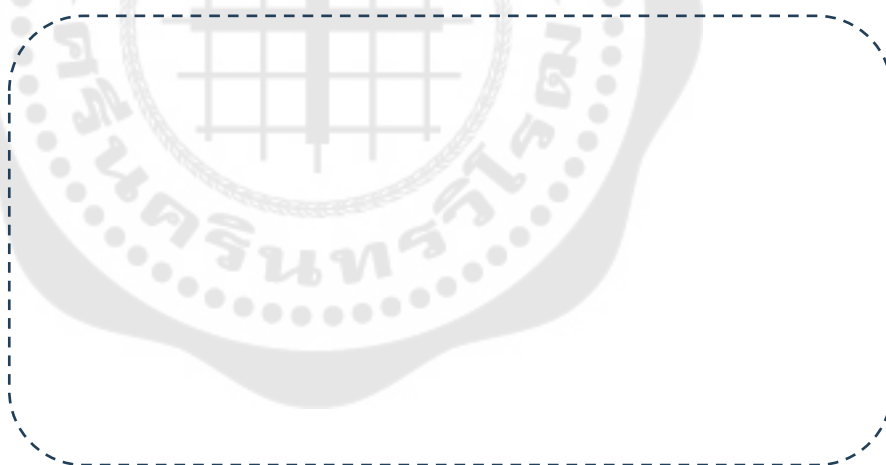
ตอนที่ 2

บันทึกผลการทำกิจกรรม

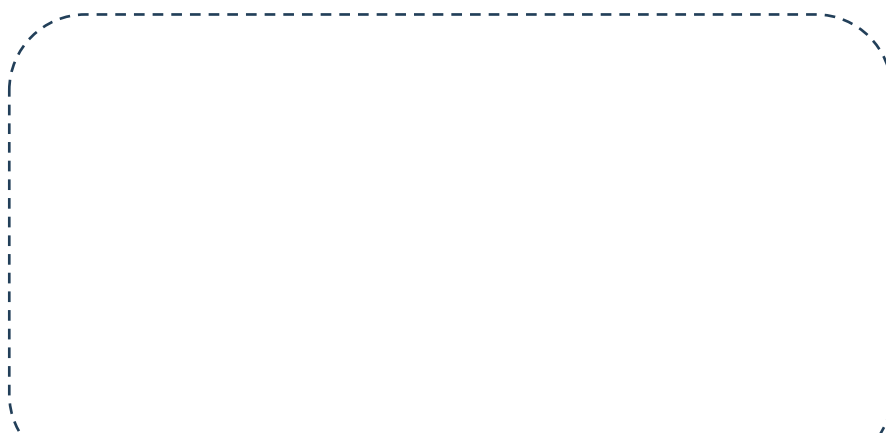
มุมระหว่าง F_1 และ F_2 (องศา)	ขนาดของแรง (นิวตัน)		
	แรง F_1	แรง F_2	แรง F_3
0	3	4	7
45	3	4	6.5
90	3	4	5

เขียนเวกเตอร์เพื่อหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์โดยการสร้างรูปแบบหางต่อหัว

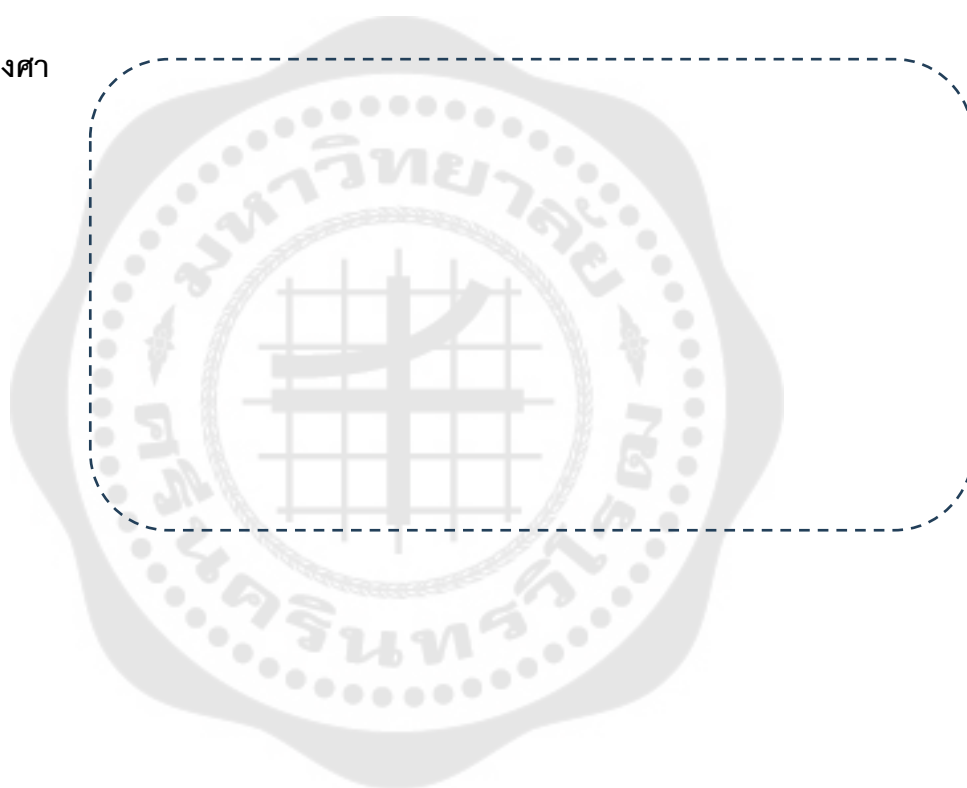
มุม 0 องศา



มุม 45 องศา



มุม 90 องศา



อธิบายผลการทำกิจกรรม

จากผลการทำกิจกรรม พบว่า

คำถามท้ายกิจกรรม

1. เวกเตอร์ของแรงลัพธ์มีทิศทางอย่างไร และมีทิศเดียวกันหรือตรงข้ามกันกับแรงจากเครื่องซึ่งสปริงตัวที่สาม

2. เวกเตอร์ลัพธ์มีขนาดเท่าใด และมีค่าเท่ากับค่าที่บันทึกได้จากแรงที่อ่านได้จากเครื่องซึ่งสปริงตัวที่หนึ่งและตัวที่สอง และค่าแรงลัพธ์ที่ได้จากการหาแบบรูปสี่เหลี่ยมด้านขนานหรือไม่ อย่างไร



ใบความรู้ที่ 1

สะพานโครงถัก (Truss Bridge)

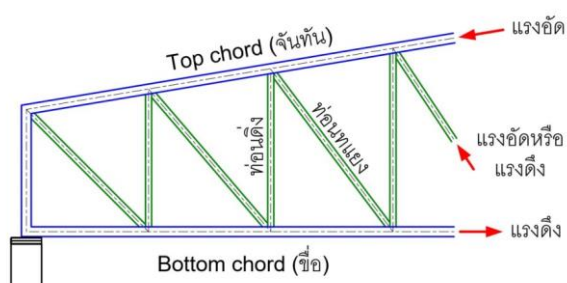
สะพานโครงถักเป็นโครงสร้างรับน้ำหนักที่มีส่วนประกอบหลายส่วนในแนวตั้ง แนวนอน และแนวทแยง ประกอบกันเป็นรูปเรขาคณิต จนกลายเป็นโครงสร้างที่พาดระหว่างจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง โครงถักเป็นโครงสร้างที่มีน้ำหนักเบา แต่สามารถรับน้ำหนักได้มากและมีช่วงวางพาดได้กว้างจึงช่วยประหยัดโครงสร้างได้ รวมถึงสามารถออกแบบรูปทรงให้สวยงามได้หลากหลายตามต้องการ



รูป สะพานพระพุทธยอดฟ้า (พ.ศ. 2475)
ที่มา วิกีพีเดีย

โครงสร้างของโครงถักประกอบไปด้วย

1. จันทัน ทำหน้าที่รับแรงอัด
2. ชี้อ ทำหน้าที่รับแรงดึง
3. ท่อนยันในแนวดิ่ง
4. ท่อนยันในแนวทแยง



แรงดึง แรงที่กระทำต่อวัตถุทำให้วัตถุมีความยาวเพิ่มขึ้น



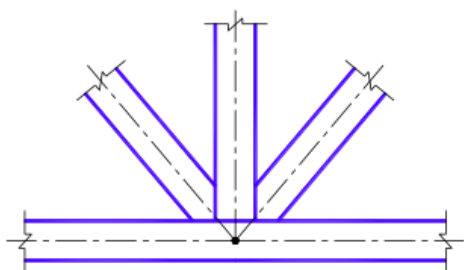
แรงอัด แรงที่กระทำต่อวัตถุทำให้วัตถุมีความยาวลดลง



รูป โครงสร้างของโครงถัก

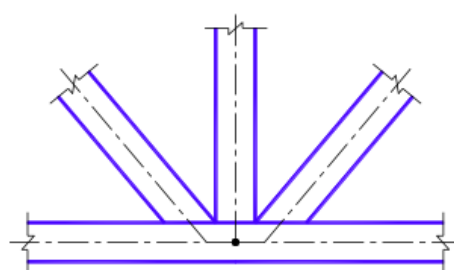
ที่มา signatruss

เพื่อให้โครงสะพานแข็งแรงและรับน้ำหนักได้ดีนั้น สิ่งสำคัญคือการจัดวางส่วนประกอบต่างๆ ของโครงสะพานให้ถูกต้อง โดยเฉพาะตรงจุดที่ชิ้นส่วนแต่ละส่วนมาต่อกันเราเรียกจุดต่อนี้ว่า “จุดหมุน” การจัดวางให้จุดศูนย์กลางของแต่ละชิ้นส่วนมาบรรจบกันที่จุดหมุนนี้ จะทำให้แรงที่กระทำต่อโครงหลังคาถูกกระจายออกไปอย่างสม่ำเสมอ ทำให้โครงสร้างแข็งแรงและทนทานมากขึ้น



รูป แนวต่อแรงของชิ้นส่วนที่ถูกวิธี

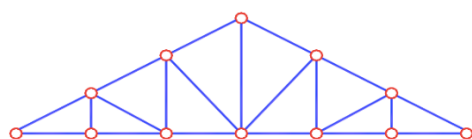
ที่มา signatruss



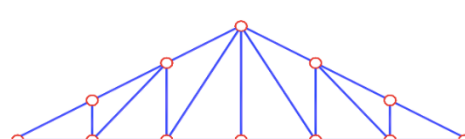
รูป แนวต่อแรงของชิ้นส่วนที่ผิดวิธี

ที่มา signatruss

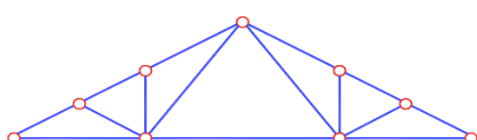
รูปแบบของโครงถัก



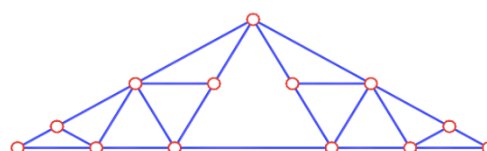
ก. แบบโฮว์ (Howe Truss)



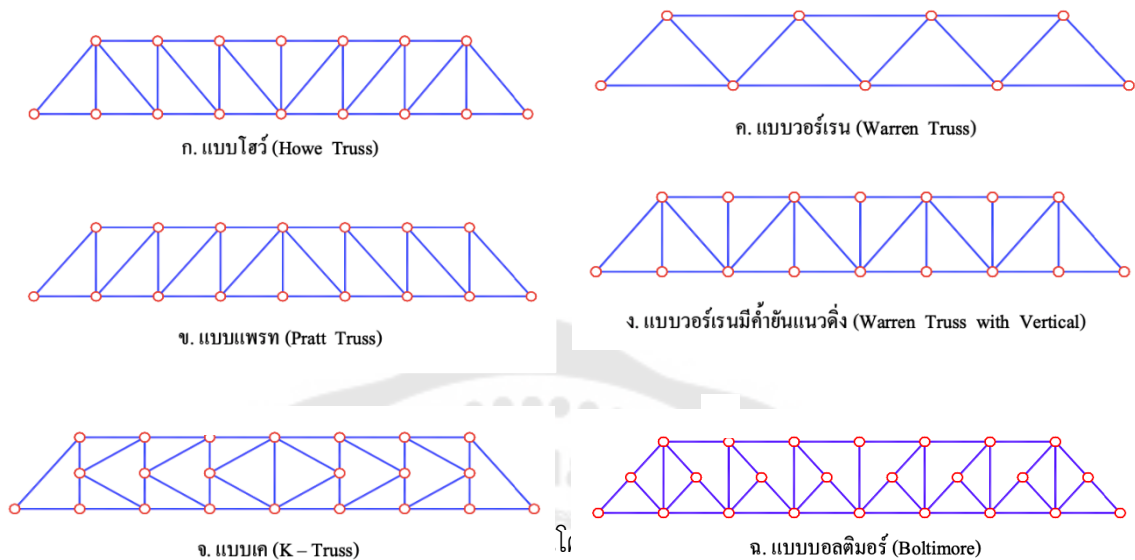
ข. แบบพราต (Pratt Truss)



ค. แบบเฟน (Fan Truss)



ง. แบบฟิงก์ (Fink Truss)



Method)

วิธีคำนวณจุดต่อ (Joint Method)

เป็นการคำนวณหาแรงภายในโดยวิธีคำนวณจุดต่อ มีหลักการคำนวณ คือ ให้พิจารณาจุดต่อที่มีตัวไม่ทราบค่าเพียงสองตัว และใช้สมการสมดุล $\Sigma F_x = 0$ และ $\Sigma F_y = 0$ แก้สมการหาค่าแรงที่ไม่ทราบค่า

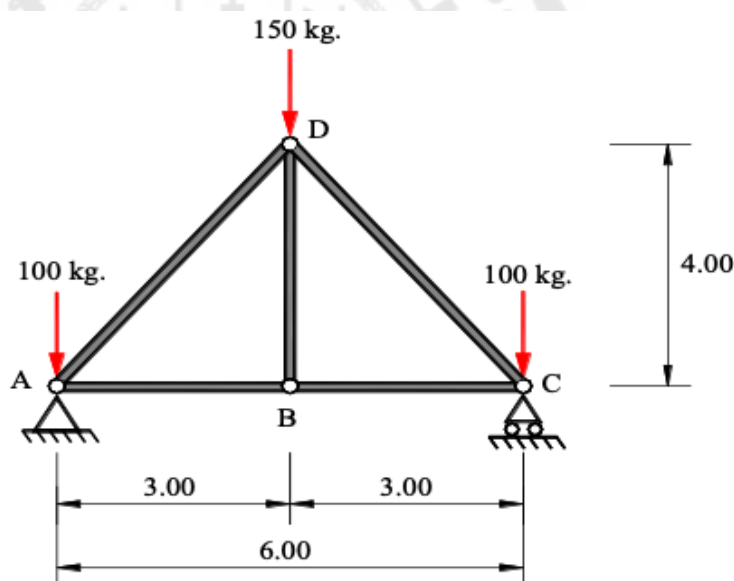
นำสมการสมดุลสถิตมาประยุกต์ใช้กับข้อต่อในโครงถัก เพื่อหาแรงที่กระทำต่อแต่ละข้อต่อ จากนั้นหาแรงอัดหรือแรงดึงตามแนวแกนของแต่ละส่วนย่อยของโครงถัก

ขั้นตอนการคำนวณหาแรงภายในโครงถักโดยวิธีจุดต่อ มีขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณหาค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับของโครงถัก
2. เขียนแผนภาพอิสระของแรง (free body diagram)
3. พิจารณาจุดต่อที่มีตัวไม่ทราบค่าไม่เกินสองตัว โดยสมมติให้แรงที่ยังไม่ทราบค่าเป็นแรงดึงไว้ก่อน
4. แยกแรงที่เอียงให้อยู่ในแนวแกน x และ แกน y
5. ใช้สมการสมดุล $\Sigma F_x = 0$ และ $\Sigma F_y = 0$ คำนวณหาตัวไม่ทราบค่า โดยกำหนดให้แรงที่มีทิศทางขึ้นและทิศทางไปทางขวามีค่าเป็นบวก และแรงที่มีทิศทางลงและทิศทางไปทางซ้ายมีค่าเป็นลบ ถ้าแรงที่คำนวณได้มีค่าติดลบแสดงว่าสมมุติทิศทางผิด ให้กลับทิศหัวลูกศรของแรงนั้นแล้วจึงคำนวณหาแรงต่อไป

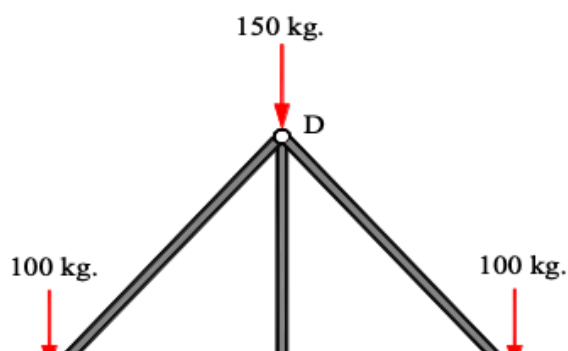
6. เมื่อทราบค่าแรงภายในที่จุดต่อแรงแล้ว ให้พิจารณาจุดที่สองที่อยู่ติดกันและมีตัวไม่ทราบค่าไม่เกิดสองตัว เพื่อคำนวณหาแรงภายในชิ้นส่วนของโครงถักที่เหลือให้ครบ

ตัวอย่าง 1 จงหาแรงภายในโครงถักซึ่งรับแรงดังแสดงในรูป

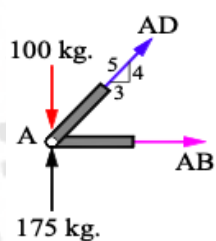


วิธีทำ

หาแรงปฏิกิริยาที่ฐานรองรับของโครงถัก จากรูปจะเห็นว่าโครงถักมีลักษณะการรับแรงสมมาตรทั้ง 2 ข้าง สามารถหาแรงปฏิกิริยาได้โดยเอาน้ำหนักกระทำทั้งหมดรวมกันแล้วหารสอง จะได้แรงปฏิกิริยาที่ฐานรับทั้ง 2 จุด

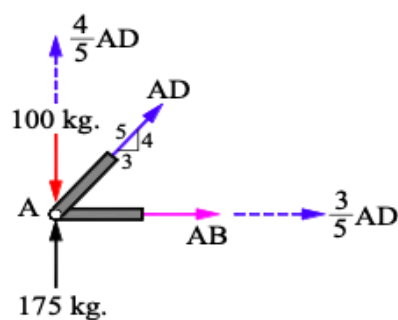


พิจารณา จุด A

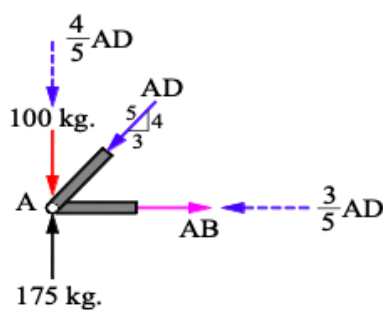


$$\begin{aligned} & \begin{array}{c} 4 \\ \triangle \\ 3 \end{array} \quad c \\ & c = \sqrt{(3)^2 + (4)^2} \\ & c = \sqrt{25} \\ & c = 5.00 \end{aligned}$$

เลือกพิจารณาแนวที่มีตัวไม่ทราบค่าเพียงตัวเดียวก่อน

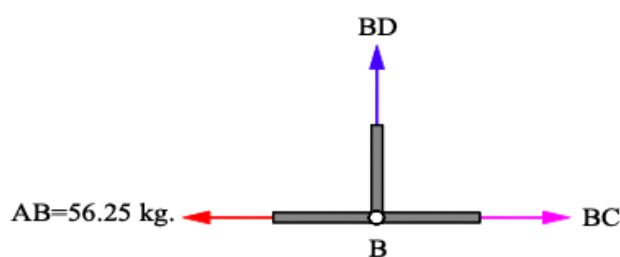


$$\begin{aligned} \Sigma F_y &= 0 ; \quad \uparrow + \\ 175 - 100 + \frac{4}{5}AD &= 0 \\ \frac{4}{5}AD &= 100 - 175 \\ AD &= -\frac{75 \times 5}{4} \\ AD &= -93.75 \text{ kg.} \\ \therefore AD &= 93.75 \text{ kg. (อัด)} \end{aligned}$$



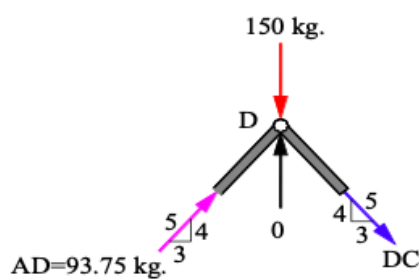
$$\begin{aligned} & \text{ให้กลับหัวลูกศรของแรง AD ทั้งหมด} \\ \Sigma F_x &= 0 ; \quad \rightarrow + \\ AB - \left(\frac{3}{5} \times 93.75\right) &= 0 \\ AB &= \frac{3}{5} \times 93.75 \\ \therefore AB &= 56.25 \text{ kg. (ดึง)} \end{aligned}$$

พิจารณา จุด B



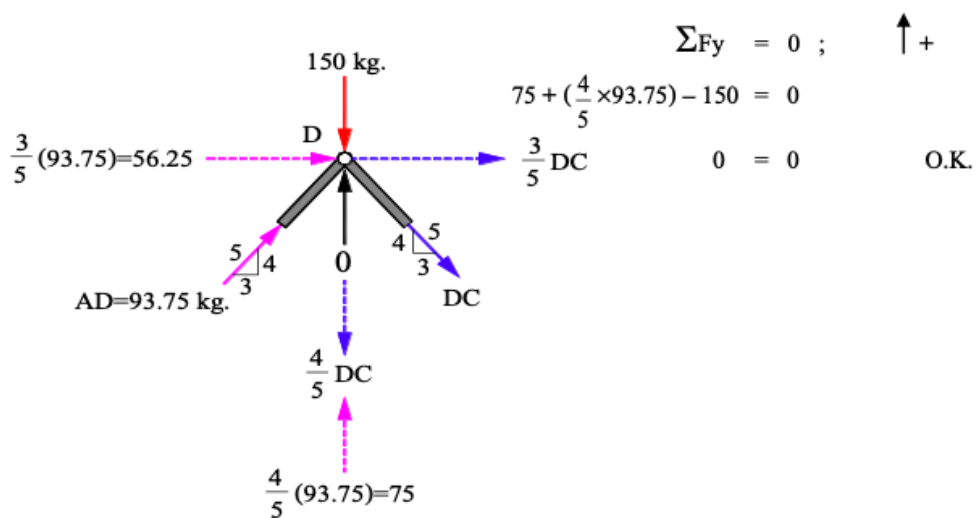
$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 ; \quad \rightarrow + \\ BC - 56.25 &= 0 \\ BC &= 56.25 \\ \therefore BC &= 56.25 \text{ kg. (ดึง)} \\ \sum F_y &= 0 ; \quad \uparrow + \\ \therefore BD &= 0 \text{ kg.}\end{aligned}$$

พิจารณา จุด D



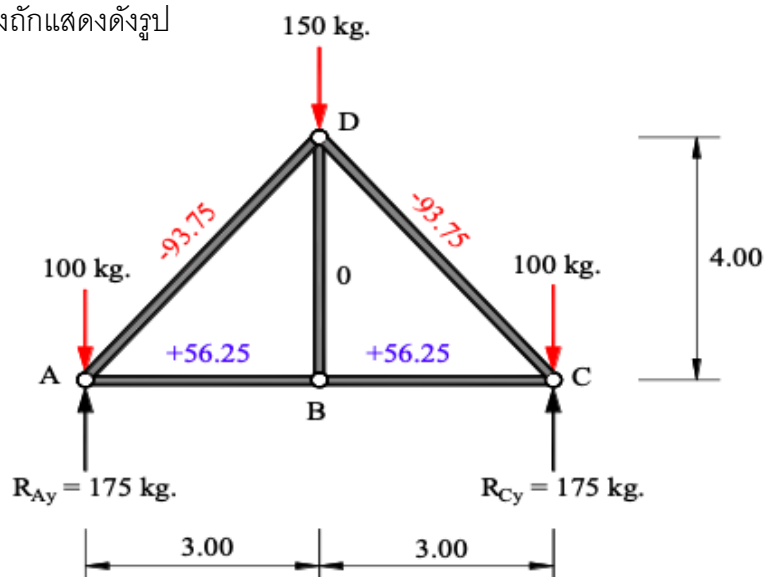
$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 ; \quad \rightarrow + \\ \frac{3}{5}DC + 56.25 &= 0 \\ \frac{3}{5}DC &= -56.25 \\ DC &= -\frac{56.25 \times 5}{3} \\ DC &= -93.75 \text{ kg.} \\ \therefore DC &= 93.75 \text{ kg. (อัด)}\end{aligned}$$

ให้กลับหัวลูกศรของแรง DC



$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 ; \quad \uparrow + \\ 75 + \left(\frac{4}{5} \times 93.75\right) - 150 &= 0 \\ 0 &= 0 \quad \text{O.K.}\end{aligned}$$

สรุป จะมีแรงภายในโครงถักแสดงดังรูป



แหล่งอ้างอิง

1. โครงถักคืออะไร และเอาไปใช้ในงานใดบ้าง?
(<https://www.cotcometalworks.co.th/th/knowledge/225/>)
2. รวม 5 รูปแบบโครงถักที่ใช้ในงานโครงสร้าง
(<https://www.cotcometalworks.co.th/th/knowledge/226/>)
3. Understanding and Analysing Trusses (<https://efficientengineer.com/trusses/>)



ใบความรู้ที่ 2

แรงและแรงลัพธ์

แรง (Force) เป็นปริมาณทางฟิสิกส์ที่มนุษย์ค้นเคยในชีวิตประจำวันจำเป็นต้องใช้แรงต่างๆ ในการดำรงชีวิต เช่น แรงจากกล้ามเนื้อในการยกสิ่งของ แรงดึงดูดของโลก แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้า แรงเนื่องจากสนามแม่เหล็ก เป็นต้น ลักษณะของแรงชนิดต่างๆ จะแตกต่างกันออกไป แรงบางชนิดจะต้องมีการสัมผัสกันในขณะที่ออกแรงกระทำต่อกัน เช่น แรงที่คนผลักวัตถุสิ่งของต่างๆ แต่แรงบางชนิดไม่จำเป็นต้องมีการสัมผัส เช่น แรงเนื่องจากสนามความโน้มถ่วง แรงเนื่องจากสนามไฟฟ้า หรือแรงเนื่องจากสนามแม่เหล็ก เป็นต้น

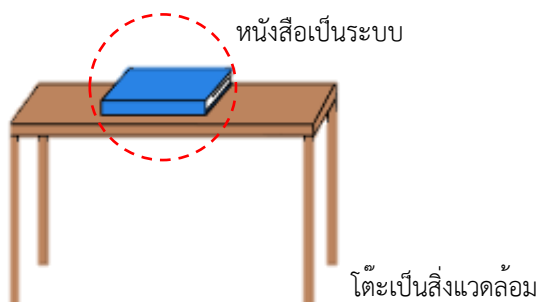
1 แผนภาพวัตถุอิสระ

แผนภาพวัตถุอิสระ (free-body diagram) เป็นวิธีหนึ่งที่จะทำให้การบรรยายแรงที่กระทำต่อวัตถุเป็นไปอย่างชัดเจน การเขียนแผนภาพวัตถุอิสระจะเป็นการนำเอาวัตถุที่เป็นระบบออกมาเขียนโดยไม่นำสิ่งแวดล้อมมาเขียนด้วย ทำให้ทราบว่า เรากำลังพิจารณาวัตถุก่อนใดอยู่ แล้วจึงเขียนแรงทุกแรงที่กระทำต่อวัตถุ โดยไม่เขียนแรงอย่างอื่นที่ไม่ได้กระทำต่อวัตถุ

ขั้นตอนการเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ

1. **พิจารณาระบบ** โดยวาดเฉพาะรูปวัตถุที่เป็นระบบที่พิจารณา ไม่ว่าสิ่งอื่นอีก
2. **ระบุชนิดแรงและทิศทาง** โดยแสดงแรงสัมผัสและแรงไม่สัมผัสทุกแรงที่กระทำต่อวัตถุ โดยลากเวกเตอร์แรงออกจากวัตถุไม่ว่าจะเป็นแรงผลักหรือแรงดึง เขียนสัญลักษณ์กำกับเวกเตอร์แรงแต่ละแรงด้วย (แรงไม่สัมผัสในเนื้อหาจะมีเพียงแรงเดียวคือแรงที่โลกดึงดูดวัตถุและเขียนสัญลักษณ์ $\vec{W}$)

3. เขียนแผนภาพ



รูป 1 หนังสือที่วางบนโต๊ะ

จากรูป 1 จะเห็นว่า เส้นประช่วยให้เรามองภาพได้ชัดขึ้นว่า ระบบคือหนังสือ ส่วนอื่นๆ ที่อยู่นอกเส้นประ เช่น โต๊ะคือสิ่งแวดล้อม ถัดจากนั้นเราจะพิจารณาว่า มีการสัมผัสกันระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมที่ตรงไหนบ้าง ซึ่งจากรูป 1 การสัมผัสมีเพียงตำแหน่งเดียวคือใต้หนังสือตรงที่ติดกับโต๊ะและแรงสัมผัส (แรงที่เกิดขึ้นเมื่อสิ่งของสองอย่างสัมผัสกัน) ที่เกี่ยวข้องคือ แรงที่โต๊ะดันหนังสือ ($\vec{N}$) (สนใจเฉพาะแรงที่สิ่งแวดล้อมทำกับระบบซึ่งคือหนังสือ เราไม่สนใจแรงที่ระบบกระทำต่อสิ่งแวดล้อม) และแรงนี้คือแรงสัมผัสเพียงแรงเดียวที่มี ส่วนแรงที่ไม่สัมผัสก็มีแรงที่โลกดึงดูดหนังสือ ($\vec{W}$) เมื่อระบุแรงที่กระทำต่อหนังสือได้แล้วเราสามารถเขียนแผนภาพวัตถุอิสระตามขั้นตอน ดังตาราง 1 โดยจะเขียนแสดงเฉพาะแรงที่กระทำต่อหนังสือเท่านั้น

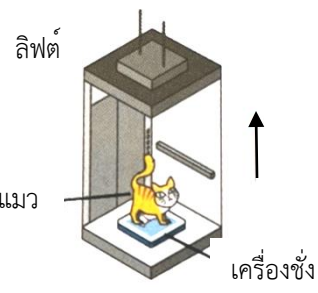
ตาราง 1 ขั้นตอนการเขียนแผนภาพวัตถุอิสระของหนังสือที่วางบนโต๊ะ

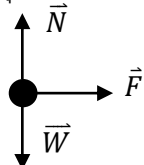
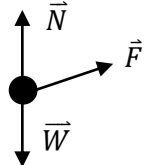
ขั้นที่ 1 พิจารณาระบบ (วาดรูปวัตถุออกมาเดี่ยวๆ)	ขั้นที่ 2 ระบุชนิดแรง (เขียนแรงสัมผัสพร้อมทั้งทิศ เพิ่ม)	ขั้นที่ 3 เขียนแผนภาพ (เขียนแรงไม่สัมผัสพร้อมทั้งทิศ เพิ่ม)
		

หมายเหตุ ในกรณีที่เรากำลังพิจารณานั้นเป็นอนุภาคหรือเรายังไม่ได้พิจารณาถึงขนาดของวัตถุ ให้เขียนแทนวัตถุด้วยเครื่องหมายวงกลมทึบ $\bullet$ หรือวงกลม $\bigcirc$

สำหรับแผนภาพวัตถุอิสระของสถานการณ์อื่นๆ จะได้สรุปไว้ในตารางต่อไปนี้

ตาราง 2 ขั้นตอนการเขียนแผนภาพวัตถุอิสระในสถานการณ์ต่างๆ

สถานการณ์	รูปแสดงสถานการณ์	แผนภาพวัตถุอิสระ
แมวตัวหนึ่งยืนบนเครื่องชั่งที่วางอยู่ในลิฟท์ที่กำลังเคลื่อนที่ขึ้น		แผนภาพวัตถุอิสระของแมว  $\vec{N}$ แทนแรงที่เครื่องชั่งดันแมว $\vec{W}$ แทนแรงที่โลกดึงดูดแมว

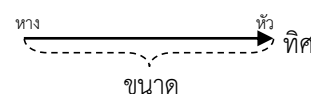
ชายคนหนึ่งดันกล่อง A ที่ติดกับกล่อง B ไปบนพื้นระดับลื่น		แผนภาพวัตถุอิสระของกล่อง B  $\vec{N}$ แทนแรงที่พื้นดันกล่อง B $\vec{W}$ แทนแรงที่โลกดึงดูดกล่อง B $\vec{F}$ แทนแรงที่กล่อง A ดันกล่อง B
ขณะเตะบอล		แผนภาพวัตถุอิสระของลูกบอล  $\vec{N}$ แทนแรงที่พื้นดันลูกบอล $\vec{W}$ แทนแรงที่โลกดึงดูดลูกบอล $\vec{F}$ แทนแรงที่แข้งเตะลูกบอล

(ที่มา สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2561. ฟิสิกส์ เล่ม 1, หน้า 126)

2. การหาแรงลัพธ์

จากที่ได้ศึกษาไปในหัวข้อก่อนหน้านี้ ทำให้ทราบว่าแรงเป็นปริมาณเวกเตอร์ เราจึงสามารถใช้วิธีการเขียนลูกศรแทนแรงได้ โดยให้ความยาวของเส้นตรงแทนขนาดของแรงและหัวลูกศรแสดงทิศทางของแรง ซึ่งก็เป็นลักษณะเช่นเดียวกับปริมาณเวกเตอร์อื่นๆ

นอกจากนี้เรายังได้ทราบว่าแรงมีอยู่หลายชนิดและสามารถมีแรงมากกว่า 1 แรงกระทำต่อวัตถุชิ้นหนึ่งๆ ได้ ผลที่เกิดขึ้นจะเสมือนกับว่า มีแรงเพียงแรงเดียวกระทำต่อวัตถุนั้น ซึ่งแรงดังกล่าวเรียกว่า **แรงลัพธ์** (resultant force) มีวิธีการหาแรงลัพธ์ทำได้ 2 วิธี



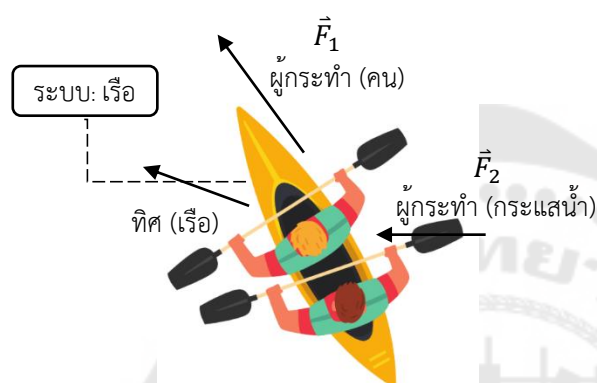
1. การวาดรูป

1.1 แบบหางต่อหัว

เวกเตอร์

1.2 แบบสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน

สถานการณ์ มีคน 2 คน พายเรืออยู่ในแม่น้ำ

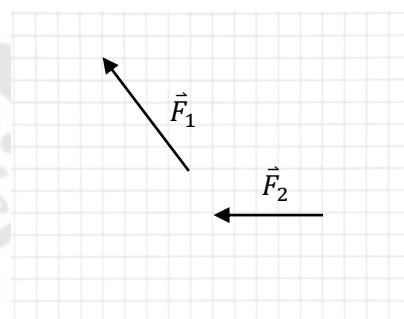


2. การคำนวณ

2.1 การแยกองค์ประกอบของ

2.2 ทฤษฎีสี่เหลี่ยมด้านขนาน

แรงที่เกี่ยวข้องคือ แรงที่คนพายเรือ $\vec{F}_1$ และ
แรงที่กระแสน้ำกระทำกับเรือ $\vec{F}_2$

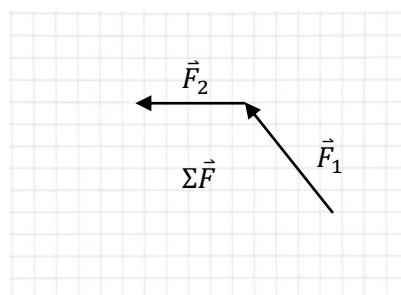
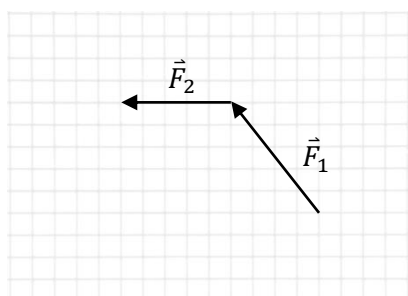


1. การหาแรงลัพธ์โดยการวาดรูป

การรวมแรงโดยการวาดรูปสามารถทำได้ 2 วิธี คือ แบบหางต่อหัวและแบบสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน

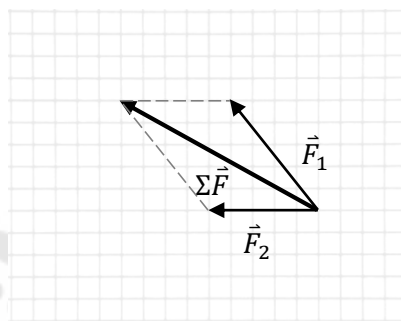
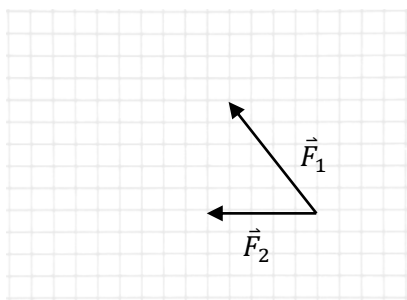
วิธีที่ 1: แบบหางต่อหัว

1.1 เขียนเวกเตอร์แรงแทนขนาดของแรง และทิศ 1.2 ลากเส้นจากหางเวกเตอร์ตัวแรก $\vec{F}_1$ ไปยัง
โดยให้เขียนหางเวกเตอร์ $\vec{F}_2$ ต่อกับหัวเวกเตอร์ หัวเวกเตอร์ตัวสุดท้าย $\vec{F}_2$ ทิศของเวกเตอร์
อีกเส้นหนึ่ง $\vec{F}_1$ แรงลัพธ์จะมีทิศทางจากหางเวกเตอร์ตัวแรกไปยังหัวเวกเตอร์ตัวสุดท้ายเหมือนกัน



วิธีที่ 2: แบบสร้างรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน

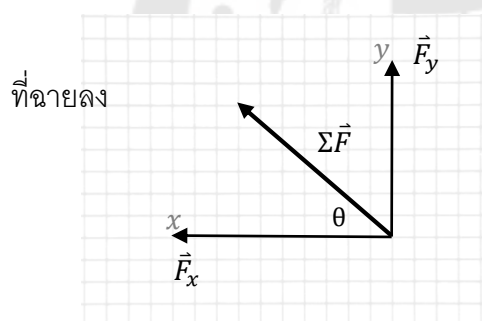
- 2.1 เขียนเวกเตอร์แรงแทนขนาดของแรง และทิศ 2.2 ลากเส้นขนานเวกเตอร์ทั้งสองประกอบกัน
โดยให้เขียนหางเวกเตอร์ชนกัน เป็นรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน และลากเส้น
ทแยงมุม จะเกิดเป็นเวกเตอร์ของแรงลัพธ์



2. การหาแรงลัพธ์โดยการคำนวณ

การรวมแรงโดยการคำนวณ สามารถทำได้ 2 วิธี คือ แบบแยกองค์ประกอบของเวกเตอร์ และแบบทฤษฎีสี่เหลี่ยมด้านขนาน

วิธีที่ 1: แบบองค์ประกอบของเวกเตอร์



การแตกเวกเตอร์เป็นการแสดงเงาของเวกเตอร์

บนแกน x y z โดยใช้ความรู้ตรีโกณมิติ

แตกเวกเตอร์เข้าแกน x และรวมแรงเป็น $\vec{F}_x$

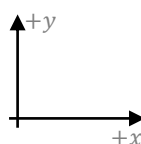
แตกเวกเตอร์เข้าแกน y และรวมแรงเป็น $\vec{F}_y$

ขั้นตอนการหาแรงลัพธ์

1. เขียนในรูปเวกเตอร์องค์ประกอบ

$$\Sigma \vec{F} = \Sigma \vec{F}_x + \Sigma \vec{F}_y$$

จากทิศทางตามแนวแกน
เมื่อแยกองค์ประกอบของ
เวกเตอร์ จะได้สมการ
ดังต่อไปนี้

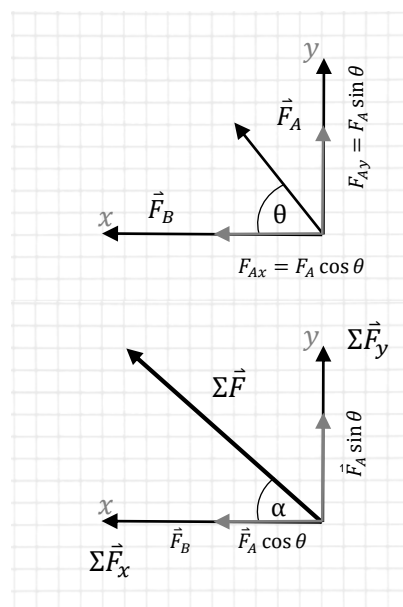


ผลรวมขององค์ประกอบของเวกเตอร์ตามแนวแกน x

$$|\Sigma \vec{F}_x| = (-F_A \cos \theta) + (-F_B)$$

ผลรวมขององค์ประกอบของเวกเตอร์ตามแนวแกน y

$$|\Sigma \vec{F}_y| = (F_A \sin \theta)$$



2. หาขนาดของแรงลัพธ์โดยใช้ทฤษฎีบทพีทาโกรัส

$$\begin{aligned} |\Sigma \vec{F}|^2 &= |\Sigma \vec{F}_x|^2 + |\Sigma \vec{F}_y|^2 \\ &= [(-F_A \cos \theta) + (-F_B)]^2 + (F_A \sin \theta)^2 \end{aligned}$$

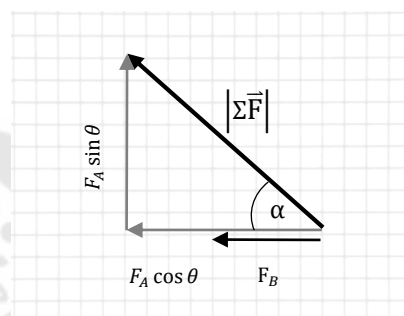
$$|\Sigma \vec{F}|^2 = \sqrt{[(-F_A \cos \theta) + (-F_B)]^2 + (F_A \sin \theta)^2}$$

3. หาทิศทางของแรงลัพธ์โดยใช้สูตรตรีโกณมิติ

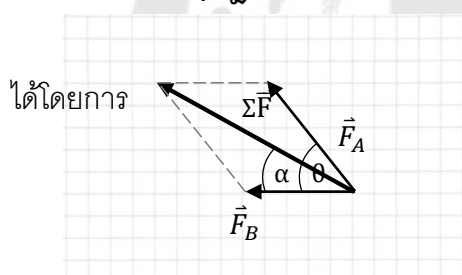
$$\tan \alpha = \frac{|\Sigma \vec{F}_y|}{|\Sigma \vec{F}_x|}$$

$$\alpha = \arctan \left[\frac{|\Sigma \vec{F}_y|}{|\Sigma \vec{F}_x|} \right]$$

$$\alpha = \arctan \left[\frac{F_A \sin \theta}{F_B + F_A \cos \theta} \right]$$



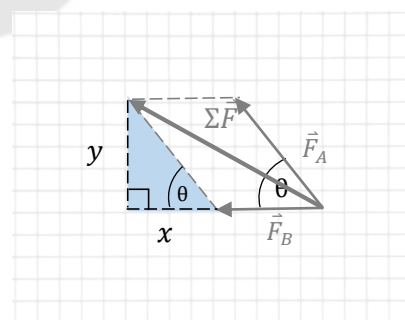
วิธีที่ 2: แบบทฤษฎีสี่เหลี่ยมด้านขนาน



การรวมแรงโดยใช้สูตร สามารถพิสูจน์
ใช้ทฤษฎีบทพีทาโกรัสและตรีโกณมิติ

1. หาความยาวเส้นต่อ (x และ y) ด้วยหลักตรีโกณมิติ

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \frac{y}{F_A} & \cos \theta &= \frac{x}{F_A} \\ y &= F_A \sin \theta & x &= F_A \cos \theta \end{aligned}$$

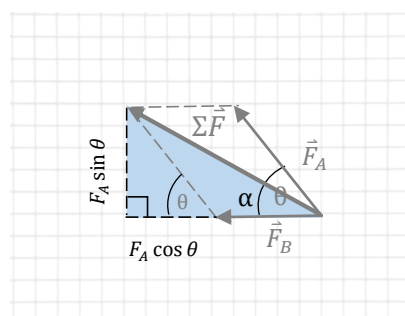


2. หาขนาดของแรงลัพธ์โดยใช้ทฤษฎีบทพีทาโกรัส

$$\begin{aligned} |\Sigma \vec{F}|^2 &= (F_B)^2 + (F_A \sin \theta)^2 \\ &= F_B^2 + 2F_A F_B \cos \theta + F_A^2 \cos^2 \theta + F_A^2 \sin^2 \theta \\ &= F_B^2 + 2F_A F_B \cos \theta + F_A^2 (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta) \end{aligned}$$

$$= F_B^2 + 2F_A F_B \cos \theta + F_A^2$$

$$|\Sigma \vec{F}|^2 = F_A^2 + F_B^2 + 2F_A F_B \cos \theta$$

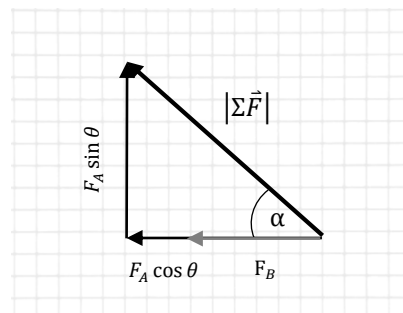


$$|\Sigma \vec{F}| = \sqrt{F_A^2 + F_B^2 + 2F_A F_B \cos \theta}$$

3. หาทิศทางของแรงลัพธ์โดยใช้สูตรตรีโกณมิติ

$$\tan \alpha = \frac{F_A \sin \theta}{F_B + F_A \cos \theta}$$

$$\alpha = \arctan \left[\frac{F_A \sin \theta}{F_B + F_A \cos \theta} \right]$$



หมายเหตุ

ข้อจำกัดของการใช้คือหาได้ทีละ 2 เวกเตอร์ และต้องรู้มุม θ

ตัวอย่าง 1 จากรูปงหาแรงลัพธ์



วิธีทำ

ขั้นที่ 1 วิเคราะห์โจทย์

แรงขนาด 15 นิวตัน มีทิศไปทางขวามือ (+)

และแรงขนาด 10 นิวตัน มีทิศไปทางขวามือ (+)

โจทย์ถามว่าวัตถุจะเคลื่อนที่ไปทางไหนด้วยแรงลัพธ์เท่าใด

ขั้นที่ 2 พิจารณาการใช้สูตร

คำนวณโดยดูได้จากรูปภาพ

$$\Sigma \vec{F} = F_1 + F_2$$

ขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา

หาแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเท่ากับ

$$\Sigma \vec{F} = F_1 + F_2$$

$$\Sigma \vec{F} = 10 + 15$$

ตอบ มีแรงลัพธ์ขนาด 25 นิวตัน

กระทำต่อวัตถุทำให้วัตถุเคลื่อนที่ไปทางขวามือ

ตัวอย่าง 2 จากรูปจงหาแรงลัพธ์



วิธีทำ

ขั้นที่ 1 วิเคราะห์โจทย์

แรงขนาด 15 นิวตัน มีทิศไปทางขวามือ (+)

และแรงขนาด 10 นิวตัน มีทิศไปทางซ้ายมือ (-)

โจทย์ถามว่าวัตถุจะเคลื่อนที่ไปทางไหนด้วยแรงลัพธ์เท่าใด

ขั้นที่ 2 พิจารณาการใช้สูตร

คำนวณโดยดูได้จากรูปภาพ

$$\Sigma \vec{F} = F_1 - F_2$$

ขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา

หาแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเท่ากับ

$$\Sigma \vec{F} = F_1 - F_2$$

$$\Sigma \vec{F} = 10 - 15$$

ตอบ มีแรงลัพธ์ขนาด -5 นิวตัน

กระทำต่อวัตถุทำให้วัตถุเคลื่อนที่ไปทางซ้ายมือ

ตัวอย่าง 3 นักเรียนสองคน คนหนึ่งออกแรง 30 นิวตัน คนที่สองออกแรง 40 นิวตัน โดยที่แรงของทั้งสองคนทำมุมต่อกัน 37 องศา จงหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์

วิธีทำ

ขั้นที่ 1 วิเคราะห์โจทย์

วิเคราะห์โจทย์ มีแรง 2 แรงคือ $F_1 = 30 \text{ N}$, $F_2 = 40 \text{ N}$

แรงทำมุมต่อกัน 37 องศา

โจทย์ถามหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์

ขั้นที่ 2 พิจารณาการใช้สูตร

เขียนเวกเตอร์แทนแรง

คำนวณหาขนาดของแรงลัพธ์โดยใช้สูตร $\Sigma \vec{F} = \sqrt{\vec{F}_1^2 + \vec{F}_2^2 + 2\vec{F}_1 \vec{F}_2 \cos \theta}$

คำนวณหาทิศโดยใช้สูตร $\tan \alpha = \frac{F_2 \sin \theta}{F_1 + F_2 \cos \theta}$

ขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้โจทย์ปัญหา

เขียนเวกเตอร์

หาขนาดของแรงลัพธ์

จากสูตร $\Sigma \vec{F} = \sqrt{\vec{F}_1^2 + \vec{F}_2^2 + 2\vec{F}_1 \vec{F}_2 \cos \theta}$

แทนค่า $\Sigma \vec{F} = \sqrt{30^2 + 40^2 + 2(30)(40) \cos 37^\circ}$

$$\Sigma \vec{F} = \sqrt{900 + 1600 + 2400 \frac{4}{5}}$$

$$\Sigma \vec{F} = \sqrt{2500 + 1920}$$

$$\Sigma \vec{F} = \sqrt{4420}$$

$$\Sigma \vec{F} = 66.48 \text{ N}$$

หาทิศของแรงลัพธ์

จากสูตร $\tan \alpha = \frac{F_2 \sin \theta}{F_1 + F_2 \cos \theta}$

$$\tan \alpha = \frac{(40) \sin 37^\circ}{(30) + (40) \cos 37^\circ}$$

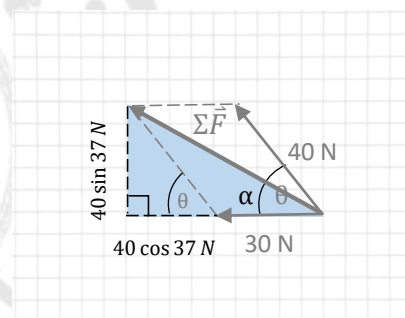
$$\tan \alpha = \frac{(40) \frac{3}{5}}{(30) + (40) \frac{4}{5}}$$

$$\tan \alpha = \frac{24}{30+32}$$

$$\tan \alpha = \frac{24}{62}$$

$$\alpha = \tan^{-1} 0.387$$

$$\alpha = 21.15^\circ \text{ กับแกน x}$$



ตอบ แรงลัพธ์มีค่าเท่ากับ 66.48 นิวตัน

มีทิศทำมุม 21.15 องศา กับแกน x



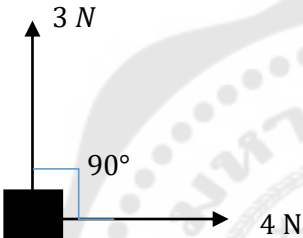
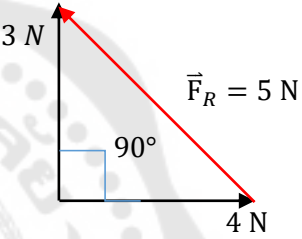
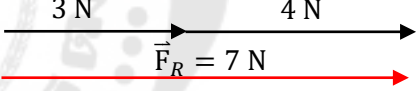
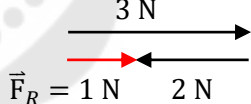
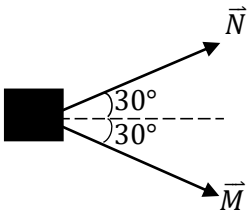
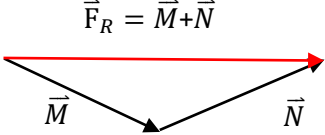
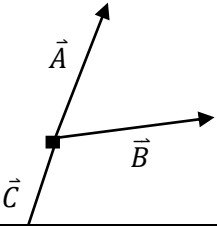
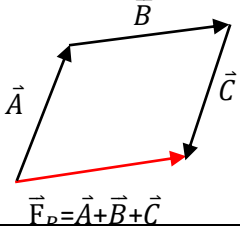
แรงและแรงลัพธ์

คำชี้แจง ให้เติมข้อความของคำต่อไปนี้ให้สมบูรณ์ และคำนวณหาผลลัพธ์ของปริมาณที่เกี่ยวข้อง

1. แรงหมายถึง ..ปริมาณเวกเตอร์ที่กระทำต่อวัตถุแล้วทำให้วัตถุเปลี่ยนสภาพการเคลื่อนที่หรือ.....

เปลี่ยนรูปร่าง มีหน่วยในระบบเอสไอ เป็น นิวตัน เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $\vec{F}$

2. หาแรงลัพธ์โดยการวาดรูป

2.1 	
2.2 	
2.3 	
2.4 	$\vec{F}_R = \vec{M} + \vec{N}$ 
2.5 	$\vec{F}_R = \vec{A} + \vec{B} + \vec{C}$ 

3. จงอธิบายการหาแรงลัพธ์ของแรง

3.1 ที่ทำมุมต่อกันโดยวิธีการวาดรูป

การหาแรงลัพธ์เริ่มจากเขียนเวกเตอร์แรงแทนขนาดของแรง และทิศโดยให้เขียนทาง

 เวกเตอร์ตัวที่สองต่อกับตัวเวกเตอร์ตัวแรก เขียนต่อเนื่องจนครบทุกแรง แรงลัพธ์จะมีทิศทาง

 ...ลองหามุมและขนาดได้ไปเองจากเวกเตอร์ได้ขนาดแล้ว.....

3.2 ที่ทำมุมต่อกันโดยการคำนวณ

การหาแรงลัพธ์เริ่มจากเขียนเวกเตอร์แรงแทนขนาดของแรง และทิศโดยให้เขียนทาง

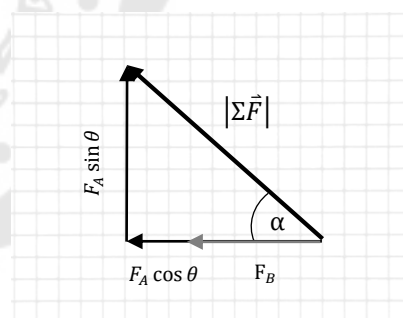
 เวกเตอร์ชนกันลากเส้นขนานเวกเตอร์ทั้งสองประกอบกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมด้านขนาน และ

 ...ลองหามุมและขนาดได้ไปเองจากเวกเตอร์ได้ขนาดแล้ว.....

หาขนาดของแรงลัพธ์โดยใช้ทฤษฎีบทพีทาโกรัส $|\Sigma \vec{F}| = \sqrt{F_A^2 + F_B^2 + 2F_A F_B \cos \theta}$
 หาทิศทางของแรงลัพธ์โดยใช้สูตรตรีโกณมิติ

$$\tan \alpha = \frac{F_A \sin \theta}{F_B + F_A \cos \theta}$$

$$\alpha = \arctan \left[\frac{F_A \sin \theta}{F_B + F_A \cos \theta} \right]$$



4. จงหาแรงลัพธ์ของแรงต่อไปนี้โดยวิธีการวาดรูป

ก. 4 นิวตัน ไปทางทิศตะวันออก

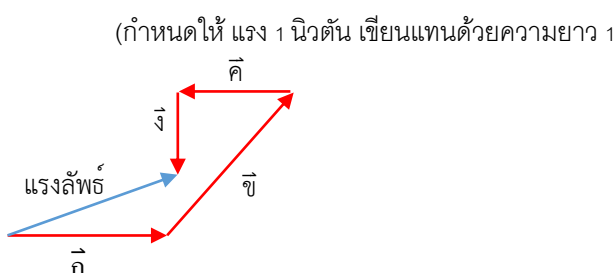
ข. 5 นิวตัน ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ

ค. 3 นิวตัน ไปทางทิศตะวันตก

ง. 2 นิวตัน ไปทางทิศใต้

4.1 ก+ข+ค+ง

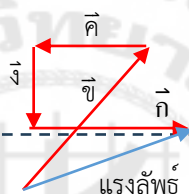
(ขนาด 1 เมตร)



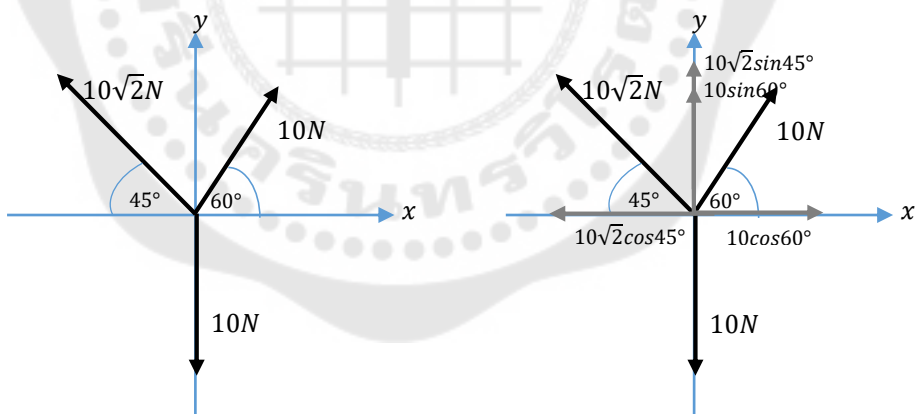
4.2 ข+ค+ง+ก

เซนติเมตร)

(กำหนดให้ แรง 1 นิวตัน เขียนแทนด้วยความยาว 1



5. จงหาแรงลัพธ์โดยการคำนวณ



วิธีทำ แยกองค์ประกอบของแรงให้เข้าสู่แกนพิกัดฉาก และกำหนดให้ทิศทางขวามีค่าเป็น +x ส่วนทิศทางซ้ายมีค่าเป็น -x และทิศขึ้นมีค่าเป็น +y และทิศลงมีค่าเป็น -y โจทย์ถามหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์

คำนวณหาขนาดของแรงลัพธ์โดยใช้สูตร $\Sigma \vec{F} = \sqrt{\Sigma \vec{F}_x^2 + \Sigma \vec{F}_y^2}$

คำนวณหาทิศโดยใช้สูตร $\tan \alpha = \frac{\Sigma F_y}{\Sigma F_x}$

หาขนาดของแรงลัพธ์ตามแนวแกน x ; $\Sigma \vec{F}_x = 10\cos 60^\circ - 10\sqrt{2}\cos 45^\circ$

แทนค่า $\Sigma \vec{F}_x = 10\left(\frac{1}{2}\right) - 10\sqrt{2}\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)$

$$\Sigma \vec{F}_x = -5 \text{ N (ทิศ -x)}$$

หาขนาดของแรงลัพธ์ตามแนวแกน y ; $\Sigma \vec{F}_y = 10\sqrt{2}\sin 45^\circ + 10\sin 60^\circ - 10$

แทนค่า $\Sigma \vec{F}_y = 10\sqrt{2}\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right) + 10\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) - 10$

$$\Sigma \vec{F}_y = 8.66 \text{ N (ทิศ +y)}$$

หาขนาดของแรงลัพธ์ $\Sigma \vec{F} = \sqrt{(-5)^2 + (8.66)^2}$

$$\Sigma \vec{F} = 10 \text{ N}$$

หาทิศของแรงลัพธ์

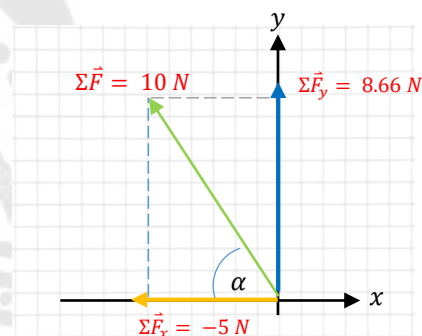
จากสูตร $\tan \alpha = \frac{\Sigma F_y}{\Sigma F_x}$

$$\tan \alpha = \frac{8.66}{-5}$$

$$\tan \alpha = -1.732$$

$$\alpha = \tan^{-1}(-1.732)$$

$$\alpha = -60^\circ \text{ กับแกน -x}$$



ตอบ แรงลัพธ์มีค่าเท่ากับ 10 นิวตัน มีทิศทำมุม 60 องศา กับแกน -x

ใบกิจกรรมที่ 1

สะพานไม้ไอศกรีม (Popsicle Stick Bridge)

จุดประสงค์การเรียนรู้

เพื่อให้ นักเรียนสามารถประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องแรง ในการออกแบบและสร้างสะพานไม้ไอศกรีมได้

วัสดุอุปกรณ์

ที่	รายการ	จำนวนต่อกลุ่ม
1	ไม้ไอศกรีม	150 อัน
2	กาวร้อน	1 หลอด
3	ไม้บรรทัด กรรไกร คัตเตอร์ แผ่นรองตัด	1 ชุด

วิธีดำเนินการกิจกรรม

1. นักเรียนศึกษาวิดีโอทัศน์เกี่ยวกับสะพานครูเชื่อมโยงเข้าสู่สถานการณ์ เรื่อง สะพานไม้ไอศกรีม (Popsicle stick Bridge) โดยครูเป็นผู้เสนอสถานการณ์ ดังต่อไปนี้

สะพานไม้ข้ามแม่น้ำท่าจีนหลายแห่งกำลังจะพังทลายชำรุดเสียหาย ชาวบ้านที่ใช้สะพานข้ามไปอีกฝั่งได้รับความเดือดร้อน บริษัท พระปฐมวิศวะ จำกัด เมื่อทราบปัญหาสะพานชำรุดจึงจัดให้มีแข่งขันการออกแบบและสร้างสะพานเพื่อคัดเลือกแบบสะพานที่มีคุณภาพมากที่สุดไปสร้างสะพานใหม่กับชาวบ้าน โดยใช้อุปกรณ์ตามที่กำหนดให้ สะพานใหม่ที่สร้างขึ้นต้องมีลักษณะแข็งแรง ปลอดภัย สวยงาม แสดงเอกลักษณ์ของจังหวัดนครปฐม และตั้งชื่อสะพานให้ไพเราะ

เกณฑ์การแข่งขันสร้างสะพาน

1. ใช้ไม้ไอศกรีมแทนไม้ในการสร้างสะพาน และวัสดุมีเพียง 2 อย่างเท่านั้นคือ ไม้ไอศกรีมและกาวร้อน
2. สะพานต้องมีความยาวอย่างน้อย 33 เซนติเมตร ยาวไม่เกิน 40 เซนติเมตร และมีความกว้างไม่เกินไม้ไอศกรีม 1 อัน สามารถวางบนจุดรองรับที่มีความกว้างช่วง 30 เซนติเมตร
3. สะพานไอศกรีมต้องออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักทดสอบที่กึ่งกลางของสะพานให้ได้ น้ำหนักมากที่สุด
4. ไม้ไอศกรีมจะต้องไม่ซ้อนกันเป็นชั้น ๆ เว้นแต่จะอยู่ที่ข้อต่อหรือบนแถบวางมวลถ่วง
5. แต่ละทีมมีเวลาในการสร้างสะพานทั้งหมดไม่เกิน 40 นาที
6. สะพานต้องมีลักษณะแข็งแรง ปลอดภัย สวยงาม แสดงเอกลักษณ์ของจังหวัดนครปฐม และตั้งชื่อสะพานให้ไพเราะ

7. ทีมที่มีค่าประสิทธิภาพของโครงสร้างมากที่สุดก่อนที่สะพานจะชำรุดจะเป็นฝ่ายชนะ โดยค่าประสิทธิภาพของโครงสร้าง สามารถหาได้จากสูตร
$$\frac{\text{มวลที่สะพานไม้ไอศกรีมบรรจุได้ (กรัม)}}{\text{มวลของสะพาน (กรัม)}} \times 100$$
8. ทีมที่เข้าร่วมการแข่งขันต้องส่งตัวแทนพูดนำเสนอแนวคิดในการสร้างสะพาน กระบวนการในการสร้างสะพาน และทักษะในการทำงาน ภายในเวลา 3 นาที
9. กรณีหากพบว่าทีมที่มีประสิทธิภาพของโครงสร้างเท่ากัน จะพิจารณาตัดสินจากมวลของโครงสร้างสะพานเป็นเกณฑ์ชี้ขาด ทีมใดที่มีมวลน้อยที่สุดถือเป็นฝ่ายชนะ

2. หลังจากนั้นนักเรียนช่วยกันวิเคราะห์ปัญหาและเงื่อนไขจากสถานการณ์ที่ครูกำหนด เขียนลงในใบบันทึกกิจกรรมที่ 1 ข้อ 1

3. นักเรียนอภิปรายเกี่ยวกับสะพาน โดยใช้คำถามต่อไปนี้ ให้เวลาข้อละ 2 นาที บันทึกลงในใบกิจกรรมที่ 1 ข้อ 2

3.1 นักเรียนคิดว่าสะพานไม้ไผ่ศรีภูมิมีความเกี่ยวข้องกับชีวิตหรือไม่ อย่างไร

3.2 ก่อนจะสร้างสะพานไม้ไผ่ศรีภูมินักเรียนคิดว่าต้องมีความรู้เกี่ยวกับอะไรบ้าง

4. นักเรียนนำเสนอแนวคิดของกลุ่มตน และทั้งห้องร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับคำถามในใบกิจกรรมที่ 1 ข้อ 1 และ ข้อ 2

5. ครูให้ความรู้เกี่ยวกับรูปแบบของการสร้างสะพาน และแรง ตามใบความรู้ที่ 1 เรื่อง สะพานโครงถัก และใบความรู้ที่ 2 เรื่อง แรงและแรงลัพธ์ หลังจากนั้นให้นักเรียนทำใบงานที่ 1 เรื่อง แรงและแรงลัพธ์

6. นักเรียนทำการทดลอง เรื่อง การหาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ และลงมือทำการทดลองศึกษาขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ เพื่อหาขนาดของแรงย่อยและแรงลัพธ์ และขนาดและทิศทางของแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน

7. นักเรียนทำการทดลองหารูปทรงและรูปแบบของสะพานโครงถักจากไม้ไผ่ศรีภูมิที่รับน้ำหนักได้มากที่สุด บันทึกลงในใบกิจกรรมที่ 1 ข้อ 3

8. นักเรียนนำความรู้ที่ได้จากการเรียน การทำกิจกรรม และการสืบค้นจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ มาช่วยในการออกแบบสะพานไม้ไผ่ศรีภูมิตามเงื่อนไขปัญหาของสถานการณ์ โดยเขียนเป็นแผนภาพหรือร่างภาพตามบริบทของปัญหานั้น ๆ ให้ได้มากกว่า 1 วิธี พร้อมระบุถึงวัสดุและเหตุผลที่เลือกใช้วัสดุนั้นลงในใบบันทึกกิจกรรมที่ 1 ข้อ 4 จากนั้นครูให้นักเรียนนำเสนอแบบสะพานไม้ไผ่ศรีภูมิที่ออกแบบไว้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ หาข้อดีและข้อจำกัดของวิธีในการแก้ปัญหาแต่ละข้อ พร้อมทั้งตัดสินใจเลือกวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหานั้นพร้อมระบุถึงวัสดุที่ใช้ลงในใบบันทึกกิจกรรมที่ 1 ข้อ 4

9. นักเรียนคาดการณ์น้ำหนักที่สะพานจะรับได้ โดยบันทึกลงในใบกิจกรรมที่ 1 ข้อ 5

10. นักเรียนวางแผนการทำงานร่วมกันแล้วลงมือสร้างชิ้นงานตามแบบและอุปกรณ์ที่กลุ่มตนเองได้ออกแบบไว้ โดยเน้นย้ำว่าสะพานไม้ไผ่ศรีภูมิที่สร้างจะต้องตรงตามเงื่อนไขจากสถานการณ์ของปัญหา โดยใช้ศิลปะร่วมกับการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม (นักเรียนต้องทำกิจกรรมด้วยความระมัดระวัง)

11. ทดสอบการทำงานของสะพานไม้ไผ่ศรีภูมิ และบันทึกผลการทดสอบ พร้อมทั้งระบุปัญหาที่พบลงในใบกิจกรรมที่ 1 ข้อ 6

12. นำผลการทดสอบมาหาแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานให้ดีขึ้น บันทึกลงในใบกิจกรรมที่ 1 ข้อ 7 เพื่อนร่วมชั้นเรียนช่วยกันอภิปรายและให้ข้อเสนอแนะวิธีการแก้ปัญหาขั้นตอนการสร้างชิ้นงานของกลุ่มที่น่าเสนอ

13. นักเรียนบันทึกผลการอภิปรายลงในใบกิจกรรมที่ 1 ข้อ 8



ใบกิจกรรมที่ 1

สะพานไม้ไอศกรีม (Popsicle stick Bridge)

1. จากการวิเคราะห์สถานการณ์ สรุปเป็นปัญหาและเงื่อนไขของสถานการณ์ได้ดังนี้

ปัญหาจากสถานการณ์ “สะพานไม้ไอศกรีม”

..... (ตอบ สร้างสะพานจากไม้ไอศกรีมให้มีค่าประสิทธิภาพของโครงสร้างมากที่สุดก่อนที่สะพานจะชำรุด โดยกำหนดให้ที่แขวนรับน้ำหนักทดสอบที่ตำแหน่งกึ่งกลางของสะพาน โดยใช้เพียงไม้ไอศกรีม 150 อัน และกาวร้อน 2 หลอดในการสร้าง

เงื่อนไขและข้อจำกัดของสถานการณ์ “สะพานไม้ไอศกรีม”

1. สะพานต้องมีความยาวอย่างน้อย 33 เซนติเมตร ยาวไม่เกิน 40 เซนติเมตร และมีความกว้างไม่เกินไม้ไอศกรีม 1 อัน สามารถวางบนจุดรองรับที่มีความกว้างช่วง 30 เซนติเมตร
2. ไม้ไอศกรีมจะต้องไม่ซ้อนกันเป็นชั้น ๆ เว้นแต่จะอยู่ที่ข้อต่อหรือบนแถบวางมวลถ่วง
3. มีเวลาในการสร้างสะพานทั้งหมดไม่เกิน 40 นาที
4. สะพานใหม่ที่สร้างขึ้นต้องมีความแข็งแรง แสดงเอกลักษณ์ของจังหวัดนครปฐม
5. จะต้องพุดนำเสนอ ภายในเวลา 3 นาที
6. จะต้องแบ่งหน้าที่กันอย่างใดเพื่อให้สะพานเสร็จภายในเวลาที่กำหนด

2. คำถามชวนคิด (ให้เวลาข้อละ 2 นาที)

2.1 นักเรียนคิดว่าสะพานมีความเกี่ยวข้องกับชีวิตอย่างไรบ้าง

(ตอบ 1. สะพานเป็นตัวกลางในการเชื่อมโยงผู้คนกับผู้คน/ผู้คนกับสถานที่เข้าด้วยกัน ทำให้เดินทางไปมาหาสู่กันได้สะดวกขึ้น

2. ทำให้การขนส่งรวดเร็วขึ้น

3. ทำให้เกิดการจ้างงานจากการสร้างสะพาน

4. สะพานที่สวยงามและเป็นเอกลักษณ์ สามารถดึงดูดนักท่องเที่ยวทำให้เกิดรายได้จากการท่องเที่ยว

5. สะพานช่วยเชื่อมโยงประวัติศาสตร์ หรือเป็นสัญลักษณ์ทางวัฒนธรรม

6. สะพานช่วยสร้างสรรค์ผลงานทางด้านศิลปะให้กับศิลปิน)

2.2 ก่อนจะสร้างสะพานนักเรียนคิดว่าต้องมีความรู้เกี่ยวกับอะไรบ้าง

.....(ตอบ ต้องมีความรู้เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ เช่น แรง กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน โครงสร้าง.....

.....ความรู้เกี่ยวกับศิลปะ เช่น การออกแบบ เพื่อให้สะพานมีรูปทรงที่สวยงามน่าดึงดูด พุด.....

นำเสนอผลงานให้มีความน่าสนใจเชื่อมโยงกับชีวิต.....

.....ความรู้เกี่ยวกับคณิตศาสตร์ เช่น ขนาดและสัดส่วน ค่ามุม.....

.....ความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยี เช่น การสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของการสร้างสะพาน.....

3. โครงสร้างจากไม้ไผ่ที่รับน้ำหนักได้มากที่สุด

ให้นักเรียนศึกษาโครงสร้างของสะพานและหนักสูงสุดที่สะพานรับได้ บันทึกผลการทดสอบ วาดรูปแนวแรง และคำนวณแรงภายในสะพานโครงถัก เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการสร้างสะพานไม้ไผ่

ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตอนที่ 1 รูปทรงของโครงถัก

รูปทรงของโครงถัก	น้ำหนักที่สะพานรับได้โดยไม่เสียหาย (นิวตัน)		เฉลี่ย (นิวตัน)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	
สามเหลี่ยม			
สี่เหลี่ยม			

ตอนที่ 2 รูปแบบของโครงถัก

รูปแบบของโครงถัก	น้ำหนักที่สะพานรับได้โดยไม่เสียหาย (นิวตัน)		เฉลี่ย (นิวตัน)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	

4. ออกแบบสะพานไม้ไผ่เสริมให้ได้มากกว่า 1 วิธี พร้อมระบุถึงวัสดุและเหตุผลที่เลือกใช้วัสดุนั้น



แบบที่เลือกเพื่อนำไปสร้างสะพานไม้ไผ่เสริม (เขียนแนวแรงที่กระทำกับสะพานด้วย)

ชื่อสะพาน



เหตุผลในการ

เลือก

.....

.....

.....

.....

5. คำนวณแรงภายในสะพานโครงถักจากไม้ไผ่ครีมนี่จะรับน้ำหนักได้มากที่สุด

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

6. บันทึกผลการทดสอบ

ชื่อ

สะพาน

ครั้งที่	น้ำหนักที่สะพานรับได้ โดยไม่ชำรุด (นิวตัน)	ลำดับการแข่งขัน
1		
2		

ปัญหาที่พบ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

7. บันทึกแนวทางการปรับปรุงแก้ไขกันได้ เพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดพร้อมระบุรายละเอียดของการปรับปรุงแก้ไข

.....

.....

.....

.....

.....

.....

8. อภิปรายผลการทำกิจกรรม

.....

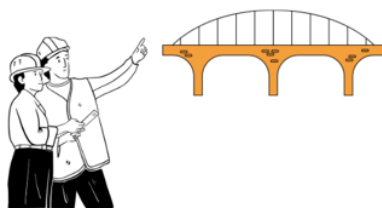
.....

.....

.....

.....

.....



รายการประเมิน 1. อธิบาย ทดลองหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน และแสดงการหาแรงลัพธ์โดยใช้วิธีเขียนเวกเตอร์ของแรงแบบหางต่อหัว วิธีสร้างรูปสี่เหลี่ยมขนานของแรงและวิธีคำนวณ

[illegible]

15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	

ลำดับที่	การปฏิบัติ การทดลอง				การบันทึกผล การทดลอง				การตอบคำถาม การทดลอง				ความตรง ต่อเวลา				รวม คะแนน
	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	

ลงชื่อ ผู้ประเมิน

(.....)

วันที่



เกณฑ์การประเมินการบันทึกผลการทดลอง

ประเด็น การ ประเมิน	ระดับคะแนน			
	3	2	1	0
การปฏิบัติ การทดลอง	ปฏิบัติตามขั้นตอน ได้ด้วยตนเอง	ปฏิบัติตามขั้นตอนได้ ด้วยตนเอง แต่ยังต้องการ ความช่วยเหลือหรือ คำแนะนำในการทดลอง	ไม่สามารถปฏิบัติตาม ตามขั้นตอนได้ด้วย ตนเอง	นักเรียน ไม่ได้ ปฏิบัติการ ทดลอง
การบันทึก ผลการ ทดลอง	บันทึกผลการ ทดลองได้ครบถ้วน และถูกต้องทั้งหมด	บันทึกผลการทดลองได้ ครบถ้วน แต่มีบาง ตำแหน่งไม่ถูกต้อง	บันทึกผลการ ทดลองไม่ครบถ้วน	ไม่ส่งใบ บันทึกผล การทดลอง
การตอบ คำถามการ	การตอบคำถามใน ใบบันทึกผลการ	การตอบคำถามในใบ บันทึกผลการทดลองได้	การตอบคำถามใน ใบบันทึกผลการ	ไม่ส่งใบ บันทึกผล

ทดลอง	ทดลองได้ครบถ้วน และถูกต้องเกิน 80% ของข้อ คำถามทั้งหมด	ครบถ้วนและถูกต้องเกิน 60% ของข้อคำถาม ทั้งหมด	ทดลองไม่ครบถ้วน และถูกต้องน้อย กว่า 60% ของข้อ คำถามทั้งหมด	การทดลอง
ความตรง ต่อเวลา	ส่งใบบันทึกผลการ ทดลองตรงเวลาที่ กำหนด	ส่งใบบันทึกผลการ ทดลองล่าช้ากว่าเวลาที่ กำหนดไป 1 วัน	ส่งใบบันทึกผลการ ทดลองล่าช้ากว่า เวลาที่กำหนดไป 3 วัน	ไม่ส่งใบ บันทึกผล การทดลอง

โดยกำหนดเกณฑ์การผ่านที่ร้อยละ 60 ของคะแนนเต็ม คือ

ได้ 11-12 คะแนน อยู่ในระดับ ดีมาก

ได้ 9-10 คะแนน อยู่ในระดับ ดี

ได้ 7-8 คะแนน อยู่ในระดับ พอใช้

ได้ต่ำกว่า 7 คะแนน อยู่ในระดับ ไม่ผ่านเกณฑ์

เกณฑ์การผ่าน ระดับคุณภาพพอใช้ (7 คะแนน) ขึ้นไปถือว่าผ่านเกณฑ์

ผลการประเมิน ใบบันทึกผลการทดลอง

ชั้น ม. 4/2 นักเรียน 30 คน อยู่ระดับดีมาก จำนวน คน อยู่ระดับดี จำนวน คน

อยู่ระดับพอใช้ จำนวน คน ไม่ผ่านเกณฑ์ จำนวน คน

แบบประเมินใบงาน/ใบกิจกรรม

คำชี้แจง : ให้ครูผู้สอนประเมินใบงานนักเรียนโดยพิจารณาตามคำอธิบายคุณภาพที่กำหนด แล้วขีด

✓ ลงในช่องที่ตรงกับระดับคะแนน

รายการประเมิน 1. อธิบาย ทดลองหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน และแสดงการหาแรง
ลัพธ์โดยใช้วิธีเขียนเวกเตอร์ของแรงแบบหางต่อหัว วิธีสร้างรูปสี่เหลี่ยมขนานของแรงและวิธีคำนวณ

2. อธิบายและเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ (free-body diagram) ในกรณีต่าง ๆ

3. ออกแบบสะพานไอศกรีมเพื่อแก้ปัญหาตามสถานการณ์

ลำดับที่	ความถูกต้อง				ความเป็น ระเบียบ				ความตรง ต่อเวลา				รวมคะแนน
	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	

ลำดับที่	ความถูกต้อง				ความเป็นระเบียบ				ความตรงต่อเวลา				รวมคะแนน
	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	
21													
22													
23													
24													
25													
26													
27													
28													
29													
30													

ลงชื่อ ผู้ประเมิน

(.....)

วันที่

เกณฑ์การประเมินใบงาน/ใบกิจกรรม

ประเด็น การประเมิน	ระดับคะแนน			
	4	3	2	1
ความถูกต้อง	ทำใบงาน/ใบ กิจกรรมถูกต้อง เกิน 80% ขึ้นไป	ทำใบงาน/ใบ กิจกรรมถูกต้อง 65% -79%	ทำใบงาน/ใบ กิจกรรมถูกต้อง 50% -64%	ทำใบงาน/ใบ กิจกรรมถูกต้อง น้อยกว่า 50%
ความเป็น ระเบียบ	ใบงาน/ใบ กิจกรรมมีความ เป็นระเบียบ สะอาด เรียบร้อย ดีมาก	ใบงาน/ใบกิจกรรม มีความเป็นระเบียบ สะอาด เรียบร้อยดี	ใบงาน/ใบกิจกรรม มีความเป็นระเบียบ สะอาด เรียบร้อย ปานกลาง	ใบงานมีความเป็น ระเบียบ สะอาด เรียบร้อยพอใช้
ความตรง ต่อเวลา	ส่งใบงาน/ใบ กิจกรรมตรงเวลา ที่กำหนด	ส่งใบงาน/ใบ กิจกรรมล่าช้ากว่า เวลาที่กำหนดไป 1 วัน	ส่งใบงาน/ใบ กิจกรรมล่าช้ากว่า เวลาที่กำหนดไป 3 วัน	ส่งใบงาน/ใบ กิจกรรมล่าช้ากว่า เวลาที่กำหนดไป มากกว่า 3 วัน

โดยกำหนดเกณฑ์การผ่านที่ร้อยละ 60 ของคะแนนเต็ม คือ

ได้ 11-12 คะแนน อยู่ในระดับ ดีมาก

ได้ 9-10 คะแนน อยู่ในระดับ ดี

ได้ 7-8 คะแนน อยู่ในระดับ พอใช้

ได้ต่ำกว่า 7 คะแนน อยู่ในระดับ ไม่ผ่านเกณฑ์

เกณฑ์การผ่าน ระดับคุณภาพพอใช้ (7 คะแนน) ขึ้นไปถือว่าผ่านเกณฑ์

การตัดสิน

พิจารณาจากการออกแบบและผลการแข่งขันประสิทธิภาพของสะพาน รวม 100 คะแนน

- การบูรณาการความรู้ (STEAM) (10 คะแนน)
- การใช้กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม (20 คะแนน)
(เหตุผลในการเลือกใช้วัสดุ-อุปกรณ์, แนวคิดในการออกแบบ, ความคิดสร้างสรรค์)
- ความสวยงามและมีเอกลักษณ์ (20 คะแนน)
- ผลงาน (30 คะแนน)
- การนำเสนอผลงาน (20 คะแนน)

เกณฑ์การประเมินชิ้นงาน

ประเด็น การประเมิน	ระดับคะแนน			
	4	3	2	1
การบูรณาการความรู้ สะเต็ม (STEAM)	สามารถอธิบาย ความรู้ทางด้าน วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ ศิลปะ และเทคโนโลยี ที่ นำมาใช้ในการ ออกแบบผลงานได้ ชัดเจนและถูกต้อง ครบทั้ง 4 ด้าน	สามารถอธิบาย ความรู้ที่เกี่ยวข้อง กับการออกแบบ ผลงานได้ชัดเจน และถูกต้อง 3 ด้าน	สามารถอธิบาย ความรู้ที่เกี่ยวข้อง กับการออกแบบ ผลงานได้ชัดเจน และถูกต้อง 2 ด้าน	ไม่สามารถ อธิบายความรู้ ที่เกี่ยวข้องกับ การออกแบบ ผลงานได้
การใช้ กระบวนการ ออกแบบ ทาง วิศวกรรม	แบบร่างสะพานมี ความชัดเจน สามารถสื่อสารให้ ผู้อื่นเข้าใจได้ แสดง เหตุผลในการ	แบบร่างสะพานมี ความชัดเจน สามารถสื่อสารให้ ผู้อื่นเข้าใจได้ ชัด เหตุผลในการ	แบบร่างสะพาน ขาดความชัดเจน แต่สามารถสื่อสาร ให้ผู้อื่นเข้าใจได้ ขาดเหตุผลในการ	ไม่สามารถ สร้างชิ้นงาน ตามที่แบบร่าง ไม่มีความ แปลกใหม่

	ออกแบบได้อย่างชัดเจน ผลงานมีความแปลกใหม่และประณีต	ออกแบบ ผลงานมีความแปลกใหม่หรือประณีต	ออกแบบ ผลงานมีความแปลกใหม่หรือประณีต	และไม่แปลกใหม่
ความสวยงามและมีเอกลักษณ์	สะพานไม้ไผ่ศรีกริมมีความสวยงามแสดงเอกลักษณ์ของจังหวัดนครปฐม และชื่อสะพานมีความไพเราะ	สะพานไม้ไผ่ศรีกริมมีความสวยงามหรือแสดงเอกลักษณ์ของจังหวัดนครปฐมหรือชื่อสะพานมีความไพเราะ	สะพานไม้ไผ่ศรีกริมมีความสวยงามแต่ไม่แสดงเอกลักษณ์ของจังหวัดนครปฐมหรือชื่อสะพานมีความไพเราะ	สร้างสะพานไม้ไผ่ศรีกริมได้ไม่เป็นไปตามเงื่อนไข

ประเด็นการประเมิน	ระดับคะแนน			
	4	3	2	1
ผลงาน	สร้างสะพานไม้ไผ่ศรีกริมได้ตามเงื่อนไข และมีค่าประสิทธิภาพของโครงสร้างมากที่สุด เป็นอันดับ 1 และ 2	สร้างสะพานไม้ไผ่ศรีกริมได้ตามเงื่อนไข และมีค่าประสิทธิภาพของโครงสร้างเป็นอันดับ 3 และ 4	สร้างสะพานไม้ไผ่ศรีกริมได้ตามเงื่อนไข และมีค่าประสิทธิภาพของโครงสร้างเป็นอันดับ 5 และ 6	สร้างสะพานไม้ไผ่ศรีกริมได้ไม่เป็นไปตามเงื่อนไข
การนำเสนอผลงาน	สามารถนำเสนอผลงานได้อย่างน่าสนใจ ภายในเวลาที่กำหนด สามารถสื่อสารได้อย่างชัดเจน และมีปฏิสัมพันธ์กับผู้ฟัง	สามารถนำเสนอผลงานได้อย่างน่าสนใจ ภายในเวลาที่กำหนด สามารถสื่อสารได้ดี แต่อาจขาดปฏิสัมพันธ์กับผู้ฟัง	สามารถนำเสนอผลงานได้ภายในเวลาที่กำหนด แต่อาจขาดความน่าสนใจ หรืออาจขาดปฏิสัมพันธ์กับ	นำเสนอผลงานเกินเวลาการนำเสนอไม่สอดคล้องกับผลงาน และขาดปฏิสัมพันธ์กับ

			ผู้ฟัง	ผู้ฟัง
--	--	--	--------	--------

แบบสังเกตพฤติกรรม

คำชี้แจง ให้พิจารณาพฤติกรรมต่อไปนี้แล้วให้ระดับคะแนนที่ตรงกับการปฏิบัติของนักเรียนตามความเป็นจริง โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

รายการประเมิน 6. มีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมกลุ่มในชั้นเรียนและรับผิดชอบหน้าที่ของตนเอง

ระดับคะแนน	3	หมายถึง	พฤติกรรมที่ปฏิบัติชัดเจน สม่ำเสมอ
ระดับคะแนน	2	หมายถึง	พฤติกรรมที่ปฏิบัติชัดเจนและบ่อยครั้ง
ระดับคะแนน	1	หมายถึง	พฤติกรรมที่ปฏิบัติเป็นบางครั้ง
ระดับคะแนน	0	หมายถึง	ไม่เคยปฏิบัติพฤติกรรม

ข้อที่	รายการพฤติกรรม	ความถี่ของการปฏิบัติ			
		ไม่เคย (0)	บางครั้ง (1)	บ่อยครั้ง (2)	สม่ำเสมอ (3)
ด้านใฝ่เรียนรู้					
1.	นักเรียนมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรม				
2.	นักเรียนแสวงหาความรู้จากแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอกโรงเรียน ด้วยการเลือกใช้สื่ออย่างเหมาะสม สรุปเป็นองค์ความรู้ และสามารถนำความรู้ที่				

	ได้มาสร้างชิ้นงานหรือแบบจำลองได้				
ด้านมุ่งมั่นในการทำงาน					
1.	ตั้งใจและรับผิดชอบในการปฏิบัติงานตามหน้าที่ของตน				
2.	ทำงานด้วยความเพียรพยายาม และอดทนเพื่อให้ ชิ้นงานหรือแบบจำลองสำเร็จตามเป้าหมาย				
สรุปการประเมิน					

โดยกำหนดเกณฑ์การผ่านที่ร้อยละ 60 ของคะแนนเต็ม คือ

ได้ 11-12 คะแนน อยู่ในระดับ ดีมาก

ได้ 9-10 คะแนน อยู่ในระดับ ดี

ได้ 7-8 คะแนน อยู่ในระดับ พอใช้

ได้ต่ำกว่า 7 คะแนน อยู่ในระดับ ไม่ผ่านเกณฑ์

เกณฑ์การผ่าน ระดับคุณภาพพอใช้ (7 คะแนน) ขึ้นไปถือว่าผ่านเกณฑ์

ผลการประเมิน การสังเกตพฤติกรรม

ชั้น ม. 4/2 นักเรียน 30 คน อยู่ระดับดีมาก จำนวน คน อยู่ระดับดี จำนวน คน

อยู่ระดับพอใช้ จำนวน คน ไม่ผ่านเกณฑ์ จำนวน คน

แบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์
รายวิชา ฟิสิกส์ 1 สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

คำชี้แจง

1. แบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ฉบับนี้ เป็นแบบวัดแบบอัตนัย มีทั้งหมด 6 ข้อ
2. ให้นักเรียนตอบคำถามให้แต่ละข้อโดยเขียนคำตอบในช่องว่างที่เว้นไว้ให้มีจำนวนมากที่สุด
3. เวลาที่ใช้ในการสอบทั้งหมด 35 นาที โดยมีรายละเอียด ดังนี้
 - 3.1 ข้อ 1-4 จำกัดเวลา ข้อละ 3 นาที
 - 3.2 ข้อ 5-6 ให้ทำแบบวัดทั้งสองข้อภายในเวลา 23 นาที
4. ครูผู้คุมสอบจะเป็นผู้ให้สัญญาณหมดเวลาในการทำแบบวัดแต่ละข้อ เมื่อได้ยินสัญญาณแล้วให้หยุดทำทันที จากนั้นครูผู้คุมสอบจะเก็บแบบวัดพร้อมทั้งแจกแบบวัดข้อถัดไป
5. ไม่อนุญาตให้นักเรียนเริ่มทำแบบวัดก่อนได้รับอนุญาต
6. นักเรียนจะได้คะแนนด้านความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ เมื่อนักเรียนตอบคำถามในแต่ละข้อได้มากวิธี มีคำตอบจำนวนมาก มีความแปลกใหม่ ไม่ซ้ำกับเพื่อนคนอื่น มีความสมเหตุสมผลสอดคล้องกับข้อคำถาม มีความเป็นไปได้ และมีการใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ หากคำตอบนั้นไม่ได้ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ จะไม่ได้คะแนน
7. แบบวัดฉบับนี้สร้างขึ้นเพื่อวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ซึ่งผลจากการศึกษาจะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนการสอน ข้อมูลที่ได้จากแบบวัดฉบับนี้จะนำไปใช้ในการวิจัยเท่านั้น ไม่มีผลเสียต่อนักเรียนและโรงเรียน

ชื่อ ม.4/..... เลขที่

1. จงเขียนประโยชน์ของการใช้วัสดุประเภทแก้วในการใช้งานทางวิทยาศาสตร์มาให้ได้จำนวนข้อมากที่สุด (3 นาที)

ตัวอย่าง

1) คุณสมบัติทางกายภาพ

- แก้วมีความใส
- แก้วสามารถบอกค่าปริมาตรของสารให้อ่านได้อย่างแม่นยำ
- แก้วสามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดี
- แก้วมีรูปร่างและขนาดที่หลากหลาย
- แก้วไม่นำไฟฟ้า

2) คุณสมบัติทางเคมี

- แก้วทนต่อกรด
- แก้วมีความเฉื่อยต่อสารเคมี

3) คุณสมบัติในการใช้งาน

- แก้วสามารถทำความสะอาดได้ง่าย
- แก้วสามารถใช้งานได้นาน
- แก้วมีราคาถูก

2. นักเรียนมีโอกาสได้ร่วมเป็นส่วนหนึ่งของคณะนักสำรวจใต้ท้องทะเล ที่จะเดินทางไปสำรวจและตั้งศูนย์สถานีวิจัยถาวร ณ ร่องลึกมหาสมุทรที่เพิ่งถูกค้นพบ ซึ่งมีสภาพแวดล้อมเฉพาะตัวและคาดว่าจะแหล่งที่อยู่ของสิ่งมีชีวิตและทรัพยากรล้ำค่าที่ไม่เคยรู้จักมาก่อน นักเรียนจะตั้งคำถามทางวิทยาศาสตร์อะไรบ้างที่สำคัญและเร่งด่วนที่สุดเพื่อศึกษาทำความเข้าใจร่องมหาสมุทรนี้มาให้ได้จำนวนข้อมากที่สุด (3 นาที)

ตัวอย่าง

1) ธรณีวิทยา

- ร่องลึกนี้เกิดขึ้นได้อย่างไร?
- เกิดแผ่นดินไหวบ่อยแค่ไหน
- มีปล่องน้ำร้อนใต้ทะเลหรือไม่

2) สมุทรศาสตร์

- อุณหภูมิเป็นอย่างไร
- ระดับความเค็มของน้ำที่ร่องลึกนี้เป็นอย่างไร
- มีกระแสน้ำหรือไม่

3) สิ่งมีชีวิต

- มีสิ่งมีชีวิตชนิดใดบ้างที่อาศัยอยู่ในร่องลึกนี้
- ระบบนิเวศของร่องลึกเป็นอย่างไร
- มีแหล่งน้ำจืดหรือไม่

4) การดำรงชีวิต

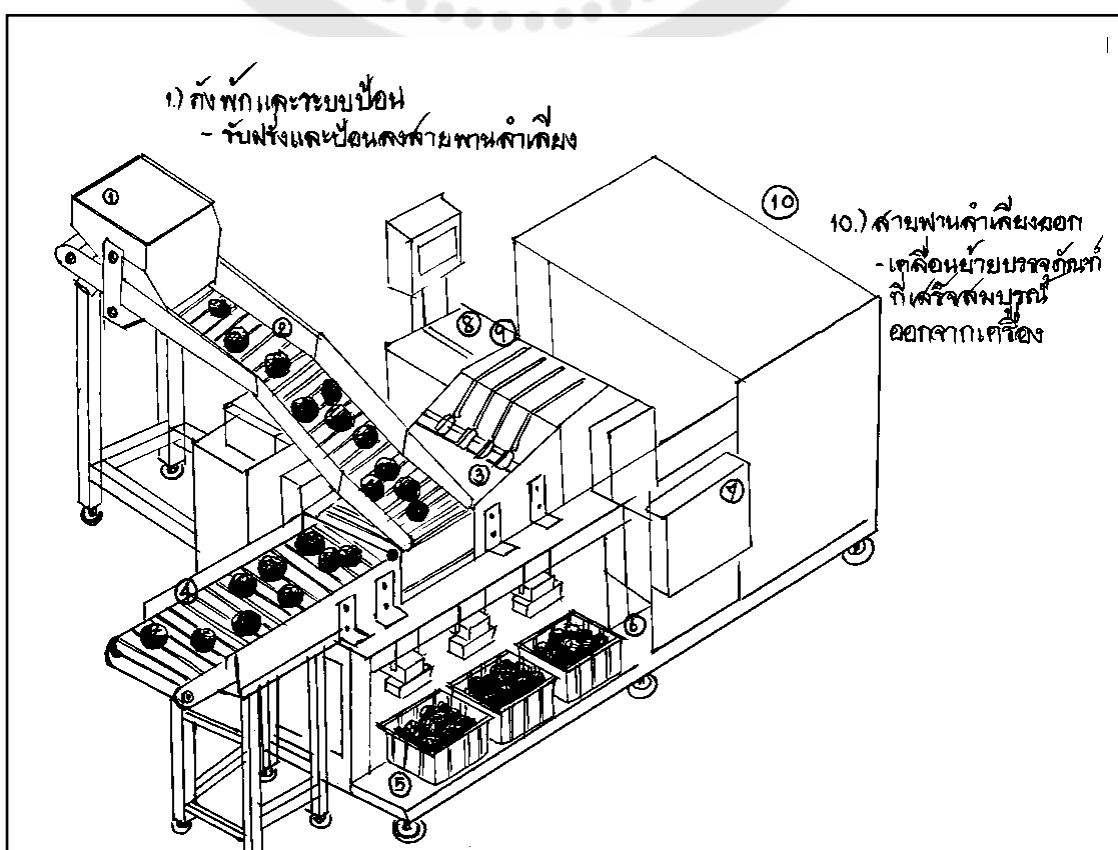
- มีวัสดุใดบ้างที่ทนต่อแรงดันได้มหาสมุทรลึกได้
- ระบบการสร้างพลังงานต้องเป็นอย่างไร
- จะสื่อสารกันด้วยวิธีใด

5) ธรณีฟิสิกส์

- กฎทางฟิสิกส์จะมีการเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่
- แรงโน้มถ่วงจะยังมีผลต่อวัตถุอยู่หรือไม่
- มีแรงดันอากาศมากน้อยเพียงใด

6. จงออกแบบเครื่องบรรจุรัง 1 เครื่อง โดยวาดรูปพร้อมระบุชื่อและหน้าที่ของแต่ละส่วนของเครื่อง (10 นาที)

ตัวอย่าง





ฉบับหลังเรียน

แบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์
รายวิชา ฟิสิกส์ 1 สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

คำชี้แจง

1. แบบวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ฉบับนี้ เป็นแบบวัดแบบอัตนัย มีทั้งหมด 6 ข้อ
2. ให้นักเรียนตอบคำถามให้แต่ละข้อโดยเขียนคำตอบในช่องว่างที่เว้นไว้ให้มีจำนวนมากที่สุด
3. เวลาที่ใช้ในการสอบทั้งหมด 35 นาที โดยมีรายละเอียด ดังนี้
 - 3.1 ข้อ 1-4 จำกัดเวลา ข้อละ 3 นาที
 - 3.2 ข้อ 5-6 ให้ทำแบบวัดทั้งสองข้อภายในเวลา 23 นาที

4. ครูผู้คุมสอบจะเป็นผู้ให้สัญญาณหมดเวลาในการทำแบบวัดแต่ละข้อ เมื่อได้ยินสัญญาณแล้วให้หยุดทำทันที จากนั้นครูผู้คุมสอบจะเก็บแบบวัดพร้อมทั้งแจกแบบวัดข้อถัดไป

5. ไม่อนุญาตให้นักเรียนเริ่มทำแบบวัดก่อนได้รับอนุญาต

6. นักเรียนจะได้คะแนนด้านความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ เมื่อนักเรียนตอบคำถามในแต่ละข้อได้มากวิธี มีคำตอบจำนวนมาก มีความแปลกใหม่ ไม่ซ้ำกับเพื่อนคนอื่น มีความสมเหตุสมผลสอดคล้องกับข้อคำถาม มีความเป็นไปได้ และมีการใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ หากคำตอบนั้นไม่ได้ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ จะได้คะแนน

7. แบบวัดฉบับนี้สร้างขึ้นเพื่อวัดความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ซึ่งผลจากการศึกษาจะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนการสอน ข้อมูลที่ได้จากแบบวัดฉบับนี้จะนำไปใช้ในการวิจัยเท่านั้น ไม่มีผลเสียต่อนักเรียนและโรงเรียน



1. จงเขียนประโยชน์ของการใช้วัสดุประเภทพลาสติกในการทำงานทางวิทยาศาสตร์มาให้ได้
จำนวนข้อมากที่สุด (3 ข้อ)

ตัวอย่าง

1) คุณสมบัติทางกายภาพ

- พลาสติกมีน้ำหนักเบา พกพาสะดวก

- พลาสติกสามารถใช้งานได้นาน

- พลาสติกมีรูปร่างและขนาดที่หลากหลาย

- พลาสติกไม่นำไฟฟ้า

2) คุณสมบัติทางเคมี

- พลาสติกทนต่อกรด

- พลาสติกมีความเฉื่อยต่อสารเคมี

- พลาสติกไม่

3) คุณสมบัติในการทำงาน

- พลาสติกสามารถทำความสะอาดได้ง่าย

- พลาสติกสามารถใช้งานได้นาน

- พลาสติกมีราคาถูก

- พลาสติกสามารถนำมารีไซเคิลได้

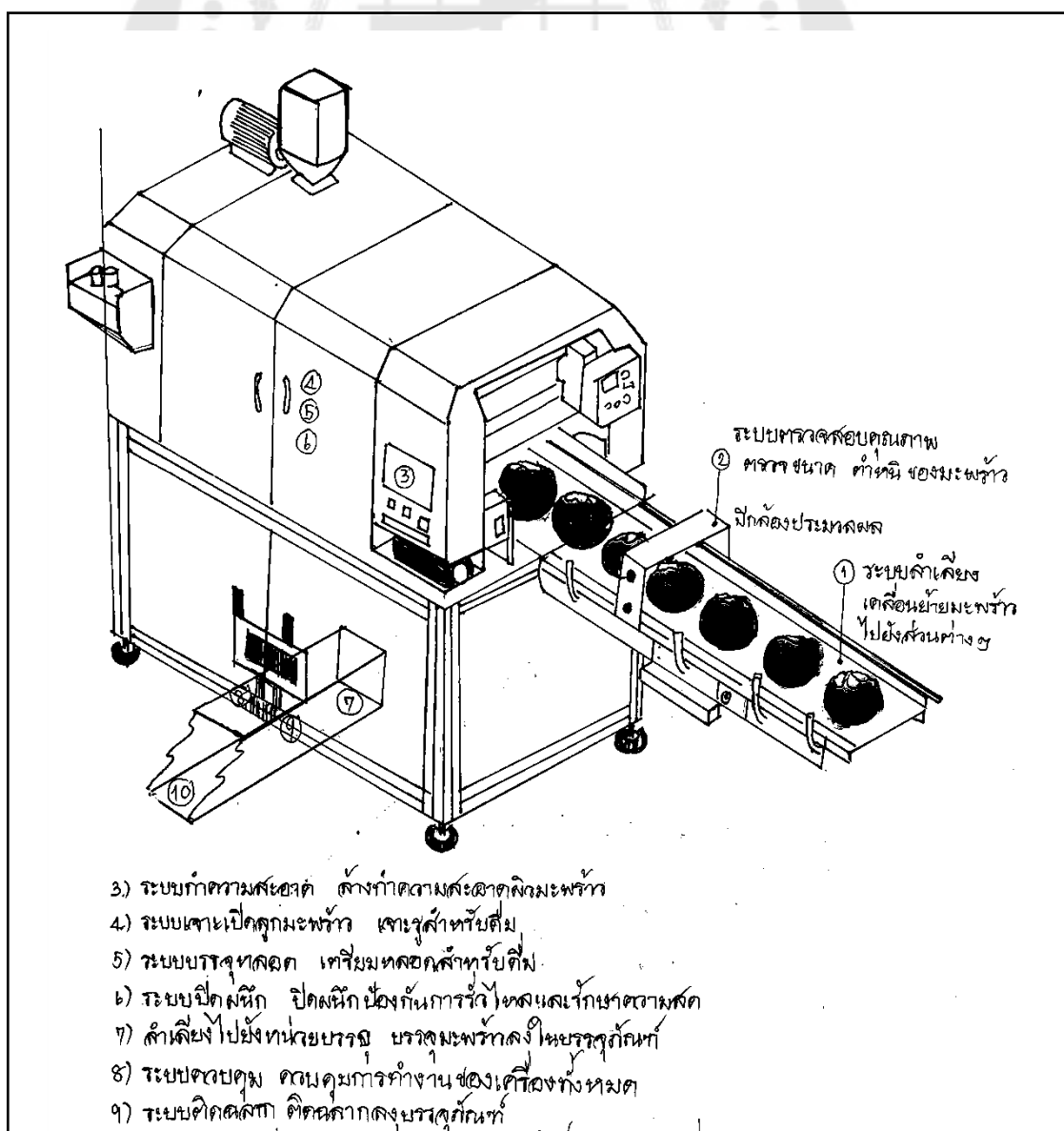
4. สมมติว่าโลกนี้ไม่มีแรงเสียดทานระหว่างวัตถุสองชนิดเกิดขึ้น นักเรียนคิดว่าจะเกิดผลกระทบอย่างไรบ้าง จงเขียนคำตอบให้ได้จำนวนข้อมากที่สุด (3 นาที)

ตัวอย่าง

- 1) ผลกระทบต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ
 - วัตถุเคลื่อนที่ไม่หยุด
 - วัตถุเคลื่อนที่ได้ยากมากขึ้น
 - รถเคลื่อนที่แหกโค้ง
- 2) ผลกระทบต่อชีวิตประจำวันและการทำงาน
 - เดินไปข้างหน้าได้ยากขึ้น
 - เครื่องมือบางอย่างใช้งานไม่ได้
 - พื้นลื่น
- 3) ผลกระทบต่อความรู้ทางฟิสิกส์
 - กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันเปลี่ยนไป
 - ความเข้าใจเกี่ยวกับแรงและการเคลื่อนที่จะเปลี่ยนไป
 - การทดลองของกาลิเลโอจะเป็นจริงบนโลก

6. จงออกแบบเครื่องบรรจุมะพร้าว 1 เครื่อง โดยวาดรูปพร้อมระบุชื่อและหน้าที่ของแต่ละส่วนของเครื่อง (10 นาที)

ตัวอย่าง





ตัวอย่างแบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
 วิชา ฟิสิกส์ 1 (ว31201) เรื่อง แรงและการเคลื่อนที่ ปีการศึกษา 2567
 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 คะแนนเต็ม 30 คะแนน เวลาสอบ 45 นาที

- คำชี้แจง**
1. แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฉบับนี้ เป็นแบบปรนัย 5 ตัวเลือก มี 30 ข้อ
 2. อนุญาตให้ใช้เครื่องคำนวณที่ไม่ใช่โทรศัพท์ได้

ผลการเรียนรู้

1. อธิบายแรงและผลของแรงลัพธ์ที่มีต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ รวมทั้งทดลองหาแรงลัพธ์ของแรงสองแรงที่ทำมุมต่อกัน
2. เขียนแผนภาพของแรงที่กระทำต่อวัตถุอิสระ และอธิบายกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันและการใช้กฎการเคลื่อนที่ของนิวตันกับสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ รวมทั้งทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรง มวล และความเร่งตามกฎข้อที่สองของนิวตัน

3. อธิบายกฎความโน้มถ่วงสากลและผลของสนามโน้มถ่วงที่ทำให้วัตถุมีน้ำหนัก รวมทั้งคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

4. วิเคราะห์และอธิบายแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่ง ๆ ในกรณีที่วัตถุหยุดนิ่ง และวัตถุเคลื่อนที่ รวมทั้งทดลองหาสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุคู่หนึ่ง ๆ และนำความรู้เรื่องแรงเสียดทานไปใช้ในชีวิตประจำวัน

กำหนดให้ $g = 10 \text{ kg m/s}^2$

$$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$$

รัศมีของโลกเท่ากับ 6,400 km

จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดในแต่ละข้อเพียงข้อเดียว (ทำในกระดาษคำตอบ)

1. ข้อใดคือหน่วยของแรง

ก. m/s

ข. m/s²

ค. kg

ง. km/s

จ. kg·m/s²

(ผลการเรียนรู้ข้อ 1 ด้านความรู้ความจำ)

5. ถ้านักเรียนทำการทดลองออกแรงสามแรงดึงวัตถุจนกระทั่งวัตถุหยุดนิ่ง นักเรียนสังเกตเห็นว่าแรงทั้งสามมีทิศทางและขนาดแตกต่างกันไปนักเรียนควรสรุปผลการทดลองนี้อย่างไร

ก. ผลลัพธ์ของแรงทั้งหมดที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเป็นศูนย์

ข. วัตถุจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางของแรงที่มีขนาดมากที่สุด

ค. แรงลัพธ์ทำมุม 45 องศากับแนวระดับ

ง. วัตถุจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางของผลลัพธ์ของแรง

จ. วัตถุจะถูกฉีกออกเป็นสามส่วนเนื่องจากแรงที่กระทำ

(ผลการเรียนรู้ข้อ 1 ด้านกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์)

11. ชพานั่งอยู่ในสวนสาธารณะ สังเกตลูกบอลที่วางนิ่งอยู่บนสนามหญ้า เมื่อชบาใช้เท้าเขี่ยลูกบอลเบา ๆ ลูกบอลจะกลิ้งไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งหยุดนิ่งลงเอง จากนั้นชบาสังเกตเห็นว่าเมื่อไม่มีแรงใดมากระทำต่อลูกบอลอีก ลูกบอลก็จะคงอยู่ในสภาพหยุดนิ่ง

ผลการสังเกตนี้สามารถสรุปได้ว่าอย่างไร

ก. เมื่อไม่มีแรงใดมากระทำต่อวัตถุ วัตถุจะหยุดนิ่งเสมอ

- ข. เมื่อมีแรงมากระทำต่อวัตถุ วัตถุจะเคลื่อนที่เร็วขึ้นเสมอ
 ค. วัตถุทุกชนิดต้องการแรงเพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่
 ง. เมื่อไม่มีแรงใดมากระทำต่อวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ วัตถุจะค่อยๆ ช้าลงและหยุดนิ่งในที่สุด
จ. วัตถุจะคงสภาพการเคลื่อนที่หรือการหยุดนิ่งไว้จนกว่าจะมีแรงภายนอกมากระทำ
 (ผลการเรียนรู้ข้อ 2 ด้านกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์)

18. กำหนดให้ ความเร่งโน้มถ่วงที่พื้นผิวดาวเคราะห์ A เท่ากับ 3 เมตรต่อวินาที²
 ความเร่งโน้มถ่วงที่พื้นผิวดาวเคราะห์ B เท่ากับ 1 เมตรต่อวินาที²
 ถ้าชั่งน้ำหนักของวัตถุมวล 2 กิโลกรัม บนพื้นผิวดาวเคราะห์ทั้งสอง น้ำหนักของวัตถุ ณ ดาวดวงใดมีค่ามากกว่ากัน และมากกว่ากันเท่าใด
 ก. น้ำหนักของวัตถุบนดาว A มากกว่า 2 นิวตัน
ข. น้ำหนักของวัตถุบนดาว A มากกว่า 4 นิวตัน
 ค. น้ำหนักของวัตถุบนดาว B มากกว่า 2 นิวตัน
 ง. น้ำหนักของวัตถุบนดาว B มากกว่า 4 นิวตัน
 จ. น้ำหนักของวัตถุบนดาวเคราะห์ A และ B เท่ากัน

(ผลการเรียนรู้ข้อ 3 ด้านความเข้าใจ)

21. ค่าความเร่งโน้มถ่วงที่ผิวโลกเป็นกี่เท่าของค่าที่ความสูง 1,600 km จากผิวโลก
 ก. 1.25 เท่า **ข. 1.56 เท่า** ค. 2.00 เท่า ง. 4.00 เท่า จ. 5.50 เท่า

(ผลการเรียนรู้ข้อ 3 การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้)

28. กล้องไม้หนักร 30 นิวตัน ถูกลากไปตามพื้นราบฝืดด้วยแรง 12 นิวตัน กล้องไม้มีความเร่ง 2.5 เมตรต่อวินาที² ขณะที่กล้องไม้มีความเร็ว 3 เมตรต่อวินาที ก็หยุดการใช้แรง 12 นิวตันทันที จงหาว่ากล้องไม้จะหยุดในเวลากี่วินาที

- ก. 0.8 s ข. 1 s **ค. 2 s** ง. 3 s จ. 4 s

(ผลการเรียนรู้ข้อ 4 การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้)



ตัวอย่างภาพกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์



ภาพ 4 นักเรียนทำความเข้าใจปัญหาผ่านสถานการณ์ในชีวิตประจำวันตามที่ครูกำหนด



ภาพ 5 นักเรียนนำความรู้ที่ได้จากการเรียน การทำกิจกรรม และการสืบค้นจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ มาออกแบบชิ้นงานให้เป็นตามเงื่อนไขปัญหาของสถานการณ์



ภาพ 6 นักเรียนวางแผนการทำงานร่วมกันแล้วลงมือสร้างชิ้นงาน
ตามแบบและอุปกรณ์ที่กลุ่มตนเองได้ออกแบบไว้



ภาพ 7 นักเรียนนำเสนอชิ้นงานของกลุ่มตนเอง ตอบข้อซักถาม
และรับฟังข้อเสนอแนะจากเพื่อนเพื่อปรับปรุงชิ้นงาน



ตัวอย่างผลงานนักเรียนจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในวิชา
ฟิสิกส์



ภาพ 8 ตัวอย่างผลงานสะพานไม้ไผ่กริมที่นักเรียนสร้างขึ้นตามแผนจัดการเรียนรู้ที่ 1
คำอธิบายเพิ่มเติม: สะพานไม้ไผ่กริมของกลุ่มที่ 6 มีการออกแบบสะพานโดยไม่เหมือนใคร ซึ่ง
เป็นการผสมแนวคิดระหว่างสะพานแบบโค้งและสะพานแบบโค้งถัก มีลักษณะแตกต่างจากของ
เพื่อนกลุ่มอื่น ๆ ที่ใช้เพียงแบบสะพานแบบโค้งถัก



ภาพ 9 ตัวอย่างผลงานรถแข่งผักที่นักเรียนสร้างขึ้นตามแผนจัดการเรียนรู้ที่ 4

บรรณานุกรม



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	เดือนเพ็ญ หาญยุทธ
วัน เดือน ปี เกิด	2533
สถานที่เกิด	น่าน
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2555 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ จาก มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ พ.ศ. 2560 ประกาศนียบัตรบัณฑิต สาขาวิชาชีพครู จาก สถาบันอาศรมศิลป์
รางวัลที่ได้รับ	พ.ศ. 2564 ได้รับรางวัลผู้บริหารและครูโรงเรียนเอกชนดีเด่น

