

ผลการใช้แนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์ที่มีต่อความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ  
ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน  
คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2561  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF USING STEM EDUCATION IN PHYSICS ON COMPUTATIONAL THINKING  
ABILITY OF UPPER SECONDARY SCHOOL STUDENTS



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Education in Science Education  
Department of Curriculum and Instruction  
Faculty of Education  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2018  
Copyright of Chulalongkorn University

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์               | ผลการใช้แนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์ที่มีต่อความสามารถ |
|                                 | ในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย         |
| โดย                             | นายศรายุทธ ดวงจันทร์                                  |
| สาขาวิชา                        | การศึกษาวิทยาศาสตร์                                   |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | อาจารย์ ดร.สายรุ้ง ชาวสุภา                            |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม | รองศาสตราจารย์ ดร.อุดมศิลป์ ปิ่นสุข                   |

คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ  
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะครุศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริเดช สุชีวะ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินันท์ พุกฤษ์ประมุข)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(อาจารย์ ดร.สายรุ้ง ชาวสุภา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(รองศาสตราจารย์ ดร.อุดมศิลป์ ปิ่นสุข)

..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สกลรัชต์ แก้วดี)

ศรายุทธ ดวงจันทร์ : ผลการใช้แนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์ที่มีต่อความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย. ( EFFECTS OF USING STEM EDUCATION IN PHYSICS ON COMPUTATIONAL THINKING ABILITY OF UPPER SECONDARY SCHOOL STUDENTS) อ.ที่ปรึกษาหลัก : อ. ดร.สายรุ้ง ชาวสุภา, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ดร. อุดมศิลป์ ปิ่นสุข

การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาระดับความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภายหลังจากจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์ และ (2) เปรียบเทียบความสามารถในการคิดเชิงคำนวณระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์ กลุ่มเป้าหมายการวิจัยเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคการศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2561 โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร จำนวน 34 คน การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเบื้องต้น มีรูปแบบการวิจัยแบบศึกษากลุ่มเดียววัดสองครั้ง มีการเก็บข้อมูลความสามารถในการคิดเชิงคำนวณก่อนเรียนและหลังเรียน เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่าเฉลี่ยร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สถิติทดสอบที่เทียบกับเกณฑ์ และสถิติทดสอบที่แบบไม่อิสระ

ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้

- 1) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์มีความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียนอยู่ในระดับดี
- 2) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์มีความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สาขาวิชา การศึกษาวิทยาศาสตร์

ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

# # 5983407727 : MAJOR SCIENCE EDUCATION

KEYWORD: STEM EDUCATION COMPUTATIONAL THINKING ABILITY

Sarayut Daungjun : EFFECTS OF USING STEM EDUCATION IN PHYSICS ON COMPUTATIONAL THINKING ABILITY OF UPPER SECONDARY SCHOOL STUDENTS.

Advisor: SAIROONG SAOWSUPA, Ph.D. Co-advisor: Assoc. Prof. UDOMSILP PINSOOK, Ph.D.

The objectives of this research were to (1) study the level of computational thinking ability of students after using STEM education in physics and to (2) compare student's computational thinking ability before and after using STEM education in physics. The target group was 34 tenth grade students in the second semester of academic year 2018 from an extra large secondary school in Bangkok. This research was a pre-experimental research, the one group pretest and posttest design. The students' computational thinking ability was evaluated before and after the instruction. The research instrument was a computational thinking test. The collected data were analyzed by using arithmetic mean, average percentage, standard deviation, one sample t-test and dependent sample t-test.

The research findings were summarized as follows:

- 1) The computational thinking ability of students after learning with STEM education in physics was in good level.
- 2) The computational thinking ability in posttest of students after learning with STEM education in physics was higher than pretest at a .05 level of significance.

Field of Study: Science Education

Student's Signature .....

Academic Year: 2018

Advisor's Signature .....

Co-advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องมาจากความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดีจาก อาจารย์ ดร.สายรุ่ง ชาวสุภา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ ดร.อุดมศิลป์ ปิ่นสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์และมีคุณค่าอย่างยิ่ง ในการทำวิจัย รวมถึงการดูแลติดตามและให้กำลังใจในการทำงานเสมอมา ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งที่ได้มีโอกาสทำ วิทยานิพนธ์ร่วมกับอาจารย์ทั้งสองท่าน ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนินันท์ พุกฤษ์ประมุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สกลรัชต์ แก้วดี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาตรวจสอบและให้คำแนะนำ ในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่าง สูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ได้แก่ อาจารย์ ดร.สธน วิจารณ์วรรณลักษณ์ ผู้ช่วย ศาสตราจารย์ พรเจริญ ผลไธยดำเกิง อาจารย์ ชูชาติ เพ็งอาทิตย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกรี สิ้นธุภิญโญ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่ร้อยตรี ดร.ชยการ ศิริรัตน์ ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการตรวจสอบเพื่อพัฒนา คุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย และให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่ร้อยตรี ดร.ชยการ ศิริรัตน์ ที่ให้ความรู้และข้อมูลเกี่ยวกับ ความสามารถในการคิดเชิงคำนวณซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนความรู้ จนทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ เล่มนี้ได้สำเร็จ

ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการ คณะผู้บริหาร และคณะครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียน เทพศิรินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้มาโดยตลอด รวมถึงขอขอบคุณ นักเรียนกลุ่มเป้าหมายและกลุ่มทดลองใช้เครื่องมือวิจัยที่ให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรมตลอดระยะเวลาการ ทำวิจัยเป็นอย่างดี

เหนือสิ่งอื่นใดขอขอบพระคุณบิดา มารดา ของข้าพเจ้าที่คอยสนับสนุนด้านการศึกษาและให้กำลังใจ ข้าพเจ้าเสมอมา

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ที่ได้ สนับสนุนทุนการศึกษาโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) ให้แก่ข้าพเจ้า ทำให้สามารถดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงมาได้ในที่สุด

ศรายุทธ ดวงจันทร์

## สารบัญ

|  | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....   | ค    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....  | ง    |
| กิตติกรรมประกาศ.....   | จ    |
| สารบัญ.....  | ฉ    |
| สารบัญตาราง.....   | ฉ    |
| สารบัญแผนภาพ.....  | ฎ    |
| บทที่ 1 บทนำ.....  | 1    |
| ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาในการวิจัย.....                          | 1    |
| คำถามการวิจัย.....   | 4    |
| วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....   | 5    |
| สมมติฐานของการวิจัย.....   | 5    |
| ขอบเขตของการวิจัย.....   | 6    |
| คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....                                       | 6    |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                            | 9    |
| 1. การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา.....                             | 10   |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของสะเต็มศึกษา.....                               | 10   |
| 1.2 ความหมายและองค์ประกอบของสะเต็มศึกษา.....                           | 11   |
| 1.3 การบูรณาการในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา.....               | 15   |
| 1.4 ทฤษฎีการเรียนรู้ที่สนับสนุนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา..... | 16   |
| 1.5 ขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา.....                   | 17   |
| 2. การคิดเชิงคำนวณ.....  | 23   |

|   |     |
|---|-----|
| 2.1 ความหมายและความสำคัญของการคิดเชิงคำนวณ .....                      | 23  |
| 2.2 องค์ประกอบของการคิดเชิงคำนวณ.....                                 | 25  |
| 2.3 แนวทางการวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ .....                     | 29  |
| 2.4 เกณฑ์การให้คะแนนแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ .....           | 34  |
| 2.5 การประเมินความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ.....                        | 36  |
| 2.6 แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมความสามารถการคิดเชิงคำนวณ ..... | 36  |
| 3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....   | 39  |
| 3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มศึกษา.....                          | 39  |
| 3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคิดเชิงคำนวณ.....                      | 40  |
| 4. กรอบแนวคิดการวิจัย .....   | 42  |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....                                       | 43  |
| 1. แบบแผนการวิจัย .....   | 43  |
| 2. การกำหนดกลุ่มเป้าหมาย .....  | 44  |
| 3. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....                            | 45  |
| 4. การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล.....                          | 55  |
| 5. การวิเคราะห์ข้อมูล.....  | 56  |
| บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....                                    | 58  |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....                  | 64  |
| บรรณานุกรม.....   | 71  |
| ภาคผนวก.....  | 78  |
| ภาคผนวก ก รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบเครื่องมือวิจัย .....             | 79  |
| ภาคผนวก ข เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล .....                 | 81  |
| ภาคผนวก ค เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง .....                            | 96  |
| ภาคผนวก ง คุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย .....                   | 120 |



|  |     |
|--|-----|
| 1. คุณภาพของแผนจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์..... | 121 |
| 2. คุณภาพของแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ .....              | 122 |
| ภาคผนวก จ ภาพกิจกรรมการเรียนการสอนและผลงานของนักเรียน.....       | 129 |
| ประวัติผู้เขียน.....   | 134 |



## สารบัญตาราง

### หน้า

|   |    |
|---|----|
| ตารางที่ 1 ลักษณะร่วมของขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาผ่านกระบวนการ<br>ออกแบบเชิงวิศวกรรม.....   | 21 |
| ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างทักษะการคิดเชิงคำนวณและระดับพฤติกรรมการเรียนรู้ของบลูม .  | 26 |
| ตารางที่ 3 องค์ประกอบย่อยของการคิดเชิงคำนวณ .....   | 27 |
| ตารางที่ 4 เกณฑ์คะแนนแบบบูรณาการของแบบทดสอบการค้นหาคำตอบและแก้ไขข้อผิดพลาดของ Rodriguez<br>.....  | 35 |
| ตารางที่ 5 ระดับความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ .....   | 36 |
| ตารางที่ 6 สรุปขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาที่ส่งเสริมความสามารถในการคิดเชิง<br>คำนวณ .....  | 38 |
| ตารางที่ 7 โครงสร้างแผนการจัดการเรียนรู้รายหน่วยโดยใช้การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาใน<br>วิชาฟิสิกส์ เรื่อง งานและพลังงาน และสมดุลกล.....  | 46 |
| ตารางที่ 8 หัวข้อ สถานการณ์ และความรู้และทักษะที่ใช้ในการสร้างผลงานของหน่วยการเรียนรู้<br>เรื่อง สมดุลกล.....   | 46 |
| ตารางที่ 9 หัวข้อ สถานการณ์ และความรู้และทักษะที่ใช้ในการสร้างผลงานของหน่วยการเรียนรู้<br>เรื่อง งานและพลังงาน .....  | 47 |
| ตารางที่ 10 ตารางแสดงพฤติกรรมบ่งชี้ของความสามารถในการคิดเชิงคำนวณในแต่ละด้าน .....  | 50 |
| ตารางที่ 11 สัดส่วนคะแนน ข้อคำถาม จำแนกตามองค์ประกอบความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ<br>.....  | 51 |
| ตารางที่ 12 เกณฑ์ช่วงคะแนนร้อยละและระดับความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ.....  | 52 |
| ตารางที่ 13 ค่าสูงสุด (Max) ค่าต่ำสุด (Min) ค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ ) ค่าเฉลี่ยร้อยละ ( $\bar{x}_{\text{ร้อยละ}}$ ) ส่วนเบี่ยงเบน<br>มาตรฐาน (SD) และระดับของความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียนของนักเรียน (n=34).... | 58 |

|  |     |
|--|-----|
| ตารางที่ 14 ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และค่าสถิติที (t) ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคะแนนความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียนกับเกณฑ์ระดับความสามารถในระดับดี โดยกำหนดช่วงคะแนนที่มากกว่าร้อยละ 64 (คะแนน 23.04).....                          | 59  |
| ตารางที่ 15 ค่าสูงสุด (Max) ค่าต่ำสุด (Min) ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และค่าสถิติที (t) ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคะแนนจากแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณก่อนเรียนและหลังเรียนในแต่ละองค์ประกอบของความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ (n=34) ..... | 61  |
| ตารางที่ 16 ค่าสูงสุด (Max) ค่าต่ำสุด (Min) ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และค่าสถิติที (t) ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคะแนนจากแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณก่อนเรียนและหลังเรียน รวมทุกองค์ประกอบ (n=34).....                                | 63  |
| ตารางที่ 17 เกณฑ์การตรวจให้คะแนนแต่ละข้อคำถามของแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับก่อนเรียน .....   | 86  |
| ตารางที่ 18 เกณฑ์การตรวจให้คะแนนแต่ละข้อคำถามของแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับหลังเรียน .....   | 93  |
| ตารางที่ 19 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจพิจารณาแผนจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา .....  | 121 |
| ตารางที่ 20 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจพิจารณาแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ.....  | 123 |
| ตารางที่ 21 ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมิน (Rater Agreement Index; RAI).....  | 127 |
| ตารางที่ 22 ค่าความยาก (p) อำนาจจำแนก (r) ค่าความเที่ยง (Cronbach's alpha) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient) .....  | 128 |

## สารบัญแผนภาพ

|  | หน้า |
|--|------|
| แผนภาพที่ 1 ตัวอย่างแบบทดสอบ Bebras tasks แสดงแผนผังของแม่น้ำและทะเลสาบ .....  | 30   |
| แผนภาพที่ 2 ตัวอย่างคำถามจากแบบทดสอบการคิดเชิงคำนวณของ Brackmann.....  | 31   |
| แผนภาพที่ 3 ตัวอย่างแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ .....  | 32   |
| แผนภาพที่ 4 แบบแผนการทดลองเบื้องต้นแบบศึกษากลุ่มเดียววัดสองครั้ง.....  | 43   |
| แผนภาพที่ 5 แผนภูมิแท่งของคะแนนเฉลี่ยร้อยละของแต่ละองค์ประกอบของความสามารถในการ<br>คิดเชิงคำนวณระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน .....              | 62   |
| แผนภาพที่ 6 นักเรียนวางแผนการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์และออกแบบสะพานจำลอง.....  | 130  |
| แผนภาพที่ 7 ตัวอย่างการเขียนแบบร่างความคิดสะพานจำลองของนักเรียน ในแผนจัดการเรียนรู้ที่<br>1 .....  | 130  |
| แผนภาพที่ 8 นักเรียนลงมือสร้างสะพานจำลองตามขั้นตอนที่วางแผนไว้.....  | 131  |
| แผนภาพที่ 9 นักเรียนแสดงชิ้นงานและทำการทดสอบชิ้นงานสะพานจำลอง.....   | 131  |
| แผนภาพที่ 10 นักเรียนวางแผนการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์และออกแบบบันจีจัมป์จำลอง.....  | 132  |
| แผนภาพที่ 11 ตัวอย่างการเขียนแบบร่างความคิดบันจีจัมป์จำลองของนักเรียน ในแผนจัดการเรียนรู้<br>ที่ 2.....  | 132  |
| แผนภาพที่ 12 นักเรียนลงพื้นที่เก็บข้อมูลความสูงหอคระโดด ความกว้างแม่น้ำ เพื่อนำไปออกแบบ<br>และสร้างบันจีจัมป์จำลองตามเงื่อนไขและข้อจำกัด ..... | 133  |
| แผนภาพที่ 13 นักเรียนแสดงชิ้นงานและทดสอบชิ้นงานบันจีจัมป์จำลอง .....   | 133  |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาในการวิจัย

ในแวดวงการศึกษาเมื่อพิจารณาความมุ่งหวังของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ของประเทศไทย กำหนดไว้ว่า วิชาวิทยาศาสตร์มุ่งหวังให้ผู้เรียนได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เน้นการเชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ มีทักษะสำคัญในการค้นคว้าและสร้างองค์ความรู้ โดยใช้กระบวนการในการสืบเสาะหาความรู้ และการแก้ปัญหาที่หลากหลาย (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2560) แสดงให้เห็นว่า การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ควรส่งเสริมให้นักเรียนได้ค้นหาและพิจารณาปัญหา จัดการกับปัญหาที่หลากหลาย สอดคล้องกับการคิดเชิงคำนวณ (Computational Thinking) ซึ่งเป็นความสามารถในการคิดอย่างหนึ่งที่ควรปลูกฝังให้กับพลเมืองในประเทศ เนื่องจากเป็นความสามารถพื้นฐานที่มนุษย์ทุกคนควรมีเพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อนหรือปัญหาที่พบทั่วไปในชีวิตประจำวัน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดย Wing (2006) ได้กล่าวว่า การคิดเชิงคำนวณเกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหา การออกแบบระบบ และความเข้าใจในการทำงาน โดยใช้กรอบแนวคิดพื้นฐานทางวิทยาการคอมพิวเตอร์ สอดคล้องกับองค์การทางการศึกษา Barefoot (2014) ในประเทศอังกฤษที่นำเสนอว่าการคิดเชิงคำนวณเป็นวิธีการคิดที่ช่วยให้นักเรียนสามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาจใช้คอมพิวเตอร์มาเป็นเครื่องมือช่วยแก้ปัญหาหรือไม่ก็ได้ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่สนับสนุนว่าการคิดเชิงคำนวณเกี่ยวข้องกับการคิดแก้ปัญหา การเข้าใจรูปแบบของสิ่งต่าง ๆ ตลอดจนสามารถใช้เหตุผลในการแก้ปัญหาได้ (Gonzalez, Gonzalez, & Fernandez, 2016)

การคิดเชิงคำนวณนั้นจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับผู้เรียนในปัจจุบัน เนื่องจากผู้เรียนจะต้องเผชิญกับปัญหาในโลกความเป็นจริง จึงต้องพิจารณาปัญหา สามารถจัดการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ทดสอบแผนการดำเนินงานแก้ไขปัญหาเพื่อตรวจสอบข้อผิดพลาดและปรับแก้ไขแผนการดำเนินงานให้ดีขึ้น (McKenna, 2017) แม้ว่าความสามารถในการคิดเชิงคำนวณจะถูกส่งเสริมในแวดวงสาระวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์เป็นส่วนใหญ่ แต่มีความจำเป็นที่ครูผู้สอนควรส่งเสริมให้กับนักเรียนในสาระวิชาอื่น ๆ ที่หลากหลายไม่ใช่เพียงแต่ในสาระวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ (Yadav et al., 2011) เนื่องจากการคิดเชิงคำนวณเป็นการแก้ปัญหาที่มีลักษณะพิเศษคือประยุกต์ใช้หลักการของวิทยาการคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วย การกำหนดสาระสำคัญหรือคิดเชิงนามธรรม (Abstraction) การย่อยปัญหา (Decomposition) การหารูปแบบ (Pattern Recognition) และการออกแบบขั้นตอนวิธี

(Algorithm) ที่สามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาในศาสตร์อื่น ๆ หรือปัญหาทั่วไปได้อย่างเป็นระบบ มีเหตุผลเป็นขั้นตอน ในระดับสากลประเทศสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดความสามารถในการปฏิบัติงานทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ (Scientific and Engineering Practices) ที่ควรปลูกฝังให้กับนักเรียน ตามมาตรฐานการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แนวคิดใหม่ (Next Generation Science Standards) ประกอบด้วย 8 การปฏิบัติงาน โดยหนึ่งในนั้น คือ การคิดเชิงคำนวณ (NGSS Lead State, 2013) สำหรับประเทศไทยก็ได้มีการผลักดันความสามารถในการคิดเชิงคำนวณให้เป็นเรื่องที่ต้องส่งเสริมกับนักเรียน โดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) (2561) นำเสนอว่าความสามารถในการคิดเชิงคำนวณเป็นความสามารถพื้นฐานของการคิดแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน ด้วยเหตุนี้หน่วยงานการศึกษาต่าง ๆ ควรพัฒนานักเรียนให้เป็นบุคคลที่มีความสามารถในการคิดเชิงคำนวณเพื่อสามารถจัดการกับปัญหาทั่วไปในชีวิตประจำวันตลอดจนปัญหาในเรื่องการเรียนได้อย่างง่ายดายและเป็นระบบ

จากการสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในสาขาวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย และสัมภาษณ์ครูผู้มีการสอนวิชาฟิสิกส์มาเป็นเวลา 38 ปี โรงเรียนมัธยมศึกษาแห่งหนึ่ง ในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 1 กรุงเทพมหานคร พบว่า นักเรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์รวมถึงนักเรียนในโครงการห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ยังคงมีปัญหาเกี่ยวกับการเรียนฟิสิกส์ โดยนักเรียนส่วนใหญ่จะมีปัญหาในการวิเคราะห์โจทย์อย่างเป็นขั้นตอนและเป็นระบบ ไม่สามารถแก้ปัญหาโจทย์สถานการณ์แบบประยุกต์ได้ นักเรียนสามารถท่องจำสมการได้แต่ขาดความเข้าใจในการนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาโจทย์สถานการณ์ใหม่ที่แปลกใหม่ สะท้อนให้เห็นว่านักเรียนยังต้องพัฒนาในการวิเคราะห์โจทย์ปัญหาที่เป็นขั้นตอนหรือเป็นระบบ การประยุกต์ใช้ความรู้ในการแก้ไขปัญหาในรูปแบบอื่น ๆ และความเข้าใจนิยามความหมายของสมการยังไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งเหล่านี้ล้วนเป็นองค์ประกอบของการคิดเชิงคำนวณ นอกจากนี้ ศุภวัฒน์ ทรัพย์เกิด (2559) พบว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีปัญหาเกี่ยวกับการเรียนในวิชาการโปรแกรมและการประยุกต์ โดยนักเรียนไม่สามารถวิเคราะห์ปัญหา และออกแบบวิธีการแก้ปัญหาเพื่อนำไปใช้ในการเขียนโปรแกรมได้ ซึ่งเป็นผลมาจากการขาดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ ดังนั้นการจัดการเรียนการสอนควรเป็นรูปแบบที่ส่งเสริมความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ โดยให้นักเรียนได้เผชิญกับสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหา สอดคล้องกับการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21 ที่ผู้สอนต้องจัดประสบการณ์การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่ให้ผู้เรียนได้ออกไปเผชิญปัญหาและการเปลี่ยนแปลง เรียนรู้ทักษะไปพร้อม ๆ กับทฤษฎี ค้นคว้าหาความรู้ด้วย

ตนเองโดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศอย่างมีประสิทธิภาพ (จรรยา สุจารีกุล, 2550) ตลอดจนอาศัยการคิดแก้ปัญหาาร่วมกันกับทุกภาคส่วนอย่างมีระบบ และคิดอย่างมีวิจารณญาณ (ประสาธต์ เนื่องเฉลิม, 2558)

จากการศึกษาแนวทางการจัดการเรียนการสอนที่ส่งเสริมให้นักเรียนพัฒนาความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ พบว่า การจัดกิจกรรมในลักษณะที่ให้นักเรียนวิเคราะห์ปัญหา มีการออกแบบและพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาด้วยตนเองสามารถส่งเสริมความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนได้ โดย Kim et al. (2013) จัดการเรียนรู้โดยใช้กลยุทธ์การเขียนโปรแกรมผ่านกระดาษ 5 ขั้นตอน ได้แก่ การวิเคราะห์ปัญหา ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา การสร้าง การนำไปใช้หรือทดสอบ และการแก้ไข ข้อบกพร่อง Palts and Pedaste (2015) เสนอรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการคิดเชิงคำนวณ คือ รูปแบบการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design Process) พบว่าสามารถช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ นอกจากนี้ Leonard et al. (2016) ได้ศึกษาการพัฒนาความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ โดยการจัดการเรียนรู้ด้วยการออกแบบหุ่นยนต์และเกม พบว่านักเรียนมีความสามารถในการคิดเชิงคำนวณสูงกว่าการจัดการเรียนรู้ด้วยการใช้โปรแกรมการสอนทางคอมพิวเตอร์ แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการคิดเชิงคำนวณควรส่งเสริมด้วยกระบวนการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนได้มีการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา พัฒนาหรือสร้างผลงานขึ้นมาด้วยตัวเอง ซึ่งในการจัดการเรียนรู้รูปแบบหนึ่งที่มีขั้นตอนให้นักเรียนได้ออกแบบวิธีการแก้ปัญหาและสร้างผลงานของตัวเองออกมา นั่นคือ การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา

การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา (STEM Education) เป็นแนวทางการจัดการศึกษาที่มุ่งเน้นให้นักเรียนวิเคราะห์ปัญหา และออกแบบวิธีการแก้ปัญหาหรือสร้างผลงานที่ตอบสนองต่อการแก้ปัญหาที่เคยพบเห็นและสอดคล้องกับปัญหาในชีวิตจริง โดยบูรณาการเนื้อหาและทักษะวิชาทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557) โดยสะเต็มศึกษาเป็นแนวคิดที่ได้รับอิทธิพลมาจากประเทศสหรัฐอเมริกา ที่มีความพยายามขับเคลื่อนระบบเศรษฐกิจและผลักดันให้แรงงานภายในประเทศเป็นแรงงานทางด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม เนื่องจากจากแรงงานที่เป็นเชื้อชาติอเมริกันมีเพียงร้อยละ 4 เท่านั้นที่มีอาชีพการทำงานทางด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ และในด้านการศึกษาของนักเรียนในประเทศไม่ได้ตอบโจทย์เศรษฐกิจที่ดี (National Research Council, 2011) จึงเกิดการ

ผลักดันแนวคิดของสะเต็มศึกษาขึ้นมาใช้ในการจัดการเรียนการสอน โดยนักเรียนจะได้ทำกิจกรรม และเรียนรู้ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

สำหรับการศึกษาการจัดการเรียนการสอนตามแนวสะเต็มศึกษาในประเทศไทย ศุภวัฒน์ ทรัพย์เกิด (2559) ได้ศึกษาการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เสริมสร้างการคิดเชิงคำนวณ ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา วิชาการโปรแกรมและการประยุกต์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 และพบว่านักเรียน มีพัฒนาการด้านการคิดเชิงคำนวณเพิ่มขึ้นจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในครั้งแรก เช่นเดียวกับการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่ทำให้ความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียนอยู่ในระดับดี (อาทิตย์ ฉิมกุล, 2559) นอกจากนี้ สุภัญญา เชื้อหลุยโพธิ์ และธิดิยา บงกชเพชร (2560) พบว่านักเรียนเห็นความสำคัญของการจินตนาการร่างภาพแบบจำลองรูปแบบการหมุนในแต่ละสถานการณ์ที่สมบูรณ์ ในการเรียนรู้เรื่อง การเคลื่อนที่แบบหมุน เพื่อสื่อถึงวิธีการสร้างที่ถูกต้อง ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่านักเรียนมีความสามารถในการคิดเชิงคำนวณด้านการคิดเชิงนามธรรม และมีการวางแผนในการทำงาน

จากความเป็นมาและความสำคัญดังกล่าว การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาเป็นแนวทางที่น่าจะสามารถนำมาใช้ในการพัฒนาและส่งเสริมความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ ซึ่งอาจส่งผลให้นักเรียนสามารถจัดการแก้ปัญหาในสถานการณ์ทางฟิสิกส์ในบทเรียนได้ ตลอดจนนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้อย่างเป็นระบบเป็นขั้นตอนที่ชัดเจน ดังนั้นจึงนำมาสู่งานวิจัยนี้ที่นำแนวสะเต็มศึกษามาใช้ในการจัดการเรียนการสอนในวิชาฟิสิกส์เพื่อพัฒนาความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียน

### คำถามการวิจัย

1. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์มีความสามารถในการคิดเชิงคำนวณอยู่ในระดับใด อย่างไร
2. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์มีความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนหรือไม่



### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาระดับความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภายหลังจากจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์
2. เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการคิดเชิงคำนวณระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์

### สมมติฐานของการวิจัย

ศุภวัฒน์ ทรัพย์เกิด (2559) จัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เสริมสร้างการคิดเชิงคำนวณด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษารายวิชาโปรแกรมและการประยุกต์ พบว่านักเรียนมีพัฒนาการด้านการคิดเชิงคำนวณเพิ่มขึ้นจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในครั้งแรก สอดคล้องกับการศึกษาของ Kim et al. (2013) พบว่านักเรียนมีความเข้าใจในการคิดเชิงคำนวณมากขึ้น เมื่อจัดการเรียนรู้ 5 ขั้นตอน ได้แก่ การวิเคราะห์ปัญหา การออกแบบวิธีการแก้ปัญหา การสร้าง การนำไปใช้หรือทดสอบ และการแก้ไขข้อบกพร่อง ซึ่งเป็นลักษณะที่สอดคล้องกับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา Palts and Pedaste (2015) ได้ศึกษารูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการคิดเชิงคำนวณ พบว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม สามารถช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ นอกจากนี้ยังพบว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในรายวิชาฟิสิกส์ โดยจัดการเรียนรู้ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 5 ขั้นตอน ได้แก่ การระบุปัญหา การศึกษาแนวคิด การวางแผน การสร้างสรรค์ชิ้นงาน และการทดสอบและปรับปรุง พบว่าการจัดการเรียนรู้นี้สามารถพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ได้ โดยนักเรียนเห็นความสำคัญของการจินตนาการร่างภาพซึ่งเป็นแบบจำลองรูปแบบการหมุนในแต่ละสถานการณ์ที่สมบูรณ์เพื่อสื่อถึงวิธีการสร้างที่ถูกต้อง ตลอดจนมีการวางแผนในการทำงาน (สุกัญญา เชื้อหลุบโพธิ์ และธิดิยา บงกชเพชร, 2560) แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีการคิดเชิงนามธรรมและการออกแบบวางแผนขั้นตอนการทำงาน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของการคิดเชิงคำนวณ

จากการศึกษาผลการวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยตั้งสมมติฐานการวิจัยดังนี้

1. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์มีความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียนอยู่ในระดับดี

- นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์มีความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

### ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยประเภทการทดลองเบื้องต้น (Pre-Experimental Research) แบบศึกษากลุ่มเดียววัดสองครั้ง (One Group Pretest-Posttest Design) โดยมีขอบเขตการวิจัยดังนี้

- กลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ ปีการศึกษา 2561 โรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่ง ประเภทชายล้วน ในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 1 กรุงเทพมหานคร สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

- ตัวแปรที่ศึกษา

- 2.1 ตัวแปรจัดกระทำ คือ การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์

- 2.2 ตัวแปรตาม คือ ความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ

3. เนื้อหาที่ใช้ในการศึกษา คือ เนื้อหากลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ วิชาฟิสิกส์ 2 ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง สมดุลกล และงานและพลังงาน

### คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

- การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา หมายถึง แนวทางการจัดการศึกษาที่บูรณาการความรู้ใน 4 สาระวิชาได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ โดยเน้นการนำความรู้ไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริง โดยมีรายละเอียดในแต่ละสาระวิชา ดังนี้

วิทยาศาสตร์ (Science) หมายถึง การศึกษาความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการ กฎ และทฤษฎี ในวิชาฟิสิกส์

เทคโนโลยี (Technology) หมายถึง การใช้งาน จัดการ และเข้าถึงกระบวนการหรือสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้น

วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) หมายถึง กระบวนการใช้ความรู้คณิตศาสตร์ และฟิสิกส์ เพื่อสร้างเทคโนโลยีหรือผลงาน โดยเกี่ยวข้องกับการออกแบบ สร้างผลงาน และมีการออกแบบใหม่เพื่อปรับปรุงผลงานเดิมให้ดีขึ้น

คณิตศาสตร์ (Mathematics) หมายถึง การให้เหตุผล การใช้ตัวเลขในการคำนวณ และการประยุกต์แนวคิดทางคณิตศาสตร์ เพื่อสร้างคำอธิบายและทำนายปรากฏการณ์ต่าง ๆ

2. การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์ หมายถึง รูปแบบการจัดการเรียนรู้ในวิชาฟิสิกส์ ซึ่งเป็นแนวทางการจัดการศึกษาที่บูรณาการความรู้ใน 4 สาขาวิชาได้แก่ ฟิสิกส์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ โดยมีการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่สอดคล้องกับบทเรียนวิชาฟิสิกส์และมีขั้นตอนของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ดังนี้

2.1 การระบุปัญหาความท้าทาย (Identify a Challenge) คือ การระบุสถานการณ์ แล้วนำไปสู่การตั้งปัญหาที่ต้องการแก้ไขภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัด

2.2 การค้นหาแนวคิด (Explore Ideas) คือ การวิเคราะห์หรือแยกแยะปัญหา และศึกษาองค์ความรู้ ซึ่งมาจากการค้นคว้าด้วยตนเอง และได้รับการถ่ายทอดจากครูหรือผู้เชี่ยวชาญประกอบกัน เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหา

2.3 การออกแบบและสร้าง (Plan and Develop) คือ การร่วมกันออกแบบ ระดมความคิดวิเคราะห์ และเลือกหรือคัดกรองวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสม จากนั้นลงมือสร้างสรรค์ชิ้นงานหรือวิธีการแก้ปัญหา

2.4 การทดสอบ และประเมินผล (Test and Evaluate) คือ การทดสอบ ประเมินผล จากนั้นปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานหรือวิธีแก้ปัญหาเพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหาที่ดีขึ้น

2.5 การนำเสนอผลการดำเนินงาน (Present the Solution) คือ การนำเสนอวิธีการดำเนินงาน และผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหา

3. ความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ (Computational Thinking Ability) หมายถึง ความสามารถในการคิดแก้ไขปัญหา โดยมีองค์ประกอบย่อยที่สำคัญ 4 ประการ ได้แก่

3.1 การแยกส่วนประกอบและการย่อยปัญหา (Decomposition) คือ ความสามารถในการแบ่ง จำแนกปัญหาออกเป็นส่วนย่อย เพื่อการจัดการได้ง่ายขึ้น

3.2 การหารูปแบบ (Pattern recognition) คือ ความสามารถในการค้นหาความเหมือนหรือความคล้ายของรูปแบบการแก้ปัญหา

3.3 การคิดเชิงนามธรรม (Abstraction) คือ ความสามารถในการมุ่งคิดไปที่ข้อมูลสำคัญของปัญหาหรือวิธีการแก้ปัญหา โดยคัดกรองส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องออกไป

3.4 การออกแบบขั้นตอนวิธี (Algorithms) คือ ความสามารถในการคิดค้นและอธิบายขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาได้อย่างชัดเจน

ซึ่งวัดและประเมินโดยใช้แบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ โดยมีลักษณะเป็นแบบวัดอัตนัย จำนวน 12 ข้อคำถาม



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่องผลการแนวคิดสะเต็มศึกษาที่มีต่อความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ โดยกำหนดประเด็นการศึกษาดังนี้

1. การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา
  - 1.1 ที่มาและความสำคัญของสะเต็มศึกษา
  - 1.2 ความหมายและองค์ประกอบของสะเต็มศึกษา
  - 1.3 การบูรณาการในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา
  - 1.4 ทฤษฎีการเรียนรู้ที่สนับสนุนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา
  - 1.5 ขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา
2. การคิดเชิงคำนวณ
  - 2.1 ความหมายและความสำคัญของการคิดเชิงคำนวณ
  - 2.2 องค์ประกอบของการคิดเชิงคำนวณ
  - 2.3 แนวทางการวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ
  - 2.4 เกณฑ์การให้คะแนนแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ
  - 2.5 การประเมินความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ
  - 2.6 แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมความสามารถการคิดเชิงคำนวณ
3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
  - 3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มศึกษา
  - 3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคิดเชิงคำนวณ
4. กรอบแนวคิดการวิจัย

## 1. การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา

การศึกษาเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา ได้แสดงประเด็นสำคัญที่นำไปสู่การวิจัยโดยแบ่งเป็นลำดับ ประกอบด้วย (1) ที่มาและความสำคัญของสะเต็มศึกษา (2) ความหมายและองค์ประกอบของสะเต็มศึกษา (3) การบูรณาการในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา (4) ทฤษฎีการเรียนรู้ที่สนับสนุนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา และ (5) ขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของสะเต็มศึกษา

สะเต็มศึกษาเป็นแนวคิดที่ได้รับอิทธิพลมาจากประเทศสหรัฐอเมริกา ที่มีความพยายามขับเคลื่อนระบบเศรษฐกิจและผลักดันให้แรงงานภายในประเทศเป็นแรงงานทางด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม เนื่องจากแรงงานที่เป็นเชื้อชาติอเมริกามีเพียงร้อยละ 4 เท่านั้นที่ทำงานทางด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ และในด้านการศึกษานักเรียนในประเทศไม่ได้ตอบโจทย์เศรษฐกิจที่ดี ดังตัวอย่างจากผลการศึกษาของ National Assessment of Educational Progress พบว่านักเรียนเกรด 8 ในประเทศสหรัฐอเมริกาขาดทักษะและรู้ความสามารถทางด้านคณิตศาสตร์และการคำนวณเมื่อจบการศึกษาในระดับเกรด 8 นั้นแสดงให้เห็นถึงระบบการศึกษาที่ไร้ประสิทธิภาพ (National Research Council, 2011) อีกทั้งผลการทดสอบโครงการประเมินผลนักเรียนนานาชาติ (Programme for International Student Assessment: PISA) และผลการทดสอบด้านคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ระดับสากล (Trends in International Mathematics and Science Study: TIMSS) ของนักเรียนในประเทศสหรัฐอเมริกานั้นต่ำกว่าหลายประเทศ คณะนักวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความถดถอยของการจัดการศึกษาในปี ค.ศ. 2006 เมื่อเปรียบเทียบกับปี ค.ศ. 2003 (พรทิพย์ ศิริภักทราชัย, 2556) จึงเกิดแนวคิดสะเต็มศึกษาขึ้นมาเพื่อยกระดับการศึกษาดังกล่าว โดยที่ National Research Council (2011) นำเสนอว่าสะเต็มศึกษาในประเทศสหรัฐอเมริกานั้นมีเป้าหมายที่สำคัญสามประการ ได้แก่ เพื่อเพิ่มกำลังพลในสายงานด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี คณิตศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อขยายขีดความสามารถของแรงงานด้านสะเต็ม และเพื่อเพิ่มการรู้วิทยาศาสตร์ให้กับประชากรในประเทศ

นอกจากประเทศสหรัฐอเมริกาแล้ว ในประเทศอื่น ๆ ต่างก็ตื่นตัวและให้ความสนใจกับสะเต็มศึกษา เช่น ประเทศอังกฤษได้กำหนดนโยบายสะเต็มศึกษาแห่งชาติและกรอบการลงทุนด้านวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมโดยมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาสู่การเป็นชาติที่สามารถเติบโตภายใต้สภาวะเศรษฐกิจโลกที่มีการแข่งขันสูง และประเทศจีนได้มีการวางนโยบายสะเต็มศึกษาแห่งชาติและกรอบ

การพัฒนาและปฏิรูปการศึกษาระยะยาวแห่งชาติ ค.ศ. 2010-2020 โดยมีแนวคิดหลักคือการสร้างกำลังแรงงานด้านสะเต็มด้วยการปฏิรูปการศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในทุกระดับการศึกษา ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของสะเต็มศึกษา (สำนักเลขาธิการสภาการศึกษา, 2559)

สำหรับประเทศไทยได้มีการให้ความสำคัญกับสะเต็มศึกษาซึ่งจัดอยู่ใน 11 นโยบายเร่งด่วนของกระทรวงศึกษาธิการว่าด้วย จะทำให้มีการเรียนการสอนสะเต็มศึกษาครบทุกโรงเรียนภายใน 5 ปี โดยมีการประชุมชี้แจงนโยบายการปฏิรูปการศึกษาให้แก่ข้าราชการส่วนกลาง กระทรวงศึกษาธิการ เมื่อวันที่ 3 สิงหาคม 2559 (สำนักงานรัฐมนตรี, 2559) เนื่องจากมีปัญหาทางการศึกษาที่คล้ายคลึงกับประเทศสหรัฐอเมริกา กล่าวคือ จากการประเมินระดับผลคะแนน PISA สำหรับการประเมินครั้งล่าสุดในปีพุทธศักราช 2558 ของนักเรียนไทยพบว่า มีคะแนนที่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยมาตรฐานองค์การเพื่อความร่วมมือและการพัฒนาทางเศรษฐกิจ (Organisation for Economic Co-operation and Development: OECD) ทุกด้าน และยังถดถอยลงเมื่อเทียบกับการประเมินในปีพุทธศักราช 2555 (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2559) นอกจากนี้ มন্ত্রীจุฬาววัฒนทล (2556) ได้กล่าวถึงเหตุผลหลักที่ประเทศไทยต้องนำการเรียนการสอนแบบสะเต็มศึกษามาใช้ดังนี้ (1) ความรู้และความสามารถด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของเยาวชนไทยยังด้อยกว่านานาชาติ (2) ประเทศไทยต้องการหลุดพ้นจากการเป็นประเทศที่มีรายได้ปานกลาง (3) กำลังคนด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไม่สามารถรองรับการแข่งขันในอนาคต และในปัจจุบันสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้ขับเคลื่อนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา โดยมีลักษณะ 5 ประการ ได้แก่ (1) เป็นการสอนที่เน้นการบูรณาการ (2) ช่วยนักเรียนสร้างความเชื่อมโยงระหว่างเนื้อหาวิชาทั้ง 4 กับชีวิตประจำวันและการทำอาชีพ (3) เน้นการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 (4) ทำทลายความคิดของนักเรียน และ (5) เปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงความคิดเห็น และความเข้าใจที่สอดคล้องกับเนื้อหาทั้ง 4 วิชา และมีจุดประสงค์เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนรักและเห็นคุณค่าของการเรียนวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ และเห็นว่าวิชาเหล่านั้นเป็นเรื่องใกล้ตัวที่สามารถนำมาใช้ได้ทุกวัน

## 1.2 ความหมายและองค์ประกอบของสะเต็มศึกษา

ความหมายของสะเต็มศึกษานั้น มีนักการศึกษาได้กำหนดความหมายไว้อย่างสอดคล้องกันดังต่อไปนี้

Gonzalez and Kuenzi (2012) ได้กล่าวถึงสะเต็มศึกษาไว้ว่า เป็นการเรียนการสอนและการเรียนรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นรูปแบบของการจัดกิจกรรมทางการศึกษาที่เหมาะสมกับทุกระดับชั้นเรียน

Vasquez, Sneider, and Comer (2013) ได้กำหนดความหมายของสะเต็มศึกษาไว้ว่า เป็นแนวคิดบูรณาการความรู้ระหว่างสาระวิชาในการจัดการเรียนรู้ที่ประกอบด้วย วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ซึ่งนำไปสู่การบูรณาการในโลกแห่งความจริง มีการเชื่อมโยงประสบการณ์เรียนรู้ของนักเรียน

มนตรี จุฬาวัดนทล (2556) ระบุว่า สะเต็มศึกษา คือวิธีการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และคณิตศาสตร์ในทุกระดับชั้น ตั้งแต่อนุบาล ประถมศึกษา มัธยมศึกษา ไปจนถึง อาชีวศึกษาและอุดมศึกษา โดยไม่เน้นเพียงการท่องจำสูตรหรือทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์หรือสมการคณิตศาสตร์เพียงอย่างเดียว แต่สะเต็มศึกษาจะฝึกให้ผู้เรียนรู้จักวิถีคิด การตั้งคำถาม แก้ปัญหาและสร้างทักษะการหาข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อค้นพบใหม่ ๆ ทำให้ผู้เรียนรู้จักนำองค์ความรู้จากวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์สาขาต่าง ๆ มาบูรณาการกัน เพื่อมุ่งแก้ปัญหาสำคัญ ๆ ที่พบในชีวิตจริง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2557) ให้ความหมายของสะเต็มศึกษาไว้ว่า เป็นแนวทางการจัดการศึกษาที่บูรณาการเนื้อหาและทักษะวิชาทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ที่มุ่งแก้ไขปัญหที่พบเห็นในชีวิตจริง

สุพรรณณี ชาญประเสริฐ (2557) ระบุว่า สะเต็มศึกษา เป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่มีการบูรณาการ สาระวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ โดยที่จะต้องมุ่งเน้นให้นักเรียนสามารถนำความรู้ ทักษะ และประสบการณ์จากการเรียนรู้ไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริง

Reeve (2015) ได้กำหนดความหมายของสะเต็มศึกษาไว้ว่า เป็นแนวทางการจัดการเรียนการสอนที่นำสาระวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ มาบูรณาการเข้าไว้ด้วยกัน โดยมีการสร้างความท้าทายและข้อจำกัดในการแก้ปัญหา

สำนักเลขาธิการสภาการศึกษา (2559) ได้นิยามความหมายของสะเต็มศึกษาไว้ว่า เป็นแนวทางการจัดการศึกษาโดยใช้แนวคิดสะเต็มในการเรียนรู้และบูรณาการเนื้อหาของรายวิชาสะเต็มผ่านโครงการหรือกิจกรรมการเรียนรู้ต่าง ๆ ที่เน้นการสร้างทักษะและสมรรถนะของผู้เรียนในการบูรณาการความรู้ไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริง



สินีนาฏ ทาบังภาพ (2559) ได้ระบุว่าสะเต็มศึกษา คือ แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่บูรณาการความรู้ในสหวิทยาการ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ โดยเน้นการนำความรู้ไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริง รวมทั้งพัฒนากระบวนการหรือผลผลิตใหม่ที่เป็นประโยชน์ต่อชีวิตและการดำเนินงาน

จากการศึกษาสรุปได้ว่า สะเต็มศึกษา หมายถึง แนวทางการจัดการศึกษาที่บูรณาการความรู้ใน 4 วิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ โดยเน้นการนำความรู้ไปใช้แก้ปัญหาที่เชื่อมโยงกับสถานการณ์ในชีวิตจริง มีการพัฒนาผลงานขึ้นมาตอบสนองการแก้ปัญหา

สำหรับองค์ประกอบของสะเต็มศึกษาเมื่อพิจารณาในความหมายที่ศึกษาดังกล่าวแล้ว แสดงให้เห็นองค์ประกอบสำคัญ 4 ประการ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ โดยมีนักการศึกษาและหน่วยงานได้นิยามองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

National Academy of Engineering (2014) ได้ให้ความหมายองค์ประกอบของสะเต็มศึกษา ไว้ดังนี้

1) วิทยาศาสตร์ (Science) คือ การศึกษาเกี่ยวกับธรรมชาติ อันได้แก่ กฎธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยา โดยวิทยาศาสตร์นั้นหมายรวมถึงองค์ความรู้และกระบวนการ

2) เทคโนโลยี (Technology) คือ สารระที่ดองประกอบไปด้วยระบบของมนุษย์ การจัดการองค์ความรู้ กระบวนการ และเครื่องมือหรืออุปกรณ์ไปสร้างสรรค์ชิ้นงาน เพื่อตอบสนองความต้องการ

3) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) คือ องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ สร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์โดยมนุษย์ และเป็นกระบวนการสำหรับแก้ปัญหา

4) คณิตศาสตร์ (Mathematics) คือ การศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบหรือความสัมพันธ์ของปริมาณ (Quantities) ตัวเลข (Numbers) และที่ว่าง (Space)

Reeve (2015) ได้ให้ความหมายองค์ประกอบของสะเต็มศึกษา ไว้ดังนี้

1) วิทยาศาสตร์ (Science) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับธรรมชาติ ประกอบด้วย กฎธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา และหมายรวมถึงกระบวนการสืบสอบความรู้ทางวิทยาศาสตร์

2) เทคโนโลยี (Technology) เป็นการปรับเปลี่ยนสิ่งที่มีอยู่ในธรรมชาติ เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ เป็นนวัตกรรมของมนุษย์ที่ถูกสร้างขึ้นมานำไปใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ ตามความต้องการ

3) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) เป็นการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์เพื่อสร้างเทคโนโลยี และเกี่ยวข้องกับการออกแบบ และสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์

4) คณิตศาสตร์ (Mathematics) คือ การศึกษาเกี่ยวกับตัวเลข การปฏิบัติการ รูปแบบและความสัมพันธ์

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2559) ได้ให้ความหมายองค์ประกอบของสะเต็มศึกษา ไว้ดังนี้

1) วิทยาศาสตร์ คือ การศึกษาสิ่งต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ คิดค้น ตรวจสอบ จนได้ทฤษฎีต่าง ๆ ที่เชื่อถือได้ เป็นความรู้ในเนื้อหาสาระได้แก่ เคมี ชีววิทยา ฟิสิกส์ โลกและอวกาศ

2) เทคโนโลยี คือ การเลือกใช้วัสดุ ที่มีความเหมาะสมมาประดิษฐ์ คิดค้น โดยใช้กระบวนการทางเทคโนโลยี พัฒนาผลผลิตที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ รวมทั้งการจัดการสารสนเทศ

3) วิศวกรรมศาสตร์ คือ การศึกษากระบวนการพัฒนาหรือการวางแผนเพื่อนำความรู้ ทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ มาผลิตสิ่งต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์ วิเคราะห์ความต้องการของมนุษย์ ตลอดจนวางแผนและตรวจสอบแก้ไข

4) คณิตศาสตร์ คือ การศึกษาจำนวน ตัวเลข สัญลักษณ์ สูตร สถิติ กฎเกณฑ์ ความสัมพันธ์ต่าง ๆ มาคิดวิเคราะห์ คำนวณ เพื่อแก้ปัญหาต่าง ๆ ซึ่งทำให้ข้อมูลน่าเชื่อถือมากขึ้น

กล่าวโดยสรุปแล้วสะเต็มศึกษาจำเป็นต้องมีองค์ประกอบรวมทั้ง 4 องค์ประกอบ ในการนำไปจัดการเรียนรู้เรื่องต่าง ๆ ผ่านสถานการณ์ที่ต้องแก้ปัญหาสอดคล้องกับในชีวิตจริง โดยจะต้องอาศัยความรู้และทักษะทางด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ ร่วมกับการใช้เครื่องมือหรือวัสดุอุปกรณ์ซึ่งจัดเป็นเทคโนโลยีมาแก้ปัญหาหรือสร้างสรรค์ผลงานด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

### 1.3 การบูรณาการในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา

การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษามีลักษณะสำคัญ ได้แก่ สร้างความเชื่อมโยงให้นักเรียนได้นำความรู้ไปแก้ปัญหาในชีวิตจริง เรียนรู้และแก้ปัญหาภายใต้ความท้าทาย มีการวางแผนออกแบบอย่างเป็นขั้นตอน เน้นการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 และเน้นการบูรณาการความรู้ โดยระดับการบูรณาการที่อาจเกิดขึ้นในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาสามารถแบ่งได้ 4 ระดับ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557) ดังนี้

1. การบูรณาการภายในวิชา (Disciplinary Integration) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนได้เรียนเนื้อหาและฝึกทักษะของแต่ละวิชาของสะเต็มแยกกัน การจัดการเรียนรู้แบบนี้คือการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่เป็นอยู่ทั่วไปที่ครูผู้สอนแต่ละวิชาต่างจัดการเรียนรู้ให้แก่ นักเรียนตามรายวิชาของตนเอง

2. การบูรณาการแบบพหุวิทยาการ (Multidisciplinary Integration) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนได้เรียนเนื้อหาและฝึกทักษะของวิชาของวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์แยกกัน โดยมีหัวข้อหลักที่ครูทุกวิชากำหนดร่วมกัน และมีการอ้างอิงถึงความเชื่อมโยงระหว่างวิชานั้น ๆ การจัดการเรียนรู้แบบนี้ช่วยให้นักเรียนเห็นความเชื่อมโยงของเนื้อหาในวิชาต่าง ๆ กับสิ่งที่อยู่รอบตัว

3. การบูรณาการแบบสหวิทยาการ (Interdisciplinary Integration) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนได้เรียนเนื้อหาและฝึกทักษะอย่างน้อย 2 วิชาร่วมกันโดยกิจกรรมมีการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของทุกวิชาเพื่อให้นักเรียนได้เห็นความสอดคล้องกัน ในการจัดการเรียนรู้แบบนี้ครูผู้สอนในวิชาที่เกี่ยวข้องต้องทำงานร่วมกันโดยพิจารณาเนื้อหาหรือตัวชี้วัดที่ตรงกันและออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ในรายวิชาของตนเองโดยให้เชื่อมโยงกับวิชาอื่นผ่านเนื้อหาหรือตัวชี้วัดนั้น

4. การบูรณาการแบบข้ามสาขาวิชา (Transdisciplinary Integration) เป็นการจัดการเรียนการสอนที่ช่วยนักเรียนเชื่อมโยงความรู้และทักษะที่เรียนรู้จากวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์กับชีวิตจริง โดยนักเรียนได้ประยุกต์ความรู้และทักษะเหล่านั้นในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในชุมชนหรือสังคม และสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ของตนเอง ครูผู้สอนจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามความสนใจหรือปัญหาของนักเรียน โดยครูอาจกำหนดกรอบของปัญหากว้าง ๆ ให้นักเรียน และให้นักเรียนระบุปัญหาที่เฉพาะเจาะจงและวิธีการแก้ปัญหาเอง ทั้งนี้ ในการกำหนดกรอบของปัญหาให้นักเรียนศึกษานั้น ครูต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 3 ปัจจัยกับการเรียนรู้ของนักเรียน

ได้แก่ (1) ปัญหาหรือคำถามที่นักเรียนสนใจ (2) ตัวชี้วัดในวิชาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และ (3) ความรู้เดิมของนักเรียน

#### 1.4 ทฤษฎีการเรียนรู้ที่สนับสนุนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา

สำหรับทฤษฎีที่มาสสนับสนุนและมีความสอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา คือ ทฤษฎีความรู้สร้างสรรค์ (Constructionism) ซึ่งเป็นทฤษฎีที่ใช้อธิบายกระบวนการเรียนรู้ของมนุษย์ โดย Papert (1990) ได้อธิบายทฤษฎีความรู้สร้างสรรค์ไว้ว่าการเรียนรู้ที่ดีต้องเน้นกระบวนการสร้างองค์ความรู้ขึ้นมาใหม่ด้วยตนเอง โดยการเชื่อมโยงสิ่งต่าง ๆ และมีการลงมือปฏิบัติ นำไปสู่แนวคิดที่ว่า การเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นผู้เรียนจะต้องได้รับประสบการณ์เรียนรู้โดยทำกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการสร้างชิ้นงานหรือผลิตซึ่งจะทำให้การเรียนรู้มีความหมายกับผู้เรียน เมื่อมีการสร้างผลงานออกมาแล้ว หมายความว่าผู้เรียนได้สร้างความรู้ด้วยตนเอง

ผู้เรียนสามารถสร้างความรู้ด้วยตนเองได้ดี หากมีโอกาสเรียนรู้ผ่านการออกแบบ โดยการนำความรู้ไปสร้างสรรค์ชิ้นงานโดยอาศัยสื่อ เทคโนโลยี วัสดุ อุปกรณ์ที่เหมาะสม และการที่ผู้เรียนมีโอกาสนำความรู้ที่ตนเองสร้างขึ้นไปออกแบบสร้างสิ่งใดสิ่งหนึ่งเป็นชิ้นงาน จะช่วยทำให้ความรู้ความคตินั้นเห็นเป็นรูปธรรมที่ชัดเจนขึ้น ส่งผลให้การเรียนรู้มีความหมายมากขึ้นและคงทน ไม่ลืมง่าย นอกจากนี้ยังช่วยให้ผู้เรียนสามารถสื่อสารความรู้ความคิดของตนเองให้ผู้อื่นเข้าใจได้ดีขึ้น ตามทฤษฎีนี้ แม้ว่าผู้เรียนจะต้องเป็นผู้ดำเนินการเรียนรู้ และสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเองก็ตาม แต่ครูผู้สอน จำเป็นต้องดูแล จัดหา และจัดเตรียมสื่อและวัสดุต่าง ๆ ให้ผู้เรียนใช้ได้สะดวก ครูต้องคอยดูแล ให้คำปรึกษาแนะนำ กำกับกับการเรียนรู้ของผู้เรียน รวมทั้งประเมินผลการเรียนรู้ทั้งทางด้านผลิตและกระบวนการ (สำนักงานราชบัณฑิตยสภา, 2558)

กล่าวโดยสรุปได้ว่าทฤษฎีความรู้สร้างสรรค์ เป็นทฤษฎีที่สนับสนุนการจัดการเรียนรู้โดยให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง โดยเชื่อมโยงองค์ความรู้ ทักษะ และสิ่งต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องมาปฏิบัติงานในการออกแบบและสร้างสรรค์ผลงานหรือชิ้นงาน นำไปสู่การช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจองค์ความรู้ที่ได้ศึกษาได้ดี ตลอดจนสามารถสื่อสารความรู้ความคิดของตนเองให้ผู้อื่นเข้าใจได้ สอดคล้องกับแนวคิดสะเต็มศึกษา เนื่องจากเป็นแนวคิดของการสอนที่บูรณาการ 4 สาระวิชา เน้นให้ผู้เรียนสร้างความรู้ด้วยตนเองโดยการออกแบบและสร้างสรรค์ผลงานผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมโดยส่งผลให้ผู้เรียนได้รับการฝึกความคิดสร้างสรรค์ ความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ ซึ่งเป็นทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21

### 1.5 ขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา

ในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา มีจุดเด่นที่ชัดเจนข้อหนึ่งคือการผนวกการจัดการเรียนรู้ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเข้ากับการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี โดยมีนักวิชาการและหน่วยงานออกแบบและนำเสนอไว้อย่างหลากหลายซึ่งมีความสอดคล้องกัน ดังนี้

Massachusetts Department of Education (2001) ได้นำเสนอกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมไว้ด้วยกัน 8 ขั้นตอน ดังนี้

1) การระบุความต้องการหรือปัญหา (Identify the Need or Problem) คือ ขั้นตอนการระบุปัญหาหรือความต้องการ

2) การศึกษาค้นคว้า (Research) คือ ขั้นตอนการค้นหาประเด็น ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหา สืบค้นแนวคิดหรือทางเลือก โดยอาจสำรวจผ่านอินเทอร์เน็ต ห้องสมุด หรือจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ เป็นต้น

3) การพัฒนาวิธีการแก้ปัญหา (Develop Possible Solution) คือ ขั้นตอนการระดมความคิดเพื่อออกแบบแนวทางแก้ปัญหา โดยใช้ความรู้คณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง และกลั่นกรองวิธีการแก้ปัญหาร่วมกัน

4) การเลือกวิธีการที่เหมาะสม (Select the Best Possible Solution) คือ ขั้นตอนการเลือกแบบแผนการแก้ปัญหาที่ดีที่สุดจากแบบแผนที่ออกแบบไว้ทั้งหมด เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการแก้ปัญหาที่ตั้งไว้มากที่สุด

5) การสร้างต้นแบบ (Construct a Prototype) คือ ขั้นตอนการลงมือสร้างต้นแบบซึ่งอาจเป็นชิ้นงานหรือลงมือสร้างวิธีการแก้ปัญหาจากแบบแผนที่เลือกไว้

6) การทดสอบและประเมินวิธีการแก้ปัญหา (Test and Evaluate the Solution) คือ ขั้นตอนการทดสอบและประเมินว่าวิธีการแก้ปัญหานั้นได้ผลหรือไม่ตามข้อกำหนดหรือวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

7) การนำเสนอผลของการแก้ปัญหา (Communicate the Solution) คือ ขั้นตอนการนำเสนอผลลัพธ์ของการดำเนินงานเริ่มตั้งแต่ปัญหา จนถึงวิธีการแก้ปัญหา

8) การออกแบบใหม่ (Redesign) คือ ขั้นตอนในการปรับปรุงผลงาน ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ได้จากขั้นทดสอบและการสะท้อนผลจากขั้นนำเสนอ

Museum of Science Boston (2009) นำเสนอกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม สำหรับนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษา ประกอบด้วย

- 1) การตั้งคำถาม (Ask) คือ ขั้นตอนการระบุปัญหาและเงื่อนไขข้อจำกัดในการแก้ปัญหา
- 2) การจินตนาการ (Imagine) คือ ขั้นตอนการหาแนวคิดเกี่ยวกับการแก้ปัญหา โดยระดมความคิด เลือกแนวทางการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด
- 3) การวางแผน (Plan) คือ ขั้นตอนการวางแผนโดยอาจสร้างเป็นแผนภาพวิธีการ กำหนดวัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้
- 4) การสร้าง (Create) คือ ขั้นตอนการลงมือปฏิบัติการดำเนินงาน สร้างชิ้นงานหรือวิธีการตามแผนที่วางไว้ รวมถึงการทดสอบผลงาน
- 5) การปรับปรุง (Improve) คือ ขั้นตอนการปรับปรุงผลงานและสร้างขึ้นมาใหม่อีกครั้งให้ดีกว่าเดิม และทำการทดสอบอีกครั้งนำไปสู่การแก้ปัญหาที่ดีขึ้น

Morgan, Moon, and Barroso (2013) ได้นำเสนอกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมไว้ดังนี้

- 1) การระบุปัญหาและข้อจำกัด (Identify Problem and Constraints) คือ ขั้นตอนการระบุปัญหาที่ต้องการแก้ไขรวมถึงต้องพิจารณาเงื่อนไขหรือข้อจำกัดภายใต้สถานการณ์ที่ถูกกำหนดไว้
- 2) การศึกษาค้นคว้า (Research) คือ ขั้นตอนการสืบค้นข้อมูลหรือการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหาเพื่อนำไปสู่การออกแบบวิธีการแก้ปัญหา
- 3) การคิดออกแบบ (Ideate) คือ ขั้นตอนการใช้แนวคิดที่ผ่านการค้นหาหรือผ่านการสืบเสาะความรู้ มาออกแบบวิธีการได้อย่างหลากหลายเพื่อเป็นตัวเลือกในการนำไปสู่วิธีการแก้ปัญหาหรือสร้างผลผลิต
- 4) การวิเคราะห์ความคิด (Analyze Ideas) คือ ขั้นตอนการระดมความคิดวิเคราะห์วิธีการแก้ปัญหาที่ออกแบบไว้ และกลั่นกรองออกมาเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด

5) การสร้าง (Build) คือ ขั้นตอนการลงมือสร้างวิธีการแก้ปัญหาหรือผลงานที่เป็นสิ่งประดิษฐ์ ซึ่งเรียกว่าแบบจำลองต้นแบบ

6) การทดสอบและปรับปรุง (Test and Refine) คือ ขั้นตอนการนำแบบจำลองต้นแบบไปทดสอบและประเมินผลว่าเป็นไปตามเงื่อนไข และตอบโจทย์ปัญหาที่ตั้งไว้หรือไม่ หากยังเห็นถึงข้อบกพร่องจึงทำการปรับปรุงให้ได้เป็นผลงานชิ้นใหม่ที่ดีขึ้นจนกว่าจะตรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

7) การสื่อสารและสะท้อนผล (Communicate and Reflect) คือ ขั้นตอนการนำเสนอหลักการและความคิดของการออกแบบ สร้างวิธีการ และสร้างสรรค์ชิ้นงาน ตลอดจนผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินงาน จากนั้นอภิปรายร่วมกันเพื่อสะท้อนผลลัพธ์และกระบวนการ ซึ่งจะช่วยให้พัฒนากระบวนการออกแบบได้ดีขึ้นไป

Reeve (2015) สรุปลักษณะการออกแบบเชิงวิศวกรรม ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

1) การระบุปัญหาความท้าทาย (Identify a Challenge) คือ ขั้นตอนการระบุสถานการณ์ซึ่งนำไปสู่ความท้าทายในการตั้งประเด็นปัญหา โดยมีเงื่อนไข และข้อจำกัดในการปัญหา

2) การค้นหาแนวคิด (Explore Ideas) คือ ขั้นตอนการวิเคราะห์รายละเอียดของปัญหานำไปสู่การค้นหาหรือสืบสอบความรู้ ซึ่งมาจากการค้นคว้าด้วยตนเอง และได้รับการถ่ายทอดจากครูหรือผู้เชี่ยวชาญประกอบกัน เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหาตามประเด็นที่ตั้งไว้

3) การออกแบบและสร้าง (Plan and Develop) คือ ขั้นตอนการออกแบบวางแผนอย่างเป็นขั้นตอน โดยวิเคราะห์วิธีการแก้ปัญหา เลือกหรือคัดกรองวิธีการ และลงมือสร้างวิธีการหรือชิ้นงานขึ้นมาเพื่อนำไปแก้ปัญหามาตามที่ตั้งไว้

4) การทดสอบและประเมินผล (Test and Evaluate) คือ ขั้นตอนการทดสอบผลงานและประเมินผลงาน นำไปสู่การปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องให้ดีขึ้น

5) การนำเสนอผลการดำเนินงาน (Present the Solution) คือ ขั้นตอนการนำเสนอผลการดำเนินงาน ซึ่งหมายรวมถึงการออกแบบผลงาน และผลลัพธ์ของการแก้ปัญหาที่ได้

กล่าวโดยสรุป ลักษณะขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของหน่วยงานและนักการศึกษาแต่ละท่านมีจำนวนขั้นตอนที่อาจแตกต่างกันออกไปแต่มีลักษณะการจัดการเรียนรู้ที่ครอบคลุม 5 ลักษณะด้วยกันอย่างเป็นลำดับ คือ (1) สร้างความสนใจเพื่อกระตุ้นนักเรียนเข้าสู่บทเรียนด้วยการกำหนดปัญหา (2) การศึกษาและทำการสืบค้นข้อมูล (3) การออกแบบและสร้างสรรค์ชิ้นงานหรือวิธีการแก้ปัญหา (4) การทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงชิ้นงานหรือวิธีการแก้ปัญหา และ (5) นำเสนอผลการดำเนินงาน ดังแสดงในตารางที่ 1





**ตารางที่ 1** ลักษณะร่วมของขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

|  | ลักษณะของขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้                                     |                              |  |  |                         |
|--|---|------------------------------|--|--|-------------------------|
|  | การสร้างความสนใจเพื่อกระตุ้นนักเรียนเข้าสู่บทเรียนด้วยสถานการณ์และปัญหา | การศึกษาและทำการสืบค้นข้อมูล | การออกแบบและสร้างสรรค์ชิ้นงานหรือวิธีการแก้ปัญหา                       | การทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงชิ้นงานหรือวิธีการแก้ปัญหา | การนำเสนอผลการดำเนินงาน |
| Massachusetts Department of Education (2001) | 1. ระบุความต้องการหรือปัญหา   | 2. ศึกษาค้นคว้า              | 3. พัฒนาวิธีการแก้ปัญหา<br>4. เลือกวิธีการที่เหมาะสม<br>5. สร้างต้นแบบ | 6. ทดสอบและประเมินวิธีการแก้ปัญหา<br>8. ออกแบบใหม่       | 7. นำเสนอผลการแก้ปัญหา  |
| Museum of Science Boston (2009)              | 1. ตั้งคำถาม  | 2. จินตนาการ                 | 3. วางแผน<br>4. สร้าง  | 5. ปรับปรุง  |                         |
| Morgan et al. (2013)                         | 1. ระบุปัญหา เสนอใจข้อจำกัด   | 2. ศึกษาค้นคว้า              | 3. คิดออกแบบ<br>4. วิเคราะห์ความคิด<br>5. สร้าง                        | 6. ทดสอบและปรับปรุง                                      | 7. สื่อสารและสะท้อนผล   |
| Reeve (2015)                                 | 1. ระบุปัญหาความท้าทาย  | 2. ค้นหาแนวคิด               | 3. ออกแบบและสร้าง  | 4. ทดสอบและประเมินผล                                     | 5. นำเสนอผลการดำเนินงาน |

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า แนวทางของขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่ใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทั้ง 4 แนวทางเป็นไปในทิศทางที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ กระบวนการจัดการเรียนรู้เริ่มจากการตั้งปัญหาหรือความต้องการ โดยมีการสืบเสาะหาความรู้ที่เกี่ยวข้องกับปัญหานั้นไปสู่การสร้างผลงานเพื่อตอบสนองความต้องการหรือแก้ไขปัญหานั้นได้สำเร็จ อย่างไรก็ตามยังคงพบบางประเด็นที่มีความแตกต่างกัน โดยเมื่อวิเคราะห์ขั้นตอนตามแนวทางของ Massachusetts Department of Education (2001) พบว่า เมื่อนักเรียนทำการทดสอบผลงานเสร็จสิ้นจะต้องนำเสนอผลการดำเนินงานทันที โดยจะต้องปรับปรุงผลงานภายหลังที่ได้สะท้อนจากการนำเสนอ ซึ่งอาจส่งผลให้ใช้เวลาค่อนข้างมากในการจัดกิจกรรมเหมาะสมกับกิจกรรมการเรียนรู้ประเภทการทำโครงการ ในขณะที่การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางของ Museum of Science Boston (2009) ไม่มีขั้นตอนการนำเสนอ โดยถูกออกแบบมาเพื่อจัดการเรียนรู้กับนักเรียนในระดับประถมศึกษา สำหรับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางของ Morgan et al. (2013) มีลักษณะขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ออกแบบที่ครอบคลุมลักษณะการจัดการเรียนรู้ของสองแนวทางข้างต้น อย่างไรก็ตามยังมีการแบ่งขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่ค่อนข้างมาก โดยพบว่า มีการแบ่งกิจกรรมการเรียนรู้ขั้นตอนการคิดออกแบบ การวิเคราะห์ความคิด และการสร้าง แยกออกจากกันชัดเจน เมื่อวิเคราะห์ลักษณะของกิจกรรมในแต่ละขั้นตอนดังกล่าวแล้ว สามารถนำมาจัดกิจกรรมเป็นขั้นตอนเดียวร่วมกันได้เพื่อความกระชับในการจัดการเรียนรู้ กล่าวคือ เป็นขั้นตอนที่มีลักษณะของกิจกรรมการออกแบบและสร้างสรรค์ผลงาน

การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางของ Reeve (2015) ครอบคลุมลักษณะขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาของสามแนวทางข้างต้นได้อย่างชัดเจน โดยมีลักษณะพิเศษ คือ มีการกำหนดความท้าทายในการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design Challenges) ซึ่งประกอบด้วย บริบทหรือสถานการณ์ เป้าหมายที่นักเรียนต้องจัดการกับปัญหา เกณฑ์การบรรลุเป้าหมาย และข้อจำกัดในการแก้ปัญหา โดยมีการจัดการเรียนรู้ที่เริ่มจากการระบุสถานการณ์ปัญหาในชีวิตประจำวัน จากนั้นนักเรียนได้ศึกษาความรู้ด้วยตนเองหรือได้รับการถ่ายทอดจากครูผู้สอนหรือผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับเนื้อหาความรู้ที่จะนำไปใช้ประยุกต์ออกแบบและสร้างสรรค์ชิ้นงาน ซึ่งจะส่งเสริมให้นักเรียนได้ฝึกฝนความสามารถในการคิดเชิงคำนวณผ่านขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ 5 ขั้นตอนที่เหมาะสมกับการจัดการเรียนรู้ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีเวลาและเนื้อหาในการจัดการเรียนรู้อย่างจำกัด

## 2. การคิดเชิงคำนวณ

### 2.1 ความหมายและความสำคัญของการคิดเชิงคำนวณ

การคิดเชิงคำนวณ (Computational Thinking) มีจุดเริ่มต้นมาจาก Seymour Papert นักคณิตศาสตร์ และวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ โดยนำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้กระบวนการแก้ปัญหาในการเรียนรู้ธรรมชาติของคอมพิวเตอร์ ต่อมา Jeannette Wing ได้ขยายแนวคิดและทำให้เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในนามของการคิดเชิงคำนวณ (Weinberg, 2013) การคิดเชิงคำนวณเป็นความสามารถในการคิดอย่างหนึ่งที่ควรปลูกฝังให้กับพลเมืองในประเทศ เนื่องจากเป็นความสามารถพื้นฐานที่มนุษย์ทุกคนควรมีเพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อนหรือปัญหาที่พบทั่วไปในชีวิตประจำวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Wing, 2006) และ McKenna (2017) กล่าวว่า การคิดเชิงคำนวณนั้นจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับผู้เรียนในปัจจุบัน เนื่องจากผู้เรียนจะต้องเผชิญกับปัญหาในโลกความเป็นจริง จึงต้องพิจารณาปัญหา สามารถจัดการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ทดสอบแผนการดำเนินงานแก้ไขปัญหา เพื่อตรวจสอบข้อผิดพลาดและปรับแก้ไขแผนการดำเนินงานให้ดีขึ้น นอกจากนี้มาตรฐานการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แนวคิดใหม่ (Next Generation Science Standards) ในประเทศอเมริกาได้กำหนดทักษะการปฏิบัติงานที่นักเรียนพึงมีในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ประกอบด้วย 8 การปฏิบัติงาน โดยหนึ่งในนั้น คือ การคิดเชิงคำนวณ (NGSS Lead State, 2013) สำหรับประเทศไทยก็ได้มีการผลักดันวิชาวิทยาการคำนวณเข้ามาในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ในกลุ่มสาระวิทยาศาสตร์ตั้งแต่ระดับชั้นประถมศึกษาจนถึงมัธยมศึกษา เพื่อส่งเสริมความสามารถในการคิดเชิงคำนวณให้กับนักเรียน (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561)

มีนักการศึกษาหน่วยงานต่าง ๆ ได้ให้ความหมายของการคิดเชิงคำนวณไว้มีรายละเอียดดังนี้

Wing (2006) กล่าวว่า การคิดเชิงคำนวณเป็นการคิดที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหา การออกแบบระบบ และความเข้าใจในการทำงาน โดยใช้กรอบแนวคิดพื้นฐานทางวิทยาการคอมพิวเตอร์

Wing (2010) ได้นำเสนอเพื่อขยายความหมายของการคิดเชิงคำนวณว่าเป็นกระบวนการคิดที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดปัญหาและสร้างวิธีการแก้ปัญหา โดยส่งผลไปสู่ปลายทางที่ทำให้คอมพิวเตอร์หรือมนุษย์จัดการแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สมาคมครูวิทยาการคอมพิวเตอร์ (Computer Science Teachers Association) และสมาคมเทคโนโลยีการศึกษานานาชาติ (International Society for Technology in Education)

ได้สร้างนิยามของการคิดเชิงคำนวณไว้ว่า เป็นกระบวนการแก้ปัญหา ซึ่งมีลักษณะดังนี้ กำหนดปัญหา โดยสามารถใช้เครื่องมือในการช่วยแก้ปัญหา จัดการและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงตรรกะ แสดงข้อมูลในเชิงนามธรรม แก้ไขปัญหาอย่างเป็นลำดับขั้นตอน วิเคราะห์และเลือกวิธีการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพ และประยุกต์ใช้กระบวนการแก้ปัญหาที่เคยใช้ไปสู่อปัญหาอื่น ๆ (CSTA & ISTE, 2011)

Aho (2012) กล่าวว่า การคิดเชิงคำนวณ คือวิธีการคิดที่เกี่ยวกับการกำหนดปัญหา โดยสามารถแสดงวิธีการแก้ปัญหาออกมาได้อย่างเป็นลำดับขั้นตอน

NGSS Lead State (2013) ได้กำหนดความหมายว่า การคิดเชิงคำนวณเป็นความสามารถในการใช้เครื่องมือและกรอบแนวคิดทางด้านคณิตศาสตร์ในการจัดการปัญหาทางด้านวิทยาศาสตร์

Barefoot (2014) นำเสนอว่า การคิดเชิงคำนวณเป็นวิธีการคิดที่ช่วยให้มนุษย์สามารถแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาจใช้คอมพิวเตอร์มาเป็นเครื่องมือช่วยแก้ปัญหาหรือไม่ก็ได้

บัญญัติ พูลสวัสดิ์ (2559) กล่าวว่า การคิดเชิงคำนวณเป็นการคิดที่ต้องใช้ทักษะและเทคนิคเพื่อแก้ไขปัญหาอย่างเช่นที่ นักพัฒนาซอฟต์แวร์ (Software Developer) หรือ วิศวกรซอฟต์แวร์ (Software Engineer) ใช้ในการเขียนโปรแกรม ซึ่งแก่นแท้คือการแก้ปัญหาแบบมีลำดับขั้นตอนให้กลายเป็นเรื่องที่สายอาชีพอื่น ๆ สามารถนำแนวคิดลำดับขั้นตอนไปแก้ปัญหา

Helfant (2017) ได้เสนอว่า การคิดเชิงคำนวณเป็นการเชื่อมโยงข้อมูลและแนวคิดต่าง ๆ ในการแก้ปัญหา โดยให้ผู้เรียนระบุปัญหาและควบคุมคอมพิวเตอร์ในการช่วยแก้ไขปัญห

Yadav, Gretter, Good, and Mclean (2017) นำเสนอการคิดเชิงคำนวณไว้ว่าเป็นการแก้ปัญหา โดยประยุกต์ใช้หลักการเชิงคำนวณ เช่น การคิดเชิงนามธรรม (Abstraction) การแยกส่วนประกอบหรือส่วนย่อยของปัญหา (Decomposition) การหารูปแบบ (Pattern Recognition) และการออกแบบขั้นตอนวิธี (Algorithm) เป็นต้น

McKenna (2017) กล่าวว่า การคิดเชิงคำนวณคือทักษะกระบวนการที่นักเรียนค้นหาและพิจารณาปัญหา จัดการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ทดสอบวิธีการแก้ปัญหาที่ออกแบบไว้อย่างเป็นลำดับขั้นตอนเพื่อปรับปรุงแก้ไข

กล่าวโดยสรุปได้ว่า การคิดเชิงคำนวณ เป็นความสามารถที่เกี่ยวข้องกับการคิดแก้ไขปัญหา โดยวิเคราะห์ข้อมูลและรายละเอียดของปัญหา หาความสัมพันธ์ของปัญหา และวางแผนการ

ดำเนินการแก้ปัญหาอย่างเป็นลำดับขั้นตอนที่ชัดเจน เพื่อให้วิธีการแก้ปัญหานั้นเป็นรูปแบบที่ผู้แก้ปัญหาสามารถปฏิบัติตามได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 2.2 องค์ประกอบของการคิดเชิงคำนวณ

มีนักการศึกษาจำนวนมากได้ศึกษาเกี่ยวกับการคิดเชิงคำนวณและได้กำหนดองค์ประกอบของการคิดเชิงคำนวณที่มีลักษณะร่วมกันในบางองค์ประกอบที่สำคัญ ซึ่งแสดงรายละเอียดของการศึกษาดังนี้

องค์กร Barefoot (2014) แห่งประเทศอังกฤษนำเสนอว่า การคิดเชิงคำนวณ (Computational thinking) มี 6 องค์ประกอบดังนี้

- 1) ตรรกะ (Logic) คือ ความสามารถในการใช้ความรู้เชิงเหตุผล
- 2) ขั้นตอนวิธี (Algorithms) คือ ความสามารถในการออกแบบชุดคำสั่งหรือลำดับขั้นตอนการแก้ปัญหาในการทำงาน
- 3) การแยกส่วนย่อยหรือส่วนประกอบของปัญหา (Decomposition) คือ ความสามารถในการแยกปัญหาหรือระบบออกเป็นส่วน ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการจัดการกับปัญหา
- 4) รูปแบบ (Pattern) คือ ความสามารถในการหารูปแบบของวิธีแก้ปัญหา เพื่อคาดการณ์คำตอบ
- 5) การคิดเชิงนามธรรม (Abstraction) คือ ความสามารถในการระบุสิ่งที่เป็นส่วนสำคัญหรือรูปแบบทั่วไปของปัญหา โดยไม่สนใจรายละเอียดที่ไม่จำเป็น
- 6) การประเมินผล (Evaluation) คือ ความสามารถในการตัดสินประสิทธิภาพของวิธีการแก้ปัญหา

องค์กร Code.org (2015) แห่งประเทศสหรัฐอเมริกา มีเป้าหมายที่จะนำความรู้วิทยาการทางคอมพิวเตอร์เข้าไปในการเรียนการสอนสำหรับนักเรียนตั้งแต่ระดับชั้นอนุบาลจนถึงมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยได้แบ่งองค์ประกอบที่สำคัญของการคิดเชิงคำนวณไว้ดังนี้

- 1) การแยกส่วนย่อยปัญหา (Decompose) คือ ความสามารถในการแยกปัญหาออกเป็นส่วนย่อย
- 2) การคิดเชิงนามธรรม (Abstraction) คือ ความสามารถในการดึงลักษณะเฉพาะของปัญหาออกและพิจารณารูปทั่วไปของการแก้ปัญหา เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายปัญหา

- 3) ความสัมพันธ์ของรูปแบบ (Pattern Matching) คือ ความสามารถในการสังเกตและค้นหาความเหมือนของสิ่งต่าง ๆ
- 4) ขั้นตอนวิธี (Algorithm) คือ ความสามารถในการสร้างชุดขั้นตอนที่ทำให้บรรลุงานหรือปัญหาที่ต้องการแก้ไขได้

Selby (2015) ได้นำเสนอองค์ประกอบของการคิดเชิงคำนวณ ประกอบด้วย การแยกส่วนปัญหา (Decomposition) การคิดเชิงนามธรรม (Abstraction) การออกแบบขั้นตอนวิธี (Algorithm Design) และการประเมินผล (Evaluation) โดยสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของการคิดเชิงคำนวณดังกล่าวกับระดับพฤติกรรมการเรียนรู้ของบลูม (Bloom's Taxonomy) ดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ความสัมพันธ์ระหว่างทักษะการคิดเชิงคำนวณและระดับพฤติกรรมการเรียนรู้ของบลูม

| องค์ประกอบของการคิดเชิงคำนวณ | ระดับพฤติกรรมการเรียนรู้ของบลูม |
|------------------------------|---------------------------------|
| -                            | ความรู้ความจำ (Knowledge)       |
| -                            | ความเข้าใจ (Comprehension)      |
| การแยกส่วนปัญหา              | การนำไปใช้ (Application)        |
| และการคิดเชิงนามธรรม         | การวิเคราะห์ (Analysis)         |
| การออกแบบขั้นตอนวิธี         | การสังเคราะห์ (Synthesis)       |
| การประเมินผล                 | การประเมินผล (Evaluation)       |

สุธีระ ประเสริฐสรรพ (2559) กล่าวว่า การคิดเชิงคำนวณเป็นความสามารถในการแก้ปัญหา ประกอบด้วยการใช้ทักษะย่อย 4 ประการ ได้แก่

- 1) การแยกย่อย (Decomposition) เช่น แยกปัญหาหรือกระบวนการออกเป็นส่วนย่อยเพื่อให้จัดการได้ง่ายขึ้น จัดได้ว่าเป็นการใช้ความคิดวิเคราะห์
- 2) การจดจำรูปแบบ (Pattern Recognition) เพื่อดูความเหมือนความต่างของรูปแบบการเปลี่ยนแปลง ทำให้ทราบแนวโน้มเพื่อทำนายไปข้างหน้าได้ เช่น ผู้เล่นหุ้นดูราคาทองคำ กับ ตลาดหุ้นกลุ่มพลังงาน จะเห็นรูปแบบที่สัมพันธ์กับราคาน้ำมัน เป็นต้น จัดเป็นการใช้ความคิดวิเคราะห์ที่เชื่อมโยง

- 3) การคิดเชิงนามธรรม (Abstraction) เป็นทักษะที่ช่วยให้เข้าใจภาพทั่วไป ทำให้ได้หลักการที่เกิดรูปแบบขึ้น ทักษะนี้ช่วยชักนำให้ผู้คิดคำตอบเชิงนามธรรมขึ้นมาเอง เป็นทักษะสำคัญที่ทำให้เกิดหลักความรู้หรือทฤษฎี
- 4) การออกแบบขั้นตอน (Algorithm Design) เป็นทักษะที่สร้างลำดับขั้นตอนของการแก้ปัญหา ทำให้ทราบว่าต้องทำอะไรก่อนและหลัง

Rodriguez (2015) ได้ออกแบบการประเมินความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียน ในกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาการคอมพิวเตอร์แบบถอดสาย (Computer Science Unplugged) โดยได้แบ่งองค์ประกอบของการคิดเชิงคำนวณไว้ 5 องค์ประกอบด้วยกัน ได้แก่ การแทนค่าข้อมูล (Data Representation) การแยกส่วนย่อย (Decomposition) การหารูปแบบ (Pattern Recognition) การคิดเชิงนามธรรม (Abstraction) และการคิดขั้นตอนวิธี (Algorithmic Thinking)

Sadik, Leftwich, and Nardiruzzaman (2016) ได้สรุปองค์ประกอบย่อยของการคิดเชิงคำนวณ โดยแสดงความหมายของแต่ละองค์ประกอบดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** องค์ประกอบย่อยของการคิดเชิงคำนวณ

| องค์ประกอบกรคิดเชิงคำนวณ             | ความหมาย  |
|--------------------------------------|---|
| การแยกส่วนย่อย<br>(Decomposition)    | แบ่งข้อมูล วิธีการ หรือปัญหา ออกเป็นส่วนย่อยที่สามารถจัดการได้ง่ายขึ้น          |
| การหารูปแบบ<br>(Pattern recognition) | สังเกตรูปแบบ แนวโน้ม สามารถค้นหาความเหมือนของชุดข้อมูลหรือรูปแบบของวิธีแก้ปัญหา |
| การคิดเชิงนามธรรม<br>(Abstraction)   | การระบุหลักการทั่วไป ซึ่งสามารถสร้างรูปแบบของวิธีแก้ปัญหา                       |
| ขั้นตอนวิธี<br>(Algorithms)          | สร้างลำดับก่อนหลังของวิธีการการแก้ปัญหาที่ชัดเจน                                |
| การประเมินผล<br>(Evaluation)         | ทดสอบ และพิสูจน์ความถูกต้องของวิธีการแก้ปัญหา                                   |

Burton, Cleary and Kitsantas (2018) ได้นำเสนอองค์ประกอบของการคิดเชิงคำนวณ ประกอบด้วย การแบ่งปัญหาหรือข้อมูลออกเป็นส่วนย่อย เพื่อให้ง่ายต่อการแก้ปัญหามากขึ้น (Decomposition) การค้นหาและจำรูปแบบหรือแนวโน้มน (Pattern Recognition) การสร้างชุดคำสั่งที่สามารถแก้ปัญหาได้อย่างเป็นลำดับขั้นตอน (Algorithms) และการบอกหลักการทั่วไปที่สามารถสร้างรูปแบบของวิธีแก้ปัญหา (Abstraction)

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2561) ได้จัดทำแบบเรียนสำหรับนักเรียนไทยและนำเสนอว่า การคิดเชิงคำนวณ (Computational Thinking) เป็นความสามารถพื้นฐานของการคิดแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน และได้กำหนดองค์ประกอบของการคิดเชิงคำนวณไว้ 4 องค์ประกอบ ได้แก่

- 1) การคิดแบบแยกส่วนประกอบและการย่อยปัญหา (Decomposition) เป็นการพิจารณาและแบ่งปัญหาหรืองาน ออกเป็นส่วนย่อยเพื่อให้จัดการกับปัญหาได้ง่ายขึ้น
- 2) การหารูปแบบของปัญหา (Pattern Recognition) เป็นการพิจารณารูปแบบ แนวโน้มของข้อมูลหรือปัญหา และพิจารณาความคล้ายหรือความเหมือนกันของปัญหาย่อยที่อยู่ในปัญหาเดียวกันหรือความเหมือนกันของรูปแบบการแก้ปัญหา
- 3) การคิดเชิงนามธรรม (Abstraction) เป็นการพิจารณารายละเอียดที่สำคัญของปัญหา แยกแยะสาระสำคัญออกจากส่วนที่ไม่สำคัญ
- 4) การออกแบบขั้นตอนวิธี (Algorithm) เป็นการออกแบบขั้นตอนในการแก้ปัญหาหรือการทำงานโดยมีลำดับคำสั่งที่ชัดเจน

จากการศึกษาองค์ประกอบของการคิดเชิงคำนวณของนักการศึกษาและหน่วยงานต่าง ๆ พบว่ามีลักษณะขององค์ประกอบที่สอดคล้องและคล้ายคลึงกัน โดยเมื่อพิจารณาองค์ประกอบตรรกะ (Logic) นั้นวิเคราะห์ได้ว่าเป็นความสามารถที่ถูกใช้กับการหารูปแบบเนื่องจากต้องหาคำสัมพันธ์เชิงเหตุผลในการพิจารณาความเหมือนหรือความคล้ายของรูปแบบ และองค์ประกอบการประเมินผล (Evaluation) วิเคราะห์ได้ว่าเป็นความสามารถที่ถูกใช้ร่วมกับการออกแบบขั้นตอนวิธี เนื่องจากในการออกแบบขั้นตอนวิธีนั้นต้องดำเนินการโดยใช้การตัดสินใจและประเมินขั้นตอนที่นำไปสู่วิธีการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ



กล่าวโดยสรุปได้ว่า การคิดเชิงคำนวณ เป็นความสามารถในการคิดแก้ปัญหา โดยมีลักษณะขององค์ประกอบย่อยที่สำคัญ 4 องค์ประกอบ ได้แก่ การแยกส่วนประกอบและการย่อยปัญหา (decomposition) การหารูปแบบ (Pattern recognition) การคิดเชิงนามธรรม (Abstraction) และการออกแบบขั้นตอนวิธี (Algorithms)

### 2.3 แนวทางการวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ

สำหรับแนวทางการการสร้างแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ สามารถจัดทำได้หลายรูปแบบ อาทิเช่น การสอบข้อเขียน (Paper and Pencil Tests) การวิเคราะห์ชิ้นงาน (Analysis of Artifacts Produced) เป็นต้น (Bienkowski, 2015)

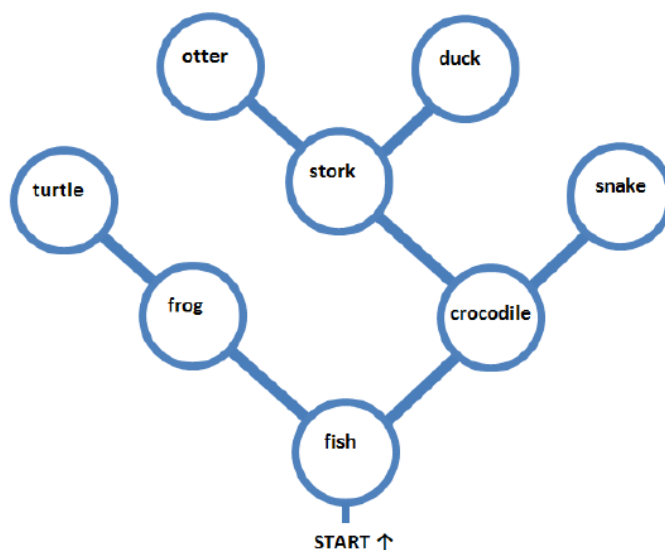
Bebras tasks เป็นหนึ่งในเครื่องมือวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณรูปแบบการสอบข้อเขียน ประเภทการเลือกตอบ (Multiple Choices) โดยแบบทดสอบวัดแต่ละหัวข้อถูกสังเคราะห์มาเพื่อวัดบางองค์ประกอบหรือทุกองค์ประกอบย่อยของความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ (Components of Computational Thinking) ที่นักเรียนใช้ในการแก้ปัญหา โดยแสดงตัวอย่างแบบทดสอบได้ดังนี้ (Dolgopolovas, Jevsikova, Savulioniene, & Dagiene, 2015)

ตัวอย่างแบบทดสอบหัวข้อ Beaver in his canoe ใน Bebras tasks ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น

สถานการณ์ : บีเวอร์ตัวหนึ่งกำลังพายเรือแคนูอยู่ในแม่น้ำซึ่งประกอบไปด้วยทะเลสาบเล็ก ๆ ที่ถูกเชื่อมต่อกันด้วยแม่น้ำแสดงดังรูป บีเวอร์ชอบทุกทะเลสาบและต้องคิดขั้นตอนวิธีในการไปถึงทุกทะเลสาบ มันรู้ว่าแต่ละทะเลสาบมีแม่น้ำมากที่สุดได้เพียงสามสายที่เชื่อมต่อกับทะเลสาบอยู่ เมื่อบีเวอร์เริ่มพายเรือมาถึงทะเลสาบแต่ละแห่งและต้องการพายเรือไปต่อ มันจะต้องตัดสินใจตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- 1) ถ้ามีแม่น้ำสองสายที่มันยังไม่เคยไป มันจะพายเรือไปตามแม่น้ำที่อยู่ด้านซ้ายมือ
- 2) ถ้ามีแม่น้ำเพียงแคสายเดียวที่มันยังไม่เคยไป มันจะพายเรือไปตามแม่น้ำสายนั้น
- 3) ถ้าบีเวอร์เคยพายเรือผ่านแม่น้ำทุกสายที่อยู่รอบทะเลสาบแล้ว มันจะพายเรือจากทะเลสาบที่มันอยู่ไปยังทะเลสาบก่อนหน้าที่มีมันเคยอยู่

บีเวอร์จะหยุดการพายเรือแคนู ถ้ามันพบทุกอย่างที่มันต้องการและพายเรือกลับมายังจุดเริ่มต้น โดยในแต่ละทะเลสาบบีเวอร์จะพบกับสัตว์แต่ละชนิดที่แตกต่างกันแสดงดังรูป และบีเวอร์จะเขียนบันทึกชื่อสัตว์แต่ละชนิดที่เจอในครั้งแรกตลอดเส้นทางจนกว่าจะไปถึงครบทุกทะเลสาบ



แผนภาพที่ 1 ตัวอย่างแบบทดสอบ Bebras tasks แสดงแผนผังของแม่น้ำและทะเลสาบ  
(ที่มา: Dolgopolovas et al., 2015)

คำถาม : ข้อใดเป็นลำดับสัตว์ที่ปีเวจะเขียนบันทึกลงไปในการเดินทางครั้งนี้

- ปลา กบ จระเข้ เต่า นกกระสา งู นาก เป็ด
- ปลา จระเข้ งู นกกระสา เป็ด นาก กบ เต่า
- ปลา กบ เต่า จระเข้ นกกระสา นาก เป็ด งู
- ปลา กบ เต่า

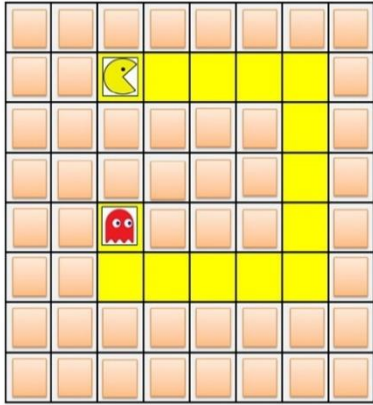
สำหรับคำตอบที่ถูกต้องคือ ตัวเลือก c. ปลา กบ เต่า จระเข้ นกกระสา นาก เป็ด งู และสามารถวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบย่อยของความสามารถในการคิดเชิง ที่นักเรียนใช้ในการแก้ปัญหาในตัวอย่างดังกล่าวได้ดังนี้

- 1) การคิดเชิงนามธรรม (Abstraction) : เข้าใจรูปแบบของระบบจริง (Real Objects) สำหรับตัวอย่างได้แก่ การใช้โครงสร้างต้นไม้ทวิภาค (Binary Tree) แทนลักษณะของทะเลสาบและแม่น้ำ
- 2) การแยกส่วนประกอบและการย่อยปัญหา (Decomposition) : ตรวจสอบเงื่อนไขแต่ละข้อและนำไปใช้แก้ปัญหาตามโครงสร้างต้นไม้แต่ละส่วน
- 3) การออกแบบขั้นตอนวิธี (Algorithms) : สำหรับตัวอย่างดังกล่าวไม่ได้ส่งเสริมให้นักเรียนสร้างหรือพัฒนาขั้นตอนวิธี แต่การระบุคำตอบได้ถูกต้อง แสดงให้เห็นถึงการเข้าใจและมีการวางลำดับขั้นตอนวิธีในการบรรลุงานหรือแก้ไขปัญหา

Brackmann, Gonzalaz, Robles and Leon (2017) ได้ออกแบบเครื่องมือวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ โดยสร้างแบบทดสอบการคิดเชิงคำนวณรูปแบบการสอบข้อเขียน ประเภทการเลือกตอบ (Multiple Choices) ซึ่งในแบบทดสอบแต่ละข้อสามารถวิเคราะห์การวัดองค์ประกอบย่อยของความสามารถในการคิดเชิงคำนวณได้ดังตัวอย่างนี้

ตัวอย่างแบบทดสอบการคิดเชิงคำนวณของ Brackmann, Gonzalaz, Robles and Leon (2017) ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น

คำถาม : ชุดคำสั่งใดที่สามารถนำแพ็คแมนไปสู่ผีได้ตามเส้นทางที่กำหนดไว้


| Which instructions take 'Pac-Man' to the ghost by the path marked out?             |  |
|--|--|
|  | <p>Option A</p> <pre>repeat 4 times do repeat 3 times do move forward turn right 90° move forward</pre> <p>Option B</p> <pre>repeat 3 times do repeat 4 times do move forward turn right 90° move forward</pre> <p>Option C</p> <pre>repeat 3 times do repeat 4 times do move forward turn right 90° move forward</pre> <p>Option D</p> <pre>repeat 4 times do move forward repeat 3 times do turn right 90° do move forward</pre> |

แผนภาพที่ 2 ตัวอย่างคำถามจากแบบทดสอบการคิดเชิงคำนวณของ Brackmann (ที่มา: Brackmann et al., 2017)

จากแผนภาพที่ 2 คำตอบที่ถูกต้องคือ ตัวเลือก B และสามารถวิเคราะห์องค์ประกอบย่อยของความสามารถในการคิดเชิงคำนวณได้ดังนี้

- 1) การแยกส่วนประกอบและการย่อยปัญหา (Decomposition) : วิเคราะห์เส้นทางการเคลื่อนที่และแบ่งช่องทางการเคลื่อนที่แต่ละก้าวของแพ็คแมนไปสู่การกินผี
- 2) การหารูปแบบ (Pattern Recognition) : หารูปแบบการเคลื่อนที่ซ้ำของแพ็คแมนภายในเส้นทางที่กำหนดได้ (เดินหน้า 4 ครั้ง และเลี้ยวขวา 1 ครั้ง)
- 3) การคิดเชิงนามธรรม (Abstraction) : มุ่งความสนใจไปที่ลักษณะการแก้ปัญหาหากกล่าวคือสนใจเฉพาะเส้นทางที่กำหนดไว้เท่านั้น เพื่อนำไปสู่ชุดคำสั่งของเส้นทางดังกล่าว
- 4) การออกแบบขั้นตอนวิธี (Algorithms) : พิจารณาขั้นตอนวิธีที่สามารถทำให้แพ็คแมนเดินทางไปถึงกินผีได้

องค์กร Code.org (2015) ได้แสดงตัวอย่างวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ ซึ่งเป็นแบบวัดรูปแบบการสอบข้อเขียน ประเภทการเขียนตอบแบบอัตนัย แสดงตัวอย่างดังแผนภาพที่ 3




Unplugged

Name: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_

## Computational Thinking

Lesson Assessment



Look at the problems below. Circle the matching sections and underline the places where there are differences. Once you've done that, write a template to create more phrases with the same pattern.

The first one has been done for you.

---

1) Triangles have three sides.

Squares have four sides.

have      sides

---

2) It's fun to read books.

It's fun to read magazines.

---

3) I love my cat's whiskers.

I love my horse's tail.

I love my dog's tail.

I love my cat's tail.

---

### แผนภาพที่ 3 ตัวอย่างแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ

(ที่มา: Code.org, 2015)

ตัวอย่างแบบทดสอบดังกล่าวมีคำสั่งให้นักเรียนวงกลมส่วนย่อยของประโยคที่มีความเหมือนกันและขีดเส้นใต้ส่วนย่อยของประโยคที่แตกต่างกัน จากนั้นใช้โครงสร้างคำที่เป็นรูปแบบของประโยคเขียนประโยคใหม่ขึ้นมา สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบย่อยของความสามารถในการคิดเชิงคำนวณได้ดังนี้

- 1) การแยกส่วนประกอบและการย่อยปัญหา (Decomposition) : นักเรียนสามารถแยกคำออกเป็นส่วนที่มีความเหมือนและแตกต่างกันระหว่างประโยคใด ๆ ที่โจทย์กำหนด
- 2) การหารูปแบบ (Pattern Recognition) : นักเรียนสามารถระบุคำที่เหมือนกันในแต่ละประโยคได้

Rodriguez (2015) ได้ออกแบบเครื่องมือวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียน โดยสร้างเครื่องมือวัดแบบการสอบข้อเขียน (Paper and Pencil Test) ลักษณะให้เขียนตอบแบบ อัตนัย และกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนแบบรูบริก (Rubric Scoring) สามารถแสดงแบบวัดได้ดัง ตัวอย่างแบบทดสอบต่อไปนี้

ตัวอย่างแบบทดสอบการค้นหาและแก้ไขข้อผิดพลาดของ Rodriguez

คอมพิวเตอร์เก็บข้อมูลแบบระบบเลขฐานสองแม้แต่ตัวอักษร A-Z ก็ถูกเก็บในลักษณะของ ระบบเลขฐานสอง ในบางครั้งคอมพิวเตอร์ก็เกิดข้อผิดพลาดในการส่งและรับข้อมูล

การค้นหาข้อผิดพลาด (Error Detection)

ก่อนที่จะแปลงข้อมูลระบบเลขฐานเป็นอักษรนั้น จำเป็นต้องตรวจสอบว่าชุดข้อมูลมีข้อผิดพลาดหรือไม่โดยใช้วิธีการตรวจสอบแบบ parity bits คอลัมน์ทางด้านขวาสุดและแถวล่างสุดของ ตารางคือ parity bits

หมายเหตุ : วิธีการเติม parity bit คือให้เติม 0 ถ้าชุดเลขฐานสองนั้น ๆ ประกอบด้วยเลข 1 เป็น จำนวนคู่ และให้เติม 1 ถ้าชุดเลขฐานสองนั้น ๆ ประกอบด้วยเลข 1 เป็นจำนวนคี่

|           |           |           |   |
|-----------|-----------|-----------|---|
| 0 0 0 1 0 | 0 0 0 0 0 | 1 0 0 0 1 | 0 |
| 0 0 0 1 1 | 0 1 1 1 0 | 0 0 1 1 0 | 1 |
| 0 0 0 0 1 | 0 1 0 0 0 | 1 0 0 1 1 | 1 |
| 0 0 0 0 0 | 0 0 1 1 0 | 0 0 1 1 0 | 0 |

การแก้ไขข้อผิดพลาด (Error Correction)

หลังจากทราบข้อผิดพลาด จึงสั่งให้คอมพิวเตอร์ส่งกลับชุดตัวเลขที่ผิดพลาดออกไป และคอมพิวเตอร์ตอบกลับมาด้วยเลขชุดใหม่คือ 1 0 0 1 1

1. จงระบุชุดเลขฐานสองที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการแปลงข้อมูลและเขียนเลขชุด 1 0 0 1 1 บน ตัวเลขชุดเดิมที่มีข้อผิดพลาดทับลงไปพร้อมทั้งตรวจสอบความถูกต้องของ parity bit อีกครั้ง

ถ้ามั่นใจว่าไม่มีข้อผิดพลาดอะไรอีกแล้ว ให้ถอดรหัสชุดเลขในแต่ละแถวออกมาเป็นตัวอักษร โดยใช้ตารางแปลงข้อมูลด้านล่างในการถอดรหัสเป็นข้อความตัวอักษร (ไม่ต้องแปลงชุดเลข parity bit ที่อยู่คอลัมน์ด้านขวาสุดและแถวล่างสุดของตาราง)

ตารางแปลงข้อมูล

|          |          |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| A: 00000 | E: 00100 | I: 01000 | M: 01100 | Q: 10000 | U: 10100 |          |
| B: 00001 | F: 00101 | J: 01001 | N: 01101 | R: 10001 | V: 10101 | Y: 11000 |
| C: 00010 | G: 00110 | K: 01010 | O: 01110 | S: 10010 | W: 10110 | Z: 11001 |
| D: 00011 | H: 00111 | L: 01011 | P: 01111 | T: 10011 | X: 10111 |          |

เมื่อเราต้องการส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ เราจำเป็นต้องเติม parity bits ในชุดเลขฐานสองก่อนส่ง

2. จงเติม parity bits ลงในคอมลัมน์และแถวที่ว่างในตารางด้านล่างนี้

|           |           |           |  |
|-----------|-----------|-----------|--|
| 1 0 0 1 1 | 0 0 0 0 0 | 0 0 1 1 0 |  |
| 0 1 1 0 0 | 1 0 1 0 0 | 0 0 1 1 0 |  |
| 1 0 0 0 1 | 0 1 1 1 0 | 1 0 0 1 1 |  |
|           |           |           |  |

แบบทดสอบชุดนี้ถูกออกแบบเพื่อวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณด้านการแยกส่วนประกอบและการย่อปัญหา (Decomposition) และการหารูปแบบ (Pattern Recognition) (Rodriguez, 2015)

กล่าวโดยสรุปได้ว่า การออกแบบการวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณสามารถสร้างสถานการณ์หรือโจทย์ปัญหาในการวัดที่ส่งเสริมให้นักเรียนแสดงออกซึ่งความสามารถในการคิดเชิงคำนวณด้านต่าง ๆ และมีแนวทางการสร้างเครื่องมือวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ โดยใช้แบบทดสอบข้อเขียน ซึ่งสามารถออกแบบได้ 2 ลักษณะ ได้แก่ แบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณลักษณะให้เลือกตอบ (Multiple Choices) และแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณลักษณะให้เขียนตอบซึ่งเป็นแบบวัดประเภทอัตนัย

#### 2.4 เกณฑ์การให้คะแนนแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ

นักการศึกษาได้ออกแบบเกณฑ์การให้คะแนนแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณตามลักษณะของแบบวัด ดังนี้

1. เกณฑ์การให้คะแนนแบบ 0-1 หรือ ตอบผิดได้ 0 คะแนน ตอบถูกได้ 1 คะแนน เป็นการให้คะแนนในแบบวัดที่มีลักษณะเป็นแบบทดสอบประเภทการเลือกตอบ (Multiple Choices) โดยให้คะแนนเพียงสองค่าในแต่ละข้อคำถาม (Dolgopolovas et al., 2015; Brackmann et al., 2017)

2. เกณฑ์การให้คะแนนแบบรูบริค เป็นการให้คะแนนในแบบวัดที่มีลักษณะเป็นแบบทดสอบประเภทอัตนัย โดย Rodriguez (2015) ได้ออกแบบเกณฑ์การให้คะแนนในแต่ละข้อคำถามเป็นช่วงจำนวน 4 ช่วง ตั้งแต่ 0-3 คะแนน ซึ่งเกณฑ์การให้คะแนนแบบรูบริคในแต่ละข้อคำถามจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสถานการณ์ปัญหาของแต่ละข้อคำถามโดยเฉพาะ แสดงเกณฑ์คะแนนแบบรูบริคของ Rodriguez ดังตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** เกณฑ์คะแนนแบบรูบริคของแบบทดสอบการค้นหาและแก้ไขข้อผิดพลาดของ Rodriguez

|               | เกณฑ์คะแนน  |   |   |
|---------------|---|---|---|
|               | (3)   | (2)   | (1)   |
| ข้อคำถามที่ 1 | นักเรียนระบุข้อผิดพลาดได้อย่างถูกต้อง 1 ตำแหน่งเท่านั้น และสามารถแก้ไขข้อผิดพลาดนั้นได้ถูกต้องโดยใช้ชุดตัวเลขที่ถูกส่งกลับไปแทนชุดตัวเลขที่มีข้อผิดพลาด | นักเรียนระบุข้อผิดพลาดได้ 2 ตำแหน่งหรือมากกว่านั้น หรือแก้ไขข้อผิดพลาดโดยใช้ชุดตัวเลขที่เปลี่ยนตัวเลขในแถวหรือคอมลันน์ที่เป็น parity bits | นักเรียนไม่ระบุข้อผิดพลาด หรือไม่แก้ไขข้อผิดพลาดในตาราง           |
| ข้อคำถามที่ 2 | นักเรียนเติม parity bits ได้ถูกต้องสมบูรณ์ทุกตำแหน่ง  | นักเรียนเติม parity bits ได้ถูกต้องแต่ไม่สมบูรณ์ทุกตำแหน่ง  | นักเรียนไม่พยายามเติม หรือไม่สามารถเติม parity bits ได้ถูกต้องเลย |

กล่าวโดยสรุปได้ว่า เกณฑ์การให้คะแนนแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณสามารถออกแบบได้สองลักษณะแบ่งตามประเภทของแบบทดสอบ ได้แก่ การให้คะแนนแบบ 0-1 ซึ่งเป็นแบบทดสอบประเภทการเลือกตอบ และการให้คะแนนแบบรูบริค ซึ่งเป็นแบบทดสอบประเภทอัตนัย

## 2.5 การประเมินความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ

ในการประเมินระดับความสามารถในการคิดเชิงคำนวณนั้น Ling, Saibin, Naharu, Labadin, and Aziz (2018) ได้ออกแบบการประเมินความสามารถในการคิดเชิงคำนวณซึ่งแบ่งออกเป็น 6 ระดับ โดยที่สามารถแปลความหมายของแต่ละระดับความสามารถได้ดังตารางที่ 5

**ตารางที่ 5** ระดับความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ

| ระดับ | ความหมาย    |
|-------|-------------|
| 6     | ดีมาก       |
| 5     | ดี          |
| 4     | ค่อนข้างดี  |
| 3     | พอใช้       |
| 2     | ค่อนข้างต่ำ |
| 1     | ปรับปรุง    |

## 2.6 แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมความสามารถการคิดเชิงคำนวณ

ในแวดวงสาระวิทยาการคอมพิวเตอร์ได้มีนักการศึกษาหลายท่านได้ออกแบบแนวทางการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมความสามารถในการคิดเชิงคำนวณให้กับนักเรียน โดยมีแนวทางที่สำคัญดังนี้

1. การจัดการเรียนรู้โดยการเขียนโปรแกรมเกมหรือหุ่นยนต์ (Programming Game or Robot) เป็นการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกมและหุ่นยนต์ควบคู่กับการเขียนหรือสร้างคำสั่งให้คอมพิวเตอร์ทำงานให้ได้ตามที่ต้องการด้วยภาษาที่คอมพิวเตอร์เข้าใจ โดยนักเรียนจะได้เรียนรู้แนวคิดวิทยาการคอมพิวเตอร์และฝึกฝนการคิดเชิงคำนวณไปพร้อม ๆ กัน การจัดการเรียนรู้รูปแบบนี้เหมาะสมกับสาระวิชาที่จำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการจัดการเรียนการสอน และโรงเรียนที่มีความพร้อมทางด้านเทคโนโลยี (Weinberg, 2013)

2. การจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการคิดเชิงคำนวณแบบถอดสาย (Computational Thinking Unplugged Activities) เป็นการจัดการเรียนรู้ในแวดวงวิทยาการคอมพิวเตอร์รูปแบบหนึ่ง โดยไม่ใช่เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับ ไฟฟ้า อินเทอร์เน็ต คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ในการจัดการเรียนรู้ กิจกรรมการเรียนรู้มุ่งพัฒนานักเรียนให้เกิดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ โดยเฉพาะ ซึ่งแต่ละกิจกรรมจะส่งเสริมความสามารถในแต่ละองค์ประกอบของการคิดเชิงคำนวณ



เช่น กิจกรรมการแยกส่วนประกอบ (Decomposition Activity) ในกิจกรรมนี้นักเรียนจะได้จำแนกปัญหาตามที่ครูกำหนดไว้ในใบงาน และทำการเขียนขั้นตอนการแก้ปัญหาตามหัวข้อที่ได้รับ ซึ่งกิจกรรมนี้ออกแบบมาเพื่อพัฒนาความสามารถทางการแยกส่วนประกอบและการย่อปัญหา (Decomposition) การใช้ขั้นตอนวิธี (Algorithms) เป็นต้น โดยการจัดการเรียนรู้รูปแบบนี้เหมาะสมกับนักเรียนในระดับชั้นประถมศึกษา (Brackmann et al., 2017)

3. การจัดการเรียนรู้โดยใช้กลยุทธ์การเขียนโปรแกรมผ่านกระดาษ (Paper and Pencil Programming Strategy) เป็นวิธีการสอนในวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ที่สอนนักเรียนเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมโดยไม่ใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเขียนแผนผัง (Diagrams) การเขียนสัญลักษณ์หรือรูปแทน (Symbols) การสร้างแผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงาน (Flowcharts) หรือวิธีการอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับการเขียนลงกระดาษ ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ การวิเคราะห์ปัญหา ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา การสร้าง การนำไปใช้หรือทดสอบ และการแก้ไขข้อบกพร่อง โดยการจัดการเรียนรู้รูปแบบนี้เหมาะสมกับนักเรียนในระดับอุดมศึกษา (Kim et al., 2013)

4. การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เป็นการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้นักเรียนแก้ปัญหา โดยมีการเชื่อมโยงสถานการณ์เข้ากับองค์ความรู้จากนั้นดำเนินการแก้ปัญหาอย่างเป็นขั้นตอนตามกระบวนการเชิงวิศวกรรม โดย Palts and Pedaste (2015) กล่าวว่า ลักษณะของกระบวนการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการคิดเชิงคำนวณเริ่มจากการกำหนดหรือนิยามปัญหา จากนั้นจึงหาวิธีการแก้ปัญหา วางแผน และเลือกวิธีแก้ปัญหา ทั้งนี้การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาเหมาะสำหรับการเรียนการสอนในสาขาวิทยาศาสตร์ โดยมีการผสมผสานสาระวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ เข้าไว้ด้วยกัน

กล่าวโดยสรุป แนวทางการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมความสามารถในการคิดเชิงคำนวณมีหลากหลายรูปแบบดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจและเหมาะสมกับการจัดการเรียนรู้ในสาขาวิชาฟิสิกส์ คือ การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เนื่องจากสามารถจัดการเรียนรู้โดยนำสถานการณ์ปัญหาในชีวิตจริงเชื่อมโยงกับเนื้อหาวิชาฟิสิกส์ มุ่งเน้นให้นักเรียนวิเคราะห์ปัญหา ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา ควบคู่ไปกับการเรียนรู้เนื้อหาวิชาฟิสิกส์ โดยสามารถสรุปขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางของ Reeve (2015) ที่ส่งเสริมความสามารถในการคิดเชิงคำนวณในแต่ละองค์ประกอบ แสดงดังตารางที่ 6

**ตารางที่ 6** สรุปขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาที่ส่งเสริมความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ

| ขั้นตอนการจัดกิจกรรม    | ลักษณะการจัดกิจกรรม  | องค์ประกอบความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ                    |
|-------------------------|--|--|
| การระบุปัญหาความท้าทาย  | ระบุสถานการณ์ที่เชื่อมโยงกับชีวิตประจำวัน แล้วนำไปสู่การตั้งปัญหาที่ต้องการแก้ไข ภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัด   |  |
| การค้นหาแนวคิด          | วิเคราะห์หรือแยกแยะปัญหา และศึกษาองค์ความรู้ ซึ่งมาจากการค้นคว้าด้วยตนเอง และได้รับการถ่ายทอดจากครู หรือผู้เชี่ยวชาญประกอบกัน เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหา | การแยกส่วนประกอบและการย่อยปัญหา                          |
| การออกแบบและสร้าง       | ร่วมกันออกแบบ ระดมความคิดวิเคราะห์ และเลือก หรือคัดกรองวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสม จากนั้นลงมือสร้างสรรค์ชิ้นงานหรือวิธีการแก้ปัญหา  | การหารูปแบบ<br>การคิดเชิงนามธรรม<br>การออกแบบขั้นตอนวิธี |
| การทดสอบและประเมินผล    | ทดสอบ ประเมินผลงาน จากนั้นปรับปรุงแก้ไขผลงาน หรือวิธีแก้ปัญหาเพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหาที่ดีขึ้น  |  |
| การนำเสนอผลการดำเนินงาน | นำเสนอวิธีการดำเนินงาน และผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหา ซึ่งเป็นการประมวลความรู้และทักษะที่ใช้ในการแก้ปัญหามาตลอด  | การออกแบบขั้นตอนวิธี                                     |

### 3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มศึกษา

English and King (2015) ได้ศึกษาการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาโดยผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมสำหรับนักเรียนเกรด 4 โดยจัดกิจกรรมสืบเสาะความรู้และทำงานแก้ปัญหาในบทเรียนบรรยากาศและอวกาศ ซึ่งนักเรียนจะได้ประยุกต์ใช้องค์ความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์เข้ากับกระบวนการออกแบบและปรับปรุงแก้ไขแบบจำลองเครื่องบินสามมิติ จากการศึกษาพบว่านักเรียนสามารถร่างภาพของแบบจำลอง วาดและออกแบบเทมเพลตทำให้พับกระดาษเป็นแบบจำลองที่แสดงโครงสร้างเครื่องบิน และเขียนลำดับขั้นตอนในการออกแบบ ตลอดจนแสดงการคำนวณต่าง ๆ เพื่อนำมาสู่การแก้ปัญหา แสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถบูรณาการหรือประยุกต์ใช้ความรู้แก้ปัญหาผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้

Shahali, Halim, Rasul, Osman, and Zulkifeli (2016) ได้ศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้ในวิชาสะเต็มผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ที่มีต่อความสนใจในวิชาสะเต็มและความสนใจในอาชีพที่เกี่ยวข้องกับสะเต็ม โดยทำการศึกษากับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น ปีการศึกษา 2557 จำนวน 129 คน และปีการศึกษา 2558 จำนวน 113 คน พบว่า หลังได้รับการจัดการเรียนการสอนผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยความสนใจในวิชาสะเต็มศึกษาและความสนใจในอาชีพที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มสูงขึ้น

อาทิตย์ นิมกุล (2559) ศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย กลุ่มที่ศึกษาในการวิจัยคือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่ง เขตวังทองหลาง กรุงเทพมหานคร ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2559 จำนวน 42 คน โดยจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม ในหน่วยการเรียนรู้ชีววิทยา เรื่อง การรักษาดุลยภาพในร่างกาย ใช้เวลา 25 คาบเรียน ผลการศึกษาพบว่านักเรียนมีร้อยละคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้ปัญหาหลังเรียนอยู่ในระดับดีมาก นักเรียนมีร้อยละคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้ปัญหาหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และนักเรียนมีร้อยละคะแนนเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาหลังเรียนอยู่ในระดับดี

วิชชาวุธ อุ่นสมิ (2560) ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา รายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง ไฟฟ้าสถิต เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยมี กลุ่มเป้าหมายในการศึกษาเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย ปทุมธานี ภาคเรียนที่ 2 จำนวน 47 คน โดยการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องไฟฟ้าสถิต ใช้เวลา 15 คาบเรียน จากผลการศึกษาพบว่า นักเรียนส่วนน้อยมีคะแนนพัฒนาการในทักษะการคิดอย่างมี วิจารณญาณลดลงคิดเป็นร้อยละ 19 ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากนักเรียนให้ความสำคัญกับการจัดการ เรียนรู้ที่เน้นทำข้อสอบเป็นหลักจึงขาดความสนใจในกิจกรรมที่ผู้วิจัยจัดการเรียนรู้ ในขณะที่นักเรียน ส่วนใหญ่คิดเป็นร้อยละ 81 ของนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย มีพัฒนาการในทักษะการคิดอย่างมี วิจารณญาณสูงขึ้นเมื่อได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา

สุกัญญา เชื้อหลุบโพธิ์ และธิตติยา บงกชเพชร (2560) ได้ศึกษาการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะ เต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การเคลื่อนที่แบบหมุน เพื่อ พัฒนาความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยมีกลุ่มเป้าหมายในการวิจัยเป็น นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลก ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2559 จำนวน 24 คน โดยจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมใน รายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การเคลื่อนที่แบบหมุน พบว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาที่เน้น กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมสามารถพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนได้ และทำให้ นักเรียนเห็นความสำคัญของการจินตนาการร่างภาพซึ่งเป็นแบบจำลองรูปแบบการหมุนในแต่ละ สถานการณ์ที่สมบูรณ์เพื่อสื่อถึงวิธีการสร้างที่ถูกต้อง ตลอดจนมีการวางแผนในการทำงาน

### 3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคิดเชิงคำนวณ

Gonzalez et al. (2016) ได้ศึกษาและสร้างแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดเชิง คำนวณ (Computational Thinking Test : Ctt) โดยการนำแบบทดสอบไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนักเรียนในประเทศสเปนจำนวน 1,251 คน ประกอบด้วยนักเรียนเกรด 5 ถึงเกรด 10 จากนั้น นำแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณมาหาความสัมพันธ์กับแบบทดสอบมาตรฐาน ทางจิตวิทยา (Standardized Psychological Test) ได้แก่ the Primary Mental Abilities (PMA) battery และ the RP30 problem-solving test เพื่อศึกษาว่าความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ สอดคล้องกับความสามารถในการคิด (Cognitive Abilities) ประเภทใด ผลการศึกษาพบว่า ความสามารถในการคิดเชิงคำนวณมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยทางสถิติกับความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ (Spatial Ability) ( $r=0.44$ ) ความสามารถในการใช้เหตุผล (Reasoning Ability) ( $r=0.44$ ) และ

ความสามารถในการแก้ปัญหา (Problem-Solving Ability) ( $r=0.67$ ) แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการคิดเชิงคำนวณเกี่ยวข้องกับการคิดแก้ปัญหา สามารถเข้าใจรูปแบบของสิ่งต่าง ๆ ตลอดจนสามารถใช้เหตุผลในการแก้ปัญหาได้

Kim et al. (2013) ได้ศึกษาความเข้าใจการคิดเชิงคำนวณของนักเรียน โดยใช้กลยุทธ์การเขียนโปรแกรมผ่านกระดาษ (Paper and Pencil Programming Strategy : PPS) กล่าวคือ เป็นวิธีการสอนนักเรียนในการเขียนโปรแกรมโดยไม่ใช้คอมพิวเตอร์ โดยในวิธีการเกี่ยวข้องกับการเขียนแผนผัง (Diagrams) การเขียนสัญลักษณ์หรือรูปแบบ (Symbols) การสร้างแผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงาน (Flowcharts) หรือวิธีการอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเขียนลงกระดาษ ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การวิเคราะห์ปัญหา (Analysing a Problem) (2) ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Designing Solution) (3) การสร้าง (Constructing) (4) การนำไปใช้หรือทดสอบ (Implementing) และ (5) การแก้ไขข้อบกพร่อง (Debugging) ผลการศึกษาพบว่า PPS ช่วยให้นักเรียนเข้าใจการคิดเชิงคำนวณมากขึ้น

Leonard et al. (2016) ได้ศึกษาการพัฒนาความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น จำนวน 124 คน ผลการศึกษาพบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยการออกแบบหุ่นยนต์และเกมมีความสามารถในการคิดเชิงคำนวณสูงกว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรมการสอนทางคอมพิวเตอร์ แสดงให้เห็นว่าการคิดเชิงคำนวณควรส่งเสริมด้วยกระบวนการเรียนรู้ที่มุ่งให้นักเรียนได้แก้ปัญหาผ่านการออกแบบ และสร้างชิ้นงานขึ้นมา

ศุภวัฒน์ ทรัพย์เกิด (2559) ศึกษาการจัดการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้ที่เสริมสร้างการคิดเชิงคำนวณด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา วิชาการโปรแกรมและการประยุกต์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยมีกลุ่มเป้าหมายในการวิจัยเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/9 โรงเรียนอนุกุลนารี จังหวัดกาฬสินธุ์ ปีการศึกษา 2558 จำนวน 48 คน โดยจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาในหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง คำสั่งควบคุม ผลการศึกษาพบว่า นักเรียนมีพัฒนาการด้านการคิดเชิงคำนวณเพิ่มขึ้นจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในครั้งแรก ซึ่งด้านที่มีพัฒนาการโดดเด่นที่สุด คือ การกำหนดสาระสำคัญ หรือการนำทักษะด้านคอมพิวเตอร์มาสร้างชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา โดยมีความพึงพอใจมากที่สุดในด้านบรรยากาศในชั้นเรียนที่สนุกสนานและกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่น่าสนใจ

#### 4. กรอบแนวคิดการวิจัย

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้สร้างกรอบแนวคิดในการศึกษาผลการใช้แนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์ที่มีต่อความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ดังนี้

**ทฤษฎีความรู้สร้างสรรค์ (Constructionism)**

ผู้เรียนสามารถสร้างความรู้ด้วยตนเอง ได้ดี หากมีโอกาสเรียนรู้ผ่านการออกแบบ โดยการนำความรู้ที่นำไปสร้างสรรค์ชิ้นงาน โดยอาศัยสื่อ เทคโนโลยี วัสดุ และอุปกรณ์ที่เหมาะสม และการที่ผู้เรียนมีโอกาสนำความรู้ที่ตนเองสร้างขึ้นไปออกแบบสร้างสิ่งใดสิ่งหนึ่งเป็นชิ้นงาน จะช่วยให้ความรู้ ความคิด นั้นเห็นเป็นรูปธรรมที่ชัดเจนขึ้น ส่งผลให้การ เรียนรู้มีความหมายมากขึ้นและคงทน นอกจากนั้นยังช่วยให้ผู้เรียนสามารถสื่อสาร ความรู้ความคิดของตนเองให้ผู้อื่นเข้าใจได้

ขึ้น

**การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชา ฟิสิกส์**

รูปแบบการจัดการเรียนรู้ ซึ่งเป็นแนวทางการ จัดการศึกษาที่บูรณาการความรู้ใน 4 วิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และ คณิตศาสตร์ โดยมีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ การ สอนที่สอดคล้องกับทฤษฎีวิชาฟิสิกส์และมี ขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ดังนี้

- 1) การระบุปัญหาความท้าทาย
- 2) การค้นหาแนวคิด
- 3) การออกแบบและสร้าง
- 4) การทดสอบ และประเมินผล
- 5) การนำเสนอผลการดำเนินงาน

**ความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ**

ความสามารถในการคิดแก้ปัญหา มีองค์ประกอบที่ สำคัญ 4 ประการ ได้แก่ การแยกส่วนประกอบและการ ย่อยปัญหา การหารูปแบบ การคิดเชิงนามธรรม และการ ออกแบบขั้นตอนวิธี

ประเมินจากคะแนนที่ได้จากแบบวัดความสามารถ ในการคิดเชิงคำนวณ ประเภทแบบวัดอัตโนมัติ จำนวน 12 ข้อคำถาม



### บทที่ 3

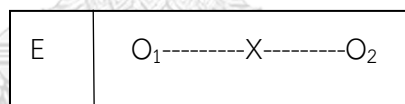
#### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง ผลการใช้แนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์ที่มีต่อความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. แบบแผนการวิจัย
2. การกำหนดกลุ่มเป้าหมาย
3. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
4. การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล
5. การวิเคราะห์ข้อมูล

#### 1. แบบแผนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเบื้องต้น (Pre-Experiment Research) มีรูปแบบการวิจัยแบบศึกษากลุ่มเดียววัดสองครั้ง (One Group Pretest-Posttest Design) โดยจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์ หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง สมดุลกล และงานและพลังงาน และวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียน ดังในแผนภาพที่ 4



**แผนภาพที่ 4** แบบแผนการทดลองเบื้องต้นแบบศึกษากลุ่มเดียววัดสองครั้ง โดยที่ E แทน กลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์

ปีการศึกษา 2561 โรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่งในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยม เขต 1 กรุงเทพมหานคร สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ

O<sub>1</sub> แทน การวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณก่อนเรียน

O<sub>2</sub> แทน การวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียน

X แทน การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์

## 2. การกำหนดกลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมายในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ห้องเรียนพิเศษ วิทยาศาสตร์ปีการศึกษา 2561 โรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่งในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่ การศึกษามัธยม เขต 1 กรุงเทพมหานคร สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ โดยผู้วิจัยมีลำดับขั้นตอนในการเลือกกลุ่มเป้าหมาย ดังนี้

1. การเลือกโรงเรียน ผู้วิจัยใช้วิธีเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) โดยมีการ กำหนดเกณฑ์การพิจารณาโรงเรียนที่เลือกเป็นกลุ่มเป้าหมายในการวิจัยไว้ ดังต่อไปนี้ โรงเรียนที่เลือก เป็นโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่ง ประเภทชายล้วนในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยม เขต 1 กรุงเทพมหานคร สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ มีการ จัดการเรียนการสอนแผนการศึกษาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 นอกจากนี้ยังเป็นโรงเรียนที่มี เครื่องมือหรือชุดทดลองทางฟิสิกส์ที่อำนวยความสะดวกให้กับนักเรียนในการจัดกิจกรรม มีสื่อและ โสตทัศนูปกรณ์ที่เอื้อต่อการจัดการเรียนการสอน มีเทคโนโลยีซึ่งหมายรวมถึงระบบเครือข่าย อินเทอร์เน็ตที่เอื้ออำนวยให้นักเรียนมีความสะดวกในการสืบค้นข้อมูล

2. การเลือกห้องเรียน ผู้วิจัยใช้วิธีเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) เป็น นักเรียนแผนการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โครงการห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ โดยทำการ เลือกนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่กำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 ทั้งนี้ นักเรียนโครงการห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในโรงเรียนแห่งนี้มี 2 ห้องเรียน ได้แก่ ห้อง 4/5 และ 4/6 จากนั้นเลือกห้องเรียนที่ใช้เป็นกลุ่มเป้าหมายโดยใช้วิธีการสุ่ม อย่างไม่ง่ายด้วยวิธีจับสลาก และได้นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/6 จำนวน 34 คน เป็นกลุ่มเป้าหมาย

เนื่องจากโครงการห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์นั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเด็กและเยาวชนที่ มีความสามารถพิเศษที่มีทักษะด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี ให้เป็นนักวิทยาศาสตร์ นักวิจัย นักเรียนกลุ่มดังกล่าวมีลักษณะพิเศษคือ มีความมุ่งมั่นในการเรียนวิทยาศาสตร์เพื่อที่จะไป ประกอบอาชีพทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ให้ความร่วมมือในการจัดการเรียนรู้ด้าน วิทยาศาสตร์เป็นอย่างดี มีความใฝ่รู้ สามารถสืบค้นข้อมูลที่นอกเหนือจากการเรียนการสอนใน ห้องเรียน ลักษณะดังกล่าวเหมาะสมกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ



### 3. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล มีรายละเอียดการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยดังนี้

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์ หน่วยการเรียนรู้เรื่อง สมดุลกล และงานและพลังงาน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยมีขั้นตอนในการพัฒนา ดังต่อไปนี้

(1) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ศึกษาการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางของ Reeve (2015) เป็นหลัก โดยมีลักษณะพิเศษ คือ เป็นการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design Process) ผ่านความท้าทายในการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design Challenges) ซึ่งประกอบด้วย บริบทหรือสถานการณ์ เป้าหมายที่นักเรียนต้องจัดการกับปัญหาเกณฑ์การบรรลุเป้าหมาย และข้อจำกัดในการแก้ปัญหา โดยมีการจัดการเรียนรู้ที่เริ่มจากการระบุสถานการณ์ปัญหาในชีวิตประจำวัน จากนั้นนักเรียนได้ศึกษาความรู้ด้วยตนเองหรือได้รับการถ่ายทอดจากครูผู้สอนหรือผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับเนื้อหาความรู้ที่จะนำไปใช้ประยุกต์ออกแบบและสร้างสรรค์ชิ้นงาน ซึ่งจะส่งเสริมให้นักเรียนได้ฝึกฝนความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ

(2) ศึกษาเนื้อหาที่เหมาะสมและสามารถใช้ในการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาซึ่งเป็นรายวิชาฟิสิกส์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จากแบบเรียนรายวิชาฟิสิกส์เพิ่มเติม กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

(3) กำหนดเนื้อหาสำหรับใช้ในการสร้างและพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์ โดยใช้หน่วยการเรียนรู้เรื่อง สมดุลกล และงานและพลังงาน โดยกำหนดโครงสร้างแผนการจัดการเรียนรู้รายหน่วย ประกอบด้วย 2 แผนจัดการเรียนรู้ จำนวน 24 คาบเรียน ดังแสดงในตารางที่ 7

(4) ดำเนินการร่างแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาซึ่งสอดคล้องกับเนื้อหาหลักตามหน่วยการเรียนรู้ฟิสิกส์ เรื่อง งานและพลังงาน และสมดุลกล ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จัดการเรียนการสอนในวิชาฟิสิกส์เป็นหลักโดยมีการเชื่อมโยงความรู้ในสาระวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ เข้ามาไว้ด้วยกัน ทั้งนี้เป็นการจัดการเรียนรู้บูรณาการแบบสหวิทยาการ (Interdisciplinary Integration) เนื่องจากเป็นการจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนได้เรียน

เนื้อหาและฝึกทักษะจำนวน 4 วิชาด้วยกัน โดยมีกิจกรรมและสถานการณ์ปัญหาหลัก (Theme) เชื่อมโยงความสัมพันธ์ของทุกวิชาเพื่อให้นักเรียนได้เห็นความสอดคล้องกัน ซึ่งดำเนินการตามขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ 5 ขั้นตอน ตามแนวทางของ Reeve (2015) โดยมีการแสดงสถานการณ์ที่กระตุ้นให้นักเรียนสนใจนำไปสู่การออกแบบผลงานเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา ตลอดจนแสดงความรู้และทักษะต่าง ๆ ที่นักเรียนต้องใช้ ดังแสดงในตารางที่ 8 และ 9

**ตารางที่ 7** โครงสร้างแผนการจัดการเรียนรู้รายหน่วยโดยใช้การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา ในวิชาฟิสิกส์ เรื่อง งานและพลังงาน และสมดุล

| แผนที่     | หน่วยการเรียนรู้ | หัวข้อ   | จำนวนคาบ  |
|------------|------------------|--|-----------|
| 1          | สมดุล            | 1. ศูนย์กลางมวลและศูนย์กลาง<br>2. สมดุลต่อการเลื่อนที่<br>3. สมดุลต่อการหมุน<br>- โมเมนต์ของแรง<br>- โมเมนต์ของแรงคู่ควบ<br>4. หลักการสมดุลกับเครื่องกลอย่างง่าย | 12        |
| 2          | งานและพลังงาน    | 1. งานเนื่องจากแรงคงตัวและไม่คงตัว<br>2. กำลัง<br>3. พลังงานกล<br>- พลังงานจลน์<br>- พลังงานศักย์<br>4. การอนุรักษ์พลังงานกล                                     | 12        |
| <b>รวม</b> |                  |  | <b>24</b> |

**ตารางที่ 8** หัวข้อ สถานการณ์ และความรู้และทักษะที่ใช้ในการสร้างผลงานของหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง สมดุล

| หัวข้อ                      | สถานการณ์                                       | ความรู้และทักษะที่ใช้ในการสร้างผลงาน          |
|-----------------------------|---|---|
| สมดุล                       | บริษัทรับเหมาแห่งหนึ่ง ได้รับ                   | <b>ฟิสิกส์</b>                                |
| (แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1) | งานสร้างสะพานแขวนข้ามแม่น้ำ และทางบริษัทต้องการ | 1. สมดุลต่อการเลื่อนที่<br>2. สมดุลต่อการหมุน |

**ตารางที่ 8** หัวข้อ สถานการณ์ และความรู้และทักษะที่ใช้ในการสร้างผลงานของหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง สมดุลกล (ต่อ)

| หัวข้อ | สถานการณ์                       | ความรู้และทักษะที่ใช้ในการสร้างผลงาน |
|--------|---------------------------------|--------------------------------------|
|        | สร้างสะพานแขวนจำลอง เพื่อ       | <b>เทคโนโลยี</b>                     |
|        | นำเสนองานกับลูกค้า โดยการ       | 1. การสืบค้นข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้   |
|        | ทดสอบสะพานแขวนจำลองนั้น         | ออนไลน์                              |
|        | ต้องมีความปลอดภัยสามารถ         | 2. การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ในการสร้าง |
|        | รับตม้หน้าหนักตามที่กำหนด       | สะพานแขวนจำลอง                       |
|        | และมีเงื่อนไขคือใช้เสาตั้งเพียง | <b>วิศวกรรมศาสตร์</b>                |
|        | สองเสา และความกว้างของ          | 1. การใช้กระบวนการออกแบบเชิง         |
|        | แม่น้ำจำลองเท่ากับ 50           | วิศวกรรม สร้างสะพานแขวนจำลองโดย      |
|        | เซนติเมตร หากนักเรียนเป็น       | คำนึงถึงความปลอดภัย                  |
|        | ทีมวิศวกรของบริษัทจะ            | <b>คณิตศาสตร์</b>                    |
|        | ออกแบบและสร้างสะพาน             | 1. การวัดขนาดวัสดุในการออกแบบ        |
|        | แขวนจำลองอย่างไร พร้อมทั้ง      | สะพานแขวนจำลอง                       |
|        | อธิบายหลักการสมดุลของ           | 2. การคำนวณน้ำหนักที่ใช้ทดสอบ        |
|        | สะพานจำลอง เพื่อแสดงถึง         | สะพาน                                |
|        | ความมั่นคงและปลอดภัย            |                                      |

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Chulalongkorn University

**ตารางที่ 9** หัวข้อ สถานการณ์ และความรู้และทักษะที่ใช้ในการสร้างผลงานของหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง งานและพลังงาน

| หัวข้อ         | สถานการณ์                        | ความรู้และทักษะที่ใช้ในการสร้างผลงาน |
|----------------|----------------------------------|--------------------------------------|
|                | นักเรียนเป็นวิศวกรในบริษัทที่    | <b>ฟิสิกส์</b>                       |
|                | รับออกแบบและสร้างชิ้นงาน         | 1. พลังงานกล                         |
| งานและพลังงาน  | เพื่อตอบสนองความต้องการ          | 2. กฎการอนุรักษ์พลังงานกล            |
| (แผนการจัดการ  | ของลูกค้า ซึ่งในครั้งนี้น้บริษัท | 3. กฎของฮุก                          |
| เรียนรู้ที่ 2) | ได้รับการว่าจ้างจากผู้ประกอบ     |                                      |
|                | การธุรกิจบันจีจัมป์ ให้ออก       |                                      |
|                | แบบเชือกที่ใช้ในกิจกรรมบัน       |                                      |

ตารางที่ 9 หัวข้อ สถานการณ์ และความรู้และทักษะที่ใช้ในการสร้างผลงานของหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง งานและพลังงาน (ต่อ)

| หัวข้อ | สถานการณ์                       | ความรู้และทักษะที่ใช้ในการสร้างผลงาน |
|--------|---------------------------------|--------------------------------------|
|        | จีจัมป์ให้มีความยาวเหมาะสม      | <b>เทคโนโลยี</b>                     |
|        | กับความสูงของหอกระโดดและ        | 1. การสืบค้นข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้   |
|        | น้ำหนักของผู้กระโดด บริษัทจึง   | ออนไลน์                              |
|        | ทำการคัดเลือกกลุ่มวิศวกรรมมา    | 2. การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ในการสร้าง |
|        | ทำงานนี้โดยจัดให้มีการแข่งขัน   | บันจีจัมป์จำลอง                      |
|        | สร้างแบบจำลองบันจีจัมป์ โดย     | <b>วิศวกรรมศาสตร์</b>                |
|        | จำลองถ่วงทรายเปรียบเสมือนผู้    | 1. การใช้กระบวนการออกแบบเชิง         |
|        | กระโดด และตกลงมาจาก             | วิศวกรรม สร้างบันจีจัมป์จำลองให้ถ่วง |
|        | ระดับความสูงที่กำหนดแล้วอยู่    | ทรายตกใกล้พื้น และคำนึงถึงความ       |
|        | ใกล้พื้นมากที่สุดโดยที่ถ่วงทราย | ปลอดภัย                              |
|        | ไม่ตกลงกระทบพื้น และจำลอง       | <b>คณิตศาสตร์</b>                    |
|        | ว่าพื้นบริเวณที่ถ่วงทรายตกเป็น  | 1. กฎของไซน์                         |
|        | บริเวณน้ำตก ทำให้ไม่สามารถ      | 2. การวัด และคำนวณความสูงของหอ       |
|        | เข้าไปวัดความสูงจากจุดปล่อย     | กระโดด                               |
|        | ได้โดยตรง                       | 3. การสร้างกราฟความสัมพันธ์หาค่าคง   |
|        |                                 | ตัวของเส้นเชือกที่ยึด                |

(5) นำแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาที่เขียนเสร็จเรียบร้อยแล้วเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องระหว่าง จุดประสงค์การเรียนรู้ สาระการเรียนรู้ กิจกรรมการเรียนรู้ และการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ ตลอดจนตรวจสอบความเหมาะสมของภาษาที่ใช้ จากนั้นดำเนินการปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา

(6) นำแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาที่ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษาเรียบร้อยแล้ว เสนอต่อผู้ทรงคุณวุฒิซึ่งมีประสบการณ์สอนทางด้านวิชาฟิสิกส์ จำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วย ผู้ทรงคุณวุฒิด้านวิทยาศาสตร์สาขาวิชาฟิสิกส์ 2 ท่าน และผู้ทรงคุณวุฒิด้านการสอนฟิสิกส์ในโรงเรียน 1 ท่าน (รายนามดังปรากฏในภาคผนวก ก) เพื่อตรวจสอบความ

สอดคล้องระหว่าง จุดประสงค์การเรียนรู้ สาระการเรียนรู้ กิจกรรมการเรียนรู้ และการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ ตลอดจนตรวจสอบความเหมาะสมของภาษาที่ใช้ จากนั้นพิจารณารายการประเมินค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (Index of Item-Objective Congruence: IOC) ในแต่ละประเด็นของแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์ทั้ง 2 แผนจัดการเรียนรู้ พบว่ามีค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิอยู่ระหว่าง 0.67-1.00 จากนั้นดำเนินการปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ

ข้อเสนอแนะในการตรวจสอบแผนจัดการเรียนรู้ของผู้ทรงคุณวุฒิ สรุปได้ดังนี้

1. ด้านสาระการเรียนรู้ ปรับภาษาที่ใช้เขียนเนื้อหาทางฟิสิกส์ให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้นตามคำแนะนำที่ระบุไว้ แก้ไขตัวเขียนสมการทางฟิสิกส์ให้เป็นสากล แก้ไขแผนภาพให้สอดคล้องกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น และแก้ไขคำที่เขียนผิดพลาดตามที่ระบุไว้ให้ถูกต้อง

2. ด้านกิจกรรมการเรียนรู้ ปรับคำถามที่ใช้ในกิจกรรมการเรียนรู้ขั้นตอนค้นหาแนวคิดสำหรับแผนจัดการเรียนรู้จากหน่วยการเรียนรู้เรื่อง สมดุลกล ให้มีความชัดเจนตามคำแนะนำที่ระบุไว้

3. ด้านสื่อการเรียนรู้ แก้ไขสมการทางฟิสิกส์ในใบกิจกรรมให้เป็นภาษาสากล แก้ไขแผนภาพในใบกิจกรรมให้สอดคล้องกับความเป็นจริง

(7) ปรับปรุงแก้ไขแผนจัดการเรียนรู้ตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ จากนั้นนำแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา จำนวน 1 แผน โดยใช้แผนจากหน่วยการเรียนรู้เรื่อง สมดุลกล ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมาย โดยเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/5 ปีการศึกษา 2561 โรงเรียนเดียวกับกลุ่มเป้าหมาย เพื่อตรวจสอบการใช้เวลา ภาษาและความเหมาะสมของกิจกรรม

จากการทดลองใช้แผนจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา ใช้เวลาในการทดลองจำนวน 12 คาบเรียน พบประเด็นที่ต้องปรับปรุงแก้ไข ดังนี้

1. ปรับเวลาที่ใช้ในการดำเนินการจัดการเรียนการสอนในแต่ละครั้งให้เป็น 2 คาบเรียน เนื่องจากนักเรียนมีตารางการเรียนวิชาฟิสิกส์อย่างต่อเนื่องในหนึ่งครั้งได้เพียง 2 คาบเรียน

2. ปรับจำนวนโจทย์ปัญหาในใบกิจกรรมให้น้อยลง เพื่อให้ให้นักเรียนทำใบกิจกรรมท้ายคาบเรียนได้ทันตามเวลา

3. เพิ่มวัสดุอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการสร้างสะพานจำลองสำหรับแผนจัดการเรียนรู้ เรื่อง สมดุลกล เพื่อให้นักเรียนสามารถสร้างได้ตรงตามเป้าหมาย และมีความเท่าเทียมกันในแต่ละกลุ่ม

4. ปรับจำนวนชั่วโมงในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในขั้นตอนการนำเสนอผลการดำเนินงาน เป็นจำนวน 2 คาบเรียน

(8) นำประเด็นที่พบจากการทดลองใช้แผนการจัดการเรียนรู้เสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ และทำการปรับปรุงแก้ไข จากนั้นนำไปใช้จริงกับนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ ซึ่งมีจำนวน 2 ชุด ได้แก่ แบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับก่อนเรียนและหลังเรียน แบบวัดทั้งสองฉบับนี้เป็นแบบวัดคู่ขนาน (Parallel tests) โดยมีขั้นตอนในการพัฒนา ดังต่อไปนี้

(1) ศึกษาเอกสาร ตำรา ที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการคิดเชิงคำนวณในแง่ของ ความหมายและองค์ประกอบ ตามแนวทางของสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2561) เพื่อกำหนดพฤติกรรมบ่งชี้ที่ใช้สร้างแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ ดังตารางที่ 10

**ตารางที่ 10** ตารางแสดงพฤติกรรมบ่งชี้ของความสามารถในการคิดเชิงคำนวณในแต่ละด้าน

| องค์ประกอบ  | พฤติกรรมบ่งชี้   |
|---|--|
| 1. การแยกส่วนประกอบและการย่อปัญหา (Decomposition) | - วิเคราะห์และแบ่งระบบหรือปัญหาออกเป็น ส่วนย่อย<br>- สามารถแก้ปัญหาลงส่วนย่อยได้   |
| 2. การหารูปแบบ (Pattern Recognition)              | - ระบุรูปแบบของระบบหรือรูปแบบของวิธีการ แก้ปัญหาที่มีความเหมือนหรือสอดคล้องกัน<br>- ระบุแนวโน้มคำตอบโดยสังเกตรูปแบบของ ระบบหรือวิธีการแก้ปัญหา |
| 3. การคิดเชิงนามธรรม (Abstraction)                | - เขียนแผนภาพ สัญลักษณ์ ที่เป็นตัวแทน สถานการณ์หรือปัญหา<br>- ระบุส่วนสำคัญของปัญหา โดยคัดกรองสิ่งที่ไม่ เกี่ยวข้องออกได้อย่างชัดเจน           |
| 4. การออกแบบขั้นตอนวิธี (Algorithms)              | - ระบุหรือจัดเรียงขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหา<br>- สามารถออกแบบ สร้าง และเขียนขั้นตอนใน การบรรลุลงานหรือการแก้ไขปัญหาได้                            |

(2) สร้างแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณตามลักษณะที่กำหนดไว้ เป็นแบบวัดประเภทอัตนัย โดยแบบวัดเป็นสถานการณ์ที่ครอบคลุมการใช้ความสามารถในการคิดเชิงคำนวณทุกองค์ประกอบ มีจำนวน 3 สถานการณ์ ในแต่ละสถานการณ์ประกอบด้วย 4 ข้อคำถาม ที่ใช้วัดแต่ละองค์ประกอบของความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ แสดงดังตารางที่ 11 รวมจำนวนข้อคำถามในแบบวัดทั้งสิ้น 12 ข้อคำถาม และกำหนดเวลาในการทำแบบวัด 60 นาที

(3) สร้างเกณฑ์การให้คะแนนในแต่ละข้อคำถามตามแนวทางของ Rodriguez (2015) คือ เกณฑ์การให้คะแนนแบบรูบริค โดยมีการให้คะแนนตั้งแต่ 1-3 คะแนน ตามเกณฑ์รูบริครายข้อคำถาม (แสดงตัวอย่างการให้คะแนนรายข้อคำถามดังภาคผนวก ข) และหากไม่เขียนตอบได้ 0 คะแนน โดยมีสัดส่วนคะแนนและจำนวนข้อคำถามในแต่ละสถานการณ์ จำแนกตามองค์ประกอบแสดงดังตารางที่ 11

**ตารางที่ 11** สัดส่วนคะแนน ข้อคำถาม จำแนกตามองค์ประกอบความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ

| องค์ประกอบ                               | ข้อคำถามในแต่ละสถานการณ์ |               |                    |               |                    |               |
|--|--------------------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|
|  | สถานการณ์<br>ที่ 1       | คะแนน<br>เต็ม | สถานการณ์<br>ที่ 2 | คะแนน<br>เต็ม | สถานการณ์<br>ที่ 3 | คะแนน<br>เต็ม |
| การแยกส่วนประกอบ<br>และการย่อปัญหา       | ข้อที่ 1                 | 3             | ข้อที่ 5           | 3             | ข้อที่ 9           | 3             |
| การหารูปแบบ                              | ข้อที่ 2                 | 3             | ข้อที่ 6           | 3             | ข้อที่ 10          | 3             |
| การคิดเชิงนามธรรม                        | ข้อที่ 3                 | 3             | ข้อที่ 7           | 3             | ข้อที่ 11          | 3             |
| การออกแบบขั้นตอนวิธี                     | ข้อที่ 4                 | 3             | ข้อที่ 8           | 3             | ข้อที่ 12          | 3             |
| รวมคะแนนจาก 12 ข้อคำถาม ได้เป็น 36 คะแนน |                          |               |                    |               |                    |               |

(4) กำหนดเกณฑ์การประเมินระดับความสามารถในการคิดเชิงคำนวณตามเกณฑ์ระดับความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ 6 ระดับ ของ Ling et al. (2018) โดยผู้วิจัยแปลความหมายของแต่ละระดับความสามารถ แสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 เกณฑ์ช่วงคะแนนร้อยละและระดับความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ

| ช่วงคะแนนร้อยละที่ได้          | ระดับความสามารถ | ความหมาย    |
|--------------------------------|-----------------|-------------|
| มีคะแนนตั้งแต่ร้อยละ 81 ขึ้นไป | 6               | ดีมาก       |
| มีคะแนนระหว่างร้อยละ 65-80     | 5               | ดี          |
| มีคะแนนระหว่างร้อยละ 49-64     | 4               | ค่อนข้างดี  |
| มีคะแนนระหว่างร้อยละ 33-48     | 3               | พอใช้       |
| มีคะแนนระหว่างร้อยละ 17-32     | 2               | ค่อนข้างต่ำ |
| มีคะแนนต่ำกว่าร้อยละ 16        | 1               | ปรับปรุง    |

(4) นำแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับก่อนเรียน รวมทั้งเกณฑ์การให้คะแนนที่สร้างขึ้นเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เพื่อทำการตรวจสอบความสอดคล้อง ความถูกต้องเหมาะสมของข้อคำถาม พฤติกรรมบ่งชี้และการใช้ภาษา จากนั้นทำการปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(5) นำแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับก่อนเรียน รวมทั้งเกณฑ์การให้คะแนนที่ได้แก้ไขตามข้อเสนอแนะของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เสนอต่อผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญในด้านการคิดเชิงคำนวณ จำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วย ผู้ทรงคุณวุฒิในด้านวิทยาการคำนวณ 2 ท่าน และผู้ทรงคุณวุฒิด้านวิทยาศาสตร์ 1 ท่าน (รายนามดังปรากฏในภาคผนวก ก) เพื่อตรวจสอบค่าดัชนีความตรง (Index of Item-Objective Congruence: IOC) ของข้อคำถามต่อความสอดคล้องของพฤติกรรมที่ต้องการวัด และตรวจสอบลักษณะการใช้คำถามและความถูกต้องเหมาะสมของภาษา จากนั้นพิจารณารายการประเมินค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิ (IOC) ในแต่ละข้อ พบว่ามีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.33-1.00 และทำการปรับปรุงแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับก่อนเรียนข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ

ข้อเสนอแนะในการตรวจสอบแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับก่อนเรียนของผู้ทรงคุณวุฒิ สรุปได้ดังนี้

1. ควรปรับจำนวนข้อคำถามให้น้อยลงหรือเพิ่มเวลาในการทำแบบวัดให้มากขึ้น
2. ปรับการเขียนสถานการณ์ที่ 1 ให้ชัดเจน เพิ่มรายละเอียดของสถานการณ์ตามที่ระบุไว้ และแยกประเด็นการเดินทางในสถานการณ์กับเวลาออกจากกันให้ชัดเจน ในข้อคำถามที่ 1



3. ปรับแก้ข้อคำถามที่ 2 ให้สอดคล้องกับพฤติกรรมบ่งชี้ตามที่ระบุไว้
4. ปรับปรุงภาษาที่ใช้ในข้อคำถามที่ 4 ให้ชัดเจนมากขึ้น ตามคำแนะนำที่ระบุไว้
5. ปรับปรุงภาษาที่ใช้ในข้อคำถามที่ 9 ให้กระชับขึ้น เนื่องจากคำถามยาวจนเกินไป
6. ปรับรูปภาพในข้อคำถามที่ 10 ให้เหมาะสมกับระดับนักเรียน และปรับให้มีรายละเอียดด้านคณิตศาสตร์ในเรื่องเรขาคณิตให้น้อยลง

7. ปรับเกณฑ์การให้คะแนนตามข้อคำถามที่ทำการแก้ไขให้สอดคล้องกัน

(6) นำข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิมาปรับปรุงแก้ไขแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับก่อนเรียน และเกณฑ์การให้คะแนนที่สร้างขึ้น

(7) นำแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับก่อนเรียนที่ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิเรียบร้อยแล้วไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมาย เพื่อตรวจสอบคุณภาพแบบวัดรายข้อในด้านค่าความยาก ค่าอำนาจจำแนก พบว่า มีค่าความยากอยู่ระหว่าง 0.43-0.74 ค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.20-0.55 และมีค่าความเที่ยงเท่ากับ 0.76

สรุปประเด็นที่ต้องปรับปรุงหลังจากทดลองใช้แบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับหลังเรียนกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/5 จำนวน 35 คน ได้ว่า ควรเพิ่มเวลาในการทำแบบวัดให้มากขึ้น โดยปรับเวลาในการทำแบบวัดทั้งฉบับเป็น 90 นาที จึงจะส่งผลให้นักเรียนทำแบบวัดได้อย่างมีประสิทธิภาพและทันเวลา แก้ไขภาษาที่กำกวมในแต่ละข้อคำถามให้ชัดเจน และเพิ่มคำชี้แจงในการตอบคำถาม

(8) นำแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับก่อนเรียนที่ผ่านการทดลองใช้แล้วมาตรวจสอบความเป็นปรนัย พิจารณาจากค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมิน (Rater Agreement Index; RAI) โดยการตรวจประเมินระหว่างผู้ทรงคุณวุฒิด้านวิทยาการคำนวณ 1 ท่านและผู้วิจัย ผลการตรวจสอบความเป็นปรนัยพบว่า มีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมินอยู่ระหว่าง 0.74-1.00

(9) นำแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับหลังเรียน รวมทั้งเกณฑ์การให้คะแนนที่สร้างขึ้นเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เพื่อทำการตรวจสอบความสอดคล้อง ความ

ถูกต้องเหมาะสมของข้อความ พฤติกรรมบ่งชี้และการใช้ภาษา จากนั้นทำการปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(10) นำแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับหลังเรียน รวมทั้งเกณฑ์การให้คะแนนที่ได้แก้ไขตามข้อเสนอแนะของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เสนอต่อผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อตรวจสอบค่าดัชนีความตรง (IOC) ของข้อคำถามต่อความสอดคล้องของพฤติกรรมที่ต้องการวัด และตรวจสอบลักษณะการใช้คำถามและความถูกต้องเหมาะสมของภาษา จากนั้นพิจารณารายการประเมินค่าดัชนีความสอดคล้องของผู้ทรงคุณวุฒิในแต่ละข้อ พบว่ามีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.33-1.00 และทำการปรับปรุงแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับหลังเรียน ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ

ข้อเสนอแนะในการตรวจสอบแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับหลังเรียนของผู้ทรงคุณวุฒิ สรุปได้ดังนี้

1. ปรับเวลาในการทำแบบวัดทั้งหมดให้มากขึ้น
2. ปรับการเขียนสถานการณ์ที่ 1 ให้ชัดเจน เพิ่มรายละเอียดของสถานการณ์ตามที่ระบุไว้ และแยกประเด็นการเดินทางในสถานการณ์กับเวลาออกจากกันให้ชัดเจน ในข้อคำถามที่ 1
3. ปรับแก้ข้อคำถามที่ 2 ให้สอดคล้องกับพฤติกรรมบ่งชี้ตามที่ระบุไว้
4. ปรับปรุงภาษาที่ใช้ในข้อคำถามที่ 4 ให้ชัดเจนมากขึ้น ตามคำแนะนำที่ระบุไว้
5. ปรับปรุงภาษาที่ใช้ในข้อคำถามที่ 5 ให้ชัดเจนมากขึ้น ตามคำแนะนำที่ระบุไว้
6. ปรับเกณฑ์การให้คะแนนตามข้อคำถามที่ทำการแก้ไขให้สอดคล้องกัน

(11) นำข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิมาปรับปรุงแก้ไขแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับหลังเรียน และเกณฑ์การให้คะแนนที่สร้างขึ้น

(12) นำแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับหลังเรียนที่ปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิเรียบร้อยแล้วไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมาย เพื่อตรวจสอบคุณภาพแบบวัดรายข้อในด้านค่าความยาก ค่าอำนาจจำแนก พบว่า มีค่าความยากอยู่ระหว่าง 0.44-0.80 มีค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.21-0.49 และมีค่าความเที่ยงเท่ากับ 0.71

ประเด็นที่ต้องปรับปรุงหลังจากทดลองใช้แบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับหลังเรียนกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4/5 จำนวน 35 คน คือ ควรเพิ่มเวลาในการทำแบบวัดให้มากขึ้น โดยปรับเวลาในการทำแบบวัดทั้งฉบับเป็น 90 นาที แก้ไขภาษาที่กำกวมในแต่ละข้อคำถามให้ชัดเจน และเพิ่มคำชี้แจงในการตอบคำถาม

(13) นำแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับหลังเรียนที่ผ่านการทดลองใช้แล้ว มาตรวจสอบความเป็นปรนัย พิจารณาจากค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมิน (Rater Agreement Index; RAI) โดยการตรวจประเมินระหว่างผู้ทรงคุณวุฒิด้านวิทยาการคำนวณ 1 ท่านและผู้วิจัย ผลการตรวจสอบความเป็นปรนัยพบว่า มีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมินอยู่ระหว่าง 0.74-1.00

(14) ตรวจสอบความเที่ยงแบบความเท่าเทียมกันของแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณทั้งฉบับก่อนเรียนและหลังเรียน (ตรวจสอบความเป็นคู่ขนาน) โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient) มีค่าเท่ากับ 0.93

(15) นำแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณที่ปรับแก้ไขและตรวจสอบคุณภาพแล้วเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์อีกครั้ง จากนั้นจึงนำไปใช้จริงกับกลุ่มเป้าหมายเพื่อเก็บข้อมูลก่อนเรียนและหลังเรียน

#### 4. การดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยดำเนินการทดลองสอนตามแผนจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์ หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง สมดุลกล และงานและพลังงาน และเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

##### 4.1 การเตรียมนักเรียนและเก็บรวบรวมข้อมูลก่อนดำเนินการทดลอง

1) เตรียมความพร้อมนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง โดยดำเนินการแนะนำหน่วยการเรียนรู้เรื่อง สมดุลกล และงานและพลังงาน ชี้แจงจุดประสงค์ และวิธีการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์

2) ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลก่อนการจัดการเรียนรู้กับนักเรียนกลุ่มเป้าหมายโดยทดสอบด้วยแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับก่อนเรียนกับนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย ใช้เวลาในการทำแบบวัด 90 นาที

#### 4.2 การดำเนินการทดลอง

ดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์ ด้วยแผนจัดการเรียนรู้รายหน่วยจำนวน 2 แผน ได้แก่ หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง สมดุลกล และงานและพลังงาน เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 4 คาบเรียน รวมทั้งสิ้น 24 คาบเรียน คาบเรียนละ 50 นาที โดยทดลองตั้งแต่วันที่ 5 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561 ถึงวันที่ 17 ธันวาคม พ.ศ. 2561

#### 4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูลหลังการทดลอง

เมื่อดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามแผนจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์ หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง สมดุลกล และงานและพลังงาน ครบตามกำหนดแล้ว จึงดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลหลังการทดลองของนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย โดยการทดสอบด้วยแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับหลังเรียน ซึ่งเป็นแบบวัดคู่ขนาน ใช้เวลาในการทำแบบวัด 90 นาที

### 5. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ วิเคราะห์คะแนนความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย ดังนี้

5.1 คำนวณคะแนนเฉลี่ย คะแนนร้อยละเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (*SD*) ของคะแนนความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของกลุ่มเป้าหมายในแต่ละองค์ประกอบและภาพรวมของกลุ่มเป้าหมายหลังการทดลอง จากแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ และวิเคราะห์ระดับความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของกลุ่มเป้าหมาย โดยใช้เกณฑ์ระดับความสามารถดังตารางที่ 12

5.2 ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของคะแนนความสามารถในการคิดเชิงคำนวณกับเกณฑ์คะแนนร้อยละ 64 (คะแนน 23.04) เนื่องจากเป็นช่วงคะแนนที่จัดอยู่ในระดับความสามารถระดับดี โดยทำการทดสอบค่าเฉลี่ยคะแนนจากแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของกลุ่มเป้าหมาย ด้วยสถิติทดสอบที่เทียบกับคะแนนตามเกณฑ์ที่กำหนด (One sample t-test)

5.3 ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคะแนนในแต่ละองค์ประกอบของความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของกลุ่มเป้าหมายจากแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน แต่ละองค์ประกอบมีคะแนนเต็มฉบับละ 9 คะแนน โดยการทดสอบค่าเฉลี่ยของ

กลุ่มเป้าหมายที่ไม่เป็นอิสระต่อกันด้วยสถิติทดสอบที (Dependent sample t-test) กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

5.4 ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคะแนนความสามารถในการคิดเชิงคำนวณภาพรวมของกลุ่มเป้าหมายจากแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนที่มีคะแนนเต็มฉบับละ 36 คะแนน โดยการทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มเป้าหมายที่ไม่เป็นอิสระต่อกันด้วยสถิติทดสอบที (Dependent sample t-test) กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05



## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัย เรื่อง ผลการใช้แนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์ที่มีต่อความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับก่อนเรียนและฉบับหลังเรียน

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย แบ่งออกเป็น 2 ประเด็น ได้แก่ (1) การศึกษาระดับความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์ และ (2) การเปรียบเทียบความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนระหว่างก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 1. การศึกษาระดับความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์

การศึกษาระดับความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย แสดงผลการวิเคราะห์ระดับความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย ดังตารางที่ 13 และ 14

**ตารางที่ 13** ค่าสูงสุด (Max) ค่าต่ำสุด (Min) ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) ค่าเฉลี่ยร้อยละ ( $\bar{X}$  ร้อยละ) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $SD$ ) และระดับของความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียนของนักเรียน ( $n=34$ )

| องค์ประกอบ                         | คะแนน |     |     | ค่าสถิติ  |      |                  | ระดับ |
|------------------------------------|-------|-----|-----|-----------|------|------------------|-------|
|                                    | เต็ม  | Max | Min | $\bar{X}$ | $SD$ | $\bar{X}$ ร้อยละ |       |
| การแยกส่วนประกอบและ<br>การย่อปัญหา | 9     | 9   | 3   | 6.88      | 1.41 | 76.47            | ดี    |
| การหารูปแบบ                        | 9     | 9   | 3   | 7.00      | 1.64 | 77.78            | ดี    |
| การคิดเชิงนามธรรม                  | 9     | 9   | 4   | 6.32      | 1.41 | 70.26            | ดี    |
| การออกแบบขั้นตอนวิธี               | 9     | 9   | 2   | 5.94      | 1.64 | 66.01            | ดี    |
| ความสามารถใน<br>การคิดเชิงคำนวณ    | 36    | 33  | 12  | 26.15     | 4.99 | 72.63            | ดี    |

จากตารางที่ 13 พบว่า หลังจากนักเรียนกลุ่มเป้าหมายได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์ มีคะแนนเฉลี่ยร้อยละของความสามารถในการคิดเชิงคำนวณอยู่ที่ร้อยละ 72.63 ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ระดับดี

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์แยกองค์ประกอบ พบว่า องค์ประกอบด้านการหารูปแบบมีค่าเฉลี่ยร้อยละสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 77.78 รองลงมาคือ องค์ประกอบด้านการแยกส่วนประกอบและการย่อปัญหา องค์ประกอบด้านการคิดเชิงนามธรรม และองค์ประกอบด้านการออกแบบขั้นตอนวิธี มีค่าเฉลี่ยร้อยละเท่ากับ 76.47 70.26 และ 66.01 ตามลำดับ

**ตารางที่ 14** ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $SD$ ) และค่าสถิติที ( $t$ ) ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคะแนนความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียนกับเกณฑ์ระดับความสามารถในระดับดี โดยกำหนดช่วงคะแนนที่มากกว่าร้อยละ 64 (คะแนน 23.04)

| ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) | ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $SD$ ) | ค่าความน่าจะเป็น ( $p$ ) | ค่าสถิติที ( $t$ ) |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------|
| 26.15                   | 4.99                          | 0.00                     | 3.58*              |

\* $p < .05$

จากตารางที่ 14 พบว่า นักเรียนกลุ่มเป้าหมายมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียนเท่ากับ 26.15 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 72.63 เมื่อวิเคราะห์ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มเป้าหมายเดี่ยวด้วยสถิติทดสอบที่เทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด (One sample t-test) (เกณฑ์ระดับความสามารถในระดับดี) คือ ร้อยละ 64 คิดเป็น 23.04 คะแนน จากคะแนนเต็ม 36 คะแนน พบว่า คะแนนเฉลี่ยความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มเป้าหมายสูงกว่าร้อยละ 64 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ระดับดีขึ้นไป จึงกล่าวได้ว่านักเรียนกลุ่มตัวอย่างที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์มีความสามารถในการคิดเชิงคำนวณอยู่ในระดับดี

## 2. การเปรียบเทียบความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนระหว่างก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์

การเปรียบเทียบความสามารถในการคิดเชิงคำนวณระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย แบ่งผลการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ประเด็น ได้แก่ ผลการเปรียบเทียบในแต่ละองค์ประกอบของความสามารถในการคิดเชิงคำนวณระหว่างก่อนและหลังเรียน และผลการเปรียบเทียบความสามารถในการคิดเชิงคำนวณรวมทุกองค์ประกอบระหว่างก่อนและหลังเรียน

2.1 ผลการเปรียบเทียบในแต่ละองค์ประกอบของความสามารถในการคิดเชิงคำนวณระหว่างก่อนและหลังเรียน ผลการวิเคราะห์ปรากฏดังตารางที่ 15





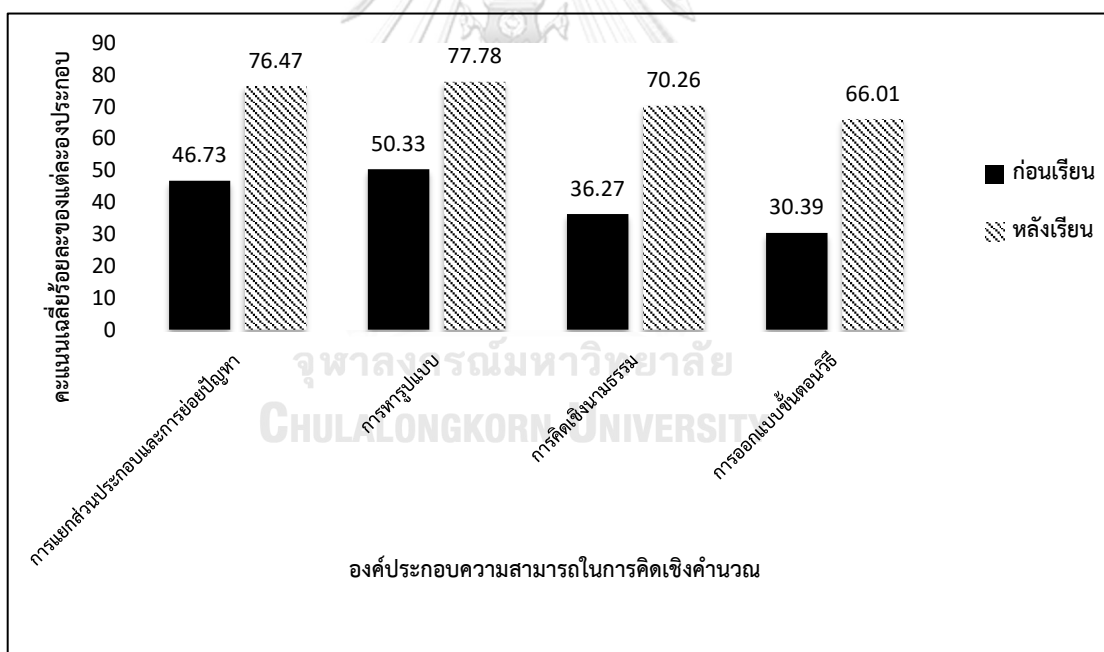
**ตารางที่ 15** ค่าสูงสุด (Max) ค่าต่ำสุด (Min) ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และค่าสถิติที่ (t) ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคะแนนจากแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณก่อนเรียนและหลังเรียนในแต่ละองค์ประกอบของความสามารณ์ในการคิดเชิงคำนวณ (n=34)

| องค์ประกอบ           | การทดสอบ<br>(คะแนนเต็ม 9) | ค่าสูงสุด<br>(Max) | ค่าต่ำสุด<br>(Min) | ค่าเฉลี่ย<br>( $\bar{X}$ ) | ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน<br>(SD) | ค่าความน่าจะเป็น<br>(p) | ค่าสถิติที่<br>(t) |
|----------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------|
| การแยกส่วนประกอบ     | ก่อนเรียน                 | 7                  | 1                  | 4.21                       | 1.85                         | 0.00                    | 6.48*              |
| และการย่อยปัญหา      | หลังเรียน                 | 9                  | 3                  | 6.88                       | 1.41                         |                         |                    |
| การหารูปแบบ          | ก่อนเรียน                 | 9                  | 0                  | 4.53                       | 2.39                         | 0.00                    | 5.21*              |
|                      | หลังเรียน                 | 9                  | 3                  | 7.00                       | 1.64                         |                         |                    |
| การคิดเชิงนามธรรม    | ก่อนเรียน                 | 7                  | 0                  | 3.26                       | 1.70                         | 0.00                    | 10.46*             |
|                      | หลังเรียน                 | 9                  | 4                  | 6.32                       | 1.41                         |                         |                    |
| การออกแบบขั้นตอนวิธี | ก่อนเรียน                 | 6                  | 0                  | 2.74                       | 1.89                         | 0.00                    | 10.55*             |
|                      | หลังเรียน                 | 9                  | 2                  | 5.94                       | 1.64                         |                         |                    |

\* $p < .05$

จากตารางที่ 15 พบว่า ก่อนเรียนนักเรียนกลุ่มเป้าหมายมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแยกส่วนประกอบและการย่อปัญหา การหารูปแบบ การคิดเชิงนามธรรม และการออกแบบขั้นตอนวิธี เท่ากับ 4.21 4.53 3.26 และ 2.74 คะแนน ตามลำดับ จากคะแนนเต็ม 9 คะแนน ในขณะที่หลังเรียนนักเรียนกลุ่มเป้าหมายมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแยกส่วนประกอบและการย่อปัญหา การหารูปแบบ การคิดเชิงนามธรรม และการออกแบบขั้นตอนวิธี เพิ่มขึ้นเป็น 6.88 7.00 6.32 และ 5.94 คะแนน ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ผลการทดสอบคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยสถิติทดสอบทีแบบไม่อิสระ (Dependent sample t-test) พบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์มีคะแนนความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนทุกองค์ประกอบ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลคะแนนเฉลี่ยร้อยละของแต่ละองค์ประกอบของความสามารถในการคิดเชิงคำนวณระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน สามารถแสดงได้ดังแผนภาพที่ 5



แผนภาพที่ 5 แผนภูมิแท่งของคะแนนเฉลี่ยร้อยละของแต่ละองค์ประกอบของความสามารถในการคิดเชิงคำนวณระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

จากแผนภาพที่ 5 นักเรียนกลุ่มเป้าหมายมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละของความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียนเพิ่มขึ้นจากก่อนเรียนทุกองค์ประกอบ โดยที่ผลต่างระหว่างคะแนนเฉลี่ยร้อยละหลังเรียนและก่อนเรียนขององค์ประกอบการแยกส่วนประกอบและการย่อยปัญหา การหารูปแบบ การคิดเชิงนามธรรม และการออกแบบขั้นตอนวิธี คือ 29.74 27.45 33.99 และ 35.62 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวพบว่า หลังจากที่นักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา นักเรียนมีพัฒนาการของความสามารถในการคิดเชิงคำนวณในองค์ประกอบการออกแบบขั้นตอนวิธีเพิ่มขึ้นสูงที่สุด รองลงมาคือ การคิดเชิงนามธรรม การแยกส่วนประกอบและการย่อยปัญหา และการหารูปแบบ ตามลำดับ

2.2 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการคิดเชิงคำนวณรวมทุกองค์ประกอบของนักเรียนกลุ่มตัวอย่างระหว่างก่อนและหลังเรียน ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 16

**ตารางที่ 16** ค่าสูงสุด (Max) ค่าต่ำสุด (Min) ค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ ) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $SD$ ) และค่าสถิติที ( $t$ ) ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคะแนนจากแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณก่อนเรียนและหลังเรียน รวมทุกองค์ประกอบ ( $n=34$ )

| การทดสอบ<br>(คะแนนเต็ม 36) | ค่าสูงสุด<br>(Max) | ค่าต่ำสุด<br>(Min) | ค่าเฉลี่ย<br>( $\bar{x}$ ) | ส่วนเบี่ยงเบน<br>มาตรฐาน<br>( $SD$ ) | ค่าความ<br>น่าจะเป็น<br>( $p$ ) | ค่าสถิติที<br>( $t$ ) |
|----------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| ก่อนเรียน                  | 30                 | 5                  | 14.73                      | 6.68                                 | 0.00                            | 10.28*                |
| หลังเรียน                  | 33                 | 12                 | 26.15                      | 5.06                                 |                                 |                       |

\* $p < .05$

จากตารางที่ 16 พบว่า นักเรียนกลุ่มตัวอย่างมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการคิดเชิงคำนวณวิธีก่อนเรียนเท่ากับ 14.73 คะแนน จากคะแนนเต็ม 36 คะแนน และนักเรียนกลุ่มตัวอย่างมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียนเท่ากับ 26.15 คะแนน

เมื่อวิเคราะห์ผลการทดสอบคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยสถิติทดสอบทีแบบไม่อิสระ (Dependent sample t-test) พบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์มีความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบการทดลองเบื้องต้น (Pre-Experiment Research) มีรูปแบบการวิจัยแบบศึกษากลุ่มเดียววัดสองครั้ง (One Group Pretest-Posttest Design) มีวัตถุประสงค์ของการวิจัย 2 ข้อ ได้แก่ (1) ศึกษาความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภายหลังการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์ และ (2) เปรียบเทียบความสามารถในการคิดเชิงคำนวณระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์ กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการศึกษาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โครงการห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ ปีการศึกษา 2561 จำนวน 34 คน ที่ศึกษาในโรงเรียนประเภทชายล้วน ขนาดใหญ่พิเศษ แห่งหนึ่งในสังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยม เขต 1 กรุงเทพมหานคร ใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้ 24 คาบเรียน คาบเรียนละ 50 นาที เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ จัดการเรียนรู้โดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์ หน่วยการเรียนรู้เรื่อง สมดุลกล และงานและพลังงาน มีการเก็บรวบรวมข้อมูลความสามารถในการคิดเชิงคำนวณด้วยแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับก่อนเรียนและฉบับหลังเรียน วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่าเฉลี่ยร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สถิติทดสอบที่เทียบกับเกณฑ์ (One sample t-test) และสถิติทดสอบที่แบบไม่อิสระ (Dependent sample t-test)

#### สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนกลุ่มเป้าหมาย สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์มีความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียนอยู่ในระดับดี
2. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์มีความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

## อภิปรายผล

ผลการวิจัยครั้งนี้ พบว่า (1) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์มีความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียนอยู่ในระดับดี เป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยข้อที่ 1 และเมื่อพิจารณาแต่ละองค์ประกอบ ได้แก่ การแยกส่วนประกอบและย่อยปัญหา การหารูปแบบ การคิดเชิงนามธรรม และการออกแบบขั้นตอนวิธี พบว่า นักเรียนมีความสามารถอยู่ในระดับดีทุกองค์ประกอบ และ (2) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์มีความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 2

การที่นักเรียนมีความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียนอยู่ในระดับดี ทุกองค์ประกอบ เป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 1 สามารถอภิปรายได้ด้วยเหตุผลดังนี้

เหตุผลประการที่ 1 การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษามีลักษณะสำคัญ คือ มุ่งเน้นให้นักเรียนเชื่อมโยงความรู้ไปแก้ปัญหาในชีวิตจริง เรียนรู้และแก้ปัญหาสถานการณ์ต่าง ๆ ด้วยตนเอง ภายใต้ความท้าทายโดยมีการวางแผนออกแบบอย่างเป็นขั้นตอน สอดคล้องกับทฤษฎีความรู้สร้างสรรค์ (constructionism) ว่าด้วยเรื่องของผู้เรียนจะสามารถสร้างความรู้ด้วยตนเองได้ดี หากมีโอกาสเรียนรู้ผ่านการออกแบบ โดยการนำความรู้ที่ไปสร้างสรรค์ขึ้นงานโดยอาศัยสื่อ เทคโนโลยี วัสดุ อุปกรณ์ที่เหมาะสมเรียนรู้ผ่านการออกแบบ ทั้งนี้การนำสถานการณ์ปัญหาที่เชื่อมโยงกับบริบทในชีวิตจริงมาใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนได้คิดออกแบบวิธีการแก้ปัญหาหรือวิธีการสร้างชิ้นงาน สามารถส่งเสริมความสามารถในการคิดเชิงคำนวณให้กับนักเรียนได้ ดังผลการศึกษาของ Palts and Pedaste (2015) ที่ได้ระบุว่า ลักษณะของการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการคิดเชิงคำนวณควรเริ่มจากการกำหนดหรือนิยามปัญหา จากนั้นจึงหาวิธีการแก้ปัญหา วางแผน ออกแบบ และเลือกวิธีแก้ปัญหา ดังนั้นลักษณะการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาจึงสามารถพัฒนาความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนได้ สอดคล้องกับ ศุภวัฒน์ ทรัพย์เกิด (2559) ที่ระบุว่า การฝึกฝนความสามารถในการคิดเชิงคำนวณสามารถใช้การจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษา เนื่องจากอยู่บนพื้นฐานของการใช้ปัญหาเป็นฐาน มีการกำหนดสถานการณ์ปัญหาเพื่อท้าทายการคิดและสร้างความสนใจให้กับนักเรียน นำไปสู่การออกแบบวิธีการแก้ปัญหา นอกจากนี้ อาทิตย์ ฉิมกุล (2559) ได้ระบุว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาเอื้อให้นักเรียนได้คิดออกแบบชิ้นงาน ออกแบบวิธีการแก้ปัญหาที่อิงกับบริบทชีวิตจริง จึงสามารถส่งเสริมให้นักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหา ซึ่งเป็น

ความสามารถที่มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ (Wing, 2006; Aho, 2012; GonZalez et al., 2016)

เหตุผลประการที่ 2 เนื่องจากกลุ่มเป้าหมายในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักเรียนชายล้วน และเป็นนักเรียนโครงการห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ จึงมีความมุ่งมั่นและใฝ่รู้ในกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาอย่างเต็มที่ และเนื่องจากลักษณะและบุคลิกของนักเรียนชายนั้นจะมีความสนใจ และมีความถนัดในการเรียนวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ (Litzler, Samuelson, & Lorah, 2014) สอดคล้องกับสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2562) ที่ได้ระบุว่า นักเรียนชายนั้นให้ความสนใจในการเรียนวิทยาศาสตร์ ได้รับความสามารถของตนเองทางวิทยาศาสตร์ได้เป็นอย่างดี สนุกเพลิดเพลินในการเรียนวิทยาศาสตร์ และมีจุดแข็งทางด้านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ Espino and Gonzalez (2015) ที่พบว่านักเรียนชายมีความสนใจและความถนัดในด้านการเรียนวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์มากกว่านักเรียนหญิง ส่งผลให้นักเรียนชายมีความสามารถในการคิดเชิงคำนวณสูงกว่านักเรียนหญิง กล่าวได้ว่านักเรียนชายนั้นมีความถนัดในการเรียนสะเต็มศึกษา ซึ่งทำให้นักเรียนได้ฝึกฝนความสามารถในการคิดเชิงคำนวณผ่านการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาอย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้มีความสามารถในการคิดเชิงคำนวณอยู่ในระดับดี

การที่นักเรียนมีความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน เป็นไปตามสมมติฐานของการวิจัยข้อที่ 2 สามารถอภิปรายได้ด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้

เหตุผลประการที่ 1 การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในครั้งนี้มีจุดเด่นในเรื่องของการนำกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมาใช้เป็นขั้นตอนการสอนซึ่งมุ่งเน้นให้นักเรียนได้มีการออกแบบชิ้นงานโดยอาศัยความรู้ที่ศึกษาค้นคว้ามาก่อนและทำการทดสอบเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง ทั้งนี้ขั้นตอนการสอนด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในแต่ละขั้นช่วยส่งเสริมและฝึกฝนให้นักเรียนได้มีโอกาสใช้ความสามารถในการคิดเชิงคำนวณในแต่ละองค์ประกอบอย่างเห็นได้ชัด ดังที่ศุภวัฒน์ ทรัพย์เกิด (2559) พบว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมสามารถพัฒนาความสามารถในการคิดเชิงคำนวณของนักเรียนได้ โดยเมื่อพิจารณาข้อมูลคะแนนเฉลี่ยร้อยละของแต่ละองค์ประกอบของความสามารถในการคิดเชิงคำนวณระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน ดังแผนภาพที่ 5 นักเรียนมีพัฒนาการสูงขึ้นทุกองค์ประกอบ แต่

ข้อสังเกตที่เห็นได้ชัด คือ นักเรียนมีพัฒนาการด้านการคิดเชิงนามธรรมและการออกแบบขั้นตอนวิธี สูงที่สุด

การที่นักเรียนมีผลต่างคะแนนความสามารถในการคิดเชิงคำนวณด้านการคิดเชิงนามธรรม และการออกแบบขั้นตอนวิธีระหว่างหลังเรียนและก่อนเรียนสูงที่สุด เนื่องมาจากการจัดกิจกรรมการสอนในขั้นตอนการออกแบบและสร้าง (Plan and Develop) ที่มุ่งเน้นให้นักเรียนได้ฝึกฝนความสามารถในการคิดเชิงคำนวณโดยเฉพาะอย่างยิ่งในองค์ประกอบด้านการคิดเชิงนามธรรม และการออกแบบขั้นตอนวิธี ทั้งนี้การพัฒนาความสามารถด้านการคิดเชิงนามธรรม สังเกตได้จากนักเรียนทุกกลุ่มใช้การเขียนแบบร่างความคิดเพื่อแสดงรายละเอียดสำคัญของสถานการณ์ปัญหาซึ่งเป็นการฝึกฝนความสามารถด้านการคิดเชิงนามธรรมอย่างเห็นได้ชัด แสดงตัวอย่างการเขียนแบบร่างความคิดของนักเรียนดังแผนภาพที่ 7 และ 11 ซึ่งเป็นผลงานในกิจกรรมการเรียนรู้ขั้นตอนการออกแบบและสร้างของนักเรียนกลุ่มเดียวกัน โดยนักเรียนเขียนแบบร่างความคิดของสะพานจำลองซึ่งเป็นการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 1 (แผนภาพที่ 7) และนักเรียนเขียนแบบร่างความคิดของบันจี้จัมป์จำลองซึ่งเป็นการจัดการเรียนรู้ครั้งที่ 2 (แผนภาพที่ 11) สังเกตได้ว่านักเรียนถูกฝึกฝนให้ระบุรายละเอียดสำคัญของชิ้นงานตามเงื่อนไขของสถานการณ์ปัญหา ทั้งนี้นักเรียนระบุรายละเอียดสำคัญได้ชัดเจนมากขึ้นเมื่อจัดการเรียนรู้ในครั้งที่ 2 สังเกตจากการระบุตัวเลขในการออกแบบบันจี้จัมป์จำลองเพื่อกำหนดรายละเอียดของชิ้นงานให้ชัดเจนก่อนลงมือสร้าง แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีการพัฒนาความสามารถด้านการคิดเชิงนามธรรมเมื่อได้ฝึกฝนการเขียนแบบร่างความคิดของแบบจำลองในกิจกรรมการเรียนรู้ในขั้นการออกแบบและสร้าง กล่าวได้ว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมสามารถพัฒนาความสามารถด้านการคิดเชิงนามธรรมของนักเรียนอย่างเห็นได้ชัด ดังงานวิจัยของ สุกัญญา เชื้อหลุบโพธิ์ และ ธิติยา บงกชเพชร (2560) ที่พบว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทำให้นักเรียนเห็นความสำคัญของการร่างภาพความคิดของแบบจำลองการหมุนของวัตถุ ได้แก่ ลูกข่าง ล้อรถ ม้าหมุน และนักเรียนสามารถระบุรายละเอียดขนาดและประเภทของวัตถุที่ใช้ได้อย่างครบถ้วนซึ่งสะท้อนถึงความสามารถด้านการคิดเชิงนามธรรมของนักเรียน สำหรับการพัฒนาความสามารถด้านการออกแบบขั้นตอนวิธีของนักเรียน สังเกตได้จากการที่นักเรียนสร้างชิ้นงานอย่างเป็นลำดับขั้นตอน มีการวางแผนกำหนดสิ่งที่จะต้องปฏิบัติก่อนและหลัง ดังเช่น สถานการณ์ปัญหาในแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง งานและพลังงาน โดยที่นักเรียนจะต้องสร้างบันจี้จัมป์จำลองโดยประยุกต์ใช้กฎการอนุรักษ์พลังงานกล จากการสังเกตพบว่า นักเรียนเลือกที่จะหาค่าคงตัวของเส้นเชือกก่อน เพื่อนำไปคำนวณระยะยืดของเส้น

เชื่อกจากกฎการอนุรักษ์พลังงานกล จากนั้นจึงนำระยะยี่ดที่คำนวณได้ไปกำหนดความยาวเชือก และทำการทดสอบและปรับปรุงความยาวเชือกที่เหมาะสม แสดงให้เห็นว่านักเรียนได้ฝึกฝนการสร้างชิ้นงานอย่างเป็นลำดับขั้นตอน กล่าวได้ว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมสามารถส่งเสริมความสามารถด้านการออกแบบขั้นตอนวิธีของนักเรียนได้ ดังที่ English and King (2015) ได้ระบุว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาโดยผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทำให้นักเรียนสามารถเขียนลำดับขั้นตอนในการออกแบบชิ้นงาน ตลอดจนแสดงการคำนวณต่าง ๆ เพื่อนำมาสู่การแก้ปัญหา ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถด้านการออกแบบขั้นตอนวิธีของนักเรียน

เหตุผลประการที่ 2 นักเรียนมีความกระตือรือร้นในการทำกิจกรรม สนุกกับการทำกิจกรรมที่ได้ทำหาคำความคิด มีการวางแผนการทำงานเป็นทีมเพื่อให้ผลงานออกมามีประสิทธิภาพ ส่งผลให้นักเรียนได้ฝึกฝนความสามารถในการคิดเชิงคำนวณจากกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในครั้งนี้นอกจากจะให้นักเรียนมุ่งเน้นการแก้ปัญหาตามบริบทชีวิตจริง โดยมีการออกแบบและสร้างชิ้นงานแล้ว ยังมีการตั้งเงื่อนไขการแข่งขันระหว่างทีมอีกด้วย นักเรียนจึงมีความมุ่งมั่น กระตือรือร้น และสนุกกับการทำกิจกรรมตามแนวสะเต็มศึกษาอย่างเต็มที่ สังเกตได้จากการที่ นักเรียนมีการระดมความคิดภายในทีม แบ่งหน้าที่กันเพื่อให้สร้างชิ้นงานออกมาได้ทันตามเวลาที่กำหนด และนักเรียนทุกคนช่วยเหลือทีมอย่างเต็มที่ สังเกตได้จาก ไม่มีนักเรียนคนใดว่างงานหรือไม่มีภาระหน้าที่ ตลอดจนนักเรียนอยากให้ครูจัดกิจกรรมตามแนวสะเต็มศึกษาแบบนี้ในการเรียนภาคการศึกษาถัดไปเนื่องจากได้รับความสนุกสนานไม่เครียดกับการเรียนเนื้อหาเพียงอย่างเดียว ดังงานวิจัยของ นัสรินทร์ ปือชา (2558) ที่พบว่า นักเรียนสนุกกับการการเรียนรู้ที่ได้นำเนื้อหาวิชาไปใช้ในการประดิษฐ์ชิ้นงาน และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Elhadary (2016) ที่พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา โดยที่เพศของนักเรียนไม่มีผลต่อความพึงพอใจในลักษณะของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา นอกจากนี้การที่นักเรียนได้เรียนรู้อย่างอิสระและลงมือปฏิบัติจริง หาแนวทางในการแก้ปัญหาจากสถานการณ์จริง ทำให้ผู้เรียนเกิดความสนใจ มีความสุขและสนุกสนาน และกระตือรือร้นในการเรียน ส่งผลให้นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา (นุรออาซีกิน สาและ ณัฐินี โมพันธ์ และมัยดี แวดราแมคู, 2560; สุรียนต์ คุณารักษ์ ถาดทอง ปานศุภวัชร และอนันต์ ปานศุภวัชร, 2561) แสดงให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาสามารถสร้างความพึงพอใจให้กับ



นักเรียน ทำให้นักเรียนมีความตั้งใจ ให้ความร่วมมือ มีความกระตือรือร้นในการทำกิจกรรม ซึ่งส่งผลต่อเนื่องให้นักเรียนได้มีโอกาสฝึกฝนความสามารถในการคิดเชิงคำนวณจากกระบวนการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาได้อย่างเต็มที่นำมาสู่การพัฒนาความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา

## ข้อเสนอแนะ

### ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้

1. ในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในครั้งนี้ให้นักเรียนสร้างชิ้นงานโดยมีการจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ให้นักเรียนบางส่วน แต่ไม่ได้มีการกำหนดขอบเขตของการใช้วัสดุอุปกรณ์เพิ่มเติม ส่งผลให้เกิดความไม่เท่าเทียมกันในการสร้างชิ้นงานของนักเรียน ดังนั้นครูผู้สอนควรจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์หรือกำหนดให้ใช้วัสดุอุปกรณ์ในการสร้างชิ้นงานเท่าที่จัดเตรียมไว้ให้เหมือนกันทุกกลุ่ม เพื่อที่จะสามารถประเมินความสามารถของนักเรียนได้อย่างเท่าเทียมกัน ทั้งนี้นักเรียนแต่ละกลุ่มอาจเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์แตกต่างกันออกไปแต่ไม่เกินขอบเขตที่ครูจัดเตรียมให้

2. ในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษานี้มีข้อสังเกตที่พบจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในขั้นตอนการออกแบบและสร้าง พบว่า มีนักเรียนบางกลุ่มรีบเร่งสร้างชิ้นงานโดยการลองผิดลองถูกโดยไม่ผ่านการออกแบบวางแผนก่อน ซึ่งจะส่งผลให้นักเรียนไม่ได้ใช้ทักษะและองค์ความรู้ที่เคยศึกษามาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา อีกทั้งอาจส่งผลให้นักเรียนไม่เห็นความสำคัญของการแก้ปัญหาในบริบทชีวิตจริงซึ่งเป็นลักษณะที่สำคัญของแนวสะเต็มศึกษา ดังนั้นครูผู้สอนควรกำหนดและชี้แจงให้นักเรียนสร้างชิ้นงานโดยผ่านการออกแบบทุกครั้ง และคอยสอดส่องดูแลไม่ให้นักเรียนสร้างชิ้นงานด้วยการลองผิดลองถูก

3. ในระหว่างจัดกิจกรรมขั้นการค้นหาแนวคิดมีข้อสังเกตที่พบว่า นักเรียนสามารถยกตัวอย่างสถานการณ์ทางฟิสิกส์ในชีวิตประจำวันที่เคยมีประสบการณ์มาก่อน เชื่อมโยงเข้ากับเนื้อหาวิชาเรียนได้ เช่น การประยุกต์ใช้เครื่องกลประเภทรอกและคานตามหลักสมดุลกลเพื่อช่วยผ่อนแรงในการยกสิ่งของ เป็นต้น ดังนั้นครูผู้สอนอาจทำการตกลงประเด็นการตั้งสถานการณ์ปัญหาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาร่วมกับนักเรียน โดยสำรวจความต้องการของนักเรียนจากประสบการณ์ที่นักเรียนเคยประสบปัญหาต่าง ๆ จากนั้นให้นักเรียนลงมติเกี่ยวกับปัญหาที่ต้องการแก้ไข ทั้งนี้เพื่อเป็นการสร้างความสนใจให้กับนักเรียนและทำให้เกิดแรงกระตุ้นในการแก้ปัญหานั้น ๆ

โดยใช้องค์ความรู้ในบทเรียนเรื่องที่กำลังดำเนินการเรียนการสอนมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาหรือสร้างสรรค์ชิ้นงาน

### ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ในการวิจัยครั้งนี้ พบข้อสังเกตที่นำไปสู่การทำวิจัยครั้งต่อไปดังนี้

1. การประเมินความสามารถในการคิดเชิงคำนวณโดยใช้การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาสามารถประเมินพัฒนาการของความสามารถในการคิดเชิงคำนวณหลังจากจัดการเรียนรู้เสร็จสิ้นในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไปสามารถใช้รูปแบบการวิจัยแบบอนุกรมเวลา (Pretest-Posttest Time Series Design) เพื่อศึกษาพัฒนาการของความสามารถในการคิดเชิงคำนวณเมื่อได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาอย่างละเอียดมากขึ้น

2. งานวิจัยนี้ได้สัมภาษณ์นักเรียนอย่างไม่เป็นทางการ เพิ่มเติมพบว่า นักเรียนสามารถยกตัวอย่างปัญหาทั่วไปในชีวิตประจำวันพร้อมทั้งระบุแนวทางการแก้ปัญหาโดยแสดงออกถึงการใช้ความสามารถในการคิดเชิงคำนวณมาใช้แก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน เช่น การวางแผนการเรียนอย่างเป็นลำดับขั้นตอนเพื่อให้มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สูงขึ้น สะท้อนถึงความสามารถในการออกแบบขั้นตอนวิธี การวิเคราะห์และพิจารณาทางเลือกในกิจกรรมที่ร่วมทำกับเพื่อนซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการแยกส่วนประกอบและการย่อยปัญหา เป็นต้น ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไปอาจเป็นการทำวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการคิดเชิงคำนวณด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา

## บรรณานุกรม

### ภาษาไทย

- นัสรินทร์ ปือชา. (2558). ผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา (STEM Education) ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา ความสามารถในการแก้ปัญหาและความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 (ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต), สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นุรออาซีกิน สาและ ญัฐินี โมพันธุ์ และมัทธิ เวตราแมค. (2560). ผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี ความสามารถในการคิดวิเคราะห์ และความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, 4(1).
- บัญญัติ พูลสวัสดิ์. (2559). เกมบนโปรแกรมเชิงจินตภาพ และแนวคิดเชิงคำนวณอย่างเป็นระบบ Visual programming and computational thinking game. *information science and technology*, 6(2).
- ประสาธน์ เนื่องเฉลิม. (2558). แนวทางการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21 : 21st Century learning in science. วารสารพัฒนาการเรียนการสอน มหาวิทยาลัยรังสิต, 1(9), 136-154.
- พรทิพย์ ศิริภัทรราชย์. (2556). STEM education กับการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21. วารสารนักบริหาร, 33(2), 49-56.
- มนตรี จุฬาวัดนทล. (2556). สะเต็มศึกษาประเทศไทยและทูตสะเต็ม. *นิตยสาร สสวท.*, 42(185), 14-18.
- วิชชาวุธ อุ่นสิม. (2560). ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา รายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง ไฟฟ้าสถิต ที่ส่งเสริมทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 4. เพชรบูรณ์, ประเทศไทย.
- ศุภวัฒน์ ทรัพย์เกิด. (2559). การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เพื่อเสริมสร้างการคิดเชิงประจักษ์ผลด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา วิชาการโปรแกรมและการประยุกต์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนอนุกุลนารี (ครุศาสตรมหาบัณฑิต), สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557). *สะเต็มศึกษา* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: สำนักบริการวิชาการและบริหารทรัพย์สิน สสวท.

- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2559). *โครงการขับเคลื่อนสะเต็มศึกษา ในสถานศึกษา 2,250 โรงเรียน*. สืบค้นจาก <http://www.stemedthailand.org/wp-content/uploads/2016/07/STEM-Policy.pdf>
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2561). *หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี (วิทยาการคำนวณ) ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 (พิมพ์ครั้งที่ 1)*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2562, 1 พฤษภาคม). *เพราะเหตุใดผู้หญิงจึงทำงานด้านวิทยาศาสตร์น้อยกว่าผู้ชาย*. สืบค้นจาก <https://pisathailand.ipst.ac.th/issue-2019-40/>
- สำนักเลขาธิการสภาการศึกษา. (2559). *รายงานการวิจัยเพื่อจัดทำข้อเสนอแนะนโยบายการส่งเสริมการจัดการศึกษาด้านสะเต็มศึกษาของประเทศไทย (รายงานผลการวิจัย)*. กรุงเทพมหานคร: พริกหวานกราฟฟิค.
- สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2560). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (พิมพ์ครั้งที่ 2)*. กรุงเทพมหานคร: ชุมชนุมนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- สำนักงานรัฐมนตรี. (2559, 3 สิงหาคม). *การประชุมชี้แจงนโยบายการ ปฏิรูปการศึกษาให้แก่ข้าราชการส่วนกลาง กระทรวงศึกษาธิการ*. สืบค้นจาก <http://www.moe.go.th/websm/2016/aug/324.html>
- สำนักงานราชบัณฑิตยสภา. (2558). *พจนานุกรมศัพท์ศึกษาศาสตร์ร่วมสมัย (พิมพ์ครั้งที่ 2)*. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานราชบัณฑิตยสภา.
- สินีนาฏ ทาบังกาฬ. (2559). *ครูเด่นประเทศไทยด้านสะเต็มศึกษา การเรียนรู้เพื่อแก้ปัญหา พัฒนานวัตกรรมใหม่ ทำทนายสู่งานอาชีพ*. *นิตยสาร สสวท.*, 45(203), 3-6.
- สุกัญญา เชื้อหลุบโพธิ์ และธิติยา บงกชเพชร. (2560). *การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง การเคลื่อนที่แบบหมุน*. *การนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ เครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 17*. พิษณุโลก, ประเทศไทย.
- สุธีระ ประเสริฐสรรพ. (2559). *ถอดรหัสการสอนสะเต็ม (พิมพ์ครั้งที่ 1)*. สงขลา: นำศิลป์โฆษณา จำกัด.
- สุพรรณิ ชาญประเสริฐ. (2557). *สะเต็มศึกษากับการจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21*. *นิตยสาร สสวท.*, 42(186), 3-5.

- สุริยนต์ คุณารักษ์ ถาดทอง ปานศุภวัชร และอนันต์ ปานศุภวัชร. (2561). การพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ชีวิตกับสิ่งแวดล้อม โดยจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6. *วารสารวิชาการหลักสูตรและการสอน มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร*, 10(27).
- อาทิตย์ ฉิมกุล. (2559). ผลของการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย (ครุศาสตร์มหาบัณฑิต), สาขาวิชาการศึกษาศาสตร์ ภาควิชาหลักสูตรและการสอน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ฮัสซาร์, เจ. (2550). *วิทยาศาสตร์ คือกระบวนการสืบเสาะหาความรู้* [Science as Inquiry] (จรรยา สุจารีกุล, ผู้แปล) กรุงเทพมหานคร: นานมีบุ๊คส์.

#### ภาษาอังกฤษ

- Aho, A. V. (2012). Computation and computational thinking. *The computer journal*, 55(7).
- Barefoot, C. A. S. (2014). *Computational thinking*. Retrieved from <https://barefootcas.org.uk/wpcontent/uploads/2014/10/Computational-thinking-Barefoot-Computing.pdf>
- Bienkowski, M. e. a. (2015). *Assesment design patterns for computational thinking pracetices in secondary computer science: A first look*. Menlo Park, CA: SRI International.
- Brackmann, C. P., Gonzalez, M. R., Robles, G., & Leon, J. M. (2017). Development of computational thinking skills through unplugged activities in primary school. *The 12th workshop in primary and secondary computing education*.
- Burton, E. E. P., Cleary, T. J., & Kitsantas, A. (2018). Computational thinking in the context of science and engineering practices: A self-regulated learning approach. In D. Sampson, D. Ifenthaler, J. M. Spector & P. Isaias (Eds.), *Digital technologies: Sustainable innovations for improving teaching and learning* (pp. 223-240). Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG.

- Code.org. (2015). *Computational thinking*. Retrieved from <https://code.org/curriculum/unplugged>
- CSTA, & ISTE. (2011). *Operational definition of computational thinking for K-12 education*. Retrieved from <http://csta.acm.org/Curriculum/sub/CurrFiles/CompThinkingFlyer.pdf>
- Dolgopolas, V., Jevsikova, T., Savulioniene, L., & Dagiene, V. (2015). On evaluation of computational thinking of software engineering novice students.
- Elhadary, O. (2016). Student satisfaction in STEM: An exploratory study. *Journal of educational research*, 4(2).
- English, L. D., & King, D. T. (2015). STEM learning through engineering design: Fourth-grade students' investigations in aerospace. *International journal of STEM education*, 2(14), 1-18.
- Espino, E. E. E., & Gonzalez, C. S. G. (2015). Influence of gender on computational thinking. *The interacción '15 proceedings of XVI international conference on human computer interaction*.
- Gonzalez, H. B., & Kuenzi, J. J. (2012, August 1). *Science, technology, engineering and mathematics (STEM) education: A primer*. Retrieved from <http://fas.org/sgp/crs/misc/R42642.pdf>
- Gonzalez, M. R., Gonzalez, J. P., & Fernandez, C. J. (2016). Which cognitive abilities underlie computational thinking? criterion validity of the computational thinking test. *Computers in human behavior*. doi:10.1016/j.chb.2016.08.047
- Helfant, E. (2017). *Computational thinking in STEM classroom*. Retrieved from <http://www.stlinatl.com/session/computational-thinking-in-the-stem-classroom/>
- Kim, B., Kim, T., & Kim, J. (2013). Paper-and-pencil programming strategy toward computational thinking for non-majors: Design your solution. *Educational computing research*, 49(4), 437-459.
- Leonard, J., Buss, A., Gamboa, R., Mitchell, M., Fashola, O. S., Hubert, T., & Almughyirah, S. (2016). Using robotics and game design to enhance children's self-efficacy, STEM attitudes, and computational thinking skills. *Science education technology*, 25, 860-876.

- Ling, U. L., Saibin, T. C., Naharu, N., Labadin, J., & Aziz, N. A. (2018). An evaluation tool to measure computational thinking skills: Pilot investigation. *The national academy of managerial staff of culture and arts herald*.
- Litzler, E., Samuelson, C. C., & Lorah, J. A. (2014). Breaking it down: Engineering student STEM confidence at the Intersection of race, ethnicity and gender. *Research in higher education*, 55(8), 810-832.
- Massachusetts Department of Education. (2001). *Science and technology/engineering curriculum framework*. Retrieved from <http://www.doe.mass.edu/frameworks/scitech/2001/standards/strand4.html>
- McKenna, J. (2017, Mar 9). *Computational thinking in STEM classroom*. Retrieved from <https://robomatter.com/blog-ct-in-stem-classroom/>
- Morgan, J. R., Moon, A. M., & Barroso, L. R. (2013). Engineering better projects. In R. M. Capraro, M. M. Capraro & J. R. Morgan (Eds.), *STEM project-based learning an integrated science, technology, engineering and mathematics (STEM) approach* (pp. 29-39). Rotterdam: Sense Publishers, AW.
- Museum of Science Boston. (2009). *Engineering in elementary*. Retrieved from <http://www.eie.org/>
- National Academy of Engineering. (2014). *STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- National Research Council. (2011). *Successful K-12 STEM education: Identifying effective approaches in science, technology, engineering, and mathematics*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- NGSS Lead State. (2013). *Next generation science standards: For state, by state*. Washington, D.C.: National Academies Press.
- Palts, T., & Pedaste, M. (2015). Model of learning computational thinking. *A new culture of learning: Computing and next generations. The IFIP TC3 working conference*.
- Papert, S. (1990). *Constructionism: A new opportunity for elementary science education*. Retrieved from [http://nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD\\_ID=8751190](http://nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=8751190)

- Reeve, E. M. (2015). *Science, technology, engineering & mathematics (STEM) education is here to stay*. Retrieved from <http://www.stemedthailand.org/wp-content/uploads/2015/08/STEM-Education-is-here-to-stay.pdf>
- Rodriguez, B. R. (2015). *Assessing computational thinking in computer science unplugged activities* (Master's thesis), Colorado School of Mines.
- Sadik, O., Leftwich, A. O., & Nardiruzzaman, H. (2016). Computational thinking conceptions and misconceptions: Progression of preservice teacher thinking During Computer Science Lesson Planning. In P. J. Rich & C. B. Hodges (Eds.), *Emerging research, practice, and policy on computational thinking* (pp. 221-238). Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG.
- Selby, C. C. (2015). Relationships: Computational thinking, pedagogy of programming, and bloom's taxonomy. *The workshop in primary and secondary computing education on ZZZ*. New York, United States
- Shahali, E. H. M., Halim, L., Rasul, M. S., Osman, K., & Zulkifeli, M. A. (2016). STEM leaning through engineering design: Impact on middle secondary students' interest towards STEM. *Eurasia, 13*(5).
- Vasquez, J. A., Sneider, C., & Comer, M. (2013). *STEM lesson essentials, grades 3-8 integrating science, technology, engineering, and mathematics*. Portsmouth: Heinemann.
- Weinberg, A. E. (2013). *Computational thinking: An investigation of the existing scholarship and research*. Degree of Doctor of Philosophy, Colorado State University.
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communication of the ACM, 49*(3), 33-35.
- Wing, J. M. (2010, November 17). *Computational thinking: What and why*. Retrieved from <https://www.cs.cmu.edu/link/research-notebook-computational-thinking-what-and-why>
- Yadav, A., Gretter, S., Good, J., & Mclean, T. (2017). Computational thinking in teacher education. In P. J. Rich & C. B. Hodges (Eds.), *Emerging research, practice, and policy on computational thinking* (pp. 205-220). Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG.



Yadav, A., Zhou, N., Mayfield, C., Hambrusch, S., & Korb, J. T. ( 2011). *Introducing computational thinking in education courses. The 42nd ACM technical symposium on computer science education.*







## รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ

ผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้ความกรุณาในการตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีรายนามดังต่อไปนี้

### รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบแผนการจัดการเรียนรู้

- |   |  |
|---|--|
| 1. อาจารย์ ดร.สรณ วิจารย์วรรณลักษณ์         | อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์<br>คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์<br>มหาวิทยาลัย |
| 2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พรเจริญ ฝิโลทัยคำเกิง | อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์<br>คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์<br>มหาวิทยาลัย |
| 3. อาจารย์ ชูชาติ เพ็งอาทิตย์               | อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้<br>วิทยาศาสตร์ โรงเรียนเทพศิรินทร์    |

### รายนามผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ

- |  |  |
|--|--|
| 1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกรี สิ้นธุญโญ               | อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรม<br>คอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์<br>จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  |
| 2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่ร้อยตรี ดร.ชยการ ศิริรัตน์ | อาจารย์ประจำกลุ่มสาระการเรียนรู้การ<br>งานอาชีพและเทคโนโลยี กลุ่มงาน<br>คอมพิวเตอร์ โรงเรียนสาธิต<br>จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ฝ่ายมัธยม) |
| 3. อาจารย์ ดร.สรณ วิจารย์วรรณลักษณ์                    | อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะ<br>วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  |

ภาคผนวก ข เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล  
ตัวอย่างแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตัวอย่างแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ ฉบับก่อนเรียน  
ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

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

---

คำชี้แจง

1. ข้อสอบเป็นลักษณะโจทย์สถานการณ์แบบเขียนตอบมีทั้งหมด 12 ข้อ
2. ใช้เวลาในการทำ 90 นาที
3. เขียนตอบโดยใช้ปากกาหรือดินสอ
4. ห้ามใช้เครื่องมือสื่อสารและเครื่องมือในการคำนวณทุกชนิด
5. หากพบว่านักเรียนคนใดทุจริตในการทำแบบทดสอบไม่ว่ากรณีใดก็ตามจะให้ 0 คะแนนทันที
6. โปรดเขียนชื่อและนามสกุลให้เรียบร้อยก่อนลงมือทำแบบทดสอบ
7. ส่งคืนแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณให้อาจารย์ผู้คุมสอบก่อนออกจากห้องสอบ

พิจารณาสถานการณ์ต่อไปนี้ และตอบคำถามข้อที่ 1-4

นิตาตื่นแต่เช้าและวางแผนจะทำกิจกรรมเพื่อสังคม 3 กิจกรรมในสถานที่ 3 แห่ง คือ 1) เก็บขยะที่สถานีรถไฟ 2) ร้องเพลงที่บ้านพักคนชรา และ 3) เป็นพยาบาลอาสาที่โรงพยาบาล แต่นักขึ้นได้ว่าต้องไปซื้ออุปกรณ์ที่ศึกษาภัณฑ์เพื่อนำมาทำโครงการในวันพรุ่งนี้ด้วย นิตาจึงต้องวางแผนการเดินทางจากบ้านออกไปทำทุกอย่างให้กลับมาบ้านทันในเวลา 18.00 น. โดยนิตาเริ่มออกเดินทางจากบ้านเวลา 08.00 น. สมมติว่าการทำกิจกรรมเพื่อสังคมในแต่ละสถานที่ใช้เวลาเท่ากันคือ **2 ชั่วโมง** ในขณะที่การเลือกซื้ออุปกรณ์ที่ศึกษาภัณฑ์นิตาใช้เวลา **30 นาที** และนิตาเลือกทำกิจกรรมใดก่อนก็ได้ มีข้อมูลของระยะทางระหว่างสองสถานที่ ดังนี้

ระยะทางจากบ้านถึงสถานีรถไฟ(A) 2.0 กิโลเมตร

ระยะทางจากบ้านถึงบ้านพักคนชรา(B) 2.6 กิโลเมตร

ระยะทางจากบ้านถึงโรงพยาบาล(C) 1.8 กิโลเมตร

ระยะทางจากบ้านถึงศึกษาภัณฑ์(D) 2.8 กิโลเมตร

ระยะทางจากสถานีรถไฟ(A) ถึงบ้านพักคนชรา(B) 1.9 กิโลเมตร

ระยะทางจากสถานีรถไฟ(A) ถึง โรงพยาบาล(C) 1.7 กิโลเมตร

ระยะทางจากสถานีรถไฟ(A) ถึงศึกษาภัณฑ์(D) 1.3 กิโลเมตร

ระยะทางจากบ้านพักคนชรา(B) ถึงโรงพยาบาล(C) 3.2 กิโลเมตร

ระยะทางจากบ้านพักคนชรา(B) ถึงศึกษาภัณฑ์(D) 2.0 กิโลเมตร

ระยะทางจากโรงพยาบาล(C) ถึงศึกษาภัณฑ์(D) 3.0 กิโลเมตร

กำหนดให้โดยเฉลี่ยแล้วในทุก ๆ ระยะทางการเดินทาง 100 เมตร นิตาใช้เวลาในการเดินทาง 2 นาที รวมเวลาที่รถติดแล้ว

ให้นักเรียนช่วยนิตาวางแผนการเดินทางไปทำกิจกรรมต่าง ๆ โดยตอบคำถามต่อไปนี้

1. จงแสดงการคำนวณการใช้เวลาในการทำกิจกรรมและเวลาในการเดินทางระหว่างคู่ของสถานที่ ในสถานการณ์ข้างต้น

.....

.....

.....

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 2. จงหารูปแบบเส้นทางการเดินทางไปยังสถานที่ต่าง ๆ ของนิสิตที่ให้ผลลัพธ์เหมือนกับเส้นทางต่อไปนี้  
 (ผลลัพธ์เหมือนกัน หมายถึง ใช้เวลาในการเดินทางและทำกิจกรรมเท่ากัน)

ก. บ้าน→โรงพยาบาล→สถานีรถไฟ→ศึกษาภัณฑ์→บ้านพักคนชรา→บ้าน

.....  
 ข. บ้าน→สถานีรถไฟ→ศึกษาภัณฑ์→บ้านพักคนชรา→โรงพยาบาล→บ้าน

.....  
 ค. บ้าน→ศึกษาภัณฑ์→บ้านพักคนชรา→สถานีรถไฟ→โรงพยาบาล→บ้าน

.....  
 3. ให้นักเรียนเขียนแผนผังแสดงตำแหน่งสถานที่ต่าง ๆ ที่นิสิตเดินทาง พร้อมแสดงลำดับเส้นทางที่นิสิต  
 ใช้นิสิตและระบุระยะเวลาในการเดินทางไปทำกิจกรรมระหว่างสถานที่ต่าง ๆ เพื่อที่นิสิตจะได้กลับมา  
 บ้านทันเวลา 18.00 น.

CHULALONGKORN UNIVERSITY



4. จงอธิบายขั้นตอนที่นักเรียนวิเคราะห์ โดยสามารถช่วยให้เราสามารถพิจารณาทุกกิจกรรม และกลับ  
บ้านทันเวลา 18.00 น.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

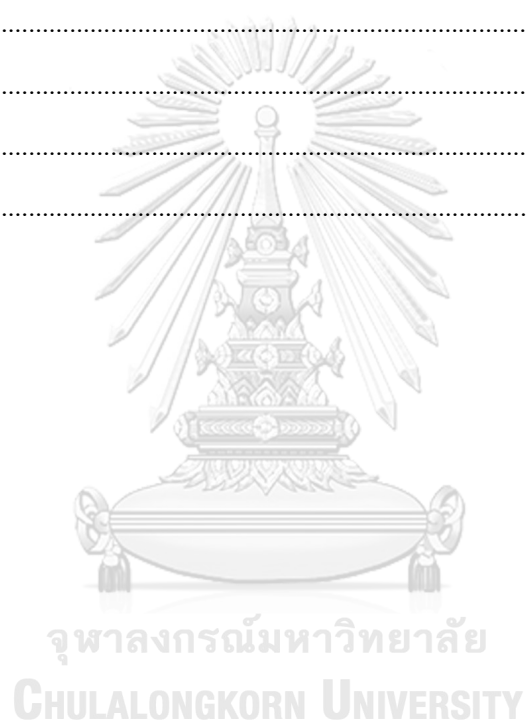
.....

.....

.....

.....

.....



### เกณฑ์การตรวจให้คะแนนในแต่ละข้อคำถาม

ตารางที่ 17 เกณฑ์การตรวจให้คะแนนแต่ละข้อคำถามของแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับก่อนเรียน

|                   | เกณฑ์คะแนน  |  |   |
|-------------------|---|--|---|
|                   | 3   | 2  | 1   |
| ข้อคำถาม<br>ที่ 1 | พิจารณาเส้นทางออกเป็น<br>ส่วนย่อยในแต่ละคู่เพื่อ<br>คำนวณเวลาได้อย่าง<br>ถูกต้องครบทุกคู่ และระบุ<br>เวลาที่ใช้ทำกิจกรรมในแต่ละ<br>คู่เส้นทาง | พิจารณาเส้นทางออกเป็น<br>ส่วนย่อยในแต่ละคู่เพื่อ<br>คำนวณเวลาได้อย่าง<br>ถูกต้องครบทุกคู่ แต่ไม่<br>ระบุเวลาที่ใช้ทำกิจกรรม<br>ในแต่ละคู่เส้นทาง | พิจารณาเส้นทางออกเป็น<br>ส่วนย่อยในแต่ละคู่เพื่อ<br>คำนวณเวลาได้อย่าง<br>ถูกต้องไม่ครบทุกคู่ และ<br>น้อยกว่าหรือเท่ากับ 6 คู่                       |
| ข้อคำถาม<br>ที่ 2 | ระบุเส้นทางการทำ<br>กิจกรรมตามเงื่อนไขโจทย์<br>ได้ถูกต้อง 3 ข้อ   | ระบุเส้นทางการทำ<br>กิจกรรมตามเงื่อนไขโจทย์<br>ได้ถูกต้อง 2 ข้อ  | ระบุเส้นทางการทำ<br>กิจกรรมตามเงื่อนไขโจทย์<br>ได้ถูกต้อง 1 ข้อ   |
| ข้อคำถาม<br>ที่ 3 | ร่างแผนที่ได้โดยระบุ<br>สถานที่ได้สอดคล้องกับ<br>ความเป็นจริงมีการระบุ<br>ระยะทางระหว่างสถานที่<br>และแสดงลำดับเส้นทางได้<br>ตรงตามเงื่อนไข   | ร่างแผนที่ได้โดยระบุ<br>สถานที่ได้สอดคล้องกับ<br>ความเป็นจริงมีการระบุ<br>ระยะทางระหว่างสถานที่<br>แต่แสดงลำดับเส้นทางไม่<br>ตรงตามเงื่อนไข      | ร่างแผนที่ได้ แต่ระบุ<br>สถานที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงไม่<br>มีการระบุระยะทาง<br>ระหว่างสถานที่ และ<br>แสดงลำดับเส้นทางไม่ตรง<br>ตามเงื่อนไข |
| ข้อคำถาม<br>ที่ 4 | เขียนขั้นตอนการแก้ปัญหา<br>ได้อย่างเป็นลำดับที่<br>ต่อเนื่องชัดเจน และ<br>ขั้นตอนครบถ้วนสมบูรณ์<br>นำไปสู่การแก้ปัญหาได้<br>ถูกต้อง           | เขียนขั้นตอนการแก้ปัญหา<br>ได้อย่างเป็นลำดับที่<br>ต่อเนื่องชัดเจน แต่ขั้นตอน<br>ไม่ครบถ้วนสมบูรณ์อาจ<br>ส่งผลให้แก้ปัญหาได้ไม่<br>ถูกต้อง       | เขียนขั้นตอนการแก้<br>ปัญหาได้บางส่วน และ<br>ขั้นตอนไม่ครบถ้วน<br>สมบูรณ์ส่งผลให้แก้ปัญหา<br>ได้ไม่ถูกต้อง  |

## ตัวอย่างเฉลยการทำแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ ฉบับก่อนเรียน

พิจารณาสถานการณ์ต่อไปนี้ และตอบคำถามข้อที่ 1-4

นินาตื่นแต่เช้าและวางแผนจะทำกิจกรรมเพื่อสังคม 3 กิจกรรมในสถานที่ 3 แห่ง คือ 1) เก็บขยะที่สถานีรถไฟ 2) ร้องเพลงที่บ้านพักคนชรา และ 3) เป็นพยาบาลอาสาที่โรงพยาบาล แต่นินาขึ้นได้ว่าต้องไปซื้ออุปกรณ์ที่ศึกษาภัณฑ์เพื่อนำมาทำโครงการในวันพรุ่งนี้ด้วย นินาจึงต้องวางแผนการเดินทางจากบ้านออกไปทำทุกอย่างให้กลับมาบ้านทันในเวลา 18.00 น. โดยนินาเริ่มออกเดินทางจากบ้านเวลา 08.00 น. สมมติว่าการทำกิจกรรมเพื่อสังคมในแต่ละสถานที่ใช้เวลาเท่ากันคือ **2 ชั่วโมง** ในขณะที่การเลือกซื้ออุปกรณ์ที่ศึกษาภัณฑ์นินาใช้เวลา **30 นาที** และนินาเลือกทำกิจกรรมใดก่อนก็ได้ มีข้อมูลของระยะทางระหว่างสองสถานที่ ดังนี้

ระยะทางจากบ้านถึงสถานีรถไฟ(A) 2.0 กิโลเมตร

ระยะทางจากบ้านถึงบ้านพักคนชรา(B) 2.6 กิโลเมตร

ระยะทางจากบ้านถึงโรงพยาบาล(C) 1.8 กิโลเมตร

ระยะทางจากบ้านถึงศึกษาภัณฑ์(D) 2.8 กิโลเมตร

ระยะทางจากสถานีรถไฟ(A) ถึงบ้านพักคนชรา(B) 1.9 กิโลเมตร

ระยะทางจากสถานีรถไฟ(A) ถึง โรงพยาบาล(C) 1.7 กิโลเมตร

ระยะทางจากสถานีรถไฟ(A) ถึงศึกษาภัณฑ์(D) 1.3 กิโลเมตร

ระยะทางจากบ้านพักคนชรา(B) ถึงโรงพยาบาล(C) 3.2 กิโลเมตร

ระยะทางจากบ้านพักคนชรา(B) ถึงศึกษาภัณฑ์(D) 2.0 กิโลเมตร

ระยะทางจากโรงพยาบาล(C) ถึงศึกษาภัณฑ์(D) 3.0 กิโลเมตร

**กำหนดให้โดยเฉลี่ยแล้วในทุก ๆ ระยะทางการเดินทาง 100 เมตร นินาใช้เวลาในการเดินทาง 2 นาที รวมเวลาที่รถติดแล้ว**

ให้นักเรียนช่วยนินาวางแผนการเดินทางไปทำกิจกรรมต่าง ๆ โดยตอบคำถามต่อไปนี้

1. จงแสดงการคำนวณการใช้เวลาในการทำกิจกรรมและเวลาในการเดินทางระหว่างคู่ของสถานที่ ในสถานการณ์ข้างต้น

ส่วนที่ 1 จากบ้านไป A ใช้เวลา  $20 \times 2 = 40$  นาที และใช้เวลาทำกิจกรรม 2 ชั่วโมง

ส่วนที่ 2 จากบ้านไป B ใช้เวลา  $26 \times 2 = 52$  นาที และใช้เวลาทำกิจกรรม 2 ชั่วโมง

ส่วนที่ 3 จากบ้านไป C ใช้เวลา  $18 \times 2 = 36$  นาที และใช้เวลาทำกิจกรรม 2 ชั่วโมง

ส่วนที่ 4 จากบ้านไป D ใช้เวลา  $28 \times 2 = 58$  นาที และใช้เวลาทำกิจกรรม 30 นาที

ส่วนที่ 5 จาก A ไป B ใช้เวลา  $19 \times 2 = 38$  นาที และใช้เวลาทำกิจกรรม 4 ชั่วโมง (ที่ละ 2 ชั่วโมง)

ส่วนที่ 6 จาก A ไป C ใช้เวลา  $17 \times 2 = 34$  นาที และใช้เวลาทำกิจกรรม 4 ชั่วโมง (ที่ละ 2 ชั่วโมง)

ส่วนที่ 7 จาก A ไป D ใช้เวลา  $13 \times 2 = 26$  นาที และใช้เวลาทำกิจกรรม 2 ชั่วโมง 30 นาที

ส่วนที่ 8 จาก B ไป C ใช้เวลา  $32 \times 2 = 64$  นาที และใช้เวลาทำกิจกรรม 4 ชั่วโมง (ที่ละ 2 ชั่วโมง)

ส่วนที่ 9 จาก B ไป D ใช้เวลา  $20 \times 2 = 40$  นาที และใช้เวลาทำกิจกรรม 2 ชั่วโมง 30 นาที

ส่วนที่ 10 จาก C ไป D ใช้เวลา  $30 \times 2 = 60$  นาที และใช้เวลาทำกิจกรรม 2 ชั่วโมง 30 นาที

2. จงหารูปแบบเส้นทางการเดินทางไปสถานที่ต่าง ๆ ของนิสิตที่ให้ผลลัพธ์เหมือนกับเส้นทางต่อไปนี้ (ผลลัพธ์เหมือนกัน หมายถึง ใช้เวลาในการเดินทางและทำกิจกรรมเท่ากัน)

ก. บ้าน → โรงพยาบาล → สถานีรถไฟ → ศึกษาลัย → บ้านพักคนชรา → บ้าน

บ้าน → บ้านพักคนชรา → ศึกษาลัย → สถานีรถไฟ → โรงพยาบาล → บ้าน

ข. บ้าน → สถานีรถไฟ → ศึกษาลัย → บ้านพักคนชรา → โรงพยาบาล → บ้าน

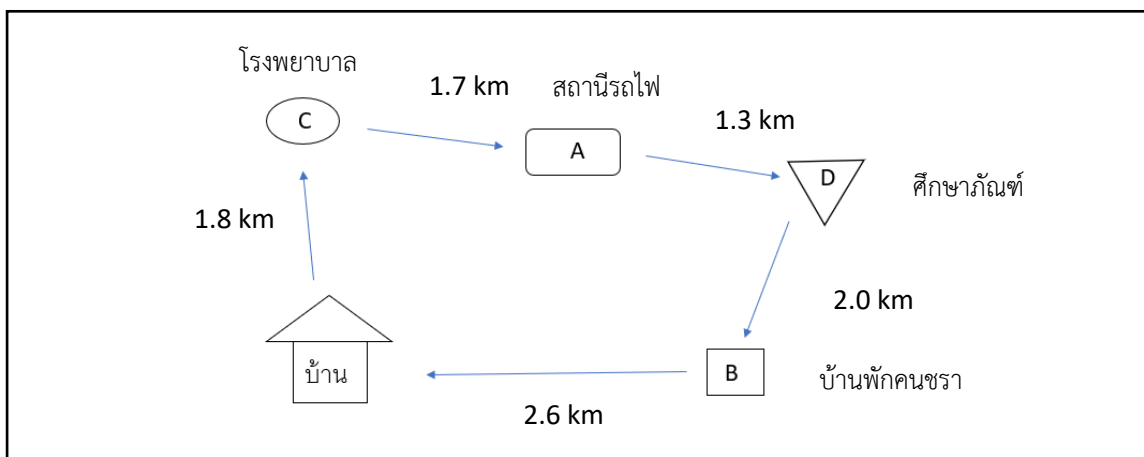
บ้าน → โรงพยาบาล → บ้านพักคนชรา → ศึกษาลัย → สถานีรถไฟ → บ้าน

ค. บ้าน → ศึกษาลัย → บ้านพักคนชรา → สถานีรถไฟ → โรงพยาบาล → บ้าน

บ้าน → โรงพยาบาล → สถานีรถไฟ → บ้านพักคนชรา → ศึกษาลัย → บ้าน

3. ให้นักเรียนเขียนแผนผังแสดงตำแหน่งสถานที่ต่าง ๆ ที่นิสาเดินทาง พร้อมแสดงลำดับเส้นทางที่นิสาใช้และระยะระยะทางในการเดินทางไปทำกิจกรรมระหว่างสถานที่ต่าง ๆ เพื่อที่นิสาจะได้กลับบ้านทันเวลา 18.00 น.

แนวคำตอบ



4. จงอธิบายขั้นตอนที่นักเรียนวิเคราะห์ โดยสามารถช่วยให้นิสานำกิจกรรมครบทุกกิจกรรม และกลับบ้านทันเวลา 18.00 น.

แนวคำตอบ

1. กำหนดเงื่อนไขคือต้องใช้เวลาได้ไม่เกิน 10 ชั่วโมง
2. วิเคราะห์ระยะทางจากแต่ละสถานที่ โดยพิจารณาเป็นคู่
3. คำนวณเวลาในการทำกิจกรรมและเวลาที่ใช้เดินทางในแต่ละคู่สถานที่
4. เลือกรูปแบบที่ใช้เวลาสั้น และตรงตามเงื่อนไขที่กำหนด

ตัวอย่างแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ ฉบับหลังเรียน  
ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

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

---

คำชี้แจง

1. ข้อสอบเป็นลักษณะโจทย์สถานการณ์แบบเขียนตอบมีทั้งหมด 12 ข้อ
2. ใช้เวลาในการทำ 90 นาที
3. เขียนตอบโดยใช้ปากกาหรือดินสอ
4. ห้ามใช้เครื่องมือสื่อสารและเครื่องมือในการคำนวณทุกชนิด
5. หากพบว่านักเรียนคนใดทุจริตในการทำแบบทดสอบไม่ว่ากรณีใดก็ตามจะให้ 0 คะแนนทันที
6. โปรดเขียนชื่อและนามสกุลให้เรียบร้อยก่อนลงมือทำแบบทดสอบ
7. ส่งคืนแบบทดสอบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณให้อาจารย์ผู้คุมสอบก่อนออกจากห้องสอบ



2. จงหารูปแบบเส้นทางการเดินทางไปทำกิจกรรมทั้ง 3 อย่าง ของธีรเทพที่ให้ผลลัพธ์เหมือนกับเส้นทางต่อไปนี้ (ผลลัพธ์เหมือนกัน หมายถึง ใช้เวลาในการเดินทางและทำกิจกรรมเท่ากัน)

ก. บ้าน→ห้องสมุด→สวนสาธารณะ→ร้านคอมพิวเตอร์→บ้าน

.....

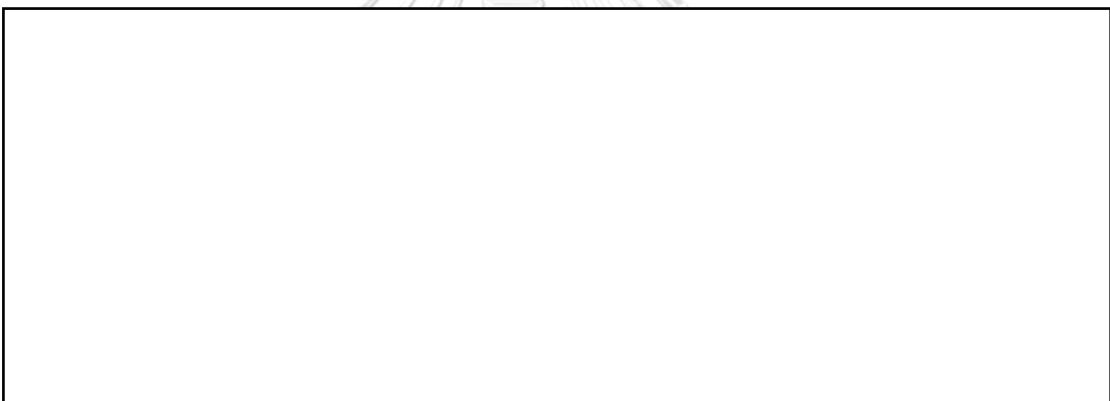
ข. บ้าน→ร้านคอมพิวเตอร์→ห้องสมุด→สวนสาธารณะ→บ้าน

.....

ค. บ้าน→ห้องสมุด→ร้านคอมพิวเตอร์→สวนสาธารณะ→บ้าน

.....

3. ให้นักเรียนเขียนแผนผังแสดงตำแหน่งสถานที่ต่าง ๆ ที่ธีรเทพเดินทาง พร้อมแสดงลำดับเส้นทางที่ธีรเทพใช้และระยะระยะทางในการเดินทางไปทำกิจกรรมระหว่างสถานที่ต่าง ๆ เพื่อที่ธีรเทพจะได้กลับบ้านทันเวลา 12.00 น.



4. จงอธิบายขั้นตอนที่นักเรียนวิเคราะห์ โดยสามารถช่วยให้ธีรเทพทำกิจกรรมครบทุกกิจกรรม และกลับบ้านทันเวลา 12.00 น.

.....

.....

.....

.....

.....



### เกณฑ์การตรวจให้คะแนนในแต่ละข้อคำถาม

ตารางที่ 18 เกณฑ์การตรวจให้คะแนนแต่ละข้อคำถามของแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณฉบับหลังเรียน

|                   | เกณฑ์คะแนน  |  |  |
|-------------------|---|--|--|
|                   | 3   | 2  | 1  |
| ข้อคำถาม<br>ที่ 1 | พิจารณาเส้นทางออกเป็น<br>ส่วนย่อยในแต่ละคู่เพื่อ<br>คำนวณเวลาได้อย่าง<br>ถูกต้องครบทุกคู่ และระบุ<br>เวลาที่ใช้ทำกิจกรรมในแต่ละ<br>คู่เส้นทาง   | พิจารณาเส้นทางออกเป็น<br>ส่วนย่อยในแต่ละคู่เพื่อ<br>คำนวณเวลาได้อย่าง<br>ถูกต้องครบทุกคู่ แต่ไม่<br>ระบุเวลาที่ใช้ทำกิจกรรม<br>ในแต่ละคู่เส้นทาง | พิจารณาเส้นทางออกเป็น<br>ส่วนย่อยในแต่ละคู่เพื่อ<br>คำนวณเวลาได้อย่าง<br>ถูกต้องไม่ครบทุกคู่ และ<br>น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 คู่                          |
| ข้อคำถาม<br>ที่ 2 | ระบุเส้นทางการทำ<br>กิจกรรมตามเงื่อนไขโจทย์<br>ได้ถูกต้อง 3 ข้อ   | ระบุเส้นทางการทำ<br>กิจกรรมตามเงื่อนไขโจทย์<br>ได้ถูกต้อง 2 ข้อ  | ระบุเส้นทางการทำ<br>กิจกรรมตามเงื่อนไขโจทย์<br>ได้ถูกต้อง 1 ข้อ  |
| ข้อคำถาม<br>ที่ 3 | ร่างแผนที่ได้โดยระบุ<br>สถานที่ได้สอดคล้องกับ<br>ความเป็นจริงมีการระบุ<br>ระยะทางระหว่างสอง<br>สถานที่ และแสดงลำดับ<br>เส้นทางได้ตรงตามเงื่อนไข | ร่างแผนที่ได้โดยระบุ<br>สถานที่ได้สอดคล้องกับ<br>ความเป็นจริงมีการระบุ<br>ระยะทางระหว่างสอง<br>สถานที่ แต่แสดงลำดับ<br>เส้นทางไม่ตรงตามเงื่อนไข  | ร่างแผนที่ได้ แต่ระบุ<br>สถานที่ได้ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงไม่<br>มีการระบุระยะทาง<br>ระหว่างสองสถานที่ และ<br>แสดงลำดับเส้นทางไม่ตรง<br>ตามเงื่อนไข |
| ข้อคำถาม<br>ที่ 4 | เขียนขั้นตอนการแก้ปัญหา<br>ได้อย่างเป็นลำดับที่<br>ต่อเนื่องชัดเจน และ<br>ขั้นตอนครบถ้วนสมบูรณ์<br>นำไปสู่การแก้ปัญหาได้<br>ถูกต้อง             | เขียนขั้นตอนการแก้ปัญหา<br>ได้อย่างเป็นลำดับที่<br>ต่อเนื่องชัดเจน แต่ขั้นตอน<br>ไม่ครบถ้วนสมบูรณ์อาจ<br>ส่งผลให้แก้ปัญหาได้ไม่<br>ถูกต้อง       | เขียนขั้นตอนการแก้<br>ปัญหาได้บางส่วน และ<br>ขั้นตอนไม่ครบถ้วน<br>สมบูรณ์ส่งผลให้แก้ปัญหา<br>ได้ไม่ถูกต้อง   |

### ตัวอย่างเฉลยการทำแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ ฉบับหลังเรียน

พิจารณาสถานการณ์ต่อไปนี้ และตอบคำถามข้อที่ 1-4

ธีรเทพ วางแผนเดินทางเพื่อทำกิจกรรม 3 อย่างในสถานที่ 3 แห่ง คือ 1) อ่านหนังสือที่ห้องสมุด 2) เดินจงกรมที่สวนสาธารณะ และ 3) ซ้อมเมาส์ที่ร้านคอมพิวเตอร์ โดยมีจุดเริ่มต้นของการเดินทางอยู่ที่บ้าน เริ่มออกเดินทางเวลา 09.00 น. ซึ่งธีรเทพจะต้องทำกิจกรรมทั้งหมด 3 กิจกรรมให้เสร็จสิ้นและกลับบ้านให้ทันภายในเวลา 12.00 น. เนื่องจากมีนัดทานอาหารกลางวัน สมมติว่าการทำกิจกรรมในแต่ละสถานที่ใช้เวลาเท่ากันคือ **30 นาที** และธีรเทพเลือกทำกิจกรรมใดก่อนก็ได้ และมีเงื่อนไขของระยะทางแต่ละสถานที่ดังนี้

| ระยะทางที่ใช้ในการเดินทางระหว่างสองสถานที่ |              | กำหนดให้การเดินทาง<br>ทุก ๆ 100 เมตร ใช้เวลา<br>1.5 นาที |
|--|--------------|--|
| บ้าน – ห้องสมุด (A)                        | 1.0 กิโลเมตร |  |
| บ้าน – สวนสาธารณะ (B)                      | 1.8 กิโลเมตร |  |
| บ้าน – ร้านคอมพิวเตอร์ (C)                 | 1.2 กิโลเมตร |  |
| ห้องสมุด (A) – สวนสาธารณะ (B)              | 1.5 กิโลเมตร |  |
| ห้องสมุด (A) – ร้านคอมพิวเตอร์ (C)         | 1.3 กิโลเมตร |  |
| สวนสาธารณะ (B) – ร้านคอมพิวเตอร์ (C)       | 1.6 กิโลเมตร |  |

ให้นักเรียนช่วยธีรเทพวางแผนการเดินทางไปทำกิจกรรมต่าง ๆ โดยตอบคำถามต่อไปนี้

1. จงแสดงการคำนวณการใช้เวลาในการทำกิจกรรมและเวลาในการเดินทางระหว่างคู่ของสถานที่ในสถานการณ์ข้างต้น

ส่วนที่ 1 จากบ้านไป A ใช้เวลา  $10 \times 1.5 = 15$  นาที และใช้เวลาในการทำกิจกรรม 30 นาที

ส่วนที่ 2 จากบ้านไป B ใช้เวลา  $18 \times 1.5 = 27$  นาที และใช้เวลาในการทำกิจกรรม 30 นาที

ส่วนที่ 3 จากบ้านไป C ใช้เวลา  $12 \times 1.5 = 18$  นาที และใช้เวลาในการทำกิจกรรม 30 นาที

ส่วนที่ 4 จาก A ไป B ใช้เวลา  $15 \times 1.5 = 22.5$  นาที และใช้เวลาในการทำกิจกรรม 60 นาที

ส่วนที่ 5 จาก A ไป C ใช้เวลา  $13 \times 1.5 = 19.5$  นาที และใช้เวลาในการทำกิจกรรม 60 นาที

ส่วนที่ 6 จาก B ไป C ใช้เวลา  $16 \times 1.5 = 24$  นาที และใช้เวลาในการทำกิจกรรม 60 นาที

2. จงหารูปแบบเส้นทางการเดินทางไปทำกิจกรรมทั้ง 3 อย่าง ของธีรเทพที่ให้ผลลัพธ์เหมือนกับเส้นทางต่อไปนี้ (ผลลัพธ์เหมือนกัน หมายถึง ใช้เวลาในการเดินทางและทำกิจกรรมเท่ากัน)

ก. บ้าน→ห้องสมุด→สวนสาธารณะ→ร้านคอมพิวเตอร์→บ้าน

บ้าน→ร้านคอมพิวเตอร์→สวนสาธารณะ→ห้องสมุด→บ้าน

ข. บ้าน→ร้านคอมพิวเตอร์→ห้องสมุด→สวนสาธารณะ→บ้าน

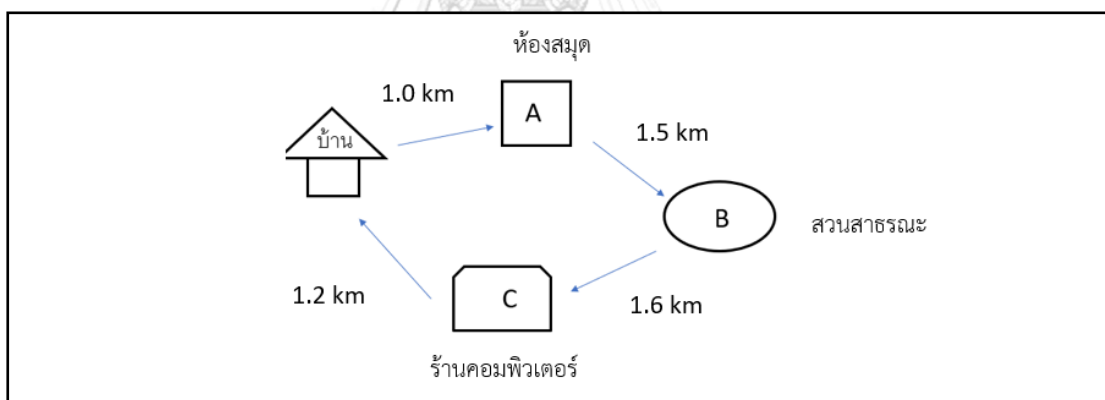
บ้าน→สวนสาธารณะ→ห้องสมุด→ร้านคอมพิวเตอร์→บ้าน

ค. บ้าน→ห้องสมุด→ร้านคอมพิวเตอร์→สวนสาธารณะ→บ้าน

บ้าน→สวนสาธารณะ→ร้านคอมพิวเตอร์→ห้องสมุด→บ้าน

3. ให้นักเรียนเขียนแผนผังแสดงตำแหน่งสถานที่ต่าง ๆ ที่ธีรเทพเดินทาง พร้อมแสดงลำดับเส้นทางที่ธีรเทพใช้และระยะระยะทางในการเดินทางไปทำกิจกรรมระหว่างสถานที่ต่าง ๆ เพื่อที่ธีรเทพจะได้กลับมาบ้านทันเวลา 12.00 น.


แนวคำตอบ



4. จงอธิบายขั้นตอนที่นักเรียนวิเคราะห์ โดยสามารถช่วยให้ธีรเทพทำกิจกรรมครบทุกกิจกรรม และกลับมาบ้านทันเวลา 12.00 น.

แนวคำตอบ

1. กำหนดเงื่อนไขคือต้องใช้เวลาได้ไม่เกิน 3 ชั่วโมง
2. วิเคราะห์ระยะทางจากแต่ละสถานที่ โดยพิจารณาเป็นคู่
3. คำนวณเวลาในการทำกิจกรรมและเวลาที่ใช้เดินทางในแต่ละคู่สถานที่
4. เลือกรูปแบบที่ใช้เวลาสั้น และตรงตามเงื่อนไขที่กำหนด



ภาคผนวก ค เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง  
ตัวอย่างแผนจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์  
หน่วยการเรียนรู้เรื่อง สมดุลกล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์

### แผนที่ 1 หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง สมดุลกล

รายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ 2

ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

จำนวน 12 คาบเรียน

คาบเรียนละ 50 นาที

ผู้สอน ศรายุทธ ดวงจันทร์

#### สาระฟิสิกส์

**สาระที่ 1** เข้าใจธรรมชาติทางฟิสิกส์ ปริมาณและกระบวนการวัด การเคลื่อนที่แนวตรง แรง และกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน กฎความโน้มถ่วงสากล แรงเสียดทาน สมดุลกลของวัตถุ งานและกฎการอนุรักษ์พลังงานกล โมเมนตัมและกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม การเคลื่อนที่แนวโค้ง รวมทั้งนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

#### ผลการเรียนรู้

สืบค้นข้อมูล และอภิปรายสภาพสมดุลของวัตถุและวิเคราะห์สภาพสมดุลตามเงื่อนไขของสมดุล อธิบายผลของแรงคู่ควบ โมเมนตัมของแรงคู่ควบที่มีต่อสมดุลของวัตถุ ผลของแรงที่กระทำต่อศูนย์กลางมวลและศูนย์กลางของวัตถุ

#### สาระสำคัญ

สมดุลเป็นสภาพที่วัตถุสามารถรักษาสภาพการเคลื่อนที่ให้คงเดิม คือ หยุดนิ่ง หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว หรือ หมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงตัว วัตถุจะสมดุลต่อการเคลื่อนที่ คือ หยุดนิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว เมื่อแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ และวัตถุจะสมดุลต่อการหมุน คือ ไม่หมุน หรือหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงตัว เมื่อทอร์กลัพธ์หรือผลรวมของโมเมนตัมของแรงที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์

#### จุดประสงค์การเรียนรู้

เมื่อจบหน่วยการเรียนรู้ผู้เรียนสามารถ

1. อธิบายความหมายของสภาพสมดุลสถิตและสมดุลจลน์ (K)
2. บอกความแตกต่างระหว่างศูนย์กลางมวลและศูนย์กลาง (K)

3. บอกความหมายของสมดุลต่อการเลื่อนที่ (K)
6. บอกเงื่อนไขที่ทำให้วัตถุเกิดสมดุลต่อการหมุน (K)
7. อธิบายความหมายของโมเมนต์ของแรงและโมเมนต์ของแรงคู่ควบ (K)
8. อธิบายหลักการสมดุลของเครื่องกลอย่างง่าย (K)
9. ระบุส่วนย่อยของปัญหาที่ต้องแก้ไขจากสถานการณ์การสร้างสะพานจำลอง (K)
10. ค้นหาความเหมือนและความต่างของสมดุลกลของสะพานกับสมดุลกลของวัตถุประเภทอื่น (P)
11. ออกแบบสะพานจำลองโดยมีการวางแผนภาพและระบุรายละเอียดสำคัญ (P)
12. สร้างสะพานจำลองได้โดยมีการระบุขั้นตอนการสร้างอย่างเป็นลำดับ (P)
13. เลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการสร้างสะพานจำลอง (P)
14. นำเสนอผลการดำเนินงานและสาธิตชิ้นงานที่สร้างขึ้น (P)
15. มีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมกลุ่ม มีความรับผิดชอบในหน้าที่การทำงานที่ได้รับมอบหมาย (A)

## สาระการเรียนรู้

### 1. สภาพสมดุล

วัตถุทั้งหลายที่อยู่นิ่งในกรอบอ้างอิงเฉื่อย เช่น โคมไฟ บนโต๊ะที่พังกาแพงอยู่ คาน ช้อน และ ส่วนต่าง ๆ ของอาคาร ล้วนนับว่าวัตถุอยู่ใน สภาพสมดุลสถิต (static equilibrium) ทั้งนี้หาก ประมวลว่าผู้สังเกตที่อยู่ใดที่หนึ่งบนผิวโลกอยู่ในกรอบอ้างอิงเฉื่อย และวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว คงตัว หรือหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงตัว อาจกล่าวได้ว่า วัตถุเหล่านั้นอยู่ใน สภาพสมดุลจลน์ สภาพ สมดุลเกี่ยวข้องกับสภาพของแรงที่กระทำต่อวัตถุซึ่งอาจมีขนาดเล็กและถือได้ว่าเป็นจุด หรือมีขนาด และมีรูปร่างคงเดิมที่ถือว่าเป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid body) เพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาวิเคราะห์ จะ พิจารณาเปรียบเสมือนวัตถุเป็นวัตถุแข็งเกร็ง แต่วัตถุจริงอาจมีการเปลี่ยนรูปได้เมื่อมีแรงกระทำนั้นคือ มีความยืดหยุ่น ส่วนใหญ่การเปลี่ยนรูปเกิดขึ้นน้อย อย่างไรก็ตามเงื่อนไขของสมดุลจะเป็นเช่นเดิม ดังที่กล่าวข้างต้นสามารถจำแนกสภาพสมดุลได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

- สมดุลสถิต (static equilibrium) เป็นสมดุลของวัตถุขณะอยู่นิ่ง เช่น วางสมุดไว้บนโต๊ะแล้ว สมุดไม่ล้ม ขวดน้ำที่วางไว้หลังตู้เย็นแล้วไม่ตกลงมาจากตู้เย็น หรือกล่าวได้ว่าวัตถุใด ๆ ก็ตามที่อยู่ ในสภาพอยู่นิ่งเมื่อมีแรงลัพธ์มากระทำแล้ววัตถุยังคงสภาพอยู่นิ่งไว้ได้ถือว่าเป็น สมดุลสถิต

- สมดุลจลน์ (kinetic equilibrium) เป็นสมดุลของวัตถุขณะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว เช่น รถยนต์วิ่งไปตามถนนด้วยความเร็วคงตัว กล้องลั่นไม้ไถลลงไปตามพื้นเอียงด้วยความเร็วคงตัว

หรือกล่าวได้ว่า วัตถุใด ๆ ก็ตามที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วค่าหนึ่งเมื่อมีแรงลัพธ์มากระทำแล้ววัตถุก็ยังคงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงเดิมถือว่าเป็น สมดุลจลน์ นอกจากนั้นยังรวมไปถึงการเคลื่อนที่ของรอก ล้อและเพลาที่หมุนรอบแกนซึ่งวางอยู่ในสภาพเดิมด้วยอัตราการหมุนคงตัวด้วย

## 2. ศูนย์กลางมวลและศูนย์กลาง

ศูนย์กลางมวลเปรียบเสมือนเป็นจุดรวมของมวลวัตถุทั้งก้อน สำหรับวัตถุแข็งเกร็งจุดศูนย์กลางมวลจะอยู่ประจำที่แน่นอน ถ้าวัตถุที่เป็นจุดสองก้อนมีมวลเท่ากันและอยู่แยกกัน ศูนย์กลางมวลจะอยู่ที่กึ่งกลางระหว่างมวลสองก้อน ถ้ามวลไม่เท่ากัน ศูนย์กลางมวลจะอยู่ใกล้ค่ามวลที่มากกว่า สำหรับมวล  $m_1$  และ  $m_2$  ที่อยู่บนแกน  $x$  หาสมการของตำแหน่งศูนย์กลางมวลได้จากสมการ

$$(m_1 + m_2)x_{cm} = m_1x_1 + m_2x_2$$

$$x_{cm} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2}{m_1 + m_2}$$

สำหรับความหมายของศูนย์กลาง จะเป็นจุดที่แรงลัพธ์ของแรงดึงดูดโลกกระทำต่อวัตถุ ซึ่งในสถานการณ์ทั่วไปศูนย์กลางมวลกับศูนย์กลางจะอยู่ตำแหน่งเดียวกัน โดยเฉพาะเมื่อวัตถุอยู่ในสนามโน้มถ่วงสม่ำเสมอ ยกเว้นในกรณีที่ว่าวัตถุมีขนาดใหญ่มากจนแต่ละส่วนของวัตถุนั้นอยู่ในสนามโน้มถ่วงที่ไม่เท่ากัน เช่น ภูเขาสูงสูง ๆ สนามโน้มถ่วงบริเวณใกล้ผิวโลกมีค่ามาก ส่วนบริเวณสูงขึ้นไปสนามโน้มถ่วงมีขนาดลดลง ทำให้แรงที่โลกดึงดูดภูเขานั้น ณ บริเวณที่สูงขึ้นไปมีค่าน้อยลง ศูนย์กลางจะอยู่คนละตำแหน่งกับศูนย์กลางมวล โดยศูนย์กลางจะต่ำกว่าศูนย์กลางมวล

## 3. สมดุลต่อการเคลื่อนที่

เมื่อพิจารณาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ วัตถุที่คงสภาพการเคลื่อนที่เดิม คือ หยุดนิ่ง หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว จัดว่าวัตถุนั้นสมดุลต่อการเคลื่อนที่ซึ่งจากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน จะได้ว่า เมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุ โดยแรงลัพธ์เป็นศูนย์ วัตถุจะคงสภาพการเคลื่อนที่เดิม ดังนั้นวัตถุจะอยู่ในสภาพสมดุลต่อการเคลื่อนที่มีเงื่อนไขคือ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ ถ้าให้  $F_i$  เป็นแรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อวัตถุ ( $i=1,2,3,\dots,n$ ) ดังนั้นจะได้ว่า

$$\sum_{i=1}^n F_i = 0$$

เมื่อมีแรงหลายแรงกระทำต่อวัตถุ เพื่อความสะดวกในการคำนวณปริมาณแรงต่าง ๆ จากการพิจารณาสมดุลต่อการเลื่อนที่ เราสามารถวิเคราะห์หาแรงลัพธ์โดยการแยกแรงเป็นแรงองค์ประกอบ แล้วรวมองค์ประกอบต่าง ๆ จะได้องค์ประกอบของแรงลัพธ์คือ

$$F_x = \sum_{i=1}^n F_{ix} \text{ และ } F_y = \sum_{i=1}^n F_{iy}$$

เมื่อ  $F_{ix}$  และ  $F_{iy}$  เป็นแรงองค์ประกอบของแรง  $F_i$  อยู่ในแนวแกน x และ y ตามลำดับในกรณีที่วัตถุสมดุลต่อการเลื่อนที่ ผลรวมของแรงที่กระทำต่อวัตถุต้องเท่ากับศูนย์ ดังนั้นผลรวมของแรงองค์ประกอบของแรงกระทำต่าง ๆ ในแนวแกน x และแกน y จะต้องเป็นศูนย์ด้วย นั่นคือ

$$\sum_{i=1}^n F_{ix} = 0 \text{ และ } \sum_{i=1}^n F_{iy} = 0$$

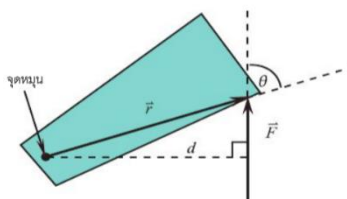
#### 4. สมดุลต่อการหมุน

การออกแรงกระทำต่อวัตถุแล้วทำให้วัตถุนั้นเคลื่อนที่แบบเลื่อนเพียงอย่างเดียว แนวแรงนั้นจะผ่านจุด ๆ หนึ่ง ซึ่งเสมือนเป็นที่รวมของมวลทั้งก้อน เรียกจุดนั้นว่า จุดศูนย์กลางมวล แต่ถ้าแนวแรงที่กระทำไม่ผ่านศูนย์กลางมวล วัตถุจะมีการเคลื่อนที่แบบหมุนด้วย ตามความหมายของกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ถ้าแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุมีค่าเป็นศูนย์วัตถุจะคงสภาพอยู่นิ่ง หรือสภาพเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวหรือหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงตัว ความเร็วเชิงมุมเป็นความเร็วของวัตถุที่หมุนรอบแกนคงที่แกนหนึ่ง เช่น ใบพัดหมุนรอบแกน ล้อรถหมุนรอบเพลา ดอกสว่านไฟฟ้า หมุนรอบแกน ถ้าสิ่งเหล่านี้หมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงที่ จะอยู่ในสมดุลเช่นกัน วัตถุที่อยู่นิ่งหรือหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงตัว เรียกว่าสมดุลต่อการหมุน สำหรับในบทนี้จะศึกษาเฉพาะกรณีของวัตถุที่อยู่นิ่งไม่หมุน

##### - โมเมนต์ของแรง

เมื่อมีแรงลัพธ์กระทำต่อวัตถุอิสระที่อยู่นิ่งโดยแนวแรงไม่ผ่านศูนย์กลางมวล วัตถุจะหมุนรอบศูนย์กลางมวล แต่ถ้าวัตถุถูกยึดรอบแกนหมุน ซึ่งอยู่ในตำแหน่งใด ๆ วัตถุจะหมุนรอบแกนหมุนนั้น ตัวอย่างเช่น ประตู หน้าต่าง พวงมาลัยรถยนต์ เป็นต้น การหมุนของวัตถุนั้นจะขึ้นอยู่กับโมเมนต์ของแรง โดยโมเมนต์ (Moment) คือปริมาณที่ใช้วัดผลของการหมุนรอบจุดใดจุดหนึ่ง ขนาดของโมเมนต์หาได้จากผลคูณของแรงกับระยะทางที่ตั้งฉากจากจุดหมุนถึงแนวแรง ถ้ามีแรงกระทำต่อวัตถุที่ตำแหน่งปลายของเวกเตอร์บอกตำแหน่ง  $r$  จากจุดหมุนดังรูปที่ 1



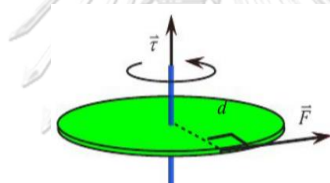


รูปที่ 1 แรง  $F$  กระทำต่อวัตถุมีแนวแรงห่างจากแกนหมุนเป็นระยะ  $d$

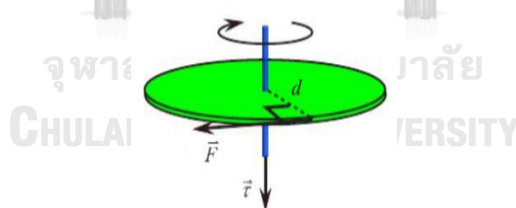
เมื่อ  $M$  เป็นโมเมนต์ของแรง จะได้ว่าขนาดโมเมนต์มีค่า

$$M = Fd = Fr \sin \theta$$

โมเมนต์ของแรงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ทอร์ก ( $\tau$ ) ซึ่งเป็นปริมาณเวกเตอร์ โดยสามารถหาทิศทางได้จากการใช้กฎมือขวา กล่าวคือ นิ้วหัวแม่มือกางตั้งฉากกับนิ้วอื่น ๆ โดยนิ้วหัวแม่มือคือทิศของทอร์ก ส่วนนิ้วอื่น ๆ กำตามทิศทางการหมุนของวัตถุ โดยพิจารณาการหมุนทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกาของวัตถุจากแรงกระทำดังตัวอย่างในรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 วัตถุหมุนทวนเข็มนาฬิกา ทอร์กมีทิศพุ่งออกจากระนาบการหมุน

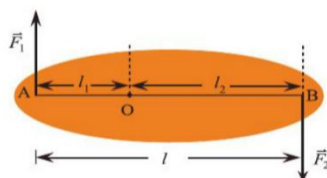


รูปที่ 3 วัตถุหมุนตามเข็มนาฬิกา ทอร์กมีทิศพุ่งเข้าหาระนาบการหมุน

เมื่อวัตถุอยู่ในสภาพสมดุลสถิต คือไม่หมุน ผลรวมโมเมนต์ของแรงต้องเป็นศูนย์ ( $\sum_{i=1}^n M_i = 0$ ) หรืออาจถือเป็นหลักได้ว่า ผลรวมของโมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกาเท่ากับผลรวมของโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกา

- โมเมนต์ของแรงคู่ควบ

แรงสองแรงที่มีขนาดเท่ากันกระทำต่อวัตถุ แนวแรงขนานกันแต่ทิศทางตรงกันข้าม เรียกรวมคู่นี้ว่า แรงคู่ควบ ดัง  $F_1$  และ  $F_2$  ดังรูปที่มีขนาดเท่ากัน



รูปที่ 4 แรงคู่ควบ  $F_1$  และ  $F_2$  กระทำต่อวัตถุที่ตำแหน่ง A และ B และแรงทั้งสองตั้งฉากกับแนว AB

ถ้าให้  $F$  เป็นขนาดของแรงทั้งสอง จะหาผลรวมของโมเมนต์ของแรงคู่ควบ ( $M_c$ ) ได้ดังนี้

$$M_c = F_1 l_1 + F_2 l_2$$

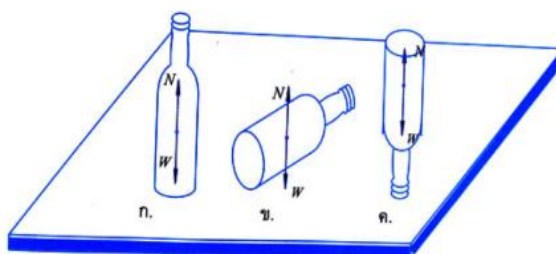
$$M_c = F l_1 + F l_2$$

$$M_c = F(l_1 + l_2) = F l$$

ดังนั้นสรุปได้ว่า โมเมนต์ของแรงคู่ควบใด ๆ มีขนาดเท่ากับผลคูณของขนาดของแรงใดแรงหนึ่งกับระยะทางตั้งฉากระหว่างแนวแรงทั้งสอง ซึ่งจะหมุนตามเข็มนาฬิกา ขึ้นอยู่กับทิศของแรงคู่ควบนั้น และแรงคู่ควบเป็นแรงที่ทำให้วัตถุไม่สมดุลต่อการหมุนแต่สมดุลต่อการเลื่อนที่ เนื่องจากแรงลัพธ์ของแรงคู่ควบจะเป็นศูนย์เพราะแรงทั้งสองมีขนาดเท่ากัน แรงคู่ควบจึงไม่มีผลในการเลื่อนที่ของวัตถุ แต่มีผลในการหมุนเพียงอย่างเดียว

## 5. เสถียรภาพของวัตถุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิจารณารูปที่ 5 เมื่อขวดถูกวางในลักษณะแตกต่างกันและออกแรงกระทำเล็กน้อยต่อขวดสามารถพิจารณาสภาพสมดุลได้สามลักษณะดังนี้



รูปที่ 5 ขวดวางตัวในลักษณะต่างกัน

- สภาพสมดุลเสถียร จากรูปที่ 5 ก. เดิมขวดอยู่ในสมดุลเสถียร เมื่อมีแรงกระทำต่อขวดให้เอียงไปเล็กน้อย ศูนย์กลางมวล (C.M.) ของขวดจะเปลี่ยนตำแหน่งอยู่ในระดับสูงขึ้น ซึ่งหมายถึง

พลังงานศักย์ที่สูงขึ้นเมื่อจะเอียงไปทางใดทางหนึ่ง น้ำหนัก ( $W$ ) จึงไม่อยู่ในแนวเดียวกับแรงที่พื้นดันวัตถุในทิศตั้งฉาก ( $N$ ) ทำให้เกิดโมเมนต์ของแรงคู่ควบ ที่จะทำให้วัตถุกลับมาตั้งอยู่ในลักษณะเดิม

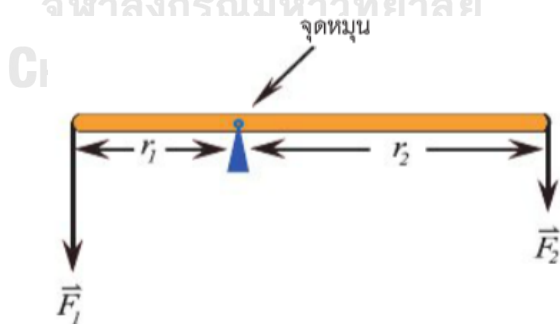
- สภาพสมดุลสะเทิน จากรูปที่ 5 ข. เมื่อออกแรงผลักขุด ไม่ว่าจะผลักอย่างไร ขุดจะกลับโดยศูนย์กลางมวลของขุดอยู่สูงจากพื้นเท่าเดิม พลังงานศักย์ของจุดศูนย์กลางมวลเท่าเดิมและแนวน้ำหนัก ( $W$ ) ยังคงอยู่ในแนวแรง ( $N$ ) จึงไม่เกิดโมเมนต์ของแรงคืนให้กลับที่เดิม ทำให้ขุดอยู่ ณ ตำแหน่งใหม่ทุกครั้ง

- สภาพสมดุลไม่เสถียร จากรูปที่ 5 ค. เมื่อขุดถูกผลักเอียงไปเล็กน้อย จุดศูนย์กลางมวลของขุดพ้นแนวปากขุดที่เป็นฐาน ขุดจะล้มต่อไปด้วยโมเมนต์ของน้ำหนักที่ทำให้ขุดหมุน ขุดจะไม่วางตัวกลับไปดังเดิม พลังงานศักย์ของจุดศูนย์กลางมวลจะต่ำลง หลังจากเอียงเกินขอบของปากขุด

## 6. การนำหลักสมดุลไปประยุกต์ใช้กับเครื่องกลอย่างง่าย

เครื่องกล หมายถึง อุปกรณ์ที่ช่วยผ่อนแรงหรืออำนวยความสะดวก หรือทั้งช่วยผ่อนแรงและอำนวยความสะดวก ซึ่งสามารถนำหลักสมดุลมาพิจารณาการทำงานของเครื่องกลอย่างง่ายได้ เช่น คาน รอก ล้อและเพลา เป็นต้น โดยจะแสดงตัวอย่างการนำหลักสมดุลมาประยุกต์ใช้กับคานดังต่อไปนี้

- คาน เป็นเครื่องผ่อนแรงที่เราใช้มากที่สุด เช่น ชะแลงงัดฝากล่อง ค้อนงัดตะปู คีมตัดลวด ชิ้นส่วนต่าง ๆ ของรถและเครื่องกล เป็นต้น หลักการทำงานของคานพิจารณาขณะคานอยู่ในสมดุล



รูปที่ 6 การทำงานของคาน

นั่นคือ  $\sum_{i=1}^n F_i = 0$  และ  $\sum_{i=1}^n M_i = 0$

คิดโมเมนต์รอบจุดหมุนให้โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกาเป็นเครื่องหมายเป็นบวก (+) และโมเมนต์ตามเข็มนาฬิกาเป็นเครื่องหมายเป็นลบ (-)

$$F_1 r_1 - F_2 r_2 = 0$$

$$F_1 r_1 = F_2 r_2$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

อัตราส่วน  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{r_2}{r_1}$  เรียกว่า **การได้เปรียบเชิงกล** เมื่อ  $F_1$  เป็นแรงที่ได้จากเครื่องกล และ  $F_2$  เป็นแรงกระทำ นั่นคือ การได้เปรียบเชิงกลเป็นปริมาณที่บอกให้ทราบว่าแรงที่ได้จากเครื่องกลเป็นกี่เท่าของแรงที่เรากระทำ เครื่องผ่อนแรงคือเครื่องกลที่มีการได้เปรียบเชิงกลมากกว่าหนึ่งทำให้เราสามารถยกของที่มีน้ำหนักมากโดยใช้แรงที่น้อยกว่าน้ำหนักของวัตถุนั้น

## กิจกรรมการเรียนรู้

### คาบเรียนที่ 1-2

#### 1. ชั้นระบุปัญหาความท้าทาย (Identify a Challenge)

1.1 นักเรียนชมวิดีโอทัศน์ เรื่อง 10 อันดับสะพานสูงที่สุดในโลก จากนั้นร่วมอภิปรายในประเด็นคำถามต่อไปนี้

- นักเรียนรู้จักสะพานข้ามแม่น้ำหรือหุบเหวประเภทใดบ้าง และมีลักษณะของตัวสะพานเป็นอย่างไร (แนวคำตอบ: สะพานแขวน มีสายเคเบิลแขวนรับน้ำหนักพื้นสะพานระหว่างเสา)

- นักเรียนคิดว่าการสร้างสะพานให้ปลอดภัย ต้องคำนึงถึงปัจจัยใดบ้าง (แนวคำตอบ: แรงดึงและแรงบีบอัดของสะพาน น้ำหนักที่สะพานจะรับได้ ความแข็งแรงของเสาและพื้นสะพาน แรงกระทำกับส่วนประกอบต่าง ๆ ของสะพาน ความสมดุลของสะพาน เป็นต้น)

1.2 นักเรียนได้รับการกระตุ้นความสนใจจากการได้รับปัญหาที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ที่ครูนำเสนอต่อไปนี้

บริษัทรับเหมาแห่งหนึ่งได้รับงานสร้างสะพานข้ามแม่น้ำ และทางบริษัทต้องการสร้างสะพานจำลองเพื่อนำเสนองานกับลูกค้า จึงได้ทำการคัดเลือกวิศวกรมาสร้างสะพานจำลอง โดยเป็นสะพานประเภทใดก็ได้ และการทดสอบสะพานจำลองนั้นต้องมีความปลอดภัยสามารถรับน้ำหนักตามที่กำหนด หากนักเรียนเป็นทีมวิศวกรของบริษัทจะออกแบบและสร้างสะพานจำลองอย่างไร พร้อมทั้งนำเสนอหลักการสร้างสะพานจำลอง เพื่อแสดงถึงความมั่นคงและปลอดภัย

### มีเงื่อนไขหรือข้อจำกัดดังต่อไปนี้

- จำลองว่าแม่น้ำที่ต้องสร้างสะพานข้ามมีความกว้าง 60 เซนติเมตร
- สร้างเสาดังรับน้ำหนักได้เพียงสองต้นเท่านั้น
- สะพานจำลองสามารถรับตุ้มน้ำหนักได้ 50 นิวตัน จึงถือว่ามีความปลอดภัย

1.3 ครูแสดงตัวอย่างสะพานจำลองและวิธีทดสอบตุ้มน้ำหนักโดยการแขวนตุ้มน้ำหนัก

## 2. ขั้นค้นหาแนวคิด (Explore Ideas)

2.1 ครูให้เรียนระบุส่วนต่าง ๆ ที่นักเรียนต้องลงมือปฏิบัติและคาดว่าเป็นปัญหาที่ต้องจัดการแก้ไขเพื่อให้สามารถสร้างสะพานจำลองออกมาได้ตรงตามเงื่อนไข โดยครูช่วยระบุส่วนย่อยของปัญหาที่จำเป็นเพิ่มเติม

2.2 ครูชี้แจงประเด็นความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสะพานจำลอง และกล่าวว่านักเรียนจะได้ศึกษาข้อมูลและองค์ความรู้ต่าง ๆ ก่อนที่นักเรียนจะออกแบบสร้างสะพานจำลอง

2.3 นักเรียนร่วมอภิปรายเกี่ยวกับความหมายของสภาพสมดุล โดยครูตั้งประเด็นดังต่อไปนี้

- นักเรียนคิดว่าในกรณีสะพานข้ามแม่น้ำ เมื่อเราให้รถสามารถเข้าไปวิ่งบนสะพาน นั้นหมายความว่า มีแรงมากกระทำต่อสะพาน แต่สะพานยังคงสภาพอยู่นิ่งได้ สะพานอยู่ในสภาพสมดุลหรือไม่ (อยู่)
- ทั้ง ๆ ที่มีแรงมากกระทำต่อสะพาน เพราะเหตุใดนักเรียนจึงคิดว่าสะพานยังคงอยู่ในสภาพสมดุล (เพราะแรงลัพธ์ที่กระทำต่อสะพานมีค่าเท่ากับศูนย์)
- ยานอวกาศลอยในอวกาศด้วยความเร็วคงที่ การเคลื่อนที่ดังกล่าวอยู่ในสภาพสมดุลหรือไม่ (อยู่)
- เพราะอะไรยานอวกาศจึงอยู่ในสภาพสมดุล (เพราะแรงลัพธ์ที่มากระทำมีค่าเท่ากับศูนย์)

2.4 ครูบรรยายประเด็นของประเภทสมดุล โดยบรรยายความรู้เรื่องสมดุลสถิต และสมดุลจลน์ จากนั้นให้นักเรียนสรุปกรณีตัวอย่างของสะพานและยานอวกาศว่ากรณีใดอยู่ในสมดุลสถิต (สะพาน) กรณีใดอยู่ในสมดุลจลน์ (ยานอวกาศ) และครูนำเสนอว่าในบทเรียนนี้นักเรียนจะได้ศึกษาเฉพาะกรณีสมดุลสถิต

2.5 ครูจัดกิจกรรมสาธิตการวางกระดาษแผ่นกลมบนนิ้วมือให้แผ่นกระดาษคงสภาพสมดุลอยู่บนนิ้วได้ จากนั้นเลื่อนตำแหน่งของกระดาษที่สัมผัสกับนิ้วมือออก เพื่อแสดงให้เห็นว่าแผ่นกระดาษจะตกลงจากนิ้ว และให้นักเรียนร่วมอภิปรายในประเด็นดังนี้

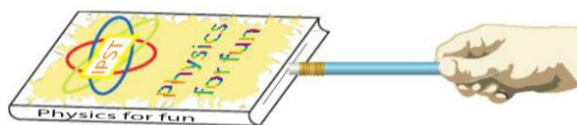
- เพราะเหตุใดแผ่นกระดาษจึงวางอยู่บนนิ้วไม่ได้เมื่อเปลี่ยนตำแหน่ง (เพราะไม่อยู่ในสภาพสมดุล)
- นักเรียนบอกได้หรือไม่ว่าจะต้องวางแผ่นกระดาษกลมรวมถึงรูปทรงอื่น ๆ อย่างไรจึงจะอยู่ในสภาพสมดุล (วางที่ตำแหน่งตรงกลางของแผ่นกระดาษ หรือเรียกว่าศูนย์กลางมวลของวัตถุ)

2.6 ครูจัดกิจกรรมศึกษาความรู้ด้วยตนเอง โดยให้นักเรียนจับคู่กันศึกษาใบความรู้เรื่อง ศูนย์กลางมวลและศูนย์กลาง ทั้งนี้นักเรียนสามารถสืบค้นข้อมูลได้จากแหล่งการเรียนรู้อื่น ๆ เช่น แบบเรียนวิชาฟิสิกส์เพิ่มเติม แหล่งเรียนรู้ออนไลน์ เป็นต้น และทำใบงานเรื่อง การหาค่าตำแหน่ง ศูนย์กลางมวลและศูนย์กลาง

### คาบเรียนที่ 3-4

#### 2. ขั้นค้นหาแนวคิด (Explore Ideas) (ต่อ)

2.7 ครูจัดกิจกรรมสาธิตการดันหนังสือที่ตำแหน่งต่าง ๆ โดยใช้ดินสอดูดัน ในลักษณะดังรูป



จากนั้นนักเรียนสังเกตและร่วมอภิปรายในประเด็นต่อไปนี้

- เพราะเหตุใดหนังสือจึงมีการเลื่อนแต่ไม่หมุน (เพราะออกแรงกระทำผ่านจุดศูนย์กลางมวล)
- เพราะเหตุใดหนังสือจึงมีการเลื่อนและหมุน (เพราะแรงที่กระทำไม่ผ่านจุดศูนย์กลางมวล)
- ในกรณีที่ขณะที่หนังสือมีการเลื่อนแต่ไม่หมุน นักเรียนคิดว่าหนังสือมีสมดุลหรือไม่ (แนวคำตอบที่หนึ่ง: มี แนวคำตอบที่สอง: ไม่มี)
- เพราะเหตุใดจึงคิดว่าสมดุล (เพราะหนังสือไม่หมุน แสดงว่ามีสมดุลต่อการหมุน)
- เพราะเหตุใดจึงคิดว่าไม่สมดุล (เพราะหนังสือเลื่อน ไม่คงสภาพเดิม)

จากนั้นครูอธิบายขยายความเกี่ยวกับสมดุลของวัตถุ โดยสมดุลของวัตถุจะมีสองลักษณะคือ สมดุลต่อการเลื่อนและสมดุลต่อการหมุน จากกรณีการเลื่อนแต่ไม่หมุนนั้นแสดงว่าวัตถุอยู่ในสภาพสมดุลต่อการหมุนแต่ไม่อยู่ในสภาพสมดุลต่อการเลื่อน

2.8 ครูให้นักเรียนร่วมอภิปรายความหมายของสมดุลต่อการเลื่อน จากประเด็นดังนี้

- กล่องที่วางนิ่งอยู่บนพื้นอยู่ในสมดุลต่อการเลื่อนหรือไม่ (อยู่)
- รถที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่อยู่ในสมดุลต่อการเลื่อนหรือไม่ (อยู่)

- นักเรียนจะอธิบายความหมายของสมมูลต่อการเลื่อนได้อย่างไร (วัตถุที่สมมูลต่อการเลื่อนจะต้องคงสภาพการเคลื่อนที่เดิม)
  - แรงที่มากระทำต่อวัตถุที่สมมูลต่อการเลื่อนเป็นอย่างไร (แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์)
- จากนั้นครูอธิบายขยายความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับความสอดคล้องระหว่างกฎการเคลื่อนที่ข้อที่หนึ่งของนิวตันกับหลักสมมูลต่อการเลื่อน

2.9 นักเรียนจับคู่เพื่อศึกษาตัวอย่างการนำหลักสมมูลต่อการเลื่อนไปประยุกต์ใช้จากใบความรู้เรื่อง สมมูลต่อการเลื่อน หรือศึกษาเพิ่มเติมได้จากแหล่งการเรียนรู้อื่น ๆ เช่น แบบเรียนวิชาฟิสิกส์เพิ่มเติม แหล่งเรียนรู้ออนไลน์ เป็นต้น จากนั้นครูให้นักเรียนทำใบงานเรื่อง การแก้โจทย์ปัญหาจากหลักการสมมูลต่อการเลื่อนที่ โดยใช้รูปแบบการแก้ปัญหานั้นที่ได้ศึกษาจากใบความรู้หรือการสืบค้นจากแหล่งการเรียนรู้ และครูร่วมให้คำแนะนำหากนักเรียนมีข้อสงสัยในการปฏิบัติงาน เมื่อนักเรียนปฏิบัติงานเสร็จสิ้นครูให้นักเรียนนำเสนอการแก้โจทย์ปัญหา โดยสุ่มเรียกเลขที่นักเรียนออกมาหน้าชั้นเรียนเพื่อนำเสนอ

## คาบเรียนที่ 5-6

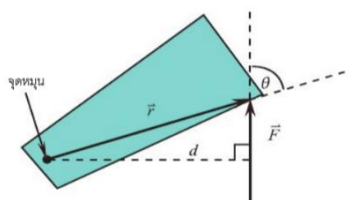
### 2. ขั้นค้นหาแนวคิด (Explore Ideas) (ต่อ)

2.10 นักเรียนร่วมอภิปรายความหมายของสมมูลต่อการหมุน จากประเด็นดังนี้

- ใบพัดของพัดลมขณะยังไม่เปิดหรืออยู่นิ่งอยู่ในสมมูลต่อการหมุนหรือไม่ (อยู่)
- ใบพัดของพัดลมขณะเปิดหรือหมุนแล้วอยู่ในสมมูลต่อการหมุนหรือไม่ (อยู่)
- เพราะเหตุใดนักเรียนจึงคิดว่าเมื่อเปิดให้ใบพัดลมหมุนแล้วสมมูลต่อการหมุน (เพราะใบพัดหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงตัวสม่ำเสมอไม่เปลี่ยนแปลงสภาพการหมุน)

จากนั้นครูอธิบายขยายความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับเงื่อนไขที่ทำให้วัตถุอยู่ในสมมูลต่อการหมุน (วัตถุจะอยู่ในสมมูลต่อการหมุน เมื่อทอร์กหรือโมเมนต์ของแรงที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ หรือกล่าวได้ว่าผลรวมของทอร์กลัพธ์หรือโมเมนต์ลัพธ์กระทำต่อวัตถุรอบแกนใด ๆ เป็นศูนย์)

2.11 นักเรียนร่วมอภิปรายเกี่ยวกับโมเมนต์ของแรง จากแผนภาพที่ครูแสดงและประเด็นคำถามดังต่อไปนี้



- จากแผนภาพ ถ้าออกแรงกระทำขนาดเท่าเดิมที่ตำแหน่งใกล้จุดหมุนมากขึ้น นักเรียนคิดว่าวัตถุจะหมุนได้ง่ายหรือยากกว่าเดิม (ยากกว่าเดิม)
  - จากแผนภาพ ถ้าออกแรงกระทำขนาดเท่าเดิมที่ตำแหน่งไกลจุดหมุนมากขึ้น นักเรียนคิดว่าวัตถุจะหมุนได้ง่ายหรือยากกว่าเดิม (ง่ายกว่าเดิม)
- จากนั้นครูอธิบายความหมายของโมเมนต์ของแรง และนักเรียนร่วมอภิปรายต่อไปประเด็นดังนี้
- จากภาพหากมีแรงกระทำต่อวัตถุในทิศทางต่าง ๆ นักเรียนคิดว่าวัตถุจะหมุนได้กี่แบบ อย่างไร (2 แบบ คือหมุนทวนเข็มนาฬิกาและหมุนตามเข็มนาฬิกา)
  - ถ้าหากมีแรงกระทำต่อวัตถุในทิศทางต่าง ๆ แต่วัตถุไม่หมุนกล่าวคืออยู่ในสมดุลสถิต นักเรียนคิดว่าเป็นเพราะอะไร (โมเมนต์ของแรงในทิศทางทวนเข็มนาฬิกามีค่าเท่ากับโมเมนต์ของแรงในทิศทางตามเข็มนาฬิกา)

2.12 ครูอธิบายความหมายแรงคู่ควบ และแสดงวิธีการคำนวณหาโมเมนต์ของแรงคู่ควบ จากนั้นให้นักเรียนร่วมสรุปความหมายของแรงคู่ควบจนสรุปได้ว่า เมื่อแรงสองแรงที่มีขนาดเท่ากัน กระทำต่อวัตถุ แนวแรงขนานกันแต่ทิศทางตรงกันข้าม เรียกแรงคู่นี้ว่า แรงคู่ควบ และจะทำให้วัตถุเกิดการหมุนหรือเกิดโมเมนต์ เรียกว่า โมเมนต์ดังกล่าวว่าโมเมนต์ของแรงคู่ควบ

- 2.13 ครูตั้งประเด็นคำถามเพื่อให้นักเรียนสรุปเงื่อนไขที่ทำให้วัตถุอยู่ในสมดุลสถิต ดังนี้
- ในบทเรียนนี้เราจะพิจารณาเฉพาะวัตถุที่อยู่ในสมดุลสถิตหรืออยู่นิ่ง วัตถุนั้นจะอยู่ในสภาพสมดุลอย่างไร (วัตถุจะอยู่ทั้งในสภาพสมดุลต่อการเลื่อนที่และการหมุน)
  - นักเรียนสรุปเงื่อนไขที่ทำให้วัตถุอยู่ในสภาพสมดุลในลักษณะของแรงและโมเมนต์ของแรงที่มากระทำต่อวัตถุได้อย่างไร (แรงลัพธ์และโมเมนต์ลัพธ์ที่มากระทำต่อวัตถุมีค่าเท่ากับศูนย์)

## คาบเรียนที่ 7-8

### 2. ขั้นค้นหาแนวคิด (Explore Ideas) (ต่อ)

2.14 นักเรียนจับคู่ โดยครูให้แต่ละคู่ศึกษาตัวอย่างการนำหลักสมดุลไปประยุกต์ใช้จากใบความรู้เรื่อง สมดุลกลของวัตถุ หรือศึกษาเพิ่มเติมได้จากแหล่งการเรียนรู้อื่น ๆ เช่น แบบเรียนวิชา ฟิสิกส์เพิ่มเติม แหล่งเรียนรู้ออนไลน์ เป็นต้น จากนั้นครูให้นักเรียนทำใบงานเรื่อง การแก้โจทย์ปัญหา จากหลักการสมดุลกล โดยใช้รูปแบบการแก้ปัญหาที่ได้ศึกษาจากใบความรู้หรือการสืบค้นจากแหล่งการเรียนรู้ และครูร่วมให้คำแนะนำหากนักเรียนมีข้อสงสัยในการปฏิบัติงาน เมื่อนักเรียนปฏิบัติงาน



เสร็จสิ้นครูให้นักเรียนนำเสนอการแก้โจทย์ปัญหา โดยสุ่มเรียกเลขที่นักเรียนออกมาหน้าชั้นเรียนเพื่อนำเสนอ

2.15 ครูบรรยายประเด็นเสถียรภาพของวัตถุสามลักษณะ ได้แก่ สภาพสมดุลเสถียร สภาพสมดุลสะเทิน และสภาพสมดุลไม่เสถียร จากนั้นนักเรียนร่วมสรุปเงื่อนไขของสภาพสมดุลทั้งสามลักษณะ

2.16 นักเรียนแบ่งกลุ่มจำนวน 12 กลุ่ม กลุ่มละ 3 คน โดยครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มช่วยกันศึกษาใบความรู้เรื่อง การนำหลักสมดุลไปประยุกต์ใช้กับเครื่องกลอย่างง่าย จากนั้นทำใบงานเรื่องการนำหลักสมดุลไปประยุกต์ใช้กับเครื่องกลอย่างง่าย

2.17 ครูทบทวนสถานการณ์เกี่ยวกับการสร้างสะพานจำลอง และให้นักเรียนระบุส่วนย่อยปัญหาในการสร้างสะพานจำลองให้กับนักเรียนอีกครั้ง จากนั้นครูแสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้หลักสมดุลในการคำนวณแรงกระทำที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของสะพาน

## คาบเรียนที่ 9-10

### 3. ขั้นตอนออกแบบและสร้าง (Plan and Develop)

3.1 ครูแบ่งกลุ่มนักเรียน ออกเป็น 9 กลุ่ม กลุ่มละ 4 คน โดยลดความสามารถ จากนั้นจัดเตรียมอุปกรณ์ให้กับนักเรียนแต่ละกลุ่มดังนี้ (1) กระดาษลัง (2) ไม้อัดบาง (3) ไม้ไผ่ติ่ม (4) กรรไกร (5) มีดคัตเตอร์ (6) สายวัด (7) กาว (8) เทปกาวใส (9) เชือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร และ (10) ดินน้ำมัน

3.2 ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่างภาพสะพานจำลอง เพื่อเลือกวัสดุอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการออกแบบตามเงื่อนไขที่กำหนด พร้อมทั้งระบุวัสดุอุปกรณ์ที่เลือกใช้ลงในใบบันทึกกิจกรรมการออกแบบสะพานจำลอง และเขียนอธิบายการนำหลักสมดุลมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบสะพานจำลองเพื่อให้เกิดความมั่นคงและปลอดภัย โดยเป็นใบกิจกรรมเดี่ยว จากนั้นสมาชิกกลุ่มระดมความคิดเพื่อเลือกแบบแผนของกลุ่ม

3.3 ครูเข้าไปตรวจสอบแผนการออกแบบสะพานจำลองของนักเรียนรายกลุ่ม โดยให้นักเรียนนำเสนอการขั้นตอนออกแบบที่สอดคล้องกับหลักสมดุล และให้คำแนะนำเพิ่มเติมในกรณีที่นักเรียนขาดประเด็นสำคัญในการออกแบบ

3.4 นักเรียนแต่ละกลุ่มแบ่งหน้าที่ของสมาชิกในการดำเนินการสร้างสะพานจำลอง โดยใช้หลักการสมดุลกลมาออกแบบสะพานจำลองเพื่อแสดงถึงความมั่นคงและปลอดภัยสามารถค้ำน้ำหนักขนาด 50 นิวตัน ได้ จากนั้นครูให้นักเรียนบันทึกขั้นตอนการสร้างลงในใบบันทึกกิจกรรมการออกแบบสะพานจำลอง

#### 4. ขั้นทดสอบ และประเมินผล (Test and Evaluate)

4.1 ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มทำการทดสอบสะพานจำลองที่สร้างเสร็จแล้ว โดยให้นักเรียนมารับค้ำน้ำหนักขนาด 50 นิวตัน ไปทดสอบวางหรือแขวนกับสะพานจำลอง และให้นักเรียนประเมินว่าสามารถสร้างสะพานจำลองได้ตรงตามเป้าหมายหรือไม่ หากไม่ตรงตามเป้าหมายให้ดำเนินการปรับปรุง

4.2 ครูจัดให้มีการประกวดแข่งขันสะพานจำลองที่รับน้ำหนักได้มากที่สุด โดยการเพิ่มน้ำหนักของค้ำน้ำหนัก กลุ่มใดสร้างสะพานจำลองที่สามารถรับน้ำหนักได้มากที่สุดจะได้รับรางวัลพิเศษจากกิจกรรมนี้

4.3 นักเรียนตรวจสอบข้อบกพร่องของขั้นตอนการสร้างชิ้นงานและดำเนินการปรับปรุงแก้ไขสะพานจำลองให้ดีขึ้น และเริ่มทำการแข่งขันจนได้กลุ่มที่สามารถสร้างสะพานจำลองได้แข็งแรงที่สุด

#### คาบเรียนที่ 11-12

#### 5. ขึ้นนำเสนอผลการดำเนินงาน (Present the Solution)

5.1 นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอวิธีการสร้างสะพานจำลองตามสถานการณ์ที่ได้รับ โดยนำเสนอแนวคิดองค์ความรู้ ขั้นตอนการออกแบบและสร้าง และผลลัพธ์ที่ได้ ทั้งนี้ครูเปิดโอกาสให้มีการซักถามและแนะนำข้อบกพร่องไปแก้ไขในการทำงานครั้งต่อไป

#### สื่อการเรียนรู้

1. วิดีทัศน์ เรื่อง 10 อันดับสะพานสูงที่สุดในโลก
2. แผ่นกระดาษกลมสาธิตตำแหน่งศูนย์กลางมวล
3. ใบความรู้และใบงาน เรื่อง การหาตำแหน่งศูนย์กลางมวลและศูนย์กลางถ่วง
4. ใบความรู้ เรื่อง สมดุลต่อการเลื่อนที่
5. ใบงาน เรื่อง การแก้โจทย์ปัญหาจากหลักการสมดุลต่อการเลื่อนที่

6. ใบความรู้ เรื่อง สมดุลกลของวัตถุ
7. ใบงาน เรื่อง การแก้โจทย์ปัญหาจากหลักการสมดุลกล
8. ใบความรู้และใบงาน เรื่อง การนำหลักสมดุลไปประยุกต์ใช้กับเครื่องกลอย่างง่าย
9. ใบบันทึกกิจกรรมการออกแบบสะพานจำลอง
10. หนังสือเรียนรายวิชาฟิสิกส์เพิ่มเติมเล่ม 2

#### การวัดและการประเมินผล

| สิ่งที่ต้องการวัดประเมิน                             | วิธีการวัดประเมิน   | การประเมินผล  |
|--|---|---|
| 1. การตอบคำถามของนักเรียน                            | สังเกตการตอบคำถามในชั้นเรียน และการเขียนอธิบายจากใบงาน                | ตอบคำถามได้ถูกต้องร้อยละ 80 ขึ้นไป                                      |
| 2. การออกแบบสะพานจำลองในแต่ละกลุ่ม                   | สังเกตการออกแบบและการเขียนอธิบายจากใบบันทึกกิจกรรมการออกแบบสะพานจำลอง | ร่างภาพส่วนสำคัญของสะพานจำลอง และเขียนลำดับขั้นตอนการออกแบบได้ชัดเจน    |
| 3. การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์และผลงานการสร้างสะพานจำลอง | สังเกตจากการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ และแบบประเมินผลงาน                   | เลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ได้อย่างคุ้มค่า และสร้างผลงานได้อยู่ในระดับดีขึ้นไป |
| 4. การนำเสนอผลการดำเนินงาน                           | สังเกตขณะการนำเสนอในชั้นเรียน   | นำเสนอผลการดำเนินงานได้อยู่ในระดับดีขึ้นไป                              |

## แบบประเมินผลงาน

การประเมินกลุ่มที่.....ชั้น.....

| รายการประเมิน | ระดับเกณฑ์การให้คะแนน  |   |  |   |
|---------------|--|---|--|---|
|               | ดีมาก (4)  | ดี (3)  | พอใช้ (2)  | ปรับปรุง (1)  |
| ผลงาน         | สะพานจำลองรับ<br>ตุ้มน้ำหนักขนาด<br>50 นิวตันได้<br>นักเรียนร่างภาพ<br>สะพานจำลองได้<br>อย่างชัดเจน ระบุ<br>ขั้นตอนการสร้าง<br>สะพานจำลอง<br>และมีการอธิบาย<br>หลักสมดุกลใน<br>การออกแบบ<br>สะพานจำลอง | สะพานจำลองรับ<br>ตุ้มน้ำหนักขนาด<br>50 นิวตันได้<br>นักเรียนร่างภาพ<br>สะพานจำลองได้<br>อย่างชัดเจน ระบุ<br>ขั้นตอนการสร้าง<br>สะพานจำลอง<br>แต่ไม่มีการ<br>อธิบายหลัก<br>สมดุกลในการ<br>ออกแบบสะพาน<br>จำลอง | สะพานจำลองไม่<br>สามารถรับตุ้ม<br>น้ำหนักขนาด 50<br>นิวตันได้<br>นักเรียนร่างภาพ<br>สะพานจำลองได้<br>อย่างชัดเจน ระบุ<br>ขั้นตอนการสร้าง<br>สะพานจำลอง<br>แต่ไม่มีการ<br>อธิบายหลัก<br>สมดุกลในการ<br>ออกแบบสะพาน<br>จำลอง | สะพานจำลองไม่<br>สามารถรับตุ้ม<br>น้ำหนักขนาด 50<br>นิวตันได้<br>นักเรียนร่างภาพ<br>สะพานจำลองได้<br>อย่างชัดเจน แต่<br>ไม่ระบุขั้นตอน<br>การสร้างสะพาน<br>จำลอง และไม่มี<br>การอธิบายหลัก<br>สมดุกลในการ<br>ออกแบบสะพาน<br>จำลอง |

คะแนนที่ได้.....

ลงชื่อผู้ประเมิน.....

(.....)

### แบบประเมินการนำเสนอผลการดำเนินงาน

การประเมินกลุ่มที่.....ชั้น.....

| รายการประเมิน               | ระดับเกณฑ์การให้คะแนน  |  |   |  |
|-----------------------------|--|--|---|--|
|                             | ดีมาก (4)  | ดี (3)   | พอใช้ (2)   | ปรับปรุง (1)   |
| การนำเสนอผล<br>การดำเนินงาน | รูปแบบการ<br>นำเสนอสื่อ<br>ความหมายให้<br>ผู้อื่นเข้าใจ<br>ถูกต้องชัดเจน<br>อธิบายเหตุผล<br>ของแนวคิดได้ | รูปแบบการ<br>นำเสนอสื่อ<br>ความหมายให้<br>ผู้อื่นเข้าใจได้<br>ชัดเจน อธิบาย<br>เหตุผลของ<br>แนวคิดได้<br>บางส่วน | รูปแบบการ<br>นำเสนอสื่อ<br>ความหมายให้<br>ผู้อื่นเข้าใจได้ไม่<br>ชัดเจน อธิบาย<br>เหตุผลของ<br>แนวคิดได้<br>บางส่วน | รูปแบบการ<br>นำเสนอสื่อ<br>ความหมายไม่<br>ถูกต้อง ไม่ชัดเจน<br>อธิบายเหตุผล<br>ของแนวคิดไม่ได้ |

คะแนนที่ได้.....

ลงชื่อผู้ประเมิน.....

(.....)

## ตัวอย่างสื่อการเรียนรู้ (ใบความรู้ ใบงาน และใบบันทึกกิจกรรม)

### ใบความรู้

#### เรื่อง สมดุลต่อการเลื่อน

##### สมดุลต่อการเลื่อน (translational equilibrium)

เมื่อพิจารณาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ วัตถุที่คงสภาพการเคลื่อนที่เดิม คือ หยุดนิ่ง หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว จัดว่าวัตถุนั้นสมดุลต่อการเลื่อนที่ซึ่งจากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน จะได้ว่า เมื่อมีแรงกระทำต่อวัตถุ โดยแรงลัพธ์เป็นศูนย์ วัตถุจึงสภาพการเคลื่อนที่เดิม ดังนั้นวัตถุจะอยู่ในสภาพสมดุลต่อการเลื่อนที่มีเงื่อนไขคือ แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์

ถ้าให้  $F_i$  เป็นแรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อวัตถุ ( $i=1,2,3,\dots,n$ ) ดังนั้น  $\sum_{i=1}^n F_i = 0$

กรณีมีแรงกระทำกับวัตถุหลายแรงและอยู่คนละแนวกับแกนฉาก (แกน x และแกน y) ให้พิจารณาดังนี้

- แยกองค์ประกอบของแรงลงบนแกน x จากนั้นพิจารณาสมดุลของแรงที่กระทำต่อวัตถุ

$$\sum_{i=1}^n F_{ix} = 0$$

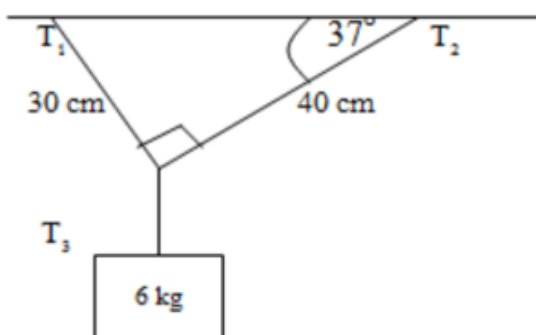
- แยกองค์ประกอบของแรงลงบนแกน y จากนั้นพิจารณาสมดุลของแรงที่กระทำต่อวัตถุ

$$\sum_{i=1}^n F_{iy} = 0$$

- แก้สมการหาค่าแรงต่าง ๆ

##### ตัวอย่างการคิดสมดุลต่อการเลื่อนที่ (สภาพของวัตถุอยู่นิ่ง)

นำเชือกเบามา 3 เส้น ผูกเข้าด้วยกัน ดังรูป จงหาแรงตึงเชือกทั้ง 3 เส้น



พิจารณาแกน x

$$T_2 \cos(37^\circ) = T_1 \cos(53^\circ)$$

$$T_2 = T_1 (3/5)(5/4) = (3/4)T_1 \quad (1)$$

พิจารณาแกน y

$$T_1 \sin(53^\circ) + T_2 \sin(37^\circ) = T_3$$

$$\text{โดย } T_3 = mg = 60 \text{ N}$$

$$\text{ดังนั้น } T_1(4/5) + T_2(3/5) = 60 \quad (2)$$

แทนค่า (1) ลงใน (2) จะได้ว่า

$$T_1(4/5) + (3/4)T_1(3/5) = 60$$

$$T_1(4/5) + (9/20)T_1 = 60$$

$$(25/20)T_1 = 60$$

$$T_1 = 48 \text{ N}$$

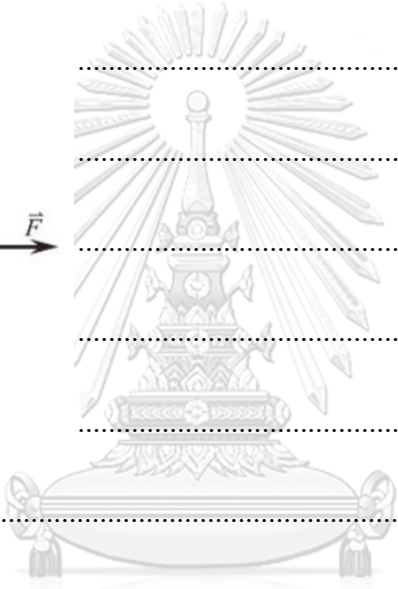
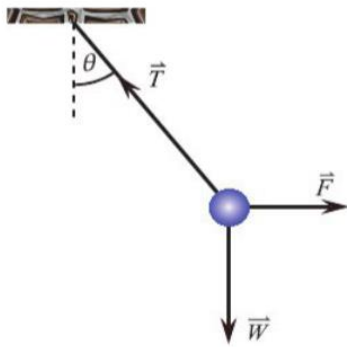
ดังนั้น  $T_2 = (3/4)T_1 = 36 \text{ N}$  และ  $T_3 = 60 \text{ N}$

ใบงาน

เรื่อง การแก้โจทย์ปัญหาจากหลักสมดุลต่อการเลื่อน

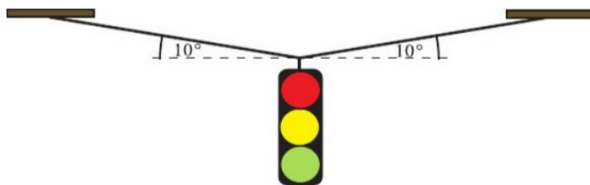
คำชี้แจง : ให้นักเรียนแสดงวิธีการแก้โจทย์ปัญหาในแต่ละข้ออย่างละเอียด

- ใช้เชือกผูกวัตถุหนัก 4 นิวตัน แล้วนำไปแขวนให้วัตถุห้อยอยู่ในแนวตั้ง พบว่าถ้าใช้แรงในแนวระดับ 3 นิวตัน ดึงวัตถุแล้วส่งผลให้วัตถุอยู่นิ่ง ดังรูป จงหาแรงตึงในเส้นเชือกมุมที่แนวเส้นเชือกทำกับแนวตั้ง



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- โคมไฟจราจรแขวนไว้กลางถนนด้วยลวด 2 เส้น ดังรูป ถ้าน้ำหนักโคมไฟมีค่า 20 นิวตัน และลวดแต่ละเส้นทำมุม 10 องศา กับแนวระดับ จงหาแรงตึงในเส้นลวดทั้งสอง





## ใบบันทึกกิจกรรมการออกแบบสะพานจำลอง

กลุ่มที่.....ชั้น.....

รายชื่อสมาชิก

1. ชื่อ-นามสกุล.....เลขที่.....
2. ชื่อ-นามสกุล.....เลขที่.....
3. ชื่อ-นามสกุล.....เลขที่.....
4. ชื่อ-นามสกุล.....เลขที่.....

### สถานการณ์

บริษัทรับเหมาแห่งหนึ่งได้รับงานสร้างสะพานข้ามแม่น้ำ และทางบริษัทต้องการสร้างสะพานจำลองเพื่อนำเสนองานกับลูกค้า จึงได้ทำการคัดเลือกวิศวกรมาสร้างสะพานจำลอง โดยเป็นสะพานประเภทใดก็ได้ และการทดสอบสะพานจำลองนั้นต้องมีความปลอดภัยสามารถรับต้มน้ำหนักตามที่กำหนด หากนักเรียนเป็นทีมวิศวกรของบริษัทจะออกแบบและสร้างสะพานจำลองอย่างไร พร้อมทั้งนำเสนอหลักการสร้างสะพานจำลอง เพื่อแสดงถึงความมั่นคงและปลอดภัย

มีเงื่อนไขหรือข้อจำกัดดังต่อไปนี้

- จำลองว่าแม่น้ำที่ต้องสร้างสะพานข้ามมีความกว้าง 60 เซนติเมตร
- สร้างเสาดังรับน้ำหนักได้เพียงสองต้นเท่านั้น
- สะพานจำลองสามารถรับต้มน้ำหนักได้ 50 นิวตัน จึงถือว่ามีความปลอดภัย

1. จงร่างแผนภาพสะพานจำลองที่ออกแบบ พร้อมระบุวัสดุอุปกรณ์ที่เลือกใช้

วัสดุอุปกรณ์ที่เลือกใช้

.....  
.....  
.....  
.....

2. จงอธิบายขั้นตอนการออกแบบสะพานจำลอง

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

3. จงอธิบายการประยุกต์ใช้หลักสมดุลกลในการออกแบบสะพานจำลองในกลุ่มของนักเรียน

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....



#### 4. บันทึกสิ่งที่ปรับปรุงแก้ไขในการสร้างสะพานจำลอง

.....

.....

.....

.....

.....



ภาคผนวก ง คุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. คุณภาพของแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์
2. คุณภาพของแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### 1. คุณภาพของแผนจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์

แผนจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์ มีการตรวจสอบคุณภาพโดยพิจารณา  
ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของผู้ทรงคุณวุฒิ ได้ผลการตรวจสอบ ดังตารางที่ 19

**ตารางที่ 19** ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจพิจารณาแผนจัดการเรียนรู้  
ตามแนวสะเต็มศึกษา

| รายการประเมิน   | ลำดับแผนการเรียนรู้                  |  |
|---|--------------------------------------|--|
|   | 1 หน่วยการเรียนรู้<br>เรื่อง สมดุลกล | 2 หน่วยการเรียนรู้<br>เรื่อง งานและ<br>พลังงาน |
| 1. องค์ประกอบของแผนการจัดการเรียนรู้  |                                      |  |
| 1.1 การกำหนดองค์ประกอบของแผนการจัดการ<br>เรียนรู้ครบตามรูปแบบแผนการจัดการเรียนรู้ | 1                                    | 1  |
| 1.2 แผนจัดการเรียนรู้มีการลำดับขั้นตอนเป็น<br>ระบบ                                | 1                                    | 1  |
| 2. จุดประสงค์การเรียนรู้  |                                      |  |
| 2.1 สอดคล้องกับเนื้อหา  | 1                                    | 1  |
| 2.2 สอดคล้องกับกิจกรรมการเรียนรู้   | 1                                    | 1  |
| 2.3 ครอบคลุมพฤติกรรมการณ์การเรียนรู้ ด้านพุทธิ<br>พิสัย จิตพิสัย และทักษะพิสัย    | 1                                    | 1  |
| 3. เนื้อหา/สาระ   |                                      |  |
| 3.1 สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้  | 1                                    | 1  |
| 3.2 มีความชัดเจน เหมาะสมกับระดับชั้นเรียน   | 0.67                                 | 0.67   |

| รายการประเมิน   | ลำดับแผนการเรียนรู้                  |  |
|---|--------------------------------------|--|
|   | 1 หน่วยการเรียนรู้<br>เรื่อง สมดุลกล | 2 หน่วยการเรียนรู้<br>เรื่อง งานและ<br>พลังงาน |
| 4. กิจกรรมการเรียนรู้   |                                      |  |
| 4.1 สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้และเนื้อหา  | 1                                    | 1  |
| 4.2 ขั้นตอนการจัดกิจกรรมเหมาะสมกับเวลา  | 1                                    | 1  |
| 4.3 ขั้นตอนการจัดกิจกรรมมีความชัดเจน  | 1                                    | 1  |
| 4.4 กิจกรรมสอดคล้องกับการบูรณาการความรู้ใน 4 สาขาวิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ | 1                                    | 1  |
| 5. สื่อการเรียนรู้  |                                      |  |
| 5.1 สอดคล้องกับกิจกรรมการเรียนรู้   | 1                                    | 1  |
| 5.2 เหมาะสมกับกิจกรรมการเรียนรู้  | 1                                    | 1  |
| 6. การวัดและประเมินผล   |                                      |  |
| 6.1 สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้  | 1                                    | 1  |
| 6.2 สอดคล้องกับเนื้อหา  | 1                                    | 1  |
| 6.3 สอดคล้องกับกิจกรรมการเรียนรู้   | 1                                    | 1  |

## 2. คุณภาพของแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ

แบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีการตรวจสอบคุณภาพในด้านความตรงเชิงเนื้อหา (content validity) ความเป็นปรนัย (objectivity) คุณภาพของข้อสอบรายข้อ ความสอดคล้องภายในของข้อสอบทั้งฉบับ และความเป็นคู่ขนานระหว่างข้อสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

1) ความตรงเชิงเนื้อหา พิจารณาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจพิจารณาแบบวัดความสามารถในการคิดเชิงคำนวณทั้งฉบับก่อนเรียนและหลังเรียน ได้ผลการตรวจสอบดังตารางที่ 20

**ตารางที่ 20** ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจพิจารณาแบบวัด  
ความสามารถในการคิดเชิงคำนวณ

| ข้อที่ | รายการประเมิน   | IOC<br>ก่อนเรียน | IOC<br>หลังเรียน | ความหมาย       |
|--------|---|------------------|------------------|----------------|
| 1.     | วัดการแยกส่วนประกอบและการย่อยปัญหา                          |                  |                  |                |
| 1.1    | ความชัดเจนของข้อคำถาม                                       | 0.33*            | 0.67             | *ปรับแก้ไขแล้ว |
| 1.2    | ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด                        | 1                | 1                | สอดคล้อง       |
| 1.3    | ความเหมาะสมของข้อคำถามกับเวลาที่ใช้                         | 0.33*            | 0.33*            | *ปรับแก้ไขแล้ว |
| 1.4    | ข้อคำถามสามารถใช้เป็นแบบวัดคู่ขนานกับแบบวัดฉบับก่อนเรียนได้ | -                | 1                | สอดคล้อง       |
| 2.     | วัดการหารูปแบบ  |                  |                  |                |
| 2.1    | ความชัดเจนของข้อคำถาม                                       | 0.67             | 0.67             | สอดคล้อง       |
| 2.2    | ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด                        | 0.33*            | 0.33*            | *ปรับแก้ไขแล้ว |
| 2.3    | ความเหมาะสมของข้อคำถามกับเวลาที่ใช้                         | 0.33*            | 0.33*            | *ปรับแก้ไขแล้ว |
| 2.4    | ข้อคำถามสามารถใช้เป็นแบบวัดคู่ขนานกับแบบวัดฉบับก่อนเรียนได้ | -                | 1                | สอดคล้อง       |
| 3.     | วัดการคิดเชิงนามธรรม  |                  |                  |                |
| 3.1    | ความชัดเจนของข้อคำถาม                                       | 1                | 1                | สอดคล้อง       |
| 3.2    | ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด                        | 1                | 1                | สอดคล้อง       |
| 3.3    | ความเหมาะสมของข้อคำถามกับเวลาที่ใช้                         | 0.33*            | 0.33*            | *ปรับแก้ไขแล้ว |
| 3.4    | ข้อคำถามสามารถใช้เป็นแบบวัดคู่ขนานกับแบบวัดฉบับก่อนเรียนได้ | -                | 1                | สอดคล้อง       |

| ข้อที่ | รายการประเมิน  | IOC<br>ก่อนเรียน | IOC<br>หลังเรียน | ความหมาย       |
|--------|--|------------------|------------------|----------------|
| 4.     | วัดการออกแบบขั้นตอนวิธี  |                  |                  |                |
|        | 4.1 ความชัดเจนของข้อความ                                       | 0.33*            | 0*               | *ปรับแก้ไขแล้ว |
|        | 4.2 ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด                       | 1                | 1                | สอดคล้อง       |
|        | 4.3 ความเหมาะสมของข้อความกับเวลาที่ใช้                         | 0.33*            | 0.33*            | *ปรับแก้ไขแล้ว |
|        | 4.4 ข้อความสามารถใช้เป็นแบบวัดคู่ขนานกับแบบวัดฉบับก่อนเรียนได้ | -                | 1                | สอดคล้อง       |
| 5.     | วัดการแยกส่วนประกอบและการย่อปัญหา                              |                  |                  |                |
|        | 5.1 ความชัดเจนของข้อความ                                       | 0.67             | 0.67             | สอดคล้อง       |
|        | 5.2 ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด                       | 1                | 1                | สอดคล้อง       |
|        | 5.3 ความเหมาะสมของข้อความกับเวลาที่ใช้                         | 0.33*            | 0.33*            | *ปรับแก้ไขแล้ว |
|        | 5.4 ข้อความสามารถใช้เป็นแบบวัดคู่ขนานกับแบบวัดฉบับก่อนเรียนได้ | -                | 1                | สอดคล้อง       |
| 6.     | วัดการหารูปแบบ   |                  |                  |                |
|        | 6.1 ความชัดเจนของข้อความ                                       | 1                | 1                | สอดคล้อง       |
|        | 6.2 ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด                       | 1                | 1                | สอดคล้อง       |
|        | 6.3 ความเหมาะสมของข้อความกับเวลาที่ใช้                         | 0.33*            | 0.33*            | *ปรับแก้ไขแล้ว |
|        | 6.4 ข้อความสามารถใช้เป็นแบบวัดคู่ขนานกับแบบวัดฉบับก่อนเรียนได้ | -                | 1                | สอดคล้อง       |



| ข้อที่ | รายการประเมิน  | IOC<br>ก่อนเรียน | IOC<br>หลังเรียน | ความหมาย       |
|--------|--|------------------|------------------|----------------|
| 7.     | วัดการคิดเชิงนามธรรม   |                  |                  |                |
|        | 7.1 ความชัดเจนของข้อความ                                       | 1                | 1                | สอดคล้อง       |
|        | 7.2 ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด                       | 1                | 1                | สอดคล้อง       |
|        | 7.3 ความเหมาะสมของข้อความกับเวลาที่ใช้                         | 0.33*            | 0.33*            | *ปรับแก้ไขแล้ว |
|        | 7.4 ข้อความสามารถใช้เป็นแบบวัดคู่ขนานกับแบบวัดฉบับก่อนเรียนได้ | -                | 1                | สอดคล้อง       |
| 8.     | วัดการออกแบบขั้นตอนวิธี  |                  |                  |                |
|        | 8.1 ความชัดเจนของข้อความ                                       | 1                | 1                | สอดคล้อง       |
|        | 8.2 ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด                       | 1                | 1                | สอดคล้อง       |
|        | 8.3 ความเหมาะสมของข้อความกับเวลาที่ใช้                         | 0.33*            | 0.33*            | *ปรับแก้ไขแล้ว |
|        | 8.4 ข้อความสามารถใช้เป็นแบบวัดคู่ขนานกับแบบวัดฉบับก่อนเรียนได้ | -                | 1                | สอดคล้อง       |
| 9.     | วัดการแยกส่วนประกอบและการย่อยปัญหา                             |                  |                  |                |
|        | 9.1 ความชัดเจนของข้อความ                                       | 0.67             | 0.67             | สอดคล้อง       |
|        | 9.2 ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด                       | 1                | 1                | *ปรับแก้ไขแล้ว |
|        | 9.3 ความเหมาะสมของข้อความกับเวลาที่ใช้                         | 0*               | 0*               | *ปรับแก้ไขแล้ว |
|        | 9.4 ข้อความสามารถใช้เป็นแบบวัดคู่ขนานกับแบบวัดฉบับก่อนเรียนได้ | -                | 1                | สอดคล้อง       |

| ข้อที่ | รายการประเมิน  | IOC<br>ก่อนเรียน | IOC<br>หลังเรียน | ความหมาย       |
|--------|--|------------------|------------------|----------------|
| 10.    | วัดการหารูปแบบ   |                  |                  |                |
|        | 10.1 ความชัดเจนของข้อคำถาม                                       | 1                | 1                | สอดคล้อง       |
|        | 10.2 ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด                        | 0.33*            | 0.33*            | *ปรับแก้ไขแล้ว |
|        | 10.3 ความเหมาะสมของข้อคำถามกับเวลาที่ใช้                         | 0.33*            | 0.33*            | *ปรับแก้ไขแล้ว |
|        | 10.4 ข้อคำถามสามารถใช้เป็นแบบวัดคู่ขนานกับแบบวัดฉบับก่อนเรียนได้ | -                | 1                | สอดคล้อง       |
| 11.    | วัดการคิดเชิงนามธรรม   |                  |                  |                |
|        | 11.1 ความชัดเจนของข้อคำถาม                                       | 1                | 1                | สอดคล้อง       |
|        | 11.2 ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด                        | 1                | 1                | สอดคล้อง       |
|        | 11.3 ความเหมาะสมของข้อคำถามกับเวลาที่ใช้                         | 0.33*            | 0.33*            | *ปรับแก้ไขแล้ว |
|        | 11.4 ข้อคำถามสามารถใช้เป็นแบบวัดคู่ขนานกับแบบวัดฉบับก่อนเรียนได้ | -                | 1                | สอดคล้อง       |
| 12.    | วัดการออกแบบขั้นตอนวิธี  |                  |                  |                |
|        | 12.1 ความชัดเจนของข้อคำถาม                                       | 1                | 1                | สอดคล้อง       |
|        | 12.2 ความสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด                        | 1                | 1                | สอดคล้อง       |
|        | 12.3 ความเหมาะสมของข้อคำถามกับเวลาที่ใช้                         | 0.33*            | 0.33*            | *ปรับแก้ไขแล้ว |
|        | 12.4 ข้อคำถามสามารถใช้เป็นแบบวัดคู่ขนานกับแบบวัดฉบับก่อนเรียนได้ | -                | 1                | สอดคล้อง       |

2) ความเป็นปรนัย พิจารณาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมิน (Rater Agreement Index; RAI) ได้ผลการตรวจสอบดังตารางที่ 21

**ตารางที่ 21** ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมิน (Rater Agreement Index; RAI)

| ข้อ<br>คำถามที่ | องค์ประกอบในการวัด                  | RAI               |                   | ความหมาย          |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                 |                                     | ฉบับ<br>ก่อนเรียน | ฉบับ<br>หลังเรียน |                   |
| 1               | การแยกส่วนประกอบและ<br>การย่อยปัญหา | 0.78              | 0.85              | มีความสอดคล้องกัน |
| 2               | การหารูปแบบ                         | 0.89              | 0.96              | มีความสอดคล้องกัน |
| 3               | การคิดเชิงนามธรรม                   | 0.89              | 0.74              | มีความสอดคล้องกัน |
| 4               | การออกแบบขั้นตอนวิธี                | 0.74              | 0.74              | มีความสอดคล้องกัน |
| 5               | การแยกส่วนประกอบและ<br>การย่อยปัญหา | 0.85              | 0.74              | มีความสอดคล้องกัน |
| 6               | การหารูปแบบ                         | 0.96              | 0.93              | มีความสอดคล้องกัน |
| 7               | การคิดเชิงนามธรรม                   | 0.78              | 0.78              | มีความสอดคล้องกัน |
| 8               | การออกแบบขั้นตอนวิธี                | 0.78              | 0.81              | มีความสอดคล้องกัน |
| 9               | การแยกส่วนประกอบและ<br>การย่อยปัญหา | 1                 | 1                 | มีความสอดคล้องกัน |
| 10              | การหารูปแบบ                         | 0.89              | 0.89              | มีความสอดคล้องกัน |
| 11              | การคิดเชิงนามธรรม                   | 0.85              | 0.81              | มีความสอดคล้องกัน |
| 12              | การออกแบบขั้นตอนวิธี                | 0.89              | 0.78              | มีความสอดคล้องกัน |

3) คุณภาพของข้อสอบรายข้อ พิจารณาจากค่าความยาก (p) อำนาจจำแนก (r) ความสอดคล้องภายในของข้อสอบทั้งฉบับ พิจารณาจากค่าความเที่ยง (Cronbach's alpha) และความเป็นคู่ขนานระหว่างข้อสอบก่อนเรียนและหลังเรียน พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient) ได้ผลการตรวจสอบดังตารางที่ 22

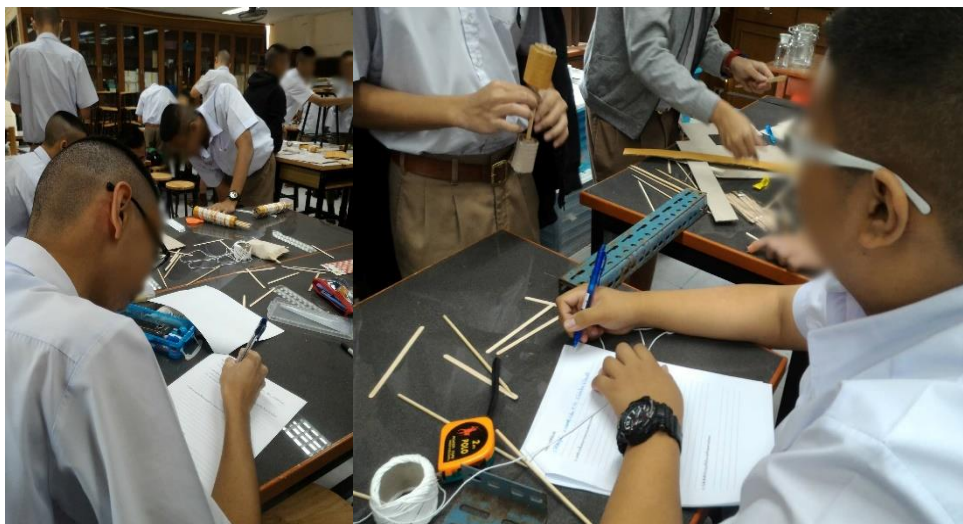
**ตารางที่ 22** ค่าความยาก (p) อำนาจจำแนก (r) ค่าความเที่ยง (Cronbach's alpha) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient)

| ข้อคำถามที่                           | ฉบับก่อนเรียน        |      |                          | ฉบับหลังเรียน             |      |                          |
|---------------------------------------|----------------------|------|--------------------------|---------------------------|------|--------------------------|
|                                       | p                    | r    | ความหมาย                 | p                         | r    | ความหมาย                 |
| 1                                     | 0.66                 | 0.26 | ง่าย พอใช้ จำแนกได้      | 0.66                      | 0.21 | ง่าย พอใช้ จำแนกได้      |
| 2                                     | 0.74                 | 0.37 | ง่าย พอใช้ จำแนกได้      | 0.80                      | 0.27 | ง่าย พอใช้ จำแนกได้      |
| 3                                     | 0.49                 | 0.43 | ค่อนข้างยาก ดี จำแนกได้  | 0.47                      | 0.47 | ค่อนข้างยาก ดี จำแนกได้  |
| 4                                     | 0.57                 | 0.55 | ค่อนข้างง่าย ดี จำแนกได้ | 0.57                      | 0.31 | ค่อนข้างง่าย ดี จำแนกได้ |
| 5                                     | 0.43                 | 0.20 | ค่อนข้างยาก ดี จำแนกได้  | 0.44                      | 0.29 | ค่อนข้างยาก ดี จำแนกได้  |
| 6                                     | 0.72                 | 0.22 | ง่าย พอใช้ จำแนกได้      | 0.72                      | 0.22 | ง่าย พอใช้ จำแนกได้      |
| 7                                     | 0.43                 | 0.27 | ค่อนข้างยาก ดี จำแนกได้  | 0.57                      | 0.24 | ค่อนข้างง่าย ดี จำแนกได้ |
| 8                                     | 0.49                 | 0.43 | ค่อนข้างยาก ดี จำแนกได้  | 0.58                      | 0.49 | ค่อนข้างง่าย ดี จำแนกได้ |
| 9                                     | 0.73                 | 0.35 | ง่าย พอใช้ จำแนกได้      | 0.76                      | 0.24 | ง่าย พอใช้ จำแนกได้      |
| 10                                    | 0.68                 | 0.33 | ง่าย พอใช้ จำแนกได้      | 0.69                      | 0.27 | ง่าย พอใช้ จำแนกได้      |
| 11                                    | 0.74                 | 0.41 | ง่าย พอใช้ จำแนกได้      | 0.78                      | 0.32 | ง่าย พอใช้ จำแนกได้      |
| 12                                    | 0.53                 | 0.39 | ค่อนข้างง่าย ดี จำแนกได้ | 0.79                      | 0.29 | ง่าย พอใช้ จำแนกได้      |
| ความเที่ยง                            | 0.76 (ฉบับก่อนเรียน) |      |                          | 0.71 (ฉบับหลังเรียนเรียน) |      |                          |
| ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน |                      |      |                          | 0.93                      |      |                          |

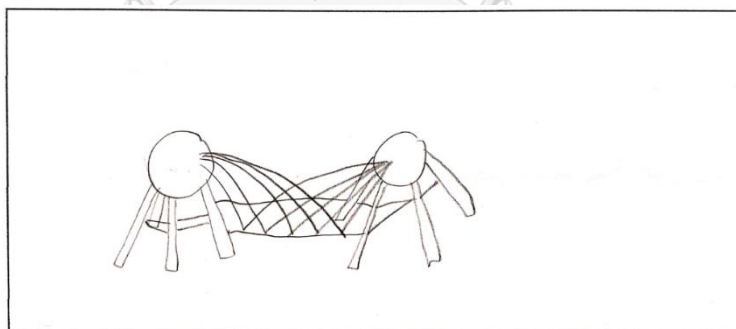
ภาคผนวก จ ภาพกิจกรรมการเรียนการสอนและผลงานของนักเรียน  
ตัวอย่างภาพกิจกรรมการเรียนการสอนตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์  
และผลงานของนักเรียน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตัวอย่างภาพกิจกรรมการเรียนรู้การสอนตามแนวสะเต็มศึกษาในวิชาฟิสิกส์  
และผลงานของนักเรียน



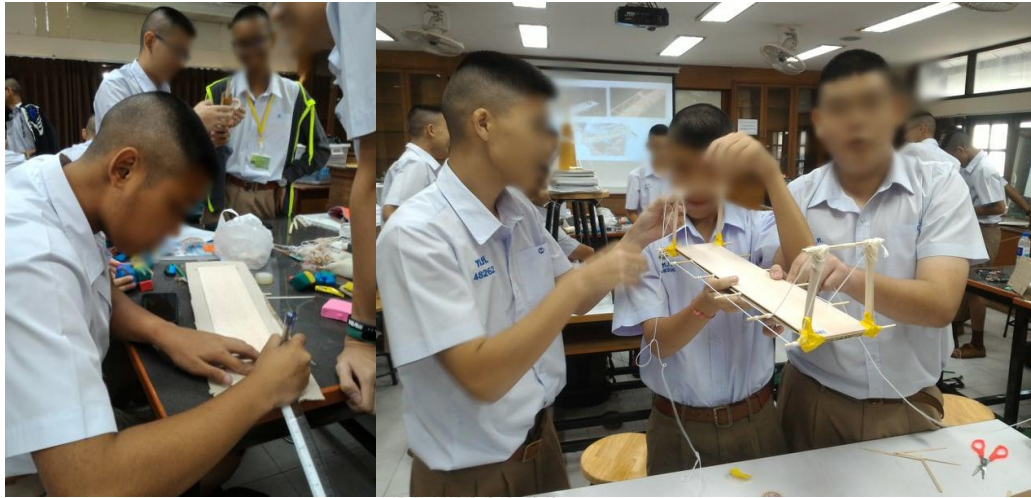
แผนภาพที่ 6 นักเรียนวางแผนการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์และออกแบบสะพานจำลอง



วัสดุอุปกรณ์ที่เลือกใช้

- |          |              |              |
|----------|--------------|--------------|
| 1. ไม้   | 2. กะดาษแข็ง | 3. ดินน้ำมัน |
| 4. เชือก | 5. สก็อตเทป  | 6. เข็ม      |

แผนภาพที่ 7 ตัวอย่างการเขียนแบบร่างความคิดสะพานจำลองของนักเรียน  
ในแผนจัดการเรียนรู้ที่ 1



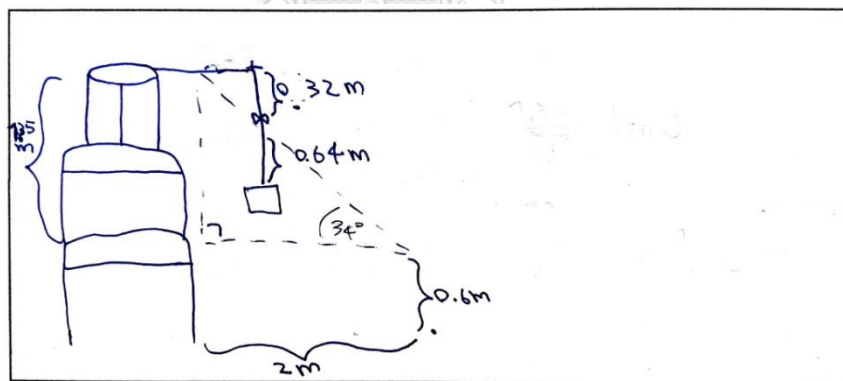
แผนภาพที่ 8 นักเรียนลงมือสร้างสะพานจำลองตามขั้นตอนที่วางแผนไว้



แผนภาพที่ 9 นักเรียนแสดงชิ้นงานและทำการทดสอบชิ้นงานสะพานจำลอง



แผนภาพที่ 10 นักเรียนวางแผนการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์และออกแบบบันจี้จัมป์จำลอง



วัสดุอุปกรณ์ที่เลือกใช้

1 ลวดจืดเอว 2 บันจี้ 3 ยางรัดเส้น 4 ราวไม้ 5 ลวดทอ 500 กรัม  
6 โปสเตอร์ 7 ไม้ 8 แก้ว 1 ฝา 8 เครื่องวัดมุม

แผนภาพที่ 11 ตัวอย่างการเขียนแบบร่างความคิดบันจี้จัมป์จำลองของนักเรียน  
ในแผนจัดการเรียนรู้ที่ 2





แผนภาพที่ 12 นักเรียนลงพื้นที่เก็บข้อมูลความสูงทอกระโดด ความกว้างแม่น้ำ เพื่อนำไปออกแบบ และสร้างบันจีจัมป์จำลองตามเงื่อนไขและข้อจำกัด



แผนภาพที่ 13 นักเรียนแสดงชิ้นงานและทดสอบชิ้นงานบันจีจัมป์จำลอง

## ประวัติผู้เขียน

|                   |   |
|-------------------|---|
| ชื่อ-สกุล         | นายศรายุทธ ดวงจันทร์  |
| วัน เดือน ปี เกิด | 14 มกราคม พ.ศ. 2536   |
| สถานที่เกิด       | จ. เพชรบุรี   |
| วุฒิการศึกษา      | วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย   |
| รางวัลที่ได้รับ   | ทุนโครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) ระดับปริญญาโท ประเภท Premium ประจำปีการศึกษา 2559 |

