การพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง สภาพสมดุล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

ไตรรงค์ เมธีผาติกุล

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์
กรกฎาคม 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

ทุนสนับสนุนจากสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.)
โครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์
และคณิตศาสตร์ (สควค.)

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิติยา บงกชเพชร ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ท่านผู้ที่ให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางที่ถูกต้อง และตรวจสอบข้อบกพร่องให้ผู้วิจัยนำกลับไปแก้ไขเพื่อประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ให้ประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดี อีกทั้งยังช่วยเป็นแรงผลักดันให้ผู้วิจัย สามารถก้าวข้ามอุปสรรคต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในตลอดระยะเวลาที่ทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คเชนทร์ แดงอุดม กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ท่านได้สละเวลาอันมีค่าในการให้คำแนะนำในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ รวมถึงเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยให้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และกราบขอบพระคุณคุณครูชาติ เจริญชัย ผู้เชี่ยวชาญที่ได้ให้ข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการปรับแก้เครื่องมือในการวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งเป็นผู้สังเกตการณ์สะท้อนผลการจัดการเรียนรู้เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการวิจัย

กราบขอบพระคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่สนับสนุนทุนการศึกษาและมอบโอกาสที่ดีในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งผู้อำนวยการ และคณะครูโรงเรียนมัธยมศึกษาที่อนุญาตให้ผู้วิจัยได้เข้าไปเก็บข้อมูลวิจัย และนักเรียนชั้นมัธมศึกษาที่ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาการศึกษาทุกท่านและขอบใจเพื่อนนิสิตปริญญาโทที่เป็นส่วนหนึ่งในการให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

คุณประโยชน์จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบและอุทิศแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน และหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาการจัดการเรียนรู้ต่อไป

ไตรรงค์ เมธีผาติกุล

ชื่อเรื่อง การพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง สภาพสมดุล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4
ผู้วิจัย ไตรรงค์ เมธีผาติกุล
ประธานที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิติยา บงกชเพชร
กรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คเชนทร์ แดงอุดม
ประเภทสารนิพนธ์ วิทยานิพนธ์ กศ.ม. สาขาฟิสิกส์, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2560
คำสำคัญ กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม สภาพสมดุล

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่ช่วยพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม เรื่อง สภาพสมดุล ของนักเรียน และผลการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในเรื่อง สภาพสมดุล การวิจัยนี้เป็นการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ของโรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลกจำนวน 44 คน ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560 ใช้ระยะเวลาทั้งหมดในการวิจัยคือ 12 ชั่วโมง เครื่องมือวิจัยได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้จำนวน 3 แผนการจัดการเรียนรู้ ใบกิจกรรม ชิ้นงานของนักเรียน โปสเตอร์ และแบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม วิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา ผลการวิจัยพบว่า วิธีการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ทั้ง 6 ขั้นตอน มีลักษณะดังนี้ ขั้นระบุปัญหา สถานการณ์ที่จะให้นักเรียนระบุปัญหาจะต้องทำให้นักเรียนได้เกิดการวิเคราะห์เงื่อนไขของสถานการณ์และเกิดการพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกัน ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ควรให้นักเรียนได้ทำการวิเคราะห์และอภิปรายร่วมกันถึงประโยชน์ของแนวคิดนั้น ผู้สอนมีหน้าที่คอยแนะนำให้แก่นักเรียนเท่านั้น ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา นักเรียนจะได้ลงมือทำการออกแบบชิ้นงานด้วยตนเองจากแนวคิดที่ได้รวบรวมไว้ พร้อมทั้งมีการเสนอความคิดเห็นและตรวจสอบการนำความรู้มาใช้ในการออกแบบชิ้นงาน ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา นักเรียนจะได้สร้างชิ้นงานที่ได้วางแผนไว้ในตอนต้นซึ่งครูจะต้องทำการตรวจสอบว่านักเรียนสร้างชิ้นงานตรงตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

นักเรียนจะทำการทดสอบชิ้นงานและดำเนินการปรับปรุงเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดโดยเรียนรู้จากข้อผิดพลาดที่พบจากการทดสอบ ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน นักเรียนจะได้นำเสนอผลการทำกิจกรรม ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น ผลการดำเนินการแก้ไข เพื่อแสดงถึงการพัฒนาการของนักเรียน ส่วนผลการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมพบว่า นักเรียนมีการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในด้านการสร้างสรรค์นวัตกรรมได้มากที่สุด รองลงมาคือ การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ และ การคิดอย่างสร้างสรรค์ ตามลำดับ

Title	DEVELOPING CREATIVITY AND INNOVATION THROUGH ENGINEERING DESIGN PROCESS BASED ON STEM EDUCATION IN EQUILIBRIUM TOPIC FOR 10th GRADE STUDENTS
Author	Trairong Mathiphatikul
Advisor	Assistant Professor Thitiya Bongkotphet, Ph.D.
Co- Advisor	Assistant Professor Kachain Dangudom, Ph.D.
Academic Paper	Thesis M.Ed. in Physics, Naresuan University, 2017
Keywords	Learning management through engineering design process based on STEM education, Creative Thinking, Equilibrium

ABSTRACT

The research aims to investigate how to use engineering design process based on STEM education to promote creativity and innovation in equilibrium topic and the effects of creativity and innovation development of students by using engineering design process based on STEM education. The methodology of this research was classroom action research. The participants in this study were forty-four 10th grade students in science and mathematical program of school in Phitsanulok. Research instruments consist of the lesson plans of engineering design process based on STEM education, Reflections form, students' worksheets, posters and student's artifacts and creativity and innovation observation forms. Qualitative data analysis were used in this study including content analysis. The results of the research were as follows: engineering desig process based on STEM education consists of 6 steps. First, Problem Identification. Choosing the situation that complex for students have a situation's condition analysis with their groupmates. Related Information Search, students must to expailn and discuss with others for ideas' inventiveness and benefit. Solution design, students were design their prototype from their related knowledge that was complie and teacher need to motivate students for comment and examine that knowledge. Planning and development, students were create the prototype follow their planning and teacher need to check their prototype and their planning are related. Testing, Evaluation and Design Improvement, this step students were

assessment their prototype for improve their model. The final step is Presentation, students will presentation their result, finding, problem and development. As part of the results of the development of creativity and innovation, engineering design process based on STEM education can promoted students' creativity and innovation in the following three competencies, in order of the number of students showing development from most to least: 1) Implement Innovations; 2) Work Creatively with Others; and 3) Think Creatively

สารบัญ

บทที่ **หน้า**

1 **บทนำ** 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

คำถามของการวิจัย 6

จุดมุ่งหมายของการวิจัย 6

ขอบเขตการวิจัย 6

นิยามศัพท์เฉพาะ 7

2 **เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** 10

หลักสูตรสถานศึกษา 11

ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม 13

การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา 30

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 48

3 **วิธีดำเนินการวิจัย** 55

รูปแบบการวิจัย 55

กลุ่มเป้าหมาย 56

บริบทของการวิจัย 56

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 57

การเก็บรวบรวมข้อมูล 69

การวิเคราะห์ข้อมูล 70

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

4 ผลการวิจัย 73

ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาวิธีการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในเรื่อง สภาพสมดุล 73

ตอนที่ 2 ผลการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม เรื่อง สภาพสมดุล จากการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา 111

5 บทสรุป 140

สรุปผลการวิจัย 140

อภิปรายผลการวิจัย 143

ข้อเสนอแนะ 146

บรรณานุกรม 148

ภาคผนวก 155

ประวัติผู้วิจัย 190

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

1 แสดงสรุปการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในรูปแบบต่างๆ..... 44
2 แสดงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของเนื้อหาระหว่างการจัดการเรียนรู้..... 58
3 แสดงองค์ประกอบของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่เกิดขึ้น
จากการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา..... 62
4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดมุ่งหมายของการวิจัยกับเครื่องมือวิจัย..... 68
5 แสดงสรุปประเด็นปัญหาที่สำคัญในแต่ละวงจรปฏิบัติการตามขั้นตอน
การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตาม
แนวคิดสะเต็มศึกษา 104
6 แสดงจำนวนนักเรียนที่มีพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์
และนวัตกรรมในแต่ละองค์ประกอบของวงจรปฏิบัติการต่างๆ..... 113

สารบัญภาพ

ภาพ **หน้า**

1 โครงสร้างทักษะในศตวรรษที่ 21..... 14

2 วงจรกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมโดยสถาบันส่งเสริมการสอน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี..... 37

3 วงจรกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมโดย National Research Council..... 39

4 วงจรกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมโดย Billiar, Hubelbank, Oliva and Camesano..... 42

5 แสดงวงจรกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม Engineering is Elementary (EiE)..... 43

6 วงจรปฏิบัติการของวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน..... 56

7 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล..... 70

8 นักเรียนทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคาร.... 79

9 ตัวอย่างโปสเตอร์นำเสนองานของนักเรียนเรื่อง สมดุลต่อการเลื่อนที่ จุดศูนย์กลางมวล และจุดศูนย์ถ่วง..... 83

10 ตัวอย่างการระบุปัญหาของกลุ่มนักเรียนที่บันทึกลงในใบกิจกรรม..... 87

11 ตัวอย่างการระบุปัญหาของกลุ่มนักเรียนที่บันทึกลงในใบกิจกรรม..... 87

12 ตัวอย่างการรวบรวมความรู้ที่เกี่ยวข้องในการสร้างสะพานแขวนของนักเรียน ที่บันทึกลงในใบกิจกรรม..... 88

13 ตัวอย่างการรวบรวมความรู้ที่เกี่ยวข้องในการสร้างสะพานแขวนของนักเรียน ที่บันทึกลงในใบกิจกรรม..... 88

14 ตัวอย่างแบบร่างของสะพานแขวนที่นักเรียนบันทึกลงในใบกิจกรรม..... 89

15 ตัวอย่างแบบร่างของสะพานแขวนที่นักเรียนบันทึกลงในใบกิจกรรม..... 90

16 ตัวอย่างแบบจำลองสะพานแขวนที่นักเรียนสร้างขึ้น..... 91

17 ตัวอย่างการบันทึกผลการทดสอบแบบจำลองสะพานแขวนของนักเรียน..... 92

18 ตัวอย่างโปสเตอร์นำเสนอของนักเรียน เรื่อง สมดุลต่อการหมุน..... 94

19 ตัวอย่างการระบุปัญหาของนักเรียนในใบกิจกรรม..... 97

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ **หน้า**

20 ตัวอย่างการรวบรวมความรู้ที่เกี่ยวข้องในการสร้างอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอ..... 98
21 ตัวอย่างแนวทางการสร้างอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลของนักเรียน..... 99
22 นักเรียนทำการสร้างอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลร่วมกัน..... 100
23 ตัวอย่างอุปกรณ์ขนย้ายลูกกบอลของนักเรียน..... 101
24 ตัวอย่างโปสเตอร์นำเสนอเรื่อง การประยุกต์ใช้สภาพสมดุลในชีวิตประจำวัน..... 102
25 ตัวอย่างการรวบรวมความรู้ของนักเรียนที่นำมาใช้ในการสร้างสะพานแขวน..... 117
26 ตัวอย่างการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการสร้างอุปรณ์ขนย้ายลูกบอล..... 118
27 ตัวอย่างแนวทางการสร้างสะพานหลอดน้ำจากแนวคิดที่นักเรียนได้รวบรวมมา..... 120
28 ตัวอย่างแนวทางการสร้างอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลจากแนวคิดของนักเรียน..... 121
29 ตัวอย่างตรวจสอบแนวคิดและนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคาร... 122
30 ตัวอย่างแนวทางการแก้ปัญหาและพัฒนาแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวน..... 123
31 ตัวอย่างแนวทางการใช้งานของอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลที่นักเรียนออกแบบ..... 123
32 ตัวอย่างแสดงการปรับปรุงแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนของนักเรียน..... 131
33 ตัวอย่างแบบจำลองโครงสร้างอาคารของนักเรียน..... 134
34 ตัวอย่างแบบจำลองโครงสร้างอาคารของนักเรียน..... 135
35 ตัวอย่างแบบร่างของแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวน..... 136
36 ตัวอย่างแบบร่างของแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวน..... 136
37 ตัวอย่างแบบร่างของอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลที่นักเรียนสร้างขึ้น..... 137
38 ตัวอย่างอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลที่นักเรียนสร้างขึ้น..... 138
39 ตัวอย่างอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลที่นักเรียนสร้างขึ้น..... 138

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในศตวรรษที่ 21 การศึกษาของโลกได้มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก สังคมเข้าสู่ยุคของโลกาภิวัตน์ เป็นสังคมที่มีข้อมูลข่าวสาร มีการขยายตัวทางเทคโนโลยีอุตสาหกรรมบริการ มีการแข่งขันในด้านเศรษฐกิจและมีความต้องการแรงงานที่สามารถคิดแก้ปัญหา สร้างสรรค์สิ่งใหม่ และทำงานร่วมกับผู้อื่นได้ สิ่งสำคัญที่สุดของการศึกษาในศตวรรษที่ 21 คือการจัดการเรียนรู้ที่จะช่วยพัฒนาผู้เรียนให้เตรียมความพร้อมด้านความรู้ ความสามารถในทักษะด้านต่างๆ เพื่อให้ผู้เรียนมีความพร้อมที่จะออกไปทำงานและดำรงชีวิตในอนาคตได้ (วิจารณ์ พานิช, 2555, น.19) นอกจากนี้ความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ทำให้ผู้เรียนสามารถค้นหาความรู้ได้ด้วยตนเองจากแหล่งต่างๆ มากมายและตลอดเวลาที่ต้องการ หน้าที่ของครูในการจัดการเรียนการสอนจึงเปลี่ยนแปลงไป จากการยืนหน้าชั้นมาเป็นการกระตุ้นและอำนวยความสะดวกในการเรียน ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และพัฒนาศักยภาพของตนเองให้มากที่สุด ด้วยกระบวนทัศน์ที่เปลี่ยนแปลงไปจึงทำให้เกิดแนวคิดต่อการจัดการศึกษานั้นเปลี่ยนแปลงไปด้วย (เกรียงศักดิ์ เจริญวงศ์ศักดิ์, 2556) ดังนั้นการจัดการเรียนการสอนในปัจจุบันจึงต้องจัดให้สอดคล้องกับศตวรรษที่ 21 ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งนักเรียนจำเป็นจะต้องได้รับการพัฒนาทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 (สุพรรณี ชาญประเสริฐ, 2557)

ทักษะในศตวรรษที่ 21 มีจุดเริ่มต้นมาจากการประชุมร่วมกันของนักวิชาการหลากหลายสาขาในสหรัฐอเมริกามาประชุมร่วมกัน โดยรัฐบาลต้องการพัฒนาคุณภาพประชากรประเทศเพื่อยกระดับขีดความสามารถของประเทศกับนานาชาติและต้องการให้ประชากรนั้นมีคุณภาพ และศักยภาพในสังคม สามารถดำรงชีวิตอยู่ในโลกที่มีการเปลี่ยนแปลงต่างๆ อย่างรวดเร็ว การให้ความสำคัญกับการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมจึงถือว่าเป็นเรื่องสำคัญ เนื่องจากความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้รวมเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันของเราทุกคน โดยถูกนำมาใช้ในการเพิ่มศักยภาพในการแก้ปัญหา ทำให้เข้าใจผู้อื่นมากขึ้นและยังส่งเสริมให้ความสัมพันธ์ในสังคมให้ดีขึ้น (Gordon, 1961, p.6) นอกจากนี้ยังสำคัญต่อการศึกษา เพราะวิทยาศาสตร์ ศิลปะ และความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเป็นสิ่งที่ขาดกันไม่ได้ เนื่องจากความรู้และสิ่งประดิษฐ์ต่างๆ ที่นักวิทยาศาสตร์คิดค้นขึ้นมานั้นมีรากฐานมาจากความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม (Marzano, 1988, p.27) นอกจากนี้ในปัจจุบัน ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมยังมี

อิทธิพลทำให้เกิดการเพิ่มมูลค่าให้แก่สินค้า หรือเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจทั้งในเรื่องกระบวนการผลิต รูปแบบของผลิตภัณฑ์ หรือการบริการใหม่ๆ รวมไปถึงรูปแบบการดำเนินธุรกิจ และการดำรงชีวิตของผู้คนในสังคมให้มีการเปลี่ยนแปลงไปโดยตรงและโดยอ้อม

ในปัจจุบันประเทศไทยมีความต้องการที่จะเร่งพัฒนานวัตกรรมและนำมาใช้ในการเพิ่มมูลค่าผลผลิตเพื่อเป็นอาวุธสำคัญในการต่อสู้ในสนามแข่งขันโลก มีการมุ่งเน้นให้มีการนำความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและการพัฒนานวัตกรรมมาทำให้เกิดสิ่งใหม่ที่มีมูลค่าเพิ่มในทางเศรษฐกิจ มุ่งเน้นการพัฒนาบนฐานภูมิปัญญาที่เกิดจากการใช้ความรู้และทักษะ การใช้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี การวิจัยและการพัฒนานวัตกรรม โดยคำนึงถึงความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสอดคล้องกับกรอบเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนจึงเกิดเป็นนโยบาย Thailand 4.0 ขึ้น(สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2559) รัฐบาลจึงมีนโยบายเพื่อพัฒนานักเรียนไทยให้มีศักยภาพมากขึ้นโดยการใช้เทคโนโลยีในการสร้างสรรค์ความคิดใหม่แล้วสร้างออกมาเป็นนวัตกรรมเพื่อพัฒนาประเทศให้เจริญก้าวหน้า

แต่อย่างไรปัญหาการขาดแคลนความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมก็ยังพบเห็นได้ โดยงานวิจัยของ Kim (2011) และ Bronson, & Merryman (2010) ระดับความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของชาวอเมริกันลดลงในช่วงเวลา 10 ปีที่ผ่านมา โดยผู้คนส่วนใหญ่ไม่ยอมที่จะเปิดรับประสบการณ์ ความคิดและมุมมองใหม่ๆ จากผู้อื่นซึ่งผลการวิจัยบอกว่าเหตุการณ์เกิดขึ้นกับคนทุกช่วงวัย ไม่ได้เจาะจงเฉพาะกลุ่มคนวัยใดวัยหนึ่งเท่านั้น โดยเฉพาะในกลุ่มเด็กที่ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมมีการลดลงโดยเด็กเหล่านั้นขาดจินตนาการและการแสดงออกทางการพูด ขาดการวิเคราะห์ข้อมูลและแรงกระตุ้นในการประเมินความคิดและเนื้อหา นอกจากนั้นนักเรียนไทยก็ยังประสบปัญหาขาดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเช่นกันซึ่งเห็นได้จากงานวิจัยของนิลาวรรณ สิงห์งาม (2559) ที่ได้จัดการเรียนรู้โดยให้ผู้เรียนสร้างสรรค์เว็บเพจออกมา โดยผลปรากฏว่า จากการประเมินชิ้นงานที่นักเรียนสร้างขึ้นมายังขาดความสวยงามและความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ มีนักเรียนบางคนที่ทำการคัดลอกผลงานหรือรูปแบบจากเพื่อนมาส่งโดยไม่ได้ออกแบบขึ้นเอง สอดคล้องกับงานวิจัยของอรพรรณ์ แก้วกันหา (2560) ที่พบว่านักเรียนขาดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมโดยมีสาเหตุมาจากนักเรียนเบื่อที่จะเรียน ไม่อยากคิด ไม่กล้าแสดงออก ไม่มีความสนใจและพยายามหาคำตอบด้วยตนเอง ขาดความกระตือรือร้นในการทำกิจกรรม นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของภัสสร ติดมา (2558) ที่พบว่านักเรียนไทยมักจะท่องจำเนื้อหาความรู้ที่เกี่ยวข้องกับบทเรียนที่กำลังศึกษาอยู่และเมื่อเวลาผ่านไปหลังจากจบบทเรียนนั้นแล้วนักเรียนก็จะไปท่องจำเนื้อหาในบทเรียนถัดไปและลืมเนื้อหาในบทเรียนก่อนหน้าที่ได้เรียนผ่านมา

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้มีโอกาสศึกษาพฤติกรรมการเรียนรู้กลุ่มเป้าหมายโดยสังเกตจากการจัดการเรียนรู้ให้แก่กลุ่มเป้าหมายในวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การวัดและความคลาดเคลื่อน ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2560 โดยกิจกรรมของการเรียนรู้ในคาบนี้คือ ให้ผู้เรียนได้ทำการทดลองโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์และไมโครมิเตอร์ในการวัดขนาดของวัตถุที่กำหนดให้ในลักษณะต่างๆ ผลปรากฏว่าเมื่อนักเรียนได้รับมอบหมายงานจะมีตัวแทนของกลุ่มเพียง 1 หรือ 2 คนเท่านั้นที่ทำการออกแบบการทดลองและเริ่มต้นดำเนินการทดลอง นักเรียนคนอื่นภายในกลุ่มจะไม่ได้มีส่วนร่วมในการคิดวางแผน ออกแบบการทำกิจกรรม เนื่องจากนักเรียนเหล่านั้นไม่อยากนำเสนอความคิดเห็นและขอมีส่วนร่วมกับการทำกิจกรรมเพียงแค่การจดบันทึกข้อมูลลงในใบกิจกรรมเท่านั้น แสดงให้เห็นว่านักเรียนกลุ่มนี้ยังขาดพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในด้านการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ และเมื่อผลการทดลองมีปัญหานักเรียนเหล่านี้ก็จะให้นักเรียนที่เป็นผู้ทำการทดลองดำเนินการแก้ปัญหาเลยโดยไม่ได้ช่วยออกความคิดเห็นแต่อย่างใด ซึ่งก็แสดงให้เห็นอีกว่าพฤติกรรมด้านการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนยังไม่ปรากฏ นอกจากนั้นผู้วิจัยยังได้ทำการสุ่มประเมินผลนักเรียนเป็นรายบุคคลหน้าชั้นเรียนหลังการทำกิจกรรม พบว่า มีนักเรียนบางส่วนที่ยังไม่สามารถใช้เครื่องมือในการวัดได้ และไม่สามารถอ่านค่าการวัดได้อย่างถูกต้อง จากที่ได้กล่าวมาในข้างต้นจึงสรุปได้ว่านักเรียนยังขาดพฤติกรรมที่แสดงออกถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมอยู่

นอกจากปัญหาที่เกิดขึ้นกับตัวผู้เรียนแล้วนั้น วิธีการจัดการเรียนการสอนของครูก็ยังเป็นอุปสรรค์ต่อการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนได้เช่นกัน ดังที่เห็นได้จากงานวิจัยของ ณพัฐอร บัวฉุน, นฤมล ยุตาคม และพจนารถ สุวรรณรุจิ (2559) ที่พบว่า ผู้สอนส่วนใหญ่จะสอนอยู่ในขอบเขตที่ตนเองได้รับการอบรมมา และจะสอนในเนื้อหาที่จำเป็นเท่านั้น นอกจากนี้ยังมีการทำความเข้าใจในหลักการและจุดมุ่งหมายของรายวิชานั้นอย่างไม่เพียงพอ จึงทำให้การสอนมีลักษณะที่เป็นการสอนโดยใช้เนื้อหาเพียงอย่างเดียว และยังมีปัญหาเกี่ยวกับการที่ครูผู้สอนไม่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้มีการกำหนดปัญหาที่จำเป็นต้องใช้ในการสำรวจ ตรวจสอบเพื่อทำการค้นหาคำตอบ และไม่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้มีการวิเคราะห์กระบวนการสำรวจ ตรวจสอบของตนเอง เพื่อนำไปสู่การพัฒนาแนวทางการดำเนินงานของผู้เรียน และหาคำตอบที่ดีที่สุด ขาดการให้ข้อมูลย้อนกลับจากผู้เรียนโดยไม่เน้นให้ผู้เรียนได้ตั้งคำถามต่อข้อสงสัยหรือการสำรวจตรวจสอบและการแก้ปัญหา นอกจากนี้การวัดผลและประเมินผลส่วนใหญ่ยังเน้นให้นักเรียนตอบคำถามจากความรู้ความจำเชิงเนื้อหา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอรุณี ศรีวงษ์ชัย (2551) ที่ได้กล่าวว่าครูส่วนใหญ่นั้นจะมีวิธีการสอนที่ไม่น่าสนใจ มุ่งเน้นแต่การท่องจำไม่ได้ตระหนักถึง

ความสำคัญในการจัดการเรียนการสอนที่เน้นพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมให้แก่นักเรียน

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้มีโครงการพัฒนาครูโดยนำเสนอแนวคิดทางสะเต็มศึกษาแก่ครูผู้สอนวิทยาศาสตร์ เพื่อตอบสนองนโยบาย Thailand 4.0 โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเป็นกระบวนการหลัก โดยเป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการนำความรู้ไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริงควบคู่กับการพัฒนาทักษะของวิศวกรที่ใช้ในการแก้ปัญหา ทั้งการสร้างสรรค์ความคิด การตั้งคำถาม การแก้ปัญหาและการค้นหาข้อมูล และวิเคราะห์ข้อค้นพบใหม่ๆ พร้อมทั้งสามารถนำข้อค้นพบนั้นไปใช้หรือบูรณาการกับชีวิตประจำวันได้ โดยผ่านขั้นตอนการทำซ้ำอย่างเป็นระบบเพื่อให้ได้วิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด รวมทั้งการพัฒนากระบวนการหรือผลผลิตใหม่ที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินชีวิตและการทำงาน ช่วยให้นักเรียนสร้างความเชื่อมโยงระหว่าง 4 สหวิทยาการ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ เข้ากับชีวิตประจำวัน โดยที่ไม่เน้นเพียงการท่องจำทฤษฎีหรือกฎทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ แต่เป็นการสร้างความเข้าใจทางทฤษฎีหรือกฎเหล่านั้นผ่านการปฏิบัติจริง (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557)

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจะเป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นกระบวนการออกแบบ (Design) วางแผน (Plan) และการแก้ปัญหา (Problem solving) ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะต้องใช้องค์ความรู้จากหลายสาขาวิชาเพื่อนำมาพัฒนาและสร้างสรรค์ชิ้นงานภายใต้ข้อจำกัด หรือเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เนื่องจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจะช่วยให้ผู้เรียนฝึกทักษะการวางแผนในการทำงาน การแก้ปัญหา และวิธีการทำงานอย่างเป็นระบบ (อภิสิทธิ์ ธงไชย, 2556, น.35-36) นอกจากนี้การจัดการเรียนการสอนตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจะเป็นการเรียนการสอนที่ช่วยส่งเสริมการคิดอย่างสร้างสรรค์ของผู้เรียนได้ เนื่องจากการจัดการเรียนการสอนรูปแบบนี้จะต้องอาศัยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งผู้เรียนจะได้เรียนรู้กระบวนการต่างๆ ที่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบและสร้างชิ้นงานใหม่ๆ และความรู้ใหม่ๆ ที่ทั้งผู้เรียนและครูไม่ได้รู้มาก่อน(พิมพันธ์ เดชะคุปต์และพเยาว์ ยินดีสุข, 2557, น.71) อีกทั้งยังฝึกให้ผู้เรียนได้ทำงานเป็นทีม ได้มีการฝึกการค้นหาความรู้ และเอาความรู้มาประยุกต์ใช้และเชื่อมโยงเข้ากับชีวิตจริง (วิจารณ์ พาณิช, 2557, น.35-39) และมีการบูรณาการความรู้จากหลากหลายสาขาวิชาเข้าด้วยกัน เพื่อให้นักเรียนได้นำความรู้มาใช้ในการแก้ปัญหา ค้นคว้า และพัฒนาสิ่งต่างๆ ให้เหมาะสมกับ

สถานการณ์ในปัจจุบัน โดยจะมีส่วนเข้ามาช่วยพัฒนาความสามารถในการคิดริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของผู้เรียนได้ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้นักเรียนเห็นถึงความสัมพันธ์ของแต่ละศาสตร์ที่บูรณาการและสามารถนำไปใช้ในการออกแบบสิ่งประดิษฐ์เพื่อแก้ปัญหาในชีวิตจริง การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดนี้นักเรียนจะสามารถพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม ความสามารถในการประดิษฐ์ ความเชื่อมั่นในตนเอง ความคิดอย่างมีเหตุผล และความรู้ทางเทคโนโลยี (Breiner et al., 2012)

นอกจากนี้หากพิจารณาการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาทีละขั้นตอนแล้วยังพบว่าสามารถพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้โดยขั้นระบุปัญหา เป็นขั้นตอนของการทำความเข้าใจและวิเคราะห์ปัญหาจากสถานการณ์ เพื่อกำหนดเป็นประเด็นปัญหาที่ต้องทำการแก้ไข ส่วนขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา จะเป็นขั้นตอนของการศึกษา ค้นคว้า และทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา โดยส่วนใหญ่จะพบเห็นเป็นการใช้เทคโนโลยีสืบค้นข้อมูล การระดมสมอง และการทำแผนที่ความคิดเพื่อรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับประเด็นปัญหา ซึ่งเป็นการช่วยให้เกิดการพัฒนาในด้านของการคิดอย่างสร้างสรรค์ ส่วนขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา จะเป็นขั้นของการถ่ายทอดแนวคิดของการแก้ปัญหา เพื่อสื่อสารแนวคิดให้ผู้อื่นเข้าใจ และนอกจากนั้นในขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหาผู้เรียนจะได้มีการวางแผนการสร้างชิ้นงานในขั้นตอนต่างๆ และลงมือสร้างชิ้นงานออกมาร่วมกับคนอื่นๆ ซึ่งในส่วนนี้จะทำให้ผู้เรียนเกิดการพัฒนาทั้งด้านการคิดอย่างสร้างสรรค์และการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ จากนั้นในขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ผู้เรียนจะได้ทำการทดสอบและปรับปรุงชิ้นงานของตนเองเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยอาจเกิดความแตกต่างจากชิ้นงานของกลุ่มอื่นๆ ซึ่งตรงนี้จะก่อให้เกิดการพัฒนาในด้านของการสร้างสรรค์นวัตกรรมขึ้น และในขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงานจะเป็นขั้นตอนของการสื่อสารถึงผลที่เกิดขึ้นกับการพัฒนาชิ้นงานหรือวิธีการเพื่อแก้ปัญหาไปยังผู้รับฟัง เพื่อสื่อสารให้ผู้อื่นเข้าใจซึ่งสอดคล้องกับองค์ประกอบของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในด้านการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์

จากปัญหาที่ได้กล่าวไปในข้างต้นผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญของการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาจะช่วยแก้ปัญหาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมตามที่ได้กล่าวมาเนื่องจากผู้เรียนจะได้เห็นความสำคัญของความรู้ทางด้านเนื้อหาสาระทางวิทยาศาสตร์ที่ผู้เรียนมุ่งหวังอยู่แล้วมาบูรณาการกับเนื้อหารายวิชาอื่นๆ เพื่อให้ผู้เรียนเห็นความสำคัญของวิชาวิทยาศาสตร์ที่สามารถนำมาแก้ไขปัญหาในชีวิตประจำวันได้ และทำให้ผู้เรียน

ได้เห็นว่าการแก้ปัญหาหนึ่งนั้นไม่ได้ใช้เนื้อหาความรู้เพียงแค่วิชาใดวิชาหนึ่งแต่จำเป็นจะต้องใช้ความรู้จากหลากหลายสาขาวิชาร่วมกันแก้ไขปัญหาเหล่านั้น ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเพื่อพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม เรื่อง สภาพสมดุล และศึกษาการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวสะเต็มศึกษา เรื่อง สภาพสมดุล ซึ่งมีขั้นตอนของการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่จะสามารถออกแบบ วางแผน สร้างชิ้นงานจากปัญหาต่างๆ ได้ โดยอาศัยความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่วัดโดยการวาดรูปและการสร้างชิ้นงานนั้นผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

คำถามของการวิจัย

1. การจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเพื่อพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม เรื่อง สภาพสมดุล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ควรมีแนวทางอย่างไร

2. การจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง สภาพสมดุล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 สามารถพัฒนาความคิดอย่างสร้างสรรค์ได้หรือไม่อย่างไร

จุดมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่พัฒนาความคิดอย่างสร้างสรรค์ เรื่อง สภาพสมดุล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

2. เพื่อศึกษาผลการพัฒนาความคิดอย่างสร้างสรรค์โดยการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง สภาพสมดุล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

ขอบเขตการวิจัย

1. กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ของโรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลก ที่เรียนในรายวิชา ว30202 ฟิสิกส์ 2 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560 จำนวน 44 คน

2. **เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย**

วิทยาศาสตร์ (Science) คือความรู้ในเนื้อหารายวิชาฟิสิกส์ 2 เรื่อง สภาพสมดุล ในหลักสูตรสถานศึกษาของชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ได้แก่ สภาพสมดุล สมดุลต่อการเลื่อนที่ สมดุลต่อการหมุน ศูนย์กลางมวลและศูนย์ถ่วง สมดุลของวัตถุ และใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการสร้างรูปแบบหรือแบบจำลอง และเลือกวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสังเกตและการวัด

เทคโนโลยี (Technology) คือ กระบวนการทางเทคโนโลยีในการเลือกใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ให้เหมาะสม เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบชิ้นงาน หรือวิธีการแก้ปัญหาเรื่องสภาพสมดุล รวมถึงการใช้การบันทึกวิดีโอเพื่อบันทึกผลการทำกิจกรรมที่จะมีการเปลี่ยนแปลง การสืบค้นข้อมูลต่างๆ ทางอินเตอร์เน็ต และการนำเสนอโดยใช้สื่อต่างๆ มาเป็นตัวช่วยให้เกิดความเข้าใจที่ง่ายขึ้นในการนำเสนอ

วิศวกรรม (Engineering) คือ กระบวนการที่ใช้ในการวางแผนและออกแบบชิ้นงานเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งมี 6 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

คณิตศาสตร์ (Mathematic) คือ การใช้ความรู้ ทักษะ และกระบวนการทางคณิตศาสตร์ มาใช้ในการแก้ปัญหาสภาพสมดุลได้อย่างเหมาะสม ได้แก่ การวัด การคำนวณ การแก้สมการกำลังสอง และการบวกลบเวกเตอร์

3. **ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย**

การวิจัยครั้งนี้ใช้ระยะเวลาทั้งหมด 3 สัปดาห์ เพื่อจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเพื่อพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม เรื่องสภาพสมดุล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยทำการจัดกิจกรรมการเรียนรู้สัปดาห์ละ 4 ชั่วโมง รวมทั้งหมด 12 ชั่วโมง ดำเนินการทำวิจัยในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560

นิยามศัพท์เฉพาะ

ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม หมายถึง ความสามารถในการคิดได้หลายทิศทาง มีลักษณะความคิดที่แปลกใหม่ ซึ่งอาจเกิดจากการคิดปรับปรุง เปลี่ยนแปลงจากความคิดเดิม ให้เป็นความคิดที่แปลกใหม่และแตกต่างไปจากเดิม เป็นการคิดเพื่อประดิษฐ์ผลงานขึ้นมาใหม่

หรือเป็นการจิตนาการเพื่อสร้างสิ่งใหม่และแก้ปัญหาเดิมที่เกิดขึ้น อยู่บนรากฐานของหลักเหตุและผล ซึ่งสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 องค์ประกอบ ดังนี้

1. การคิดอย่างสร้างสรรค์ โดยนักเรียน

1.1 มีการใช้เทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิด เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

1.2 สร้างสรรค์แนวคิดที่ใหม่และมีคุณค่าทั้งจากแนวความคิดเดิมหรือแนวความคิดใหม่ เก็บข้อมูลโดยใช้ใบกิจกรรมและแบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

1.3 มีการตรวจสอบ แก้ไข วิเคราะห์ และประเมินแนวคิดที่นำมาใช้ในการสร้างปรับปรุงและพัฒนาชิ้นงาน เก็บข้อมูลโดยใช้ใบกิจกรรมและแบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

2. การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ โดยนักเรียน

2.1 พัฒนา ปฏิบัติและสื่อสารแนวคิดใหม่ๆ ให้ผู้อื่นได้เข้าใจอย่างมีประสิทธิภาพ เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

2.2 รับฟัง และยอมรับความคิดเห็นจากผู้อื่นพร้อมทั้งสะท้อนผลที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

2.3 นำเสนอความคิดเริ่มต้นและความคิดที่สร้างสรรค์ขึ้น รวมทั้งทำความเข้าใจกับข้อจำกัดที่มีอยู่เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแนวคิดใหม่ เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

2.4 เรียนรู้จากข้อผิดพลาด เนื่องจากความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและการสร้างนวัตกรรมเป็นทักษะที่ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้และทำซ้ำจนเกิดผลสำเร็จ เก็บข้อมูลโดยใช้ใบกิจกรรมและแบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

3. การสร้างสรรค์นวัตกรรม โดยนักเรียนนำแนวคิดที่มีมาสร้างขึ้นเป็นนวัตกรรมที่แปลกใหม่ และสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆ ตามวัตถุประสงค์ได้ เก็บข้อมูลโดยใช้ใบกิจกรรม ชิ้นงานนักเรียน และแบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ในการทำวิจัยครั้งนี้จะแบ่งขั้นตอนสำหรับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา เป็นการทำความเข้าใจปัญหา วิเคราะห์เงื่อนไข หรือข้อจำกัดของสถานการณ์ปัญหา เพื่อกำหนดขอบเขตของปัญหา ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างชิ้นงาน หรือวิธีการในการแก้ปัญหา

ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา เป็นการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการแก้ปัญหาและประเมินความเป็นไปได้ ข้อดีและข้อจำกัด

ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา เป็นการประยุกต์ใช้ข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง เพื่อการออกแบบชิ้นงาน หรือวิธีการในการแก้ปัญหา โดยคำนึงถึงทรัพยากร ข้อจำกัดและเงื่อนไขตามสถานการณ์ที่กำหนด

ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา เป็นการกำหนดลำดับขั้นตอนของการสร้างชิ้นงานหรือวิธีการ แล้วลงมือสร้างชิ้นงาน หรือพัฒนาวิธีการเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา

ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน เป็นการทดสอบและประเมินการใช้งานของชิ้นงานหรือวิธีการ โดยผลที่ได้อาจนำมาใช้ในการปรับปรุง และพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสม

ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน เป็นการนำเสนอแนวคิดและขั้นตอนการแก้ปัญหาของการสร้างชิ้นงาน หรือการพัฒนาวิธีการให้ผู้อื่นได้เข้าใจและได้ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาต่อไป

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพื่อพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง สภาพสมดุล โดยการจัดการเรียนที่ใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ซึ่งได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นกรอบแนวคิดในการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. หลักสูตรสถานศึกษา
    1.1 วิสัยทัศน์ของโรงเรียน
    1.2 คำอธิบายรายวิชาฟิสิกส์2
    1.3 ผลการเรียนรู้รายวิชาฟิสิกส์2 ที่เกี่ยวข้องกับเรื่อง สภาพสมดุล
    1.4 มาตรฐานและตัวชี้วัดกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สาระที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
    1.5 มาตรฐานและตัวชี้วัดกลุ่มสาระการเรียนรู้เทคโนโลยีสารสนเทศ
    1.6 มาตรฐานและตัวชี้วัดกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์
2. ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม
    2.1 ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม
    2.2 นวัตกรรม
    2.3 ความหมายของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม
    2.4 การส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม
    2.5 อุปสรรคในการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม
    2.6 การวัดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม
3. การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา
    3.1 ความเป็นมาของการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา
    3.2 ความหมายของสะเต็มศึกษา
    3.3 รูปแบบการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับแนวคิดสะเต็มศึกษา
    3.4 การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

3.5 การใช้ scaffolding ในการจัดการเรียนการสอนตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 งานวิจัยในประเทศ

4.2 งานวิจัยในต่างประเทศ

หลักสูตรสถานศึกษา

โรงเรียนวิทยาศาสตร์ได้มีการจัดการเรียนการสอนที่เน้นวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และภาษาต่างประเทศ โดยมีการจัดหลักสูตรการศึกษาให้สอดคล้องกับหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 และปรับหลักสูตรมัธยมศึกษาตอนปลาย ม.4 - ม.6 ให้มีการรองรับการพัฒนาอัจฉริยภาพทางด้านวิทยาศาสตร์เพื่อมีเป้าหมายในการพัฒนาผู้เรียนให้เป็นเลิศและมีความถนัดทางด้านวิทยาศาสตร์และภาษาต่างประเทศ

1. **วิสัยทัศน์ของโรงเรียน**

มุ่งพัฒนาเป็นโรงเรียนผู้นำการปฏิรูปการศึกษาสำหรับทศวรรษที่ 2

2. **คำอธิบายรายวิชาฟิสิกส์ 2**

รายวิชาฟิสิกส์ 2 รหัสวิชา ว30202 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ระยะเวลา 80 ชั่วโมง จำนวน 2.0 หน่วยกิต

ศึกษาหลักการของกลศาสตร์ในเรื่อง งาน พลังงาน ความสัมพันธ์ระหว่างงานและพลังงานจลน์ กฎการอนุรักษ์พลังงาน กำลัง เครื่องกลอย่างง่ายและประสิทธิภาพของเครื่องกล โมเมนตัม การชนกันของวัตถุ และกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม การเคลื่อนที่แบบหมุน ทอร์กและผลของทอร์กที่มีต่อสภาพการหมุน สภาพ สมดุลและเงื่อนไขที่ทำให้เกิดสมดุล สภาพยืดหยุ่นของวัตถุและมอดุลัส โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบค้นข้อมูล การสำรวจตรวจสอบ เพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจ ความคิด มีความสามารถ ในการสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้ การตัดสินใจ การนำความรู้ไปใช้ในชีวิตประจำวัน มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรมและค่านิยมที่เหมาะสม

3. **ผลการเรียนรู้รายวิชาฟิสิกส์ 2 ที่เกี่ยวข้องกับเรื่อง สภาพสมดุล**

1. อธิบายสภาพสมดุลของวัตถุ และวิเคราะห์สภาพสมดุลตามเงื่อนไขของสมดุล

2. อธิบายผลของแรงคู่ควบ โมเมนต์ของแรงคู่ควบที่มีต่อสมดุลของวัตถุ

3. อธิบายสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุและผลของแรงที่กระทำต่อวัตถุมีความเกี่ยวข้องกับ ศูนย์กลางมวลและศูนย์ถ่วงของวัตถุ

4. **มาตรฐานและตัวชี้วัดกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์**
   สาระที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา และจิตวิทยาศาสตร์

มาตรฐาน ว8.1 ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา รู้ว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีรูปแบบที่แน่นอน สามารถอธิบายและตรวจสอบได้ ภายใต้ข้อมูลและเครื่องมือที่มีอยู่ในช่วงเวลานั้นๆ เข้าใจว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคม สิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

ตัวชี้วัดได้แก่

ว8.1 ม 4-6/2 สร้างสมมติฐานที่มีทฤษฎีรองรับหรือคาดการณ์สิ่งที่จะพบ หรือสร้างแบบจำลอง หรือสร้างรูปแบบ เพื่อนำไปสู่การสำรวจตรวจสอบ

ว8.1 ม 4-6/4 เลือกวัสดุ เทคนิควิธี อุปกรณ์ที่ใช้ในการสังเกต การวัด การสำรวจตรวจสอบอย่างถูกต้องทั้งทางกว้างและลึก ในเชิงปริมาณและคุณภาพ

ว8.1 ม 4-6/12 การแสดงผลงาน เขียนรายงานและ/หรืออธิบายเกี่ยวกับแนวคิด กระบวนการ และผลของโรงงานหรือชิ้นงานให้ผู้อื่นเข้าใจ

5. **มาตรฐานและตัวชี้วัดกลุ่มสาระการเรียนรู้เทคโนโลยีสารสนเทศ**
   สาระที่ 2 การออกแบบและเทคโนโลยี

เข้าใจเทคโนโลยีและกระบวนการทางเทคโนโลยี ออกแบบและสร้างสิ่งของเครื่องใช้หรือวิธีการตามกระบวนการเทคโนโลยีอย่างมีความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม เลือกใช้เทคโนโลยีในทางสร้างสรรค์ต่อชีวิต สังคม สิ่งแวดล้อม และมีส่วนร่วมในการจัดการเทคโนโลยีที่ยั่งยืน

ง2.1 ม 4-6/5 วิเคราะห์และเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมในชีวิตประจำวันอย่างสร้างสรรค์ต่อชีวิต สังคม และสิ่งแวดล้อม และมีการจัดการเทคโนโลยีที่ยั่งยืนด้วยวิธีการของเทคโนโลยีสะอาด

สาระที่ 3 เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

เข้าใจ เห็นคุณค่า และใช้กระบวนการเทคโนโลยีสารสนเทศในการสืบค้นข้อมูล การเรียนรู้ การสื่อสาร การแก้ปัญหา การทำงาน และอาชีพอย่างมีประสิทธิภาพประสิทธิผล และมีคุณธรรม

ง2.1 ม 4-6/9 ติดต่อสื่อสาร ค้นหาข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต

6. **มาตรฐานและตัวชี้วัดกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์**
   สาระที่ 6 ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์

มีความสามารถในการแก้ปัญหา การให้เหตุผล การสื่อสาร การสื่อความหมายทางคณิตศาสตร์ และการนำเสนอ การเชื่อมโยงความรู้ต่างๆทางคณิตศาสตร์ และเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับศาสตร์อื่นๆ และมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์

ค6.1 ม 4-6/1 ใช้วิธีการที่หลากหลายแก้ไขปัญหา

ค6.1 ม 4-6/2 ใช้ความรู้ ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีในการแก้ปัญหาในสถานการณ์ต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม

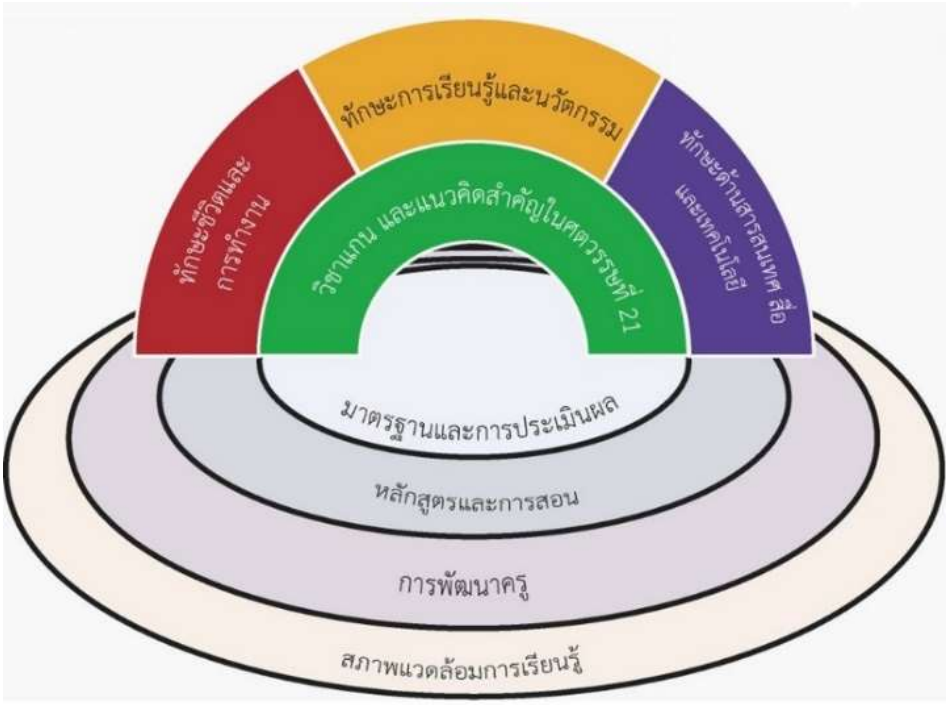
ค6.1 ม 4-6/5 เชื่อมโยงความรู้ต่างๆ นักคณิตศาสตร์และนำความรู้ หลักการกระบวนการทางคณิตศาสตร์ไปเชื่อมโยงกับศาสตร์อื่นๆ

ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

การคิดอย่างสร้างสรรค์เป็นทักษะสำคัญหนึ่งของคนในศตวรรษที่ 21 ดังนั้นการศึกษาจึงเน้นให้นักเรียนมีความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเพื่อสร้างสรรค์นวัตกรรม เพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจที่ยั่งยืนในอนาคต โดยนักเรียนต้องสามารถคิดสิ่งแปลกใหม่ คิดเชื่อมโยงและคิดอย่างรอบครอบ โดยใช้หลักฐานทางวิทยาศาสตร์สนับสนุน ซึ่งตรงกับลักษณะการคิดอย่างสร้างสรรค์ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคิดริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม ดังนี้

1. **ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม**

ความริเริ่มสร้างสรรค์เป็นหนึ่งในทักษะในศตวรรษที่ 21 ซึ่งทักษะในศตวรรษที่ 21 มีจุดเริ่มต้นมาจาก การประชุมร่วมกันของนักวิชาการหลากหลายสาขาใน สหรัฐอเมริกามาประชุมร่วมกัน โดยรัฐบาลต้องการพัฒนา คุณภาพประชากรประเทศเพื่อยกระดับขีดความสามารถของประเทศกับนานาชาติ และต้องการให้ประชากรนั้นมีคุณภาพและศักยภาพในสังคม สามารถดำรงชีวิตอยู่ในโลกที่มีการเปลี่ยนแปลงต่างๆ อย่างรวดเร็ว ทั้งนี้องค์ประกอบในด้าน ต่างๆ ที่ควรเกิดขึ้นในผู้เรียนจากการจัดการศึกษาในศตวรรษที่ 21 (21st Century student Outcomes) ได้แก่ ความรู้ ทักษะ ความเชี่ยวชาญ (The Partnership for 21st Century Skills, 2009) ดังต่อไปนี้



ภาพ 1 โครงสร้างของทักษะในศตวรรษที่ 21

ที่มา: ศิริวรรณ ช้างงาม, 2558

1. ความรู้ในวิชาหลักและเนื้อหาประเด็นที่สำคัญสำหรับศตวรรษที่ 21 (Core Subject and 21 Century Themes) ได้แก่ ภาษาอังกฤษ การอ่าน ศิลปะในการใช้ภาษา ภาษาต่างประเทศ คณิตศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ วิทยาศาสตร์ ศิลปะ ภูมิศาสตร์ ประวัติศาสตร์ หน้าที่พลเมือง และการปกครอง ซึ่งควรครอบคลุมเนื้อหาในสาขาใหม่ๆที่มีความสำคัญต่อการทำงานและชุมชน แต่สถาบันการศึกษาไม่ได้ให้ความสำคัญได้แก่ จิตสำนึกต่อโลก ความรู้พื้นฐานด้านการเงิน เศรษฐกิจ ธุรกิจ และการเป็นผู้ประกอบการ ความรู้พื้นฐานด้านพลเมือง และตระหนักในสุขภาพและสวัสดิการ

2. ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม (Learning and Innovation Skills) ได้แก่

2.1 ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและนวัตกรรม (Creativity and Innovation) ซึ่งครอบคลุมไปถึงการคิดแบบสร้างสรรค์ การทำงานอย่างสร้างสรรค์ร่วมกับผู้อื่น และการนำความคิดนั้นไปใช้อย่างสร้างสรรค์

2.2 การคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา (Critical Thinking and Problem Solving) หมายความรวมถึงการคิดอย่างมีเหตุผล การคิดเชิงระบบ การคิดตัดสินใจและการคิดแก้ปัญหา

2.3 การสื่อสารและการร่วมมือ (Communication and Collaboration) ซึ่งเน้นการสื่อสารโดยใช้รูปแบบต่างๆที่มีประสิทธิภาพชัดเจน และการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างมีประสิทธิภาพ

3. ทักษะด้านสารสนเทศ สื่อ และเทคโนโลยี (Information, Media and Technology Skills) ซึ่งในศตวรรษที่ 21 นี้นับได้ว่ามีความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีมากดังนั้นผู้เรียนจึงควรมีทักษะดังต่อไปนี้คือ

3.1 การรู้เท่าทันสารสนเทศ (Information literacy)

3.2 การรู้เท่าทันสื่อ (Media literacy)

3.3 การรู้เท่าทันเทคโนโลยีสารสนเทศ (ICT: Information Communication and technology Literacy)

4. ทักษะชีวิตและการทำงาน (Life and Career Skills) ในการดำรงชีวิตและในการทำงานนั้นไม่เพียงต้องการคนที่มีความรู้ ความสามารถในเนื้อหาความรู้ หรือทักษะการคิดเท่านั้นหาแต่ยังต้องการผู้ที่สามารถทำงานในบริบทที่มีความซับซ้อนมากขึ้นอีกด้วย ทักษะที่จำเป็นได้แก่

4.1 ความยืดหยุ่นและความสามารถในการปรับตัว (Flexibility and adaptability)

4.2 ความคิดริเริ่มและการชี้นำตนเอง (Initiative and Self Direction)

4.3 ทักษะทางสังคมและการเรียนรู้ข้ามวัฒนธรรม (Social and Cross-cultural Skill)

4.4 การเพิ่มผลผลิตและความรู้รับผิด (Productivity and accountability)

4.5 ความเป็นผู้นำและความรับผิดชอบ (Leadership and responsibility)

2. นวัตกรรม

นวัตกรรม(Innovaation) เป็นคำที่มีรากศัพท์มาจากภาษาลาตินคำว่า nova ซึ่งแปลว่า “ใหม่” คำว่านวัตกรรมจึงเป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่าเป็นการแนะนำสิ่งใหม่หรือวิธีการใหม่ (Katz, 2007 อ้างถึงใน ณัฐยา สินตระการผล, 2554) โดยได้มีผู้ได้ให้ความหมายของนวัตกรรมที่หลากหลายหนึ่งในนั้นคือศาสตราจารย์จากสถาบัน MIT คือ

Edward Robert (1988 อ้างถึงใน ณัฐยา สินตระการผล, 2554) กล่าวว่า นวัตกรรมเป็นการประดิษฐ์สิ่งใหม่ที่ผนวกเข้ากับการใช้ประโยชน์จากมัน และสามารถนิยามให้เห็นภาพได้

อย่างชัดเจนว่า นวัตกรรมคือ การรวบรวม ผสมผสาน และสร้างสรรค์ความรู้ที่ไม่เคยมีมาก่อนโดยอาศัยความรู้ที่เกี่ยวข้องเป็นฐาน โดยนำมาเพิ่มคุณค่าให้กับผลิตภัณฑ์ กระบวนการหรือบริการใหม่ โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่

1. นวัตกรรมที่เป็นส่วนเพิ่ม จะใช้ประโยชนืจากเทคโนโลยีหรือสิ่งที่มีอยู่แล้ว โดยอาจเป็นการทำสิ่งที่มีอยู่ให้ดียิ่งขึ้น หรือเป็นการสร้างสรรค์สิ่งใหม่ที่ดีกว่าเดิมขึ้นมา หรือปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีหรือสิ่งเดิมเพื่อจุดมุ่งหมายอื่น เพื่อตอบสนองจุดมุ่งหมายที่แตกต่างไปจากเดิม

2. นวัตกรรมที่เป็นการสร้างความเปลี่ยนแปลงโดยชิ้นเชิง หมายถึงสิ่งที่ไม่เคยมีมาก่อนบนโลก โดยนวัตกรรมที่สร้างขึ้นจะเป็นการสร้างความเปลี่ยนแปลงไปอย่างสิ้นเชิง ซึ่งจะถูกนำมาใช้แทนที่เทคโนโลยีเก่าอย่างสิ้นเชิง

3. ความหมายของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

จากการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีนักวิชาการให้ความหมายของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม ไว้ดังนี้

Guilford (1967, p.61) ได้ให้ความหมายของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมไว้ว่า หมายถึงความสามารถทางสมองที่จะคิดได้หลายทิศทางหรือแบบเอกนัย (Divergent Thinking) ซึ่งนำไปสู่การคิดสิ่งประดิษฐ์สิ่งใหม่ ประกอบด้วย ความคล่องในการคิด การคิดยืดหยุ่น และการคิดที่เป็นของตนเองโดยเฉพาะ ทำให้คนไม่กล้าคิด ไม่กลัวถูกวิพาก์วิจารณ์ และมีอิสระในการคิด

Torrance (1974, p.42) ได้อธิบายว่าความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมคือ ความสามารถของบุคคลในการคิดสิ่งใหม่หรือสิ่งแปลกจากเดิมที่ไม่รู้จักมาก่อน ซึ่งสิ่งต่างๆ เหล่านี้อาจจะเกิดจากการรวบรวมเอาความรู้ต่างๆที่ได้รับจากประสบการณ์ รวบรวมเป็นองค์ความรู้ใหม่

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ (2544, น.2) ได้ให้ความหมายความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมว่าเป็นกระบวนการทางปัญญาระดับสูงที่ใช้กระบวนการทางความคิดหลายๆ อย่างมารวมกัน เพื่อสร้างสรรค์สิ่งใหม่หรือแก้ปัญหาที่มีอยู่ให้ดีขึ้น ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อผู้สร้างสรรค์มีอิสรภาพทางความคิด

ประพันธ์ศิริ สุเสารัจ (2551, น.187) กล่าวว่า ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมคือ ความสามารถในการจิตนการ และรวบรวมความรู้ความคิดเดิมอย่างหลากหลายและรวดเร็วแล้วสร้างเป็นความรู้ ความคิดใหม่ของตนเอง สามารถคิดนอกกรอบได้ มีผลงานการคิด สามารถริ่เริ่มและสร้างสรรค์ผลงานหรือสิ่งใหม่ๆ ที่เหมาะสมและใช้การได้

มณฑนา บรรพสุทธิ์ (2553, น.68) กล่าวว่า ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมคือ ความสามารถในการใช้แนวคิดในการแก้ปัญหาได้อย่างหลากหลาย การฝึกปฏิบัติเพื่อส่งเสริม

พัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม คือ การแสดงความคิดเห็นต่อกรณีปัญหา การออกแบบผลงาน ผลผลิต การนำทฤษฎีไปใช้การตัดสินใจ

ทิศนา แขมณี (2554, น.193) ให้ความหมายของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม หมายถึง การคิดในทางที่ทำให้ทางที่ทำให้ดีขึ้น หรือการคิดสร้างสิ่งใหม่ ที่มีลักษณะใหม่ แตกต่างไปจากเดิมและเป็นความคิดต้นแบบที่ใช้การได้จริง ได้ผลดีกว่าเดิม และมีความสมเหตุสมผลที่คนทั่วไปยอมรับได้ การคิดสร้างสรรค์มีขั้นตอน ดังนี้ 1) กำหนดเป้าหมายในการคิด 2) ประมวล/ทบทวน ความรู้หรือข้อมูล

สุคนธ์ สินธพานนธ์ และคณะ (2555, น.64-68) กล่าวว่าความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมคือ ความสามารถของบุคคลที่จะแสดงความคิดหลายทิศทางหลายประเด็น คิดได้ครอบคลุม โดยนำประสบการณ์ที่ผ่านมาเป็นพื้นฐานที่มำให้เกิดความคิดใหม่ อันนำไปสู่การประดิษฐ์คิดค้นสิ่งต่างๆที่แปลกใหม่ และสรุปองค์ประกอบที่สำคัญของการคิดสร้างสรรค์ไว้ 4 องค์ประกอบ ดังนี้ 1) ความคิดริเริ่ม เป็นการคิดที่แปลกใหม่ ไม่ซ้ำกับผู้อื่น 2) ความคิดคล่องแคล่ว เป็นความสามารถในการคิดหาคำตอบได้รวดเร็วและได้ปริมาณมากในเวลาจำกัด 3) ความคิดยืดหยุ่น เป็นความสามารถในการคิดหาคำตอบได้หลายประเภท 4) ความคิดละเอียดละออ เป็นความสามารถในการคิดในรายละเอียดเพื่อขยายความหมายสมบูรณ์ขึ้น

เพ็ญนิดา ไชยสายัณห์ (2556) ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม คือ ความสามารถในการมองเห็นความสัมพันธ์ของสิ่งต่างๆ การขยายขอบเขตความคิดออกไปจากกรอบความคิดเดิมที่มีอยู่สู่ความคิดใหม่ๆ ที่ไม่เคยมีมาก่อน เพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดให้กับปัญหาที่เกิดขึ้น เป็นการสร้างสรรค์สิ่งใหม่ที่แตกต่างไปจากเดิม เป็นความคิดที่หลากหลาย คิดได้กว้างไกล หลายแง่หลายมุม เน้นทั้งปริมาณและคุณภาพ เป็นการคิดเพื่อเปลี่ยนแปลงจากสิ่งเดิมไปสู่สิ่งใหม่ที่ดีกว่าซึ่งจะได้ผลลัพธ์ที่ต่างออกไปโดยสิ้นเชิงหรือที่เรียกว่า “นวัตกรรม” (Innovation)

อารี พันธ์มณี (2557, น.25) กล่าวว่าความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเป็นกระบวนการทางสมองที่คิดในลักษณะเอนกนัย อันนำไปสู่การคิดพบสิ่งแปลกใหม่ด้วยการคิดดัดแปลง ปรุงแต่งจากความคิดเดิมผสมผสานการให้เกิดสิ่งใหม่ ซึ่งรวมทั้งการประดิษฐ์คิดค้นพบสิ่งต่างๆ ตลอดจนวิธีการคิดทฤษฎีหลักการได้สำเร็จ ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมจะเกิดขึ้นได้ไม่ใช่เพียงแต่คิดในสิ่งที่เป็นไปได้หรือสิ่งที่เป็นเหตุผลเพียงอย่างเดียวเท่านั้น หากแต่คิดจินตนาการก็เป็นสิ่งที่สำคัญยิ่งที่จะก่อให้เกิดความแปลกใหม่ แต่ต้องควบคู่ไปกับความพยายามที่จะสร้างความคิดฝันหรือจินตนาการให้เป็นไปได้หรือที่เรียกว่าเป็นจินตนาการประยุกต์นั่นเอง จึงจะทำให้เกิดผลงาน

Partnership for 21st century learning (2015) หรือ P21 ได้ให้ความหมายของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมว่าเป็นความสามารถในการคิดได้หลายทิศทาง มีลักษณะความคิดที่แปลกใหม่ ซึ่งอาจเกิดจากการคิดปรับปรุงเปลี่ยนแปลงจากความคิดเดิม ให้เป็นความคิดที่แปลกใหม่และแตกต่างไปจากเดิม เป็นการคิดเพื่อประดิษฐ์ผลงานขึ้นมาใหม่หรือเป็นการจิตนาการเพื่อสร้างสิ่งใหม่และแก้ปัญหาเดิมที่เกิดขึ้นซึ่งอยู่บนรากฐานของหลักเหตุและผล สามารถจำแนกองค์ประกอบของทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมในเรื่องของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม (Creatively and Innovation) ได้เป็น 3 องค์ประกอบดังนี้

1. การคิดสร้างสรรค์ (Think Creativity) โดย

1.1 มีการใช้เทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิดที่หลากหลาย เช่น การระดมสมอง (Brainstorms) เทคนิค SCAMPER การใช้ผังมโนทัศน์ (Mind mapping) การร่วมมือ (Collaboration) เป็นต้น

1.2 สร้างสรรค์แนวคิดที่ใหม่และมีคุณค่าทั้งจากแนวความคิดเดิมหรือแนวความคิดใหม่

1.3 มีการตรวจสอบ แก้ไข วิเคราะห์ และประเมินแนวคิดที่นำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนางาน

2. การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ (Work Creativity with Others) โดย

2.1 พัฒนา ปฏิบัติและสื่อสารแนวคิดใหม่ๆ ให้ผู้อื่นได้เข้าใจอย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 รับฟัง และยอมรับความคิดเห็นจากผู้อื่นพร้อมทั้งสะท้อนผลที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน

2.3 นำเสนอความคิดเริ่มต้นและความคิดที่สร้างสรรค์ขึ้น รวมทั้งทำความเข้าใจกับข้อจำกัดที่มีอยู่เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแนวคิดใหม่

2.4 เรียนรู้จากข้อผิดพลาด เนื่องจากความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและการสร้างนวัตกรรมเป็นทักษะที่ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้และทำซ้ำจนเกิดผลสำเร็จ

3. การสร้างสรรค์นวัตกรรม (Implement Innovations) โดย นำแนวคิดที่มีมาสร้างขึ้นเป็นนวัตกรรมที่แปลกใหม่ และนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆ ตามวัตถุประสงค์ได้

จากความหมายของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมข้างต้นเมื่อนำมารวมกับคำว่านวัตกรรม ทำให้ได้ความหมายของทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรม ตามภาคีเพื่อทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 (Partnership for 21st Century Skills, 2011) กล่าวว่า ผู้ที่มีความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม สามารถทำงานอย่างสร้างสรรค์ร่วมกับผู้อื่นได้ และเกิดนวัตกรรมที่ประสบผมสำเร็จ

ประกอบด้วย 1) การคิดสร้างสรรค์ (think creativity) เป็นการใช้ความคิดที่อิสระในการออกแบบเทคนิค มาจากหลายวิธีการ เช่น การระดมสมอง (brainstorming) สามารถสร้างแนวคิดใหม่ซึ่งเป็นแนวคิดที่มีคุณค่า และแนวคิดที่สร้างขึ้นมาจากการทบทวน ขัดเกลา วิเคราะห์และประเมินเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด 2) การทำงานกับคนอื่นๆ อย่างสร้างสรรค์ (work creativity with others) เป็นการสร้างและสื่อสารแนวคิดใหม่ๆ ให้ผู้อื่นทราบอย่างมีประสิทธิภาพ ใจกว้างและยอมรับแนวทางใหม่ๆ ที่นำมาใช้และให้ความร่วมมือกับกลุ่ม และ 3) การนำนวัตกรรมไปใช้ (Implement Innovation) คือ การนำความคิดริเริ่มไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่องาน ทำให้ผลงานนั้นเป็นนวัตกรรม

สรุปได้ว่า ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม (Creativity and Innovation) คือ พฤติกรรมที่แสดงถึงความสามารถในการริเริ่มความคิดหรือพัฒนาผลงานที่แตกต่างจากเดิม มีความใหม่อย่างชัดเจน ซึ่งอาจจะเกิดจากบุคคลเดียวหรือการคิดร่วมกัน นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในทางที่ดี

จากความหมายของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่ได้กล่าวไปในข้างต้นผู้วิจัยจึงได้สรุปว่า ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเป็นทักษะหรือความสามารถของบุคคลในการค้นหาแนวคิดหรือมุมมองใหม่ๆ ที่แตกต่างจากคำตอบเดิมและหาคำตอบในสถานการณ์ต่างๆ รวมถึงความสามารถในการคิดสิ่งแปลกใหม่ที่ไม่รู้จักมาก่อน ผ่านความรู้เดิมหรือประสบการณ์เดิม

4. การส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

เนื่องจากความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเป็นสิ่งที่ควรจะส่งเสริมเพราะคนที่มีความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมมักจะเป็นผู้ที่มีบทบาทที่จะนำไปสู่การพัฒนา โดยเป็นผู้มีความคิดริเริ่มประดิษฐ์สิ่งของใหม่ๆ หรือแสดงความสามารถดีเด่นทางด้านต่างๆ ซึ่งหลายคนก็ไม่ได้รับการสนับสนุนหรือฝึกฝนให้เกิดการพัฒนา เนื่องจากผู้ที่มีความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมมักเป็นผู้ที่มีลักษณะพิเศษแตกต่างกับคนอื่นโดยเฉพาะในเรื่องความคิด ผู้ที่มีความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมจะมีความคิดในแบบของตนเอง เป็นความคิดใหม่ที่แตกต่างกับคนอื่น บางครั้งผู้ที่มีความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมอาจได้รับการกล่าวโทษมากกว่าการชมเชย เพราะครูและผู้ปกครองส่วนมากมักขาดความเข้าใจเกี่ยวกับความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและมักจะส่งเสริมความเชื่อสำหรับการคิดว่ามีความคิดที่เป็นความคิดที่ถูกต้องอยู่แล้วเพียงอย่างเดียวในการส่งเสริมความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม ทั้งครูและผู้ปกครองจะต้องศึกษาเกี่ยวกับความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมโดยเริ่มด้วยการทราบคำจำกัดความของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและลักษณะของผู้ที่มีความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม เช่น ความคล่องในการคิด ความใหม่ของความคิด และความสามารถที่จะปรับตัวเปลี่ยนแปลงตามกาลเทศะ เป็นต้น

นอกจากนี้ควรทราบถึงความแตกต่างของความคิดแบบอเนกนัยและเอกนัย และต้องระลึกอยู่เสมอว่า นักเรียนที่มีความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมอาจจะมีความคิดหรือคำตอบที่ครูและผู้ปกครองไม่เคยคิดมาก่อน ครูต้องเป็นผู้ที่มีใจกว้างที่จะรับฟังความคิดใหม่ๆ โดยมีผู้ที่แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับการส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพของการคิดสร้างสรรค์ไว้มากมาย ดังต่อไปนี้

Rogers (1954 อ้างถึงใน อารี รังสินันท์, 2527. น.74) ได้กล่าวถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมว่า ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมไม่สามารถบังคับให้เกิดขึ้นได้ แต่สามารถส่งเสริมให้เกิดขึ้นได้ ซึ่งเปรียบเสมือนกับชาวนาที่สามารถทำให้พืชงอกงามออกมาจากเมล็ดได้ก็ต่อเมื่อจัดสิ่งแวดล้อมให้พอเหมาะทั้งอากาศ น้ำ และดิน เมล็ดพืชนั้นจึงจะงอกออกได้ ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมก็เป็นเช่นเดียวกันที่จะสร้างเสริมขึ้นได้ด้วยการจัดสภาพการณ์และเทคนิควิธีที่เหมาะสมถูกต้อง นอกจากนี้ Rogers ได้เสนอแนะการสร้างสถานการณ์ที่จะส่งเสริมความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมให้เกิดขึ้นได้ ดังนี้

1. ความรู้สึกปลอดภัยทางจิต ซึ่งจะสร้างได้ด้วยกระบวนการที่สัมพันธ์กัน 3 อย่าง คือ

1.1 ยอมรับในคุณค่าของแต่ละบุคคลอย่างไม่มีเงื่อนไข ครู พ่อแม่ หรือบุคคลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับเด็ก ต้องยอมรับในความสามารถของเด็กแต่ละคน และเชื่อมั่นในตัวเด็กอย่างไม่มีเงื่อนไข ทำให้เด็กเกิดความรู้สึกมั่นคงและปลอดภัย เริ่มเรียนรู้ว่าตนสามารถจะเป็นอะไรก็ได้ที่อยากจะเป็นโดยไม่ต้องเสแสร้ง การที่พ่อแม่หรือครูมีข้อจำกัดต่างๆ ไม่มากนัก ทำให้เด็กสามารถค้นพบสิ่งต่างๆ ที่มีคุณค่าหรือมีความหมายสำหรับตน กล้าที่จะลองและสร้างความสำเร็จใหม่ๆ ให้แก่ตนเองและทำได้เองโดยไม่จำเป็นต้องมีการกระตุ้น กล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือ เขากำลังมุ่งไปสู่การคิดแบบสร้างสรรค์

1.2 สร้างบรรยากาศที่ไม่ต้องมีการวัดผลและประเมินผลจากภายนอก เมื่อไม่มีการวัดผลและการประเมินผลจากภายนอกหรือจากมาตรฐานอื่นๆ ก็จะทำให้เด็กเกิดความรู้สึกเป็นอิสระ เป็นตัวของตัวเอง และกล้าแสดงออกทั้งความคิดและการกระทำอย่างสร้างสรรค์ได้ โดยทั่วไปการวัดผลมักจะหมายถึงการข่มขู่ทำให้เด็กกลัว ซึ่งมักจะทำให้เกิดความต้องการที่จะปกป้องตนเอง และมักจะหมายความว่าผลของการกระทำบางส่วนจะต้องถูกปฏิเสธว่าไม่รู้ แต่ถ้าผลของการกระทำนี้ถูกประเมินจากเกณฑ์ภายนอก เด็กก็ไม่ยอมรับว่าเขาเคยมีความเกลียดชังต่อการกระทำนั้นมาก่อน ถ้าวัดผลออกมาว่าการกระทำนั้นไม่ดี เด็กก็จะไม่ยอมรับว่านั่นเป็นการกระทำของตัวเด็กเองหรือเป็นส่วนหนึ่งของเขา แต่ถ้าไม่มีการประเมินผลโดยใช้เกณฑ์จากภายนอกแล้ว เด็กสามารถที่จะเปิดใจกว้างต่อประสบการณ์ของตนเอง ยอมรับในสิ่งที่ตนเองทั้งชอบและไม่ชอบ ยอมรับในธรรมชาติของวัตถุ และปฏิกิริยาตอบสนองของคนที่มีต่อวัตถุ เด็กจะเริ่มรู้จัก

ประเมินผลด้วยตนเอง ซึ่งหมายความว่าเด็กกำลังก้าวไปสู่การสร้างความรู้สึกนึกคิดอย่างสร้างสรรค์

1.3 ความเข้าใจซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการสร้างความรู้สึกปลอดภัย สำหรับประการสุดท้าย ถ้าเราบอกใครสักคนว่าเรายอมรับเขา แต่เราไม่รู้อะไรในตัวเขาเลย จะแสดงให้เห็นว่าเป็นการยอมรับอย่างตื้นๆ และคนๆ นั้นก็ตระหนักดีว่า การยอมรับของเราต้องเปลี่ยนไปเมื่อเรารู้อะไรเกี่ยวกับตัวเขา แต่ถ้าเราเข้าใจเขา เห็นใจเขาและเข้าใจความรู้สึกของเขา เข้าไปสู่โลกส่วนตัวของเขาและมองมันอย่างที่เขามองและยังคงยอมรับเขาอยู่ จะทำให้เขาเกิดความรู้สึกปลอดภัย บรรยากาศอย่างนี้จะทำให้เขายอมรับตัวของเขาจริงๆ และการแสดงออกต่างๆ ของเขา รวมทั้งการสร้างสรรค์สิ่งแปลกๆ ที่เกี่ยวข้องสัมพันธ์กับโลกของเขาด้วย

2. ความเป็นอิสระทางจิต เมื่อครู พ่อแม่ และบุคคลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับเด็กยอมรับในการแสดงออกอย่างอิสระของเด็กแต่ละคน นั่นเป็นการส่งเสริมความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม แล้วการยอมรับและการให้อิสรภาพแก่ทุกคนในการที่จะคิด รู้สึก และเป็นอะไรก็ตามที่อยู่ในตัวเขา เป็นการส่งเสริมความเปิดเผยและการแสดงออก และวิธีการรับรู้การสร้างความหมายด้วยตนเอง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

Klausmemeier (1984) ได้รวบรวมหลักการความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมไว้ 5 อย่างคือ

1. การสร้างสถานการณ์ หรือสิ่งแวดล้อมที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงออก รวมทั้งจัดอุปกรณ์การเรียนการสอนหลายอย่าง เพื่อนักเรียนจะได้แสดงออกทั้งทางด้านความคิดเห็น การเขียน และทางด้านศิลปะ

2. พยายามส่งเสริมทัศนคติที่ดีของครูและของนักเรียนต่อความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม เช่น มีใจกว้างที่จะรับความคิดริเริ่มใหม่ๆ ไม่หัวเราะเยอะคนที่มีความคิดที่แปลกไปจากคนอื่น

3. ส่งเสริมการใช้ความคิดอเนกนัย เช่น ในชั่วโมงภาษาไทยควรจะส่งเสริมให้นักเรียนเขียนทั้งร้อยกรองและร้อยแก้ว และสนับสนุนให้ทุกคนตั้งวัตถุประสงค์ของงาน และครูอนุญาตให้ใช้เวลาถามตามที่ต้องการ

4. ส่งเสริมให้สร้างผลงาน ควรจะสังเกตว่านักเรียนคนใดบ้างที่มีความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมโดยไม่คำนึงถึงอายุ เด็กเล็กที่มีความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมก็ควรจะสนับสนุนตามความสามารถ ไม่ควรจะใช้เกณฑ์จำกัดว่างานบางอย่างเป็นของผู้ใหญ่หรือเด็กโตเท่านั้น ผลงานเป็นส่วนสำคัญที่จะให้กำลังใจแก่ผู้ที่มีความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

5. ควรจะให้ข้อมูลย้อนกลับ (feedback) เพื่อนักเรียนจะได้ทราบว่า ตนเองทำดีหรือไม่ดีอย่างไร แต่ครูต้องระวังอย่าตำหนินักเรียนให้หมดกำลังใจ

Torrance (1995 อ้างถึงใน อารี รังสินันท์, 2527. น.76) กล่าวว่า นักจิตวิทยาและนักการศึกษาชาวอเมริกันเป็นผู้ที่สนใจศึกษาวิจัยความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมกับการเรียนการสอนไว้อย่างกว้างขวางลึกซึ้ง ได้เสนอหลักในการส่งเสริมความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมไว้หลายประการ ซึ่งเน้นที่ตัวของครูกับตัวของนักเรียน และปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวครูกับนักเรียนเป็นสำคัญ ดังนี้

1. ส่งเสริมให้เด็กถามคำถามและให้ความสนใจต่อคำถามและคำถามที่แปลกๆของเด็ก นอกจากนี้ยังเน้นว่า พ่อแม่หรือครูไม่ควรมุ่งหาคำตอบที่ถูกต้องเพียงอย่างเดียว เพราะในการแก้ปัญหาแม้ว่าเด็กจะใช้วิธีเดาหรือเสี่ยงบ้างก็ควรจะยอม แต่ควรกระตุ้นให้เด็กได้วิเคราะห์ค้นหาเพื่อพิสูจน์การเดาโดยใช้การสังเกตและประสบการณ์ของเด็กเอง

2. ตั้งใจฟังและเอาใจใส่ต่อความคิดแปลกๆ ของเด็กด้วยใจเป็นกลาง เมื่อเด็กแสดงความคิดเห็นในเรื่องใด แม้จะเป็นความคิดที่ยังไม่เคยได้ยินมาก่อน ผู้ใหญ่ก็อย่าเพิ่งสรุปและตัดสินความคิดนั้น ควรรับฟังความคิดนั้นเอาไว้ก่อน

3. กระตือรือร้นต่อคำถามแปลกๆ ของเด็กด้วยการตอบคำถามอย่างมีชีวิตชีวาหรือชี้แนะให้เด็กหาคำตอบจากแหล่งต่างๆ ด้วยตนเอง

4. แสดงและเน้นให้เด็กเห็นว่า ความคิดของเด็กนั้นมีคุณค่าและนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ เช่น จากภาพที่เด็กวาด อาจนำไปเป็นลายถ้วยชาม ภาชนะ เป็นภาพปฏิทิน บัตร ส.ค.ส. เป็นต้น

5. กระตุ้นและส่งเสริมให้เด็กได้เรียนรู้ด้วยตนเอง ควรให้โอกาสและเตรียมการให้เด็กได้เรียนรู้ด้วยตนเอง และยกย่องเด็กที่มีการเรียนรู้ด้วยตนเอง ครูอาจจะเปลี่ยนบทบาทเป็นผู้ชี้แนะ ลดการอธิบายและการบรรยายลงบ้าง แต่เพิ่มการให้นักเรียนมีส่วนริเริ่มกิจกรรมด้วยตนเองมากขึ้น

6. เปิดโอกาสให้นักเรียนเรียนรู้ ค้นคว้าอย่างต่อเนื่องอยู่เสมอ โดยไม่ต้องใช้วิธีขู่ด้วยคะแนน หรือการสอบ เป็นต้น

7. พึงระลึกว่าการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในเด็กจะต้องใช้เวลาในการพัฒนาอย่างค่อยเป็นค่อยไป

8. ส่งเสริมให้เด็กใช้จินตนาการของตนเอง และยกย่องชมเชยเมื่อเด็กมีจินตนาการที่แปลกและมีคุณค่า

Blaunt, & Klausmier (1984 อ้างถึงใน อารี พันธ์มณี, 2546, น.92) ได้เสนอแนะวิธีการที่จะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนมีความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมไว้ดังนี้

1. สนับสนุนและกระตุ้นการแสดงความคิดหลายๆ ด้าน ตลอดจนการแสดงออกทางอารมณ์

2. เน้นสถานการณ์ที่ส่งเสริมความสามารถอันจะนำไปสู่ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม เช่น ความคิดริเริ่ม เป็นต้น ตลอดจนไม่จำกัดการแสดงออกของนักเรียนให้เป็นไปในรูปแบบเดียวตลอด

3. อย่าพยายามหล่อหลอมหรือกำหนดให้เด็กและนักเรียนมีความคิดและมีบุคลิกภาพเหมือนกันไปหมดทุกคน แต่ควรสนับสนุนและส่งเสริมการผลิตสิ่งที่แปลกๆ ใหม่ๆ ตลอดจนความคิดและวิธีการแปลกๆ ใหม่ๆ ด้วย

4. อย่าเข้มงวดกวดขันหรือยึดมั่นอยู่กับจารีตประเพณีที่รับสืบทอดต่อกันมาว่ายอมรับการกระทำหรือผลงานอยู่เพียงแค่บางสิ่งเท่านั้น สิ่งอื่นใดที่นอกเหนือไปจากแบบแผนนั้นถือว่าเป็นสิ่งที่ผิดไปเสียหมด

5. อย่าสนับสนุนหรือให้รางวัลแต่เฉพาะผลงานหรือการกระทำซึ่งมีผู้ทดลองทำเป็นที่ยอมรับกันแล้ว ผลงานที่แปลกใหม่ก็ควรที่จะได้มีโอกาสได้รับรางวัลหรือคำชมเชยด้วยเช่นกัน

สุวิทย์ มูลคำ (2547, น.29) ได้สรุปองค์ประกอบที่ช่วยส่งเสริมความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมไว้ 5 ประการ ดังนี้

1. ทัศนคติและบุคลิกลักษณะ นักคิดสร้างสรรค์ควรมีลักษณะ ดังนี้

1.1 มีทัศนคติเชิงบวก

1.2 เปิดใจกว้าง รับประสบการณ์ใหม่ๆ

1.3 กล้าได้ กล้าเสีย กล้าเสี่ยง

1.4 มีความเชื่อมั่นและเป็นตัวของตัวเอง

1.5 มีความมุ่งมั่น มานะ บากบั่น อดทน

1.6 มีกำลังใจ ไม่ท้อแท้ ไม่ท้อถอย

2. ความรู้และความจำ ความรู้ความจำที่สะสมมามากและหลากหลายจะเป็นฐานหรือต้นทุนของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเพราะทำให้เข้าใจธรรมชาติของปัญหาและคิดงานได้ดีมีคุณภาพ ทั้งนี้จะต้องไม่ติดยึดความรู้ที่มีอยู่เดิมมากเกินไป จะต้องยืดหยุ่น คิดนอกกรอบเพื่อนำไปสู่ความคิดใหม่ๆ

3. ความสามารถด้านความคิด ความสามารถทางการคิดที่หลากหลายมิติ ได้แก่ ทักษะการคิด ลักษณะการคิดและการะบวนการคิดในมิติต่างๆ จะเป็นพื้นฐานนำไปสู่การคิดสร้างสรรค์ได้อย่างยอดเยี่ยม

4. แรงจูงใจ

4.1 แรงจูงใจภายใน เช่น ต้องการความสำเร็จ ต้องการสิ่งใหม่ๆ อยากรู้อยากเห็น เป็นต้น

4.2 แรงจูงใจภายนอก ได้แก่ ต้องการความก้าวหน้าในการทำงาน การได้รับการยกย่อง รางวัล เป็นต้น

5. สภาพแวดล้อมทางสังคมและวัฒนธรรม ลักษณะสภาพแวดล้อมทาสังคมและวัฒนธรรม ได้แก่

5.1 สังคมแบบประชาธิปไตย ส่งเสริมสิทธิเสรีภาพในการคิด การแสดงออก

5.2 สังคมที่ส่งเสริมความหลากหลายทางวัฒนธรรม

5.3 สังคมที่สนับสนุนคนที่คิดแตกต่างจากผู้อื่น

5.4 สังคมที่เปิดการแข่งขันธุรกิจเสรี ฯลฯ

เพ็ญนิดา ไชยสายัณห์ (2556) ได้กล่าวถึงวิธีการพัฒนาศักยภาพความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเอาไว้ 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. ฝึกคิดเชิงบวก (Positive Thinking) ไม่ว่าจะเกิดอะไรขึ้นเราต้องฝึกคิดว่ามีอะไรที่เป็น ประโยชน์กับเราบ้าง เช่น ถ้าเราตกงานเราก็คิดว่าเป็นโอกาสที่ดีที่เราจะได้มีเวลาพัฒนาตัวเองแบบเต็มเวลา ถ้าเราอกหักก็คิดเสียว่าเป็นโอกาสดีที่จะได้เปิดโอกาสให้กับคนดีๆ อีกหลายคนเข้ามาในชีวิตของเรา ถ้าเครียดมากๆ ก็ให้คิดเสียว่าเป็นการทดสอบความแข็งแกร่งของจิตใจว่าจะสามารถรับมือกับสภาพความเครียดได้มากน้อยเพียงใด เพราะในอนาคตเราอาจจะมีเรื่องที่เครียดมากกว่านั้นก็ได้ การฝึกคิดเชิงบวก นอกจากจะช่วยให้เราฝึกการแสวงหาโอกาสแล้วยังช่วยให้เราเกิดการเรียนรู้ที่เหนือกว่าคนอื่น เพราะถ้าเหตุการณ์หนึ่งเกิดขึ้น เราสามารถเรียนรู้ทั้งสิ่งที่คนทั่วไปเขารู้กันแล้ว เรายังเรียนรู้ในสิ่งที่คนอื่นๆ เขามองข้ามไป เมื่อเราฝึกแบบนี้ไปนานๆ หลายๆครั้งเข้าจำนวนเท่าของความรู้ของเราจะ เหนือกว่าคนทั่วไปอย่างน้อยสองสามเท่าตัว

2. ฝึกคิดย้อนศร (Backward Thinking) เมื่อไหร่ก็ตามเราคิดสวนทางกับคนอื่นอาจจะทำให้เราเกิดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่ดีๆ ขึ้นมาก็ได้ ตัวอย่างการทำธุรกิจที่ตรงกันข้ามจากคนอื่น เช่น ปกติรถเสีย ต้องพารถไปหาอู่ แต่เมื่อคิดใหม่คือเอาอู่ไปหารถ จึงทำให้เกิดธุรกิจบริการซ่อมรถฉุกเฉินขึ้นมามากมาย หรือ เมื่อก่อนถ้าเราจะกินพิซซ่าเราจะต้องไปที่ร้าน

แต่เมื่อมีคนคิดย้อนศรคือ ส่งพิซซ่าไปหาลูกค้าจึงเกิดธุรกิจ Home Delivery ขึ้นมามากมาย ปัจจุบันนี้เกิดธุรกิจอีกมากมาย เช่น การส่งดอกไม้ ร้านหนังสือ ร้านวีดีโอ เป็นต้น

3. ฝึกคิดในสิ่งที่เป็นไปไม่ได้ (Impossible Thinking) บางสิ่งบางอย่างที่เราเคยคิดว่ามันเป็นไปไม่ได้ในอดีต แต่ในปัจจุบันมันเป็นไปได้และเป็นไปแล้ว สิ่งที่เราคิดว่าเป็นไปไม่ได้ในวันนี้มันอาจจะเป็นไปได้ในอนาคต ดังนั้นอะไรก็ตามที่เราคิดว่าเป็นไปไม่ได้ อย่าเพิ่งด่วนตัดทิ้งไป เพราะนั่นเท่ากับเป็นการ ดับอนาคตแห่งความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของเราเอง ซึ่งตัวอย่างความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมแบบนี้ เห็นได้จากภาพยนตร์ การ์ตูน บางประเภทที่เราคิดว่าเป็นไปไม่ได้ ความคิดของนักวิทยาศาสตร์นำไปค้นคว้าวิจัยเพื่อนำไปสู่ความเป็นไปได้ต่อไป เช่น ในอดีตใครเคยคิดบ้างว่าเรื่องการโคลนนิ่งสัตว์หรือมนุษย์จะเป็นไปได้ ใครเคยคิดบ้างว่ามนุษย์จะมีธุรกิจการท่องเที่ยวในอวกาศ ใครจะคิดบ้างว่าคนที่อยู่กันคนละโลกสามารถพูดคุยกันแบบเห็นหน้าตาได้เหมือนสมัยนี้ นอกจากนี้ในชีวิตการทำงาน เรามักจะตกหลุมพรางทางความคิดแบบนี้อยู่บ่อยๆ พอคิดจะทำโน่นทำนี่ เราก็มักจะถูกขัดขวางด้วยความคิดที่ว่า มันทำไม่ได้หรอก หัวหน้าเขาคงไม่มีงบประมาณ ผู้บริหารคงไม่สนับสนุน ฯลฯ ความคิดในลักษณะนี้เกิด ขึ้นมากมายกับคนทำงาน สาเหตุที่สำคัญคือ เรามักจะนำเอาสภาพแวดล้อมภายนอกมาทำลายต้นกล้าแห่งความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของเราเสียเอง ตั้งแต่ยังไม่ลงมือทำอะไรเลย ทำให้เราไม่มีโอกาสได้คิดไปถึงที่สุดว่า ที่เราคิดว่ามันเป็นไปไม่ได้นั้น จริงๆแล้วมันเป็นเช่นนั้นจริงหรือ

4. ฝึกคิดบนหลักของความเป็นจริง (Thinking Based Principle) การฝึกคิดแบบนี้คือการคิดวิเคราะห์สิ่งต่างๆ โดยย้อนกลับไปหาหลักความเป็นจริงของสิ่งนั้นๆว่าคืออะไร เช่น คนที่สามารถผลิตเครื่องบินได้นั้นจะต้องเข้าใจถึงหลักความเป็นจริงในเรื่องแรงโน้มถ่วงของโลกก่อน จึงจะสามารถออกแบบเครื่องบินได้ ต้องเข้าใจว่าการบินได้นั้นต้องทำอย่างไร จะต้องใช้พลังขับเคลื่อนเท่าไหร่ มีความเร็วเท่าไหร่ จึงจะสามารถหนี ออกจากแรงโน้มถ่วงของโลกได้

5. ฝึกคิดข้ามกล่องความรู้ (Lateral Thinking) การคิดข้ามกล่องความรู้คือการนำเอาความรู้ที่มีอยู่ในหัวในเรื่องต่างๆ มาคิดไขว้กัน ยิ่งเรามีกล่องความรู้หลากหลาย โอกาสที่เราจะคิดข้ามกล่อง เพื่อให้เกิดความคิดใหม่ๆ ก็มีมากยิ่งขึ้น เช่น ก๋วยเตี๋ยวต้มยำ มาจากกล่องความรู้เกี่ยวกับก๋วยเตี๋ยว ผสมกับกล่องความรู้ในการทำต้มยำ หรือแอร์มุ้ง มาจากกล่องความรู้ด้านแอร์กับกล่องความรู้ด้านมุ้ง ปลาดุกในห้องเช่ามาจากกล่องความรู้เรื่องห้องเช่ากับกล่องความรู้เรื่องการเลี้ยงปลาในบ่อดิน เป็นต้น

จากแนวทางที่กล่าวมา จะเห็นได้ว่า ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมสามารถพัฒนาขึ้นได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ในทางตรงได้แก่ การสอน การทำกิจกรรม การฝึกอบรม การ

ฝึกฝน ซึ่งครูและผู้ปกครอง จะมีบทบาทสำคัญในการช่วยส่งเสริมความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม ส่วนในทางอ้อม ได้แก่ สิ่งแวดล้อม การสร้างบรรยากาศเพื่อให้เด็กเกิดความรู้สึก อบอุ่น ปลอดภัย กล้าแสดงออกทางความคิด ให้ความเป็นกันเอง และเด็กจะไม่สามารถพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเลย ถ้าสภาพร่างกายและสิ่งแวดล้อมไม่เหมาะสม

5. อุปสรรคในการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

อุปสรรคในการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม คือ สิ่งที่มีบทบาททำให้ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของตัวบุคคลไม่ได้พัฒนาให้ดีขึ้น ไม่ว่าจะเป็น ความคิด ความรู้สึกของตัวเราเอง สภาพสังคม หรือแม้แต่สิ่งแวดล้อม ซึ่งก็ได้มีนักวิชาการได้กล่าวถึงอุปสรรคในการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมไว้ดังต่อไปนี้

อารี รังสินันท์ (2527, น.109) กล่าวว่า อุปสรรคของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม มีดังนี้

1. การไม่ชอบให้ซักถาม หมายถึง การที่ผู้ใหญ่ไม่ชอบและไม่สนับสนุนให้เด็กเป็นคนช่างซักช่างถามหรือยับยั้งการถามคำถามและรู้สึกรำคาญและไม่พอใจการที่เด็กซักถามบ่อยๆ

2. การเอาอย่างกันหรือการทำตามกัน หมายถึง การกระทำที่ชอบเอาอย่างกัน คิดตามกัน คิดในสิ่งที่เคยมี ไม่กล้าคิดและกระทำให้แตกต่างจากคนอื่นหรือของเดิม บางครั้งอาจจะกล้าคิดแต่ไม่กล้าแสดงเพราะกลัวถูกหัวเราะเยาะ กลัวสังคมไม่ยอมรับ

3. การเน้นบทบาทและความแตกต่างทางเพศมากเกินไป หมายถึง การที่สังคมได้กำหนดบทบาทของเพศหญิงและเพศชายอย่างเคร่งครัด ทำให้ทั้งสองเพศไม่กล้าล่วงล้ำในเส้นที่ขีดกำหนดไว้ทั้งที่ตนมีความสามารถ

4. วัฒนธรรมที่เน้นความสำเร็จและประณามความล้มเหลว หมายถึง การที่สังคมมีค่านิยมต่อความสำเร็จมากเกินไป เมื่อทำการสิ่งใดแล้วต้องการให้เกิดความสำเร็จเพียงอย่างเดียว ความล้มเหลวเป็นสิ่งที่ไม่ยอมรับและทำให้อับอาย ดังนั้นจึงทำให้เด็กไม่กล้าทดลองของใหม่ เพราะกลัวความล้มเหลวและผลที่ได้รับจากสังคมอย่างการถูกดูถูกดูแคลน

5. บรรยากาศที่เคร่งครัดและเอาจริงเอาจังมากเกินไป หมายความว่า การกระทำและความคิดทุกอย่างจะต้องอยู่ในระเบียบแบบแผนอย่างเคร่งครัดจะคลาดเคลื่อนหรือเบี่ยงเบนไปแม้แต่เล็กน้อยก็ถือเป็นความผิดอันยิ่งใหญ่และไม่สามารถให้อภัยได้

6. ความกลัว หมายถึง ความไม่กล้าคิดไม่กล้าแสดง และไม่กล้ากระทำสิ่งใดใหม่ เพราะกลัวการถูกหัวเราะเยาะ กลัวการถูกตำหนิติเตียน กลัวเสียหน้า และกลัวการถูกลงโทษ

7. ความเคยชิน หมายถึง การยอมรับหรือการติดอยู่กับรูปแบบหรือการกระทำเดิมที่เคยทำเป็นประจำ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงใหม่ เคยชินกับสภาพชีวิตที่เคยเป็นมา

8. ความมีอคติหรือความลำเอียง หมายถึง ความเชื่อและคิดตามทัศนะของตน ลำเอียงและยึดมั่นกับความเข้าใจของตนโดยไม่ยอมรับรู้สิ่งใหม่ ทำให้เกิดทัศนะที่คับแคบ ไม่ยอมเชื่อถือแนวทางอื่นๆ ที่เป็นไปได้ คิดเพียงว่าคำตอบที่ถูกต้องมีเพียงคำตอบเดียวเท่านั้น และในการตัดสินสิ่งต่างๆ ก็จะนำเอาความคิดความเชื่อของตนแต่เพียงอย่างเดียวเข้ามาเป็นเกณฑ์ตัดสินเท่านั้น

9. ความเฉื่อยชา หมายถึง ความอืดอาด เชื่องช้า และความล่าช้าในการริเริ่มทั้งความคิดและการกระทำ

10. ความเกียจคร้าน ไม่เอาจริงเอาจังในสิ่งใด ทำงานอย่างไม่มีความสามารถ ชอบแต่ความสะดวกสบาย

กรมวิชาการ (2535, น.17) ได้กล่าวว่า อุปสรรค์ของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมมีสาเหตุมาจากเหตุผลต่างๆ ได้แก่

1. การต้องการหาคำตอบที่ถูกต้องเพียงคำตอบเดียว บุคคลทั่วๆ ไป หรือแม้แต่ผู้ที่ชอบวิเคราะห์จะพยายามหาคำตอบซึ่งถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว และจะมีความพอใจเมื่อได้พบคำตอบนั้นแล้ว แต่ผู้ที่มีความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเมื่อพบคำตอบแล้ว เขาจะหาคำตอบหรือผลเพิ่มเติมที่นอกเหนือจากคำตอบที่ถูกต้องนั้น

2. การจำกัดความคิดของตนเอง บุคคลทั่วๆ ไป จะคิดในขอบเขตที่จำกัดซึ่งในบางปัญหาก็ไม่สามารถหาคำตอบได้ แต่ผู้ที่มีความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมจะคิดเกินขอบเขต ไม่อยู่ในวงจำกัด และเขาจะพบวิธีแก้ปัญหาในที่สุด

3. ความเคยชิน บุคคลทั่วๆ ไปจะคิดเท่าที่เห็นปรากฏตามความเคยชินหรือประสบการณ์ที่ตนมีมา แต่ผู้ที่มีความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมจะคิดในแง่มุมต่างๆ นอกเหนือจากที่เป็นอยู่ เช่น อาจจะมองสิ่งๆ หนึ่งในหลายมิติ ในขณะที่คนทั่วๆ ไปมองเห็นเพียงมิติเดียว เป็นต้น

4. การไม่สนใจในสิ่งที่ท้าทายความคิด มีการกระทำบางอย่างที่ท้าทายความสนใจและความคิด ซึ่งถ้าพิจารณาแล้วก็ไม่น่าเป็นไปได้ คนทั่วไปจะไม่สนใจทำสิ่งเหล่านี้ แต่ผู้ที่มีความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมจะพยายามทำสิ่งนั้นให้เป็นจริงขึ้นมาให้ได้

5. การประเมินผลความคิดเร็วเกินไป นักวิเคราะห์หรือคนทั่วไปมักจะประเมินผลความคิดของเขาเกือบจะทันทีเมื่อเริ่มใช้ความคิดเกี่ยวกับสิ่งนั้นๆ เช่น อาจจะประเมินว่า ความคิด

ของตนเองเป็นความคิดที่โง่ หรือไม่อาจเป็นไปได้ ซึ่งจะทำให้ความคิดนั้นๆ ไม่ได้ถูกนำมาใช้เลย การประเมินผลจึงยังไม่ควรมีบทบาท ในขณะที่คนเรากำลังใช้ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม ควรจะรั้งรอพิจารณาความคิดที่เกิดขึ้นไว้ก่อน เพราะความคิดนั้นอาจจะเป็นก้าวหนึ่งของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

6. ความกลัวจะถูกมองว่าโง่ บุคคลทั่วไปจะไม่พยายามแสดงความคิดเห็นของตนเองออกมา ด้วยกลัวจะถูกมองว่าโง่ แต่ผู้ที่มีความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมจะไม่คิดเช่นนี้ เขาจะกล้าแสดงความคิดเห็นออกมาให้มากที่สุดที่จะมากได้ โดยไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงคุณภาพของความคิดเหล่านั้น เพราะอาจจะมีความคิดใดความคิดหนึ่งที่เป็นความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่ดีมากก็ได้

พงษ์พันธ์ พงษ์โสภา (2542, น.159) กล่าวว่า อุปสรรคในการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมนั้นมีสาเหตุดังนี้

1. งานในหน้าที่ประจำวันไม่จำเป็นต้องใช้ความริเริ่ม เนื่องจากลักษณะงานที่ทำนั้นมีรูปแบบที่แน่นอนอยู่แล้ว จึงทำให้ผู้ปฏิบัติเกิดการยอมรับ และติดอยู่กับรูปแบบนั้น เมื่อคนเราตกอยู่ภายใต้ของระบบงานจะทำให้สมองไม่มีโอกาสได้ใช้ความคิด เมื่อนานเข้าก็จะกลายเป็นความเคยชิน เกิดอาการเฉื่อยชา ประสิทธิภาพในการทำงานต่ำลง เพราะไม่คิดที่จะปรับปรุงเปลี่ยนแปลงหรือค้นหาวิธีการใหม่ๆ ขึ้นมา แต่กลับจะมองว่าความคิดใหม่ๆ หรือการเปลี่ยนแปลงใหม่ๆ เป็นเรื่องเดือนร้อนน่ารำคาญ เพิ่มปัญหาให้มากขึ้น เพื่อเป็นการพัฒนาจึงต้องยอมรับว่า การปรับปรุงเปลี่ยนแปลงเป็นสิ่งจำเป็น และเริ่มปลูกฝังนิสัยให้รู้จักการปรับปรุงวิถีชีวิตของตนเองไปสู่สิ่งใหม่ๆ ต่างไปจากที่เคยเป็นมาเพื่อช่วยให้ชีวิตสดชื่นไม่ซ้ำซาก จำเจ น่าเบื่อหน่ายอีกต่อไป

2. ประพฤติปฏิบัติตามอย่างกันตลอดมา การเอาอย่างกันหรือคิดตามกันหรือบางครั้งไม่กล้าคิด ไม่กล้ากระทำให้แตกต่างไปจากเดิม เพราะกลัวผิดพลาด กลัวสังคมจะไม่ยอมรับจึงประพฤติปฏิบัติตนโดยใช้การเลียนแบบของเดิมอยู่ตลอดเวลา การกระทำดังกล่าวจะไม่ช่วยให้เกิดสิ่งแปลกใหม่ ขาดการสร้างสรรค์ ดังนั้น การส่งเสริมให้บุคคลแสดงความคิดเห็นของตนเองออกมาด้วยเหตุผล ซึ่งบางครั้งก็อาจจะมีความแตกต่างกันออกไป ย่อมนำไปสู่ความแปลกใหม่ และเกิดการสร้างสรรค์ขึ้นมา

3. เวลาที่มีอยู่บังคับให้ต้องทำงานเหล่านั้นด้วยความจำเจ บุคคลบางจำพวกต้องทำงานอย่างเร่งรีบโดยไม่มีเวลาที่จะคิดและขาดการบริหารเวลาที่เหมาะสมหรืออาจเกิดจากนิสัยที่ชอบรอให้งานจวนตัวแล้วจึงลงมือทำซึ่งทำให้ไม่มีเวลาคิด คนจำพวกนี้จึงถูกเวลาเป็นเครื่องบงการชีวิตโดยไม่รู้ตัว จึงมีแต่ความรีบเร่ง ขาดสติ ขาดสมาธิ ถ้ารู้จักแบ่งเวลาและบริหารเวลาให้เป็นก็

สามารถเป็นนายของเวลาซึ่งจะทำให้ชีวิตและงานอยู่ภายใต้อำนาจของเรา มีเวลาที่จะคิดพิจารณาเรื่องราวต่างๆ เนื่องจากสมองต้องการทั้งเวลาและอิสรภาพในการคิดค้นแสวงหาวิธีการใหม่ๆ เพราะสมองและความคิดของคนเรานั้นมีสภาพเช่นเดียวกับร่างกาย กล่าวคือ ต้องมีการออกกำลังบริหารจึงจะเกิดความคล่องแคล่วและจะเกิดความสนุกเมื่อได้คิดและได้รับผลตอบสนองที่น่าพอใจต่อความคิดนั้น

4. บรรยากาศที่เคร่งครัดและจริงจังมากเกินไป ใช้ชีวิตของคนเราหากการกระทำหรือความคิดจะต้องอยู่ในกรอบเป็นระเบียบแบบแผนทุกสิ่งทุกอย่างอยู่ตลอดเวลาจะคลาดเคลื่อนไปแม้แต่น้อยไม่ได้ เคร่งครัดอยู่กับกฎเกณฑ์และระเบียบวินัย จริงจังกับชีวิตมากเกินไปโดยยึดคติที่ว่า “เวลากินต้องกิน เวลาทำงานต้องทำงาน และเวลาเล่นต้องเล่น” ชีวิตก็จะมีแต่ความเคร่งเครียดและเอาจริงเอาจังมากเกินไป การทำงานขาดความสนุก เมื่อมีลักษณะเช่นนี้นานเข้าจะทำให้เกิดความอึดอัดหวาดกลัว หวั่นเกรงต่อความผิดพลาด ไม่กล้าแม้แต่จะคิดนอกเหนือไปจากที่เคยทำ ก็จะทำให้เป็นคนขาดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

5. ความเฉื่อยชา ความอืดอาด เชื่องช้า ซึ่งเป็นความล่าช้าทั้งทางความคิดและการกระทำจัดว่าเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการคิดสร้างสรรค์เพราะเป็นการแสดงออกที่ขาดแรงกระตุ้นและขาดความคิดริเริ่ม

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าสิ่งที่เหมือนกันในการสกัดกั้นความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของบุคคลนั้นมีหลายด้านด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นความเคยชิน ความกลัว ความรู้สึก สภาพแวดล้อม บรรยากาศรอบข้างที่เคร่งเครียด ฯลฯ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ถ้าไม่สามารถขจัดออกไปจากตัวบุคคลได้ อาจจะทำให้บุคคลเหล่านั้นขาดความคิดและไม่สามารถพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของตนเองให้ดีขึ้นได้

6. การวัดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเป็นทักษะที่สามารถทำการฝึกฝนและสร้างขึ้นได้ ซึ่งระดับของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของแต่ละบุคคลคนนั้นไม่เท่ากันการวัดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมจะแสดงถึงระดับของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของบุคคลนั้นๆ อีกทั้งยังสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆ อารี พันธ์มณี (2557, น.229-240) ได้กล่าวว่า การวัดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมไม่เพียงทำให้เราทราบระดับความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของเด็ก และเป็นข้อมูลให้สามารถจัดการเรียนการสอนและจัดกิจกรรมให้สอดคล้องเพื่อพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของเด็กให้สูงขึ้นเท่านั้น ยังสามารถสกัด

กั้นอุปสรรคต่อการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้ด้วย การวัดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมสามารถทำได้หลากหลายวิธี โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การสังเกต หมายถึง การสังเกตพฤติกรรมของบุคคลที่แสดงออกเชิงสร้างสรรค์ Abrahum (1927) และ Andrew (1930) ได้ศึกษาแบบต่างๆ ของความคิดจินตนาการและได้ใช้วิธีการสังเกตเป็นวิธีการวัดในวิธีการหนึ่งในหลายหลายวิธี โดยสังเกตพฤติกรรมการเลียนแบบการทดลอง การปรับปรุง และตกแต่งสิ่งต่างๆ การแสดงละคร การเล่านิทาน การแต่งเรื่องใหม่เป็นต้น

2. การวาดภาพ หมายถึง การให้เด็กวาดภาพจากสิ่งเร้าที่กำหนด เป็นการถ่ายทอดความคิดเชิงสร้างสรรค์ออกมาเป็นรูปธรรม และสามารถสื่อความหมายได้ สิ่งเร้าที่กำหนดให้หากเป็นวงกลม สี่เหลี่ยม และให้เด็กวาดภาพต่อเติมเป็นภาพเป็นต้น

3. รอยหยดหมึก หมายถึง การให้เด็กดูภาพรอยหยดหมึกแล้วคิดตอบจากภาพที่เด็กเห็น มักใช้กับเด็กวัยประถมศึกษา เพราะเด็กสามารถอธิบายได้ดี

4. การเขียนเรียงความและงานศิลปะ หมายถึง การให้เด็กเขียนเรียงความจากหัวข้อที่กำหนด และการประเมินจากงานศิลปะของนักเรียน

5. แบบทดสอบ หมายถึง การให้เด็กทำแบบทดสอบความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมมาตรฐานซึ่งเป็นผลมาจากการวิจัยเกี่ยวกับธรรมชาติของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม แบบทดสอบมีทั้งใช้ภาษาเป็นสื่อและใช้ภาพเป็นสื่อ เพื่อเร้าให้เด็กแสดงออกเชิงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม แบบทดสอบที่นิยมได้แก่แบบทดสอบวัดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของกิลฟอร์ด และแบบทดสอบวัดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของทอแรนซ์

ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะใช้การสังเกตพฤติกรรมในการวัดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมร่วมกับข้อมูลที่ได้จากการบันทึกผลการทำกิจกรรมของนักเรียน และนวัตกรรมที่นักเรียนสร้างสรรค์ขึ้นมา

การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

1. ความเป็นมาของการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา

สะเต็ม (STEM) ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วสหรัฐอเมริกาและประเทศต่างๆ ทั่วโลก คำว่า STEM ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในสถาบันวิทยาศาสตร์แห่งชาติ (NSF) เพื่ออ้างถึงโครงการหรือโปรแกรมที่พวกเขาศึกษาทั้งหมดในหน่วยงาน NSF ซึ่งในวันนี้ คำย่อ STEM นี้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในบริบทต่างๆ และได้รับการยกย่องว่าเป็นการจัดการเรียนรู้ที่มีการผสมผสานกันของวิชาที่แตกต่างกันเป็นวิชาใหม่ที่สอดคล้องกัน ตัวอย่างเช่น สาขาเทคโนโลยีชีวภาพเป็นสาขาวิชาใหม่ที่เกิดจากการผสมผสานกันระหว่างชีววิทยาที่ศึกษาระหว่างสิ่ง

ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการของสิ่งมีชีวิต เข้ากับ วิศวกรรมและการออกแบบ เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการใหม่ ซึ่งชนิดของการศึกษานี้เกี่ยวข้องกับ “การสร้างระเบียบวินัยที่เกิดจากการบูรณาการความรู้ทางวินัยอื่น ๆ กลายเป็น องค์ความรู้ใหม่ ซึ่งการเชื่อมโยงระหว่างความรู้ข้ามสาขา ที่แยกออกมาถือเป็นสาขาใหม่โดยเป็นที่รู้จักกันในชื่อ STEM

ความเป็นมาของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเกิดขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกาเนื่องจากผลการสอบ PISA และ TIMSS ของนักเรียนสหรัฐอเมริกาได้คะแนนน้อย และนักเรียนสหรัฐอเมริกาไม่สามารถนำความรู้ในเนื้อหาที่เรียนมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้ ประกอบกับบุคลากรในการทำงานด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี คณิตศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์มีน้อย รัฐบาลสหรัฐจึงเห็นถึงความสำคัญของการนำการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษามาลงไว้ในหลักสูตรของห้องเรียน เพื่อช่วยส่งเสริมให้เยาวชนมีความรู้ในเนื้อหาที่เรียน และนำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาหรือประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในชั้นเรียน การประดิษฐ์หรือสร้างนวัตกรรมต่างๆ ขึ้น เพื่อช่วยยกระดับผลการทดสอบต่างๆและเป็นการเตรียมพร้อมผู้เรียนให้เป็นประชากรที่มีคุณภาพ และเป็นแนวทางหนึ่งในการส่งเสริมทักษะที่จำเป็นสำหรับผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557)

ในประเทศไทยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้เห็นถึงความสำคัญของการจัดการเรียนการสอนตามแนวสะเต็มศึกษา จึงได้นำเสนอยุทธศาสตร์เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ สู่การใช้ประโยชน์และเทคโนโลยี ที่บูรณาการวิศวกรรมศาสตร์ สู่การใช้ประโยชน์ในการประกอบวิชาชีพ และการศึกษาตลอดชีวิตให้กับนักเรียนไทย คณะกรรมการส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจึงมีมติเห็นชอบให้สถาบันการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีดำเนินโครงการสะเต็มศึกษา(STEM Education) (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2556, น.4-5) โดยมีแผนดำเนินงานดังนี้

1. พ.ศ. 2556 จัดตั้งคณะทำงานและศูนย์ศึกษาสะเต็มศึกษา (STEM Academy) ใน 10 จังหวัดและแต่ละจังหวัดจะมีจำนวน 3 โรงเรียน รวม 30 โรงเรียน รวมทั้งการประชาสัมพันธ์สร้างเครือข่ายกับหน่วยงานต่างๆ พัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษา ตลอดจนพัฒนาครูและบุคลากรสะเต็ม เพื่อสร้างแนวทางการดำเนินงานและวัดผลสะเต็มศึกษาให้เป็นรูปธรรม และหลังจากนั้นจึงได้ขยายไปสู่วงกว้างต่อไป

2. พ.ศ. 2557 จัดให้มีการประเมินผลโครงการนำร่องเพื่อพัฒนาเป็นแผนแม่บท (Master plan) และแผนที่นำทาง (Roadmap) ประกอบการยกร่างนโยบายแห่งชาติเสนอต่อรัฐบาลและเตรียมการขยายผลในทุกจังหวัด

3. พ.ศ. 2558 เริ่มจัดตั้ง iSTEM เป็นศูนย์กลางกระจายสื่อการสอนผ่านทางอินเตอร์เน็ตและร้านสะดวกซื้อเพื่อสนับสนุนสะเต็มศึกษา และจัดตั้ง STEM Hall of Fame เพื่อยกย่องเชิดชูเกียรติ นักเรียน นักศึกษา ครูอาจารย์ และทูตสะเต็ม (ผู้เชี่ยวชาญ)

จากข้อความดังกล่าวในข้างต้น จึงเป็นที่มาของการนำการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเข้ามาใช้ในประเทศไทย เพื่อหวังให้เกิดการพัฒนาของนักเรียนตามนโยบายของรัฐบาล และแก้ปัญหาของนักเรียน โดยผ่านการจัดการเรียนรู้ที่ครูจะนำหลักการต่างๆ ของสะเต็มศึกษาที่ตนเองได้รับการอบรมมา มาประยุกต์ใช้ให้เข้ากับบทเรียนและบริบทห้องเรียนของตนเองต่อไป

2. ความหมายของสะเต็มศึกษา

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่ามีการให้ความหมายของสะเต็มศึกษาไว้มากมาย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

Maryland State Board of Education (2012) ได้ให้ความหมายของสะเต็มศึกษาไว้ดังนี้ สะเต็มศึกษา คือ วิธีการสอนและการเรียนรู้ที่รวมเนื้อหาและทักษะของวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ โดยมาตรฐานของการเรียนการสอนแบบสะเต็มได้กำหนดพฤติกรรมการเรียนรู้ผสานกับเนื้อหาวิชาซึ่งคาดหวังว่าให้ผู้เรียนเป็นผู้เรียนที่เชี่ยวชาญทางด้านสะเต็ม โดยพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจะรวมไปถึงการใช้ตรรกะเหตุผล การทำงานร่วมกัน และการตรวจสอบหาความจริงต่างๆ และที่สำคัญเป้าหมายของสะเต็มศึกษาคือการเตรียมความพร้อมสำหรับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษา และพร้อมสำหรับแรงงานในศตวรรษที่ 21

พรทิพย์ ศิริภัทราชัย (2556) ได้กล่าวว่าสะเต็มศึกษา คือ การสอนแบบบูรณาการกลุ่มสาขาวิชาต่างๆ เข้าไว้ด้วยกัน ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ โดยการนำจุดเด่นและวิธีการสอนของแต่ละสาขาวิชามาผสมผสานกันอย่างลงตัว เพื่อให้ผู้เรียนได้นำความรู้ทุกศาสตร์วิชามาใช้ในการค้นคว้า แก้ปัญหา และการพัฒนาสิ่งต่างๆ ในสถานการณ์โลกปัจจุบัน

Vasquez (2013) กล่าวว่า สะเต็มศึกษา คือ การบูรณาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นวิธีการแบบสหวิทยาการควบคู่กับการนำไปใช้ในชีวิตจริงกับการเรียนรู้โดยมีปัญหาเป็นฐาน โดยสะเต็มศึกษาจะเป็นการบูรณาการทั้ง 4 สาขาวิชาเพื่อเชื่อมโยงวิธีการสอน และวิธีการเรียนรู้ให้เข้าด้วยกัน ซึ่งทั้ง 4 สาขาวิชาสามารถอธิบายได้ดังนี้

วิทยาศาสตร์ (Science: S) เป็นการศึกษาทำความเข้าใจปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ซึ่งสามารถแยกออกได้เป็น ชีววิทยา เคมี ฟิสิกส์ ดาราศาสตร์ และวิทยาศาสตร์พื้นฐานทั่วไป

เทคโนโลยี (Technology: T) เป็นวิชาที่เกี่ยวกับการปรับปรุง พัฒนาสิ่งต่างๆ หรือกระบวนการต่างๆ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของมนุษย์โดยผ่านกระบวนการทำงานทางเทคโนโลยี ที่เรียกว่า Engineering Design หรือ Design Process ซึ่งคล้ายกับกระบวนการสืบเสาะ ดังนั้น เทคโนโลยีจึงมิได้หมายถึงคอมพิวเตอร์หรือ ICT ตามที่คนส่วนใหญ่เข้าใจ

วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering: E) เป็นวิชาที่เกี่ยวกับการคิดแก้ปัญหาผ่านการวางแผน ออกแบบ สร้างหรือดัดแปลงเพื่อให้เกิดกระบวนการและการพัฒนาสำหรับนวัตกรรมต่างๆ โดยผ่านกระบวนการ Engineering design process

คณิตศาสตร์ (Mathematic: M) เป็นวิชาที่มิได้หมายถึงการนับจำนวนเท่านั้น แต่เกี่ยวกับองค์ประกอบอื่นที่สำคัญ ประการแรก คือ กระบวนการคิดคณิตศาสตร์ (Mathematical Thinking) ซึ่งได้แก่การเปรียบเทียบ การจำแนก/จัดกลุ่ม การจัดแบบรูป และการบอกรูปร่างและคุณสมบัติ ประการที่สอง ภาษาคณิตศาสตร์ เด็กจะสามารถถ่ายทอดความคิดหรือความเข้าใจความคิดรวบยอด(Concept) ทางคณิตศาสตร์ได้ โดยใช้ภาษาคณิตศาสตร์ในการสื่อสาร เช่น มากกว่า น้อยกว่า เล็กกว่า ใหญ่กว่า ฯลฯ ประการต่อมาคือการส่งเสริมการคิด คณิตศาสตร์ขั้นสูง (Higher-Level Math Thinking) จากกิจกรรมการเล่นของเด็กหรือการทำกิจกรรมในชีวิตประจำวัน

สรุปความหมายของสะเต็มศึกษา คือ การบูรณาการความรู้ของ 4 สาขาวิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์เข้าด้วยกันผ่านจุดเชื่อมโยงของเนื้อหา โดยมีสถานการณ์ที่เป็นปัญหาซึ่งเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของผู้เรียน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนเกิดความเข้าใจในเนื้อหาวิชาที่เรียน และสามารถนำความความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในชีวิตประจำวัน สามารถออกแบบหรือพัฒนาผลงานหรือสิ่งต่างๆ ขึ้นมาใหม่โดยอาจสร้างขึ้นเองหรือปรับปรุงมาจากของเดิมที่มีอยู่ก็ได้ โดยเน้นไปที่การส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดทักษะต่างๆ ที่สำคัญขึ้น

3. รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับแนวคิดสะเต็มศึกษา

เป้าหมายหลักของการศึกษา STEM ไม่ใช่มีเพื่อให้นักเรียนกลายเป็นนักคณิตศาสตร์ นักวิทยาศาสตร์ ช่างเทคนิค หรือวิศวกร ถึงแม้ว่าจะเป็นเรื่องที่ดีถ้ามันจะเป็นแรงบรรดาลใจให้เด็กๆ ของเรามากขึ้น แต่ความจริงแล้ว การศึกษาสะเต็มนั้น มีเพื่อให้นักเรียนทุกคนสามารถที่จะทำงานได้อย่างราบรื่นในโลกของเราที่มีเทคโนโลยีขั้นสูง สิ่งนั้นคือ การรู้สะเต็ม ซึ่งการรู้สะเต็มนี้ถูกนิยามในงานวิจัยล่าสุดที่ประสบความสำเร็จในระบบการศึกษาขั้นพื้นฐานของอเมริกา (K-12) ของคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ ในหัวข้อ แนวทางการจัดการเรียนการสอนที่มีประสิทธิภาพทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ไว้ว่า "ความรู้และความเข้าใจใน

แนวคิดและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่จำเป็นต่อการตัดสินใจส่วนบุคคลการมีส่วนร่วมในกิจการพลเรือนและวัฒนธรรมและการผลิตทางเศรษฐกิจ" (National Research Council, 2011, p.5)

การรู้ STEM เป็นความสามารถในการผสมผสานความสัมพันธ์ระหว่าง 4 อย่าง ดังนี้:

1. การรู้วิทยาศาสตร์ ถูกนิยามโดยคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (National Research Council, 2012) ประกอบด้วย 3 ด้านคือ

1.1 ความรู้เกี่ยวกับข้อเท็จจริงที่สำคัญ ตามแนวคิดกฎ หลักการ และทฤษฎีทางด้านวิทยาศาสตร์

1.2 ความสามารถในการเชื่อมโยงความรู้ทางวิทยาศาสตร์เข้ากับสาขาวิชาอื่นๆ

1.3 การปฏิบัติและวิธีการคิด ที่จะนำความรู้ของเราไปสู่โลกแห่งความจริงและการใช้วิทยาศาสตร์ในการแก้ปัญหาในโลกแห่งความเป็นจริงผ่านวิธีการทางวิศวกรรม

2. การรู้เทคโนโลยี คือ "ความสามารถในการจัดการ การทำความเข้าใจและประเมินค่าทางเทคโนโลยี" (International Technology and Engineering Education Association, 2007, p.7), ซึ่งคำว่าเทคโนโลยีถูกนิยามไว้ว่าเป็น "การเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติใด ๆ ของโลกที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเติมเต็มหรือตอบสนองความต้องการของมนุษย์" (National Research Council, 2012, p.202) เทคโนโลยีดังกล่าวนั้นมีตั้งแต่สิ่งประดิษฐ์ที่ง่ายที่สุดเช่น กระดาษ และดินสอ ไปจนถึงระบบที่ซับซ้อนที่สุด ได้แก่ อาคารและ ผังเมือง พลังงานไฟฟ้า ดาวเทียมและอินเทอร์เน็ต ยิ่งไปกว่านั้นเทคโนโลยียังรวมไปถึงโครงสร้างพื้นฐานทั้งหมดที่จำเป็นในการออกแบบผลิตดำเนินงานและซ่อมแซมสิ่งประดิษฐ์ทางเทคโนโลยีเหล่านี้ (National Evaluation Governors, 2011, p.11) ซึ่งนักเรียนควรรู้วิธีการใช้เทคโนโลยีใหม่ๆ และทำความเข้าใจว่าเทคโนโลยีใหม่เหล่านี้นั้นควรได้รับการพัฒนาอย่างไร และผู้เรียนควรมีทักษะในการวิเคราะห์ว่าเทคโนโลยีใหม่ต่างๆว่าสามารถส่งผลต่อตัวเองหรือต่อประเทศและโลกอย่างไร (สมาคมผู้ว่าการแห่งชาติ, 2550, น.7)

3. การรู้วิศวกรรม คือความสามารถในการแก้ปัญหาเพื่อให้บรรลุเป้าหมายด้วยการใช้กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม ด้วยวิธีการที่เป็นระบบและมักใช้วิธีการออกแบบวัตถุ กระบวนการและระบบเพื่อเติมเต็ม และการตอบสนองความต้องการของมนุษย์ โดยนักเรียนจะต้องสามารถใช้การปฏิบัติทางวิศวกรรมกับสถานการณ์ใหม่ ๆ เรียนรู้วิธีการกำหนดปัญหาที่สามารถแก้ไขได้ สามารถสร้างและทดสอบวิธีการที่อาจเกิดขึ้นได้และเรียนรู้วิธีการปรับเปลี่ยนการออกแบบในการสร้าง เมื่อเกิดข้อผิดพลาดในด้านต่างๆ (เช่นการปฏิบัติงาน ,จริยธรรม, การเงิน, ความสวยงาม) เพื่อเข้าถึงทางออกที่ดีที่สุด ซึ่งการรู้ด้านวิศวกรรมนั้นรวมไปถึงการรับรู้ถึง

ความสัมพันธ์กันระหว่าง วิทยาศาสตร์ ศิลปะ และวิศวกรรม ตลอดจนวิธีที่วิศวกรตอบสนองต่อความสนใจและความต้องการของสังคม ที่จะส่งผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมด้วยการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยี

4. การรู้คณิตศาสตร์ คือ "ความสามารถของแต่ละบุคคลในการระบุและเข้าใจบทบาทของคณิตศาสตร์ในโลก ซึ่งนักเรียนที่มีความรู้ทางคณิตศาสตร์สามารถที่จะทำการตัดสินที่ดีขึ้นและใช้คณิตศาสตร์ในการมีส่วนร่วมกับการตอบสนองความต้องการของชีวิตของบุคคลนั้นในการคิดสร้าง ไตร่ตรอง และ ตัดสินใจ คนที่มีความสามารถทางคณิตศาสตร์นั้น สามารถที่จะแสดงความคิดทางคณิตศาสตร์ในคำต่างๆเพื่อมีส่วนร่วมในการอภิปรายเกี่ยวกับคณิตศาสตร์และใช้แนวคิดและทักษะทางคณิตศาสตร์ในชีวิตประจำวัน

ส่วนที่สำคัญของการรู้ STEM อย่างมีคุณภาพนั้นคือ การไม่มีกฎเกณฑ์ที่ตั้งไว้เพื่อแยกผู้ที่มีความรู้ ในเรื่อง STEM และผู้ที่ไม่มีความรู้ เช่นเดียวกับการรู้ภาษา การรู้จะเติบโตอย่างต่อเนื่องและถูกพัฒนาตลอดเวลาในการใช้งานของแต่ละบุคคล อันเกิดจากการที่พวกเขาพยายามจะพัฒนาความสามารถและทักษะการเขียนในรูปแบบต่างๆและการอ่านในรูปแบบต่างๆ เช่นเดียวกับการพัฒนาการเรียนการสอน STEM ซึ่งการเรียนรู้ STEM ก็จะถูกพัฒนาอยู่ตลอดระยะเวลา ตามการใช้งานของแต่ละบุคคล ซึ่งเกิดจากการที่นักเรียนได้เพิ่มและปรับปรุงความรู้ในด้าน STEM เช่น การทำความเข้าใจเกี่ยวกับการเชื่อมโยงระหว่างกัน และเรียนรู้เพื่อที่จะใช้ความรู้เกี่ยวกับสิ่งที่เชื่อมโยงเหล่านั้นในการตอบคำถามและแก้ปัญหาที่เราสนใจ ดังนั้นเมื่อครูปรับปรุงระดับของการเรียนการสอนแบบ STEM จะสะท้อนให้เห็นว่าในห้องเรียนนั้นครูสามารถทำได้ อย่างไรก็ตามสิ่งสำคัญคือต้องเน้นว่าความรู้ทั้ง 4 สาขาวิชานี้ไม่ใช่ความรู้ที่สามารถที่แยกออกจากกัน แต่เป็นการแสดงถึงความสัมพันธ์ต่อกันและทับซ้อนกันอยู่

4. การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษานั้นมีหลากหลายรูปแบบทั้งการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐาน(Problem based Learning) การจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน (Project based Learning) และการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design Process) โดยในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกศึกษาการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ โดยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เป็นกระบวนการที่ผู้เรียนต้องประยุกต์ใช้ความรู้จากหลายวิชา ได้แก่ คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี มาใช้ในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนอย่างเป็นระบบ ปัญหาทางวิศวกรรมนั้นเกี่ยวข้องกับโลกความเป็นจริง และมีความเกี่ยวข้องกับตัวผู้เรียนและสังคม ดังนั้น การ

จัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาจะช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีได้อย่างลึกซึ้งมากขึ้น ซึ่งได้มีผู้นำเสอนแนวทางการจัดการเรียนรู้ไว้มากมาย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2557) ได้กล่าวถึงการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมไว้ว่ามีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 **การระบุปัญหา** (Identify and challenge)

ขั้นตอนนี้เริ่มต้นจากการที่ผู้แก้ปัญหาจะหนักถึงสิ่งที่เป็นปัญหาในชีวิตประจำวัน และจำเป็นต้องหาวิธีการหรือสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ในการแก้ปัญหาในชีวิตจริงบางครั้งคำถามหรือปัญหาที่เราระบุประกอบไปด้วยปัญหาย่อย ในขั้นตอนของการระบุปัญหาผู้แก้ปัญหาจึงต้องพิจารณาปัญหาหรือกิจกรรมย่อยที่ต้องเกิดขึ้น เพื่อประกอบเป็นวิธีการในการแก้ปัญหาใหญ่ด้วย

ขั้นที่ 2 **การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง** (Explore ideas)

ขั้นตอนนี้จะทำการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหา โดยในการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง ผู้แก้ปัญหาอาจมีการดำเนินการในขั้นตอนนี้โดยควรพิจารณาแนวคิดหรือความรู้ทั้งหมดที่สามารถใช้แก้ปัญหา แล้วจดบันทึกแนวคิดไว้เป็นทางเลือก และหลังจากการรวบรวมแนวคิดเหล่านั้นสำเร็จแล้วจึงทำการประเมินแนวคิดเหล่านั้นโดยพิจารณาถึงความเป็นไปได้ ความคุ้มทุน ข้อดีและจุดอ่อน และความเหมาะสมกับเงื่อนไขและขอบเขตของปัญหา แล้วจึงเลือกแนวคิดหรือวิธีการที่เหมาะสมที่สุด

ขั้นที่ 3 **การวางแผนและพัฒนา** (Plan and develop)

ในการวางแผนการดำเนินงานผู้แก้ปัญหาต้องกำหนดขั้นตอนย่อยในการทำงานรวมทั้งกำหนดเป้าหมายและระยะเวลาในการดำเนินการแต่ละขั้นตอนย่อยให้ชัดเจน ในขั้นตอนของการพัฒนาผู้แก้ปัญหาต้องวาดแบบและพัฒนาต้นแบบ (Prototype) ของผลผลิตเพื่อใช้ในการทดสอบแนวคิดที่ใช้ในการแก้ปัญหา

ขั้นที่ 4 **การทดสอบและประเมินผล** (Test and evaluate)

เป็นขั้นตอนทดสอบและประเมินการใช้งานต้นแบบเพื่อแก้ปัญหา ผลที่ได้จากการทดลองและประเมินอาจถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาผลลัพธ์ให้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหามากขึ้น การทดสอบและประเมินผลสามารถเกิดขึ้นได้หลายครั้งในกระบวนการแก้ปัญหา

ขั้นที่ 5 การนำเสนอผลลัพธ์ (Present the solution)

หลังจากการพัฒนา ปรับปรุง ทดสอบ และประเมินวิธีการแก้ปัญหาหรือผลลัพธ์จนมีประสิทธิภาพตามที่ต้องการแล้ว ผู้แก้ปัญหาต้องนำเสนอผลลัพธ์ต่อสาธารณชน โดยต้องออกแบบวิธีการนำเสนอข้อมูลที่เข้าใจง่ายและน่าสนใจ

ภาพ 2 วงจรกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมโดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557

ทางด้าน National Research Council หรือ NRC ได้นำเสนอขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาซึ่งประกอบไปด้วย 6 ขั้นตอน (NRC, 2012 อ้างถึงใน สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557) ดังนี้

ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา (Problem Identification)

เป็นการทำความเข้าใจปัญหา วิเคราะห์เงื่อนไข หรือข้อจำกัดของสถานการณ์ปัญหาเพื่อกำหนดขอบเขตของปัญหา ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างชิ้นงาน หรือวิธีการในการแก้ปัญหา

ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา (Related Information Search)

เป็นการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการแก้ปัญหาและประเมินความเป็นไปได้ ข้อดีและข้อจำกัด

ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Solution Design)

เป็นการประยุกต์ใช้ข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง เพื่อการออกแบบชิ้นงาน หรือวิธีการในการแก้ปัญหา โดยคำนึงถึงทรัพยากร ข้อจำกัดและเงื่อนไขตามสถานการณ์ที่กำหนด

ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (Planning and Development)

เป็นการกำหนดลำดับขั้นตอนของการสร้างชิ้นงานหรือวิธีการ แล้วลงมือสร้างชิ้นงานหรือพัฒนาวิธีการเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา

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

เป็นการทดสอบและประเมินการใช้งานของชิ้นงานหรือวิธีการ โดยผลที่ได้อาจนำมาใช้ในการปรับปรุง และพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสม

ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Presentation)
เป็นการนำเสนอแนวคิดและขั้นตอนการแก้ปัญหาของการสร้างชิ้นงาน หรือการพัฒนาวิธีการให้ผู้อื่นได้เข้าใจและได้ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาต่อไป

ภาพ 3 วงจรกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมโดย National Research Council

ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557

Robert (2013 อ้างถึงใน สิรินภา กิจเกื้อกูล, 2557, น.104-109) ได้ทำการศึกษารวบรวมแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาของนักการศึกษามากมาย จนทำให้ได้วิธีการออกแบบหน่วยเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา 8 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 เลือกสาระการเรียนรู้หลัก (Select Central Standard)

เป็นขั้นตอนของการวิเคราะห์หลักสูตร เลือกมาตรฐาน/ตัวบ่งชี้/สาระการเรียนรู้หลักของหลักสูตรสะเต็มศึกษา เพื่อให้ได้ขอบเขตของสาระการเรียนรู้แกนกลาง หรือเนื้อหาหลักและตัวบ่งชี้ที่บอกถึงจุดประสงค์ของการจัดการเรียนรู้ ซึ่งเมื่อผู้สอนเลือกเนื้อหา/ตัวบ่งชี้/สาระการเรียนรู้ของสาขาวิชาใดวิชาหนึ่งเป็นหลักเสร็จเรียบร้อยแล้วก็ให้นำสาขาวิชาที่เหลือทั้งสามเป็นสาระการเรียนรู้เสริมหรือรอง เช่น เลือกเรื่องการออกแบบทางวิศวกรรมศาสตร์อาจเป็นหลัก ดังนั้นสาระการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีจะเป็นส่วนรอง

ขั้นที่ 2 เชื่อมโยงปัญหาในชีวิตประจำวัน (Align with a Problem)

เป็นการคิดเชื่อมโยงว่าสาระการเรียนรู้หรือเนื้อหาที่เลือกในขั้นที่ 1 นั้นสามารถเชื่อมโยงเข้ากับบริบทใดหรือปัญหาใดในสังคมได้บ้าง เช่น มลพิษ สิ่งแวดล้อม ภัยพิบัติทางธรรมชาติ เป็นต้น

ขั้นที่ 3 เลือกสาระการเรียนรู้รองที่สนับสนุนสาระการเรียนรู้หลัก (Support Central Standards with Supplemental Standards)

เมื่อเลือกเนื้อหาหลักในขั้นที่ 1 และวิเคราะห์เชื่อมโยงกับปัญหาในขั้นที่ 2 ได้แล้วในขั้นที่ 3 นี้ผู้สอนจะต้องเลือกเนื้อหา/ตัวบ่งชี้/สาระการเรียนรู้ในสาขาวิชาที่เหลือว่าจะมีสาระการเรียนรู้รองเรื่องใดช่วยสนับสนุนให้ผู้เรียนบรรลุจุดประสงค์การเรียนรู้หลักที่กำหนดไว้ในขั้นที่ 1 ตัวอย่างสาระการเรียนรู้รอง อาทิเช่น สาระเกี่ยวกับเรื่องโครงสร้างของโลก (วิทยาศาสตร์) การวิเคราะห์ข้อมูลและความน่าจะเป็น การแก้ปัญหา การพิสูจน์และการสื่อสาร (คณิตศาสตร์)

ขั้นที่ 4 จัดการเรียนรู้ตามสาระการเรียนรู้ที่เลือกไว้ทั้งหมด (Instruct STEM Standards)

ผู้สอนวิเคราะห์สาระการเรียนรู้ที่เลือกไว้ทั้งหมดจากนั้นนำมาตั้งเป็นจุดประสงค์การเรียนรู้ การจัดการเรียนรู้ต้องยึดสาระการเรียนรู้หลักที่ได้จากขั้นที่ 1 เป็นสำคัญ สำหรับสาระการเรียนรู้รองให้จัดการเรียนรู้เพื่อให้ผู้เรียนได้เข้าใจเนื้อหาสามารถนำเนื้อหาเหล่านี้ไปใช้ให้เกิดการเรียนรู้ตามจุดประสงค์การเรียนรู้หลัก

อย่างไรก็ตามการจัดการเรียนรู้แต่ละแผน/บทเรียน อาจไม่จำเป็นต้องให้ครบทั้ง 4 สาขาวิชา แต่ให้พิจารณาภาพรวมว่าเมื่อจัดการเรียนรู้เสร็จสิ้นทางหน่วยการเรียนรู้แล้วผู้เรียนจะได้เรียนรู้ครบทั้ง 4 สาขาวิชา

ขั้นที่ 5 สนับสนุนให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรม (Engage Student Participation)

ผู้สอนจัดกิจกรรมกลุ่มให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติ เช่น ตั้งคำถามที่นำไปสู่การออกแบบและพัฒนาระบบเตือนภัยพิบัติที่จะช่วยให้ประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นสามารถหลีกเลี่ยงหรือหนีภัยพิบัติได้ทันเวลา ในขั้นนี้ผู้เรียนจะได้ใช้ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมการคิดแก้ปัญหาและได้ลงมือปฏิบัติเพื่อให้เกิดการเรียนรู้ตามจุดประสงค์หลัก (ตามที่เลือกไว้ในขั้นที่ 1) ผนวกกับการได้ใช้ความรู้รอง (ตามที่เลือกไว้ในขั้นที่ 3 เพื่อการแก้ปัญหาในชีวิตจริงที่เชื่อมโยงไว้ในขั้นที่ 2) ในการลงมือปฏิบัติผู้สอนจำเป็นต้องเตรียมวัสดุอุปกรณ์ต่างๆให้พร้อม มีการกำหนดเวลาการทำงานและมีการตรวจสอบความคิดของผู้เรียน เช่น การตั้งคำถามให้ผู้เรียนอธิบายสิ่งที่ออกแบบไว้และพยายามไม่ให้ผู้เรียนหลงประเด็น และต้องให้ผู้เรียนจดบันทึกการทำงานของกลุ่ม

ขั้นที่ 6 แก้ไข/ปรับปรุงชิ้นงานการออกแบบ (Troubleshoot the Designs)

ผู้สอนจัดกิจกรรมให้ผู้เรียนได้นำเสนอการออกแบบ (เช่น ระบบเตือนภัยพิบัติ) หน้าชั้นเรียน จากนั้นกระตุ้นให้ผู้เรียนกลุ่มอื่นๆตั้งคำถามและให้ข้อคิดเห็นเกี่ยวกับผลงานนั้น ซึ่งผู้เรียน

จะต้องบันทึกข้อเสนอแนะของผู้สอนและเพื่อนไว้เพื่อการปรับปรุงแก้ไขผลงาน ในขั้นนี้ผู้เรียนจะได้ฝึกการคิดอย่างมีวิจารณญาณควบคู่ไปด้วย

ขั้นที่ 7 ประเมินชิ้นงานการออกแบบ (Evaluate the Designs)

หลังการปรับปรุงแก้ไขผลงานในขั้นที่ 6 ผู้สอนและผู้เรียนดำเนินการตรวจให้คะแนนชิ้นงานตามประเด็นที่กำหนดไว้

ขั้นที่ 8 นำเสนอผลงานชิ้นที่สมบูรณ์ (Present Completed Projects)

ในขั้นนี้ผู้สอนจัดเตรียมสถานที่หรือตู้แสดงผลงานให้ผู้เรียนนำผลงานแสดงต่อบุคคลทั่วไป อาทิเช่น เพื่อน พ่อแม่ผู้ปกครอง ครูอาจารย์และชุมชน การจัดแสดงอาจทำตอนท้ายปีการศึกษาหรือภาคเรียนโดยอาจวางแสดงไว้ตลอดภาคเรียนถัดไป ทั้งนี้เพื่อช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนมีความภูมิใจและพยายามที่จะปรับปรุงผลงานในครั้งต่อไป

Billiar, Hubelbank, Oliva, & Camesano (2014 อ้างถึงใน สิรินภา กิจเกื้อกูล, 2558, น.205) ทำการวิจัยเพื่อประยุกต์ใช้การจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design Process) โดยออกแบบในส่วนของบทเรียนและกิจกรรมการเรียนรู้ กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตั้งอยู่บนฐานของกระบวนการแก้ปัญหาประกอบด้วย 8 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา/ความต้องการ

ระบุหัวข้อ/องค์ความรู้ที่สนใจ และกำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้สำหรับผู้เรียน

ขั้นที่ 2 ศึกษาวิจัยจัดลำดับเป้าหมายและข้อจำกัด

ศึกษาค้นคว้าเทคนิควิธีการจัดการเรียนรู้ วิเคราะห์บริบทของการจัดการเรียนรู้ (เช่น ผู้เรียน โรงเรียน) จัดลำดับจุดประสงค์การเรียนรู้และวิเคราะห์ข้อจำกัดในการจัดการเรียนรู้ตามสภาพจริง

ขั้นที่ 3 หาวิธีการแก้ปัญหาที่จะเป็นไปได้

หาแนวทางการจัดการเรียนรู้หลากหลายวิธีที่เหมาะกับสภาพจริง

ขั้นที่ 4 เลือกวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุดภายใต้ข้อจำกัด

เลือกแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่ดีที่สุดเหมาะสมกับบริบท จุดประสงค์ และสภาพจริงของการจัดการเรียนรู้

ขั้นที่ 5 สร้างโมเดลหรือรูปแบบของการแก้ปัญหา

สร้างหน่วยการเรียนรู้

ขั้นที่ 6 ทดสอบ/ประเมินผลการใช้รูปแบบ

ทดสอบหน่วยการเรียนรู้ที่สร้างขึ้นโดยนำไปใช้ในชั้นเรียนจริง

ขั้นที่ 7 นำเสนอ/สื่อสารผลการประเมิน

นำเสนอและอภิปรายผลการใช้หน่วยการเรียนรู้กับเพื่อน ผู้บริหาร และผู้สนใจ เพื่อรับการสะท้อนผลและคำแนะนำ

ขั้นที่ 8 ปรับปรุงแก้ไขรูปแบบของการแก้ปัญหา

ปรับปรุงแก้ไขหน่วยการเรียนรู้ตามผลการประเมิน การสะท้อนผล และคำแนะนำ

กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทั้ง 8 ขั้นตอนนี้ เป็นองค์ความรู้ส่วนหนึ่งที่กล่าวไว้ในหลักสูตรของรัฐแมสซาชูเซตส์ (Massachusetts) ที่ต้องการให้ผู้สอนนำไปประยุกต์ใช้เป็นโมเดลการจัดการเรียนรู้ (Instructional model) ซึ่งมีขั้นตอนดำเนินไปตามเข็มนาฬิกาหมุนขวาไปตามหัวลูกศรเส้นทึบ อาจมีบางขั้นตอนที่สามารถย้อนกลับไปได้ตามหัวลูกศรเส้นประ

ภาพ 4 วงจรกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมโดย Billiar, Hubelbank, Oliva and Camesano

ที่มา: Billiar et al, 2014 อ้างถึงใน สิรินภา กิจเกื้อกูล, 2558, น.205

พิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์บอสตัน ประเทศสหรัฐอเมริกา (Museum of Science, Boston) ได้มีการคิดค้นโครงการพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยี (Engineering and Technological literacy) หรือเรียกว่า Engineering is Elementary (EiE) เพื่อวิจัยและพัฒนาหลักสูตรมาตรฐาน และนำหลักสูตรนี้ไปใช้ในชั้นเรียนโดยกำหนดให้มีการบูรณา

การแนวความคิดด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยี และทักษะทางวิทยาศาสตร์ซึ่งจะใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังนี้

ขั้นที่ 1 ค้นหาปัญหา (Ask)

ในขั้นนี้ผู้เรียนต้องระบุว่าปัญหาคืออะไร มีวิธีการอย่างไร และมีข้อจำกัดอะไร

ขั้นที่ 2 สร้างแนวคิด (Imagine)

ผู้เรียนจะร่วมกันระดมความคิดหาวิธีการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้ทั้งหมด หลังจากนั้นจึงเลือกแนวทางที่ดีที่สุด

ขั้นที่ 3 วางแผนลงมือปฏิบัติ (Plan)

ในขั้นนี้จะให้ผู้เรียนวาดแผนภาพรวมถึงทำรายการสิ่งของที่ต้องการ

ขั้นที่ 4 สร้างชิ้นงาน (Create)

ขั้นนี้ผู้เรียนจะได้ลงมือปฏิบัติสร้างชิ้นงานตามที่ได้วางแผนไว้ จากนั้นจึงนำไปทดสอบเพื่อดูประสิทธิภาพของชิ้นงาน

ขั้นที่ 5 ตรวจสอบ (Improve)

สำหรับในขั้นนี้จะเป็นการตรวจสอบดูว่าชิ้นงานของผู้เรียนสามารถแก้ปัญหาได้สำเร็จหรือไม่ หากชิ้นงานของผู้เรียนไม่ประสบผลสำเร็จผู้เรียนจะต้องนำชิ้นงานไปปรับปรุงแก้ไขอีกครั้ง

ภาพ 5 วงจรกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม Engineering is Elementary (EiE)

ที่มา: Ron Schachter, 2012

ตาราง 1 แสดงสรุปการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในรูปแบบต่างๆ

การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา				
สสวท (2557)	Ron Schachter (2012)	National Research Council (2012)	Robert (2013)	Billiar, Hubelbank, Oliva, & Camesano (2014)
ขั้นที่ 1: การระบุปัญหา	**ขั้นที่** 1: ค้นหาปัญหา	**ขั้นที่** 1: ระบุปัญหา	**ขั้นที่** 1: เลือกสาระการเรียนรู้หลัก	**ขั้นที่** 1: ระบุปัญหา/ความต้องการ
ขั้นที่ 2: การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง	**ขั้นที่** 2: สร้างแนวคิด	**ขั้นที่** 2: รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา	**ขั้นที่** 2: เชื่อมโยงปัญหาในชีวิตประจำวัน	**ขั้นที่** 2: ศึกษาวิจัยจัดลำดับเป้าหมายและข้อจำกัด
ขั้นที่ 3: การวางแผนและพัฒนา	**ขั้นที่** 3: วางแผนลงมือปฏิบัติ	**ขั้นที่** 3: ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา	**ขั้นที่** 3: เลือกสาระการเรียนรู้รองที่สนับสนุนการเรียนรู้หลัก	**ขั้นที่** 3: หาวิธีการแก้ปัญหาที่จะเป็นไปได้
ขั้นที่ 4: การทดสอบและประเมินผล	**ขั้นที่** 4: สร้างชิ้นงาน	**ขั้นที่** 4: วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา	**ขั้นที่** 4: จัดการเรียนรู้ตามสาระการเรียนรู้ที่เลือกไว้ทั้งหมด	**ขั้นที่** 4: เลือกวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุดภายใต้ข้อจำกัด
ขั้นที่ 5: การนำเสนอผลลัพธ์	**ขั้นที่** 5: ตรวจสอบ	**ขั้นที่** 5: ทดสอบประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน	**ขั้นที่** 5: สนับสนุนให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรม	**ขั้นที่** 5: สร้างโมเดลหรือรูปแบบของการแก้ปัญหา

ตาราง 1 (ต่อ)

การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา				
สสวท (2557)	Ron Schachter (2012)	National Research Council (2012)	Robert (2013)	Billiar, Hubelbank, Oliva, & Camesano (2014)
		ขั้นที่ 6: นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน	**ขั้นที่** 6: แก้ไข/ปรับปรุงชิ้นงานการออกแบบ	**ขั้นที่** 6: ทดสอบ/ประเมินผลการใช้รูปแบบ
			ขั้นที่ 7: ประเมินชิ้นงานการออกแบบ	**ขั้นที่** 7: นำเสนอ/สื่อสารผลการประเมิน
			ขั้นที่ 8: นำเสนอผลงานชิ้นที่สมบูรณ์	**ขั้นที่** 8: ปรับปรุงแก้ไขรูปแบบของการแก้ปัญหา

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกวิธีการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาของ National Research Council (NRC) ซึ่งประกอบไปด้วย 6 ขั้นตอน ดังนี้ 1) ขั้นระบุปัญหา 2) ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา 3) ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา 4) ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา 5) ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน และ 6) ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ในการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของผู้เรียน เนื่องจากมีขั้นตอนเหมาะสมและเพียงพอ ซึ่งครอบคลุมต่อการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม อีกครั้งขั้นตอนทั้งหมดมีการให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ ได้วางแผนการทำงานในแต่ละขั้นตอน สามารถกำหนดบทบาทของตนเองภายในกลุ่ม ได้นำเสนอแนวคิดของตนเองให้แก่ผู้อื่นสมาชิกอื่นในกลุ่มได้วิเคราะห์วิจารณ์เพื่อหาแนวคิดที่เหมาะสมและดีที่สุด ทำให้ได้มีโอกาสในการพัฒนาแนวคิดและปรับปรุงชิ้นงานที่ผู้เรียนได้สร้างขึ้นอีกด้วย

นอกจากเหตุผลข้างต้นที่ได้กล่าวไปแล้วหากพิจารณาการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาของ National Research Council (NRC) ทีละขั้นตอนแล้วจะพบว่าสามารถพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้ โดยในขั้นระบุปัญหาที่เป็นขั้นตอนของการทำความเข้าใจและวิเคราะห์ปัญหาจากสถานการณ์เพื่อกำหนดเป็นประเด็นปัญหาที่ต้องทำการแก้ไข ส่วนขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา จะเป็นขั้นตอนของการศึกษา ค้นคว้า และทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา โดยส่วนใหญ่จะพบเห็นเป็นการใช้เทคโนโลยีสืบค้นข้อมูล การระดมสมอง และการทำแผนที่ความคิดเพื่อรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับประเด็นปัญหา ซึ่งเป็นการช่วยให้เกิดการพัฒนาในด้านของการคิดอย่างสร้างสรรค์ ส่วนขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา จะเป็นขั้นของการถ่ายทอดแนวคิดของการแก้ปัญหาเพื่อสื่อสารแนวคิดให้ผู้อื่นเข้าใจ และนอกจากนั้นในขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหาผู้เรียนจะได้มีการวางแผนการสร้างชิ้นงานในขั้นตอนต่างๆ และลงมือสร้างชิ้นงานออกมาร่วมกับคนอื่นๆ ซึ่งใน 2 ขั้นนี้จะทำให้ผู้เรียนเกิดการพัฒนาทั้งด้านการคิดอย่างสร้างสรรค์และการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ อีกทั้งยังได้ชิ้นงานออกมาอีกด้วย จากนั้นในขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ผู้เรียนจะได้ทำการทดสอบและปรับปรุงชิ้นงานของตนเองเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยอาจเกิดความแตกต่างจากชิ้นงานของกลุ่มอื่นๆ ซึ่งตรงนี้จะก่อให้เกิดการพัฒนาในด้านของการสร้างสรรค์นวัตกรรมขึ้น และในขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน จะเป็นขั้นตอนของการสื่อสารถึงผลที่เกิดขึ้นกับการพัฒนาชิ้นงานหรือวิธีการเพื่อแก้ปัญหาไปยังผู้รับฟัง เพื่อสื่อสารให้ผู้อื่นเข้าใจซึ่งสอดคล้องกับองค์ประกอบของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในด้านการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์

5. การใช้ scaffolding ในการจัดการเรียนการสอนตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

Scaffolding หรือการเสริมต่อการเรียนรู้ ใช้เป็นตัวช่วยเพื่อเสริมสร้างการพัฒนาการเรียนรู้ของผู้เรียนให้สูงยิ่งขึ้นไปตามแต่ศักยภาพของแต่ละบุคคล โดยมีหลักการที่ว่า ผู้ที่มีศักยภาพสูงกว่าจะเป็นผู้ให้การช่วยเหลือเสริมต่อการเรียนรู้กับผู้ที่มีศักยภาพต่ำกว่า การเสริมต่อนี้จะค่อยๆ ลดลงในขณะที่การพัฒนาการเรียนรู้จากค่อยๆเพิ่มขึ้น จนสุดท้ายการเสริมต่อจะยุติลงเมื่อผู้ที่มีศักยภาพต่ำกว่าสามารถกระทำได้ด้วยตนเองแล้ว ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของ Bruner ที่กล่าวว่าหลักสูตรเกลียวสว่าน (Spiral curriculum) ที่คนเราไม่ว่าวัยใดๆสามารถเรียนรู้เรื่องใดๆก็ได้ทุกเรื่องถ้าเรื่องราวเหล่านั้นได้รับการจัดลำดับอย่างค่อยเป็นค่อยไปไต่ระดับจากง่ายไปยากคล้ายกับเกลียวสว่าน และทฤษฎีของ Vygotsky เกี่ยวกับรอยต่อแห่งพัฒนาการ (zone of proximal development) ที่กล่าวถึงบริเวณของพัฒนาการในระดับสูงขึ้นที่คนคนหนึ่งจะมีศักยภาพพอที่จะ

ก้าวขึ้นไปสู่จุดนั้นได้แต่จะต้องมีผู้ที่มีศักยภาพสูงกว่าให้ความช่วยเหลือ คอยผลักดันให้ขึ้นไป scaffolding สามารถนำไปใช้ได้ทั้งในการเสริมสร้างพัฒนาทางด้านชีวิตในสังคมและในชั้นเรียน ผู้สอนสามารถนำ scaffolding มาประยุกต์ใช้จัดกิจกรรมในการเรียนการสอน การแบ่งย่อยเนื้อหา การสร้างบรรยากาศ รวมทั้งใช้สื่อในการเรียนการสอนได้ (สริตา บัวเขียว, 2559, น.1) โดย scaffolding จะช่วยปรับพื้นฐานพฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนให้มีความคุ้นเคยกับการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา โดยในการเรียนรู้ครั้งแรกๆ ผู้เรียนจะเริ่มต้นจากสถานการณ์พื้นฐานที่มีอยู่ในชีวิตประจำวันของผู้เรียนก่อน แล้วจึงนำไปสู่สถานการณ์ที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ผู้สอนจะค่อยๆ ลดบทบาทของตนเองลงเรื่อยๆ จนผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง โดยผู้ทำการจัดการเรียนรู้และผู้เรียนควรมีบทบาทในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาดังต่อไปนี้

บทบาทของผู้ในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

1. ครูต้องออกแบบกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ให้มีความน่าสนใจ เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสนใจ

2. ครูต้องเตรียมพร้อมล่วงหน้าเป็นอย่างดีในเรื่องความรู้ที่นำมาสอน ลำดับการถ่ายทอดความรู้ และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ให้พร้อมสำหรับให้ผู้เรียนทำกิจกรรม

3. ระหว่างจัดกิจกรรมต้องคอยตั้งคำถามที่สร้างความสนใจให้ผู้เรียน แนะนำไปสู่การอภิปรายข้อมูลได้ และเป็นคำถามที่เหมาะกับผู้เรียนในแต่ละวัย

4. ครูต้องคอยตั้งคำถามที่นำไปสู่การคิด วิเคราะห์ เพื่อให้นักเรียนนำความรู้ที่ได้ไปสู่การแก้ปัญหา และสร้างสรรค์ผลงาน

5. ครูต้องมีความรู้ ความเข้าใจ ในข้อมูลของแต่ละสาขาวิชาที่นำมาบูรณาการเข้าด้วยกัน

บทบาทของผู้เรียนในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

1. ผู้เรียนต้องทำงานร่วมกันเป็นทีม

2. ผู้เรียนต้องแลกเปลี่ยนเรียนรู้ความคิดเห็นกันในกลุ่ม และรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น

3. ผู้เรียนต้องเรียนรู้ปัญหา ฝึกคิด ฝึกแก้ปัญหา การวางแผน การศึกษาข้อมูล การออกแบบการคำนวณในระหว่างทำกิจกรรม

4. ผู้เรียนต้องลงมือสืบค้นข้อมูล และปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง แล้วนำความรู้ที่ได้มาใช้ประกอบการพิจารณาคัดเลือกแนวทางการแก้ปัญหา และวิธีการในการแก้ปัญหา

5. ผู้เรียนต้องฝึกสังเกต ตั้งคำถาม ลงมือทดสอบผลงานที่สร้างเอง และปรับปรุงผลงานให้ดีกว่าเดิม

ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้จะนำ scaffolding มาใช้โดยการนำหลักการการส่งเสริมพัฒนาผู้เรียนมาประยุกต์เข้ากับการจัดการเรียนรู้ที่มีการแบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่มเพื่อช่วยเหลือกันในระหว่างการทำกิจกรรมการเรียนรู้ โดยหวังว่านักเรียนที่มีความเข้าใจภายในกลุ่มจะอธิบายให้แก่สมาชิกคนอื่นๆ เกิดความเข้าใจไปพร้อมกันเพื่อให้การดำเนินกิจกรรมลุล่วงไปได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังนำมาใช้ในการปรับปรุงพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ในแต่ละวงจรปฏิบัติการโดยผู้วิจัยได้ทำการปรับเปลี่ยนสถานการณ์ในวงจรปฏิบัติการที่ 1 ให้มีความง่ายและไม่ซับซ้อนโดยการกำหนดวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ มาให้แล้วผู้เรียนมีหน้าที่วิเคราะห์สถานการณ์แล้วทำตามเงื่อนไข จากนั้นเมื่อผู้เรียนผ่านการจัดการเรียนรู้ไปแล้วครั้งหนึ่งจะเพิ่มความซับซ้อนของสถานการณ์ให้มากขึ้นโดยผู้เรียนจะต้องวิเคราะห์และเลือกซื้อ บริหารจัดการงบประมาณของตนเองให้เพียงพอ จากนั้นในวงจรปฏิบัติการที่ 3 จึงปรับให้ผู้เรียนได้ประยุกต์ใช้ความรู้ที่ได้รับมาให้นำมาใช้กับชิ้นงานอย่างเต็มรูปแบบ ทั้งหมดนี้ก็เพื่อให้ผู้เรียนได้มีการปรับตัวให้เข้ากับการจัดการเรียนรู้ทีละน้อย โดยผ่านการทำกิจกรรมที่มีความหลากหลายและซับซ้อนเพิ่มขึ้นตามประสบการณ์ของผู้เรียน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในประเทศ

ชามาศ ดิษฐเจริญ และปริญญ์ ทนันชัยบัตร (2556) ได้ศึกษาเรื่องการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้คือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) จำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยคือ 1) แผนการเรียนรู้แบบโครงงานตามแนวคอนสตรัคชั่นลนิซึ่ม 2) แบบทดสอบวัดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม 3) แบบประเมินโครงงานหุ่นยนต์ และ 4) แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาการเขียนโปรแกรมพัฒนาหุ่นยนต์ประยุกต์ ผลการวิจัยพบว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานตามแนวคอนสตรัคชั่นนิซึ่ม สามารถพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่ประกอบไปด้วย 1) ความคิดริเริ่ม 2) ความคิดคล่องตัว 3) ความคิดยืดหยุ่น 4) ความคิดละเอียดลออ (Guilford, 1971) มีคะแนนความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเฉลี่ยร้อยละ 85.93 และมีนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 90 และนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานตามแนวคอนสตรัคชั่นนิซึ่ม มีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาการเขียนโปรแกรมพัฒนาหุ่นยนต์ประยุกต์ คิดเป็นร้อยละ 81.44 ของคะแนนเต็ม และมีจำนวนนักเรียนผ่านเกณฑ์คิด

เป็นร้อยละ 90 ของนักเรียนทั้งหมด โดยนักเรียนกลุ่มเป้าหมายสามารถสร้างโครงงานหุ่นยนต์ตามความสนใจเพื่อประเมินความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้

ภัสสร ติดมา (2558) การศึกษาเรื่องการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม เรื่อง ระบบร่างกายมนุษย์ด้วยการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษา ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้คือ นักเรียนจำนวน 48 คน ของโรงเรียนอุดมดรุณี จังหวัดสุโขทัย โดยเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย 1) แบบประเมินความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม 2) แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง 3 แผนจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษา ที่มีการจัดการเรียนรู้ 5 ขั้นตอน คือ ขั้นตั้งคำถาม ขั้นจินตนาการ ขั้นวางแผน ขั้นสร้าง และขั้นปรับปรุง โดยมุ่งเน้นให้นักเรียนสร้างชิ้นงาน ผลวิจัยพบว่าการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษาสามารถพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนได้ โดยนักเรียนได้คะแนนความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเฉลี่ยร้อยละ 79 ขึ้นไป แรงนักเรียนสามารถเลือกสร้างแบบจำลองอวัยวะโดยบอกเหตุผลได้อย่างสมเหตุสมผล สามารถจินตนาการ ร่างแบบจำลองอวัยวะ วางแผนการทำงาน และซื้อวัสดุสร้างแบบจำลองอวัยวะโดยคำนึงถึงราคาและคุณสมบัติของวัสดุ สร้างและปรับปรุงให้สมบูรณ์ขึ้นได้

ศรายุทธ ชาญนคร และคณะ (2558) ได้ศึกษาเรื่องการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 เรื่องบรรยากาศ ด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ (สะเต็มศึกษา) โดยมีกลุ่มตัวอย่างที่ใช้คือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ของโรงเรียนแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร จำนวน 36 คน เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ได้แก่ 1 แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง บรรยากาศตามแนวคิดวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม คณิตศาสตร์ ซึ่งสอดคล้องตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 จำนวน 5 แผน 2 แบบวัดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์ 3 แบบบันทึกการสัมภาษณ์อย่างไม่เป็นทางการ 4 บันทึกการเรียนรู้ของนักเรียน โดนัทผลการวิจัยว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ จะช่วยพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนให้เพิ่มขึ้น จาก 66.97 เป็น 111.5 ด้านความคิดคล่องนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 36.72 เป็น 45.67 ด้านความคิดยืดหยุ่นนักเรียนมีคะแนนเพิ่มจาก 17.39 เป็น 28.92 ด้านความคิดริเริ่มนักเรียนมีคะแนนเพิ่มจาก 12.86 เป็น 36.9 2 แล้วยังมีปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้แก่ ข้อจำกัดทางด้านเวลาและการใช้ประเด็นที่กระตุ้นการเรียนรู้

นิลาวรรณ สิงห์งาม (2559) ได้ทำการส่งเสริมความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ และศึกษาความสัมพันธ์ของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและทักษะการทำงานเป็นทีมของผู้เรียน โดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2557 จำนวน 30 คน โดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย บทเรียนบนเว็บ แบบประเมินคุณภาพของบทเรียน แผนการสอน แบบทดสอบวัดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบประเมินพฤติกรรมการเรียน และ แบบประเมินทักษะการทำงานเป็นทีม ผลการวิจัยพบว่า การเปรียบเทียบความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนของผู้เรียนนั้น ผลที่ได้จากการทำแบบทดสอบวัดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมก่อนเรียน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 58.10 และผลที่ได้จากการทำแบบทดสอบวัดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังเรียน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 105.23 ทำให้ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของผู้เรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและทักษะการทำงานเป็นทีมของผู้เรียน พบว่า ความสัมพันธ์ของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและทักษะการทำงานเป็นทีมของผู้เรียนมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ .598 ค่า p เท่ากับ .000 แสดงว่า คะแนนความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม กับ คะแนนทักษะการทำงานเป็นทีมมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่กำหนด

วันเพ็ญ นันทะศรี (2560) ทำการศึกษาการพัฒนาทักษะความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักศึกษาด้วยการเขียนแผนที่ความคิดสรรค์ของนักเรียนก่อนและหลังเรียน และสำรวจความคิดเห็นต่อการพัฒนาทักษะความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม กลุ่มตัวอย่างคือนักศึกษาปีที่ 1 จำนวน 49 คน เครื่องมือที่ใช้คือ แบบทดสอบวัดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม TCT-DP ของ Jellen, & Urban และแบบสอบถามความคิดเห็นต่อการเรียนด้วยการเขียนแผนที่ความคิด ผลการวิจัยพบว่า ทักษะความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักศึกษาโดยรวมและรายด้านหลังการพัฒนาทักษะความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมสูงกว่าก่อนพัฒนาทักษะความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และความคิดเห็นต่อการพัฒนาทักษะความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในภาพรวมพบว่ามีความคิดเห็นอยู่ในระดับมากที่สุด โดยอันดับแรก คือด้านพัฒนาทักษะความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม รองลงมาด้านการนำไปใช้ และด้านความรู้ด้านความรู้ความเข้าใจตามลำดับ

สุกัญญา เชื้อหลุบโพธิ์ (2560) ทำการศึกษาการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนในเรื่องของการเคลื่อนที่แบบหมุน ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา โดยมีกลุ่มเป้าหมายจำนวน 24 คน ใช้เครื่องมือในการวิจัยได้แก่ แผนจัดการเรียนรู้ แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ ใบกิจกรรม วิดีโอการนำเสนอและแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง โดยมีผลการวิจัยว่า การจัดการเรียนรู้ควรเลือกสถานการณ์ให้ใกล้ตัวผู้เรียนมากที่สุดและควรมีปัญหาที่หลากหลายแทรกอยู่ และควรฝึกให้นักเรียนได้ทำการวิเคราะห์วางแผนออกแบบชิ้นงานด้วยตนเอง ผู้สอนควรทำการเปรียบเทียบชิ้นงานที่ออกมากับภาพร่างที่ออกแบบไว้เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงและการพัฒนาของชิ้นงาน ส่วนการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม พบว่า เมื่อผู้เรียนผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาแล้วเกิดการพัฒนาของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมขึ้นในด้านความคิดยืดหยุ่นมากที่สุด รองลงมาคือด้านความคิดละเอียดลออ และด้านความคล่องแคล่ว

งานวิจัยในต่างประเทศ

นักศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ผ่านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐาน โดยใช้ผู้เรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 ถึงมัธยมศึกษาปีที่ 2 เป็นกรณีศึกษา ให้ทำโครงงานในหัวข้อเรื่อง ดาวอังคารในจินตนาการ โดยมีขั้นตอนการจัดกิจกรรมเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบความรู้พื้นฐาน ให้จินตนาการ ศึกษาค้นคว้า สำรวจตรวจสอบความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมออกแบบโมเดลดาวอังคาร และแลกเปลี่ยนความคิดการออกแบบของตัวเองให้เพื่อนๆได้รู้ จากการศึกษาพบว่าการจัดการเรียนรู้บูรณาการสะเต็มในการให้ผู้เรียนได้ทำโครงงานส่งผลทำให้ผู้เรียนสามารถถ่ายโอนความรู้และทักษะสู่การแก้ปัญหาในชีวิตจริงที่เผชิญหน้าและประยุกต์ใช้กับปัญหาใหม่ๆ ที่เกิดขึ้นในภายภาคหน้าได้ เพิ่มแรงจูงใจในการเรียนรู้เพิ่มขึ้น และมีผลทดสอบในวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์เพิ่มสูงขึ้นด้วย

Doppelt (2009) ได้ทำการวัดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมโดยการผสมผสานความสามารถในการคิดสร้างสรรค์เข้ากับกระบวนการออกแบบโครงงาน โดยเปลี่ยนเปลี่ยนวิธีการสอนและสภาพแวดล้อมในการเรียนรู้ แล้วใช้วิธีการประเมินใหม่เข้ามาตรวจสอบ เช่น การประเมินผลงาน ผู้เข้าร่วมการศึกษาครั้งนี้เป็นนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน 128 คนที่ศึกษาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล โดยได้ให้โครงงานแก่นักเรียนในการดำเนินการจริงจำนวน 57 โครงงาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบระดับความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนและจัดทำเอกสารขั้นตอนการออกแบบ เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับครูและนักเรียนในระหว่างการดำเนินโครงงาน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบสังเกตกิจกรรมในชั้นเรียน แบบประเมินผล

งาน และแบบทดสอบ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่านักเรียนได้เรียนรู้ถึงขั้นตอนการออกแบบเอกสารสำหรับจัดทำโครงงาน และนักเรียนได้แสดงทักษะการคิดสร้างสรรค์ในระดับต่างๆ ได้ดีขึ้น

Lou et al. (2010) ได้ทำการศึกษาผลกระทบและทัศนคติที่เกิดจากรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐาน (Problem based Learning) ซึ่งเป็นการจัดการเรียนการสอนตามแนวคิดสะเต็มศึกษา โดยการศึกษาครั้งนี้สำรวจในโรงเรียนมัธยมปลายหญิงล้วนของประเทศไต้หวันโดยมีกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่อาสามาทำงานเป็นทีมในหัวข้อเรื่อง Solar Electric trolley contest จำนวน 40 คนทั้งหมด 18 กลุ่ม จากผลการศึกษาพบว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานมีประโยชน์ในการเสริมสร้างนักเรียนให้มีทัศนคติเกี่ยวกับการเรียนรู้สะเต็มศึกษา และการสำรวจทางเลือกอาชีพในอนาคต 2) การเรียนแบบปัญหาเป็นฐานช่วยให้นักเรียนปฏิบัติตามขั้นตอนไปจนเสร็จสิ้นภาระงาน และได้ความรู้ที่เกิดจากการบูรณาการจากการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา 3) นักเรียนไม่เพียงแต่สามารถนำความรู้ทางวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ไปใช้อย่างกระตือรือร้น แต่ยังมีแนวโน้มว่านักเรียนได้รับความรู้ทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์อย่างเข้าใจในแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาโดยการจัดการเรียนการสอนแบบปัญหาเป็นฐาน และ 4) การจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานสามารถเพิ่มความสามารถของนักเรียนและให้นักเรียนมีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบูรณาการและการประยุกต์ใช้ความรู้

Strimel (2014) ได้พัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในระดับการบูรณาการแบบข้ามสาขาวิชา (Transdisciplinary) โดยผู้วิจัยได้นำปัญหาประเด็นที่กำลังเป็นที่น่าสนใจในปัจจุบันมาเป็นหัวข้อหลัก (Theme) สำหรับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา นั่นคือ การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ มีทั้งหมด 4 เนื้อหาย่อย ซึ่งเกี่ยวข้องกับการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ ภูมิศาสตร์ กระบวนการเชิงวิศวกรรมในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการขุดเจาะ การแยกก๊าซธรรมชาติ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจ เนื่องจากประเด็นนี้เกี่ยวข้องกับเศรษฐกิจของประเทศ และอาจมีอาชีพหลากหลายสาขาที่มีความเกี่ยวข้องกับการขุดเจาะก๊าซธรรมชาติโดยเฉพาะอย่างยิ่งนักวิทยาศาสตร์ วิศวกร นักธรณีวิทยา เป็นต้น แล้วยังถือว่าเป็นปัญหาด้านวิศวกรรมอีกด้วย ซึ่งผลจากการนำประเด็นปัญหาที่กำลังเป็นที่สนใจและมีความเป็นปัจจุบันทั้งยังมีความเกี่ยวข้องต่อผู้เรียนนั้นมาจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา พบว่าสามารถช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดความสนใจในเนื้อหาวิชาที่เกี่ยวข้อง อีกครั้งยังเป็นการเชื่อมโยงความรู้ของผู้เรียนเข้ากับชีวิตจริง ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนเห็นความสำคัญของเนื้อหาและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาหรือสถานการณ์ต่างๆในชีวิตจริงได้ มากกว่านั้นยังเป็นการสร้างความสนใจในอาชีพในสาขาวิชาต่างๆ ตัวอย่างเช่น วิศวกร ซึ่งผู้เรียนจะได้เรียนรู้และแก้ไขปัญหาเชิงวิศวกรรมใน

บริบทที่มีความสอดคล้องต่อชีวิตจริงและสาขาอาชีพ ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้แบบร่วมมือ มีการใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในการออกแบบ สร้างชิ้นงาน ตลอดจนการแก้ปัญหาที่มีความเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีและวิศวกรรม ในด้านองค์ความรู้นั้นการที่ผู้เรียนสามารถบูรณาการความรู้หลากหลายวิชา เข้าใจเนื้อหาวิชาในเชิงลึกได้ดียิ่งขึ้น ทั้งยังส่งเสริมให้ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการที่สำคัญที่มีความเกี่ยวข้องกับงานอาชีพทางสะเต็ม และส่งเสริมให้เกิดความตระหนักและเห็นความสำคัญต่อสิ่งแวดล้อม สังคมและโลกอีกด้วย

Mkpanang (2016) ได้ทำการวิจัยศึกษาอิทธิพลของรูปแบบความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและเพศต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ของนักเรียน กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วยนักเรียนฟิสิกส์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 100 คนซึ่งเป็นเพศชาย 50 คนและหญิง 50 คนในเขตการปกครองท้องถิ่น Oruk Anam ของรัฐ Akwa Ibom ประเทศไนจีเรียโดยมีการควบคุม Kirton AdaptorInnovator Inventory (KAI) และใช้แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์ เป็นเครื่องมือในการศึกษา สมมติฐานที่ใช้ในการวิจัยมีทั้งสิ้น 3 ข้อเพื่อใช้สำหรับหาแนวทางในการศึกษาที่ได้รับการทดสอบโดยใช้การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ ผลการวิจัยพบว่าเพศและความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กันและร่วมกันส่งผลต่อความสำเร็จของนักเรียนฟิสิกส์ ส่วนความแตกต่างของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์คิดเป็นร้อยละ 23 โดยผลการทดสอบความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมมีค่าความแปรปรวนของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์คิดเป็นร้อยละ 52 ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลร่วมกันของรูปแบบความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและเพศของผู้เรียน ซึ่งการวิจัยนี้นำเสนอขอแนะนำให้อธิบายหรือคาดการณ์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในการทดสอบทางฟิสิกส์เพื่อพิจารณาเรื่องเพศและความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของผู้เรียน

Doudican et al. (2017) ได้ทำการศึกษาโดยนำความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมาใช้ในการพัฒนาหลักสูตรที่สามารถนำมาใช้ได้ โดยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ใช้ในการพัฒนาหลักสูตรเป็นส่วนหนึ่งของโครงการ NSF-RET ในความพยายามที่จะจัดการกับความท้าทายที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการสร้างแนวคิดภายใต้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยผลการศึกษาพบว่า กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้รับการเพิ่มเข้าไปในกระบวนการพัฒนาหลักสูตรและนำร่องให้ใช้กับครู โดยที่ครูจะได้รับคำแนะนำในขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 3 ขั้นตอน ได้แก่ การให้ความช่วยเหลือ การขัดจังหวะ และ A-Ha โดยได้ผลตอบรับจากการประเมินจากครูที่นำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้จริงในชั้นเรียนว่า ครูส่วนใหญ่เห็นว่านี่เป็นประสบการณ์ที่มีค่า หลักสูตร

ที่พัฒนาขึ้นนี้ทำให้สังเกตเห็นว่าครูแสดงให้เห็นถึงความเต็มใจที่จะแบ่งปันความคิดและเปิดใจรับฟังความคิดแปลกๆ มากขึ้น และครูสามารถพัฒนาหลักสูตรที่พัฒนาขึ้นนี้ให้ดีขึ้นโดยให้พัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

Tohir et al. (2018) ได้ศึกษาระดับความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนในวิชาคณิตศาสตร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ทักษะการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนในการคำนวณเลขคณิต กลุ่มตัวอย่างคือ นักศึกษาปริญญาโทสาขาวิชาคณิตศาสตร์ศึกษา คณะครุศาสตร์และครุศาสตรศึกษา เก็บรวบรวมข้อมูลโดยทำการจัดทำแบบสอบถามการแก้ปัญหาแบบเปิด และเอกสารประกอบการสอนให้นักเรียนจัดรูปแบบการสรุปตามสูตรที่กำหนดขึ้น จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามสามารถจำแนกระดับทักษะการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนได้ดังนี้ 22,22% ของนักเรียนจัดอยู่ในประเภท "ไม่สร้างสรรค์" 38.89% ของนักเรียนจัดอยู่ในประเภท "สร้างสรรค์น้อย" 22.22% ของนักเรียนจัดเป็น "เกือบสร้างสรรค์"; และ 16.67% ของนักเรียนจัดเป็น "ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม" และในผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากเอกสารประกอบการสอนพบว่าระดับทักษะการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนจำแนกได้ดังนี้ 22.22% ของนักเรียนจัดอยู่ในประเภท "เกือบสร้างสรรค์", 44.44% ของนักเรียนที่จัดเป็น "ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม"; และ 33.33% ของนักเรียนจัดเป็น "ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมอย่างมาก"

Wartono, Diantoro, & Bartlolona (2018) ได้ทำการศึกษาสิ่งที่เกิดขึ้นในห้องเรียนเมื่อครูยังมีข้อจำกัดต่างๆ ในการฝึกอบรมและพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียน ในหัวข้อเรื่องความยืดหยุ่นของวัสดุ โดยในการพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนนั้นครูเลือกใช้โมเดลการจัดการเรียนรู้ปัญหาเป็นฐาน (PBL) ในเรื่องสภาพยืดหยุ่นของวัตถุ โดยได้เคยทำการวิจัยในรูปแบบนี้มาก่อนแล้ว แต่การวิจัยก่อนหน้านี้ไม่ได้แสดงให้เห็นถึงการพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนเกี่ยวกับหัวข้อความยืดหยุ่นของวัสดุ โดยทำการเปรียบเทียบรูปแบบการเรียนรู้ที่แตกต่างกันสองแบบ ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงความแตกต่างในผลการเรียนรู้ของนักเรียนเกี่ยวกับวัสดุความยืดหยุ่นของวัสดุในแบบจำลอง PBL และแบบดั้งเดิม จากผลการวิจัยพบว่าคะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนที่ใช้โมเดล PBL สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการเรียนรู้แบบปกติ นอกจากนี้ยังพบว่าในแต่ละการจัดการเรียนรู้แต่ละครั้งครูผู้สอนยังมีการปรับปรุงตัวบ่งชี้ของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนอยู่เสมอ สรุปได้ว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานมีประสิทธิภาพในการฝึกอบรมและพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนในการเรียนรู้ฟิสิกส์ ดังนั้นจึงสามารถนำแนวทางมาใช้ในการพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน (Classroom Action Research) มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง สภาพสมดุล โดยการจัดการเรียนที่ใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. รูปแบบการวิจัย
2. กลุ่มเป้าหมาย
3. บริบทของการวิจัย
4. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
5. การเก็บรวบรวมข้อมูล
6. การวิเคราะห์ข้อมูล

รูปแบบการวิจัย

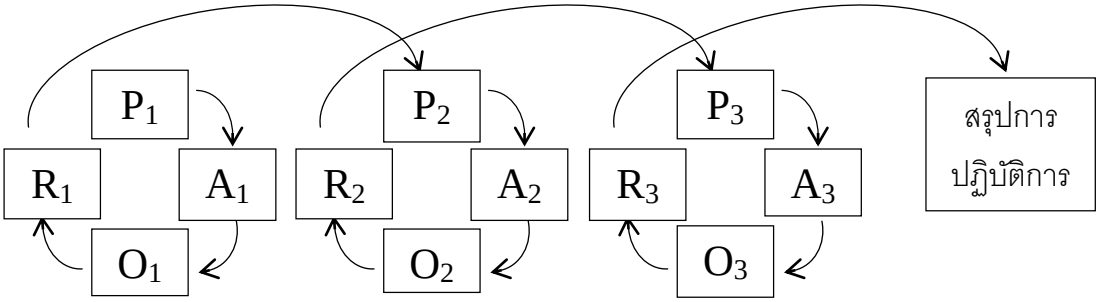
การวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียนของ Schumuck (2006, pp.8-12 อ้างถึงใน สิรินภา กิจเกื้อกูล, 2557, น.177) เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัย ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอนใน 1 วงจร ได้แก่

1. **ขั้นวางแผน** (Plan) เป็นขั้นที่ครูคิดใคร่ครวญถึงพฤติกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียนเมื่อพบว่าผู้เรียนมีปัญหาเกี่ยวกับความรู้ ความสามารถ หรือเจตคติ จึงกำหนดเป้าหมายเพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านั้น และเริ่มทำการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม เพื่อหานวัตกรรมมาแก้ปัญหาดังกล่าว

2. **ขั้นปฏิบัติ** (Act) ครูนำวิธีการในขั้นวางแผนไปใช้กับกลุ่มเป้าหมาย

3. **ขั้นสังเกต** (Observe) ครูตรวจสอบตนเองขณะปฏิบัติการวิจัย เพื่อหาข้อบกพร่องและนำมาแก้ไขอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ครูจะเปิดโอกาสให้ผู้เรียนหรือเพื่อนร่วมงานได้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับการปฏิบัติการวิจัยทดลอง โดยในขั้นตอนนี้ต้องใช้เครื่องมือต่างๆมาเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลในขั้นสังเกตกับวางแผน เพื่อนำไปสู่การได้ข้อสรุปว่าแนวทางปฏิบัติใดดีที่สุด

4. **ขั้นสะท้อนผล** (Reflect) ครูนำผลสรุปจากขั้นสังเกตมาระดมสมองกับเพื่อนร่วมงานและสะท้อนตนเอง เพื่อพิจารณาว่าครูสามารถจัดการเรียนรู้ให้บรรลุเป้าหมายที่กำหนดหรือไม่ และควรปรับแนวทางปฏิบัติอย่างไรให้ดีกว่าเดิม เมื่อได้รับข้อสรุปแล้วจึงเริ่มดำเนินการในขั้นวางแผนของวงจรต่อไป



ภาพ 6 วงจรปฏิบัติการของวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน

กลุ่มเป้าหมาย

ผู้วิจัยทำการสุ่มเป้าหมายแบบเจาะจง (Purposive sampling) โดยเลือกนักเรียนห้องเรียนแผนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560 ของโรงเรียนวิทยาศาสตร์ขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลก 1 ห้องเรียน นักเรียนทั้งหมดจำนวน 44 คน ซึ่งนักเรียนในกลุ่มนี้เป็นนักเรียนที่ผ่านการสอบคัดเลือกเพื่อเข้าศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยเป็นนักเรียนที่มีภูมิลำเนาอยู่ในจังหวัดพิษณุโลกหรือบริเวณจังหวัดใกล้เคียง พักอาศัยอยู่กับทางผู้ปกครองและอาศัยอยู่ในหอพักบริเวณใกล้เคียงกับโรงเรียน ซึ่งนักเรียนส่วนใหญ่มีความเอาใจใส่ต่อการเรียน มีความใฝ่เรียนใฝ่รู้ มีความรับผิดชอบต่องานที่ได้รับมอบหมายและให้ความสำคัญกับคะแนนในแต่ละรายวิชา เพราะเป็นห้องเรียนที่เน้นวิทยาศาสตร์เป็นแผนหลัก นักเรียนในห้องนี้ส่วนมากจะเรียนพิเศษเพิ่มเติมกับโรงเรียนกวดวิชาหลังจากที่กลับจากที่โรงเรียนแล้ว พฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนโดยส่วนมากจะชอบให้ครูผู้สอนเป็นผู้มอบความรู้ให้โดยตรง ส่วนด้านการทำงานร่วมกันนั้นนักเรียนสามารถทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มได้ หากแต่ว่ายังไม่สามารถจัดการแบ่งภาระหน้าที่หรือจัดการเวลาได้อย่างดีเท่าไรนัก

บริบทของการวิจัย

ห้องเรียนสำหรับการจัดการเรียนการสอนนั้นเป็นห้องปฏิบัติการทางฟิสิกส์ มีอุปกรณ์ช่วยในการจัดการเรียนการสอน ที่ประกอบไปด้วย เครื่องฉายภาพสไลด์ (Projector) กระดานดำ

อุปกรณ์ทางการทดลองฟิสิกส์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ คลื่น แสง ไฟฟ้า การเคลื่อนที่ โดยอุปกรณ์ส่วนใหญ่ถูกจัดเก็บไว้ภายในตู้กระจก ถูกนำออกมาใช้งานบ้างและไม่ถูกนำออกมาใช้งานบ้างบางส่วน ทำให้อุปกรณ์บางชิ้นไม่ได้รับการดูแลเกิดความเสียหายบางส่วนที่มีผลต่อการใช้งานของอุปกรณ์ พื้นที่ห้องเรียนกว้างขวางมีพื้นที่มากพอสำหรับการจัดการเรียนรู้ โต๊ะและเก้าอี้มีเพียงพอและง่ายต่อการจัดที่นั่งเป็นกลุ่มหรือส่วนบุคคล บรรยากาศภายในห้องเรียนเป็นห้องเรียนพัดลมสามารถเปิดหน้าต่างออกได้ 2 ทิศทาง มีแสงสว่างที่เพียงพอต่อการจัดการเรียนรู้

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. **แผนจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา**

แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง สภาพสมดุล สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 3 แผน รวมทั้งสิ้น 12 คาบเรียนใช้เวลาในการสอน 3 สัปดาห์ โดยมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎี แนวคิด และหลักการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

2. ศึกษาหลักสูตรสถานศึกษาของโรงเรียนกลุ่มเป้าหมาย กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์รวมถึงวิเคราะห์ผลการเรียนรู้ กับรายละเอียดของเนื้อหา เรื่อง สภาพสมดุล แล้วจัดแบ่งเวลาที่จะใช้ดำเนินการสอนให้เหมาะสม

3. ศึกษาหลักการและทำความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาจนได้องค์ความรู้พื้นฐานในการนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งผู้วิจัยได้นำกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของ NRC จำนวน 6 ขั้นตอน มาประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา โดยมีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ดังนี้

ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา
ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา
ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา
ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา
ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน
ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

โดยผู้วิจัยได้จัดสร้างแผนการจัดการเรียนรู้จำนวน 3 แผน รวม 12 ชั่วโมง โดยมีการดำเนินการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ซึ่งแต่ละแผนมีองค์ประกอบดังนี้

1. มาตรฐานการเรียนรู้
2. ผลการเรียนรู้
3. สาระสำคัญ
4. จุดประสงค์การเรียนรู้
5. ภาระงาน/ชิ้นงาน
6. กิจกรรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา
7. สื่อ อุปกรณ์ และแหล่งเรียนรู้
8. การวัดและประเมินผลการเรียนรู้

ตาราง 2 แสดงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างขั้นการจัดการเรียนรู้

แผนการจัดการเรียนรู้	**เนื้อหา**	**สะเต็มศึกษา**	**สถานการณ์**	**จำนวนชั่วโมง**
แผนที่ 1	สมดุลต่อการเลื่อนที่จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วง	S: สมดุลต่อการเลื่อนที่ T: การสืบค้นข้อมูลและการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ที่เหมาะสม E: กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม การออกแบบชิ้นงานต่างๆ รวมถึงการแก้ไขปัญหาที่พบเพื่อพัฒนาชิ้นงาน	สถานการณ์การสร้างตึกมหานครที่เป็นตึกสูงใจกลางเมืองของกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีรูปร่างที่แปลกตา ภายนอกดูไม่มีความแข็งแรงแต่โครงสร้างภายในมีความแข็งแรงมาก ชิ้นงานที่ผู้เรียนต้องปฏิบัติ รูปแบบโครงสร้างซึ่งมีความแข็งแรงมากที่สุด และมีความสูงมากที่สุดด้วย	4

ตาราง 2 (ต่อ)

แผนการจัดการเรียนรู้	เนื้อหา	สะเต็มศึกษา	สถานการณ์	จำนวนชั่วโมง
		M: การคำนวณหาแรงลัพธ์ต่างๆ การวัดขนาด การหาเวกเตอร์ลัพธ์		
แผนที่ 2	สมดุลต่อการหมุน	S: สมดุลต่อการหมุน T: การสืบค้นข้อมูลและการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ เช่น ท่อ แท่งไม้ แกนหมุน ที่เหมาะสม E: กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม การออกแบบชิ้นงานต่างๆ รวมถึงการแก้ไขปัญหาที่พบเพื่อพัฒนาชิ้นงาน M: การคำนวณหาขนาดของทอร์ก และโมเมนต์ของแรง การวัดขนาด และคำนวณคาใช้จ่าย	สถานการณ์ข่าวภัยพิบัติน้ำท่วมในต่างประเทศก่อให้เกิดการขาดตัวของเส้นทางทำให้เกิดอุบัติเหตุและมีผู้เสียชีวิต <u>ชิ้นงานที่ผู้เรียนต้องปฏิบัติ</u> แบบจำลองโครงสร้างของสะพานแขวนที่สามารถรองรับน้ำหนักได้มากที่สุด	4
แผนที่ 3	การประยุกต์สภาพสมดุลในชีวิตประจำวัน	S: สภาพสมดุลของวัตถุ T: การสืบค้นข้อมูลและการเลือกใช้อุปกรณ์ เช่น แผ่นไม้ คาน วัสดุต่างๆที่เหมาะสม	การสร้างอุปกรณ์สำหรับขนย้ายลูกบอลจากสถานที่หนึ่งไปยังอีกสถานที่หนึ่งให้มากที่สุด โดยไม่สัมผัสกับลูกบอลในระหว่างทำการขนย้ายภายในระยะเวลาที่กำหนด	4

ตาราง 2 (ต่อ)

แผนการจัดการเรียนรู้	เนื้อหา	สะเต็มศึกษา	สถานการณ์	จำนวนชั่วโมง
		E: กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม การออกแบบชิ้นงานต่างๆ รวมถึงการแก้ไขปัญหาที่พบเพื่อพัฒนาชิ้นงาน M: การคำนวณหาศูนย์กลางมวล ศูนย์ถ่วง และแรงที่กระทำกับวัตถุเพื่อให้เกิดสมดุล การวัดขนาด	ชิ้นงานที่ผู้เรียนต้องปฏิบัติ อุปกรณ์ที่สร้างมาจากฟิวเจอร์บอร์ด 1 แผ่น และ เชือกยาว 5 เมตร จำนวน 1 เส้น	

4. ส่งแผนการจัดการเรียนรู้ให้ผู้เชี่ยวชาญได้แก่ อาจารย์ด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา ภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ จำนวน 1 ท่าน ครูผู้มีประสบการณ์ในการสอนวิชาฟิสิกส์มากกว่า 10 ปี จำนวน 1 ท่านเพื่อตรวจพิจารณาความเหมาะสมของวิธีการสอน กิจกรรมที่ใช้ ลำดับขั้นตอน การจัดการเวลา สื่อที่ใช้ และคำถามที่ใช้ และอาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จำนวน 1 ท่าน เพื่อตรวจพิจารณาความถูกต้องของเนื้อหาที่ใช้ในการสอน ใบกิจกรรม ความเหมาะสมของกิจกรรมการทดลอง และข้อควรระมัดระวังในการทดลองนั้น โดยผู้เชี่ยวชาญได้แนะนำว่าควรปรับปรุงการเขียนวัตถุประสงค์ของแผนการจัดการเรียนรู้ให้ชัดเจน โดยอาจแยกเป็นหมวดหมู่ให้ตรงตามองค์ประกอบของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

5. นำแผนการจัดการเรียนรู้มาปรับปรุงแก้ไข ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

6. นำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้กับกลุ่มเป้าหมายในการวิจัย

โดยในแต่ละขั้นของการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาจะช่วยให้เกิดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในด้านต่างๆ ตามที่ได้ระบุไว้ดังนี้

1. การคิดอย่างสร้างสรรค์

1.1 มีการใช้เทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิด

1.2 สร้างสรรค์แนวคิดที่ใหม่และมีคุณค่าทั้งจากแนวความคิดเดิมหรือแนวความคิดใหม่

1.3 มีการตรวจสอบ แก้ไข วิเคราะห์ และประเมินแนวคิดที่นำมาใช้ในการสร้างปรับปรุงและพัฒนาชิ้นงาน

2. การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ โดยนักเรียน

2.1 พัฒนา ปฏิบัติและสื่อสารแนวคิดใหม่ๆ ให้ผู้อื่นได้เข้าใจอย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 รับฟัง และยอมรับความคิดเห็นจากผู้อื่นพร้อมทั้งสะท้อนผลที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน

2.3 นำเสนอความคิดเริ่มต้นและความคิดที่สร้างสรรค์ขึ้น รวมทั้งทำความเข้าใจกับข้อจำกัดที่มีอยู่เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแนวคิดใหม่

2.4 เรียนรู้จากข้อผิดพลาด เนื่องจากความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและการสร้างนวัตกรรมเป็นทักษะที่ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้และทำซ้ำจนเกิดผลสำเร็จ

3. การสร้างสรรค์นวัตกรรม

โดยมีรายละเอียดการพัฒนาในองค์ประกอบย่อยต่างๆ จำแนกตามขั้นการจัดการเรียนการสอนดังตาราง 3

ตาราง 3 แสดงองค์ประกอบของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่เกิดขึ้นจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา	องค์ประกอบของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่เกิดขึ้น
ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา	1.3 มีการตรวจสอบ แก้ไข วิเคราะห์ และประเมินแนวคิดที่นำมาใช้ในการสร้าง ปรับปรุง และพัฒนาชิ้นงาน 2.1 พัฒนา ปฏิบัติและสื่อสารแนวคิดใหม่ๆ ให้ผู้อื่นได้เข้าใจอย่างมีประสิทธิภาพ 2.2 รับฟัง และยอมรับความคิดเห็นจากผู้อื่น พร้อมทั้งสะท้อนผลที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน 2.3 นำเสนอความคิดเริ่มต้นและความคิดที่สร้างสรรค์ขึ้น รวมทั้งทำความเข้าใจกับข้อจำกัดที่มีอยู่เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแนวคิดใหม่
ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา	1.1 มีการใช้เทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิด 1.3 มีการตรวจสอบ แก้ไข วิเคราะห์ และประเมินแนวคิดที่นำมาใช้ในการสร้าง ปรับปรุง และพัฒนาชิ้นงาน 2.1 พัฒนา ปฏิบัติและสื่อสารแนวคิดใหม่ๆ ให้ผู้อื่นได้เข้าใจอย่างมีประสิทธิภาพ 2.2 รับฟัง และยอมรับความคิดเห็นจากผู้อื่น พร้อมทั้งสะท้อนผลที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน 2.3 นำเสนอความคิดเริ่มต้นและความคิดที่สร้างสรรค์ขึ้น รวมทั้งทำความเข้าใจกับข้อจำกัดที่มีอยู่เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแนวคิดใหม่

ตาราง 3 (ต่อ)

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา	องค์ประกอบของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่เกิดขึ้น
ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา	1.1 มีการใช้เทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิด 1.2 สร้างสรรค์แนวคิดที่ใหม่และมีคุณค่าทั้งจากแนวความคิดเดิมหรือแนวความคิดใหม่ 2.1 พัฒนา ปฏิบัติและสื่อสารแนวคิดใหม่ๆ ให้ผู้อื่นได้เข้าใจอย่างมีประสิทธิภาพ 2.2 รับฟัง และยอมรับความคิดเห็นจากผู้อื่นพร้อมทั้งสะท้อนผลที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน 2.3 นำเสนอความคิดเริ่มต้นและความคิดที่สร้างสรรค์ขึ้น รวมทั้งทำความเข้าใจกับข้อจำกัดที่มีอยู่เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแนวคิดใหม่
ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา	2.1 พัฒนา ปฏิบัติและสื่อสารแนวคิดใหม่ๆ ให้ผู้อื่นได้เข้าใจอย่างมีประสิทธิภาพ 2.2 รับฟัง และยอมรับความคิดเห็นจากผู้อื่นพร้อมทั้งสะท้อนผลที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน
ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน	2.1 พัฒนา ปฏิบัติและสื่อสารแนวคิดใหม่ๆ ให้ผู้อื่นได้เข้าใจอย่างมีประสิทธิภาพ 2.2 รับฟัง และยอมรับความคิดเห็นจากผู้อื่นพร้อมทั้งสะท้อนผลที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน 2.3 นำเสนอความคิดเริ่มต้นและความคิดที่สร้างสรรค์ขึ้น รวมทั้งทำความเข้าใจกับข้อจำกัดที่มีอยู่เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแนวคิดใหม่

ตาราง 3 (ต่อ)

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา	องค์ประกอบของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่เกิดขึ้น
ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน	2.4 เรียนรู้จากข้อผิดพลาด เนื่องจากความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและการสร้างนวัตกรรมเป็นทักษะที่ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้และทำซ้ำจนเกิดผลสำเร็จ 3. การสร้างสรรค์นวัตกรรม
ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน	2.1 พัฒนา ปฏิบัติและสื่อสารแนวคิดใหม่ๆ ให้ผู้อื่นได้เข้าใจอย่างมีประสิทธิภาพ 2.2 รับฟัง และยอมรับความคิดเห็นจากผู้อื่นพร้อมทั้งสะท้อนผลที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน

ซึ่งจะเห็นได้ว่าขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาสามารถช่วยให้ผู้เรียนเกิดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้ครบทุกองค์ประกอบและครบถ้วนทุกองค์ประกอบย่อย

2. **แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้**

มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ครูผู้มีประสบการณ์มากกว่า 10 ปีจำนวน 1 ท่าน นักเรียนที่เข้าร่วมการจัดการเรียนรู้และตัวผู้วิจัยใช้สะท้อนผลการดำเนินการและประสบการณ์ที่ได้หลังจากการจัดการเรียนรู้ในแต่ละแผน เพื่อที่ผู้วิจัยจะได้นำไปใช้ในการปรับปรุงการจัดการเรียนรู้ ซึ่งมีลักษณะเป็นคำถามปลายเปิดให้บรรยายเกี่ยวกับ ความคิดเห็นและความรู้สึก สภาพปัญหา ข้อดี ข้อด้อย สิ่งที่อยากให้คงไว้และสิ่งที่ควรแก้ไขของการจัดการเรียนรู้ จากการสังเกตพฤติกรรมการดำเนินการจัดการเรียนรู้ของผู้วิจัยในแต่ละครั้ง โดยจะมีอยู่ทั้งหมดสามส่วน ส่วนที่หนึ่งคือ การอธิบายความคิดเห็นและความรู้สึกต่อการจัดการเรียนรู้ในภาพรวม ส่วนที่สองคือ การบันทึกความคิดเห็นต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ซึ่งมีทั้งหมด 6 ขั้น ในแต่ละขั้นจะมีคำถามย่อย 3 ข้อ คือ ปัญหา ข้อดี และข้อเสีย ของขั้นนั้นๆ และส่วนที่สามคือสรุปปัญหาหรือเสนอข้อเสนอแนะให้แก่ผู้วิจัย รวมทั้งสิ่งที่อยากให้คงไว้และสิ่งที่ควรแก้ไขของการ

จัดการเรียนรู้ โดยครูผู้มีประสบกาณ์มากกว่า 10 ปีและผู้วิจัยจะทำทั้งหมดสามส่วน และนักเรียนจะทำส่วนที่หนึ่งและส่วนที่สามโดยไม่ระบุชื่อผู้ทำแบบสะท้อน โดยมีขั้นตอนการสร้าง ดังนี้

1. กำหนดกรอบและประเด็นสำคัญให้ครูผู้มีประสบการณ์มากกว่า 10 ปี ผู้วิจัย และนักเรียนแต่ละคนเขียนแสดงความเห็นและความรู้สึกของตนเองที่มีต่อกิจกรรมการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยจัดให้ในแต่ละแผน โดยครูผู้มีประสบการณ์มากกว่า 10 ปีและผู้วิจัยจะเขียนบันทึกปัญหาที่เกิดขึ้นและการตอบสนองของนักเรียนระหว่างดำเนินการจัดการเรียนรู้แยกตามลำดับขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา รวมทั้งความเหมาะสมของกิจกรรมและเวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้

2. สร้างแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามขอบข่ายของแต่ละลำดับขั้นตอนของรูปแบบการสอนโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

3. นำแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ เพื่อตรวจพิจารณาความถูกต้อง เหมาะสม

4. ปรับปรุง แก้ไข แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

5. นำแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ไปใช้จริง เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลและนำข้อมูลที่ได้ไปใช้สะท้อนผลการจัดเรียนรู้ต่อไป

3. ใบกิจกรรมของนักเรียน

ใบกิจกรรมของนักเรียนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเพื่อใช้ประกอบกิจกรรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา โดยเน้นสถานการณ์ที่ครอบคลุมเพื่อเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยใบกิจกรรมของนักเรียนเป็นการทำงานของกลุ่มนักเรียน โดยมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

1. ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างใบกิจกรรมของนักเรียน

2. ศึกษาตัวบ่งชี้ของการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

3. ศึกษาลักษณะและขั้นตอนของการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษารวมถึงเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

4. ศึกษาเนื้อหารายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง สภาพสมดุล

5. กำหนดขอบข่ายของการบันทึกข้อมูลของนักเรียน

6. สร้างใบกิจกรรมของนักเรียนตามความเหมาะสมตามแผนการจัดการเรียนรู้

7. นำใบกิจกรรมของนักเรียนเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และผู้เชี่ยวชาญ

8. ปรับปรุงแก้ไขใบกิจกรรมของนักเรียนตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

9. จัดทำใบกิจกรรมของนักเรียนฉบับสมบูรณ์

4. **ชิ้นงานนักเรียนและโปสเตอร์**

มีวัตถุประสงค์เพื่อให้นักเรียนสร้างขึ้นเพื่อตรวจสอบการเรียนรู้ในชั่วโมงเรียนนั้นๆ ของนักเรียนว่ามีความถูกต้องตรงตามที่ผู้เรียนได้วางแผนไว้หรือไม่ และมีการแสดงออกถึงพฤติกรรมที่บ่งชี้ว่ามีการนำความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเข้ามาใช้ในการสร้างชิ้นงานหรือไม่ โดยที่นักเรียนจะทำชิ้นงานและสร้างโปสเตอร์ออกมาในรูปแบบของงานกลุ่ม ซึ่งมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

1. ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างชิ้นงานของนักเรียนว่าจำเป็นต้องใช้วัสดุอุปกรณ์อะไรบ้าง

2. ศึกษาเนื้อหารายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง สภาพสมดุล

3. ศึกษาตัวบ่งชี้ของการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

4. กำหนดขอบข่ายของการประเมินและทดสอบชิ้นงานของนักเรียน

5. ทดลองสร้างชิ้นงานตามขอบข่ายที่แต่ละสถานการณ์กำหนดไว้

6. นำชิ้นงานแต่ละชิ้นเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และผู้เชี่ยวชาญ โดยผู้เชี่ยวชาญได้นำเสนอให้มีการปรับกิจกรรมในแผนที่ 1 โดยเปลี่ยนการสั่งซื้ออุปกรณ์มาเป็นการใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด จึงได้ทำการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขของการสร้างอาคารเป็น การสร้างจากหลอดน้ำเพียง 20 หลอดให้มีความสูงมากที่สุด

7. ปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานและเงื่อนไขในการสร้างชิ้นงานตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

8. จัดทำสถานการณ์ที่กำหนดขอบข่ายชิ้นงานของนักเรียนลงในใบกิจกรรมฉบับสมบูรณ์

5. **แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม**

มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการบันทึกพฤติกรรมที่แสดงออกของผู้เรียนโดยทำการเก็บข้อมูลเป็นกลุ่มในระหว่างที่มีการจัดการเรียนการสอน เพื่อนำมาวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมที่บ่งบอกได้ว่าผู้เรียนเกิดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมขึ้นในระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน โดยมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

1. ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียน

2. ศึกษาตัวบ่งชี้ของการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

3. กำหนดขอบข่ายของพฤติกรรมที่จะทำการสังเกต

4. สร้างแบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนตามขอบข่ายที่ได้กำหนดไว้

5. นำแบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และผู้เชี่ยวชาญ

6. ปรับปรุงแก้ไขแบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

7. จัดทำแบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนฉบับสมบูรณ์

จากที่กล่าวถึงเครื่องมือในข้างต้น ผู้วิจัยได้เลือกใช้เครื่องมือวิจัยโดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อตอบคำถามวิจัยที่มีทั้ง 2 ข้อ ได้แก่

1. เครื่องมือที่ใช้ตอบคำถามข้อ 1 การจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง สภาพสมดุล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ควรมีแนวทางอย่างไร ซึ่งเครื่องมือที่จะนำมาใช้สะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ในแต่ละวงจร ได้แก่

1.1 แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

1.2 แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้

หมายเหตุ: มีการบันทึกภาพด้วยกล้องวิดีโอทุกครั้ง เพื่อใช้เก็บข้อมูลระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละแผน และนำมาสะท้อนผลในระหว่างวงจรต่อไป

2. เครื่องมือที่ใช้ตอบคำถามวิจัยข้อที่ 2 การจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง สภาพสมดุล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 สามารถพัฒนาความคิดอย่างสร้างสรรค์ได้หรือไม่อย่างไร ซึ่งเครื่องมือที่จะนำมาใช้สะท้อนผลการพัฒนาการให้เหตุผลของนักเรียนในแต่ละวงจรและใช้ประเมินผลสรุปรวมในขั้นสุดท้ายอีกครั้งหนึ่ง ได้แก่

2.1 ใบกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

2.2 ชิ้นงานนักเรียนและโปสเตอร์นำเสนอ

2.3 แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

โดยความสัมพันธ์ระหว่างจุดมุ่งหมายของงานวิจัยและเครื่องมือวิจัยเป็นไปดังแสดงในตาราง 4 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดมุ่งหมายของการวิจัยกับเครื่องมือการวิจัย

ตาราง 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดมุ่งหมายของการวิจัยกับเครื่องมือการวิจัย

จุดมุ่งหมายของการวิจัย	เครื่องมือ				
	แผนการจัดการเรียนรู้	แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้	ใบกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา	ชิ้นงานนักเรียนและโปสเตอร์	แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม
1. การจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง สภาพสมดุล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ควรมีแนวทางอย่างไร	✓	✓ (ผู้ให้ข้อมูลคือผู้วิจัยและผู้เชี่ยวชาญ)			
2. การจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง สภาพสมดุล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 สามารถพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้หรือไม่อย่างไร			✓ (ผู้ให้ข้อมูลคือนักเรียน)	✓ (ผู้ให้ข้อมูลคือนักเรียน)	✓ (ผู้ให้ข้อมูลคือผู้วิจัย)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยจะมีการดำเนินการเก็บข้อมูลตามรูปแบบการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนของ Kemmis, & Schmuck (1988 อ้างถึงใน สิรินภา กิจเกื้อกูล, 2557, น.149-152) จำนวน 3 วงจร ซึ่งประกอบไปด้วย ขั้นวางแผน ขั้นการปฏิบัติการ ขั้นการสังเกตการณ์ ขั้นการสะท้อนผล ดังนี้

ขั้นที่ 1 ขั้นการวางแผน

ขั้นการวางแผนผู้วิจัยศึกษาค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในเนื้อหา เรื่อง สภาพสมดุล จากนั้นทำการศึกษาหลักสูตรสถานศึกษาและคำอธิบายรายวิชา ว30202 ฟิสิกส์เพิ่มเติม 2 จากนั้นนำข้อมูลที่ศึกษามาเขียนแผนการจัดการเรียนรู้ตามขั้นตอนการสร้างและพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา อีกทั้งยังสร้างเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติม ได้แก่ แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ ใบกิจกรรม ชิ้นงาน และแบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม ตามขั้นตอนการสร้างและพัฒนาเครื่องมือที่กล่าวมาข้างต้น และสร้างสถานการณ์เพื่อกำหนดเกณฑ์ประเมินเพื่อวิเคราะห์เครื่องมือที่เป็นชิ้นงานของนักเรียน

ขั้นที่ 2 ขั้นการปฏิบัติ

ผู้วิจัยได้ทำการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา จำนวน 1 แผน ใช้เวลาจำนวน 4 ชั่วโมง และสะท้อนผลจากการจัดกิจกรรม

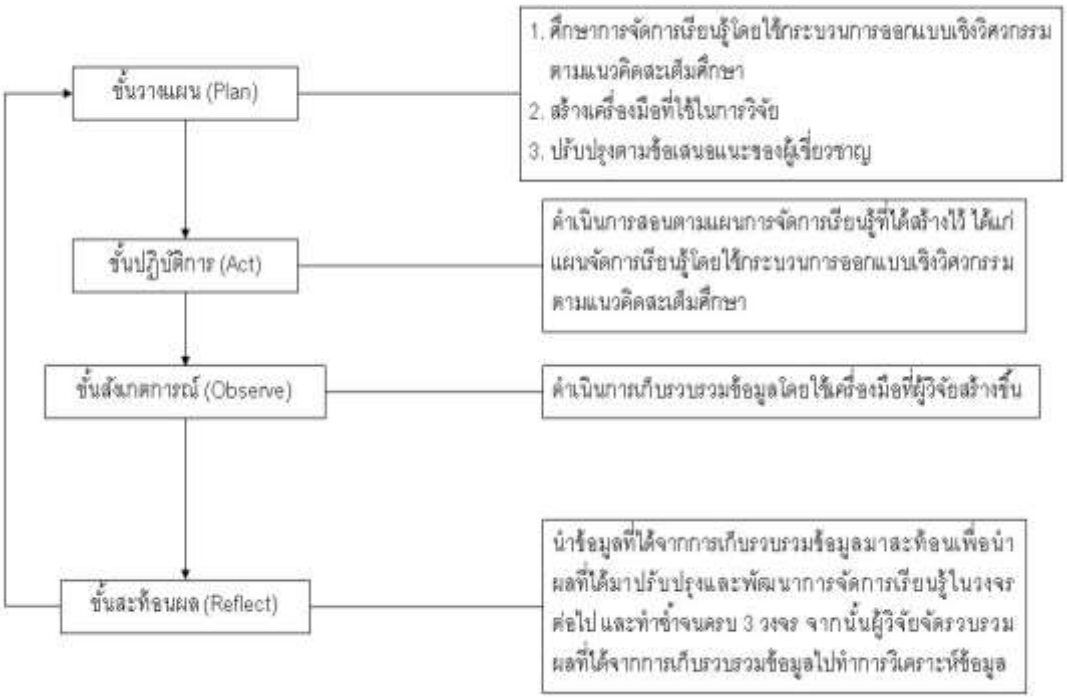
หลังจากเสร็จสิ้นการจัดการเรียนรู้ ครูผู้มีประสบการณ์ในการสอนรายวิชาฟิสิกส์มากกว่า 10 ปี และผู้วิจัย จะบันทึกแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ คนละ 1 ชุด แต่ละคนจะบันทึกเขียนความเห็นที่มีต่อกิจกรรมการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยจัดให้ในแต่ละแผน รวมทั้งความเหมาะสมของกิจกรรมและเวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ จากการสังเกตพฤติกรรมการดำเนินการจัดการเรียนรู้ของผู้วิจัยในแต่ละครั้งของการจัดการเรียนรู้ โดยจะเขียนบันทึกแยกในแต่ละขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ด้วยการอธิบายและบรรยายปัญหาที่เกิดขึ้นและการตอบสนองของนักเรียนระหว่างดำเนินการจัดการเรียนรู้แยกตามลำดับขั้นตอน

ขั้นที่ 3 การสังเกต

ผู้วิจัยได้สังเกตผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาแล้วบันทึกข้อมูลลงในใบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ และทำการเก็บข้อมูลการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมโดยการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนและบันทึกลงในแบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม รวมถึงการตรวจสอบชิ้นงานและโปสเตอร์ของนักเรียน

ขั้นที่ 4 ขั้นสะท้อนผล

ครูผู้มีประสบการณ์ในการสอนรายวิชาฟิสิกส์มากกว่า 10 ปีและผู้วิจัย จะสะท้อนผลการเข้าร่วมการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาโดยใช้แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ จากนั้นผู้วิจัยจะทำการสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้โดยนำแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้และแบบบันทึกการวิจารณ์ข้อโต้แย้งที่บันทึกระหว่างกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ มาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์เนื้อหา เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลเสร็จ ผู้วิจัยจะพิจารณาถึงปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการจัดการเรียนรู้ พร้อมทั้งหาวิธีการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นแล้วนำข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ไปตอบคำถามวิจัย



ภาพ 7 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมมาทำการวิเคราะห์ผลเชิงคุณภาพ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเนื้อหา (content analysis) โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วนเพื่อตอบคำถามวิจัยทั้ง 2 ข้อได้แก่

คำถามข้อที่ 1 การจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง สภาพสมดุล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ควรมีแนวทางอย่างไร

คำถามข้อที่ 2 การจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง สภาพสมดุล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 สามารถพัฒนาความคิดอย่างสร้างสรรค์ได้หรือไม่อย่างไร

โดยในการวิเคราะห์ข้อมูลนั้น ผู้วิจัยได้นำเครื่องมือวิจัย มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1. แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้

ผู้ให้ข้อมูล คือ ผู้วิจัยและครูผู้มีประสบการณ์สอนวิชาฟิสิกส์ในโรงเรียน ใช้การวิเคราะห์เชิงเนื้อหา ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1.1 ผู้วิจัยจัดกลุ่มข้อมูลให้อยู่ในหมวดหมู่เดียวกันเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์และอภิปรายผล

1.2 ผู้วิจัยตีความและสรุปผลให้ได้ตามประเด็น เช่น การจัดการเรียนรู้สามารถพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้หรือไม่ อย่างไร ปัญหาหรืออุปสรรคที่พบจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของผู้วิจัยและแนวทางการปรับปรุงแก้ไขปัญหาสำหรับการจัดการเรียนรู้ครั้งต่อไป เป็นต้น

1.3 ผู้วิจัยทำการตรวจสอบข้อมูลเชิงคุณภาพด้วยวิธีสามเส้าด้านแหล่งข้อมูล ซึ่งทำการตรวจสอบโดยการนำข้อมูลมาสะท้อนผลที่ได้จากตัวผู้วิจัยและครูชำนาญการ มาวิเคราะห์และพิจารณาถึงผลการดำเนินการว่าให้ข้อมูลในประเด็นที่เหมือนกันหรือไปในแนวทางเดียวกันหรือไม่

1.4 ผู้วิจัยเขียนสรุปการสะท้อนปัญหา อุปสรรค และแนวทางแก้ไขปัญหาของแต่ละขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ เพื่อนำไปพัฒนาและปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ในวงจรต่อไป

2. ใบกิจกรรม

2.1 ผู้วิจัยตรวจคำตอบของนักเรียนตามเกณฑ์การประเมินความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

2.2 ผู้วิจัยเขียนผลตามเกณฑ์ที่ได้ตรวจและอธิบายเป็นความเรียง เพื่อรายงานผลการดำเนินงานวิจัยโดยวิเคราะห์ถึงการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของผู้เรียนที่เกิดจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

2.3 ผู้วิจัยเขียนสรุปผลให้เห็นถึงพัฒนาการของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในแต่ละด้าน

3. ชิ้นงานนักเรียนและโปสเตอร์

3.1 ผู้วิจัยตรวจสอบชิ้นงานของนักเรียนตามเกณฑ์การประเมินที่ได้กำหนดไว้

3.2 ผู้วิจัยตรวจสอบการนำความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมมาใช้ในการสร้างชิ้นงานของนักเรียน

3.3 ผู้วิจัยเขียนผลตามเกณฑ์ที่ได้ตรวจและอธิบายเป็นความเรียง เพื่อรายงานผลการดำเนินงานวิจัยโดยวิเคราะห์ถึงการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของผู้เรียนที่เกิดจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

3.4 ผู้วิจัยเขียนสรุปผลให้เห็นถึงพัฒนาการของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในแต่ละด้าน

4. แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

4.1 ผู้วิจัยตรวจสอบผลการบันทึกพฤติกรรมของนักเรียนจากในแบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

4.2 ผู้วิจัยจัดหมวดหมู่ของพฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออกมาเป็นหมวดหมู่ ตามองค์ประกอบของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

4.3 ผู้วิจัยเขียนผลตามเกณฑ์ที่ได้ตรวจและอธิบายเป็นความเรียง เพื่อรายงานผลการดำเนินงานวิจัยโดยวิเคราะห์ถึงการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของผู้เรียนที่เกิดจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

4.4 ผู้วิจัยเขียนสรุปผลให้เห็นถึงพัฒนาการของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในแต่ละด้าน

โดยในการวิเคราะห์ผลการพัฒนาของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของผู้เรียนนั้นจะเป็นการศึกษาแนวโน้มการพัฒนาของจำนวนผู้เรียนที่เกิดพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในแต่ละองค์ประกอบว่าเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางใด หากมีจำนวนผู้เรียนที่แสดงพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเพิ่มมากขึ้นก็จะหมายความว่าผลการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในด้านนั้นๆ มีมากขึ้นตามลำดับ

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเรื่อง การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของการเรียนฟิสิกส์ในหัวข้อเรื่อง สภาพสมดุล สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้เครื่องมือที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา โดยในการนำเสนอผลการวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งการนำเสนอออกเป็น 2 ตอน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 การพัฒนาวิธีการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในเรื่อง สภาพสมดุล

ตอนที่ 2 ผลการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในเรื่อง สภาพสมดุล จากการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

ตอนที่ 1 ผลการพัฒนาวิธีการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในเรื่อง สภาพสมดุล

ผลการวิจัยในตอนที่ 1 ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในเรื่อง สภาพสมดุล เพื่อหาแนวทางของวิธีการจัดการเรียนรู้อย่างไรที่จะช่วยให้เกิดการพัฒนาของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในการนำเสนอผลการวิจัยผู้วิจัยจะทำการนำเสนอผลการวิจัยเรียงตามหัวข้อในการปฏิบัติการจัดการเรียนรู้ในขณะที่ทำการวิจัยทั้ง 3 หัวข้อ ดังนี้ สมดุลต่อการเลื่อนที่และจุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วง สมดุลต่อการหมุนและการประยุกต์ใช้สมดุลในชีวิตประจำวัน ตามลำดับ โดยในแต่ละหัวข้อจะประกอบไปด้วยประเด็นที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียน ได้แก่ การเตรียมการจัดการเรียนรู้ การดำเนินการจัดการเรียนรู้และการสังเกตการจัดการเรียนรู้ และข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิสวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา วงจรปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง สมดุลต่อการเลื่อนที่ จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วง

1.1 การเตรียมการจัดการเรียนรู้

การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในวงจรปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง สมดุลต่อการเลื่อนที่ จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วง ได้ทำการจัดการเรียนรู้ให้แก่นักเรียนในวันที่ 6 และ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 จำนวน 4 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเวลาเรียนตามปกติของนักเรียน โดยมีผู้ที่มีส่วนร่วมในการสร้างเครื่องมือสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้และทำการสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ ดังต่อไปนี้ 1) อาจารย์ผู้เชี่ยวชาญจากคณะศึกษาศาสตร์ จำนวน 1 ท่าน 2) ผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการเรียนรู้ซึ่งเป็นครูผู้มีประสบการณ์สอนในโรงเรียนมากกว่า 10 ปี จำนวน 1 ท่าน 3) ผู้วิจัยทำการสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้จากการสังเกตการจัดการเรียนรู้และทำการเขียนบันทึกหลังแผนการจัดการเรียนรู้

ในการเตรียมการจัดการเรียนรู้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาจากเอกสารทั้งในและต่างประเทศ เพื่อนำแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติจริง ร่วมกับการจัดการเรียนรู้ตามหลักสูตรของสถานศึกษาเพื่อเป็นการกำหนดกรอบของเนื้อหาในการจัดการเรียนรู้ในเรื่อง สมดุลต่อการเลื่อนที่ จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วง จากนั้นจึงทำการศึกษารายละเอียดของเนื้อหาและทำการค้นหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา เพื่อใช้เป็นสถานการณ์ในการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียน โดยสถานการณ์ต้องมีความเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของผู้เรียน แล้วนำมาจัดทำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง สมดุลต่อการเลื่อนที่ จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วง เป็นเวลาจำนวน 4 คาบเรียนปกติ ซึ่งผู้วิจัยได้นำแผนการจัดการเรียนรู้ให้ผู้เชี่ยวชาญได้ทำการตรวจสอบ พบว่า ผู้เชี่ยวชาญได้ให้ทำการปรับเปลี่ยนสถานการณ์ให้มีความซับซ้อนน้อยลง เนื่องจากในวงจรปฏิบัติการนี้เป็นวงจรปฏิบัติการแรก ผู้เรียนจะได้เริ่มมีการปรับตัวให้เข้ากับการจัดการเรียนการสอนได้ง่ายขึ้น

> ...การจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาอย่างเต็มรูปแบบอาจแปลกใหม่สำหรับนักเรียน ซึ่งจะทำให้มีผลกระทบต่อการจัดการเวลา อาจทำการปรับรูปแบบกิจกรรมเพื่อให้นักเรียนได้ทำความเข้าใจและปรับตัวเข้ากับกระบวนการจัดการเรียนรู้ และควรเริ่มต้นที่สถานการณ์พื้นฐานไปสู่สถานการณ์ที่มีการประยุกต์ใช้ความรู้มากขึ้น
>
> (ผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 2, แบบบันทึกหลังแผนการจัดการเรียนรู้, 6 กุมภาพันธ์ 2561)

อีกทั้งยังมีข้อเสนอแนะให้ปรับแก้ไขจุดประสงค์ของการจัดการเรียนรู้ให้ชัดเจน โดยการแบ่งจุดประสงค์การจัดการเรียนรู้ออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ด้านพุทธิพิสัย ด้านทักษะพิสัย และด้านจิตพิสัย และใช้ภาษาในใบกิจกรรมให้มีความเข้าใจง่ายมากขึ้น โดยเฉพาะในส่วนของสถานการณ์เพราะเป็นส่วนที่เป็นปัญหาหลักของการทำกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ที่ผู้เรียนต้องใช้ในการดำเนินกิจกรรมตลอดการจัดการเรียนรู้ ซึ่งความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญแสดงได้ดังต่อไปนี้

> ...การเขียนวัตถุประสงค์การเรียนรู้ควรสอดคล้องกับพฤติกรรมของนักเรียนที่แสดงออกถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม และตรวจสอบพร้อมจำแนกวัตถุประสงค์ในแต่ละด้านให้ชัดเจน นอกจากนี้ในใบกิจกรรมควรใช้ภาษาที่เข้าใจง่ายทั้งในส่วนของสถานการณ์และปัญหาของกิจกรรม
>
> (ผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 1, แบบบันทึกหลังแผนการจัดการเรียนรู้, 6 กุมภาพันธ์ 2561)

สำหรับการจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ในการจัดการเรียนรู้ ได้แก่ คอมพิวเตอร์ ใบกิจกรรมสมดุลต่อการเลื่อนที่ เรื่อง ตั้งให้สูงที่สุด หลอดดูดน้ำ ดินน้ำมัน กระดาษบรู๊ฟ และปากกาเคมีหลากสี สำหรับแหล่งการเรียนรู้ ผู้วิจัยได้จัดหาหนังสือและเว็บไซต์ที่เกี่ยวข้องกับสภาพสมดุลในหัวข้อ สมดุลต่อการเลื่อนที่ จึงสรุปได้ว่าในขั้นตอนการเตรียมการจัดการเรียนรู้ในการจัดทำแผนการจัดการเรียนรู้มีการแก้ไขวัตถุประสงค์เพื่อให้ตรงกับพฤติกรรมที่แสดงถึง ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม และทำการจำแนกวัตถุประสงค์ออกเป็น 3 ด้านอย่างชัดเจน อีกทั้งทำการปรับสถานการณ์ให้เป็นสถานการณ์ที่มีเงื่อนไขน้อยและใช้ภาษาในใบกิจกรรมให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น

1.2 การดำเนินการจัดการเรียนรู้ และสังเกตการจัดการเรียนรู้

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาวิธีการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยการสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้จาก ผู้วิจัยและผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นครูผู้มีประสบการณ์สอนในโรงเรียนมากกว่า 10 ปี ซึ่งผลการศึกษาสามารถจำแนกตามขั้นการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา

ในขั้นนี้ผู้วิจัยได้วางแผนการจัดการเรียนรู้ไว้ว่าครูจะทำการนำเข้าสู่บทเรียนด้วยการให้นักเรียนได้รับชมวิดีทัศน์ที่มีการบันทึกภาพวัตถุที่อยู่ในสภาพสมดุลโดยมีรูปร่างต่างๆ ที่น่าสนใจ เพื่อทำการอภิปรายร่วมกันให้เกิดการทบทวนความรู้ จากนั้นจึงให้นักเรียนแต่ละกลุ่มศึกษาสถานการณ์จากในใบกิจกรรม แล้วให้นักเรียนแต่ละกลุ่มระบุปัญหาและเงื่อนไขที่

สถานการณ์กำหนดมาให้ โดยให้นักเรียนระดมความคิดและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันภายในกลุ่ม จากนั้นอภิปรายเพื่อนำไปสู่ข้อสรุปสำหรับปัญหาที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์

ในการดำเนินการจัดการเรียนรู้ผู้วิจัยได้นำใบกิจกรรมที่ 1 เรื่อง ตั้งให้สูงที่สุด ให้นักเรียนทำการวิเคราะห์สถานการณ์และระบุปัญหา ข้อกำหนดของสถานการณ์ โดยให้เวลาทั้งสิ้น 15 นาที ซึ่งผู้วิจัยได้ให้นักเรียนทำการศึกษาสถานการณ์เป็นเวลา 3 นาที แล้วจึงทำการระบุปัญหาของสถานการณ์ลงในใบกิจกรรม

จากการสังเกตการจัดการเรียนรู้ในระหว่างการดำเนินกิจกรรมพบว่า นักเรียนมีความสับสนในการระบุปัญหา และเกิดคำถามว่าปัญหาของสถานการณ์เป็นอย่างไร โดยนักเรียนมีความสงสัยว่า

....ครูคะ ปัญหาของสถานการณ์เป็นยังไง ต้องทำการระบุอย่างไร และเงื่อนไขต่างๆ ที่สถานการณ์บอกมาถือว่าเป็นปัญหาด้วยหรือไม่

(นักเรียน, แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม, 6 กุมภาพันธ์ 2561)

...เวลาที่กำหนดให้เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองอาคารถือว่าเป็นเงื่อนไขหรือเปล่าคะ

(นักเรียน, แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม, 6 กุมภาพันธ์ 2561)

ผู้วิจัยจึงได้ทำการชี้แจงให้แก่นักเรียนทุกคนทราบโดยให้นักเรียนทุกคนหยุดการทำกิจกรรมและรับฟังรายละเอียด ซึ่งผู้วิจัยได้ชี้แจงว่า ปัญหาของสถานการณ์ก็คือข้อจำกัดและเงื่อนไขต่างๆ ที่สถานการณ์กำหนดทั้งหมด โดยอาจจะแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ปัญหาที่บอกวัตถุประสงค์ของการดำเนินกิจกรรมในครั้งนั้นว่าสถานการณ์ต้องการให้ผู้เรียนทำอะไรบ้าง ซึ่งผู้เรียนจะทราบเป้าหมายในการทำกิจกรรมจากตรงส่วนนี้ และปัญหาที่แสดงเงื่อนไขและข้อจำกัดสำหรับการดำเนินกิจกรรมในนั้น คือ ส่วนที่บอกว่าในการทำกิจกรรมให้บรรลุตามวัตถุประสงค์นั้นนักเรียนจะต้องดำเนินกิจกรรมภายใต้ข้อกำหนดอะไรบ้าง ตัวอย่างเช่น ทรัพยากรที่มีอยู่ กระบวนการดำเนินการ การทดสอบประเมินผล เป็นต้น จากนั้นผู้วิจัยจึงได้ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มทำการระบุปัญหาในใบกิจกรรมต่อให้สำเร็จ โดยช่วยกันพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นภายในกลุ่มเป็นเวลา 10 นาที ซึ่งจากการสังเกต พบว่า นักเรียนบางคนไม่เข้าร่วมในการอภิปรายของกลุ่ม โดยนักเรียนเหล่านี้ไม่ได้แสดงความคิดเห็นหรือทำการพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับเพื่อนสมาชิก

ภายในกลุ่ม ผู้วิจัยจึงได้ทำการกระตุ้นนักเรียนโดยการสอบถามนักเรียนเป็นรายบุคคลเกี่ยวกับสถานการณ์ที่กำหนดมาให้ว่าสถานการณ์นั้นมีรายละเอียดเป็นอย่างไร นักเรียนตรวจพบเงื่อนไขอะไรบ้าง ซึ่งนักเรียนก็สามารถตอบคำถามได้บ้างแต่ยังไม่ครบสมบูรณ์ มีการสอบถามเพิ่มเติมจากเพื่อนคนอื่น หรือนำเอาสถานการณ์มาอ่านเพื่อค้นหาคำตอบที่ครูถาม เมื่อครบเวลาที่กำหนดผู้วิจัยก็ได้ทำการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ในขั้นต่อไปในทันที แต่เมื่อมีการตรวจสอบใบกิจกรรมในภายหลัง พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่ทำการระบุปัญหาด้วยข้อความที่กว้าง เช่น จำกัดอุปกรณ์ในการสร้าง มีเวลาจำกัด เป็นต้น โดยนักเรียนไม่ได้ระบุเงื่อนไขที่เจาะจงเฉพาะกับสถานการณ์ในครั้งนี้ ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นในครั้งนี้อาจมาจากการที่ผู้วิจัยต้องการรักษาเวลาและรีบดำเนินการต่อในขั้นการจัดการเรียนรู้ถัดไป ไม่ได้มีการตรวจสอบการตอบคำถามของนักเรียนก่อนทำการดำเนินกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ต่อไป

ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

ในขั้นนี้ผู้วิจัยได้กำหนดแผนการจัดการเรียนรู้ไว้ว่าจะให้นักเรียนทำการวิเคราะห์ปัญหาที่ได้รวบรวมไว้ว่ามีส่วนเกี่ยวข้องกับเนื้อหาความรู้ในเรื่องใดบ้าง เพื่อเป็นการกำหนดกรอบสำหรับการทบทวนความรู้และสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติม โดยครูจะเป็นผู้คอยกระตุ้นให้นักเรียนนำปัญหาของสถานการณ์จากนั้นขั้นที่ 1 ทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ และทำการรวบรวมความรู้ที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้ในการสร้างแนวคิดสำหรับแก้ปัญหา โดยนักเรียนแต่ละคนจะต้องช่วยกันสืบค้นข้อมูลและนำเสนอผลการสืบค้นเพื่อใช้ในการอภิปราย ให้เหตุผล และพิจารณาเลือกใช้ข้อมูลที่จำเป็นและมีประโยชน์ต่อการทำกิจกรรมของนักเรียน

ในการดำเนินการจัดการเรียนรู้ผู้วิจัยได้ให้นักเรียนทบทวนความรู้ รวบรวมข้อมูลและสืบค้นความรู้เพิ่มเติม เพื่อใช้ประกอบการสร้างชิ้นงานเพื่อแก้ไขปัญหาของสถานการณ์ โดยให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันนำเสนอและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกัน เพื่อเป็นการรวบรวมข้อมูลให้ได้มากที่สุด โดยมีเวลากำหนดให้ 20 นาที

จากการสังเกตการจัดการเรียนรู้ในระหว่างการดำเนินกิจกรรมพบว่า มีปัญหาในเรื่องของการมีส่วนร่วมในการทำงานร่วมกัน ซึ่งพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่จะแบ่งกันทำงาน คือ จะมีนักเรียนหนึ่งถึงสองคนที่ทำการสืบค้นข้อมูลจากอินเทอร์เน็ตแล้วมาบอกแก่นักเรียนอีกส่วนที่มีหน้าที่รอทำการเขียนบันทึกลงในใบกิจกรรม โดยนักเรียนที่ทำการจดบันทึกนี้มีหน้าที่เพียงแค่ทำการจดบันทึกอย่างเดียว ไม่ได้ร่วมแสดงความคิดเห็นกับข้อมูลที่เพื่อนรวบรวมมาแต่อย่างใด ผู้วิจัยจึงได้ทำการกระตุ้นนักเรียนด้วยการถามนักเรียนว่าจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ มีความรู้ใดบ้างที่

เกี่ยวข้องกับการดำเนินกิจกรรมในวันนี้ ผลปรากฏว่านักเรียนให้คำตอบในแบบที่กำกวม ยังไม่มีความเจาะจง เห็นได้จากคำตอบของนักเรียนที่ตอบว่า

....ความรู้เกี่ยวกับฟิสิกส์ค่ะ
(นักเรียน, แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม, 6 กุมภาพันธ์ 2561)

...ศิลปะคะ เพราะต้องใช้ในการสร้างแบบจำลองให้มีความสวยงาม
(นักเรียน, แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม, 6 กุมภาพันธ์ 2561)

จากข้อมูลดังกล่าว แสดงให้เห็นว่านักเรียนยังไม่สามารถเชื่อมโยงความรู้ที่ได้เรียนรู้ไปให้เข้ากับสถานการณ์ได้ ผู้วิจัยจึงใช้คำถามสอบถามนักเรียนเพิ่มเติมเพื่อเป็นแนวทางและการกระตุ้นนักเรียน โดยถามนักเรียนว่า แล้วความรู้ฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องคือเนื้อหาอะไร นักเรียนจึงตอบว่าเรื่อง สภาพสมดุล แต่ยังไม่สามารถระบุเนื้อที่เกี่ยวข้องโดยตรงได้ ซึ่งจากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้จัดเตรียมการอธิบายความเชื่อมโยงเนื้อหาให้แก่นักเรียนภายหลัง หลังจากเสร็จขั้นนำเสนอ เพื่อให้นักเรียนได้มีแนวทางสำหรับการทำกิจกรรมในครั้งถัดไป

นอกจากนี้ยังพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่จะทำการระบุความรู้ที่เกี่ยวข้องในการทำกิจกรรมว่าเป็นความรู้ในส่วนของวิทยาศาสตร์เท่านั้น ส่วนความรู้ในด้านวิศวกรรมนักเรียนจะระบุเพียงแค่ว่าเป็นขั้นตอนของการออกแบบเพียงอย่างเดียว เช่นเดียวกับความรู้ด้านคณิตศาสตร์ที่จะมีนักเรียนบางกลุ่มเท่านั้นที่มีการกล่าวถึง และจะระบุความรู้ด้านคณิตศาสตร์เพียงแค่ว่าใช้ในการคำนวณเพียงเท่านั้น ส่วนในด้านเทคโนโลยีนักเรียนทุกกลุ่มไม่ได้ระบุว่ามีการใช้เทคโนโลยีในการทำกิจกรรมการเรียนรู้ในครั้งนี้เลย ซึ่งในส่วนนี้อาจจะเป็นผลมาจากการที่ผู้วิจัยใช้คำในการสร้างคำถามที่ยังไม่มีความชัดเจน นักเรียนจึงไม่สามารถระบุความรู้ที่เกี่ยวข้องได้ทั้งหมด นอกจากนี้แล้วจากปัญหาดังกล่าว ครูจึงควรแนะนำให้นักเรียนเห็นถึงบทบาทความสำคัญของสาขาวิชาทั้ง 4 สาขาวิชาว่าทุกสาขาวิชานั้นมีความสำคัญเท่าๆ กัน นักเรียนจะต้องนำความรู้จากทั้ง 4 สาขาวิชานี้มาบูรณาการเพื่อใช้ในการทำกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดสะเต็มศึกษา นอกจากนี้ครูยังต้องเป็นผู้กระตุ้นนักเรียนให้แสดงความคิดเห็นแลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกัน เพื่อเป็นการตรวจสอบ พิจารณาแนวคิดที่ทำการรวบรวมมา เพื่อใช้ในการออกแบบชิ้นงานในขั้นต่อไป

ภาพ 8 นักเรียนทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคาร

ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา

ในขั้นนี้ผู้วิจัยได้วางแผนการจัดการเรียนรู้ไว้ให้นักเรียนได้ทำการออกแบบโครงสร้างอาคารของกลุ่มตนเองโดยนำความรู้ที่ได้รวบรวมมาจากในขั้นที่แล้วมาจัดทำเป็นแนวทางเพื่อออกแบบตัวอย่างของโครงสร้างอาคารโดยการวาดภาพร่างของโครงสร้างอาคารลงในใบกิจกรรม พร้อมทั้งเขียนบรรยายชี้แจงแต่ละส่วนของโครงสร้างว่าคืออะไร สร้างจากวัสดุชิ้นไหน มีไว้สำหรับหน้าที่อะไร โดยครูมีหน้าที่ในการกระตุ้นให้นักเรียนร่วมมือกันวิเคราะห์หาแนวทางในการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคาร โดยพิจารณาถึงความเป็นไปได้และประโยชน์ในการนำแนวคิดนั้นๆ เข้ามาใช้

ในการดำเนินการจัดการเรียนรู้ผู้วิจัยได้ให้นักเรียนได้ร่วมกันทำการวิเคราะห์แนวคิดและออกแบบแบบจำลองโครงสร้างอาคารโดยวาดภาพร่างของแบบจำลองลงในใบกิจกรรม พร้อมทั้งอธิบายแนวทางในการสร้างแบบจำลองและหน้าที่ของแต่ละส่วนในแบบจำลองว่ามีหน้าที่สำหรับอะไร โดยมีระยะเวลากำหนดให้ 20 นาทีสำหรับการทำกิจกรรมในขั้นนี้

จากการสังเกตการจัดการเรียนรู้ในระหว่างการดำเนินกิจกรรมพบว่า นักเรียนบางส่วนทำการคัดลอกแบบจำลองจากในอินเตอร์เน็ตมาใช้ในการสร้างแบบจำลองของกลุ่มตนเอง ยกตัวอย่างเช่น ผู้วิจัยได้ทำการซักถามกลุ่มของนักเรียนว่านักเรียนสร้างแบบจำลองขึ้นมาโดยมีแนวคิดมากจากอะไร นักเรียนก็ตอบว่า

... หนูหารูปจากในอินเทอร์เน็ตแล้วก็วาดตามเลยคะ

(ผู้วิจัย, แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม, 6 กุมภาพันธ์ 2561)

ผู้วิจัยจึงได้ทำการซักถามผู้เรียนเพิ่มเติมว่าแล้วมีส่วนใดบ้างที่ผู้เรียนทำการดัดแปลงหรือปรับเปลี่ยนมาจากตัวอย่างที่ทำการสืบค้นมา เพื่อเป็นการตรวจสอบการสร้างแนวคิดสำหรับการออกแบบแบบจำลองของนักเรียน โดยนักเรียนได้ตอบว่า

...กลุ่มหนูได้เปลี่ยนแบบของฐานใหม่ เพราะคิดว่าจากตัวอย่างในอินเทอร์เน็ตฐานอาจจะไม่แข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักทั้งหมดได้ เพราะพวกหนูต้องการที่จะสร้างแบบจำลองให้สูงที่สุด

(ผู้วิจัย, แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม, 6 กุมภาพันธ์ 2561)

จากข้อมูลดังกล่าว แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีการปรับเปลี่ยนข้อมูลเพื่อให้เข้ากับการสร้างแบบจำลองอาคารของกลุ่มตนเองให้เป็นไปตามที่สถานการณ์กำหนดไว้ ซึ่งในขั้นนี้ครูควรเป็นผ็กระตุ้นให้นักเรียนหาแนวทางในการออกแบบแบบจำลองให้ได้มากและทำการวิเคราะห์ร่วมกันเพื่อหาแนวทางที่ดีที่สุดเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองในขั้นต่อไป

ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา

ในขั้นนี้ผู้วิจัยได้วางแผนการจัดการเรียนรู้ไว้ให้นักเรียนได้ทำการดำเนินการวางแผนการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารตามที่ได้ออกแบบไว้ และลงมือสร้างแบบจำลองออกมาให้บรรลุเป้าหมายที่วางไว้และเป็นไปตามที่สถานการณ์กำหนด ซึ่งนักเรียนจะได้สร้างแบบจำลองอาคารจากหลอดดูดน้ำจำนวน 20 หลอด และดินน้ำมัน 1 ก้อนให้มีความสูงมากที่สุดโดยต้องสามารถตั้งอยู่ได้โดยไม่ล้มลงมาเป็นเวลาอย่างน้อย 1 นาที

จากการสังเกตการณ์จัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยพบว่า เมื่อให้นักเรียนเริ่มต้นสร้างชิ้นงาน นักเรียนก็จะออกมารับอุปกรณ์หน้าชั้นเรียนและลงมือทำการสร้างแบบจำลองในทันทีเพื่อให้เสร็จทันภายในระยะเวลาที่กำหนด โดยผู้วิจัยได้กำหนดระยะเวลาสำหรับใช้ในการสร้างแบบจำลองไว้ที่ 45 นาที ซึ่งนักเรียนทุกกลุ่มก็ได้สร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารตามที่ได้ออกแบบไว้

นอกจากนี้ในการสังเกตการทำกิจกรรมของนักเรียนยังพบว่า เมื่อเหลือเวลาสำหรับการสร้างแบบจำลองอีก 5 นาที ผู้วิจัยจึงได้แจ้งให้กับนักเรียนได้ทราบว่าเหลือเวลาเท่าใด

ปรากฏว่านักเรียนส่วนใหญ่ส่งเสียงดังและขอเวลาเพิ่มเติม ซึ่งเมื่อครบกำหนดเวลานักเรียนมีการต่อรอง อีกทั้งยังขอเวลาเพิ่มเติมจากผู้วิจัย โดยหลายกลุ่มยังสร้างแบบจำลองได้ไม่สำเร็จ ผู้วิจัยจึงพูดคุยกับนักเรียนและเพิ่มเวลาให้กับนักเรียนอีกเป็นเวลา 5 นาที

ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

ในขั้นนี้ผู้วิจัยได้กำหนดแผนการจัดการเรียนรู้ไว้ว่าจะให้นักเรียนได้นำแบบจำลองโครงสร้างอาคารมาทำการทดสอบประสิทธิภาพว่าสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ที่สถานการณ์กำหนดไว้ได้หรือไม่ โดยนักเรียนจะทำการบันทึกผลการทดสอบลงในใบกิจกรรม จากนั้นจึงหาวิธีการปรับปรุงแบบจำลองให้บรรลุวัตถุประสงค์หรือทำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าเดิม แล้วบันทึกวิธีการปรับปรุงแบบจำลองพร้อมทั้งผลการปรับปรุงลงในใบกิจกรรม โดยครูจะเป็นผู้คอยสังเกตการทดสอบแบบจำลองของนักเรียนและคอยกระตุ้นให้นักเรียนนำปัญหาที่พบมาวิเคราะห์เพื่อหาทางพัฒนาแบบจำลอง แล้วบันทึกลงในใบกิจกรรมเพื่อเก็บไว้เป็นข้อมูลสำหรับใช้ในการนำเสนอต่อไป

ในการดำเนินการจัดการเรียนรู้ผู้วิจัยได้ให้นักเรียนนำแบบจำลองโครงสร้างอาคารมาทดสอบเพื่อดูว่าบรรลุตามวัตถุประสงค์ของสถานการณ์หรือไม่ หากมีปัญหาเกิดขึ้นให้นักเรียนรีบทำการแก้ไขโดยทันที พร้อมบันทึกผลการดำเนินการ แต่หากว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมานั้นเป็นไปตามเงื่อนไขที่สถานการณ์กำหนดก็ให้นักเรียนทำการปรับปรุงแบบจำลองของตนเองให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น คือทำให้แบบจำลองนั้นมีความสูงที่มากขึ้นโดยยังสามารถตั้งอยู่ได้ภายในเวลา 1 นาที โดยนักเรียนมีเวลาสำหรับกิจกรรมการเรียนรู้ในขั้นนี้ 20 นาที

จากการสังเกตการจัดการเรียนรู้ในระหว่างการดำเนินกิจกรรมพบว่า เมื่อนักเรียนแต่ละกลุ่มสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารขึ้นมาแล้วก็จะมีการทดสอบว่าแบบจำลองนั้นสามารถตั้งอยู่ได้โดยไม่ล้มเป็นเวลาอย่างน้อย 1 นาทีได้หรือไม่ จากนั้นนักเรียนก็ได้ทำการบันทึกผลว่าผ่านตามเกณฑ์ที่สถานการณ์กำหนดไว้หรือไม่ เมื่อแบบจำลองโครงสร้างอาคารสามารถตั้งอยู่ได้มากกว่า 1 นาทีแล้วนั้นนักเรียนก็มีการทดสอบความสูงของแบบจำลองตนเองโดยการวัดและคาดคะเนเปรียบเทียบความสูงของแบบจำลองกับเพื่อนกลุ่มข้างๆ ว่าของตนเองสูงมากพอหรือยัง และทำการสังเกตแบบจำลองของกลุ่มอื่นๆ ภายในห้องอีกด้วย เพื่อสังเกตแนวทางการสร้างและสังเกตดูความสูงของกลุ่มอื่นๆ ว่าทำออกมาได้ดีหรือไม่ สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางได้อย่างไร จากนั้นนักเรียนจึงทำการบันทึกแนวทางการปรับปรุงชิ้นงานของตนเอง แล้วทำการทดสอบแบบจำลองของตนเองซ้ำอีกครั้งหนึ่ง หลังจากนั้นแต่ละกลุ่มจึงได้นำแบบจำลองโครงสร้างอาคารที่คิดว่าดีที่สุดของตนเองมาทดสอบร่วมกันกับเพื่อนกลุ่มอื่นๆ ทุกกลุ่มในชั้นที่หน้าชั้นเรียน โดยแต่ละกลุ่มจะวางแบบจำลองโครงสร้างอาคารเรียงติดกันไว้ที่พื้น แล้วผู้วิจัยเริ่มทำการจับเวลาถอยหลัง 1

นาที ผลปรากฏว่า มีแบบจำลองโครงสร้างอาคารของนักเรียนจำนวน 2 กลุ่มที่ล้มลงมาไม่สามารถตั้งอยู่ได้ภายในเวลา 1 นาทีที่กำหนด และมี 1 กลุ่มที่ปรับปรุงแบบจำลองโครงสร้างอาคารเสร็จไม่ทันจึงทำให้ความสูงของแบบจำลองมีค่าประมาณเพียง 60 เซนติเมตร ซึ่งหลังจากที่ทำการทดสอบเสร็จสิ้นผู้วิจัยก็ได้ให้กลุ่มที่ชนะเลิศส่งตัวแทนมาอธิบายเหตุผลหรือแนวทางการสร้างแบบจำลองของกลุ่มตนเองว่าทำอย่างไรแบบจำลองนั้นจึงมีความสูงที่สุดและตั้งอยู่ได้โดยไม่ล้มลงมา

ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

ในขั้นนี้ผู้วิจัยได้กำหนดแผนการจัดการเรียนรู้ไว้ว่าให้นักเรียนได้นำข้อมูลที่ทำการบันทึกเกี่ยวกับการดำเนินกิจกรรมในครั้งนี้ลงในใบกิจกรรมมาใช้เป็นข้อมูลเพื่อใช้สร้างแบบนำเสนอหรือโปสเตอร์ ในหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้ ปัญหาหรือเงื่อนไขของสถานการณ์ ความรู้ที่นำมาใช้ในการดำเนินกิจกรรม แนวทางการสร้างชิ้นงานพร้อมภาพร่างของชิ้นงาน ปัญหาที่พบและวิธีปรับปรุงชิ้นงาน และข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับการปรับปรุงงานในอนาคต จากนั้นจึงให้แต่ละกลุ่มส่งตัวแทนออกมาทำการนำเสนอที่หน้าชั้นเรียน และพูดคุยอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียนหลังจบการนำเสนอของแต่ละกลุ่ม

ในการดำเนินการจัดการเรียนรู้ผู้วิจัยได้ให้นักเรียนออกแบบโปสเตอร์ของกลุ่มนักเรียนด้วยตนเองตามหัวข้อที่กำหนดให้ แล้วนำออกมานำเสนอหน้าชั้นเรียนทีละกลุ่ม แล้วกำหนดให้มีการพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันหลังจากที่มีการนำเสนอเสร็จสิ้น โดยผู้วิจัยมีหน้าที่ตรวจสอบการนำเสนอของนักเรียนและคอยกระตุ้นให้ผู้เรียนคนอื่นๆ ที่เป็นผู้รับฟังแสดงความคิดเห็นออกมาหลังจากจบการนำเสนอของแต่ละกลุ่ม โดยมีเวลาให้นำเสนอกลุ่มละ 5 นาที และ 3 นาทีสำหรับการอภิปรายหลังการนำเสนอแต่ละครั้ง สุดท้ายเมื่อมีการนำเสนอครบทุกกลุ่มแล้วผู้วิจัยจะร่วมอภิปรายกับนักเรียนเกี่ยวกับสรุปการดำเนินกิจกรรมและในหัวข้อความสัมพันธ์ของความรู้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ ในการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ในครั้งนี้ว่าเป็นอย่างไร

จากการสังเกตการจัดการเรียนรู้ในระหว่างการดำเนินกิจกรรมพบว่า นักเรียนแต่ละกลุ่มสามารถนำเสนอได้ชัดเจนและตรงตามประเด็นในหัวข้อที่กำหนด แต่ในเรื่องของการพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นหลังการนำเสนอนั้นยังมีปัญหาอยู่คือ นักเรียนแต่ละกลุ่มไม่ชอบที่จะแสดงความคิดเห็น มีเพียงนักเรียนไม่กี่คนเท่านั้นที่นำเสนอความคิดเห็นเพิ่มเติม ผู้วิจัยจึงให้นักเรียนแต่ละกลุ่มเสนอแนะความคิดเห็นทีละกลุ่มหลังจากการนำเสนอจบลง เพื่อให้นักเรียนแต่ละกลุ่มได้เสนอความคิดเห็นและพูดคุยซึ่งกันเพื่อเป็นแนวทางที่แปลกใหม่แก่กลุ่มที่นำเสนอและเป็นประโยชน์แก่นักเรียนทุกคนในชั้นเรียน

ภาพ 9 แสดงตัวอย่างโปสเตอร์นำเสนองานของนักเรียนเรื่อง สมดุลต่อการเลื่อนที่ จุดศูนย์กลางมวล และจุดศูนย์ถ่วง

จากการวิเคราะห์ผลการวิจัยในวงจรปฏิบัติการที่ 1 สามารถสรุปโดยจำแนกตามขั้นการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาได้ดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา การให้ผู้เรียนระบุปัญหาของสถานการณ์ผ่านการศึกษาใบกิจกรรมและร่วมกันอภิปรายพบว่า ผู้เรียนให้ความสนใจในการศึกษาสถานการณ์ แต่ในการนำเสนอความคิดเห็นถึงปัญหาของสถานการณ์กลับได้รับความสนใจน้อย มีการทำงานของนักเรียนเพียง 1 ถึง 2 คนภายในกลุ่มเท่านั้น นอกจากนี้ในใบกิจกรรมยังใช้ภาษาที่กว้างเกินไป ทำให้เกิดความสับสนในการตอบคำถาม ทำให้ผู้เรียนไม่เกิดความชัดเจนในการระบุปัญหาและเงื่อนไขของสถานการณ์

ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ผู้เรียนมีการสืบค้นข้อมูลที่หลากหลายทั้งจากประสบการณ์เดิมที่เคยพบมาก่อนว่าแบบจำลองควรจะเป็นรูปแบบใด หรือทำการค้นคว้าจากในอินเตอร์เน็ต ซึ่งการที่จะทำการค้นคว้าได้ชัดเจนผู้เรียนจะต้องทราบว่าสิ่งที่

ผู้เรียนจะต้องดำเนินการสร้างคือสิ่งใด แล้วจะต้องนำความรู้ใดเข้ามาใช้ในการสร้างชิ้นงาน ซึ่งหากผู้เรียนได้รับความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรมนั้นในระหว่างการดำเนินการจัดการเรียนรู้ก็จะทำให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงและเข้าใจถึงความสำคัญของเนื้อหา แต่หากผู้เรียนศึกษาเนื้อหาที่เกี่ยวข้องมาก่อน ผู้เรียนก็จะไม่สามารถเชื่อมโยงความรู้เก่าเข้ากับตัวสถานการณ์ได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้ผู้เรียนเข้าใจได้อย่างไม่ชัดเจน

ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา ผู้เรียนยังขาดการสื่อสารและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกันภายในกลุ่ม ซึ่งการตัดสินใจเลือกใช้วิธีการแก้ปัญหาก็จะขึ้นอยู่กับผู้เรียนเพียง 1 ถึง 2 คนที่ทำในงานนั้นเท่านั้น

ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา ผู้เรียนทุกคนภายในกลุ่มให้ความสนใจและร่วมมือในการสร้างชิ้นงานเป็นอย่างดี มีการพูดคุย สอบถามรูปแบบในการสร้างชิ้นงาน รวมถึงเสนอแนะเพิ่มเติมถึงการสร้างชิ้นงานโดยประยุกต์ใช้มาจากกลุ่มรอบข้าง

ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการประเมินชิ้นงานของตน และร่วมกันจดบันทึกถึงปัญหาที่กลุ่มตนเองพบ แล้วนำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหารวมถึงการพัฒนาชิ้นงาน แต่ก็มีผู้เรียนบางส่วนที่มีความกระตือรือร้นน้อย ไม่ได้มีส่วนร่วมต่อการพัฒนาชิ้นงานในกลุ่มตนเอง

ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน การนำเสนอผลงานของผู้เรียนยังไม่ครอบคลุมวัตถุประสงค์ของการนำเสนอทั้งหมด ผู้วิจัยจึงทำการสอบถามไปยังผู้นำเสนอเพิ่มเติมเพื่อให้ตอบคำถามที่ครอบคลุมกับวัตถุประสงค์ในการนำเสนอผลทำชิ้นงาน นอกจากนั้นผู้ฟังยังไม่ค่อยได้ให้ความสนใจต่อผู้นำเสนอเท่าที่ควร ยังขาดการตอบโต้ภายหลังการนำเสนอ ผู้วิจัยจึงเข้าร่วมอภิปรายและยกตัวอย่างปัญหาที่ผู้นำเสนอพบแล้วถามแก่ผู้รับฟังว่าจะมีวิธีการแก้ไขปัญหาอย่างไร

นอกจากนั้นผู้วิจัยยังพบปัญหาว่าเวลาที่ใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ไม่เป็นไปตามที่ผู้วิจัยคาดหวังไว้ คือ ในการจัดกิจกรรมใช้เวลามากเกินกว่าที่กำหนดไว้ ซึ่งปัญหาโดยรวมมาจากการที่ผู้เรียนไม่สนใจเวลาที่กำหนดให้ แต่ต้องการเวลาเพิ่มเพื่อที่จะพัฒนาชิ้นงานของตนเองให้ดีที่สุดเพื่อที่จะเป็นผู้ชนะในการทำกิจกรรมครั้งนี้ ดังนั้นการแข่งขันจึงมีส่วนช่วยในการสร้างความกระตือรือร้นในการทำกิจกรรมของผู้เรียนได้ดี แต่ผู้ทำการจัดการเรียนรู้จะต้องทำการควบคุมเวลาให้ได้ ไม่ควรปล่อยให้เกินกว่าระยะเวลาที่กำหนดไว้จนมากเกินไป ทั้งนี้สามารถสรุปแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในวงจรปฏิบัติการต่อไปโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.3 ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

1.3.1 การเขียนวัตถุประสงค์การเรียนรู้ควรเขียนให้สอดคล้องกับพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม ควรเขียนให้มีความชัดเจนและจำแนกตามแต่ละด้าน

1.3.2 ภาษาที่ใช้ในใบกิจกรรมควรเป็นภาษาที่เข้าใจง่าย เพื่อให้นักเรียนได้มีความเข้าใจที่ถูกต้องไม่คาดเคลื่อนไปจากที่วัตถุประสงค์ต้องการ

1.3.3 การรวบรวมข้อมูลของนักเรียนทั้งการระบุปัญหาและการรวบรวมความรู้ที่เกี่ยวข้องควรมีการแจ้งให้นักเรียนทราบว่าควรรวบรวมข้อมูลของตนเองให้ได้มากที่สุดก่อน แล้วจึงนำมาอภิปรายร่วมกับเพื่อน โดยอาจเขียนอธิบายไว้ในใบกิจกรรมหรือชี้แจงแก่นักเรียนก่อนเริ่มต้นการทำกิจกรรม

1.3.4 การกระตุ้นให้เพื่อเรียนเกิดการคิดวิเคราะห์ควรใช้คำถามที่มีความเชื่อมโยง ตัวอย่างเช่น การนำนักเรียนให้วิเคราะห์สถานการณ์เพื่อนำไปสู่การค้นหาเงื่อนไขของสถานการณ์ที่กำหนดไว้

1.3.5 ควรอธิบายขั้นตอนในการทำกิจกรรมให้แก่นักเรียนได้เข้าใจ เพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติกิจกรรมของนักเรียนว่านักเรียนจะมีบทบาทหน้าที่ในการทำสิ่งใดบ้าง

1.3.6 ปรับปรุงเวลาสำหรับแต่ละขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสม และจัดการเวลาที่ใช้ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

1.3.7 หากมีนักเรียนที่เกิดความเข้าใจที่คาดเคลื่อนในการดำเนินกิจกรรม ควรให้ผู้เรียนได้ลองวิเคราะห์ด้วยตนเองก่อน จากนั้นจึงอภิปรายร่วมกันกับนักเรียนเพื่อแก้ไขความเข้าใจที่คาดเคลื่อนนั้น

1.3.8 สถานการณ์ในกิจกรรมการเรียนรู้ควรเพิ่มระดับความซับซ้อนขึ้นไปตามประสบการณ์การเรียนรู้ของผู้เรียน

2. การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา วงจรปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง สมดุลต่อการหมุน

2.1 การเตรียมการจัดการเรียนรู้

การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในวงจรปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง สมดุลต่อการหมุน ได้ทำการจัดการเรียนรู้ให้แก่นักเรียนในวันที่ 13 และ 14 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 จำนวน 4 ชั่วโมง โดยมีผู้มีส่วนร่วมในการสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการนี้คือผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการเรียนรู้ซึ่งเป็นครูผู้มีประสบการณ์สอนในโรงเรียนมากกว่า 10 ปี จำนวน 1 ท่าน และตัวผู้วิจัย โดยในการจัดเตรียมการจัดการเรียนรู้เรื่อง

สมดุลต่อการหมุน ผู้วิจัยได้ทำการจัดเตรียมการจัดการเรียนรู้โดยการศึกษาในเรื่อง สมดุลต่อการหมุน จากเอกสารทางวิชาการต่างๆ จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการศึกษาถึงสถานการณ์ในชีวิตประจำวันที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อดังกล่าวแล้วนำมาสร้างเป็นสถานการณ์ของการจัดการเรียนรู้โดยเลือกสถานการณ์ของการสร้างสะพานแขวน จากนั้นทำการตรวจสอบความสัมพันธ์ของสถานการณ์กับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องอีกครั้งหนึ่งแล้วดำเนินการปฏิบัติตามข้อเสนอแนะจากการสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการที่ 1 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1 ปรับภาษาที่ใช้ในการอธิบายสถานการณ์เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเข้าใจที่คาดเคลื่อน

2.1.2 ปรับภาษาที่ใช้ในการตั้งคำถามให้มีความชัดเจน และชี้แจงรายละเอียดแก่นักเรียนให้ครบถ้วน

2.1.3 ในการระบุปัญหาและรวบรวมความรู้ที่เกี่ยวข้อง ให้นักเรียนแต่ละคนภายในกลุ่มทำการรวบรวมข้อมูลของตนเองให้ได้มากที่สุดก่อน แล้วจึงนำมาแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับสมาชิกคนอื่นๆ ภายในกลุ่ม

2.1.4 เพิ่มความซับซ้อนของสถานการณ์โดยในการจัดการเรียนรู้ครั้งนี้จะไม่มีการกำหนดวัสดุอุปกรณ์ที่ตายตัวแต่จะให้ผู้เรียนมีงบประมาณที่จำกัดและทำการบริหารจัดการงบประมาณในการจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ด้วยตัวนักเรียนเอง

2.1.5 ทำการแจ้งเตือนเวลาที่เหลืออยู่ในการดำเนินกิจกรรมของนักเรียนเป็นระยะเพื่อกระตุ้นนักเรียนและทำให้นักเรียนเตรียมพร้อมสำหรับการจัดการเวลาที่เหลืออยู่อย่างเหมาะสม

2.1.6 ทำการเน้นย้ำการบันทึกผลการทำกิจกรรมของนักเรียนตั้งแต่เริ่มระบุปัญหาจนถึงการทดสอบและปรับปรุงชิ้นงานลงในใบกิจกรรมให้ครบถ้วน

2.2 การดำเนินการจัดการเรียนรู้ และสังเกตการจัดการเรียนรู้

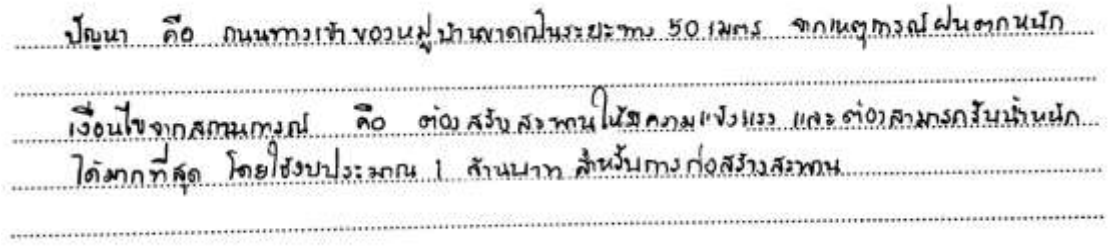
หลังจากที่ผู้วิจัยได้ปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง สมดุลต่อการหมุน และดำเนินการวางแผนการจัดการเรียนรู้เรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามที่ได้วางแผนไว้ทั้ง 6 ขั้นตอน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา

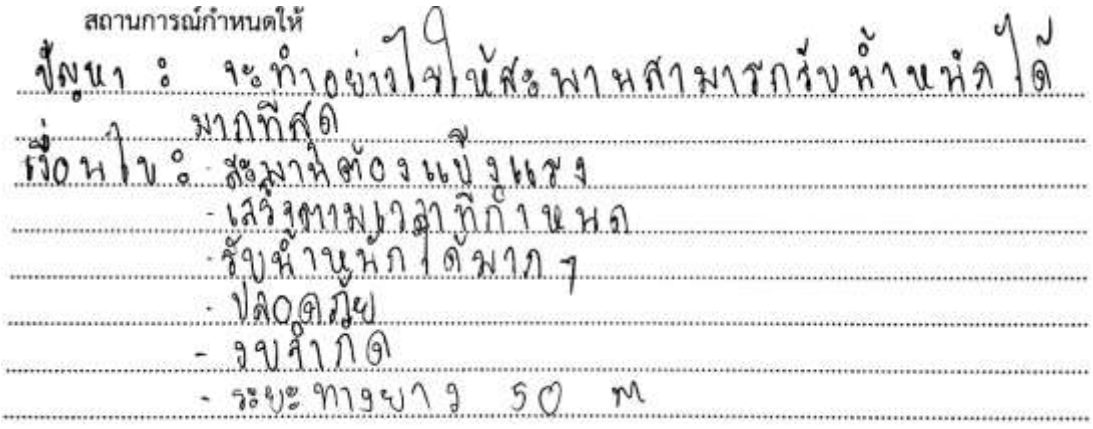
ในขั้นนี้นักเรียนจะได้ศึกษาสถานการณ์เรื่อง สะพานแขวน และทำการวิเคราะห์เงื่อนไขและข้อจำกัดจากสถานการณ์ โดยผู้วิจัยได้ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนออกมารับใบกิจกรรมที่หน้าชั้นเรียน จากนั้นจึงทำการชี้แจงการดำเนินกิจกรรมให้แก่นักเรียนได้เข้าใจขั้นตอนต่างๆ ของการดำเนินกิจกรรม แล้วจึงให้นักเรียนร่วมกันศึกษาสถานการณ์จากในใบกิจกรรม และ

รวบรวมปัญหาของสถานการณ์ด้วยตนเองให้ได้มากที่สุด แล้วนำมาพูดคุยกับเพื่อนในกลุ่มเพื่อหาข้อสรุปและทำการบันทึกผลลงในใบกิจกรรม

จากการสังเกตพบว่า นักเรียนมีการอ่านทำความเข้าใจถึงสถานการณ์ว่ามีการกำหนดเงื่อนไขอะไรบ้าง แล้วจึงจดบันทึกปัญหาที่ตนเองพบลงในสมุดของตัวนักเรียนเองก่อนที่จะมีการนำมาเสนอพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันภายในกลุ่ม ซึ่งนักเรียนสามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ว่า เป้าหมายหลักที่สถานการณ์ต้องการคือการสร้างสะพานแขวนให้มีความแข็งแรง สามารถรองรับน้ำหนักได้มากที่สุดโดยไม่หักงอลงมา ดังภาพ 10



ภาพ 10 ตัวอย่างการระบุปัญหาของกลุ่มนักเรียนที่บันทึกลงในใบกิจกรรม



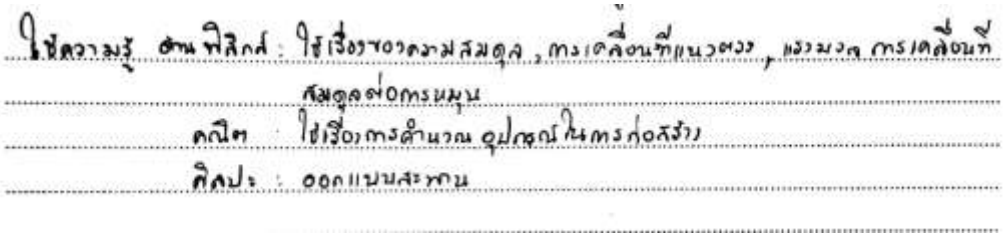
ภาพ 11 ตัวอย่างการระบุปัญหาของกลุ่มนักเรียนที่บันทึกลงในใบกิจกรรม

ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

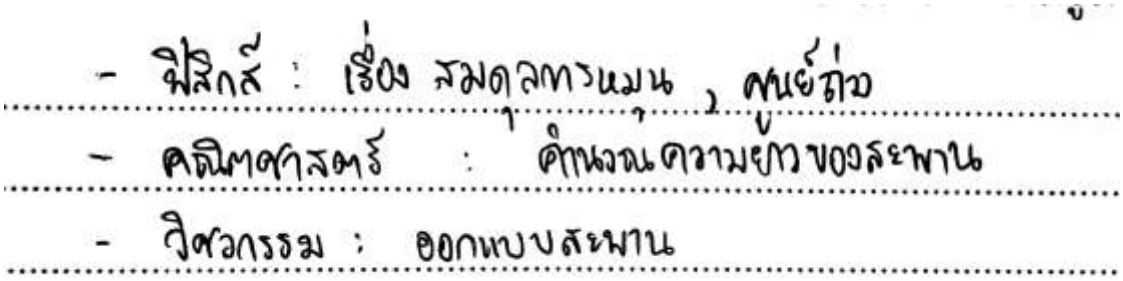
ในขั้นนี้ผู้วิจัยได้ให้ผู้เรียนทำการสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์และมีความจำเป็นในการใช้สร้างสะพานแขวนจากหลอดดูดน้ำให้มีความแข็งแรงและทนทานมากที่สุด โดยผู้วิจัยได้เดินสำรวจผู้เรียนตามแต่ละกลุ่มและคอยใช้คำถามกระตุ้นนักเรียนเพื่อให้นักเรียนรวบรวมความรู้และแนวคิดที่เกี่ยวข้องของตนเองไว้ ตัวอย่างเช่น สมดุลต่อการหมุน โมเมนต์ของแรง โมเมนต์ของแรงคู่ควบ ปัจจัยที่ส่งผลให้สะพานแขวนมีความแข็งแรง และทำการแสดงความ

คิดเห็นออกมาผ่านการพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกัน นอกยังคอยให้การกระตุ้นให้เกิดการนำเสนออภิปรายร่วมกันภายในกลุ่มของนักเรียนเพื่อหาข้อสรุปในการรวบรวมความรู้ที่เกี่ยวข้องลงในใบกิจกรรม

จากการสังเกตพบว่า นักเรียนมีการค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติมจากอินเทอร์เน็ตโดยการใช้โทรศัพท์มือถือ โดยนักเรียนมีการสรุปวางแผนว่าจะทำการค้นหาอะไรบ้าง จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ค้นหามาได้มาเขียนบันทึกไว้เป็นผลการสืบค้นของตนเองก่อนพร้อมทั้งเขียนแหล่งที่มากำกับไว้ จากนั้นเมื่อนักเรียนแต่ละคนรวบรวมข้อมูลไว้เสร็จแล้วจึงเริ่มการอภิปรายภายในกลุ่มเพื่อหาข้อสรุปเกี่ยวกับข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการแก้ไขปัญหาของสะพานแขวน ซึ่งพบว่านักเรียนเรียนในกลุ่มจะช่วยกันนำเสนอแนวคิดที่มีประโยชน์ให้กับเพื่อนร่วมกลุ่มได้ฟัง และยังตั้งใจรับฟังความคิดเห็นของสมาชิกคนอื่นอีกด้วย แต่การรวบรวมข้อมูลของนักเรียนนั้นก็ยังไม่ครอบคลุมทั้ง 4 สาขาวิชาของสะเต็มศึกษา อีกทั้งยังเป็นการตอบคำถามในเชิงกว้างอีกด้วย ดังแสดงในภาพ 12 และ ภาพ 13



ภาพ 12 ตัวอย่างการรวบรวมความรู้ที่เกี่ยวข้องในการสร้างสะพานแขวนของกลุ่มนักเรียนที่บันทึกลงในใบกิจกรรม

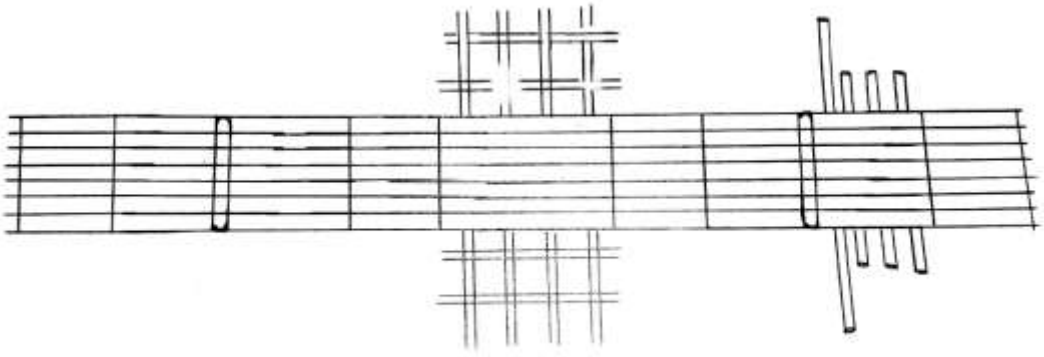


ภาพ 13 ตัวอย่างการรวบรวมความรู้ที่เกี่ยวข้องในการสร้างสะพานแขวนของกลุ่มนักเรียนที่บันทึกลงในใบกิจกรรม

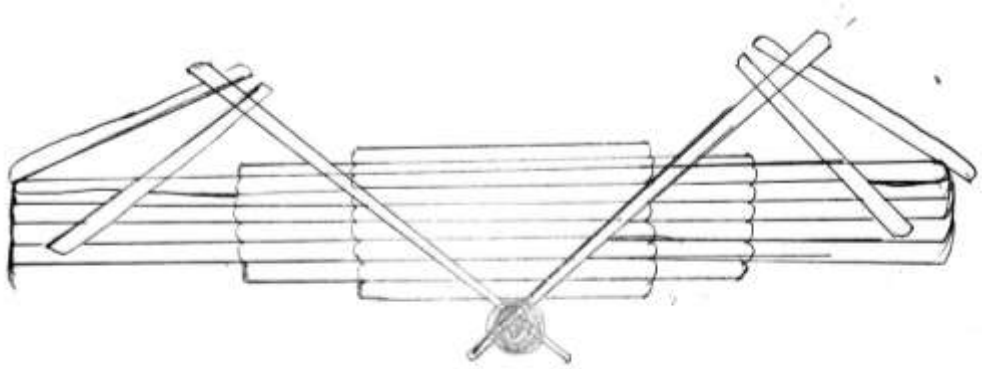
ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา

ในขั้นนี้ผู้วิจัยได้ให้นักเรียนทำการออกแบบโครงสร้างสะพานลงในใบกิจกรรมโดยที่โครงสร้างนั้นผ่านการอภิปรายร่วมกันภายในกลุ่มแล้วว่าควรจะมีรูปร่างเป็นอย่างไร และมีแนวทางในการสร้างอย่างไร ซึ่งนักเรียนจะต้องออกแบบให้สะพานสามารถรับน้ำหนักที่จะบรทุกลงบนตัวสะพานให้ได้มากที่สุดโดยไม่หักงอลงไป ผู้วิจัยจะทำหน้าที่สอบถามข้อมูลกับนักเรียนว่านักเรียนมีจุดมุ่งหมายในการออกแบบแต่ละส่วนของโครงสร้างสะพานอย่างไร แต่ละส่วนนั้นมีความสำคัญอย่างไรบ้าง มีการวางแผนที่จะเลือกซื้อเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์อย่างไร และกระตุ้นให้นักเรียนเขียนใบรายการสั่งซื้ออุปกรณ์ตามความเป็นจริง

จากการสังเกตพบว่า นักเรียนจะเริ่มทำการออกแบบและเขียนโครงร่างของสะพานแขวนซึ่งเกิดจากการอภิปรายร่วมกันและตัดสินใจใช้แนวคิดที่เลือกไว้มาสร้างเป็นสะพานแขวน ดังภาพที่ 12 โดยพบว่านักเรียนคนอื่นๆ ในกลุ่มจะช่วยกันนำเสนอหรือคอยทบทวนให้กับผู้เขียนแบบร่างสะพานแขวนว่าจะต้องสร้างสะพานแขวนอย่างไร อีกทั้งยังมีการเสนอแนะเพิ่มเติมเป็นระยะในระหว่างการร่างแบบสะพานแขวนอีกด้วย ซึ่งเมื่อมีการเสนอแนวคิดออกมาก็จะมีการวิเคราะห์ร่วมกันภายในกลุ่มเพื่อมองถึงความเป็นไปได้ในการใช้แนวคิดนั้นๆ และนอกจากนั้นยังมีการร่วมกันวางแผนในการจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ในการสร้างสะพานแขวน



ภาพ 14 ตัวอย่างแบบร่างของสะพานแขวนที่นักเรียนบันทึกลงในใบกิจกรรม

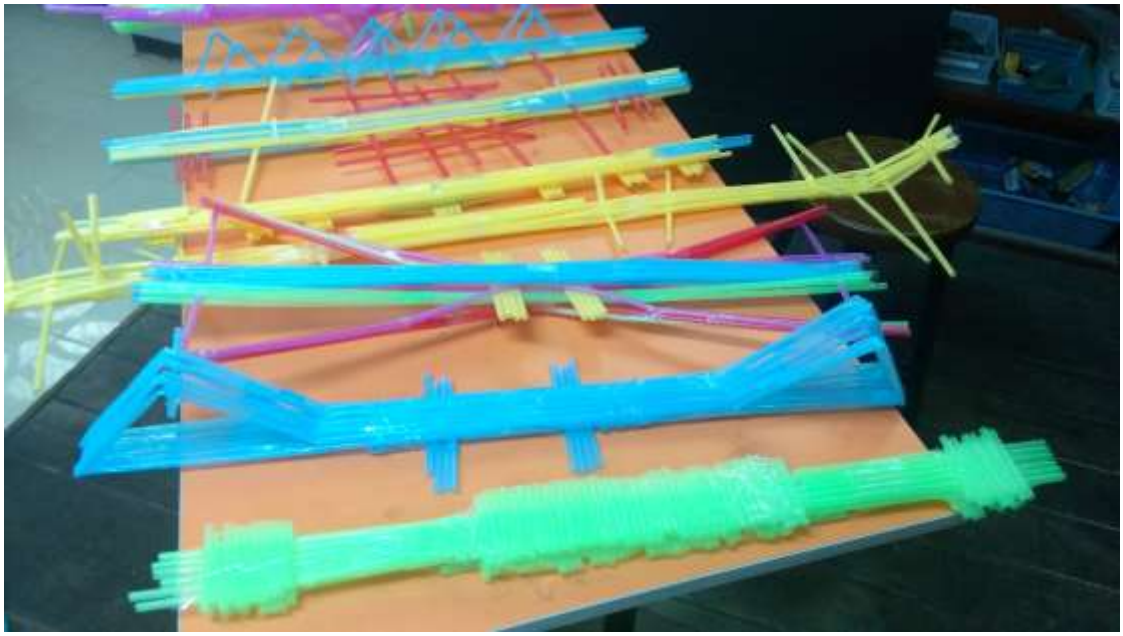


ภาพ 15 ตัวอย่างแบบร่างของสะพานแขวนที่นักเรียนบันทึกลงในใบกิจกรรม

ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา

ในขั้นนี้นักเรียนจะทำการสร้างโครงสร้างสะพานแขวนโดยจะต้องทำการเลือกซื้อวัสดุอุปกรณ์ภายในภายใต้งบประมาณที่มีจำกัด เพื่อให้ได้สะพานแขวนที่แข็งแรงที่สุด ซึ่งใช้งบประมาณไม่เกินที่กำหนดไว้ ซึ่งนักเรียนจะนำใบสั่งซื้ออุปกรณ์ที่ได้วางแผนเอาไว้มาทำการสั่งซื้ออุปกรณ์ที่หน้าชั้นเรียน จากนั้นนำอุปกรณ์ที่สั่งซื้อกลับมาสร้างเป็นแบบจำลองสะพานแขวนขึ้น โดยแต่ละกลุ่มจะมีเวลาในการสร้างสะพานแขวน 50 นาที และเมื่อหมดเวลาทุกกลุ่มจะต้องหยุดและนำสะพานแขวนไปทดสอบในขั้นต่อไป

จากการสังเกตพบว่า ในการสร้างสะพานแขวนของนักเรียนนั้นได้ทำการแบ่งหน้าที่ของแต่ละคนอย่างชัดเจนโดยมีฝ่ายที่จัดทำใบกิจกรรมให้เรียบร้อย มีผู้ออกไปเลือกซื้อวัสดุอุปกรณ์ เมื่อถึงขั้นตอนของการสร้างสะพานแขวนนักเรียนแต่ละคนก็ช่วยกันสร้างสะพานแขวนอย่างกระตือรือร้นทุกคน และมีการพูดคุยภายในกลุ่มในระหว่างการสร้างสะพานแขวนมากขึ้นกว่าในวงจรปฏิบัติการที่ 1 เพื่อเป็นการตรวจสอบความเข้าใจว่าได้ดำเนินการสร้างสะพานตามที่ได้ออกแบบไว้ แต่ก็มีนักเรียนบางกลุ่มที่เปลี่ยนการตัดสินใจในระหว่างที่ทำการสร้างแบบจำลองสะพานแขวนทำให้มีการจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ใหม่และต้องวางแผนการสร้างสะพานแขวนใหม่ภายใต้งบประมาณที่จำกัดกว่าเดิม ซึ่งนักเรียนก็สามารถที่จะสร้างสะพานแขวนออกมาได้สำเร็จลุล่วงตามที่เงื่อนไขกำหนดไว้ได้ครบทุกกลุ่ม



ภาพ 16 ตัวอย่างแบบจำลองสะพานแขวนที่นักเรียนสร้างขึ้น

ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

สำหรับขั้นนี้นักเรียนจะนำสะพานแขวนที่กลุ่มตนเองได้สร้างขึ้นมาไปทดสอบความแข็งแรงโดยการวางแผ่นมวลน้ำหนักลงไปบนตัวสะพาน เพื่อดูความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพานว่าสามารถรองรับน้ำหนักได้สูงสุดเป็นจำนวนเท่าใด มีปัญหาใดบ้างที่เกิดขึ้นแล้วจะส่งผลต่อการรับน้ำหนักของตัวสะพานแขวน จากนั้นนำปัญหาที่พบกับไปแก้ไขแล้วพัฒนาสะพานแขวนของตนเองให้สามารถรับน้ำหนักได้เพิ่มมากขึ้น แล้วทำการจดบันทึกสิ่งที่พบและวิธีการดำเนินการแก้ไขลงในใบกิจกรรม

จากการสังเกตพบว่า นักเรียนจะทำการทดสอบการรับน้ำหนักของสะพานแขวนของกลุ่มตนเองโดยการวางแผ่นมวลน้ำหนักลงไปบนสะพานแขวน ซึ่งนักเรียนทุกกลุ่มกระตือรือร้นในการมองหาปัญหาที่เกิดขึ้นกับสะพานแขวนของตนเองและนำไปปรับปรุงสะพานแขวนของตนเองให้ดียิ่งขึ้นโดยผ่านการปรึกษาและร่วมกันอภิปรายภายในกลุ่ม ซึ่งนักเรียนแต่ละคนก็จะมีมุมมองต่อปัญหาที่แตกต่างกันตัวอย่างเช่น

...เราคิดว่าสะพานของเรามีความยาวที่น้อยเกินไปทำให้เวลาวางแผ่นม้วนแล้วพาลลื่นและไหลตกลงมา

(ผู้วิจัย, แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม, 13 กุมภาพันธ์ 2561)

...ในส่วนตรงกลางของพื้นสะพานแขวนควรที่จะต้องเสริมพื้นของสะพานให้มีความหนามากขึ้นเพื่อให้สามารถรองรับน้ำหนักที่จะวางลงบนสะพานได้มากยิ่งขึ้น

(ผู้วิจัย, แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม, 13 กุมภาพันธ์ 2561)

ซึ่งนักเรียนมีการจดบันทึกปัญหาและวิธีการแก้ไขปรับปรุงสะพานของนักเรียนลงในใบกิจกรรม และผลของการปรับปรุงสะพานแขวนของนักเรียนก็มีผลให้สะพานแขวนของนักเรียนสามารถรองรับน้ำหนักได้มากขึ้นดังแสดงในภาพ 17

ครั้งที่	ผลการทดสอบน้ำหนักที่สะพานรับได้ (กรัม)	ปัญหาที่พบ	สาเหตุของปัญหา	วิธีการแก้ไข	งบประมาณ (บาท)
1	200	สะพานไม่แข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนัก	หลอดน้อยเกินไป	เพิ่มจำนวนหลอด	205,000
2	400	สะพานอ่อนแอเริ่มโค้งๆ	หลอดน้อยเกินไป	เพิ่มจำนวนหลอด เพิ่มเทปใส	300,000
3	600	หลอดแบนขณะรองรับน้ำหนัก	คิดเทปใสน้อยไป	เพิ่มเทปใส	450,000
4	800	หลอดเริ่มหยักออกจากกัน	คิดเทปใสไม่แน่นพอ	เพิ่มเทปใส	555,000
ผลการทดสอบการรับน้ำหนักของสะพาน	น้ำหนักที่สะพานรับได้ 800 กรัม				

ภาพ 17 ตัวอย่างการบันทึกผลการทดสอบแบบจำลองสะพานแขวนของนักเรียน

ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

ในขั้นนี้ผู้วิจัยจะให้นักเรียนนำเสนอผลการทำกิจกรรมของกลุ่มตนเองหน้าชั้นเรียนโดยมีเนื้อหาเกี่ยวกับความรู้ที่จำเป็นในการแก้ไขปัญหาของสถานการณ์ แนวทางการสร้างชิ้นงาน ปัญหาอุปสรรคและวิธีการพัฒนาชิ้นงาน งบประมาณที่ใช้ไป และข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการพัฒนาชิ้นงานในอนาคต

ในการดำเนินการจัดการเรียนรู้ผู้วิจัยได้ให้นักเรียนออกแบบโปสเตอร์ของกลุ่มนักเรียนด้วยตนเองตามหัวข้อที่กำหนดให้ แล้วนำออกมานำเสนอหน้าชั้นเรียนทีละกลุ่ม แล้วกำหนดให้มีการนำเสนอแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันหลังจากที่กลุ่มนำเสนอนำเสนอผลการทำกิจกรรมเสร็จสิ้น โดยให้นักเรียนกลุ่มอื่นที่รับฟังการนำเสนอเสนอความคิดเห็นของกลุ่มตนเองทีละกลุ่ม และผู้วิจัยร่วมอภิปรายกับนักเรียนเกี่ยวกับการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ในครั้งนี้ภายหลังการนำเสนอเสร็จครบทุกกลุ่มแล้ว

จากการสังเกตการจัดการเรียนรู้ในระหว่างการดำเนินกิจกรรมพบว่า เมื่อผู้วิจัยปรับให้มีการแสดงความคิดเห็นถึงข้อเสนอแนะเกี่ยวกับชิ้นงานที่มีการนำเสนอไปจากกลุ่มผู้ฟังแต่ละกลุ่ม ทำให้มีแนวคิดที่หลากหลายเกิดขึ้นซึ่งมีประโยชน์ต่อตัวผู้นำเสนอและผู้รับฟังคนอื่นๆ ในการนำไปใช้ปรับปรุงและพัฒนาชิ้นงานในครั้งต่อไป แต่ก็ยังมีนักเรียนบางกลุ่มที่เสนอแนวคิดไปในทิศทางเดียวกันอยู่บ้าง

ภาพ 18 ตัวอย่างโปสเตอร์นำเสนอของนักเรียน เรื่อง สมดุลต่อการหมุน

จากการวิเคราะห์ผลการวิจัยในวงจรปฏิบัติการที่ 2 สามารถสรุปโดยจำแนกตามขั้นการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาได้ดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา ในวงจรปฏิบัติการนี้ได้ปรับให้นักเรียนทุกคนเขียนระบุปัญหาของตนเองแล้วจึงนำมาเสนอต่อสมาชิกภายในกลุ่มจึงพบว่า ผู้เรียนมีความสนใจและให้ความสำคัญกับการระบุปัญหาของสถานการณ์เพิ่มมากขึ้น แต่ยังมีบางส่วนที่ไม่ค่อยกระตือรือร้นในการแสดงความคิดเห็นเท่าที่ควร นอกจากนี้เมื่อนักเรียนมีความคุ้นชินกับวิธีการจัดการเรียนรู้และเมื่อสถานการณ์มีความซับซ้อนมากขึ้นเมื่อนักเรียนจะต้องจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์การตั้งประมาณที่จำกัด จึงทำให้ได้รับความสนใจจากนักเรียนเพิ่มมากขึ้นเพราะนักเรียนจะต้องตัดสินใจให้ดีว่าจะต้องวางแผนอย่างไรเพื่อที่จะเป็นผู้ชนะในการทำกิจกรรมการเรียนรู้ในครั้งนี้

ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา จากการสะท้อนผลพบว่าผู้เรียนมีการพูดคุยอภิปรายร่วมกันมากขึ้นส่งผลให้เกิดการวิเคราะห์และเสนอแนะแนวคิดใหม่ที่จำเป็นต่อการแก้ไขปัญหาตามสถานการณ์ของกลุ่ม ซึ่งเป็นการช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนได้สืบค้น

แนวคิดแล้วนำมาสร้างเป็นแนวคิดของตนเองจากนั้นจึงนำมาเผยแพร่ให้ผู้อื่นและเข้าใจและร่วมกันตัดสินใจเลือกใช้แนวคิดที่ดีที่สุด

ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา จากการสะท้อนผลในขั้นนี้พบว่า เมื่อสถานการณ์มีความซับซ้อนมากขึ้นผู้เรียนก็คำนึงถึงและให้ความระมัดระวัง และใช้เวลาในการออกแบบวิธีการแก้ปัญหามากขึ้นกว่าในวงจรปฏิบัติการที่ 1 เพื่อให้ผลการทำงานออกมาเป็นไปตามเงื่อนไขที่สถานการณ์กำหนดไว้ อีกทั้งเมื่อสถานการณ์มีความซับซ้อนมากขึ้นผู้เรียนก็ช่วยเหลือกันในการออกแบบสะพานแขวนให้ดีที่สุดหายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้

ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา จากการสะท้อนผลในขั้นนี้พบว่า ผู้เรียนทุกคนให้ความเอาใจใส่ในการสร้างชิ้นงานของกลุ่มตนเอง ให้ความร่วมมือกับสมาชิกภายในกลุ่มเป็นอย่างดี มีการแบ่งฝ่ายเพื่อจัดเตรียมอุปกรณ์ ตรวจสอบเอกสาร และเมื่อเสร็จสิ้นหน้าที่ของตนเองก็มารวมกันเพื่อสร้างสะพานแขวนออกมาให้ดีที่สุด ส่วนเวลาที่ใช้ในการทำกิจกรรมในครั้งนี้เป็นไปตามที่วางแผนไว้ เพราะผู้เรียนเข้าใจถึงกฎกติกาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แล้ว

ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ในขั้นนี้ผู้เรียนจะทำการทดสอบชิ้นงานของตนเอง ซึ่งจากการสะท้อนผลพบว่า ผู้เรียนทุกกลุ่มตั้งใจที่จะหาข้อบกพร่องของชิ้นงานตนเองให้ได้มากที่สุดเพื่อที่จะดำเนินการพัฒนาปรับปรุงชิ้นงานของตนเองให้มีความแข็งแรงและคงทนมากที่สุด ซึ่งผู้เรียนแต่ละคนก็จะนำเสนอแง่มุมความคิดของตนเองที่ได้พบกับปัญหาและแนะนำวิธีการปรับปรุงสะพานแขวนให้กับสมาชิกภายในกลุ่ม และในส่วนนี้ก็เป็นเหตุให้เกิดการใช้เวลาที่มากเกินไปจึงทำให้ระยะเวลาในการจัดกิจกรรมนั้นเกินที่กำหนดไว้ ซึ่งในสุดท้ายแล้วผู้เรียนทุกกลุ่มก็สามารถสร้างสะพานแขวนที่ผ่านเงื่อนไขที่กำหนดไว้ได้อย่างเรียบร้อยทุกกลุ่ม

ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน จากการสะท้อนผลพบว่า เมื่อมีการจัดให้ผู้เรียนนำเสนอแนวทางการพัฒนาชิ้นงานต่อในอนาคต และให้มีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทีละกลุ่มภายหลังการนำเสนอ ทำให้ผู้เรียนทุกคนมีส่วนร่วมในการนำเสนอแต่ละครั้ง และในการอภิปรายก็ก่อให้เกิดแนวคิดใหม่ที่บางกลุ่มคาดไม่ถึงและจดบันทึกไว้เพื่อนำไปใช้ในโอกาสต่อไป

หลังจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้พบว่า ผู้เรียนส่วนใหญ่สามารถระบุปัญหาที่เกี่ยวข้องจับสถานการณ์ได้แต่ก็มีบางกลุ่มที่ยังขาดเงื่อนไขบางส่วนอยู่แต่ในภาพรวมแล้วก็สามารถที่จะระบุปัญหาได้ ในส่วนของการรวบรวมข้อมูลและออกแบบการแก้ไขปัญหาผู้เรียนก็มีส่วนร่วมในการสื่อสารภายในกลุ่มมากยิ่งขึ้น และเมื่อมีการสร้างชิ้นงานออกมา ผู้เรียนก็จะช่วยกันทดสอบ

ปรับปรุง และพัฒนาชิ้นงานให้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้สามารถสรุปแนวทางการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในวงจรปฏิบัติการต่อไปโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3 ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

2.3.1 อาจมีการนำเข้าสู่บทเรียนโดยการสร้างความสนใจโดยให้นักเรียนได้ดูวิดีทัศน์ของสะพานรูปแบบต่างๆ ว่าสะพานที่มีรูปแบบโครงสร้างที่ต่างกันเมื่อต้องรับน้ำหนักหรือถูกปัจจัยภายนอกอย่างลมพัด จะมีส่วนให้เกิดผลอะไรขึ้นกับตัวสะพานแขวน

2.3.2 สร้างสถานการณ์ให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมโดยตรงเพื่อเสริมสร้างแรงจูงใจในการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้

2.3.3 ผู้วิจัยควรจัดการเวลาให้เหมาะสมกับกำหนดเวลาที่ตั้งไว้ในแต่ละขั้นตอน

2.3.4 ควรให้นักเรียนเป็นผู้ออกแบบการทำกิจกรรมด้วยตนเอง ผู้วิจัยไม่ควรเข้าไปชี้นำแนวทางเว้นแต่ว่านักเรียนขาดความกระตือรือร้น จึงค่อยเข้าไปกระตุ้นให้นักเรียนกลับมามีส่วนร่วมกับการดำเนินกิจกรรม

2.3.5 ผู้สอนควรสรุปเนื้อหาและภาพรวมของการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อให้นักเรียนทราบถึงความสำคัญของการบูรณาการความรู้จากสาขาวิชาต่างๆ

3. การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา วงจรปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง การประยุกต์ใช้สภาพสมดุลในชีวิตประจำวัน

3.1 การเตรียมการจัดการเรียนรู้

การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในวงจรปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง การประยุกต์ใช้สภาพสมดุลในชีวิตประจำวัน ได้ทำการจัดการเรียนรู้ให้แก่นักเรียนในวันที่ 20 และ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2561 จำนวน 4 ชั่วโมง โดยในการจัดเตรียมการจัดการเรียนรู้เรื่อง การประยุกต์ใช้สภาพสมดุลในชีวิตประจำวัน ผู้วิจัยได้ทำการจัดเตรียมการจัดการเรียนรู้โดยการศึกษาเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันที่เกี่ยวข้องกับเรื่องสภาพสมดุล แล้วดำเนินการปฏิบัติตามข้อเสนอแนะจากการสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการที่ 2 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 ปรับเปลี่ยนสถานการณ์ของกิจกรรมโดยให้นักเรียนมีส่วนร่วมโดยตรงจากการให้นักเรียนทุกคนเป็นผู้เข้าแข่งขันเอง

3.1.2 ให้นักเรียนได้ชมวีดิทัศน์ของวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในสภาพสมดุล ทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น

3.1.3 กำหนดสถานการณ์ให้ท้าทายนักเรียนและให้มีความแปลกใหม่เพื่อเปลี่ยนบรรยากาศการเรียนรู้ของนักเรียน และให้นักเรียนมีส่วนร่วมมากขึ้น

3.1.4 กำหนดเวลาให้ชัดเจนมากขึ้น และเคร่งครัดกลับการตรงต่อเวลาในการทำงานของนักเรียน

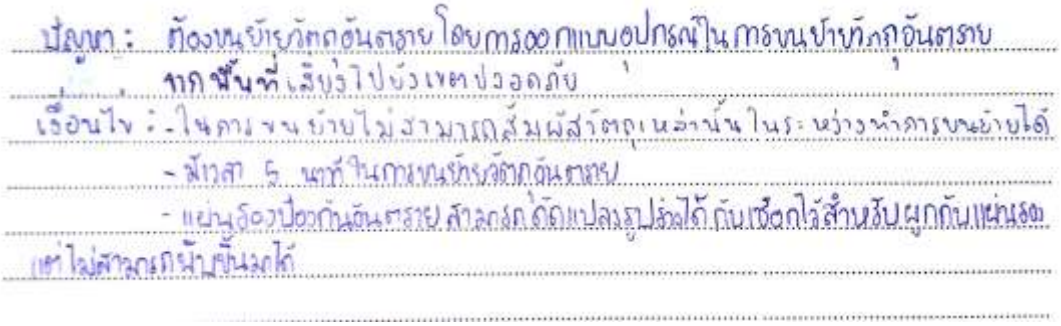
3.2 การดำเนินการจัดการเรียนรู้ และสังเกตการจัดการเรียนรู้

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง การประยุกต์ใช้สภาพสมดุลในชีวิตประจำวัน และดำเนินการวางแผนการจัดการเรียนรู้เรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามที่ได้วางแผนไว้ทั้ง 6 ขั้นตอน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา

ในขั้นนี้ผู้เรียนได้มีความคุ้นชินกับการทำกิจกรรมมาจาก 2 กิจกรรมการจัดการเรียนรู้ก่อนหน้านี้แล้ว ผู้วิจัยจึงทำการกระชับเวลาโดยการสอบถามนักเรียนและแจ้งเวลาให้กับนักเรียนทราบเป็นระยะเพื่อลดปัญหาการใช้เวลาที่มากเกินไป

จากการสังเกตพบว่า ในวงจรปฏิบัติการที่ 3 นี้สถานการณ์ที่กำหนดให้จะให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการแข่งขันเพราะจะต้องทำเครื่องมือที่ใช้ขนส่งลูกบอลจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งเป็นระยะทาง 5 เมตร ภายในระยะเวลา 2 นาที ให้ได้จำนวนมากที่สุด โดยมีข้อแม้ว่าห้ามผู้แข่งขันสัมผัสกับลูกบอลขณะที่ทำการเคลื่อนย้าย ซึ่งพบว่านักเรียนให้ความสนใจในสถานการณ์มากขึ้นเนื่องจากว่านักเรียนจะได้ทำหน้าที่เป็นผู้แข่งขันเอง นักเรียนแต่ละคนจึงร่วมกันอภิปรายหาปัญหาของสถานการณ์และแสดงความคิดเห็นเพื่อหาข้อสรุปลงในใบกิจกรรม



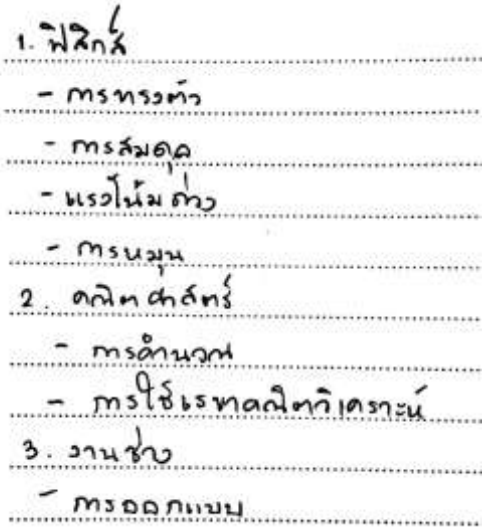
ภาพ 19 ตัวอย่างการระบุปัญหาของนักเรียนในใบกิจกรรม

ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

ในขั้นนี้นักเรียนได้ทำการศึกษาสถานการณ์ที่กำหนดให้แล้วทำการวิเคราะห์สถานการณ์เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นว่าจะต้องทำการสืบค้นหรือรวบรวมความรู้ในเรื่องใดมาใช้

บ้าง หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ทบทวนความรู้ในเรื่องสภาพสมดุลร่วมกันกับนักเรียนในชั้นเรียนว่าสภาพสมดุลแบ่งออกเป็นกี่ประเภท แต่ละประเภทแตกต่างกันอย่างไร รวมถึงจะนำหลักการของสภาพสมดุลมาใช้ได้อย่างไรบ้างพร้อมให้ยกตัวอย่างสิ่งของในชีวิตประจำวันที่เกี่ยวข้องกับสภาพสมดุล จากนั้นจึงให้นักเรียนพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันภายในกลุ่มเพื่อหาข้อสรุปสำหรับความรู้ที่เกี่ยวข้องในการสร้างเครื่องขนย้ายลูกบอลลงในใบกิจกรรมให้เรียบร้อย

จากการสังเกตพบว่า ในขั้นนี้เนื่องจากนักเรียนให้ความสนใจเป็นอย่างมากดังนั้นจึงเป็นแรงกระตุ้นให้แก่นักเรียนในการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องว่าจะต้องใช้หลักการความรู้ใดบ้างเพื่อที่จะนำใช้ในการสร้างชิ้นงาน และนักเรียนแต่ละคนก็นำเสนอความคิดของตนเองให้สมาชิกได้ฟังเป็นจำนวนมาก ซึ่งก็มีทั้งความคิดที่ดูน่าสนใจ และเกิดข้อสงสัย ทำให้มีการพูดคุยวิเคราะห์กันอย่างจริงจัง ซึ่งปรากฏว่านักเรียนทุกคนมีส่วนร่วมในการอภิปรายภายในกลุ่มเป็นอย่างดี ผู้วิจัยจึงได้ทำการเดินสำรวจและสอบถามความคิดเห็นของนักเรียนแต่ละกลุ่ม เพื่อเป็นการตรวจสอบว่านักเรียนแต่ละกลุ่มยังคงอยู่ในระหว่างการดำเนินกิจกรรม

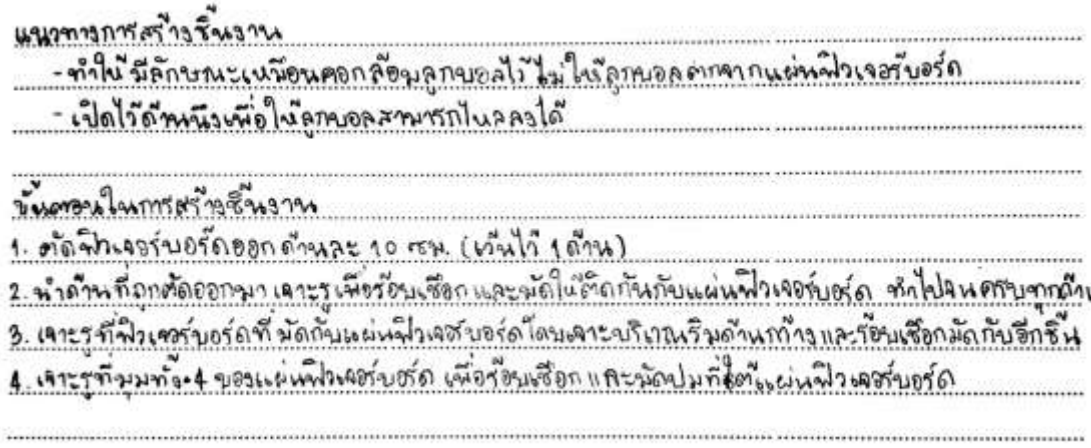


ภาพ 20 ตัวอย่างการรวบรวมความรู้ที่เกี่ยวข้องในการสร้างอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอล

ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา

ในขั้นนี้นักเรียนจะได้ทำการออกแบบเครื่องขนย้ายร่วมกัน โดยนักเรียนจะต้องนำความรู้ที่ได้รวบรวมมา มาออกแบบและวาดภาพร่างของแบบจำลองเครื่องขนย้าย ภายในเวลาที่กำหนด โดยรูปภาพร่างจะต้องแสดงให้เห็นส่วนประกอบต่างๆ อย่างชัดเจน ว่าแต่ละส่วนคืออะไรและทำมาจากสิ่งใด

จากการสังเกตพบว่า นักเรียนจะนำแนวคิดต่างๆ ที่วิเคราะห์ร่วมกันไว้มาใช้ในการออกแบบและเขียนโครงร่างของเครื่องขนย้าย โดยพบว่านักเรียนในแต่ละกลุ่มจะบันทึกข้อความไว้เกี่ยวกับแนวคิดที่จะนำมาใช้สร้างชิ้นงาน จากนั้นจึงร่างภาพชิ้นงานทีละส่วนตามแนวคิดที่ได้อภิปรายกันมาก่อนหน้านี้ลงในใบกิจกรรม



ภาพ 21 ตัวอย่างแนวทางการสร้างอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลของนักเรียน

ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา

ในขั้นนี้นักเรียนจะนำแบบร่างของเครื่องขนย้ายที่ออกแบบไว้มาวางแผนในการสร้าง แล้วดำเนินการสร้างตามที่ได้วางแผนไว้ โดยส่งตัวแทนออกมารับอุปกรณ์หน้าชั้นเรียนซึ่งประกอบไปด้วย แผ่นฟิวเจอร์บอร์ด 1 แผ่น ขนาด 65x80 เซนติเมตร และเชือกป่านยาว 5 เมตร จำนวน 1 เส้น แล้วนำกลับไปสร้างแบบจำลองชิ้นงานขึ้น โดยนักเรียนมีเวลาสำหรับการสร้างเครื่องขนย้าย 50 นาที

จากการสังเกตพบว่า ในการดำเนินการสร้างเครื่องขนย้ายของนักเรียน นักเรียนมีการดำเนินการตามแผนที่ได้วางไว้จากนั้นนักเรียนก็ได้ทำการตรวจสอบผลการดำเนินการอีกครั้งเพื่อความถูกต้อง โดยจะต้องคำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินการ และรักษาเวลาได้อย่างดีโดยการแบ่งหน้าที่การทำงาน และจะมีผู้นำของกลุ่มที่คอยชี้นำและกระตุ้นเพื่อนร่วมกลุ่มให้เร่งทำงาน เนื่องจากการแข่งขันในครั้งนี้มีของรางวัลให้กับผู้ที่ชนะเลิศ อีกทั้งนักเรียนยังสอดแทรกการทดสอบเล็กๆลงในขั้นตอนการทำงานเพื่อร่นระยะเวลาในการทำประเมินชิ้นงานให้สั้นลงอีกด้วย

ภาพ 22 นักเรียนทำการสร้างอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลร่วมกัน

ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

ในขั้นนี้ผู้เรียนจะทำการทดสอบ และปรับปรุงชิ้นงานด้วยตนเองหลังจากที่ทำกิจกรรมในวันแรกเสร็จแล้ว และจะนำชิ้นงานมาแข่งขันในคาบเรียนครั้งต่อไป เพราะด้วยเวลาที่จำกัดการจัดการเรียนการสอนในครั้งต่อไปจะเริ่มต้นด้วยการแข่งขันของผู้เรียนเลย และต่อด้วยการนำเสนอผลการทำกิจกรรม โดยผู้วิจัยได้ให้เวลาแก่นักเรียนในการทดสอบเครื่องขนย้ายของตนเองเป็นนักเรียนสามารถทดสอบได้ทันทีหลังจากที่ทำการสร้างเครื่องขนย้ายเสร็จจนถึงการเรียนในครั้งถัดไปเนื่องจากปัญหาด้านเวลาในการจัดการเรียนรู้ที่ถูกรบกวนไปทำให้เหลือเวลาน้อยลง

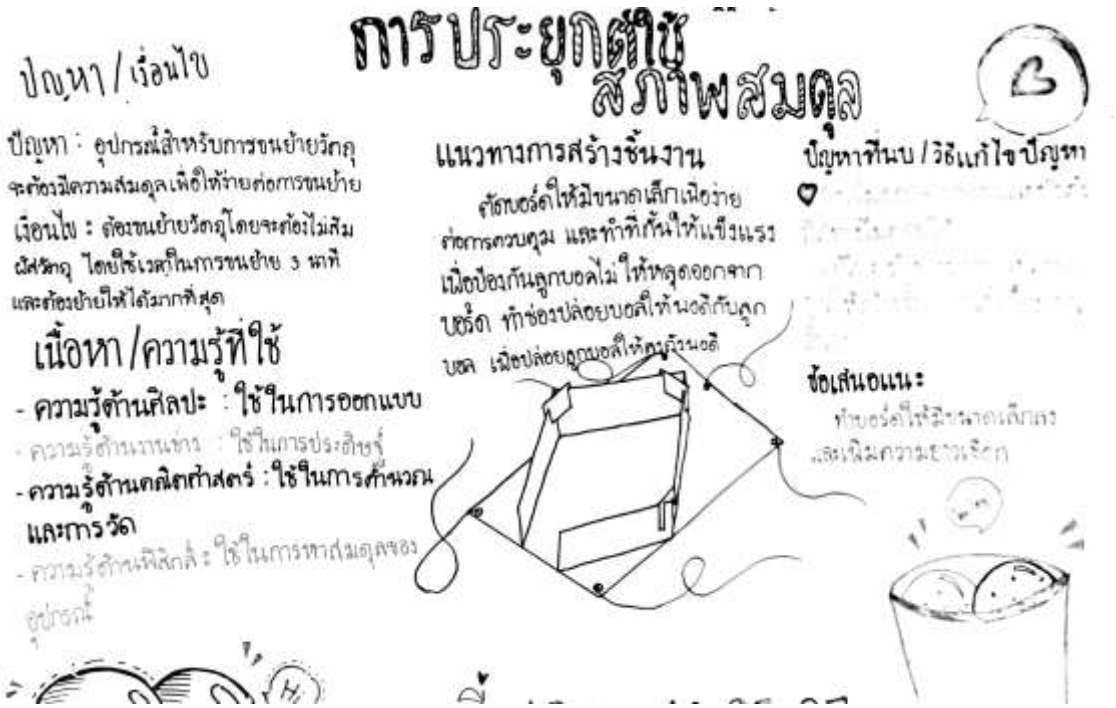
จากการสังเกตพบว่า นักเรียนมีการนำแบบจำลองเครื่องขนย้ายกลับไปปรับปรุงพัฒนามาก่อนเข้าเรียน แต่ส่วนใหญ่แล้วนักเรียนจะทำการเริ่มดัดแปลงชิ้นงานของตนเองตั้งแต่ในขั้นตอนการสร้างแล้ว และส่วนใหญ่นักเรียนจึงทำการทดสอบเพียงครั้งหรือสองครั้งเท่านั้น เมื่อทำการทดสอบเครื่องมือขนย้ายของนักเรียนโดยการให้นักเรียนแข่งขันพร้อมกันครั้งละ 4 กลุ่มโดยให้กลุ่มที่ไม่ได้ลงแข่งขันเป็นผู้วางลูกบอลให้แก่ผู้ที่ทำการขนย้าย ผลปรากฏว่า ทุกกลุ่มสามารถสร้างอุปกรณ์ในการขนย้ายให้สามารถทำงานได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนผลการแข่งขันที่ผลออกมาแตกต่างกันเพราะเนื่องจากตัวนักเรียนที่ทำการแข่งขันทำให้เกิดปัญหาระหว่างการขนย้าย เช่น ทำลูกบอลตกระหว่างทาง ซึ่งในส่วนนี้ก็จะเป็นหัวข้อในการอภิปรายในขั้นนำเสนอต่อไป

ภาพ 23 ตัวอย่างอุปกรณ์ขนย้ายลูกกบอลของนักเรียน

ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

ในขั้นนี้ผู้วิจัยได้ให้นักเรียนนำแบบนำเสนอผลการทำกิจกรรมของกลุ่มตนเองกลับไปทำมาก่อนเริ่มต้นเรียนครั้งต่อไป เนื่องจากเนื้อหาบางส่วนสามารถจัดทำขึ้นมาได้ และสามารถตกแต่งงานนำเสนอมาก่อนเวลาได้เลย แล้วจึงค่อยมาดำเนินการเพิ่มเติมต่อในคาบเรียนหลังจากที่การแข่งขันเสร็จสิ้นลง

จากการสังเกตพบว่า การนำเสนอของนักเรียนนั้นนักเรียนมีประสบการณ์ในการนำเสนอมากขึ้น สามารถนำเสนอได้อย่างรวดเร็วกระชับและได้ใจความ มีการนำเสนอข้อผิดพลาดและเสนอแนะ ให้คำแนะนำที่ตรงจุด สามารถระบุการบูรณาการของความรู้ที่นำมาใช้ในการทำกิจกรรมได้ครอบคลุมมากกว่าในทุกๆครั้งที่ผ่านมา



ภาพ 24 ตัวอย่างโปสเตอร์นำเสนอเรื่อง การประยุกต์ใช้สภาพสมดุลในชีวิตประจำวัน

จากการวิเคราะห์ผลการวิจัยในวงจรปฏิบัติการที่ 3 สามารถสรุปโดยจำแนกตามขั้นการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาได้ดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา เมื่อนักเรียนทราบว่าในการจัดกิจกรรมครั้งนี้มีข้อกำหนดทางด้านเวลาและผู้วิจัยให้ความสำคัญกับการจัดการเวลาของนักเรียนดังนั้นนักเรียนจึงให้ความสนใจและร่วมมือเป็นอย่างดีในการร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับสภาพสมดุลของวัตถุต่างๆ ที่ผู้เรียนได้รับชมผ่านทางวีดีทัศน์ และให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรมกลุ่มอย่างเต็มที่ ไม่มีใครเอาเปรียบเพื่อนโดยปล่อยให้เพื่อนทำงานอยู่เพียงหนึ่งหรือสองคน อย่างที่ได้เห็นมาในวงจรปฏิบัติการครั้งก่อน

ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา จากการสะท้อนผลพบว่านักเรียนสนใจกับกลุ่มของตนเองมากขึ้นมีการพูดคุยและนำเสนอแนวคิดของตนเองให้กับสมาชิกภายในกลุ่มฟังเพื่อที่จะก่อให้เกิดการอภิปรายวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของแนวคิดนั้นๆ เนื่องด้วยความที่ผู้เรียนอยากมีส่วนร่วมกับการทำกิจกรรมในครั้งนี้ จึงเห็นได้ว่านักเรียนมีความก้าวหน้าในการสืบค้นมากขึ้นตามลำดับ

ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา จากการสะท้อนผลพบว่า นักเรียนแต่ละคนจะแบ่งหน้าที่การในการวางแผนชิ้นงานโดยจะมีผู้ที่จดการอภิปรายของกลุ่มและบันทึกไว้เมื่อมีการออกแบบชิ้นงานขึ้นก็จะนำรายการที่จดบันทึกไว้มาสร้างเป็นภาพค่อยๆ เพิ่มเติมรายละเอียดเล็กๆ น้อยๆ ลงไปในตัวชิ้นงาน ซึ่งในวงจรปฏิบัติการครั้งนี้นักเรียนทุกคนมีส่วนร่วมในการแสดงความคิดเห็น รับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น และวิเคราะห์พร้อมทั้งให้คำแนะนำ

ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา จากการสะท้อนผลพบว่า แผนที่นักเรียนวางไว้ในการสร้างชิ้นงานนั้นได้ถูกออกแบบมาอย่างเป็นระบบ และเมื่อผู้วิจัยมีการเน้นย้ำในเรื่องของระยะเวลาจึงทำให้นักเรียนมีแรงกระตุ้นในการทำงานให้เสร็จทันภายในเวลาที่กำหนด นักเรียนทุกคนจึงช่วยกันสร้างชิ้นงานออกมาในแต่ละส่วนแต่ละส่วนตามหน้าที่ที่ได้แบ่งออกไว้

ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ผลการสะท้อนพบว่า การประเมินผลงานของนักเรียนมีการร่วมมือกันจากสมาชิกทุกคนภายในกลุ่มในการแข่งขันขนย้ายลูกบอล และชิ้นงานทุกชิ้นที่ผู้เรียนทุกกลุ่มสร้างขึ้นมาสามารถนำมาใช้ได้จริงตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ในการนำเสนอของนักเรียนจะมีการนำเสนอปัจจัยที่ทำให้เป็นผู้ชนะเพิ่มขึ้นมาและผู้เรียนสามารถวิจารณ์ข้อผิดพลาดของตนเองและทำการเรียนรู้จากข้อผิดพลาดนั้นได้

หลังจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้พบว่า นักเรียนส่วนใหญ่จะมีแรงกระตุ้นเมื่อมีการแข่งขันและของรางวัลเข้ามาเกี่ยวข้อง และจะมีแรงผลักดันหากได้มีส่วนร่วมเป็นส่วนหนึ่งของการแข่งขันนั้นด้วย นอกจากนี้นักเรียนยังสามารถจัดการกับเวลาที่มีอยู่อย่างจำกัดได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังสามารถเรียนรู้จากข้อผิดพลาดของตนเองเพื่อให้เกิดการพัฒนาต่อไป

ตาราง 5 แสดงสรุปประเด็นปัญหาที่สำคัญในแต่ลงวงจรปฏิบัติการตามขั้นการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา						
วงจรปฏิบัติการที่ 1		**วงจรปฏิบัติการที่ 2**		**วงจรปฏิบัติการที่ 3**		**สรุป**
สิ่งที่พบ	**การแก้ไข**	**สิ่งที่พบ**	**การแก้ไข**	**สิ่งที่พบ**	**การแก้ไข**	
ผู้เรียนบางส่วนสับสนในการระบุปัญหาเนื่องจากคำถามยังไม่ชัดเจน	ปรับปรุงภาษาที่ใช้ในการตั้งคำถามในใบกิจกรรมและชี้แจงการดำเนินกิจกรรมและใบกิจกรรมแก่นักเรียนให้ชัดเจน	ผู้เรียนรู้สึกเบื่อกับการศึกษาสถานการณ์	ครูปรับเปลี่ยนวิธีการนำเสนอสถานการณ์ด้วยวิดีทัศน์หรือกิจกรรมเล็กน้อยเพื่อให้เกิดความสนใจแก่นักเรียนก่อนเริ่มกิจกรรม	-	-	ในขั้นนี้จะให้ผู้เรียนจะได้ร่วมกันศึกษาสถานการณ์เพื่อระบุปัญหาหรือเงื่อนไขร่วมกัน โดยผู้สอนควรแบ่งกลุ่มนักเรียนออกเป็นกลุ่มละ 4 ถึง 5 คน ให้คละความสามารถของแต่ละคน จากนั้นผู้สอนจะทำการชี้แจงรายละเอียดการทำกิจกรรมให้ผู้เรียนเข้าใจ แล้วจึงค่อยทำการกระตุ้นความสนใจของผู้เรียน สถานการณ์ที่นำมาใช้ควรเกี่ยวข้องกับสภาพสมดุล เช่น การนำหลักการของจุดศูนย์ถ่วงมาออกแบบโครงสร้างอาคาร จากนั้นจึงให้ผู้เรียนได้ทำการศึกษา

ตาราง 5 (ต่อ)

ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา						
วงจรปฏิบัติการที่ 1		**วงจรปฏิบัติการที่ 2**		**วงจรปฏิบัติการที่ 3**		**สรุป**
สิ่งที่พบ	**การแก้ไข**	**สิ่งที่พบ**	**สิ่งที่พบ**	**การแก้ไข**	**สิ่งที่พบ**	
ผู้เรียนให้ความสนใจต่อการระบุปัญหาและค้นคว้าข้อมูลน้อย	กระตุ้นให้ผู้เรียนแต่ละคนเขียนบันทึกความคิดเห็นของตนเองแล้วนำมาอภิปรายร่วมกันภายในกลุ่ม					(ต่อ) สถานการณ์ที่กำหนดให้แล้วลองวิเคราะห์ปัญหาด้วยตนเอง จากนั้นจึงนำสิ่งที่วิเคราะห์ได้ออกมานำเสนอให้กับสมาชิกภายในกลุ่มได้รับฟังเพื่อหาเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องในการทำกิจกรรมทั้งหมด

ตาราง 5 (ต่อ)

ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง						
วงจรปฏิบัติการที่ 1		**วงจรปฏิบัติการที่ 2**		**วงจรปฏิบัติการที่ 3**		**สรุป**
สิ่งที่พบ	**การแก้ไข**	**สิ่งที่พบ**	**การแก้ไข**	**สิ่งที่พบ**	**การแก้ไข**	
ผู้เรียนคัดลอกแบบจำลองจากการสืบค้นทางอินเทอร์เน็ตและไม่ได้ทำการปรับปรุงประยุกต์ใช้ในการออกแบบชิ้นงาน	กระตุ้นให้ผู้เรียนนำเสนอความคิดของตนเองออกมาและทำการวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียของข้อมูลที่สืบค้นมา	ผู้เรียนบางส่วนยังไม่สามารถสื่อสารแนวคิดของตนเองให้แก่ผู้อื่นได้รับฟัง	กระตุ้นให้ผู้เรียนแต่ละคนเขียนบันทึกความคิดเห็นของตนเองแล้วนำมาอภิปรายร่วมกันภายในกลุ่ม	นักเรียนยังมีข้อโต้แย้งระหว่างการสืบค้นข้อมูลอยู่บ้างในการเลือกใช้ข้อมูลที่ดีที่สุดในการสร้างชิ้นงาน	ครูสอบถามนักเรียนและยกตัวอย่างการวิเคราะห์แนวคิดที่มีการนำเสนอโดยให้ทำรายการและวิเคราะห์ไปแต่ละรายการ	ในขั้นนี้ผู้เรียนจะทำการทบทวนความรู้เดิมและสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแนวคิดใหม่ที่จำเป็นต่อการสร้างวิธีการแก้ไขปัญหาตามที่สถานการณ์ได้กำหนด ผู้สอนอาจมีตัวอย่างของชิ้นงานหรือมีแหล่งข้อมูลเบื้องต้นให้แก่ผู้เรียนได้ลองเข้าไปศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการสืบค้น นอกจากนั้นผู้สอนควรกระตุ้นให้ผู้เรียนแต่ละกลุ่มทำการอภิปรายร่วมกันเพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลความจำเป็นและประโยชน์ต่อการดำเนินกิจกรรม

ตาราง 5 (ต่อ)

ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา						
วงจรปฏิบัติการที่ 1		**วงจรปฏิบัติการที่ 2**		**วงจรปฏิบัติการที่ 3**		**สรุป**
สิ่งที่พบ	**การแก้ไข**	**สิ่งที่พบ**	**สิ่งที่พบ**	**การแก้ไข**	**สิ่งที่พบ**	
ผู้เรียนขาดการสื่อสารในการทำกิจกรรมร่วมกัน	กระตุ้นให้ผู้เรียนมีการสื่อสารภายในกลุ่มเพิ่มมากขึ้น	ใช้เวลาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เกินกว่าที่กำหนดไว้	ผู้วิจัยคอยกระตุ้นให้ผู้เรียนและทำการแจ้งเตือนเรื่องเวลาแก่ผู้เรียนเป็นระยะ	-	-	ในขั้นนี้ผู้เรียนจะได้นำความรู้ที่รวบรวมมามาใช้วางแผนในการสร้างชิ้นงานของตนเอง โดยพิจารณาจากความเป็นไปได้และความสามารถสูงสุดของชิ้นงานที่จะสร้างออกมาภายใต้เงื่อนไขของสถานการณ์ แล้วเขียนแบบร่างลงในใบกิจกรรม เช่น การคำนึงถึงจุดศูนย์ถ่วงของแบบจำลองว่ามีทิศทางผ่านตัวฐานของแบบจำลองหรือไม่หากไม่จะก่อให้เกิดการโค่นล้มของแบบจำลองอาคารได้ นอกจากนั้นนักเรียนยังจะต้องออกแบบแบบจำลองให้เกิดความแปลกใหม่ไม่ซ้ำกับใครเพื่อให้เกิดขึ้นเป็นนวัตกรรมอีกด้วย

ตาราง 5 (ต่อ)

ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา						
วงจรปฏิบัติการที่ 1		**วงจรปฏิบัติการที่ 2**		**วงจรปฏิบัติการที่ 3**		**สรุป**
สิ่งที่พบ	**การแก้ไข**	**สิ่งที่พบ**	**การแก้ไข**	**สิ่งที่พบ**	**การแก้ไข**	
ผู้เรียนบางคนไม่สนใจสมาชิกในกลุ่มขณะทำการสร้างชิ้นงาน	กระตุ้นให้ผู้เรียนในกลุ่มนำเสนอความคิดของตนเองออกมาและทำการวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียของข้อมูลที่สืบค้นเพื่อใช้ในการตัดสินใจสร้างชิ้นงาน	-	-	-	-	ขั้นนี้ผู้เรียนจะลงมือทำชิ้นงานตามที่ได้วางแผนไว้ โดยผู้สอนจะต้องกำหนดระยะเวลาในการสร้างชิ้นงานอย่างชัดเจนและต้องคอยแจ้งเตือนให้กับผู้เรียนได้ทราบเป็นระยะเพื่อที่จะได้เป็นการกระตุ้นให้ผู้เรียนนั้นทำงานให้เสร็จภายในระยะเวลาที่กำหนด

ตาราง 5 (ต่อ)

ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน						
วงจรปฏิบัติการที่ 1		**วงจรปฏิบัติการที่ 2**		**วงจรปฏิบัติการที่ 3**		**สรุป**
สิ่งที่พบ	**การแก้ไข**	**สิ่งที่พบ**	**การแก้ไข**	**สิ่งที่พบ**	**การแก้ไข**	
ผู้เรียนไม่แสดงความคิดเห็นเพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงชิ้นงาน	ให้ผู้เรียนจดบันทึกปัญหาที่พบและวิธีการแก้ไขปัญหาของตนเอง แล้วนำมานำเสนอต่อสมาชิกภายในกลุ่ม	-	-	-	-	ขั้นนี้ผู้เรียนจะนำผลงานที่สร้างสำเร็จแล้วมาทดสอบชิ้นงานเพื่อตรวจสอบและประเมินชิ้นงานว่าบรรลุตามเป้าหมายที่กำหนดไว้หรือไม่ มีปัญหาอะไรบ้าง สามารถแก้ไขและพัฒนาด้วยวิธีการอย่างไร โดยผู้เรียนจะบันทึกผลการพัฒนาชิ้นงานของตนเองไว้ จากนั้นเมื่อมีการประเมินผลผู้เรียนจะบันทึกผลการประเมินของชิ้นงานตนเองว่าประสบความสำเร็จมากน้อยเพียงใด และหากมีการแข่งขันเข้ามาเกี่ยวข้องจะช่วยเป็นแรงผลักดันให้กับผู้เรียนได้มากยิ่งขึ้น-

ตาราง 5 (ต่อ)

ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน						
วงจรปฏิบัติการที่ 1		**วงจรปฏิบัติการที่ 2**		**วงจรปฏิบัติการที่ 3**		**สรุป**
สิ่งที่พบ	**การแก้ไข**	**สิ่งที่พบ**	**การแก้ไข**	**สิ่งที่พบ**	**การแก้ไข**	
ผู้เรียนไม่มีส่วนร่วมในการอภิปรายหลังการนำเสนอ	ใช้คำถามกระตุ้นและให้ผู้เรียนถาม-ตอบ หรือเสนอแนะทีละกลุ่มสืบค้นเพื่อใช้ในการตัดสินใจสร้างชิ้นงาน	ผู้เรียนนำเสนอผลการทำกิจกรรมไม่ทัน	กระชับเวลาที่ใช้ในการอภิปรายให้มากขึ้น โดยผู้วิจัยใช้คำถามกระตุ้นเพื่อให้ผู้เรียนเสนอความคิดออกมา	-	-	ขั้นนี้จะเป็นการนำเสนอผลการทำกิจกรรมของผู้เรียน โดยผู้เรียนจะนำเสนอแนวคิดในการสร้างชิ้นงานของตนเอง ปัญหาที่พบระหว่างการพัฒนาชิ้นงาน แนวทางการปรับปรุงและแก้ไขผลการดำเนินงาน สิ่งที่ได้เรียนรู้ ผู้สอนควรให้มีการเสนอแนะจากผู้ฟังทีละกลุ่มเพื่อเป็นการกระตุ้นให้ผู้ฟังนั้นเกิดความสนใจและมีส่วนร่วมในการอภิปรายหลังการนำเสนอ เพื่อให้เกิดแนวทางที่นำไปสู่แนวคิดใหม่ๆจากมุมมองอื่นที่ไม่ใช่มุมมองของผู้สร้างชิ้นงานเพียงอย่างเดียว

ดังนั้นจากตาราง 5 จึงสามารถสรุปขั้นตอนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาได้ดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา

เป็นขั้นตอนของการทำความเข้าใจและวิเคราะห์ปัญหาจากสถานการณ์ เพื่อกำหนดเป็นประเด็นปัญหาที่ต้องทำการแก้ไขผ่านการพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันภายในกลุ่ม ซึ่งจะเป็นสิ่งที่ช่วยฝึกให้ผู้เรียนเกิดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในด้านการคิดอย่างสร้างสรรค์ผ่านการคิดวิเคราะห์สถานการณ์แล้วทำการตรวจสอบและการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์โดยการนำเสนอความคิดเห็นและรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น

ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

ในขั้นนี้จะเปิดกว้างให้ผู้เรียนได้มีโอกาสทบทวนเนื้อหาความรู้ที่ได้รับการศึกษาไปและทำการสืบค้นเพิ่มเติมจากแหล่งการเรียนรู้ต่างๆเพื่อมาใช้ในการแก้ปัญหา โดยผู้สอนจะคอยให้คำแนะนำแก่นักเรียนถึงการตัดสินใจเลือกนำความรู้มาใช้ในการแก้ปัญหา แต่จะไม่แนะนำไปในเชิงชักจูงให้แก่ผู้เรียน ซึ่งจะเป็นสิ่งที่ช่วยฝึกให้ผู้เรียนเกิดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในด้านการคิดอย่างสร้างสรรค์ผ่านการคิดวิเคราะห์วัตถุประสงค์และเงื่อนไขของสถานการณ์แล้วทำการสืบค้นเพิ่มเติม และการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์โดยการนำเสนอความคิดเห็นและรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น

ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา

ขั้นนี้ผู้เรียนจะถ่ายทอดแนวคิดของการแก้ปัญหา ซึ่งสามารถทำได้ด้วยการพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเพื่อสื่อสารแนวคิดให้ผู้อื่นเข้าใจ แล้วหาข้อสรุปเพื่อออกแบบแบบร่างของชิ้นงาน ซึ่งจะเป็นสิ่งที่ช่วยฝึกให้ผู้เรียนเกิดความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในด้านการคิดอย่างสร้างสรรค์ผ่านการสร้างแนวคิดที่ตนเองสร้างขึ้นมาสำหรับออกแบบชิ้นงาน และการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์โดยการนำเสนอความคิดเห็นและรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่นเพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงแนวคิดเพื่อนำมาใช้ให้เข้าชิ้นงานของกลุ่มตนเอง

ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา

ในขั้นนี้ผู้เรียนจะนำแบบที่ร่างไว้มาสร้างขึ้นเป็นชิ้นงานจริง ผู้สอนควรจะมีกำหนดเวลาที่ให้กับผู้เรียนในการสร้างชิ้นงานอย่างชัดเจนเพื่อป้องกันการใช้เวลาเกินกว่าที่กำหนดและคอยสอบถามความคืบหน้าในการทำงานของผู้เรียนและแจ้งเตือนระยะเวลาที่เหลืออยู่ให้กับผู้เรียนได้ทราบเป็นระยะ นอกจากนี้ผู้สอนสามารถให้คำแนะนำกับผู้เรียนได้ ช่วยให้คำปรึกษาชี้นำ

ให้ผู้เรียนได้เห็นถึงจุดเด่นหรือว่าจุดด้อยของงานตนเองก่อนที่จะลงมือปฏิบัติจริง แต่ต้องลองให้ผู้เรียนได้แก้ไขปัญหาด้วยตนเองก่อน

ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

ขั้นตอนนี้ผู้เรียนจะได้ทำการทดสอบ ปรับปรุง แก้ไขชิ้นงานของตนเองว่ามีข้อผิดพลาดใดเกิดขึ้นหรือไม่ สามารถทำให้ชิ้นงานนั้นพัฒนาขึ้นได้อย่างไร ซึ่งตรงนี้จะทำให้ผู้เรียนเรียนรู้จากข้อผิดพลาดและทำการหาทางออกด้วยตนซึ่งจะพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในส่วนของการทำงานร่วมกันอย่างสร้างสรรค์ในเรื่องของการเรียนรู้จากข้อผิดพลาด ซึ่งผู้สอนอาจเป็นที่ปรึกษาให้ได้เมื่อผู้เรียนไม่สามารถแก้ไขปัญหาด้วยตนเองได้โดยการแนะนำแนวทางบางส่วน

ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

ในขั้นตอนนี้ผู้เรียนจะได้ทำการสร้างโปสเตอร์นำเสนอและทำการนำเสนอผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ซึ่งเป็นขั้นตอนที่อาศัยทักษะการสื่อสารของผู้เรียนให้แก่ผู้อื่นได้เข้าใจ ซึ่งจะช่วยให้เกิดการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์ด้านการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์

ตอนที่ 2 ผลการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม เรื่อง สภาพสมดุล จากการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

ในการนำเสนอผลการวิจัยในหัวข้อความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระหว่างการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษามีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอผลการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนที่เกิดจากการได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา โดยผู้วิจัยได้แบ่งการนำเสนอตามองค์ประกอบของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม ได้แก่ 1) การคิดอย่างสร้างสรรค์ 2) การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ 3) การสร้างสรรค์นวัตกรรม โดยในแต่ละองค์ประกอบผู้วิจัยได้นำเสนอ การพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนโดยเรียงตามวงจรปฏิบัติการทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการที่ได้จัดการเรียนรู้ในหัวข้อ สมดุลต่อการเลื่อนที่ จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วง สมดุลต่อการหมุน และการประยุกต์ใช้สภาพสมดุลในชีวิตประจำวัน ตามลำดับ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การจัดการเรียนรู้ในแต่ละวงจรปฏิบัติการจะมีการแบ่งกลุ่มนักเรียนเพื่อทำกิจกรรมทั้งหมด 10 กลุ่ม และจะมีการเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ ในรูปแบบของกลุ่มซึ่งจะเป็นการเปรียบเทียบพฤติกรรมที่แสดงออกถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของกลุ่มนักเรียน โดย

ทำการศึกษาเปรียบเทียบการพัฒนาของนักเรียนในแต่ละวงจรปฏิบัติการ ซึ่งมีรายละเอียดดังตาราง 6

ตาราง 6 แสดงจำนวนนักเรียนที่มีพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในแต่ละองค์ประกอบของวงจรปฏิบัติการต่างๆ

องค์ประกอบของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม	**จำนวนกลุ่มของนักเรียนที่มีพฤติกรรมที่แสดงถึงการมีความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม**		
	วงจรปฏิบัติการที่ 1	วงจรปฏิบัติการที่ 2	วงจรปฏิบัติการที่ 3
1. การคิดอย่างสร้างสรรค์			
1.1 มีการใช้เทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิด	-	3	8
1.2 สร้างสรรค์แนวคิดที่ใหม่และมีคุณค่าทั้งจากแนวความคิดเดิมหรือแนวความคิดใหม่	4	5	10
1.3 มีการตรวจสอบ แก้ไข วิเคราะห์ และประเมินแนวคิดที่นำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนางาน	2	3	6
2. การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์			
2.1 พัฒนา ปฏิบัติและสื่อสารแนวคิดใหม่ๆ ให้ผู้อื่นได้เข้าใจอย่างมีประสิทธิภาพ	-	5	8
2.2 รับฟัง และยอมรับความคิดเห็นจากผู้อื่นพร้อมทั้งสะท้อนผลที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน	-	3	7

ตาราง 6 (ต่อ)

องค์ประกอบของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม	**จำนวนกลุ่มของนักเรียนที่มีพฤติกรรมที่แสดงถึงการมีความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม**		
	วงจรปฏิบัติการที่ 1	วงจรปฏิบัติการที่ 2	วงจรปฏิบัติการที่ 3
2.3 นำเสนอความคิดเริ่มต้นและความคิดที่สร้างสรรค์ขึ้น รวมทั้งทำความเข้าใจกับข้อจำกัดที่มีอยู่เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแนวคิดใหม่	-	5	10
2.4 เรียนรู้จากข้อผิดพลาด เนื่องจากความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและการสร้างนวัตกรรมเป็นทักษะที่ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้และทำซ้ำจนเกิดผลสำเร็จ	2	9	9
3. การสร้างสรรค์นวัตกรรม			
นำแนวคิดที่มีมาสร้างขึ้นเป็นชิ้นงานที่มีความแปลกใหม่ ไม่ลอกเลียนแบบใครและสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ตริง	3	10	10

จากตาราง 6 จะเห็นได้ว่านักเรียนมีการพัฒนาขึ้นในทุกๆ องค์ประกอบของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมตามลำดับของวงจรปฏิบัติการ โดยในส่วนของด้านการสร้างสรรค์นวัตกรรมนักเรียนมีพัฒนาการมากที่สุดคือ นักเรียนทุกกลุ่มสามารถสร้างชิ้นงานให้ผ่านตามวัตถุประสงค์ที่สถานการณ์กำหนดได้ครบทุกกลุ่มตั้งแต่วงจรปฏิบัติการที่ 2 แต่ว่าในเรื่องของความแปลกใหม่ของชิ้นงานนั้นยังคงมีนักเรียนที่สร้างชิ้นงานออกมาในรูปแบบเดียวกันอยู่บ้าง ส่วนในวงจรปฏิบัติการที่ 3 นั้นรูปแบบของชิ้นงานที่นักเรียนสร้างขึ้นแม้ว่าจะมีหลักการทำงานที่อาจจะคล้ายกันแต่รูปแบบของชิ้นงานนั้นมีความแตกต่างกันซึ่งนักเรียนแต่ละกลุ่มสามารถอธิบายการทำงานของชิ้นงานตนเองในส่วนตรงนี้ได้อย่างชัดเจน

ส่วนในด้านของการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ ผู้เรียนมีการพัฒนาในแต่ละองค์ประกอบย่อยมากขึ้นตามลำดับของวงจรปฏิบัติการ แต่ในส่วนของการเรียนรู้จากข้อผิดพลาดที่มีจำนวนลดลงในวงจรปฏิบัติการที่ 3 เนื่องจากว่าผู้เรียนกลุ่มที่หายไปนั้นทำการทดสอบชิ้นงานของตนเองแล้วแต่ไม่ได้ทำการพัฒนาปรับปรุงชิ้นงานของตนเอง โดยมองว่าปัญหาที่พบนั้นสามารถแก้ไขได้ด้วยการระมัดระวังไม่ให้ลูกบอลกลิ้งไถลลงมาโดยตัวของผู้เรียนเองจะคอยออกแรงยกอุปกรณ์ขนย้ายในแต่ละด้านให้สมดุลเพื่อให้อยู่ในแนวระนาบ แต่ผลที่เกิดขึ้นในระหว่างทำการขนย้ายคือลูกบอลเกิดไถลลงมาและทำให้การขนย้ายลูกบอลของนักเรียนกลุ่มนี้ทำไปได้เพียง 6 ลูกเท่านั้น นอกจากนั้นในองค์ประกอบย่อยอื่นๆ เช่น การรับฟังและนำเสนอความคิดเห็นของผู้เรียนที่ไม่มีจำนวนผู้เรียนที่เกิดพฤติกรรมที่แสดงออกถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเนื่องมาจากในการดำเนินกิจกรรมของผู้เรียนนั้นมีตัวแทนของกลุ่มที่ทำงานอยู่เพียงคนเดียวหรือ 2 คนเท่านั้น จึงไม่เกิดพฤติกรรมนี้ในระหว่างการดำเนินกิจกรรมขึ้น

ในด้านการคิดอย่างสร้างสรรค์ผู้เรียนเกิดการพัฒนาขึ้นตามลำดับของวงจรปฏิบัติการแต่ในส่วนของการตรวจสอบ แก้ไข วิเคราะห์ และประเมินแนวคิดที่นำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนางานนั้นยังมีจำนวนผู้เรียนที่แสดงพฤติกรรมออกมาน้อยเนื่องจากผู้เรียนไม่ได้มีการวิเคราะห์แนวคิดร่วมกัน หากแต่ว่ามีการนำเสนอแนวคิดจากเพื่อนเพื่อเพิ่มเติมรายละเอียดของชิ้นงานเท่านั้นแล้วทำการนำมาใช้กับชิ้นงานเลย โดยไม่ได้ทำการพูดคุยวิเคราะห์ร่วมกันก่อน

ผลการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรค์และนวัตกรรมจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การคิดอย่างสร้างสรรค์

สำหรับองค์ประกอบของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้านการคิดสร้างสรรค์ผู้วิจัยได้ทำการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาโดยศึกษาพฤติกรรมของนักเรียนในด้านการคิดสร้างสรรค์ ดังต่อไปนี้

1.1 การใช้เทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิด

นักเรียนจะต้องนำเทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิด เช่น การระดมสมอง (Brainstorms) การใช้ผังมโนทัศน์ (Mind mapping) หรือการร่วมมือ (Collaboration) เป็นต้น มาใช้ในการวิเคราะห์สถานการณ์ที่กำหนดให้ การรวบรวมความรู้และแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหา รวมไปถึงการสร้างแนวคิดจากการนำความรู้ที่รวบรวมมาเพื่อใช้ในการออกแบบชิ้นงานเพื่อแก้ไขปัญหา โดยในองค์ประกอบย่อยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาในวงจรปฏิบัติการทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ โดยมีรายละเอียดของผลการวิจัยดังต่อไปนี้

วงจรปฏิบัติการที่ 1 เรื่องสมดุลต่อการเลื่อนที่ จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วง

ในองค์ประกอบย่อยนี้นักเรียนจะต้องทำการวิเคราะห์สถานการณ์หรือสร้างแนวคิดขึ้นมาสำหรับใช้ในการแก้ไขปัญหาของสถานการณ์ ซึ่งเป็นการร่วมกันออกแบบแบบจำลองโครงสร้างอาคารโดยอาศัยการนำความรู้เรื่องสมดุลต่อการเลื่อนที่ จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วงมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารให้มีความแข็งแรง สามารถตั้งอยู่ได้โดยไม่ล้มลงมาเป็นเวลาอย่างน้อย 1 นาที โดยในการดำเนินกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้นักเรียนจะได้ทำการออกแบบแบบจำลองโครงสร้างอาคาร โดยให้นักเรียนศึกษาสถานการณ์และร่วมกันวิเคราะห์สถานการณ์ว่ามีเงื่อนไขและข้อจำกัดใดบ้าง จากนั้นจึงทำการรวบรวมความรู้และสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารเพิ่มเติม แล้วบันทึกผลลงในใบกิจกรรม แล้วทำการวางแผนสร้างแบบจำลองโดยนักเรียนในกลุ่มร่วมกันอภิปรายแนวทางการสร้างแบบจำลองที่ใช้ความรู้และข้อมูลที่รวบรวมมา และร่วมกันแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นตลอดการทำกิจกรรม ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนพบว่านักเรียนแต่ละกลุ่มไม่ได้มีการนำเทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิดมาใช้ในระหว่างการดำเนินกิจกรรมเลยแม้แต่กลุ่มเดียว

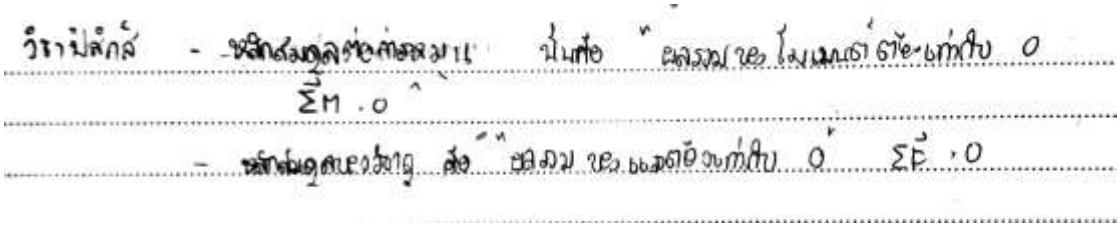
> ...นักเรียนแต่ละกลุ่มมีการทำงานโดยให้ตัวแทนกลุ่มทำงานเพียง 1-2 คนเท่านั้น ส่วนสมาชิกคนอื่นจะนั่งรอผลการออกแบบชิ้นงานจากตัวแทนกลุ่ม แล้วจึงเข้าช่วยในการสร้างชิ้นงานเท่านั้น
>
> (ผู้วิจัย, แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม, 6 กุมภาพันธ์ 2561)

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในวงจรปฏิบัติการนี้นักเรียนยังไม่มีพฤติกรรมที่แสดงถึงการใช้เทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิด

วงจรปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง สมดุลต่อการหมุน

ในวงจรปฏิบัติการนี้นักเรียนจะต้องทำการวิเคราะห์สถานการณ์หรือสร้างแนวคิดขึ้นมาสำหรับใช้ในการแก้ไขปัญหาของสถานการณ์ ซึ่งเป็นการร่วมกันออกแบบโครงสร้างสะพานแขวนโดยอาศัยการนำความรู้เรื่องสมดุลต่อการหมุนและโมเมนต์ของแรงมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนให้มีความแข็งแรง สามารถรองรับน้ำหนักได้มากที่สุดโดยไม่หักงอ โดยในการดำเนินกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้นักเรียนจะได้ทำการออกแบบแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวน โดยให้นักเรียนศึกษาสถานการณ์และร่วมกันวิเคราะห์สถานการณ์ว่ามีเงื่อนไขและข้อจำกัดใดบ้าง จากนั้นจึงทำการรวบรวมความรู้และสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการ

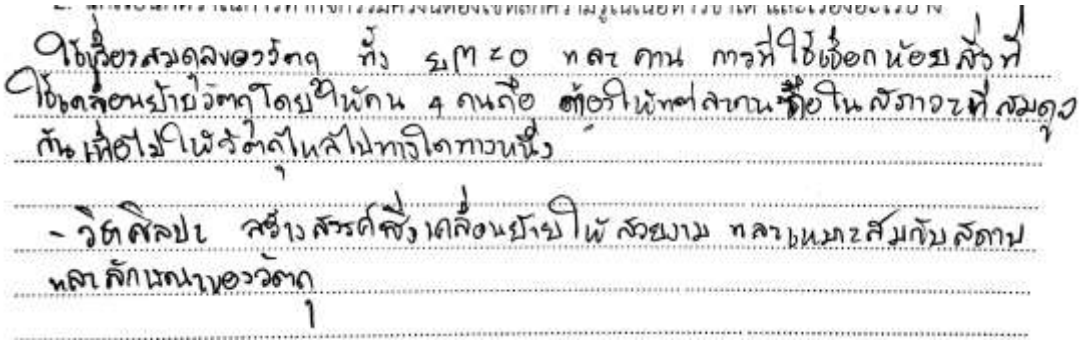
สร้างแบบจำลองสะพานแขวนเพิ่มเติมแล้วบันทึกผลลงในใบกิจกรรม แล้วทำการวางแผนสร้างแบบจำลองโดยนักเรียนในกลุ่มร่วมกันอภิปรายแนวทางการสร้างแบบจำลองที่ใช้ความรู้และข้อมูลที่รวบรวมมา และร่วมกันแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นตลอดการทำกิจกรรม ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนพบว่ามีนักเรียน 3 จาก 10 กลุ่มที่สมาชิกทุกคนภายในกลุ่มให้ความร่วมมือในการทำงาน และทำการระดมสมองในการออกแบบโครงสร้างของแบบจำลองสะพานแขวน ส่วนนักเรียนที่เหลืออีก 7 กลุ่มนั้นในบางกลุ่มมีนักเรียนบางคนเข้ามาช่วยเหลือเพื่อนในการทำงานมากขึ้น แต่ในภาพรวมส่วนใหญ่แล้วก็จะเป็นการแยกกันทำงานของแต่ละคนตามที่นักเรียนได้แบ่งกัน



ภาพ 25 ตัวอย่างการรวบรวมความรู้ของนักเรียนที่นำมาใช้ในการสร้างสะพานแขวน

วงจรปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง การประยุกต์ใช้สภาพสมดุลในชีวิตประจำวัน

ในวงจรปฏิบัติการนี้นักเรียนจะต้องทำการวิเคราะห์สถานการณ์หรือสร้างแนวคิดขึ้นมาสำหรับใช้ในการแก้ไขปัญหาของสถานการณ์ ซึ่งเป็นการร่วมกันออกแบบอุปกรณ์สำหรับขนย้ายลูกบอลจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งโดยอาศัยการนำความรู้เรื่องสภาพสมดุลมาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างอุปกรณ์ขนย้ายให้สามารถขนย้ายลูกบอลไปได้โดยไม่หล่นลงมาให้ได้มากที่สุดในเวลาที่กำหนด โดยในการดำเนินกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้นักเรียนจะได้ทำการออกแบบอุปกรณ์ขนย้าย โดยให้นักเรียนศึกษาสถานการณ์และร่วมกันวิเคราะห์สถานการณ์ว่ามีเงื่อนไขและข้อจำกัดใดบ้าง จากนั้นจึงทำการรวบรวมความรู้และสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสร้างอุปกรณ์ขนย้ายเพิ่มเติมแล้วบันทึกผลลงในใบกิจกรรม แล้วทำการวางแผนสร้างอุปกรณ์โดยนักเรียนในกลุ่มร่วมกันอภิปรายแนวทางการสร้างแบบจำลองที่ใช้ความรู้และข้อมูลที่รวบรวมมา และร่วมกันแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นตลอดการทำกิจกรรม ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนพบว่านักเรียนสามารถทำงานร่วมกันมากขึ้นโดย 8 จาก 10 กลุ่มของนักเรียนร่วมกันอภิปรายและเสนอความคิดเห็นรวมทั้งช่วยกันวิเคราะห์การทำงานของอุปกรณ์ขนย้ายที่กำลังจะสร้างขึ้น ส่วนนักเรียนที่เหลืออีก 2 กลุ่มนั้นยังไม่ได้มีการใช้เทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิด ส่วนหนึ่งเป็นเพราะว่าด้วยเวลาที่จำกัดนักเรียนจึงอยากที่จะทำงานให้สำเร็จทันในเวลาที่กำหนดจึงมีการแบ่งหน้าที่ในการทำงาน ซึ่งตรงนี้จึงทำให้นักเรียนในกลุ่มเหล่านี้ทำงานในส่วนที่ตนเองรับผิดชอบเท่านั้น



ภาพ 26 ตัวอย่างการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการสร้างอุปรณ์ขนย้ายลูกบอล

จากการวิจัยพัฒนาการของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในส่วนของการใช้เทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิด พบว่านักเรียนมีการพัฒนาอย่างเห็นได้ชัดจากในวงจรปฏิบัติการที่ 1 ไม่มีนักเรียนกลุ่มใดที่มีการแสดงออกถึงการใช้เทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิดจนมาถึงในวงจรปฏิบัติการที่ 3 ที่นักเรียนแต่ละกลุ่มใช้วิธีการระดมสมองเพื่อแลกเปลี่ยนความคิดเห็นภายในกลุ่ม และให้ความร่วมมือในการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มอย่างดี แม้ว่านักเรียนจะยังไม่แสดงออกถึงพฤติกรรมตรงนี้อย่างครบถ้วนทุกคน แต่จากผลการวิจัยก็สามารถทำให้ผู้วิจัยสรุปได้ว่า นักเรียนมีการใช้เทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิดที่พัฒนาขึ้น

1.2 สามารถสร้างสรรค์แนวคิดใหม่ที่สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้จริง ทั้งจากแนวคิดอื่น หรือสร้างแนวคิดขึ้นใหม่

นักเรียนจะต้องทำการรวบรวมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหาแล้วนำมาปรับปรุงเพื่อประยุกต์ใช้ในการสร้างชิ้นงาน โดยในองค์ประกอบย่อยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาในวงจรปฏิบัติการทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ โดยมีรายละเอียดของผลการวิจัยดังต่อไปนี้

วงจรปฏิบัติการที่ 1 เรื่องสมดุลต่อการเลื่อนที่ จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วง

ในองค์ประกอบย่อยนี้นักเรียนจะต้องทำการวิเคราะห์เงื่อนไขและข้อจำกัดของสถานการณ์เพื่อนำมาสร้างแนวคิดสำหรับใช้ออกแบบแบบจำลองโครงสร้างอาคารโดยแนวคิดที่นักเรียนจะนำมาใช้นั้นอาจเป็นแนวคิดที่นักเรียนสร้างขึ้นมาเองหรือทำการปรับปรุงมาจากแนวคิดของผู้อื่นให้เข้ากับงานของตนเองก็ได้ โดยในการดำเนินกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้นักเรียนจะได้ทำการนำเสนอแนวคิดต่างๆ ในการออกแบบแบบจำลองโครงสร้างอาคาร โดยคำนึงถึงเงื่อนไขที่สถานการณ์กำหนดว่าจะต้องสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารให้มีความสูงมากที่สุดและยังต้องสามารถต้องตรงอยู่ได้โดยไม่ล้มลงมาเป็นเวลา 1 นาที ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนพบว่าในขั้นตอนการวางแผนนักเรียน 8 จาก 10 กลุ่มทำการค้นหาแบบจำลองโครงสร้าง

อาคารทางอินเทอร์เน็ตแล้วนำมาเป็นต้นแบบของการสร้างแบบจำลองอาคารของกลุ่มตนเอง ซึ่งผู้วิจัยจึงได้ทำการสอบถามนักเรียนเหล่านี้โดยถามว่านักเรียนมีแนวทางการออกแบบแบบจำลองอย่างไรซึ่งก็ได้คำตอบว่า

> ...หนูหาในอินเทอร์เน็ตค่ะครู แล้วก็เอาแบบของเขามาใช้เป็นตัวอย่าง
>
> (ผู้วิจัย, แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม, 6 กุมภาพันธ์ 2561)

ผู้วิจัยจึงได้สอบถามเพิ่มเติมไปยังนักเรียนว่ามีการปรับปรุงจากตัวอย่างที่ค้นหามาบ้างหรือไม อย่างไร ซึ่งก็ได้คำตอบที่ดังต่อไปนี้

> ...ก็มีปรับฐานให้แคบลงแล้วก็ลดจำนวนหลอดที่ใช้ทำฐานชั้นแรกค่ะ เพราะในตัวอย่างที่ไปหามาเขาใช้หลอดน้ำเยอะมากเป็นฐาน แต่ของหนูใช้ได้แค่ 20 หลอดค่ะก็เลยทำแบบนี้
>
> (ผู้วิจัย, แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม, 6 กุมภาพันธ์ 2561)

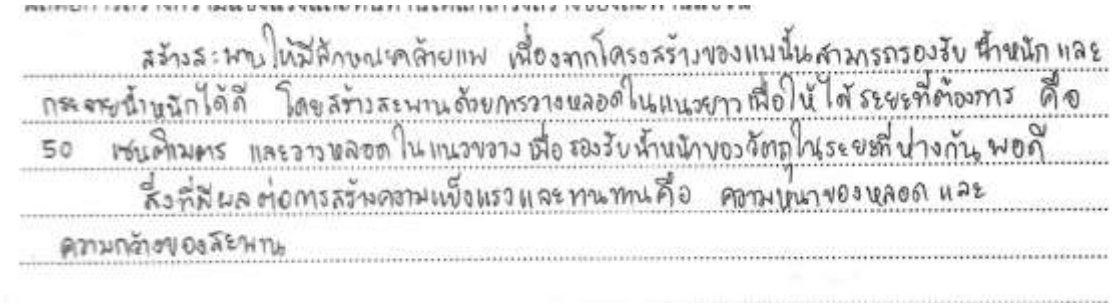
> ...หนูก็ทำตามตัวอย่างของเขาเลยค่ะครู
>
> (ผู้วิจัย, แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม, 6 กุมภาพันธ์ 2561)

ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีคำตอบที่แสดงไปในทางที่นักเรียนเลียนแบบความคิดจากผู้อื่น แต่ก็ยังมีนักเรียนอีกส่วนหนึ่งที่ทำการดัดแปลงแนวคิดอื่นให้เข้ากับสถานการณ์ของตนเอง

วงจรปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง สมดุลต่อการหมุน

ในองค์ประกอบย่อยนี้นักเรียนจะต้องทำการวิเคราะห์เงื่อนไขและข้อจำกัดของสถานการณ์เพื่อนำมาสร้างแนวคิดสำหรับใช้ออกแบบแบบจำลองสะพานแขวนโดยแนวคิดที่นักเรียนจะนำมาใช้นั้นอาจเป็นแนวคิดที่นักเรียนสร้างขึ้นมาเองหรือทำการปรับปรุงมาจากแนวคิดของผู้อื่นให้เข้ากับงานของตนเองก็ได้ โดยในการดำเนินกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้นักเรียนจะได้ทำการนำเสนอแนวคิดต่างๆ ในการออกแบบแบบจำลองสะพานแขวน โดยคำนึงถึงเงื่อนไขที่สถานการณ์กำหนดว่าจะต้องสร้างแบบจำลองสะพานแขวนให้มีความแข็งแรงโดยต้องสามารถบรรทุกน้ำหนักโดยไม่หักงอให้ได้มากที่สุด ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนพบว่าในนักเรียน 5 จาก 10 กลุ่มลงมือทำการออกแบบแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนโดยไม่ได้มีการ

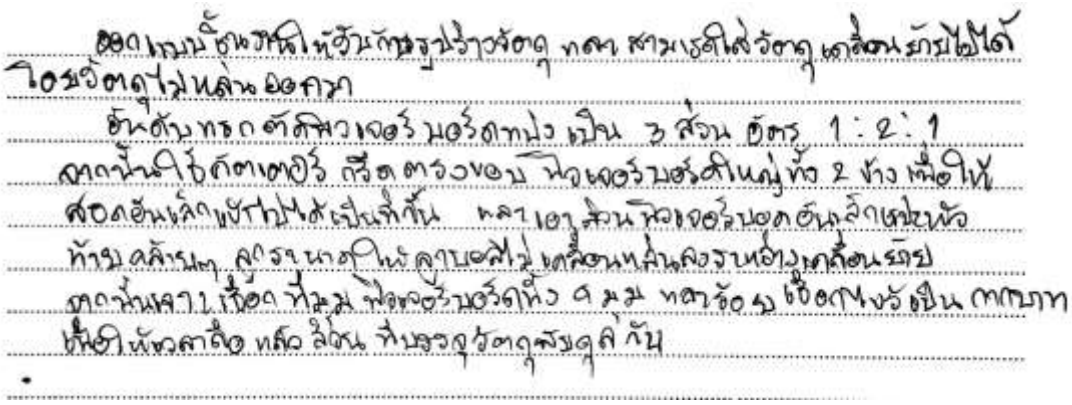
ค้นหาตัวอย่างจากในอินเทอร์เน็ต แต่ทำการประยุกต์ใช้หลักการของโมเมนต์ของแรงมาเพื่อศึกษาการสร้างแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนเพื่อทำการออกแบบแนวทางการสร้างของกลุ่มตนเอง


สร้างสะพานให้มีลักษณะคล้ายแพ เนื่องจากโครงสร้างของแพนั้นสามารถรองรับน้ำหนักและกระจายน้ำหนักได้ดี โดยสร้างสะพานด้วยการวางหลอดในแนวยาวเพื่อให้ได้ระยะที่ต้องการ คือ 50 เซนติเมตร และวางหลอดในแนวขวางเพื่อรองรับน้ำหนักของวัตถุในระยะที่ห่างกันพอดี สิ่งที่มีผลต่อการสร้างความแข็งแรงและทนทานคือ ความยาวของหลอด และความกว้างของสะพาน

ภาพ 27 ตัวอย่างแนวทางการสร้างสะพานหลอดน้ำจากแนวคิดที่นักเรียนได้รวบรวมมา

วงจรปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง การประยุกต์ใช้สภาพสมดุลในชีวิตประจำวัน

ในองค์ประกอบย่อยนี้นักเรียนจะต้องทำการวิเคราะห์เงื่อนไขและข้อจำกัดของสถานการณ์เพื่อนำมาสร้างแนวคิดสำหรับใช้ออกแบบอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลโดยแนวคิดที่นักเรียนจะนำมาใช้นั้นอาจเป็นแนวคิดที่นักเรียนสร้างขึ้นมาเองหรือทำการปรับปรุงมาจากแนวคิดของผู้อื่นให้เข้ากับงานของตนเองก็ได้ โดยในการดำเนินกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้นักเรียนจะได้ทำการนำเสนอแนวคิดต่างๆ ในการออกแบบอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอล โดยคำนึงถึงเงื่อนไขที่สถานการณ์กำหนดว่าจะต้องสร้างอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลให้มีความสามารถในการขนย้ายลูกบอลจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งให้ได้มากที่สุดภายในระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนพบว่าในนักเรียนทุกกลุ่มร่วมมือกันเสนอแนวคิดสำหรับเป็นแนวทางในการสร้างอุปกรณ์สำหรับขนย้ายเนื่องจากแต่ละกลุ่มต้องการที่จะชนะการแข่งขันและได้รับของรางวัล อีกทั้งเมื่อทราบว่าตัวนักเรียนเองจะได้เป็นผู้ที่แข่งขันเองด้วยจึงอยากที่จะมีส่วนในการออกแบบอุปกรณ์ขนย้ายของตนเองขึ้นมาด้วย



ภาพ 28 ตัวอย่างแนวทางการสร้างอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลจากแนวคิดของนักเรียน

จากการวิจัยพัฒนาการของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในส่วนของการสร้างสรรค์แนวคิดใหม่ที่สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้จริง ทั้งจากแนวคิดอื่น หรือสร้างแนวคิดขึ้นใหม่ พบว่านักเรียนมีการพัฒนาอย่างเห็นได้ชัดจากในวงจรปฏิบัติการที่ 1 และ 2 ที่มีนักเรียนบางส่วนนำแนวคิดที่ได้ทำการสืบค้นมามาปรับปรุงให้เข้ากับสถานการณ์ที่ตนเองต้องแก้ไข จนในวงจรปฏิบัติการที่ 3 ที่นักเรียนแต่ละคนภายในกลุ่มร่วมกันออกความคิดเห็นเพื่อออกแบบอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลเพื่อต้องการให้อุปรณ์ที่กลุ่มตนเองจะสร้างขึ้นมานั้นมีประสิทธิภาพมากที่สุด ทำให้ผู้วิจัยสรุปได้ว่า นักเรียนมีการสร้างสรรค์แนวคิดใหม่ที่สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้จริง ทั้งจากแนวคิดอื่น หรือสร้างแนวคิดขึ้นใหม่ที่พัฒนาขึ้น

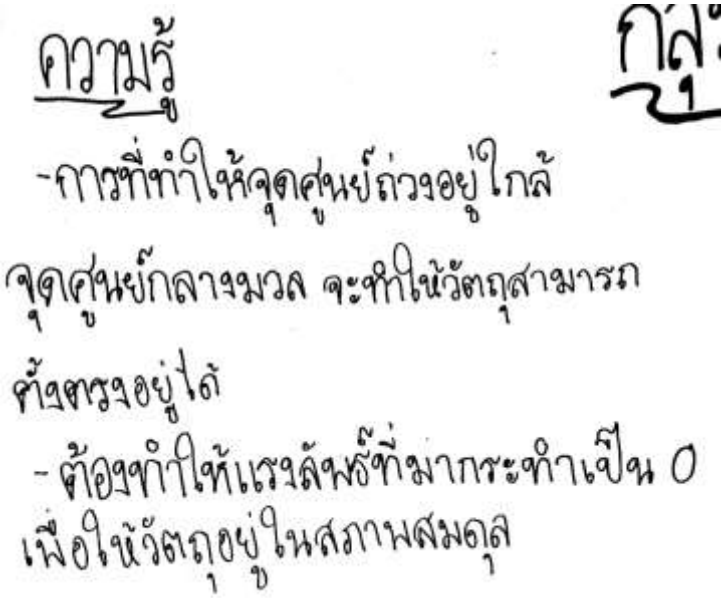
1.3 การตรวจสอบ แก้ไข วิเคราะห์ และประเมินแนวคิดที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงแก้ปัญหา และพัฒนางานของตนเอง

นักเรียนจะต้องทำการตรวจสอบแนวคิดที่มีการนำเสนอขึ้นมาเพื่อใช้ในการออกแบบชิ้นงาน หรือใช้ในการปรับปรุงพัฒนาชิ้นงาน โดยการวิเคราะห์ถึงความจำเป็นและความเป็นไปได้ที่จะนำแนวคิดนั้นๆ มาใช้ในงานของกลุ่มตนเอง โดยในองค์ประกอบย่อยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาในวงจรปฏิบัติการทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ โดยมีรายละเอียดของผลการวิจัยดังต่อไปนี้

วงจรปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง สมดุลต่อการเลื่อนที่ จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วง

ในองค์ประกอบย่อยนี้นักเรียนจะต้องทำการพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกันเกี่ยวกับการนำแนวคิดต่างๆ มาใช้ในการออกแบบแบบจำลองโครงสร้างอาคาร ว่ามีความเป็นไปได้หรือไม่ และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไร มีแนวคิดอื่นที่ดีกว่าหรือไม่อย่างไร นอกจากนั้นยังรวมถึงการพัฒนางานของตนเองจากปัญหาที่พบอีกด้วย โดยในการดำเนินกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้นักเรียนจะได้ทำการตรวจสอบและวิเคราะห์แนวคิดที่มีการนำเสนอขึ้นมา

ตั้งแต่ปัญหาและเงื่อนไขของสถานการณ์ไปจนถึงสิ่งที่พบจากการทดสอบแบบจำลองอาคารเพื่อนำไปสู่การพัฒนาให้แบบจำลองอาคารนั้นมีความสูงเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนพบว่าการพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเพื่อตรวจสอบแนวคิดที่จะนำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองโครงสร้างของอาคารนั้นเกิดขึ้นกับนักเรียนเพียง 2 กลุ่มเท่านั้น ส่วนในอีกที่ 8 กลุ่มนั้นไม่ได้มีการตรวจสอบแนวคิดแต่อย่างไร มีเพียงการตัดสินใจของผู้ที่รับผิดชอบในงานส่วนนี้เพียงคนเดียว หรือแม้แต่ในตอนที่ทำการทดสอบเพื่อพัฒนาแบบจำลองโครงสร้างอาคาร นักเรียนก็ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาแต่อย่างใด หากทำแต่เพียงการลองผิดลองถูกโดยการเสริม เพิ่มเติมโครงสร้างบางส่วนลงไปในแบบจำลองเท่านั้น

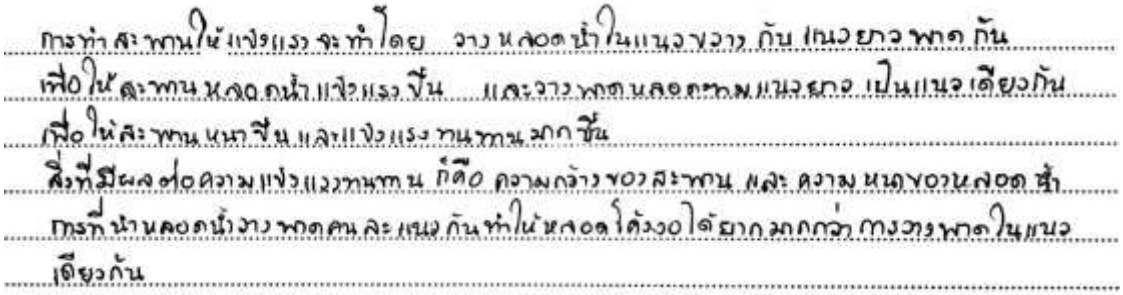


ภาพ 29 ตัวอย่างตรวจสอบแนวคิดและนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคาร

วงจรปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง สมดุลต่อการหมุน

ในองค์ประกอบย่อยนี้นักเรียนจะต้องทำการพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกันเกี่ยวกับการนำแนวคิดต่างๆ มาใช้ในการออกแบบแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนว่ามีความเป็นไปได้หรือไม่ และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไร มีแนวคิดอื่นที่ดีกว่าหรือไม่อย่างไร นอกจากนั้นยังรวมถึงการพัฒนางานของตนเองจากปัญหาที่พบอีกด้วย โดยในการดำเนินกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้นักเรียนจะได้ทำการตรวจสอบและวิเคราะห์แนวคิดที่มีการนำเสนอขึ้นมาตั้งแต่ปัญหาและเงื่อนไขของสถานการณ์ไปจนถึงสิ่งที่พบจากการทดสอบแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนเพื่อนำไปสู่การพัฒนาให้แบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนนั้นสามารถรองรับน้ำหนักได้มากขึ้น ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนพบว่าการตรวจสอบและ

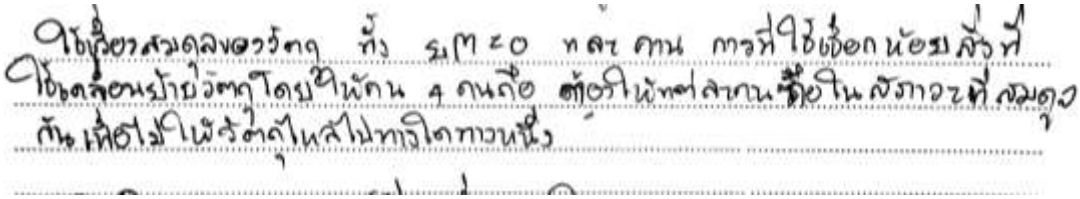
วิเคราะห์ปัญหาเพื่อพัฒนาแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนของนักเรียนนั้น นักเรียนส่วนใหญ่ 7 จาก 10 กลุ่มได้ทำการปรับเปลี่ยนวิธีการและตำแหน่งในการวางแผ่นน้ำหนักลงบนตัวแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนแทนที่จะทำการปรับปรุงตัวแบบจำลองให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น


การทำสะพานให้แข็งแรง จะทำโดย วางหลอดน้ำในแนวขวาง กับ เทปยาวพาดกัน
เพื่อให้สะพานหลอดน้ำแข็งแรงขึ้น และวางพาดหลอดกาแฟแนวยาว เป็นแนวเดียวกัน
เพื่อให้สะพานหนาขึ้น และแข็งแรงทนทานมากขึ้น
สิ่งที่มีผลต่อความแข็งแรงทนทาน ก็คือ ความกว้างของสะพาน และ ความหนาของหลอดน้ำ
การที่นำหลอดน้ำวางพาดคนละแนวกันทำให้หลอดโค้งงอได้ยากมากกว่า การวางพาดในแนว
เดียวกัน

ภาพ 30 ตัวอย่างแนวทางการแก้ปัญหาและพัฒนาแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวน

วงจรปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง การประยุกต์ใช้สภาพสมดุลในชีวิตประจำวัน

ในองค์ประกอบย่อยนี้นักเรียนจะต้องทำการพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกันเกี่ยวกับการนำแนวคิดต่างๆ มาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์สำหรับใช้ขนย้ายลูกบอล ว่ามีความเป็นไปได้หรือไม่ และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไร มีแนวคิดอื่นที่ดีกว่าหรือไม่อย่างไร นอกจากนั้นยังรวมถึงการพัฒนางานของตนเองจากปัญหาที่พบอีกด้วย โดยในการดำเนินกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้นักเรียนจะได้ทำการตรวจสอบและวิเคราะห์แนวคิดที่มีการนำเสนอขึ้นมาตั้งแต่ปัญหาและเงื่อนไขของสถานการณ์ไปจนถึงสิ่งที่พบจากการทดสอบขนย้ายลูกบอลเพื่อนำไปสู่การพัฒนาให้อุปกรณ์ขนย้ายสามารถเคลื่อนย้ายลูกบอลได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนพบว่าการตรวจสอบและวิเคราะห์ปัญหาเพื่อพัฒนาอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลของนักเรียนนั้น นักเรียน 6 จาก 10 กลุ่มได้ทำการปรับปรุงอุปกรณ์ของกลุ่มตนเอง โดยการเพิ่มกำแพงกั้น หรือปรับขนาดความยาวของเชือก รวมไปถึงกลไกการทำงานของอุปกรณ์ของกลุ่มตนเอง ส่วนนักเรียนอีก 4 กลุ่มนั้นทำการปรับเปลี่ยนที่ตัวนักเรียนเองโดยทำการคอยเตือนเพื่อนสมาชิกภายในกลุ่มว่าอย่ายกสูงไปหรือต้องคอยระวังและปล่อยลูกบอลพร้อมกัน


ใช้เชือกสมดุลลงอวัตถุ ทั้ง รูป 20 กลุ่ม คน ควรที่ใช้เชือกน้อยสิ่งที่
ใช้ลดล้อนย้ายวัตถุโดยนักเรียน 4 คนถือ ต้องให้นักเรียนสามารถยืดในสิ่งของที่สมดุล
กัน เพื่อไม่ให้วัตถุไหลไปทางใดทางหนึ่ง

ภาพ 31 ตัวอย่างแนวทางการใช้งานของอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลที่นักเรียนออกแบบ

จากการวิจัยพัฒนาการของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในส่วนของการตรวจสอบ แก้ไข วิเคราะห์ และประเมินแนวคิดที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุง แก้ปัญหา และพัฒนางานของตนเอง พบว่านักเรียนมีการพัฒนาขึ้นตามลำดับของวงจรปฏิบัติการ โดยในวงจรปฏิบัติการที่ 1 และ 2 ที่มีนักเรียน 2-3 กลุ่มที่มีการตรวจสอบและทำการพัฒนาตัวชิ้นงานของกลุ่มตนเอง ส่วนในวงจรปฏิบัติการที่ 3 นักเรียนที่ทำการตรวจสอบแนวคิดเพื่อใช้ในการปรับปรุงชิ้นงานของตนเองนั้นมีเพิ่มขึ้นเป็น 6 กลุ่ม ซึ่งในส่วนนี้ผู้วิจัยขอสรุปว่า นักเรียนส่วนใหญ่คิดเป็นร้อยละ 60 มีการตรวจสอบ แก้ไข วิเคราะห์ และประเมินแนวคิดที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุง แก้ปัญหา และพัฒนางานของตนเองที่พัฒนาขึ้น แต่ยังมีนักเรียนจำนวนมากถึงร้อยละ 40 ที่ยังไม่มีการพัฒนาในส่วนนี้

จากผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการในแต่ละองค์ประกอบย่อยแล้วนั้น ในภาพรวมแล้วนักเรียนสามารถรวบรวมความรู้ที่เกี่ยวข้องในการแก้ไขปัญหาซึ่งจะนำไปสู่การสร้างชิ้นงานได้โดยการใช้เทคนิคการระดมสมองและการร่วมมือกัน นอกจากนั้นผู้เรียนยังมีการวิเคราะห์และประเมินแนวคิดที่มีการนำเสนอเพื่อให้ได้แนวคิดที่เหมาะสมที่สุด แสดงให้เห็นถึงความก้าวหน้าในการสร้างแนวคิดใหม่ผ่านการร่วมมือกันภายในกลุ่ม อีกทั้งยังมีการพัฒนาในการตรวจสอบและวิเคราะห์แนวคิดเพื่อใช้ในการปรับปรุงชิ้นงานของตนเอง แต่ก็ยังมีนักเรียนจำนวนหนึ่งที่ยังไม่แสดงพฤติกรรมที่สื่อถึงการตรวจสอบ แก้ไข วิเคราะห์ และประเมินแนวคิดที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุง แก้ปัญหา และพัฒนางานของตนเอง

2. การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์

สำหรับองค์ประกอบของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้านการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ ผู้วิจัยได้ทำการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา โดยศึกษาพฤติกรรมของนักเรียนในด้านการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ ดังต่อไปนี้

2.1 พัฒนา ปฏิบัติและสื่อสารแนวคิดใหม่ๆ ให้ผู้อื่นได้เข้าใจอย่างมีประสิทธิภาพ

นักเรียนจะต้องนำแนวคิดที่ตนเองได้สร้างขึ้นมาใหม่นั้นสื่อสารให้สมาชิกคนอื่นภายในกลุ่มได้เข้าใจ เพื่อนำไปสู่การพูดคุยและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับแนวคิดที่นำเสนอนี้ต่อไป โดยในองค์ประกอบย่อยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาในวงจรปฏิบัติการทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ โดยมีรายละเอียดของผลการวิจัยดังต่อไปนี้

วงจรปฏิบัติการที่ 1 เรื่องสมดุลต่อการเลื่อนที่ จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วง

ในองค์ประกอบย่อยนี้นักเรียนจะได้นำเสนอแนวคิดที่สร้างขึ้นของตนเองให้แก่สมาชิกคนอื่นๆ ในกลุ่มได้เข้าใจตั้งแต่ในส่วนของการระบุปัญหา การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหา การออกแบบและวางแผนสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคาร ตลอดจนถึงการทดสอบ

หาปัญหาและแนวทางการปรับปรุงแก้ไข เพื่อที่สมาชิกคนอื่นๆ จะได้มีความเข้าใจที่ถูกต้องและดำเนินการต่อไปในส่วนของการตรวจสอบและวิเคราะห์แนวคิดนั้นๆ โดยในการดำเนินกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้นักเรียนจะนำเสนอความคิดเห็นของแต่ละคนในทุกๆ ขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนพบว่านักเรียนแต่ละกลุ่มไม่ได้มีการพูดคุยหรือนำเสนอแนวคิดใดๆ ให้แก่เพื่อนคนอื่นรับฟังแต่อย่างใด ในทุกขั้นตอนของการทำงานจะเป็นการทำงานของคนเพียงคนเดียวหรือ 2 คน ซึ่งคนที่ทำงานนี้ก็จะเป็นคนที่ตัดสินใจใช้แนวคิดของตนเองสำหรับการสร้างแบบจำลองอาคารของกลุ่ม ซึ่งหากมีการพูดคุยขึ้นก็จะเป็นการบอกเล่าวิธีการในการดำเนินการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารให้เพื่อนได้ทำตามที่ตนเองได้ออกแบบเอาไว้เท่านั้น

วงจรปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง สมดุลต่อการหมุน

ในองค์ประกอบย่อยนี้นักเรียนจะได้นำเสนอแนวคิดที่สร้างขึ้นของตนเองให้แก่สมาชิกคนอื่นๆ ในกลุ่มได้เข้าใจตั้งแต่ในส่วนของการระบุปัญหา การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหา การออกแบบและวางแผนสร้างแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวน ตลอดจนถึงการทดสอบหาปัญหาและแนวทางการปรับปรุงแก้ไข เพื่อที่สมาชิกคนอื่นๆ จะได้มีความเข้าใจที่ถูกต้องและดำเนินการต่อไปในส่วนของการตรวจสอบและวิเคราะห์แนวคิดนั้นๆ โดยในการดำเนินกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้นักเรียนจะนำเสนอความคิดเห็นของแต่ละคนในทุกๆ ขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนพบว่า นักเรียน 5 ใน 10 กลุ่มมีการเสนอแนะแนวคิดของตัวเองให้เพื่อนฟังว่าตนเองมีแนวคิดอย่างไร ส่วนนักเรียนอีก 5 กลุ่มนั้นบางส่วนก็ยังไม่ได้มีการนำเสนอแนวคิดของตนเองให้แก่ผู้อื่น แต่ก็ยังมีนักเรียนอีกจำนวนหนึ่งที่ทำการเสนอแนวคิดให้กับสมาชิกได้รับรู้ แต่ว่ายังไม่สามารถอธิบายให้อีกฝ่ายเข้าใจได้จึงต้องทำการอธิบายซ้ำหรือใช้การแสดงท่าทางประกอบเพื่อให้ผู้ฟังเข้าใจและเห็นเป็นรูปธรรมมากขึ้น

วงจรปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง การประยุกต์ใช้สภาพสมดุลในชีวิตประจำวัน

ในองค์ประกอบย่อยนี้นักเรียนจะได้นำเสนอแนวคิดที่สร้างขึ้นของตนเองให้แก่สมาชิกคนอื่นๆ ในกลุ่มได้เข้าใจตั้งแต่ในส่วนของการระบุปัญหา การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหา การออกแบบและวางแผนสร้างอุปกรณ์สำหรับขนย้ายลูกบอล ตลอดจนถึงการทดสอบหาปัญหาและแนวทางการปรับปรุงแก้ไข เพื่อที่สมาชิกคนอื่นๆ จะได้มีความเข้าใจที่ถูกต้องและดำเนินการต่อไปในส่วนของการตรวจสอบและวิเคราะห์แนวคิดนั้นๆ โดยในการดำเนินกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้นักเรียนจะนำเสนอความคิดเห็นของแต่ละคนในทุกๆ ขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนพบว่า นักเรียน 5 ใน 10 กลุ่มที่มีการ

เสนอแนะแนวคิดของตัวเองให้เพื่อนฟังจากในวงจรปฏิบัติการที่ 2 ก็ยังคงมีการสื่อสารแนวคิดให้แก่ผู้อื่นได้เข้าใจอยู่เช่นเดิม ส่วนนักเรียนอีก 3 กลุ่มก็ได้มีการพัฒนาการสื่อสารของตนเองขึ้นโดยในวงจรปฏิบัตารนี้นักเรียนสามารถที่จะเสนอแนวคิดของตนเองให้เพื่อนฟังพร้อมทั้งชี้ให้เพื่อนเห็นถึงการนำไปใช้ประโยชน์ของแนวคิดของตนได้อย่างชัดเจน ส่วนนักเรียนที่เหลือก็มีการพัฒนาเช่นกันเพียงแต่อาจจะยังสื่อสารได้ไม่ชัดเจนหรือบางส่วนก็ยังนิ่งและไม่ได้สื่อสารแนวคิดของตนเองให้แก่เพื่อนได้รับฟัง

จากการวิจัยพัฒนาการของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในส่วนของการพัฒนา ปฏิบัติและสื่อสารแนวคิดใหม่ๆ ให้ผู้อื่นได้เข้าใจอย่างมีประสิทธิภาพ พบว่านักเรียนมีการพัฒนาขึ้นตามลำดับของวงจรปฏิบัติการ โดยในวงจรปฏิบัติการที่ 1 นักเรียนส่วนใหญ่จะมีตัวแทนรับผิดชอบทำงานซึ่งทำให้ไม่ได้เกิดการเสนอแนะแนวคิดออกมา จนมาถึงในวงจรปฏิบัติการที่ 3 นักเรียนที่สามารถสื่อสารแนวคิดของตนเองให้ผู้อื่นได้เข้าใจมีมากขึ้นเป็น 8 กลุ่มหรือคิดเป็นร้อยละ 80 เลยทีเดียว ซึ่งในส่วนนี้ผู้วิจัยขอสรุปว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีการพัฒนา ปฏิบัติและสื่อสารแนวคิดใหม่ๆ ให้ผู้อื่นได้เข้าใจอย่างมีประสิทธิภาพที่พัฒนาขึ้น

2.2 รับฟัง และยอมรับความคิดเห็นจากผู้อื่นพร้อมทั้งสะท้อนผลที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน

นักเรียนจะต้องรับฟังการนำเสนอแนวคิดจากสมาชิกคนอื่น รวมไปถึงเพื่อนในชั้นเรียนจากขั้นการนำเสนอ โดยที่สามารถให้ความคิดเห็นสะท้อนกลับซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างและพัฒนาชิ้นงานไปยังผู้นำเสนอ โดยในองค์ประกอบย่อยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาในวงจรปฏิบัติการทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ โดยมีรายละเอียดของผลการวิจัยดังต่อไปนี้

วงจรปฏิบัติการที่ 1 เรื่องสมดุลต่อการเลื่อนที่ จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วง

ในองค์ประกอบย่อยนี้นักเรียนจะรับฟังการนำเสนอแนวคิดจากสมาชิกคนอื่นในระหว่างการนำเสนอเงื่อนไขของปัญหาจากสถานการณ์ การนำเสนอข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคาร แนวทางสำหรับการสร้างและปรับปรุงแบบจำลองโครงสร้างอาคาร รวมไปถึงการนำเสนอหน้าชั้นเรียนของกลุ่มอื่นๆ โดยที่ยังต้องแสดงความคิดต่อแนวคิดนั้นในแนวทางที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองโครงสร้างอาคารให้สะท้อนกลับไปยังผู้นำเสนอ โดยในการดำเนินกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้นักเรียนต้องเป็นผู้ฟังที่ดี ไม่ขัดจังหวะของเพื่อนที่นำเสนอและให้การตอบกลับไปยังแนวคิดที่นำเสนอเหล่านั้นทุกครั้ง ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่นั้นเป็นผู้รับฟังที่ดีจะมีบางส่วนที่ไม่ได้มีส่วนร่วมระหว่างการนำเสนอของเพื่อน คือนักเรียนพูดคุยกันระหว่างการนำเสนอแนวคิดของเพื่อน แต่ทั้งนี้ในส่วนของ

การให้ความคิดเห็นสะท้อนกลับไปยังผู้นำเสนอนั้นนักเรียนแต่ละคนมีพฤติกรรมที่นิ่งเฉย ไม่ได้สนใจที่จะวิเคราะห์สิ่งที่เพื่อนนำเสนอออกมา ซึ่งนักเรียนเพียงแค่ยอมรับความคิดเห็นนั้นหรือถามกลับไปยังผู้นำเสนอว่าแนวคิดนั้นดีจริงหรือไม่ จะเอามาใช้ได้อย่างไร เพียงเท่านั้นเอง

วงจรปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง สมดุลต่อการหมุน

ในองค์ประกอบย่อยนี้นักเรียนจะรับฟังการนำเสนอแนวคิดจากสมาชิกคนอื่นในระหว่างการนำเสนอเงื่อนไขของปัญหาจากสถานการณ์ การนำเสนอข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองสะพานแขวน แนวทางสำหรับการสร้างและปรับปรุงแบบจำลองสะพานแขวน รวมไปถึงการนำเสนอหน้าชั้นเรียนของกลุ่มอื่นๆ โดยที่ยังต้องแสดงความคิดต่อแนวคิดนั้นในแนวทางที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนให้สะท้อนกลับไปยังผู้นำเสนอ โดยในการดำเนินกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้นักเรียนต้องเป็นผู้ฟังที่ดี ไม่ขัดจังหวะของเพื่อนที่นำเสนอ และให้การตอบกลับไปยังแนวคิดที่นำเสนอเหล่านั้นทุกครั้ง ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนพบว่านักเรียนจำนวนหนึ่งมีการพัฒนาในการสะท้อนความคิดเห็นกลับไปยังผู้นำเสนอแนวคิดโดยนักเรียน 3 จาก 10 กลุ่มให้ผลสะท้อนกลับไปยังแนวคิดของเพื่อนโดยการเพิ่มคำแนะนำให้เพื่อนได้รับฟังว่าแนวคิดที่นำเสนอมาเป็นแนวคิดที่ดีถ้าหากทำการเพิ่มเติมรายละเอียดลงไปก็น่าจะช่วยให้แบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนแข็งแรงขึ้น ส่วนนักเรียนคนอื่นในชั้นเรียนก็ยังไม่ได้ให้การตอบสนองที่ดีเท่าไรนัก

วงจรปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง การประยุกต์ใช้สภาพสมดุลในชีวิตประจำวัน

ในองค์ประกอบย่อยนี้นักเรียนจะรับฟังการนำเสนอแนวคิดจากสมาชิกคนอื่นในระหว่างการนำเสนอเงื่อนไขของปัญหาจากสถานการณ์ การนำเสนอข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสร้างอุปกรณ์สำหรับขนย้ายลูกบอล แนวทางสำหรับการสร้างและปรับปรุงอุปกรณ์ขนย้ายบอล รวมไปถึงการนำเสนอหน้าชั้นเรียนของกลุ่มอื่นๆ โดยที่ยังต้องแสดงความคิดต่อแนวคิดนั้นในแนวทางที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ขนย้ายบอลให้สะท้อนกลับไปยังผู้นำเสนอ โดยในการดำเนินกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้นักเรียนต้องเป็นผู้ฟังที่ดี ไม่ขัดจังหวะของเพื่อนที่นำเสนอ และให้การตอบกลับไปยังแนวคิดที่นำเสนอเหล่านั้นทุกครั้ง ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนพบว่า นักเรียน 7 จาก 10 กลุ่มมีการแสดงพฤติกรรมการเป็นผู้ฟังที่ดีโดยแสดงความคิดเห็นแก่แนวคิดที่มีการนำเสนอขึ้นทั้งในระหว่างการพูดคุยภายในกลุ่มตนเอง และการแสดงความคิดเห็นหลังจากจบการนำเสนอหน้าชั้นเรียนของแต่ละกลุ่ม ส่วนนักเรียนที่เหลืออีกจำนวนหนึ่งก็มีการแสดงพฤติกรรมออกมาบ้างแต่ต้องได้รับการกระตุ้นจากผู้วิจัยโดยเป็นการถามเพื่อให้แสดงความคิดเห็นซึ่งตรงนี้นักเรียนก็ยังพยายามที่จะหันไปถามความคิดเห็นจากเพื่อนคนอื่นต่ออีกทีหนึ่งด้วย

จากการวิจัยพัฒนาการของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในส่วนของการรับฟัง และยอมรับความคิดเห็นจากผู้อื่นพร้อมทั้งสะท้อนผลที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน พบว่านักเรียนมีการพัฒนาขึ้นตามลำดับของวงจรปฏิบัติการ โดยในวงจรปฏิบัติการที่ 1 นักเรียนส่วนใหญ่เกือบจะทั้งหมดแสดงพฤติกรรมออกมาว่าเป็นผู้รับฟังที่ดี ให้ความสนใจต่อการนำเสนอและไม่ขัดจังหวะหรือแทรกขึ้นมาระหว่างการนำเสนอแนวคิด แต่ในส่วนของการเสนอแนะสะท้อนกลับไปยังแนวคิดที่มีการนำเสนอออกมานั้นยังไม่มีการแสดงออกมาที่ชัดเจนจากตัวนักเรียน จนมาถึงในวงจรปฏิบัติการที่ 3 นักเรียน 7 จาก 10 กลุ่มสามารถให้ความเห็นสะท้อนกลับไปยังผู้ที่เสนอแนวคิดได้แม้ว่าจะต้องมีการกระตุ้นบ้างจากผู้วิจัยก็ตาม แต่จากข้อมูลที่กล่าวมานี้ผู้วิจัยขอสรุปว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีการรับฟัง และยอมรับความคิดเห็นจากผู้อื่นพร้อมทั้งสะท้อนผลที่เกี่ยวข้องกับการทำงานที่พัฒนาขึ้นอย่างชัดเจน

2.3 นำเสนอความคิดเริ่มต้นและความคิดที่สร้างสรรค์ขึ้น รวมทั้งทำความเข้าใจกับข้อจำกัดที่มีอยู่เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแนวคิดใหม่

นักเรียนจะต้องศึกษาสถานการณ์ให้เข้าใจแล้วทำการวิเคราะห์ออกมาว่าสถานการณ์นั้นกำหนดเงื่อนไขหรือข้อจำกัดใดบ้าง เพื่อนำมาใช้วางแผนเป็นกรอบสำหรับการทำงานในครั้งนั้น โดยสร้างแนวคิดออกมาใช้สำหรับแก้ปัญหาเหล่านั้น โดยในองค์ประกอบย่อยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาในวงจรปฏิบัติการทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ โดยมีรายละเอียดของผลการวิจัยดังต่อไปนี้

วงจรปฏิบัติการที่ 1 เรื่องสมดุลต่อการเลื่อนที่ จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วง

ในองค์ประกอบย่อยนี้นักเรียนจะศึกษาสถานการณ์ให้เข้าใจแล้วทำการวิเคราะห์ออกมาว่าสถานการณ์นั้นกำหนดเงื่อนไขหรือข้อจำกัดใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคาร เพื่อนำมาใช้เป็นกรอบในการสร้างแนวคิดเพื่อออกแบบแบบจำลองโครงสร้างอาคาร โดยในการดำเนินกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้นักเรียนจะได้ศึกษาสถานการณ์ที่ต้องการให้นักเรียนสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารขึ้นมาจากหลอดน้ำ 20 หลอดและดินน้ำมันจำนวน 1 ก้อนให้มีความสูงมากที่สุดโดยที่ยังตั้งอยู่ได้เองและไม่ล้มลงมาก่อนเวลา 1 นาที ซึ่งนักเรียนจะได้นำเงื่อนไขเหล่านี้ไปวางแผนการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารของกลุ่มตนเอง ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนพบว่า นักเรียนทุกกลุ่มสามารถที่จะวิเคราะห์สถานการณ์ได้เป็นอย่างดีมีการพูดคุยสอบถามความคิดเห็นซึ่งกันและกันภายในกลุ่ม แต่เมื่อมีการตรวจสอบใบกิจกรรมของนักเรียนภายหลังการทำกิจกรรมผลปรากฏว่า นักเรียนแต่ละกลุ่มยังระบุปัญหาของ

สถานการณ์ได้ไม่ครบถ้วนโดยขาดรายละเอียดบางส่วนไป เช่น ข้อจำกัดในเรื่องของเวลาในการสร้าง เงื่อนไขการทดสอบแบบจำลองโครงสร้างอาคารเป็นต้น

วงจรปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง สมดุลต่อการหมุน

ในองค์ประกอบย่อยนี้นักเรียนจะศึกษาสถานการณ์ให้เข้าใจแล้วทำการวิเคราะห์ออกมาว่าสถานการณ์นั้นกำหนดเงื่อนไขหรือข้อจำกัดใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวน เพื่อนำมาใช้เป็นกรอบในการสร้างแนวคิดเพื่อออกแบบแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวน โดยในการดำเนินกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้นักเรียนจะได้ศึกษาสถานการณ์ที่ต้องการให้นักเรียนสร้างแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนขึ้นมาจากหลอดน้ำและเทปกาวโดยที่นักเรียนจะต้องวางแผนการสั่งซื้ออุปกรณ์ด้วยตนเองจากงบประมาณที่มีให้อย่างจำกัด และแบบจำลองโครงสร้างสะพานที่สร้างขึ้นมานั้นจะต้องรองรับน้ำหนักให้ได้มากที่สุดอีกด้วย ซึ่งนักเรียนจะได้นำเงื่อนไขเหล่านี้ไปวางแผนการสร้างแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนของกลุ่มตนเอง ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนพบว่า นักเรียนทุกกลุ่มยังคงสามารถที่จะวิเคราะห์สถานการณ์ได้เป็นอย่างดี โดยนักเรียน 5 จาก 10 กลุ่ม มีการพูดคุยสอบถามความคิดเห็นซึ่งกันและกันภายในกลุ่ม แต่เมื่อมีการตรวจสอบใบกิจกรรมของนักเรียนภายหลังการทำกิจกรรมผลปรากฏว่า นักเรียนแต่ละกลุ่มยังระบุปัญหาของสถานการณ์ได้ไม่ครบถ้วนโดยขาดรายละเอียดบางส่วนไป เช่น ข้อจำกัดในเรื่องของเวลาในการสร้าง เงื่อนไขการทดสอบแบบจำลองโครงสร้างอาคารเป็นต้น

วงจรปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง การประยุกต์ใช้สภาพสมดุลในชีวิตประจำวัน

ในองค์ประกอบย่อยนี้นักเรียนจะศึกษาสถานการณ์ให้เข้าใจแล้วทำการวิเคราะห์ออกมาว่าสถานการณ์นั้นกำหนดเงื่อนไขหรือข้อจำกัดใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับการสร้างอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอล เพื่อนำมาใช้เป็นกรอบในการสร้างแนวคิดเพื่อออกแบบอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอล โดยในการดำเนินกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้นักเรียนจะได้ศึกษาสถานการณ์ที่ต้องการให้นักเรียนสร้างอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลขึ้นมาจากฟิวเจอร์บอร์ด 1 แผ่นและเชือกยาว 5 เมตร 1 เส้นเท่านั้น โดยที่นักเรียนจะต้องวางแผนการสร้างและออกแบบกลไกการทำงานของอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลเองภายใต้อุปกรณ์ที่มีให้อย่างจำกัด โดยจะต้องสร้างอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลให้มีประสิทธิภาพในการขนย้ายลูกบอลให้มากที่สุดโดยต้องเคลื่อนย้ายลูกบอลทีละลูกไปยังจุดหมายให้ได้มากที่สุดโดยนักเรียนสามารถสัมผัสได้เพื่อเชือกที่ทำขึ้นเป็นที่จับอุปกรณ์เท่านั้น ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนพบว่า นักเรียนทุกคนเข้ามามีส่วนร่วมในการวิเคราะห์สถานการณ์และนำเสนอแนวคิดที่คิดว่าจำเป็นต่อการสร้างอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลให้เพื่อนได้เข้า อีกทั้งยังมีการปรับปรุงแนวคิดของ

ตนเองและเพื่อนอยู่เสมอเมื่อแนวคิดที่เสนอออกมามีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ในการสร้างอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลในครั้งนี้

จากการวิจัยพัฒนาการของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในส่วนของการนำเสนอความคิดเริ่มต้นและความคิดที่สร้างสรรค์ขึ้น รวมทั้งทำความเข้าใจกับข้อจำกัดที่มีอยู่เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแนวคิดใหม่ พบว่านักเรียนมีการพัฒนาขึ้นตามลำดับของวงจรปฏิบัติการ โดยในวงจรปฏิบัติการที่ 1 นักเรียนทั้งหมดสามารถวิเคราะห์สถานการณ์ได้เป็นอย่างดี แต่ในการระบุเงื่อนไข ข้อจำกัดของสถานการณ์ยังไม่สามารถระบุได้ครบถ้วนและชัดเจน อีกทั้งยังขาดการนำเสนอแนวคิดออกมาอีกด้วย จนมาถึงในวงจรปฏิบัติการที่ 3 นักเรียนทุกคนมีการพัฒนาขึ้นโดยที่ยังสามารถวิเคราะห์รายละเอียดของสถานการณ์ได้ชัดเจน แต่นักเรียนทุกคนสามารถที่จะนำเสนอแนวคิดให้แก่สมาชิกได้รับฟังมากขึ้น และนอกจากนั้นยังร่วมกันอภิปรายถึงประโยชน์ของการนำแนวคิดที่นำเสนอออกมานั้นมาใช้งานกับอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลที่จะสร้างขึ้นอีกด้วย

2.4 เรียนรู้จากข้อผิดพลาด เนื่องจากความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและการสร้างนวัตกรรมเป็นทักษะที่ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้และทำซ้ำจนเกิดผลสำเร็จ

นักเรียนจะต้องทำการสร้างชิ้นงานขึ้นมาแล้วนำมาทดสอบเพื่อตรวจสอบปัญหาแล้วนำข้อผิดพลาดตรงนั้นกลับมาแก้ไขปรับปรุงพัฒนาชิ้นงานของตนเอง โดยในองค์ประกอบย่อยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาในวงจรปฏิบัติการทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ โดยมีรายละเอียดของผลการวิจัยดังต่อไปนี้

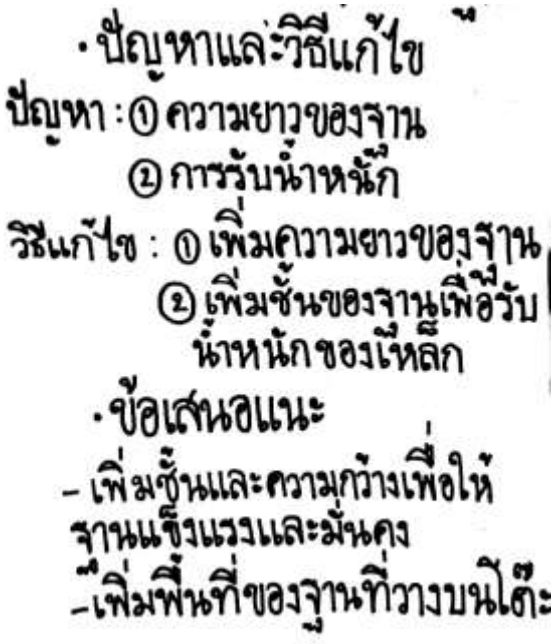
วงจรปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง สมดุลต่อการเลื่อนที่ จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วง

ในองค์ประกอบย่อยนี้นักเรียนจะทำการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารขึ้นมาแล้วนำไปทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงสร้างอาคาร เพื่อตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้น จากนั้นจึงนำปัญหากลับมาวิเคราะห์ร่วมกันกับสมาชิกภายในกลุ่มเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาแบบจำลองโครงสร้างอาคารให้มีความสูงเพิ่มขึ้นไป โดยในการดำเนินกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้นักเรียนจะได้ทำการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารขึ้นมาตามที่ได้วางแผนออกแบบไว้ จากนั้นจึงนำแบบจำลองโครงสร้างอาคารชิ้นต้นแบบนั้นไปทดสอบว่าสามารถตั้งอยู่ได้โดยไม่ล้มลงมาเป็นเวลา 1 นาทีหรือไม่ แล้วระหว่างนั้นเกิดปัญหาใดขึ้นหรือไม่ จะมีแนวทางในการพัฒนาแบบจำลองโครงสร้างอาคารได้อย่างไร ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนพบว่านักเรียน 8 ใน 10 กลุ่ม ทำการทดสอบแบบจำลองโครงสร้างอาคารของตนเองจริงแต่เมื่อต้องทำการพัฒนาแบบจำลองขึ้น นักเรียนเหล่านี้จะหันไปมองกลุ่มที่สามารถทำแบบจำลองให้มีความสูงมากกว่ากลุ่มตนเองแล้วนำแนวคิดของกลุ่มนั้นๆ มาใช้กับกลุ่มของตนเองด้วยการปรับเปลี่ยน

แบบจำลองโครงสร้างอาคารของตนเองให้ใกล้เคียงกับกลุ่มของเพื่อนโดยที่ไม่ได้สนใจปัญหาที่เกิดขึ้นกับแบบจำลองโครงสร้างอาคารของตนเองเลย

วงจรปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง สมดุลต่อการหมุน

ในองค์ประกอบย่อยนี้นักเรียนจะทำการสร้างแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนขึ้นมา แล้วนำไปทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวน เพื่อตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้น จากนั้นจึงนำปัญหากลับมาวิเคราะห์ร่วมกันกับสมาชิกภายในกลุ่มเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนให้มีความสามารถในการรองรับน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นไปอีก โดยในการดำเนินกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้นักเรียนจะได้ทำการสร้างแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนขึ้นมาตามที่ได้วางแผนออกแบบไว้ จากนั้นจึงนำแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนชิ้นต้นแบบนั้นไปทดสอบว่าสามารถรับรองน้ำหนักได้มากที่สุดเท่าใด แล้วระหว่างนั้นเกิดปัญหาใดขึ้นหรือไม่ จะมีแนวทางในการพัฒนาแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนได้อย่างไร ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนพบว่า นักเรียนทุกกลุ่มทำการตรวจสอบแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนของตนเองแล้วนำกลับมาปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่พบโดยการสั่งซื้ออุปกรณ์เพิ่มเติมแล้วนำมาต่อเติมไปยังแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนของตนเอง แต่มีนักเรียน 2 กลุ่มที่ในการปรับปรุงการรับน้ำหนักของแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนของตนเองนั้นทำโดยการปรับเปลี่ยนวิธีและตำแหน่งการวางแผ่นมวลลงไปแทนที่การดัดแปลงตัวของแบบจำลอง



ภาพ 32 ตัวอย่างแสดงการปรับปรุงแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนของนักเรียน

วงจรปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง การประยุกต์ใช้สภาพสมดุลในชีวิตประจำวัน

ในองค์ประกอบย่อยนี้นักเรียนจะทำการสร้างอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลขึ้นมา แล้วนำไปทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอล เพื่อตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้น จากนั้นจึงนำปัญหากลับมาวิเคราะห์ร่วมกันกับสมาชิกภายในกลุ่มเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลให้มีความสามารถในการเคลื่อนย้ายลูกบอลจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งให้ได้จำนวนมากขึ้นไปอีก โดยในการดำเนินกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้นักเรียนจะได้ทำการสร้างอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลขึ้นมาตามที่ได้วางแผนออกแบบไว้ จากนั้นจึงนำอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลชิ้นต้นแบบนั้นไปทดสอบว่าสามารถเคลื่อนย้ายลูกบอลได้มากน้อยเพียงใด แล้วระหว่างนั้นเกิดปัญหาใดขึ้นหรือไม่ จะมีแนวทางในการพัฒนาอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลได้อย่างไร ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนพบว่า นักเรียนทุกกลุ่มทำการตรวจสอบอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลของตนเองแล้วนำกลับมาปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่พบ โดยการดัดแปลงหรือขยับชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อให้กลไกการทำงานของอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลของตนเองสมบูรณ์มากขึ้น แต่ก็ยังมีนักเรียนอยู่กลุ่มหนึ่งที่ใช้การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของตนเองในระหว่างทำการขนย้ายโดยเชื่อว่าอุปกรณ์ของตนเองนั้นดีอยู่แล้ว จึงทำการคอยระวังและเตือนเพื่อนให้ยกเชือกเพื่อทำให้อุปกรณ์ขนย้ายอยู่ในแนวระนาบลูกบอลจะได้ไม่กลิ้งตกลงมาระหว่างทำการขนย้าย

จากการวิจัยพัฒนาการของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในส่วนของการเรียนรู้จากข้อผิดพลาด พบว่านักเรียนมีการพัฒนาขึ้นตามลำดับของวงจรปฏิบัติการ โดยในวงจรปฏิบัติการที่ 1 นักเรียนส่วนใหญ่ยังไม่ได้แก้ไขปัญหาที่ตนเองพบแต่กลับเลือกที่จะเปลี่ยนแบบแบบจำลองของตนเองไปตามกลุ่มที่สามารถสร้างได้มีสิทธิภาพสูงกว่า ต่อมาเมื่อถึงในวงจรปฏิบัติการที่ 3 นักเรียนก็ได้มีการพัฒนาการเรียนรู้จากข้อผิดพลาดของตนเองโดยทำการปรับปรุงอุปกรณ์ขนย้ายของตนเองตามปัญหาที่พบ

จากผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการในแต่ละองค์ประกอบย่อยแล้วนั้น ในภาพรวมแล้วในตอนแรกนักเรียนยังไม่แสดงออกถึงการนำเสนอแนวคิด หรือสะท้อนกลับแนวคิดที่มีการนำเสนอมาได้ อีกทั้งยังมีความสามารถในการวิเคราะห์สถานการณ์แต่ยังขาดการตรวจสอบที่รอบคอบจนทำให้ไม่สามารถระบุเงื่อนไขได้อย่างครบถ้วน แต่เมื่อนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ผ่านไปก็สามารถที่จะพัฒนาในส่วนต่างๆเหล่านี้ให้ดีขึ้นได้ นอกจากนั้นนักเรียนยังสามารถที่จะเรียนรู้จากข้อผิดพลาดของตนเองแล้วนำกลับมาใช้ในการพัฒนาชิ้นงานได้เป็นอย่างดี

3. การสร้างสรรค์นวัตกรรม

สำหรับองค์ประกอบของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้านการสร้างสรรค์นวัตกรรม ผู้วิจัยได้ทำการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะ

เต็มศึกษา โดยศึกษาพฤติกรรมของนักเรียนโดยที่นักเรียนจะต้องทำการสร้างสรรค์ชิ้นงานขึ้นมาให้มีประสิทธิภาพให้เป็นไปตามที่เงื่อนไขของสถานการณ์กำหนด อีกทั้งยังต้องมีความแปลกใหม่ไม่ได้ลอกเลียนแบบมาอีกด้วย โดยจะทำการนำเสนอผลการพัฒนาในแต่ละพฤติกรรมของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในด้านการสร้างสรรค์นวัตกรรม ในแต่ละวงจรปฏิบัติการ ดังต่อไปนี้

วงจรปฏิบัติการที่ 1 เรื่อง สมดุลต่อการเลื่อนที่ จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วง

ในองค์ประกอบนี้นักเรียนจะได้ทำการสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารของตนเองขึ้นมาตามที่ได้วางแผนเอาไว้ จากนั้นจะมีการทดสอบแข่งขันเพื่อดูประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงสร้างอาคารของนักเรียนว่าผ่านตามเงื่อนไขที่สถานการณ์กำหนดไว้หรือไม่ และกลุ่มใดสามารถพัฒนาแบบจำลองของตนเองให้มีความสูงมากที่สุด ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมในชั้นเรียนพบว่า นักเรียนสามารถสร้างชิ้นงานและพัฒนาแบบจำลองโครงสร้างอาคารของตนเองให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น แต่ก็มีนักเรียนบางกลุ่มที่ยังไม่สามารถสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารให้บรรลุตามเงื่อนไขของสถานการณ์ที่กำหนดไว้ได้ เนื่องจากนักเรียนต้องการสร้างแบบจำลองอาคารให้มีความสูงที่สุด จึงไปทำการลอกเลียนแบบจากเพื่อนกลุ่มที่สามารถสร้างแบบจำลองที่มีความสูงมากกว่าของตนเอง แต่ในระหว่างการที่ต่อเติมแบบจำลองโครงสร้างอาคารนั้น ก็ได้เกิดการพังลงมาของโครงสร้างทำให้เมื่อเวลาที่กำหนดให้หมดลงนักเรียนกลุ่มดังกล่าวนี้ก็ไม่อาจที่จะสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารที่เป็นไปตามเงื่อนไขภายในเวลาที่กำหนดได้สำเร็จ นอกจากนั้นยังมีนักเรียนอีกหนึ่งกลุ่มที่สามารถสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารออกมาได้สำเร็จ แต่เมื่อทำการประเมินชิ้นงานแบบจำลองโครงสร้างอาคารนั้นกลับโค่นล้มลงก่อนที่เวลาจะผ่านไปครบ 1 นาที

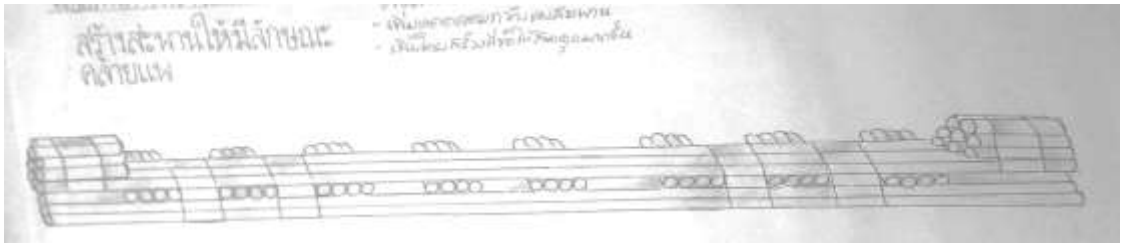
ภาพ 33 ตัวอย่างแบบจำลองโครงสร้างอาคารของนักเรียน

ภาพ 34 ตัวอย่างแบบจำลองโครงสร้างอาคารของนักเรียน

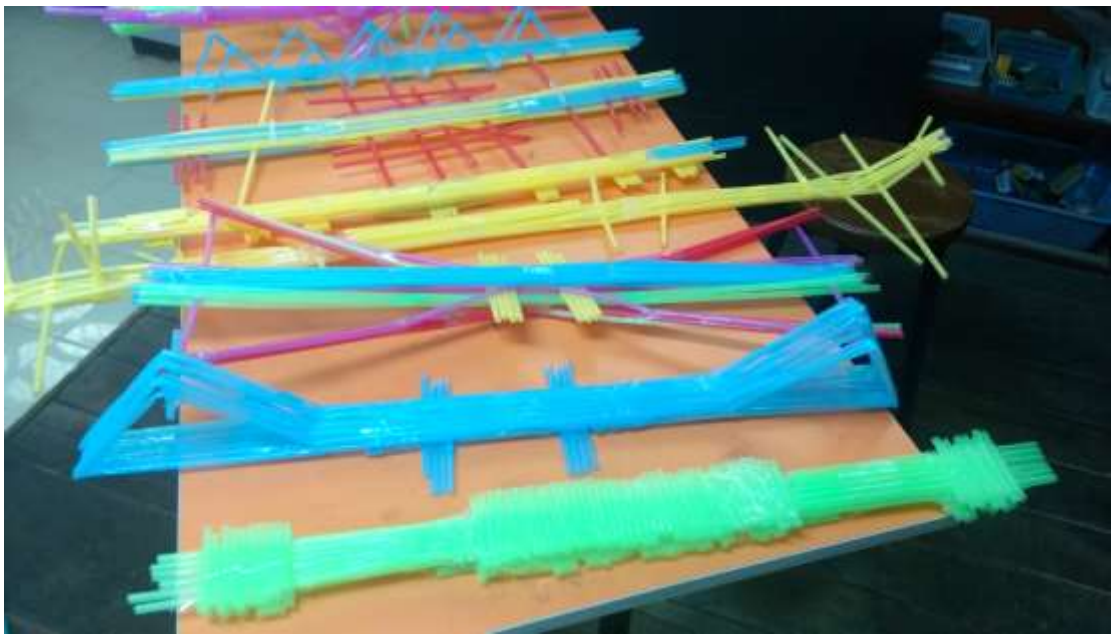
วงจรปฏิบัติการที่ 2 เรื่อง สมดุลต่อการหมุน

ในองค์ประกอบนี้นักเรียนจะได้ทำการสร้างแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนของตนเองขึ้นมาตามที่ได้วางแผนเอาไว้ จากนั้นจะมีการทดสอบแข่งขันเพื่อดูประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวนของนักเรียนว่าผ่านตามเงื่อนไขที่สถานการณ์กำหนดไว้หรือไม่ และกลุ่มใดสามารถพัฒนาแบบจำลองของตนเองให้มีความสามารถในการรองรับน้ำหนักให้มากที่สุด ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมในชั้นเรียนพบว่า นักเรียนทุกกลุ่มสามารถสร้างชิ้นงานออกมาได้สำเร็จลุล่วงตามที่เงื่อนไขกำหนดได้โดยการสร้างสะพานจากหลอดน้ำที่ไม่เกิดการหักงอเมื่อบรรทุกน้ำหนักลงไป เมื่อมีการประเมินจะมีการแข่งขันว่าสะพานใดที่สามารถรับน้ำหนักได้มากที่สุด ผลปรากฏว่านักเรียนกลุ่มที่ชนะเลิศสามารถสร้างสะพานที่สามารถรับน้ำหนักได้มากถึง 1,370 กรัม

แต่อย่างไรก็ตามกลุ่มที่ได้ลำดับสุดท้ายก็ยังสามารถสร้างสะพานให้รับน้ำหนักได้มากถึง 650 กรัม นอกจากนี้แบบจำลองโครงสร้างสะพานของแต่ละกลุ่มก็ยังมีความแตกต่างกันออกไปอีกด้วย แสดงให้เห็นถึงการวางแผนและออกแบบที่ไม่ได้ลอกเลียนซึ่งกันและกันของนักเรียน



ภาพ 35 ตัวอย่างแบบร่างของแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวน

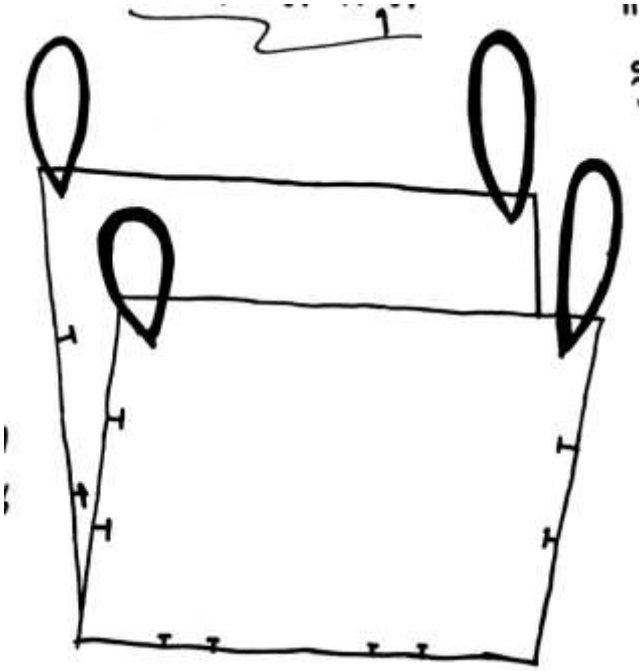


ภาพ 36 ตัวอย่างแบบจำลองโครงสร้างสะพานแขวน

วงจรปฏิบัติการที่ 3 เรื่อง การประยุกต์ใช้สภาพสมดุลในชีวิตประจำวัน

ในองค์ประกอบนี้นักเรียนจะได้ทำการสร้างอุปกรณ์ในการขนย้ายลูกบอลของตนเองขึ้นมาตามที่ได้วางแผนเอาไว้ จากนั้นจะมีการทดสอบแข่งขันเพื่อดูประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขนย้ายของนักเรียนว่าผ่านตามเงื่อนไขที่สถานการณ์กำหนดไว้หรือไม่ และกลุ่มใดสามารถพัฒนาอุปกรณ์ขนย้ายของตนเองให้มีความสามารถในการเคลื่อนย้ายลูกบอลให้ได้จำนวนมากที่สุด ซึ่งจากการสังเกตพฤติกรรมในชั้นเรียนพบว่า ในระหว่างการจัดสร้างอุปกรณ์ขนย้าย นักเรียนมีการ

อภิปรายร่วมกันตลอดเวลาถึงสิ่งที่ควรจะเป็นหรือสิ่งที่จะต้องทำเพิ่มเติมลงในแบบร่างของอุปกรณ์ขนย้ายที่พวกเขาวางแผนจะสร้าง เนื่องจากผู้เรียนต้องการให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการแข่งขันและอยากเป็นผู้ชนะในวันนั้น และเมื่อถึงการประเมินผู้ที่ชนะการแข่งขันสามารถผลงานลูกบอลได้เป็นจำนวน 15 ลูกแต่ก็ยังไม่ใช่จำนวนสูงสุดที่ขนย้ายได้เพราะกลุ่มที่สามารถขนย้ายได้สูงที่สุดคือ 17 ลูกแต่ว่าเกิดความผิดพลาดขึ้นในระหว่างการเทลูกบอลลงในถังน้ำเพราะว่าลูกบอลจำนวน 3 ลูกที่ลงไปในถังน้ำนั้นกระเด้งออกมาด้านนอกหรือบางรูปก็ไม่ตกลงไปในถังทำให้มียอดรวมอยู่ที่ 14 ลูก ส่วนกลุ่มที่ขนย้ายได้น้อยที่สุดก็สามารถขนย้ายลูกบอลได้เป็นจำนวน 6 ลูกเนื่องจากเกิดข้อผิดพลาดในระหว่างการขนย้าย เช่น การทำลูกบอลหล่นระหว่างทาง หรือเทลูกบอลไม่ลงไปในถังน้ำเป็นจำนวนมาก



ภาพ 37 ตัวอย่างแบบร่างของอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลที่นักเรียนสร้างขึ้น

ภาพ 38 ตัวอย่างอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลที่นักเรียนสร้างขึ้น

ภาพ 39 ตัวอย่างอุปกรณ์ขนย้ายลูกบอลที่นักเรียนสร้างขึ้น

จากผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการแล้วนั้น ภาพรวมในตอนแรกนักเรียนส่วนมากสามารถสร้างชิ้นงานออกมาได้ตรงตามที่เงื่อนไขของสถานการณ์กำหนด แต่ในเรื่องของการปรับปรุงและพัฒนางานยังมีการแสดงออกถึงการลอกเลียบแบบจากผู้อื่นอยู่ แต่เมื่อนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ผ่าน 3 วงจรปฏิบัติการนักเรียนก็สามารถปรับปรุงพัฒนาชิ้นงานของตนเองได้โดยที่ทำการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานของนักเรียนแล้วร่วมกันเสนอแนวคิดและพัฒนาชิ้นงานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นด้วยตัวของนักเรียนเอง

บทที่ 5

บทสรุป

การวิจัยเรื่อง การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของการเรียนฟิสิกส์ในหัวข้อเรื่อง สภาพสมดุล สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560 ซึ่งการวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่พัฒนาความคิดอย่างสร้างสรรค์ เรื่อง สภาพสมดุล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 และ 2) เพื่อศึกษาผลการพัฒนาความคิดอย่างสร้างสรรค์โดยการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง สภาพสมดุล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาวิธีการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเพื่อส่งเสริมความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมโดยใช้การจัดการเรียนรู้ที่ใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง สภาพสมดุล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 สรุปผลตามคำถามวิจัยได้ดังนี้

1. การจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเพื่อพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม เรื่อง สภาพสมดุล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ควรมีแนวทางอย่างไร

การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาประกอบไปด้วย 6 ขั้นตอนคือ 1) ระบุปัญหา (Problem Identification) 2) รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา (Related Information Search) 3) ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Solution Design) 4) วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (Planning and Development) 5) ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Testing, Evaluation and Design Improvement) 6) นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Presentation) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขั้นระบุปัญหา

ในขั้นนี้ผู้สอนต้องทำการชี้แจงรายละเอียดของการทำกิจกรรมให้ชัดเจน รวมถึงข้อกำหนดต่างๆที่เกี่ยวข้องทั้ง ขอบเขตงานที่จะได้รับ หรือระยะเวลาที่กำหนด แล้วจึงสร้างความสนใจแก่ผู้เรียนเพื่อนำเข้าสู่บทเรียนและการทำกิจกรรม จากนั้นจึงให้ผู้เรียนร่วมกันศึกษาสถานการณ์เพื่อระบุปัญหาและเงื่อนไขที่เกี่ยวข้อง โดยผู้สอนควรแบ่งกลุ่มนักเรียนออกเป็นกลุ่มเล็ก ไม่ควรมีจำนวนสมาชิกมากกว่า 5 คนโดยประมาณ และเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ใช้เวลาวิเคราะห์ร่วมกันภายในกลุ่ม โดยสถานการณ์ที่นำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ควรจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับตัวผู้เรียน เพื่อให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการดำเนินกิจกรรม ตัวอย่างเช่น มีการแข่งขันซึ่งผู้เรียนจะเป็นหนึ่งในผู้แข่งขันด้วย นอกจากนั้นแล้วผู้สอนยังต้องคอยเดินตรวจสอบผู้เรียนเพื่อทำการกระตุ้นผู้เรียนในมีส่วนร่วมกับทุกขั้นตอนในการทำกิจกรรม

ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

ในขั้นนี้จะเปิดกว้างให้ผู้เรียนได้มีโอกาสทบทวนเนื้อหาความรู้ที่ได้รับการศึกษาไปและทำการสืบค้นเพิ่มเติมจากแหล่งการเรียนรู้ต่างๆเพื่อมาใช้ในการแก้ปัญหา โดยผู้สอนจะคอยให้คำแนะนำแก่นักเรียนถึงการตัดสินใจเลือกนำความรู้มาใช้ในการแก้ปัญหา และผู้สอนอาจจะมีแหล่งการเรียนรู้เบื้องต้นให้กับผู้เรียนเพื่อเป็นแนวทางหรือตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ผู้เรียนได้หามา

ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา

ขั้นนี้ผู้เรียนจะทำการประยุกต์ใช้ความรู้ของกลุ่มตนเองที่ผ่านการวิเคราะห์มาเพื่อวางแผนออกแบบชิ้นงาน ตรงนี้ผู้สอนควรจะเป็นผู้คอยให้การกระตุ้นแก่ผู้เรียน ให้ผู้เรียนแสดงความคิดออกมาและกระตุ้นให้ผู้เรียนทำการวิเคราะห์ถึงประโยชน์และความเป็นไปได้ในการใช้แนวคิดที่ผู้เรียนคนอื่นนำเสนอออกมา

ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา

ในขั้นนี้ผู้เรียนจะนำแบบที่ร่างไว้มาสร้างขึ้นเป็นชิ้นงานจริง ผู้สอนควรจะมีกำหนดเวลาที่ให้กับผู้เรียนในการสร้างชิ้นงานอย่างชัดเจนเพื่อป้องกันการใช้เวลาเกินกว่าที่กำหนดและคอยสอบถามความคืบหน้าในการทำงานของผู้เรียนและแจ้งเตือนระยะเวลาที่เหลืออยู่ให้กับผู้เรียนได้ทราบเป็นระยะ นอกจากนี้ผู้สอนสามารถให้คำแนะนำกับผู้เรียนได้ ช่วยให้คำปรึกษาชี้นำให้ผู้เรียนได้เห็นถึงจุดเด่นหรือว่าจุดด้อยของงานตนเองก่อนที่จะลงมือปฏิบัติจริง แต่ต้องลองให้ผู้เรียนได้แก้ไขปัญหาด้วยตนเองก่อน

ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

ขั้นตอนนี้ผู้เรียนจะได้ทำการทดสอบ ปรับปรุง แก้ไขชิ้นงานของตนเองว่ามีข้อผิดพลาดใดเกิดขึ้นหรือไม่ สามารถทำให้ชิ้นงานนั้นพัฒนาขึ้นได้อย่างไร ผู้สอนต้องกระตุ้นให้ผู้เรียนเรียนรู้จากข้อผิดพลาดและสามารถหาทางออกด้วยตนเองแต่ผู้สอนอาจเป็นที่ปรึกษาให้ได้เมื่อผู้เรียนไม่สามารถแก้ไขปัญหาด้วยตนเองได้แล้ว

ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

ในขั้นตอนนี้เพื่อเป็นการรักษาเวลาผู้สอนควรกำหนดระยะเวลาที่แต่ละกลุ่มจะใช้ในการนำเสนองาน และควรหาสัญลักษณ์เพื่อแจ้งเตือนระยะเวลาที่เหลืออยู่ให้กับผู้นำเสนอได้ทราบ จากนั้นเมื่อการนำเสนอจบลงแล้วผู้สอนควรกระตุ้นให้ผู้ที่รับฟังการนำเสนอแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับเรื่องที่ได้นำเสนอไปเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาชิ้นงานต่อไปในอนาคตต่อไป

2. การจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง สภาพสมดุล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 สามารถพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้หรือไม่อย่างไร

จากผลการวิจัย เรื่อง การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา พบว่า ผู้เรียนมีการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม ในแต่ละด้านสูงขึ้นตามแต่ละวงจรปฏิบัติการ ดังนี้

2.1 การคิดอย่างสร้างสรรค์

จากผลการวิเคราะห์ทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ โดยภาพรวมแล้วนั้นนักเรียนสามารถรวบรวมความรู้ที่เกี่ยวข้องในการแก้ไขปัญหาซึ่งจะนำไปสู่การสร้างชิ้นงานได้โดยการใช้เทคนิควิธีการสร้างแนวคิด นอกจากนั้นผู้เรียนยังมีการวิเคราะห์และประเมินแนวคิดที่มีการนำเสนอเพื่อให้ได้แนวคิดที่เหมาะสมที่สุด แสดงให้เห็นถึงความก้าวหน้าในการสร้างแนวคิดใหม่ผ่านการร่วมมือกันภายในกลุ่ม

2.2 การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์

จากการวิเคราะห์ทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการแล้วพบว่าผู้เรียนมีความเข้าใจและสามารถที่จะระบุเงื่อนไขของสถานการณ์ได้ สามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับการดำเนินกิจกรรม และยังมีพัฒนาการในการวิเคราะห์และให้ข้อเสนอแนะแก่แนวคิดของผู้อื่นเพื่อนำไปสู่การพัฒนาต่อไป อีกทั้งยังสามารถเรียนรู้จากข้อผิดพลาดที่พบเจอแล้วนำมาใช้ในการพัฒนาชิ้นงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.3 การสร้างสรรค์นวัตกรรม

จากการศึกษาทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการแล้วสามารถให้ข้อสรุปได้ว่าผู้เรียนทุกคนมีพัฒนาการในการสร้างชิ้นงานออกมาเป็นรูปธรรมและสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริงทุกคนตั้งแต่ในวงจรปฏิบัติการที่ 2 และยังคงสามารถสร้างชิ้นงานที่ดีได้อย่างต่อเนื่องในวงจรปฏิบัติการที่ 3

จากการศึกษาการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมทั้ง 3 ด้านผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาทั้งสามวงจรปฏิบัติการ พบว่า ผู้เรียนมีการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในด้านการสร้างสรรค์นวัตกรรม รองลงมาคือการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ และการคิดสร้างสรรค์ตามลำดับ

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของการเรียนฟิสิกส์ เรื่อง สภาพสมดุล สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

ผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในเนื้อหาสภาพสมดุล สามารถช่วยให้นักเรียนสามารถนำความรู้เรื่องสภาพสมดุลมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาของสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน ด้วยการสร้างแนวคิดใหม่ขึ้นมาโดยผ่านการวิเคราะห์ ทดสอบวิธีการแก้ไขปัญหาของสถานการณ์ภายใต้ข้อจำกัด และพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในแต่ละขั้น ได้แก่ ขั้นระบุปัญหา ผู้วิจัยเตรียมสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับประเด็นที่ศึกษา ให้นักเรียนได้เกิดการวิเคราะห์และได้มีส่วนเกี่ยวข้องกับสถานการณ์จริง เช่น ในเรื่องสมดุลต่อการหมุน สถานการณ์ให้สร้างแบบจำลองสะพานให้แข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้มากที่สุด ซึ่งนักเรียนจะคุ้นเคยกับการใช้สะพานในชีวิตประจำวันทั้งเดินข้าม หรือขับรถผ่าน แต่ยังไม่ทราบในประเด็นว่าสิ่งใดที่สามารถช่วยให้สะพานมีความคงทนแข็งแรงรับน้ำหนักได้มาก ควรมีการใช้คำถามกระตุ้นให้เป็นแนวทางตัวอย่างในการค้นหาเงื่อนไขของสถานการณ์ ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา นักเรียนจะได้ทบทวนความรู้และค้นคว้าเพิ่มเติมเกี่ยวกับสิ่งจำเป็นสำหรับการแก้ปัญหา อาจมีตัวอย่างของแหล่งการเรียนรู้เบื้องต้นเพื่อเป็นแนวทางในการสืบค้นแก่นักเรียน ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา นักเรียนได้ออกแบบและวางแผนการสร้างชิ้นงานตามเงื่อนไขของสถานการณ์ เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ที่สถานการณ์กำหนด นักเรียนจะได้แสดงความคิดเห็นของตนเองให้ผู้อื่นได้รับฟัง และร่วมกันวิเคราะห์ความสำคัญของแนวคิดต่างๆ ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา นักเรียนจะได้เริ่มต้นสร้างชิ้นงานตามที่ได้วางแผนเอาไว้ โดยอาจมีการ

ปรับเปลี่ยนแผนการสร้างชิ้นงานได้ในระหว่างการสร้าง ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน นักเรียนนำชิ้นงานที่สร้างเสร็จแล้วมาทำการทดสอบว่าเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้และบรรลุตามจุดประสงค์หรือไม่ นักเรียนจะได้เรียนรู้จากข้อผิดพลาดและนำชิ้นงานกลับมาพัฒนาใหม่เพื่อให้ดียิ่งขึ้นกว่าเดิม ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน นักเรียนจะได้นำเสนอสิ่งที่ค้นพบและอภิปรายร่วมกับเพื่อนนักเรียนกลุ่มอื่นโดยการวิจารณ์สะท้อนผล และให้คำแนะนำเพื่อหาแนวทางใหม่สำหรับการสร้างชิ้นงานที่ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับนิลาวรรณ สิงห์งาม (2559) ที่กล่าวว่า หากนักเรียนมีแรงจูงใจ และมีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ แบ่งปันความคิดจากผู้อื่น จะส่งผลให้มีการสร้างแนวคิดใหม่ๆ เกิดขึ้น และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของวันเพ็ญ นันทศรี (2560) ที่พบว่า ปัจจัยที่มีส่วนให้ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนเพิ่มขึ้นคือการที่นักเรียนได้ปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยตนเอง และได้แสดงความคิดเห็นแลกเปลี่ยนความคิดกับเพื่อนภายในกลุ่มก่อให้เกิดการแตกแขนงทางความคิดขึ้น นอกจากนี้งานวิจัยของอภินภัศ จิตรกร (2560) ยังพบว่าหากนักเรียนมีการพัฒนาของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม นักเรียนก็จะสามารถทำการพัฒนาคุณภาพของชิ้นงานได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากนักเรียนจะสามารถสร้างแนวทางในการแก้ปัญหาได้หลากหลาย และเลือกนำมาใช้ให้เหมาะสมกับสถานการณ์

ผู้สอนควรจะทำการดูแลและจัดการเวลาที่มีอยู่ให้ดีเพื่อที่จะได้ทำการดำเนินการจัดการเรียนรู้ในแต่ละขั้นตอนได้โดยใช้เวลาให้เหมาะสมกับในแต่ละกิจกรรม เนื่องจากในแต่ละกิจกรรมก็จะมีการมอบหมายให้ผู้เรียนได้ออกแบบและทำการสร้างชิ้นงานขึ้นมาซึ่งความยาก-ง่ายของชิ้นงานที่นักเรียนได้รับก็จะมีความต่างกันตามแต่สถานการณ์ของกิจกรรมนั้นๆ เพื่อให้นักเรียนแสดงพฤติกรรมในการคิดสร้างสรรค์ออกมาได้อย่างเต็มที่ สอดคล้องกับ Nurdyani et al. (2017) ที่บอกว่า นักเรียนจะแก้ปัญหาด้วยความคิดที่แตกต่างกัน นักเรียนที่มีความสามารถสูงจะสามารถนำความรู้มาใช้แก้ปัญหาของสถานการณ์ได้อย่างรวดเร็ว และดำเนินการต่อในเรื่องของการสร้างสรรค์นวัตกรรมขึ้นมาได้ ซึ่งนักเรียนทุกคนก็จะมีความสามารถที่แตกต่างกัน การแสดงออกถึงพฤติกรรมต่างๆ จึงไม่เท่ากัน การจัดสรรเวลาที่เหมาะสมจะช่วยให้ผู้เรียนที่ช้าได้มีเวลาในการพัฒนาตนเองและไม่เร่งรีบเกินไป เพราะทักษะความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนจะต้องใช้เวลาในการฝึกฝน และอาศัยปัจจัยโดยรอบเป็นสิ่งสนับสนุน นอกจากนี้ในแต่ละท่านผู้สอนควรจะเดินเข้าไปสำรวจติดตามการดำเนินงานของแต่ละกลุ่มให้ทั่วถึงเพื่อเป็นการกระตุ้นให้นักเรียนแสดงออกถึงพฤติกรรมที่บ่งบอกถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม หากมีนักเรียนกลุ่มใดที่ไม่แสดงออกถึงพฤติกรรมของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมผู้สอนควรกระตุ้นเพื่อให้

นักเรียนแสดงพฤติกรรมนั้นออกมา สิ่งสำคัญที่สุดคือผู้สอนต้องไม่ลืมว่าการกระตุ้นให้นักเรียนแสดงพฤติกรรมออกมานั้นต้องไม่เป็นการชักจูงหรือแนะแนวทางให้ผู้เรียนนั้นทำตามที่ตนเองบอก เพราะสิ่งที่ผู้เรียนแสดงออกมาอาจจะไม่ใช่พฤติกรรมของนักเรียนเอง ซึ่งทำให้ไม่สามารถเห็นถึงพฤติกรรมความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของผู้เรียนอย่างแท้จริงได้

นอกจากนี้ ผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา สามารถช่วยพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในเรื่อง สภาพสมดุลของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ได้โดยพบว่านักเรียนมีการพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมในด้านการสร้างสรรค์นวัตกรรมมากที่สุด เนื่องจากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าในวงจรปฏิบัติการที่ 1 นักเรียนส่วนใหญ่สามารถสร้างสรรค์นวัตกรรมขึ้นมาให้ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดได้ แต่มีนักเรียน 3 กลุ่มที่ไม่สามารถสร้างสรรค์นวัตกรรมขึ้นมาให้ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ได้ เนื่องจากนักเรียนยังไม่ได้ทำการตรวจสอบข้อผิดพลาดของแบบจำลองโครงสร้างอาคารและดำเนินการปรับปรุงแก้ไข แต่นักเรียนทำการปรับเปลี่ยนต่อเติมแบบจำลองโครงสร้างอาคารเดิมของตนเองขึ้นเลย ส่งผลให้แบบจำลองของนักเรียนนั้นพังลงมาเนื่องจากทนรับน้ำหนักไม่ไหว และเนื่องด้วยโครงสร้างที่สูงไปทำให้แนวของจุดศูนย์ถ่วงไม่ลงผ่านที่ฐานของแบบจำลองจึงส่งผลให้แบบจำลองค่อยๆ เอียงลงมาและล้มลงในที่สุด อีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้นักเรียนไม่สามารถสร้างแบบจำลองโครงสร้างอาคารขึ้นมาได้เนื่องจากนักเรียนขาดการวางแผนที่ต้องทำการวิเคราะห์ เมื่อถึงเวลาที่จะต้องสร้างแบบจำลองขึ้นมา นักเรียนก็ลงมือตัดหลอดน้ำและสร้างแบบจำลองขึ้นโดยปราศจากการวางแผนจึงทำให้วัสดุที่ใช้มีความเสียหายและนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างยากลำบาก จึงเป็นผลให้การสร้างแบบจำลองของนักเรียนมีปัญหาเกิดขึ้นและไม่สามารถสร้างแบบจำลองได้เสร็จทันภายในเวลาที่กำหนด ต่อมาในวงจรปฏิบัติการที่ 2 นักเรียนทุกกลุ่มสามารถสร้างสรรค์นวัตกรรมขึ้นมาให้ผ่านเกณฑ์ที่สถานการณ์กำหนดได้และมีการปรับปรุงพัฒนาแบบจำลองโครงสร้างสะพานให้สามารถรองรับน้ำหนักได้มากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับในวงจรปฏิบัติการที่ 3 ที่นักเรียนก็สามารถสร้างนวัตกรรมขึ้นมาให้สามารถใช้งานได้จริงและผ่านเกณฑ์ที่สถานการณ์กำหนดไว้ได้

ด้านต่อไปที่นักเรียนมีการพัฒนาคือด้านการทำงานร่วมกันอย่างสร้างสรรค์โดยในวงจรปฏิบัติการที่ 1 นักเรียนยังทำงานโดยแยกส่วนแต่ละบุคคลขาดการร่วมมือกันการช่วยเหลือในการทำงานซึ่งกันและกัน ต่อมาในวงจรปฏิบัติการที่ 2 นักเรียนมีส่วนร่วมในการทำงานร่วมกันมากขึ้น มีการแสดงความคิดเห็นและช่วยเหลือกันในการทำงานอย่างต่อเนื่อง เนื่องมาจากได้รับการกระตุ้นจากผู้สอนและนักเรียนต้องการที่จะชนะในการแข่งขัน ในกลุ่มจึงเสนอแนะวิธีการสร้างสะพานแขวนจากหลอดน้ำของตนเองให้กับสมาชิกคนอื่นได้ฟังและทำการปรับปรุงร่วมกัน และในวงจร

ปฏิบัติการที่ 3 เมื่อสถานการณ์กำหนดให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการเป็นผู้เข้าแข่งขันเองนักเรียนก็รู้สึกอยากมีส่วนร่วมโดยตรงและได้ร่วมกันลงมือสร้างชิ้นงานขึ้นมาโดยรับฟังความคิดเห็นจากคนอื่นและให้การตอบกลับไปยังแนวคิดที่เพื่อนนำเสนอขึ้นมา และช่วยกันในการเรียนรู้จากข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานที่ตนเองได้นำไปทดสอบแล้วนำมาวิเคราะห์หาแนวทางในการพัฒนาชิ้นงานต่อไป

ส่วนในด้านการคิดสร้างสรรค์ ในวงจรปฏิบัติการที่ 1 นักเรียนยังขาดกลางนำเสนอความคิดและสร้างแนวคิดขึ้นใหม่พร้อมทั้งตรวจสอบวิเคราะห์แนวคิดนั้น เนื่องจากนักเรียนแต่ละกลุ่มยกหน้าที่การทำงานให้กับเพื่อนบางส่วนเพื่อดำเนินกิจกรรม การออกความคิดเห็นหรือการตัดสินใจจึงขึ้นอยู่กับคนที่ทำงานเพียงเท่านั้น ส่วนในวงจรปฏิบัติการที่ 2 นักเรียนมีการแสดงความคิดเห็นมากขึ้นเนื่องจากถูกกระตุ้นโดยครูผู้สอนและการอธิบายเริ่มต้นในการจัดการเรียนการสอนว่าให้ผู้เรียนทุกคนรวบรวมความคิดเห็นของตนเองแล้วนำเสนอให้กับเพื่อนที่อยู่ภายในกลุ่มรับฟัง และในวงจรปฏิบัติการที่ 3 ผู้เรียนกล้ามีการสร้างแนวคิดใหม่ได้ดีขึ้นแต่ยังขาดการวิเคราะห์ข้อมูลอยู่เนื่องจากนักเรียนนำข้อมูลที่ได้รวบรวมมาใช้เลยไม่ได้ทำการทดสอบ วิเคราะห์ก่อนนำมาใช้จริงเนื่องจากนักเรียนกลัวว่าจะไม่สามารถทำงานให้สำเร็จทันในเวลาที่กำหนด

ในภาพรวมนักเรียนมีพัฒนาการของความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเพิ่มมากขึ้นตามวงจรปฏิบัติการเพราะในระหว่างการจัดการเรียนรู้นักเรียนได้ออกแบบแนวคิด แลกเปลี่ยนความคิดเห็นร่วมกัน และสร้างสรรค์ชิ้นงานออกมาตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งสอดคล้องกับอภินภัศ จิตรกร (2560) ที่กล่าวว่า นักเรียนที่มีความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมสูงจะสามารถเชื่อมโยงความคิดเข้ากับสถานการณ์ที่ได้เรียนรู้มาใหม่ ชอบแก้ปัญหาและมองหาแนวทางใหม่ในการแก้ปัญหาอย่างหลากหลาย ทั้งนี้งานวิจัยของอรพรรณ์ แก้วกันหา, จุฑามาศ ศรีจำนง และจุรีรัตน์ ประวาลลัญฉกร (2560) ที่กล่าวว่า ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมเป็นทักษะขั้นสูงดังนั้นจึงต้องมีการฝึกฝนและใช้เวลาเพื่อให้เกิดการพัฒนาขึ้น

ข้อเสนอแนะ

จากการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเรื่อง สภาพสมดุล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ผู้วิจัยได้สรุปแนวคิดและข้อเสนอแนะไว้ดังนี้

1. ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

1.1 ผู้สอนจะต้องวางแผนการจัดการเรียนรู้โดยควรเตรียมตัวและวางโครงสร้างกิจกรรมอย่างเป็นขั้นตอนและมีความชัดเจน และทดลองสร้างชิ้นงานที่จะนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้เป็นแนวทางและไม่เป็นปัญหากับผู้เรียนในระหว่างการจัดการเรียนรู้

1.2 สถานการณ์ที่จะนำมาใช้ในการจัดกิจกรรมจะต้องมีความน่าสนใจ และเกี่ยวข้องกับตัวผู้เรียนโดยตรงมีความเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันหรือให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการจัดกิจกรรมก็ได้

1.3 ในการทำกิจกรรมผู้สอนควรชี้แจงการทำกิจกรรมรายละเอียดของงานให้กับผู้เรียนได้ทราบอย่างละเอียดเพื่อที่จะได้ไม่เกิดการสับสนและเป็นไปตามเวลาที่กำหนดไว้

1.4 ระหว่างการทำกิจกรรมผู้สอนควรให้คำแนะนำและเป็นผู้คอยกระตุ้นให้นักเรียนแสดงพฤติกรรมที่สื่อถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมออกมาและควรให้นักเรียนได้ลองศึกษาด้วยตนเองก่อนที่จะให้คำตอบแก่นักเรียน

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ในการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่เป็นการบูรณาการของ 4 สาขาวิชาความรู้ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบการจัดการเรียนรู้ให้แสดงถึงความสำคัญและการบูรณาการความรู้ทั้ง 4 สาขาวิชา แต่ผลปรากฏว่านักเรียนยังไม่ได้ให้ความสำคัญกับเนื้อหาทางด้านเทคโนโลยีและคณิตศาสตร์ศาสตร์เท่าที่ควร โดยนักเรียนไม่ได้กล่าวถึงบทบาทการใช้เทคโนโลยีของนักเรียนในระหว่างการดำเนินกิจกรรม และในส่วนของวิชาคณิตศาสตร์ก็ถูกมองข้ามไปซึ่งมีนักเรียนเพียงบางกลุ่มเท่านั้นที่พูดถึงบทบาทของคณิตศาสตร์ในการดำเนินกิจกรรมแต่ก็พูดถึงในเชิงพื้นฐานอย่างการคำนวณบวกลบเท่านั้น ดังนั้นหากได้มีโอกาสในการดำเนินการวิจัยในครั้งถัดไป ควรจัดแนวทางการจัดการเรียนการสอนให้นักเรียนตระหนักถึงบทบาทของเทคโนโลยีและคณิตศาสตร์ให้เท่ากับวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์เนื่องจากทุกสาขาวิชามีบทบาทและความสำคัญต่อการเรียนรู้มากเท่าๆ กัน

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560.* ม.ป.ท.: ม.ป.พ.

กรมวิชาการ, กระทรวงศึกษาธิการ. (2535). *ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลักการ ทฤษฎีการเรียนการสอน การวัดผลประเมินผล* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ครุสภา.

เกรียงศักดิ์ เจริญวงศ์ศักดิ์. (2556). *การคิดเชิงสร้างสรรค์.* กรุงเทพฯ: ซัคเซสมีเดีย.

ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2555) *เทคนิคการใช้คำถาม พัฒนาความคิด.* กรุงเทพฯ: วีพรินท์.

ชลาธิป สมาหิติ. (2557). *การจัดการศึกษาแบบบูรณาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ (STEM) สำหรับเด็กปฐมวัย.* กรุงเทพฯ: สมาคมอนุบาลแห่งประเทศไทย.

ชามาศ ดิษฐเจริญ, และปริญญ์ ทนันชัยบัตร. (2556). *การพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานตามแนวคอนสตรัคชั่นนิซึ่ม ในรายวิชาการเขียนโปรแกรมพัฒนาหุ่นยนต์ประยุกต์* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ณพัฐอร บัวฉุน, นฤมล ยุตาคม และพจนารถ สุวรรณรุจิ. (2559). สภาพการจัดการเรียนการสอนรายวิชาวิทยาศาสตร์เพื่อคุณภาพชีวิต หมวดวิชาศึกษาทั่วไป. *วารสารวิจัยและพัฒนาวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์*, *11*(2), 97-109.

ณัฐยา สินตระการผล. (2554). *การบริหารจัดการนวัตกรรม.* กรุงเทพฯ: ธรรกมลการพิมพ์.

ทิศนา แขมมณี. (2554*). ศาสตร์การสอน: องค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธวัช ชิตตระการ. (2555). *การพัฒนากระบวนการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมผ่านโปรแกรม STEM.* สืบค้น 15 ตุลาคม 2560, จาก www.deansci.com/th/download/stem.pdf

นิลาวรรณ สิงห์งาม. (2559). การพัฒนาบทเรียนบทเว็บโดยใช้โครงงานเป็นฐานร่วมกับกระบวนการสอนแบบซินเน็คติกส์ที่ส่งเสริมความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3. *วารสารบัณฑิตศึกษา, 13*(60), 151-166.

บุญชม ศรีสะอาด. (2546). *การวิจัยสำหรับครู.* กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

บุญชม ศรีสะอาด. (2547). *การวิจัยเบื้องต้นฉบับปรับปรุงใหม่.* กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

ประพันธ์ศิริ สุเสารัจ. (2551). *การพัฒนาการคิด.* กรุงเทพฯ: 9119 เทคนิคพริ้นติ้ง.

พงษ์พันธ์ พงษ์โสภา. (2542). *จิตวิทยาการศึกษา.* กรุงเทพฯ: พัฒนาศึกษา.

พรทิพย์ ศิริภัทราชัย. (2556). STEM Education กับการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21. *วารสารนักบริหาร, 33*(2), 49-56.

พิมพันธ์ เดชะคุปต์, และพเยาว์ ยินดีสุข. (2557). *การจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21.* กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เพ็ญนิดา ไชยสายัณห์. (2556). *การคิดเชิงสร้างสรรค์ (Creative Thinking)*. สืบค้น 28 พศจิกายน 2560, จาก http://www.pattani.go.th/plan/files/doc1.pdf

ภัสสร ติดมา. (2558). *การพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม เรื่อง ระบบร่างกายมนุษย์ด้วยการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษา ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

มณฑนา บรรพสุทธิ์. (2553). *การพัฒนาความสามารถในการคิดแก้ปัญหาทักษะชีวิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐาน* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศิลปากร.

มนตรี จุฬาวัฒนทล. (2556). *สะเต็มศึกษาประเทศไทยและทูตสะเต็ม (STEM Education Thailand and STEM Ambassadors)*. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, *42*(185), 14-18.

วิจารณ์ พานิช. (2555). *วิธีการสร้างการเรียนรู้เพื่อศิษย์ ในศตวรรษที่ 21*. กรุงเทพฯ: มูลนิธิสดศรี-สฤษดิ์วงศ์.

วันเพ็ญ นันทะศรี. (2560). การพัฒนาทักษะความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักศึกษาด้วยการเขียนแผนที่ความคิด. *วารสารบัณฑิตศึกษา, 14*(64), 43-50.

ศรายุทธ ชาญนคร, ประทุม อัตชู และศศิเทพ ปิติพรเทพิน. (2558). การพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 เรื่อง บรรยากาศ ด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์. ใน *การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 34* (น.1871-1876). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ศิริวรรณ ช้างงาม. (28 ตุลาคม 2558). *ทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21*. สืบค้น 22 ธันวาคม 2560, จาก https://www.l3nr.org/posts/561574

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557). *สะเต็มศึกษา (STEM Education)*. กรุงเทพฯ: กระทรวงศึกษาธิการ.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (29 มีนาคม 2560). *รายงาน PISA สรุปผลการวิจัย PISA 2015.* สืบค้น 5 สิงหาคม 2560, จาก http://pisathailand.ipst.ac.th/pisa/reports/pisa2015summaryreport eport

สริตา บัวเขียว. (2559). Scaffolding…ช่วยเสริมสร้างการพัฒนาการเรียนรู้อย่างไร. *วารสารมนุษยสังคมปริทัศน์, 18*(1), 1-15.

สิรินภา กิจเกื้อกูล. (2557). *การจัดการเรียนรู้วิทยาศาตร์ ทิศทางสำหรับครูทศวรรษที่ 21.* เพชรบูรณ์: จุลดิสการพิมพ์.

สิรินภา กิจเกื้อกูล. (2558). สะเต็มศึกษา. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 17*(2), 201-207.

สุคนธ์ สินธพานนท์. (2555). *พัฒนาทักษะการคิด...ตามแนวปฏิรูปการศึกษา.* กรุงเทพฯ: 9119 เทคนิคพริ้นติ้ง.

สุวิทย์ คำมูล. (2547). *กลยุทธ์การสอนคิดสร้างสรรค์.* กรุงเทพฯ: ภาพพิมพ์.

สุพรรณี ชาญประเสริฐ. (2557). Active Learning การจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21. *สสวท., 42*(188), 4.

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ. (2544). *ทฤษฎีการเรียนรู้เพื่อพัฒนากระบวนการคิด.* กรุงเทพฯ: โอเดียนสแควร์.

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2559). *แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 12*. (2560-2554). กรุงเทพฯ: สำนักนายกรัฐมนตรี.

อภิสิทธิ์ ธงไชย. (2556). เทคโนโลยีและวิศวกรรมคืออะไรในสะเต็มศึกษา. *นิตยสาร สสวท, 42*(185), 35-37.

อภินภัส จิตรกร. (2560). การพัฒนาการเรียนการสอนแบบร่วมกันแบบผสมผสานที่ใช้เทคนิคการแก้ปัญหาอนาคต เพื่อส่งเสริมความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม. *วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร, 37*(1), 23-42.

อรพรรณ์ แก้วกันหา จุฑามาศ ศรีจำนง และจุรีรัตน์ ประวาลลัญฉกร. (2560). การวิจัยปฏิบัติการเพื่อพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม รายวิชาคอมพิวเตอร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5. *วารสารศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวร*, *19*(2), 289-304.

อรุณี ศรีวงษ์ชัย. (2551) *การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนความสามารถในการให้เหตุผลและเจตคติต่อการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง ระบบสมการเชิงเส้น* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

อารี พันธ์มณี. (2546). *จิตวิทยาสร้างสรรค์การเรียนการสอน*. กรุงเทพฯ: ใยไหม.

อารี พันธ์มณี. (2557). *ฝึกให้คิดเป็นคิดให้สร้างสรรค์* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ใยไหม.

อารี รังสินันท์. (2527). *ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม*. กรุงเทพฯ: ธนกิจการพิมพ์.

อุบลวรรณา ภาวกานันท์. (2556). *จิตวิทยาการรู้ คิด และปัญญา*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

เอสทีวี ผู้จัดการออนไลน์. (15 มกราคม 2556). *โละสอนแบบท่องจำ ผุด "สะเต็มศึกษา" เรียนวิทย์-เทคโนฯปฏิบัติเน้นๆ*. สืบค้น 5 พฤศจิกายน 2560, จาก http://www.manager.co.th/QOL/ViewNews.aspx?NewsID=9560000005681

Awang, H., & Ramly, I. (2008). Through Problem-Based Learning: Pedagogy and Practice in the Engineering Classroom. *International Journal of Human and Social Sciences, 2*(4), 18–23.

Breiner, J.M., Johnson, C.C., Harkness, S.S., & Koehler, C.M. (2012). What is STEM? A discussion about Conceptions of STEM in education and partnerships. *Research Gate.* 3-11. doi: 10.1111/j.1949-8594.2011.00109.x

Bronson, P., & Merryman, A. (2010). *The Creativity Crisis*. Retrieved Febuary 12, 2018, from http://www.newsweek.com/creativity-crisis-74665

Gordon, W.J. (1961). *The Development of Creative Capacity*. Boston: Synecticsworld.

Guilford, J.P. (1967). *The nature of human intelligent.* New York: Mc Graw – Hill.

Hadani, H. (2015). *Inspiring a Generation to Create: Critical Components of Creativity in Children.* Retrieved October 24, 2017, from http://centerforchildhoodcreativity.org/wp-content/uploads/sites/2/2016/03/CCC-Inspiring-A-Generation-to-Create-White-Paper_ISSUU.pdf

Householder, D.L., & Hailey, C.E. (2012). *Incorporating engineering design challenges into STEM course*. Retrieved December 22, 2016, from http://digitalcommons.usu.edu/ncete_publication/166

Kim, K.H. (2011). The Creativity Crisis: The Decrease in Creative Thinking Scores on the Torrance Tests of Creative Thinking. *Creativity Research Journal*, *23*(4), 285-295.

Klausmeier, H.J. (1984). *Educational Psychology* (5th ed.). New York: HarperCollins.

Lancrin, S.V. (2017). Teaching, assessing and learning creative and critical thinking skills in education. *Centre for Educational Research and Innovation; CERI,* Retrieved October 13, 2017 from http://www.oecd.org/edu/ceri/assessingprogressioninc reativeandcriticalthinkingskillsineducation.htm

Laura Greenstien. (2012). *Assessing 21st Century Skills: A Guide to Evaluating Mastery and Authentic Learning.* California: Corwin Press.

Lou, S.J., Shin, R.U., Diez, C.R., &Tseng, K.H. (2010). The Impact of problem-based learning strategies on STEM knowledge integration and attitudes: An exploratory study among female Taiwanese senior high school students. *International Journal Technology Dissertation Education, 10*(1007), 195-215.

Maryland State Board of Education. (2012). *Maryland STEM: Innovation today to meet tomorrow's global challenges.* Retrieved November 12, 2017, from http://mdk12.msde.maryland.gov/instruction/curriculum/STEM/pdf/STEMBorchure2012.pdf

Marzano, R.J., Brandt, R.S., Hughes, C.S., Jones, B.F., Presseisen, B.Z., Rankin, S.C., & Suthor, C. (1988). *Dimensions of Thinking: A Framework for Curriculum and Instruction, Association for Supervision and Curriculum Development*. Alexandria: VA.

National Academy Press. (1996). *National Science Education Standards: Observe, Interact, Change, Learn* (4th ed.). Washington, DC: National Academy Press.

National Research Council. (2011). *Successful K-12 STEM Education* (Report Brief). Washington, DC: National Academy of Science.

National Research Council. (2012). *Education for Life and Work: Developing Transferable Knowledge and Skills in the 21st Century.* Washington, DC: National Academy of Science.

P21 Partnership for 21st Century Learning. (2007). about us. *Framework for 21st Century Learning.* Retrieved October 4, 2017, from http://www.p21.org/about-us/p21-framework

P21 Partnership for 21st Century Learning. (2011). Framework for 21st Century Learning. *Creativity and Innovation*. Retrieved October 4, 2017, from http://www.p21.org/about-us/p21-framework/262

P21 Partnership for 21st Century Learning. (2015). *What We Know about CREATIVITY* Retrieved October 4, 2017, from http://www.p21.org/storage/documents/docs/Research/P21_4Cs_Research_Brief_Series_-_Creativity.pdf

Schachter, R. (2012). *A classroom of engineers teaching STEM in the younger grades*. Retrieved January 6, 2018, from https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ973521.pdf

Strimel, G. (2014). Shale gas extraction: Drilling into current issues and making STEM connections. *Resources in Technology and Engineering,* 12, 16-24.

Theall, M. (2004). *IDEA Item #11: "Related course material to real life situation".* Retrieved October 19, 2017, from http://www.ideaedu.org/Resources-Events/Teaching-Learning-Resources/Related-course-material-to-real-life-situations

Torrance, E.P. (1965). *Scientific views of Creativity and Factors Affecting Its Growth.* Cambridge, MA: The MIT Press.

Torrance, E.P. (1973). *Guiding creative talent.* New Delhi: Prentice – Hall.

Torrance, E.P. (1974). *The Torrance Tests of Creative Thinking: Norms-Technical Manual.* Princeton, NJ: Personal Press.

Vasquez, J.A., Sneider, C. & Comer, M. (2013). *STEM lesson essentials.* Portsmouth: Heinemann.

Yanni, R.D. (2016). *Critical and Creative Thinking: A Brief Guide for Teachers*. Chichester, West Sussex: Wiley Blackwell, United Kingdom.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 18 **หน่วยการเรียนรู้ที่** 8 สภาพสมดุลและสภาพยืดหยุ่น
เรื่อง สภาพสมดุลและสมดุลต่อการเลื่อนที่
รายวิชา ว 30202 ฟิสิกส์ 2 **กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์**
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 **ภาคเรียนที่** 2 **ปีการศึกษา** 2560 **จำนวนเวลาที่สอน** 4 **ชั่วโมง**

---

1. **มาตรฐานการเรียนรู้และผลการเรียนรู้**

อธิบายสภาพสมดุลของวัตถุ และวิเคราะห์สภาพสมดุลตามเงื่อนไขของสมดุล

สาระที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มาตรฐาน ว 8.1 ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้การแก้ปัญหา รู้ว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีรูปแบบที่แน่นอน สามารถอธิบายและตรวจสอบได้ภายใต้ข้อมูลและเครื่องมือที่มีอยู่ในช่วงเวลานั้น ๆ เข้าใจว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคม และสิ่งแวดล้อม มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

ตัวชี้วัด

ว 8.1 ม.4-6/2 สร้างสมมติฐานที่มีทฤษฎีรองรับ หรือคาดการณ์สิ่งที่จะพบ หรือสร้างแบบจำลอง หรือสร้างรูปแบบ เพื่อนำไปสู่การสำรวจตรวจสอบ

2. **จุดประสงค์การเรียนรู้**

ด้านความรู้

1. นักเรียนสามารถอธิบายความหมายของสภาพสมดุลของวัตถุได้อย่างถูกต้อง
2. นักเรียนสามารถอธิบายสภาพสมดุลแต่ละประเภทได้อย่างถูกต้อง
3. นักเรียนร่วมกันวิเคราะห์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับสมดุลต่อการเลื่อนที่จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้อย่างถูกต้อง (มีการใช้เทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิด และมีการตรวจสอบแก้ไข วิเคราะห์ และประเมินแนวคิดที่นำมาใช้ในการสร้าง ปรับปรุงและพัฒนาชิ้นงาน)
4. นักเรียนร่วมกันระบุปัญหาและเงื่อนไขจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้อย่างถูกต้อง (1.1 มีการใช้เทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิด 1.3 มีการตรวจสอบ แก้ไข วิเคราะห์ และประเมินแนวคิดที่นำมาใช้ในการสร้าง ปรับปรุงและพัฒนาชิ้นงาน 2.3 นำเสนอความคิดเริ่มต้นและความคิดที่สร้างสรรค์ขึ้น รวมทั้งทำความเข้าใจกับข้อจำกัดที่มีอยู่เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแนวคิดใหม่)

5. นักเรียนสามารถนำความรู้ที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการออกแบบแบบร่างของแบบจำลองโครงสร้างอาคารได้ (1.2 สร้างสรรค์แนวคิดที่ใหม่และมีคุณค่าทั้งจากแนวความคิดเดิมหรือแนวความคิดใหม่)

ด้านทักษะ

6. นักเรียนสามารถสร้างแบบจำลองอาคารจากหลอดน้ำให้สามารถตั้งอยู่ได้โดยไม่ล้มลง (3 การสร้างสรรค์นวัตกรรม)

7. นักเรียนสามารถทำการทดสอบและพัฒนาแบบจำลองอาคารให้ให้มีความสูงมากขึ้น (2.4 เรียนรู้จากข้อผิดพลาด เนื่องจากความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและการสร้างนวัตกรรมเป็นทักษะที่ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้และทำซ้ำจนเกิดผลสำเร็จ)

8. นักเรียนสามารถนำเสนอผลการทำกิจกรรมให้แก่ผู้อื่นได้เข้าใจ และให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมแก่ผู้อื่นได้

ด้านคุณลักษณะ

9. นักเรียนสามารถอธิบายและให้คำแนะนำในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นภายในกลุ่มพร้อมทั้งยินดีรับฟังความคิดเห็นจากผู้อื่น (2.1 พัฒนา ปฏิบัติและสื่อสารแนวคิดใหม่ๆ ให้ผู้อื่นได้เข้าใจอย่างมีประสิทธิภาพ และ2.2 รับฟัง และยอมรับความคิดเห็นจากผู้อื่นพร้อมทั้งสะท้อนผลที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน)

10. นักเรียนให้ความร่วมมือในการทำงานภายในกลุ่มและการทำงานร่วมกับผู้อื่นได้

11. นักเรียนมีความรับผิดชอบต่องานที่ได้รับมอบหมาย

12. นักเรียนมีความกระตือรือร้นในการเรียนและปฏิบัติกิจกรรมให้สำเร็จภายในเวลาที่กำหนด

3. สาระการเรียนรู้

วัตถุที่สามารถรักษาสภาพการเคลื่อนที่ให้คงเดิมได้ วัตถุนั้นจะอยู่ในสภาพสมดุล (Equilibrium) ซึ่งสภาพสมดุลสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทตามสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุ คือ

1. สมดุลสถิต (Static equilibrium) เป็นสมดุลของวัตถุที่อยู่นิ่ง

2. สมดุลจลน์ (Dynamic equilibrium) เป็นสมดุลของวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว

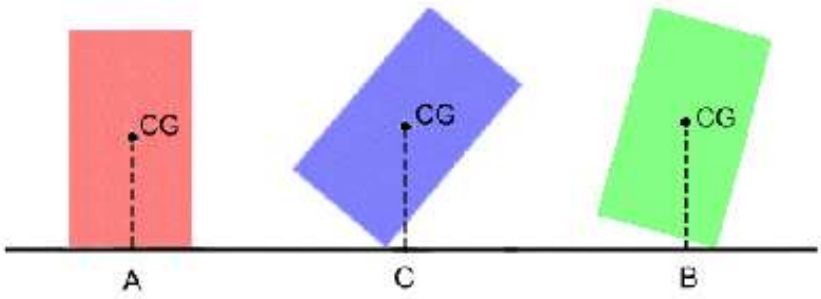
หรือสามารถแบ่งตามลักษณะการเคลื่อนที่ได้ 2 ประเภทคือ

1. สมดุลต่อการเลื่อนที่ (Translational equilibrium) เป็นสมดุลที่วัตถุหยุดนิ่ง หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว โดยมีเงื่อนไขคือ $\sum \vec{F} = 0$

2. สมดุลต่อการหมุน (Rotational equilibrium) เป็นสมดุลของวัตถุที่ไม่หมุน หรือ หมุนด้วยความเร็วเชิงมุมคงที่เมื่อทอร์กหรือโมเมนต์ของแรงที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ โดยมีเงื่อนไขคือ $\sum \vec{M} = 0$

จุดศูนย์กลางมวล (Centre of Mass: CM) เป็นจุดที่เสมือนเป็นที่รวมมวลของวัตถุทั้งก้อนนั้น โดยที่จุด CM อาจจะอยู่ภายนอกของเนื้อวัตถุนั้นก็ได้ เช่น วัตถุรูปโดนัท ซึ่งโดยปกติวัตถุบางชนิดจะมีมวลภายในหนาแน่นไม่เท่าตลอดทั้งเนื้อสาร จุด CM จึงเปรียบเสมือนจุดที่รวมมวลของวัตถุทั้งก้อนนั้นไว้ ซึ่งถ้าหากให้แรงกระทำต่อวัตถุ โดยให้แนวตรงผ่านจุด CM จะทำให้วัตถุนั้นไม่หมุน แต่ถ้าหากแรงที่กระทำนั้นไม่ผ่านจุด CM วัตถุที่ถูกแรงกระทำจะหมุนในทิศทางตามแรงนั้น

จุดศูนย์ถ่วง (Centre of Gravity: CG) ถ้าหากว่าเราพิจารณาวัตถุต่างๆ ที่เป็นของแข็งและมีรูปทรง การวางวัตถุนั้นไว้บนพื้นราบ วัตถุนั้นจะมีลักษณะอยู่ในสมดุลได้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งและแนวของจุดศูนย์ถ่วง จึงอาจสรุปได้ว่า จุดศูนย์ถ่วง คือ จุดที่เหมือนตำแหน่งที่รวมของน้ำหนักของวัตถุทั้งก้อน



จากรูปวัตถุในรูป A วางอยู่ในลักษณะสมดุล เพราะแนวของ CG ที่ตั้งดิ่งลงสู่พื้นโลก อยู่ในกรอบฐาน ถ้าโยกวัตถุรูป A ให้อยู่ในตำแหน่ง B ที่มีแนวของจุดศูนย์ถ่วง CG ยังอยู่ภายในฐานของวัตถุ วัตถุก็จะกลับมาอยู่ในตำแหน่งเดิมตามรูป A แต่ถ้าโยกวัตถุรูป A ให้อยู่ในตำแหน่ง C ซึ่งมีแนวจุดศูนย์ถ่วง CG เลยออกจากฐานวัตถุนั้นก็จะล้มลงและไม่ได้กลับไปอยู่ในสถานะเดิม

4. **สมรรถนะที่สำคัญที่เกิดกับผู้เรียน**

สมรรถนะที่สำคัญ	**พฤติกรรมที่บ่งชี้**
ความสามารถในการคิด	นักเรียนสามารถคำนวณแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุแต่ละชนิดได้อย่างถูกต้อง

5. **คุณลักษณะอันพึงประสงค์ (ที่ปรากฏจากการเรียน)**

คุณลักษณะอันพึงประสงค์	**พฤติกรรมที่บ่งชี้**
ใฝ่เรียนรู้	นักเรียนมีความสนใจในการเข้าร่วมกิจกรรมการเรียนรู้ต่างๆ
มุ่งมั่นในการทำงาน	นักเรียนตั้งใจและรับผิดชอบในการทำงานให้สำเร็จ

6. **การวัดและการประเมินผล**

จุดประสงค์การเรียนรู้	**วิธีการวัด**	**เครื่องมือ**	**เกณฑ์ที่ใช้**
ด้านความรู้ 1. นักเรียนสามารถอธิบายความหมายของสภาพสมดุลของวัตถุได้อย่างถูกต้อง 2. นักเรียนสามารถอธิบายสภาพสมดุลแต่ละประเภทได้อย่างถูกต้อง 3. นักเรียนร่วมกันวิเคราะห์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับสมดุลต่อการเลื่อนที่จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้อย่างถูกต้อง 4. นักเรียนร่วมกันระบุปัญหาและเงื่อนไขจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ได้อย่างถูกต้อง 5. นักเรียนสามารถนำความรู้ที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการออกแบบแบบร่างของแบบจำลองโครงสร้างอาคารได้	การพูดคุยในชั้นเรียน การตอบคำถาม การสังเกตพฤติกรรม	แบบบันทึกการทำกิจกรรมในชั้นเรียน ใบกิจกรรม เรื่อง ตั้งให้สูงที่สุด แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม	ได้คะแนนแต่ละรายการไม่น้อยกว่าระดับพอใช้ สามารถแสดงพฤติกรรมที่บ่งบอกถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

จุดประสงค์การเรียนรู้	วิธีการวัด	เครื่องมือ	เกณฑ์ที่ใช้
ด้านทักษะ 1. นักเรียนสามารถสร้างแบบจำลองอาคารจากหลอดน้ำให้สามารถตั้งอยู่ได้โดยไม่ล้มลงมา 2. นักเรียนสามารถทำการทดสอบและพัฒนาแบบจำลองอาคารให้มีความสูงมากขึ้นได้ 3. นักเรียนสามารถนำเสนอผลการทำกิจกรรมให้แก่ผู้อื่นได้เข้าใจ และให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมแก่ผู้อื่นได้	การพูดคุยในชั้นเรียน การทำกิจกรรม การสังเกตพฤติกรรม	แบบบันทึกการทำกิจกรรมในชั้นเรียน ใบกิจกรรม เรื่อง ตั้งให้สูงที่สุด แบบฝึกหัด เรื่อง สภาพสมดุล แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม	ได้คะแนนแต่ละรายการไม่น้อยกว่าระดับพอใช้ ทำแบบฝึกหัดถูกต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 สามารถแสดงพฤติกรรมที่บ่งบอกถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม
ค้านคุณลักษณะ 1. นักเรียนสามารถอธิบายและให้คำแนะนำในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นภายในกลุ่ม พร้อมทั้งยินดีรับฟังความคิดเห็นจากผู้อื่น 2. นักเรียนให้ความร่วมมือในการทำงานภายในกลุ่มและการทำงานร่วมกับผู้อื่นได้ 3. นักเรียนมีความรับผิดชอบต่องานที่ได้รับมอบหมาย	การสังเกตพฤติกรรม	แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม	สามารถแสดงพฤติกรรมที่บ่งบอกถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

จุดประสงค์การเรียนรู้	วิธีการวัด	เครื่องมือ	เกณฑ์ที่ใช้
4. นักเรียนมีความกระตือรือร้นในการเรียนและปฏิบัติกิจกรรมให้สำเร็จภายในเวลาที่กำหนด			

7. กิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นระบุปัญหา

1. ครูแบ่งนักเรียนออกเป็น 10 กลุ่ม จากนั้นสร้างความสนใจเกี่ยวกับเรื่อง สภาพสมดุล โดยการนำวิดีทัศน์ “การทำให้วัตถุต่างๆ สมดุล” แล้วครูตั้งคำถามเพื่อเป็นการกระตุ้นผู้เรียน ดังนี้

- นักเรียนเห็นชายในวีดิทัศน์กำลังทำอะไรอยู่ (พยายามตั้งสิ่งของในสภาพที่ไม่น่าจะตั้งอยู่ได้)
- วัตถุที่ชายคนนี้ตั้งเป็นอย่างไรบ้าง (อยู่นิ่ง หรืออยู่ในสภาพสมดุล)
- จากความรู้ในครั้งที่แล้ว วัตถุจะอยู่ในสภาพสมดุลได้ก็ต่อเมื่อวัตถุนั้นเป็นอย่างไร (แรงลัพธ์ที่มากระทำกับวัตถุมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งก็คือวัตถุนั้นอยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่)

2. ครูแจกใบกิจกรรมให้แก่นักเรียน และอธิบายขั้นตอนการทำกิจกรรมและรายละเอียดของใบกิจกรรมให้แก่นักเรียน

3. ครูให้นักเรียนศึกษาสถานการณ์ในใบกิจกรรม แล้วให้นักเรียนทำคำถามข้อที่ 1 ในใบกิจกรรม คือเขียนปัญหาและเงื่อนไขที่สถานการณ์กำหนดมาให้ว่ามีอะไรบ้าง

ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

4. ครูอธิบายถึงลักษณะของสภาพสมดุลว่าสามารถจำแนกออกเป็นกี่ประเภทอะไรบ้าง (2 ประเภท คือ สมดุลสถิตและสมดุลจลน์)

5. ครูอธิบายเงื่อนไขของการเกิดสมดุลในแต่ละประเภทว่าเป็นอย่างไร

6. นักเรียนแต่ละกลุ่มออกมารับตราชั่งสปริงและถุงทราย จากนั้นทำการทดลองใช้ตราชั่งสปริงยกถุงทรายที่แขวนไว้ขึ้นในแนวดิ่งด้วยความเร็วคงที่ แล้วสังเกตผลการทดลอง จากนั้นทดลองดึงถุงทรายด้วยความเร่ง แล้วเปรียบเทียบกัน

7. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทดลองร่วมกัน

8. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายว่าถ้าหากมีแรง 2 แรงมากระทำกับวัตถุ วัตถุนั้นจะอยู่ในสภาพสมดุลได้อย่างไร (เงื่อนไขของสมดุลของแรง 2 แรง)

9. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายว่าถ้าหากมีแรงเพิ่มเข้ามาอีก 1 แรงเป็น 3 แรงมากระทำกับวัตถุ วัตถุนั้นจะอยู่ในสภาพสมดุลได้อย่างไร (เงื่อนไขของสมดุลของแรง 3 แรง)

10. ครูสรุปว่าสมดุลจลน์นั้นสามารถแยกออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ สมดุลต่อการเลื่อนที่และสมดุลต่อการหมุน

11. ครูอธิบายเพิ่มเติมถึงจุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วงของวัตถุ โดยให้นักเรียนชมวีดิทัศน์

12. ครูเปิดประเด็นในหัวข้อ จุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์ถ่วงเกี่ยวข้องกับสภาพสมดุลอย่างไร แล้วให้นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายร่วมกัน

13. ครูให้นักเรียนทำใบกิจกรรมในข้อที่ 2 เพื่อให้นักเรียนเขียนอธิบายข้อความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรมลงในในกิจกรรมให้ครบถ้วน ด้วยการทบทวนเนื้อหาหรือหาข้อมูลเพิ่มเติมจากอินเทอร์เน็ต และนำมาพูดคุยแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับเพื่อนภายในกลุ่ม

14. ในระหว่างการทำกิจกรรมครูจะเป็นผู้คอยเดินสำรวจนักเรียนและทำการสอบถามเพื่อเป็นการกระตุ้นแก่นักเรียน

ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา

15. นักเรียนเริ่มต้นออกแบบโครงสร้างอาคารของกลุ่มตนเองโดยนำความรู้ที่รวบรวมมาได้จากการวิเคราะห์ร่วมกัน มาสร้างเป็นแบบร่างของตัวชิ้นงาน

16. นักเรียนบันทึกแนวการสร้างชิ้นงานของกลุ่มตนเอง และวาดแบบร่างของชิ้นงานลงในใบกิจกรรมข้อ 2 และ ข้อ 3

17. ในระหว่างการทำกิจกรรมครูจะเป็นผู้คอยเดินสำรวจนักเรียนและทำการสอบถามเพื่อเป็นการกระตุ้นแก่นักเรียน

ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา

18. นักเรียนเริ่มทำการสร้างชิ้นงานโดยส่งตัวแทนกลุ่มออกมารับอุปกรณ์ที่หน้าชั้นเรียน โดยอุปกรณ์ประกอบด้วย หลอดน้ำ 20 หลอด และดินน้ำมัน 1 ก้อน

19. นักเรียนลงมือสร้างแบบจำลองตามที่ได้วางแผนไว้ โดยมีเวลากำหนดให้ 50 นาที

20. ในระหว่างการทำกิจกรรมครูจะเป็นผู้คอยเดินสำรวจนักเรียนและทำการสอบถามเพื่อเป็นการกระตุ้นแก่นักเรียน

ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

21. นักเรียนนำชิ้นงานที่สร้างเสร็จแล้วมาทำการทดสอบ เพื่อหาปัญหาและข้อผิดพลาดเพื่อทำการพัฒนาชิ้นงานให้ดีที่สุด โดยบันทึกผลการทดสอบ ปัญหา และแนวทางแก้ไขลงในใบกิจกรรม

22. เมื่อนักเรียนทำการปรับปรุงชิ้นงานเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ก็นำชิ้นงานทุกอันมาทดสอบที่หน้าชั้นเรียน โดยครูเป็นผู้ทดสอบว่าชิ้นงานแต่ละชิ้นผ่านตามเงื่อนไขหรือไม่ และค้นหาผู้ชนะเลิศที่ทำแบบจำลองอาคารได้สูงที่สุด

23. นักเรียนบันทึกสรุปผลการทำกิจกรรมลงในใบกิจกรรม

ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

24. นักเรียนแต่ละกลุ่มส่งตัวแทนออกมารับกระดาษบรู๊ฟและปากกาสีที่หน้าชั้นเรียน

25. นักเรียนทำการบันทึกลงในแบบนำเสนอ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปใน

- เงื่อนไขของสถานการณ์
- แนวทางการสร้างชิ้นงาน
- แบบร่างโครงสร้างของแบบจำลอง
- ปัญหาที่พบและวิธีแก้ไข
- ผลการทดสอบชิ้นงาน
- ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการปรับปรุงชิ้นงานในอนาคต

26. นักเรียนแต่ละกลุ่มออกมานำเสนอหน้าชั้นเรียนโดยมีเวลา 5 นาที

27. หลังจบการนำเสนอของนักเรียนแต่ละกลุ่มจะใช้เวลา 5 นาที เพื่อทำการอภิปรายเกี่ยวกับการนำเสนอที่จบไป โดยให้นักเรียนที่เป็นผู้ฟังเสนอแนะวิธีการแก้ปัญหา หรือคำแนะนำเพิ่มเติม จากนั้นให้นักเรียนตรวจสอบใบกิจกรรมให้เรียบร้อยและนำส่งครูท้ายชั่วโมง

8. สื่อ/แหล่งการเรียนรู้

1. วิดีทัศน์การทำให้วัตถุต่างๆ สมดุล
2. ชุดกิจกรรม ตั้งให้สูงที่สุด ประกอบไปด้วย
   - หลอดน้ำ
   - ดินน้ำมัน
   - กระดาษ A4
3. แบบฝึกหัด เรื่อง สภาพสมดุลและสมดุลต่อการเลื่อนที่
4. หนังสือเรียนวิชา ฟิสิกส์เพิ่มเติม เล่มที่ 2 ของ สสวท

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....

ครูพี่เลี้ยง

9. บันทึกผลหลังการจัดการเรียนรู้

9.1 ผลที่เกิดขึ้นแก่ผู้เรียน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

9.2 ปัญหาที่พบจากการสอน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

9.3 แนวทางการแก้ไข

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ.....ผู้สอน

(นายไตรรงค์ เมธีผาติกุล)

นิสิตฝึกประสบการณ์สอน

แบบบันทึกการสังเกตพฤติกรรม

กลุ่มที่.....

สมาชิกกลุ่ม 1. ..... เลขที่ .....

2. ..... เลขที่ .....

3. ..... เลขที่ .....

4. ..... เลขที่ .....

5. ..... เลขที่ .....

รายการประเมิน	ระดับการประเมิน		
	3	2	1
1. รับผิดชอบ เอาใจใส่ ทำงานเสร็จทันตามเวลา			
2. มีวินัยในการทำงาน เห็นคุณค่าและความสำคัญของงาน			
3. มีน้ำใจ มีเหตุผล ยอมรับความคิดเห็นซึ่งกันและกัน			
4. ให้ความร่วมมือในการทำงานภายในกลุ่ม			

เกณฑ์การประเมิน

1. รับผิดชอบ เอาใจใส่ ทำงานเสร็จทันตามเวลา

3 หมายถึง นักเรียนทำแบบฝึกหัดที่กำหนดให้เสร็จภายในเวลาที่กำหนด

2 หมายถึง นักเรียนทำแบบฝึกหัดที่กำหนดให้ไม่เสร็จภายในเวลาที่กำหนด แต่มีความคืบหน้าแล้ว

1 หมายถึง นักเรียนทำแบบฝึกหัดที่กำหนดให้ไม่เสร็จภายในเวลาที่กำหนด

2. มีวินัยในการทำงาน เห็นคุณค่าและความสำคัญของงาน

3 หมายถึง นักเรียนร่วมมือกันสมาชิกในกลุ่มทำกิจกรรมแก้โจทย์ปัญหาในทุกขั้นตอน

2 หมายถึง นักเรียนร่วมมือกันสมาชิกในกลุ่มทำกิจกรรมแก้โจทย์ปัญหาในบางขั้นตอน

1 หมายถึง นักเรียนไม่สนใจกิจกรรมหรือทำกิจกรรมแก้โจทย์ปัญหาเพียงแค่คนเดียว

3. มีน้ำใจ มีเหตุผล ยอมรับความคิดเห็นซึ่งกันและกัน

3 หมายถึง นักเรียนรับฟังความคิดเห็นจากสมาชิกคนอื่นๆในกลุ่ม

2 หมายถึง นักเรียนไม่ได้รับฟังความคิดเห็นจากสมาชิกคนอื่นๆในกลุ่มทุกช่วง มีพูดคุยเล่นกับสมาชิกคนอื่นบ้าง

1 หมายถึง นักเรียนไม่รับฟังความคิดเห็นจากสมาชิกคนอื่นๆในกลุ่ม

4. ให้ความร่วมมือในการทำงานภายในกลุ่ม

3 หมายถึง นักเรียนรับฟังสมาชิกคนอื่นและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นที่ตนได้ศึกษามาแก่สมาชิกคนอื่นๆ

2 หมายถึง นักเรียนไม่รับฟังสมาชิกคนอื่นหรือไม่แลกเปลี่ยนความคิดเห็นที่ตนได้ศึกษามาแก่สมาชิกคนอื่นๆ

1 หมายถึง นักเรียนไม่สนใจในการทำกิจกรรม

เกณฑ์การผ่าน : แต่ละรายการต้องไม่น้อยกว่าระดับ 2

แบบบันทึกการทำกิจกรรมในชั้น

การตอบคำถาม

เลขที่	คำถาม	คำตอบ	หมายเหตุ

การนำเสนอและการอภิปรายหน้าชั้นเรียน

เลขที่	เนื้อหาตรงกับหัวข้อ และครอบคลุมครบถ้วน	เสียงดัง ฟังชัด มีความมั่นใจในตนเอง	ตอบคำถามถูกต้องชัดเจน

เกณฑ์การประเมิน

ระดับคุณภาพ	ความหมาย
5 (**ดีเยี่ยม**)	เนื้อหาตรงกับหัวข้อ และครอบคลุมครบถ้วน เสียงดัง ฟังชัด มีความมั่นใจในตนเอง ตอบคำถามถูกต้อง ชัดเจน
4 (**ดี**)	เนื้อหาตรงกับหัวข้อ และครอบคลุมครบถ้วน มีความมั่นใจในตนเอง ตอบคำถามถูกต้อง ชัดเจน
3 (**เกือบดี**)	เนื้อหาตรงกับหัวข้อ และครอบคลุมครบถ้วน ไม่ค่อยมีความมั่นใจในตนเอง สามารถตอบคำถามได้
2 (**พอใช้**)	เนื้อหาตรงกับหัวข้อ และครอบคลุมครบถ้วน ไม่ค่อยมีความมั่นใจในตนเอง ตอบคำถามได้แต่ยังไม่ค่อยชัดเจน
1 (**ปรับปรุง**)	เนื้อหาตรงกับหัวข้อ และครอบคลุมครบถ้วน ไม่มีความมั่นในในตนเอง ตอบคำถามไม่ถูก

เกณฑ์การประเมินผล

คะแนนระหว่าง 13-15 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับดีมาก

คะแนนระหว่าง 10-12 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับดี

คะแนนระหว่าง 7-9 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับพอใช้

คะแนนระหว่าง 0-6 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับต้องปรับปรุง

ความสนใจและความตั้งใจในการทำกิจกรรมของนักเรียน

เลขที่	ทำกิจกรรมด้วยความสนุกสนานและเต็มใจ	มีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมอย่างสม่ำเสมอ	ช่วยเหลือแนะนำเพื่อนในการทำกิจกรรมตามสมควร	สนใจศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมด้วยตนเอง	ทำงานเสร็จเรียบร้อยตามเวลาที่กำหนด

เกณฑ์การประเมิน

4 คะแนน หมายถึง มีการแสดงออกในพฤติกรรมข้อนั้นอย่างสม่ำเสมอและมีการดำเนินการได้ดี

3 คะแนน หมายถึง มีการแสดงออกในพฤติกรรมข้อนั้นเป็นบางครั้งและมีการดำเนินการได้

2 คะแนน หมายถึง มีการแสดงออกในพฤติกรรมข้อนั้นน้อยครั้งและมีการดำเนินการได้ไม่ดี

1 คะแนน หมายถึง มีการแสดงออกในพฤติกรรมข้อนั้นก็ต่อเมื่อได้รับการตักเตือน

เกณฑ์การประเมินผล

คะแนนระหว่าง 17-20 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับดีมาก

คะแนนระหว่าง 13-16 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับดี

คะแนนระหว่าง 9-12 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับพอใช้

คะแนนระหว่าง 0-8 หมายถึง พฤติกรรมอยู่ในระดับต้องปรับปรุง

ภาคผนวก ข ตัวอย่างแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้

รหัสวิชา ว 30202 รายวิชา ฟิสิกส์ 2 เรื่อง .....

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2560 ผู้สอน นายไตรรงค์ เมธีผาติกุล

ผู้สะท้อนผล

☐ ผู้วิจัย

☐ ผู้เชี่ยวชาญ

วันที่ทำการสังเกต ..... ตั้งแต่เวลา ..... ถึง .....

คำชี้แจง ให้ผู้สะท้อนผลทำการบันทึกปัญหา ความคิดเห็น ข้อเสนอแนะ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

ด้านการจัดการเรียนรู้

1. ขั้นระบุปัญหา ครูตั้งประเด็นคำถามหรือสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาที่ทำการเรียนการสอน เพื่อจะนำไปสู่คำตอบของการแก้ปัญหาของนักเรียน จากนั้นให้นักเรียนระบุปัญหาที่ต้องการแก้ไขที่เกี่ยวข้องกับประเด็นคำถามหรือสถานการณ์และเลือกประเด็นปัญหาที่ต้องการหาคำตอบ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ปัญหา

.....

.....

.....

.....

.....

.....

อุปสรรค

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

2. ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา นักเรียนต้องศึกษาค้นคว้าเอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ผู้เรียนได้ระบุไว้ในขั้นตอนที่ 1 เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับปัญหามากขึ้น มีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ซึ่งสามารถนำไปสู่การวางแผนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและการแก้ปัญหาต่อไป

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ปัญหา

.....

.....

.....

.....

.....

.....

อุปสรรค

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

3. ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา นักเรียนทำการประยุกต์ใช้ข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องที่ได้ทำการค้นคว้ามาแล้วจากในขั้นตอนที่ 2 เพื่อนำมาทำการออกแบบชิ้นงาน หรือวิธีการในการแก้ปัญหา โดยคำนึงถึงทรัพยากร ข้อจำกัดและเงื่อนไขตามสถานการณ์ที่กำหนด

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ปัญหา

.....

.....

.....

.....

.....

.....

อุปสรรค

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

4. ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา นักเรียนต้องวางแผนและพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาซึ่งทำให้ผู้เรียนสามารถคิดค้นและพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาได้อย่างหลากหลาย จากนั้นปฏิบัติตามขั้นตอนที่ได้วางแผนไว้โดยการสร้างชิ้นงานที่นำไปสู่การแก้ปัญหานั้น

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ปัญหา

.....

.....

.....

.....

.....

.....

อุปสรรค

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

5. ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน นักเรียนจะต้องทำการทดสอบและทำการประเมินชิ้นงานหรือวิธีการแก้ปัญหาที่สร้างขึ้นมาถึงความสามารถในการแก้ปัญหาหรือประสิทธิภาพของชิ้นงานนั้นๆ เทียบกับเกณฑ์หรือเงื่อนไขที่มี แล้วทำการปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานเพื่อให้ได้ชิ้นงานหรือวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ปัญหา

.....

.....

.....

.....

.....

.....

อุปสรรค

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

6. ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา นักเรียนทำการจัดทำรายงานผลการปฏิบัติการและจัดการนำเสนอผลการปฏิบัติงานทั้งหมดให้ผู้อื่นได้เข้าใจและได้เสนอแนะเพื่อการพัฒนาต่อไป

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ปัญหา

.....

.....

.....

.....

.....

.....

อุปสรรค

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ภาพรวมของการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยจัดขึ้นส่งเสริมให้ผู้เรียนพัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมหรือไม่ เพราะเหตุใดท่านจึงคิดเช่นนั้น

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ลงชื่อ ..... ผู้สะท้อนผล

(.....)

ภาคผนวก ค ตัวอย่างใบกิจกรรมของการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

ใบกิจกรรม เรื่อง ตั้งให้สูงที่สุด

รายชื่อสมาชิกภายในกลุ่ม

1. ..... ชั้น ม.4/..... เลขที่ .....
2. ..... ชั้น ม.4/..... เลขที่ .....
3. ..... ชั้น ม.4/..... เลขที่ .....
4. ..... ชั้น ม.4/..... เลขที่ .....
5. ..... ชั้น ม.4/..... เลขที่ .....

สถานการณ์ บริษัทอุปกรณ์สินค้าไอทีชื่อดังแห่งหนึ่งจากต่างประเทศ ต้องการที่จะมาลงทุนและขยายฐานเศรษฐกิจในภูมิภาคอาเซียน โดยการสร้างสำนักงานหลักไว้ในประเทศไทยและเพื่อเป็นการโฆษณาบริษัทไปพร้อมๆ กันทางบริษัทจึงมีความต้องการให้การสร้างอาคารออกมามีจุดเด่น คือ มีความสูงที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน มีความแข็งแรง ไม่สิ้นเปลืองงบประมาณภายในระยะเวลาที่จำกัด ทางบริษัทจึงได้ประกาศรับสมัครทีมวิศวกรมาทำหน้าที่ดูแลเรื่องการออกแบบอาคาร โดยให้วิศวกรแต่ละทีมส่งแบบจำลองตัวอย่างโครงสร้างของอาคารที่สร้างขึ้นจากเสาและคานจำนวน 20 ต้น และวัสดุใช้เชื่อมเสาและคานในจำนวนหนึ่ง เข้ามาให้ทางบริษัทพิจารณา ซึ่งแบบจำลองของอาคารนี้จะต้องมีความแข็งแรงสามารถตั้งอยู่ได้ด้วยตนเองไม่ต้องใช้อุปกรณ์ยึดเกาะฐานใดๆ เข้ามาช่วยเป็นเวลา 1 นาที นักเรียนและเพื่อนในกลุ่ม คือ ทีมวิศวกรที่จะต้องออกแบบแบบจำลองโครงสร้างอาคารเข้าไปแข่งขันกับทีมวิศวกรอื่นๆ เพื่อให้ได้รับคัดเลือกเป็นทีมที่ดูแลรับผิดชอบออกแบบโครงสร้างอาคารของบริษัทนี้

1. จากสถานการณ์ข้างต้นนักเรียนคิดว่าปัญหาจากในสถานการณ์คืออะไรและมีเงื่อนไขอะไรบ้างที่สถานการณ์กำหนดให้

.....

.....

.....

.....

.....

2. นักเรียนคิดว่าในการทำกิจกรรมครั้งนี้ต้องใช้หลักความรู้ในเนื้อหาวิชาใด และเรื่องอะไรบ้าง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. ให้นักเรียนเขียนแนวทางการสร้างชิ้นงานและอธิบายขั้นตอนในการสร้างชิ้นงานของนักเรียน

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. ภาพร่างแบบจำลองชิ้นงาน

5. ผลการทดสอบชิ้นงาน

ครั้งที่	ปัญหาที่พบ	สาเหตุของปัญหา	วิธีการแก้ไข

6. สรุปผลการทำกิจกรรม

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

7. แนวทางการพัฒนาชิ้นงาน/ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ภาคผนวก ง ตัวอย่างแบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

แบบสังเกตพฤติกรรมที่แสดงถึงความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

เรื่อง ..... **กลุ่มที่** .....

คำชี้แจง ให้สังเกตพฤติกรรมของนักเรียนในระหว่างการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่แสดงออกถึงการมีความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา

รายการพฤติกรรมของผู้เรียน	พฤติกรรมที่บ่งชี้	หมายเหตุ
การคิดสร้างสรรค์		
การใช้เทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิด		
สร้างสรรค์แนวคิดใหม่จากแนวคิดเดิมหรือเป็นแนวคิดใหม่		
ตรวจสอบ แก้ไข วิเคราะห์ และประเมินแนวคิดที่นำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนางาน		
การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์		
พัฒนา ปฏิบัติและสื่อสารแนวคิดใหม่ๆ ให้ผู้อื่นได้เข้าใจอย่างมีประสิทธิภาพ		
รับฟัง และยอมรับความคิดเห็นจากผู้อื่นพร้อมทั้งสะท้อนผลที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน		
นำเสนอความคิดเริ่มต้นและความคิดที่สร้างสรรค์ขึ้น รวมทั้งทำความเข้าใจกับข้อจำกัดที่มีอยู่เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแนวคิดใหม่		

ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

รายการพฤติกรรมของผู้เรียน	พฤติกรรมที่บ่งชี้	หมายเหตุ
การคิดสร้างสรรค์		
การใช้เทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิด		
สร้างสรรค์แนวคิดใหม่จากแนวคิดเดิมหรือเป็นแนวคิดใหม่		
ตรวจสอบ แก้ไข วิเคราะห์ และประเมินแนวคิดที่นำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนางาน		
การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์		
พัฒนา ปฏิบัติและสื่อสารแนวคิดใหม่ๆ ให้ผู้อื่นได้เข้าใจอย่างมีประสิทธิภาพ		
รับฟัง และยอมรับความคิดเห็นจากผู้อื่นพร้อมทั้งสะท้อนผลที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน		
นำเสนอความคิดเริ่มต้นและความคิดที่สร้างสรรค์ขึ้น รวมทั้งทำความเข้าใจกับข้อจำกัดที่มีอยู่เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแนวคิดใหม่		
เรียนรู้จากข้อผิดพลาด เนื่องจากความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและการสร้างนวัตกรรมเป็นทักษะที่ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้และทำซ้ำจนเกิดผลสำเร็จ		

ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา

รายการพฤติกรรมของผู้เรียน	พฤติกรรมที่บ่งชี้	หมายเหตุ
การคิดสร้างสรรค์		
การใช้เทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิด		
สร้างสรรค์แนวคิดใหม่จากแนวคิดเดิมหรือเป็นแนวคิดใหม่		
ตรวจสอบ แก้ไข วิเคราะห์ และประเมินแนวคิดที่นำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนางาน		
การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์		
พัฒนา ปฏิบัติและสื่อสารแนวคิดใหม่ๆ ให้ผู้อื่นได้เข้าใจอย่างมีประสิทธิภาพ		
รับฟัง และยอมรับความคิดเห็นจากผู้อื่นพร้อมทั้งสะท้อนผลที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน		
นำเสนอความคิดเริ่มต้นและความคิดที่สร้างสรรค์ขึ้น รวมทั้งทำความเข้าใจกับข้อจำกัดที่มีอยู่เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแนวคิดใหม่		
เรียนรู้จากข้อผิดพลาด เนื่องจากความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและการสร้างนวัตกรรมเป็นทักษะที่ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้และทำซ้ำจนเกิดผลสำเร็จ		

ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา

รายการพฤติกรรมของผู้เรียน	พฤติกรรมที่บ่งชี้	หมายเหตุ
การคิดสร้างสรรค์		
การใช้เทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิด		
สร้างสรรค์แนวคิดใหม่จากแนวคิดเดิมหรือเป็นแนวคิดใหม่		
ตรวจสอบ แก้ไข วิเคราะห์ และประเมินแนวคิดที่นำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนางาน		
การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์		
พัฒนา ปฏิบัติและสื่อสารแนวคิดใหม่ๆ ให้ผู้อื่นได้เข้าใจอย่างมีประสิทธิภาพ		
รับฟัง และยอมรับความคิดเห็นจากผู้อื่นพร้อมทั้งสะท้อนผลที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน		
นำเสนอความคิดเริ่มต้นและความคิดที่สร้างสรรค์ขึ้น รวมทั้งทำความเข้าใจกับข้อจำกัดที่มีอยู่เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแนวคิดใหม่		
เรียนรู้จากข้อผิดพลาด เนื่องจากความมริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและการสร้างนวัตกรรมเป็นทักษะที่ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้และทำซ้ำจนเกิดผลสำเร็จ		

ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

รายการพฤติกรรมของผู้เรียน	พฤติกรรมที่บ่งชี้	หมายเหตุ
การคิดสร้างสรรค์		
การใช้เทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิด		
สร้างสรรค์แนวคิดใหม่จากแนวคิดเดิมหรือเป็นแนวคิดใหม่		
ตรวจสอบ แก้ไข วิเคราะห์ และประเมินแนวคิดที่นำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนางาน		
การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์		
พัฒนา ปฏิบัติและสื่อสารแนวคิดใหม่ๆ ให้ผู้อื่นได้เข้าใจอย่างมีประสิทธิภาพ		
รับฟัง และยอมรับความคิดเห็นจากผู้อื่นพร้อมทั้งสะท้อนผลที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน		
นำเสนอความคิดเริ่มต้นและความคิดที่สร้างสรรค์ขึ้น รวมทั้งทำความเข้าใจกับข้อจำกัดที่มีอยู่เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแนวคิดใหม่		
เรียนรู้จากข้อผิดพลาด เนื่องจากความมิริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและการสร้างนวัตกรรมเป็นทักษะที่ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้และทำซ้ำจนเกิดผลสำเร็จ		
การสร้างสรรค์นวัตกรรม		
นำแนวคิดที่มีมาสร้างขึ้นเป็นนวัตกรรม และนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆ		

ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

รายการพฤติกรรมของผู้เรียน	พฤติกรรมที่บ่งชี้	หมายเหตุ
การคิดสร้างสรรค์		
การใช้เทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิดที่หลากหลาย		
สร้างสรรค์แนวคิดใหม่จากแนวคิดเดิมหรือเป็นแนวคิดใหม่		
ตรวจสอบ แก้ไข วิเคราะห์ และประเมินแนวคิดที่นำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนางาน		
การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์		
พัฒนา ปฏิบัติและสื่อสารแนวคิดใหม่ๆ ให้ผู้อื่นได้เข้าใจอย่างมีประสิทธิภาพ		
รับฟัง และยอมรับความคิดเห็นจากผู้อื่นพร้อมทั้งสะท้อนผลที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน		
นำเสนอความคิดเริ่มต้นและความคิดที่สร้างสรรค์ขึ้น รวมทั้งทำความเข้าใจกับข้อจำกัดที่มีอยู่เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแนวคิดใหม่		
เรียนรู้จากข้อผิดพลาด เนื่องจากความมิริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมและการสร้างนวัตกรรมเป็นทักษะที่ต้องใช้เวลาในการเรียนรู้และทำซ้ำจนเกิดผลสำเร็จ		
การสร้างสรรค์นวัตกรรม		
นำแนวคิดที่มีมาสร้างขึ้นเป็นนวัตกรรม และนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆ		

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – ชื่อสกุล ไตรวงค์ เมธีผาติกุล

วัน เดือน ปี เกิด 7 มิถุนายน 2537

ที่อยู่ปัจจุบัน 145/5 หมู่ 1 ตำบลห้วยถั่วเหนือ อำเภอหนองบัว จังหวัดนครสวรรค์ 60110

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2558 วท.บ. (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่