

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม  
เรื่อง เสียง เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม  
สำหรับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

สุมินตรา      จินเมือง

การค้นคว้าอิสระ เสนอเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
หลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา  
มิถุนายน 2562  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

อาจารย์ที่ปรึกษาและหัวหน้าภาควิชาการศึกษา ได้พิจารณาการค้นคว้าอิสระ เรื่อง “การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสียง เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5” เห็นสมควร รับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ศึกษา ของมหาวิทยาลัยนเรศวร

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉติยา บงกชเพชร)

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรินภา กิจเกื้อกูล)

หัวหน้าภาควิชาการศึกษา

มิถุนายน 2562

## ประกาศคุณูปการ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิดิยา บงกชเพชร ที่ปรึกษาและคณะกรรมการทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง จนการค้นคว้าอิสระสำเร็จสมบูรณ์ได้ ผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สถนธัชชัย ชะนูนันท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชจิรา ดีแจ่ม และนางวาสนา แยมเสารง ที่กรุณาให้คำแนะนำ แก้ไขและตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า จนทำให้การค้นคว้าอิสระครั้งนี้สมบูรณ์และมีคุณค่า

ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการโรงเรียน และนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ อำนวยความสะดวกและให้ความร่วมมือเป็นอย่างยิ่ง ในการเก็บข้อมูลวิจัย

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากการศึกษาค้นคว้าฉบับนี้ ผู้วิจัยขออุทิศแต่บิดามารดา และผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน

สุมินตรา จินเมือง

<b>ชื่อเรื่อง</b>	การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสียง เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
<b>ผู้ศึกษาค้นคว้า</b>	สุมินตรา จีนเมือง
<b>ที่ปรึกษา</b>	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิดิยา บงกชเพชร
<b>ประเภทสารนิพนธ์</b>	การค้นคว้าอิสระ กศ.ม. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2561
<b>คำสำคัญ</b>	การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม เสียง

#### บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ เป็นวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสียง สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 2) เพื่อศึกษาความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสียง กลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลก ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 จำนวน 23 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ ใบกิจกรรม แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม วิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ และการวิเคราะห์เนื้อหา ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่สามารถส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีลักษณะดังนี้ คือ ครูควรสร้างความตระหนัก ความสำคัญของสถานการณ์ ที่สำคัญสถานการณ์ต้องมีเงื่อนไขสร้างความท้าทายให้กับนักเรียน นักเรียนได้วิเคราะห์บริบทของสถานการณ์ผ่านการระดมสมองออกแบบชิ้นงานหลากหลาย วางแผนขั้นตอนการดำเนินการ เลือกวิธีการทดสอบชิ้นงานที่มีความเหมาะสม ทำการประเมินผลชิ้นงาน ปรับปรุงชิ้นงานให้ดียิ่งขึ้น นำเสนอชิ้นงาน และการแก้ไขชิ้นงานของตนเอง ส่วนผลการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังจากการจัดการเรียนรู้ นักเรียนมีคะแนนเพิ่มขึ้นในหลายพฤติกรรม โดยพฤติกรรมการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ เป็นพฤติกรรมที่นักเรียนแสดงออกได้มากที่สุดตลอดการจัดการเรียนรู้



<b>Title</b>	STEM Approach Based on Engineering Design Process on Sound for enhance of Creativity and Innovation of the 11 <sup>th</sup> Grade Students
<b>Authors</b>	Sumintra Chinmuaeng
<b>Advisor</b>	Assistant Professor Thitiya Bongkotphet, Ph.D.
<b>Academic Paper</b>	Independent Study M.Ed. in Science Education, Naresuan University, 2018
<b>Keywords</b>	STEM Approach Based on Engineering Design Process, Creativity and Innovation, Sound

### **ABSTRACT**

This research is the action research in the classroom which has the objectives to 1) study the learning processes of STEM approach based on engineering design process. The participants were 23 students in the 11th Grade in Phitsanulok province school. It is in the second term, 2018. The research instruments consist of the lesson plan, the reflection form, evaluation form of creativity and innovation. The data analysis consisted of content analysis and statistics. The results showed that the learning processes of STEM Approach Based on engineering design process have the processes of the following: the teacher should realise the significant situation which it should be the taxing conditions for the students. Students must analyse the disadvantages of the situation through brainstorming. Students will have to design various projects. Students have to plan projects. Students have to choose the appropriate project and present the project by themselves. The result of learning process of STEM showed that students develop the project continuously and students also have better scores. Nevertheless, the working creatively with others should be showed all through the learning process.

## สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาของปัญหา.....	1
คำถามวิจัย.....	4
จุดมุ่งหมายของการวิจัย.....	5
ขอบเขตของงานวิจัย.....	5
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 กลุ่มสาระการ เรียนรู้อิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และการงานอาชีพและเทคโนโลยี....	9
สะเต็มศึกษา.....	11
ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม.....	33
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	60
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	63
รูปแบบการวิจัย.....	63
บริบทของการวิจัย.....	65
กลุ่มเป้าหมาย.....	65
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	65
การสร้างเครื่องมือวิจัย.....	66
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	74
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	77

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการวิจัย.....	79
5 บทสรุป.....	133
สรุปผลการวิจัย.....	133
อภิปรายผลการวิจัย.....	136
ข้อเสนอแนะ.....	139
บรรณานุกรม.....	140
ภาคผนวก.....	144
ประวัติผู้วิจัย.....	190

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงรายละเอียดกระบวนการเทคโนโลยี (Technological process).....	21
2 แสดงเกณฑ์การให้คะแนนความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมตามกรอบ Catalina Foothills School District ; CFSD (2018).....	50
3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุประสงค์ของการวิจัย และเครื่องมือการวิจัย.....	66
4 แสดงการบูรณาการเนื้อหาความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ตามการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วย กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม.....	69
5 แสดงปัญหาและแนวทางแก้ไขที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการจัดการ เรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการที่ 1 .....	90
6 แสดงปัญหาและแนวทางแก้ไขที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการจัดการ เรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการที่ 2.....	103
7 แสดงปัญหาและแนวทางแก้ไขที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการจัดการ เรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการที่ 3.....	113
8 แสดงปัญหาและแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการ ออกแบบเชิงวิศวกรรม ที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม.....	116
9 แสดงผลการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมจากแบบประเมิน ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในวงจรปฏิบัติการที่ 1.....	123
10 แสดงผลการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมจากแบบประเมิน ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในวงจรปฏิบัติการที่ 2 .....	123
11 แสดงผลการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมจากแบบประเมิน ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในวงจรปฏิบัติการที่ 3 .....	124

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง	หน้า
12 แสดงผลการประเมินแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วย กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และ นวัตกรรม เรื่อง เสียง สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยผู้เชี่ยวชาญ	182
13 แสดงผลการประเมินแบบสะท้อนผลแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็ม ศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อส่งเสริมความคิด สร้างสรรค์และนวัตกรรม เรื่อง เสียง สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยผู้เชี่ยวชาญ.....	187

## สารบัญภาพ

ตาราง	หน้า
1 แสดงการสร้างความคิดของนักเรียนกลุ่มที่ 1 .....	126
2 แสดงการออกแบบและการปรับแต่งความคิดของนักเรียน.....	127
3 แสดงการควบคุมและการสะท้อนตนเองของนักเรียนกลุ่มที่ 1 .....	128
4 แสดงการควบคุมและการสะท้อนตนเองของนักเรียนกลุ่มที่ 1.....	129
5 แสดงตัวอย่างชิ้นงานของนักเรียนประกอบด้วย กลองชุด กีตาร์ ขวดเขย่าจากวงจร ปฏิบัติการที่ 1.....	129

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาของปัญหา

ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเป็นหนึ่งในทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ที่หลายๆประเทศให้ความสำคัญเป็นอย่างมากเนื่องจากศตวรรษที่ 21 มีความเจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ทำให้ทักษะที่จำเป็นสำหรับคนในยุคศตวรรษที่ 21 มีความแตกต่างไปจากยุคศตวรรษที่ 20 คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีได้ขยายขีดความสามารถจนสามารถทำงานแทนที่คนได้ (ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์, 2556) คนยุคใหม่จึงต้องฝึกความคิดสร้างสรรค์ เพราะโลกกำลังเปลี่ยนยุค จากยุคความรู้สู่ยุคนวัตกรรม การฝึกความคิดสร้างสรรค์จึงสำคัญยิ่ง (วิจารณ์ พานิช, 2555, หน้า 52) เพราะความคิดสร้างสรรค์เป็นการใช้ความสามารถในการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันของตัวเองในรูปแบบที่แตกต่างไปจากเดิม นำไปสู่การสร้างสรรคในสังคม สามารถผลิตต้นแบบที่ไม่เหมือนคนอื่น (จันทร์เพ็ญ ชูประภาวรรณ, 2556) ความคิดสร้างสรรค์จึงมีความจำเป็นสำหรับผู้เรียนทุกคนเพราะความคิดสร้างสรรค์จะช่วยสร้างสรรค์สิ่งใหม่ที่แตกต่างไปจากเดิมและใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสม (เกรียงศักดิ์ เจริญวงศ์ศักดิ์, 2556) ผู้เรียนควรจะต้องมีการพัฒนาภูมิคุ้มกันต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้ ด้วยการที่ฝึกฝนความคิดสร้างสรรค์เพื่อที่จะได้พร้อมเติบโตเป็นผู้ใหญ่ที่มีคุณภาพสามารถใช้ทักษะเหล่านี้ในการแก้ปัญหาที่ประสบความสำเร็จในชีวิตจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สุธิดา กาวีมี, 2560)

ความสำคัญของความคิดสร้างสรรค์สำหรับผู้เรียน ปัจจุบันมีการกล่าวถึงความสำคัญของความคิดสร้างสรรค์มากมาย ดังบทความของเครือข่ายองค์กรความร่วมมือเพื่อทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 (The Partnership for 21st Century Skills) ที่ระบุว่า ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม เป็นหนึ่งในทักษะสำคัญของทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม (Learning and Innovation Skills) โดยที่ทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมจะเป็นตัวกำหนดความพร้อมของนักเรียนเข้าสู่โลกการทำงานที่มีความซับซ้อนมากขึ้นในปัจจุบัน เป็นทักษะพื้นฐานที่มนุษย์ในศตวรรษที่ 21 ทุกคนต้องเรียน คนที่ขาดทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมจะไม่สามารถปรับตัวได้เท่าทันกับความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (จินดารัตน์ โพธิ์นอก, 2557)

ปัญหาการขาดความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่สะท้อนมาจากการประเมินต่างๆ ได้แกจากผลการประเมิน TIMSS 2015 ที่ประเมินวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์นานาชาติในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จาก 39 ประเทศที่เข้าร่วมการประเมินพบว่านักเรียนไทยเมื่อพิจารณา

ในภาพรวมถูกจัดกลุ่มให้อยู่ในระดับต่ำ (poor) ทั้งวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ (สรุปผลการวิจัยโครงการ TIMSS 2015 สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2559) จากรายงานความสามารถในการแข่งขันของประเทศต่างๆ ทั่วโลก (The Global Competitiveness Report 2012-2013) ได้จัดอันดับคุณภาพการศึกษาของประเทศไทยในกลุ่มอาเซียน อยู่ในกลุ่มสุดท้ายอันดับที่ 8 เป็นกลุ่มที่มีคะแนนต่ำที่สุด และจากผลการประเมินการรู้เรื่องวิทยาศาสตร์ตามโครงการ PISA ของนักเรียนไทยปี 2015 พบว่าคะแนนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนไทยต่ำกว่าคะแนนเฉลี่ย OECD ต่ำกว่าระดับพื้นฐาน และเป็นหนึ่งในสองประเทศที่มีผลการประเมินจัดอยู่ในกลุ่มต่ำเมื่อเทียบกับคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนในประเทศภูมิภาคเอเชียตะวันออกและตะวันออกเฉียงใต้ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2015: 96 -111)

ลักษณะของการประเมินในโครงการ TIMSS นั้นจะเป็นการมุ่งเน้นการประเมินเพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ด้านการเรียนของนักเรียนในการเรียนคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์โดยข้อสอบจะเน้นให้นักเรียนแสดงความรู้ที่เกิดจากความจำความเข้าใจในการแก้โจทย์ปัญหาซึ่งผลจากการประเมินนั้นก็แสดงให้เห็นว่านักเรียนยังไม่สามารถนำความรู้ไปใช้ในสถานการณ์อื่น ๆ ได้ ส่วนการประเมินนักเรียนในโครงการ PISA จะลักษณะของข้อสอบจะมุ่งเน้นให้นักเรียนนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตจริงซึ่งนักเรียนจะต้องใช้ทั้งความรู้ที่เกิดจากความจำความเข้าใจการประยุกต์ใช้ความรู้รวมถึงการใช้ความคิดขั้นสูงเพื่อแก้ไขโจทย์ปัญหาในสถานการณ์ดังกล่าวและผลจากการประเมินในโครงการ PISA นี้ก็ชี้ให้เห็นว่านักเรียนขาดความสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ไปสู่ชีวิตจริงซึ่งแสดงให้เห็นว่านักเรียนไทยนั้นขาดความสามารถในการแก้ปัญหาได้อย่างหลากหลายวิธีไม่สามารถแสดงออกถึงความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้ สำหรับการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนไทยนั้นยังไม่เป็นไปตามกรอบเป้าหมายของแผนการปฏิรูปการศึกษาทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากการจัดการเรียนรู้ในปัจจุบันยังไม่ส่งเสริมให้นักเรียนได้นำความรู้มาประยุกต์ใช้อย่างสร้างสรรค์หรือทำกิจกรรมในสถานการณ์แปลกใหม่ที่สอดคล้องกับชีวิตจริงเท่าที่ควร ซึ่งการจัดการเรียนการสอนแบบบรรยาย และท่องจำส่งผลให้ผู้เรียนไม่ได้ฝึกฝนการใช้ทักษะในการค้นคว้าข้อมูล การเรียนรู้ด้วยตนเอง ตลอดจนขาดการแสดงออกทางความคิด ขาดความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ จนเป็นเหตุให้ผู้เรียนนิยมการเลียนแบบและคล้อยตามความคิดเห็นของผู้อื่น (ชาญณรงค์ พรุ่งโรจน์, 2546) ซึ่งสอดคล้องกับวิจารณ์ พานิช (2555) ที่กล่าวถึงว่าการศึกษาในปัจจุบันเป็นการจัดการสอนแบบท่องจำ เน้นการอ่านเขียนและคิดเลข ส่งผลให้ผู้เรียนในยุคปัจจุบันขาดการฝึกฝนทักษะทางด้านการคิดไม่ว่าจะเป็นความคิดสร้างสรรค์เพื่อแก้ปัญหา และสาเหตุประการหนึ่งที่ผู้เรียนขาดฝึกทักษะในการคิดคือการจัดการเรียนรู้บางรูปแบบที่ไม่ได้เน้นให้ผู้เรียนฝึกทักษะการคิด



สร้างสรรค์ที่นำไปสู่ทักษะการแก้ปัญหาส่งผลให้ผู้เรียนไม่มีแรงกระตุ้นในการคิดไม่สามารถคิดประดิษฐ์สิ่งใหม่ ๆ หรือสามารถคิดหาวิธีการมาแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการได้ (สุทธิดา การิณี, 2560)

นอกจากผลประเมินระดับนานาชาติข้างต้นแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ห้องเรียนพิเศษ IEP(Intensive English Program) ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2561 รายวิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม จากบันทึกหลังสอนของครู ซึ่งผู้วิจัยเก็บข้อมูลระหว่างการจัดการเรียนรู้โดยแบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่มและให้นักเรียนแต่ละกลุ่มออกแบบการทดลองจากอุปกรณ์ที่กำหนดให้จำนวน 2 การทดลอง การทดลองแรกมุ่งให้นักเรียนออกแบบการทดลองเพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างแรงสู่ศูนย์กลางกับคาบการเหวี่ยง และการทดลองที่สองมุ่งให้นักเรียนออกแบบการทดลองเพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างรัศมีกับคาบการเหวี่ยง ซึ่งในระหว่างดำเนินการทดลอง นักเรียนจะได้บันทึกผลการออกแบบและผลลัพธ์ลงในแบบบันทึกผลการทดลอง เรื่อง การเคลื่อนที่แบบวงกลม และจากการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนระหว่างที่ดำเนินการออกแบบการทดลองทั้งสองกิจกรรมเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำผลการสังเกตและผลการทดลองของนักเรียนมาวิเคราะห์พบว่า นักเรียนทั้งหมดตั้งสมมติฐานไม่ได้ ต้องได้รับคำแนะนำจากครูผู้สอนจึงจะสามารถตั้งสมมติฐานได้อย่างถูกต้อง และนักเรียนร้อยละ 80 ไม่สามารถเสนอวิธีการทดลองเพื่อตรวจสอบสมมติฐานด้วยตนเองได้ ทำให้ไม่สามารถเลือกวิธีการที่เหมาะสมที่สุดมาดำเนินการทดลองได้ นักเรียนไม่สามารถทำการออกแบบการทดลองด้วยตนเองทำการลอกมาจากอินเทอร์เน็ตในทุกรายละเอียดโดยไม่มีกรนำมาปรับเปลี่ยน หรือเพิ่มเติมใดให้สอดคล้องกับบริบทของตนเอง ร้อยละ 90 นอกจากนี้นักเรียนร้อยละ 90 นำวิธีการที่เหมาะสมมาปฏิบัติจริงไม่ได้ จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาพบว่า ถึงแม้นักเรียนจะได้ทำการทดลองในการจัดการเรียนรู้ปัจจุบัน แต่นักเรียนไม่ได้ตั้งสมมติฐานและแก้ปัญหาด้วยตนเอง เพราะนักเรียนมักจะทำการทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในใบกิจกรรมทดลองที่ครูแจกให้ นักเรียนจึงไม่ได้ฝึกกระบวนการคิดทำให้เกิดการตีกรอบทางความคิด เป็นผลให้นักเรียนไม่สามารถออกแบบการทดลองเองได้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะปรับเปลี่ยนวิธีการจัดการเรียนรู้ เพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

สะเต็มศึกษาเป็นนโยบายทางการศึกษาที่รองรับยุทธศาสตร์ชาติ เน้นการขับเคลื่อนเศรษฐกิจด้วยนวัตกรรม (เลิศลา ลดาชาติ, 2562) ซึ่งสะเต็มศึกษา คือ แนวทางการจัดการศึกษาที่บูรณาการความรู้ใน 4 สาขา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ วิศวกรรม เทคโนโลยี และคณิตศาสตร์ (สิรินภา

กิจเกื้อกูล, 2558) โดยเน้นการนำความรู้ไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริง รวมทั้งการพัฒนากระบวนการ หรือผลผลิตใหม่ ที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินชีวิต และการทำงาน ช่วยนักเรียนสร้างความ เชื่อมโยงระหว่าง 4 สาขากับชีวิตจริงและการทำงาน (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยี, 2557) โดยนักเรียนจะได้เรียนรู้และประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์และ คณิตศาสตร์ เพื่อสร้างนวัตกรรม หรือเทคโนโลยีที่แก้ปัญหา หรือตอบสนองความต้องการของ มนุษย์ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (สุธีระ ประเสริฐสรรพ, 2559) การจัดการเรียนตาม แนวทางสะเต็มศึกษาที่มีการนำกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเข้ามาใช้ร่วมในการจัดการ เรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญนั้นจะช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติจริง เพื่อแก้ปัญหาจากสถานการณ์ที่ประสบอย่างเป็นขั้นตอน ในแต่ละขั้นตอนนั้นจะเป็นการฝึกฝน ผู้เรียนให้เกิดความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ผ่านการทำความเข้าใจและวิเคราะห์ปัญหาจาก สถานการณ์ ศึกษาค้นคว้า และทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา มีการระดมสมอง ออกแบบชิ้นงานให้มีความแปลกใหม่ไม่ซ้ำใคร และสามารถใช้ประโยชน์หรือแก้ปัญหาได้ มีการ วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา ตรวจสอบชิ้นงาน นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหา หรือชิ้นงาน ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเกิดจากการที่ผู้เรียนได้ฝึกเริ่มต้นจาก การวิเคราะห์ ปัญหา สังเคราะห์ จนสามารถนำไปสู่ การพัฒนาเป็นนวัตกรรมของผู้เรียนได้ (สุทธิดา การิมี่, 2560)

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญของปัญหา และมีความสนใจที่จะ จัดทำการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสียง สำหรับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เนื่องจากเรื่อง เสียงอยู่ในมาตรฐานและตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์ในสาระที่ 5 พลังงาน มาตรฐาน ว 5.1 เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับการ ดำรงชีวิต การเปลี่ยนรูปพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงาน ผลของการใช้พลังงานต่อ ชีวิตและสิ่งแวดล้อมมีกระบวนการ การสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ ประโยชน์ โดยตัวชี้วัดช่วงชั้น ได้แก่ ว 5.1 ม.4-6/2 อธิบายการเกิดคลื่นเสียงบีตส์ของเสียง ความ เข้มเสียง ระดับความเข้มเสียง การได้ยินเสียง คุณภาพเสียง และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ ซึ่ง สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ ต้องการให้ประยุกต์ใช้ความรู้ในชีวิต เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม และมีความ เข้าใจในเนื้อหาที่เรียน

### คำถามวิจัย

1. แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเรื่องเสียง ที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ควรมีลักษณะอย่างไร
2. การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเรื่องเสียง ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ได้หรือไม่ อย่างไร

### จุดมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสียง สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5
2. เพื่อศึกษาความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสียง

### ขอบเขตของงานวิจัย

#### 1. ด้านเนื้อหา

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย เป็นเนื้อหาในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ รายวิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐาน (พลังงาน) ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หน่วยการเรียนรู้ เรื่อง เสียง ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 สาระที่ 5 พลังงาน ได้แก่ การเกิดคลื่นเสียง, คุณภาพของเสียง และมลพิษทางเสียง

#### 2. ด้านแหล่งข้อมูล

ผู้เข้าร่วมวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ห้องเรียนพิเศษ IEP (Intensive English Program) โรงเรียนมัธยมศึกษาแห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลก ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 จำนวน 1 ห้อง จำนวน 23 คน

#### 3. สิ่งที่ศึกษา

สิ่งที่ศึกษา ประกอบด้วย

- การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
- ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

#### 4. ด้านระยะเวลา

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการเก็บข้อมูลในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 เวลาเรียน 2 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ รวมเวลาทั้งหมด 12 ชั่วโมง

### นิยามศัพท์เฉพาะ

การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม หมายถึง การจัดการเรียนรู้ที่ผนวกแนวความคิดการออกแบบเชิงวิศวกรรมเข้ากับการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ผู้เรียนต้องมีโอกาสนำความรู้มาออกแบบวิธีการหรือกระบวนการ เพื่อตอบสนองความต้องการหรือแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน เพื่อให้ได้เทคโนโลยีซึ่งเป็นผลผลิตจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (NRC, 2012) กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ประกอบด้วยองค์ประกอบ 6 ขั้นตอน ได้แก่

ขั้นที่ 1 ขั้นระบุปัญหา เป็นการทำความเข้าใจปัญหาหรือความท้าทาย วิเคราะห์เงื่อนไขหรือข้อจำกัดของสถานการณ์ปัญหา เพื่อกำหนดขอบเขตของปัญหา ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างชิ้นงานหรือวิธีการในการแก้ปัญหา

ขั้นที่ 2 ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา เป็นการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการแก้ปัญหาและประเมินความเป็นไปได้ ข้อดีและข้อจำกัด

ขั้นที่ 3 ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา เป็นการประยุกต์ใช้ข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องเพื่อการออกแบบชิ้นงานหรือวิธีการในการแก้ปัญหา โดยคำนึงถึงทรัพยากร ข้อจำกัดและเงื่อนไขตามสถานการณ์ที่กำหนด

ขั้นที่ 4 ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา เป็นการกำหนดลำดับขั้นตอนของการสร้างชิ้นงานหรือวิธีการ แล้วลงมือสร้างชิ้นงานหรือพัฒนาวิธีการเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา

ขั้นที่ 5 ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน เป็นการทดสอบและประเมินการใช้งานของชิ้นงานหรือวิธีการ โดยผลที่ได้นำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสมที่สุด

ขั้นที่ 6 ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน เป็นการนำเสนอแนวคิดและขั้นตอนการแก้ปัญหาของการสร้างชิ้นงานหรือการพัฒนาวิธีการ ให้ผู้อื่นเข้าใจและได้ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาต่อไป

**ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม** หมายถึง ความสามารถของนักเรียนในการแสดงออกทางด้านความคิด จินตนาการ เรื่อง การเกิดคลื่นเสียง คุณภาพเสียง และมลพิษทางเสียงที่จะนำไปสู่การออกแบบชิ้นงานเพื่อให้บรรลุจุดมุ่งหมายที่ต้องการ โดยนักเรียนจะต้องแสดงพฤติกรรมที่บ่งบอกถึงความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมทั้งหมด 6 พฤติกรรมหลัก ดังนี้

1. การสร้างความคิด ได้แก่ มีการระบุเงื่อนไข มีการระดมสมองในประเด็นที่กำหนด มีการตรวจสอบความเป็นไปได้ของความคิดว่าสามารถทำได้จริง

2. การออกแบบและการปรับแต่งความคิด ได้แก่ มีการออกแบบชิ้นงานที่แตกต่างกัน มีการเขียนอธิบายรายละเอียดของชิ้นงาน

3. การเปิดกว้างและความกล้าในการสำรวจ ได้แก่ มีการออกแบบที่แปลกใหม่และท้าทายความสามารถของตนเอง โดยการให้คะแนนนวัตกรรมวัดความแปลกใหม่บนฐานของผู้วิจัย ซึ่งผู้วิจัยต้องไม่เคยเห็นชิ้นงานจากที่อื่นมาก่อน

4. การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ ได้แก่ มีการสรุปความคิดของสมาชิกกลุ่มทุกคน มีการเชื่อมโยงความคิดของสมาชิกทุกคนในการออกแบบชิ้นงาน มีการสังเคราะห์จากมุมมองที่แตกต่างของสมาชิก

5. การผลิตและสร้างนวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ ได้แก่ มีการระบุรายละเอียดเกี่ยวกับกลุ่มเป้าหมาย มีการวิเคราะห์กลุ่มเป้าหมายเชิงลึก มีการนำวัสดุอุปกรณ์ที่อยู่รอบตัวมาประยุกต์ใช้ในการสร้างชิ้นงาน มีการวางแผนขั้นตอนการทำงานอย่างละเอียดเป็นลำดับขั้นตอนชัดเจน สามารถสร้างชิ้นงานได้ตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ ชิ้นงานเป็นไปตามข้อกำหนด มีการปรับปรุง/เปลี่ยนแปลงชิ้นงานเพื่อให้บรรลุเกณฑ์ที่กำหนดได้สำเร็จ

6. การควบคุมและการสะท้อนตนเอง ได้แก่ มีการปรับปรุง เปลี่ยนแปลงชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงานดีขึ้นตามข้อเสนอแนะจากเพื่อนและครู มีการระบุข้อบกพร่องในการทำงานของกลุ่มพร้อมบอกแนวทางแก้ไข มีการประเมินความสำเร็จของตนเองโดยพิจารณาตามเกณฑ์ที่กำหนด

ในงานวิจัยนี้จะวัดโดยใช้ แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นตามกรอบ Catalina Foothills School District ; CFSD (2018)

### **ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

1. ได้แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ที่มีผลต่อความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

2. ส่งเสริมให้ครูและผู้เกี่ยวข้องเห็นความสำคัญของการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัย เรื่อง การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสียง เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยนำเสนอรายละเอียดตามลำดับต่างๆดังนี้

1. หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และการงานอาชีพและเทคโนโลยี
  - 1.1 ตัวชี้วัด มาตรฐานและสาระการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
  - 1.2 ตัวชี้วัด มาตรฐานและสาระการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์
  - 1.3 ตัวชี้วัด มาตรฐานและสาระการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี
2. สะเต็มศึกษา
  - 2.1 ความเป็นมาของสะเต็มศึกษาในประเทศไทย
  - 2.2 ความหมายของสะเต็มศึกษา
  - 2.3 ลักษณะสำคัญของสะเต็มศึกษา
  - 2.4 กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
  - 2.5 แนวการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
  - 2.6 การวัดและประเมินผลตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
3. ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
  - 3.1 ทักษะในศตวรรษที่ 21
  - 3.2 ความหมายของความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
  - 3.3 การประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
  - 4.1 งานวิจัยในประเทศ
  - 4.2 งานวิจัยต่างประเทศ

## 1. หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 กลุ่มสาระการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และการทำงานอาชีพและเทคโนโลยี

### 1.1 ตัวชี้วัด มาตรฐานและสาระการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

#### สาระที่ 5 พลังงาน

มาตรฐาน ว 5.1 เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนรูปพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงาน ผลของการใช้พลังงานต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อมมีกระบวนการ การสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

#### ตัวชี้วัดชวงชั้น ได้แก่

ว 5.1 ม.4-6/2 อธิบายการเกิดคลื่นเสียง บีตส์ของเสียง ความเข้มเสียง ระดับความเข้มเสียง การได้ยินเสียง คุณภาพเสียง และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

สาระการเรียนรู้แกนกลาง คือ คลื่นเสียงเกิดจากการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียง บีตส์ของเสียงเกิดจากคลื่นเสียงจากแหล่งกำเนิดสองแหล่งที่มีความถี่ต่างกันเล็กน้อย มารวมกัน ทำให้ได้ยินเสียงดังค่อยเป็นจังหวะ ความเข้มเสียง คือ พลังงานเสียงที่ตกตั้งฉากบนหนึ่งหน่วยพื้นที่ในหนึ่งหน่วยเวลา ระดับความเข้มเสียงจะบอกความดังค่อยของเสียงที่ได้ยิน เครื่องดนตรีแต่ละชนิดที่ใช้ตัวโน้ตเดียวกัน จะให้รูปคลื่นที่แตกต่างกัน เรียกว่ามีคุณภาพเสียงต่างกัน

#### สาระที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มาตรฐาน ว 8.1 ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา รู้ว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีรูปแบบที่แน่นอน สามารถอธิบายและตรวจสอบได้ ภายได้ข้อมูลและเครื่องมือที่มีอยู่ในเวลานั้น ๆ เข้าใจว่า วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคม และสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

#### ตัวชี้วัดชวงชั้น ได้แก่

ว 8.1 ม.4-6/1 ตั้งคำถามที่อยู่บนพื้นฐานของความรู้และความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ หรือความสนใจ หรือจากประเด็นที่เกิดขึ้นในขณะนั้น ที่สามารถทำการสำรวจตรวจสอบหรือศึกษาค้นคว้าได้อย่างครอบคลุมและเชื่อถือได้

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

ว 8.1 ม.4-6/3 ค้นคว้ารวบรวมข้อมูลที่ต้องพิจารณาปัจจัยหรือ ตัวแปรสำคัญ ปัจจัยที่มีผลต่อปัจจัยอื่น ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ และจำนวนครั้งของการสำรวจ ตรวจสอบ เพื่อให้ได้ผลที่มีความเชื่อมั่นอย่างเพียงพอ

ว 8.1 ม.4-6/4 เลือกวัสดุ เทคนิควิธี อุปกรณ์ที่ใช้ในการสังเกต การวัด การสำรวจ ตรวจสอบอย่างถูกต้องทั้งทางกว้างและลึกในเชิงปริมาณและคุณภาพ

ว 8.1 ม.4-6/5 รวบรวมข้อมูลและบันทึกผลการสำรวจตรวจสอบอย่างเป็นระบบถูกต้อง ครอบคลุมทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยตรวจสอบความเป็นไปได้ ความเหมาะสมหรือความ ผิดพลาดของข้อมูล

ว 8.1 ม.4-6/6 จัดกระทำข้อมูล โดยคำนึงถึงการรายงานผลเชิงตัวเลขที่มีระดับความ ถูกต้องและนำเสนอข้อมูลด้วยเทคนิควิธีที่เหมาะสม

ว 8.1 ม.4-6/7 วิเคราะห์ข้อมูล แปลความหมายข้อมูล และประเมินความสอดคล้องของ ข้อมูล หรือสาระสำคัญ เพื่อตรวจสอบกับสมมติฐานที่ตั้งไว้

ว 8.1 ม.4-6/8 พิจารณาความน่าเชื่อถือของวิธีการและผลการสำรวจตรวจสอบ โดยใช้ หลักความคลาดเคลื่อนของการวัดและการสังเกต เสนอแนะการปรับปรุงวิธีการสำรวจตรวจสอบ

ว 8.1 ม.4-6/9 นำผลของการสำรวจตรวจสอบที่ได้ ทั้งวิธีการและองค์ความรู้ที่ได้ไปสร้าง คำถามใหม่ นำไปใช้แก้ปัญหาในสถานการณ์ใหม่และในชีวิตจริง

ว 8.1 ม.4-6/10 ตระหนักถึงความสำคัญในการที่จะต้องมีส่วนร่วมรับผิดชอบการอธิบาย การลงความเห็น และการสรุปผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ที่นำเสนอต่อสาธารณชนด้วยความ ถูกต้อง

ว 8.1 ม.4-6/11 บันทึกและอธิบายผลการสำรวจตรวจสอบอย่างมีเหตุผล ใช้ พยานหลักฐานอ้างอิงหรือค้นคว้าเพื่อเติม เพื่อหาหลักฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ และยอมรับว่าความรู้ เดิมอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ เมื่อมีข้อมูลและประจักษ์พยานใหม่เพิ่มเติมหรือโต้แย้งจากเดิม ซึ่ง ทำทนายให้มีการตรวจสอบ อย่างระมัดระวัง อันจะนำมาสู่ การยอมรับเป็นความรู้ใหม่

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

## 1.2 ตัวชี้วัด มาตรฐานและสาระการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์

### สาระที่ 6 ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์

มาตรฐาน ค 6.1 มีความสามารถในการแก้ปัญหา การให้เหตุผล การสื่อสาร การสื่อ ความหมาย ทางคณิตศาสตร์ และการนำเสนอ การเชื่อมโยงความรู้ต่าง ๆ ทางคณิตศาสตร์และ เชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับศาสตร์อื่น ๆ และมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์

ตัวชี้วัดช่วงชั้น ได้แก่

ค 6.1 ม.4-6/1 ใช้วิธีการที่หลากหลายแก้ปัญหา



ค 6.1 ม.4-6/2 ใช้ความรู้ ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีในการแก้ปัญหาในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม

ค 6.1 ม.4-6/3 ให้เหตุผลประกอบการตัดสินใจ และสรุปผลได้อย่างเหมาะสม

ค 6.1 ม.4-6/4 ใช้ภาษาและสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ในการสื่อสาร การสื่อความหมาย และการนำเสนอ ได้อย่างถูกต้อง และชัดเจน

ค 6.1 ม.4-6/5 เชื่อมโยงความรู้ต่าง ๆ ในคณิตศาสตร์ และนำความรู้ หลักการ กระบวนการทางคณิตศาสตร์ไปเชื่อมโยงกับศาสตร์อื่น ๆ

ค 6.1 ม.4-6/6 มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์

### 1.3 มาตรฐานและตัวชี้วัด กลุ่มสาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี

#### สาระที่ 2 การออกแบบและเทคโนโลยี

มาตรฐาน ง 2.1 เข้าใจเทคโนโลยีและกระบวนการเทคโนโลยี ออกแบบและสร้างสิ่งของ เครื่องใช้ หรือวิธีการ ตามกระบวนการ เทคโนโลยีอย่างมีความคิดสร้างสรรค์ เลือกใช้เทคโนโลยี ในทางสร้างสรรค์ต่อชีวิต สังคม สิ่งแวดล้อม และมีส่วนร่วมในการจัดการเทคโนโลยีที่ยั่งยืน

#### สาระที่ 3 เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

มาตรฐาน ง 3.1 เข้าใจ เห็นคุณค่า และใช้กระบวนการเทคโนโลยีสารสนเทศในการ สืบค้นข้อมูลการเรียนรู้ การสื่อสาร การแก้ปัญหา การทำงานและอาชีพอย่างมีประสิทธิภาพ ประสิทธิผล และมีคุณธรรม

#### ตัวชี้วัดช่วงชั้น ได้แก่

ง 2.1 ม.4-6/4 มีความคิดสร้างสรรค์ในการแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการในงานที่ผลิตเอง หรือการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ผู้อื่นผลิต

ง 3.1 ม.4-6/5 แก้ปัญหาด้วยกระบวนการเทคโนโลยีสารสนเทศอย่างมีประสิทธิภาพ

ง 3.1 ม.4-6/9 ติดต่อสื่อสาร ค้นหาข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต

ง 3.1 ม.4-6/11 ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศนำเสนองานในรูปแบบที่เหมาะสม ตรงตามวัตถุประสงค์

## 2. สะเต็มศึกษา

### 2.1 ความเป็นมาของสะเต็มศึกษาในประเทศไทย

การพัฒนาประเทศในศตวรรษที่ 21 เป็นสิ่งที่ท้าทายสำหรับประเทศทั่วโลก โดยเป้าหมาย คือ การพัฒนาให้เยาวชนมีความรู้ความสามารถทางเทคโนโลยีควบคู่ไปกับการมีความรู้ทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ อย่างไรก็ตาม การมีความรู้และทักษะในวิทยาศาสตร์

คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี อาจยังไม่เพียงพอสำหรับประเทศที่กำลังขาดแคลนแรงงานคุณภาพดี หรือแรงงานที่สามารถนำความรู้ทั้งหลาย มาประยุกต์ใช้เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องใช้ต่างๆ สำหรับการดำรงชีวิตในปัจจุบันและอนาคต

ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นประเทศหนึ่งที่กำลังประสบปัญหาการขาดแคลนแรงงานคุณภาพ เยาวชนไม่สนใจการเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี รวมทั้งเมื่อสำเร็จการศึกษา ผู้เรียน ไม่สามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้เพื่อการประกอบอาชีพโดยเฉพาะ อาชีพวิศวกร ซึ่งกำลังเป็นอาชีพที่ขาดแคลนมากในประเทศสหรัฐอเมริกา (Koehler, Faraclas, Giblin, Moss and Kazerounian, 2013) ดังนั้น รัฐบาลสหรัฐอเมริกาจึงได้ดำเนินการปฏิรูป การศึกษาวิทยาศาสตร์ โดยตั้งเป้าหมายของการศึกษาวิทยาศาสตร์ว่า ต้องพัฒนาให้ ผู้เรียน สามารถประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์ควบคู่กับความรู้และทักษะทาง วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันวิจัยแห่งชาติ หรือ National Research Council (NRC, 2012) ของประเทศ สหรัฐอเมริกา ได้พัฒนาหลักสูตรการศึกษาวิทยาศาสตร์แห่งชาติ ที่นับได้ว่าเป็นชาติแรกที่ผนวก ศาสตร์ความรู้และทักษะทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ไว้ด้วยกัน และเน้นการสร้าง แรงจูงใจให้เยาวชนของชาติ หันมาสนใจในอาชีพที่ขาดแคลน หลักสูตรจึงมีการแทรกเนื้อหา/ แนวคิด (concepts) ด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ลงสู่หลักสูตรวิทยาศาสตร์ระดับชั้น มัธยมศึกษาอย่างเป็นรูปธรรม กลายเป็นที่มาของสะเต็มศึกษา (STEM Education) ที่มีการบูรณา การศาสตร์ 4 สาขาวิชา คือ วิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) และคณิตศาสตร์ (Mathematics) เข้าไว้ด้วยกัน (สิรินภา กิจเกื้อกูล, 2558)

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาของประเทศไทย พบว่า อัตราากำลังคนของบุคลากรด้าน วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์ในช่วงศตวรรษที่ 20 มีแนวโน้มลดลง และนักเรียนที่จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายมีความสนใจในการศึกษาต่อด้าน วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ลดลง อีกทั้งผลการเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์ และคณิตศาสตร์ของ นักเรียนมีแนวโน้มลดลง ปრაกฏการณ์ดังกล่าวข้างต้น สะท้อนให้เห็นถึงปัญหาในการจัดการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ในโรงเรียนซึ่งอาจทำให้นักเรียนขาดแรงบันดาลใจในการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์ และคณิตศาสตร์ อีกทั้งขาดการเชื่อมโยงระหว่างความรู้ดังกล่าวกับชีวิตประจำวัน รวมถึงการประกอบอาชีพในอนาคต เพื่อสร้างแรงบันดาลใจและช่วยให้นักเรียนได้เรียนรู้ วิทยาศาสตร์อย่างมีความหมาย ทั้งเป็นการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 อันเป็นทักษะที่จำเป็นใน

การดำรงชีวิตและการพัฒนานวัตกรรมเพื่อสร้างอาชีพให้แก่เยาวชน และเตรียมพร้อมกำลังคนที่มีคุณภาพเข้าสู่ระบบเศรษฐกิจ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2559) จึงเสนอแนวทางการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา (Science Technology Engineering and Mathematics Education: STEM Education) ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้เรียนรู้ และประยุกต์ความรู้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ในสถานการณ์ที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์ที่พบในชีวิตประจำวัน และการประกอบอาชีพ นอกจากนี้ ในระหว่างการเรียนรู้ดังกล่าว ผู้เรียนยังได้พัฒนาทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ (critical thinking) ทักษะการทำงานเป็นทีม (collaboration skill) ทักษะการสื่อสาร (communication skill) และความคิดสร้างสรรค์ (creativity)

## 2.2 ความหมายของสะเต็มศึกษา

Oxford Dictionary ได้ให้ความหมายว่า STEM เป็นคำย่อเชิงวิชาการที่มุ่งเน้นการเรียนการสอนที่ใช้ความเชื่อมโยงระหว่างสาขาวิชา วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ (Oxford Dictionary, n.d.) เมื่อพิจารณาความหมายของแต่ละศาสตร์จะมีคำอธิบายและลักษณะดังนี้

1) S ย่อ มาจากคำว่า Science หรือ วิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นวิชาหลักของหลักสูตรการศึกษาในหลายๆ ประเทศ โดยเฉพาะระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน อย่างไรก็ตามวิทยาศาสตร์ยังหมายรวมถึงการศึกษาเกี่ยวกับธรรมชาติของโลกทั้งที่เกิดจากมนุษย์และเกิดขึ้นเป็นปรากฏการณ์ตามธรรมชาติ การได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์อาศัยกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (Scientific inquiry) เป็นกระบวนการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการศึกษาความเป็นไปของธรรมชาติ สิ่งที่อยู่รอบตัวเรา เนื้อหาสาระทางวิทยาศาสตร์โดยทั่วไปแบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ วิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ และวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ การจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับธรรมชาติของวิทยาศาสตร์คือการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ในห้องเรียน ซึ่งมีความสอดคล้องกับการสืบเสาะหาความรู้ของนักวิทยาศาสตร์การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ในห้องเรียน ควรให้สอดคล้องกับ 5 ลักษณะสำคัญในการสืบเสาะหาความรู้ ได้แก่ (1) ผู้เรียนมีส่วนร่วมในประเด็นคำถามทางวิทยาศาสตร์ (2) ผู้เรียนให้ความสำคัญกับข้อมูลหลักฐาน (3) ผู้เรียนสร้างคำอธิบายเชิง วิทยาศาสตร์ตามข้อมูล (4) ผู้เรียนเชื่อมโยงคำอธิบายของตนกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์หรือคำอธิบายอื่น ๆ และ (5) ผู้เรียนสื่อสารและให้เหตุผลผู้สอนสามารถจัดกิจกรรมให้ผู้เรียนมีบทบาทในการลงมือปฏิบัติมากหรือน้อยได้ ตามระดับการสืบเสาะหาความรู้เพื่อให้

เหมาะสมกับศักยภาพ และพัฒนาการทางการเรียนรู้ของผู้เรียน (Olson & Loucks-Horsley, 2000) 2)

T ย่อมาจาก Technology หรือเทคโนโลยีหมายถึง ทุกสิ่งทุกอย่างที่มนุษย์สร้างขึ้นจาก พื้นฐานความเป็นธรรมชาติของสิ่งต่าง ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ซึ่งมักจะทำให้ มนุษย์มีความสะดวกสบายหรือปลอดภัยมากขึ้น เทคโนโลยีเป็นวิชาที่เกี่ยวกับกระบวนการ แก้ปัญหา ปรับปรุง พัฒนาสิ่งต่าง ๆ หรือกระบวนการต่าง ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของ คนเรา โดยเทคโนโลยีมีนัย 3 ประการคือ (1) เทคโนโลยีในฐานะศาสตร์แขนงหนึ่งที่เป็นความรู้และ แนวปฏิบัติเพื่อการออกแบบ และนำเทคโนโลยีไปใช้ (2) เทคโนโลยีที่สอดคล้องกับเนื้อหาวิชา เฉพาะ และ (3) เทคโนโลยีด้านการจัดการเรียนการสอน โดยไม่ว่าจะมองจากนัยใด เทคโนโลยีที่มี ประสิทธิภาพมักจะต้องผ่านกระบวนการออกแบบทางเทคโนโลยีที่เรียกว่า Technological design หรือ Technological design process ซึ่งคล้ายกับกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ปัจจุบัน การเรียนการสอนระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานจะเน้นไปที่การพัฒนาความรู้เรื่องเทคโนโลยี (Technological literacy) ให้กับผู้เรียน โดยมุ่งพัฒนาความสามารถในการใช้จัดการประเมินและ เข้าใจเทคโนโลยี ปรัชญาหนึ่งของเทคโนโลยีศึกษา คือการสอนให้นักเรียนเกิดการแก้ปัญหา การ แก้ปัญหาถือเป็นทักษะสำคัญในการดำรงชีวิต และนักเรียนจะได้ใช้ทักษะนี้มากในชีวิตประจำวัน ทักษะการแก้ปัญหาเกี่ยวข้องกับความสามารรถในการหาทางออกของปัญหาที่ต้องใช้ความคิด สร้างสรรค์ การมีเหตุผล และประสบการณ์ในอดีตของการเข้าถึง

3) E ย่อมาจากคำว่า Engineering หรือ วิศวกรรมศาสตร์ เป็นการประยุกต์ความรู้ ทักษะ กระบวนการและความเชี่ยวชาญในเชิงวิทยาศาสตร์ เศรษฐกิจ สังคมและการนา ความรู้ไปสู่ การปฏิบัติจริง วิศวกรรมศาสตร์ในสะเต็มจึงหมายถึงศาสตร์ด้านกระบวนการ มากกว่าจะเป็น ศาสตร์อย่างวิทยาศาสตร์หรือคณิตศาสตร์ (สุธีระ ประเสริฐสรรพ, 2559) โดยเน้นการออกแบบ การ วางแผนเพื่อแก้ปัญหา การใช้องค์ความรู้ต่าง ๆ มาสร้างสรรค์ออกแบบผลงานภายใต้ข้อจำกัด หรือ เงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งเป็นกระบวนการออกแบบหรือสร้างบางสิ่งขึ้นมาโดยใช้หลักการทาง วิทยาศาสตร์ หรือกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์เป็นแนวคิดที่พัฒนาและประยุกต์ มาจากการรวมกันของศาสตร์ที่สำคัญ ๆ เช่น วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและคณิตศาสตร์เพื่อนำมาสู่ การออกแบบ การแก้ปัญหา การสร้าง การจำลอง จนพัฒนาเป็นเครื่องมือวิธีคิด ระบบ รวมทั้งสิ่ง อำนวยความสะดวกต่าง ๆ เช่น ตึก สะพาน เชื้อน เป็นต้น ในการศึกษาในระดับขั้นพื้นฐาน วิศวกรรมศาสตร์ถือว่าการเตรียมเยาวชนเพื่อการเป็นวิศวกรหรือการคิดอย่างนักวิศวกรใน อนาคต ซึ่งเน้นกระบวนการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบและสร้างสรรค์ วิศวกรรมศาสตร์ไม่ได้เป็นวิชา

หลักที่ปรากฏในหลักสูตรระดับการศึกษาทั้งในสหรัฐอเมริกาและประเทศไทย แต่จะเน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering design process) ซึ่งมีความสำคัญมากต่อการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ และสามารถใช่วิธีการได้อย่างหลากหลายในการพัฒนานวัตกรรมหรือวิธีการแก้ปัญหาใหม่ ๆ ทั้งในการทำงานและชีวิตประจำวัน เป้าหมายของการเรียนรู้วิศวกรรมศาสตร์ในสะเต็มศึกษาคือ การเรียนรู้เกี่ยวกับการออกแบบหรือแก้ปัญหา และเรียนรู้ว่าจะออกแบบหรือแก้ปัญหายังไงกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์

4) M ย่อมาจากคำว่า Mathematics หรือ คณิตศาสตร์หมายถึง ภาษาของจำนวน รูปร่าง และปริมาณคณิตศาสตร์เป็นวิชาสำคัญอย่างยิ่งวิชาหนึ่ง ที่มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาความคิดของมนุษย์ ทำให้มนุษย์มีความคิดสร้างสรรค์คิดอย่างมีเหตุผลเป็นระบบระเบียบ มีแบบแผน สามารถวิเคราะห์ปัญหาและสถานการณ์ได้อย่างถี่ถ้วนรอบคอบ ทำให้สามารถคาดการณ์วางแผนตัดสินใจและแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม การเรียนรู้คณิตศาสตร์มี 3 เรื่องหลัก คือ 1) กระบวนการคิดเชิงคณิตศาสตร์ (mathematical thinking) ได้แก่การ เปรียบเทียบ การจำแนก/จัดกลุ่ม การจัดแบบรูป และการบอกรูปร่างและคุณสมบัติ2) ภาษาคณิตศาสตร์เด็กจะสามารถถ่ายทอดความคิดหรือ ความเข้าใจความคิดรวบยอด ทางคณิตศาสตร์ได้โดยใช้ภาษาคณิตศาสตร์ในการสื่อสารเช่น มากกว่า น้อยกว่า เล็กกว่า ฯลฯ และ3)การส่งเสริมการคิดเชิงคณิตศาสตร์ขั้นสูง (higher-level mathematical thinking) จากกิจกรรมการเล่นของเด็ก หรือการทำกิจกรรมในชีวิตประจำวัน อย่างไรก็ตาม สะเต็มเป็นมากกว่าประเด็นทางการศึกษาเพราะในชีวิตจริงนั้น สะเต็มมีความเกี่ยวข้องกับชีวิตของมนุษย์โดยเฉพาะการทำงานในศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีวิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจึงได้ให้นิยามของสะเต็มศึกษา (Science Technology Engineering and Mathematics Education:STEM Education) คือ แนวทางการจัดการศึกษาให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และสามารถบูรณาการความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี กระบวนการทางวิศวกรรม และคณิตศาสตร์ ไปใช้ในการเชื่อมโยงและแก้ปัญหา ในชีวิตจริง รวมทั้งการพัฒนากระบวนการหรือผลผลิตใหม่ควบคู่ไปกับการพัฒนาทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ดังนั้นสะเต็มศึกษาจึงไม่ใช่เรื่องใหม่ แต่เป็นการต่อยอดหลักสูตรโดยบูรณาการการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี กระบวนการทางวิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ เพื่อนำไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริง และการประกอบอาชีพในอนาคต สะเต็มศึกษาจึงส่งเสริมการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมหรือโครงการที่มุ่งแก้ปัญหาที่พบเห็นในชีวิตจริง เพื่อสร้างเสริมประสบการณ์ ทักษะชีวิต ความคิดสร้างสรรค์ นำไปสู่การสร้างนวัตกรรม ผู้เรียนที่มีประสบการณ์ในการทำกิจกรรมหรือโครงการสะ

เต็มจะมีความพร้อมที่จะไปปฏิบัติงานที่ต้องใช้องค์ความรู้ และทักษะด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีในภาคการผลิต และการบริการที่สำคัญต่ออนาคตของประเทศ เช่น การเกษตร อุตสาหกรรม การพลังงาน การจัดการสิ่งแวดล้อม การบริการสุขภาพ ลอจิสติกส์ หนึ่ง การทำกิจกรรมหรือโครงการสะเต็มไม่ได้จำกัดอยู่ในกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และการงานอาชีพและเทคโนโลยี แต่สามารถนำความรู้ในวิชาอื่น เช่น ศิลปะ ภาษาไทย ภาษาอังกฤษ สุขศึกษา พลศึกษา มาบูรณาการได้อีกด้วย

สรุปได้ว่า สะเต็มศึกษา คือ แนวทางการจัดการศึกษาให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และสามารถบูรณาการความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี กระบวนการทางวิศวกรรม และคณิตศาสตร์ ไปใช้ในการเชื่อมโยงและแก้ปัญหา ในชีวิตจริง รวมทั้งการพัฒนากระบวนการหรือผลผลิตใหม่ ควบคู่ไปกับการพัฒนาทักษะแห่งศตวรรษที่ 21

### 2.3 ลักษณะสำคัญของสะเต็มศึกษา

กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา มีความมุ่งหมายที่สอดคล้องกับนิยามของสะเต็ม โดยออกแบบมาเพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนรู้แนวคิดวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ ใช้ฐานแนวคิดที่สอดคล้องและต่อยอดจากตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง วิทยาศาสตร์เป็นหลัก (สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา, 2551) และอาจจะมีการเชื่อมโยงระหว่างมาตรฐานหรือตัวชี้วัด ในกลุ่มสาระวิทยาศาสตร์หรือต่างกลุ่มสาระหรือต่างวิชา ซึ่งสอดคล้องกับระดับการบูรณาการขั้นสูงคือข้ามสาขาวิชา โดยรูปแบบของกิจกรรมจะเน้นการออกแบบกิจกรรมตามแนวสะเต็มศึกษา (มนตรี จุฬาววัฒนทล, 2556; สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2556) เพื่อให้ผู้เรียนได้นำความรู้และทักษะไปใช้ได้อย่างมีความหมาย จากการศึกษาเอกสาร งานวิจัยและประสบการณ์วิชาการรับใช้สังคมของผู้เขียน จึงนำเสนอกรอบในการส่งเสริมการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา ซึ่งมีลักษณะสำคัญที่จำเป็น (Key features) ของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา 6 ด้าน ดังต่อไปนี้

2.3.1 มีการบูรณาการความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์อย่างชัดเจนตามบริบทเนื้อหาและระดับความรู้ในแต่ละชั้นของผู้เรียน (สะเต็มศึกษาประเทศไทย, 2558 ก.) โดยมุ่งเน้นการรู้เรื่องสะเต็ม (STEM Literacy) เป็นเป้าหมายหลัก (สุธีระ ประเสริฐสรรพ, 2558; Zollman, 2012)

2.3.2 การออกแบบกิจกรรม อ้างอิงตามกรอบการพัฒนาแนวคิดแบบ“ความก้าวหน้าในการเรียนรู้” (learning progression) (ลีซา ลดาชาติ, 2555; 2559; Duschi & Bismack, 2016) ทั้งในมิติเนื้อหาและกระบวนการรวมทั้งใช้หลักการของการจัดหลักสูตรแบบเกลียว (spiral

curriculum) โดยผู้เรียนจะเพิ่มพูนความรู้จากระดับพื้นฐานไปสู่ระดับ สูงตามลำดับพัฒนาการทางสติปัญญาของแต่ละช่วงวัย หรือระดับการรู้คิด (Cognitive demand)

2.3.3 การเรียนรู้ต้องเชื่อมโยงกับผู้เรียน บริบทที่จำเป็นสำหรับผู้เรียน และเป็นการเรียนรู้ที่มีความหมายโดยอาจจะยึดกรอบแนวคิดบริบทตาม PISA OECD รวมทั้ง ประเด็นที่ผู้สอนต้องการเน้นซึ่งอาจจะเป็นนโยบายของสถานศึกษา หรือเป็นประเด็นเร่งด่วน เช่น นโยบายดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ หรือความเข้าใจเรื่องพลังงานในภาพรวมของประเทศ (กระทรวงพลังงาน, 2558)

2.3.4 ผู้เรียนผ่านประสบการณ์การเรียนรู้แห่งศตวรรษที่ 21 (Partnership for 21st Century Learning, 2011) ที่เน้นการพัฒนาทักษะสำคัญแห่งศตวรรษที่ 21 ควบคู่ไปกับ การเรียนรู้เนื้อหาและทักษะของวิชาแกน

2.3.5 กิจกรรมเน้นการออกแบบและแก้ปัญหา โดยการลงมือปฏิบัติเพื่อนำไปสู่การรังสรรค์ชิ้นงาน/โครงการตามแนวคิดของการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงการเป็นฐาน (Project-based Learning) ที่เน้นกระบวนการออกแบบ หรือ แนวคิดการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem-based Learning) ที่เน้นกระบวนการแก้ปัญหา

2.3.6 เน้นการวัดผลตามสภาพจริง (Authentic assessment) และการประเมินเพื่อพัฒนาผู้เรียน (Formative assessment) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของผลที่ได้จากการจัดกิจกรรม สะเต็มคือ โครงการหรือชิ้นงาน(Project/artifact) หรือ การแก้ปัญหาโดยมีรายละเอียดของลักษณะสำคัญ คือ การบูรณาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์กิจกรรมการเรียนรู้ต้องมีการบูรณาการสาขาวิชาทั้ง 4 อย่างชัดเจน (Explicit integration) ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญที่สุดของการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาเปรียบเสมือนแกนหรือกระดูกสันหลังของกิจกรรม เอกสารและงานวิจัยเกี่ยวกับสะเต็มศึกษาจะให้นิยามและระบุลักษณะสำคัญของการบูรณาการศาสตร์ทั้ง 4 ไว้ (Moore, 2010;Wang et al., 2011; English, 2016) ทั้งนี้อาจจะมีระดับของการบูรณาการที่แตกต่างกัน รวมทั้งการเลือกศาสตร์ที่เป็นจุดเน้นจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับจุดประสงค์การเรียนรู้ (Vasquez et al., 2013) การบูรณาการอย่างชัดเจนอาจทำได้โดยการพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้ที่ระบุการบูรณาการวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ทั้งในส่วนจุดประสงค์การเรียนรู้ กิจกรรมการเรียนรู้ และการวัดและประเมินผลการเรียน

อย่างไรก็ตาม การบูรณาการสะเต็มนั้นมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาการรู้เรื่องสะเต็ม (Bybee, 2010) กิจกรรมสะเต็ม จึงต้องเน้นการบูรณาการที่มุ่งสู่เป้าหมายคือการพัฒนาการรู้เรื่องสะเต็ม ซึ่งหมายถึง ความสามารถของบุคคลในการทำความเข้าใจและประยุกต์แนวคิด

กระบวนการ เจตคติ วิธีคิดและธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ร่วมกัน เพื่อสืบเสาะ อธิบาย แก้ปัญหา สร้างสรรค์สิ่งต่าง ๆ ที่ไม่สามารถทำได้โดยสาขาความรู้แบบเดียว โดยแนวคิดและกระบวนการสะเต็ม จะหมายรวมถึงการให้คุณค่าและตระหนักถึงความเชื่อมโยงระหว่าง วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ ผู้ที่มีการรู้เรื่องสะเต็มจะสามารถประยุกต์ใช้ความรู้หรือทำความเข้าใจบทบาทของสะเต็มที่มีต่อการพัฒนาตัวบุคคล สังคม สิ่งแวดล้อม รวมทั้งการพัฒนาในมิติเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งการรู้เรื่องสะเต็มเป็นพื้นฐานสำหรับผู้เรียนในการเรียน สืบเสาะหาความรู้ รวมไปถึงการประกอบอาชีพในอนาคต (U.S. Department of Labor, 2007)

ดังนั้นการรู้เรื่องสะเต็มจะมีความเชื่อมโยงกับทักษะต่าง ๆ รวมทั้งทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 (สุทธิดา จำรัส, 2560) ในส่วนของบริบทประเทศไทย ในที่นี้ขอยกตัวอย่างเป็นแก่นเรื่องที่เน้นนโยบายด้านเศรษฐกิจ ดิจิทัล และพลังงานของประเทศตามแผนบูรณาการระยะยาว นโยบายของเศรษฐกิจและสังคมดิจิทัล (Digital Economy หรือ DE) หมายถึง เศรษฐกิจและสังคมที่ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (Information Communication Technology: ICT) หรือปัจจุบันเรียกว่าเทคโนโลยีดิจิทัล เป็นกลไกสำคัญในการขับเคลื่อนการปฏิรูปกระบวนการผลิตการดำเนินธุรกิจ การค้าการบริการ การศึกษา การสาธารณสุข การบริหารราชการแผ่นดิน รวมทั้งกิจกรรมทางเศรษฐกิจและสังคมอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจ ดังนั้นการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้อาจจะเน้นไปที่การชูประเด็น ICT ที่นำมาเป็นเครื่องมือในการเรียนรู้ โดยช่วยแก้ปัญหาหรือสร้างสรรค์ชิ้นงาน เทคโนโลยีเหล่านี้เป็น "เทคโนโลยีที่ส่งผลกระทบอย่างรุนแรง (Disruptive technology)" ที่จะส่งผลกระทบต่อผู้เรียนและส่งผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตของผู้คนในอนาคต ซึ่งยืนยันด้วยข้อมูลว่าเทคโนโลยีมือถือที่สามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต ที่รวมถึงโทรศัพท์สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต กล้องมือถือ นาฬิกา ฯลฯ ส่งผลกระทบมากที่สุดเมื่อแสดงเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจเทียบกับ เทคโนโลยีอื่น ๆ (Manyika et al., 2013) และคาดการณ์ว่าจากนี้ไปอีกไม่น้อยกว่า 1 ทศวรรษ เทคโนโลยีนี้จะเปลี่ยนแปลงรูปแบบทางธุรกิจ ลักษณะการจัดการองค์กร รวมไปถึงวิถีการใช้ชีวิตของผู้คน (Geng, 2016)

การมุ่งเน้นที่จะดึงนโยบายนี้เข้ามาเป็นแก่นเรื่องหรือบริบทการเรียนรู้ รวมทั้ง "เทคโนโลยี" ในการบูรณาการสะเต็มจึงเป็นการวางรากฐานอนาคตให้ผู้เรียน เช่น การวางลำดับของ "เทคโนโลยี" ในการทำกิจกรรมสะเต็มอาจจะเริ่มต้น จากการหาเทคโนโลยีมาใช้เพื่อพัฒนาชิ้นงานหรือโครงการให้ดีขึ้นจากนั้นจึงพัฒนาเป็นการฝึกฝนเพื่อให้ใช้เป็นและใช้ให้เป็นประโยชน์ หลังจากนั้นจึงกำหนดจุดประสงค์การใช้เพื่อแก้ปัญหาและนำไปสร้างนวัตกรรม เช่น การใช้



แอปพลิเคชันเพื่อการวัดผลที่แม่นยำกว่าวิธีเดิม การสร้างมโนภาพสามมิติเพื่อการนำเสนอ โครงสร้างโมเลกุลทดแทนภาพสองมิติในหนังสือที่มีข้อจำกัด ด้านการมองเห็น เป็นต้น (สุทธิดา จำรัส, 2560) ตัวอย่างที่สองของการเน้นบริบทเพื่อสร้างเป็นแกนคือการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาเรื่องพลังงาน ซึ่งเริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์แผนบูรณาการระยะยาวที่กำหนดโดยกระทรวงพลังงาน (กระทรวงพลังงาน, 2558) โดยประเด็นที่สามารถนำมาบูรณาการในหลักสูตรและกิจกรรม เช่น การเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตพลังงานไฟฟ้ารวมทั้งการลดการปล่อยมลพิษ การกระตุ้นการอนุรักษ์พลังงานแนวใหม่ที่แตกต่างจากอดีตที่ผ่านมา และเทคโนโลยีการเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อลดอัตราสิ้นเปลืองพลังงาน การศึกษาวิธีการและเทคโนโลยีเพื่อการนำพลังงานหมุนเวียนและพลังงานทดแทนมาใช้ให้มากขึ้น เทคนิควิธีการเพื่อยืดอายุแหล่งพลังงานภายในประเทศ รวมทั้งยุทธวิธีในการลดอัตราการผลิตแก๊สธรรมชาติภายในประเทศ รวมทั้งความเข้าใจของภาคประชาชนในเรื่องพลังงาน เป็นต้น (โครงการส่งเสริมการเรียนการสอนวิชาพลังงานในหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2560)

สรุปลักษณะสำคัญของสะเต็มศึกษา ได้ดังนี้

มีการบูรณาการความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ มีการออกแบบกิจกรรม อ้างอิงตามกรอบการพัฒนาแนวคิดแบบ“ความก้าวหน้าในการเรียนรู้” (learning progression) การเรียนรู้ต้องเชื่อมโยงกับผู้เรียน บริบทที่จำเป็นสำหรับผู้เรียน และเป็นการเรียนรู้ที่มีความหมาย โดยผู้เรียนได้พัฒนาทักษะสำคัญแห่งศตวรรษที่ 21 ควบคู่ไปกับ ในการเรียนรู้เนื้อหาและทักษะของวิชาแกน ซึ่งกิจกรรมเน้นการออกแบบและแก้ปัญหา โดยการลงมือปฏิบัติเพื่อนำไปสู่การรังสรรค์ชิ้นงาน/โครงการที่เน้นกระบวนการออกแบบ เน้นการวัดผลตามสภาพจริง และการประเมินเพื่อพัฒนาผู้เรียน

#### 2.4 กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องมีขั้นตอนใน กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม หลายรูปแบบดังนี้

สภาวิจัยแห่งชาติ ประเทศสหรัฐอเมริกา (National Research Council: NRC) ได้ร่วมกับสมาคมครูวิทยาศาสตร์แห่งชาติ (the National Science Teachers Association: NSTA) และสมาคมเพื่อความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ของอเมริกา (the American Association for the Advancement of Science; AAAS) กำหนดมาตรฐานการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ฉบับใหม่สำหรับประเทศ เรียกว่า (Next Generation Science Standard: NGSS) โดยเรียกกระบวนการทำงานนี้ว่า กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยเสนอขั้นตอนการทำงานประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ การ

กำหนดปัญหา การพัฒนาแนวทางแก้ปัญหาและการลงมือปฏิบัติเพื่อหาแนวทางที่ดีที่สุดของการแก้ปัญหา โดยการทำงานมีลักษณะเป็นวงจรที่สามารถย้อนกลับไปแก้ไขได้

สมาคมนักเทคโนโลยีและวิศวกรรมศึกษานานาชาติ ประเทศสหรัฐอเมริกา (International Technology and Engineering Educators Association; ITEEA) ได้กำหนดขั้นตอนของกระบวนการทำงานหรือกระบวนการแก้ปัญหาทางเทคโนโลยีไว้ในมาตรฐานการรู้เทคโนโลยี (Standards for Technological Literacy) และเรียกกระบวนการทำงานนี้ว่า กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานสำคัญ คือ การกำหนดปัญหา (Identifying the problem) สร้างแนวคิด (Generating ideas) ด้วยเทคนิคการระดมสมองและการดำเนินการวิจัยเพื่อสำรวจแนวคิดการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้การเลือกแนวคิดที่เหมาะสม (Selecting a solution) การทดสอบ (Testing the solution) ด้วยการสร้างแบบจำลอง (Models) และต้นแบบ (Prototypes) เพื่อตรวจสอบแนวคิดการแก้ปัญหาการปฏิบัติงาน (Making the item) ด้วยการสร้างชิ้นงานเพื่อนำไปแก้ปัญหา การประเมินผล (Evaluating it) ดำเนินการแก้ปัญหาด้วยชิ้นงานและประเมินว่าสามารถแก้ปัญหาได้หรือไม่ และการนำเสนอผล (Presenting the results) ทั้งนี้การทำงานสามารถย้อนกลับเพื่อปรับปรุงแก้ไขได้ตลอดจนกระทั่งได้แนวทางที่เหมาะสมที่สุด (Optimum)

ศูนย์การเรียนรู้การสอนสะเต็มของสมาคมเทคโนโลยีและวิศวกรรมศึกษานานาชาติ (International Technology and Engineering Educators Association's STEM Center for Teaching and Learning™) ได้พัฒนารูปแบบกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมประกอบด้วย กำหนดปัญหาหรือความต้องการ ค้นหาแนวคิดวางแผนและพัฒนาแนวคิด ทดสอบและประเมินผล และนำเสนอ ซึ่งการทำงานมีลักษณะเป็นวงจรที่สามารถย้อนกลับไปทำงานในขั้นตอนต่าง ๆ

พิพิธภัณฑ์วิทยาศาสตร์บอสตัน ประเทศสหรัฐอเมริกา (Museum of Science, Boston) ดำเนินโครงการพัฒนาเด็กให้รู้วิศวกรรมและเทคโนโลยี (Engineering and technological literacy) หรือเรียกว่า Engineering is Elementary (EiE) เพื่อวิจัยพัฒนาหลักสูตรขับเคลื่อนมาตรฐานและนำหลักสูตรไปใช้ในชั้นเรียนโดยบูรณาการแนวความคิดด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยี และทักษะทางวิทยาศาสตร์โดยมีกลุ่มเป้าหมายคือเด็กนักเรียนในระดับประถมศึกษา (Grades 1-5) และใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ประกอบด้วย ค้นหาปัญหาสร้างแนวคิด และเลือกแนวคิดที่ดีที่สุด วางแผนลงมือปฏิบัติ และตรวจสอบ

กระทรวงทางการศึกษา ประเทศอังกฤษ (Department for Education) กำหนดหลักสูตรการศึกษาแห่งชาติ ตลอดจนหลักสูตรของโรงเรียนนานาชาติที่ใช้ระบบอังกฤษ (UK National Curriculum, International GCSE and IB Diploma) และใช้กระบวนการทำงานว่ากระบวนการ

ออกแบบ (Design process) ประกอบด้วย กำหนดความต้องการ รวบรวมข้อมูล สร้างแนวคิด พัฒนาแนวคิด ลงมือปฏิบัติและประเมินผล โดยการทำงานมีลักษณะเป็นวงจรที่สามารถย้อนกลับไปทำงานขั้นตอนต่าง ๆ

หน่วยงานการศึกษาและการฝึกอบรม ของรัฐนิวเซาท์เวลส์ ประเทศออสเตรเลีย (NSW Department of education and training, Australia) ซึ่งรับผิดชอบจัดการศึกษาของรัฐได้เรียกกระบวนการทำงานนี้ว่า กระบวนการเทคโนโลยี (Technology process) ประกอบด้วยการทำงาน 3 ระยะ คือ การสำรวจและกำหนดงาน การสร้างและพัฒนาแนวคิด การลงมือปฏิบัติ โดยในแต่ละระยะจะมีการวางแผนการจัดการและประเมินผลด้วยเสมอ

สสวท. โดยสาขาออกแบบและเทคโนโลยี ได้ศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบกระบวนการทำงานดังกล่าว และสังเคราะห์กระบวนการทำงานที่สอดคล้องกับบริบทของประเทศไทยไว้ ตั้งแต่หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2544 จนมาถึง หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 ใน สาระการออกแบบและเทคโนโลยีกลุ่มสาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยีและเรียกชื่อกระบวนการทำงานนี้ว่า กระบวนการเทคโนโลยี (Technological process) ซึ่งสามารถนำไปจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา (STEM Education) ในการสร้างสรรค์ชิ้นงานหรือวิธีการได้โดยการทำงานสามารถย้อนกลับเพื่อปรับปรุงแก้ไขในขั้นตอนต่าง ๆ ได้ตลอด ขึ้นอยู่กับสถานการณ์รายละเอียดขั้นตอนการทำงาน ดังตาราง 1

ตาราง 1 แสดงรายละเอียดกระบวนการเทคโนโลยี (Technological process)

กระบวนการเทคโนโลยี	บทบาทผู้สอน	บทบาทผู้เรียน
<p>ขั้นกำหนดปัญหาหรือความต้องการ</p> <p>เป็นขั้นวิเคราะห์ปัญหาหรือความต้องการหรือสถานการณ์ปัญหาหรือความต้องการอย่างละเอียดเพื่อกำหนดปัญหาหรือความต้องการที่ชัดเจนสามารถนำไปแก้ไขได้จริง</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>กำหนดสถานการณ์เทคโนโลยีและความท้าทาย เพื่อให้ผู้เรียนคิดแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการ ซึ่งสถานการณ์ อาจเกิดจากสิ่งที่ประสบในชีวิตประจำวัน ชุมชนและสังคม</li> <li>สร้างความตระหนักเพื่อให้ผู้เรียนเห็นความสำคัญ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ทำความเข้าใจและวิเคราะห์สถานการณ์เทคโนโลยี และความท้าทาย อย่างละเอียด</li> <li>กำหนดปัญหาหรือความต้องการที่ต้องการแก้ไข</li> </ul>

## ตาราง 1 (ต่อ)

กระบวนการเทคโนโลยี	บทบาทผู้สอน	บทบาทผู้เรียน
<p>ขั้นรวบรวมข้อมูล</p> <p>เป็นขั้นรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหรือความต้องการ เพื่อหาวิธีการแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการที่หลากหลาย จากแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องได้ด้วยวิธีการสังเกต สอบถามจากผู้รู้ สืบค้นหรือสำรวจจากสื่อและแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ นำข้อมูลที่รวบรวมได้มาวิเคราะห์และสรุปเป็นสารสนเทศและวิธีการแก้ปัญหา หรือสนองความต้องการ โดยวิธีการอาจมีได้มากกว่า 1 วิธี</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>จัดเตรียมสื่อและแหล่งเรียนรู้ รวมถึงให้คำแนะนำเกี่ยวกับการรวบรวมข้อมูล เพื่อหาวิธีการแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการที่หลากหลายจากสื่อและแหล่งเรียนรู้ต่าง ๆ อย่างรอบด้าน</li> <li>ร่วมวิเคราะห์ทรัพยากรและข้อจำกัดที่ต้องคำนึงถึง ในการทำงาน</li> <li>กระตุ้นให้ผู้เรียนคิดหาวิธีการแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการให้ได้มากกว่า 1 วิธี</li> <li>ร่วมสรุปองค์ความรู้และสารสนเทศที่จำเป็นสำหรับแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>วิเคราะห์และสรุปเกี่ยวกับทรัพยากรและข้อจำกัดที่ต้องคำนึงถึงในการทำงาน</li> <li>กำหนดประเด็นในการรวบรวมข้อมูลที่กลุ่มให้ความสนใจ และสร้างเครื่องมือในการรวบรวมข้อมูล แล้วสำรวจเก็บรวบรวมข้อมูล สืบเสาะหาความรู้ ศึกษา หรือสืบค้นข้อมูลในประเด็นที่สนใจ</li> <li>วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปองค์ความรู้ สารสนเทศและ สรุปวิธีการแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการ ซึ่งควร มีมากกว่า 1 วิธี</li> <li>นำเสนอข้อมูลและผลการวิเคราะห์ข้อมูล และวิธีการแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการ</li> </ul>

ตาราง 1 (ต่อ)

กระบวนการเทคโนโลยี	บทบาทผู้สอน	บทบาทผู้เรียน
<p>ชั้นออกแบบและปฏิบัติการ</p> <p>เป็นชั้นออกแบบโดยถ่ายทอดความคิดเกี่ยวกับวิธีการแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการเป็นภาพร่าง 2 มิติ ภาพร่าง 3 มิติ ภาพฉาย ภาพ Quick sketch ผังงานซึ่งอาจใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ จากนั้นวางแผนและปฏิบัติงานอย่างเป็นขั้นตอนตามแนวทางที่ได้ออกแบบและวางแผนไว้ ผลงานที่ได้ อาจเป็นชิ้นงานหรือวิธีการก็ได้</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>จัดเตรียมวัสดุที่จำเป็นและอุปกรณ์ เครื่องมือในการปฏิบัติงาน</li> <li>ให้คำแนะนำและร่วมพิจารณาเลือกภาพร่างความคิดให้เหมาะสมและสอดคล้องกับปัญหาหรือความต้องการมากที่สุด และสามารถแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการได้จริง ตามข้อจำกัด ภายใต้ทรัพยากรที่มีอยู่</li> <li>กระตุ้นให้ผู้เรียนใช้ความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบ</li> <li>ให้คำแนะนำและเน้นย้ำการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือให้ถูกต้องและปลอดภัย รวมทั้งให้ความช่วยเหลือผู้เรียน ในการใช้งานอุปกรณ์ เครื่องมือ บางอย่างที่มี ความซับซ้อนและอันตรายในการปฏิบัติงาน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ออกแบบโดยถ่ายทอดความคิดเกี่ยวกับวิธีการแก้ปัญหา หรือสนองความต้องการเป็นภาพร่างความคิด หรือผังงาน แล้วพัฒนาความคิดโดยใช้ความคิดสร้างสรรค์ให้ได้</li> <li>ความคิดที่หลากหลาย มีความแปลกใหม่</li> <li>วิเคราะห์และเลือกภาพร่างความคิดที่เหมาะสมที่สุด นำเสนอและแลกเปลี่ยนเรียนรู้</li> <li>วางแผนการทำงานและลงมือปฏิบัติเพื่อสร้างชิ้นงานสำหรับแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการ โดยใช้งานอุปกรณ์ เครื่องมือเหมาะสมกับประเภทของงาน ทำงานถูกต้องและปลอดภัย</li> </ul>
<p>ชั้นทดสอบ</p> <p>เป็นชั้นตรวจสอบ ทดสอบและบันทึกผลว่าชิ้นงานหรือวิธีการมีความสอดคล้องตามรูปแบบที่ออกแบบไว้หรือไม่</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ให้คำแนะนำและร่วมตรวจสอบ ทดสอบชิ้นงานเพื่อหาจุดบกพร่องที่ต้องปรับปรุงแก้ไข</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ตรวจ ทดสอบการทำงาน ของชิ้นงานเพื่อหาจุดบกพร่องที่ต้องปรับปรุงแก้ไข พร้อมทั้ง บันทึก ข้อมูลการตรวจ ทดสอบการทำงานของชิ้นงาน</li> </ul>

## ตาราง 1 (ต่อ)

กระบวนการเทคโนโลยี	บทบาทผู้สอน	บทบาทผู้เรียน
<p>สามารถทำงานหรือใช้งานได้หรือไม่ และมีข้อบกพร่องอย่างไร หากผลการทดสอบพบว่า ชิ้นงานหรือวิธีการไม่สอดคล้องตามรูปแบบที่ออกแบบไว้ ทำงานหรือใช้งานไม่ได้ หรือมีข้อบกพร่องที่ควรปรับปรุงแก้ไข จะต้องปฏิบัติงานในขั้นปรับปรุงแก้ไขต่อไป</p>		
<p><b>ขั้นปรับปรุงแก้ไข</b> เป็นขั้นวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบเพื่อหาจุดที่ควรแก้ไข และแนวทางการปรับปรุงแก้ไข แล้วจึงทำการปรับปรุงแก้ไขในส่วนนั้นจนกระทั่งได้ ชิ้นงานหรือวิธีการสอดคล้องตามรูปแบบที่ออกแบบไว้ และสามารถทำงานหรือใช้งานได้ ถ้าหากพบว่า ชิ้นงานหรือวิธีการไม่เป็นไปตามรูปแบบที่ออกแบบไว้ ยังคงทำงานหรือใช้งานไม่ได้ ควรกลับไปออกแบบและปฏิบัติการ หรือกลับไปรวบรวมข้อมูลและเลือกวิธีการที่เหมาะสมใหม่</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• จัดเตรียมสื่อและแหล่งเรียนรู้สำหรับการรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ปรับปรุงแก้ไข ชิ้นงาน</li> <li>• ให้คำแนะนำและร่วมวิเคราะห์ข้อมูลจากการตรวจสอบ ทดสอบการทำงาน ของชิ้นงาน รวมทั้งแนวทางการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง</li> <li>• ให้คำแนะนำหากต้องย้อนกลับไปปรับปรุงแก้ไข ในขั้นตอนต่าง ๆ เช่น การย้อนกลับไปรวบรวมข้อมูลอีกครั้ง หรือเลือกวิธีการใหม่ หรือออกแบบและ ปฏิบัติการอีกครั้ง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• วิเคราะห์ข้อมูลจากการตรวจสอบ ทดสอบการทำงาน ของชิ้นงาน</li> <li>• ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง เพื่อให้ได้ชิ้นงานตามที่ออกแบบไว้</li> </ul>

## ตาราง 1 (ต่อ)

กระบวนการเทคโนโลยี	บทบาทผู้สอน	บทบาทผู้เรียน
<p>ขั้นประเมินผล</p> <p>เป็นขั้นนำชิ้นงานหรือวิธีการไปแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการ และประเมินผลว่าชิ้นงานหรือวิธีการสามารถแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการได้หรือไม่ หากการประเมินผลพบว่าชิ้นงานหรือวิธีการไม่สามารถแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการได้ ควรกลับไปพิจารณาวิธีการต่าง ๆ ตั้งแต่ขั้นรวบรวมข้อมูล และตัดสินใจเลือกวิธีการเพื่อเข้าสู่กระบวนการเทคโนโลยีใหม่อีกครั้งหนึ่งหรืออาจย้อนกลับไปยังขั้นออกแบบและปฏิบัติการเพื่อออกแบบวิธีการแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการใหม่ ซึ่งการย้อนกลับไปปฏิบัติงานในขั้นตอนต่าง ๆ ของกระบวนการเทคโนโลยี ผู้ปฏิบัติงานสามารถย้อนกลับไปยังขั้นตอนใดขึ้นอยู่กับสถานการณ์ที่ประสบ</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• อำนวยความสะดวกให้ผู้เรียนในการนำชิ้นงานไปแก้ปัญหาหรือความต้องการ</li> <li>• ร่วมสรุปองค์ความรู้จากการแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการ</li> <li>• ให้ข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาชิ้นงานในอนาคต และกรณีที่ชิ้นงานไม่สามารถแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการได้</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• นำชิ้นงานไปแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการ และประเมินผลว่า ชิ้นงานที่สร้างขึ้นสามารถแก้ปัญหา หรือสนองความต้องการภายใต้สถานการณ์เทคโนโลยี ความท้าทาย ข้อจำกัด และทรัพยากรที่มีอยู่หรือไม่อย่างไร พร้อมทั้งบันทึกผลเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนา ชิ้นงานต่อไป</li> <li>• นำเสนอผลงาน และแลกเปลี่ยนเรียนรู้</li> </ul>

อภิสิทธิ์ ธงไชย กล่าวว่า กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม อาจมีหลายรูปแบบที่ใช้กัน ในประเทศสหรัฐอเมริกา อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้จะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ ได้แก่ ปัญหาหรือความต้องการ (problem) แนวทางการแก้ปัญหา การลงมือปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหา การทดสอบและประเมินผล (Standard for Technology Education by International Technology and Engineering Educators Association: ITEEA) ทั้งนี้กระบวนการดังกล่าวจะเป็นขั้นตอนการทำงานที่เป็นลักษณะวงจร (cycle) การทำงานที่สามารถย้อนกลับเพื่อปรับปรุงได้ตลอดขึ้นกับสถานการณ์ที่ประสบ ดังแผนภาพ กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมนี้เป็นเพียงกระบวนการทำงานที่จะช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจถึงการทำงานอย่างเป็นขั้นตอน รู้จักการวางแผนการแก้ปัญหา เข้าใจถึงกระบวนการที่ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ใหม่ของวิศวกรที่ต้องมีการวางแผนการทำงาน การทดสอบ ปรับปรุงแก้ไข การคิดค้นหาแนวทางที่หลากหลายเพื่อทดสอบวิธีแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ว่ากระบวนการนี้จะคล้ายกันกับกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่ต้องมีปัญหหรือข้อสงสัย การตั้งสมมติฐาน การออกแบบการทดลอง และการลงข้อสรุป โดยจุดต่างที่สำคัญของระหว่างกระบวนการทางวิศวกรรมและกระบวนการทางวิทยาศาสตร์คือ การออกแบบทางเลือกเพื่อแก้ปัญหาที่หลากหลายแล้ววิเคราะห์แนวทางที่เหมาะสมที่สุดซึ่งอาจมีใ้แนวทางที่ถูกต้องที่สุด ("optimum" rather than "right") ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการทางวิศวกรรมนอกจากนั้นกระบวนการทางวิศวกรรมเน้นที่การประยุกต์ใช้องค์ความรู้เพื่อแก้ปัญหาหรือสร้างสรรค์ผลงานออกมา ในขณะที่กระบวนการทางวิทยาศาสตร์มักมุ่งไปที่การได้มาซึ่งคำตอบของข้อสงสัยหรือองค์ความรู้ที่เป็นทฤษฎีเท่านั้น อย่างไรก็ตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หรือแนวทางการสืบเสาะหาความรู้ (inquiry) ยังคงต้องใช้ในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์เช่นเดิม เพียงแต่การเรียนการสอนในชั้นเรียนควรให้มีการลงมือปฏิบัติด้วยการสร้างสรรค์ชิ้นงานซึ่งอาจเป็นลักษณะของโครงงาน (project-based learning) การใช้ปัญหาเป็นฐาน (problem based learning) ให้มากขึ้นและเน้นการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง จะทำให้ผู้เรียนเห็นความสำคัญของการเรียนรู้ทฤษฎีและสามารถนำองค์ความรู้จากศาสตร์ต่าง ๆ มาบูรณาการกันเพื่อแก้ปัญหาหรือสร้างสรรค์นวัตกรรมใหม่ ๆ

จากการนำเสนอกระบวนการทำงานที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจะพบว่า มีรูปแบบและขั้นตอนการทำงานบางอย่างแตกต่างกัน แต่มีเป้าหมายเดียวกันเพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจถึงการทำงานอย่างเป็นขั้นตอน รู้จักการวางแผนการแก้ปัญหา ใช้ทรัพยากร (Resources) อย่างคุ้มค่าภายใต้ข้อจำกัด (Constraints) สามารถคิดค้นหาแนวทางที่หลากหลายเพื่อแก้ปัญหาอย่างเหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุดโดยแต่ละรูปแบบจะมีขั้นตอนหรือรายละเอียดคล้ายกัน



## 2.5 แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง มีแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ดังนี้

ลักษณะที่ชัดเจนข้อหนึ่งของการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา คือการผนวกกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเข้ากับการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ของผู้เรียน กล่าวคือในขณะที่ผู้เรียนทำกิจกรรมเพื่อพัฒนาความรู้ ความเข้าใจ และฝึกทักษะด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ผู้เรียนต้องมีโอกาสนำความรู้มาออกแบบวิธีการหรือกระบวนการเพื่อแก้ปัญหา เพื่อให้ได้เทคโนโลยีซึ่งเป็นผลผลิตจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (NRC, 2012) กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมประกอบด้วย องค์ประกอบ 6 ขั้นตอน ได้แก่

1. ระบุปัญหา (Problem Identification) ขั้นตอนนี้เริ่มต้นจากการที่ผู้แก้ปัญหาตระหนักถึงสิ่งที่เป็นปัญหาในชีวิตประจำวันและจำเป็นต้องหาวิธีการหรือสร้างสิ่งประดิษฐ์ (Innovation) เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ในการแก้ปัญหาในชีวิตจริงบางครั้งคำถามหรือปัญหาที่เราจะระบุอาจประกอบด้วยปัญหาย่อย ในขั้นตอนของการระบุปัญหา ผู้แก้ปัญหาต้องพิจารณาปัญหาหรือกิจกรรมย่อยที่ต้องเกิดขึ้นเพื่อประกอบเป็นวิธีการในการแก้ปัญหาใหญ่ด้วย

2. รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา (Related Information Search) หลังจากผู้แก้ปัญหาทำความเข้าใจปัญหาและสามารถระบุปัญหาย่อย ขั้นตอนต่อไปคือการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาดังกล่าว ในการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับผู้แก้ปัญหาอาจมีการดำเนินการ ดังนี้

- 2.1 การรวบรวมข้อมูล คือ การสืบค้นว่าเคยมีใครหาวิธีแก้ปัญหาดังกล่าวนี้แล้วหรือไม่ และหากมีเขาแก้ปัญหาอย่างไร และมีข้อเสนอแนะใดบ้าง

- 2.2 การค้นหาแนวคิด คือการค้นหาแนวคิดหรือความรู้ทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ หรือเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องและสามารถประยุกต์ในการแก้ปัญหาได้ ในขั้นตอนนี้ ผู้แก้ปัญหาควรพิจารณาแนวคิดหรือความรู้ทั้งหมดที่สามารถใช้แก้ปัญหาและจัดบันทึกแนวคิดไว้เป็นทางเลือก และหลังจากการรวบรวมแนวคิดเหล่านั้นแล้วจึงประเมินแนวคิดเหล่านั้น โดยพิจารณาถึงความเป็นไปได้ ความคุ้มค่า ข้อดีและจุดอ่อน และความเหมาะสมกับเงื่อนไขและขอบเขตของปัญหา แล้วจึงเลือกแนวคิดหรือวิธีการที่เหมาะสมที่สุด

3. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Solution Design) หลังจากเลือกแนวคิดที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาแล้วขั้นตอนต่อไป คือ การนำความรู้ที่ได้รวบรวมมาประยุกต์เพื่อออกแบบวิธีการ กำหนดองค์ประกอบของวิธีการหรือผลผลิต ทั้งนี้ ผู้แก้ปัญหามustอ้างอิงถึงความรู้วิทยาศาสตร์

คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่รวบรวมได้ ประเมิน ตัดสินใจเลือกและใช้ความรู้ที่ได้มาในการสร้างภาพร่างหรือกำหนดเค้าโครงของวิธีการแก้ปัญหา

4. วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (Planning and Development) หลังจากที่ได้ออกแบบวิธีการและกำหนดเค้าโครงของวิธีการแก้ปัญหาแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการพัฒนาต้นแบบ (Prototype) ของสิ่งที่ได้ออกแบบไว้ในขั้นตอนนี้ผู้แก้ปัญหาต้องกำหนดขั้นตอนย่อยในการทำงาน รวมทั้งกำหนดเป้าหมายและระยะเวลาในการดำเนินการแต่ละขั้นตอนย่อยให้ชัดเจน

5. ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Testing, Evaluation and Design Improvement) เป็นขั้นตอนทดสอบและประเมินการใช้งานต้นแบบเพื่อแก้ปัญหา ผลที่ได้จากการทดสอบและประเมินอาจถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาผลลัพธ์ให้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหามากขึ้น การทดสอบและประเมินผลสามารถเกิดขึ้นได้หลายครั้งในกระบวนการแก้ปัญหา

6. นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Presentation) หลังจากการพัฒนา ปรับปรุงทดสอบและประเมินวิธีการแก้ปัญหาหรือผลลัพธ์จนมีประสิทธิภาพตามที่ต้องการแล้วผู้แก้ปัญหาก็ต้องนำเสนอผลลัพธ์ต่อสาธารณชน โดยต้องออกแบบวิธีการนำเสนอข้อมูลที่เข้าใจง่ายและน่าสนใจระบุปัญหา (Problem Identification) ในสภาพอากาศที่ร้อนอบอ้าว มีความจำเป็นต้องเก็บผักผลไม้ในที่ที่อุณหภูมิต่ำเพื่อคงความสดใหม่ จึงเกิดคำถามขึ้นว่าทำอย่างไรจึงจะสร้างตู้หรือห้องที่คงอุณหภูมิให้ต่ำอยู่เสมอแม้อุณหภูมิภายนอกจะสูงก็ตามรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา (Related Information Search) การค้นพบทางวิทยาศาสตร์ได้อธิบายว่า (1) สสารโดยทั่วไปมีการคลายความร้อนเมื่อเปลี่ยนสถานะจากไอเป็นของเหลว และมีการดูดความร้อนเมื่อเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอ และ (2) สสารในสถานะไอสามารถเปลี่ยนเป็นของเหลวได้ เมื่อได้รับความดันที่สูงขึ้น และเปลี่ยนกลับเป็นไอได้เมื่อลดความดันลง จึงได้แนวคิดว่าหากนำสารที่เปลี่ยนสถานะได้ง่ายและมีคุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนได้ดีมาทำให้เปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไภายในตู้ และเปลี่ยนสถานะกลับเป็นของเหลวภายนอกตู้ ก็จะเกิดการถ่ายเทอุณหภูมิจากภายในตู้ออกไปนอกตู้ได้ ในที่นี้เทคโนโลยีด้านเครื่องจักรกลทางไฟฟ้า (หรือมอเตอร์) สามารถนำมาประยุกต์เป็นเครื่องอัดแรงดันให้สารเปลี่ยนสภาพจากไอเป็นของเหลวได้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงที่สุดในการถ่ายเทพลังงานความร้อน ควรมีการนำเอาสารหลายๆ ชนิดมาทดลองเปรียบเทียบอัตราการดูดและคลายความร้อน และพลังงานที่ต้องใช้ในการทำให้สารนั้นๆ เปลี่ยนสถานะไปมาออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Solution Design) หลังจากที่ได้ศึกษาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างตู้หรือห้องที่คงอุณหภูมิให้ต่ำเสมอแล้ว ขั้นตอนต่อไป ผู้

แก้ปัญหาต้องออกแบบกระบวนการสร้างผลิตภัณฑ์ที่ใช้ต้นทุนต่ำแต่ได้ประสิทธิภาพที่ต้องการ โดยการเลือกสรรวัตถุดิบและชิ้นส่วนที่เหมาะสม คำนวณปริมาณสารที่ต้องใช้รวมถึงคำนวณขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ทำอุปกรณ์อัดแรงดันด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อให้การถ่ายเทความร้อนเหมาะสมกับขนาดของห้องที่ต้องการทำความเย็นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (Planning and Development) หลังจากที่ได้ออกแบบวิธีการและกำหนดเค้าโครง ปริมาณสาร และขนาดองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ต้องใช้สร้างผลิตภัณฑ์เรียบร้อยแล้ว ผู้แก้ปัญหาลงมือพัฒนาต้นแบบ (Prototype) ของสิ่งที่ได้ออกแบบไว้ ในขั้นตอนนี้ ผู้แก้ปัญหาต้องกำหนดขั้นตอนย่อยในการทำงาน รวมทั้งกำหนดเป้าหมายและระยะเวลาในการดำเนินการแต่ละขั้นตอนย่อยในการสร้างผลิตภัณฑ์ให้ชัดเจน ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Testing, Evaluation and Design Improvement) ออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบที่กักเก็บสารทำความเย็นไว้ในระบบปิด โดยทำให้เกิดการระเหยกลายเป็นไอภายในห้องที่ต้องการทำความเย็นและควบแน่นกลับเป็นของเหลวภายนอกห้อง เพื่อประเมินประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการใช้งานก่อนนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Presentation) นำกระบวนการออกแบบที่ได้นำเสนอต่อผู้ที่สนใจหรือผู้ให้ทุนสนับสนุน เพื่อให้เกิดการผลิตในปริมาณมากและใช้งานในวงกว้างต่อไปตามที่ได้กล่าวไปแล้ว กระบวนการทั้งหมดนี้ไม่จำเป็นต้องเกิดขึ้นเป็นลำดับดังตัวอย่างเสมอไป การทดสอบและประเมินผลสามารถทำได้ในระหว่างการวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหาเช่นกัน หากผลลัพธ์ไม่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ไม่ว่าจะเป็นเรื่องต้นทุนหรือประสิทธิภาพของอุปกรณ์ ก็อาจจำเป็นต้องย้อนกลับไปค้นหาแนวคิดอื่นขึ้นมาใหม่ เป็นต้น

เมื่อนำกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมาผนวกกับการเรียนรู้ในชั้นเรียนเพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ของผู้เรียนนั้น ในขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา ผู้สอนสามารถจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ประมวลความรู้ต่าง ๆ ที่ได้จากการสืบค้นและรวบรวมข้อมูล ประเมิน ตัดสินใจเลือกและใช้ความรู้เหล่านั้นเพื่อออกแบบวิธีการแก้ปัญหา ขั้นตอนนี้จะช่วยถ่วงถ่วงแนวคิดเบื้องต้นของผู้เรียนได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ ยังเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้สอนได้ตรวจสอบความเข้าใจเกี่ยวกับแนวคิดวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี รวมถึงความสามารถในการประยุกต์ความรู้ดังกล่าวของผู้เรียนได้ชัดเจนมากขึ้น อย่างไรก็ตามการแก้ปัญหาหรือการสร้างสรรค์ชิ้นงานมักเป็นกระบวนการที่ต้องทำซ้ำและต่อเนื่องจนกว่าจะสามารถแก้ปัญหาหรือสร้างสรรค์ชิ้นงานนั้น ๆ ได้

สรุปแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ผู้วิจัยในงานวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนดังนี้

1. ระบุปัญหา (Problem Identification) เป็นการทำความเข้าใจปัญหาหรือความท้าทาย วิเคราะห์เงื่อนไขหรือข้อจำกัดของสถานการณ์ปัญหา เพื่อกำหนดขอบเขตของปัญหา ซึ่งจะนำไปสู่ การสร้างชิ้นงานหรือวิธีการในการแก้ปัญหา
2. รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา (Related Information Search) เป็นการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการแก้ปัญหาและประเมินความเป็นไปได้ ข้อดีและข้อจำกัด
3. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Solution Design) เป็นการประยุกต์ใช้ข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องเพื่อการออกแบบชิ้นงานหรือวิธีการในการแก้ปัญหา โดยคำนึงถึงทรัพยากร ข้อจำกัดและเงื่อนไขตามสถานการณ์ที่กำหนด
4. วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (Planning and Development) เป็นการกำหนดลำดับขั้นตอนของการสร้างชิ้นงานหรือวิธีการ แล้วลงมือสร้างชิ้นงานหรือพัฒนาวิธีการเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา
5. ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Testing, Evaluation and Design Improvement) เป็นการทดสอบและประเมินการใช้งานของชิ้นงานหรือวิธีการ โดยผลที่ได้จะนำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสมที่สุด
6. นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Presentation) เป็นการนำเสนอแนวคิดและขั้นตอนการแก้ปัญหาของการสร้างชิ้นงานหรือการพัฒนาวิธีการ ให้ผู้อื่นเข้าใจและได้ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาต่อไป

## 2.6 การวัดและประเมินผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

การวัดและการประเมินผลการเรียนรู้ เป็นสิ่งที่ควบคู่กันกับการจัดการเรียนรู้ในชั้นเรียน เป็นกระบวนการที่จะได้ข้อมูลสารสนเทศที่แสดงถึงพัฒนาการความก้าวหน้าและความสำเร็จของผู้เรียน รวมทั้งได้ข้อมูลที่จะเป็นประโยชน์ต่อการส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการพัฒนาและเรียนรู้ตามศักยภาพ การประเมินผลเป็นกลไกหนึ่งในการประกันคุณภาพการศึกษาทั้งภายในและภายนอก พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2542 ได้ระบุถึงวิธีการประเมินผลการเรียนรู้ไว้ว่า ให้สถานศึกษาจัดการประเมินผลผู้เรียน โดยพิจารณาจากพัฒนาการของผู้เรียน ความประพฤติ การสังเกต พฤติกรรมการเรียน การร่วมกิจกรรมและการทดสอบควบคู่ไปในกระบวนการเรียนการสอนตามความเหมาะสมของแต่ละระดับและรูปแบบการศึกษา จากพระราชบัญญัติการศึกษา

แห่งชาติฉบับดังกล่าวทำให้เห็นแนวทางการวัดผลและประเมินผลตามหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน ดังนี้

1. การวัดผลและประเมินผลเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการเรียนรู้จะต้องดำเนินการควบคู่กันไปอย่างสอดคล้องและต่อเนื่อง

2. ในการจัดการเรียนรู้มุ่งพัฒนาผู้เรียนทั้งด้านความรู้ ความคิด ทักษะ กระบวนการและเจตคติการประเมินพัฒนาการของผู้เรียนจึงต้องประเมินให้ครอบคลุมทุกด้าน

3. เพื่อให้การประเมินครอบคลุมทุกด้านและได้ข้อมูลเพียงพอที่จะประเมินพัฒนาการ ความก้าวหน้าและความสำเร็จของผู้เรียน จะต้องใช้กระบวนการและวิธีการประเมินผลหลากหลายวิธี และต่อเนื่องทั้งการสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้และการเข้าร่วมกิจกรรมการวัดผลและประเมินผลตามแนวทางสะเต็มศึกษานั้น เน้นการวัดและประเมินผลในสภาพจริงและที่ผู้เรียนแสดงออกขณะทำกิจกรรมเพื่อการเรียนรู้ ซึ่งสามารถสะท้อนถึงความรู้ ความคิด เจตคติ และความสามารถที่แท้จริงของผู้เรียน นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้จากการวัดผลและประเมินผลยังเป็นประโยชน์ต่อตัวผู้เรียน และตัวผู้สอน ที่จะได้รับทราบพัฒนาการความก้าวหน้าในการเรียนรู้ และความสำเร็จของผู้เรียนว่าอยู่ในระดับใด มีจุดเด่นใดที่ควรส่งเสริมให้ผู้เรียนได้พัฒนาเต็มศักยภาพ และมีจุดอ่อนใดที่ควรได้รับการแก้ไข รวมทั้งผู้สอนจะได้ข้อมูลที่เป็นแนวทางในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้และปรับปรุงการจัดการเรียนรู้ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และยังเป็นประโยชน์ต่อผู้เกี่ยวข้องเช่น ผู้ปกครองที่จะได้ใช้ข้อมูลจากการวัดและประเมินผลส่งเสริมและพัฒนาผู้เรียนให้พัฒนาเต็มตามศักยภาพตามความถนัด และความสนใจของแต่ละบุคคล ซึ่งแนวทางการวัดและประเมินผลมีดังนี้

3.1 การประเมินจากสภาพจริง (authentic assessment) คือ การประเมินความสามารถที่แท้จริงของผู้เรียนจากการแสดงออก การกระทำหรือผลงานเพื่อสร้างความรู้ด้วยตนเอง ในขณะที่ผู้เรียนแสดงออกในการปฏิบัติกิจกรรมหรือสร้างชิ้นงาน ซึ่งสามารถสะท้อนให้เห็นถึงกระบวนการคิดระดับสูง กระบวนการทำงาน และความสามารถในการแก้ปัญหาหรือการแสวงหาความรู้ การประเมินจากสภาพจริงจะมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อมีการประเมินหลาย ๆ ด้าน โดยใช้วิธีประเมินหลากหลายวิธีในสถานการณ์ต่าง ๆ ที่สอดคล้องกับชีวิตจริง และต้องประเมินอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มากพอที่จะสะท้อนถึงการพัฒนาและความสามารถที่แท้จริงของผู้เรียนได้ ลักษณะสำคัญของการประเมินจากสภาพจริง

3.1.1 การประเมินต้องผสมผสานไปกับการเรียนการสอนและต้องประเมินอย่างต่อเนื่อง โดยใช้วิธีประเมินหลาย ๆ วิธีที่ครอบคลุมพฤติกรรมหลาย ๆ ด้านในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน

3.1.2 สามารถประเมินกระบวนการคิดที่ซับซ้อน ความสามารถในการปฏิบัติงาน ศักยภาพของผู้เรียนในแง่ของผู้ผลิตและกระบวนการที่ได้ผลผลิตมากกว่าที่จะประเมินว่าผู้เรียนสามารถจดจำความรู้อะไรได้บ้าง

3.1.3 เป็นการประเมินที่มุ่งเน้นศักยภาพโดยรวมของผู้เรียนทั้งด้านความรู้พื้นฐาน ความคิดระดับสูง ความสามารถในการแก้ปัญหา การสื่อสาร เจตคติ ลักษณะนิสัย ทักษะในด้านต่างๆ และความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่น

3.1.4 เป็นการประเมินที่ให้ความสำคัญต่อพัฒนาการของผู้เรียน ข้อมูลที่ได้จากการประเมินหลายๆ ด้าน และหลากหลายวิธีสามารถนำมาใช้ในการวินิจฉัยจุดเด่นของผู้เรียนที่ควร จะให้การส่งเสริม และวินิจฉัยจุดด้อยที่จะต้องให้ความช่วยเหลือหรือแก้ไข เพื่อให้ผู้เรียนได้พัฒนา เต็มตามศักยภาพ ตามความสนใจ และความสามารถของแต่ละบุคคล

3.1.5 ข้อมูลที่ได้จากการประเมินจะสะท้อนให้เห็นถึงกระบวนการเรียนการสอน และการวางแผนการสอนของผู้สอนว่าเป็นไปตามจุดมุ่งหมายของการเรียนการสอนหรือไม่ ผู้สอน สามารถนำข้อมูลจากการประเมินมาปรับกระบวนการนำเสนอเนื้อหา กิจกรรมและตัวแปรอื่น ๆ ที่ เกี่ยวข้องให้เหมาะสมในการเรียนการสอนต่อไป

3.1.6 เป็นการประเมินที่ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมเพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนรู้จักตัวเอง เชื่อมั่นในตนเอง และสามารถพัฒนาตนเองได้

3.1.7 เป็นการประเมินที่ทำให้การเรียนการสอนมีความหมาย และเพิ่มความ เชื่อมั่นได้ว่าผู้เรียนสามารถถ่ายโอนการเรียนรู้ไปสู่การดำรงชีวิตในสังคมได้

### 3.2 การวัดและการประเมินผลด้านความสามารถ (performance assessment)

3.2.1 ความสามารถของผู้เรียนประเมินได้จากการแสดงออกโดยตรงจากการทำงานต่าง ๆ จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ ซึ่งเป็นของจริงหรือใกล้เคียงกับสภาพจริง และเปิดโอกาส ให้ผู้เรียนได้แก้ปัญหาจากสถานการณ์จริง หรือปฏิบัติงานได้จริง โดยประเมินจากกระบวนการ ทำงาน กระบวนการคิด โดยเฉพาะความคิดขั้นสูงและผลงานที่ได้

3.2.2 การประเมินผลด้านความสามารถ ประเมินได้ทั้งการแสดงออกกระบวนการ ทำงานและผลผลิตของงานจะให้ความสำคัญต่อกระบวนการทำงาน กระบวนการคิด คุณภาพของ งานมากกว่าผลสำเร็จของงาน

3.2.3 ลักษณะสำคัญของการประเมินความสามารถ คือ กำหนดวัตถุประสงค์ของ

งาน วิธีการทำงาน ผลสำเร็จของงาน มีคำสั่งควบคุมสถานการณ์ในการปฏิบัติงาน และมีเกณฑ์การให้คะแนนที่ชัดเจน การประเมินความสามารถที่แสดงออกของผู้เรียนทำได้หลายแนวทางต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม สถานการณ์ และความสนใจของผู้เรียน

สรุปการวัดและประเมินผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเน้นการประเมินตามสภาพจริง และประเมินการพัฒนาของนักเรียน

### 3. ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

#### 3.1 ทักษะในศตวรรษที่ 21

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง มีหลายองค์ประกอบแนวคิดเกี่ยวกับทักษะในศตวรรษที่ 21 ดังนี้

กรอบแนวคิดเพื่อการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 โดยภาคีเพื่อทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 (Partnership for 21st Century Skills, 2009) การศึกษาในศตวรรษที่ 21 ต้องยึดผลลัพธ์ทั้งแง่ในความรู้ของวิชาแกนและทักษะแห่งศตวรรษใหม่ ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่โรงเรียน สถานที่ทำงานและชุมชนต่างเห็นคุณค่าว่าจำเป็นอย่างยิ่งต่อโลกของการทำงานและการศึกษาขั้นสูง ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 คือเครื่องมือที่ต้องใช้เพื่อเป็นบันไดทางเศรษฐกิจและสังคมในระดับสูง ผู้เรียนต้องมีความรู้ในเนื้อหาและทักษะที่จะประยุกต์ใช้และปรับเปลี่ยนความรู้เหล่านั้นให้เข้ากับเป้าหมายที่ยังประโยชน์และสร้างสรรค์ รวมถึงการเรียนรู้อย่างต่อเนื่องตามเนื้อหาและสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไป กรอบความคิดนี้ถูกพัฒนาาร่วมกันขององค์กรเกือบ 40 องค์กรที่เป็นสมาชิก ซึ่งรวมถึงสมาคมการศึกษาแห่งชาติ (National Education Association) กรอบความคิดนี้ถูกนำเสนอแก่ผู้กำหนดนโยบาย นักการศึกษา นักธุรกิจ องค์กรชุมชน และผู้ปกครองนักเรียนที่เห็นด้วยเป็นอย่างยิ่งว่าทักษะในศตวรรษที่ 21 เป็นสิ่งจำเป็นต่อความสำเร็จในปัจจุบัน (Kay, 2010, p.25 อ้างถึงโดย พิษญา ติมี, 2559) กรอบแนวคิดการเรียนรู้ทักษะในศตวรรษที่ 21 ประกอบด้วย

1. วิชาแกน (core subject) ได้แก่ ภาษาอังกฤษ การอ่าน ศิลปะการใช้ภาษา คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ ภาษาต่างประเทศ หน้าที่พลเมือง การปกครอง เศรษฐศาสตร์ ศิลปะ ประวัติศาสตร์ และภูมิศาสตร์

2. เนื้อหาสำหรับศตวรรษที่ 21 เนื้อหาในสาขาใหม่ ๆ ที่สำคัญต่อความสำเร็จในที่ทำงานและชุมชนแต่ไม่ได้เน้นในโรงเรียนทุกวันนี้ ได้แก่ จิตสำนึกต่อโลก ความรู้พื้นฐานด้านการเงิน เศรษฐกิจ ธุรกิจ และการเป็นผู้ประกอบการ ความรู้พื้นฐานด้านพลเมือง และความตระหนักในสุขภาพและสวัสดิภาพ

3. ทักษะการเรียนรู้และการคิด นอกจากเรียนรู้เนื้อหาทางวิชาการแล้ว นักเรียนจำเป็นต้องรู้จักวิธีเรียนรู้อย่างต่อเนื่องตลอดชีวิต รู้จักใช้สิ่งที่เรียนมาอย่างมีประสิทธิภาพและสร้างสรรค์ ทักษะการเรียนรู้และการคิด ประกอบด้วย การคิดเชิงวิพากษ์และทักษะการแก้ปัญหา ทักษะการสื่อสาร ทักษะการสร้างสรรค์และการผลิตนวัตกรรม ทักษะการทำงานร่วมกัน ทักษะการเรียนรู้ตามบริบท และทักษะพื้นฐานด้านข้อมูลและสื่อ

4. ความรู้พื้นฐานไอซีที ความรู้พื้นฐานด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารคือความสามารถในการใช้เทคโนโลยีเพื่อพัฒนาความรู้และทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ในบริบทของการเรียนรู้วิชาแกน ผู้เรียนต้องใช้เทคโนโลยีให้เป็นเพื่อเรียนรู้เนื้อหาและทักษะ จะได้รู้จักวิธีเรียนรู้การคิดเชิงวิพากษ์ การแก้ปัญหา การใช้ข้อมูลข่าวสาร การสื่อสาร การผลิตนวัตกรรม และการร่วมมือทำงาน

5. ทักษะชีวิต ครูที่ดีย่อมรู้จักสอดแทรกทักษะชีวิตในบทเรียน ความท้าทายในปัจจุบันคือการผลานทักษะที่จะเป็นเหล่านี้ในโรงเรียนอย่างจริงจัง แยกกาย และรอบด้าน ทักษะชีวิตได้แก่ ความเป็นผู้นำ ความมีจริยธรรม การรู้จักรับผิดชอบ ความสามารถในการปรับตัว การรู้จักเพิ่มพูนประสิทธิภาพของตนเอง ความรับผิดชอบต่อตนเอง ทักษะในการเข้าถึงคน ความสามารถในการชี้นำตนเอง และความรับผิดชอบต่อสังคม

6. การประเมินในศตวรรษที่ 21 การประเมินผลที่แท้จริงเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการศึกษาศตวรรษที่ 21 การประเมินนี้ต้องวัดผลลัพธ์สำคัญ 5 ประการ ได้แก่ วิชาแกน เนื้อหาสำหรับศตวรรษที่ 21 ทักษะการเรียนรู้และการคิด ความรู้พื้นฐานไอซีที และทักษะชีวิต การประเมินทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ควรทำควบคู่ไปกับการประเมินวิชาแกน เพราะการประเมินที่แยกขาดกันจะบั่นทอนเป้าหมายในการหลอมรวมทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 เข้ากับวิชาแกน เทคโนโลยีสมัยใหม่จะช่วยให้การประเมินมีประสิทธิภาพ มีความยั่งยืน และเสียค่าใช้จ่ายน้อยลงแบบทดสอบมาตรฐานเพียงอย่างเดียวใช้วัดทักษะการเรียนรู้ได้ไม่ก็อย่าง การประเมินต้องผสมผสานให้สมดุลระหว่างแบบทดสอบมาตรฐานที่มีคุณภาพ กับการประเมินในชั้นเรียนอย่างมีประสิทธิภาพ จึงจะเกิดเป็นเครื่องมืออันทรงพลังสำหรับครูและนักเรียนในการเรียนรู้เนื้อหาและทักษะที่จำเป็นต่อความสำเร็จ

กรอบความคิดเพื่อการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ได้แสดงให้เห็นถึงการบูรณาการระหว่าง 3 องค์ประกอบ คือ 1) วิชาแกนและแนวคิดสำคัญในศตวรรษที่ 21 (Core subject and 21st Century themes) 2) ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 (21st Century skills) ประกอบด้วยทักษะ 3 กลุ่ม ได้แก่



1. ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม (Learning and Innovation skills) คือ ทักษะที่แสดงถึงการเตรียมนักเรียนให้มีความพร้อมในการทำงาน และดำเนินชีวิตในศตวรรษที่ 21 ที่แตกต่างจากอดีตโดยเฉพาะจะต้องใช้ทักษะการคิดสร้างสรรค์ การคิดเชิงวิพากษ์ การสื่อสาร การร่วมมือในการทำงาน สำหรับการใช้ชีวิตที่ซับซ้อนเพิ่มขึ้น และสิ่งแวดล้อมในการทำงานในโลกปัจจุบัน โดยทักษะที่จำเป็น ได้แก่

1.1 การสร้างสรรค์และนวัตกรรม (Creativity and Innovation) คือการที่ผู้เรียนมีความคิดสร้างสรรค์ สามารถทำงานอย่างสร้างสรรค์ร่วมกับผู้อื่นได้ และเกิดนวัตกรรมที่ประสบความสำเร็จ ประกอบด้วย

1.1.1 การคิดสร้างสรรค์ (Think Creativity) เป็นการใช้ความคิดที่อิสระในการออกแบบเทคนิค มาจากหลายวิธีการ เช่นการระดมสมอง (brainstorming) สร้างสิ่งใหม่ซึ่งเป็นแนวคิดที่มีคุณค่า สร้างขึ้นจากการวิเคราะห์และประเมินเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

1.1.2 การทำงานกับคนอื่น ๆ อย่างสร้างสรรค์ (Work Creativity with Others) เป็นการสร้างและสื่อสารแนวคิดใหม่ ๆ ให้ผู้อื่นทราบอย่างมีประสิทธิภาพ แสดงออกโดยปฏิบัติอย่างริเริ่มสร้างสรรค์และเข้าใจข้อจำกัดที่เป็นจริง มองเห็นว่าแม้จะล้มเหลวแต่ได้มีโอกาสเรียนรู้ และเข้าใจว่าความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมต้องใช้เวลายาวนาน

1.1.3 การนำนวัตกรรมไปใช้ (Implement Innovations) คือ การนำความคิดริเริ่มไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่องาน ทำให้ผลงานนั้นเป็นนวัตกรรม

1.2 การคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา (Critical thinking and Problem solving) ความสามารถของแต่ละบุคคลที่ให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถตอบคำถามและแก้ปัญหาได้ วิเคราะห์และประเมินทางเลือกที่ชัดเจน และสะท้อนการวิเคราะห์ในการตัดสินใจและกระบวนการประกอบด้วย

1.2.1 การให้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ (Reason Effectively) คือการใช้วิธีหาเหตุผลจากหลากหลายวิธี เช่น การอุปมาอุปมัย

1.2.2 การคิดอย่างเป็นระบบ (Use Systems Thinking) คือการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ส่วนย่อย ๆ และจึงมองเป็นภาพรวม

1.2.3 การพิจารณาและตัดสินใจ (Make Judgments and Decisions) คือการวิเคราะห์และประเมินข้อมูล แนวคิดอย่างมีประสิทธิภาพ สังเคราะห์และเห็นความเชื่อมโยงระหว่างสารสนเทศและข้อถกเถียง ตีความข้อมูลและลงข้อสรุป สะท้อนสิ่งที่เรียนรู้อย่างมีวิจารณญาณ

1.2.4 การแก้ปัญหา (Solve Problem) คือการแก้ปัญหาในรูปแบบต่าง ๆ โดยใช้วิธีปกติและวิธีใหม่ ๆ วิเคราะห์คำถามสำคัญเพื่อให้ความคิดชัดเจนขึ้นและนำไปสู่การลงข้อสรุป

1.3 การสื่อสารและความร่วมมือ (Communication and Collaboration) คือความสามารถของแต่ละบุคคลที่สื่อสารได้อย่างชัดเจน ในการพูด การเขียน และที่ไม่ใช้ภาษา การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างมีประสิทธิภาพและมีความรับผิดชอบ ประกอบด้วย

1.3.1 การสื่อสารอย่างชัดเจน (Communicate clearly) คือการแยกแยะแนวคิดอย่างมีเหตุผลโดยใช้การสนทนา การเขียนและทักษะการสื่อสารต่าง ๆ ในหลายรูปแบบและในหลายบริบท ฟังอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อเข้าใจความหมาย ความรู้ ค่านิยม ทัศนคติ และจุดมุ่งหมาย ใช้การสื่อสารหลาย ๆ วิธีที่จะสนองต่อจุดประสงค์ ใช้สื่อและเทคโนโลยีและสามารถประเมินผลกระทบ สื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพในหลากหลายบรรยากาศ

1.3.2 การร่วมมือทำงาน (Collaboration) หมายถึงแสดงออกถึงความสามารถที่จะทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพและได้รับการยอมรับในทีมที่ทำงานด้วย มีความยืดหยุ่นและเต็มใจที่จะทุ่มเทในการทำงานให้สำเร็จเพื่อให้สู่เป้าหมายของงาน มีความรับผิดชอบในการทำงานร่วมกับผู้อื่นและเห็นคุณค่าของความคิดที่มาจากสมาชิกกลุ่ม

2. ทักษะด้านสารสนเทศ สื่อ และเทคโนโลยี (Information, Media and Technology Skills) คือ การแสดงความสามารถได้หลากหลาย และมีความคิดอย่างมีวิจารณญาณผ่านการใช้สื่อ และเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้น การเข้าถึงข้อมูลอย่างอิสระ การเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในเครื่องมือ เทคโนโลยีและความสามารถในการช่วยเหลือ คนในยุคนี้จึงควรมีความสามารถหลัก ๆ เกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ได้แก่ เข้าถึงข้อมูลอันมหาศาลได้ทันกับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีและเครื่องมือ สามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นและแบ่งปันข้อมูลกับผู้อื่น ซึ่งทักษะด้านสารสนเทศ สื่อ และเทคโนโลยี ประกอบด้วย

2.1 การรู้สารสนเทศ (Information Literacy) คือความสามารถในการจำแนกประเมินและใช้อย่างมีประสิทธิภาพในข้อมูลที่จำเป็น ประกอบด้วย การเข้าถึงและประเมินข้อมูลและการใช้และจัดการสารสนเทศ (Use and manage information)

2.2 การรู้ทันสื่อ (Media Literacy) คือความสามารถของบุคคลในการออกแบบอย่างมีประสิทธิภาพ วิเคราะห์สื่อ (Analyze Media) และการสร้างชิ้นงานที่เป็นสื่อ (Create media products)

2.3 ความรู้เกี่ยวกับสารสนเทศ การสื่อสารและเทคโนโลยี (Information, Communication and Technology Literacy) คือการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอย่างมีประสิทธิภาพ และใช้เครือข่ายทางสังคมในการสื่อสารและจัดการกับข้อมูลอย่างสร้างสรรค์

3. ทักษะชีวิตและการทำงาน (Life and Career Skills) คือความสามารถในการประเมิน ผู้นำแนวทางการดำรงชีวิตที่ซับซ้อนและการทำงานในโลกที่มีการแข่งขันสูง ความสามารถของแต่ละบุคคลที่ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพกับทีมที่หลากหลาย การเปิดใจยอมรับความคิดที่หลากหลาย แสดงการปฏิบัติตามหลักจริยธรรมและรับผิดชอบต่อตนเองและสังคม สิ่งแวดล้อมในการทำงานและชีวิต มีความสามารถในการอยู่ได้ท่ามกลางชีวิตที่สับสนและสิ่งแวดล้อมในการทำงานที่มีการแข่งขันกันในระดับโลก จึงจำเป็นต้องสร้างให้ผู้เรียนมีทักษะชีวิตและอาชีพดังต่อไปนี้

3.1 ความยืดหยุ่นและความสามารถในการปรับตัว (Flexibility and Adaptability) คือความสามารถในการปรับบทบาทไปสู่การเปลี่ยนแปลงได้ และให้ผลสะท้อนกลับอย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบด้วย การปรับเปลี่ยนได้ (adapt to change) และมีความยืดหยุ่น (be flexible)

3.2 การคิดริเริ่มและการชี้นำตนเอง (Initiative and self-direction) คือความสามารถในการเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง โดยการตั้งเป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถทำงานได้อย่างอิสระ ประกอบด้วย จัดการเรื่องเป้าหมายและวางแผนการทำงาน ทำงานได้อย่างอิสระและ ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ด้วยตนเองได้

4. ทักษะทางสังคมและการเรียนรู้ด้านวัฒนธรรม (social and Cross-culture skills) คือการมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ เคารพและยอมรับความแตกต่างทางสังคมและวัฒนธรรม ประกอบด้วย การมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่น และการทำงานกับทีมต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.1 การเพิ่มผลผลิตและการรู้รับผิดชอบ (productivity and accountability) คือการจัดการและเผชิญเป้าหมาย ความจำเป็นที่มาก่อน การจัดการเวลาทำงาน ประกอบด้วย จัดการกับโครงการได้ และสร้างผลผลิตได้

4.2 ความเป็นผู้นำและความรับผิดชอบต่อสังคม (Leadership and responsibility) คือ ความสามารถของบุคคลในการทำงานและการเอาใจใส่สังคม ประเมินจุดแข็งขอผู้อื่นไปยังเป้าหมายที่บรรลุผล ประกอบด้วย การชี้แนะและนำคนอื่นได้ และมีความรับผิดชอบต่อผู้อื่น ครอบคลุมความคิดหลักสำหรับทักษะแห่งศตวรรษที่ 21

เพื่อให้เห็นฐานความคิดและแนวทางการพัฒนาหลักสูตรในศตวรรษที่ 21 ที่ชัดเจน จึงได้นำเสนอกรอบความคิดเชิงมโนทัศน์เกี่ยวกับทักษะที่จำเป็นของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 ขององค์กรและบุคคลต่าง ๆ ไว้ดังต่อไปนี้ (วรพจน์ วงศ์กิจรุ่งเรือง และ อธิป จิตตฤกษ์, 2554: 118-137)

กรอบความคิดของภาคีเพื่อทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 (Partnership for 21st Century Skills, 2007) ได้นำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ที่ถูกนำไปใช้อ้างอิง อย่างกว้างขวาง ดังนี้

1. วิชาแกน (core subject) พระราชบัญญัติการศึกษาพื้นฐานถ้วนหน้า ค.ศ. 2001 (No Child Left Behind Act of 2001) ของสหรัฐอเมริกา ได้กำหนดวิชาแกนที่จำเป็นต้องเรียนรู้ไว้ คือ วิชาภาษาอังกฤษ การอ่าน ศิลปะการใช้ภาษา คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ ภาษาต่างประเทศ หน้าที่พลเมือง การปกครอง เศรษฐศาสตร์ ศิลปะ ประวัติศาสตร์ และภูมิศาสตร์

2. เนื้อหาสำหรับศตวรรษที่ 21 เนื้อหาในสาขาใหม่ ๆ ที่สำคัญต่อความสำเร็จในที่ทำงาน และชุมชน แต่โรงเรียนต่าง ๆ ในทุกวันนี้ไม่ได้เน้นในการนำไปสอน ได้แก่ จิตสำนึกต่อโลก ความรู้พื้นฐานด้านการเงิน เศรษฐกิจ ธุรกิจ และการเป็นผู้ประกอบการ ความรู้พื้นฐานด้านพลเมือง และความตระหนักในสุขภาพและสวัสดิภาพ

3. ทักษะการเรียนรู้และการคิด นอกจากการเรียนรู้เนื้อหาวิชาการแล้ว นักเรียนจำเป็นต้องรู้จักวิธีการเรียนรู้อย่างต่อเนื่องตลอดชีวิต รู้จักใช้สิ่งที่เรียนมาอย่างมีประสิทธิภาพและสร้างสรรค์ ทักษะการเรียนรู้และการคิด ประกอบด้วย การคิดเชิงวิพากษ์ ทักษะการแก้ปัญหา ทักษะการสร้างสรรค์และผลิตนวัตกรรม ทักษะการทำงานร่วมกัน ทักษะการเรียนรู้ตามบริบท และทักษะพื้นฐานด้านข้อมูลและสื่อ

4. ความรู้พื้นฐานไอซีที (ICT literacy) ความรู้พื้นฐานด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร คือความสามารถในการใช้เทคโนโลยีเพื่อพัฒนาความรู้และทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ในบริบทของการเรียนรู้วิชาแกน นักเรียนต้องใช้เทคโนโลยีให้เป็นเพื่อเรียนรู้เนื้อหาและทักษะ และจะได้เรียนรู้วิธีการเรียนรู้ การคิดเชิงวิพากษ์ การแก้ไขปัญหา การใช้ข้อมูลข่าวสาร การสื่อสาร การผลิตนวัตกรรม และการร่วมมือทำงาน

5. ทักษะชีวิต ทักษะชีวิตที่สำคัญที่ควรส่งเสริมให้ผู้เรียน ได้แก่ ความเป็นผู้นำ ความมีจริยธรรม การรู้จักรับผิดชอบ ความสามารถในการปรับตัว การรู้จักเพิ่มพูนประสิทธิภาพของตนเอง ความรับผิดชอบต่อตนเอง ทักษะในการเข้าถึงคน ความสามารถในการชี้นำตนเอง และความรู้รับผิดชอบต่อสังคม

กรอบความคิด enGauge ของ NCREL/Metiri Group (2003) ห้องวิจัยการศึกษาเขตภาคกลางตอนเหนือ (NCREL) และกลุ่มเมทีริ (Metiri Group) ได้เสนอกรอบความคิดสำหรับทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ในปี ค.ศ. 2003 ไว้โดยกรอบความคิด enGauge ได้เพิ่ม “ความรู้พื้นฐานเชิงทัศนภาพ” (visual literacy) ลงไปว่าเกี่ยวข้องกับความรู้พื้นฐานทางข้อมูลข่าวสารและรวม “ความอยากรู้” “ความกล้าเสี่ยง” และ “การจัดการความซับซ้อน” เข้าไว้ในทักษะหลักด้วย กรอบความคิดนี้เน้น “การจัดลำดับความสำคัญ” การวางแผน และการจัดการเพื่อมุ่งผลลัพธ์” และเห็นว่า “ความรู้พื้นฐานทางพหุวัฒนธรรม” (multicultural literacy) เป็นองค์ประกอบที่ชัดเจนอีกอย่างหนึ่ง นอกจากนี้ยังได้เสนอกรอบความคิดที่จำเป็นสำหรับผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 ไว้ดังต่อไปนี้

1. ความรู้พื้นฐานในยุคดิจิทัล ได้แก่ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ และเทคโนโลยี ความรู้พื้นฐานเชิงทัศนภาพและข้อมูล ความรู้พื้นฐานทางพหุวัฒนธรรมและจิตสำนึกต่อโลก

2. การคิดเชิงประติมากรรม ได้แก่ ความสามารถในการปรับตัว การจัดการความซับซ้อน-ความสามารถในการชี้นำตนเอง ความอยากรู้ ความสร้างสรรค์ ความกล้าเสี่ยง การคิดระดับสูง-การใช้เหตุผลที่ดี

3. การสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่ การทำงานเป็นทีม ความร่วมมือ ทักษะด้านปฏิสัมพันธ์ระหว่างบุคคล ความรับผิดชอบต่อตนเอง ต่อสังคม และความรับผิดชอบต่อฐานะพลเมือง การสื่อสารแบบโต้ตอบ

4. การเพิ่มผลิตผลระดับสูง ได้แก่ การจัดลำดับความสำคัญ การวางแผน การจัดการเพื่อมุ่งผลลัพธ์ การใช้เครื่องมือจริงอย่างมีประสิทธิภาพ ความสามารถในการสร้างผลผลิตที่มีคุณภาพและเหมาะสม

กรอบความคิด องค์การเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (OECD, 2005)

องค์การเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (OECD) ได้เสนอแนวคิดเกี่ยวกับทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ไว้ในปี ค.ศ. 2005 ดังนี้

1. ความสามารถในการใช้เครื่องมืออย่างมีประสิทธิภาพ รู้จักใช้ภาษา สัญลักษณ์ และเนื้อหาข้อความอย่างมีประสิทธิภาพ ใช้ความรู้และข้อมูลข่าวสารอย่างมีประสิทธิภาพ และใช้เทคโนโลยีอย่างมีประสิทธิภาพ

2. ความสามารถด้านปฏิสัมพันธ์กับกลุ่มที่หลากหลาย โดยมีความสัมพันธ์อันดีกับผู้อื่น ให้ความร่วมมือและทำงานเป็นทีม จัดการและแก้ไขความขัดแย้ง

3. ความสามารถในการโต้ตอบโดยอิสระ โดยคำนึงถึงภาพรวม วางแผนชีวิตและดำเนินตามโครงการส่วนตัวที่วางไว้ ปกป้องและยืนยันสิทธิ ผลประโยชน์ ข้อจำกัด และความต้องการ

สภาผู้นำแห่งชาติเพื่อการศึกษาเสรีและสัญญาของอเมริกา (LEAP, 2007) ได้เสนอกรอบความคิดเกี่ยวกับทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 เพื่อให้นักเรียนในโรงเรียนและต่อเนื่องไปถึงการศึกษาระดับสูงขึ้นไป เพื่อเตรียมความพร้อมรับมือความท้าทายในศตวรรษที่ 21 ดังนี้

1. ความรู้เกี่ยวกับวัฒนธรรมมนุษย์และโลกทางกายภาพและโลกธรรมชาติ ได้แก่ในเรื่องวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ สังคมศาสตร์ มนุษยศาสตร์ ประวัติศาสตร์ ภาษา และศิลปะ โดยเน้นการศึกษาเพื่อตอบคำถามสำคัญ ทั้งในยุคนี้อันและที่คงอยู่ทุกยุคทุกสมัย

2. ทักษะทางปัญญาและเชิงปฏิบัติ ได้แก่ การตั้งคำถามและการวิเคราะห์ การคิดเชิงวิพากษ์และการคิดเชิงสร้างสรรค์ การสื่อสารด้วยการเขียนและพูด ความรู้พื้นฐานในเรื่องปริมาณ ความรู้พื้นฐานในข้อมูลข่าวสาร การทำงานเป็นทีมและการแก้ไขปัญหา โดยมีการฝึกปฏิบัติให้ทั่วทุกหลักสูตร ในลักษณะที่มีความท้าทายของปัญหา โครงการและมาตรฐานการปฏิบัติ และประเมินผล

3. ความรับผิดชอบส่วนตัวและต่อสังคม ได้แก่ ความรู้และการมีส่วนร่วมในฐานะพลเมือง ทั้งในระดับท้องถิ่นและระดับโลก

4. การเรียนรู้แบบบูรณาการ ได้แก่ การสังเคราะห์และความสำคัญขั้นสูงในการศึกษาทั่วไปและเฉพาะทาง โดยสาริตผ่านการประยุกต์ใช้ความรู้ ทักษะ และความรับผิดชอบในสภาพแวดล้อมใหม่และปัญหาที่ซับซ้อน

กรอบความคิด สมาคมเทคโนโลยีการศึกษานานาชาติ (ISTE, 2007) ได้เสนอมาตรฐานทักษะการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารที่มีความสำคัญต่อนักเรียนในศตวรรษที่ 21 ไว้ในปี ค.ศ. 2007 ดังนี้

1. ความสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยนักเรียนสามารถแสดงความคิดสร้างสรรค์ ผลิตความรู้ และพัฒนานวัตกรรมที่เป็นผลผลิตและกระบวนการโดยใช้เทคโนโลยี ในด้านการประยุกต์ใช้ความรู้ที่มีเพื่อสร้างแนวคิดใหม่ ผลิตภัณฑ์ใหม่ หรือกระบวนการใหม่ การสร้างงานที่เป็นต้นแบบเพื่อสื่อถึงตัวตนหรือกลุ่ม การใช้โมเดลและการจำลองเพื่อสำรวจระบบและปัญหาที่ซับซ้อน การหาแนวโน้มและคาดการณ์ความเป็นไปได้

2. การสื่อสารและการทำงานร่วมกัน โดยนักเรียนสามารถใช้ประโยชน์จากสื่อดิจิทัลและสภาพแวดล้อมทางดิจิทัลเพื่อสื่อสารและทำงานร่วมกัน รวมทั้งเพื่อสนับสนุนการเรียนรู้ทางไกลสำหรับตนเองและผู้อื่น การมีปฏิสัมพันธ์ ให้ความร่วมมือ และเผยแพร่งานร่วมกับเพื่อน

ผู้เชี่ยวชาญ และบุคคลอื่น ๆ โดยใช้สื่อดิจิทัลและสภาพแวดล้อมทางดิจิทัลต่าง ๆ การสื่อสารข้อมูลและความคิดไปสู่ผู้รับจำนวนมากอย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้สื่อหลากหลายรูปแบบ การพัฒนาความเข้าใจทางวัฒนธรรมและจิตสำนึกต่อโลกด้วยการคลุกคลีกับผู้เรียนจากวัฒนธรรมอื่น การช่วยเหลือสมาชิกในโครงการให้ผลิตผลงานที่เป็นต้นแบบและช่วยแก้ไขปัญหา

3. ความเชี่ยวชาญในการค้นคว้าหาข้อมูล โดยนักเรียนสามารถใช้เครื่องมือดิจิทัลเพื่อรวบรวม ประเมิน และใช้ข้อมูล ในด้านการวางแผนยุทธศาสตร์เพื่อเป็นแนวทางในการสืบค้น การค้นหา จัดระเบียบ วิเคราะห์ ประเมิน สังเคราะห์ และใช้ข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ จากแหล่งข้อมูลและสื่อต่าง ๆ การประเมินและคัดเลือกแหล่งข้อมูลและเครื่องมือดิจิทัลตามความเหมาะสมกับภารกิจนั้น ๆ การประมวลข้อมูลและรายงานผล

4. การคิดเชิงวิพากษ์ การแก้ปัญหา และการตัดสินใจ โดยนักเรียนสามารถแสดงทักษะการคิดเชิงวิพากษ์ เพื่อวางแผนและวิจัย บริหารโครงการ แก้ปัญหา และตัดสินใจจากข้อมูล โดยใช้เครื่องมือดิจิทัลและแหล่งข้อมูลดิจิทัลที่เหมาะสม ในด้านการกำหนดและนิยามปัญหาที่แท้จริง และกำหนดคำถามสำคัญเพื่อการค้นคว้า การวางแผนและบริหารกิจกรรมเพื่อหาคำตอบหรือทำโครงการให้ลุล่วง การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาคำตอบ และ/หรือเพื่อตัดสินใจโดยอาศัยข้อมูล การใช้กระบวนการต่าง ๆ และแนวทางที่หลากหลายเพื่อสำรวจทางเลือกอื่น ๆ

5. ความเป็นพลเมืองดิจิทัล (digital citizenship) โดยนักเรียนสามารถแสดงความเข้าใจประเด็นทางสังคม วัฒนธรรม และความเป็นมนุษย์ ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี และปฏิบัติตนอย่างมีจริยธรรมและตามครรลองกฎหมาย ด้วยการสนับสนุนและฝึกใช้ข้อมูลข่าวสารและเทคโนโลยีอย่างปลอดภัย ถูกกฎหมาย และอย่างรับผิดชอบ การแสดงทัศนคติเชิงบวกต่อการใช้เทคโนโลยีเพื่อส่งเสริมความร่วมมือ การเรียนรู้ และการเพิ่มผลผลิต การแสดงให้เห็นว่าตนเองรู้จักรับผิดชอบต่อการเรียนรู้ตลอดชีวิต การแสดงความเป็นผู้นำในฐานะพลเมืองดิจิทัล

6. การใช้งานเทคโนโลยีและแนวคิด โดยนักเรียนสามารถแสดงให้เห็นว่าเขาเข้าใจแนวคิดระบบ และการทำงานของเทคโนโลยี ในด้านความเข้าใจและการใช้ระบบเทคโนโลยี การเลือกและใช้โปรแกรมประยุกต์อย่างมีประสิทธิภาพ การแก้ไขปัญหาของระบบและโปรแกรมประยุกต์ได้ การรู้จักใช้ความรู้ที่มีในปัจจุบันเพื่อเรียนรู้ผ่านเทคโนโลยีใหม่ๆ

กรอบความคิด ศูนย์บริการทดสอบการศึกษา (ETS, 2007) ได้เสนอกรอบความคิดสำหรับความรู้พื้นฐานทางดิจิทัลและไอซีทีไว้ในปี ค.ศ. 2007 เช่นกันดังนี้

1. ความสามารถในการรู้คิด ซึ่งเป็นทักษะพื้นฐานที่จำเป็นในการใช้ชีวิตประจำวัน ได้แก่ การอ่านออกเขียนได้ การคำนวณพื้นฐาน การแก้ไขปัญหา และความรู้พื้นฐานทางมิติสัมพันธ์/ทัศนภาพ

2. ความสามารถทางเทคนิค เป็นองค์ประกอบของความรู้พื้นฐานทางดิจิทัล ได้แก่ ความรู้พื้นฐานด้านฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ โปรแกรม เครือข่าย และองค์ประกอบของเทคโนโลยีดิจิทัล

3. ความสามารถด้านไอซีที เป็นการหลอมรวมและการประยุกต์ใช้ทั้งทักษะในการรู้คิด และทักษะทางเทคนิค ซึ่งถูกมองว่าเป็นไบเบ็กทาง ซึ่งความสมรรถนี้ทำให้คนเราใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีได้อย่างเต็มที่ และอาจถึงกับทำให้เกิดนวัตกรรม การเปลี่ยนแปลงในระดับบุคคล และการเปลี่ยนแปลงทางสังคม ซึ่งความรู้พื้นฐานด้านไอซีทีนี้มี 5 ระดับ คือ ระดับเข้าถึง เช่น รู้จักเลือกเปิดอีเมลในกล่องจดหมายที่ควรอ่าน ระดับจัดการ เช่น ระบุและจัดระเบียบข้อมูลในกล่องจดหมาย ระดับบูรณาการ เช่น สรุปประโยชน์ของหลักสูตรอบรมที่บริษัทจัดขึ้น ประเมิน เช่น ตัดสินใจได้ว่าควรจัดหลักสูตรใดต่อในปีหน้า โดยพิจารณาจากข้อมูลการเข้าเรียนปีก่อน สร้างสรรค์ เช่น เขียนอีเมลข้อเสนอแนะส่งให้รองประธานฝ่ายทรัพยากรมนุษย์

กรอบความคิด ของ เฮนรี เจงกินส์ และคณะ (Jenkins et al., 2009) ซึ่งได้เสนอรายการความรู้พื้นฐานทางดิจิทัล ดังนี้

1. การเล่น เป็นความสามารถในการลองสิ่งที่อยู่รอบตัวซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของการแก้ปัญหา

2. การแสดงบทบาท เป็นความสามารถในการใช้อัตลักษณ์อื่นเพื่อพลิกแพลงเฉพาะหน้า และเพื่อการค้นพบ

3. การจำลอง เป็นความสามารถในการตีความและสร้างโมเดลที่สะท้อนกระบวนการจริง

4. การหยิบฉวย เป็นความสามารถในการเลือกตัวอย่างที่น่าสนใจและผสมเนื้อหาสื่อขึ้นมาใหม่

5. การทำงานหลายอย่าง เป็นความสามารถในการสำรวจสิ่งรอบตัวอย่างรวดเร็ว แล้วเบนความสนใจไปที่รายละเอียดสำคัญได้ตามต้องการ

6. การรู้คิดแบบกระจาย เป็นความสามารถในการใช้เครื่องมือแบบโต้ตอบเพื่อขยายศักยภาพทางความคิด

7. การใช้ปัญญาแบบหมู่คณะ เป็นความสามารถในการรวมพลังความรู้และเปรียบเทียบข้อคิดเห็นกับผู้อื่นเพื่อเป้าหมายร่วมกัน



8. การใช้ดุลพินิจ เป็นความสามารถในการประเมินความน่าเชื่อถือของแหล่งข้อมูลที่แตกต่างกัน

9. การกำกับทิศทางผ่านสื่อ เป็นความสามารถในการติดตามทิศทางของเรื่องราวและข้อมูลไปมาระหว่างสื่อกลางต่าง ๆ

10. การสร้างเครือข่าย เป็นความสามารถในการค้นหา สังเคราะห์ และกระจายข้อมูลข่าวสาร

11. การเจรจา เป็นความสามารถในการเดินทางไปในหลากหลายพื้นที่ ตระหนักถึงความแตกต่างและเคารพมุมมองอันหลากหลาย รวมถึงทำความเข้าใจและเฝ้าติดตามบรรทัดฐานทางเลือก

กรอบความคิด ของ ดีดี (Dede, 2005) ซึ่งได้เสนอรูปแบบการเรียนรู้ในศตวรรษ ที่ 21 ไว้ดังนี้

1. ความคล่องแคล่วในการใช้สื่อหลายรูปแบบ เป็นการประเมินค่าสื่อแต่ละแบบตามประเภทของการสื่อสาร กิจกรรม ประสบการณ์ และการแสดงออก

2. การเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม เป็นการแสวงหา กลั่นกรอง และสังเคราะห์ประสบการณ์ร่วมกับผู้อื่น แทนที่จะค้นหาและดูดซับข้อมูลจากแหล่งที่ดีที่สุดเพียงแหล่งเดียวด้วยตามลำพัง

3. การแสดงออกผ่านการนำเสนอที่ไม่เป็นลำดับเชิงเส้น เป็นการจำลองเรื่องราวและสร้างเว็บเพื่อบรรยายความเข้าใจแทนที่จะเขียนเป็นรายงาน

4. การร่วมออกแบบโดยครูและนักเรียน เป็นการปรับรูปแบบประสบการณ์การเรียนรู้ให้เข้ากับความต้องการและความชอบของแต่ละคน

กรอบความคิด 5 จิตเพื่ออนาคต ( Five minds for the Future) ของ Howard Gardner Five minds for the Future เป็นหนังสือเล่มล่าสุดของ Howard Gardner นักวิชาการด้านการศึกษาแห่งมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด ผู้เขียนเรื่อง Frame of Minds และ Changing Minds ที่เคยจุดประเด็นความสำคัญของ ทฤษฎีพหุปัญญา (Multiple Intelligence) จนโด่งดังไปทั่วทั้งวงการศึกษา ในหนังสือ เรื่อง Five minds for the Future นี้ได้ชี้ให้เห็นและเน้นความสำคัญของ "ความฉลาดหรือทักษะ" ซึ่ง Gardner ใช้แทนด้วยคำว่า "จิต" (Mind) ทั้ง 5 ประการ ที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ในทุก ๆ ด้านในโลกยุคศตวรรษที่ 21 (Gardner.2006:1-20) ซึ่งจิตทั้ง 5 นั้นประกอบไปด้วย

1. จิตแห่งวิทยาการ (Disciplined Mind) เป็นการเรียนรู้ตลอดชีวิต คิดเป็น ทำเป็น ปรับปรุง ประยุกต์ สิ่งที่เราเรียนมา และพัฒนาให้ดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง

2. จิตแห่งการสังเคราะห์ (Synthesizing Mind) เป็นการสังสม ต่อยอด และสร้างนวัตกรรมความรู้ โดยการเลือกสรรข้อมูลที่สำคัญจากแหล่งข้อมูลที่มามากมายหลากหลาย แล้วจัดกระทำข้อมูล ทำความเข้าใจกับข้อมูลและประเมินข้อมูล โดยปราศจากอคติ แล้วผสมผสาน(สังเคราะห์) ข้อมูลนั้นให้เป็นข้อมูลใหม่ที่มีความหมายต่อตนเองและผู้อื่น

3. จิตแห่งการสร้างสรรค์ (Creating Mind) เป็นการคิดสร้างสรรค์สิ่งใหม่ๆที่แตกต่างไปจากเดิม

4. จิตแห่งความเคารพ (Respectful Mind) เป็นการเปิดใจกว้างพร้อมรับฟังทุกความคิดเห็น ทั้งของบุคคลและกลุ่มคนที่มีความคิดเห็นที่แตกต่างหลากหลาย อย่างเห็นอกเห็นใจ และเป็นไปในทางสร้างสรรค์เพื่อนำไปสู่การทำงานร่วมกับคนที่แตกต่างกัน

5. จิตแห่งจริยธรรม (Ethical Mind) เป็นการมีความรู้คู่คุณธรรม ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาเพื่อประโยชน์ส่วนรวมมากกว่าตอบสนองประโยชน์ส่วนตน

Gardner ได้กล่าวว่า “บุคคลจะสามารถเอาตัวรอดและประสบความสำเร็จทั้งในด้าน การทำงาน และการดำเนินชีวิตในโลกยุคศตวรรษที่ 21 ได้จะต้องมีจิตทั้ง 5 ประการ ประกอบรวมอยู่ในตัวของคนๆนั้น นอกจากนี้จิตทั้ง 5 ยังจะช่วยจรรโลงให้สังคมโลกในอนาคตเป็นสิ่งที่ดีน่าอยู่มากยิ่งขึ้น” แสดงให้เห็นว่า Gardner เน้นว่าจิตทั้ง 5 นั้นมีความสำคัญเป็น อย่างมากต่อมนุษย์ในโลกยุคใหม่ โดยที่บุคคลจะต้องมีครบทั้ง 5 จิต จะขาดจิตใดจิตหนึ่งไปเสียไม่ได้ เพราะจิตทั้ง 5 มีผลต่อการพัฒนาตัวบุคคลทั้งในแง่การทำงาน การดำเนินชีวิต และสังคมโดยรวม ซึ่งจิตทั้ง 5 จะกลายเป็นพลังขับเคลื่อนชุมชน สังคม และประเทศชาติให้ก้าวไปสู่จุดหมายของชาติ และยืนหยัดในกระแสของการแข่งขันในโลกยุคใหม่ได้อย่างมั่นคงและยั่งยืน

กรอบแนวคิดของทักษะสำคัญแห่งศตวรรษที่ 21 หรือ การเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 อาจจะมี ความแตกต่างไปจากนี้ได้ขึ้นอยู่กับ กรอบแนวคิดของกลุ่มนักวิชาการที่แตกต่างกันตัวอย่างเช่นใน กลุ่มของ Metri Group (Turiman et al., 2012) จะแบ่งองค์ประกอบของทักษะสำคัญแห่งศตวรรษที่ 21 เป็น 4 ด้านคือ (1) การรู้เรื่องในยุคดิจิทัล (Digital age literacy) (2) การคิดเชิงประดิษฐ์ (Inventive thinking) (3) การสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ (Effective communication) และ (4) ผลิตภาพ/ความสามารถหรือศักยภาพการผลิตที่สูง (High productivity) แนวคิดของกลุ่ม Metri Group สอดคล้องกับนโยบายการพัฒนาคุณภาพชีวิตของคนในสังคมและการจ้างงานเน้นทักษะที่เพิ่มขึ้นของประเทศไทย (Suvit, 2016) รวมทั้งการขับเคลื่อนนโยบายประเทศไทย 4.0 ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ของภาคีเพื่อการเรียนรู้แห่งศตวรรษที่ 21 (Partnership for 21st Century Learning, 2015) สมรรถนะสำคัญของผู้เรียนและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ในการพัฒนาผู้เรียนตาม

หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน (Ministry of Education Thailand, 2008) หากผู้สอนให้ความสำคัญกับทักษะที่สำคัญและจำเป็นในศตวรรษที่ 21 การกำหนดเป้าหมายหรือ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจะต้องนำทักษะสำหรับศตวรรษที่ 21 เข้าไปประกอบด้วย เนื่องจากผู้เรียนจำเป็นต้องใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตจริงที่มีความซับซ้อน ดังนั้นแนวการจัดการศึกษาจำเป็นต้องปรับให้สอดคล้องกับความต้องการและจำเป็นในโลกปัจจุบันและอนาคตที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การเรียนรู้จึงต้องเปลี่ยนจากแบบเดิมที่เรียนในมิติเดียว ที่เน้นแต่เนื้อหา เป็นลักษณะของวัฏจักรมีการประยุกต์ใช้และเชื่อมโยงสู่โลกสังคมชีวิตจริงให้มากขึ้น จุดเน้นนี้จึงสอดคล้องและเป็นไปในแนวทางเดียวกับแนวคิดสะเต็มศึกษา จึงเป็นลักษณะสำคัญอีกประการหนึ่งของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา

สรุปทักษะในศตวรรษที่ 21 มีองค์ประกอบดังนี้

1. ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ประกอบด้วยความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา การสื่อสารและทำงานร่วมกับคนอื่น
2. ทักษะด้านข้อมูล สื่อ และเทคโนโลยี ประกอบด้วยทักษะในการจัดระบบและมีการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ซึ่งหมายความรวมถึง การรู้ข้อมูล (Information literacy) การรู้สื่อ (Media literacy) และ การรู้ไอซีที (Information, communications and technology literacy)
3. ทักษะชีวิตและทักษะในอาชีพ ประกอบด้วย การยืดหยุ่นและปรับตัว การสร้างสรรคสิ่งใหม่และการมีเป้าหมาย ทักษะทางสังคมและความเข้าใจในวัฒนธรรมที่แตกต่าง ความมีประสิทธิภาพและความรับผิดชอบในหน้าที่ ความเป็นผู้นำและรับผิดชอบ

### 3.2 ความหมายความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

ความหมายของความคิดสร้างสรรค์นักวิชาการหลายท่านได้เสนอแนวคิดเกี่ยวกับความหมายของความคิดสร้างสรรค์ไว้หลากหลายซึ่งมีทั้งแนวคิดที่แตกต่างและคล้ายคลึงกันสรุปได้ดังนี้

ชาญณรงค์ พรุ่งโรจน์ (2546, หน้า 7) ได้ให้ความหมายความคิดสร้างสรรค์ว่าหมายถึงความสามารถของสมองที่คิดได้กว้างไกลหลายแง่มุมเรียกว่าความคิดแบบอเนกนัยซึ่งทำให้เกิดความคิดแปลกใหม่แตกต่างไปจากเดิมเป็นความสามารถในการมองเห็นความสัมพันธ์ของสิ่งต่างๆ รวมตัวเกิดการเรียนรู้เข้าใจจนเกิดปฏิกิริยาตอบสนองให้เกิดความคิดเชิงจินตนาการซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของความคิดสร้างสรรค์อันจะนำไปสู่การประดิษฐ์หรือคิดค้นสิ่งแปลกใหม่หรือเพื่อการแก้ไขปัญหาซึ่งจะต้องอาศัยการบูรณาการจากประสบการณ์และความรู้ทั้งหมดที่ผ่านมา

อารี พันธุ์มณี (2543, หน้า 6) ได้ให้ความหมายความคิดสร้างสรรค์ว่าเป็นกระบวนการทางสมองที่คิดในลักษณะเอกนัยอันนำไปสู่การคิดค้นพบสิ่งแปลกใหม่ด้วยการคิดดัดแปลงปรุงแต่ง

จากความคิดเดิมผสมผสานกันให้เกิดสิ่งใหม่ซึ่งรวมทั้งการประดิษฐ์คิดค้นพบสิ่งต่างๆตลอดจนวิธีการคิดทฤษฎีหลักการได้สำเร็จความคิดสร้างสรรค์จะเกิดขึ้นได้มิใช่เพียงแค่วิธีคิดในสิ่งที่เป็นไปได้หรือสิ่งที่เป็เหตุเป็นผลเพียงอย่างเดียวเท่านั้นหากแต่ความคิดจินตนาการก็เป็นสิ่งสำคัญยิ่งที่จะก่อให้เกิดความแปลกใหม่แต่ต้องควบคู่กันไปกับความพยายามที่จะสร้างความคิดฝันหรือจินตนาการให้เป็นไปได้หรือที่เรียกว่าเป็นจินตนาการประยุกต์นั่นเองจึงทำให้เกิดผลงานจากความคิดสร้างสรรค์ขึ้น

เกรียงศักดิ์ เจริญวงศ์ศักดิ์ (2556, หน้า 4) ได้ให้ความหมายความคิดสร้างสรรค์ว่าเป็นการสร้างสรรคสิ่งใหม่ที่แตกต่างไปจากเดิมและใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมเช่นกระตักน้ำร้อนสำหรับเดินทางที่มีระบบอุ่นในตัวถือเป็นสิ่งใหม่เป็นความริเริ่มใหม่ ๆ ให้ความแปลกใหม่ตื่นตาตื่นใจไม่เคยเห็นมาก่อนและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เหมาะสมกว่าถึงที่มีอยู่

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ (2544, หน้า 2) ได้ให้ความหมายความคิดสร้างสรรค์ว่าเป็นกระบวนการทางปัญญาในระดับสูงที่ใช้กระบวนการทางความคิดหลาย ๆ อย่างมารวมกันเพื่อสร้างสรรค์สิ่งใหม่หรือแก้ปัญหาที่มีอยู่ให้ดีขึ้นความคิดสร้างสรรค์จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อผู้สร้างสรรค์มีอิสรภาพทางความคิด

กิลฟอร์ด (Gulford, 1950 อ้างอิงในอารี พันธุ์มณี, 2543, หน้า 3) ได้ให้ความหมายว่าความคิดสร้างสรรค์เป็นลักษณะความคิดอเนกนัย (Divergent Thinking) คือความคิดหลากหลายทิศทางหลายแง่มุมติดได้กว้างไกลซึ่งลักษณะความคิดเช่นนี้จะนำไปสู่การคิดประดิษฐ์สิ่งแปลกใหม่รวมถึงค้นพบวิธีการแก้ปัญหาได้สำเร็จด้วย

สรุปความหมายของความคิดสร้างสรรค์ได้ว่าเป็นกระบวนการทางสมองที่คิดได้หลากหลายทิศทางซึ่งต้องอาศัยจินตนาการและความเป็นเหตุเป็นผลเพื่อนำไปสู่การคิดค้นประดิษฐ์หรือปรับปรุงงานต่างๆขึ้นมาใหม่โดยผลงานที่คิดขึ้นต้องมีความแปลกใหม่ไม่ซ้ำใครและสามารถช่วยแก้ปัญหาได้

องค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์กิลฟอร์ด (Sulford, n.d. อ้างอิงในชาญณรงค์ พรรุ่งโรจน์, 2546, หน้า 19) ได้อธิบายไว้ว่าความคิดสร้างสรรค์เป็นความสามารถทางสมองที่คิดได้กว้างไกลหลายทิศทางหรือเรียกว่าลักษณะการคิดอเนกนัยหรือการคิดแบบกระจาย (Divergent thinking) ซึ่งประกอบด้วย

1. ความคิดริเริ่ม (originality) หมายถึงความคิดแปลกใหม่ซึ่งแตกต่างไปจากความคุ้นเคย ความริเริ่มแปลกใหม่ในที่นี้อาจแสดงออกในรูปลักษณะผลผลิตหรือกระบวนการคิดก็ได้เช่นการตีความการรับรู้เนื้อหาต่าง ๆ ที่ผ่านเข้าสู่ประสาทสัมผัสโดยความคิดริเริ่มต้องเป็นสิ่งใหม่ซึ่งไม่เคย

ปรากฏมาก่อนแต่อาศัยการสะสมและรวบรวมความรู้เดิมมาดัดแปลงหรือประยุกต์ให้ดีขึ้นมีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยสิ่งประดิษฐ์ส่วนใหญ่ล้วนอาศัยแนวทางการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

2. ความคิดคล่องแคล่วในการคิด (fluency) หมายถึงความสามารถในการผลิตความคิดที่แตกต่างและหลากหลายภายใต้กรอบจำกัดของเวลาเป็นความสามารถเบื้องต้นซึ่งจะนำไปสู่การคิดอย่างมีคุณภาพและการคิดเพื่อการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพต่อไปโดยแบ่งเป็น

2.1 ความคล่องแคล่วด้านถ้อยคำเป็นความสามารถในการใช้ถ้อยคำอย่างคล่องแคล่ว

2.2 ความคล่องแคล่วด้านการโยงสัมพันธ์เป็นความสามารถในการหาถ้อยคำที่มีความหมายเหมือนหรือคล้ายคลึงกันได้อย่างรวดเร็ว

2.3 ความคล่องแคล่วด้านการแสดงออกเป็นความสามารถในการนำคำมาเรียงกันเป็นวลีและประโยคเพื่อแสดงจุดหมายที่ต้องการได้อย่างเหมาะสม

2.4 ความคล่องแคล่วในการคิดเป็นความสามารถในการคิดสิ่งที่ต้องการโดยสามารถผลิตความคิดได้อย่างหลากหลาย

3. ความยืดหยุ่นในการคิด (flexibility) เป็นความสามารถในการคิดนอกกรอบไม่ตกอยู่ภายใต้กฎเกณฑ์หรือความคุ้นเคยความยืดหยุ่นช่วยให้สามารถมองเห็นสิ่งต่าง ๆ ในแง่มุมใหม่สามารถจัดหมวดหมู่ของความคิดออกได้หลายทิศทางหลายประเภทจึงนับเป็นปัจจัยสนับสนุนให้เกิดความคล่องแคล่วให้พัฒนาความคิดแตกแขนงในทิศทางที่แตกต่างไม่ซ้ำซ้อนนำไปสู่การคิดอย่างมีคุณภาพและสร้างสรรค์สิ่งใหม่

4. ความละเอียดลออในการคิด (elaboration) เป็นการคิดตกแต่งในรายละเอียดเพื่อขยายความคิดหลักให้สมบูรณ์ความละเอียดลออสัมพันธ์กับความสามารถในการสังเกตไม่ละเอียดในรายละเอียดเล็ก ๆ น้อย ๆ ที่ผู้อื่นอาจมองข้ามไปผลสำเร็จของสิ่งประดิษฐ์หรือองค์ความรู้ต่าง ๆ ต้องอาศัยความคิดในรายละเอียดนอกจากนี้ยังมีความสามารถในการจำแนกแยกแยะอย่างจับใจและเฉียบคม

Torrance (1973 อ้างอิงใน ชามาศ ดิษฐเจริญ. 2556, หน้า 20-21) ได้ศึกษาเกี่ยวกับความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนใน 3 องค์ประกอบดังนี้

1. ความคิดคล่องเป็นความสามารถในการคิดหาคำตอบได้อย่างหลากหลายเพื่อตอบคำถามปลายเปิดและคำถามอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็ความคิดทางภาษาหรือท่าทาง

2. ความคิดยืดหยุ่นเป็นความสามารถในการแก้ปัญหาได้หลากหลายคิดได้หลายแง่มุม และสามารถผสมผสานความรู้และประสบการณ์ให้เกิดประโยชน์ได้หลายด้าน

3. ความคิดริเริ่มเป็นความคิดที่แปลกใหม่แตกต่างไปจากความคิดเดิมเป็นความคิดที่แตกต่างจากคนอื่นเป็นการรวมกันของความคิดที่ไม่มีความสัมพันธ์กันมาก่อนทั้งในด้านความคิดหรือการกระทำ

อารี พันธุ์ณี (2546 อ้างอิงใน" ซามาต ดิษฐเจริญ, 2556, หน้า 21) กล่าวว่าความคิดสร้างสรรค์เป็นความสามารถทางสมองที่คิดได้กว้างไกลหลายทิศทางหรือเรียกว่าลักษณะการคิดนอกนัยหรือการคิดแบบกระจายประกอบด้วยองค์ประกอบ 4 ประการคือ

1. ความคิดคล่องแคล่ว (fluency) หมายถึง ปริมาณความคิดที่ไม่ซ้ำกันในเรื่องเดียวกัน
2. ความคิดริเริ่ม (originality) หมายถึง ลักษณะความแปลกใหม่แตกต่างจากความคิดธรรมดาหรือความคิดง่าย ๆ
3. ความคิดยืดหยุ่นหรือความยืดหยุ่นในการคิด (flexibility) หมายถึง ประเภทหรือแบบของความคิด
4. ความคิดละเอียดลออ (elaboration) หมายถึง ความคิดในรายละเอียดเป็นขั้นตอนสามารถอธิบายให้เห็นภาพเจนหรือเป็นแผนงานที่สมบูรณ์ขึ้น

สรุปจากการศึกษาองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ของนักการศึกษามืออาชีพประกอบ 4 องค์ประกอบคือความคิดคล่องแคล่ว ความคิดริเริ่ม ความคิดยืดหยุ่น และความคิดละเอียดลออ

### ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

ซลัช กลิ่นแก่นจันทร์ ( 2560, หน้า 7) ได้ให้ความหมายว่า ความสร้างสรรค์ (Creativity) เป็นหนึ่งในทักษะในด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมจะมีพฤติกรรมบ่งชี้ คือ ใช้ความคิดสร้างสรรค์ในการทำงานพัฒนาแนวคิดใหม่อยู่เสมอ ๆ เปิดรับมุมมองที่แตกต่าง

วิจารณ์ พานิช()ได้ให้ความหมายว่า ความสร้างสรรค์และนวัตกรรม (creativity and innovation) เป็นหนึ่งในทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมโดยมีเป้าหมายและวิธีการดังนี้

1. เกิดทักษะการคิดอย่างสร้างสรรค์ โดยใช้เทคนิคสร้างมุมมองหลากหลายเทคนิค เช่น การระดมความคิด (brainstorming) สร้างมุมมองแปลกใหม่ ทั้งที่เป็นการปรับปรุงเล็กน้อยจากของเดิม หรือเป็นหลักการที่แหวกแนวโดยสิ้นเชิง ชักชวนกันทำความเข้าใจ ปรับปรุง วิเคราะห์ และประเมิน มุมมองของตนเอง เพื่อพัฒนาความเข้าใจเกี่ยวกับการคิดอย่างสร้างสรรค์
2. เกิดทักษะในการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ พัฒนา ลงมือปฏิบัติ และสื่อสารมุมมองใหม่กับผู้อื่นอยู่เสมอ เปิดใจรับและตอบสนองต่อมุมมองใหม่ ๆ หากทางได้ข้อคิดเห็นจากกลุ่ม รวมทั้งการประเมินผลงานจากกลุ่ม เพื่อนำไปปรับปรุง ทำงานด้วยแนวคิดหรือวิธีการใหม่ ๆ และเข้าใจข้อจำกัดของโลกในการยอมรับมุมมองใหม่ ความล้มเหลวเป็นโอกาสเรียนรู้ เข้าใจว่า

ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเป็นเรื่องระยะยาว เข้าใจวัฏจักรของความสำเร็จเล็ก ๆ และความผิดพลาดที่เกิดขึ้นบ่อย ๆ ว่าจะนำไปสู่การสร้างสรรค์และนวัตกรรม

3. เกิดการประยุกต์สู่นวัตกรรม โดยลงมือปฏิบัติตามความคิดสร้างสรรค์เพื่อนำไปสู่ผลสำเร็จที่เป็นรูปธรรม

สรุปความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม เป็นหนึ่งในทักษะในด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม จะมีทักษะบ่งชี้ คือ ทักษะการคิดอย่างสร้างสรรค์ ทักษะในการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ ประยุกต์สู่นวัตกรรม

### 3.3 การประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

ในปี 2009 มีบทความเกี่ยวกับ "การเรียนการสอนในศตวรรษที่ 21" (Teaching for the 21st Century) ที่แนะนำให้โรงเรียนประเมินทักษะในศตวรรษที่ 21 ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นให้ Catalina Foothills School District (CFSD) ใน Tucson, Arizona มลรัฐเวอร์จิเนีย ได้สร้างแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของผู้เรียน ประสิทธิภาพเกิดจากการพัฒนาที่ยาวนานมาจนถึงปัจจุบัน CFSD ได้พัฒนาแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่เรียกว่า "ENVISION 21 : DEEP LEARNING" เป็นพื้นฐานสำหรับการเรียนรู้แบบข้ามสาขาวิชาที่จำเป็นในการเตรียมผู้เรียนเพื่อดำรงชีวิตในศตวรรษที่ 21 ทักษะเหล่านี้เป็น "ความชำนาญในการเรียนรู้ลึกซึ้ง" (deep learning proficiencies; DLPs) ของ CFSD คือ 5c + s ซึ่ง 5c ประกอบด้วย (1) การเป็นพลเมือง (2) การคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา (3) การคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม (4) การสื่อสาร และ(5) การทำงานร่วมกัน ส่วน S คือ การคิดอย่างเป็นระบบ จากการศึกษาการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมจากกรอบ Catalina Foothills School District ; CFSD (2018) แสดงดังตาราง 2

ตาราง 2 แสดงเกณฑ์การให้คะแนนความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมตามกรอบ Catalina Foothills School District ; CFSD (2018)

ความคิด สร้างสรรค์และ นวัตกรรม	เริ่มต้นขั้น	ขั้นพื้นฐาน	ขั้นชำนาญ	ขั้นขั้นสูง
การสร้าง ความคิด นวัตกรรม	<p>คำจำกัดความ: ระบุปัญหาหรือข้อท้าทายที่ต้องการด้วยวิธีการที่สร้างสรรค์</p> <p>การสร้างแนวความคิดออกมาให้เป็นรูปร่าง: ใช้การระดมความคิดพื้นฐาน เช่นรายการหรือ webbing เพื่อสร้างความคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา</p> <p>การตรวจสอบความคิดสร้างสรรค์: อธิบายความคิดของผู้อื่น การแก้ปัญหาหรือแนวทางในการบรรลุความสำเร็จ</p> <p>ดูแนวคิดที่คลาดเคลื่อนที่เป็นไปได้ของผู้เรียนตามตัวชี้วัด</p>	<p>คำจำกัดความ: อธิบายลักษณะของปัญหาหรือความท้าทาย (เช่นบริบทลักษณะพารามิเตอร์ ฯลฯ ) ระบุข้อมูลที่จำเป็นในการแก้ปัญหาหรือตอบสนองความท้าทาย (เช่นอะไรเป็นที่รู้จัก, สิ่งที่ไม่รู้จัก, ข้อกำหนด ฯลฯ )</p> <p>การสร้างแนวความคิดออกมาให้เป็นรูปร่าง: สร้างแนวคิดใหม่ ๆ หรือแนวทางที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหรือท้าทายโดยใช้กลยุทธ์ที่ให้มา (ตัวอย่างเช่นการระดมความคิด การคิดเชิง</p>	<p>คำจำกัดความ: ระบุขอบเขตของปัญหาหรือความท้าทายรวมทั้งโครงสร้าง ข้อจำกัด ระบุปัญหาหรือท้าทายโดยการตรวจสอบผ่านมุมมองต่างๆ (ตัวอย่างเช่น จริยธรรม วัฒนธรรมสังคม การเมือง เศรษฐกิจ การคิดเชิงระบบหรือมุมมองของผู้มีส่วนได้เสียที่แตกต่างกัน ฯลฯ ) โดยระบุหลายแง่มุมของหัวข้อตัวอย่างหรือ</p>	<p>คำจำกัดความ: วางแนวปัญหาใหม่หรือท้าทายโดยใช้คำอุปมาหรือการเปรียบเทียบเพื่อให้ชัดเจนทิศทางเกี่ยวกับวิธีการเข้าใกล้งาน (ตัวอย่างเช่น:"เครื่องเล่นเพลงส่วนตัวคือเครื่องประดับ "อุปมาอุปมัยจุดประกายความคิดสร้างสรรค์ในการสร้างความคิดที่นำไปสู่ iPod) กำหนดขอบเขตใหม่หรือ</p>



ตาราง 2 (ต่อ)

ความคิด สร้างสรรค์และ นวัตกรรม	เริ่มต้นขั้น	ขั้นพื้นฐาน	ขั้นชำนาญ	ขั้นขั้นสูง
		การแก้ปัญหาจากปัญหาที่คล้ายคลึงกันจากสาขาวิชาอื่น ๆ การตรวจสอบความคิดสร้างสรรค์: ค้นคว้าความคิดของผู้อื่น การแก้ปัญหาหรือแนวทางในการตอบสนองความท้าทาย	หลากหลายของกลยุทธ์ (ตัวอย่างเช่นการระดมความคิด , การทำความเข้าใจความรู้สึกคนอื่น, กิจกรรมการเขียน, การคิดวิเคราะห์ระบบ, การแก้ปัญหาจากปัญหาที่คล้ายคลึงกัน )	การสร้างแนวคิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ใช้การเปรียบเทียบ มีการเปรียบเทียบกับแบบใหม่ หากการเชื่อมต่อที่จะทำให้แปลกไปจากเดิม การตรวจสอบความคิดสร้างสรรค์:ถามคำถามที่
			การตรวจสอบความคิดสร้างสรรค์: ค้นคว้าตัวอย่างหรือแบบอย่างที่มีมาก่อนเพื่อประเมินความคิดสร้างสรรค์ที่สร้างขึ้นใหม่	ซับซ้อนและเปิดกว้างเกี่ยวกับปัญหาหรือแนวทางอื่น ๆ ที่นำไปสู่การสร้างความคิดเดิม

ตาราง 2 (ต่อ)

ความคิด สร้างสรรค์และ นวัตกรรม	เริ่มต้นขั้น	ขั้นพื้นฐาน	ขั้นชำนาญ	ขั้นขั้นสูง
การออกแบบ และการปรับแต่ง ความคิด	การอธิบายเพิ่มเติม: ระบุ รายละเอียดหรือความคิดทั่วไป การทำซ้ำ: สร้างการแสดงของ แนวคิด เพื่อที่จะแนะนำการผลิต จริง ทำให้สามารถแก้ไขแนวคิด และกระบวนการได้ง่าย ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับคำสั่ง (ตัวอย่างเช่น: เปลี่ยนแปลงคำสั่ง ในกระบวนการหลังจากที่ได้รับ คำสั่งให้ทำเช่นนั้น)	การอธิบายเพิ่มเติม: เฉพาะเจาะจงความคิดและ รายละเอียดที่เกี่ยวข้อง การทำซ้ำ: สร้างแนวคิดในการ ทำงาน เพื่อทดสอบสมมติฐาน และคุณลักษณะ ทำให้การแก้ไข มีประสิทธิภาพ ความคิดและ กระบวนการขึ้นอยู่กับ ข้อเสนอแนะที่เฉพาะเจาะจง	การอธิบายเพิ่มเติม: แสดงถึงความคิดอย่าง ชัดเจนในระดับของ รายละเอียดที่จำเป็นเพื่อให้ เกิดประสิทธิภาพ การทำซ้ำ: สร้างและ ทดสอบหลายเวอร์ชัน ใน เรื่องของผลิตภัณฑ์หรือ วิธีการที่ใช้แก้ไขที่ซับซ้อน หรือการปรับแต่งแบบ ละเอียดเพื่อตอบสนองต่อ ข้อเสนอแนะในวงกว้าง	การอธิบายเพิ่มเติม: กำหนดความคิดและระบุ ขอบเขตเฉพาะของความ กำกวมหรืออุปสรรคที่ เป็นไปได้ (ตัวอย่างเช่น สร้างแผนฉุกเฉิน) การทำซ้ำ: วิเคราะห์ตัว แปรและรูปแบบของ ความสำเร็จล้มเหลว ความ ไม่ตั้งใจ ผลกระทบที่เกิดขึ้น ในการทำซ้ำ แจ้งการ ตัดสินใจเกี่ยวกับขั้นตอน ถัดไป ค้นหาและรวบรวม ข้อเสนอแนะที่กำหนด

ตาราง 2 (ต่อ)

ความคิด สร้างสรรค์และ นวัตกรรม	เริ่มต้นขั้น	ขั้นพื้นฐาน	ขั้นชำนาญ	ขั้นขั้นสูง
ทำงานกับคน อื่น ๆ อย่าง สร้างสรรค์ (ดูความร่วมมือ)	บูรณาการความคิด: สรุปความคิดเห็นของผู้อื่น ตีความความคิดของตัวเองไปยัง คนอื่น ๆ	บูรณาการความคิด: รวม ความคิดของตัวเองกับความคิด ของผู้อื่น	บูรณาการความคิด: ทำ ให้เกิดการเชื่อมโยง ระหว่างความคิดของผู้อื่น ในการสร้างข้อมูลเชิงลึก ใหม่และไม่เหมือนใคร	บูรณาการความคิด: คิด สังเคราะห์และใช้ประโยชน์ จากจุดแข็งที่แตกต่างกัน และมุมมองของสมาชิกแต่ ละคนในการพัฒนา ต้นฉบับ เพื่อผลิตภัณฑ์ที่มี ประสิทธิภาพ.
การผลิตและ สร้างนวัตกรรม อย่างสร้างสรรค์	กลุ่มเป้าหมาย: ระบุรายละเอียด เกี่ยวกับกลุ่มเป้าหมาย รวมถึง ความต้องการและความสนใจ ที่จะมีผลต่อขั้นสุดท้ายของ ผลิตภัณฑ์หรือวิธีการ	กลุ่มเป้าหมาย: ปรับความคิด เดิมลงในผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง กลุ่มเป้าหมาย การใช้ทรัพยากร: ระบุวัสดุ ทรัพยากรที่จำเป็นสำหรับงาน	กลุ่มเป้าหมาย: ปรับ ความคิดเดิมอย่างมี ประสิทธิภาพลงใน ผลิตภัณฑ์ที่ตรงกับความ ต้องการหรือความสนใจ	กลุ่มเป้าหมาย: พิจารณา หลายๆมุมมองของ กลุ่มเป้าหมาย ปรับแนวคิด เพื่อให้เหมาะกับ กลุ่มเป้าหมายที่แตกต่าง กัน ซึ่งมีความต้องการ

ตาราง 2 (ต่อ)

ความคิด สร้างสรรค์และ นวัตกรรม	เริ่มต้นขั้น	ขั้นพื้นฐาน	ขั้นชำนาญ	ขั้นขั้นสูง
การใช้ทรัพยากร: ระบุวัสดุ ทรัพยากรที่จำเป็นสำหรับงาน การวางแผน: อธิบายข้อกำหนด ของงาน การผลิต: ได้ผลิตภัณฑ์	การวางแผน: ให้ข้อมูลขั้นตอน ทั่วไปเพื่อให้เป็นไปตาม ข้อกำหนดของงาน การผลิต: ทำให้ผลิตภัณฑ์เสร็จ สิ้นตามหลักความต้องการของ แผน	ของกลุ่มเป้าหมาย การใช้ทรัพยากร: ระบุ วัสดุ ทรัพยากรที่จำเป็น สำหรับงาน การวางแผน: ให้ข้อมูล ขั้นตอนทั่วไปเพื่อให้เป็นไป ตามข้อกำหนดของงาน การผลิต: ทำให้ผลิตภัณฑ์ เสร็จสิ้นตามหลักความ ต้องการของแผน	และความสนใจที่ หลากหลาย การใช้ทรัพยากร: การ รวมวัสดุ / ทรัพยากร อย่าง มีประสิทธิภาพ เพื่อพัฒนา ผลิตภัณฑ์หรือวิธีการ การวางแผน: วิเคราะห์ ส่วนประกอบของ ผลิตภัณฑ์เพื่อระบุข้อมูลที่ ชัดเจน รายละเอียดเฉพาะ และรายละเอียดที่แตกต่าง กันและข้อมูลในแผน	

ตาราง 2 (ต่อ)

ความคิด สร้างสรรค์และ นวัตกรรม	เริ่มต้นขั้น	ขั้นพื้นฐาน	ขั้นชำนาญ	ขั้นขั้นสูง
				การผลิต: จัดทำผลิตภัณฑ์ ตามแผนและตรงตาม ข้อกำหนดทั้งหมดโดยทำ การเปลี่ยนแปลงตามความ จำเป็น
การควบคุมและ การสะท้อน ตนเอง	การสะท้อน: ระบุจุดแข็งและ จุดอ่อนของตัวเองในผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการ การวางแผน: กำหนดเป้าหมาย ส่วนบุคคลสำหรับประสิทธิภาพ กระบวนการทางความคิด: อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ความพยายามและความสำเร็จ	การสะท้อน: ประเมินคุณภาพ ของประสิทธิภาพและความคิด สร้างสรรค์ กระบวนการในการ ตอบสนองต่อข้อเสนอแนะหรือ เกณฑ์ที่จัดตั้งขึ้น การวางแผน: ตั้งเป้าหมาย สำหรับประสิทธิภาพตาม	การสะท้อน: สะท้อนถึง คุณภาพของงาน การใช้ งาน การสะท้อนข้อคิดเห็น เพื่อแก้ไขข้อเดียวหรือ ผลิตภัณฑ์มีคำถามและ วิพากษ์วิจารณ์ กระบวนการสร้างสรรค์ของ	การสะท้อน: วิเคราะห์ รูปแบบและแนวโน้มใน กระบวนการสร้างสรรค์ของ ตนเองและผลิตภัณฑ์ ประเมินความคิด สร้างสรรค์ตลอด

ตาราง 2 (ต่อ)

ความคิด สร้างสรรค์และ นวัตกรรม	เริ่มต้นขั้น	ขั้นพื้นฐาน	ขั้นชำนาญ	ขั้นขั้นสูง
		<p>ข้อเสนอแนะหรือเกณฑ์ที่กำหนด กระบวนการทางความคิด: แสดงให้เห็นถึงความปรารถนาที่ จะปรับปรุง (ตัวอย่างเช่น: มีการ ปฏิบัติมากขึ้นกำหนดเป้าหมาย ในการปรับปรุงขอความ ช่วยเหลือจากคนอื่นแทนการ ยอมแพ้)</p>	<p>ตัวเอง (ตัวอย่างเช่นการ ทุ่มเทเวลาและความ พยายามการสำรวจ ความคิดจำนวนการ สนับสนุนที่จำเป็น ) อธิบายการเรียนรู้ที่เป็นผล มาจากกระบวนการ สร้างสรรค์ การวางแผน: ค้นหาเลือก และใช้ทรัพยากรและกล ยุทธ์เพื่อให้บรรลุเป้าหมาย ในการปรับปรุง กระบวนการสร้างสรรค์</p>	<p>กระบวนการ ค้นหาและทำ ตามข้อเสนอแนะ จากเพื่อนครูและ ผู้เชี่ยวชาญเพื่อการพัฒนา. การวางแผน: วิเคราะห์ รูปแบบและการแสดงก่อน หน้าเพื่อตั้งเป้าหมายใหม่ เป้าหมายในการคิด สร้างสรรค์ทบทวน เป้าหมายเพื่อตอบสนองต่อ การสะท้อนอย่างต่อเนื่อง กระบวนการทาง ความคิด: ช่วยปรับปรุง จุดอ่อนของตัวเองในเชิงรุก</p>

ตาราง 2 (ต่อ)

ความคิด สร้างสรรค์และ นวัตกรรม	เริ่มต้นขั้น	ขั้นพื้นฐาน	ขั้นชำนาญ	ขั้นขั้นสูง
			<p>การวางแผน: ค้นหาเลือก และใช้ทรัพยากรและกล ยุทธ์เพื่อให้บรรลุเป้าหมาย ในการปรับปรุง</p> <p>กระบวนการสร้างสรรค์ กระบวนการทาง ความคิด: แสดงให้เห็นถึง การเติบโตความคิด เพื่อ ตอบสนองต่อความพ่ายแพ้ และความท้าทาย (ตัวอย่างเช่น: ยอมรับและ ใช้ข้อเสนอแนะ อธิบาย ความล้มเหลว)</p>	<p>กระบวนการ ค้นหาและทำ ตามข้อเสนอแนะจากเพื่อน ครูและผู้เชี่ยวชาญเพื่อการ พัฒนา</p> <p>การวางแผน: วิเคราะห์ รูปแบบและการแสดงก่อน หน้า เพื่อเป้าหมายในการ คิดสร้างสรรค์ทบทวน เป้าหมายเพื่อตอบสนองต่อ การสะท้อนอย่างต่อเนื่อง กระบวนการทาง ความคิด: ช่วยปรับปรุง จุดอ่อนของตัวเองในเชิงรุก โดยใช้กลยุทธ์ที่มี</p>

ตาราง 2 (ต่อ)

ความคิด สร้างสรรค์และ นวัตกรรม	เริ่มต้นขั้น	ขั้นพื้นฐาน	ขั้นชำนาญ	ขั้นขั้นสูง
				ประสิทธิภาพเพื่อเพิ่มการ เติบโตทางความคิด เช่น ความเพียรการใช้ความ เสี่ยง, การตัดสินใจที่มี ประสิทธิภาพ, กระตือรือร้น หาข้อเสนอแนะของผู้อื่น, การปฏิบัติโดยเจตนาการ ค้นหาและการใช้ แหล่งข้อมูลภายนอก (ผู้เชี่ยวชาญที่มี ประสบการณ์) เพื่อเพิ่มพูน และขยายการเรียนรู้)



จากการวิเคราะห์รูปรีดสำหรับการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ผู้วิจัยได้ทำการปรับรูปรีด โดยปรับภาษาที่ใช้ให้มีความชัดเจนและสอดคล้องกับบริบทของนักเรียน ง่ายต่อการประเมิน โดยยังคงประเด็นรายการที่พิจารณา 6 ประการ คือ

1. การสร้างความคิด
  - มีการระบุเงื่อนไขครบถ้วน
  - มีการระดมสมองในประเด็นที่กำหนดได้ครบถ้วน
  - มีการตรวจสอบความเป็นไปได้ของความคิดว่าสามารถทำได้จริง
2. การออกแบบและการปรับแต่งความคิด
  - มีการออกแบบชิ้นงานที่แตกต่างกันได้ครบ 3 แบบ
  - มีการเขียนอธิบายรายละเอียดของชิ้นงานโดยระบุ ขนาด วัสดุได้ครบถ้วน
3. การเปิดกว้างและความกล้าในการสำรวจ
  - มีการออกแบบที่แปลกใหม่และท้าทายความสามารถของตนเอง
4. การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์
  - มีการสรุปความคิดของสมาชิกกลุ่มทุกคน
  - มีการเชื่อมโยงความคิดของสมาชิกทุกคนในการออกแบบชิ้นงาน
  - มีการสังเคราะห์จากมุมมองที่แตกต่างของสมาชิก
5. การผลิตและสร้างนวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์
  - มีการระบุรายละเอียดเกี่ยวกับกลุ่มเป้าหมาย
  - มีการวิเคราะห์กลุ่มเป้าหมายเชิงลึก
  - มีการนำวัสดุอุปกรณ์ที่อยู่รอบตัวมาประยุกต์ใช้ในการสร้างชิ้นงาน
  - มีการวางแผนขั้นตอนการทำงานอย่างละเอียด เป็นลำดับขั้นตอนชัดเจน
  - สามารถสร้างชิ้นงานได้ตามแบบที่ได้ออกแบบไว้
  - ชิ้นงานเป็นไปตามข้อกำหนดทั้งหมด
  - มีการปรับปรุง/เปลี่ยนแปลงชิ้นงานเพื่อให้บรรลุเกณฑ์ที่กำหนดได้สำเร็จ
6. การควบคุมและการสะท้อนตนเอง
  - มีการปรับปรุง เปลี่ยนแปลงชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงานดีขึ้นตามข้อเสนอแนะจากเพื่อนและครู
  - มีการระบุข้อบกพร่องในการทำงานของกลุ่มพร้อมบอกแนวทางแก้ไข
  - มีการประเมินความสำเร็จของตนเองโดยพิจารณา ตามเกณฑ์ที่กำหนด

#### 4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

##### 4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศ

ภัทสร ติตมา (2558) ทำการศึกษาแนวทางการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 เมื่อจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษาเรื่องระบบร่างกายมนุษย์กลุ่มตัวอย่างคือนักเรียนจำนวน 48 คนของโรงเรียนอุดมดรุณีจังหวัดสุโขทัยที่ได้จากการเลือกอย่างเฉพาะเจาะจง (purposive Sampling) เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย 1) แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์ 2) แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง และ 3) แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษาที่มีกระบวนการจัดการเรียนรู้ 5 ขั้น คือ ขั้นตั้งคำถาม ขั้นจินตนาการ ขั้นวางแผน ขั้นสร้าง และขั้นปรับปรุงโดยมุ่งเน้นให้นักเรียนสร้างชิ้นงานผลการวิจัยพบว่า 1) การจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษาสามารถพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนได้โดยนักเรียนได้คะแนนความคิดสร้างสรรค์เฉลี่ยตั้งแต่ร้อยละ 79 ขึ้นไปซึ่งมีการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์เพิ่มสูงขึ้นทุกครั้งที่มีการจัดกิจกรรมแผนการเรียนรู้ใหม่ 2) นักเรียนมีแนวทางการเรียนรู้คือ นักเรียนสามารถเลือกสร้างแบบจำลองอวัยวะโดยบอกเหตุผลได้อย่างสมเหตุสมผล จินตนาการร่างแบบจำลองอวัยวะ วางแผนการทำงานและซื้อวัสดุสร้างแบบจำลองอวัยวะ โดยคำนึงถึงราคาและคุณสมบัติของวัสดุสร้างและปรับปรุงแบบจำลองอวัยวะให้สมบูรณ์ขึ้นได้ ดังนั้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษาสามารถพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนให้มากขึ้นได้

จรรยาพงษ์ ชลสินธุ์ (2559) ทำการศึกษาวิธีการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ส่งเสริมสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือและศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ที่มีต่อการส่งเสริมสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือผู้วิจัยใช้รูปแบบการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนประกอบด้วย 4 ขั้นตอนคือ ขั้นวางแผนขั้นปฏิบัติ ขั้นสังเกต และขั้นสะท้อนผล เครื่องมือวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ แบบบันทึกสะท้อนผล แบบทดสอบ และบันทึกประจำวัน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์เนื้อหาและตรวจสอบข้อมูลเชิงคุณภาพแบบสามเส้า ผลการวิจัยพบว่าการจัดการเรียนรู้จำเป็นต้องมีขั้นตอนการสร้างองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ก่อนนำนักเรียนไปสู่การบูรณาการกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมหลังจากนั้นยังจำเป็นต้องมีขั้นการสรุปและประเมินผลเพิ่มเติมทั้งนี้การบูรณาการดังกล่าวประกอบไปด้วย 8 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นระบุปัญหา 2) ขั้นศึกษาปัญหา 3) ขั้นพัฒนาวิธีแก้ปัญหาที่เป็นไปได้ 4) ขั้นเลือกวิธีแก้ปัญหาที่ดีที่สุด 5) ขั้นสร้างชิ้นงาน 6) ขั้นทดสอบและประเมินวิธีแก้ปัญหา / ชิ้นงาน 7) ขั้นนำเสนอวิธีแก้ปัญหาและ 8) ขั้นปรับปรุงแก้ไข นอกจากนี้ยังพบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมืออยู่ในระดับกลาง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะนักเรียนได้รับความรู้และ

ประสบการณ์ในการเรียนรู้ไม่เท่ากัน นักเรียนสามารถแก้ปัญหาได้ดีเมื่ออยู่เป็นกลุ่ม แต่พบอุปสรรคเมื่อต้องลงมือแก้ปัญหาด้วยตนเอง ดังนั้นการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมยังจำเป็นต้องเน้นบทบาทของสมาชิกกลุ่มแต่ละคนได้มีโอกาสในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้อย่างเท่าเทียม

#### 4.2 งานวิจัยต่างประเทศ

Lou, et al. (2011) ทำการสำรวจผลกระทบของการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน (PBL) ที่ใช้การบูรณาการในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีวิศวกรรมและคณิตศาสตร์ (STEM) ต่อทัศนคติของนักเรียนหญิงชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายในไต้หวัน ผู้วิจัยแบ่งนักเรียนหญิงชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายออกเป็นกลุ่ม ๆ เพื่อให้แต่ละกลุ่มทำการประกวดรถเข็นไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ตามขั้นตอนการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานที่ใช้การบูรณาการแบบสะเต็มศึกษา จากนั้นผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลจากหลักฐาน ได้แก่ การบ้าน รายงานการทดลอง และการสังเกตจากเทปบันทึกในระหว่างดำเนินการวิจัย อีกทั้งเป็นรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมอย่างไม่เป็นทางการจากเนื้อหาการอภิปรายของแต่ละกลุ่มและชิ้นงานของนักเรียนเพื่อนำมาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพด้านเนื้อหาหลังจากดำเนินการจัดการเรียนรู้วิจัยทำการสัมภาษณ์กลุ่ม (Focus group interview) แบบกึ่งโครงสร้างกับอาสาสมัครจาก 5 กลุ่มที่มีคะแนนสูงสุด เพื่อประเมินถึงวิธีการนำความรู้ สะเต็มศึกษาไปใช้ของกลุ่มโดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพด้านเนื้อหาเช่นกัน ผลการวิจัยพบว่า

- 1) การเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานสามารถช่วยส่งเสริมทัศนคติที่มีต่อการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษานักเรียนได้และมีประโยชน์ในการเลือกประกอบอาชีพในอนาคต
- 2) การจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานช่วยส่งเสริมนักเรียนให้แก้ปัญหาต่าง ๆ ที่ละขั้นตอนและนำไปสู่ความสำเร็จในการประกวดส่งผลให้นักเรียนได้สัมผัสกับการบูรณาการความรู้สะเต็มศึกษาอย่างแท้จริง
- 3) การจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานที่ให้การบูรณาการแบบสะเต็มศึกษาไม่เพียงแต่ส่งเสริมให้นักเรียนนำความรู้ด้านวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ไปประยุกต์ใช้แต่ยังมีแนวโน้มว่านักเรียนจะได้รับความรู้ทางวิทยาศาสตร์และความรู้คณิตศาสตร์ที่มั่นคงมากขึ้นและ
- 4) การจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานที่ใช้การบูรณาการแบบสะเต็มศึกษาช่วยเพิ่มความสามารถและประสบการณ์การบูรณาการและการประยุกต์ใช้ความรู้ของนักเรียนได้

Stimel (2014) ได้พัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาในระดับการบูรณาการแบบข้ามสาขาวิชา โดยผู้วิจัยได้นำปัญหาและประเด็นที่กำลังเป็นที่สนใจในปัจจุบันมาใช้เป็นหัวข้อหลัก สำหรับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษานั้นคือการชุดเจาะก๊าซธรรมชาติมีทั้งหมด 4 เนื้อหาย่อยซึ่งเกี่ยวข้องกับการชุดเจาะก๊าซธรรมชาติภูมิศาสตร์กระบวนการเชิงวิศวกรรมในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการชุดเจาะ การแยกแก๊สธรรมชาติ และผลกระทบต่อ

สิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจเนื่องจากประเด็นนี้เกี่ยวข้องกับเศรษฐกิจของประเทศและมีอาชีพหลากหลายสาขาที่มีความเกี่ยวข้องกับการชดเชยก๊าซธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นักวิทยาศาสตร์ วิศวกร นักธรณีวิทยา เป็นต้น และยังถือว่าเป็นปัญหาด้านวิศวกรรมอีกด้วยซึ่งผลจากการการนำประเด็นปัญหาที่กำลังเป็นที่สนใจและมีความเป็นปัจจุบันทั้งยังมีความเกี่ยวข้องต่อผู้เรียนนั้นมาจัดเป็นกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา พบว่าสามารถช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดความสนใจในเนื้อหาวิชาที่เกี่ยวข้องอีกทั้งยังเป็นการเชื่อมโยงความรู้ของผู้เรียนเข้ากับชีวิตจริงซึ่งจะทำให้ผู้เรียนเห็นความสำคัญของเนื้อหาและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาหรือสถานการณ์ต่าง ๆ ในชีวิตจริงได้มากกว่านั้นยังเป็นการสร้างความสนใจในอาชีพในสาขาวิชาต่าง ๆ ตัวอย่างเช่นวิศวกรซึ่งผู้เรียนจะได้เรียนรู้และแก้ไขปัญหาเชิงวิศวกรรมในบริบทที่มีความสอดคล้องต่อชีวิตจริงและสาขาอาชีพส่งผลให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้แบบร่วมมือมีการใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในการออกแบบสร้างชิ้นงานตลอดจนการแก้ปัญหาที่มีความเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีและวิศวกรรมในด้านองค์ความรู้ที่ผู้เรียนได้รับการเรียนรู้ผ่านกระบวนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาจะช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถบูรณาการความรู้หลากหลายสาขาวิชาเข้าใจเนื้อหาวิชาในเชิงลึกได้ดียิ่งขึ้นทั้งยังส่งเสริมให้ผู้เรียนมีทักษะกระบวนการที่สำคัญที่มีความเกี่ยวข้องกับการงานอาชีพทางสะเต็มและส่งเสริมให้เกิดความตระหนักและเห็นความสำคัญต่อสิ่งแวดล้อมสังคมและโลกอีกด้วย

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และเพื่อศึกษาความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่จัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยผู้วิจัยดำเนินการวิจัยตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

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

#### รูปแบบการวิจัย

ผู้วิจัยการทำวิจัยปฏิบัติการตามแนวคิดของ Kemmis (1988) และ Schmuck (2008) (อ้างอิงใน สิริรักษา กิจเกื้อกูล, 2557, หน้า 149-152) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. การวางแผน (plan) เป็นขั้นตอนการสร้างและออกแบบการปฏิบัติว่าจะมีลักษณะใด โดยจะต้อง มีความยืดหยุ่นมากพอที่จะใช้ในการปฏิบัติ เนื่องจากผู้วิจัยไม่สามารถคาดเดา สิ่งที่จะเกิดขึ้นในห้องเรียนได้ ในการวางแผนผู้วิจัยจะต้องสำรวจปัญหาในการจัดการเรียนการสอนของตน ที่ทำให้การจัดการเรียนการสอนไม่ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ มีการวิเคราะห์ ปัญหาและตั้งคำถามของการวิจัยเพื่อหาคำตอบ ซึ่งแนวทางการแก้ปัญหาของผู้วิจัยเป็นนวัตกรรมการเรียนรู้ กล่าวคือ กระบวนการหรือสิ่งที่นำมาใช้แล้วสามารถแก้ไขปัญหาการเรียนรู้

2. การลงมือปฏิบัติ (action) เป็นการปฏิบัติตามแผนที่วางไว้ โดยผู้วิจัยได้นำแผนหรือแนวคิดที่ตนคิดว่าสามารถแก้ไขปัญหาได้ลงมือปฏิบัติการสอนจริงในห้องเรียน โดยขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นพร้อมกับขั้นตอนต่อไป คือ การสังเกต โดยผู้วิจัยจะต้องสังเกตเพื่อรวบรวมข้อมูลหลักฐานที่

เกิดขึ้นมาประเมินการปฏิบัติของตนเอง ซึ่งการปฏิบัติอาจไม่ได้เป็นไปตามแผนที่วางไว้ก่อนหน้านี้ทั้งหมด เพราะสิ่งที่เกิดขึ้นในเหตุการณ์ เวลา และสถานที่จริงที่อาจไม่เหมือนกับที่คาดการณ์ไว้

3. การสังเกต (observe) เป็นการรายงานสิ่งที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลจากการปฏิบัติ ในขั้นนี้ครูผู้วิจัยต้องตรวจสอบตนเองขณะปฏิบัติการสอนในขั้นที่ 2 ว่าวิธีการนั้นได้ผลหรือไม่ และผู้วิจัยมีความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนวิธีนั้นหรือไม่ กล่าวคือ ผู้วิจัยจะต้องคิดหาข้อบกพร่องของการจัดการเรียนรู้และหาสาเหตุ จากนั้นให้ดำเนินการแก้ไขอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้แสดงความคิดเห็นหรือสะท้อนผลว่า รู้สึกอย่างไร หรือได้เรียนรู้อะไร จากการปฏิบัติการจัดการเรียนรู้ของผู้วิจัยบ้าง โดยการสังเกตครอบคลุมไปถึงวิธีการอื่น ๆ ที่ใช้เก็บรวบรวมข้อมูล ทั้งนี้การสังเกตจะทำให้ผู้วิจัยสามารถนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาสะท้อนความคิด ที่มีประสิทธิภาพ สิ่งจำเป็นต่อการสังเกต ได้แก่ ความรอบคอบ การเปิดใจให้กว้าง เพื่อรับสิ่งใหม่ ๆ ที่จะเกิดขึ้น ความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยจะต้องพยายามสังเกตและเก็บข้อมูลที่เน้นประเด็นที่ตนสนใจศึกษา จากนั้นให้ผู้วิจัยวิเคราะห์ เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากขั้นที่ 3 กับเป้าหมายที่กำหนดไว้ในขั้นที่ 1 โดยพยายามมองหาหลักฐาน ข้อมูลที่สนับสนุนและคัดค้าน เพื่อนำไปสู่การได้ข้อสรุปว่าวิธีปฏิบัติใดให้ผลดีที่สุด

4. การสะท้อนผล (reflect) เป็นการย้อนคิดถึงการปฏิบัติของตนโดยมีเป้าหมายเพื่อทำความเข้าใจกับกระบวนการปัญหาและประเด็นต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่ศึกษา รวมทั้งเป็นการเสนอแนวทางสำหรับการปฏิบัติต่อไป เพื่อให้เกิดความเข้าใจว่าสิ่งใดช่วยสนับสนุนหรือเป็นอุปสรรคต่อการจัดการเรียนการสอนของผู้วิจัย และมีการปรับปรุงและพัฒนาในการสอนครั้งต่อไป การสะท้อนผลนั้นจะเกิดขึ้นเมื่อมีการบันทึกหลังสอนและมีการอภิปรายร่วมกันระหว่างผู้วิจัยกับผู้เชี่ยวชาญด้วยเพื่อนำไปเป็นพื้นฐานในการปรับปรุง

โดยภาพรวมแล้ว กระบวนการวิจัยปฏิบัติการจะต้องอาศัยสิ่งสำคัญ คือ การสะท้อนผลต่อการจัดการเรียนรู้ ที่เริ่มต้นจากการที่ผู้วิจัยสะท้อนผลเกี่ยวกับปัญหาของการจัดการเรียนรู้ที่ผ่านมาของตนเองเพื่อวางแผน (ขั้นการวางแผน) ต่อมาจึงเป็นการรับฟังผลสะท้อนจากกลุ่มเป้าหมายขณะจัดการเรียนรู้ (ขั้นการสังเกต) และสุดท้ายเป็นการสะท้อนผล ที่ผู้วิจัยและกลุ่มผู้วิจัยแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นโดยภาพรวม (ขั้นสะท้อนผล) โดยการวิจัยปฏิบัติการอาจจำเป็นต้องทำซ้ำเป็นวงรอบอย่างน้อย 3 วงรอบ เนื่องจาก ในวงรอบที่ 1 จะช่วยให้ผู้วิจัยทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในห้องเรียน ในวงรอบที่ 2 ผู้วิจัยดำเนินการปรับปรุงและแก้ไขการจัดการเรียนรู้

และจัดการเรียนรู้ในวงรอบที่ 3 เพื่อให้สามารถแก้ไขปัญหาในชั้นเรียน หรือจนกว่าจะได้ข้อมูลที่ผู้วิจัยยอมรับ

### บริบทของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เกิดขึ้นในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 ณ โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลก ซึ่งเป็นโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ ทำการเรียนการสอนตั้งแต่ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึงระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีนักเรียนทั้งหมด 3,512 คน ซึ่งเป็นนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 534 คน แบ่งเป็น 14 ห้องเรียน โดยมีห้องเรียนพิเศษ IEP (Intensive English Program) จำนวน 2 ห้อง และห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (Science Mathematics Technology and Environment:SMTE) จำนวน 2 ห้อง ห้องเรียนสองภาษา(ฝรั่งเศส) จำนวน 1 ห้อง ห้องเรียนภาษาที่สาม(ภาษาจีน) จำนวน 2 ห้อง ห้องเรียนปกติ จำนวน 9 ห้อง โดยภาพรวมโรงเรียนแห่งนี้เป็นโรงเรียนที่มีความพร้อมด้านบุคลากรทางการศึกษา สถานที่ในการจัดการเรียนการสอน แต่ด้านอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ยังไม่เพียงพอกับจำนวนนักเรียนมากนัก

### กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมายในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ห้องเรียนพิเศษ IEP (Intensive English Program) โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลก ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 จำนวน 1 ห้องเรียน จำนวนนักเรียน 23 คน เป็นชาย 2 คน และหญิง 21 คน ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการแบ่งกลุ่มนักเรียนคละความสามารถ โดยดูจากผลการเรียนในรายวิชาวิทยาศาสตร์ 4 ในภาคเรียนที่ผ่านมาของกลุ่มเป้าหมาย แบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม กลุ่มละ 4-5 คน

### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือการวิจัยในครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ได้แก่

#### 1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสียง โดยแบ่งออกเป็น 3 แผนย่อย ได้แก่ 1) การเกิดคลื่นเสียง 2) คุณภาพเสียง 3) มลพิษทางเสียง รวมทั้งหมด 12 ชั่วโมง เป็นเวลา 6 สัปดาห์

#### 2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่

2.1 แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

2.2 ใบกิจกรรม

2.3 แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการ  
ออกแบบเชิงวิศวกรรมสำหรับครู และผู้เชี่ยวชาญ

ความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุประสงค์ของการวิจัย และเครื่องมือการวิจัยแสดงดังตาราง 3

ตาราง 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุประสงค์ของการวิจัย และเครื่องมือการวิจัย

จุดประสงค์ของการวิจัย	เครื่องมือการวิจัย
1. เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสี่ยง สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5	1. แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสี่ยง 2. แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม สำหรับนักเรียน ครู และผู้เชี่ยวชาญ
2. เพื่อศึกษาความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสี่ยงศึกษา	1. แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม 2. ใบกิจกรรม

#### การสร้างเครื่องมือวิจัย

การสร้างเครื่องมือวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม และแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม สำหรับครู และผู้เชี่ยวชาญ มีขั้นตอนการสร้างและหาคุณภาพเครื่องมือ ดังต่อไปนี้

1. แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม มีขั้นตอนในการสร้าง ดังนี้



1.1 ศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

1.2 ศึกษาหลักสูตรสถานศึกษาของโรงเรียนกลุ่มเป้าหมายที่อิงตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และรายวิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐานระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 วิเคราะห์ตัวชี้วัด เนื้อหารายวิชา ผลงาน ในเรื่อง การเกิดคลื่นเสียง, คุณภาพของเสียง และมลพิษทางเสียง จัดแบ่งเวลาที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ให้เหมาะสม

1.4 กำหนดเนื้อหาที่ใช้ในการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ซึ่งผู้วิจัยได้จัดแบ่งเนื้อหาสำหรับการจัดการเรียนรู้ เรื่อง เสียง ไว้จำนวน 3 แผน แผนละ 4 ชั่วโมง รวมทั้งหมด 12 ชั่วโมง ดังนี้

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง การเกิดคลื่นเสียง

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง คุณภาพเสียง

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 เรื่อง มลพิษทางเสียง

1.5 ศึกษาประเด็นปัญหาหรือสถานการณ์ที่สอดคล้องกับเนื้อหาเรื่อง เสียง ในแต่ละแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

1.6 เลือกสถานการณ์ที่มีความเกี่ยวข้องกับเรื่อง เสียง และทำการวิเคราะห์เนื้อหาความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ให้สอดคล้องกับแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในแต่ละแผน

1.7 เขียนแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ดังนี้

1.7.1 ขั้นระบุปัญหา เป็นการทำความเข้าใจปัญหาหรือความท้าทาย วิเคราะห์เงื่อนไขหรือข้อจำกัดของสถานการณ์ปัญหา เพื่อกำหนดขอบเขตของปัญหา ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างชิ้นงานหรือวิธีการในการแก้ปัญหา

1.7.2 ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา เป็นการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการแก้ปัญหาและประเมินความเป็นไปได้ ข้อดีและข้อจำกัด

1.7.3 ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา เป็นการประยุกต์ใช้ข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องเพื่อการออกแบบชิ้นงานหรือวิธีการในการแก้ปัญหา โดยคำนึงถึงทรัพยากร ข้อจำกัดและเงื่อนไขตามสถานการณ์ที่กำหนด

1.7.4 ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา เป็นการกำหนดลำดับขั้นตอนของการสร้างชิ้นงานหรือวิธีการ แล้วลงมือสร้างชิ้นงานหรือพัฒนาวิธีการเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา

1.7.5 ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน เป็นการทดสอบและประเมินการใช้งานของชิ้นงานหรือวิธีการ โดยผลที่ได้อาจนำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสมที่สุด

1.7.6 ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน เป็นการนำเสนอแนวคิดและขั้นตอนการแก้ปัญหาของการสร้างชิ้นงานหรือการพัฒนาวิธีการ ให้ผู้อื่นเข้าใจ และได้ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาต่อไป

แสดงการบูรณาการเนื้อหาความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ตามการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมดังตาราง 4

ตาราง 4 แสดงการบูรณาการเนื้อหาความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ตามการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด สะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

แผนที่	สถานการณ์/ปัญหา	เนื้อหา				เวลา
		วิทยาศาสตร์	เทคโนโลยี	วิศวกรรมศาสตร์	คณิตศาสตร์	
1	หากนักเรียนเป็นช่างในร้านของเล่นสำหรับเด็กแห่งหนึ่ง โดยในร้านจะขายของเล่นสำหรับเด็กทุกรูปแบบ วันที่ 10 มกราคม 2562 มีลูกค้ามาสั่งทำของขวัญวันเกิดให้กับลูกชายของเขาที่มีอายุครบ 6 ปีในวันที่ 17 มกราคม 2562 ลูกค้าต้องการเครื่องดนตรีของเล่น ที่มีความแตกต่างจากเครื่องดนตรีของเล่นทั่วไปในท้องตลาด ลูกค้าต้องการให้เป็นของขวัญสำหรับลูกที่มีชิ้นเดียวในโลก โดยมีความสวยงาม คงทน และปลอดภัย และสามารถใช้เล่นดนตรีได้จริง	การเกิดคลื่นเสียง	การใช้แอปพลิเคชันเกี่ยวกับเสียง	กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	การคำนวณต้นทุน	4 ชั่วโมง

ตาราง 4 (ต่อ)

แผนที่	สถานการณ์/ปัญหา	เนื้อหา				เวลา
		วิทยาศาสตร์	เทคโนโลยี	วิศวกรรมศาสตร์	คณิตศาสตร์	
2	หากนักเรียนเป็นช่างทำเครื่องดนตรี ในร้านแห่งหนึ่ง ได้รับมอบหมายจาก เจ้าของร้านให้สร้างเครื่องดนตรีโดยมี เงื่อนไขและข้อจำกัดดังต่อไปนี้ เป็น เครื่องดนตรีที่ประยุกต์ใช้จากสิ่งที่มี อยู่รอบตัวเท่านั้น อาจเป็นของรี ไซเคิลก็ได้ โดยลูกค้าต้องการเครื่อง ดนตรีที่แปลกใหม่ไม่ซ้ำใคร มี สวยงาม คงทน ราคาถูก และสามารถ ใช้บรรเลงเพลงตามโน้ตดนตรีได้จริง	คุณภาพของเสียง	การใช้ แอปพลิเคชัน เกี่ยวกับเสียง	กระบวนการ ออกแบบเชิง วิศวกรรม	การคำนวณ ต้นทุน	4 ชั่วโมง

ตาราง 4 (ต่อ)

แผนที่	สถานการณ์/ปัญหา	เนื้อหา				เวลา
		วิทยาศาสตร์	เทคโนโลยี	วิศวกรรมศาสตร์	คณิตศาสตร์	
3	หากนักเรียนเป็นวิศวกร ได้รับมอบหมายให้สร้างห้องเก็บเสียงให้ลูกค้ารายหนึ่งซึ่งมีปัญหาเรื่องสุนัขเห่าเสียงดังรบกวนเพื่อนบ้านในเวลากลางคืน ลูกค้าอยากจะทำบ้านเก็บเสียงให้สุนัขอยู่ โดยลูกค้าต้องการบ้านเก็บเสียงที่ราคาถูก แข็งแรง สวยงาม สุนัขอยู่ได้จริงและใช้แก้ปัญหาเสียงเห่าดังรบกวนเพื่อนบ้านได้ โดยให้วิศวกรทำแบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียงให้คุณเป็นตัวอย่างก่อนสร้างจริง	มลพิษทางเสียง	การใช้แอปพลิเคชันเกี่ยวกับเสียง	กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	การคำนวณต้นทุน	4 ชั่วโมง

1.8 นำแผนการจัดการเรียนรู้ให้อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้เชี่ยวชาญ และครูที่มีประสบการณ์ในการสอนรายวิชาพลังงาน จำนวน 5 ท่าน เพื่อตรวจพิจารณาความถูกต้องเหมาะสมของขั้นตอน กิจกรรมที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ และเนื้อหาที่ใช้สอน

1.9 ปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ ตามคำแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้เชี่ยวชาญ และครูที่มีประสบการณ์ในการสอนรายวิชาพลังงาน จำนวน 5 ท่าน พร้อมตรวจพิสูจน์อักษร

1.10 จัดทำแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมฉบับสมบูรณ์ จำนวน 3 แผน และนำไปใช้กับกลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 23 คน

## 2. ไบกิจกรรม มีขั้นตอนในการสร้าง ดังนี้

2.1 ศึกษากรอบแนวคิดเพื่อการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ตัวอย่างรูปวิธีการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมจากต่างประเทศตามกรอบ Catalina Foothills School District ; CFSD (2018)

2.2 กำหนดพฤติกรรมตามกรอบ Catalina Foothills School District ; CFSD (2018) ในการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่เกิดกับนักเรียนระหว่างทำกิจกรรมการเรียนรู้

2.3 สร้างข้อคำถามเพื่อให้นักเรียนแสดงถึงพฤติกรรมตามกรอบ Catalina Foothills School District ; CFSD (2018) ในการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่ผู้วิจัยกำหนดให้เกิดขึ้นกับนักเรียน

2.4 นำไบกิจกรรมทั้ง 3 เรื่อง ได้แก่ การสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก การสร้างเครื่องดนตรี การสร้างแบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียง ไปให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่านตรวจสอบความครอบคลุม ความเหมาะสมของข้อคำถาม และให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไข

2.5 จัดพิมพ์ไบกิจกรรมทั้ง 3 เรื่อง ได้แก่ การสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก การสร้างเครื่องดนตรี การสร้างแบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียง ฉบับสมบูรณ์ เพื่อนำไปเก็บข้อมูลกับกลุ่มเป้าหมายต่อไป

## 3. แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม มีขั้นตอนในการสร้าง ดังนี้

3.1 ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับความหมาย ความสำคัญ คุณลักษณะ กรอบแนวคิดเพื่อการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ตัวอย่างรูปวิธีการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมจากต่างประเทศตามกรอบ Catalina Foothills School District ; CFSD (2018)

3.2 สร้างแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยปรับตามกรอบ Catalina Foothills School District ; CFSD (2018) มีพฤติกรรมหลัก 6 พฤติกรรมที่จะประเมินได้แก่

3.2.1 การสร้างความคิด ได้แก่ มีการระบุเงื่อนไข มีการระดมสมองในประเด็นที่กำหนด มีการตรวจสอบความเป็นไปได้ของความคิดว่าสามารถทำได้จริง

3.2.2 การออกแบบและการปรับแต่งความคิด ได้แก่ มีการออกแบบชิ้นงานที่แตกต่างกัน มีการเขียนอธิบายรายละเอียดของชิ้นงาน

3.2.3 การเปิดกว้างและความกล้าในการสำรวจ ได้แก่ มีการออกแบบที่แปลกใหม่และท้าทายความสามารถของตนเอง

3.2.4 การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ ได้แก่ มีการสรุปความคิดของสมาชิกกลุ่มทุกคน มีการเชื่อมโยงความคิดของสมาชิกทุกคนในการออกแบบชิ้นงาน มีการสังเคราะห์จากมุมมองที่แตกต่างของสมาชิก

3.2.5 การผลิตและสร้างนวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ ได้แก่ มีการระบุรายละเอียดเกี่ยวกับกลุ่มเป้าหมาย มีการวิเคราะห์กลุ่มเป้าหมายเชิงลึก มีการนำวัสดุอุปกรณ์ที่อยู่รอบตัวมาประยุกต์ใช้ในการสร้างชิ้นงาน มีการวางแผนขั้นตอนการทำงานอย่างละเอียดเป็นลำดับขั้นตอนชัดเจน สามารถสร้างชิ้นงานได้ตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ ชิ้นงานเป็นไปตามข้อกำหนด มีการปรับปรุง/เปลี่ยนแปลงชิ้นงานเพื่อให้บรรลุเกณฑ์ที่กำหนดได้สำเร็จ

3.2.6 การควบคุมและการสะท้อนตนเอง ได้แก่ มีการปรับปรุง เปลี่ยนแปลงชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงานดีขึ้นตามข้อเสนอแนะจากเพื่อนและครู มีการระบุข้อบกพร่องในการทำงานของกลุ่มพร้อมบอกแนวทางแก้ไข มีการประเมินความสำเร็จของตนเองโดยพิจารณาตามเกณฑ์ที่กำหนด

3.3 นำแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่ปรับขึ้นให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบความถูกต้องและเหมาะสม เพื่อขอคำแนะนำในส่วนที่ยังบกพร่องและนำมาปรับปรุงแก้ไข

3.4 นำแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่แก้ไขปรับปรุงแล้วไปตรวจสอบหาคุณภาพ โดยให้อาจารย์ที่ปรึกษา และผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน พิจารณาและให้คำแนะนำเกี่ยวกับความเหมาะสมของรูปแบบการประเมิน

3.5 นำแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่พิจารณาแล้วมาแก้ไขปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

3.6 นำแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมฉบับสมบูรณ์ ไปเก็บข้อมูลกับกลุ่มเป้าหมายต่อไป

4. แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมสำหรับครู และผู้เชี่ยวชาญ มีขั้นตอนในการสร้าง ดังนี้

4.1 ศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมสำหรับครู และผู้เชี่ยวชาญ และตัวอย่างวิธีการสร้างข้อคำถามที่ใช้

4.2 กำหนดข้อคำถาม และระยะเวลาที่ใช้ในการเขียนแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม สำหรับครู และผู้เชี่ยวชาญ

4.3 สร้างแบบแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมสำหรับครู และผู้เชี่ยวชาญ

4.4 นำแบบแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมสำหรับครู และผู้เชี่ยวชาญ ที่สร้างขึ้นให้อาจารย์ที่ปรึกษา และผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน เพื่อพิจารณาและให้คำแนะนำเกี่ยวกับข้อคำถาม และความเหมาะสมของรูปแบบการประเมิน

4.5 นำแบบแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมสำหรับครู และผู้เชี่ยวชาญ ที่พิจารณาแล้วมาแก้ไขปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

4.6 จัดพิมพ์แบบแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมสำหรับครู และผู้เชี่ยวชาญ ฉบับสมบูรณ์ และนำไปใช้จริงเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลในการสะท้อนผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

เครื่องมือทั้งหมดผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ได้แก่ อาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนสะเต็มศึกษา และวิทยาศาสตร์ศึกษา จำนวน 1 ท่าน อาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านการสอนเรื่องเสียงจำนวน 1 ท่าน และครุชำนาญการพิเศษที่มีประสบการณ์การสอนในรายวิชาฟิสิกส์มากกว่า 10 ปี จำนวน 1 ท่าน

#### การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการเก็บข้อมูลครั้งนี้ ผู้วิจัยการเก็บข้อมูลตามระเบียบของการวิจัยเชิงปฏิบัติการ โดยแบ่งออกเป็น 3 วงจร ซึ่งแต่ละวงจรมี 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นวางแผน 2) ขั้นปฏิบัติ 3) ขั้นสังเกต



และ 4) ชั้นสะท้อนผล ตามแนวคิดของ Kemmis (1988) และ Schmuck (2008) (อ้างอิงใน สิริมา กิจเกื้อกูล, 2557, หน้า 149-152)

#### วงจรที่ 1

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการ ออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง การเกิดคลื่นเสียง

#### ขั้นที่ 1 ขั้นวางแผน

ผู้วิจัยทำการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนว สะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ทั้ง 3 เรื่อง ตามขั้นตอนการสร้างแผนการ จัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และสร้างเครื่องมือเก็บ รวบรวมข้อมูลอีก 3 เครื่องมือ ได้แก่ แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วย กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมสำหรับครู และผู้เชี่ยวชาญ ใบกิจกรรม และแบบประเมิน ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ตามขั้นตอนการสร้างเครื่องมือแต่ละประเภท

#### ขั้นที่ 2 ขั้นปฏิบัติ และขั้นที่ 3 ขั้นสังเกต

ผู้วิจัยจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการ ออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง ระดับเสียง ตามที่ได้วางแผนไว้ในขั้นที่ 1 เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง โดย หลังจากการจัดการเรียนรู้ครูและนักเรียนจะต้องเขียนแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิด สะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในเวลาที่กำหนด และครูจะทำการสังเกต นักเรียนเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ในเรื่องนี้

และในระหว่างการจัดการเรียนรู้ผู้เชี่ยวชาญจะเข้าร่วมสังเกตการจัดการเรียนรู้ของผู้วิจัย และทำการสะท้อนผล โดยเขียนแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วย กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ลงในแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

#### ขั้นที่ 4 ชั้นสะท้อนผล

ผู้วิจัยวิเคราะห์และประเมินผลการปฏิบัติทั้งหมดจากแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของตนเอง และผู้เชี่ยวชาญ ทั้งใน ด้านที่เป็นจุดเด่น หรือเป็นจุดด้อย และสิ่งใดที่ปฏิบัติแล้วเกิดผลหรือปฏิบัติแล้วไม่เกิดผลตามที่ ต้องการ เพื่อหาแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมและนำไปใช้วางแผนการจัดการเรียนรู้ในวงจร ที่ 2 ต่อไป และนำผลมาวิเคราะห์ตอบคำถามวิจัยข้อที่ 1 และวิเคราะห์ผลจากแบบประเมิน ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมและแบบสังเกตความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเพื่อให้ทราบถึง พัฒนาการความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนในวงจรที่ 1 และตอบคำถามวิจัยข้อที่ 2

## วงจรถี 2

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการ  
ออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง คุณภาพเสียง

### ขั้นที่ 1 ขั้นวางแผน

ผู้วิจัยทำการปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการ  
ออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง คุณภาพเสียง ตามผลการสะท้อนในวงจรถี 1 และเตรียมเครื่องมือใน  
การเก็บรวบรวมข้อมูลทั้ง 3 เครื่องมือเช่นเดียวกับขั้นวางแผนในวงจรถี 1

### ขั้นที่ 2 ขั้นปฏิบัติ และขั้นที่ 3 ขั้นสังเกต

ผู้วิจัยจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง  
คุณภาพเสียง และเก็บรวบรวมข้อมูลเช่นเดียวกับขั้นปฏิบัติ และขั้นสังเกตในวงจรถี 1

### ขั้นที่ 4 ขั้นสะท้อนผล

ผู้วิจัยวิเคราะห์และประเมินผลจากแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็ม  
ศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของตนเอง และผู้เชี่ยวชาญ เพื่อหาแนวทางการ  
จัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมและนำไปใช้วางแผนการจัดการเรียนรู้ในวงจรถี 3 ต่อไป และวิเคราะห์ผล  
จากแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมและแบบสังเกตความคิดสร้างสรรค์และ  
นวัตกรรมเพื่อให้ทราบถึงพัฒนาการความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนในวงจรถี 2 และ  
ตอบคำถามวิจัยข้อที่ 2

## วงจรถี 3

แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการ  
ออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง มลพิษทางเสียง

### ขั้นที่ 1 ขั้นวางแผน

ผู้วิจัยทำการปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการ  
ออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง มลพิษทางเสียง ตามผลการสะท้อนในวงจรถี 2 และจัดเตรียม  
เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้ง 3 เครื่องมือเช่นเดียวกับขั้นวางแผนในวงจรถี 1

### ขั้นที่ 2 ขั้นปฏิบัติ และขั้นที่ 3 ขั้นสังเกต

ผู้วิจัยจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง  
มลพิษทางเสียง และเก็บรวบรวมข้อมูลเช่นเดียวกับขั้นปฏิบัติ และขั้นสังเกตในวงจรถี 1

### ขั้นที่ 4 ขั้นสะท้อนผล

ผู้วิจัยวิเคราะห์และประเมินผลจากแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็ม  
ศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของตนเอง และผู้เชี่ยวชาญ เพื่อสรุปแนวทางการ

จัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมและนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนต่อไป

### การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำข้อมูลจากการเก็บรวบรวมมาวิเคราะห์ โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วนตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสียง สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของครู และผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งจะวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพโดยใช้เครื่องมือ ได้แก่ การวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) ที่มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.1 อ่านเนื้อหาจากแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของครู และผู้เชี่ยวชาญ

1.2 จัดกลุ่มข้อความจากแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของครู และผู้เชี่ยวชาญ ตามขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทั้ง 6 ชั้น และวิเคราะห์แยกข้อความในแต่ละชั้นออกเป็นข้อดีและข้อควรปรับปรุง จากนั้นจับประเด็นสำคัญของประโยค และใส่รหัสข้อมูลโดยใช้วลีสั้นๆ เพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะของข้อความนั้น ๆ และเพื่อให้ความเข้าใจง่ายและตรงกันสำหรับผู้อ่าน

1.3 จัดกลุ่มข้อมูลที่มีรหัสเดียวกันเข้าด้วยกัน โดยใส่แหล่งที่มาของข้อมูลว่ามาจากเครื่องมือใด พร้อมลงวัน เวลา และสถานที่ประกอบข้อมูลนั้น ๆ

1.4 ทำการลงข้อสรุปเพื่อสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในแต่ละวงจร และเมื่อครบวงจรปฏิบัติการทั้งหมดโดยเขียนเป็นความเรียง

2. การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อศึกษาความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง เสียง ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลจากใบกิจกรรมและแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณที่ใช้สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและร้อยละ การวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) สำหรับแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม มีขั้นตอนดังนี้

2.1 อ่านรูปบริการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมตามกรอบ Catalina Foothills School District ; CFSD (2018) เพื่อศึกษาพฤติกรรมที่ต้องการให้เกิด

2.2 อ่านข้อความจากใบกิจกรรม โดยพิจารณาพฤติกรรมตามรูปบริการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมตามกรอบ Catalina Foothills School District ; CFSD (2018)

2.3 จัดกลุ่มข้อความจากใบกิจกรรม โดยพิจารณาพฤติกรรมตามรูปบริการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมตามกรอบ Catalina Foothills School District ; CFSD (2018)

2.4 ตระจำให้คะแนนความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียน ทำการลงข้อสรุปเพื่อสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ในแต่ละวงจร

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน (Classroom Action research) ซึ่งผู้วิจัยในฐานะครูผู้สอนเป็นผู้ดำเนินการวิจัย โดยการวิจัยดังกล่าวเน้นศึกษาเชิงลึกด้วยข้อมูลเชิงคุณภาพ เพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง เสียง ผ่านการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ผู้วิจัยนำเสนอผลการวิจัยตามจุดมุ่งหมายของการศึกษา 2 ข้อ ได้แก่ 1) เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่องเสียง ที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และ 2) เพื่อศึกษาผลของการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง เสียง ผ่านการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ผลการดำเนินการแสดงรายละเอียดดังนี้

**ผลของการศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่องเสียง ที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5**

ในการศึกษาจุดมุ่งหมายข้อที่ 1 ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและแบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการจัดการเรียนรู้ทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการ มีรายละเอียด ดังนี้

#### วงจรปฏิบัติการที่ 1: การเกิดคลื่นเสียง

##### ขั้นวางแผน

ผู้วิจัยทำการศึกษาสภาพปัญหาและวิเคราะห์ปัญหาในชั้นเรียน ศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ทั้ง 3 แผน ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 การเกิดคลื่นเสียง แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 คุณภาพของเสียง แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3 มลพิษทางเสียง วางแผน ออกแบบ และสร้างเครื่องมือเก็บรวบรวมข้อมูลอีก 3 เครื่องมือ ได้แก่ ใบกิจกรรม เรื่อง การสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก

แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ของครู และผู้เชี่ยวชาญ และแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ตามขั้นตอนการสร้าง เครื่องมือแต่ละประเภท นำไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของเนื้อหา จำนวน 3 ท่าน ได้แก่ อาจารย์คณะศึกษาศาสตร์ จำนวน 1 ท่าน อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์ จำนวน 1 ท่าน และครูชำนาญการพิเศษ จำนวน 1 ท่าน โดยผลการตรวจสอบความเหมาะสมและความ ถูกต้องของเนื้อหา ทั้ง 3 แผน มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดี

### ขั้นปฏิบัติการ และขั้นสังเกต

ผู้วิจัยดำเนินการจัดกิจกรรมตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง การเกิดคลื่นเสียง เป็น เวลา 4 ชั่วโมง ตามขั้นตอนแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมโดยแต่ละขั้นมีรายละเอียด ดังนี้

#### ขั้นที่ 1 ขั้นระบุปัญหา

ในขั้นนี้ครูชี้แจงรายละเอียดการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม จากนั้นร่วมสนทนาเรื่อง เสียง ตั้งคำถามชวนคิดได้แก่ เสียงเกิดขึ้นได้อย่างไร จากนั้นครูให้นักเรียนดูคลิปวิดีโอเรื่อง What is Sound? ครูตั้งคำถามหลังจากดูคลิปวิดีโอ เพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนได้อภิปรายในประเด็นดังนี้ เสียงเกิดขึ้นได้อย่างไร ปัจจัยอะไรบ้างที่มีผล ต่อการเกิดคลื่นเสียง ลำดับต่อไปครูสนทนากับนักเรียนเรื่อง ของเล่น ดังนี้ "หากพูดถึงสิ่งของของเด็กๆ ต้องการก็คงจะหนีไม่พ้น ของเล่น อย่างแน่นอน ซึ่งของเล่นก็จะมีทั้งแบบสร้างสรรค์ ส่งเสริมสติปัญญา หรือเพื่อพัฒนาการที่ดีของเด็กๆ แต่นั่นก็ไม่ใช่ทุกอย่างเสมอไปเมื่อของเล่นบางชนิด กลับสร้างความอันตรายให้แก่เด็กๆหรือแม้กระทั่งผู้ใหญ่เองได้ หากใช้ผิดวิธีหรือไม่เรื่องอันตราย จากของเล่น" พร้อมเปิดวิดีโอตัวอย่าง ตั้งคำถามหลังจากดูคลิปวิดีโอเพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ อภิปรายในประเด็นดังนี้ นักเรียนคิดว่าปัจจัยอะไรบ้างที่มีต่อพิจารณาในการสร้างของเล่นเด็ก ของเล่นเด็กที่ดีควรมีลักษณะอย่างไร จากนั้นครูนำเสนอสถานการณ์ให้กับนักเรียนดังนี้ " หากนักเรียนเป็นช่างในร้านของเล่นสำหรับเด็กแห่งหนึ่ง โดยในร้านจะขายของเล่นสำหรับเด็กทุกรูปแบบ วันที่ 10 มกราคม 2562 มีลูกค้ามาสั่งทำของขวัญวันเกิดให้กับลูกชายของเขาที่มีอายุครบ 6 ปีในวันที่ 17 มกราคม 2562 ลูกค้านี้ต้องการเครื่องดนตรีของเล่น ที่มีความแตกต่างจากเครื่องดนตรีของเล่นทั่วไปในท้องตลาด ลูกค้าต้องการให้เป็นของขวัญสำหรับลูกที่มีชิ้นเดียวในโลก โดยมีความสวยงาม คงทน ปลอดภัย และสามารถเล่นได้จริง " ครูแจกใบกิจกรรม เรื่อง การสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก ให้กับนักเรียนทุกคน ครูชี้แจงอธิบายรายละเอียดภาระงานลำดับที่ 1 คือให้นักเรียนทุกคนทำการวิเคราะห์ความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย พร้อมวางแผนการดำเนินงานเป็นลำดับลงในใบกิจกรรม เรื่อง การสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก ลงในตอนที 1

เป็นรายบุคคล แล้วแบ่งนักเรียนเป็นกลุ่มๆ กลุ่มละ 4-5 คน ให้นักเรียนเลือกผู้ทำหน้าที่ผู้นำกลุ่ม (facilitator) และผู้บันทึก (note taker) ทำหน้าที่บันทึกความคิดทั้งหมด

จากผลดำเนินการในวงจรปฏิบัติการที่ 1 ผู้วิจัยพบว่า นักเรียนมีความสนใจในการนำเข้าสู่บทเรียนด้วยคลิปวิดีโอเป็นอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตามยังมีนักเรียนบางส่วนที่แสดงความรู้สึกเบื่อออกมาในช่วงท้ายของวิดีโอ สอดคล้องกับการสะท้อนของครูที่กล่าวว่า

“นักเรียนพูดคุยกันในส่วนท้าย ๆ ของวิดีโอในการนำเข้าสู่สถานการณ์เนื่องจากวิดีโอมียาวเกินไป”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

“ครูควรเลือกวิดีโอที่มีความกระชับ ได้ใจความ ไม่ยืดเยื้อ เพราะนักเรียนให้ความสนใจในช่วงแรกในเวลาสั้นๆเท่านั้น ในช่วงหลังของวิดีโอมีนักเรียนบางส่วนไม่สนใจ และพูดคุยกันในเวลาเรียน”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

หลังจากที่ผู้วิจัยได้นำเสนอสถานการณ์ให้กับนักเรียน ผู้วิจัยได้ให้นักเรียนทำการระดมสมองกันภายในกลุ่ม พบว่า นักเรียนบางส่วนยังไม่เข้าใจว่าต้องทำอะไร ไม่สามารถเริ่มต้นในการระดมสมองได้ สอดคล้องกับการสะท้อนของครูที่กล่าวว่า

“นักเรียนไม่รู้ว่าจะทำการระดมสมองอย่างไร เนื่องจากไม่มีประสบการณ์”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

“ครูควรชี้แจงรายละเอียดของวิธีการระดมสมองให้นักเรียน พร้อมตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียนก่อนให้ลงมือปฏิบัติจริง”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ให้นักเรียนระดมสมองพบว่า นักเรียนมีการทำงานร่วมกันดีมาก ทุกคนมีโอกาสได้นำเสนอความคิดเห็นของตนเอง สมาชิกทุกคนมีการตัดสินใจร่วมกัน มีการวิเคราะห์

ความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย และข้อกำหนดของสถานการณ์ได้เป็นอย่างดี สอดคล้องกับการสะท้อนของครูที่กล่าวว่า

“ในการระดมสมองนักเรียนมีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันเป็นอย่างดี มีการวิเคราะห์ความเหมือนกัน ความแตกต่างของข้อเสนอแนะจากสมาชิกภายในกลุ่ม แล้วนำมาสรุปเป็นความคิดของกลุ่ม นอกจากนี้ นักเรียนมีการใช้คำพูดที่บ่งบอกว่าคำนึงถึงเงื่อนไข ข้อกำหนดในสถานการณ์”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนทุกคนได้มีส่วนร่วมในการแสดงความคิดเห็นในตอนระดมสมองดี”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

**ขั้นที่ 2 ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา**

ในขั้นนี้ ครูให้นักเรียนสืบค้น/สร้างองค์ความรู้ร่วมกับครูอธิบายเพิ่มเติมในเรื่องการเขียนแบบที่ถูกต้อง จากนั้นให้นักเรียนลองเขียนแบบเกี่ยวกับเครื่องดนตรีมา 1 ชนิดที่ตนเองสนใจตามหลักการเขียนแบบร่างที่ถูกต้อง แล้วนำเสนอแอปพลิเคชันที่นำมาประยุกต์ใช้เกี่ยวกับเรื่องเสียง ได้แก่ แอปพลิเคชัน Phyphox แอปพลิเคชัน Sound Meter พร้อมอธิบายวิธีการใช้โปรแกรมดังกล่าว และนักเรียนโหลดแอปพลิเคชันดังกล่าวแล้วทดลองใช้ในการวัดค่าต่าง ๆ จากนั้นครูแจกอุปกรณ์การทดลอง ซึ่งประกอบด้วย ไม้มบรรทัด อุปกรณ์สำหรับใช้ตีตีไม้มบรรทัด จากนั้นครูอธิบายภาระงานที่ 3 โดยให้นักเรียนทำการทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดให้ พร้อมออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง และตอบคำถามท้ายกิจกรรมอย่างละเอียด บันทึกลงในตอนที่ 3 ของใบกิจกรรม เรื่อง การสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายถึงคำถามท้ายกิจกรรม ครูตรวจสอบความรู้ที่นักเรียนได้รับจากการรวบรวมข้อมูลเพื่อดูว่าเพียงพอที่จะไปใช้ในการสร้าง เครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก และร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก

จากผลดำเนินการในวงจรปฏิบัติการที่ 1 ผู้วิจัยพบว่า การให้นักเรียนโหลดแอปพลิเคชันใช้เวลานานและมีปัญหา หากต้องการให้นักเรียนโหลดหลาย ๆ แอปพลิเคชัน ตลอดจนปัญหาเรื่องเครือข่ายอินเทอร์เน็ต สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า



“ครูควรให้นักเรียนโหลดแอปพลิเคชันมาล่วงหน้าก่อนเรียน เพื่อจะได้ไม่เสียเวลาในการทำกิจกรรม ซึ่งจะสามารถดำเนินกิจกรรมไปได้อย่างพร้อม ๆ กัน ”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

“พบปัญหาในการโหลดแอปพลิเคชันทำให้เสียเวลานาน ”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ให้นักเรียนโหลดแอปพลิเคชันมาทดลองใช้พบว่า การวัดค่าเกี่ยวกับเสียงมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเสียงรบกวนจากภายนอกรวมไปถึงเสียงที่นักเรียนใช้ทดลองกันเอง สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“ในการทดลองใช้แอปพลิเคชันในการวัดข้อมูล ครูต้องตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่นักเรียนวัดได้”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

“ครูควรบอกถึงข้อควรระวังในการใช้แอปพลิเคชันให้นักเรียนทราบ และชี้แจงว่าหากต้องทำการวัดค่าเกี่ยวกับเสียง นักเรียนจำเป็นต้องไปทำการทดลองในห้องเก็บเสียงและไม่พูดคุยขณะทำการวัดค่าใด ๆ ”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ให้นักเรียนทำการทดลองในตอนที่ 3 ของใบกิจกรรม พบว่า นักเรียนบางส่วนไม่สนใจทำการทดลอง ไม่ได้ทำงานทุกคน บางส่วนสนใจอยู่กับการเล่นเกมแอปพลิเคชันต่างๆที่มากมาย สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“ครูควรเพิ่มเติมให้นักเรียนนำแอปพลิเคชันมาเป็นส่วนหนึ่งในการทำการทดลองด้วย เช่น นำมาวัดค่าเสียงจากการทดลองก็ได้ และควรเปลี่ยนสถานที่การเรียนให้เหมาะสมในการทำการทดลอง”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

“เมื่อใช้แอปพลิเคชันในการจัดการเรียนรู้ นักเรียนสนใจแต่ทดลองใช้”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

### ขั้นที่ 3 ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา

ในขั้นนี้ ครูตรวจสอบความรู้เดิมเกี่ยวกับการเขียนแบบของนักเรียนในรายวิชางานช่าง ว่าเรียนอะไรมาบ้าง แล้วเขียนแบบอะไรมาบ้าง ลักษณะเป็นอย่างไร จากนั้นอธิบายการเขียนแบบที่จะนำไปใช้ในการออกแบบ โดยใช้สื่อ power point และแสดงภาพตัวอย่างการเขียนแบบให้นักเรียนดู จากนั้นครูให้นักเรียนลองเขียนแบบร่างเครื่องดนตรีชนิดใดก็ได้ที่ตนเองสนใจมา 1 อย่าง ครูอธิบายภาระงานที่ 4 ว่าให้นักเรียนทำการเขียนแบบเครื่องดนตรี จากสถานการณ์ที่กำหนด ลงในตอนที่ 4 ของใบกิจกรรม เรื่อง การสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก อย่างน้อย 3 แบบขึ้นไป นักเรียนทำการสรุปภายในกลุ่มถึงแบบเครื่องดนตรีทั้ง 3 แบบของกลุ่มตนเองออกแบบที่คิดว่าเหมาะสมที่สุดจะนำไปสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก พร้อมระบุเหตุผลในการเลือกลงในตอนที่ 4 ของใบกิจกรรม เรื่อง การสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก จากนั้นให้นักเรียนทำการเขียนใบสั่งซื้อสินค้า โดยครูต้องย้ำกับนักเรียนว่าสามารถซื้อของได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นให้ทำการตรวจสอบรายการสินค้าให้ดี

จากผลดำเนินการในวงจรปฏิบัติการที่ 1 ผู้วิจัยพบว่า มีนักเรียนบางส่วนที่แสดงความรู้สึกเบื่อในการฟังบรรยายการเขียนแบบจาก power point เพราะครูได้นักเรียนสืบค้น/สร้างองค์ความรู้ร่วมกับครูอธิบายเพิ่มเติมในเรื่องการเขียนแบบที่ถูกต้องไปในขั้นตอนที่ 2 ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“ครูควรลำดับการสอนไม่ให้ความซ้ำซ้อนกันในแต่ละขั้นตอน ควรให้ปรากฏในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง เพื่อเป็นการประหยัดเวลาและไม่ก่อให้เกิดความน่าเบื่อ”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

“เรื่องการเขียนแบบ มีการใช้ซ้ำกันใน 2 ชั้น ทำให้เวลานาน”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ให้นักเรียนทำการเขียนแบบเครื่องดนตรีอย่างน้อย 3 แบบขึ้นไป พบว่านักเรียนบางกลุ่มมีการออกแบบที่น่าสนใจ มีความคิดที่แปลกใหม่และออกแบบเครื่องดนตรีของเล่นทั้ง 3 แบบซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง ส่วนบางกลุ่มมีการดัดแปลงแบบเดิมในบางจุด

เพื่อให้ได้อีก 2 แบบขึ้นมาแสดงให้เห็นถึงความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนได้เป็นอย่างดี สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“นักเรียนทุกกลุ่มได้ออกแบบชิ้นงานครบทั้ง 3 แบบและมีความแตกต่างกัน ฝึกให้นักเรียนได้ใช้ความคิดสร้างสรรค์”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

“ในการให้นักเรียนออกแบบเครื่องดนตรีของเล่น 3 แบบขึ้นไป ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนได้ใช้ความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบได้เป็นอย่างดี”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

ในการออกแบบชิ้นงานของนักเรียนบางกลุ่มยังพบปัญหาในเรื่องของการเขียนแบบที่ไม่ระบุวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้าง และไม่ได้ระบุขนาดของชิ้นงานสอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“นักเรียนบางกลุ่มในการเขียนแบบไม่ได้ระบุขนาดของชิ้นงาน และระบุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชิ้นงาน”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

“ในการให้นักเรียนออกแบบเครื่องดนตรีของเล่น บางกลุ่มไม่ได้ระบุขนาดชิ้นงาน”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

ผู้วิจัยพบว่านักเรียนบางส่วนเข้าใจผิดเกี่ยวกับใบสั่งซื้อของ นักเรียนบางกลุ่มไม่คำนึงถึงต้นทุนของที่นำมาสร้างเพราะให้เหตุผลว่ามีอยู่แล้ว เช่น เทปใส กาว เมล็ดถั่วเขียว เมล็ดถั่วแดง เป็นต้น ส่วนบางกลุ่มมีการเขียนราคาของสินค้าแบบเต็มราคาทั้งที่เป็นวัสดุเหลือ เช่น กล่องขนม นักเรียนคิดราคาขนมไปด้วย ทำให้เกิดความแตกต่างในเรื่องของต้นทุนการสร้างของแต่ละกลุ่ม สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“ครูควรเน้นย้ำกับนักเรียนเรื่องการเขียนใบสั่งซื้อของ ระบุให้ชัดเจนว่านักเรียนต้องคิดราคาสินค้าอย่างไร เช่น ถ้าเป็นของรีไซเคิลไม่ต้องคิดราคา และกำหนดราคาสินค้ากลางเพื่อให้นักเรียนใช้ในการบันทึกเพื่อแก้ปัญหา ราคาต้นทุนมีความแตกต่างกันมาก”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

“ครูควรชี้แจงรายละเอียดในการเขียนใบสั่งซื้อของ ป้องกันการเข้าใจผิดของนักเรียน”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

#### ขั้นที่ 4 ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา

ในขั้นนี้ครูให้นักเรียนทำการวางแผนในการสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก โดยเขียนอธิบายขั้นตอนการดำเนินการลงในใบกิจกรรม เรื่อง การสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก จากนั้นให้นักเรียนเริ่มซื้อของตามที่ตนเองได้เขียนไว้ในใบสั่งซื้อของ ทำการตรวจสอบอุปกรณ์ที่สั่งซื้อว่าครบหรือไม่ สภาพพร้อมใช้งานหรือไม่และลงมือสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็กตามแบบที่ได้เขียนแบบร่างของเครื่องดนตรีของเล่นไว้

จากผลดำเนินการในวงจรปฏิบัติการที่ 1 ผู้วิจัยพบว่ามึนักเรียนหลายกลุ่มไม่สามารถสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็กได้ตามแบบที่กลุ่มออกแบบไว้ในตอนแรก บางกลุ่มแก้ปัญหาโดยทำการปรับเปลี่ยนไปจากรูปแบบเดิมเล็กน้อยแต่ยังคงบรรลุเป้าหมายได้ตามที่เกณฑ์ บางกลุ่มไม่สามารถปรับแก้ชิ้นงานของกลุ่มตนเองได้จนเกิดการท้อแท้ไม่อยากทำงานต่อเพราะไม่รู้จะปรับอย่างไรและชิ้นงานไม่บรรลุเป้าหมายตามเกณฑ์ แต่อย่างไรก็ตามมีบางกลุ่มที่สร้างชิ้นงานออกมาตามแบบที่วางไว้และบรรลุเป้าหมายได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดสอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“ในการดำเนินการสร้างชิ้นงานนักเรียนไม่สามารถสร้างตามแบบที่เขียนออกแบบไว้ในตอนแรกได้ มีการปรับเปลี่ยนชิ้นงานหลังจากสร้างในตอนแรก ”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

“การสร้างชิ้นงานของนักเรียนบางกลุ่ม ไม่เป็นไปตามรูปแบบที่วางแผนไว้ในตอนแรก ”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

ในการเขียนขั้นตอนการดำเนินงานของนักเรียน พบว่านักเรียนส่วนใหญ่เขียนอธิบายสั้นจนเกินไป บางขั้นตอนนักเรียนดำเนินการแต่ไม่เขียนลงไปในใบกิจกรรมสอดคล้องกับการสะท้อนของครูที่กล่าวว่า

“ครูต้องเน้นย้ำกับนักเรียนเรื่องการเขียนอธิบายขั้นตอนดำเนินการกับนักเรียนว่าให้เขียนให้ละเอียด และชัดเจนมากที่สุดทุกขั้นตอนที่มีการดำเนินการ”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนมีการเขียนการวางแผนที่อธิบายไม่ชัดเจน เขียนอธิบายสั้นเกินไป”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

ในการเขียนขั้นตอนการดำเนินงานของนักเรียน พบว่านักเรียนบางกลุ่มมีการวาดรูปประกอบคำอธิบายในการเขียนขั้นตอนการดำเนินการพร้อมลงสีสวยงามสอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“นักเรียนบางกลุ่มวาดรูปอธิบายขั้นตอนการดำเนินการของตนเอง ทำให้เข้าใจการทำงานของนักเรียนได้อย่างรวดเร็วว่านักเรียนทำอะไร”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนบางกลุ่มมีการเขียนการวางแผนโดยใช้การวาดภาพประกอบ”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

### ขั้นที่ 5 ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

ในขั้นนี้ ให้นักเรียนนำชิ้นงานไปทดลองใช้โดยให้นักเรียนนำเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก ที่กลุ่มของตนเองสร้างขึ้นมาทดลองเล่น พร้อมทำการประเมินชิ้นงานเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็กของกลุ่มตนเอง แล้วให้เพื่อนในห้องสะท้อนผลดังประเด็นต่อไปนี้ เครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็กนี้มีจุดเด่นอะไรพร้อมให้เสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานให้สามารถใช้งานได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด จากนั้นให้นักเรียนนำชิ้นงานของตนเองไปปรับแก้ไขให้สามารถใช้งานได้ตามที่เกณฑ์กำหนด และตามข้อเสนอที่ได้รับจากเพื่อนในห้องและครูผู้สอน โดยครูคอยทำหน้าที่

อำนวยความสะดวกและชี้แนะแนวทางการปฏิบัติของนักเรียนเมื่อพบปัญหาระหว่างการดำเนินการแก้ปัญหา

จากผลดำเนินการในวงจรปฏิบัติการที่ 1 ผู้วิจัยพบว่า มีนักเรียนบางกลุ่มเมื่อสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็กได้ตามแบบที่กลุ่มออกแบบไว้ในตอนแรก เมื่อนำมาทดสอบปรากฏว่าไม่เป็นไปตามที่สถานการณ์กำหนด มีบางกลุ่มที่สร้างขึ้นงานออกมาตามแบบที่วางไว้เมื่อนำมาทดสอบก็บรรลุเป้าหมายได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดสอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“ในการทดสอบชิ้นงานของนักเรียนบางกลุ่ม ผลคือไม่เป็นไปตามที่สถานการณ์กำหนด ไม่สามารถเล่นได้จริง ต้องกลับไปปรับปรุงชิ้นงานใหม่”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

“ครูควรแนะแนวทางสำหรับกลุ่มที่ชิ้นงานไม่ประสบความสำเร็จ เพื่อให้นักเรียนอยากสร้างชิ้นงานต่อไป”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

ในการประเมินผลชิ้นงานของนักเรียนหลังจากการทดสอบ พบว่าบางกลุ่มที่ไม่เป็นไปตามที่สถานการณ์กำหนด มีการประเมินตนเองและยอมรับผลพร้อมนำไปปรับปรุงชิ้นงานใหม่ รู้ว่าไม่บรรลุเป้าหมายอย่างไร ควรไปปรับแก้ตรงไหน สอดคล้องกับการสะท้อนของครูสอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่าที่กล่าวว่า

“นักเรียนบางกลุ่มหลังการทดสอบชิ้นแล้วไม่บรรลุเป้าหมายของสถานการณ์ มีการประเมินข้อที่ต้องนำไปพัฒนาและขอคำปรึกษาจากครูถึงแนวทางแก้ไข”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนขอคำแนะนำจากครูเมื่อทดสอบชิ้นแล้วไม่บรรลุเป้าหมาย”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

ในการปรับปรุงชิ้นงานของนักเรียนพบว่า บางกลุ่มที่ชิ้นงานไม่เป็นตามที่สถานการณกำหนด มีการนำข้อเสนอแนะที่ได้รับจากเพื่อนในห้องและครูไปใช้ในการปรับปรุงชิ้นงานเพื่อให้บรรลุตามที่สถานการณกำหนดสอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“นักเรียนนำคำแนะนำของครูไปปรับแก้ชิ้นงาน และสำเร็จตามเกณฑ์”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนบางกลุ่มหลังการทดสอบชิ้นแล้วไม่บรรลุเป้าหมายของสถานการณ นำข้อเสนอแนะไปปรับใช้ในการปรับปรุงชิ้นงานจนบรรลุเป้าหมาย”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

**ขั้นที่ 6 ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน**

ในขั้นนี้ ครูทำการชี้แจงการนำเสนอผลงานของนักเรียน โดยให้นักเรียนทำการโฆษณาขายเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก นักเรียนลงมือทำโฆษณาขายเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก และทำการเผยแพร่โฆษณาขายเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็กหน้าชั้นเรียน จากนั้นครูและนักเรียนทำการสรุปร่วมกันถึงเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็กของแต่ละกลุ่ม โดยครูให้นักเรียนที่ได้คะแนนสูงสุดทำการนำเสนอถึงขั้นตอนการปรับแก้ผลงานของตนเอง สุดท้ายครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก

จากผลดำเนินการในวงจรปฏิบัติการที่ 1 ผู้วิจัยพบว่ามีนักเรียนบางส่วนไม่สนใจในการนำเสนอของเพื่อนหน้าชั้นเรียนนักเรียนมีการคุยกันในขณะที่เพื่อนทำการนำเสนออยู่สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“ในการนำเสนอชิ้นงานหน้าชั้นเรียนอาจเป็นวิธีการที่ไม่น่าสนใจสำหรับนักเรียน เนื่องจากนักเรียนต้องฟังเพื่อนทุกกลุ่มนำเสนอ และลักษณะการนำเสนอไม่แตกต่างกันมาก”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

“ครูควรปรับเปลี่ยนจากการนำเสนอหน้าชั้นเรียนโดยการพูดธรรมดา เป็นการนำเสนอในรูปแบบอื่นที่สามารถดึงดูดให้นักเรียนทุกคนรับฟังการนำเสนอและอาจให้นักเรียนมีส่วนร่วมกับการนำเสนอ นั้น ๆ เช่น ให้นักเรียนตัดสินใจเลือกชิ้นงานที่ตนเองชื่นชอบพร้อมบอกเหตุผลประกอบ”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

นอกจากนั้นผู้วิจัยยังพบว่า ในการนำเสนอชิ้นงานหน้าชั้นเรียนของนักเรียนบางกลุ่ม ไม่มีการลำดับเนื้อหาความสำคัญในการนำเสนอ อาจเกิดจากการตื่นเต้นที่ต้องนำเสนอหน้าชั้นเรียนจึงทำให้การนำเสนอเกิดข้อผิดพลาด ไม่ครบถ้วน สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“ในการนำเสนอชิ้นงานหน้าชั้นเรียน นักเรียนบางคนตื่นเต้นมีการติดขัดในการนำเสนอ”  
(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

“ในการนำเสนอหน้าชั้นเรียนนักเรียนบางกลุ่มไม่ได้นำเสนอแนวคิดในการออกแบบชิ้นงาน และการปรับปรุงชิ้นงานของกลุ่มตนเอง”  
(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 1, 18 กุมภาพันธ์ 2562)

### ขั้นสะท้อนผล

หลังจากการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง การเกิดคลื่นเสียง ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ คือ แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของครู และผู้เชี่ยวชาญ หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) ผลการปฏิบัติสามารถสะท้อนปัญหาและแนวทางแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ ดังตาราง 5

ตาราง 5 แสดงปัญหาและแนวทางแก้ไขที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการที่ 1

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	ปัญหาที่พบ/สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
1. ขั้นระบุปัญหา	การใช้วิดีโอในการนำเข้าสู่ สถานการณ์ตอนแรกใช้วิดีโอ 2 วิดีโอ จึงใช้เวลานานส่งผลทำให้	- การใช้สื่อในการนำเข้าสู่ สถานการณ์ต้องมีความกระชับ ชัดเจน ตรงประเด็น หากใช้เป็นวิดีโอ



## ตาราง 5 (ต่อ)

ขั้นตอน การจัดการเรียนรู้	ปัญหาที่พบ/สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
	นักเรียนรู้สึกเบื่อ และการระดม สมองนักเรียนส่วนใหญ่ไม่เข้าใจ ว่าต้องทำอะไรและไม่สอบถาม ครู จนแน่ใจว่าทำไม่ได้ถึง สอบถามทำให้เสียเวลามาก ในช่วงนี้	ต้องมีความเหมาะสมในเรื่องของ เวลาไม่นานจนเกินไป - ครูควรชี้แจงทุกครั้งถึงเป้าหมายใน การระดมสมองให้กับนักเรียน
2. ขั้นรวบรวมข้อมูล และแนวคิดที่ เกี่ยวข้องกับปัญหา	นักเรียนโหลดแอปพลิเคชันใช้ เวลานานตลอดจนปัญหาเรื่อง เครือข่ายอินเทอร์เน็ต ส่งผลต่อ การรวบรวมข้อมูลที่จะนำไปใช้ เนื่องจากสนใจเล่นแอปพลิเคชัน อย่างเดียวและปัญหาเรื่อง สถานที่ในการทดลองเรื่องเสียง นักเรียนไม่สามารถนำข้อมูลการ ทดลองไปใช้ต่อการสร้าง แนวคิด	- การจัดการเรียนรู้ที่นำเอา แอปพลิเคชันเข้ามาใช้ ครูต้องให้ นักเรียนโหลดแอปพลิเคชันมา ล่วงหน้า ทั้งนี้ครูต้องเลือกเพียง แอปพลิเคชันเดียวที่เหมาะสมที่สุด แล้ว แล้วแนะนำหลังจบกิจกรรมว่ามี แอปพลิเคชันอื่นอีกให้ไปศึกษา เพิ่มเติมได้ตามความสนใจ - การจัดการเรียนรู้ เรื่อง เสียง เกี่ยวกับการวัดค่าต่างๆครูจำเป็นต้อง ให้นักเรียนไปทำการทดลองในห้อง เก็บเสียง หรืออย่างน้อยไปทำการ ทดลองในสถานที่ที่เงียบที่สุด

ตาราง 5 (ต่อ)

ขั้นตอน การจัดการเรียนรู้	ปัญหาที่พบ/สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
3. ชั้นออกแบบ วิธีการแก้ปัญหา	<p>นักเรียนรู้สึกเบื่อในการฟัง บรรยายการเขียนแบบจาก power point เพราะครูได้ให้ นักเรียนสืบค้นเรื่องการเขียน แบบที่ถูกต้องไปแล้ว นักเรียน บางกลุ่มในการเขียนแบบไม่ได้ ระบุนขนาดของชิ้นงาน และระบุ อุปกรณ์ที่ใช้ พื้นที่ในใบกิจกรรม ไม่พอต้องแทรกกระดาษเพิ่ม นักเรียนบางส่วนเข้าใจผิด เกี่ยวกับการเขียนใบสั่งซื้อไม่คิด ต้นทุนของที่นำมาสร้างเพราะให้ เหตุผลว่ามีอยู่แล้ว เช่น กาว เทป ใส</p>	<p>- การจัดการเรียนรู้หากให้นักเรียน สืบค้นไปแล้ว ครูไม่ควรนำมาสอนซ้ำ อีก แต่ทบทวนความรู้ก่อนทำกิจกรรม ก็พอ</p> <p>- การพูดชี้แจงเน้นย้ำก่อนการทำ กิจกรรมบางครั้งไม่เพียงพอ ครูต้อง ระบุลงไปใบใบกิจกรรมให้ชัดเจนว่า สิ่งสำคัญที่นักเรียนห้ามขาดในการ เขียนแบบคือต้องระบุนขนาดและวัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้สร้างชิ้นงาน นอกจากนั้น ในใบกิจกรรมควรควรให้พื้นที่กว้างๆ ในการออกแบบชิ้นงานของนักเรียน</p> <p>- การเขียนใบสั่งซื้อของ ครูต้องมี ราคาสินค้ากลางให้กับนักเรียนและ ระบุให้ชัดเจนว่าหากเป็นของรีไซเคิล ไม่คิดต้นทุน</p>
4. ชั้นวางแผนและ ดำเนินการ แก้ปัญหา	<p>นักเรียนส่วนใหญ่เขียนอธิบาย สั้นจนเกินไป บางกลุ่มมีการใช้ คำที่อ่านแล้วเข้าใจยากว่า นักเรียนทำอะไร บางขั้นตอน นักเรียนดำเนินการแต่ไม่เขียนลง ไปในใบกิจกรรม และการ ดำเนินการสร้างชิ้นงานนักเรียน ไม่สามารถสร้างตามแบบที่เขียน ออกแบบ มีการปรับเปลี่ยน ชิ้นงานหลังจากสร้างในตอนแรก</p>	<p>- ในการให้นักเรียนเขียนอธิบาย ขั้นตอนการดำเนินการ ครูต้องชี้แจง ให้นักเรียนเขียนทุกขั้นตอนลงไป จากนั้นให้นักเรียนนำมาให้ครูดูก่อนที่ จะนำไปดำเนินการสร้างจริง และใน การลงมือสร้างจริงครูต้องติดตาม ดูแลเป็นระยะเนื่องจากในการสร้าง ชิ้นงานไม่สามารถสร้างให้เสร็จ ภายในชั้นเรียนได้ต้องนำไปทำต่อที่ บ้าน ครูต้องติดตามความก้าวหน้า</p>

## ตาราง 5 (ต่อ)

ขั้นตอน การจัดการเรียนรู้	ปัญหาที่พบ/สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
	ในการสร้างชิ้นงานไม่สามารถ สร้างให้เสร็จภายในชั้นเรียนได้ ต้องนำไปทำต่อที่บ้าน	ของชิ้นงานเป็นระยะเพื่อให้ ข้อเสนอแนะเมื่อนักเรียนเกิดปัญหา ได้ทัน
5. ขั้นทดสอบ ประเมินผล และ ปรับปรุงแก้ไขวิธีการ แก้ปัญหาหรือ ชิ้นงาน	ในการนำชิ้นงานของนักเรียนมา ทดสอบของนักเรียนบางกลุ่ม ผล คือไม่เป็นไปตามที่สถานการณ์ กำหนด ไม่สามารถเล่นได้จริง ต้องกลับไปปรับปรุงชิ้นงานใหม่	- ในการทดสอบชิ้นงาน ครูต้องคอย ควบคุมในเรื่องเกี่ยวกับความ น่าเชื่อถือของผลการทดสอบของ นักเรียนต้องเน้นย้ำให้เป็นมาตรฐาน ที่ทุกคนยอมรับ ไม่สามารถตัดสินได้ จากความรู้สึกต้องมีข้อมูลมา สนับสนุนผลการทดสอบ อาจเป็น ข้อมูลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือที่ มีความน่าเชื่อถือ
6. ขั้นนำเสนอ วิธีการแก้ปัญหา ผล การแก้ปัญหาหรือ ชิ้นงาน	นักเรียนบางส่วนไม่สนใจในการ นำเสนองานของเพื่อนหน้าชั้น เรียน นักเรียนมีการคุยกันใน ขณะที่เพื่อนทำการนำเสนอ ใน การนำเสนอชิ้นงานหน้าชั้นเรียน ของนักเรียนบางกลุ่ม ไม่มีการ ลำดับเนื้อหาความสำคัญในการ นำเสนอ อาจเกิดจากการตื่นเต้น ที่ต้องนำเสนอหน้าชั้นเรียนจึงทำ ให้การนำเสนอเกิดข้อผิดพลาด ไม่ครบถ้วน	- ขั้นนี้ครูควรระบุหัวข้อในการ นำเสนอ ตั้งแต่สถานการณ์ปัญหา การระบุปัญหา การรวบรวมข้อมูล การออกแบบ การวางแผน การ ปฏิบัติงานเพื่อแก้ปัญหา การทดสอบ ผลการประเมิน การปรับปรุง เกิด ปัญหาอุปสรรคระหว่างสร้างงาน อย่างไร ปรับแก้อย่างไร และผลลัพธ์ สุดท้ายเป็นไปตามเป้าหมายและ ความต้องการหรือไม่

## วงจรถ่ายปฏิบัติกรที่ 2: คุณภาพของเสียง

### ขั้นวางแผน

ผู้วิจัยปรับแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การเกิดคลื่นเสียง ตามปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไขในวงจรถ่ายปฏิบัติกรที่ 1 ได้แก่ เลือกสื่อในการนำเข้าสู่สถานการณ์ที่มีความกระชับ ชัดเจน ตรงประเด็น ใช้วิดีโอต้องมีความเหมาะสมในเรื่องของเวลาไม่นานจนเกินไป ครูควรชี้แจงถึงเป้าหมายในการระดมสมองให้กับนักเรียน ว่านักเรียนทุกคนต้องแสดงความคิดเห็นของตนเองออกมา นำมาวิเคราะห์ความเหมือนความต่าง และนำมาสังเคราะห์เป็นของกลุ่มตนเอง

### ขั้นปฏิบัติการ และสังเกต

#### ขั้นที่ 1 ขั้นระบุปัญหา

ผู้วิจัยเปิดวิดีโอที่มีความน่าสนใจ สั้น กระชับคลิปซึ่งเป็นวิดีโอเกี่ยวกับ เสียงดนตรีจากขวดครูตั้งคำถามหลังจากดูคลิปวิดีโอเพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนได้อภิปรายในประเด็นดังนี้ มีความรู้เกี่ยวกับอะไรบ้างที่เกี่ยวข้องกับเสียงที่นักเรียนเห็นในคลิป บั๊จจยอะไรบ้างที่มีผลต่อคุณภาพของเสียง จากนั้นแบ่งกลุ่มตามวงจรถ่ายปฏิบัติกรที่ 1 ครูกำหนดสถานการณ์ให้กับนักเรียนที่มีการต่อยอดจากลักษณะชิ้นงานของวงจรถ่ายปฏิบัติกรที่ 1 ดังนี้ " หากนักเรียนเป็นช่างทำเครื่องดนตรีในร้านแห่งหนึ่ง ได้รับมอบหมายจากเจ้าของร้านให้สร้างเครื่องดนตรีโดยมีเงื่อนไขและข้อจำกัดดังต่อไปนี้ เป็นเครื่องดนตรีที่ประยุกต์ใช้จากสิ่งที่มีอยู่รอบตัวเท่านั้น อาจเป็นของรีไซเคิลก็ได้ โดยลูกค้าต้องการเครื่องดนตรีที่แปลกใหม่ไม่ซ้ำใคร มีสวยงาม คงทน ราคาถูก และสามารถขับบรรเลงเพลงตามโน้ตดนตรีได้จริง" และครูแจกใบกิจกรรม เรื่อง การสร้างเครื่องดนตรี ผู้วิจัยทำการชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับ การระดมสมอง ว่ามีเป้าหมายเพื่อให้นักเรียนได้แสดงความคิดเห็นของตนเองออกมา และร่วมกันทำงานโดยพิจารณาจากความคิดของสมาชิกในกลุ่มทุกคนโดยให้เหตุผลเป็นตัวตั้ง โดยการทำกิจกรรมระดมสมองช่วยเปิดกว้างมุมมองความคิดที่หลากหลาย สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

"ในการระดมสมองนักเรียนมีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันเป็นอย่างดี แสดงให้เห็นถึงความคิดที่มีความแปลกใหม่และมีความหลากหลาย มีการใช้เหตุผล แนวคิด ในการอธิบายความคิดในการสร้างชิ้นงานของตนเอง สมาชิกในกลุ่มมีการช่วยกันเติมเต็มในส่วนที่ขาดในบางอย่างที่ดีผู้เสนอเองลืมนำถึง และมีการประเมินความเป็นไปได้ของการสร้างชิ้นงานขึ้นมา"

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการจัดการเรียนรู้ วงจรถ่าย 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนทุกคนได้มีส่วนร่วมในการแสดงความคิดเห็นในตอนระดมสมองดีและมีความเข้าใจ วิธีการในการระดมสมองมากขึ้นกว่าในวงจรปฏิบัติการที่ 1”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

นอกจากนั้นผู้วิจัยยังพบว่าถึงแม้จะมีนักเรียนบางกลุ่มมีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันเป็นอย่างดีในการระดมสมอง แต่นักเรียนบางกลุ่ม บางคนในกลุ่มไม่กล้าแสดงความคิดเห็นและบางคนมักเสนอประเด็นที่เหมือนกับคนเก่งภายในกลุ่มสอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“ในการระดมสมองนักเรียนบางคนไม่กล้าแสดงความคิดเห็นทำให้ใช้เวลานานมากในการระดมสมอง”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนบางคนมักเห็นด้วยกับความคิดเห็นของคนเก่ง ไม่กล้าแสดงความคิดเห็นของตนเอง”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

และผู้วิจัยยังพบว่าบางกลุ่มไม่ต้องการสร้างชิ้นงานใหม่ ต้องการต่อยอดชิ้นงานเดิมให้สามารถเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดให้ เนื่องจากไม่อยากทำงานเพิ่มมาก อยากประหยัดเวลาในการสร้างชิ้นงานและประหยัดค่าใช้จ่าย สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“ในการระดมสมองนักเรียนบางกลุ่มทำการคิดต่อยอดจากชิ้นงานเดิม เพื่อต้องการประหยัดเวลาในการสร้างชิ้นงาน”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

“เนื่องจากใกล้สอบปลายภาค นักเรียนจึงทำการคิดต่อยอดจากงานในวงจรปฏิบัติการที่ 1”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

นอกจากนั้นในระหว่างการประชุมผู้วิจัยพบว่า นักเรียนมีการสืบค้นข้อมูลของรูปแบบเครื่องดนตรี และนำมาเสนอภายในกลุ่มพร้อมข้อเสนอแนะในการเปลี่ยนแปลงชิ้นงานเพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขสอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“ในการประชุมของนักเรียนมีการใช้โทรศัพท์มือถือในการสืบค้นตัวอย่างเครื่องดนตรี และคิดเปลี่ยนแปลงชิ้นงานเพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่สถานการณ์กำหนด”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนมีศึกษาว่าเคยมีใครทำอะไรมาบ้าง และจะสามารถนำมาต่อยอดอย่างไร”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

## ขั้นที่ 2 ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

ผู้วิจัยทำการทบทวนความรู้เรื่องการเขียนแบบร่างกับนักเรียน และเน้นย้ำถึงการระบุขนาดพร้อมทั้งวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชิ้นงาน จากนั้นทำการสอบถามเกี่ยวกับการใช้แอปพลิเคชันในการทำการทดลองหรือเก็บข้อมูลว่านักเรียนจะใช้เก็บข้อมูลอะไร และใช้อย่างไร เพื่อตรวจสอบความเข้าใจก่อนลงมือปฏิบัติจริง จากนั้นครูแจกอุปกรณ์การทดลอง ซึ่งประกอบด้วย ยางรัดของ จากนั้นครูอธิบายภาระงานที่ 3 โดยให้นักเรียนทำการทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดให้ พร้อมออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง และตอบคำถามท้ายกิจกรรมอย่างละเอียด บันทึกลงในตอนที่ 3 ของใบกิจกรรม เรื่อง การสร้างเครื่องดนตรี ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายถึงคำถามท้ายกิจกรรม ครูตรวจสอบความรู้ที่นักเรียนได้รับจากการรวบรวมข้อมูลเพื่อดูว่าเพียงพอที่จะไปใช้ในการสร้างเครื่องดนตรี จากนั้นร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการสร้างเครื่องดนตรี

จากผลดำเนินการในวงจรปฏิบัติการที่ 2 ผู้วิจัยพบว่านักเรียนมีการเข้าใจแอปพลิเคชันมากขึ้น เนื่องจากมีการทดลองนำไปใช้ในการปฏิบัติในวงจรปฏิบัติการที่ 1 มาแล้ว ทั้งนี้นักเรียนบางกลุ่มมีการสืบค้นแอปพลิเคชันใหม่มาใช้เพื่อให้เหมาะสมกับชิ้นงานที่ตนเองกำลังจะออกแบบชิ้นงาน สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“นักเรียนมีการโหลดแอปพลิเคชันเกี่ยวกับการวัดโน้ตดนตรีมาใช้ใหม่ เช่น แอปพลิเคชันเกี่ยวกับกีตาร์ และได้ลองโหลดแอปพลิเคชันอื่น ๆ มาทดลองใช้อีกด้วย ”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนมีการโหลดแอปพลิเคชันเกี่ยวอื่น ๆ มาใช้”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

นอกจากนั้นผู้วิจัยพบว่า ยังเกิดปัญหาในวงจรปฏิบัติการที่ 1 คือ นักเรียนบางส่วนไม่สนใจทำการทดลอง ไม่ได้ทำงานทุกคน บางส่วนสนใจอยู่กับการเล่นเกมแอปพลิเคชันต่างๆที่มากมาย สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“นักเรียนบางคนมีการโหลดแอปพลิเคชันมาลองอย่างหลากหลาย ไม่ได้สนใจในการทำกิจกรรมให้เป็นไปตามที่กำหนด ”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนบางคนในกลุ่มมีการโหลดแอปพลิเคชันเกี่ยวอื่น ๆ มาเล่นจนไม่ทำงาน”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

### ขั้นที่ 3 ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา

ผู้วิจัยทำการปรับโดยการตัดขั้นตอนการเขียนแบบที่ใช้สื่อ power point และแสดงภาพตัวอย่างการเขียนแบบให้นักเรียนดูออกในวงจรปฏิบัติการที่ 2 เนื่องจากดำเนินการไปแล้วในวงจรปฏิบัติการที่ 1 จากนั้นครูอธิบายภาระงานที่ 4 ว่าให้นักเรียนทำการเขียนแบบเครื่องดนตรี จากสถานการณ์ที่กำหนด ลงในตอนี่ 4 ของใบกิจกรรม เรื่อง การสร้างเครื่องดนตรี อย่างน้อย 3 แบบขึ้นไป นักเรียนทำการสรุปภายในกลุ่มถึงแบบเครื่องดนตรีทั้ง 3 แบบของกลุ่มตนเองออกแบบที่คิดว่าเหมาะสมที่สุดจะนำไปสร้างเครื่องดนตรี พร้อมระบุเหตุผลในการเลือกลงในตอนี่ 4 ของใบกิจกรรม เรื่อง การสร้างเครื่องดนตรี จากนั้นให้นักเรียนทำการเขียนใบสั่งซื้อสินค้า โดยครูต้องย้ากับนักเรียนว่าสามารถซื้อของได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นให้ทำการตรวจสอบรายการสินค้าให้ดี นอกจากนั้นเน้นย้ำเรื่องราคาสินค้าที่ใช้ หากเป็นของรีไซเคิลไม่คิดต้นทุน จากผลดำเนินการในวงจรปฏิบัติการที่ 2 ผู้วิจัยพบว่า ปัญหาที่พบในวงจรปฏิบัติการที่ 1 ยังพบอยู่ในการออกแบบชิ้นงานของนักเรียนบางกลุ่มยังพบปัญหาในเรื่องของการเขียนแบบที่ไม่ระบุวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้าง และไม่ได้ระบุขนาดของชิ้นงานสอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“นักเรียนบางกลุ่มในการเขียนแบบยังไม่ได้ระบุขนาดของชิ้นงาน และระบุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเหมือนกับในวงจรปฏิบัติการที่ 1”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

“มีบางกลุ่มยังไม่ได้ระบุขนาดของชิ้นงาน”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

ในการเขียนแบบในวงจรปฏิบัติการที่ 2 นักเรียนบางกลุ่มทำการนำแบบที่เคยเขียนไว้ในวงจรปฏิบัติการที่ 1 มาปรับปรุงให้เป็นไปตามข้อกำหนดของสถานการณ์สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“นักเรียนบางกลุ่มในทำการเขียนแบบโดยมาเอาแบบร่างเก่ามาเพิ่มเติมต่อยอดเป็นชิ้นงานใหม่ เพิ่มเติมอีก 3 แบบ”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

“มีบางกลุ่มเขียนแบบโดยมาเอาแบบร่างเก่ามาเพิ่มเติมต่อยอดเป็นชิ้นงาน”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

ในการเขียนใบสั่งซื้อของ นักเรียนเขียนราคาสินค้าเป็นไปตามที่ครูเน้นย้ำ และกำหนดราคาสินค้ากลางให้กับนักเรียน สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“นักเรียนเขียนใบสั่งซื้อของตามที่ครูกำหนด เรื่องของรีไซเคิลที่ไม่คิดต้นทุน เนื่องจากครูเน้นย้ำกับนักเรียนเรื่องราคาสินค้า”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนไม่ระบุต้นทุนของรีไซเคิลตามที่ครูกำหนด”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)



#### ขั้นที่ 4 ชั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา

นี่ครูให้นักเรียนทำการวางแผนในการสร้างเครื่องดนตรี โดยเขียนอธิบายขั้นตอนการดำเนินการลงในใบกิจกรรม เรื่อง การสร้างเครื่องดนตรี โดยทำการเน้นย้ำในเรื่องการเขียนอธิบายขั้นตอนการดำเนินการว่าต้องเขียนให้ครบทุกขั้นตอนอย่างละเอียด อธิบายให้เข้าใจได้ว่าจะทำอะไร อย่างไร จากนั้นให้นักเรียนเริ่มชื่อของตามที่ตนเองได้เขียนไว้ในใบสั่งชื่อของ ทำการตรวจสอบอุปกรณ์ที่สั่งชื่อครบหรือไม่ สภาพพร้อมใช้งานหรือไม่และลงมือสร้างเครื่องดนตรีตามแบบที่ได้เขียนแบบร่างของเครื่องดนตรีไว้จากผลดำเนินการในวงจรปฏิบัติการที่ 2 ผู้วิจัยพบว่านักเรียนทุกกลุ่มมีการเขียนอธิบายขั้นตอนการดำเนินการละเอียดขึ้นกว่าในวงจรปฏิบัติการที่ 1 สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“นักเรียนทุกกลุ่มเขียนขั้นตอนการดำเนินการของตนเองได้ดีกว่าในในวงจรปฏิบัติการที่ 1 ทำให้เข้าใจการทำงานของนักเรียนมากขึ้น”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนมีพัฒนาการในการเขียนการวางแผน”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

นอกจากนี้นักเรียนกลุ่มที่ไม่ได้วาดรูปประกอบในวงจรปฏิบัติการที่ 1 มีการปรับเปลี่ยนการเขียนของตนเองให้ดีขึ้นโดยดูตัวอย่างจากกลุ่มที่งานดีในวงจรปฏิบัติการที่ 1 สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“นักเรียนบางกลุ่มมีการวาดรูปอธิบายเพิ่มขึ้นในวงจรปฏิบัติการที่ 2 เพื่ออธิบายในสิ่งที่นักเรียนทำ เนื่องจากนักเรียนได้เห็นงานของเพื่อนกลุ่มอื่น ทำให้เกิดการแข่งขันขึ้น”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนบางกลุ่มมีพัฒนาการในการเขียนการวางแผนโดยวาดภาพประกอบเพิ่มขึ้น”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

ชั้นที่ 5 ชั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ผู้วิจัยให้นักเรียนนำชิ้นงานไปทดลองใช้โดยให้นักเรียนนำเครื่องดนตรีที่กลุ่มของตนเองสร้างขึ้นมาทดลองเล่น พร้อมทำการประเมินชิ้นงานเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็กของกลุ่มตนเอง แล้วให้เพื่อนในห้องสะท้อนผลดังประเด็นต่อไปนี้ เครื่องดนตรีนี้มีจุดเด่นอะไรพร้อมให้เสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานให้สามารถใช้งานได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด จากนั้นให้นักเรียนนำชิ้นงานของตนเองไปปรับแก้ไขให้สามารถใช้งานได้ตามที่เกณฑ์กำหนด ปรับเพิ่มเติมจากวงจรปฏิบัติการที่ 1 ในการ และตามข้อเสนอที่ได้รับจากเพื่อนในห้องและครูผู้สอน โดยครูคอยทำหน้าที่อำนวยความสะดวกและชี้แนะแนวทางการปฏิบัติของนักเรียนเมื่อพบปัญหาระหว่างการดำเนินการแก้ปัญหา จากผลดำเนินการในวงจรปฏิบัติการที่ 2 ผู้วิจัยพบว่านักเรียนทุกกลุ่มมีการทดสอบชิ้นงานของกลุ่มตนเอง โดยส่วนใหญ่ทดสอบโดยการนำมาบรรเลงเป็นเพลง แล้วดูโน้ตดนตรีที่ได้จากเครื่องดนตรีว่าเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“นักเรียนทุกกลุ่มทำการบรรเลงเพลงจากเครื่องดนตรีที่กลุ่มตนเองสร้างขึ้น เพื่อทดสอบโน้ตที่ได้ โดยเทียบเสียงจากแอปพลิเคชันที่ตนเองเลือก”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนใช้การเล่นดนตรีเป็นเพลงเพื่อเป็นการทดสอบชิ้นงาน”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

ในการทดสอบจากการบรรเลงเพลงของนักเรียนแต่ละกลุ่มพบว่า โน้ตที่ได้ของแต่ละกลุ่มมีจำนวนที่ไม่เท่ากัน แต่ทุกกลุ่มมี 3 เสียงตัวโน้ตขึ้นไป สามารถนำมาบรรเลงเป็นได้ตามสถานการณ์ที่กำหนด บางกลุ่มมีครบ 8 เสียงตัวโน้ตดนตรี สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“นักเรียนทุกกลุ่มสามารถสร้างเสียงโน้ตดนตรีได้อย่างน้อย 3 เสียงขึ้นไป มีบางกลุ่มสามารถสร้างได้ครบ 8 เสียง ซึ่งทุกกลุ่มสามารถนำมาบรรเลงเพลงได้จริงตามที่สถานการณ์กำหนด นักเรียนทุกกลุ่มสามารถนำเครื่องดนตรีที่สร้างขึ้นมาเล่นได้จริงตามที่สถานการณ์กำหนด”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนทุกกลุ่มบรรเลงเพลงได้จริงตามสถานการณ์กำหนด”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

ในการประเมินผลชิ้นงานของนักเรียนหลังจากการทดสอบ พบว่าทุกกลุ่มเป็นไปตามที่สถานการณ์กำหนด มีการประเมินตนเองและยอมรับในข้อเสนอนะที่ที่ได้รับพร้อมนำไปปรับปรุงชิ้นงานใหม่ สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“นักเรียนทุกกลุ่มหลังจากทดสอบ สามารถประเมินชิ้นงานตนเองได้ว่าบรรลุเป้าหมายตามที่สถานการณ์กำหนด พร้อมทั้งนำข้อเสนอแนะไปปรับปรุงชิ้นงาน ”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนมีการประเมินชิ้นงานของกลุ่มตนเอง”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

ในการปรับปรุงชิ้นงานของนักเรียนพบว่า พบว่าถึงแม้ทุกกลุ่มจะบรรลุตามเป้าหมายที่สถานการณ์กำหนด แต่ก็นำข้อเสนอแนะที่ได้รับจากเพื่อนในห้องและครูไปใช้ในการปรับปรุงชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงานดีขึ้นกำหนดสอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“นักเรียนมีการนำข้อเสนอแนะไปปรับใช้ในการปรับปรุงชิ้นงานให้ดียิ่งขึ้น”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนปรับปรุงชิ้นงานตามข้อเสนอแนะที่ได้รับ”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

**ขั้นที่ 6 ชี้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน**

ผู้วิจัยทำการชี้แจงการนำเสนอผลงานของนักเรียน โดยให้นักเรียนทำการนำเสนอเครื่องดนตรีของกลุ่มตนเอง โดยถ่ายเป็นวิดีโอแล้วโพสต์ให้เพื่อนในห้องและครู จากนั้นครูและนักเรียนทำการสรุปร่วมกันถึงเครื่องดนตรีของแต่ละกลุ่ม โดยครูให้นักเรียนที่ได้คะแนนสูงสุดทำการนำเสนอถึงขั้นตอนการปรับแก้ผลงานของตนเอง สุดท้ายครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการสร้างเครื่องดนตรีจากผลดำเนินการในวงจรปฏิบัติการที่ 2 ผู้วิจัยพบว่าเมื่อให้นักเรียนบางกลุ่ม

“ได้ลงมือถ่ายวิดีโอในการนำเสนอชิ้นงานของตนเอง นักเรียนมีการได้จัดเตรียมคำพูดพร้อมเลือกวิดีโอที่ดีที่สุดในการโพสต์ลง กลุ่ม มีการนำเสนอที่น่าสนใจชัดเจน คลอบคลุมขึ้น สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“ในการให้นักเรียนถ่ายวิดีโอนำเสนอชิ้นงาน นักเรียนมีการนำเสนอที่ชัดเจน ตรงประเด็น และครบถ้วนมากกว่าในวงจรปฏิบัติการที่ 1 พร้อมทั้งบรรเลงเพลงที่ได้จากเครื่องดนตรีประกอบ”  
(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

“วิดีโอนำเสนอชิ้นงานของนักเรียนมีรูปแบบการนำเสนอที่ความน่าสนใจ มีการสาธิตการใช้เครื่องดนตรีบรรเลงจริง ๆ ”  
(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

นอกจากนั้นผู้วิจัยพบว่านอกจากนักเรียนบางกลุ่มมีการได้จัดเตรียมคำพูดพร้อมเลือกวิดีโอที่ดีที่สุดในการโพสต์ลงกลุ่ม มีการนำเสนอที่น่าสนใจชัดเจน คลอบคลุมขึ้น แต่มีนักเรียนบางกลุ่มในการถ่ายวิดีโอนำเสนอชิ้นงาน ไม่มีการลำดับเนื้อหาความสำคัญในการนำเสนอ ไม่ได้ทำการเลือกวิดีโอที่ดีที่สุด น่าจะเกิดจากการถ่ายเพียงครั้งเดียวสอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“ในการให้นักเรียนถ่ายวิดีโอนำเสนอชิ้นงาน บางกลุ่มถ่ายวิดีโออาจมีส่วนที่ดูติดขัดอยู่ ไม่ได้ทำการเลือกวิดีโอที่ดีที่สุด”  
(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนสามารถถ่ายวิดีโอให้ดีขึ้นได้อีก”  
(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 2, 21 กุมภาพันธ์ 2562)

### ขั้นสะท้อนผล

หลังจากการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง การเกิดคลื่นเสียง ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ คือ แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของครู และผู้เชี่ยวชาญ หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์เนื้อหา

(Content Analysis) ผลการปฏิบัติสามารถสะท้อนปัญหาและแนวทางแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ ดังตาราง 6

ตาราง 6 แสดงปัญหาและแนวทางแก้ไขที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการที่ 2

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้	ปัญหาที่พบ/สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
1. ชั้นระบุปัญหา	ในการระดมสมองนักเรียนส่วนใหญ่ไม่กล้าแสดงความคิดเห็น ทำให้ใช้เวลานานส่งผลให้ทำงานไม่เสร็จตามเวลาที่กำหนด	- ครูต้องทำการเตือนในเรื่องเวลาให้กับนักเรียนเป็นระยะ และตรวจสอบความก้าวหน้าของการระดมสมองของนักเรียนแต่ละกลุ่ม พร้อมให้คำเสนอแนะเมื่อนักเรียนพบปัญหา
2. ชั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา	นักเรียนบางส่วนไม่สนใจในการรวบรวมข้อมูลที่จะนำไปใช้ เนื่องจากสนใจลองโหลดแอปพลิเคชันมาทดลองไปเรื่อยๆ	- การจัดการเรียนรู้ที่นำเอาแอปพลิเคชันเข้ามาใช้ ครูต้องเลือกเพียงแอปพลิเคชันเดียวที่เหมาะสมที่สุดแล้ว แล้วแนะนำหลังจบกิจกรรมว่ามีแอปพลิเคชันอื่นอีกให้ไปศึกษาเพิ่มเติมได้ตามความสนใจ
3. ชั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา	นักเรียนบางกลุ่มในการเขียนแบบไม่ได้ระบุนขนาดของชิ้นงานและระบุอุปกรณ์ที่ใช้	- การพูดชี้แจงเน้นย้ำว่า สิ่งสำคัญที่นักเรียนห้ามขาดในการเขียนแบบคือต้องระบุนขนาดและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สร้างชิ้นงาน

ตาราง 6 (ต่อ)

ขั้นตอน การจัดการเรียนรู้	ปัญหาที่พบ/สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
4. ขั้นวางแผนและ ดำเนินการ แก้ปัญหา	นักเรียนบางกลุ่มไม่สามารถ สร้างตามแบบที่เขียนออกแบบไว้ มีการปรับเปลี่ยนชิ้นงานหลังจาก สร้างในตอนแรกในการสร้าง ชิ้นงานไม่สามารถสร้างให้เสร็จ ภายในชั้นเรียนได้ต้องนำไปทำ ต่อที่บ้าน	- การลงมือสร้างจริงครูต้องติดตาม ดูแลเป็นระยะเนื่องจากในการสร้าง ชิ้นงานไม่สามารถสร้างให้เสร็จ ภายในชั้นเรียนได้ต้องนำไปทำต่อที่ บ้าน ครูต้องติดตามความก้าวหน้า ของชิ้นงานเป็นระยะเพื่อให้ ข้อเสนอแนะเมื่อนักเรียนเกิดปัญหา
5. ขั้นทดสอบ ประเมินผล และ ปรับปรุงแก้ไขวิธีการ แก้ปัญหาหรือ ชิ้นงาน	ในการนำชิ้นงานของนักเรียนมา ทดสอบของนักเรียนบางกลุ่ม ผล คือไม่เป็นไปตามที่สถานการณ์ กำหนด ไม่สามารถเล่นได้จริง ต้องกลับไปปรับปรุงชิ้นงานใหม่	- ในการทดสอบชิ้นงาน ครูต้องคอย ควบคุมในเรื่องเกี่ยวกับความ น่าเชื่อถือของผลการทดสอบของ นักเรียนต้องเน้นย้ำให้เป็นมาตรฐาน ที่ทุกคนยอมรับ ไม่สามารถตัดสินได้ จากความรู้สึกต้องมีข้อมูลมา สนับสนุนผลการทดสอบ อาจเป็น ข้อมูลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือที่ มีความน่าเชื่อถือ
6. ขั้นนำเสนอ วิธีการแก้ปัญหา ผล การแก้ปัญหาหรือ ชิ้นงาน	ในการถ่ายวิดีโอนำเสนอชิ้นงาน ของนักเรียนบางกลุ่ม ไม่มีการ ลำดับเนื้อหาความสำคัญในการ นำเสนอ ไม่ได้ทำการเลือกวิดีโอ ที่ดีที่สุด น่าจะเกิดจากการถ่าย เพียงครั้งเดียว	- ขั้นนี้ครูควรระบุหัวข้อในการ นำเสนอให้ชัดเจน

### วงจรปฏิบัติการที่ 3: มลพิษทางเสียง

#### ชั้นวางแผน

ผู้วิจัยปรับแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง คุณภาพของเสียง ตามปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไขในวงจรปฏิบัติการที่ 1 ได้แก่ เลือกสื่อในการนำเข้าสู่สถานการณ์ที่มีความกระชับ ชัดเจน ตรงประเด็น ใช้วิดีโอต้องมีความเหมาะสมในเรื่องของเวลาไม่นานจนเกินไป ครูควรชี้แจงถึงเป้าหมายในการระดมสมองให้กับนักเรียน ว่านักเรียนทุกคนต้องแสดงความคิดเห็นของตนเองออกมา นำมาวิเคราะห์ความเหมือนความต่าง และนำมาสังเคราะห์เป็นของกลุ่มตนเอง

#### ชั้นปฏิบัติการ และสังเกต

##### ชั้นที่ 1 ชั้นระบุปัญหา

ผู้วิจัยเลือกวิดีโอเกี่ยวกับมลพิษในการนำเข้าสู่สถานการณ์ลง และเลือกวิดีโอที่มีความน่าสนใจ สั้น กระชับคลิป ครูตั้งคำถามหลังจากดูคลิปวิดีโอเพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนได้อภิปรายในประเด็นดังนี้ มลพิษทางเสียงที่นักเรียนพบในวิดีโอมีอะไรบ้างและมีความอันตรายอย่างไรในชีวิตประจำวันของนักเรียนพบมลพิษทางเสียงอะไรบ้างให้ยกตัวอย่างเหตุการณ์ จากนั้นแบ่งกลุ่มตามวงจรปฏิบัติการที่ 2 ครูกำหนดสถานการณ์ให้กับนักเรียนดังนี้ “ หากนักเรียนเป็นวิศวกร ได้รับมอบหมายให้สร้างห้องเก็บเสียงให้ลูกค้ารายหนึ่งซึ่งมีปัญหา เรื่องสุนัขเห่าเสียงดังรบกวนเพื่อนบ้านในเวลากลางคืน ลูกค้าอยากจะทำบ้านเก็บเสียงให้สุนัขอยู่ โดยลูกค้าต้องการบ้านเก็บเสียงที่ราคาถูก แข็งแรง สวยงาม สุนัขอยู่ได้จริงและใช้แก้ปัญหาเสียงเห่าดังรบกวนเพื่อนบ้านได้ โดยให้วิศวกรทำแบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียงให้ดูเป็นตัวอย่างก่อนสร้างจริง ” และครูแจกใบกิจกรรม เรื่อง แบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียง ผู้วิจัยทำการชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับ การระดมสมอง ว่ามีเป้าหมายเพื่อให้นักเรียนได้แสดงความคิดเห็นของตนเองออกมา และร่วมกันทำงานโดยพิจารณาจากความคิดของสมาชิกในกลุ่มทุกคนโดยให้เหตุผลเป็นตัวตั้ง โดยการทำกิจกรรมระดมสมองช่วยเปิดกว้างมุมมองความคิดที่หลากหลาย สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“ในการระดมสมองนักเรียนมีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกันเป็นอย่างดี แสดงให้เห็นถึงความคิดที่มีความแปลกใหม่และมีความหลากหลาย มีการใช้เหตุผล แนวคิด ในการอธิบายความคิดในการสร้างชิ้นงานของตนเอง สมาชิกในกลุ่มมีการช่วยกันเติมเต็มในส่วนที่ขาดในบางอย่างที่ดีผู้เสนอเองลืมนำถึง และมีการประเมินความเป็นไปได้ของการสร้างชิ้นงานขึ้นมา”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

“ในการระดมสมอง นักเรียนศึกษาว่าวัสดุอุปกรณ์ใดที่เหมาะสมกับการนำมาสร้างชิ้นงาน”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

นอกจากนั้นในระหว่างการระดมสมองผู้วิจัยพบว่า นักเรียนมีการสืบค้นข้อมูลของรูปแบบบ้านสุนัข และนำมาเสนอภายในกลุ่มพร้อมข้อเสนอแนะในการเปลี่ยนแปลงชิ้นงานเพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขสอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“ในการระดมสมองนักเรียนมีการใช้โทรศัพท์มือถือในการสืบค้นรูปแบบบ้านสุนัขจากอินเทอร์เน็ต และคิดเปลี่ยนแปลงชิ้นงานเพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่สถานการณ์กำหนด”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

“ในการระดมสมอง นักเรียนศึกษารูปแบบของบ้านสุนัขที่มีอยู่เพื่อนำมาสู่การต่อยอดในการออกแบบ”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

นอกจากนั้นผู้วิจัยพบว่านักเรียนมีความกระตือรือร้นในการสร้างแบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียง และดูสนุกสนานในการออกแบบสร้างชิ้นงานสอดคล้องกับการสะท้อนของครู และผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“นักเรียนมีความสนุกในการออกแบบชิ้นงาน ตื่นเต้นที่ได้ออกแบบแบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียง”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนมีความกระตือรือร้นและสนุกสนานในการออกแบบชิ้นงานมาก บางกลุ่มมีการค้นหาวัสดุอุปกรณ์นำมาเสนอเพื่อนในระหว่างระดมความคิด ”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

ขั้นที่ 2 ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

ผู้วิจัยทำการทบทวนความรู้เรื่องการเขียนแบบร่างกับนักเรียน และเน้นย้ำถึงการระบุขนาดพร้อมทั้งวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชิ้นงาน จากนั้นทำการแนะนำแอปพลิเคชันในการวัดความดัง



ของเสียงให้กับนักเรียน คือ แอปพลิเคชัน Sound Meter และให้นักเรียนใช้แอปพลิเคชันนี้ในการทดลอง และสอบถามถึงความเข้าใจเกี่ยวกับแอปพลิเคชันก่อนลงมือปฏิบัติจริง จากนั้นครูให้นักเรียนทดลองใช้แอปพลิเคชันในการเก็บข้อมูลความดังของเสียง ครูตรวจสอบความรู้ที่นักเรียนได้รับจากการรวบรวมข้อมูลเพื่อดูว่าเพียงพอที่จะไปใช้ในการสร้างแบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียง จากนั้นร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียงจากผลดำเนินการในวงจรปฏิบัติการที่ 3 ผู้วิจัยพบว่านักเรียนกระตือรือร้นในการทดลองนำแอปพลิเคชันมาใช้กับอุปกรณ์ที่ทำการเสนอที่จะใช้ในการออกแบบชิ้นงาน สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“นักเรียนบางคนมีการนำแอปพลิเคชันมาทดลองใช้กับวัสดุอุปกรณ์ที่ตนเองต้องการจะนำไปออกแบบชิ้นงาน เช่น กระดาษลัง ฟองน้ำ เป็นต้น”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนมีความกระตือรือร้นและสนุกสนานในนำวัสดุต่าง ๆ มาลองออกแบบ”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

นอกจากนั้นผู้วิจัยพบว่า การเสนอแอปพลิเคชันให้กับนักเรียนช่วยลดปัญหา การไม่สนใจกิจกรรมเนื่องจากนักเรียนได้เครื่องมือที่เหมาะสมพร้อมนำไปใช้ในการทำกิจกรรมแล้ว สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“นักเรียนมีความกระตือรือร้นในการนำแอปพลิเคชันที่ครูเสนอแนะมาทดลองใช้กับวัสดุอุปกรณ์ที่ตนเองต้องการจะนำไปออกแบบชิ้นงาน”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

“การแนะนำแอปพลิเคชันของครูทำให้นักเรียนนำไปใช้ทดลองได้เลย”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

### ขั้นที่ 3 ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา

ผู้วิจัยอธิบายภาระงานที่ 4 ว่าให้นักเรียนทำการเขียนแบบเครื่องดนตรี จากสถานการณ์ที่กำหนด ลงในตอนที่ 4 ของใบกิจกรรม เรื่อง การสร้างแบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียงอย่างน้อย 3

แบบขึ้นไป นักเรียนทำการสรุปภายในกลุ่มถึงแบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียงทั้ง 3 แบบของกลุ่มตนเองออกแบบที่คิดว่าเหมาะสมที่สุดจะนำไปสร้างแบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียงพร้อมระบุเหตุผลในการเลือกลงในตอนที่ 4 ของใบกิจกรรม เรื่อง การสร้างแบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียง จากนั้นให้นักเรียนทำการเขียนใบสั่งซื้อสินค้า โดยครูต้องย้ำกับนักเรียนว่าสามารถซื้อของได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นให้ทำการตรวจสอบรายการสินค้าให้ดี จากผลดำเนินการในวงจรปฏิบัติการที่ 3 ผู้วิจัยพบว่าปัญหาที่พบในวงจรปฏิบัติการที่ 1 และวงจรปฏิบัติการที่ 2 ยังพบอยู่ในการออกแบบชิ้นงานของนักเรียนบางกลุ่มยังพบปัญหาในเรื่องของการเขียนแบบที่ไม่ระบุวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้าง และไม่ได้ระบุขนาดของชิ้นงานสอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“นักเรียนบางกลุ่มในการเขียนแบบยังไม่ได้ระบุขนาดของชิ้นงาน และระบุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเหมือนกับในวงจรปฏิบัติการที่ 1 และวงจรปฏิบัติการที่ 2”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

“พบปัญหาการไม่ได้ระบุขนาดของชิ้นงาน และระบุอุปกรณ์ที่ใช้เหมือนเดิม”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

จากผลที่พบปัญหาเรื่องการเขียนแบบที่ไม่ระบุวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้าง และไม่ได้ระบุขนาดของชิ้นงานที่พบทั้งในวงจรปฏิบัติการที่ 1-3 ควรทำการปรับใบกิจกรรมโดยระบุกำหนดเรื่องว่าให้นักเรียนระบุขนาดและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในชัดเจน สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“ครูควรปรับใบกิจกรรม โดยเพิ่มคำชี้แจงระบุให้ชัดเจนว่าต้องการให้นักเรียนระบุขนาดและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชิ้นงาน เนื่องจากการเน้นย้ำให้ปฏิบัติตอนเริ่มต้นไม่เพียงพอ”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

“การแก้ปัญหาการไม่ได้ระบุขนาดของชิ้นงาน และระบุอุปกรณ์ที่ใช้ ครูควรระบุลงในใบกิจกรรม”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

#### ขั้นที่ 4 ชื่นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา

ผู้วิจัยให้นักเรียนทำการวางแผนในการสร้างแบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียง โดยเขียนอธิบายขั้นตอนการดำเนินการลงในใบกิจกรรม เรื่อง การสร้างแบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียง โดยทำการเน้นย้ำในเรื่องการเขียนอธิบายขั้นตอนการดำเนินการว่าต้องเขียนให้ครบทุกขั้นตอนอย่างละเอียด อธิบายให้เข้าใจได้ว่าจะทำอะไร อย่างไร จากนั้นให้นักเรียนเริ่มชื่อของตามที่ได้เขียนไว้ในใบสั่งชื่อของ ทำการตรวจสอบอุปกรณ์ที่สั่งชื่อว่าครบหรือไม่ สภาพพร้อมใช้งานหรือไม่ และลงมือสร้างแบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียง ตามแบบที่ได้เขียนแบบร่างของแบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียงไว้จากผลดำเนินการในวงจรปฏิบัติการที่ 3 ผู้วิจัยพบว่านักเรียนทุกกลุ่มวาดรูปประกอบการอธิบายขั้นตอนการดำเนินการของกลุ่มตนเอง ซึ่งแตกต่างจากในวงจรปฏิบัติการที่ 2 สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“นักเรียนทุกกลุ่มมีการวาดรูปอธิบายเพิ่มขึ้นในวงจรปฏิบัติการที่ 3 เพื่ออธิบายในสิ่งที่นักเรียนทำซึ่งแตกต่างจากในวงจรปฏิบัติการที่ 2 ที่มีเป็นบางกลุ่ม”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนวาดรูปอธิบายขั้นตอนการดำเนินการได้เข้าใจง่าย เรียบร้อย และสวยงาม”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

ในการเขียนอธิบายขั้นตอนการดำเนินการ บางกลุ่มมีการเขียนอธิบายเป็นลำดับชัดเจน เข้าใจง่ายและบางกลุ่มที่มีการใช้คำที่อ่านแล้วเข้าใจยากว่านักเรียนทำอะไร สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“นักเรียนบางกลุ่มมีการเขียนอธิบายเป็นลำดับก่อนหลังในการดำเนินการได้เข้าใจง่าย และบางกลุ่มอธิบายไม่ชัดเจน ใช้ภาษาไม่ชัดเจน สื่อความหมายยาก”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนอธิบายขั้นตอนการดำเนินการได้เข้าใจง่ายแต่บางกลุ่มยังใช้คำพูดที่เข้าใจยากในการอธิบายต้องมานั่งตีความว่าทำอะไร”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

### ขั้นที่ 5 ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

ผู้วิจัยให้นักเรียนนำชิ้นงานไปทดลองใช้โดยให้นักเรียนนำแบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียงที่กลุ่มของตนเองสร้างขึ้นมาทดลองใช้ พร้อมทำการประเมินชิ้นงานแบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียงของกลุ่มตนเอง แล้วให้เพื่อนในห้องสะท้อนผลดังประเด็นต่อไปนี้ แบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียงนี้มีจุดเด่นอะไรพร้อมให้เสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานให้สามารถใช้งานได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด จากนั้นให้นักเรียนนำชิ้นงานของตนเองไปปรับแก้ไขให้สามารถใช้งานได้ตามที่เกณฑ์กำหนด และตามข้อเสนอที่ได้รับจากเพื่อนในห้องและครูผู้สอน โดยครูคอยทำหน้าที่อำนวยความสะดวกและชี้แนะแนวทางการปฏิบัติของนักเรียนเมื่อพบปัญหาระหว่างการดำเนินการแก้ปัญหา จากผลดำเนินการในวงจรปฏิบัติการที่ 3 ผู้วิจัยพบว่าในการนำชิ้นงานของนักเรียนมาทดสอบในตอนแรกนั้น ทุกกลุ่มไม่ได้กำหนดพวกตัวแปรที่อาจมีผลต่อการเก็บผลข้อมูล ได้แก่ ระยะเวลาการวัดเสียงจากต้นกำเนิดเสียงในแต่ละครั้งที่ต้องมีการควบคุมให้เท่ากันทุกครั้ง นักเรียนบางกลุ่มการตัดสินใจผลการทดสอบจากการทดสอบด้วยความรู้สึก เช่น รู้สึกว่าเสียงมันเบาลงไม่มีการบันทึกผลข้อมูลตัวเลขที่ชัดเจนที่ได้จากเครื่องมือวัดสอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“นักเรียนบางกลุ่มเมื่อทำการทดสอบ นักเรียนตัดสินใจจากความรู้สึกว่าเสียงมันเบาลง ไม่ได้บันทึกข้อมูลจากเครื่องมือวัดที่ชัดเจน และนักเรียนทุกกลุ่มไม่ควบคุมระยะเวลาการวัดความดังในแต่ละครั้ง”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนไม่กำหนดตัวแปรควบคุมในการทดสอบแบบจำลองบ้านเก็บเสียง ไม่ควบคุมระยะเวลาการวัดความดัง”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

ในการประเมินผลชิ้นงานของนักเรียนหลังจากการทดสอบ พบว่าทุกกลุ่มเป็นไปตามที่สถานการณ์กำหนด มีการประเมินตนเองและยอมรับในข้อเสนอแนะที่ได้รับพร้อมนำไปปรับปรุงชิ้นงานใหม่ สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“นักเรียนทุกกลุ่มหลังจากทดสอบ สามารถประเมินชิ้นงานตนเองได้ว่าบรรลุเป้าหมายตามที่สถานการณีกำหนด พร้อมทั้งนำข้อเสนอแนะไปปรับปรุงชิ้นงาน ”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนประเมินชิ้นงานตนเองได้ว่าบรรลุเป้าหมายตามที่สถานการณีกำหนดและมีการปรับตามข้อเสนอแนะ”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

ในการปรับปรุงชิ้นงานของนักเรียนพบว่า พบว่าถึงแม้ทุกกลุ่มจะบรรลุตามเป้าหมายที่สถานการณีกำหนด แต่ก็นำข้อเสนอแนะที่ได้รับจากเพื่อนในห้องและครูไปใช้ในการปรับปรุงชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงานดีขึ้นกำหนดสอดคล้องกับการสะท้อนของครูที่กล่าวว่า

“นักเรียนมีการนำข้อเสนอแนะไปปรับใช้ในการปรับปรุงชิ้นงานให้ดียิ่งขึ้น”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

“นักเรียนพัฒนาชิ้นงานตามข้อเสนอแนะเพื่อชิ้นงานที่ดีขึ้น”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

**ขั้นที่ 6 ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน**

ผู้วิจัยทำการชี้แจงการนำเสนอผลงานของนักเรียน โดยให้นักเรียนทำการนำเสนอแบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียงของกลุ่มตนเอง โดยถ่ายเป็นวิดีโอแล้วโพสต์ให้เพื่อนในห้องและครูดู จากนั้นครูและนักเรียนทำการสรุปร่วมกันถึงแบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียงของแต่ละกลุ่ม โดยครูให้นักเรียนที่ได้คะแนนสูงสุดทำการนำเสนอถึงขั้นตอนการปรับแก้ผลงานของตนเอง สุดท้ายครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองบ้านสุนัขเก็บเสียงจากผลดำเนินการในวงจรปฏิบัติการที่ 3 ผู้วิจัยพบว่าเมื่อนักเรียนได้ลงมือถ่ายวิดีโอในการนำเสนอชิ้นงานของตนเอง นักเรียนมีการได้จัดเตรียมคำพูดพร้อมเลือกวิดีโอที่ดีที่สุดในการโพสต์ลงกลุ่ม มีการนำเสนอที่น่าสนใจชัดเจน คลอบคลุมขึ้น สอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“ในการให้นักเรียนถ่ายวิดีโอแนะนำเสนอนิพนธ์ นักเรียนมีการนำเสนอที่ชัดเจน ตรงประเด็น และครบถ้วนมากกว่าในวงจรปฏิบัติการที่ 1 พร้อมทั้งบรรเลงเพลงที่ได้จากเครื่องดนตรีประกอบ”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

“วิดีโอแนะนำเสนอนิพนธ์ของนักเรียนมีรูปแบบการนำเสนอที่ความน่าสนใจ มีการสาธิตการใช้เครื่องดนตรีบรรเลงจริง ๆ ”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

นอกจากนั้นผู้วิจัยพบว่านอกจากนักเรียนบางกลุ่มมีการได้จัดเตรียมคำพูดพร้อมเลือกวิดีโอที่ดีที่สุดในการโพสต์ลงกลุ่ม มีการนำเสนอที่น่าสนใจชัดเจน คลอบคลุมขึ้น แต่มีนักเรียนบางกลุ่มในการถ่ายวิดีโอแนะนำเสนอนิพนธ์ ไม่มีการลำดับเนื้อหาความสำคัญในการนำเสนอ ไม่ได้ทำการเลือกวิดีโอที่ดีที่สุด น่าจะเกิดจากการถ่ายเพียงครั้งเดียวสอดคล้องกับการสะท้อนของครูและผู้เชี่ยวชาญที่กล่าวว่า

“ในการให้นักเรียนถ่ายวิดีโอแนะนำเสนอนิพนธ์ บางกลุ่มถ่ายวิดีโออาจมีส่วนที่ดูติดขัดอยู่ ไม่ได้ทำการเลือกวิดีโอที่ดีที่สุด”

(ผู้วิจัย, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

“บางวิดีโอแนะนำเสนอนิพนธ์ของนักเรียนยังสามารถพัฒนาได้อีก”

(ผู้เชี่ยวชาญ, แบบสะท้อนการจัดการเรียนรู้ วงจรที่ 3, 25 กุมภาพันธ์ 2562)

### ขั้นสะท้อนผล

หลังจากการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง การเกิดคลื่นเสียง ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ คือ แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของครู และผู้เชี่ยวชาญ หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) ผลการปฏิบัติสามารถสะท้อนปัญหาและแนวทางแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้ ดังตาราง 7

ตาราง 7 แสดงปัญหาและแนวทางแก้ไขที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนของการจัดการ  
เรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการที่ 3

ขั้นตอน การจัดการเรียนรู้	ปัญหาที่พบ/สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
1. ชั้นระบุปัญหา	ในการระดมสมอง สุดท้ายนักเรียนบางคนมักเลือกตัดสินใจแสดงความคิดเห็นตามคนเก่งในกลุ่มไม่ค่อยแสดงความคิดเห็นของตนเองเพิ่มเติม	- ครูควรชี้แจงทุกครั้งถึงเป้าหมายในการระดมสมองให้กับนักเรียน ว่านักเรียนทุกคนต้องแสดงความคิดเห็นของตนเองออกมา นำมาวิเคราะห์ความเหมือนความต่าง และนำมาสังเคราะห์เป็นของกลุ่มตนเอง
2. ชั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา	สถานที่ในการทดลองเป็นห้องที่ไม่ได้เก็บเสียง ทำให้เกิดการรบกวนกันเมื่อต้องใช้เครื่องมือในการวัดข้อมูลเกี่ยวกับเสียง	- การจัดการเรียนรู้ เรื่อง เสียง เกี่ยวกับการวัดค่าต่าง ๆ ครูจำเป็นต้องให้นักเรียนไปทำการทดลองในห้องเก็บเสียง หรืออย่างน้อยไปทำการทดลองในสถานที่ที่เงียบที่สุด
3. ชั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา	นักเรียนบางกลุ่มในการเขียนแบบไม่ได้ระบุขนาดของชิ้นงานและระบุอุปกรณ์ที่ใช้	- การพูดชี้แจงเน้นย้ำก่อนการทำกิจกรรมบางครั้งไม่เพียงพอ ครูต้องระบุลงไปในใบกิจกรรมให้ชัดเจนว่าสิ่งสำคัญที่นักเรียนห้ามขาดในการเขียนแบบคือต้องระบุขนาดและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้สร้างชิ้นงาน นอกจากนี้ในใบกิจกรรมครูควรให้พื้นที่กว้าง ๆ ในการออกแบบชิ้นงานของนักเรียน
4. ชั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา	นักเรียนบางกลุ่มไม่สามารถสร้างตามแบบที่เขียนออกแบบไว้ มีการปรับเปลี่ยนชิ้นงานหลังจากสร้างในตอนแรก	

## ตาราง 7 (ต่อ)

ขั้นตอน การจัดการเรียนรู้	ปัญหาที่พบ/สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
	<p>ในการสร้างชิ้นงานไม่สามารถสร้างให้เสร็จภายในชั้นเรียนได้ ต้องนำไปทำต่อที่บ้าน</p>	<p>- ในการให้นักเรียนเขียนอธิบายขั้นตอนการดำเนินการ ครูต้องชี้แจงให้นักเรียนเขียนทุกขั้นตอนลงไป จากนั้นให้นักเรียนนำมาให้ครูดูก่อนที่จะนำไปดำเนินการสร้างจริง และในการลงมือสร้างจริงครูต้องติดตามดูแลเป็นระยะเนื่องจากในการสร้างชิ้นงานไม่สามารถสร้างให้เสร็จภายในชั้นเรียนได้ต้องนำไปทำต่อที่บ้าน ครูต้องติดตามความก้าวหน้าของชิ้นงานเป็นระยะเพื่อให้ออกเสนอแนะเมื่อนักเรียนเกิดปัญหาได้</p>
<p>5. ขั้นทดสอบประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน</p>	<p>ในการนำชิ้นงานของนักเรียนมาทดสอบในตอนแรกนั้น ทุกกลุ่มไม่ได้กำหนดพวกตัวแปรที่อาจมีผลต่อการเก็บผลข้อมูล ได้แก่ ระยะเวลาในการวัดเสียงจากต้นกำเนิดเสียงในแต่ละครั้งที่ต้องมีการควบคุมให้เท่ากันทุกครั้ง นักเรียนบางกลุ่มการตัดสินใจผลการทดสอบจากการทดสอบด้วยความรู้สึก เช่น รู้สึกว่าเสียงมันเบาเลยไม่มีการบันทึกผลข้อมูลตัวเลขที่ชัดเจนที่ได้จากเครื่องมือวัด</p>	<p>- ในการทดสอบชิ้นงาน ครูต้องคอยควบคุมในเรื่องเกี่ยวกับความน่าเชื่อถือของผลการทดสอบของนักเรียนต้องเน้นย้ำให้เป็นมาตรฐานที่ทุกคนยอมรับ ไม่สามารถตัดสินได้จากความรู้สึกต้องมีข้อมูลมาสนับสนุนผลการทดสอบ อาจเป็นข้อมูลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือที่มีความน่าเชื่อถือ</p>



ตาราง 7 (ต่อ)

ขั้นตอน การจัดการเรียนรู้	ปัญหาที่พบ/สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
6. ชี้นำเสนอ วิธีการแก้ปัญหา ผล การแก้ปัญหาหรือ ชิ้นงาน	ในการถ่ายวิดีโอนำเสนอชิ้นงาน ของนักเรียนบางกลุ่ม ไม่มีการ ลำดับเนื้อหาความสำคัญในการ นำเสนอ	- ชั้นนี้ครูควรระบุหัวข้อในการ นำเสนอ ตั้งแต่สถานการณ์ปัญหา การระบุปัญหา การรวบรวมข้อมูล การออกแบบ การวางแผน การ ปฏิบัติงานเพื่อแก้ปัญหา การทดสอบ ผลการประเมิน การปรับปรุง และให้ นักเรียนอธิบายว่าการออกแบบอยู่ บนพื้นฐานของการใช้วิทยาศาสตร์ และคณิตศาสตร์อย่างไร มีเทคโนโลยี อะไรที่ใช้ประโยชน์ในการสร้างงานนี้ เกิดปัญหาอุปสรรคระหว่างสร้างงาน อย่างไร ปรับแก้อย่างไร และผลลัพธ์ สุดท้ายเป็นไปตามเป้าหมายและ ความต้องการหรือไม่

จากการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ทั้ง 3 วงจร  
ปฏิบัติการ พบว่าปัญหาที่พบมีทั้งที่แตกต่างกันและคล้ายคลึงกัน และมีแนวทางแก้ไขปัญหาที่  
หลากหลาย ผู้วิจัยจึงทำการสรุปปัญหาและแนวการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วย  
กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ดังตาราง 8

ตาราง 8 แสดงปัญหาและแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

ขั้นตอนการจัด การเรียนรู้	ปัญหาที่พบ/สาเหตุ			แนวทางแก้ไข ในการจัดการเรียนรู้
	วงจรปฏิบัติการที่ 1	วงจรปฏิบัติการที่ 2	วงจรปฏิบัติการที่ 3	
1. ชั้นระบุปัญหา	การใช้วิดีโอในการนำเข้าสู่ สถานการณ์ตอนแรกใช้ วิดีโอ 2 วิดีโอ จึงใช้ เวลานานส่งผลทำให้ นักเรียนรู้สึกเบื่อ และการ ระดมสมองนักเรียนส่วน ใหญ่ไม่เข้าใจว่าต้องทำ อะไรและไม่สอบถามครู จน แน่ใจว่าทำไม่ได้ถึง สอบถามทำให้เสียเวลา มากในช่วงนี้	ในการระดมสมองนักเรียน ส่วนใหญ่ไม่กล้าแสดง ความคิดเห็นทำให้ใช้ เวลานานส่งผลให้ทำงาน ไม่เสร็จตามเวลาที่กำหนด	ในการระดมสมอง สุดท้าย นักเรียนบางคนมักเลือก ตัดสินใจแสดงความคิดเห็น ตามคนเก่งในกลุ่มไม่ค่อย แสดงความคิดเห็นของ ตนเองเพิ่มเติม	- การใช้สื่อในการนำเข้าสู่สถานการณ์ ต้องมีความกระชับ ชัดเจน ตรงประเด็น หากใช้เป็นวิดีโอต้องมีความเหมาะสม ในเรื่องของเวลาไม่นานจนเกินไป - ครูควรชี้แจงทุกครั้งถึงเป้าหมายในการ ระดมสมองให้กับนักเรียน ว่านักเรียนทุก คนต้องแสดงความคิดเห็นของตนเอง ออกมา นำมาวิเคราะห์ความเหมือน ความต่าง และนำมาสังเคราะห์เป็นของ กลุ่มตนเอง

ตาราง 8 (ต่อ)

ขั้นตอนการจัด การเรียนรู้	ปัญหาที่พบ/สาเหตุ			แนวทางแก้ไข ในการจัดการเรียนรู้
	วงจรปฏิบัติการที่ 1	วงจรปฏิบัติการที่ 2	วงจรปฏิบัติการที่ 3	
2. ขั้นรวบรวมข้อมูล และแนวคิดที่ เกี่ยวข้องกับปัญหา	นักเรียนโหลดแอปพลิเคชัน ใช้เวลานานตลอดจน ปัญหาเรื่องเครือข่าย อินเทอร์เน็ต ส่งผลต่อการ รวบรวมข้อมูลที่จะนำไปใช้ เนื่องจากสนใจเล่น แอปพลิเคชันอย่างเดียว และปัญหาเรื่องสถานที่ใน การทดลองเรื่องเสียง นักเรียนไม่สามารถนำ ข้อมูลการทดลองไปใช้ต่อ ในการสร้างแนวคิด	นักเรียนบางส่วนไม่สนใจ ในการรวบรวมข้อมูลที่จะ นำไปใช้เนื่องจากสนใจลอง โหลดแอปพลิเคชันมา ทดลองไปเรื่อย ๆ สถานที่ ในการทดลองเป็นห้องที่ ไม่ได้เก็บเสียง ทำให้เกิด การรบกวนกันเมื่อต้องใช้ เครื่องมือในการวัดข้อมูล เกี่ยวกับเสียง	สถานที่ในการทดลองเป็น ห้องที่ไม่ได้เก็บเสียง ทำให้ เกิดการรบกวนกันเมื่อต้อง ใช้เครื่องมือในการวัดข้อมูล เกี่ยวกับเสียง	- การจัดการเรียนรู้ที่นำเอาแอปพลิเคชัน เข้ามาใช้ ครูต้องให้นักเรียนโหลด แอปพลิเคชันมาล่วงหน้า ทั้งนี้ครูต้อง เลือกเพียงแอปพลิเคชันเดียวที่เหมาะสม ที่สุดแล้ว แล้วแนะนำหลังจบกิจกรรมว่า มีแอปพลิเคชันอื่นอีกให้ไปศึกษา เพิ่มเติมได้ตามความสนใจ - การจัดการเรียนรู้ เรื่อง เสียง เกี่ยวกับ การวัดค่าต่างๆครูจำเป็นต้องให้นักเรียน ไปทำการทดลองในห้องเก็บเสียง หรือ อย่างน้อยไปทำการทดลองในสถานที่ที่ เงียบที่สุด

ตาราง 8 (ต่อ)

ขั้นตอนการจัด การเรียนรู้	ปัญหาที่พบ/สาเหตุ			แนวทางแก้ไข ในการจัดการเรียนรู้
	วงจรปฏิบัติการที่ 1	วงจรปฏิบัติการที่ 2	วงจรปฏิบัติการที่ 3	
3. ชั้นออกแบบ วิธีการแก้ปัญหา	<p>นักเรียนรู้สึกเบื่อในการฟัง บรรยายการเขียนแบบจาก power point เพราะครูได้ ให้นักเรียนสืบค้นเรื่องการ เขียนแบบที่ถูกต้องไปแล้ว นักเรียนบางกลุ่มในการ เขียนแบบไม่ได้ระบุนขนาด ของชิ้นงาน และระบุ อุปกรณ์ที่ใช้ พื้นที่ในใบ กิจกรรมไม่พอต้องแทรก กระดาษเพิ่ม นักเรียน บางส่วนเข้าใจผิดเกี่ยวกับ การเขียนใบสั่งซื้อไม่คิด ต้นทุนของที่นำมาสร้าง</p>	<p>นักเรียนบางกลุ่มในการ เขียนแบบไม่ได้ระบุนขนาด ของชิ้นงาน และระบุ อุปกรณ์ที่ใช้</p>	<p>นักเรียนบางกลุ่มในการ เขียนแบบไม่ได้ระบุนขนาด ของชิ้นงาน และระบุ อุปกรณ์ที่ใช้</p>	<p>- การจัดการเรียนรู้หากให้นักเรียนสืบค้น ไปแล้ว ครูไม่ควรนำมาสอนซ้ำอีก แต่ ทบทวนความรู้ก่อนทำกิจกรรมก็พอ - การพูดชี้แจงเน้นย้ำก่อนการทำ กิจกรรมบางครั้งไม่เพียงพอ ครูต้องระบุ ลงไปใใบกิจกรรมให้ชัดเจนว่า สิ่ง สำคัญที่นักเรียนห้ามขาดในการเขียน แบบคือต้องระบุนขนาดและวัสดุอุปกรณ์ ที่ใช้สร้างชิ้นงาน นอกจากนั้นใใบ กิจกรรมควรให้พื้นที่กว้างๆ ในการ ออกแบบชิ้นงานของนักเรียน - การเขียนใบสั่งซื้อของ ครูต้องมีราคา สินค้ากลางให้กับนักเรียน</p>

ตาราง 8 (ต่อ)

ขั้นตอนการจัด การเรียนรู้	ปัญหาที่พบ/สาเหตุ			แนวทางแก้ไข ในการจัดการเรียนรู้
	วงจรปฏิบัติการที่ 1	วงจรปฏิบัติการที่ 2	วงจรปฏิบัติการที่ 3	
4. ชั้นวางแผนและ ดำเนินการ แก้ปัญหา	นักเรียนส่วนใหญ่เขียน อธิบายสั้นจนเกินไป บาง กลุ่มมีการใช้คำที่อ่านแล้ว เข้าใจกว่านักเรียนทำ อะไร บางขั้นตอนนักเรียน ดำเนินการแต่ไม่เขียนลงไป ในใบกิจกรรม และการ ดำเนินการสร้างชิ้นงาน นักเรียนไม่สามารถสร้าง ตามแบบที่เขียนออกแบบ มีการปรับเปลี่ยนชิ้นงาน หลังจากสร้างในตอนแรก ในการสร้างชิ้นงานไม่เสร็จ ต้องทำต่อที่บ้าน	นักเรียนบางกลุ่มไม่ สามารถสร้างตามแบบที่ เขียนออกแบบไว้ มีการ ปรับเปลี่ยนชิ้นงานหลังจาก สร้างในตอนแรก ในการสร้างชิ้นงานไม่ สามารถสร้างให้เสร็จ ภายในชั้นเรียนได้ต้อง นำไปทำต่อที่บ้าน	นักเรียนบางกลุ่มไม่ สามารถสร้างตามแบบที่ เขียนออกแบบไว้ มีการ ปรับเปลี่ยนชิ้นงานหลังจาก สร้างในตอนแรก ในการสร้างชิ้นงานไม่ สามารถสร้างให้เสร็จ ภายในชั้นเรียนได้ต้อง นำไปทำต่อที่บ้าน	- ในการให้นักเรียนเขียนอธิบายขั้นตอน การดำเนินการ ครูต้องชี้แจงให้นักเรียน เขียนทุกขั้นตอนลงไป จากนั้นให้ นักเรียนนำมาให้ครูดูก่อนที่จะนำไป ดำเนินการสร้างจริง และในการลงมือ สร้างจริงครูต้องติดตามดูแลเป็นระยะ เนื่องจากในการสร้างชิ้นงานไม่สามารถ สร้างให้เสร็จภายในชั้นเรียนได้ต้องนำไป ทำต่อที่บ้าน ครูต้องติดตาม ความก้าวหน้าของชิ้นงานเป็นระยะ เพื่อให้ข้อเสนอแนะเมื่อนักเรียนเกิด ปัญหาได้

ตาราง 8 (ต่อ)

ขั้นตอนการจัด การเรียนรู้	ปัญหาที่พบ/สาเหตุ			แนวทางแก้ไข ในการจัดการเรียนรู้
	วงจรปฏิบัติการที่ 1	วงจรปฏิบัติการที่ 2	วงจรปฏิบัติการที่ 3	
5. ชั้นทดสอบ ประเมินผล และ ปรับปรุงแก้ไขวิธีการ แก้ปัญหาหรือ ชิ้นงาน	ในการนำชิ้นงานของ นักเรียนมาทดสอบของ นักเรียนบางกลุ่ม ผลคือไม่ เป็นไปตามที่สถานการณ์ กำหนด ไม่สามารถเล่นได้ จริง ต้องกลับไปปรับปรุง ชิ้นงานใหม่	ในการนำชิ้นงานของ นักเรียนมาทดสอบของ นักเรียนบางกลุ่ม ผลคือไม่ เป็นไปตามที่สถานการณ์ กำหนด ไม่สามารถเล่นได้ จริง ต้องกลับไปปรับปรุง ชิ้นงานใหม่	ในการนำชิ้นงานของ นักเรียนมาทดสอบในตอน แรกนั้น ทุกกลุ่มไม่ได้ กำหนดพวกตัวแปรที่อาจมี ผลต่อการเก็บผลข้อมูล ได้แก่ ระยะเวลาในการวัดเสียง จากต้นกำเนิดเสียงในแต่ ละครั้งที่ต้องมีการควบคุม ให้เท่ากันทุกครั้ง นักเรียน บางกลุ่มการตัดสินใจผลการ ทดสอบจากการทดสอบ ด้วยความรู้สึก เช่น รู้สึกว่า เสียงมันเบาลง	- ในการทดสอบชิ้นงาน ครูต้องคอย ควบคุมในเรื่องเกี่ยวกับความน่าเชื่อถือ ของผลการทดสอบของนักเรียนต้องเน้น ย้ำให้เป็นมาตรฐานที่ทุกคนยอมรับ ไม่ สามารถตัดสินใจได้จากความรู้สึกต้องมี ข้อมูลมาสนับสนุนผลการทดสอบ อาจ เป็นข้อมูลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือ ที่มีความน่าเชื่อถือ

ตาราง 8 (ต่อ)

ลำดับ	ขั้นตอนการจัด การเรียนรู้	ปัญหาที่พบ/สาเหตุ			แนวทางแก้ไข ในการจัดการเรียนรู้
		วงจรปฏิบัติการที่ 1	วงจรปฏิบัติการที่ 2	วงจรปฏิบัติการที่ 3	
6.	ขั้นนำเสนอ วิธีการแก้ปัญหา ผล การแก้ปัญหาหรือ ชิ้นงาน	นักเรียนบางส่วนไม่สนใจ ในการนำเสนองานของ เพื่อนหน้าชั้นเรียน นักเรียน มีการคุยกันในขณะที่เพื่อน ทำการนำเสนอ ในการ นำเสนอชิ้นงานหน้าชั้น เรียนของนักเรียนบางกลุ่ม ไม่มีการลำดับเนื้อหา ความสำคัญในการนำเสนอ อาจเกิดจากการตื่นเต้นที่ ต้องนำเสนอหน้าชั้นเรียน จึงทำให้การนำเสนอเกิด ข้อผิดพลาด ไม่ครบถ้วน	ในการถ่ายวิดีโอนำเสนอ ชิ้นงานของนักเรียนบาง กลุ่ม ไม่มีการลำดับเนื้อหา ความสำคัญในการนำเสนอ ไม่ได้ทำการเลือกวิดีโอที่ดี ที่สุด น่าจะเกิดจากการถ่าย เพียงครั้งเดียว	ในการถ่ายวิดีโอนำเสนอ ชิ้นงานของนักเรียนบาง กลุ่ม ไม่มีการลำดับเนื้อหา ความสำคัญในการนำเสนอ	- ชั้นนี้ครูควรระบุหัวข้อในการนำเสนอ ตั้งแต่สถานการณ์ปัญหา การระบุ ปัญหา การรวบรวมข้อมูล การ ออกแบบ การวางแผน การปฏิบัติงาน เพื่อแก้ปัญหา การทดสอบ ผลการ ประเมิน การปรับปรุง และให้นักเรียน อธิบายว่าการออกแบบอยู่บนพื้นฐาน ของการใช้วิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ อย่างไร มีเทคโนโลยีอะไรที่ใช้ประโยชน์ ในการสร้างงานนี้ เกิดปัญหาอุปสรรค ระหว่างสร้างงานอย่างไร ปรับแก้ อย่างไร และผลลัพธ์สุดท้ายเป็นไปตาม เป้าหมายและความต้องการหรือไม่

**การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่องเสียง ที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5**

หลังจากการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมโดยใช้แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมซึ่งทำการประเมินระหว่างการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 6 ขั้นตอน แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมนั้นประเมินโดยดูทั้งหมด 6 พฤติกรรมหลักได้แก่

1. การสร้างความคิด ได้แก่ มีการระบุเงื่อนไข มีการระดมสมองในประเด็นที่กำหนด มีการตรวจสอบความเป็นไปได้ของความคิดว่าสามารถทำได้จริง
2. การออกแบบและการปรับแต่งความคิด ได้แก่ มีการออกแบบชิ้นงานที่แตกต่างกัน มีการเขียนอธิบายรายละเอียดของชิ้นงาน
3. การเปิดกว้างและความกล้าในการสำรวจ ได้แก่ มีการออกแบบที่แปลกใหม่และท้าทายความสามารถของตนเอง
4. การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ ได้แก่ มีการสรุปความคิดของสมาชิกกลุ่มทุกคน มีการเชื่อมโยงความคิดของสมาชิกทุกคนในการออกแบบชิ้นงาน มีการสังเคราะห์จากมุมมองที่แตกต่างกัน
5. การผลิตและสร้างนวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ ได้แก่ มีการระบุรายละเอียดเกี่ยวกับกลุ่มเป้าหมาย มีการวิเคราะห์กลุ่มเป้าหมายเชิงลึก มีการนำวัสดุอุปกรณ์ที่อยู่รอบตัวมาประยุกต์ใช้ในการสร้างชิ้นงาน มีการวางแผนขั้นตอนการทำงานอย่างละเอียด เป็นลำดับขั้นตอนชัดเจน สามารถสร้างชิ้นงานได้ตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ ชิ้นงานเป็นไปตามข้อกำหนด มีการปรับปรุง/เปลี่ยนแปลงชิ้นงานเพื่อให้บรรลุเกณฑ์ที่กำหนดได้สำเร็จ
6. การควบคุมและการสะท้อนตนเอง ได้แก่ มีการปรับปรุง เปลี่ยนแปลงชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงานดีขึ้นตามข้อเสนอแนะจากเพื่อนและครู มีการระบุข้อบกพร่องในการทำงานของกลุ่มพร้อมบอกแนวทางแก้ไข มีการประเมินความสำเร็จของตนเองโดยพิจารณาตามเกณฑ์ที่กำหนด

หลังจากประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมจากแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 แสดงผลการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมจากแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในวงจรปฏิบัติการที่ 1 ดังตาราง 9 วงจรปฏิบัติการที่ 2 ดังตาราง 10 วงจรปฏิบัติการที่ 3 ดังตาราง 11



ตาราง 9 แสดงผลการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมจากแบบประเมิน  
ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5  
ในวงจรปฏิบัติการที่ 1

พฤติกรรม	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ย	ร้อยละ
1. การสร้างความคิด	3.00	2.00	66.67
2. การออกแบบและการปรับแต่งความคิด	2.00	1.40	70.00
3. การเปิดกว้างและความกล้าในการ สำรวจ	1.00	0.40	40.00
4. การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์	3.00	2.40	80.00
5. การผลิตและสร้างนวัตกรรมอย่าง สร้างสรรค์	7.00	4.00	57.14
6. การควบคุมและการสะท้อนตนเอง	3.00	1.60	53.33

จากตาราง 9 พฤติกรรมที่ได้คะแนนมากที่สุด ได้แก่ การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่าง  
สร้างสรรค์มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 80.00 ของคะแนนเต็ม การออกแบบและการปรับแต่ง  
ความคิด มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 70.00 ของคะแนนเต็ม การสร้างความคิดมีคะแนนเฉลี่ยคิด  
เป็นร้อยละ 66.67 ของคะแนนเต็ม การผลิตและสร้างนวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ มีคะแนนเฉลี่ยคิด  
เป็นร้อยละ 57.14 ของคะแนนเต็ม การควบคุมและการสะท้อนตนเอง มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อย  
ละ 53.33 ของคะแนนเต็ม การเปิดกว้างและความกล้าในการสำรวจมีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ  
40.00 ของคะแนนเต็ม

ตาราง 10 แสดงผลการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมจากแบบประเมิน  
ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5  
ในวงจรปฏิบัติการที่ 2

พฤติกรรม	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ย	ร้อยละ
1. การสร้างความคิด	3.00	2.40	80.00
2. การออกแบบและการปรับแต่งความคิด	2.00	1.40	70.00

ตาราง 10 (ต่อ)

พฤติกรรม	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ย	ร้อยละ
3.การเปิดกว้างและความกล้าในการ สำรวจ	1.00	0.50	50.00
4.การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์	3.00	3.00	100.00
5.การผลิตและสร้างนวัตกรรมอย่าง สร้างสรรค์	7.00	5.00	71.42
6.การควบคุมและการสะท้อนตนเอง	3.00	2.40	80.00

จากตาราง 10 พฤติกรรมที่ได้คะแนนมากที่สุด ได้แก่ การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 100.00 ของคะแนนเต็ม การสร้างความคิดและการควบคุมและการสะท้อนตนเอง มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 80.00 ของคะแนนเต็ม การออกแบบและการปรับแต่งความคิด มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 70.00 ของคะแนนเต็ม การผลิตและสร้างนวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 71.42 ของคะแนนเต็ม การเปิดกว้างและความกล้าในการสำรวจมีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 50.00 ของคะแนนเต็ม

ตาราง 11 แสดงผลการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมจากแบบประเมิน  
ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5  
ในวงจรปฏิบัติการที่ 3

พฤติกรรม	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ย	ร้อยละ
1. การสร้างความคิด	3.00	2.60	86.67
2.การออกแบบและการปรับแต่งความคิด	2.00	1.80	90.00
3.การเปิดกว้างและความกล้าในการ สำรวจ	1.00	0.40	40.00
4.การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์	3.00	3.00	100.00
5.การผลิตและสร้างนวัตกรรมอย่าง สร้างสรรค์	7.00	5.40	77.14
6.การควบคุมและการสะท้อนตนเอง	3.00	2.60	86.67

จากตาราง 11 พฤติกรรมที่ได้คะแนนมากที่สุด ได้แก่ การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 100.00 ของคะแนนเต็ม การออกแบบและการปรับแต่งความคิด มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 90.00 ของคะแนนเต็ม การสร้างความคิดและการควบคุมและการสะท้อนตนเอง มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 86.67 ของคะแนนเต็ม การผลิตและสร้างนวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 77.14 ของคะแนนเต็ม การเปิดกว้างและความกล้าในการสำรวจมีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 40.00 ของคะแนนเต็ม

หลังจากการจัดการเรียนรู้ แยกคะแนนการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ใน 6 พฤติกรรม ทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการเป็นรายกลุ่ม แสดงผลดังตาราง 12

ตาราง 12 แสดงผลคะแนนความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ใน 6 พฤติกรรม ทั้ง 3 วงจรปฏิบัติการแบ่งรายกลุ่ม

พฤติกรรม	กลุ่ม 1			กลุ่ม 2			กลุ่ม 3			กลุ่ม 4			กลุ่ม 5		
	วงจรที่			วงจรที่			วงจรที่			วงจรที่			วงจรที่		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1. การสร้างความคิด (คะแนนเต็ม 3 คะแนน)	3	3	3	3	3	3	2	2	3	1	2	2	1	2	2
2. การออกแบบและการ ปรับแต่งความคิด (คะแนนเต็ม 2 คะแนน)	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1
3. การเปิดกว้างและความ กล้าใน การสำรวจ (คะแนนเต็ม 1 คะแนน)	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4. การทำงานร่วมกับผู้อื่น อย่างสร้างสรรค์ (คะแนนเต็ม 3 คะแนน)	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3	2	3	3
5. การผลิตและสร้าง นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ (คะแนนเต็ม 7 คะแนน)	5	6	6	6	6	6	3	5	5	3	4	5	3	4	5

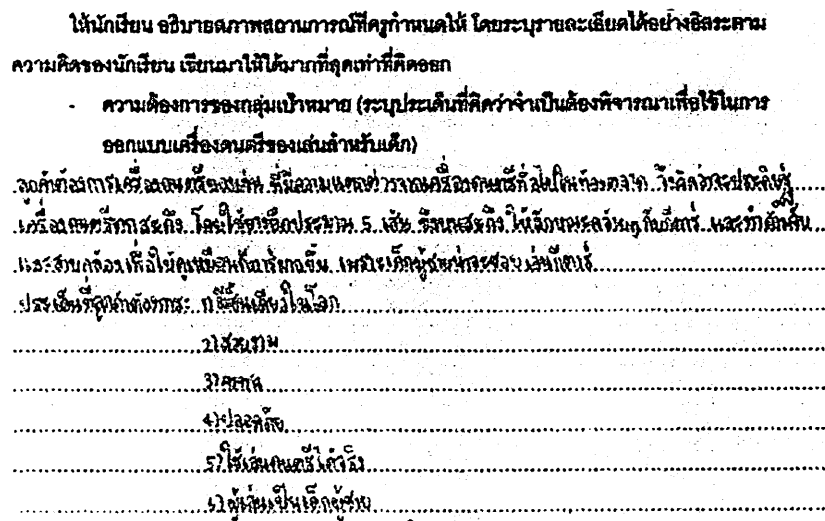
ตาราง 12 (ต่อ)

พฤติกรรม	กลุ่ม 1			กลุ่ม 2			กลุ่ม 3			กลุ่ม 4			กลุ่ม 5		
	วงจรรถิ			วงจรรถิ			วงจรรถิ			วงจรรถิ			วงจรรถิ		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
6. การควบคุมและการ สะท้อนตนเอง (คะแนนเต็ม 3 คะแนน)	2	3	3	2	3	3	1	2	2	1	2	2	2	2	3
รวม	16	18	18	17	18	18	10	14	15	8	12	14	9	12	14

จากตาราง 12 พบว่านักเรียนทุกกลุ่มมีแนวโน้มคะแนนรวมทุกพฤติกรรมเพิ่มขึ้น นักเรียนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีคะแนนรวม 18 คะแนนจากคะแนนเต็ม 19 คะแนน นักเรียนกลุ่มที่ 3 มีคะแนนรวม 15 คะแนนจากคะแนนเต็ม 19 คะแนน นักเรียนกลุ่มที่ 4 และกลุ่มที่ 5 มีคะแนนรวม 14 คะแนนจากคะแนนเต็ม 19 คะแนนในวงจรรถิปฏิบัติกรที่ 3

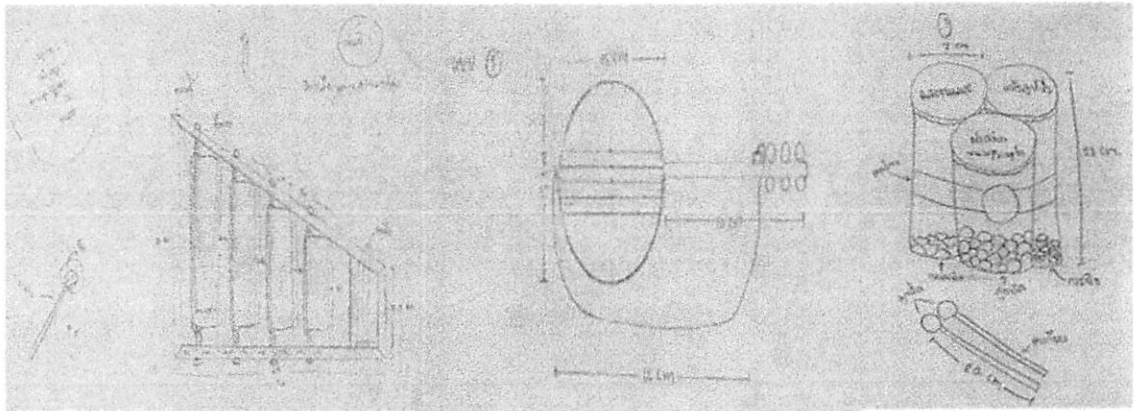
คะแนนความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จากใบกิจกรรมมีรายละเอียดดังนี้

1. การสร้างความคิด ต้องมีการระบุเงื่อนไขครบถ้วนได้แก่ เป็นเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก มีความแตกต่างจากเครื่องดนตรีของเล่นทั่วไป มีขึ้นเดียวในโลก มีความสวยงาม คงทน และปลอดภัย และสามารถเล่นได้จริงดังแสดงได้ดังตัวอย่างคำตอบดังภาพ 1



ภาพ 1 แสดงการสร้างความคิดของนักเรียนกลุ่มที่ 1 (ใบกิจกรรมที่ 1 , 18 กุมภาพันธ์ 2562 )

2. การออกแบบและการปรับแต่งความคิด การเปิดกว้างและความกล้าในการสำรวจ และการผลิตและสร้างนวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ นักเรียนทุกกลุ่มจะได้ทำการออกแบบออกแบบชิ้นงานที่แตกต่างกันจำนวน 3 แบบและมีการเขียนอธิบายรายละเอียดของชิ้นงานโดยระบุ ขนาด วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างชิ้นงาน แสดงดังภาพ 2



ภาพ 2 แสดงการออกแบบและการปรับแต่งความคิดของนักเรียน  
(ใบกิจกรรมที่ 1 , 18 กุมภาพันธ์ 2562 )

จากภาพ 2 แสดงการออกแบบและการปรับแต่งความคิดของนักเรียนทุกกลุ่มจะมีการออกแบบ 3 แบบตามที่กำหนด ในการเขียนแบบบางกลุ่มมีการระบุขนาดและวัสดุอุปกรณ์ที่จะใช้ในการสร้างอย่างชัดเจน บางกลุ่ม บางกลุ่มมีการระบุขนาดและวัสดุอุปกรณ์ที่จะใช้ในการสร้างอย่างชัดเจนแต่ไม่ครบทุกแบบที่ได้ออกแบบไว้ บางกลุ่มมีเพียงการระบุขนาดเพียงอย่างเดียวไม่ได้บอกวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้

3. การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ นักเรียนมีการสรุปความคิดของสมาชิกกลุ่มทุกคน มีการเชื่อมโยงความคิดของสมาชิกทุกคนในการออกแบบชิ้นงาน มีการสังเคราะห์จากมุมมองที่แตกต่างของสมาชิก นักเรียนต้องบันทึกการระดมสมองของสมาชิกทุกคนในกลุ่มลงในกระดาษ โดยตัวอย่างการระดมสมองของนักเรียนกลุ่มที่ 1 ดังนี้

นักเรียนคนที่ 1 : เราทำเป็นชุดแบบที่มีปลอกแขน แล้วเวลาเขย่าจะมีเสียงดีไหม มันเป็นที่เขย่าแขนแล้วมีเสียง แบบใส่เมล็ดอะไรเข้าไป เหมือนของเล่นที่เป็นปลอกแขน เด็กจะได้ใส่แล้วเขย่า

นักเรียนคนที่ 2 : ของนักเรียนคนที่ 1 มันไม่ได้ใส่แล้วเล่นออกมาเป็นเพลงได้นะ เหมือนเป็นของเล่นแต่ไม่ใช่เครื่องดนตรี

นักเรียนคนที่ 3 : นัสนลิ ยากที่จะทำให้เสียงมันแตกต่างกัน

นักเรียนคนที่ 4 : ทำเป็นเครื่องสายดีไหม เพราะดูทำได้จริง และน่าจะเหมาะกับเด็กผู้ชาย  
ด้วย พวกก็ตาร์อะไรแบบนี้ และเด็กผู้ชายน่าจะชอบพวกสีฟ้า สีน้ำเงิน

นักเรียนคนที่ 1 : เห็นด้วยนะ แล้วขอเสนอสะตั้ง ในการทำน่าจะทำได้ง่าย

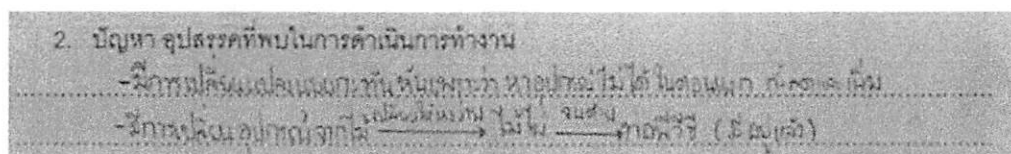
นักเรียนคนที่ 2 : เห็นด้วยนะ แล้วเพิ่มที่เขาให้มีเสียงดีไหม เป็นตรงด้ามจับของสะตั้งใหม่

นักเรียนคนที่ 3 : ดีเลย ใช้เป็นกระดิ่งเวลาเขย่าจะได้เกิดเสียง

จากการบันทึกการระดมสมองของนักเรียน นักเรียนมีการวิเคราะห์ถึงกลุ่มเป้าหมาย ที่  
ระบุว่าเป็นเด็กผู้ชาย คำนี้ถึงสีที่นำมาใช้ มีการเสนอความคิดของสมาชิกในกลุ่มพร้อมเพิ่มเติม  
หรือแก้ไขเพื่อนำมาสู่ข้อสรุปภายในกลุ่ม

จากตัวอย่างการบันทึกการระดมสมองของนักเรียนกลุ่มที่ 1 พบว่านักเรียนมีการวิเคราะห์  
ความต้องการของลูกค้าจากที่ระบุว่าเป็นเด็กผู้ชาย ควรเป็นของลักษณะใด มีการเพิ่มเติมต่อยอด  
ความคิดของสมาชิกในกลุ่มให้ดียิ่งขึ้น และมีการให้เหตุผลเมื่อไม่เห็นด้วยกับสมาชิกคนอื่น

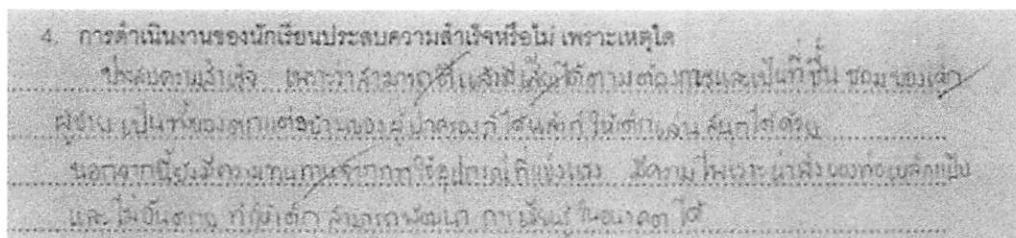
4. การควบคุมและการสะท้อนตนเอง มีการระบุข้อบกพร่องในการทำงานของกลุ่มพร้อม  
บอกแนวทางแก้ไขดังภาพ มีการประเมินความสำเร็จของตนเองโดยพิจารณาดังภาพ ตามเกณฑ์ที่  
กำหนด แสดงดังภาพ 3 และ ภาพ 4



ภาพ 3 แสดงการควบคุมและการสะท้อนตนเองของนักเรียนกลุ่มที่ 1

(ใบกิจกรรมที่ 1 , 18 กุมภาพันธ์ 2562 )

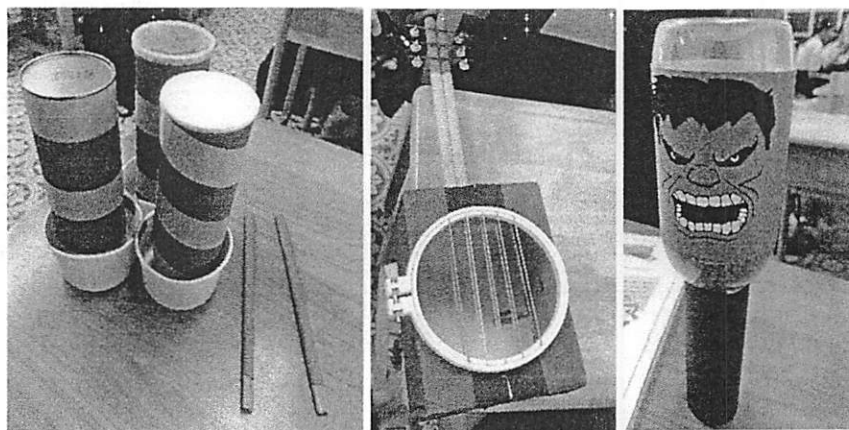
จากภาพ 3 นักเรียนมีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ใช้ซึ่งได้วางแผนไว้ในตอนแรก พร้อมระบุ  
เหตุผลประกอบการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ที่ใช้ และยอมรับว่าเป็นอุปสรรคในการดำเนินการทำงาน  
ของตนเอง



ภาพ 4 แสดงการควบคุมและการสะท้อนตนเองของนักเรียนกลุ่มที่ 1  
 (ใบกิจกรรมที่ 1 , 18 กุมภาพันธ์ 2562 )

จากภาพ 4 นักเรียนมีการประเมินความสำเร็จของตนเอง พร้อมระบุเหตุผลประกอบได้  
 ครบถ้วน โดยระบุซึ่งข้อกำหนดต่างๆที่สถานการณ์กำหนดไว้

5. การผลิตและสร้างนวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ นักเรียนจะต้องมีการนำวัสดุอุปกรณ์ที่อยู่  
 รอบตัวมาประยุกต์ใช้ในการสร้างชิ้นงาน สามารถสร้างชิ้นงานได้ตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ และ  
 ชิ้นงานเป็นไปตามข้อกำหนดทั้งหมด แสดงภาพตัวอย่างชิ้นงานดังภาพ 5



ภาพ 5 แสดงตัวอย่างชิ้นงานของนักเรียนประกอบด้วย  
 กลองชุด กีตาร์ ขวดเขย่าจากวงจรปฏิบัติการที่ 1

จากภาพ 5 แสดงตัวอย่างชิ้นงานของนักเรียนประกอบด้วย กลองชุด กีตาร์ ขวดเขย่า  
 นักเรียนแสดงพฤติกรรมด้านการผลิตและสร้างนวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ โดยการนำวัสดุอุปกรณ์ที่  
 อยู่รอบตัวมาประยุกต์ใช้ได้แก่ กระป๋องนม กล้องกระดาษเหลือใช้ ขวดน้ำพลาสติกในการสร้าง  
 ชิ้นงาน และสามารถสร้างชิ้นงานออกมาตามที่สถานการณ์กำหนดได้

ดังนั้นจากการศึกษาการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเรื่องเสียง ที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยโดยเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ผู้วิจัยพบว่าแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเรื่องเสียง ควรมีลักษณะของขั้นตอนการจัดกิจกรรม ดังต่อไปนี้

### ขั้นที่ 1 ขั้นระบุปัญหา

ในขั้นนี้ก่อนนำเข้าสู่สถานการณ์ที่กำหนดให้ ครูต้องสร้างความตระหนัก แรงจูงใจ และทำให้นักเรียนเห็นถึงความสำคัญของปัญหาหรือความต้องการที่นักเรียนกำลังจะพบเจอในสถานการณ์ ไม่ว่าจะใช้วิธีใดในการนำเข้าสู่สถานการณ์ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่ง เพราะสามารถดึงความสนใจของนักเรียนได้เป็นอย่างดีหรือจะเป็นวิธีอื่นก็ได้ ในการกำหนดสถานการณ์ ต้องใช้คำที่มีความสั้น กระชับ เข้าใจง่าย นักเรียนทุกคนสามารถอ่านแล้วแปลความหมายได้ตรงกัน มีการกำหนดเงื่อนไขชัดเจนเพื่อสร้างความท้าทายให้กับนักเรียน โดยที่สถานการณ์ต้องมีความเหมาะสมกับนักเรียน นักเรียนจะได้วิเคราะห์สถานการณ์ที่กำหนดให้ และต้องสามารถระบุความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย ข้อกำหนดและข้อจำกัดต่างๆของสถานการณ์ได้

### ขั้นที่ 2 ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

ในขั้นนี้นักเรียนจะได้วิเคราะห์ถึงบริบทของสถานการณ์ เช่น ความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย ข้อกำหนด ข้อจำกัด ผ่านการระดมสมอง โดยครูต้องกำหนดเป้าหมายให้ชัดเจนว่าการระดมสมองต้องการให้นักเรียนได้อะไร และต้องทำอะไรบ้าง เช่น สมาชิกทุกคนต้องแสดงความคิดเห็น มีการวิเคราะห์ความเหมือนและความแตกต่างของความคิดเห็นของสมาชิก และสร้างข้อสรุปภายในกลุ่มซึ่งนำไปสู่การสร้างชิ้นงานต่อไป นักเรียนจะได้รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมาสู่การบรรลุเป้าหมายตามที่สถานการณ์กำหนด โดยนักเรียนจะได้สืบค้นเกี่ยวกับข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ โดยดูว่ามีใครเคยทำมาก่อนหรือไม่ ทำอย่างไร ผลเป็นอย่างไร เราจะสามารถนำมาปรับใช้กับชิ้นงานของเราได้หรือไม่ บางครั้งอาจต้องไปปรึกษาผู้ที่มีความถนัดในด้านนั้นๆ ครูต้องทำการตรวจสอบการรวบรวมข้อมูลและความเข้าใจต่อข้อมูลที่รวบรวมมาของนักเรียนว่าเพียงพอที่จะนำไปสร้างชิ้นงานต่อไปหรือไม่ อย่างไร

### ขั้นที่ 3 ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา

ในขั้นนี้นักเรียนได้ออกแบบชิ้นงานโดยพิจารณาจากความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย ข้อกำหนด ข้อจำกัดของสถานการณ์เป็นหลัก นอกจากนั้นนักเรียนจะต้องระดมสมองถึงการออกแบบชิ้นงานที่จะบรรลุเป้าหมาย ความเป็นไปได้ในหลายๆด้านไม่ว่าจะเป็น สามารถสร้างได้จริงหรือไม่ ระยะเวลา ราคาต้นทุน ความแข็งแรง คงทน และมีความแปลกใหม่ไม่ซ้ำใคร โดย



นักเรียนต้องสร้างทางเลือกที่จะนำไปสู่การบรรลุเป้าหมายตามที่สถานการณ์กำหนด นักเรียนได้ฝึกการเขียนแบบเพื่อแสดงถึงรูปแบบที่ถูกออกแบบมาจากสมาชิกภายในกลุ่ม โดยแบบนั้นต้องมีการระบุขนาดและวัสดุอุปกรณ์ที่จะนำมาสร้างชิ้นงานให้ชัดเจน สามารถเป็นตัวแทนแนวคิดที่แสดงให้เข้าใจชิ้นงานได้ว่ามีลักษณะเป็นเช่นไร นักเรียนได้ทำการเลือกแบบที่ดีที่สุดของกลุ่มตนเองเพื่อนำไปสร้างเป็นชิ้นงานต่อไป โดยต้องสามารถระบุเหตุผลในการเลือกแบบที่นำไปใช้ได้ ว่าคำนึงถึงปัจจัยใดบ้าง

#### ขั้นที่ 4 ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา

ในขั้นตอนนี้นักเรียนได้วางแผนขั้นตอนการดำเนินการ ว่าตนเองต้องทำอะไรก่อนหลัง เพื่อเป็นแนวทางในการทำงานของนักเรียน เป็นการฝึกให้นักเรียนรู้จักการวางแผนปฏิบัติการโดยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น การกำหนดตารางเวลาในการทำงานของกลุ่ม ระยะเวลาในการทำงาน ภาระหน้าที่ของแต่ละบุคคล นักเรียนได้เขียนอธิบายขั้นตอนการดำเนินการของตนเองเพื่อสื่อสารให้ผู้อื่นเข้าใจได้ นักเรียนได้ทำการดำเนินการตามแผนที่วางไว้ ครูต้องให้นักเรียนรายงานความคืบหน้าของงานรวมทั้งปัญหา อุปสรรคที่นักเรียนพบ หากมีการปรับเปลี่ยนแผนในการสร้างชิ้นงานต้องแจ้งให้ครูทราบก่อนดำเนินการทุกครั้ง

#### ขั้นที่ 5 ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

ในขั้นตอนนี้นักเรียนได้ทำการเลือกวิธีการทดสอบชิ้นงานที่มีความเหมาะสมเพื่อให้บรรลุเป้าหมายตามที่สถานการณ์กำหนด นักเรียนได้ทำการประเมินผลชิ้นงานของกลุ่มตนเองว่าบรรลุเป้าหมายตามที่สถานการณ์กำหนดหรือไม่ อย่างไร นักเรียนได้ทำการปรับปรุงชิ้นงานให้ดียิ่งขึ้น การปรับปรุงอาจมาจากนำข้อเสนอแนะของครู เพื่อนกลุ่มอื่น หรือสมาชิกภายในกลุ่ม

#### ขั้นที่ 6 ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

ในขั้นนี้นักเรียนนำเสนอ อย่างเป็นขั้นตอน ตั้งแต่สถานการณ์ปัญหา การระบุปัญหา การรวบรวมข้อมูล การออกแบบ การวางแผน การปฏิบัติงานเพื่อแก้ปัญหา การทดสอบ ผลการประเมิน การปรับปรุง โดยเฉพาะอย่างยิ่งขั้นตอนของการทำความเข้าใจสถานการณ์ว่าอะไรคือเป้าหมาย อะไรคือความต้องการ อะไรเป็นข้อจำกัดของการสร้างงาน การรวบรวมข้อมูลทำให้เรียนรู้อะไร การออกแบบอยู่บนพื้นฐานของการใช้วิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์อย่างไร มีเทคโนโลยีอะไรที่ใช้ประโยชน์ในการสร้างงานนี้ เกิดปัญหาอุปสรรคระหว่างสร้างงานอย่างไร ปรับแก้อย่างไร และผลลัพธ์สุดท้ายเป็นไปตามเป้าหมายและความต้องการหรือไม่ ประการสำคัญจะต้องให้นักเรียนลงข้อสรุปให้ผู้ฟังเห็นชัดเจนว่า วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และ เทคโนโลยีนำมาใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตจริงได้

นอกจากนี้การศึกษาการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการ ออกแบบเชิงวิศวกรรมเรื่องเสียง หลังจากการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมโดยใช้แบบ ประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมซึ่งทำการประเมินระหว่างการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 6 ขั้นตอน แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมนั้นประเมินโดยดูทั้งหมด 6 พฤติกรรมหลัก ในวงจรปฏิบัติการที่ 1-3

ในวงจรปฏิบัติการที่ 1 พฤติกรรมที่ได้คะแนนมากที่สุด ได้แก่ การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่าง สร้างสรรค์ และการควบคุมและการสะท้อนตนเอง มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 75.00 ของคะแนน เต็ม การสร้างความคิดมีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 66.67 ของคะแนนเต็ม การผลิตและสร้าง นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 64.29 ของคะแนนเต็ม การออกแบบและ การปรับแต่งความคิด มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 62.50 ของคะแนนเต็ม การเปิดกว้างและ ความกล้าในการสำรวจมีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 50.00 ของคะแนนเต็ม

ในวงจรปฏิบัติการที่ 2 พฤติกรรมที่ได้คะแนนมากที่สุด ได้แก่ การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่าง สร้างสรรค์ มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 100.00 ของคะแนนเต็ม การสร้างความคิดและการ ควบคุมและการสะท้อนตนเองมีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 83.33 ของคะแนนเต็ม การผลิตและ สร้างนวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 78.57 ของคะแนนเต็ม การออกแบบ และการปรับแต่งความคิด มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 75.00 ของคะแนนเต็ม การเปิดกว้างและ ความกล้าในการสำรวจมีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 50.00 ของคะแนนเต็ม

ในวงจรปฏิบัติการที่ 3 พฤติกรรมที่ได้คะแนนมากที่สุด ได้แก่ การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่าง สร้างสรรค์ มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 100.00 ของคะแนนเต็ม การผลิตและสร้างนวัตกรรม อย่างสร้างสรรค์ มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 85.71 ของคะแนนเต็ม การสร้างความคิดและการ ควบคุมและการสะท้อนตนเองมีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 83.33 ของคะแนนเต็ม การออกแบบ และการปรับแต่งความคิด มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 75.00 ของคะแนนเต็ม การเปิดกว้างและ ความกล้าในการสำรวจมีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 50.00 ของคะแนนเต็ม

ผลการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม คะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นในทุกพฤติกรรม โดยพฤติกรรมที่ได้คะแนนมากที่สุด คือ การทำงานกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ในทุกวงจรปฏิบัติการ พฤติกรรมที่มีคะแนนน้อยที่สุดได้แก่ การเปิดกว้างและความกล้าในการสำรวจ

## บทที่ 5

### บทสรุป

การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสี่ยง ที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการซึ่งมีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสี่ยง สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 และเพื่อศึกษาความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสี่ยง ผู้วิจัยขอสรุปผลการวิจัยดังต่อไปนี้

1. สรุปผลการวิจัย
2. อภิปรายผลการวิจัย
3. ข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการวิจัย

ผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเรื่อง เสี่ยง ที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ผู้วิจัยสามารถสรุปผลได้โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเรื่อง เสี่ยง ที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเรื่อง เสี่ยง ที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีแนวทางการจัดการเรียนรู้ 6 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

#### ขั้นที่ 1 ขั้นระบุปัญหา

ในขั้นนี้ก่อนนำเข้าสู่สถานการณ์ที่กำหนดให้ ครูต้องสร้างความตระหนัก แรงจูงใจ และทำให้นักเรียนเห็นถึงความสำคัญของปัญหาหรือความต้องการที่นักเรียนกำลังจะพบเจอในสถานการณ์ ไม่ว่าจะใช้วิดีโอในการนำเข้าสู่สถานการณ์ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่ง เพราะสามารถดึงความสนใจของนักเรียนได้เป็นอย่างดีหรือจะเป็นวิธีอื่นก็ได้ ในการกำหนดสถานการณ์ ต้องใช้คำที่

มีความสั้น กระชับ เข้าใจง่าย นักเรียนทุกคนสามารถอ่านแล้วแปลความหมายได้ตรงกัน มีการกำหนดเงื่อนไขชัดเจนเพื่อสร้างความท้าทายให้กับนักเรียน โดยที่สถานการณ์ต้องมีความเหมาะสมกับนักเรียน นักเรียนจะได้วิเคราะห์สถานการณ์ที่กำหนดให้ และต้องสามารถระบุความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย ข้อกำหนดและข้อจำกัดต่างๆของสถานการณ์ได้

### ขั้นที่ 2 ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

ในขั้นนี้ นักเรียนจะได้วิเคราะห์ถึงบริบทของสถานการณ์ เช่น ความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย ข้อกำหนด ข้อจำกัด ผ่านการระดมสมอง โดยครูต้องกำหนดเป้าหมายให้ชัดเจนว่าการระดมสมองต้องการให้นักเรียนทำอะไร และต้องทำอะไรบ้าง เช่น สมาชิกทุกคนต้องแสดงความคิดเห็น มีการวิเคราะห์ความเหมือนและความแตกต่างของความคิดเห็นของสมาชิก และสร้างข้อสรุปภายในกลุ่มซึ่งนำไปสู่การสร้างชิ้นงานต่อไป นักเรียนจะได้รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมาสู่การบรรลุเป้าหมายตามที่สถานการณ์กำหนด โดยนักเรียนจะได้สืบค้นเกี่ยวกับข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ โดยดูว่ามีใครเคยทำมาก่อนหรือไม่ ทำอย่างไร ผลเป็นอย่างไร เราจะสามารถนำมาปรับใช้กับชิ้นงานของเราได้หรือไม่ บางครั้งอาจต้องไปปรึกษาผู้ที่มีความถนัดในด้านนั้นๆ ครูต้องทำการตรวจสอบการรวบรวมข้อมูลและความเข้าใจต่อข้อมูลที่รวบรวมมาของนักเรียนว่าเพียงพอที่จะนำไปสร้างชิ้นงานต่อไปหรือไม่ อย่างไร

### ขั้นที่ 3 ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา

ในขั้นนี้ นักเรียนได้ออกแบบชิ้นงานโดยพิจารณาจากความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย ข้อกำหนด ข้อจำกัดของสถานการณ์เป็นหลัก นอกจากนั้นนักเรียนจะต้องระดมสมองถึงการออกแบบชิ้นงานที่จะบรรลุเป้าหมาย ความเป็นไปได้ในหลายๆด้านไม่ว่าจะเป็น สามารถสร้างได้จริงหรือไม่ ระยะเวลา ราคาต้นทุน ความแข็งแรง คงทน และมีความแปลกใหม่ไม่ซ้ำใคร โดยนักเรียนต้องสร้างทางเลือกที่จะนำไปสู่การบรรลุเป้าหมายตามที่สถานการณ์กำหนด นักเรียนได้ฝึกการเขียนแบบเพื่อแสดงถึงรูปแบบที่ถูกออกแบบมาจากสมาชิกภายในกลุ่ม โดยแบบนั้นต้องมีการระบุขนาดและวัสดุอุปกรณ์ที่จะนำมาสร้างชิ้นงานให้ชัดเจน สามารถเป็นตัวแทนแนวคิดที่แสดงให้เข้าใจชิ้นงานได้ว่ามีลักษณะเป็นเช่นไร นักเรียนได้ทำการเลือกแบบที่ดีที่สุดของกลุ่มตนเองเพื่อนำไปสร้างเป็นชิ้นงานต่อไป โดยต้องสามารถระบุเหตุผลในการเลือกแบบที่นำไปใช้ได้ ว่าคำนึงถึงปัจจัยใดบ้าง

### ขั้นที่ 4 ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา

ในขั้นตอนนี้ นักเรียนได้วางแผนขั้นตอนการดำเนินการ ว่าตนเองต้องทำอะไรก่อนหลัง เพื่อเป็นแนวทางในการทำงานของนักเรียน เป็นการฝึกให้นักเรียนรู้จักการวางแผนปฏิบัติการโดยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น การกำหนดตารางเวลาในการทำงานของกลุ่ม ระยะเวลาในการ

ทำงาน ภาระหน้าที่ของแต่ละบุคคล นักเรียนได้เขียนอธิบายขั้นตอนการดำเนินการของตนเองเพื่อสื่อสารให้ผู้อื่นเข้าใจได้ นักเรียนได้ทำการดำเนินการตามแผนที่วางไว้ ครูต้องให้นักเรียนรายงานความคืบหน้าของงานรวมทั้งปัญหา อุปสรรคที่นักเรียนพบ หากมีการปรับเปลี่ยนแผนในการสร้างชิ้นงานต้องแจ้งให้ครูทราบก่อนดำเนินการทุกครั้ง

#### ขั้นที่ 5 ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

ในขั้นตอนนี้ นักเรียนได้ทำการเลือกวิธีการทดสอบชิ้นงานที่มีความเหมาะสมเพื่อให้บรรลุเป้าหมายตามที่สถานการณีกำหนด นักเรียนได้ทำการประเมินผลชิ้นงานของกลุ่มตนเองว่าบรรลุเป้าหมายตามที่สถานการณีกำหนดหรือไม่ อย่างไร นักเรียนได้ทำการปรับปรุงชิ้นงานให้ดียิ่งขึ้น การปรับปรุงอาจมาจากนำข้อเสนอแนะของครู เพื่อนกลุ่มอื่น หรือสมาชิกภายในกลุ่ม

#### ขั้นที่ 6 ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

ในขั้นนี้ นักเรียนนำเสนอ อย่างเป็นขั้นตอน ตั้งแต่สถานการณปัญหา การระบุปัญหา การรวบรวมข้อมูล การออกแบบ การวางแผน การปฏิบัติงานเพื่อแก้ปัญหา การทดสอบ ผลการประเมิน การปรับปรุง โดยเฉพาะอย่างยิ่งขั้นตอนของการทำความเข้าใจสถานการณว่าอะไรคือเป้าหมาย อะไรคือความต้องการ อะไรเป็นข้อจำกัดของการสร้างงาน การรวบรวมข้อมูลทำให้เรียนรู้อะไร การออกแบบอยู่บนพื้นฐานของการใช้วิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์อย่างไร มีเทคโนโลยีอะไรที่ใช้ประโยชน์ในการสร้างงานนี้ เกิดปัญหาอุปสรรคระหว่างสร้างงานอย่างไร ปรับแก้อย่างไร และผลลัพธ์สุดท้ายเป็นไปตามเป้าหมายและความต้องการหรือไม่ ประการสำคัญจะต้องให้นักเรียนลงข้อสรุปให้ผู้ฟังเห็นชัดเจนว่า วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และ เทคโนโลยีนำมาใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตจริงได้

### 2. ผลความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่จัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

หลังจากการประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมโดยใช้แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมซึ่งทำการประเมินระหว่างการจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 6 ขั้นตอน แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมนั้นประเมินโดยดูทั้งหมด 6 พฤติกรรมหลักในวงจรปฏิบัติการที่ 1-3

ในวงจรปฏิบัติการที่ 1 พฤติกรรมที่ได้คะแนนมากที่สุด ได้แก่ การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ และการควบคุมและการสะท้อนตนเอง มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 75.00 ของคะแนนเต็ม การสร้างความคิดมีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 66.67 ของคะแนนเต็ม การผลิตและสร้างนวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 64.29 ของคะแนนเต็ม การออกแบบและ

การปรับแต่งความคิด มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 62.50 ของคะแนนเต็ม การเปิดกว้างและความกล้าในการสำรวจมีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 50.00 ของคะแนนเต็ม

ในวงจรปฏิบัติการที่ 2 พฤติกรรมที่ได้คะแนนมากที่สุด ได้แก่ การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 100.00 ของคะแนนเต็ม การสร้างความคิดและการควบคุมและการสะท้อนตนเองมีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 83.33 ของคะแนนเต็ม การผลิตและสร้างนวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 78.57 ของคะแนนเต็ม การออกแบบและการปรับแต่งความคิด มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 75.00 ของคะแนนเต็ม การเปิดกว้างและความกล้าในการสำรวจมีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 50.00 ของคะแนนเต็ม

ในวงจรปฏิบัติการที่ 3 พฤติกรรมที่ได้คะแนนมากที่สุด ได้แก่ การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 100.00 ของคะแนนเต็ม การผลิตและสร้างนวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 85.71 ของคะแนนเต็ม การสร้างความคิดและการควบคุมและการสะท้อนตนเองมีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 83.33 ของคะแนนเต็ม การออกแบบและการปรับแต่งความคิด มีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 75.00 ของคะแนนเต็ม การเปิดกว้างและความกล้าในการสำรวจมีคะแนนเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 50.00 ของคะแนนเต็ม

## อภิปรายผล

ผลการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมโดยใช้การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสี่ยง สำหรับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

1. แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสี่ยง สำหรับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ขั้นระบุปัญหา ครูต้องสร้างความตระหนัก แรงจูงใจ และทำให้นักเรียนเห็นถึงความสำคัญของปัญหาหรือความต้องการที่นักเรียนกำลังจะพบเจอในสถานการณ์ มีการกำหนดเงื่อนไขชัดเจนเพื่อสร้างความท้าทายให้กับนักเรียน นักเรียนจะได้วิเคราะห์สถานการณ์ที่กำหนดให้ทำให้นักเรียนได้สร้างแนวคิดเพื่อนำไปสู่การบรรลุเป้าหมายเป็นหนึ่งในพฤติกรรมที่ต้องการให้เกิดสอดคล้องกับ จรรยาพจน์ ชลสินธุ์ (2561) ที่กล่าวว่า ในการระบุปัญหาต้องสร้างสถานการณ์ที่สอดคล้องกับชีวิตจริงของนักเรียนและสอดคล้องกับเนื้อหาวิชา ซึ่งสถานการณ์ที่กำหนดขึ้นนั้น จะส่งเสริมให้นักเรียนได้ร่วมกันวิเคราะห์ นำไปสู่การกำหนดเป้าหมายตลอดจนแนวทางการแก้ปัญหาพร้อมกัน

ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา นักเรียนต้องได้วิเคราะห์ถึงบริบท ความต้องการ เป้าหมาย ข้อจำกัดของสถานการณ์ผ่านการระดมสมอง สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับ สถานการณ์ สอดคล้องกับ วิจารณ์ พานิช (2556) ที่กล่าวว่า การจะเกิดทักษะการคิดอย่าง สร้างสรรค์ ต้องใช้เทคนิคสร้างมุมมองหลากหลายเทคนิค เช่น การระดมความคิด (brainstorming) สร้างมุมมองแปลกใหม่ ทั้งที่เป็นการปรับปรุงเล็กน้อยจากของเดิม หรือเป็นหลักการที่แหวกแนว โดยสิ้นเชิง ชักชวนกันทำความเข้าใจ ปรับปรุง วิเคราะห์ และประเมิน มุมมองของตนเอง เพื่อ พัฒนาความเข้าใจเกี่ยวกับการคิดอย่างสร้างสรรค์

ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา ในขั้นนี้นักเรียนจะได้ออกแบบชิ้นงานหลากหลาย เพื่อเลือก ชิ้นงานที่ดีที่สุดไปสู่การบรรลุเป้าหมายของสถานการณ์สอดคล้อง สิริรักษา กิจเกื้อกูล (2558) ที่ กล่าวว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นส่งเสริมให้ผู้เรียน ทุกคนสามารถสร้างสรรค์ชิ้นงานและมีทักษะในการออกแบบ และคิดหาวิธีแก้ปัญหาได้ตามสภาพ จริง

ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา นักเรียนต้องได้วางแผนขั้นตอนการดำเนินการ โดย ครูผู้สอนต้องตรวจสอบการวางแผนการดำเนินงานว่าใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์หรือไม่ สอดคล้องกับสุทธิดา กาวีมี(2560) ที่กล่าวว่า กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม เป็นกระบวนการ ทำงานที่จะช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจถึงการทำงานอย่างเป็นขั้นตอน รู้จักการวางแผน การแก้ปัญหา เข้าใจถึงกระบวนการที่ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ใหม่ของวิศวกร ที่ต้องมีการวางแผนการทำงาน การปรับปรุงแก้ไขการคิดค้นแนวทางที่หลากหลายเพื่อทดสอบวิธีแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุด

ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน นักเรียนต้องเลือก วิธีการทดสอบชิ้นงานที่มีความเหมาะสม ทำการประเมินผลชิ้นงาน ปรับปรุงชิ้นงานให้ดียิ่งขึ้น สอดคล้องกับ วิจารณ์ พานิช (2556) ที่กล่าวว่า การเปิดใจยอมรับและตอบสนองต่อมุมมองใหม่ ๆ ทำได้โดยฟังข้อคิดเห็นจากกลุ่ม รวมทั้งการประเมินผลงานจากกลุ่มเพื่อนำไปปรับปรุง

ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ในขั้นนี้นักเรียนจะได้นำเสนอ ชิ้นงาน และการแก้ไขชิ้นงานของตนเองสอดคล้องกับ ดารารัตน์ ชัยพิลา (2559) ที่กล่าวว่าขั้น นำเสนอวิธีแก้ปัญหา เป็นขั้นตอนที่แต่ละกลุ่มทำการรายงานผลการดำเนินการแก้ปัญหา โดยมีการ รายงานและอภิปรายถึงข้อดีข้อด้อยของชิ้นงาน ความสำเร็จของการดำเนินงาน ปัญหาและ อุปสรรคที่เกิดขึ้น ตลอดจนแนวทางในการแก้ไขปรับปรุง

2. ผลของการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม เรื่อง เสียง สำหรับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5

ผลการวิเคราะห์คะแนน พบว่า คะแนนเฉลี่ยจากแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่ตรวจจากการบันทึกในใบกิจกรรมระหว่างการจัดการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการที่ 1-3 ผู้เรียนมีคะแนนเพิ่มขึ้นทุกพฤติกรรมที่กำหนด โดยมีพฤติกรรมที่ได้คะแนนมากที่สุดและน้อยที่สุดดังต่อไปนี้

พฤติกรรมที่ได้คะแนนมากที่สุดคือ การทำงานกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ในทุกวงจรปฏิบัติการ เนื่องจากในการจัดการเรียนรู้นั้นมีขั้นตอนหลายขั้นตอนที่ต้องอาศัยการทำงานเป็นทีม มีการระดมสมอง เพื่อแสดงความคิดเห็นของสมาชิกกลุ่มและนำมาสังเคราะห์เพื่อหาข้อสรุปร่วมกัน กิจกรรมเปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงความคิดเห็นทุกคนอย่างเท่าเทียมกัน ช่วยกันเติมเต็มในส่วนที่สมาชิกขาด และนักเรียนทุกกลุ่มก็แสดงพฤติกรรมย่อยออกมาชัดเจนมีการสรุปความคิดของสมาชิกกลุ่มทุกคน มีการเชื่อมโยงความคิดของสมาชิกทุกคนในการออกแบบชิ้นงาน มีการสังเคราะห์จากมุมมองที่แตกต่างของสมาชิก นอกจากนี้นักเรียนได้ทำการฝึกการระดมสมองในวงจรปฏิบัติการที่ 1 และวงจรปฏิบัติการที่ 2 ทำให้เข้าใจในวิธีการทำงานมากขึ้นอีกด้วย สอดคล้องกับ ดารารัตน์ ชัยพิลา (2559) ที่กล่าวว่า STEM Education เป็นแนวทางการจัดการศึกษาเพื่อปลูกฝังให้เกิดทักษะในศตวรรษที่ 21 โดยทักษะที่พึงเกิดขึ้นนั้นได้แก่ การทำงานเป็นทีม ทักษะการสื่อสาร ทักษะความสัมพันธ์ระหว่างบุคคล และทักษะการแก้ปัญหา

พฤติกรรมที่มีคะแนนน้อยที่สุดได้แก่ การเปิดกว้างและความกล้าในการสำรวจ เนื่องจากพฤติกรรมที่นักเรียนต้องแสดงออกมาต้องแสดงให้เห็นการออกแบบที่แปลกใหม่และท้าทายความสามารถของนักเรียน ทั้งนี้เนื่องจากผู้วิจัยยังฝึกนักเรียนไม่เพียงพอที่จะให้นักเรียนแสดงพฤติกรรม สอดคล้องกับ วิจารย์ พานิช (2556) ที่กล่าวว่า การจะเกิดทักษะการคิดอย่างสร้างสรรค์ต้องใช้เทคนิคสร้างมุมมองหลากหลายเทคนิค เช่น การระดมความคิด (brainstorming) สร้างมุมมองแปลกใหม่ ทั้งที่เป็นการปรับปรุงเล็กน้อยจากของเดิม หรือเป็นหลักการที่แหวกแนวโดยสิ้นเชิง

#### ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน

1. สถานการณ์ที่นำมาเป็นจุดเริ่มต้นต้องมีความท้าทาย และต้องเหมาะสมกับระดับของนักเรียน สถานการณ์มีการระบุเงื่อนไข ความต้องการ ข้อจำกัด อย่างชัดเจนและนักเรียนเข้าใจได้ตรงกันทุกคน
2. ในการนำการระดมสมองไปใช้ ต้องชี้แจงให้ชัดเจนว่าจุดประสงค์ของการระดมสมองเพื่อให้เกิดอะไร บทบาทที่นักเรียนต้องทำคืออะไร



3. ในการจัดกิจกรรมที่มีการเขียนใบสั่งซื้อของ ต้องกำหนดราคากลาง เพื่อให้เกิดมาตรฐานเดียวกันในอุปกรณ์ชนิดเดียวกัน และระบุให้ชัดเจนเกี่ยวกับของไร้เคลือบที่ไม่คิดต้นทุน

4. การออกแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา ในส่วนของการนำเทคโนโลยีเข้ามาบูรณาการครูต้องมีการทดลองใช้แอปพลิเคชันหลายๆแอปพลิเคชัน และให้นักเรียนทำการโหลดมาก่อนล่วงหน้า

#### ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. การออกแบบเชิงวิศวกรรมควรเชิญวิทยากรที่มีความรู้ มาให้ความรู้กับนักเรียนเพราะเป็นหัวใจสำคัญในการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม นักเรียนจะสามารถเข้าใจได้อย่างลึกซึ้งซึ่งว่าการออกแบบที่ดีและมีประสิทธิภาพที่สามารถนำไปใช้ได้จริง ต้องทำอย่างไร

2. การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเป็นการจัดการเรียนรู้ที่ใช้เวลานาน เวลาในคาบเรียน 4 ชั่วโมงจึงไม่เพียงพอต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ครูอาจให้นักเรียนทำกิจกรรมนอกเวลาเรียนในชั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา ในส่วนของการสร้างชิ้นงาน โดยครูต้องทำหน้าที่คอยติดตามและประเมินผลการทำของนักเรียน ระหว่างการทำกิจกรรมนอกเวลาเรียนด้วย

**บรรณานุกรม**

### บรรณานุกรม

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2545). พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 และที่แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่2) พ.ศ. 2545. กรุงเทพมหานคร: คุรุสภาลาดพร้าว.
- โครงการ PISA ประเทศไทย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2547). ความรู้และทักษะของเยาวชนไทยสำหรับโลกวันพรุ่งนี้ รายงานสรุปเพื่อการบริหาร.
- โครงการ PISA ประเทศไทย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2549) , การเรียนรู้เพื่อโลกวันพรุ่งนี้ รายงานสรุปเพื่อการบริหาร. กรุงเทพมหานคร: อรุณการพิมพ์
- โครงการ PISA ประเทศไทย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2550), บทสรุปเพื่อการบริหาร การรู้วิทยาศาสตร์ การอ่าน และคณิตศาสตร์ ของนักเรียนนานาชาติวัย 15 ปี. กรุงเทพมหานคร: อรุณการพิมพ์
- โครงการ PISA ประเทศไทย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2551). ตัวอย่าง การประเมินผลวิทยาศาสตร์นานาชาติ:PISA และTIMSS. กรุงเทพมหานคร: อรุณการพิมพ์
- โครงการ PISA ประเทศไทย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2558), ผลการประเมิน PISA 2012 คณิตศาสตร์ การอ่าน และวิทยาศาสตร์. กรุงเทพมหานคร: อรุณการพิมพ์
- โครงการ PISA 2015 ประเทศไทย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2561), สะเต็มศึกษา ประเทศไทย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557), รู้จักสะเต็ม. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2561, จาก [http://www.stemedthailand.org/?page\\_id=23](http://www.stemedthailand.org/?page_id=23)
- ศูนย์สะเต็มศึกษาแห่งชาติ. (ม.ม.ป.). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสะเต็มศึกษา. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2561, จาก <http://www.stemedthailand.org/wp-content/uploads/2015/03/newIntro-to-STEM.pdf>
- สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551. กรุงเทพมหานคร. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- ชาญณรงค์ พรุ่งโรจน์. (2546). ความคิดสร้างสรรค์, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ชามาศ ดิษฐเจริญและปริญญา หนันชัยบุตร. (2556). การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานตามแนวคอนสตรัคชันนิซึมในรายวิชาการเขียนโปรแกรมพัฒนาหุ่นยนต์ประยุกต์, วิทยานิพนธ์ศษ.ม., มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น
- พรทิพย์ ครุทราชัย. (2556). STEM Education กับการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 33, 2), 50-55
- มนตรี จุฬาวัดทนทล. (2556). สะเต็มศึกษาประเทศไทยและทูตสะเต็ม, นิตยสารสสวท. 42 (185), 14-16.
- วิจารณ์ พานิช. (2555) , วิธีการสร้างความรู้เพื่อศิษย์ในศตวรรษที่ 21. กรุงเทพฯ:ตถาตาพับลิเคชั่น
- วิจารณ์ พานิช. (2556). การสร้างการเรียนรู้สู่ศตวรรษที่ 21. กรุงเทพฯ: ส. เจริญการพิมพ์
- พรทิพย์ ศิริภทราชัย.(2556). STEM Education กับการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21.วารสารนักบริหาร, 33 (2),50
- ลือชา ลดาชาติ.(2562).สะเต็มศึกษาและการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามความเข้าใจและมุมมองของครู.วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 30(1) , 89-101
- วัชรา เล่าเรียนดี และคณะ. (2560). กลยุทธ์การจัดการเรียนรู้เชิงรุก เพื่อพัฒนาการคิดและยกระดับคุณภาพการศึกษา สำหรับศตวรรษที่ 21. กรุงเทพฯ : เพชรเกษมพริ้นติ้ง กรุ๊ป.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.(2557).สะเต็มศึกษา.สืบค้นเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 2561,จาก <http://www.stemedthailand.org/wp-content/uploads/2015/03/newIntro-to-STEM.pdf.pdf>
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.(2558).สรุปผลการวิจัยโครงการ TIMSS 2015 .สืบค้นเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 2561, จาก <https://drive.google.com/file/d/0Bza8voFmdFsrRGIYbmdPa0pkXzg/view>
- สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา.(2553).ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551. กรุงเทพฯ:โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- สิรินภา กิจเกื้อกุล.(2558).สะเต็มศึกษา.วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 17(2) , 201-

- สุธิดา กาวีมี. (2560,17 พฤศจิกายน) . การใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อเสริมสร้างความคิดสร้างสรรค์และทักษะการแก้ปัญหา.สืบค้นเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 2561, จาก <http://oho.ipst.ac.th/edp-creative-problem-solving1/>
- สุพรรณณี ชาญประเสริฐ.(2558).สะเต็มศึกษากับการจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่21 .นิตยสาร สสวท., 42 (186),3-5
- สุธีระ ประเสริฐสรรพ.(2558).สะเต็มศึกษา:ความท้าทายใหม่ของการศึกษาไทย.สงขลา:นำศิลป์ โฆษณา.
- สุธีระ ประเสริฐสรรพ.(2559).สะเต็มศึกษา:ปัญหาจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม. สงขลา:นำศิลป์โฆษณ.
- อรพรรณ ธนะขำ อัญชลี สิริกุลขจร และสกนธ์ชัย ชะนูนันท์. (2559) .ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบโครงงานตามแนวคิด STEM Education เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง ปฏิบัติการเคมี ของนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 .วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 27(2) , 89-101
- Catalina Foothills School District (2018). Creativity and Innovation Rubric Grades 9-12 Retrieved from [https://www.cfsd16.org/application/files/4715/2989/2859/K-12\\_CREATIVITY-INNOVATION\\_2018.pdf](https://www.cfsd16.org/application/files/4715/2989/2859/K-12_CREATIVITY-INNOVATION_2018.pdf)
- Kemmis,S. and McTaggart,R. (1988). The action research planer (3rded.). Victoria: Deakin University
- Partnership for 21st Century Learning. (2015). P21 Framework Definitions. p.1-9 Hanover Research, 2011. District Administration Practice.
- National Research Council, 2012. A Framework for K-12 Science Education: Practices,Crosscutting Concept, and Core Ideas. Committee on New Science EducationStandards, Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Science and Education. Washington, DC: National Academy Press.
- Vasquez, J.A., Sneider, C., and Comer, M. (2013). STEM Lesson Essentials: Integrating Science, Technology, Engineering, and Mathematics. Portsmouth, NH: Heinemann.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก รายนามผู้เชี่ยวชาญ

### 1. รายนามผู้เชี่ยวชาญ ในการตรวจสอบเครื่องมือวิจัย

1.1 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สกนธ์ชัย ชะนูนันท์ อาจารย์ประจำภาควิชาการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.2 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชจิรา ดีแจ่ม อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.3 ครูวาสนา แยมเสารง ครูชำนาญการพิเศษ โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลก

### 2. รายนามผู้เชี่ยวชาญ ในการสังเกตการสอนและบันทึกข้อมูลในการวิจัย

ครูวาสนา แยมเสารง ครูชำนาญการพิเศษ โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลก

## ภาคผนวก ข เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง เสียง
2. ใบกิจกรรม
3. แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
4. แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม



### แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3

รายวิชาพลังงาน	รหัสวิชา ว 30105	กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5		ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561
เรื่อง การเกิดคลื่นเสียง		เวลาเรียน 4 ชั่วโมง
ครูผู้สอน นางสาวสุมินตรา จีนเมือง		วันที่สอน 18 กุมภาพันธ์ 2562

#### 1. มาตรฐานการเรียนรู้

##### วิทยาศาสตร์

##### สาระที่ 5 พลังงาน

มาตรฐาน ว 5.1 เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับการดำรงชีวิต การเปลี่ยนแปลงรูปพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสารและพลังงาน ผลของการใช้พลังงานต่อชีวิตและสิ่งแวดล้อมมีกระบวนการ การสืบเสาะหาความรู้ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

##### ตัวชี้วัด

ว 5.1 ม.4-6/2 อธิบายการเกิดคลื่นเสียง บีตส์ของเสียง ความเข้มเสียง ระดับความเข้มเสียง การได้ยินเสียง คุณภาพเสียง และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

##### สาระที่ 8 ธรรมชาติของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มาตรฐาน ว 8.1 ใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์และจิตวิทยาศาสตร์ในการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ปัญหา รู้ว่าปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีรูปแบบที่แน่นอนสามารถอธิบายและตรวจสอบได้ ภายได้ข้อมูลและเครื่องมือที่มีอยู่ในช่วงเวลานั้น ๆ เข้าใจว่าวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคม และสิ่งแวดล้อมมีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน

##### ตัวชี้วัด

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

##### คณิตศาสตร์

##### สาระที่ 6 ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์

มาตรฐาน ค 6.1 มีความสามารถในการแก้ปัญหา การให้เหตุผล การสื่อสาร การสื่อความหมาย ทางคณิตศาสตร์ และการนำเสนอ การเชื่อมโยงความรู้ต่าง ๆ ทางคณิตศาสตร์และเชื่อมโยงคณิตศาสตร์กับศาสตร์อื่น ๆ และมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์

### ตัวชี้วัด

ค 6.1 ม.4-6/1 ใช้วิธีการที่หลากหลายแก้ปัญหา

ค 6.1 ม.4-6/2 ใช้ความรู้ ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีในการแก้ปัญหาในสถานการณ์ ต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม

### เทคโนโลยี

สาระที่ 2 การออกแบบและเทคโนโลยี

มาตรฐาน ง 2.1 เข้าใจเทคโนโลยีและกระบวนการเทคโนโลยี ออกแบบและสร้างสิ่งของเครื่องใช้ หรือวิธีการ ตามกระบวนการเทคโนโลยีอย่างมีความคิดสร้างสรรค์ เลือกใช้เทคโนโลยีในทางสร้างสรรค์ต่อชีวิต สังคม สิ่งแวดล้อม และมีส่วนร่วมในการจัดการเทคโนโลยีที่ยั่งยืน

### ตัวชี้วัด

ง 2.1 ม.4-6/4 มีความคิดสร้างสรรค์ในการแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการในงานที่ผลิตเอง หรือการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ผู้อื่นผลิต

สาระที่ 3 เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

มาตรฐาน ง 3.1 เข้าใจ เห็นคุณค่า และใช้กระบวนการเทคโนโลยีสารสนเทศในการสืบค้นข้อมูลการเรียนรู้ การสื่อสาร การแก้ปัญหา การทำงานและอาชีพอย่างมีประสิทธิภาพ ประสิทธิผล และมีคุณธรรม

### ตัวชี้วัด

ง 3.1 ม.4-6/9 ติดต่อสื่อสาร ค้นหาข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต

## 2. จุดประสงค์

### ด้านความรู้

1. นักเรียนสามารถอธิบายการเกิดคลื่นเสียงได้

### ด้านทักษะ

1. นักเรียนสามารถเขียนผังมโนทัศน์ในการแก้ปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดได้
2. นักเรียนสามารถออกแบบและเขียนแบบเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก ตามหลักการเขียนแบบที่ถูกต้องได้
3. นักเรียนสามารถสร้าง ทดสอบ และปรับปรุงเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดได้
4. นักเรียนสามารถใช้แอปพลิเคชันในสมาร์ทโฟนตรวจวัดความถี่ของเสียงได้

5. นักเรียนสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก อย่างถูกต้อง และเหมาะสมกับงบประมาณได้

#### ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์

1. นักเรียนสามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้
2. นักเรียนสามารถควบคุมและสะท้อนผลตนเองได้

### 5. สาระสำคัญ

คลื่นเสียงเกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ เมื่อวัตถุเกิดการสั่นสะเทือน จะเกิดการถ่ายโอนพลังงานให้กับอนุภาคของตัวกลาง ทำให้อนุภาคของตัวกลางสั่น แล้วถ่ายโอนไปยังอนุภาคอื่นๆที่อยู่ข้างเคียงให้สั่นตาม เป็นอย่างนี้ต่อเนื่องไปเรื่อยๆจนกระทั่งถึงอนุภาคตัวกลางที่อยู่ติดกับเยื่อแก้วหู อนุภาคเหล่านี้สั่นไปกระทบเยื่อแก้วหู ทำให้เยื่อแก้วหูสั่นตาม จึงทำให้เราได้ยินเสียง

คลื่นเสียงจัดเป็นคลื่นกล ถ้าเราทำการทดลองโดยใช้กระดิ่งไฟฟ้าที่ส่งเสียงดังตลอดเวลาใส่ไว้ในครอบแก้ว จากนั้นจึงค่อยๆสูบอากาศภายในครอบแก้วออก เราจะได้ยินเสียงจากกระดิ่งไฟฟ้าค่อยๆลดลงเรื่อยๆจนในที่สุดจะไม่ได้ยินเสียงจากกระดิ่งไฟฟ้านี้ เมื่อในครอบแก้วเป็นสุญญากาศ แสดงว่าเสียงจำเป็นต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ ดังนั้น “เสียงจึงจัดเป็นคลื่นกล”

คลื่นเสียงจัดเป็นคลื่นความยาว เมื่อวัตถุสั่น วัตถุก็จะไปกระทบตัวกลางทำให้อนุภาคตัวกลางสั่นกลับไปกลับมาแบบ ซิมเปิลฮาร์โมนิก โดยทิศทางการสั่นของอนุภาคตัวกลางจะสั่นในทิศขนานกับการเคลื่อนที่ของคลื่น ดังนั้น “เสียงจึงจัดเป็นคลื่นตามยาว”

### 6. สาระการเรียนรู้

วิทยาศาสตร์	คณิตศาสตร์	วิศวกรรมศาสตร์	เทคโนโลยี
- การเกิดคลื่นเสียง	บวก ลบ คูณ หาร จำนวนจริงใน การหาต้นทุนเครื่อง ดนตรีของเล่น สำหรับเด็ก	กระบวนการออกแบบเชิง วิศวกรรม ได้แก่ 1. ระบุปัญหา 2. รวบรวมข้อมูลและ แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา 3. ออกแบบวิธีการ แก้ปัญห	การสืบค้นข้อมูล เพื่อการเลือกใช้ วัสดุ และการ เลือกใช้ แอปพลิเคชันที่ เหมาะสมกับการ สร้างชิ้นงาน

วิทยาศาสตร์	คณิตศาสตร์	วิศวกรรมศาสตร์	เทคโนโลยี
		4. วางแผนและดำเนินการ แก้ปัญหา	
		5. ทดสอบประเมินผล และ ปรับปรุงแก้ไข การแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน	
		6. นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน	

## 7. กิจกรรมการเรียนรู้ (4 ชั่วโมง)

### ขั้นที่ 1 ขั้นระบุปัญหา

- ครูกล่าวทักทายนักเรียน พร้อมพูดคุยชี้แจงเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่องเสียง พร้อมชี้แจงการให้คะแนน
- ครูชวนนักเรียนสนทนาเรื่อง เสียง จากนั้นตั้งคำถามชวนคิดได้แก่
  - เสียงเกิดขึ้นได้อย่างไร
  - เสียงคืออะไร
- ครูให้นักเรียนดูคลิปวิดีโอเรื่อง What is Sound? จาก <https://www.youtube.com/watch?v=gdGyvGPZ1G0>
- ครูตั้งคำถามหลังจากดูคลิปวิดีโอเพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนได้อภิปรายในประเด็นดังนี้
  - เสียงเกิดขึ้นได้อย่างไร
  - ปัจจัยอะไรบ้างที่มีผลต่อการเกิดคลื่นเสียง
- ครูสนทนากับนักเรียนเรื่อง ของเล่น ดังนี้  
 "หากพูดถึงสิ่งของที่เด็ก ๆ ต้องการก็คงจะหนีไม่พ้น ของเล่น อย่างแน่นอน ซึ่งของเล่น ก็จะมีทั้งแบบสร้างสรรค์ ส่งเสริมสติปัญญา หรือเพื่อพัฒนาการที่ดีของเด็กๆ แต่นั่นก็ไม่ใช่ทุกอย่างเสมอไป เมื่อของเล่นบางชนิดกลับสร้างความอันตรายให้แก่เด็ก ๆ หรือ

แม้กระทั่งผู้ใหญ่เองได้ หากใช้ผิดวิธีหรือไม่เรื่องอันตรายจากของเล่น” พร้อมเปิดวิดีโอตัวอย่าง จาก<https://www.youtube.com/watch?v=bAYIKLKqgpE>

6. ครูตั้งคำถามหลังจากดูคลิปวิดีโอเพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนได้อภิปรายในประเด็นดังนี้
  - นักเรียนคิดว่าปัจจัยอะไรบ้างที่มีต่อพิจารณาในการสร้างของเล่นเด็ก
  - ของเล่นเด็กที่ดีควรมีลักษณะอย่างไร
7. ครูนำเสนอสถานการณ์ให้กับนักเรียนดังนี้
 

“ หากนักเรียนเป็นช่างในร้านของเล่นสำหรับเด็กแห่งหนึ่ง โดยในร้านจะขายของเล่นสำหรับเด็กทุกรูปแบบ วันที่ 10 มกราคม 2562 มีลูกค้ามาสั่งทำของขวัญวันเกิดให้กับลูกชายของเขาที่มีอายุครบ 6 ปีในวันที่ 17 มกราคม 2562 ลูกค้าต้องการเครื่องดนตรีของเล่น ที่มีความแตกต่างจากเครื่องดนตรีของเล่นทั่วไปในท้องตลาด ลูกค้าต้องการให้เป็นของขวัญสำหรับลูกที่มีชิ้นเดียวในโลก โดยมีความสวยงาม คงทน ปลอดภัย และสามารถเล่นได้ดนตรีได้จริง ”
8. ครูแจกใบกิจกรรม เรื่อง การสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก ให้กับนักเรียนทุกคน
9. ครูชี้แจงอธิบายรายละเอียดภาระงานลำดับที่ 1 คือให้นักเรียนทุกคนทำการวิเคราะห์ความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย พร้อมวางแผนการดำเนินงานเป็นลำดับลงในใบกิจกรรม เรื่อง การสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก ลงในตอนที่ 1 เป็นรายบุคคล
10. ครูแบ่งนักเรียนเป็นกลุ่ม ๆ กลุ่มละ 4-5 คน ให้นักเรียนเลือกผู้ทำหน้าที่ facilitator และผู้บันทึก (note taker) ทำหน้าที่บันทึกความคิดทั้งหมดลงบน flip chart
11. ครูอธิบายภาระงานที่ 2 ในตอนที่ 2 ของใบกิจกรรม เรื่อง การสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก โดยให้นักเรียนเสนอความคิดเห็นของตนตามวิธีที่กำหนดไว้ (ฟรีรอบวงหรือเรียงตามคิว) ให้บันทึกเขียนเป็นผังมโนทัศน์ให้ทุกคนเห็นทั่วกัน โดยผู้นำกลุ่มหรือ facilitator จะต้องเน้นกฎการระดมสมองอย่างเคร่งครัด เช่น ใช้คำพูดว่า “ไม่มี การอภิปราย ความคิดต่อไป...” ผู้นำกลุ่มหรือ facilitator จะต้องกระตุ้นให้สมาชิกฟังความคิดเห็นของผู้อื่น และพยายามดัดแปลง หรือ ต่อยอด เพื่อให้ได้ความคิดเห็นที่แหลมคมขึ้น ทำจนกระทั่งหมดเวลาที่กำหนดไว้ หรือได้ความคิดมากพอ หรือไม่มีสมาชิกต้องการเสนอความคิดเห็นเพิ่มเติมอีก

12. ให้นักเรียนพิจารณาบัตรความคิดไปพร้อม ๆ กันว่าเข้าใจความคิดที่เขียนไว้หรือไม่ หากไม่เข้าใจ ควรขอให้เจ้าของความคิดอธิบายสั้น ๆ และปรับปรุงข้อความให้ชัดเจนมากขึ้น ช่วงนี้ไม่ใช่เวลาที่จะอภิปรายหรือวิจารณ์ความคิดเห็น
13. ให้นักเรียนทำการประเมินโดยตรวจสอบความซ้ำซ้อน หรือความเห็นที่ไม่ตรงกันใช้เกณฑ์กรอง (filter) เพื่อตัดความเห็นที่ไม่ตรงประเด็นหรือไม่สามารถนำไปปฏิบัติได้ออกไป ตัวอย่างของเกณฑ์กรองได้แก่
  - ค่าใช้จ่ายเหมาะสม
  - สามารถทำได้ในเวลาที่กำหนด
  - มีทรัพยากรพร้อม
  - มีผลเชิงบวกต่อลูกค้า
  - เป็นไปได้ทางปฏิบัติ
14. ให้นักเรียนดำเนินการต่อหลังการระดมสมองโดยทำการจัดหมวดหมู่ความคิดด้วยการเขียนผังมโนทัศน์ลงในกระดาษรูปเพื่อหาความคิดเห็นที่เป็นเอกฉันท์

## ขั้นที่ 2 ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

15. ครูให้ความรู้ในเรื่องการเขียนแบบที่ถูกต้องให้กับนักเรียน พร้อมแสดงตัวอย่างให้นักเรียนดู จากนั้นให้นักเรียนลองเขียนแบบเกี่ยวกับเครื่องดนตรีมา 1 ชนิดที่ตนเองสนใจตามหลักการเขียนแบบร่างที่ถูกต้อง
16. ครูสนทนากับนักเรียนเกี่ยวกับแอปพลิเคชันที่นำมาประยุกต์ใช้เกี่ยวกับเรื่องเสียง ได้แก่ แอปพลิเคชัน Phypox แอปพลิเคชัน Sound Meter พร้อมอธิบายวิธีการใช้โปรแกรมดังกล่าว
17. ครูให้นักเรียนโหลดแอปพลิเคชันดังกล่าว แล้วทดลองใช้ในการวัดค่าต่าง ๆ
18. ครูแจกอุปกรณ์การทดลอง ซึ่งประกอบด้วย ไม้บรรทัด อุปกรณ์สำหรับใช้ตีตีไม้บรรทัด จากนั้นครูอธิบายภาระงานที่ 3 โดยให้นักเรียนทำการทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดให้ พร้อมออกแบบตารางบันทึกผลการทดลอง และตอบคำถามท้ายกิจกรรมอย่างละเอียด บันทึกลงในตอนที่ 3 ของใบกิจกรรม เรื่อง การสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก

19. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายถึงคำถามท้ายกิจกรรมดังนี้
- การสั้นของไม้บรรทัดเป็นคลื่นนิ่งหรือไม่ อย่างไร
  - ระดับเสียงที่ได้ยินจากการตีปลายไม้บรรทัดขึ้นอยู่กับปัจจัยใดบ้าง และมีความสัมพันธ์กับระดับเสียงที่ได้ยินอย่างไร
  - หากนักเรียนทำกิจกรรมตามขั้นตอนดังรูป นักเรียนคิดว่าผลจะเป็นอย่างไร เพราะอะไร
  - จากกิจกรรมให้นักเรียนอธิบายการเกิดคลื่นเสียง
20. ครูตรวจสอบความรู้ที่นักเรียนได้รับจากการรวบรวมข้อมูลเพื่อดูว่าเพียงพอที่จะไปใช้ในการสร้าง เครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก
21. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก

### ขั้นที่ 3 ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา

22. ครูตรวจสอบความรู้เดิมเกี่ยวกับการเขียนแบบของนักเรียนในรายวิชา งานช่าง ว่าเรียนอะไรมาบ้าง แล้วเขียนแบบอะไรมาบ้าง ลักษณะเป็นอย่างไร
23. ครูอธิบายการเขียนแบบที่จะนำไปใช้ให้กับนักเรียนโดยใช้ power point พร้อมแสดงภาพตัวอย่างการเขียนแบบให้นักเรียนดู
24. ครูให้นักเรียนลองเขียนแบบร่างเครื่องดนตรีชนิดใดก็ได้ที่ตนเองสนใจมา 1 อย่าง
25. ครูอธิบายภาระงานที่ 4 ว่าให้นักเรียนทำการเขียนแบบเครื่องดนตรี จากสถานการณ์ที่กำหนด ลงในตอนที่ 4 ของใบกิจกรรม เรื่อง การสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก อย่างน้อย 3 แบบขึ้นไป
26. นักเรียนทำการสรุปภายในกลุ่มถึงแบบเครื่องดนตรีทั้ง 3 แบบของกลุ่มตนเองออกแบบที่คิดว่าเหมาะสมที่สุดจะนำไปสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก พร้อมระบุเหตุผลในการเลือกลงในตอนที่ 4 ของใบกิจกรรม เรื่อง การสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก

### ขั้นที่ 4 ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา

27. ครูให้นักเรียนทำการวางแผนในการสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก โดยชี้แจงว่าในการเขียนแบบ ให้ระบุด้วยว่าใช้วัสดุอุปกรณ์อะไรในการสร้าง

28. ครูชี้แจงเกณฑ์การให้คะแนนว่ามีประเด็นใดบ้างเพื่อให้นักเรียนใช้ประกอบการตัดสินใจ
29. นักเรียนทำการเขียนใบสั่งซื้อสินค้า โดยครูต้องย้ำกับนักเรียนว่าสามารถซื้อของได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นให้ทำการตรวจสอบรายการสินค้าให้ดี และย้ำเรื่องเกณฑ์การให้คะแนนเรื่องจำนวนเงินที่ใช้ในการสร้าง
30. นักเรียนเริ่มซื้อของตามที่ตนเองได้เขียนไว้ในใบสั่งซื้อของ ทำการตรวจสอบอุปกรณ์ที่สั่งซื้อว่าครบหรือไม่ สภาพพร้อมใช้งาน
31. นักเรียนลงมือสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก จากที่กลุ่มของตนเองได้ออกแบบโครงร่างของเครื่องดนตรีไว้

#### ขั้นที่ 5 ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

32. นักเรียนนำผลงานไปทดลองใช้โดยให้นักเรียนนำเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก ที่กลุ่มของตนเองสร้างขึ้นมาทดลองเล่น
33. นักเรียนทำการประเมินผลงานเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็กของกลุ่มตนเอง แล้วให้เพื่อนในห้องสะท้อนผลดังประเด็นต่อไปนี้
- เครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็กนี้มีจุดเด่นอะไรระบุเป็นข้อ ๆ
  - เครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็กนี้จุดด้อยอะไรระบุเป็นข้อ ๆ
  - ให้นักเรียนเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานให้สามารถใช้งานได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด
34. นักเรียนนำผลงานของตนเองไปปรับแก้ไขให้สามารถใช้งานได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด และตามข้อเสนอที่ได้รับจากเพื่อนในห้อง โดยครูคอยทำหน้าที่อำนวยความสะดวกและชี้แนะแนวทางการปฏิบัติของนักเรียน หากนักเรียนพบปัญหาระหว่างการดำเนินการแก้ปัญหา

#### ขั้นที่ 6 ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

35. ครูทำการชี้แจงการนำเสนอผลงานของนักเรียน โดยให้นักเรียนทำการโฆษณาขายเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก



36. นักเรียนลงมือทำโฆษณาขายเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก
37. นักเรียนทำการเผยแพร่โฆษณาขายเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก
38. ครูและนักเรียนทำการสรุปร่วมกันถึงเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็กของแต่ละกลุ่ม
39. ครูให้นักเรียนที่ได้คะแนนสูงสุดทำการนำเสนอถึงขั้นตอนการปรับแก้ผลงานของตนเอง
40. ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับ การสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก

## 8. สื่อการเรียนการสอน / แหล่งเรียนรู้

1. หนังสือเรียนรายวิชา พลังงาน
2. ใบกิจกรรม เรื่อง การสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก
3. วิดีโอ เรื่อง What is Sound? จาก  
<https://www.youtube.com/watch?v=gdGyvGPZ1G0>
4. อุปกรณ์การทดลอง ได้แก่ ไม้บรรทัด
5. อุปกรณ์ในการสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก เช่น กระป๋อง แก้ว กระดาษสี กาว เทป ใส ขวดน้ำพลาสติก ท่อพีวีซี เป็นต้น

## 9. การวัดและการประเมินผล

### การวัดและประเมินผล

จุดประสงค์	วิธีการวัดและประเมินผล	เครื่องมือวัดและประเมินผล
<b>ด้านความรู้</b> 1. นักเรียนสามารถอธิบายการเกิดของคลื่นเสียงได้	- ตรวจใบกิจกรรมเรื่อง การสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก	- แบบประเมินใบกิจกรรมเรื่อง การสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก
<b>ด้านทักษะ</b> 1. นักเรียนสามารถเขียนผังมโนทัศน์ในการแก้ปัญหาจากสถานการณ์ที่กำหนดได้	- ตรวจใบกิจกรรมเรื่อง การสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก	- แบบประเมินใบกิจกรรมเรื่อง การสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก - แบบประเมิน

จุดประสงค์	วิธีการวัดและประเมินผล	เครื่องมือวัดและประเมินผล
<p>2. นักเรียนสามารถออกแบบและเขียนแบบร่างของเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็กตามหลักการเขียนแบบร่างที่ถูกต้องได้</p> <p>3. นักเรียนสามารถสร้าง ทดสอบ และปรับปรุงเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็กเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดได้</p> <p>4. นักเรียนสามารถใช้แอปพลิเคชันในสมาร์ทโฟนตรวจวัดความถี่ของเสียงได้</p> <p>5. นักเรียนสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็กอย่างถูกต้องและเหมาะสมกับงบประมาณได้</p>	<p>- ตรวจแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม</p> <p>- ตรวจชิ้นงานของนักเรียน</p>	<p>ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม</p> <p>- แบบประเมินชิ้นงานนักเรียน</p>
<p><b>ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์</b></p> <p>1. นักเรียนสามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้</p> <p>2. นักเรียนสามารถควบคุมและสะท้อนผลตนเองได้</p>	<p>- ตรวจใบกิจกรรมเรื่อง การสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก</p> <p>- ตรวจแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม</p>	<p>- แบบประเมินใบกิจกรรมเรื่อง การสร้างเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก</p> <p>- แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม</p>

**10. บันทึกผลหลังการจัดการเรียนรู้****10.1 ผลที่**

เกิดขึ้น.....  
.....  
.....  
.....

**10.2 ปัญหาที่พบจากการสอน**

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

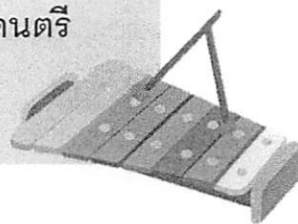
**10.3 แนวทางแก้ไขปัญหา**

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

ลงชื่อ ..... ครูผู้สอน

(นางสาวสุมินตรา จินเมือง)

### ใบกิจกรรม เรื่อง การสร้างเครื่องดนตรี ของเล่นสำหรับเด็ก



ชื่อ-นามสกุล.....

**คำชี้แจง** ให้นักเรียนศึกษาสถานการณ์ที่กำหนดให้ ตอบคำถามอย่างละเอียดและปฏิบัติตามคำสั่งสถานการณ์

“ หากนักเรียนเป็นช่างในร้านของเล่นสำหรับเด็กแห่งหนึ่ง โดยในร้านจะขายของเล่นสำหรับเด็กทุกรูปแบบ วันที่ 10 มกราคม 2562 มีลูกค้ามาสั่งทำของขวัญวันเกิดให้กับลูกชายของเขาที่มีอายุครบ 5 ปีในวันที่ 17 มกราคม 2562 ลูกค้าต้องการเครื่องดนตรีของเล่น ที่มีความแตกต่างจากเครื่องดนตรีของเล่นทั่วไปในท้องตลาด ลูกค้าต้องการให้เป็นของขวัญสำหรับลูกที่มีชิ้นเดียวในโลก โดยมีความสวยงาม คงทน และปลอดภัย และสามารถเล่นได้จริง ”



**ตอนที่ 1** อธิบายสภาพสถานการณ์ที่ครูกำหนดให้เป็นรายบุคคล

ให้นักเรียน อธิบายสภาพสถานการณ์ที่ครูกำหนดให้ โดยบรรยายละเอียดได้อย่างอิสระตามความคิดของนักเรียน เขียนมาให้ได้มากที่สุดเท่าที่คิดออก

- ความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย (ระบุประเด็นที่คิดว่าจำเป็นต้องพิจารณาเพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก)

.....

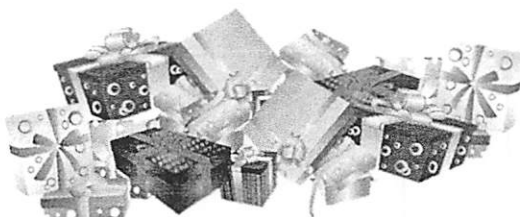
.....

.....

.....

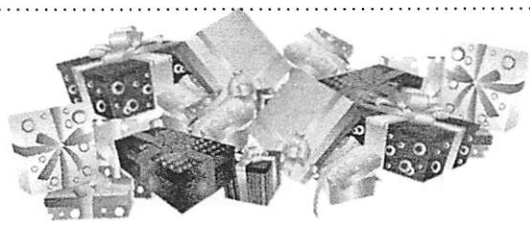
.....

.....



- แนวทางในการแก้ปัญหา/ความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย

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



## ตอนที่ 2 การระดมความคิด

ให้นักเรียนเสนอความคิดเห็นของตนจากตอนที่ 1 ให้กับสมาชิกกลุ่ม (ฟรีรอบวงหรือเรียงตามคิว) ให้บันทึกความคิดลงบนกระดาษบรูฟ ให้ทุกคนเห็นทั่วกัน โดย

1. ผู้นำกลุ่มหรือ facilitator จะต้องเน้นกฎการระดมสมองอย่างเคร่งครัด เช่น ใช้คำพูดว่า "ไม่มีการอภิปราย ความคิดต่อไป..."
2. ผู้นำกลุ่มหรือ facilitator จะต้องกระตุ้นให้สมาชิกฟังความคิดเห็นของผู้อื่น และพยายามดัดแปลง หรือ ต่อยอด เพื่อให้ได้ความคิดเห็นที่แหลมคมขึ้น ทำจนกระทั่งหมดเวลาที่กำหนดไว้ หรือได้ความคิดมากพอ หรือไม่มีสมาชิกต้องการเสนอความคิดเห็นเพิ่มเติมอีก
3. ให้นักเรียนพิจารณาบัตรความคิดไปพร้อมๆ กันว่าเข้าใจความคิดที่เขียนไว้หรือไม่ หากไม่เข้าใจ ควรขอให้เจ้าของความคิดอธิบายสั้นๆ และปรับปรุงข้อความให้ชัดเจนมากขึ้น ช่วงนี้ไม่ใช่เวลาที่จะอภิปรายหรือวิจารณ์ความคิดเห็น
4. ให้นักเรียนทำการประเมินโดยตรวจสอบความซ้ำซ้อน หรือความเห็นที่ไม่ตรงกันใช้เกณฑ์กรอง (filter) เพื่อตัดความเห็นที่ไม่ตรงประเด็นหรือไม่สามารถนำไปปฏิบัติได้ ออกไป ตัวอย่างของเกณฑ์กรองได้แก่
  - ค่าใช้จ่ายเหมาะสม
  - สามารถทำได้ในเวลาที่กำหนด
  - มีทรัพยากรพร้อม
  - มีผลเชิงบวกต่อลูกค้า
  - เป็นไปได้ทางปฏิบัติ
5. ให้นักเรียนดำเนินการต่อหลังการระดมสมองโดยทำการจัดหมวดหมู่ความคิดด้วยการเขียนผังมโนทัศน์ลงในกระดาษบรูฟ เพื่อหาความคิดเห็นเอกฉันท์



### ตอนที่ 3 กิจกรรมการเกิดคลื่นเสียง

**คำชี้แจง** ให้นักเรียนทำการทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดให้ พร้อมออกแบบตารางบันทึกผล การทดลอง และตอบคำถามท้ายกิจกรรมอย่างละเอียด

#### วิธีทำตอนที่ 3

1. นำไม้บรรทัดที่มีความยาวประมาณ 30 เซนติเมตรกดให้ปลายข้างหนึ่งของไม้บรรทัด ติดกับขอบโต๊ะโดยให้ปลายอีกข้างยื่นออกจากขอบโต๊ะประมาณ 20 เซนติเมตร
2. ดัดปลายไม้บรรทัดแล้วบันทึกลักษณะการสั่นของไม้บรรทัดพร้อมกับฟังระดับเสียงที่เกิดขึ้น
3. เลื่อนปลายไม้บรรทัดเข้ามาบนโต๊ะ 2 เซนติเมตรดัดปลายไม้บรรทัดอีกครั้งแล้วบันทึก ลักษณะการสั่นของไม้บรรทัดและเปรียบเทียบระดับเสียงที่ได้ยินกับเสียงที่ได้ยินก่อน เลื่อนไม้บรรทัด
4. ทำซ้ำข้อที่ 3. จนไม่สามารถสังเกตการณ์สั่นของไม้บรรทัดเมื่อถูกดัดได้
5. วางโต๊ะ 2 ตัวห่างกันประมาณ 20 เซนติเมตรแล้วนำไม้บรรทัดมาวางพาดระหว่างขอบ โต๊ะทั้ง 2 ตัวกดปลายไม้บรรทัดทั้ง 2 ข้างติดกับขอบโต๊ะ
6. ดัดบริเวณกึ่งกลางของไม้บรรทัดที่วางพาดระหว่างโต๊ะแล้วบันทึกลักษณะการสั่นของ ไม้บรรทัดและเปรียบเทียบระดับเสียงที่ได้ยินกับเสียงที่ได้ยินจากการทำกิจกรรมข้อที่

2

ตารางบันทึกผลการทดลอง (ให้นักเรียนออกแบบเอง)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายกิจกรรม

1. การสิ้นของไม้บรรทัดเป็นคลื่นนิ่งหรือไม่ อย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

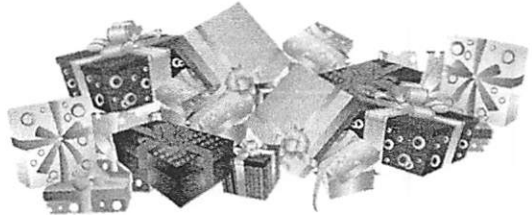
.....

.....

.....

.....

.....





2. ระดับเสียงที่ได้ยินจากการตีปลายไม้บรรทัดขึ้นอยู่กับปัจจัยใดบ้าง และมี  
ความสัมพันธ์กับระดับเสียงที่ได้ยินอย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. หากนักเรียนทำกิจกรรมตามขั้นตอนดังรูป นักเรียนคิดว่าผลจะเป็นอย่างไร เพราะอะไร



รูปที่ 1 ภาพการทดลองการเกิดคลื่นเสียง

(ที่มา: <https://sites.google.com/site/seiynglaekardiyin/rea-diyin-seiyng-taek-tang-kan-xyangri> )

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. จากกิจกรรมให้นักเรียนอธิบายการเกิดคลื่นเสียง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

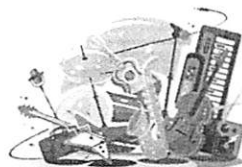
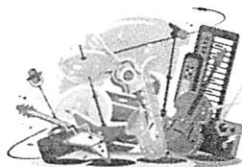
.....

.....

.....

.....

.....

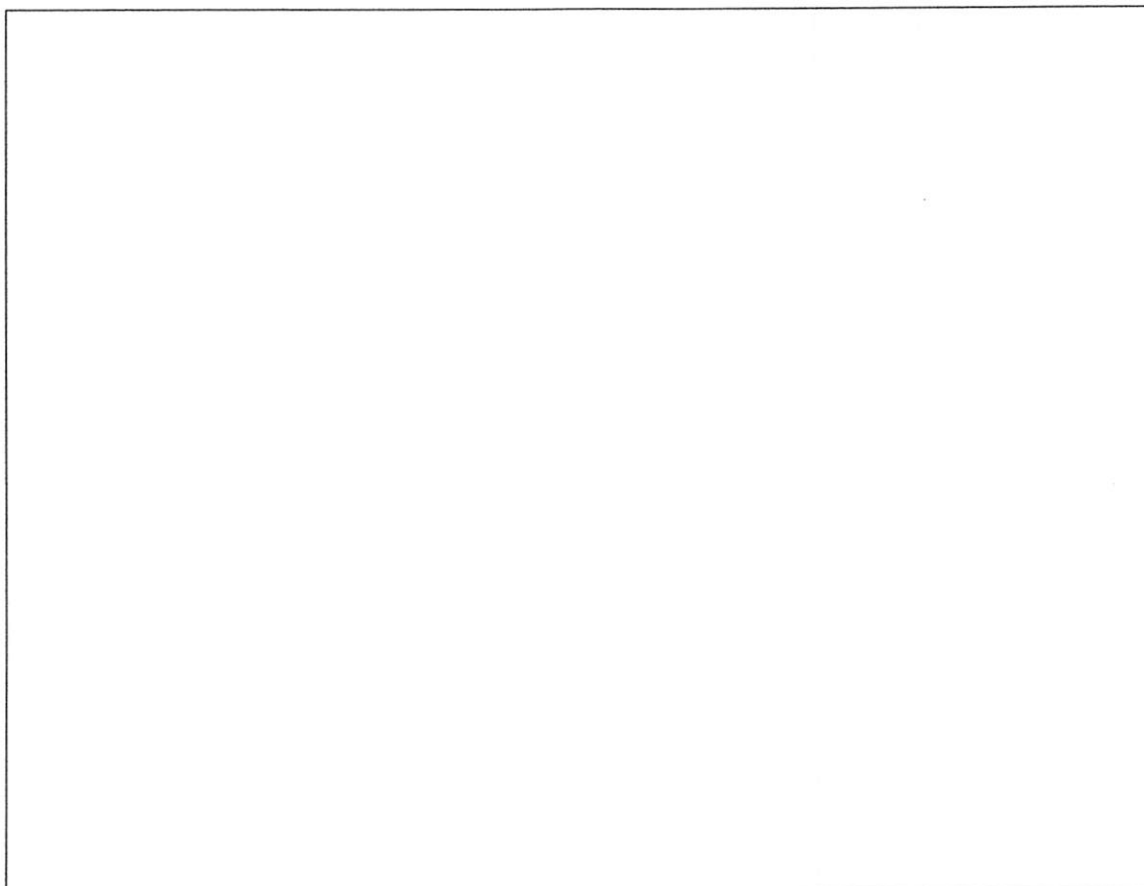


#### ตอนที่ 4 การเขียนแบบเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก

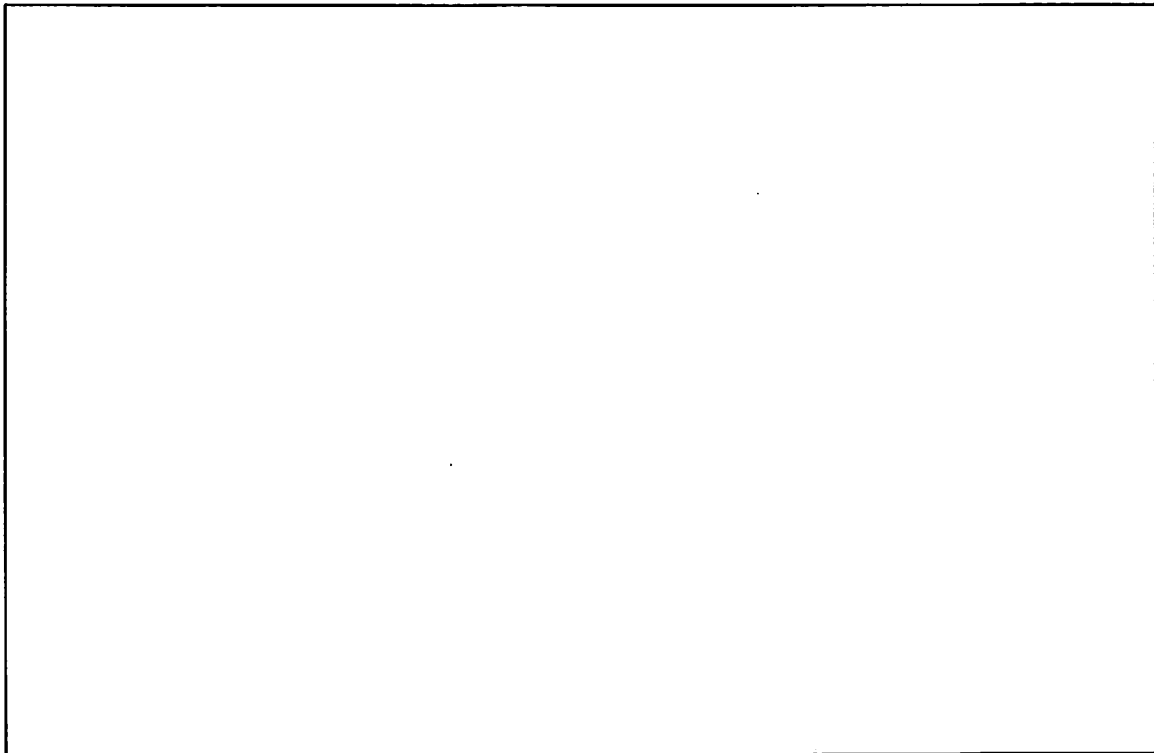
ให้นักเรียนทำการเขียนแบบเครื่องดนตรี จากสถานการณ์ที่กำหนด ลงในกระดาษเขียนแบบอย่างน้อย 3 แบบขึ้นไป

“ หากนักเรียนเป็นช่างในร้านของเล่นสำหรับเด็กแห่งหนึ่ง โดยในร้านจะขายของเล่นสำหรับเด็กทุกรูปแบบ วันที่ 10 มกราคม 2562 มีลูกค้ามาสั่งทำของขวัญวันเกิดให้กับลูกชายของเขาที่มีอายุครบ 6 ปีในวันที่ 17 มกราคม 2562 ลูกค้าต้องการเครื่องดนตรีของเล่น ที่มีความแตกต่างจากเครื่องดนตรีของเล่นทั่วไปในท้องตลาด ลูกค้าต้องการให้เป็นของขวัญสำหรับลูกที่มีขึ้นเดียวในโลก โดยมีความสวยงาม คงทน และปลอดภัย และสามารถใช้เล่นดนตรีได้จริง ”

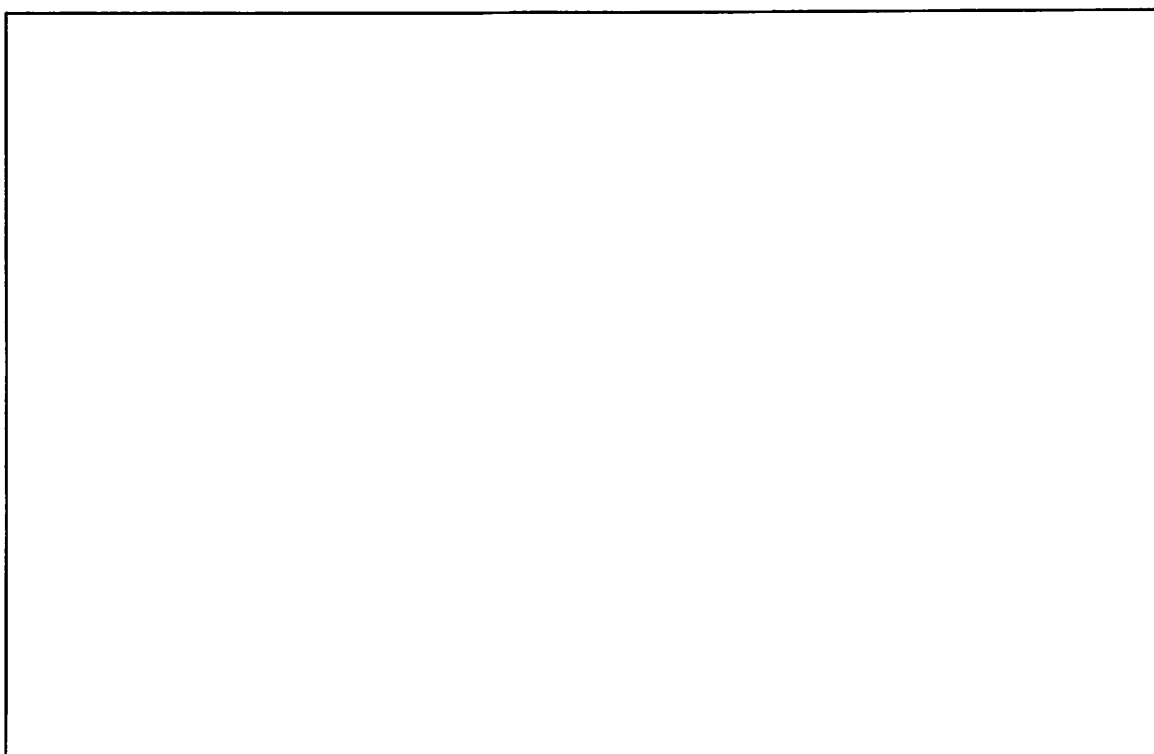
แบบที่ 1



แบบที่ 2



แบบที่ 3



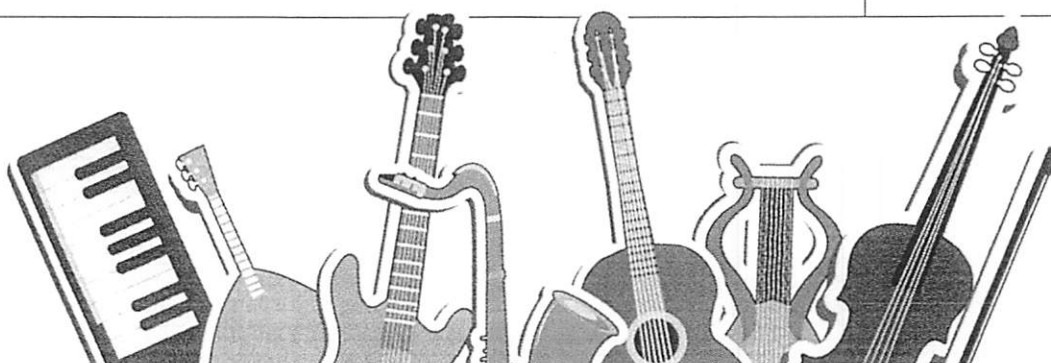
### ตอนที่ 5 ใบสั่งซื้อของ

ให้นักเรียนทำการเขียนใบสั่งซื้อของที่จะนำมาสร้างเครื่องดนตรีที่ออกแบบไว้ ทำการซื้อของได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น

#### ใบสั่งซื้อของ

กลุ่มที่.....

ลำดับ	รายการ	จำนวน	ราคา (บาท)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
รวม			















**แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม เรื่อง ระดับเสียง  
ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5  
สำหรับครู**

ชื่อ-สกุล.....ชั้น.....เลขที่.....  
 ชื่อ-สกุล.....ชั้น.....เลขที่.....  
 ชื่อ-สกุล.....ชั้น.....เลขที่.....  
 ชื่อ-สกุล.....ชั้น.....เลขที่.....  
 ชื่อ-สกุล.....ชั้น.....เลขที่.....

รายการ	คะแนน	หมายเหตุ
1. การสร้างความคิด (คะแนนเต็ม 3 คะแนน)		..... ..... ..... ..... .....
2. การออกแบบและ การปรับแต่ง ความคิด (คะแนนเต็ม 2 คะแนน)		..... ..... ..... ..... .....
3. การเปิดกว้างและ ความกล้าในการ สำรวจ (คะแนนเต็ม 1 คะแนน)		..... ..... ..... ..... .....
4. การทำงานร่วมกับ ผู้อื่นอย่าง สร้างสรรค์ (คะแนนเต็ม 3 คะแนน)		..... ..... ..... ..... .....

รายการ	คะแนน	หมายเหตุ
5. การผลิตและสร้าง นวัตกรรมอย่าง สร้างสรรค์ (คะแนนเต็ม 7 คะแนน)		..... ..... ..... ..... .....
6. การควบคุมและ การสะท้อนตนเอง (คะแนนเต็ม 3 คะแนน)		..... ..... ..... .....
		รวมคะแนน.....คะแนน

**เกณฑ์คะแนน**

- 16-19 คะแนน ระดับขั้นสูง  
 11-15 คะแนน ระดับขั้นชำนาญ  
 6-10 คะแนน ระดับขั้นพื้นฐาน  
 1-5 คะแนน ระดับขั้นเริ่มต้น

**เกณฑ์การให้คะแนนความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม**

รายการ	คะแนน
<p>1. การสร้างความคิด (คะแนนเต็ม 3 คะแนน)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- มีการระบุเงื่อนไขครบถ้วนได้แก่ เป็นเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก มีความแตกต่างจากเครื่องดนตรีของเล่นทั่วไป มีชิ้นเดียวในโลก มีความสวยงาม คงทน และปลอดภัย และสามารถเล่นได้จริง</li> <li>- มีการระดมสมองในประเด็นที่กำหนดได้ครบถ้วน ได้แก่ ความเหมือน ความแตกต่างของข้อเสนอแนะสมาชิกในกลุ่ม และข้อสรุปของกลุ่ม</li> <li>- มีการตรวจสอบความเป็นไปได้ของความคิดว่าสามารถทำได้จริง โดยระบุประเด็นได้แก่ วัสดุ วิธีการ ต้นทุน ระยะเวลา ความยากง่ายในการสร้าง โดยระบุ 2 ประเด็นขึ้นไป</li> </ul>	<p>1 คะแนน</p> <p>1 คะแนน</p> <p>1 คะแนน</p>
<p>2. การออกแบบและการปรับแต่งความคิด (คะแนนเต็ม 2 คะแนน)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- มีการออกแบบชิ้นงานที่แตกต่างกันได้ครบ 3 แบบ</li> <li>- มีการเขียนอธิบายรายละเอียดของชิ้นงานโดยระบุ ขนาด วัสดุได้ครบถ้วน</li> </ul>	<p>1 คะแนน</p> <p>1 คะแนน</p>
<p>3. การเปิดกว้างและความกล้าในการสำรวจ (คะแนนเต็ม 1 คะแนน)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- มีการออกแบบที่แปลกใหม่และท้าทายความสามารถของตนเอง</li> </ul>	<p>1 คะแนน</p>
<p>4. การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ (คะแนนเต็ม 3 คะแนน)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- มีการสรุปความคิดของสมาชิกกลุ่มทุกคน</li> <li>- มีการเชื่อมโยงความคิดของสมาชิกทุกคนในการออกแบบชิ้นงาน</li> <li>- มีการสังเคราะห์จากมุมมองที่แตกต่างของสมาชิก</li> </ul>	<p>1 คะแนน</p> <p>1 คะแนน</p> <p>1 คะแนน</p>
<p>5. การผลิตและสร้างนวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ (คะแนนเต็ม 7 คะแนน)</p>	<p>1 คะแนน</p>

รายการ	คะแนน
<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีการระบุรายละเอียดเกี่ยวกับกลุ่มเป้าหมายได้แก่ เพศ อายุ ความสูง ระบุ 2 ประเด็นขึ้นไป</li> <li>- มีการวิเคราะห์กลุ่มเป้าหมายเชิงลึก ได้แก่ ความชอบ-ไม่ชอบ ความต้องการ ความเหมาะสมในการใช้งาน อายุ เพศ ระบุ 3 ประเด็นขึ้นไป</li> <li>- มีการนำวัสดุอุปกรณ์ที่อยู่รอบตัวมาประยุกต์ใช้ในการสร้างชิ้นงาน</li> <li>- มีการวางแผนขั้นตอนการทำงานอย่างละเอียด เป็นลำดับขั้นตอนชัดเจน</li> <li>- สามารถสร้างชิ้นงานได้ตามแบบที่ได้ออกแบบไว้</li> <li>- ชิ้นงานเป็นไปตามข้อกำหนดทั้งหมดได้แก่ เป็นเครื่องดนตรีของเล่นสำหรับเด็ก มีความแตกต่างจากเครื่องดนตรีของเล่นทั่วไป มีชิ้นเดียวในโลก มีความสวยงาม คงทน และปลอดภัย และสามารถใช้งานได้จริง</li> <li>- มีการปรับปรุง/เปลี่ยนแปลงชิ้นงานเพื่อให้บรรลุเกณฑ์ที่กำหนดได้สำเร็จ</li> </ul>	<p>1 คะแนน</p> <p>1 คะแนน</p> <p>1 คะแนน</p> <p>1 คะแนน</p> <p>1 คะแนน</p> <p>1 คะแนน</p>
<p>6. การควบคุมและการสะท้อนตนเอง (คะแนนเต็ม 3 คะแนน)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- มีการปรับปรุง เปลี่ยนแปลงชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงานดีขึ้นตามข้อเสนอแนะจากเพื่อนและครู</li> <li>- มีการระบุข้อบกพร่องในการทำงานของกลุ่มพร้อมบอกแนวทางแก้ไข</li> <li>- มีการประเมินความสำเร็จของตนเองโดยพิจารณา ตามเกณฑ์ที่กำหนด</li> </ul>	<p>1 คะแนน</p> <p>1 คะแนน</p> <p>1 คะแนน</p>

**หมายเหตุ** นักเรียนแสดงพฤติกรรมตามที่กำหนดให้ 1 คะแนนในแต่ละประเด็น

แบบสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา  
ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

(สำหรับผู้เชี่ยวชาญและครูผู้สอน)

ผู้บันทึก.....ตำแหน่ง.....  
 วัน/เดือน/ปี ที่บันทึก.....เวลา.....น.  
 หน่วยการเรียนรู้ที่.....เรื่อง.....

**คำชี้แจง** ให้นักเรียนสะท้อนผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการ  
 ออกแบบเชิงวิศวกรรม

1. ความคิดเห็นที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ครั้งนี้

1.1 ขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

1.1.1 ชั้นระบุปัญหา

จุดเด่น

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

จุดค่อย

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

ปัญหาและอุปสรรคที่พบ

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

1.1.2 ชั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา

จุดเด่น

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

จุดค่อย

ปัญหาและอุปสรรคที่พบ

1.1.3 ชั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา

จุดเด่น

จุดด้อย

ปัญหาและอุปสรรคที่พบ

1.1.4 ชั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา

จุดเด่น

จุดด้อย

ปัญหาและอุปสรรคที่พบ



.....  
.....  
.....  
1.1.5 **ขั้นตอนทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน**  
**จุดเด่น**

.....  
.....  
.....  
**จุดค่อย**

.....  
.....  
.....  
**ปัญหาและอุปสรรคที่พบ**

.....  
.....  
.....  
1.1.6 **ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน**  
**จุดเด่น**

.....  
.....  
.....  
**จุดค่อย**

.....  
.....  
.....  
**ปัญหาและอุปสรรคที่พบ**

.....  
.....  
.....  
1.2 **ระยะเวลาที่ใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละชั้น**







ตาราง 12 แสดงผลการประเมินแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาด้วยกระบวนการ  
ออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม เรื่อง เสี่ยง สำหรับ  
นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการ	ระดับคุณภาพ			$\bar{X}$	S.D.	ระดับความ เหมาะสม
	1	2	3			
<b>1 ด้านจุดประสงค์</b>						
1.1 จุดประสงค์การเรียนรู้พัฒนานักเรียนด้าน ความรู้	4	4	4	4	0	ดี
1.2 จุดประสงค์การเรียนรู้พัฒนานักเรียนด้าน ทักษะ	4	3	5	4	1	ดี
1.3 จุดประสงค์การเรียนรู้พัฒนานักเรียนด้าน คุณลักษณะอันพึงประสงค์	4	4	5	4.33	0.58	ดี
1.4 จุดประสงค์การเรียนรู้ครอบคลุม พฤติกรรมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม	3	1	5	3	2	ปานกลาง
1.5 จุดประสงค์การเรียนรู้ระบุถึงพฤติกรรมที่ สามารถวัดและประเมินผลได้	4	3	4	3.67	0.58	ปานกลาง
รวม	3.8	3	4.6	3.8	0.8	ดี
<b>2 ด้านเนื้อหา</b>						
2.1 สาระการเรียนรู้ตรงตามมาตรฐาน การเรียนรู้ ผลการเรียนรู้	4	4	5	4.33	0.58	ดี
2.2 เนื้อหามีความถูกต้อง เหมาะสมกับ ระดับชั้นของผู้เรียน	3	4	5	4	1	ดี
รวม	3.5	4	5	4.17	0.76	ดี

รายการ	ระดับคุณภาพ			$\bar{X}$	S.D.	ระดับความเหมาะสม
	1	2	3			
3. ด้านกิจกรรม						
3.1 กิจกรรมการเรียนรู้สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	4	3	4	3.67	0.57	ปานกลาง
3.2 กิจกรรมการเรียนรู้เหมาะสมกับเนื้อหา	4	3	5	4	1	ดี
3.3 การออกแบบกิจกรรม						
3.3.1 ชั้นระบุปัญหาส่งเสริมให้นักเรียนสามารถทำความเข้าใจปัญหา วิเคราะห์เงื่อนไขหรือข้อจำกัดของสถานการณ์	4	3	4	3.67	0.58	ปานกลาง
3.3.2 ชั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ส่งเสริมให้นักเรียนสามารถรวบรวมข้อมูลและแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบชิ้นงาน	3	3	4	3.33	0.58	ปานกลาง
3.3.3 ชั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา ส่งเสริมให้นักเรียนสามารถนำข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องเพื่อการออกแบบชิ้นงาน โดยคำนึงถึงทรัพยากร ข้อจำกัดและเงื่อนไขตามสถานการณ์ที่กำหนด	4	2	5	3.67	1.53	ปานกลาง
3.3.4 ชั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา ส่งเสริมให้นักเรียนสามารถเขียนวางแผนลำดับขั้นตอนของการสร้างชิ้นงาน ลงมือสร้างชิ้นงานด้วยการทำงานร่วมกันได้อย่างสร้างสรรค์	3	2	5	3.33	1.53	ปานกลาง

รายการ	ระดับคุณภาพ			$\bar{X}$	S.D.	ระดับความเหมาะสม
	1	2	3			
3.3.5 ชั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ส่งเสริมให้นักเรียนสามารถทำการทดสอบและประเมินการใช้งานของชิ้นงาน	4	2	5	3.67	1.53	ปานกลาง
3.3.6 ชี้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ส่งเสริมให้นักเรียนสามารถนำเสนอแนวคิดและขั้นตอนการแก้ปัญหาของการสร้างชิ้นงาน	4	2	4	3.33	1.15	ปานกลาง
3.4 กิจกรรมเหมาะสมกับเวลา						
3.4.1 ชั้นระบุปัญหาเหมาะสมกับระยะเวลา	4	3	5	4	1	ดี
3.4.2 ชั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา เหมาะสมกับระยะเวลา	4	3	5	4	1	ดี
3.4.3 ชั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหาเหมาะสมกับระยะเวลา	4	3	5	4	1	ดี
3.4.4 ชั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหาเหมาะสมกับระยะเวลา	4	3	4	3.67	0.58	ปานกลาง
3.4.5 ชั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงานเหมาะสมกับระยะเวลา	4	3	4	3.67	0.58	ปานกลาง
3.4.6 ชี้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผล	3	3	4	3.33	0.58	ปานกลาง

รายการ	ระดับคุณภาพ			$\bar{X}$	S.D.	ระดับความเหมาะสม
	1	2	3			
การแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน เหมาะสมกับระยะเวลา						
3.5 กิจกรรมการเรียนรู้เหมาะสมกับระดับชั้นของผู้เรียน	4	3	5	4	1	ดี
3.6 กิจกรรมการเรียนรู้สามารถนำไปปฏิบัติได้จริง	4	3	5	4	1	ดี
3.7 กิจกรรมการเรียนรู้ส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง	4	3	5	4	1	ดี
รวม	3.9	2.8	4.5	3.73	0.87	ปานกลาง
<b>4. ด้านการวัดและประเมินผล</b>						
4.1 การวัดและประเมินผลสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	4	3	4	3.67	0.58	ปานกลาง
4.2 วิธีการวัดและประเมินผลสอดคล้องกับเครื่องมือที่ใช้ในการวัดและประเมินผล	4	3	5	4	1	ดี
4.3 ระบุเกณฑ์การวัดและประเมินผลอย่างชัดเจน	4	3	5	4	1	ดี
4.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดและประเมินผลครอบคลุมพฤติกรรมที่ต้องการวัด	4	3	4	3.67	0.58	ปานกลาง
รวม	4	3	4.5	3.83	0.76	ปานกลาง
<b>5. ด้านสื่อ</b>						



รายการ	ระดับคุณภาพ			$\bar{X}$	S.D.	ระดับความเหมาะสม
	1	2	3			
5.1 สื่อการเรียนรู้สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	4	3	5	4	1	ดี
5.2 สื่อการเรียนรู้มีความเหมาะสมกับเนื้อหาและระดับชั้นของผู้เรียน	4	3	5	4	1	ดี
5.3 สื่อการเรียนรู้มีคุณภาพ ช่วยส่งเสริมให้เกิดพฤติกรรมที่ต้องการวัด	4	3	4	3.67	0.58	ปานกลาง
5.4 สื่อการเรียนรู้มีความน่าสนใจ ทันสมัย กระตุ้นให้ผู้เรียนอยากเรียนรู้และเข้าร่วมกิจกรรม	4	3	5	4	1	ดี
รวม	4	3	4.8	3.93	0.88	ดี

ตาราง 13 แสดงผลการประเมินแบบสะท้อนผลแผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา  
ด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม  
เรื่อง เสี่ยง สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการ	ผู้เชี่ยวชาญ			$\bar{X}$	S.D	ระดับ คุณภาพ
	1	2	3			
1. เนื้อหา มีความสอดคล้องกับ วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4	4	5	4.33	0.58	ดี
2. รูปแบบและโครงสร้างครบถ้วน และมี จัดเรียงลำดับที่เหมาะสม	4	3	4	3.67	0.58	ปานกลาง
3. มีคำชี้แจงแนวทางการสะท้อนผลที่ ชัดเจน	4	3	4	3.67	0.58	ปานกลาง
4. ประเด็นคำถามครอบคลุมสำหรับ การเก็บข้อมูลในการนำมาพัฒนาแผน การจัดการเรียนรู้และความคิดสร้างสรรค์ และนวัตกรรม	4	4	4	4	0	ดี
5. ข้อคำถามมีความชัดเจน เข้าใจง่าย	3	4	5	4	1	ดี
6. มีการแยกและอธิบายขั้นตอนการจัด การเรียนรู้ในการสะท้อนผลที่ชัดเจน	4	4	5	4.33	0.58	ดี
รวม	3.83	3.67	4.5	4	0.44	ดี

ประวัติผู้วิจัย

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - ชื่อสกุล	สุนันทรา จินเมือง
วัน เดือน ปี เกิด	19 สิงหาคม 2535
ที่อยู่ปัจจุบัน	250/1 หมู่ 7 ตำบลหอกกลอง อำเภอพรหมพิราม จังหวัดพิษณุโลก 65150
ที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนเฉลิมขวัญสตรี อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000
ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน	ครู
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2559	โรงเรียนเฉลิมขวัญสตรี
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2554	กศ.บ. (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยนเรศวร