ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิทยาศาสตร์ เรื่อง เซลล์กัลวานิก และความสามารถในการคิดผลิตภาพ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนประจวบวิทยาลัย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

นายพลวิชญ์ อังสวัสดิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต
วิชาเอกวิทยาศาสตร์ศึกษา สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
พ.ศ. 2561

The Effects of STEM Education Learning Activities Management on Science Learning Achievements in the Topic of Galvanic Cell and Productive Thinking Ability of Mathayom Suksa VI Students at Prachuab Wittayalai School in Prachuap Khiri Khan Province

Mr. Ponlawich Angsawat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for
the Degree of Master of Education in Science Education
School of Educational Studies
Sukhothai Thammathirat Open University
2018

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่อง เซลล์กัลวานิก และความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนประจวบวิทยาลัย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ชื่อและนามสกุล นายพลวิชญ์ อังสวัสดิ์

วิชาเอก วิทยาศาสตร์ศึกษา

สาขาวิชา ศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

อาจารย์ที่ปรึกษา 1. รองศาสตราจารย์ ดร.นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์

2. รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์

วิทยานิพนธ์นี้ ได้รับความเห็นชอบให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรระดับปริญญาโท เมื่อวันที่ 16 พฤษภาคม 2562

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศศิเทพ ปิติพรเทพิน)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์)

..... ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรางคณา จันทร์คง)

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่อง เซลล์กัลวานิก และความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนประจวบวิทยาลัย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

ผู้วิจัย นายพลวิชญ์ อังสวัสดิ์ **รหัสนักศึกษา** 2602000321 **ปริญญา** ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ศึกษา) **อาจารย์ที่ปรึกษา** (1) รองศาสตราจารย์ ดร.นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์ (2) รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์ **ปีการศึกษา** 2561

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่อง เซลล์กัลวานิก ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนประจวบวิทยาลัยที่เรียนโดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษากับของนักเรียนที่เรียนโดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ (2) เปรียบเทียบความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนที่เรียนโดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษากับของนักเรียนที่เรียนโดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ และ (3) เปรียบเทียบความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนที่เรียนโดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาระหว่างก่อนเรียน และหลังเรียน

กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 2 ห้องเรียน รวม 43 คนของโรงเรียนประจวบวิทยาลัย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ปีการศึกษา 2561 ได้มาโดยการสุ่มแบบแบ่งกลุ่ม แล้วจับฉลากให้ห้องหนึ่งเป็นกลุ่มทดลองที่จัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา และอีกห้องหนึ่งเป็นกลุ่มควบคุมที่จัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ (1) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง เซลล์กัลวานิก (2) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง เซลล์กัลวานิก (3) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ และ (4) แบบประเมินความสามารถในการคิดผลิตภาพ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบค่าที

ผลการวิจัยปรากฏว่า (1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาสูงกว่าของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (2) ความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาสูงกว่าของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ (3) ความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

คำสำคัญ สะเต็มศึกษา ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ ความสามารถในการคิดผลิตภาพ

Thesis title: The Effects of STEM Education Learning Activities Management on Science Learning Achievements in the Topic of Galvanic Cell and Productive Thinking Ability of Mathayom Suksa VI Students at Prachuap Wittayalai School in Prachuap Khiri Khan Province
Researcher: Mr. Ponlawich Angsawat; **ID:** 2602000321;
Degree: Master of Education (Science Education);
Thesis advisors: (1) Dr. Nuanjid Chaowakeratipong, Associate Professor;
2) Dr. Tweesak Chindanurak, Associate Professor; **Academic year:** 2018

Abstract

The purposes of this research were (1) to compare science learning achievement in the topic of Galvanic Cell of Mathayom Suksa VI students at Prachuap Wittayalai School, who learned under STEM education learning activities management, with that of students who learned under the conventional learning activities management; (2) to compare productive thinking ability of the students who learned under STEM education learning activities management with that of students who learned under the conventional learning activities management; and (3) to compare the pre-learning and post-learning productive thinking abilities of the students who learned under STEM education learning activities management.

The research sample consisted of 43 Mathayom Suksa IV students in two heterogeneous intact classrooms at Prachuab Wittayalai School in Prachuap Khiri Khan Province, obtained by cluster random sampling. Then, one class was randomly assigned as the experimental group to learn under STEM education learning activities management; while the other class, as the control group to learn under the conventional learning activities management. The research instruments used in this research were (1) learning management plans in the topic of Galvanic Cell at Mathayom Suksa VI level for STEM education learning activities management; (2) learning management plans in the topic of Galvanic Cell at Mathayom Suksa VI level for conventional learning activities management; (3) a science learning achievement test; and (4) a scale to assess productive thinking ability. Statistics employed for data analysis were the mean, standard deviation, and t-test.

The research findings revealed that (1) the science learning achievement of Mathayom Suksa VI students who learned under STEM education learning activities management was significantly higher than the counterpart achievement of the students who learned under the conventional learning activities management at the .05 level of statistical significance; (2) the productive thinking ability of Mathayom Suksa VI students who learned under STEM education learning activities management was significantly higher than the counterpart ability of the students who learned under the conventional learning activities management at the .05 level of statistical significance; and (3) the post-learning productive thinking ability of Mathayom Suksa VI students who learned under STEM education learning activities management was significantly higher than their pre-learning counterpart ability at the .05 level of statistical significance.

Keywords: STEM education, Science learning achievement, Productive thinking ability

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์ในการให้คำแนะนำ คำชี้แนะ และติดตามการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้เป็นอย่างดีจากรองศาสตราจารย์ ดร.นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ จิดานุรักษ์ ตั้งแต่เริ่มต้นทำวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ศศิเทพ ปิติพรเทพิน ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้ง และขอขอบคุณในความกรุณาของท่านเป็นอย่างยิ่ง

ผู้วิจัยขอขอบคุณ นางอมรรัตน์ ศรีสวัสดิ์ นางนิษานาถ บุญยิ้ม และนายนิติธรรม จันทร์แจ่ม ผู้ทรงคุณวุฒิที่อนุเคราะห์ในการตรวจสอบ ให้คะแนะนำ และแก้ไขเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยนี้ให้มีความเหมาะสม และสมบูรณ์มากที่สุด รวมทั้งนางสาวเมวิกา สุกกระจ่าง ที่อำนวยความสะดวกในการทดลองใช้เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล

ขอน้อมระลึกถึงพระคุณของบิดามารดา ที่คอยอบรมสั่งสอน และให้กำลังใจในการศึกษามุ่งมั่นในการเรียน และการทำงาน ตลอดจนครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้ในสาขาวิชาต่างๆ จนทำให้ผู้วิจัยทำงานวิจัยครั้งนี้จนประสบความสำเร็จได้ด้วยดี

พลวิชญ์ อังสวัสดิ์

พฤษภาคม 2562

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ญ
บทที่ 1 บทนำ 1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
วัตถุประสงค์การวิจัย 4
สมมติฐานการวิจัย 5
ขอบเขตการวิจัย 5
นิยามศัพท์เฉพาะ 6
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 7
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 8
การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา 9
ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ 25
ความสามารถในการคิดผลิตภาพ 39
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 56
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 59
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 59
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 60
การเก็บรวบรวมข้อมูล 70
การวิเคราะห์ข้อมูล 71
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 76
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 76

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 80
สรุปการวิจัย 80
อภิปรายผล 82
ข้อเสนอแนะ 90
บรรณานุกรม 92
ภาคผนวก 99
ก รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบเครื่องมือ 100
ข เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 102
ค คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่อง เซลล์กัลวานิก และคะแนนความสามารถการคิดผลิตภาพ 134
ประวัติผู้วิจัย 138

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 โครงสร้างความรู้ และกระบวนการคิดทางด้านพุทธิพิสัยฉบับปรับปรุง 29
ตารางที่ 2.2 พฤติกรรมการแสดงออกของนักเรียนทางด้านความรู้ความคิด 31
ตารางที่ 2.3 พฤติกรรมการแสดงออกของนักเรียนด้านทักษะการปฏิบัติ 32
ตารางที่ 2.4 พฤติกรรมการแสดงออกของนักเรียนทางด้านกระบวนการเรียนรู้ 32
ตารางที่ 2.5 พฤติกรรมการแสดงออกของนักเรียนด้านเจตคติ 34
ตารางที่ 2.6 เกณฑ์การประเมินคุณภาพด้านการสังเกต (Rubric) 51
ตารางที่ 2.7 แสดงการกำหนดเกณฑ์การให้คะแนน 52
ตารางที่ 3.1 กรอบแนวคิดขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา (ปรับปรุงจาก สสวท.) 61
ตารางที่ 3.2 ความรู้ในสาขาวิชาต่าง ๆ ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องเซลล์กัลวานิก 63
ตารางที่ 3.3 ระดับความคิดเห็นแบบมาตรส่วนประมาณค่า 64
ตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา และการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ เรื่องเซลล์กัลวานิก 66
ตารางที่ 3.5 การแปลความหมายค่าความยาก (p) ของข้อสอบ 72
ตารางที่ 3.6 การแปลความหมายค่าอำนาจจำแนก (r) ของข้อสอบ 73
ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลป์วานิก ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 76
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 77
ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน 78
ตารางที่ 5.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของบุคคลที่มีความสามารถในการคิดผลิตภาพกับขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาที่พัฒนาคุณลักษณะความสามารถในการคิดผลิตภาพ 85

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 การเรียนรู้อย่างมีความหมาย 16
ภาพที่ 2.2 ความสัมพันธ์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ 26
ภาพที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ 26

บทที่ 1
บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยกำลังมุ่งเน้นเพื่อพัฒนาประเทศให้ก้าวข้ามจากประเทศที่เน้นอุตสาหกรรมเบาไปสู่ประเทศที่เน้นอุตสาหกรรมหนักหรือโมเดลไทยแลนด์ 4.0 เนื่องจากปัญหาในประเทศที่ต้องเผชิญกับการเป็นประเทศที่มีรายได้เฉลี่ยในระดับปานกลาง ทำให้เกิดช่องว่างความเหลื่อมล้ำของเศรษฐกิจภายในประเทศ ทำให้ประเทศไทยมีความจำเป็นที่จะต้องปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางเศรษฐกิจ ซึ่งจะเน้นระบบเศรษฐกิจที่ต้องขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม โดยเน้นการเปลี่ยนผ่านใน 4 องค์ประกอบใหญ่ที่สำคัญ คือ 1. เปลี่ยนจากเกษตรแบบดั้งเดิมไปสู่การเกษตรสมัยใหม่ที่เน้นการใช้เทคโนโลยีเข้ามาเกี่ยวข้องในการจัดการ 2. พัฒนาระบบเศรษฐกิจ SMEs ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น 3. ภาคบริการที่สร้างมูลค่าต่ำไปสู่การสร้างที่มีมูลค่าสูงขึ้น 4. การพัฒนาทักษะแรงงานให้มีความรู้ ความเชี่ยวชาญสูงขึ้น (สุวิทย์ เมษินทรีย์, 2559) รวมถึงการกำหนดยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี โดยมีระยะเวลาตั้งแต่ปี 2560-2579 ที่มุ่งเน้นยุทธศาสตร์ด้านความมั่นคงในด้านการสร้างความสามารถในการแข่งขัน ด้านการพัฒนาและส่งเสริมศักยภาพคน ความเสมอภาคเท่าเทียมกันทางสังคม สร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และปรับสมดุลโดยพัฒนาระบบการบริหารจัดการของภาครัฐ (สฤณี อาชวานันทกุล, 2561)

วิทยาศาสตร์มีความสำคัญเป็นอย่างมากที่จะเป็นตัวช่วยในการขับเคลื่อนประเทศให้เป็นไปตามโมเดลไทยแลนด์ 4.0 และยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปีให้สำเร็จ เนื่องจากมีจุดมุ่งเน้นให้นักเรียนรู้จักการเชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และใช้เหตุผลที่น่าเชื่อถือมาใช้ประกอบการแก้ปัญหาที่หลากหลาย (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี: สสวท., 2560) อีกทั้งวิทยาศาสตร์ยังมีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิต โดยเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญที่เกี่ยวเนื่องกับสิ่งแวดล้อม และมนุษย์(ลิปปนนท์ เกตุทัต, 2538) สังเกตได้จากประเทศที่ให้ความสำคัญกับวิทยาศาสตร์ให้เป็นตัวแปรที่สำคัญในการพัฒนาคนในประเทศให้ประชาชนในประเทศมีความคิดที่เป็นเหตุเป็นผล ไม่งมงายหรือเชื่อสิ่งใดสิ่งหนึ่งง่ายๆ เพียงเพราะเกิดจากศรัทธาเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะเป็นตัวแปรที่สำคัญที่จะนำไปสู่การพัฒนาประเทศได้ (ลิขิต ธีรเวคิน, 2536) รวมทั้งการเป็นผู้รู้วิทยาศาสตร์นั้น จะทำให้เป็นผู้ที่มีความเข้าใจในธรรมชาติ สามารถนำทฤษฎี หลักสำคัญไปใช้อย่างถูกต้องโดยผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปแก้ปัญหาใน

ชีวิตประจำวัน และเป็นคนที่มีความสามารถในการพัฒนาความคิดเพื่อพัฒนาทักษะต่างๆ อีกทั้งวิทยาศาสตร์ยังมีบทบาทสำคัญที่พัฒนาประเทศให้ดียิ่งขึ้นทั้งการพัฒนาด้านเศรษฐกิจ สังคม การเมือง และการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ผู้ผลิตทั้งด้านการเกษตรและด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น (จุฬารัตน์ ธรรมประธีป, 2560)

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาเป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้รูปแบบหนึ่งที่นอกเหนือจากการเน้นให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติเพื่อหาคำตอบด้วยตนเองซึ่งจัดเป็นการเรียนที่เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลางแล้วยังเป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นการบูรณาการขององค์ความรู้ที่นักเรียนได้สร้างขึ้นด้วยตนเองเพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหา โดยผ่านกระบวนการสืบค้นหาข้อมูลต่างๆ (วศิณีส์ อิศรเสนา ณ อยุธยา, 2560) ทำให้นักเรียนเกิดความรัก และเห็นคุณค่าในวิชาดังกล่าวว่าเป็นวิชาที่สามารถนำความรู้ที่ได้รับมาใช้ในชีวิตประจำวันได้ (สสวท., 2559) ซึ่งสอดคล้องกับจุดมุ่งหมายของหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560) ที่เน้นให้นักเรียนได้เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการเรียนรู้และจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นนักเรียนให้เกิดการพัฒนาทางด้านความคิดทั้งความคิดที่เป็นเหตุเป็นผล คิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์วิจารณ์ เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 (สสวท., 2560)

ในรายวิชาวิทยาศาสตร์นั้นสามารถแบ่งสาขาวิชาย่อยได้ดังนี้ คือ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา ดาราศาสตร์ และวิทยาศาสตร์โลก (กรมวิชาการ, 2546) แต่ในการศึกษาครั้งนี้จะเน้นในรายวิชาเคมี ซึ่งเป็นวิชาที่ศึกษาส่วนประกอบและสมบัติของสาร ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงของสสาร ที่ทำให้เกิดสารใหม่ขึ้นในธรรมชาติ โดยความรู้ที่ได้รับจะเป็นความรู้ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิต และจะเกี่ยวโยงกับวัตถุหรือสารต่างๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ โดยการเรียนวิชาเคมี มีความจำเป็นที่ต้องอาศัยความเข้าใจเป็นสำคัญ ซึ่งปัญหาของเด็กนักเรียนบางคนเกิดจากการเข้าใจที่ว่าวิชาเคมีเป็นวิชาที่ใช้วิธีการท่องจำเป็นหลัก เป็นผลให้นักเรียนไม่สามารถอธิบายเนื้อหาในบทเรียนได้ จึงทำให้บรรยากาศในการเรียนวิทยาศาสตร์ขาดความสนุกสนาน นักเรียนจึงเกิดความไม่พึงพอใจในการเรียนวิทยาศาสตร์มากเท่าที่ควร จากปัญหาดังกล่าวมีสาเหตุมาจาก ครู ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน ส่วนใหญ่ยังคงใช้วิธีการสอนที่ยึดครูเป็นศูนย์กลาง โดยกระบวนการจัดการเรียนรู้ครูใช้การบรรยายหรืออธิบายเนื้อหา ซึ่งมุ่งเน้นเฉพาะการถ่ายทอดเนื้อหาวิชา โดยให้นักเรียนจดบันทึกเพื่อการท่องจำในการสอบมากกว่าการเรียนการสอนเพื่อให้นักเรียนได้คิดวิเคราะห์สังเคราะห์ การแสดงความคิดเห็นและการแสวงหาความรู้ด้วยตนเอง ทำให้นักเรียนเกิดความรู้สึกว่าการเรียนขาดความน่าสนใจ (ภพ เลาหไพบูลย์, 2542) จากการศึกษารูปแบบกระบวนการจัดการเรียนรู้ในปัจจุบัน พบว่ากระบวนการจัดการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพและสามารถตอบสนองความต้องการนักเรียนที่มีความสนใจแตกต่างกันได้ดี คือ กระบวนการจัดการเรียนรู้โดยยึดนักเรียนเป็นสำคัญที่สภาพการณ์ของการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนมีบทบาทหรือมีส่วนร่วมอย่างตื่นตัว

ทั้งทางด้านร่างกาย สติปัญญา อารมณ์และสังคมในกิจกรรมหรือกระบวนการเรียนรู้ (ทิศนา แขมมณี, 2560) ที่มุ่งจัดกิจกรรมที่สอดคล้องกับการดำรงชีวิตเหมาะสมกับความสามารถและความสนใจของนักเรียน โดยนักเรียนมีส่วนร่วม และลงมือปฏิบัติจริงทุกขั้นตอน จนเกิดการเรียนรู้ด้วยตนเอง ส่วนบทบาทของครูจะอยู่ในลักษณะของการสนับสนุน ช่วยเหลือ อำนวยความสะดวก และเป็นแหล่งข้อมูล (วัฒนาพร ระงับทุกข์, 2542)

จากปัญหาการจัดการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์ที่เกิดขึ้นประกอบกับผลการประเมินการทดสอบการศึกษาระดับชาติขั้นพื้นฐาน (O-net) ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ของโรงเรียนประจวบวิทยาลัย ปรากฏว่า ใน 2 ปีการศึกษา ได้แก่ ปีการศึกษา 2559 และ 2560 คะแนนเฉลี่ยของวิชาวิทยาศาสตร์ยังคงได้น้อยกว่าเกณฑ์ร้อยละ 50 และค่าคะแนนเฉลี่ยในระดับประเทศ (สถาบันทดสอบการศึกษาแห่งชาติ: สทศ., 2560) อีกทั้งผลการประเมินการทดสอบนานาชาติหรือ PISA ประจำปี 2015 พบว่า ประเทศไทยมีคะแนนการประเมินเฉลี่ย PISA 201 ด้านวิทยาศาสตร์ 421 คะแนน ด้านคณิตศาสตร์ 415 คะแนน และด้านการอ่าน 409 คะแนน ซึ่งคะแนนเฉลี่ยดังกล่าวต่ำกว่าค่าเฉลี่ยขององค์การเพื่อความร่วมมือและการพัฒนาทางเศรษฐกิจ (Organization for European Economic Co-operation: OEEC) อย่างมีนัยสำคัญ และคะแนนเฉลี่ยดังกล่าวของประเทศไทยยังต่ำกว่าคะแนนเฉลี่ยของประเทศสิงคโปร์ และเวียดนาม ในทุกๆ ด้าน แสดงให้เห็นว่านักเรียนส่วนใหญ่ยังขาดการคิดวิเคราะห์ คิดต่อยอด คิดประยุกต์ใช้ความรู้เพื่อไปแก้ไขปัญหาในชีวิตประจำวัน เนื่องจากข้อสอบในการทดสอบ PISA จะมีลักษณะที่เน้นให้นักเรียนได้ใช้ความรู้ที่เรียนรู้ในห้องเรียน นำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน (สสวท., 2561) จากผลการทดสอบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า นักเรียนยังคงขาดความสามารถในการเปลี่ยนแปลงความรู้ที่เกิดขึ้นในการเรียนไปสู่การคิดสิ่งที่แปลกใหม่เพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้สนใจศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบสะเต็มศึกษา (STEM) ที่เน้นให้นักเรียนได้เกิดความคิด การสืบค้นหาข้อมูล และการลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ทั้งการประดิษฐ์เป็นชิ้นงานหรือการคิดค้นวิธีการที่นำมาแก้ปัญหายังช่วยส่งเสริมให้นักเรียนมีทักษะที่สำคัญในศตวรรษที่ 21 (ประสาท เนืองเฉลิม, 2558) รวมทั้งผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของการคิดเป็นสำคัญ เนื่องจากการคิดเป็นพื้นฐานของการพัฒนาในด้านต่างๆ โดยเฉพาะความสามารถในการคิดผลิตภาพ ซึ่งเป็นกระบวนการคิดที่นำเอาความรู้ที่มีเปลี่ยนมาเป็นผลิตภัณฑ์ให้เกิดขึ้นจริงจากความคิดซึ่งผลผลิตที่เกิดขึ้น โดยจะเป็นจุดเริ่มต้นในการเปลี่ยนแปลงที่เน้นให้คนไทยเปลี่ยนความคิดเป็นผู้ผลิตแก้ปัญหาประเทศไทยที่เป็นสังคมประเภทบริโภคนิยม และปรับเปลี่ยนมาเป็นสังคมที่เป็นสังคมประเภทผลผลิตนิยมมากยิ่งขึ้น (ไพฑูรย์ สินลารัตน์, 2560) ซึ่งผลผลิตที่เกิดขึ้นนั้นถือเป็นนวัตกรรมและเป็นรูปธรรมของความคิด เพื่อเป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลักดันให้ประเทศไทยสามารถเดินไปตามโมเดลไทยแลนด์ 4.0 และยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี ได้อย่างสมบูรณ์ โดยเนื้อหาเรื่องเซลล์กัลวานิกนั้นได้

กล่าวถึงการเปลี่ยนปฏิกิริยาเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า และในปัจจุบันได้นำเอาความรู้ในเรื่องดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในแก้ไขปัญหาและอำนวยความสะดวกให้กับมนุษย์อย่างแพร่หลาย เช่น การทำแบตเตอรี่ การทำถ่านนาฬิกา เป็นต้น (สสวท., 2554) รวมถึงในปีการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในเรื่องเซลล์กัลวานิก ยังไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากเป็นหัวข้อที่ค่อนข้างซับซ้อนในการมองภาพการเกิดปฏิกิริยาเพื่อใช้ในการอธิบายค่อนข้างยาก รวมถึงมีคำศัพท์เฉพาะที่ค่อนข้างมาก (ณปภัช พิมพ์ดี, 2560) โดยการศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา และความสามารถในการคิดผลิตภาพในครั้งนี้จะเน้นกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เนื่องจากนักเรียนในระดับชั้นนี้จะได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่ครบถ้วนในทุกเนื้อหาที่เป็นพื้นฐานในแต่ละวิชา ซึ่งสามารถนำความรู้ดังกล่าวมาใช้ในการทำกิจกรรมการเรียนรู้ได้ครบถ้วน อีกทั้งนักเรียนในช่วงอายุดังกล่าวจะเป็นพลังที่สำคัญในการพัฒนาประเทศชาติต่อไปในอนาคต (เฉลิมพล พลมุข, 2551) รวมทั้งจากการศึกษางานวิจัยของธีระศักดิ์ ไชยสัตย์ (2560) ที่ศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานซึ่งเป็นการส่งเสริมให้นักเรียนได้สร้างแบบจำลองแล้วสามารถเกิดการพัฒนาความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนได้ จึงได้นำมาประยุกต์กับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาที่เน้นให้นักเรียนได้สร้างชิ้นงานเช่นกันเพื่อพัฒนาความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียน

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิกของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนประจวบวิทยาลัยที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษากับนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ

2.2 เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนดังกล่าวที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษากับนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ

2.3 เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนดังกล่าวที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

3. สมมติฐานการวิจัย

3.1 นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องเซลล์กัลวานิก มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์สูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ

3.2 นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องเซลล์กัลวานิก มีความสามารถในการคิดผลิตภาพสูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ

3.3 นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องเซลล์กัลวานิก มีความสามารถในการคิดผลิตภาพหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

4. ขอบเขตการวิจัย

4.1 ประชากร

ประชากร คือ นักเรียนขั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 แผนการเรียนเน้นวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โรงเรียนประจวบวิทยาลัย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 90 คน จำนวน 4 ห้องเรียน แบบคละความสามารถ

4.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 2 ห้องเรียน ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 แผนการเรียนเน้นวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โรงเรียนประจวบวิทยาลัย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ได้มาโดยการสุ่มแบบแบ่งกลุ่ม แล้วจับสลากซึ่งให้ห้องหนึ่งเป็นกลุ่มทดลองที่จัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา และอีกห้องหนึ่งเป็นกลุ่มควบคุมที่จัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ

4.3 ตัวแปรที่ศึกษา

4.3.1 ตัวแปรอิสระ

ตัวแปรอิสระ คือ การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องเซลล์กัลวานิก

4.3.2 ตัวแปรตาม

ตัวแปรตาม คือ

1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก

2) ความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียน

4.4 ระยะเวลาในการทดลอง

ระยะเวลาในการทดลอง คือ เวลา 18 ชั่วโมง ระหว่างเดือนพฤศจิกายน-มกราคม ปีการศึกษา 2561

4.5 เนื้อหาสาระ

เนื้อหาสาระที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ วิชาเคมี เรื่องเซลล์กัลวานิก เป็นเรื่องที่อยู่ในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ พุทธศักราช 2551 และหลักสูตรโรงเรียนประจวบวิทยาลัย ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา และการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ เรื่องเซลล์กัลวานิก

5. นิยามศัพท์เฉพาะ

5.1 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา หมายถึง การจัดการเรียนรู้สำหรับนักเรียนที่เน้นให้นักเรียนเกิดความคิดเชื่อมโยงความรู้ และบูรณาการใน 4 สาขาวิชาโดยใช้แผนการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการภายในวิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ เพื่อให้เกิดกระบวนการหรือผลผลิตที่นำไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน โดยขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่

5.1.1 ขั้นระบุปัญหา

5.1.2 ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

5.1.3 ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา

5.1.4 ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา

5.1.5 ขั้นทดสอบประเมินผล และปรับปรุง และ

5.1.6 ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหา

5.2 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ หมายถึง การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามคู่มือครู ประกอบด้วย ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน ขั้นสอน และขั้นสรุปที่เน้นการสืบเสาะหาความรู้

5.3 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความรู้ความสามารถของบุคคลในด้านสติปัญญา ที่เกิดจากการเรียนรู้ แสดงด้วยข้อสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ที่สร้างขึ้นตามโครงสร้างของ Bloom's Texonomy ได้แก่ ความรู้ความจำ ความเข้าใจ การประยุกต์ใช้ และการวิเคราะห์ผ่านกระบวนการที่เป็นระบบในสาขาวิขาเคมี เรื่องเซลล์กัลวานิก โดยวัดจากแบบทดสอบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ

5.4 ความสามารถในการคิดผลิตภาพ คือ ความสามารถของนักเรียนในการผลิตผลงานโดยใช้ความรู้ที่มีอยู่ในตนเอง และประสบการณ์ที่ได้พบจากการเรียนรู้ทั้งในและนอกห้องเรียน

ผลิตเป็นผลงานต่างๆ ที่เป็นรูปธรรมหรือเชิงประจักษ์ ผ่านกระบวนการเรียนรู้เชิงผลิตภาพ ประเมินจากแบบประเมินซึ่งสร้างจากโครงสร้างลักษณะของคนที่มีการคิดผลิตภาพ 7 ประการ คือ 1) เป็นคนช่างสังเกต 2) เป็นคนคิดต่อเนื่อง 3) เป็นคนมองเห็นแนวทางปรับปรุงแนวปฏิบัติ 4) เชื่อมโยงกับผลผลิต 5) คิดแล้วทำทันที 6) คิดให้ตลอดมุ่งทำให้สำเร็จลุล่วง และ7) พร้อมรับการทดสอบ และคำแนะนำ

6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

6.1 เป็นแนวทางสำหรับครูวิทยาศาสตร์ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องเซลล์กัลวานิก ต่อไป

6.2 เป็นแนวทางของครูในการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี เรื่องเซลล์กัลวานิก

6.3 เป็นแนวทางของครูในการพัฒนาความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

6.4 เป็นแนวทางในการพัฒนาความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนเพื่อผลิตนวัตกรรมมากยิ่งขึ้น

6.5 เป็นแนวทางในการพัฒนาผลการประเมินระดับประเทศ (O-net) และระดับนานาชาติ (PISA)

บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การเสนอวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในบทนี้จะนำเสนอแยกเป็นแต่ละหัวข้อ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา (STEM Education)
   1.1 ความหมายและองค์ประกอบของสะเต็มศึกษา
   1.2 แนวคิดและทฤษฎีพื้นฐานของสะเต็มศึกษา
   1.3 ลักษณะการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา
   1.4 เป้าหมายการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา
   1.5 แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา
   1.6 บทบาทของครูและนักเรียน ในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา
2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์
   2.1 ความหมาย ขอบเขตและพฤติกรรมการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์
   2.2 แนวทางการปฏิบัติในการวัดและประเมินผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์
   2.3 ประเภท การสร้าง และการหาคุณภาพของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์
3. ความสามารถในการคิดผลิตภาพ
   3.1 ความเป็นมา ความหมายและองค์ประกอบของการคิดผลิตภาพ
   3.2 ขอบเขตและคุณค่าของการคิดผลิตภาพ
   3.3 ลักษณะของบุคคลที่มีความคิดผลิตภาพ
   3.4 แนวทางการสร้างบรรยากาศและการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาการคิดผลิตภาพ
   3.5 แนวทางการสร้างและการหาคุณภาพเครื่องมือที่ใช้วัดการคิดผลิตภาพ
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา (STEM Education)

1.1 ความหมายและองค์ประกอบของสะเต็มศึกษา

ความหมายของสะเต็มศึกษา ได้ให้ความหมายโดยนักการศึกษา ดังต่อไปนี้

มนตรี จุฬาวัฒนพล (2556) กล่าวว่า สะเต็มศึกษา คือ แนวทางการจัดการศึกษาแบบใหม่ที่เน้นบูรณาการข้ามสาขาวิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ สำหรับสร้างสรรค์สิ่งใหม่ๆ

สสวท. (2557) กล่าวว่า สะเต็มศึกษา คือ แนวทางการจัดการศึกษาให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้อย่างบูรณาการทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ เพื่อใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริง เป็นกระบวนการหรือผลผลิตใหม่

รักษ์ศิริ จิตอารี (2560) สะเต็มศึกษา หมายถึง รูปแบบการเรียนการสอนที่ปรับเปลี่ยนจากการสอนแบบบรรยายมาเป็นการแบบบูรณาการการสอนวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมและคณิตศาสตร์ รวมถึงการบูรณาการพฤติกรรมของนักเรียนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นบุคคลแห่งการเรียนรู้ ส่งเสริมให้นักเรียนรู้จักวิธีการคิด การแก้ปัญหา การตั้งคำถาม เกิดทักษะการสืบค้นหาข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล นักเรียนสามารถเชื่อมโยงองค์ความรู้ ออกแบบโครงงานและลงมือปฏิบัติ เพื่อนำไปสู่การเรียนรู้อย่างมีความหมายแล้วนำความรู้ที่ได้มุ่งสู่การแก้ปัญหาที่สำคัญของชีวิตจริงหรือแก้ปัญหาในการประกอบอาชีพแห่งความเป็นจริง

วศิณีส์ อิศรเสนา ณ อยุธยา (2560) กล่าวว่า สะเต็มศึกษา คือการสอนที่เชื่อมโยงความรู้ และบูรณาการจาก 4 สาขาวิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ ในการแก้ปัญหา และนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน

สรุปได้ว่า สะเต็มศึกษา คือ การจัดการเรียนรู้สำหรับนักเรียนที่เน้นให้นักเรียนเกิดความคิดเชื่อมโยงความรู้และบูรณาการใน 4 สาขาวิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อให้เกิดกระบวนการ ชิ้นงานหรือผลผลิตที่นำไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน

1.2 แนวคิด และทฤษฎีพื้นฐานของสะเต็มศึกษา

แนวคิดและหลักการที่ใช้ในการจัดกิจการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาโดยนักการศึกษา ได้แก่ แนวคิดเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการและแนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้ ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

สสวท. (2560) กล่าวว่า แนวคิดหลักในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตมแนวคิดสะเต็มศึกษาคือ การบูรณาการ โดยการบูรณาการคือ การนำความรู้ในศาสตร์ต่างๆ ที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกัน

มาจัดประสบการณ์การเรียนรู้ผสมเข้าด้วยกัน เพื่อให้ตรงตามความต้องการ และสภาพความเป็นจริงของนักเรียน สามารถแบ่งการบูรณาการได้หลายรูปแบบ ดังนี้

1. การบูรณาการเนื้อหา (Integration) เป็นการกำหนดเนื้อหาของสาระหรือเนื้อหาระหว่างกลุ่มสาระมาสัมพันธ์กันแล้วเชื่อมโยงเป็นเรื่องเดียวกัน โดยกำหนดหัวข้อหรือตัวแปรหรือประเด็นปัญหา เพื่อให้นักเรียนได้นำเอาความรู้เนื้อหาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อนั้นมาผสมผสานกันโดยใช้ทักษะต่างๆ มาเชื่อมโยง เพื่อให้นักเรียนได้ทั้งความรู้ ทักษะและเจตคติ

2. การบูรณาการกระบวนการเรียนรู้ (integration of learning process) เป็นการนำรูปแบบและวิธีการต่างๆ ของการถ่ายทอดความรู้ของครูมาผสมผสานเข้าด้วยกันในการจัดการเรียนรู้ให้แก่นักเรียน หรือการจัดให้นักเรียนสามารถแสวงหาความรู้จากกระบวนการและวิธีการต่างๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งองค์ความรู้ โดยครูอาจกำหนดหัวข้อหรือประเด็นสำคัญในการศึกษา แล้วดูว่าในประเด็นที่ศึกษานั้นมีเนื้อหาอะไรและแต่ละเนื้อหาจะสอนด้วยวิธีใด

3. การบูรณาการเป้าหมายของการเรียนรู้ (integration of learning outcome) เป็นการบูรณาการเป้าหมายของการเรียนรู้เป็นหลักโดยอาจกำหนดหัวเรื่องเป็นประเด็นในการศึกษา แล้วพิจารณาว่าประเด็นที่จะศึกษานั้นต้องการให้นักเรียนได้เรียนรู้เกี่ยวกับอะไร จากนั้นจึงนำเนื้อหาที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกันกับประเด็นที่จะศึกษามาผสมผสานเชื่อมโยงกัน โดยมีเป้าหมายการเรียนรู้เป็นเรื่องเดียวกัน

นอกจากนี้ อาจแบ่งระดับการบูรณาการที่อาจเกิดขึ้นในห้องเรียนสะเต็มศึกษา ได้เป็น 4 ระดับ ดังนี้

1. การบูรณาการภายในวิชา (Disciplinary) นักเรียนได้เรียนเนื้อหาและฝึกทักษะแต่ละวิชาของสะเต็มแยกกัน การจัดการเรียนรู้แบบนี้คือการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีที่เป็นอยู่ทั่วไปที่ครูแต่ละวิชาจัดการเรียนรู้ให้แก่นักเรียนในรายวิชาของตนเอง

2. การบูรณาการแบบพหุวิทยาการ (Multidisciplinary integration) นักเรียนได้เรียนเนื้อหาและฝึกทักษะแต่ละวิชาของสะเต็มแยกกันตามหัวข้อหลักหรือ theme ที่ครูทุกวิชากำหนดร่วมกัน และมีการอ้างอิงถึงการเชื่อมโยงระหว่างวิชานั้น ๆ

3. การบูรณาการแบบสหวิทยาการ (Interdisciplinary integration) นักเรียนเรียนเนื้อหาและฝึกทักษะจาก 2 วิชาขึ้นไปรวมกันโดยกิจกรรมมีการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของทุกวิชาเพื่อให้นักเรียนได้เห็นความสอดคล้องกัน

4. การบูรณาการแบบข้ามสาขาวิชา (Transdisciplinary integration) การเรียนรู้เนื้อหาและฝึกทักษะของทั้ง 4 วิชา แล้วประยุกต์ความรู้และทักษะเหล่านั้นในการแก้ปัญหาชีวิตจริงและสร้างประสบการณ์เรียนรู้ของตนเอง

Micheal Sayler (อ้างถึงใน วศิณีส์ อิศรเสนา ณ อยุธยา, 2560) กล่าวว่าพื้นฐานของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษามาจากทฤษฎีพิพัฒนาการนิยม (Progressivism) หรือประสบการณ์นิยม (Experimentalism) เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลาง ครูมีบทบาทเพียงผู้คอยแนะนำ และจัดเตรียมประสบการณ์ การจัดการเรียนรู้ส่วนใหญ่จะเน้นการทดลองและการลงมือปฏิบัติจริง เพื่อฝึกฝนการแก้ปัญหา ไม่เน้นเพียงแต่เนื้อหาวิชาแต่กลับมุ่งให้นักเรียนได้พัฒนาทั้งทางร่างกาย อารมณ์ สังคม และสติปัญญาถือว่าการศึกษาคือ ชีวิต เป็นการพัฒนานักเรียนในทุกด้าน มุ่งให้นักเรียนเกิดความเจริญงอกงาม และเพิ่มพูนสติปัญญาสำหรับการดำเนินชีวิต

John Dewey และ Warde W.F. (อ้างถึงใน วศิณีส์ อิศรเสนา ณ อยุธยา, 2560) ผู้เป็นเจ้าของแนวคิด learning by doing ได้กล่าวไว้ว่า นักเรียนจะเรียนรู้ด้วยตนเองขึ้นอยู่กับความสนใจของนักเรียนเป็นการกระตุ้นแรงจูงใจในการเรียน ครูเป็นเพียงแรงบันดาลใจในการเรียนและแนะนำให้นักเรียนสืบค้น การพัฒนาด้านร่างกาย จิตใจ อารมณ์ สังคมของนักเรียนถือเป็นสิ่งสำคัญต่อการพัฒนาสติปัญญาของนักเรียน ซึ่งการจะให้นักเรียนเกิดความรู้ ความสนใจในกิจกรรมควรให้นักเรียนได้ทำกิจกรรมนอกห้องเรียน เพราะเป็นสิ่งที่นักเรียนต้องการทางร่างกาย นอกจากนี้ความร่วมมือระหว่างบ้าน ชุมชนและโรงเรียนเป็นสิ่งที่สำคัญในการพัฒนานักเรียน

จากแนวคิดของสะเต็มศึกษาข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า แนวคิดที่สำคัญของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษานั้น จะเน้นการบูรณาการซึ่งสามารถแบ่งเป็นหลายแบบ ในการวิจัยนี้จะใช้การบูรณาการแบบภายในวิชาที่มีวิชาวิทยาศาสตร์เป็นหลัก โดยกิจกรรมดังกล่าวต้องเน้นให้นักเรียนได้ลงมือกระทำ เพื่อให้นักเรียนได้เกิดความสนใจและเกิดการพัฒนาในด้านร่างกาย อารมณ์ จิตใจ และสติปัญหาให้ครบถ้วน โดยผ่านการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับชุมชนของนักเรียน

การจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาอาศัยทฤษฎีในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่หลากหลาย ดังนี้

1. การเรียนที่เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลางการเรียน

จอห์น ดิวอี้ (John Dewey อ้างถึงใน วศิณีส์ อิศรเสนา ณ อยุธยา, 2560) เชื่อว่า นักเรียนเรียนรู้ได้ดีจากเนื้อหาที่เชื่อมโยงจากตัวนักเรียนเอง อาจเกิดจากการเรียนรู้จากประสบการณ์ที่มีอยู่เดิมและประสบการณ์ใหม่ของนักเรียน ซึ่งการเรียนรู้นี้เป็นการเรียนรู้โดยตัวนักเรียนเองเป็นสำคัญ ซึ่งต่อมาเรียกว่า การเรียนรู้ที่เน้นนักเรียนเป็นสำคัญ การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลาง นักเรียนเป็นนักเรียนรู้ด้วยตนเอง ครูเป็นผู้สนับสนุนและชี้นำให้นักเรียนเข้าสู่การเรียนรู้ เพื่อนักเรียนจะได้เรียนในสิ่งที่ตนมีความสนใจ อยากรู้และอยากสนุกที่จะเรียนรู้

เวลเมอร์ (Welmer อ้างถึงใน วศิณีส์ อิศรเสนา ณ อยุธยา, 2560) กล่าวถึงการเรียนที่เน้นนักเรียนเป็นสำคัญ คือ

1. การสอนที่เน้นนักเรียนด้วยการให้นักเรียนทำงานหนักและยุ่งในการเรียน ครูต้องทำงานมากขึ้นเพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้จากการตั้งคำถาม เตรียมเนื้อหา ยกตัวอย่าง ให้ข้อมูลและแนะนำนักเรียนเพิ่มมากขึ้น ครูต้องทำงานมากกว่านักเรียนเพื่อให้นักเรียนมีทักษะในการเรียนรู้และเพื่อพัฒนานักเรียน

2. การสอนที่เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลางการเรียน ด้วยทักษะในการสอน สอนให้นักเรียนคิดแก้ปัญหาและประเมินจากสิ่งที่เกิดขึ้น ครูเน้นให้นักเรียนเรียนรู้ให้มากที่สุด เนื่องจากนักเรียนสามารถเรียนรู้ได้เร็วขึ้นถ้าได้รับวิธีการสอนและเนื้อหาที่ชัดเจน

3. การสอนที่เน้นนักเรียนด้วยการสนับสนุนให้นักเรียนแสดงออกในสิ่งที่ได้เรียนรู้ และวิธีในการเรียนรู้

4. การสอนที่เน้นนักเรียนด้วยการกระตุ้นนักเรียนโดยการควบคุมกระบวนการเรียนรู้บางส่วน ครูเป็นผู้ตัดสินใจเลือกสิ่งที่นักเรียนควรจะได้เรียนรู้และวิธีการเรียนรู้ ภายใต้เงื่อนไขที่ครูสามารถตรวจสอบการเรียนรู้ของนักเรียน

5. การสอนที่เน้นนักเรียนด้วยการส่งเสริมการทำงานร่วมกัน

2. ทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ของนักเรียน หรือ Constructivist Theory

เป็นทฤษฎีที่ให้ความสำคัญกับตัวนักเรียน เชื่อว่านักเรียนสามารถสร้างความรู้ได้ด้วยตนเอง จากการมีปฏิสัมพันธ์กับบุคคลอื่นและสิ่งแวดล้อมที่กระตือรือร้น (กมลฉัตร กล่อมอิ่ม และคณะ, 2559) ซึ่งการสร้างองค์ความรู้ของนักเรียนตาม Lev Vygotsky (อ้างถึงใน วศิณีส์ อิศรเสนา ณ อยุธยา, 2560) กล่าวนั้น จะเกิดขึ้นได้จากการจัดการจัดสภาพแวดล้อมของครูและพ่อแม่ ซึ่งความคิดรวบยอดของการสร้างองค์ความรู้เกิดจาก

1. นักเรียนสร้างองค์ความรู้จากประสบการณ์เดิม

2. นักเรียนต้องมีความกระตือรือร้นในการสร้างองค์ความรู้ในการแก้ปัญหาด้วยตนเอง

3. นักเรียนจะสร้างองค์ความรู้ได้ต้องอาศัยประสบการณ์จากผู้คน สถานที่ และสิ่งต่างๆ

4. การจัดการเรียนการสอนที่เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลาง

3. ทฤษฎีการเรียนรู้ด้วยการลงมือกระทำ (Active learning)

กระบวนการจัดการเรียนรู้ที่นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติและได้ใช้กระบวนการคิดเกี่ยวกับสิ่งที่ได้กระทำเป็นการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาศักยภาพทางสมอง ได้แก่ การคิด การแก้ปัญหา การนำความรู้ไปประยุกต์ใช้เพื่อเปิดโอกาสให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ สร้างองค์ความรู้และ

จัดระบบการเรียนรู้ด้วยตนเอง ทำให้นักเรียนได้เรียนรู้อย่างมีความหมาย โดยการร่วมมือระหว่างนักเรียนด้วยกันมีการสร้างปฏิสัมพันธ์ร่วมกัน เปิดโอกาสให้นักเรียนบูรณาการข้อมูล ข่าวสาร สารสนเทศและหลักการสู่การสร้างความคิดรวบยอด

จากหลักการทางจิตวิทยาตามแนวคิดของบรูเนอร์ (Jerome S. Bruner อ้างถึงใน วศิณีส์ อิศรเสนา ณ อยุธยา, 2560) มีแนวคิดในเรื่องการเรียนรู้จากสิ่งที่ตนเองสนใจและด้วยการค้นพบด้วยตนเอง โดยกล่าวถึงทฤษฎีการเรียนรู้ของมนุษย์ว่าแบ่งออกเป็น 3 ประการ คือ 1. การเรียนรู้ด้วยการกระทำ 2. การเรียนรู้จากความคิด และ 3. การเรียนรู้ด้วยสัญลักษณ์และนามธรรม โดยการจัดการเรียนรู้ต้องสัมพันธ์กับพัฒนาการทางสติปัญญาของนักเรียนเหมาะสมกับความพร้อมและพัฒนาการนักเรียน การเรียนรู้ที่ได้ผลดีที่สุดมาจากการเรียนรู้ที่นักเรียนค้นพบด้วยตนเอง นอกจากนี้ยังมีแนวคิดในเรื่องการเรียนรู้ ได้แก่

1. การจัดหลักสูตรควรต้องจัดให้มีความสัมพันธ์กับการพัฒนาทางด้านสติปัญญาของนักเรียนและให้มีความเหมาะสมกับพัฒนาการของนักเรียน

2. เน้นการพัฒนาการความคิดสร้างสรรค์ที่เกิดจากการหยั่งรู้ ที่เป็นการคิดโดยอาศัยเหตุและผลที่อิสระ

3. ปัจจัยในความสำเร็จของการเรียนคือ แรงจูงใจที่อยู่ภายใน

4. การเรียนรู้ได้ดีเกิดจากมโนทัศน์หรือความคิดรวบยอด

5. การเรียนรู้จะได้ผลที่สุดต้องเกิดจากการค้นพบด้วยตนเอง

การจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษานักเรียนจะได้เรียนรู้ด้วยตนเองผ่านการลงมือกระทำกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับประเด็นปัญหาหรือการแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้มีปฏิสัมพันธ์กับบุคคล แนวคิดและเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้อง เกิดการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองตามหลักการเรียนรู้แบบลงมือกระทำคือ 1. กระทำโดยตรง 2. การสะท้อนของการกระทำ 3. การเสริมแรงภายในและ 4. การแก้ปัญหา ซึ่งเป็นการเรียนรู้จากรูปธรรมไปยังนามธรรม

4. ทฤษฎีสังคม และวัฒนธรรมของมนุษย์ (Sociocultural Theory)

การจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษามีความสัมพันธ์กับทฤษฎีสังคมและวัฒนธรรมของมนุษย์ เรื่องของการมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคม โดยเลฟ ไวก๊อตสกี (Lev Vygotsky อ้างถึงใน วศิณีส์ อิศรเสนา ณ อยุธยา, 2560) เชื่อว่า การเรียนรู้ของนักเรียนจากบริบทางสังคมโดยนักเรียนได้ทำกิจกรรมต่างๆ จะเกิดการเรียนรู้ที่มีความหมายโดยการปฏิสัมพันธ์กับสิ่งเหล่านั้น การมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคมเป็นการเรียนรู้ของนักเรียนโดยการช่วยเหลือของผู้ใหญ่หรือนักเรียนด้วยกัน เป็นการสนับสนุนการเรียนรู้ทางด้านจิตใจ ภาษาและสังคม การสื่อสารหรือการสนทนาระหว่างนักเรียนกับผู้ใหญ่เป็นสิ่งสำคัญในการช่วยให้นักเรียนพัฒนาความคิดรวบยอดและความคิดในระดับที่สูงขึ้น

5. ทฤษฎีพหุปัญญา (Multiple Intelligence)

ทฤษฎีของการ์ดเนอร์ (Howard Gardner อ้างถึงใน วศิณีส์ อิศรเสนา ณ อยุธยา, 2560) เสนอแนวคิดว่า สติปัญญาของมนุษย์มีหลายด้าน และมีความสำคัญเท่ากัน โดยจะเป็นลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละคนไปซึ่งแบ่งเป็นความสามารถทางด้านสติปัญญาของมนุษย์ไว้ 9 ด้าน ได้แก่

1. ปัญญาทางภาษา (Linguistic Intelligence) เป็นความสามารถในการใช้ภาษารูปแบบต่างๆ และสามารถสื่อภาษาให้ผู้อื่นเข้าใจได้ตามที่ต้องการ

2. ปัญญาทางตรรกศาสตร์และคณิตศาสตร์ (Logical-Mathematical Intelligence) ความสามารถในการคิดแบบมีเหตุและผล การคิดเชิงนามธรรม การคิดคาดการณ์ และการคิดคำนวณทางคณิตศาสตร์

3. ปัญญาทางดนตรี (Musical Intelligence) ความสามารถในการเข้าใจดนตรี การมีทักษะด้านดนตรี

4. ปัญญาทางด้านมิติสัมพันธ์ (Visual-Spatial Intelligence) การมีศักยภาพในการรับรู้และจัดการกับรูปแบบของพื้นที่และรูปทรง การสร้างสรรค์ผลงานออกแบบผลงาน

5. ปัญญาด้านการเคลื่อนไหวร่างกาย (Bodily Kinesthetic Intelligence) ความสามารถในการเคลื่อนไหวร่างกาย การใช้ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายอย่างคล่องแคล่ว

6. ปัญญาทางการมีมนุษยสัมพันธ์ (Interpersonal Intelligence) ความสามารถในการเข้าใจความรู้สึกนึกคิดของผู้อื่น การสร้างความสัมพันธ์อันดีงามกับผู้อื่น

7. ปัญญาในการเข้าใจตนเอง (Intrapersonal Intelligence) ความสามารถในการเข้าใจความต้องการของตนเอง ควบคุมการแสดงออกของตนเองอย่างเหมาะสม

8. ปัญญาด้านธรรมชาติวิทยา (Naturalist Intelligence) ความสามารถในการเข้าใจเรื่องธรรมชาติ กฎเกณฑ์ ปรากฏการณ์ตามธรรมชาติ

9. ปัญญาทางด้านการคิดใคร่ครวญ (Existential intelligence) หรือปัญญาทางด้านอัตถิภาวะนิยม ความสามารถที่จะหาตนเองที่เกี่ยวกับจักรวาลที่ไม่มีที่สิ้นสุด สิ่งที่เกิดขึ้นได้ ความหมายของชีวิต

โดยได้แบ่งปัญญาออกเป็น 3 ขั้น ได้แก่

1. ระบบสัญลักษณ์ คือ ภาษาที่เกี่ยวกับประโยคและเรื่องราวของเพลง ภาพวาด หรือการเคลื่อนไหวของร่างกาย

2. ระบบสัญกรณ์ คือ การสื่อความหมายผ่านสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ แผนที่ โดยทำเครื่องหมายบนกระดาษ มีความสำเร็จได้ตามพัฒนาการ

3. วิชาชีพและแนวทางวิชาชีพ คือ สติปัญญาในช่วงวัยรุ่นหรือวัยผู้ใหญ่ ที่ใช้ในการทำนายอนาคตเมื่อเติบโต

6. ทฤษฎีการเรียนรู้ทางสติปัญญาของบลูมหรือพุทธิพิสัย (Bloom's Texonomy)

เบนจามิน บลูม (Benjamin Bloom อ้างถึงใน วศิณีส์ อิศรเสนา ณ อยุธยา, 2560) ได้คิดทฤษฎีการเรียนรู้ทางสติปัญญาของบลูมหรือจุดมุ่งหมายทางการศึกษาด้านพัฒนาทางปัญญา แบ่งเป็น 6 ขั้นได้แก่

1. ความรู้ หมายถึง ความสามารถในการจำ การรับรู้คำศัพท์ ความคิด กระบวนการ หรือทฤษฎีต่างๆ ของนักเรียน

2. ความเข้าใจ หมายถึง การแปลความหมายหรือการขยายความจากสิ่งที่เกิดจากการเรียนรู้

3. การนำไปใช้ หมายถึง การใช้ความคิด วิธีการหรือหลักการไปใช้ในสถานการณ์ต่างๆ ให้เกิดรูปธรรม ต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจ

4. การวิเคราะห์ หมายถึง การแยกความคิดออกเป็นส่วนๆ เพื่อให้เกิดความเข้าใจในโครงสร้างและความสัมพันธ์ขององค์ประกอบซึ่งจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับตัวบุคคล

5. การสังเคราะห์ หมายถึง การสร้างความคิดที่สร้างสรรค์ และความคิดรวบยอดรวบรวมส่วนย่อยๆ เข้าเป็นระบบเดียวกัน เพื่อให้เกิดสิ่งใหม่ที่สมบูรณ์ และดีกว่าเดิม สู่ความคิดใหม่ การบูรณาการและความคิดที่มีความหมาย

6. การประเมินผล หมายถึง การใช้ความคิดในการตัดสินใจหรือสรุปคุณค่าของสิ่งต่างๆ จากการสังเกตข้อมูล หลักฐานหรือเกณฑ์ ซึ่งอาจเป็นไปตามเนื้อหาสระในเรื่องนั้นๆ หรืออาจเป็นไปตามกฎเกณฑ์ทางสังคมยอมรับ

ครัทวอล (Krathwohl อ้างถึงใน วศิณีส์ อิศรเสนา ณ อยุธยา, 2560) ได้กล่าวถึงการปรับปรุงการเรียนรู้ทางสติปัญญาของบลูมใหม่แบ่งออกเป็น 2 มิติ คือ ความรู้ และกระบวนการทางสติปัญญา เพื่อให้ง่ายต่อการเชื่อมโยงจุดประสงค์และการประเมิน โดยพัฒนาการทางสติปัญญาของบลูมใหม่ ได้แก่

1. ความจำ หมายถึง การนำความรู้จากความจำในระยะยาว ซึ่งถือว่าเป็นระดับพื้นฐานของการเรียนรู้ เพื่อนำมาใช้ในการกำหนดการเรียนรู้ให้มีการพัฒนาขึ้นจากความรู้เดิม ได้แก่ การจำได้ และการระลึกได้

2. ความเข้าใจ หมายถึง กระบวนการสร้างความรู้อย่างมีความหมายที่เกิดจากการตัดสินใจจากการสื่อสารด้วยวิธีการต่างๆ รวบถึงการจัดหมวดหมู่ การยกตัวอย่าง การอ้างอิง การเปรียบเทียบ และการอธิบายเพื่อนำไปสู่ความเข้าใจในสิ่งที่กำลังเรียนรู้

3. การนำไปใช้ หมายถึง การนำความรู้ความเข้าใจไปใช้หรือประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ ด้วยกระบวนการหรือวิธีการที่เป็นขั้นตอนกับสถานการณ์ที่กำหนด ประกอบด้วยการนำไปปฏิบัติ การทำให้เกิดผล

4. การวิเคราะห์ หมายถึง การแยกส่วนประกอบในแต่ละส่วน แล้วนำมาหาความเชื่อมโยงระหว่างโครงสร้างและจุดประสงค์ผ่านกระบวนการอย่างเป็นระบบ โดยดูจากความแตกต่าง การจัดการและเจตนารมณ์

5. การประเมินผล หมายถึง การตัดสินตามเกณฑ์ และมาตรฐานจากสิ่งที่ได้เรียนรู้สู่บริบทของตนเองที่สามารถวัดได้ บนพื้นฐานของเหตุผลและเกณฑ์ที่แน่ชัด

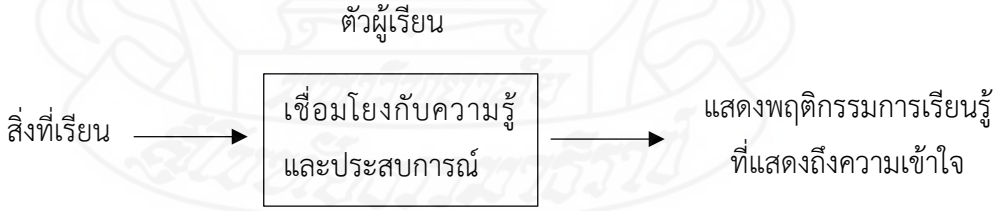
6. การสร้างสรรค์ หมายถึง ระดับสูงสุดของการเรียนรู้ เพื่อให้ได้องค์ประกอบของสิ่งที่เรียนรู้ร่วมกัน ด้วยการสังเคราะห์แล้วนำมาเชื่อมโยงให้ได้รูปแบบใหม่ ผ่านการวางแผนและการสร้างหรือผลิตอย่างเหมาะสม

7. ทฤษฎีการเรียนรู้ตามแนวคิดของออซูเบล (Ausubel's cognitive learning)

ทฤษฎีการเรียนรู้ของออซูเบล (Ausubel อ้างถึงใน กิ่งฟ้า สินธุวงษ์, 2549) กล่าวว่า การเรียนรู้ด้านทักษะพิสัย และเจตพิสัยเป็นผลสืบเนื่องมาจากพฤติกรรมการเรียนรู้ด้านพุทธิพิสัย ซึ่งกล่าวถึงเรื่องการเรียนรู้อย่างมีความหมาย ซึ่งแตกต่างจาการเรียนรู้แบบท่องจำและการเรียนรู้อย่างมีความหมาย มีลักษณะดังต่อไปนี้

1. การเรียนรู้แบบท่องจำ เป็นการรับรู้สิ่งที่เรียนและพยายามจดจำ

2. การเรียนรู้อย่างมีความหมาย เป็นการเรียนรู้โดยเชื่อมโยงสิ่งที่เรียนรู้เข้ากับความรู้หรือประสบการณ์เดิม ตามภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 การเรียนรู้อย่างมีความหมาย

โดยวิธีการสอนเพื่อให้เกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมายประกอบด้วย 3 เงื่อนไข ได้แก่

1. ความรู้ใหม่ต้องมีความหมาย และเป็นเหตุเป็นผลต่อเนื่องจากความรู้เดิม
2. โครงสร้างความรู้เดิมจะต้องมีความสัมพันธ์กับความรู้ใหม่

3. ผู้เรียนต้องสนใจ และมีเจตนาที่เรียนรู้อย่างมีความหมาย

8. ทฤษฎีการเรียนรู้การเชื่อมโยงของธอร์นไดค์ (Thorndike's Classical Connectionism)

ธอร์นไดค์ (Edward L Thorndike อ้างถึงใน ทิศนา แขมมณี, 2560) กล่าวว่า การเรียนรู้ของบุคคลจะเกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างสิ่งเร้ากับการตอบสนองซึ่งจะมีหลากหลายรูปแบบ มีการลองผิดลองถูกเปลี่ยนแปลงจนพบรูปแบบที่มีความถึงพอใจมากที่สุดเพียงรูปแบบการตอบสนองเดียวแล้วจึงนำไปเชื่อมโยงกับสิ่งเร้าอื่นๆ ในการเรียนรู้ โดยมีกฎการเรียนรู้ ดังนี้

1. กฎแห่งความพร้อม (Law of Readiness) การเรียนรู้จะเกิดขึ้นได้ดียิ่งขึ้นเมื่อนักเรียนมีความพร้อมในด้านกายและจิตใจ

2. กฎแห่งการฝึกหัด (Law of Exercise) การฝึกหัดหรือการกระทำบ่อยครั้งด้วยความเข้าใจ จะทำให้เกิดการเรียนรู้ที่คงทนถาวร แต่ถ้าไม่เกิดการกระทำซ้ำบ่อยๆ ความรู้นั้นอาจเลือนหายได้

3. กฎแห่งการใช้ (Law of Use and Disuse) เป็นการเรียนรู้ที่เกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างสิ่งเร้ากับการตอบสนอง ซึ่งเมื่อเกิดการใช้บ่อยๆ จะทำให้มีความมั่นคงของการเรียนรู้ แต่ถ้าไม่มีการนำไปใช้อาจเกิดการหลงลืมได้

4. กฎแห่งผลที่พึงพอใจ (Law of Effect) เมื่อบุคคลที่ได้รับผลเป็นที่พึงพอใจย่อมเกิดความอยากที่จะเรียนรู้ต่อไป แต่ถ้าได้รับผลที่ไม่พึงพอใจจะทำให้ไม่อยากเรียนรู้

9. ทฤษฎีการเรียนรู้แบบร่วมมือ (Theory of Cooperative or Collaborative Learning)

เดวิด จอห์นสัน และรอเจอร์ จอห์นสัน (Johnson and Johnson อ้างถึงในทิศนา แขมมณี, 2560) กล่าวว่า การเรียนรู้ทั่วไปจะไม่ให้ความสนใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างนักเรียน ส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นความสัมพันธ์ระหว่างครูกับนักเรียน ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างนักเรียนกับนักเรียนถูกละเลย โดยปฏิสัมพันธ์ระหว่างนักเรียนแบ่งเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่

1. ลักษณะการแข่งขัน โดยนักเรียนแต่ละคนจะพยายามแข่งขันกันเรียนให้ได้ผลดีกว่าคนอื่น เพื่อให้ได้รับการยอมรับหรือการตอบแทนในลักษณะต่างๆ

2. ลักษณะต่างคนต่างเรียน คือ แต่ละคนต่างได้รับผิดชอบในการเรียนรู้ และไม่เกิดการยุ่งเกี่ยวระหว่างบุคคลอื่น

3. ลักษณะร่วมมือกันหรือช่วยกันในการเรียนรู้ คือ แต่ละคนต่างมีความรับผิดชอบในการเรียนรู้ของตนเอง และในขณะเดียวกันยังให้ความช่วยเหลือกับบุคคลอื่น

การเรียนรู้ร่วมกันไม่ได้มีความหมายเพียงจัดนักเรียนเข้ากลุ่มแล้วให้งาน และบอกให้นักเรียนช่วยกันทำงานเท่านั้นแต่การเรียนรู้ร่วมกันจะต้องมี 5 องค์ประกอบ ดังนี้

1. การพึ่งพาและเกื้อกูลกัน (Positive interdependence) คือการตะหนักถึงความสำคัญของสมาชิกทุกคนในกลุ่ม และความสำเร็จที่เกิดขึ้นเกิดจากสมาชิกทุกคน รวมถึงสมาชิกแต่ละคนจะประสบความสำเร็จได้ก็ต่อเมื่อกลุ่มประสบความสำเร็จด้วย ดังนั้นนักเรียนทุกคนจะต้องรับผิดชอบหน้าที่ของตนเองและให้ความช่วยเหลือกับสมาชิกคนอื่น ๆ เพื่อให้เกิดประโยชน์ร่วมกัน

2. การปรึกษาหารืออย่างใกล้ชิด (Face-to-face promotive interaction) คือการเปิดโอกาสให้สมาชิกในกลุ่มมีการพึ่งพาช่วยเหลือเกื้อกูล เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันเพื่อให้บรรลุเป้าหมาย สมาชิกภายในกลุ่มจะเกิดการช่วยเหลือซึ่งกันและกันและเกิดสัมพันธภาพที่ดีต่อกัน

3. ความรับผิดชอบที่ตรวจสอบได้ของสมาชิกแต่ละคน (Individual accountability) คือ สมาชิกในกลุ่มจะพยายามทำงานที่ได้รับมอบหมายเต็มศักยภาพ และกลุ่มจะมีการตรวจสอบผลงานอย่างมีระบบทั้งรายบุคคลและเป็นกลุ่ม จึงเป็นแนวทางในการส่งเสริมให้ทุกคนทำหน้าที่ของตนเองได้เต็มความสามารถ

4. การใช้ทักษะการปฏิสัมพันธ์ระหว่างบุคคล และทักษะการทำงานกลุ่มย่อย (Interpersonal and small-group skills) คือ การอาศัยทักษะที่สำคัญหลายประการเพื่อให้งานประสบความสำเร็จ และเกิดการไว้วางใจซึ่งกันและกัน เช่น ทักษะทางสังคม ทักษะการปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่น ทักษะการสื่อสาร เป็นต้น

5. การวิเคราะห์กระบวนการกลุ่ม (Group processing) คือ การวิเคราะห์กระบวนการทำงานเป็นกลุ่มเพื่อให้เกิดการเรียนรู้และปรับปรุงการทำงานให้ดียิ่งขึ้น รวมถึงการวิเคราะห์วิธีการทำงานเป็นกลุ่ม พฤติกรรมของสมาชิกกลุ่มและผลงานของกลุ่ม

มอริสัน (Morrison อ้างถึงใน วศิณีส์ อิศรเสนา ณ อยุธยา, 2560) การเรียนรู้แบบร่วมมือจะส่งเสริมให้นักเรียนทำงานด้วยกันให้สำเร็จตามจุดมุ่งหมายทั่วไป มี 5 องค์ประกอบได้แก่

1. มีการพึ่งพากันในทางบวก มีทัศนคติที่ดีในการทำงานร่วมกัน มีการแบ่งงานแบ่งอุปกรณ์การทำงาน ช่วยสะท้อนความคิดภายในกลุ่ม

2. มีการปฏิสัมพันธ์กัน หันหน้าเข้าหากัน มีการสนับสนุนในการทำงานและช่วยเหลือซึ่งกันและกันให้งานสำเร็จลุล่วง

3. สมาชิกแต่ละคนมีความรับผิดชอบในการทำงานของตนเอง มีการแบ่งงานกันอย่างเท่าเทียมกันและรายงานให้กลุ่มได้รับทราบ

4. การสื่อสารและทักษะกลุ่มย่อย สมาชิกช่วยในการทำงาน เชื่อใจกัน สื่อสารอย่างชัดเจน สนับสนุนในการแก้ปัญหาและการทำงานภายในกลุ่ม

5. กระบวนการกลุ่มที่มีการอุทิศตนในการทำงาน

เจคอป (Jacob อ้างถึงใน วศิณีส์ อิศรเสนา ณ อยุธยา, 2560) กล่าวถึงหลักการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ มี 8 ข้อ ดังนี้

1. การจัดกลุ่มที่มีความแตกต่างกัน คือ การจัดกลุ่มของนักเรียนต้องมีการคละกลุ่มหนึ่งต่อหนึ่งในด้านต่าง ๆ เช่น เพศ ศาสนา ความสามารถ อายุ เป็นต้น

2. ทักษะการทำงานร่วมกัน คือ การใช้ทักษะหรือเหตุผลในการทำงานร่วมกับผู้อื่น

3. การให้กลุ่มดูแลตนเอง คือ การเปิดโอกาสให้นักเรียนทำงานด้วยกลุ่มของตนเองมากกว่าการพึ่งพาครู

4. การมีปฏิสัมพันธ์ในกลุ่มให้มากที่สุด คือ การที่นักเรียนทำงานร่วมกัน ควรให้เกิดการปฏิสัมพันธ์ในการแสดงความคิดเห็น การตอบคำถามมากสุด

5. การให้โอกาสการมีส่วนร่วมอย่างเท่าเทียม คือ การเรียนที่มีส่วนร่วมให้ทุก ๆ คน มีโอกาสในการแสดงความคิดเห็นหรือทำงานอย่างเท่าเทียม

6. ความรับผิดชอบ คือ ครูพยายามกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความรับผิดชอบในกลุ่ม เพื่อให้เกิดการเรียนรู้และแบ่งปันความรู้

7. การพึ่งพาในเชิงบวก คือ สมาชิกภายในกลุ่มมีความรู้สึกดีๆ ต่อกัน มีการช่วยเหลือซึ่งกันและกัน โดยมีจุดมุ่งหมายร่วมกัน

8. การร่วมมือคือสิ่งที่มีคุณค่า คือ การเรียนรู้ร่วมมือเป็นมากกว่าวิธีการเรียนรู้ แต่เป็นการเรียนรู้ที่นำไปสู่ธรรมชาติ ขยายความรู้สึกจากสมาชิกในกลุ่มเล็กๆ ไปสู่ห้องเรียนและสังคมของประเทศต่อไป

สรุปได้ว่า แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้รู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษามีทฤษฎีมาสนับสนุนหลายทฤษฎี เช่น ทฤษฎีที่เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลาง ทฤษฎีการเรียนรู้ด้วยการลงมือกระทำที่เน้นให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ทฤษฎีสังคมและวัฒนธรรมของมนุษย์ที่การเรียนรู้จะเกิดจากนักเรียนได้ทำกิจกรรมใหม่ โดยสัมพันธ์กับทางสังคม ทฤษฎีพหุปัญหาเป็นทฤษฎีที่นักเรียนจะมีความสามารถทางด้านสติปัญญาที่แตกต่างกันและมีหลายด้าน ซึ่งส่วนใหญ่ทฤษฎีของสะเต็มศึกษาจะกล่าวถึงการที่นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติและสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง โดยผ่านกระบวนการคิดที่เป็นระบบที่เน้นการเรียนรู้ด้วยการบูรณาการ

1.3 ลักษณะการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

พรทิพย์ ศิริภัทราชัย (2556) กล่าวว่า ลักษณะของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มนั้นจะต้องเป็นการสอนที่เน้นบูรณาการ ทำให้นักเรียนเกิดความคิดเชื่อมโยงในเนื้อหา 4 วิชา กับชีวิตประจำวันและพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 โดยผ่านทักษะการคิดวิเคราะห์

การจัดการเรียนการสอนสะเต็มศึกษาตามแนวทางของสสวท. จะเน้นรูปแบบของการบูรณาการ เนื่องจากการจัดการเรียนการสอนตามแนวพระราชบัญญัติการศึกษา พ.ศ. 2542 แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2545 และ (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2553 มุ่งเน้นให้มีการจัดการเรียนการสอนแบบองค์รวม โดยมีการบูรณาการความคิดรวบยอด กระบวนการจัดการเรียนรู้ และทักษะด้านต่างๆ ให้เหมาะสมกับแต่ละระดับการศึกษา รวมทั้งเชื่อมโยงความรู้สู่การนำไปใช้ในชีวิตจริง (สสวท., 2560) การนำกิจกรรมสะเต็มศึกษาตามแนวคิดของ สสวท. ไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน สามารถดำเนินการได้ 3 แนวทาง ดังนี้

1. จัดกิจกรรมสอดแทรกไปตามเนื้อหาที่เกี่ยวข้องของแต่ละรายวิชาภายในคาบเรียน ซึ่งกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่จะนำไปสอดแทรกในคาบเรียนนั้น ควรเป็นกิจกรรมที่มีจำนวนชั่วโมงที่เหมาะสมและสามารถจัดกิจกรรมได้เสร็จสิ้นภายในคาบเรียน

2. จัดกิจกรรมในรายวิชาเลือกเสรีของกลุ่มวิชาต่างๆ เหมาะสมสำหรับกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่ต้องใช้ระยะเวลาในการดำเนินกิจกรรมค่อนข้างมากหรือมีความซับซ้อนและยาก มีข้อดี คือ ครูสามารถจัดหาอาจารย์ที่ปรึกษาให้แก่นักเรียนได้ครอบคลุมในเนื้อหาที่เกี่ยวข้องเพื่อให้คำแนะนำในการแก้ปัญหา ออกแบบ และสร้างชิ้นงานของนักเรียนได้

3. จัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาเป็นกิจกรรมนอกห้องเรียนต่างๆ เช่น ชุมนุม ชมรม ค่าย โดยข้อดีของการจัดเป็นกิจกรรมนอกห้องเรียนคือนักเรียนสามารถทำกิจกรรมได้ตลอดเวลาและต่อเนื่อง

จากลักษณะการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาจะเห็นว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาจะเน้นการบูรณาการ อาจจะเป็นการบูรณาการด้านเนื้อหา กระบวนการเรียนรู้หรือเป้าหมายการเรียนรู้ก็ได้ โดยการจัดการเรียนรู้ที่บูรณาการตามแนวคิดสะเต็มศึกษานั้นอาจจะเป็นการจัดการเรียนรู้ที่เกิดการบูรณาการภายในวิชา พหุวิทยาการ สหวิทยาการหรือข้ามสาขาวิชา เพื่อนำมาแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน และพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21

1.4 เป้าหมายการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

เป้าหมายที่สำคัญของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา มีนักการศึกษากล่าวไว้ดังนี้

กระทรวงศึกษาธิการ (2559) กล่าวว่า เป้าหมายที่สำคัญในการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา คือ

1. เพื่อให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ และสามารถบูรณาการความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี กระบวนการทางวิศวกรรมและคณิตศาสตร์ ไปใช้ในการแก้ไขปัญหาในชีวิตจริง

2. เพื่อให้นักเรียนได้พัฒนากระบวนการหรือผลผลิตใหม่

3. เพื่อให้ผู้เรียนได้พัฒนาทักษะกระบวนการเรียนรู้แห่งศตวรรษที่ 21

4. เพื่อหล่อหลอมคุณลักษณะนิสัยที่ดีให้แก่นักเรียน เช่น ความรับผิดชอบ ความซื่อสัตย์ ความอดทน เป็นต้น

วศิณีส์ อิศรเสนา ณ อยุธยา (2560) กล่าวว่า เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้”-ตามแนวสะเต็มศึกษาคือเพิ่มความรู้ในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีให้กับนักเรียน ซึ่งเป็นหลักสำคัญในการแข่งขันทักษะด้านแรงงาน เพื่อการแข่งขันทางด้านเศรษฐกิจ และคุณภาพชีวิตของประชากร

พีรเดช จันทร (2560) กล่าวว่า เป้าหมายที่สำคัญของการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษา ได้แก่

1. นักเรียนเห็นความสำคัญของวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ที่นำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาในชีวิตจริงและสร้างผลผลิตใหม่ ๆ

2. เชื่อมโยงความรู้ทางวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ กับสถานการณ์จริงนอกห้องเรียน

3. มองเห็นปัญหา แนวทางการพัฒนา จากสถานการณ์ในชีวิตจริง แล้วนำมากำหนดเป็นเป้าหายในการแก้ปัญหาหรือพัฒนาได้

4. มีทักษะในการคิดวิเคราะห์ปัญหา

5. มีทักษะในการค้นคว้าหาข้อมูลที่เกี่ยวกับปัญหา

6. ผสมผสานทักษะการแก้ปัญหา กับกระบวนการทางวิศวกรรมในการแก้ปัญหาหรือการพัฒนา

7. มีทักษะในการออกแบบหรือกำหนดแนวคิดในการแก้ปัญหาหรือการพัฒนา

8. มีทักษะในกระบวนการหรือขั้นตอนการวางแผน การปฏิบัติ และการทดสอบผลงาน

สุภาวดี สาระวัน (2562) กล่าวว่า การเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เป็นการเชื่องโยงความรู้ทั้งหมดที่มีเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในชีวิตประจำวันและการทำงานในอนาคต ซึ่งเป็นการเรียนรู้ที่เปิดกว้างทางด้านความคิด มุมมองและการกระทำของนักเรียนที่จะนำไปสู่การเรียนรู้ทุกหนแห่ง ช่วยให้นักเรียนตื่นตัวในการเรียนรู้ตลอดเวลา เป็นการเรียนรู้ตลอดชีวิตและเป็นการนำความรู้ไปสร้างนวัตกรรมเพื่อขับเคลื่อนพัฒนาสังคมต่อไป ซึ่งมีผลต่อกระบวนการคิดในศตวรรษที่ 21

สรุปได้ว่า เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษานั้น เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนเห็นความสำคัญของวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ในการแก้ไขปัญหาในชีวิตประจำวัน พร้อมส่งเสริมทักษะต่างๆ ที่นักเรียนควรมีในศตวรรษที่ 21

1.5 แนวทางในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาจะเป็นการจัดการเรียนรู้ที่เป็นขั้นตอนชัดเจน โดยมีนักการศึกษากล่าวไว้ดังนี้

ศิริชัย กาญจนวาสี (2554) กล่าวว่า ขั้นตอนการจัดกิจกรรมแบบสะเต็มศึกษาคือการผนวกแนวคิดเกี่ยวกับการออกแบบเชิงวิศวกรรมเข้ามาใช้ในการออกแบบกิจกรรม ประกอบด้วย

1. ขั้นระบุปัญหา เป็นขั้นเริ่มต้นของผู้แก้ปัญหาให้ตระหนักถึงสิ่งที่เป็นปัญหาในชีวิตประจำวัน และจำเป็นต้องหาแนวทางวิธีการสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว

2. ขั้นรวบรวมข้อมูล ตรวจสอบเอกสารหาความเป็นไปได้ เป็นขั้นตอนในการทำความเข้าใจปัญหาและสามารถระบุปัญหาย่อยๆ ได้ ขั้นตอนต่อไปคือการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง อาจใช้การสืบค้นแนวคิดหรือสืบค้นวิธีการแก้ปัญหาที่อาจมีคนคิดไว้ก่อน

3. ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา เป็นขั้นที่นำความรู้ที่ได้มาประยุกต์เพื่อออกแบบวิธีการ กำหนดองค์ประกอบขอวิธีการหรือผลผลิต ซึ่งผู้แก้ปัญหาจะต้องอ้างอิงถึงความรู้ทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี

4. ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา เป็นขั้นที่พัฒนาต้นแบบของสิ่งที่ได้ออกแบบไว้ ผู้แก้ปัญหาต้องกำหนดขั้นตอนย่อยในการทำงาน กำหนดเป้าหมายและระยะเวลาในการดำเนินการแต่ละขั้นอย่างชัดเจน

5. ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไข เป็นขั้นที่นำผลการทดสอบและประเมินวิธีการแก้ปัญหาจนมีประสิทธิภาพตามที่ต้องการ โดยออกแบบวิธีการนำเสนอข้อมูลที่เข้าใจง่ายและน่าสนใจ

6. ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา เป็นขั้นตอนที่ผู้แก้ปัญหานำเสนอผลลัพธ์ต่อสาธารณชน โดยมีความเข้าใจง่ายและน่าสนใจ

สสวท. (2557) ได้กำหนดขั้นตอนของกิจกรรมการเรียนรู้ไว้ 6 ขั้นตอน ได้แก่

1. ขั้นระบุปัญหา (Problem Identification)

เป็นขั้นที่นักเรียนได้ทำความเข้าใจปัญหาหรือความท้าทาย วิเคราะห์เงื่อนไขหรือข้อจำกัดของสถานการณ์ปัญหา เพื่อกำหนดขอบเขตของปัญหา ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างชิ้นงานหรือวิธีการในการแก้ปัญหา

2. ขั้นรวบรวมข้อมูล และแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา (Related Information Search)

เป็นขั้นที่นักเรียนได้รวบรวมข้อมูลและแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการแก้ปัญหาและประเมินความเป็นไปได้ ข้อดีและข้อจำกัด

3. ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Solution Design)

เป็นขั้นที่นักเรียนได้ประยุกต์ใช้ข้อมูล และแนวคิดที่ได้ศึกษามาเพื่อใช้ในการออกแบบชิ้นงานหรือวิธีการในการแก้ปัญหา โดยคำนึงถึงทรัพยากร ข้อจำกัดและเงื่อนไขตามสถานการณ์ที่กำหนด

4. ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (Planning and Development)

เป็นการกำหนดลำดับขั้นตอนของการสร้างชิ้นงานหรือวิธีการ แล้วลงมือสร้างชิ้นงานหรือพัฒนาวิธีการเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา

5. ขั้นทดสอบ ประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Testing Evaluation and Design Improvement)

เป็นการทดสอบและประเมินการใช้งานของชิ้นงานหรือวิธีการ โดยผลที่ได้อาจนำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสมที่สุด

6. ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Presentation)

เป็นการนำเสนอแนวคิดและขั้นตอนการแก้ปัญหาของการสร้างชิ้นงานหรือการพัฒนาวิธีการ ให้ผู้อื่นเข้าใจและได้ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาต่อไป

อภิสิทธิ์ ธงไชย (2556) กล่าวว่า กระบวนการทางวิศวกรรมศาสตร์ตามแนวทางของสะเต็มศึกษา มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับกระบวนการทางวิทยาศาสตร์คือเริ่มจากมีปัญหาหรือข้อสงสัย ตั้งสมมติฐาน ออกแบบการทดลองและลงข้อสรุป

ณัฐดนัย เนียมทอง (2561) กล่าวว่า เพื่อให้มีเทคโนโลยี และวิศวกรรมศาสตร์ อยู่ในกิจกรรมจึงนำกระบวนการทางการออกแบบและเทคโนโลยีเข้ามาเกี่ยวข้อง ประกอบด้วย 7 ขั้น ดังนี้

1. ขั้นกำหนดปัญหาหรือความต้องการ (Identify) เป็นขั้นตอนที่ใช้การสังเกต แล้วกำหนดปัญหา ถึงสาเหตุที่ได้กำหนดขึ้น

2. ขั้นรวบรวมข้อมูล (Information gathering) ขั้นค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาที่ได้กำหนดขึ้นว่าต้องทำอย่างไร มีอุปกรณ์อะไร โดยทั้งหมดขึ้นอยู่กับวัยของผู้ทำกิจกรรมเพื่อฝึกทักษะการค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเอง

3. ขั้นเลือกวิธีการ (Selection) เป็นขั้นตอนที่นักเรียนเลือกใช้ข้อมูล โดยคำนึงถึงความเป็นไปได้ของข้อมูลดังกล่าว

4. ขั้นออกแบบ และปฏิบัติการ (Design and making) เป็นขั้นที่นักเรียนต้องออกแบบแนวทางเพื่อให้สอดคล้องกับขั้นตอนที่เลือกไว้แล้วกำหนดเป็นแนวทางปฏิบัติ

5. ขั้นทดสอบ (Testing) เป็นขั้นตอนที่นักเรียนได้ทดลองใช้ชิ้นงานหรือกระบวนการที่ได้สร้างขึ้น

6. ขั้นปรับปรุงแก้ไข (Modification and improvement) เป็นขั้นตอนที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้นำผลการทดสอบมาปรับปรุงให้มีผลของชิ้นงานดียิ่งขึ้น

7. ขั้นประเมินผล (Assessment) เป็นขั้นที่ประเมินว่าสิ่งที่ได้ปรับปรุงนั้นถูกต้องหรือต้องมีการปรับปรุงอะไรอีกหรือไม่ อย่างไร

จากแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา พบว่า จะแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) ขั้นระบุปัญหา 2) ขั้นรวบรวมข้อมูล และแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา 3) ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา 4) ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา 5) ขั้นทดสอบ ประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน และ 6) ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

1.6 บทบาทของครูในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

บทบาทของครูที่สำคัญในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา มีนักการศึกษาได้กล่าวไว้ ดังนี้

วศิณีส์ อิศรเสนา ณ อยุธยา (2560) กล่าวว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มนั้น ครูจะมีบทบาทที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

1. จัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นนักเรียนเป็นสำคัญ โดยการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

2. จัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้นักเรียนได้ร่วมทำงานกลุ่มด้วยตนเอง โดยใช้กิจกรรมที่มีความหลากหลายเหมาะกับนักเรียนเพื่อให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการทำงานกลุ่มร่วมกัน

3. ออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ให้มีความน่าสนใจ เน้นการกำหนดประเด็นในการศึกษาที่เป็นการบูรณาการเนื้อหาสาระวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ผนวกกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยการบูรณาการไม่จำเป็นต้องครบทุกวิชา แต่เน้นให้นักเรียนได้ใช้ทักษะการแก้ปัญหาด้วยตนเอง

4. ระหว่างจัดกิจกรรมต้องคอยตั้งคำถามที่สร้างความสนใจให้นักเรียนและนำไปสู่การอภิปรายข้อมูลได้ และเป็นคำถามที่เหมาะสมกับนักเรียนแต่ละขั้น ครูมีบทบาทเป็นที่ปรึกษา คอยให้คำแนะนำและกระตุ้นให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ผ่านทักษะต่างๆ เกี่ยวข้องกับการศึกษาค้นคว้าคิดค้นและแก้ปัญหาด้วยตนเอง

5. ครูต้องมีการเตรียมความพร้อมล่วงหน้าเป็นอย่างดีในเรื่องความรู้ที่นำมาสอน มีความเข้าใจในข้อมูลแต่ละสาขาวิชาที่นำมาบูรณาการเข้าด้วยกัน

6. จัดการวัดและประเมินผลให้มีความเหมาะสมกับกิจกรรมการเรียนรู้แบบบูรณาการ

7. จัดบรรยากาศและสภาพแวดล้อมที่ตื่นเต้นน่าสนใจ

จำรัส อินทลาภาพร (2558) กล่าวว่า บทบาทของครูในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา มีดังนี้

1. จัดบรรยากาศและสภาพแวดล้อมที่ตื่นเต้น น่าสนใจ สนุกสนาน มีความเป็นกันเองและเปิดโอกาสให้นักเรียนได้เกิดการปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนมีกระบวนการคิดและแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน

2. ออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่ท้าทายความสามารของนักเรียน โดยใช้ปัญหาที่เป็นปัญหาที่น่าสนใจ

3. จัดกิจกรรมให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง

4. จัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นการบูรณาการของทั้ง 4 สาขาวิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์

5. จัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานในการท้าทายกระบวนการคิดของนักเรียน เพื่อให้นักเรียนได้สืบค้นหาคำตอบด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์

6. เป็นผู้ให้คำแนะนำ

7. ตั้งคำถามเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนได้เกิดกระบวนการคิด

8. ประเมินผลกระบวนการการทำงานและผลงานของนักเรียน

สรุปได้ว่า บทบาทของครูในการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา ครูจะเป็นผู้ให้คำแนะนำ จัดกิจกรรม และออกแบบกิจกรรมให้น่าตื่นเต้น เน้นการมีส่วนร่วม มีการอภิปรายปฏิสัมพันธ์ร่วมกันภายในห้องเรียน รวมถึงเป็นผู้วัดและประเมินผลให้มีความเหมาะสมกับการเรียนรู้แบบบูรณาการโดยอาจประเมินจากกระบวนการการทำงานหรือประเมินจากผลงานที่เกิดขึ้น

2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์

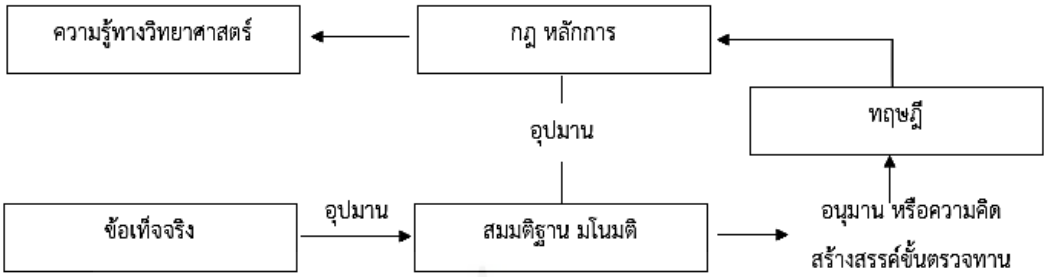
2.1 ความหมาย ขอบเขต และพฤติกรรมการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์

2.1.1 ความหมายของการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์

มีนักการศึกษากล่าวถึงความหมายของการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ ดังนี้

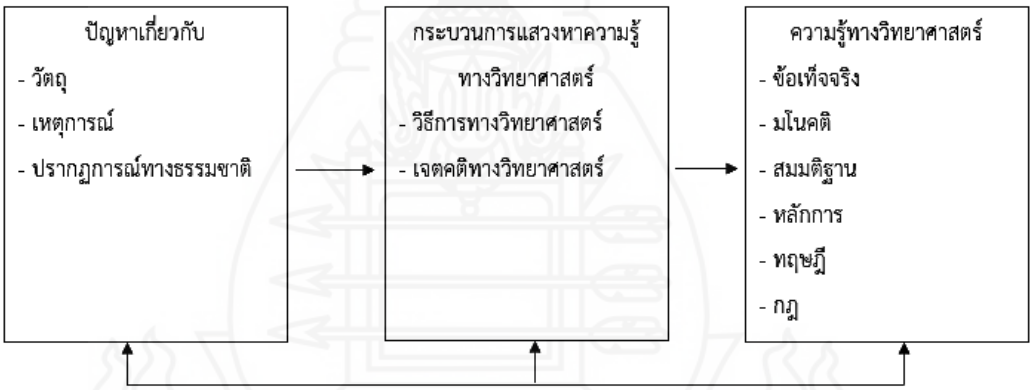
สมจิต สวธนไพบูลย์ (2535) กล่าวว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ ได้แก่

1. ส่วนที่เป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ ข้อเท็จจริง มโนมติ หลักการ กฎ และสมมติฐาน ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ความสัมพันธ์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์

2. ส่วนกระบวนการแสวงหาความรู้ เป็นกระบวนการที่มีการคิด และการทำงานอย่างเป็นระบบ ผ่านการค้นหาความรู้ ข้อเท็จจริงต่าง มี 4 ขั้น ได้แก่ ขั้นตั้งปัญหา ขั้นตั้งสมมติฐาน ขั้นรวบรวมข้อมูลจากการสังเกตหรือทดลองและขั้นสรุปผลการนำไปใช้ ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

ศิริชัย กาญจนวาสี (2554) กล่าวว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เป็นผลการเรียนรู้ตามที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้า เกิดจากระบวนการเรียนรู้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง

พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์ และพเยาว์ ยินดีสุข (2558) กล่าวว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ หมายถึง ขนาดของความสำเร็จของนักเรียนที่เกิดจากกระบวนการเรียนการสอนวิชาวิทยาศาสตร์

สรุปได้ว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความรู้ความสามารถของบุคคลทั้งในด้านสติปัญญา ทักษะทางวิทยาศาสตร์และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ด้าน

ต่าง ๆ ที่เกิดจากการเรียนรู้ ผ่านกระบวนการที่เป็นระบบ โดยสามารถวัดได้ด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์โดยทั่วไป

2.1.2 ขอบเขตของการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์

การวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ อาศัยหลักทฤษฎีของนักการศึกษา ดังนี้

Bloom's Revised Texonomy (อ้างถึงใน อิทธิพัทธ์ สุวทันพรกูล, 2561) กล่าวว่า การวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นการวัดพฤติกรรม 3 กลุ่ม ได้แก่

1. พฤติกรรมด้านพุทธิพิสัย เป็นพฤติกรรมที่แสดงออกถึงความสามารถ และความคิด รวมทั้งการแก้ปัญหาเกี่ยวกับสิ่งต่างๆ อันเป็นผลจากการเรียนการสอน ซึ่งพฤติกรรม ด้านความรู้และความคิดประกอบด้วยพฤติกรรมย่อย 6 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.1 ความรู้ความจำ หมายถึง ความสามารถของบุคคลที่จะรักษาไว้ซึ่งเรื่องราวต่างๆ ที่ได้รับจากการเรียนการสอนและประสบการณ์ต่างๆ รวมทั้งสิ่งที่สัมผัสกับประสบการณ์นั้น และสามารถถ่ายทอดออกมาได้ถูกต้อง

1.2 ความเข้าใจ หมายถึง ความสามารถในการแปลความ ตีความและสรุปความเกี่ยวกับสิ่งที่ได้พบซึ่งเป็นเรื่องราวและเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ได้รับรู้และสามารถสื่อความเข้าใจที่ตนมีอยู่นั้นไปสู่ผู้อื่นได้อย่างถูกต้อง

1.3 การประยุกต์ใช้ หมายถึง ความสามารถในการนำความรู้ทฤษฎี หลักการ กฎเกณฑ์ และวิธีการต่างๆ ซึ่งได้รับจากการเรียนรู้ไปใช้แก้ปัญหาในสถานการณ์จริงในชีวิตประจำวัน หรือสถานการณ์ใหม่ที่คล้ายคลึงกันได้อย่างถูกต้องเหมาะสม

1.4 การวิเคราะห์ หมายถึง ความสามารถในการจำแนกเรื่องราว ข้อเท็จจริงหรือเหตุการณ์ใดๆ ออกเป็นส่วนย่อยๆ และสามารถบอกได้ว่าส่วนย่อยๆ นั้นสำคัญอย่างไร ส่วนใดสำคัญที่สุด แต่ละส่วนมีความสัมพันธ์กันอย่างไรและมีหลักการใดร่วมกันอยู่

1.5 การประเมินค่า หมายถึง ความสามารถในการวินิจฉัย ตีราคาสิ่งต่างๆ หรือเรื่องต่างๆ ได้อย่างมีหลักเกณฑ์ เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป

1.6 การสร้างสรรค์ หมายถึง การเรียนรู้ในระดับสูง เพื่อได้องค์ประกอบของสิ่งที่เรียนรู้โดยการสังเคราะห์ในการเชื่อมโยงให้ได้รูปแบบใหม่ ๆ หรือโครงสร้างของความรู้ที่ผ่านการวางแผนและการสร้างหรือผลิตที่เหมาะสม

2. พฤติกรรมด้านจิตพิสัย เป็นเรื่องความรู้สึกทางจิตใจ ความรู้สึกนึกคิดของบุคคล เช่น ความสนใจ เจตคติ ค่านิยม ระดับพฤติกรรมด้านจิตพิสัยแบ่งได้ 5 ระดับ ได้แก่

2.1 การรับรู้ เป็นความรู้สึกที่เกิดต่อปรากฏการณ์หรือสิ่งเร้าอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งเป็นการแปลความหมายของสิ่งเร้าว่าคืออะไร แล้วจะแสดงออกมาในรูปของความรู้สก

2.2 การตอบสนอง เป็นการกระทำที่แสดงออกมาด้วยความเต็มใจยินยอมและพอใจต่อสิ่งเร้านั้น โดยเกิดจากการเลือกสรรจากตัวบุคคล

2.3 การสร้างคุณค่า เป็นการเลือกปฏิบัติในสิ่งที่สังคมยอมรับในคุณค่านั้นๆ หรือปฏิบัติตามเรื่องหนึ่งจนกลายเป็นความเชื่อแล้วเกิดเป็นค่านิยมที่ดี

2.4 การจัดระบบคุณค่า เป็นการสร้างแนวคิดแล้วจัดระบบโดยอาศัยความสัมพันธ์ อาจเกิดการเปลี่ยนค่านิยมขึ้น

2.5 การสร้างลักษณะนิสัย การนำค่านิยมที่ยึดถือมาแสดงพฤติกรรมที่เป็นนิสัยเฉพาะบุคคล จะเกี่ยวกับความรู้สึกและจิตใจ

3. พฤติกรรมด้านทักษะพิสัย เป็นความสามารถในการปฏิบัติและแสดงออกของบุคคลในกิจกรรมการเรียนต่างๆ พฤติกรรมด้านทักษะพิสัยแบ่งออกเป็นด้านย่อยๆ ได้ดังนี้ การทำเลียนแบบ การทำตามแบบ การทำอย่างถูกต้อง การทำอย่างต่อเนื่องและการทำเองโดยธรรมชาติ

พิศิษฐ ตัณฑวณิช (2558) กล่าวว่า การวัดประเมินพฤติกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียนแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ พฤติกรรมการเรียนรู้ด้านพุทธิพิสัย ด้านจิตพิสัยและด้านทักษะพิสัย ในส่วนของพฤติกรรมการเรียนรู้ด้านพุทธิพิสัยนั้นได้มีการพัฒนาและมีการเปลี่ยนแปลงให้ซับซ้อนขึ้น เพื่อให้สามารถวัดประเมินผลได้ตามจุดมุ่งหมาย โดยในด้านพุทธิพิสัยส่วนการเรียนรู้ขั้นพื้นฐานแบ่งออกเป็น 6 ลำดับขั้น คือ 1) ความรู้-ความจำ 2) ความเข้าใจ 3) การนำไปใช้ 4) การวิเคราะห์ 5) การประเมินค่า 6) การสร้างสรรค์ ซึ่งได้มีการเพิ่มมิติในการวิเคราะห์เพิ่มเติม 2 มิติ คือ มิติพฤติกรรมความคิด ที่เน้นให้เกิดในตัวผู้เรียน และมิติโครงสร้างความรู้ เพื่อให้พิจารณาว่าความรู้ที่ได้จัดการเรียนการสอนนั้นเป็นความรู้แบบใด ซึ่งแบ่งย่อยเพิ่มเติมออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่

1. ความรู้ที่เป็นข้อเท็จจริง คือความรู้ที่เป็นข้อความจริงเฉพาะเรื่องนั้น แบ่งย่อยได้ดังนี้

1.1 ความรู้เกี่ยวกับศัพท์เฉพาะ เป็นระบบการใช้ถ้อยคำหรือสัญลักษณ์เฉพาะสาขา

1.2 ความรู้เกี่ยวกับเทคนิครายละเอียดเฉพาะเรื่อง

2. ความรู้ที่เป็นมโนทัศน์ คือความรู้ที่แสดงถึงความสามารถในการจัดแยกหมวด กลุ่มเป็นประเภทต่างๆ แบ่งได้ดังนี้

2.1 ความรู้ในการแบ่งกลุ่มจัดประเภท

2.2 ความรู้ในการสรุปทั่วไป

2.3 ความรู้ในด้านทฤษฎี โมเดลและโครงสร้าง

3. ความรู้ที่เป็นกระบวนการขั้นตอน เป็นความรู้ที่เกี่ยวกับกระบวนการขั้นตอนหรือวิธีการในการทำกิจกรรมต่างๆ แบ่งออกได้ดังนี้

3.1 ความรู้เกี่ยวกับเทคนิคหรือโครงสร้างของการดำเนินการ

3.2 ความรู้เกี่ยวกับเทคนิคดำเนินการเฉพาะเรื่อง

3.3 ความรู้เกี่ยวกับการดำเนินกิจกรรมเฉพาะเรื่อง

4. ความรู้ในการหยั่งรู้วิธีคิดของตัวเอง เป็นความรู้ที่นักเรียนควรตระหนักถึงวิธีคิดของสมองตัวเอง แบ่งออกเป็น 3 ส่วนย่อย ดังนี้

4.1 ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการของสมองในการเรียนรู้ คิดและการแก้ปัญหา

4.2 ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการคิดของสมองภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดขึ้น

4.3 ความรู้เกี่ยวกับสมรรถภาพทางการคิดของแต่ละบุคคล

สามารถแบ่งโครงสร้างความรู้ และกระบวนการคิดด้านพุทธิพิสัยได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 โครงสร้างความรู้ และกระบวนการคิดทางด้านพุทธิพิสัยฉบับปรับปรุง

โครงสร้างความรู้	**กระบวนการคิดด้านพุทธิพิสัย**					
	การจำ	**ความเข้าใจ**	**การปรับใช้**	**การวิเคราะห์**	**การประเมิน**	**การสร้างสรรค์**
ความรู้ที่เป็นข้อเท็จจริง						
ความรู้ที่เป็นมโนทัศน์						
ความรู้ที่เป็นกระบวนการขั้นตอน						
ความรู้ที่เป็นการหยั่งรู้วิธีคิด						

Klopfer’s Taxonomy (อ้างถึงใน อิทธิพัทธ์ สุวทันพรกูล, 2561) กล่าวว่าการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ แบ่งเป็น

1. พฤติกรรมด้านพุทธิพิสัย สามารถวัดได้จากพฤติกรรม 4 ด้าน คือ ความรู้ความเข้าใจ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และการนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ มีรายละเอียดดังนี้

1.1 ความรู้ คือ พฤติกรรมที่แสดงว่านักเรียนมีความจำเรื่องต่างๆ ที่ได้รับรู้จากการค้นคว้าด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หรือจากการอ่านหนังสือ จากการฟังบรรยาย

1.2 ความเข้าใจ คือ พฤติกรรมที่แสดงว่านักเรียนได้ใช้ความรู้ที่สูงกว่าความรู้ ความจำ แบ่งได้เป็น ความเข้าใจข้อเท็จจริง กฎเกณฑ์ หลักการและทฤษฎีต่างๆ และความเข้าใจเกี่ยวกับการแปลความหมายของข้อเท็จจริง ได้แก่ คำศัพท์ มโนทัศน์ต่างๆ

1.3 ด้านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง พฤติกรรมที่นักเรียนแสวงหาความรู้และแก้ปัญหาด้วยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งมีการดำเนินการโดยอาศัยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ โดยกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ได้แก่ การระบุปัญหา การตั้งสมมติฐาน การทดลอง การสังเกตการณ์ทดลอง การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลและการสรุปผลการทดลอง

1.4 การนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์มาใช้ หมายถึง พฤติกรรมที่นักเรียนนำความรู้ มโนทัศน์ หลักการ กฎ ทฤษฎี รวมทั้งวิธีการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้ในการแก้ปัญหาในสถานการณ์ใหม่ได้

2. พฤติกรรมด้านจิตพิสัย เป็นการพิจารณาพฤติกรรมด้านความรู้สึกทั้งหมดที่ควรจะเกิดขึ้นในตัวนักเรียนวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะเรื่องเจตคติและความสนใจ อารมณ์และระดับการยอมรับหรือปฏิเสธ รวมทั้งพฤติกรรมการมีแนวโน้มทางวิทยาศาสตร์ ดังนี้

2.1 เจตคติ เป็นพฤติกรรมของนักเรียนที่แสดงออกถึงการยอมรับการตระหนักถึงคุณค่าของวิทยาศาสตร์ ตลอดถึงการยอมรับในกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การยอมรับนักวิทยาศาสตร์ทั้งในอดีต ปัจจุบันและอนาคต

2.2 ความพึงพอใจ เป็นพฤติกรรมของนักเรียนที่แสดงออกถึงความพอใจในประสบการณ์การเรียนรู้ที่เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ที่อยู่ในรูปของการพูด การเขียนหรือการเข้าร่วมกิจกรรมที่เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์

2.3 ความสนใจ เป็นพฤติกรรมของนักเรียนที่แสดงออกในลักษณะของการอาสาเข้าร่วมกิจกรรมต่างๆ ด้วยความสมัครใจ รวมถึงให้ความสนใจเกี่ยวกับความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์หรือการประกอบอาชีพที่เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์

2.4 ความตระหนัก เป็นพฤติกรรมของนักเรียนที่แสดงออกถึงการเห็นคุณค่าของวิทยาศาสตร์ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจ สังคมและศีลธรรม ซึ่งจะส่งผลต่อตัวนักเรียนเองและประเทศชาติ

3. พฤติกรรมด้านทักษะพิสัย

3.1 ทักษะการใช้เครื่องมือปฏิบัติการทั่วไป ได้แก่ เครื่องชั่ง กล้องจุลทรรศน์ เครื่องแก้วต่างๆ ทักษะด้านนี้จะมุ่งเน้นเรื่องทักษะการใช้เครื่องมือ การจัดการับเครื่องมืออย่างคล่องแคล่ว

3.2 ทักษะการปฏิบัติงานการทดลองได้อย่างประณีตและปลอดภัย ทักษะนี้จะพิจารณาเรื่องของการดำเนินการทดลองที่มีลำดับขั้นตอนที่ละเอียดถี่ถ้วน มีความรอบคอบเพื่อให้ได้ผลที่มีคุณค่ารวมทั้งป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องใช้และอันตรายที่จะเกิดกับผู้ทดลองด้วย

สรุปได้ว่า การวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์นั้นจะต้องวัดพฤติกรรมของนักเรียนให้ครอบคลุมทั้ง 3 พฤติกรรม ได้แก่ พฤติกรรมด้านความรู้ (พุทธพิสัย) พฤติกรรมด้านคุณลักษณะ (จิตพิสัย) และพฤติกรรมด้านทักษะ (ทักษะพิสัย)

2.1.3 เป้าหมายการวัดผลประเมินผลการเรียนวิทยาศาสตร์

เป้าหมายของการวัดผลประเมินผลการเรียนวิทยาศาสตร์ได้มีนักการศึกษากล่าวไว้ ดังนี้

พิศิษฐ ตัณฑวณิช (2558) และBloom's Revised Texonomy (อ้างถึงในอิทธิพัทธ์ สุวทันพรกูล, 2561) กล่าวว่า การประเมินผลจากการกระทำกิจกรรมต่างๆ ที่สะท้อนถึงสมรรถภาพของนักเรียนมีเป้าหมายแบ่งออกเป็น 3 ด้าน ดังนี้

1. ความรู้ความคิด คือ ความรู้ในหลักการ ทฤษฎี ข้อเท็จจริง เนื้อหา หรือแนวคิดหลัก สามารถประเมินได้จากพฤติกรรมที่แสดงออกของนักเรียน ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 พฤติกรรมการแสดงออกของนักเรียนทางด้านความรู้ความคิด

ความรู้ความคิด	พฤติกรรมการแสดงออก
ความรู้ที่เป็นข้อเท็จจริง	ความรู้ที่เป็นข้อความจริงเฉพาะเรื่องนั้น
ความเข้าใจ	ความสามารถในการแปลความ ตีความและสรุปความ
การประยุกต์ใช้	ความสามารถในการนำความรู้ทฤษฎี หลักการ กฎเกณฑ์ และวิธีการ
การวิเคราะห์	ความสามารถในการจำแนกเรื่องราว ข้อเท็จจริงออกเป็นส่วนย่อยๆ
การประเมินค่า	ความสามารถในการวินิจฉัย ตีราคาสิ่งต่างๆ หรือเรื่องต่างๆ ตามเกณฑ์
การสร้างสรรค์	การเรียนรู้ในระดับสูง เพื่อได้องค์ประกอบของสิ่งที่เรียนรู้ โดยการสังเคราะห์ในการเชื่อมโยงให้ได้รูปแบบใหม่ๆ

ในการประเมินโดยใช้แบบทดสอบ จะไม่สามารถวัดและประเมินผลด้านการวิเคราะห์ สังเคราะห์ และประเมินค่าได้ จึงต้องประเมทินตามสภาพจริงของนักเรียนที่ได้ปฏิบัติออกมา

2. กระบวนการเรียนรู้ ความสามารถด้านกระบวนการเรียนรู้ ประกอบด้วยทักษะกระบวนการคิดการจัดการ การเผชิญสถานการณ์ การประยุกต์ความรู้ การลงมือปฏิบัติจริงที่บ่งบอกถึงทักษะทางปัญญา และทักษะการปฏิบัติ โดยการประเมินด้านทักษะการปฏิบัติจะใช้วิธีการสังเกตจากพฤติกรรมที่นักเรียนได้แสดงออกมา ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 พฤติกรรมการแสดงออกของนักเรียนด้านทักษะการปฏิบัติ

ทักษะการปฏิบัติ	พฤติกรรมการแสดงออก
การรับรู้	ใช้ประสาทสัมผัสเพื่อรับรู้เรื่องราวต่างๆ
เตรียมความพร้อม	มีความพร้อมในการปฏิบัติ มีการวางแผนการปฏิบัติ
การตอบสนอง	ลงมือปฏิบัติตามคำแนะนำ หรือตามแนวที่วางไว้
การฝึกฝน	ฝึกฝนทักษะเพื่อเกิดความชำนาญ
ปฏิบัติได้	ฝึกฝนจนสามารถปฏิบัติได้เองอัตโนมัติ
การเชื่อมโยงทักษะ	ประยุกต์หรือใช้ทักษะที่ฝึกฝนให้สัมพันธ์กับทักษะอื่นๆ หรือใช้ร่วมกับทักษะอื่น

ด้านกระบวนการเรียนรู้มีส่วนที่ครอบคลุมการสืบเสาะหาความรู้ การแก้ไขปัญหา การสื่อสาร และการนำความรู้ไปใช้ ซึ่งประเมินจากพฤติกรรมการแสดงออกของนักเรียน ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 พฤติกรรมการแสดงออกของนักเรียนทางด้านกระบวนการเรียนรู้

กระบวนการเรียนรู้	พฤติกรรมการแสดงออก
การสืบเสาะหาความรู้วิทยาศาสตร์	มีการเรียนรู้ที่เป็นระบบ ประกอบด้วย 1. ความสนใจในเรื่องที่ศึกษา 2. การสำรวจและการค้นหา 3. การอธิบายและลงข้อสรุป 4. การขยายความรู้ 5. การประเมิน

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

กระบวนการเรียนรู้	พฤติกรรมการแสดงออก
การแก้ปัญหา	มีการใช้กระบวนการแก้ปัญหา ประกอบด้วย 1. การทำความเข้าใจปัญหา 2. การวางแผนการแก้ปัญหา 3. การลงมือแก้ปัญหาและประเมินผลการแก้ปัญหา 4. การตรวจสอบการแก้ปัญหาและเสนอวิธีดังกล่าวไปใช้กับปัญหาอื่น
การสื่อสาร	มีการสื่อสารความรู้หรือแนวคิดหลักทางวิทยาศาสตร์หรือความคิดเห็น ประกอบด้วย 1. ให้ความคิดเห็นหรือแลกเปลี่ยนความรู้ 2. พูดหรือเขียนในรูปแบบที่เหมาะสม ชัดเจน สมเหตุสมผล 3. อธิบายหรือเขียนสรุปเกี่ยวกับข้อมูลที่ได้สืบค้นจากแหล่งต่างๆ 4. นำเสนอผลงานด้วยการบันทึก จัดแสดงผลงานหรือสาธิต ด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศ
การนำความรู้ไปใช้	มีการนำความรู้ไปใช้ในด้านที่เกิดประโยชน์กับสังคม ในการดำรงชีวิต โดยคำนึงถึงความสัมพันธ์ของวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี แสดงออกดังนี้ 1. การค้นคว้าหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2. ใช้เทคโนโลยีช่วยออกแบบสิ่งประดิษฐ์ อุปกรณ์และวิธีการแก้ปัญหา 3. รวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลทางเทคโนโลยี พร้อมทั้งเลือกใช้อย่างมีวิจารณญาณ

กระบวนการเรียนรู้ดังกล่าวนั้น สามารถตรวจสอบและประเมินผลได้จากการปฏิบัติงานกับผลงานของนักเรียน ซึ่งการทำกิจกรรมต่างๆ ของนักเรียนนั้นจะมีโอกาสให้นักเรียนได้แสดงความสามารถ ด้านทักษะเชาว์ปัญญา ทักษะการปฏิบัติ การสืบเสาะหาความรู้ การแก้ไขปัญหา การนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ รวมถึงทักษะทางสังคมและการสื่อสาร

3. เจตคติ ซึ่งเป็นจิตสำนึกส่วนบุคคลที่ก่อให้เกิดลักษณะนิสัยหรือความรู้สึกทางจิตใจในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ จะประเมิน 2 ส่วน คือ เจตคติทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติต่อวิทยาศาสตร์ ที่ได้จากการสังเกตพฤติกรรมหรือคุณลักษณะของนักเรียน ซึ่งจะใช้เวลาค่อนข้างนาน โดยพฤติกรรมของการแสดงออกของนักเรียนด้านเจตคติเป็นขั้นตอน ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 พฤติกรรมการแสดงออกของนักเรียนด้านเจตคติ

เจตคติ	พฤติกรรมการแสดงออก
การรับรู้	สนใจและรับรู้ข้อมูลสารสนเทศหรือสิ่งเร้าด้วยความสนใจ
ตอบสนอง	ตอบสนองต่อข้อมูลสนเทศหรือสิ่งเร้าอย่างกระตือรือร้น
เห็นคุณค่า	แสดงความรู้สึกพอใจและเห็นคุณค่าของเรื่องที่ได้เรียนรู้
จัดระบบ	จัดระบบ ลำดับ เปรียบเทียบและบูรณาการเจตคติกับคุณค่าเพื่อนำไปใช้ประโยชน์
สร้างคุณลักษณะ	เลือกปฏิบัติหรือไม่ปฏิบัติในสิ่งต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม

เจตคติทางวิทยาศาสตร์ เป็นนิสัยหรือคุณลักษณะเฉพาะของนักเรียนอันเกิดจากการศึกษาหาความรู้จากกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ส่วนเจตคติต่อวิทยาศาสตร์เป็นความรู้สึกที่มีต่อการทำกิจกรรมทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ประกอบด้วยความพอใจ ศรัทธา เห็นค่าและประโยชน์ รวมทั้งมีคุณธรรม จริยธรรมและค่านิยมทางวิทยาศาสตร์

2.2 แนวทางการปฏิบัติในการวัดและประเมินผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

ในการศึกษาแนวทางในการวัดและประเมินผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ซึ่งได้นำมาเป็นแนวทางในการวัดและประเมินผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ได้มีนักการศึกษากล่าวไว้ ดังนี้

สสวท. (2546) กล่าวว่า การวัดและประเมินผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์จะเน้นการประเมินตามสภาพจริงของนักเรียน โดยใช้การประเมินที่มีความหลากหลายเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนในทุก ๆ ด้านตามวัตถุประสงค์กำหนดขึ้น โดยพิจารณาได้ดังนี้

1. วินิจฉัยนักเรียนเกี่ยวกับความรู้ความคิด ในด้านกระบวนการเรียนรู้ด้านสืบเสาะหาความรู้ การแก้ไขปัญหา การสื่อสาร การนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ การใช้เทคโนโลยี รวมถึงคุณลักษะที่สำคัญของนักเรียน ทั้งด้านจิตวิทยาศาสตร์และโอกาสในการเรียนรู้ เพื่อนำผลการประเมินที่ได้ไปพัฒนาศักยภาพของนักเรียนให้เต็มความสามารถ

2. ตรวจสอบผลการเรียนของนักเรียนตามมาตรฐานการเรียนรู้ของกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ เพื่อบ่งชี้ถึงคุณภาพของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์

3. รวบรวมข้อมูลและจัดระบบสารสนเทศ ในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์เพื่อเป็นข้อมูลสารสนเทศที่มีความสมบูรณ์ นำไปพัฒนานักเรียนและการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ รวมถึงเป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายทางการศึกษาต่อไป

ปรีชาญ เดชศรี และคณะ (2550) กล่าวว่า การวัดและประเมินผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์จะเป็นการทำงานที่เป็นระบบ โดยมีขั้นตอน ดังนี้

1. กำหนดจุดมุ่งหมายและวิธีการวัดประเมินผล
2. การสร้างเครื่องมือ
3. ดำเนินตามแผนที่กำหนดขึ้น

โดยการวัดและประเมินจะเน้นการประเมินนักเรียนตามสภาพจริงที่นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติและใช้วิธีการที่หลากหลาย โดยมีลักษณะที่สำคัญดังนี้

1. เน้นให้นักเรียนได้พัฒนาและเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ประเมินตนเอง
2. เน้นความสำคัญกับการพัฒนาจุดเด่นของนักเรียน
3. เน้นการวัดพฤติกรรมของนักเรียนที่แสดงออก
4. เน้นคุณภาพผลงานที่ได้จากความรู้ และทักษะที่เกิดการบูรณาการ
5. มีการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องทั้งบริบทที่บ้าน สถานศึกษา และชุมชน
6. เน้นการมีส่วนร่วมและมีความรับผิดชอบร่วมกัน เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนเรียนรู้อย่างมีความสุข
7. เน้นการเชื่อมโยงส่งทีเรียนรู้ไปสู่ชีวิตจริงตามสภาวการณ์
8. เน้นการวัดความสามารถในการคิดระดับสูง โดยอาศัยการสังเกต อธิบาย ตั้งสมมติฐาน สรุป และแปรผลข้อมูล

จากการศึกษาสรุปได้ว่า แนวทางการวัดและประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์นั้นจะเน้นการวัดและประเมินจากสภาพจริงที่นักเรียนได้แสดงออกมา ทั้งจากพฤติกรรมและผลงานของนักเรียน ซึ่งการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจะต้องวัดให้ครอบคลุมทั้งในส่วนเนื้อหาความรู้และส่วนของทักษะกระบวนการ ดังนั้นจำเป็นต้องใช้เครื่องมือในการวัดที่หลากหลาย เช่น แบบทดสอบ แบบสังเกต เป็นต้น เพื่อให้ผลการประเมินมีความน่าเชื่อถือและนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาการจัดการเรียนการสอนหรือศักยภาพของนักเรียนต่อไป

2.3 ประเภท การสร้าง และการหาคุณภาพของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์

2.3.1 ประเภทของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์

ประเภทของแบบทดสอบวัดผมสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ สามารถจำแนกได้หลายประเภท โดยมีนักการศึกษากล่าวไว้ ดังนี้

สมนึก ภัททิยธนี (2553) ได้แบ่งประเภทของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็น 6 ประเภท ดังนี้

1. แบบทดสอบแบบความเรียงหรืออัตนัย เป็นข้อสอบที่มีเฉพาะส่วนที่เป็นคำถามแล้วให้นักเรียนเขียนคำตอบอย่างอิสระ ตามความรู้และข้อคิดเห็นของแต่ละคน

2. แบบทดสอบแบบถูกผิด เป็นข้อสอบแบบเลือกตอบทีมี 2 ตัวเลือก แต่ละตัวเลือกจะเป็นแบบคงที่และมีความหมายตรงกันข้ามกันเสมอ เช่น ถูก-ผิด จริง-ไม่จริง เหมือนกัน-ต่างกัน เป็นต้น

3. แบบทดสอบแบบเติมคำ เป็นข้อสอบที่ประกอบด้วยประโยคหรือข้อความที่ยังไม่สมบูรณ์ โดยให้นักเรียนเติมคำตอบหรือประโยคหรือข้อความให้สมบูรณ์และถูกต้อง

4. แบบทดสอบแบบตอบสั้น ๆ โดยให้นักเรียนตอบคำถามหรือเติมคำตอบตามที่ต้องการอย่างกระฉับ ได้ใจความสมบูรณ์ ไม่ใช่การเขียนบรรยายหรืออธิบายแบบข้อสอบความเรียงหรืออัตนัย

5. แบบทดสอบแบบจับคู่ เป็นข้อสอบประเภทเลือกตอบ โดยมีข้อความหรือคำ แยกออกจากกันเป็น 2 ชุด แล้วให้นักเรียนเลือกจับคู่ว่าข้อสอบในแต่ละชุดคู่ใดมีความสัมพันธ์กัน

6. แบบทดสอบแบบเลือกตอบ ลักษณะทั่วไปของแบบทดสอบประเภทนี้มี 2 ส่วน คือ ส่วนคำถามหรือตอนนำ และส่วนตัวเลือก โดยส่วนที่เป็นตัวเลือกนั้นจะประกอบด้วยตัวเลือกที่ถูกต้อง และตัวเลือกที่เป็นตัวลวง ส่วนใหญ่นิยมใช้ตัวเลือกที่มีความใกล้เคียงกัน นักเรียนต้องพิจารณาน้ำหนักของตัวเลือกว่าข้อใดถูกต้องที่สุด

บุญชม ศรีสะอาด (2556) ได้แบ่งประเภทของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้ ดังนี้

1. แบบทดสอบอิงเกณฑ์ คือ แบบทดสอบที่สร้างขึ้นตามจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม มีคะแนนจุดตัดหรือคะแนนเกณฑ์สำหรับใช้ตัดสินผลการเรียนว่าตรงตามจุดประสงค์หรือไม่ ซึ่งถือว่าเป็นจุดที่สำคัญสำหรับแบบทดสอบประเภทนี้

2. แบบทดสอบอิงกลุ่ม คือ แบบทดสอบที่มุ่งวัดให้ครอบคลุมหลักสูตร จึงสร้างตามตารางวิเคราะห์หลักสูตร สามารจำแนกนักเรียนออกเป็นเก่ง อ่อนได้ดี โดยรายงานผลการสอบอาศัยมาตรฐานซึ่งเป็นคะแนนที่สามารถสื่อถึงสถานภาพความสามารถของบุคคลนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับบุคคลอื่นๆ

จากข้อมูลเกี่ยวกับประเภทของแบบทดสอบข้างต้น พบว่า แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์นั้นจะแบ่งออกเป็นหลายประเภท ในการเลือกใช้ประเภทแบบทดสอบจะต้องคำนึงถึงเนื้อหา และจุดประสงค์การเรียนรู้ให้เหมาะสม โดยการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้แบบทดสอบประเภทเลือกตอบปรนัย 4 ตัวเลือก

2.2.2 การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์

ในการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์เป็นการสร้างที่มีขั้นตอนที่ชัดเจนและมีระบบ ดังนักการศึกษากล่าวดังนี้

สมนึก ภัททิยธนี (2553) ได้กล่าวว่า หลักในการสร้างแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแบบเลือกตอบ ดังนี้

1. เขียนตอนนำให้เป็นประโยคคำถามที่สมบูรณ์ มีความกระชับ ไม่เกิดความสับสนในการคิดหาคำตอบ

2. เน้นเรื่องที่ถามให้ชัดเจนและตรงจุด ไม่คลุมเครือ ซึ่งเป็นเหตุให้ผู้อ่านไม่เข้าใจหรือเกิดความไขว้เขว

3. คำถามควรมีคุณค่าต่อการวัดหรืออามสิ่งที่เป็นประโยชน์ และวัดพฤติกรรมในสมองหลากหลาย

4. หลีกเลี่ยงคำถามปฏิเสธ ถ้ามีความจำเป็นควรขีดเส้นใต้คำปฏิเสธให้ชัดเจน ไม่ควรใช้คำถามที่ปฏิเสธซ้อนปฏิเสธ เพราะจะทำให้นักเรียนเกิดความซับสนในการแปลความหมาย

5. ไม่ใช้คำที่ฟุ่มเฟือย ใช้คำที่รัดกุมและชัดเจน

6. เขียนตัวเลือกให้เป็นเอกพันธ์ คือ ทุกตัวเลือกมีลักษณะที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันหรือมีโครงสร้างสอดคล้องกัน

7. ควรเรียงลำดับตัวเลขในตัวเลือกให้เหมาะสม ป้องกันการหลงของนักเรียน

8. ใช้ตัวเลือกปลายเปิดหรือปลายปิดให้เหมาะสม ตัวเลือกปลายเปิด ได้แก่ ตัวเลือกสุดท้ายที่ใช้คำว่าถูกทุกข้อ ผิดทุกข้อหรือสรุปแน่นอนไม่ได้

9. ข้อเดียวต้องมีคำตอบเดียว จึงต้องมีการคิดตัวลวงให้รัดกุม

10. เขียนทั้งตัวถูก และตัวผิด ให้ถูกหรือผิดตามหลักวิชา คือ กำหนดตัวถูกหรือผิดเพราะสอดคล้องกับความเชื่อของสังคมหรือคำพังเพย

11. เขียนให้ตัวเลือกเป็นอิสระขาดจากกัน โดยพยายามอย่าให้ตัวเลือกตัวใดตัวหนึ่งเป็นส่วนหนึ่งหรือส่วนประกอบของอีกตัวเลือกหนึ่ง

12. ควรมีตัวเลือกประมาณ 4-5 ตัวเลือก ขึ้นอยู่กับระดับชั้นของนักเรียน

13. อย่าแนะนำคำตอบ เช่น ข้อหลังแนะนำคำตอบในข้อแรก เขียนตัวเลือกถูกผิดชัดเจนเกินไป เป็นต้น

กัญจนา ลินทรัตนศิริกุล (2560) กล่าวถึงขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวันผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ดังนี้

1. ศึกษาเนื้อหาจากหนังสือ เอกสารและงานวิจัยทีเกี่ยวข้องในการสร้างแบบทดสอบ

2. ศึกษาหลักสูตรแกนกลางและหลักสูตรสานศึกษา

3. สร้างตารางวิเคราะห์เนื้อหาและเลือกมาตรฐานการเรียนรู้

4. สร้างแบบทดสอบตามตารางวิเคราะห์เนื้อหา ซึ่งเป็นแบบทดสอบประเภทปรนัยแบบเลือกตอบ 4 ตัวเลือก โดยมีคำตอบที่ถูกต้องที่สุดจำนวนหนึ่งข้อและอีก 3 ตัวเลือกนั้นเป็นตัวลวง โดยแบบทดสอบต้องสอดคล้องตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้กำหนด โดยอาศัยตารางวิเคราะห์เนื้อหา

5. นำแบบทดสอบที่สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาตรวจสอบความถูกต้องเชิงเนื้อหา ประเมินผลความตรงเชิงเนื้อหาจากค่าดัชนีความสอดคล้องเป็นรายข้อ IOC (Item Objective Concurrence) รวมถึงความถูกต้องในการใช้ภาษาและแก้ไขปรับปรุงตามข้อเสนอแนะ โดยการหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

6. คัดเลือกข้อสอบที่มีค่าดัชนี IOC ที่คำนวณได้มากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 เพราะถือว่าข้อสอบนั้นเป็นตัวแทนของเนื้อหาที่จะทดสอบ ถ้าข้อสอบข้อใดค่าดัชนี IOC ต่ำกว่า 0.5 ให้ตัดออกหรือปรับปรุงใหม่ให้ดีขึ้น

7. นำแบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ผ่านการตรวจแก้ไข และปรับปรุงแล้วไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมาย

8. นำคะแนนมาวิเคราะห์ข้อสอบรายข้อ หาค่าความยากง่าย (P) และค่าอำนาจจำแนก (R) และความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ

9. คัดเลือกข้อสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่มีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.20-0.80 และค่าอำนาจจำแนกมากกว่า 0.20 และค่าความเที่ยงของแบบทดสอบทั้งฉบับเท่ากับ 0.75

จากข้อมูลการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน สรุปว่า จะมีขั้นตอนที่ชัดเจน คือ 1) ศึกษาข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่นเอกสารต่าง ๆ หลักสูตร 2) สร้างสร้างตารางวิเคราะห์เนื้อหา3) สร้างข้อสอบตามตารางวิเคราะห์ โดยมีหลักการสำคัญ คือ ต้องเป็นข้อสอบที่เป็นปรนัย มีความชัดเจน 4) สร้างตัวเลือก 5) นำแบบทดสอบไปหาค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC จากผู้เชี่ยวชาญ 6) ปรับปรุงแก้ไขแบบทดสอบให้เหมาะสมตามคำแนะนำ 7) นำแบบทดสอบไปทดลองใช้กับนักเรียนกลุ่มอื่นๆ 8) นำมาวิเคราะห์หาความยากง่าย (P) ค่าอำนาจจำแนก (R) และค่าความเที่ยงของแบบทดสอบทั้งฉบับโดยใช้สูตรของ Kuder Richardson 20 ซึ่งการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ที่ดีนั้นจะส่งผลให้ผลการประเมินมีความน่าเชื่อถือ และวัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

3. ความสามารถในการคิดผลิตภาพ

3.1 ความเป็นมา ความหมายและองค์ประกอบของการคิดผลิตภาพ

3.1.1 ความเป็นมาของการคิดผลิตภาพ

ความเป็นมาในการเกิดการคิดผลิตภาพในประเทศไทย ได้มีนักการศึกษากล่าวไว้ ดังนี้

สมพร โกมารทัต (2557) กล่าวว่า การคิดผลิตภาพเกิดจากการคิดในวงการธุรกิจที่จะเปลี่ยนแปลงปัจจัยนำเข้า ให้เป็นปัจจัยนำออก ผ่านกระบวนการจัดการการผลิต คือ การศึกษา วิเคราะห์ กำหนดแนวทางการปฏิบัติและควบคุมกระบวนการแปรรูป ซึ่งเปรียบกับการศึกษาก็เป็นการนำความรู้มาใช้ในการผลิตเป็นชิ้นงาน

ไพฑูรย์ สินลารัตน์ (2560) กล่าวว่า การคิดผลิตภาพหรือการคิดเชิงผลิตภาพ (Productive or Product-Oriental Thinking) เป็นการคิดที่เกี่ยวกับปรัชญาการศึกษาเชิงสร้างสรรค์ เพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในสภาพสังคมของประเทศไทยที่เป็นสังคมบริโภคนิยมให้เปลี่ยนเป็นสังคมที่เน้นผลผลิตนิยม ซึ่งจะเป็นส่วนช่วยให้ประเทศไทยไม่เป็นเมืองขึ้นทางด้านความคิดของต่างประเทศและปรับเปลี่ยนประเทศที่เน้นการซื้อเป็นหลัก โดยปรัชญาการศึกษาเชิงสร้างสรรค์ได้กำหนดให้นักเรียนมีลักษณะที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. มีความคิดหรือจิตที่เน้นการวิเคราะห์
2. มีความคิดหรือจิตที่เน้นการสร้างสรรค์
3. มีความคิดหรือจิตที่คิดผลิตภาพ
4. มีความคิดหรือจิตที่รับผิดชอบ

จากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า การคิดผลิตภาพ จะมีส่วนที่สำคัญในการปรับเปลี่ยนสังคมไทย ให้เป็นสังคมที่เน้นผลผลิตนิยมมากยิ่งขึ้น โดยเน้นให้นักเรียนได้มีความคิดในทางวิเคราะห์ คิดสร้างสรรค์ คิดผลิตภาพและคิดรับผิดชอบ ซึ่งต้องอาศัยปรัชญาการศึกษาเชิงสร้างสรรค์เป็นพื้นฐาน

3.1.2 ความหมายของการคิดผลิตภาพ

ความหมายของการคิดผลิตภาพนั้นได้มีนักการศึกษากำหนดให้ไว้ ดังนี้

อานุภาพ เลขะกุล (2551) กล่าวว่า ผลิตภาพ ในวงการศึกษาเริ่มมีนักการศึกษาจำนวนหนึ่งให้ความสำคัญและมองผลผลิตทางการศึกษา ซึ่งมีกระบวนการผลิตผลผลิตที่ไม่แตกต่างจากกระบวนการผลิตผลผลิตของภาคธุรกิจ ด้วยเหตุนี้การจัดการเรียนรู้ที่ดีจึงต้องเป็นกระบวนการที่มีระบบซึ่งจะเปลี่ยนแปลงปัจจัยนำเข้า คือ นักเรียนหรือนักศึกษาและให้เป็นปัจจัยนำออก คือ นักเรียนหรือนักศึกษาที่มีคุณสมบัติตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ โดยมีกระบวนการ คือ

การเรียนรู้ของผู้เรียนทางการศึกษา ซึ่งผลิตภาพ หมายถึง ผลผลิตหรืองานสร้างสรรค์ที่เป็นประจักษ์ และการเรียนรู้เชิงผลิตภาพ หมายถึง การเรียนรู้เพื่อนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและความคิด ความสามารในการผลิตผลงานใหม่ และงานสร้างสรรค์ที่เป็นประจักษ์ได้

สมพร โกมารทัต (2557) กล่าวว่า ในวงการศึกษา คำว่าการเรียนรู้เชิงผลิตภาพ (Productivity-Based Learning) ยังไม่ถูกกล่าวถึงมากนัก โดยการเรียนรู้เชิงผลิตภาพ เป็นคำที่มีพื้นฐานมาจากวงการธุรกิจ ที่ต้องการเปลี่ยนแปลงความคิดของนักเรียน นักศึกษา ให้เป็นผลผลิตที่เป็นประจักษ์มากยิ่งขึ้น จึงนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและความคิด ให้มีความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ผลงานชิ้นใหม่ขึ้น

ไพฑูรย์ สินลารัตน์ (2560) กล่าวว่า การคิดผลิตภาพ เป็นความคิดที่เป็นรูปธรรม มีความแตกต่างกับความคิดอื่นๆ เช่น ความคิดสร้างสรรค์ ความคิดวิเคราะห์ ซึ่งจะมีลักษณะที่เป็นนามธรรม ซึ่งการระบุได้ว่าบุคคลดังกล่าวมีความคิดผลิตภาพหรือไม่จะต้องมีผลงานหรือผลผลิตเกิดขึ้นหรือไม่ โดยจะเกิดจากกระบวนการทางสมองที่มีขั้นตอนจากการจินตนาการภาพในสมองแล้วจึงนำออกมาให้เป็นรูปธรรมอาจจะเป็นในแบบของความคิด งานวิชาการหรือสิ่งประดิษฐ์ที่เป็นชิ้นงานก็ได้ แต่ต้องแสดงความเป็นรูปธรรมของความคิดให้ชัดเจน และสามารถสื่อสารกับผู้อื่นได้เข้าใจ

นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์ (2560) กล่าวว่า การคิดผลิตภาพ คือ ความสามารถส่วนของสมองของแต่ละบุคคลที่ทำให้เกิดภาพที่เป็นรูปธรรม โดยออกมาจากความรู้ซึ่งเป็นนามธรรม แล้วนำไปใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ หรือนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ

จากการศึกษาผู้วิจัยสรุปได้ว่า การคิดผลิตภาพ คือ ความสามารของนักเรียนในการผลิตผลงานโดยใช้ความรู้ที่มีอยู่ในตนเองและประสบการณ์ที่ได้พบเจอ จากการเรียนรู้ทั้งในและนอกห้องเรียน ผลิตเป็นผลงานต่างๆ ที่เป็นรูปธรรมหรือเชิงประจักษ์และสามารถสื่อสารให้ผู้อื่นได้ผ่านกระบวนการเรียนรู้เชิงผลิตภาพ

3.1.3 องค์ประกอบของการคิดผลิตภาพ

องค์ประกอบของการคิดผลิตภาพ ได้กล่าวโดยนักการศึกษา ดังนี้

ไพฑูรย์ สินลารัตน์ (2560) ได้แบ่งองค์ประกอบของการคิดผลิตภาพ ได้ดังนี้

1. การเรียนรู้ตามสภาพความเป็นจริง (Situated Learning and prepare real learning context) โดยครูจะเป็นผู้ชี้แจงจุดมุ่งหมายของการเรียน และนำเรื่องด้วยปัญหาที่พบในชีวิตประจำวัน มาร่วมกันอภิปรายในห้องเรียน โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนได้คิดวิเคราะห์ถึงปัญหาดังกล่าว ซึ่งในขั้นตอนนี้ครูจะต้องใช้ความพยายามในการสังเกตสิ่งที่นำมาให้นักเรียนได้คิดนั้นเป็นสิ่งที่นักเรียนสนใจจริงหรือไม่ ซึ่งจะส่งผลต่อการเรียนว่าจะประสบความสำเร็จได้ดีเพียงใด

2. การเปิดโอกาสให้นักเรียนได้กำหนดจุดมุ่งหมายหรือกำหนดเป้าหมายที่เป็นผลลัพธ์ที่ต้องการร่วมกัน (Self-Directed Learning and Cooperative Learning) เมื่อได้

ประเด็น เรื่องราวหรือหัวข้อที่ต้องการให้รู้แล้ว ครูจะให้นักเรียนได้มีโอกาสในการพิจารณาตนเอง เพื่อให้ทุกคนเกิดความชัดเจนในประเด็นปัญหาดังกล่าว โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ร่วมกำหนดจุดมุ่งหมาย หรือกำหนดเป้าหมายที่เป็นผลลัพธ์ที่ต้องการร่วมกัน

3. การทำงานร่วมกัน (Work-Based Learning and Collaborative Learning) เป็นการลงมือปฏิบัติของนักเรียน และร่วมมือในการปฏิบัติ ซึ่งในการปฏิบัติงานจะต้องทำร่วมกันอยู่เสมอ การทำงานร่วมกันจึงเป็นจุดสำคัญ เนื่องจากในชีวิตจริงจะต้องมีการทำงานร่วมกัน ไม่มีการทำงานเพียงคนเดียว

4. การประเมิน และการติดตาม (Assess-Based and follow-up) เป็นการประเมินและติดตามงานเพื่อสังเกตว่านักเรียนปฏิบัตินั้นมีผลอย่างไร ควรแก้ไข หรือพัฒนาตรงจุดไหน เมื่อประเมินและแก้ไขเสร็จเรียบร้อยต้องติดตามว่าได้มีการแก้ไขตามที่ได้กำหนดไว้หรือไม่

5. การต่อยอดเพื่อการขาย (Linkage stage and market the product) เมื่อมีชิ้นงานหรือผลผลิตเกิดขึ้น นักเรียนจะต้องเชื่อมโยงกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ในบางครั้งขั้นตอนนี้อาจมีการต่อยอดไปสู่การขายต่อไปได้

จากการศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบของการคิดผลิตภาพ ผู้วิจัยสรุปได้ว่าองค์ประกอบเพื่อให้นักเรียนได้เกิดความคิดผลิตภาพนั้นจะประกอบด้วย ปัญหาที่เกี่ยวข้องหรือนักเรียนสนใจ การวางแผน การทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มและการประเมินปรับปรุงหรือแก้ไข

3.2 ขอบเขต และคุณค่าของการคิดผลิตภาพ

3.2.1 ขอบเขตของการคิดผลิตภาพ

ได้มีนักการศึกษาได้กล่าวถึงขอบเขตของการคิดผลิตภาพไว้ดังนี้

นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์ (2560) ได้กล่าวถึงขอบเขตของการคิดผลิตภาพว่า การคิดผลิตภาพมีขอบข่ายเกี่ยวข้องกับการคิด และความสามารถอื่น ๆ ดังนี้

1. การคิดผลิตภาพกับการคิดสังเคราะห์

การคิดสังเคราะห์เป็นการคิดที่รวมส่วนประกอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องรวมกันเพื่อให้เกิดผลงานที่แปลกใหม่ ซึ่งในการคิดผลิตภาพนักเรียนจำเป็นต้องมีการผลิตผลงานเกิดขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการคิดสังเคราะห์ซึ่งจะต้องให้นักเรียนมีความสามารถในการมองเห็นถึงความสัมพันธ์ของสิ่งที่เป็นองค์ประกอบในการคิดเพื่อนำไปสู่การผลิตผลงานที่เป็นผลิตภาพได้

2. การคิดผลิตภาพกับการคิดจินตนาการ

การคิดจินตนาการเป็นความสามารถหนึ่งในการคิดสร้างภาพของบุคคลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งของหรือเหตุการณ์ต่างๆ โดยอาศัยข้อมูลที่เป็นพื้นฐานเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องจินตนาการ อาจเป็นการคิดอย่างอิสระ ในการคิดผลิตภาพนั้นผู้คิดจะต้องใช้การจินตนาการในหลายขั้นตอน โดยเริ่มต้นอาจยังไม่มีข้อมูลกับสิ่งที่ต้องการผลิตเพียงพอ การใช้ความคิดในการจินตนาการจึงได้มาจาก

การใช้ความคิดที่อิสระ แต่ถ้าบุคคลใดมีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่ต้องการผลิตบ้างแล้วการใช้จินตนาการจะมีความเป็นระบบมากยิ่งขึ้น ทำให้มีความเป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้นด้วย

3. การคิดผลิตภาพกับการคิดสร้างสรรค์

การคิดสร้างสรรค์จะเป็นการคิดที่เป็นไปในทางบวกเสมอ เพื่อที่จะได้ผลผลิตที่มีความแปลกใหม่ไม่ซ้ำกับใครและสามารถนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหาหรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในการดำรงชีวิตให้ดีขึ้นกว่าเดิม คนที่มีความคิดสร้างสรรค์ถ้าคิดแต่ไม่ได้ลงมือทำความคิดดังกล่าวจะถือว่าเปล่าประโยชน์ การคิดผลิตภาพจึงมีความสำคัญมากในการผลักดันให้ความคิดสร้างสรรค์มีผลให้เป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้น และจะนำผลผลิตที่ได้ไปใช้ประโยชน์ได้จริงในชีวิตประจำวันหรืออาจกล่าวอีกนัยได้ว่า การคิดสร้างสรรค์เป็นส่วนหนึ่งในการคิดผลิตภาพ ถ้าบุคคลไม่มีพฤติกรรมดังกล่าวจะไม่สามารถมีแนวทางหรือเป้าหมายว่าต้องการผลิตอะไร จึงไม่มีโอกาสทำในสิ่งที่คิดนั้นให้เป็นความจริงได้

4. การคิดผลิตภาพกับการคิดเชิงระบบ

การคิดเชิงระบบเป็นการคิดที่เป็นภาพรวมหรือให้ความสนใจในองค์รวมแต่มีการตระหนักถึงองค์ประกอบย่อยๆ ที่มีความสัมพันธ์ และหน้าที่เชื่อมโยงกัน ทำให้บุคคลเกิดความเข้าใจในความสัมพันธ์ขององค์ประกอบย่อยๆ ที่มีความเชื่อมโยงกัน แล้วยังเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการคิดผลิตภาพ เนื่องจากจะทำให้ผู้คิดเกิดความคิดที่ต่อเนื่องและเชื่อมโยงกับแนวทางในการปฏิบัติกับผลผลิตที่เกิดขึ้นซึ่งจะนำไปสู่การแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพซึ่งประกอบด้วย

4.1 ความคิดและความเข้าใจในภาพรวมทั้งระบบ จะเป็นการมองภาพกว้างๆ ทั้งหมด แล้วพิจารณาสิ่งที่เป็นภาพกว้างๆ นั้นว่าประกอบด้วยระบบย่อยๆ อะไรบ้างและมีความสัมพันธ์กันอย่างไร

4.2 การคิดที่มีการเชื่อมโยง เป็นการคิดแบบภาพรวมมองภาพทั้งหมดมีการสังเคราะห์ความสัมพันธ์ต่างๆ ในระบบทั้งในความสัมพันธ์เชิงลึกและความสัมพันธ์ในแบบกว้างรวมถึงความสัมพันธ์ที่มีความซับซ้อนที่เน้นการคิดแบบองค์รวม

4.3 การคิดเชิงเครือข่าย ที่จะทำให้ผู้คิดได้เห็นความสัมพันธ์แบบเครือข่ายและมองเห็นความสัมพันธ์ในระบบ

4.4 การคิดที่มีความสัมพันธ์กับแนวคิดไซเบอร์เนติกส์

4.5 การคิดที่ทำให้ผู้คิดมองเห็นความสัมพันธภาพ คือเกิดการเข้าใจที่เป็นแบบแผน และนำไปสู่การอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ได้

5. การคิดผลิตภาพกับความสามารถในการสื่อสาร

ความสามารถในการสื่อสารเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญ เนื่องจากเมื่อบุคคลได้ใช้ความคิดที่เชื่อมโยงกับข้อมูลอื่นๆ จะได้แนวทางในการปฏิบัติจึงต้องมีการแสดงข้อมูล

ในความคิดให้ผู้อื่นได้เข้าใจ และมองเห็นภาพดังกล่าวด้วย เพื่อนำไปสู่การยอมรับ เพื่อให้ได้รับความสะดวกและได้รับความร่วมมือในการผลิตผลงานขึ้น

จากข้อมูลขอบเขตของการคิดผลิตภาพ ผู้วิจัยสรุปได้ว่า การคิดผลิตภาพจะมีขอบข่ายที่สัมพันธ์การคิดในแบบอื่นๆ ได้แก่ การคิดสังเคราะห์ การคิดจินตนาการ การคิดสร้างสรรค์ การคิดเชิงระบบ และความสามารถในการสื่อสาร เพื่อให้ผู้คิดเกิดการคิดผลิตภาพสมบูรณ์

3.2.2 คุณค่าของการคิดผลิตภาพ

คุณค่าที่เกิดขึ้นของการคิดผลิตภาพ ได้มีนักการศึกษากล่าวไว้ ดังนี้

จันทร์เพ็ญ เชื้อพานิช (2549) กล่าวว่า การคิดผลิตภาพ เป็นการสอนที่มุ่งเน้นให้นักเรียนได้ใช้ความคิดและความสามารถในการผลิตสิ่งต่างๆ เพื่อให้เกิดประโยชน์ของชุมชนของตนเองและชุมชนอื่นๆ โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของเทคโนโลยี

ไพฑูรย์ สินลารัตน์ (2560) กล่าวว่า การคิดผลิตภาพนั้นมีความสำคัญในการพัฒนาผลผลิตที่เป็นรูปธรรมของความคิด โดยนักเรียนจะสามารถแปรความคิดให้เป็นผลิตภัณฑ์แล้วเปลี่ยนความคิดให้เป็นกิจกรรม และเปลี่ยนความคิดเป็นแนวทางปฏิบัติที่ชัดเจน ซึ่งจะทำให้นักเรียนสามารถใช้ความคิดได้เต็มที่ และส่งผลต่อระบบเศรษฐกิจและสังคมให้มีการเปลี่ยนแปลงจากสังคมที่เน้นการบริโภคเป็นหลักให้เป็นสังคมที่เน้นการผลิตมากยิ่งขึ้น

จากข้อความข้างต้นผู้วิจัยสรุปได้ว่า คุณค่าของการคิดผลิตภาพ เนื่องจากการคิดผลิตภาพนั้นเกิดจากการสอนที่เน้นให้นักเรียนได้คิดให้เป็นรูปธรรม จะส่งผลให้นักเรียนเป็นคนที่คิดและสามารถสร้างเป็นชิ้นงานต่างๆ เพื่อพัฒนาประเทศชาติทั้งทางเศรษฐกิจและสังคมให้มีการเปลี่ยนแปลงที่ดีขึ้น

3.3 ลักษณะของบุคคลที่มีความคิดผลิตภาพ

ลักษณะของบุคคลที่มีความคิดผลิตภาพนั้นเป็นลักษณะที่เฉพาะตัว โดยนักการศึกษาได้กล่าวไว้ ดังนี้

บุญอยู่ ขอพรประเสริฐ (2559) กล่าวถึงลักษะของคนที่มีความสามารถในการคิดผลิตภาพว่า การคิดผลิตภาพนั้นจะเป็นการพัฒนาความพร้อมที่จะก้าวสู่ตลาดงานในยุคที่ขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยี ดังนั้นจะต้องประกอบไปด้วยการรู้คิดด้วยจิต 5 ประการ

1. จิตชำนาญการ เป็นวิธีคิดที่เกี่ยวข้องกับสาขาวิชาดังกล่าวและสาขาวิชาอื่นๆ ซึ่งเป็นความสามารถในการประยุกต์ใช้ และปรับปรุงสิ่งที่ได้ศึกษามาให้ดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง

2. จิตสังเคราะห์ เป็นวิธีการเลือกข้อมูลที่ได้รับจากแหล่งต่างๆ แล้วนำมาจัดการกับข้อมูลได้อย่างมีระบบ ทำความเข้าใจโดยปราศจากอคติและผสานความรู้ดังกล่าวให้เกิดเป็นความรู้ใหม่

3. จิตสร้างสรรค์ เป็นการสังเคราะห์โดยผลิตความคิดใหม่ๆ ที่แตกต่างไปจากเดิมและสร้างเป็นความคิดที่แปลกใหม่

4. จิตเคารพ เป็นการตอบสนองต่อคนและกลุ่มคนที่มีความแตกต่างอย่างเห็นใจซึ่งกันและกัน ยอมรับความแตกต่างระหว่างบุคคลที่เกิดขึ้น

5. จิตจริยธรรม เป็นคุณลักษณะที่เป็นนามธรรมแต่มีความสำคัญในบทบาทหน้าที่ในสังคม เป็นการคำนึงถึงธรรมชาติของงานและความต้องการของสังคมที่ดำรงอยู่

ไพฑูรย์ สินลารัตน์ (2560) กล่าวถึงลักษะของคนที่มีความสามารถในการคิดผลิตภาพว่า จะต้องเป็นคนช่างสังเกต เรียนรู้และสงสัยในสิ่งแวดล้อมรอบตัวอยู่เสมอ พร้อมทั้งมุ่งมั่นในสิ่งที่จะทำ โดยมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. เป็นคนช่างสังเกต

การสังเกตสิ่งที่อยู่รอบๆ ตัวที่ได้จากการสัมผัสจากประสาทสัมผัสในส่วนต่างๆ ซึ่งจะทำให้กลายเป็นคนที่เกิดการเรียนรู้แบบฉุกคิด ฉุกเห็นและฉุกสัมผัสได้ทันที และในการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการคิดต่อยอดในสิ่งที่สนใจ และนำไปสู่การพัฒนาต่อไป

2. เป็นคนคิดต่อเนื่อง

การคิดต่อเนื่องจากความรู้ที่ได้จากการสังเกต จึงต้องมีความคิดที่สัมพันธ์ต่อเนื่อง คือ การคิดต่อเนื่อง เนื่องจากถ้าไม่เกิดการคิดที่ต่อเนื่อง ทุกอย่างจะหยุดอยู่ที่ความรู้ที่ได้จากการสังเกตเท่านั้น แต่ถ้ามีการคิดที่ต่อเนื่องจะทำให้เกิดการผลิต โดยเชื่องโยงนำไปสู่ความคิดใหม่ๆ ที่มีความคิดสร้างสรรค์หรือกล่าวได้ว่าการคิดผลิตภาพนั้นจะเป็นส่วนต่อของการคิดสร้างสรรค์

3. เป็นคนมองเห็นแนวทางปรับปรุงแนวปฏิบัติ

เป็นคนที่มีความสามารถในการทำงานที่เป็นขั้นตอนและมองเห็นว่าการคิดเรื่องใดเรื่องหนึ่งนั้นจะต้องมีคุณสมบัติที่เห็นได้ชัดเจน และให้ความสำคัญกับแนวทางในการปฏิบัติหรือการลงมือปฏิบัติแล้วสามารถมองต่อไปยังสิ่งที่คิดว่าน่าจะเป็นปัญหา และปัญหาดังกล่าวเกี่ยวข้องกับอะไรบ้าง เพื่อจะนำไปสู่การมองเห็นแนวทางในการปรับปรุงให้ดีขึ้น

4. เชื่อมโยงกับผลผลิต

อาศัยการสังเกตจากการลงมือปฏิบัติเพื่อให้ได้อย่างใดอย่างหนึ่งขึ้นมา ซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นรูปธรรมเท่านั้นเพียงแค่เป็นสิ่งที่สามารถเข้าใจได้ง่าย มองเห็นและจับต้องได้ เช่น ความคิด ความสามารถในการสรุปความ ค่านิยม เป็นต้น

5. คิดแล้วทำ

เป็นลักษณะของคนที่คิดแล้วลงมือทำทันที คุณลักษณะดังกล่าวจึงถือว่ามีความสำคัญที่สุดในการคิดผลิตภาพ เนื่องจากเป้าหมายสำคัญของการคิดผลิตภาพคือ การมีผลผลิตซึ่งเกิดจากการกระทำที่มาจากแนวความคิดออกมา โดยผ่านกระบวนการศึกษาค้นคว้า คิดต่อ จัดลำดับ แล้วนำไปสู่การวิเคราะห์แล้วพัฒนาขึ้นใหม่ เช่น ตำราที่เป็นหนังสือหรือเอกสารต่างๆ เป็นต้น

6. คิดให้ตลอด

เป็นคนที่มีความมุ่งมั่นทำงานให้สำเร็จลุล่วง คุณสมบัติข้อนี้สืบเนื่องมาจากข้อที่ 5 โดยจะต้องมีการลงมือปฏิบัติให้สำเร็จ เป็นการฝึกการคิดผลิตภาพ และยังเป็นการฝึกการทำงานให้สำเร็จ

7. พร้อมรับการทดสอบ

เป็นการพร้อมรับการประเมินในรูปแบบต่างๆ รวมถึงการตำหนิเกี่ยวกับผลงานหรือผลผลิตที่เกิดขึ้น เพื่อให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นจึงจำเป็นต้องมีการประเมินทั้งในด้านวิชาการและด้านปริมาณ เพื่อนำผลการประเมินที่ได้ไปพัฒนาผลงานให้มีคุณค่า และใช้ได้จริง สำหรับในห้องเรียนนั้นครูอาจไม่มีความเชี่ยวชาญในด้านนั้นๆ เพียงพอจำเป็นต้องอาศัยคนภายนอกมาประเมินนักเรียนจึงต้องมีความพร้อมที่จะรับการทดสอบ และประเมินอยู่เสมอ

จากข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของคนที่มีความคิดผลิตภาพที่สำคัญที่สุด คือ การเป็นคนช่างสังเกต ซึ่งเป็นลักษณะแรกที่จะทำให้เกิดลักษณะอื่นๆ ต่อไป ประกอบกับการคิดต่อเนื่อง การมองเห็นทางปรับปรุงแนวปฏิบัติ การเชื่อมโยงกับผลผลิต การคิดและทำ การมุ่งทำให้เสร็จและพร้อมรับการทดสอบ โดยคุณลักษณะดังกล่าวจะเกี่ยวข้องกัน และเป็นคุณลักษณะที่จะทำให้บุคคลเกิดการคิดผลิตภาพขึ้นได้

3.4 แนวทางการสร้างบรรยากาศ และการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาการคิดผลิตภาพ

3.4.1 แนวทางการสร้างบรรยากาศในห้องเรียนเพื่อพัฒนาการคิดผลิตภาพ

แนวทางในการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาการคิดผลิตภาพนั้นจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงในหลากหลายด้าน เช่น สภาพแวดล้อมในห้องเรียน แนวทางในการจัดการเรียนรู้ เป็นต้น โดยมีนักการศึกษากล่าวไว้ ดังนี้

ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2560) กล่าวว่า ถ้าต้องการสร้างให้นักเรียนเป็นผู้ที่มีความคิดผลิตภาพ จุดที่สำคัญที่สุดคือ การสอนให้นักเรียนได้คิดในลักษณะที่สามารถต่อยอดได้จนสามารถเปลี่ยนเป็นความคิดที่เป็นผลิตภัณฑ์ กิจกรรมหรือแนวทางปฏิบัติที่ชัดเจน ซึ่งการสอนแบบบรรยายในแบบเดิมๆ จะทำให้นักเรียนเกิดความรู้ในรูปของนามธรรมเท่านั้น ครูจึงต้องมีแนวทางในการจัดบรรยากาศ จัดการเรียนรู้ให้เอื้อต่อการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนเกิดความคิดผลิตภาพ ดังนี้

1. สร้างกฎ กติกา มารยาทในการเรียน

ครูควรเปิดโอกาสให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการสร้างข้อตกลงร่วมกันในห้องเรียน เพื่อเป็นการสร้างความรับผิดชอบในการทำงาน และการอยู่ร่วมกัน

2. สร้างปฏิสัมพันธ์ในห้องเรียน

การสร้างปฏิสัมพันธ์ในห้องเรียนจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างครูกับนักเรียน โดยครูจะต้องเปิดโอกาสให้นักเรียนได้มีการซักถามปัญหาต่างๆ อย่างเป็น

กันเอง ให้ความอิสระและความสบายใจในการเรียนรู้ ซึ่งจะส่งผลให้บรรยากาศในห้องเรียนไม่ตึงเครียดจนเกินไปจะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์ โดยครูเป็นผู้ให้ความช่วยเหลือให้การยอมรับและให้ความสนใจในการทำงานของนักเรียน ปฏิสัมพันธ์อีกส่วนคือ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างนักเรียนกับนักเรียน จะเป็นการเน้นการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มมากกว่าเรียนแบบแข่งขัน เพื่อให้เกิดการช่วยเหลือซึ่งกันและกัน มีการแสดงความมีน้ำใจ เอื้อเฟื้อแก่กัน ซึ่งทำให้เกิดการไว้เนื้อเชื่อใจ และมีการแบ่งปันความรู้ระหว่างกัน ทำให้เกิดแนวคิดที่ใหม่ๆ ขึ้น

3. สร้างความอิสระในการเรียนรู้

เป็นการสร้างบรรยากาศในห้องเรียนที่นักเรียนได้มีโอกาสในการคิด และตัดสินใจในการเลือกสิ่งที่มีความหมายและเหมาะสมในการทำงาน โดยปราศจากความกลัว ความวิตก ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ โดยเกิดจากการจินตนาการ แล้วนำไปสู่การสร้างผลผลิตที่เป็นนวัตกรรม

4. ความสะดวกสบายในการเรียนรู้

ครูควรจัดสภาพในห้องเรียนให้น่าอยู่ มีแสงสว่างที่เพียงพอ ให้เกิดความน่าเรียนเหมาะแก่การเรียนรู้ มีเครื่องมือที่ครบถ้วนและสะอาด มีสิ่งอำนวยความสะดวกที่ส่งผลต่อการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งมีระเบียบในการหยิบใช้อย่างชัดเจน เป็นห้องเรียนที่มีความยืดหยุ่นโดยมีที่ว่างในการทำกิจกรรมต่างๆ รวมถึงพร้อมปรับเปลี่ยนสภาพห้องเรียนให้ทำกิจกรรมได้หลากหลาย

5. ใช้สื่อเทคโนโลยีส่งเสริมการเรียนรู้

เป็นการส่งเสริมให้ผู้เรียนได้ใช้เครือข่ายจากการสื่อสารผ่านช่องทางอื่นๆ เพิ่มเติม เพื่อให้นักเรียนได้ทำงานร่วมกับผู้อื่น ซึ่งจะทำให้นักเรียนได้ใช้ความคิดที่สร้างสรรค์ตามที่นักเรียนให้ความสนใจได้อย่างรวดเร็วและทันสมัย ส่งเสริมให้นักเรียนได้เกิดการเรียนรู้ตลอดเวลาและมีการแบ่งปันทางความคิดอย่างรวดเร็ว

6. การหาแหล่งการเรียนรู้นอกห้องเรียน

เป็นการเรียนรู้นอกห้องเรียนเพื่อให้นักเรียนได้เกิดความตื่นตัวในการเรียนรู้มากยิ่งขึ้น หลีกเลี่ยงความจำเจที่เกิดขึ้นในห้องเรียนแบบเดิมๆ เช่น การทัศนศึกษาดูงานจะช่วยให้นักเรียนได้ความรู้ที่แปลกใหม่ ครูจึงต้องเลือกแหล่งเรียนรู้ที่ตรงตามหลักสูตรและสามารถกระตุ้นความสนใจของนักเรียนได้มากยิ่งขึ้น

7. การสร้างบรรยากาศการเรียนรู้ที่ดี

บรรยากาศการเรียนรู้ที่ดีจะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนมีความใส่ใจในการเรียนรู้ ทำให้นักเรียนเกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้เพิ่มมากขึ้น

จากข้อมูลบรรยากาศในการพัฒนาการคิดผลิตภาพ สรุปได้ว่า บรรยากาศในห้องเรียนควรเป็นบรรยากาศที่มีความเป็นอิสระในด้านการคิด และมีการปฏิสัมพันธ์ร่วมกันภายในห้องเรียน เพื่อทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความคิด ซึ่งจะนำไปสู่การคิดที่สร้างสรรค์ ครูควรต้องจัดบรรยากาศในห้องเรียนรวมถึงอุปกรณ์ต่างๆ ให้พร้อม และเน้นให้นักเรียนได้ใช้เทคโนโลยีเข้ามาเกี่ยวข้องให้มากขึ้น

3.4.2 แนวทางการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาการคิดผลิตภาพ

แนวทางการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาการคิดผลิตภาพมีความแตกต่างจากการจัดการเรียนรู้ปกติทั่วไป เพื่อให้นักเรียนได้เกิดการคิดผลิตภาพจึงมีแนวทางที่นักการศึกษาได้กล่าวไว้ ดังนี้

ไพฑูรย์ สินลารัตน์ (2560) กล่าวว่า การจัดการเรียนรู้มีความสำคัญอย่างยิ่งในการส่งเสริมการคิดผลิตภาพของนักเรียน เนื่องจากเป็นหลักการพื้นฐานที่ทำให้นักเรียนเกิดความอยากเรียนรู้ โดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้จะต้องเน้นให้นักเรียนได้มีการคิดโดยเกิดจากการเรียนรู้เชิงสถานการณ์ การเรียนรู้แบบนำตนเอง การเรียนรู้ร่วมกัน การเรียนรู้เชิงสร้างสรรค์ การเรียนรู้แบบโครงงาน และการเรียนรู้แบบสร้างบริษัทจำลองเชิงผลิตภาพ โดยมีขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ ดังนี้

1. ขั้นกระตุ้นความคิดผ่านสถานการณ์ที่เป็นปัญหา (Situated Learning)

เป็นขั้นตอนที่ทำให้กิจกรรรมมีความหมายต่อการดำรงชีวิตประจำวันของนักเรียน โดยครูอาจใช้ปัญหาที่เกิดขึ้นในชุมชนหรือนักเรียนเคยพบมาก่อน ซึ่งครูจะมีหน้าที่ในการกระตุ้น สร้างแรงจูงใจเพื่อให้นักเรียนเกิดความกล้าในการสร้างชิ้นงานหรือแนวทางในการแก้ไขปัญหาผ่านกิจกรรมการใช้คำถามที่มีความท้าทายให้นักเรียนได้เกิดการคิด ส่วนนักเรียนจะมีหน้าที่ในการคิดวิเคราะห์ปัญหาที่ครูได้ตั้งขึ้น และร่วมกันอภิปรายภายในห้องเรียน

2. ขั้นสร้างแรงบันดาลใจจากงานสร้างสรรค์ (Creativity-based Learning)

เป็นขั้นตอนที่เริ่มจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้นักเรียนได้พบ ได้เห็น ได้สัมผัสกับผลงานที่เป็นผลงานจากความคิดสร้างสรรค์ที่นักเรียนสนใจ เพื่อเป็นการสร้างแรงกระตุ้นในการคิดหาแนวทางที่หลากหลาย และกระตุ้นให้เกิดการจินตนาการก่อนร่วมกันออกแบบผลงานที่มีความสร้างสรรค์ของตนเองตามแนวคิดของกลุ่ม โดยครูจะต้องเป็นผู้อำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ เช่น เครื่องมือ สื่อ อุปกรณ์ ที่ช่วงส่งเสริมในการสร้างผลงานที่สร้างสรรค์ ส่วนนักเรียนจะมีหน้าที่ในการระดมความคิดผ่านกระบวนการกลุ่ม

3. ขั้นสร้างงานร่วมกันเป็นกลุ่ม (Self - directed Learning and Collaborative Learning)

เป็นขั้นตอนที่ให้นักเรียนที่มีความสนใจที่คล้าย ๆ กัน มาทำงานรวมกลุ่มเดียวกัน เพื่อวางแผนในการแก้ไขปัญหาโดยอาศัยกระบวนกลุ่ม ซึ่งถือได้ว่างเป็นการเรียนแบบนำตนเอง โดยให้นักเรียนมีความริเริ่มในการเรียนรู้ มีการกำหนดจุดประสงค์การเรียน สื่อการเรียน แหล่งความรู้ และการประเมิน โดยแบ่งเป็น 4 ลักษณะ

3.1 การนำตนเองระดับที่ครูเป็นผู้กำหนดกิจกรรมทั้งใหม่ในการจัดการเรียนการสอน

3.2 การนำตนเองระดับต้นที่ครูเป็นผู้เสนอแนวทางแล้วให้นักเรียนเลือกเองตามความสนใจ

3.3 กานำตนเองระดับกลางที่ครู และนักเรียน ร่วมกันกำหนดกิจกรรมการเรียนรู้

3.4 การนำตนเองระดับสูงที่นักเรียนเป็นคนกำหนดกิจกรรมการเรียนรู้เองทั้งหมด

4. ขั้นพัฒนาโครงงาน (Project-based)

เป็นขั้นตอนการทำงานที่ต่อจากการออกแบบงานที่ผ่านการคิดสร้างสรรค์โดยอาศัยความคิดขั้นสูงในการแก้ไขปัญหาของงานและทดลองใช้เพื่อนำผลการทดลองมาใช้ในการพัฒนา

5. ขั้นสร้างบริษัทจำลอง (Mini Company Project)

เป็นขั้นตอนในการจัดตั้งบริษัทของกลุ่มมีการวางแผนการบริหารงานเพื่อให้ทุกคนได้มีหน้าที่ในการทำงานในตำแหน่งต่างๆ เสมือนจริงมีอุปกรณ์ เครื่องมือในการปฏิบัติงานเพื่อผลิตชิ้นงาน นอกจากนี้ยังได้ฝึกฝนการเป็นผู้ประกอบการ

จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยสรุปได้ว่า ในการสอนเพื่อส่งเสริมการคิดผลิตภาพนั้นบทบาทสำคัญของครูคือ ช่วยกระตุ้นให้นักเรียนและสร้างแรงบันดาลใจให้กับนักเรียนในการคิดค้นชิ้นงานอย่างสร้างสรรค์ของตนเองออกมา โดยครูต้องหาสถานการณ์ที่นักเรียนสนใจมากระตุ้นให้นักเรียนคิดเห็นแนวทางที่จะพัฒนาขึ้น

3.5 แนวทางการสร้าง และการหาคุณภาพเครื่องมือที่ใช้วัดการคิดผลิตภาพ

3.5.1 แนวทางการการสร้างเครื่องมือที่ใช้วัดการคิดผลิตภาพ

แนวทางการสร้างเครื่องมือที่ใช้วัดการคิดผลิตภาพเป็นการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวัดพฤติกรรมด้านจิตพิสัย โดยมีนักการศึกษาได้กล่าวไว้ ดังนี้

พิชิต ฤทธิ์จรูญ (2552) กล่าวว่า การสร้างเครื่องมือวัดพฤติกรรมด้านจิตพิสัยมีหลายประเภท ดังนี้

1. แบบตรวจสอบรายการ เป็นการสร้างรายงานของข้อความที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมหรือการปฏิบัติหรือคุณสมบัติที่ต้องการประเมินว่ามีหรือไม่มี ใช่หรือไม่ใช่ เป็นต้น โดยสามารถนำไปวัดพฤติกรรม หรือใช้ในการสังเกตได้อย่างละเอียด และนำผลการประเมินไปปรับปรุงหรือพัฒนาเป็นรายบุคคลได้

2. มาตราส่วนประมาณค่า เป็นแบบประเมินที่ต้องการทราบว่ามีหรือไม่มีในเรื่องนั้นๆ แต่มาตราส่วนประมาณค่าต้องทราบรายละเอียดว่ามีอยู่เพียงใด ระดับใด เพื่อจัดอันดับคุณภาพในการประมาณค่า มีหลายรูปแบบ

2.1 มาตราส่วนประมาณค่าแบบบรรยาย

2.2 มาตราส่วนประมาณค่าแบบตัวเลข

2.3 มาตราส่วนประมาณค่าแบบเส้นหรือกราฟ

2.4 มาตราส่วนประมาณค่าแบบใช้สัญลักษณ์

2.5 การจัดอันดับ โดยใช้ตัวเลขแสดงการเรียงลำดับความสำคัญ

โดยการสร้างมาตราส่วนแบบประมาณค่าจะมีข้อดีคือ ประมาณคุณลักษณะได้อย่างละเอียด และนำไปใช้ในการปรับปรุงพฤติกรรมที่วัดได้ แต่ข้อคำถามต้องมีความชัดเจนและการตัดสินใจในบางครั้งอาจทำได้ยาก

3. แบบวัดเชิงสถานการณ์ เป็นการวัดสถานการณ์ที่เป็นการจำลองหรือสร้างสถานการณ์ต่างๆ ขึ้น แล้วให้บุคคลแสดงความรู้สึก หรือความเห็นต่อสถานการณ์ที่กำหนดขึ้น อาจจะให้ผู้ตอบเขียนหรือบอกความคิดเห็นของตัวเอง หรือเลือกตัวเลือกที่กำหนดให้

4. การสังเกต เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีการเฝ้าดูหรือศึกษาเหตุการณ์โดยละเอียด สามารถแบ่งได้เป็น ดังนี้

4.1 การสังเกตแบบมีส่วนร่วม เป็นการสังเกตที่ผู้สังเกตเข้าไปมีส่วนร่วมในกิจกรรมการสังเกต ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจน ละเอียดและถูกต้อง ซึ่งจัดเป็นการสังเกตทางตรง

4.2 การสังเกตแบบไม่มีส่วนร่วม เป็นการสังเกตที่ผู้สังเกตไม่เข้าไปร่วมกิจกรรมในการสังเกต เพียงเฝ้าดูอยู่ห่างๆ อาจให้ผู้ถูกสังเกตรู้ตัวหรือไม่รู้ตัวก็ได้ ซึ่งจัดเป็นการสังเกตทางอ้อม

5. การสัมภาษณ์ เป็นการรวบรวมข้อมูลโดยมีโอกาสพบปะสนทนากับผู้ให้ข้อมูลโดยตรง และมีจุดมุ่งหมายที่แน่นอนทั้งสองฝ่าย แบ่งเป็นประเภทได้ดังนี้

5.1 การสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง เป็นการใช้แบบสัมภาษณ์ที่สร้างขึ้นในการถาม ผู้ให้สัมภาษณ์จะถูกถามตามการสัมภาษณ์ แต่ลักษณะการสัมภาษณ์จะไม่ค่อยยืดหยุ่น อาจกระทำเป็นรายบุคคล หรือกลุ่มย่อยๆ ได้

5.2 การสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้าง เป็นการกำหนดเพียงแนวหัวข้อการสัมภาษณ์แบบกว้างๆ ไม่จำเป็นต้องใช้คำถามที่เหมือนกันหมดกับผู้โดยสัมภาษณ์ทุกคน แต่มีอิสระในการแปลงคำถามให้เหมาะสมกับสถานการณ์จึงมีความอิสระมากกว่า

ทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์ (2560) กล่าวว่า การวัดและประเมินความสามารในการคิดผลิตภาพนั้น ทำได้หลายแนวทางโดยแต่ละแนวทางจะต้องมีวิธีการวัดที่หลากหลาย ซึ่งการประเมินจะต้องให้ความสำคัญในส่วนที่เป็นการคิดและส่วนที่เป็นชิ้นงานที่เป็นรูปธรรม แนวทางการประเมินการคิดผลิตภาพจึงมีแนวทางดังนี้

1. ประเมินการคิดผลิตภาพจากการสอนปกติและงานที่ได้จากการจัดกิจกรรม

การประเมินในลักษณะนี้จะทำการประเมินจากกระบวนการทำงาน การทำโครงงานของนักเรียน โดยใช้แบบประเมินตามสภาพจริง นักเรียนที่มีความสามารถในการคิดผลิตภาพนั้นจะเป็นผู้ที่ทำความเข้าใจกับงานที่ได้รับมอบหมาย คิดหาแนวทางในการทำงานให้สำเร็จ ครูอาจใช้การประเมินจากงานที่กำหนดให้หรือสังเกตจากการทำงานของนักเรียน ว่ามีการทำงานจนได้ผลงานทันตามที่กำหนดหรือไม่ ผลงานมีคุณภาพมากน้อยเพียงใด

2. ประเมินการคิดผลิตภาพโดยอาศัยเครื่องมือหรือแบบทดสอบเฉพาะ

การประเมินประเภทนี้ต้องอาศัยแบบทดสอบที่ใช้วัดความสามารถในการคิดผลิตภาพเฉพาะ มีขั้นตอนดังนี้

2.1 ขั้นตอนการสร้างกรอบแนวคิดหรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคิดผลิตภาพ เพื่อนำมาใช้เป็นกรอบกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ ซึ่งจะทำให้ได้ตัวชี้วัดหรือลักษณะของพฤติกรรมที่เป็นรูปธรรมขึ้น โดยใช้บ่งชี้ได้ถึงองค์ประกอบหรือโครงสร้างของการคิดผลิตภาพ จากนั้นเริ่มเขียนข้อความตามตัวชี้วัดหรือลักษณะเฉพาะในแต่ละองค์ประกอบ

2.2 กำหนดกรอบของการทดสอบและนิยามเชิงปฏิบัติการของการคิดผลิตภาพ โดยผู้พัฒนาแบบทดสอบต้องมีการศึกษาแนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคิดผลิตภาพอย่างชัดเจน

การประเมินความสามารถในการคิดผลิตภาพนั้น สามารถประเมินได้ตามคุณลักษณะของคนที่มีความคิดผลิตภาพทั้ง 7 ประการ คือ ช่างสังเกต คิดต่อเนื่องได้ มองเห็นทางปรับปรุงแนวปฏิบัติ เชื่อมโยงกับผลผลิต คิดและทำด้วยพร้อมกันไป มุ่งทำให้เสร็จ คิดให้ตลอดและพร้อมรับการทดสอบ

ตัวอย่างการประเมินด้านการเป็นคนช่างสังเกต

ความสามารถในการสังเกต หมายถึง การรับรู้ และรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งใดสิ่งหนึ่งโดยใช้ประสาทสัมผัสหลายด้าน เพื่อให้ได้รายละเอียดเกี่ยวกับสิ่งนั้นๆ ทั้งในด้านปริมาณและคุณลักษณะ และรายงานข้อมูลตรงตามข้อมูลเชิงประจักษ์โดยไม่ตีความ ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 เกณฑ์การประเมินคุณภาพด้านการสังเกต (Rubric)

ขั้นตอนการสังเกต	ตัวบ่งชี้ทักษะการสังเกต	เกณฑ์การประเมินทักษะการสังเกต
1. รับรู้สิ่งที่สังเกต	มีความตั้งใจ สมาธิ และความเข้าใจในการสังเกต	มีความตั้งใจ สมาธิ และความไวในการรับรู้ (มีมาก-น้อย)
2. ใช้ประสาทสัมผัสหลายทาง (หู ตา จมูก ลิ้น กาย) ในการรับรู้ และสำรวจสิ่งที่สังเกต	สามารถใช้ประสาทสัมผัสหลายทางในการรับรู้ และสำรวจสิ่งที่สังเกต	- การใช้ประสาทสัมผัสในการรับรู้ (ใช้หลายทาง-ทางเดียว) - ความละเอียดในการสังเกต (มีมาก-น้อย)
3. รวบรวมข้อมูลการสังเกตทั้งด้านคุณสมบัติทั้งด้านคุณลักษณะ และปริมาณ	สามารถรวบรวมข้อมูลจากการสังเกตได้ ทั้งด้านคุณลักษณะ และปริมาณ	- ลักษณะของข้อมูลจากการสังเกตที่ได้ (มีครบ-ไม่ครบ) - ความละเอียดของข้อมูล
4. รายงานข้อมูลการสังเกตตรงตามข้อมูลเชิงประจักษ์	สามารถรายงานข้อมูลการสังเกตตรงตามข้อมูลเชิงประจักษ์	การรายงานข้อมูลที่สังเกต (รายงานตรงตามข้อมูลเชิงประจักษ์-ไม่ตรง)
5. รายงานข้อมูลการสังเกตโดยไม่ตีความข้อมูล	สามารถรายงานข้อมูลการสังเกตโดยไม่ตีความข้อมูล	การรายงานข้อมูลที่สังเกต (รายงานข้อมูลเชิงประจักษ์โดยไม่มีการตีความ-มีการตีความข้อมูล)

ตารางที่ 2.7 แสดงการกำหนดเกณฑ์การให้คะแนน

ตัวบ่งชี้ ทักษะการสังเกต	ระดับ 4	ระดับ 3	ระดับ 2	ระดับ 1
1. มีความตั้งใจ สมาธิ และความเข้าใจในการสังเกต	มีความตั้งใจ มีสมาธิ และมีความไวในการรับรู้สิ่งที่สังเกต	มีความตั้งใจ มีสมาธิ และมีความไวในการรับรู้สิ่งที่สังเกต แต่ยังขาดความไวในการรับรู้	มีความตั้งใจ มีสมาธิ และมีความไวในการรับรู้สิ่งที่สังเกตน้อย	มีความตั้งใจ มีสมาธิ แต่ไม่มีความไวในการรับรู้สิ่งที่สังเกต
2. สามารถใช้ประสาทสัมผัสหลายทางในการรับรู้ และสำรวจสิ่งที่สังเกต	ใช้ประสาทสัมผัสหลายทางในการรับรู้สิ่งที่สังเกตอย่างละเอียด	ใช้ประสาทสัมผัสหลายทางในการรับรู้สิ่งที่สังเกต	ใช้ประสารทสัมผัสเพียง 2-3 ด้านในการรับรู้สิ่งที่สังเกต	ใช้ประสารทสัมผัสเพียงด้านเดียวในการรับรู้สิ่งที่สังเกต
3. สามารถรวบรวมข้อมูลจากการสังเกตได้ทั้งคุณลักษณะ และปริมาณ	ได้ข้อมูลในสิ่งที่สังเกตอย่างละเอียดครบถ้วน ทั้งในเชิงปริมาณ และคุณลักษณะ	ได้ข้อมูลในสิ่งที่สังเกตทั้งในด้านปริมาณ และคุณลักษณะที่สำคัญ แต่ขาดรายละเอียด	ได้ข้อมูลในสิ่งที่สังเกตทั้งในด้านปริมาณ และคุณลักษณะเพียงลักษณะเดียว ข้อมูลที่ได้ไม่ละเอียด และขาดข้อมูลสำคัญ	ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลในเชิงปริมาณและคุณลักษณะเพียงลักษณะเดียว ยังขาดข้อมูลที่สำคัญ
4. สามารถรายงานข้อมูลการสังเกตตรงตามข้อมูลเชิงประจักษ์	สามารถรายงานข้อมูลที่สังเกตได้ครบถ้วน ตรงตามข้อมูล เชิงประจักษ์ที่สังเกต	สามารถรายงานข้อมูลที่สังเกตได้ตรงตามข้อมูลเชิงประจักษ์แต่ข้อมูลที่รายงานยังไม่ครบถ้วน	การรายงานข้อมูลตรงตามข้อมูลเชิงประจักษ์แต่ยังไม่ครบถ้วน ไม่ตีความแต่ยังไม่ครบถ้วน	การรายงานข้อมูลยังไม่ครบถ้วน
5. สามารถรายงานข้อมูลการสังเกตโดยไม่ตีความข้อมูล	สามารถรายงานข้อมูลที่ได้จากการสังเกตโดยไม่ตีความข้อมูล	สามารถรายงานข้อมูลที่ได้จากการสังเกตโดยตีความข้อมูลบ้าง	สามารถรายงานข้อมูลโดยตีความข้อมูลบ้าง	มีการตีความข้อมูลโดยใส่ความคิดเห็นเกินข้อเท็จจริง โดยไม่มีการแยกแยะระหว่างข้อเท็จจริงและความคิดเห็น

จากข้อมูลข้างต้นสรุปได้ว่า แนวทางการสร้างเครื่องมือที่ใช้วัดความสามารถการคิดผลิตภาพนั้นสามารถออกแบบได้หลากหลายแบบ โดยจะเน้นการประเมินตามสภาพจริงจากการเรียนรู้ของนักเรียน โดยครูจะต้องมีการศึกษาทฤษฎีหรือแนวคิดให้ชัดเจน เพื่อนำไปสร้างเป็นตัวบ่งชี้แล้วสร้างข้อความของแต่ละด้านต่อไป ซึ่งจะใช้รูปแบบในการวัดพฤติกรรมด้านทักษะพิสัยที่หลากหลาย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ตรงกับความเป็นจริง และมีความละเอียดมากที่สุด

3.5.2 การหาคุณภาพเครื่องมือที่ใช้วัดการคิดผลิตภาพ

การหาคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้วัดการคิดผลิตภาพมีความสำคัญอีกขั้นตอนหนึ่ง เพื่อให้ได้เครื่องมือที่ใช้วัดมีคุณภาพ ตรงกับจุดมุ่งหมายที่ต้องการวัด และจะได้ผลการประเมินที่ถูกต้อง น่าเชื่อถือ ซึ่งมีนักการศึกษากล่าวไว้ ดังนี้

กัญจนา ลินทรัตนศิริกุล (2560) กล่าวว่า การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือแบ่งได้ดังนี้

1. การตรวจสอบความเที่ยงตรงหรือความเชื่อมั่น

ความเที่ยงตรงหรือความเชื่อมั่น คือ การนำเครื่องมือใด ๆ ไปวัดแล้วผลการวัดจะได้เหมือนเดิม ซึ่งจะเป็นสัดส่วนระหว่างความแปรปรวนของคะแนนจริงกับความแปรปรวนของคะแนนที่ได้ สามารถหาได้จากวิธีดังต่อไปนี้

1.1 วิธีการสอบซ้ำ เป็นการตรวจสอบความเที่ยงโดยใช้เครื่องมือวิจัยฉบับเดียวกันไปใช้วัดกับกลุ่มผู้สอบกลุ่มเดียวกัน จำนวนทั้งสิ้น 2 ครั้ง โดยห่างกันประมาณ 7-10 วัน แล้วนำผลที่ได้มาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

1.2 วิธีใช้ฟอร์มเทียบเท่า เป็นการตรวจสอบความเที่ยงโดยนำเครื่องมือวิจัย 2 ฉบับที่มีลักษณะคล้ายกัน คือ มีตัวแปรตัวเดียวกัน มีจำนวนข้อคำถาม โครงสร้างของคำถาม ระดับความยากง่าย คำชี้แจง การตรวจให้คะแนนและการแปลผลคะแนนที่เหมือนกัน มาให้ผู้รับการทดสอบทำ

1.3 วิธีการหาความสอดคล้องภายใน ซึ่งเป็นการหาความเที่ยงที่ใช้เครื่องมือเพียงฉบับเดียว และดำเนินการทดสอบเพียงครั้งเดียว แบ่งเป็น 4 วิธีคือ

1.3.1 วิธีแบ่งครึ่ง เป็นการนำเครื่องมือแบ่งออกเป็น 2 ฉบับ แล้วนำไปใช้ทดสอบกับนักเรียนในกลุ่มเดียวกัน

1.3.2 วิธีสัมประสิทธิ์แอลฟา เป็นวิธีการที่ครอนบาคพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1951 ใช้หาความเที่ยงของเครื่องมือที่ตอบผิดให้ 0 และตอบถูกให้ 1 รวมถึงเครื่องมือที่เป็นแบบอัตนัยหรือแบบประเมินที่ไม่มีคำตอบที่ถูกผิด

1.3.3 วิธีของคูเดอร์-รีชาร์ดสัน เป็นวิธีการที่คูเดอร์ และริชาร์ดสัน ได้พัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1937 แบ่งเป็น KR-20 หรือ KR-21 ใช้สำหรับการหาความเที่ยงของเครื่องมือที่ตอบถูกให้ 1 ตอบผิดให้ 0 เท่านั้น

1.3.4 วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นการหาความเที่ยงที่พัฒนาโดยฮอยท์ (Hoyt) ในปี ค.ศ. 1941 การหาความเที่ยงประเภทนี้จะคำนึงถึงความแปรปรวนที่อาจเกิดจากความแตกต่างระหว่างบุคคล ความแตกต่างระหว่างข้อ และความแตกต่างเนื่องจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างบุคคลและข้อ สามารถใช้กับเครื่องมือที่ตอบถูกให้ 1 ตอบผิดให้ 0 รวมถึงเครื่องมือที่เป็นอัตนัย

2. การตรวจสอบความตรง

ความตรง คือ ความสามารถของเครื่องมือที่ใช้วัดสิ่งที่ต้องการวัดว่าเครื่องมือวัดคุณลักษณะอะไรและวัดได้ดีเพียงใด ข้อคำถามของเครื่องมือเป็นตัวแทนของเนื้อหาที่ต้องการวัดหรือไม่ สามารถตรวจสอบได้ 3 วิธี ดังนี้

2.1 ความตรงเชิงเนื้อหา เป็นการพิจารณาข้อคำถามในเครื่องมือว่ามีความตรงตามเนื้อหาซึ่งครอบคุลมถึง ความรู้ ทักษะและพฤติกรรมที่ต้องการวัดหรือไม่ วิธีการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาสามารถทำได้โดยให้ผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งเป็นผู้ที่มีความรู้ในเรื่องดังกล่าว โดยอาศัยการเปรียบเทียบข้อคำถามกับจุดประสงค์ของเนื้อหาที่ต้องการวัดว่าตรงกันหรือไม่ (Index of item-Objective Congruence: IOC) โดยค่า IOC จะต้องมีค่ามากกว่า 0.5 ขึ้นไป

2.2 ความตรงเชิงโครงสร้าง เป็นการวัดคุณลักษณะทางจิตวิทยา ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่สามารถวัดได้โดยตรง แต่เกิดจากการสังเกต เช่น ความเป็นผู้นำ ความซื่อสัตย์ ความคิดสร้างสรรค์ เป็นต้น จุดประสงค์ในการตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้าง คือ เพื่อหาคำตอบว่าเครื่องมือวัดคุณลักษณะอะไรและเครื่องมือวัดคุณลักษณะเหล่านั้นได้อย่างไร

2.3 ความตรงเชิงเกณฑ์สัมพันธ์ เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนที่ได้กับเกณฑ์ความตรงเชิงเกณฑ์สัมพันธ์ แบ่งได้เป็น ความตรงตามสภาพและความตรงเชิงพยากรณ์ วิธีการหาความตรงประเภทนี้ทำได้โดยนำคะแนนที่ได้จากการสอบ และคะแนนเกณฑ์มาหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

3. การตรวจสอบอำนาจจำแนก

3.1 การใช้กลุ่มอ้างอิง เป็นการทดสอบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยระหว่างกลุ่มที่มีคุณลักษณะที่ต้องการวัดสูง และกลุ่มที่มีคุณลักษณะที่ต้องการวัดต่ำ โดยใช้เทคนิค 25% ในการแบ่งกลุ่มดังกล่าว แล้วนำคะแนนเฉลี่ยที่ได้จากการใช้ในแต่ละกลุ่มมาเปรียบเทียบกันโดยใช้สถิติทดสอบค่าที (t-test) เป็นรายข้อ

3.2 การใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อคำถามกับคะแนนรวมจากข้ออื่นๆ ทั้งหมด เป็นการหาอำนาจจำแนกโดยอาศัยสูตรสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน

สมนึก ภัททิยธนี (2553) กล่าวว่า การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือจะต้องทำการตรวจสอบให้ครบ 5 ประการ แต่เครื่องมือบางชนิดอาจตรวจสอบเพียงบางประการ แล้วแต่ลักษณะของเครื่องมือดังกล่าว เพื่อให้ได้เครื่องมือที่มีคุณภาพ โดยจะตรวจสอบดังนี้

1. ความตรง

ความตรง เป็นคุณสมบัติของเครื่องมือที่สามารถวัดได้ตามจุดประสงค์ที่ต้องการวัดหรือไม่ แบ่งเป็น

1.1 ความตรงเชิงเนื้อหา คือ คุณสมบัติของข้อคำถามที่สามารถวัดได้ตรงเนื้อหา และพฤติกรรมที่ต้องการวัด โดยรวบรวมข้อคำถามเป็นรายข้อทั้งฉบับจะต้องครอบคลุม โดยใช้ค่า IOC จากผู้เชี่ยวชาญในการพิจารณา

1.2 ความตรงเชิงโครงสร้าง เป็นคุณสมบัติของเครื่องมือที่ใช้วัดได้ตรงตามทฤษฎีหรือแนวคิดที่ต้องการจะวัด ที่จะต้องวัดให้สัมพันธ์สอดคล้องกับสมรรถภาพย่อยๆ ตามที่ได้กำหนดไว้ในโครงสร้าง โดยวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างข้อความกับพฤติกรรมที่นิยามและการวิเคราะห์ตัวเลขที่ได้จากการรวบรวมข้อมูล

1.3 ความตรงตามเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง เป็นคุณสมบัติของเครื่องมือที่สามารถวัดให้สอดคล้องกับเกณฑ์ภายนอกบางอย่าง แบ่งเป็น ความเที่ยงตรงเชิงสภาพและความเที่ยงตรงเชิงพยากรณ์

2. ความเที่ยง

ความเที่ยง คือ คุณสมบัติของเครื่องมือที่วัดแสดงให้ทราบว่าเครื่องมือนั้นให้ผลการวัดคงที่หรือไม่ ไม่ว่าจะวัดกี่ครั้ง โดยคิดจากคะแนนความแปรปรวนที่วัดได้ร่วมด้วย ส่วนใหญ่จะใช้การหาค่าความสอดคล้องภายใน โดยใช้สูตรของคอนบัค (Cronbach Alpha Procedure)

3. อำนาจจำแนก

อำนาจจำแนก เป็นคุณสมบัติที่สามารถจำแนกความแตกต่างระหว่างบุคคลได้ โดยแยกความสัมพันธ์กับความเที่ยงตรงเชิงสภาพในทางบวก

4. ความเป็นปรนัย

ความเป็นปรนัย คือ ความชัดเจน ความถูกต้องตามหลักวิชาการและความเข้าใจที่ตรงกัน โดยพิจารณาถึงความชัดเจนของข้อคำถามและความชัดเจนในการให้คะแนน

จากข้อมูลดังกล่าว สรุปได้ว่า การหาคุณภาพเครื่องมือที่ใช้วัดการคิดผลิตภาพนั้นจะต้องมีการตรวจสอบทั้ง 3 ด้าน คือ การตรวจสอบความเที่ยง การตรวจสอบความตรง และ

การตรวจสอบอำนาจจำแนก เพื่อให้ได้เครื่องมือที่ใช้วัดมีคุณภาพ และสามารถวัดได้ตรงกับจุดประสงค์ของลักษณะที่ต้องการวัด

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 วิจัยภายในประเทศ

นัสรินทร์ บือชา (2558) ได้ทำการศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง การสืบพันธุ์ของพืชดอก ซึ่งการเจริญเติบโต กลุ่มตัวอย่างได้แก่นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 จำนวน 39 คน ปีการศึกษา 2557 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์โดยการสุ่มอย่างง่ายด้วยวิธีจับสลาก โดยจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาจำนวน 18 คาบ ผลการวิจัยพบว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษามีคะแนนพัฒนาการ อยู่ในระดับต้นร้อยละ 41.03 อยู่ในระดับกลางร้อยละ 30.7 อยู่ในระดับสูงร้อยละ 20.51 และอยู่ในระดับสูงมากร้อยละ 7.69 และมีความสามารถในการแก้ปัญหาหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาอยู่ในระดับมาก

อาทิตย์ ฉิมกุล (2559) ได้ทำการศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยใช้เครื่องมือดังนี้ แบบวัดความสามารถในการแก้ปัญหาก่อนและหลังเรียน แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา ผลปรากฏว่า นักเรียนที่เรียนรู้ชีววิทยาตามแนวคิดสะเต็มศึกษามีร้อยละคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้ปัญหา หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และอยู่ในระดับดี และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาหลังเรียนเท่ากับ 75.65 สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 จัดว่าอยู่ระดับดี

เกรียงศักดิ์ วิเชียรสร้าง (2560) ได้ทำการศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี ความสามารถในการแก้ปัญหา และความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ผลปรากฏว่า จากกลุ่มเป้าหมายคือนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนคุระบุรีชัยพัฒนาพิทยาคม จังหวัดพังงา จำนวน 1 ห้องเรียน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี แบบวัดความสามารถในการแก้ไขปัญหา และแบบวัดความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ ผลปรากฏว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเฉลี่ยวิชาเคมีหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และมี

คะแนนพัฒนาการเฉลี่ยในระดับสูงร้อยละ 54.67 มีความสามารถในการแก้ปัญหาหลังเรียนสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ระดับมากที่สุด

นารินทร์ ศิริเวช (2560) ได้ทำการศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทางวิทยาศาสตร์ และทักษะการคิดแก้ปัญหาในรายวิชาชีววิทยาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 พบว่านักเรียนกลุ่มตัวอย่างจำนวน 33 คน ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง การย่อยอาหารของจุลินทรีย์ จำนวน 12 ชั่วโมง มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเมื่อเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 75 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 มีทักษะการคิดแก้ปัญหาเมื่อเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 75 มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01 และมีความสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และทักษะการคิดแก้ปัญหาเมื่อได้รับจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาในทิศทางเดียวกัน

ลัดดาวัลย์ นางประโคน (2560) ได้ศึกษาการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ ในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 เรื่องการสะท้อนแสงและภาพที่เกิดจากการสะท้อน โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา จำนวน 12 ชั่วโมง ผลวิจัยพบว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 75 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และมีความสามารถในการคิดสร้างสรรค์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนในด้านความริเริ่ม ความคิดคล่องแคล่ว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .01 ส่วนด้านความคิดยืดหยุ่น และความคิดละเอียดลออ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ธีระศักดิ์ ไชยสัตย์ (2560) ได้ทำการศึกษาผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานที่มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมีและความสามารถในการคิดเชิงผลิตภาพ เรื่องอะตอม และโครงสร้างของอะตอมชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนมัธยมขยายโอกาส จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ พบว่า นักเรียนกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 จำนวน 20 คน ซึ่งได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานพบว่า นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมีสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีความสามารถในการคิดเชิงผลิตภาพสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4.2 วิจัยต่างประเทศ

แอนส์ โรบินสัน (Ann Robinson, 2011) ผลการศึกษาการพัฒนาวิชาชีพครูด้านสะเต็มศึกษาที่มีผลต่อทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของครูระดับประถมศึกษา โดยใช้การสุ่มแบบแบ่งกลุ่ม คือ ครูจากอาคานซาร์สทางตอนใต้ของประเทศสหรัฐอเมริกาจำนวน 70 คน โดยกำหนดเป็นกลุ่มควบคุม เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้

ทักษะทางวิทยาศาสตร์ ผลวิจัยพบว่า ความแตกต่างระหว่างคะแนนสอบหลังเรียนของทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกลุ่มทดลองมีคะแนนสูงกว่า และผลลัพธ์ของการรับรู้ของครูเกี่ยวกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของตนเองเพิ่มขึ้นระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

มินดี้ เลไวน์ และคณะ (Mindy Levine, Nicole Serio, Bhasker Radaram, Saudip Chadhuri, and William Talbert, 2017) ได้ทำการศึกษาการออกแบบ และดำเนินกิจกรรมสะเต็มศึกษาในค่ายวิชาเคมีของนักเรียนหญิงระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยคำนึงถึงความแตกต่างระหว่างเพศของนักเรียนในการใช้กิจกรรมสะเต็ม โดยการศึกษาเกี่ยวกับความสนใจเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ของนักเรียนก่อนเข้าโรงเรียนพบว่า นักเรียนชายมีความสนใจเกี่ยวกับทางวิทยาศาสตร์มากกว่านักเรียนหญิง โดยในกิจกรรมค่ายครั้งนี้ได้ดำเนินการโดยใช้นักเรียนหญิงระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายของรัฐโรดไอแลนด์ กิจกรรมภายในค่ายจะประกอบด้วยการปฏิบัติการทดลองเกี่ยวกับสะเต็มศึกษาและการพูดคุยกับนักวิทยาศาสตร์หญิง ผลการจัดกิจกรรมค่ายปรากฏว่านักเรียนหญิงที่เข้าร่วมกิจกรรมค่ายนั้นมีเจตคติที่ดีขึ้นเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ โดยวัดจากแบบทดสอบก่อนและหลังเรียน ซึ่งความรู้ที่ได้รับจะเป็นตัวที่สนับสนุนในการศึกษาและส่งเสริมความสนใจทางวิทยาศาสตร์

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศ และต่างประเทศ สรุปได้ว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา จะช่วยให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นและเป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติ และสร้างชิ้นงานเพื่อแก้ไขปัญหาที่กำหนดขึ้น จึงเป็นแนวทางในการพัฒนาความสามารถในการคิดผลิตภาพ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนความรู้เป็นผลผลิตขึ้น

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก และความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนประจวบวิทยาลัย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ได้ดำเนินดังนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล
4. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากร

ประชากร คือ นักเรียนขั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 แผนการเรียนเน้นวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โรงเรียนประจวบวิทยาลัย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 90 คน จำนวน 4 ห้องเรียน แบบคละความสามารถ

1.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 2 ห้องเรียน ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 แผนการเรียนเน้นวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โรงเรียนประจวบวิทยาลัย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ได้มาโดยการสุ่มแบบแบ่งกลุ่ม แล้วจับสลากซึ่งให้ห้องหนึ่งเป็นกลุ่มทดลองที่จัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา และอีกห้องหนึ่งเป็นกลุ่มควบคุมที่จัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1.1 แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องเซลล์กัลวานิก จำนวน 4 แผน ใช้เวลาในการสอน จำนวน 18 ชั่วโมง

1.2 แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ เรื่องเซลล์กัลวานิก จำนวน 6 แผน ใช้เวลาสอนจำนวน 18 ชั่วโมง

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

2.1 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่อง เซลล์กัลป์วานิก ซึ่งผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นตามโครงสร้างและวัตถุประสงค์การเรียนรู้ตามมาตรฐานการเรียนรู้ โดยเป็นแบบทดสอบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ

2.2 แบบประเมินทักษะและคุณลักษณะความสามารถในการคิดผลิตภาพ ซึ่งได้ปรับปรุง และดัดแปลงจากเกณฑ์ประเมินคุณภาพความสามารถในการสังเกต และคุณลักษณะของผู้มีความสามารถในการคิดผลิตภาพ (ทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์, 2560) โดยประเมินจากกลุ่มตัวอย่างรายบุคคลทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ซึ่งแบบประเมินแบ่งออกเป็น 4 ระดับและ 2 ระดับ

โดยผู้วิจัยดำเนินการสร้างและตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้

2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

2.1.1 การสร้างแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องเซลล์กัลวานิก ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

การสร้างแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องเซลล์กัลวานิก เป็นไปตามสาระและมาตรฐานการเรียนรู้ของหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551) และหลักสูตรสถานศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนประจวบวิทยาลัย รวมเวลาเรียนทั้งสิ้น 18 ชั่วโมง มีขั้นตอนการสร้าง ดังนี้

1) ศึกษาวิเคราะห์หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 และหลักสูตรสถานศึกษาของโรงเรียนประจวบวิทยาลัย กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 รายวิชา เคมี 5 และเอกสารอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

2) วิเคราะห์สาระและมาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัดชั้นปี สมรรถนะสำคัญ และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

3) ศึกษาหลักการและขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา และกำหนดกรอบแนวคิดเกี่ยวกับขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องเซลล์กัลวานิก ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 กรอบแนวคิดขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา (ปรับปรุงจาก สสวท.)

ขั้นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้	ความหมาย	ตัวชี้วัด
1. ขั้นระบุปัญหา (Problem Identification)	เป็นขั้นตอนที่ผู้เรียนจะต้องทำความเข้าใจกับปัญหาในชีวิตประจำวันหรือที่กำหนดขึ้น . และจำเป็นต้องหาวิธีการหรือสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว	นักเรียนสามารถระบุและวิเคราะห์เพื่อแก้ไขปัญหาที่ได้กำหนดขึ้น
2. ขั้นรวบรวมข้อมูล และแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (Related Information Search)	การรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหา และประเมินความเป็นไปได้ ความคุ้มทุน ข้อดีข้อด้อย และความเหมาะสมเพื่อเลือกแนวคิดหรือวิธีการที่เหมาะสมที่สุด	นักเรียนสามารถศึกษาหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหา โดยคำนึงถึง ความคุ้มทุน ข้อดีข้อด้อย และความเหมาะสมเพื่อเลือกแนวคิดหรือวิธีการที่เหมาะสมที่สุด
3. ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Solution Design)	เป็นการประยุกต์ใช้ข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องเพื่อการออกแบบชิ้นงานหรือวิธีการในการแก้ปัญหา โดยคำนึงถึงทรัพยากร ข้อจำกัดและเงื่อนไขตามสถานการณ์ที่กำหนด	นักเรียนสามารถออกแบบชิ้นงานหรือวิธีการในการแก้ไขปัญหาโดยคำนึงถึงเงื่อนไขของสถานการณ์ที่กำหนด
4. ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (Planning and Development)	เป็นการกำหนดลำดับขั้นตอนของการสร้างชิ้นงานหรือวิธีการ แล้วลงมือสร้างชิ้นงานหรือพัฒนาวิธีการเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา	นักเรียนสามารถสร้างชิ้นงานหรือวิธีการให้มีความสอดคล้องตามขั้นออกแบบ

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ขั้นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้	ความหมาย	ตัวชี้วัด
5. ขั้นทดสอบ ประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Testing, Evaluation and Design Improvement)	เป็นการทดสอบและประเมินการใช้งานของชิ้นงานหรือวิธีการ โดยผลที่ได้อาจนำไปใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสมที่สุด	นักเรียนได้ทดลองและประเมินการใช้งานของชิ้นงานหรือวิธีการแล้วนำผลที่ได้ไปพัฒนาหรือปรับปรุง
6. ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Presentation)	เป็นการนำเสนอแนวคิดและขั้นตอนการแก้ปัญหาของการสร้างชิ้นงานหรือการพัฒนาวิธีการให้ผู้อื่นเข้าใจ และได้เสนอแนะเพื่อพัฒนาต่อไป	- นักเรียนสามารถนำเสนอแนวคิด และขั้นตอนการแก้ไขหรือพัฒนาชิ้นงานหรือวิธีการให้ผู้อื่นเข้าใจ - นักเรียนนำเสนองานที่ผ่านการแก้ไข ปรับปรุงอย่างเหมาะสม และมีการเชื่อมโยงการแก้ปัญหาที่ได้กำหนดขึ้น

4) กำหนดมาตรฐานการเรียนรู้ สาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้และสาระการเรียนรู้

5) กำหนดวิธีการวัดและประเมินผลให้เป็นไปตามจุดประสงค์การเรียนรู้

6) จัดทำแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มรายหน่วย เรื่องพลังงานไฟฟ้าจากปฏิกิริยาเคมี

7) จัดทำแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษารายชั่วโมงของหน่วยการเรียนรู้ เรื่องเซลล์กัลวานิก ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 4 แผน ใช้เวลา 18 ชั่วโมง (ไม่รวมเวลาที่ใช้ในการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์) โดยแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา แบ่งเป็นดังนี้

(1) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 1 ปฏิกิริยารีดอกซ์

(2) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 2 พลังงานไฟฟ้าจากปฏิกิริยาเคมี

(3) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 3 ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์

(4) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 4 โคมไฟส่องสว่าง

โดยจะใช้ความรู้ในสาขาวิชาต่างๆ ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ความรู้ในสาขาวิชาต่าง ๆ ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องเซลล์กัลวานิก

วิทยาศาสตร์ (S)	**เทคโนโลยี (T)**	**วิศวกรรมศาสตร์ (E)**	**คณิตศาสตร์ (M)**
ความรู้เกี่ยวกับเรื่อง - ปฏิกิริยารีดอกซ์ - เซลล์กัลวานิก - ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ - แสง	- สืบค้นข้อมูลโดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ - โปรแกรม GeoGebra - โปรแกรม Lux meter	- ออกแบบกระบวนการเพื่อแก้ปัญหาตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้ และประยุกต์ - ความรู้เกี่ยวกับขั้นตอนการออกแบบในการแก้ปัญหา	- ความสัมพันธ์และฟังก์ชัน - รูปทรง - อัตราส่วน

8) ผู้วิจัยได้นำแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องเซลล์กัลวานิก ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่จัดทำขึ้นให้อาจารย์ที่ปรึกษาพิจารณาและแก้ไขปรับปรุง หลังจากนั้นนำไปใช้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน ดังรายชื่อในภาคผนวกดำเนินการตรวจสอบเพื่อความถูกต้องเชิงเนื้อหาและความเหมาะสม โดยใช้เกณฑ์การประเมินระดับความคิดเห็นโดยใช้มาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ ตามวิธีของลิเคิร์ท (Likert อ้างถึงใน กัญจนา ลินทรัตนศิริกุล, 2560)

9) นำผลการประเมินการตรวจสอบความถูกต้องเชิงเนื้อหาของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญมาวิเคราะห์แล้วหาค่าเฉลี่ยและเทียบกับเกณฑ์ โดยใช้เกณฑ์ข้อที่มีความบกพร่องของการประเมินระดับความคิดเห็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ระดับความคิดเห็นแบบมาตรส่วนประมาณค่า

ค่าเฉลี่ย	ความหมาย
4.51 – 5.00	ความเหมาะสมมากที่สุด
3.51 - 4.50	ความเหมาะสมมาก
2.51 – 3.50	ความเหมาะสมปานกลาง
1.51 – 2.50	ความเหมาะสมน้อย
1.00 - 1.50	ความเหมาะสมน้อยที่สุด

10) นำผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่านที่ผ่านการประเมินอยู่ในระดับ 2.51-5.00 อยู่ในระดับคุณภาพที่มีความเหมาะสม แล้วปรับปรุงตามคำแนะนำให้เสร็จสมบูรณ์แล้วนำไปใช้กับนักเรียนกลุ่มทดลอง

2.1.2 การสร้างแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ เรื่องเซลล์กัลวานิก ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

การสร้างแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ เรื่อง เซลล์กัลวานิก เป็นไปตามสาระและมาตรฐานการเรียนรู้ของหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 และหลักสูตรสถานศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนประจวบวิทยาลัย รวมเวลาเรียนทั้งสิ้น 18 ชั่วโมง มีการขั้นตอนการสร้าง ดังนี้

1) ศึกษาวิเคราะห์หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551) และหลักสูตรสถานศึกษาของโรงเรียนประจวบวิทยาลัย กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 รายวิชา เคมี 5 และเอกสารอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

2) วิเคราะห์สาระและมาตรฐานการเรียนรู้ ตัวชี้วัดชั้นปี สมรรถนะสำคัญและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

3) กำหนดมาตรฐานการเรียนรู้ สาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้และสาระการเรียนรู้

4) กำหนดวิธีการวัดและประเมินผลให้เป็นไปตามจุดประสงค์การเรียนรู้

5) จัดทำแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติรายหน่วย เรื่องพลังงานไฟฟ้าจากปฏิกิริยาเคมี

6) จัดทำแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติรายชั่วโมงของหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง เซลล์กัลวานิก ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 6 แผน ใช้เวลา 18 ชั่วโมง (ไม่รวมเวลา

ที่ใช้ในการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์) โดยแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ แบ่งเป็นดังนี้

(1) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 1 ปฏิกิริยารีดอกซ์

(2) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 2 การดุลสมการรีดอกซ์

(3) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 3 พลังงานไฟฟ้าจากปฏิกิริยาเคมี

(4) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 4 การเขียนแผนภาพเซลล์กัลวานิก

(5) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 5 ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์

(6) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 6 ประดิษฐ์โคมไฟ

7) ผู้วิจัยได้นำแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ เรื่องเซลล์กัลวานิก ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่จัดทำขึ้นให้อาจารย์ที่ปรึกษาพิจารณาและแก้ไขปรับปรุง หลังจากนั้นนำไปใช้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน ดังรายชื่อในภาคผนวกดำเนินการตรวจสอบเพื่อความถูกต้องเชิงเนื้อหาและความเหมาะสม โดยใช้เกณฑ์การประเมินระดับความคิดเห็นโดยใช้มาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ ตามวิธีของลิเคิร์ท (Likert อ้างถึงใน กัญจนา ลินทรัตนศิริกุล, 2560)

8) นำผลการประเมินการตรวจสอบความถูกต้องเชิงเนื้อหาของแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญมาวิเคราะห์แล้วหาค่าเฉลี่ยและเทียบกับเกณฑ์โดยใช้เกณฑ์ข้อที่มีความบกพร่องของการประเมินระดับความคิดเห็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ

9) นำผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่านที่ผ่านการประเมินอยู่ในระดับ 2.51-5.00 อยู่ในระดับคุณภาพที่มีความเหมาะสม แล้วปรับปรุงตามคำแนะนำให้เสร็จสมบูรณ์แล้วนำไปใช้กับนักเรียนกลุ่มทดลอง

จากการออกแบบแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาและการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ เรื่อง เซลล์กัลวานิก จำนวน 18 ชั่วโมงเท่ากัน แบ่งเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ที่แตกต่างกันโดยเปรียบเทียบดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา และการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ เรื่องเซลล์กัลวานิก

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องเซลล์กัลวานิก		**การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ เรื่องซลล์กัลวานิก**	
ขั้นตอนการจัดกิจกรรม/เรื่อง	**ระยะเวลา**	**ขั้นตอนการจัดกิจกรรม/เรื่อง**	**ระยะเวลา**
ขั้นก่อนทำกิจกรรม - ทบทวนความรู้เกี่ยวกับเรื่องเลขออกซิเดชัน	10 นาที	ขั้นก่อนทำกิจกรรม - ทบทวนความรู้เกี่ยวกับเรื่องเลขออกซิเดชัน	10 นาที
ขั้นทำกิจกรรม **- ขั้นระบุปัญหา (30 นาที)** ครูกำหนดสถานการณ์ให้นักเรียนแล้วให้นักเรียนร่วมกันวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าว **- ขั้นรวบรวมข้อมูล และแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (11 ชั่วโมง)** 1) ปฏิกิริยารีดอกซ์ (4 ชั่วโมง) 2) เซลล์กัลวานิก (4 ชั่วโมง) 3) ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ (3 ชั่วโมง) **- ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (1 ชั่วโมง)** ครูให้นักเรียนร่วมกันกำหนดเงื่อนไขการประดิษฐ์โคมไฟส่องสว่างร่วมกัน แล้วให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ **- ขั้นวางแผน และดำเนินการแก้ปัญหา (3 ชั่วโมง)** ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มกำหนดวางแผนการดำเนินงาน	17 ชั่วโมง 30 นาที	**ขั้นทำกิจกรรม** **- ปฏิกิริยารีดอกซ์ (4 ชั่วโมง)** ครูให้นักเรียนทำกิจกรรมการทดลองที่ 9.1 ปฏิกิริยาระหว่างโลหะกับสารละลายของโลหะไอออน **- การดุลสมการรีดอกซ์ (2 ชั่วโมง)** ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายจากการศึกษาใบความรู้ เรื่อง การดุลสมการรีดอกซ์ **- พลังงานไฟฟ้าจากปฏิกิริยาเคมี (3 ชั่วโมง)** ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายจากการศึกษาใบความรู้ เรื่อง การดุลสมการรีดอกซ์ **- ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ (2 ชั่วโมง 30 นาที)** ครูให้นักเรียนศึกษาใบความรู้เรื่อง ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์และร่วมกันอภิปรายในห้องเรียนพร้อมทั้งทำกิจกรรมการทำนาย	17 ชั่วโมง 30 นาที

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องเซลล์กัลวานิก		การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ เรื่องซลล์กัลวานิก	
ขั้นตอนการจัดกิจกรรม/เรื่อง	**ระยะเวลา**	**ขั้นตอนการจัดกิจกรรม/เรื่อง**	**ระยะเวลา**
- ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (1 ชั่วโมง) ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มนำชิ้นงานที่ได้สร้างขึ้นมาทดสอบวัดความสว่างของหลอดไฟ		การเกิดปฏิกิริยาของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่กำหนดให้ **- การผลิตโคมไฟ (6 ชั่วโมง)** ครูให้นักเรียนแบ่งกลุ่มกลุ่มละ 3-4 คน แล้วให้แต่ละกลุ่มออกแบบและลงมือประดิษฐ์โคมไฟจากเซลล์กัลวานิก พร้อมทดสอบประสิทธิภาพของโคมไฟ	
- ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (1 ชั่วโมง) ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา และผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงานที่ได้สร้างขึ้น และเปิดโอกาสให้นักเรียนได้คิดต่อยอดปรับปรุงเพื่อพัฒนาสู่การขายต่อไป			
ขั้นขยายความรู้ และสรุป ครูให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับประโยชน์ของเซลล์กัลวานิก	20 นาที	**ขั้นขยายความรู้ และสรุป** ครูให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับประโยชน์ของเซลล์กัลวานิก	20 นาที

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

2.2.1 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก

ดำเนินการสร้าง และหาประสิทธิภาพของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ ดังนี้

1) ศึกษาหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 และหลักสูตรสถานศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

2) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสาระการเรียนรู้ มาตรฐานการเรียนรู้และจุดประสงค์การเรียนรู้ แล้วสร้างแบบทดสอบโดยกำหนดเป็นตารางวิเคราะห์ข้อสอบ

3) สร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก แบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 34 ข้อ ต้องการใช้จริงจำนวน 30 ข้อ โดยมีความครอบคลุมเนื้อหาและจุดประสงค์การเรียนรู้ตามโครงสร้างของ Bloom's Texonomy

4) นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก ที่สร้างขึ้นเสนออาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อปรับปรุง แก้ไข แล้วส่งให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ดังรายชื่อในภาคผนวก เพื่อตรวจสอบ และให้ข้อเสนอแนะแล้วปรับปรุง แก้ไข

5) ให้ผู้เชี่ยวชาญที่สอนวิชาเคมีในระดับมัธยมศึกษา ประเมินความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม โดยค่าดัชนีความสอดคล้อง ซึ่งมีเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้ (กัญจนา ลินทรัตนศิริกุล, 2560)

ให้คะแนน +1 เมื่อแน่ใจว่าข้อสอบนั้นวัดหาจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

ให้คะแนน 0 เมื่อแน่ใจว่าข้อสอบนั้นวัดตามจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

ให้คะแนน -1 เมื่อแน่ใจว่าข้อสอบนั้นวัดหาจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

6) นำคะแนนของผู้เชี่ยวชาญที่สอนวิชาเคมีในระดับชั้นมัธยมศึกษาที่ลงความเห็นมาหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของข้อสอบรายข้อ โดยคัดเลือกข้อสอบที่มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ตั้งแต่ระดับ 0.50 ขึ้นไป ที่มีความสอดคล้องของข้อคำถามกับจุดประสงค์การเรียนรู้และสอดคล้องกับระดับพฤติกรรม (กัญจนา ลินทรัตนศิริกุล, 2560) ผลปรากฏว่า จากคำถาม 34 ข้อ มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) มากกว่า 0.50 ขึ้นไป จำนวน 33 ข้อ

7) นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก ไปใช้กับนักเรียนที่มีลักษณะคล้ายกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 40 คน ของโรงเรียนประจวบวิทยาลัย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

8) นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก ที่ได้รับการแก้ไขแล้วไปทดลองกับนักเรียนที่มีลักษณะคล้ายกับกลุ่มตัวอย่าง จากนั้นนำผลการทดสอบมาหาคุณภาพของแบบทดสอบ หาค่าความยาก (p) และค่าอำนาจการจำแนก (r) แล้วเลือกข้อสอบที่มีค่าความยากอยู่ระดับที่ 0.20 ถึง 0.80 และมีค่าอำนาจการจำแนกอยู่ระดับ 0.20 ขึ้นไป (กัญจนา ลินทรัตนศิริกุล, 2560)

9) ทำการคัดเลือกข้อสอบให้ได้คุณภาพดังกล่าว จำนวน 30 ข้อ

10) หาค่าความเที่ยงทั้งฉบับของแบบทดสอบ โดยวิธีการหาความสอดคล้องภายใน โดยวิธีของคูเดอร์ ริชาร์ดสัน 20 (Kuder-Richardson 20 อ้างถึงในกัญจนา ลินทรัตนศิริกุล, 2560) ได้ค่าความเที่ยงของแบบทดสอบทั้งฉบับเท่ากับ 0.80

11) จัดพิมพ์แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก ที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพเป็นฉบับสมบูรณ์ เพื่อนำไปใช้จริงกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง

2.2.2 แบบประเมินทักษะและคุณลักษณะความสามารถในการคิดผลิตภาพ

ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ตำรา หนังสือ บทความทางวิชาการและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคิดผลิตภาพ

2) เลือกใช้เกณฑ์ประเมินความสามารถในการคิดผลิตภาพ โดยผู้วิจัยได้ปรับปรุงและดัดแปลงมาจากเกณฑ์การประเมินคุณภาพความสามารถในการสังเกต และคุณลักษณะของผู้มีความสามารถในการคิดผลิตภาพของทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์ (2560)

3) สร้างแบบประเมินทักษะและคุณลักษณะความสามารถในการคิดผลิตภาพ โดยครอบคลุมทักษะ และคุณลักษณะของการคิดผลิตภาพ ซึ่งได้ปรับปรุงจากแบบวัดทักษะการคิดผลิตภาพของ ทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์ (2560)

4) นำแบบประเมินทักษะและคุณลักษณะความสามารถในการคิดผลิตภาพที่ปรับปรุงขึ้นเสนออาจารย์ที่ปรึกษาและส่งให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบและให้ข้อเสนอแนะ

5) ผู้เชี่ยวชาญประเมินความสอดคล้องระหว่างแบบประเมินทักษะและคุณลักษณะความสามารถในการคิดผลิตภาพ โดยประเมินในส่วนของเกณฑ์การประเมินและนิยามของคุณลักษณะในแต่ละด้าน ซึ่งมีเกณฑ์การให้คะแนน (กัญจนา ลินทรัตนศิริกุล, 2560) ดังนี้

ให้คะแนน +1 เมื่อแน่ใจว่าแบบประเมินสอดคล้องกับคุณลักษณะของบุคคลที่มีความสามารถในการคิดผลิตภาพ

ให้คะแนน 0 เมื่อไม่แน่ใจว่าแบบประเมินสอดคล้องกับคุณลักษณะของบุคคลที่มีความสามารถในการคิดผลิตภาพ

ให้คะแนน -1 เมื่อแน่ใจว่าแบบประเมินไม่สอดคล้องกับคุณลักษณะของบุคคลที่มีความสามารถในการคิดผลิตภาพ

6) นำคะแนนของผู้เชี่ยวชาญมาหาค่า IOC ของแบบประเมินรายข้อและนำมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างระดับพฤติกรรมที่สอดคล้องคุณลักษณะ และความสามารถในการคิดผลิตภาพ ผลปรากฏว่า ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) มีค่าตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป ซึ่งผ่านเกณฑ์ทุกข้อ

7) หาค่าความเที่ยงทั้งฉบับของแบบประเมินความสามารถในการคิดผลิตภาพ โดยวิธีการหาความสอดคล้องภายในวิธีสัมประสิทธิ์แอลฟา (Alpha coefficient Method)

ของครอนบาค (Cronbach) (กัญจนา ลินทรัตนศิริกุล, 2560) ได้ค่าความเที่ยงของแบบทดสอบทั้งฉบับเท่ากับ 0.85

8) นำแบบประเมินคุณลักษณะความสามารถในการคิดผลิตภาพไปใช้ในการเก็บข้อมูลและประเมินผล

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการรวบรวมข้อมูลในช่วงภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 โดยดำเนินการดังนี้

3.1 ผู้วิจัยนำแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องเซลล์กัลวานิก จำนวน 4 แผน และแผนจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ เรื่อง เซลล์กัลวานิก จำนวน 7 แผน ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นไปใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน พร้อมทั้งสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนและประเมินคุณลักษณะความสามารถในการคิดผลิตภาพ จำนวน 2 ครั้ง โดยผู้วิจัยได้บันทึกผลการจัดการเรียนการสอนเพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงและแก้ไขการจัดการเรียนการสอนในครั้งต่อไป

3.2 วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์เรื่อง เซลล์กัลวานิก โดยใช้แบบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่อง เซลล์กัลวานิก ซึ่งเป็นแบบวัดแบบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ ใช้เวลา 1 ชั่วโมง โดยวัดผลสัมฤทธิ์จากกลุ่มตัวอย่างหลังจบกิจกรรมการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษากับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติมาเปรียบเทียบกัน

3.3 ประเมินความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนที่เป็นกลุ่มตัวอย่างโดยใช้แบบประเมินทักษะ และคุณลักษณะความสามารถในการคิดผลิตภาพที่ครอบคลุมคุณลักษณะหรือทักษะ ช่างสังเกต คิดต่อเนื่อง มองเห็นทางปรับปรุงแนวปฏิบัติ เชื่อมโยงกับผลผลิต คิดและทำด้วยพร้อมกัน มุ่งทำให้สำเร็จ คิดให้ตลอด และพร้อมรับการทดสอบ การประเมิน รวมถึงการรับฟังข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะต่างๆ โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนน แล้วนำคะแนนที่ได้มาเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม รวมถึงเปรียบเทียบความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนกลุ่มทดลองระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 สถิติพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1.1 หาค่าเฉลี่ยของคะแนน ($\overline{X}$) โดยคำนวณจากสูตร (กัญจนา ลินทรัตนศิริกุล, 2560)

$$\overline{X} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ $\overline{X}$ แทน ค่าเฉลี่ยของคะแนน

$\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

N แทน จำนวนนักเรียนทั้งหมด

4.1.2 การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยคำนวณจากสูตร (กัญจนา ลินทรัตนศิริกุล, 2560)

$$S.D. = \sqrt{\frac{N\sum X^2 - (\sum X^2)}{N(N-1)}}$$

เมื่อ S.D. แทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

$\sum X^2$ แทน ผลรวมของคะแนนแต่ละตัวยกกำลังสอง

N แทน จำนวนนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง

4.2 สถิติที่ใช้ในการหาคุณภาพเครื่องมือ

4.2.1 หาความตรงเชิงเนื้อหาของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก แบบประเมินความสามารถในการคิดผลิตภาพและแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา โดยใช้ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (IOC) แบบประเมินทักษะและคุณลักษณะในการคิดผลิตภาพโดยใช้ดัชนีความสอดคล้องระหว่างคุณลักษะของการคิดผลิตภาพกับพฤติกรรมที่วัด (IOC) และกิจกรรมการเรียนรู้กับจุดประสงค์ และกรอบแนวคิดการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา (กัญจนา ลินทรัตนศิริกุล, 2560)

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

เมื่อ IOC แทน ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้/คุณลักษะของการคิดผลิตภาพกับพฤติกรรม

R แทน คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

N แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

4.2.2 หาค่าความยากง่าย (P) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก โดยใช้วิธีการของวิทนีย์และซาเบอร์สสามารถหาได้จากสูตร (กัญจนา ลินทรัตนศิริกุล, 2560)

การหาค่าความยากง่าย (P)

$$P = \frac{H+L}{N_H+N_L}$$

เมื่อ p คือ ค่าความยาก

H คือ จำนวนผู้ตอบในกลุ่มสูงที่เลือกตัวเลือกนั้น

L คือ จำนวนผู้ตอบในกลุ่มต่ำที่เลือกตัวเลือกนั้น

N_H คือ จำนวนผู้ตอบในกลุ่มสูงทั้งหมด

N_L คือ จำนวนผู้ตอบในกลุ่มต่ำทั้งหมด

ค่าความยากของข้อสอบ (p) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00-1.00 ถ้าข้อสอบข้อใดมีผู้ตอบถูกมากแสดงว่าข้อสอบข้อนั้นง่าย แต่ถ้าข้อสอบข้อใดมีผู้ตอบถูกน้อยแสดงว่าข้อสอบนั้นยาก การแปลความหมายของค่าความยากอาจแบ่งช่วงได้ ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การแปลความหมายค่าความยาก (p) ของข้อสอบ

ค่าความยาก	การแปลความหมาย
0.81 ถึง 1.00	เป็นข้อสอบที่ง่ายมาก
0.61 ถึง 0.80	เป็นข้อสอบที่ค่อนข้างง่าย
0.41 ถึง 0.60	เป็นข้อสอบที่ยากพอเหมาะ
0.21 ถึง 0.40	เป็นข้อสอบที่ค่อนข้างยาก
0.00 ถึง 0.20	เป็นข้อสอบที่ยากมาก

ข้อสอบที่อยู่ในเกณฑ์ใช้ได้ต้องมีค่าความยากของตัวเลือกที่เป็นตัวถูกเท่ากับ 0.20 ถึง 0.80

การหาค่าอำนาจจำแนก (r)

$$r = \frac{\sum H - \sum L}{N\ (Score_{max})}$$

เมื่อ r คือ ค่าอำนาจจำแนก

$\sum H$ คือ ผลรวมของคะแนนกลุ่มเก่ง

$\sum L$ คือ ผลรวมของคะแนนกลุ่มเก่ง

$Score_{max}$ คือ คะแนนของผู้สอบที่ได้คะแนนสูงสุด

$Score_{min}$ คือ คะแนนของผู้สอบที่ได้คะแนนต่ำสุด

ค่าอำนาจจำแนก (r) คือ ประสิทธิภาพในการจำแนกผู้ตอบเป็นกลุ่มสูงกับกลุ่มต่ำ เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ “r” มีค่าตั้งแต่ (0-1.00) r ที่เหมาะสม r > 0.20 ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบมีค่าตั้งแต่ -1.00-1.00 การแปลความหมายของค่าอำนาจจำแนก สามารถแปลความได้ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 การแปลความหมายค่าอำนาจจำแนก (r) ของข้อสอบ

ค่าอำนาจจำแนก	การแปลความหมาย
0.40 และสูงกว่า	เป็นข้อสอบที่ดีมาก
0.30 ถึง 0.39	เป็นข้อสอบที่ดี
0.20 ถึง 0.29	เป็นข้อสอบที่อยู่ในระดับพอใช้
ต่ำกว่า 0.19	เป็นข้อสอบที่ไม่ดีควรแก้ไขใหม่
0.40 และสูงกว่า	เป็นข้อสอบที่ดีมาก

เกณฑ์การพิจารณาขอบเขตของค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบที่ยอมรับคือ 0.20 ขึ้นไป ส่วนตัวลวงจะต้องมีค่าความยากพอสมควรคือ ประมาณ 5% ค่าอำนาจจำแนกต้องไม่เป็นศูนย์หรือมีค่าติดลบ

4.2.3 หาค่าความเชื่อมั่นแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์เรื่องเซลล์กัลวานิก โดยใช้สูตรของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน 20 (Kuder-Richardson 20: KR-20) คำนวณได้จากสูตร (กัญจนา ลินทรัตนศิริกุล, 2560)

$$r_{tt} = \frac{n}{n-1}\left[1 - \frac{\sum pq}{s^2}\right]$$

$$S^2 = \frac{N\sum X^2 - (\sum X)^2}{N^2}$$

เมื่อ r_{tt} แทน ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ
n แทน จำนวนข้อของแบบทดสอบ
p แทน สัดส่วนคนตอบถูกในแต่ละข้อ
q แทน สัดส่วนคนตอบผิดในแต่ละข้อ
S^2 แทน คะแนนความแปรปรวนทั้งฉบับ
N แทน จำนวนนักเรียนที่ทำแบบทดสอบ

4.2.4 หาค่าความเชื่อมั่นแบบประเมินความสามารถในการคิดผลิตภาพ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา (Alpha Coefficient) ของครอนบาค (Cronbach) คำนวณได้จากสูตร (กัญจนา ลินทรัตนศิริกุล, 2560)

$$\alpha = \frac{K}{K-1}\left[1 - \frac{\sum S_i^2}{S_i^2}\right]$$

เมื่อ α แทน สัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น
K แทน จำนวนข้อของเครื่องมือวัด
$\sum S_i^2$ แทน ผลรวมของความแปรปรวนของแต่ละข้อ
S^2 แทน ความแปรปรวนของคะแนนรวม

โดยที่ $$S^2 = \frac{N\sum X^2 (\sum X)^2}{N(N-1)}$$

เมื่อ N แทน จำนวนผู้ถูกประเมิน
X แทน คะแนนรวมของผู้ถูกประเมิน

4.3 สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

4.3.1 สถิติ t-test for independent sample ในการทดสอบสมมติฐานข้อที่เป็นการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์และความสามารถในการคิดผลิตภาพ

ของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาและแบบปกติ คำนวณจากสูตร (กัญจนา ลินทรัตนศิริกุล, 2560)

$$t = \frac{\overline{X}_1 - \overline{X}_2}{\sqrt{\frac{{S_1}^2}{n_1} + \frac{{S_1}^2}{n_2}}}$$

เมื่อ t แทน ค่าการแจกแจงของที (T – Distribution)

$\overline{X}_1$ แทน คะแนนเฉลี่ยของกลุ่มทดลองที่ 1

$\overline{X}_2$ แทน คะแนนเฉลี่ยของกลุ่มทดลองที่ 2

S_1^2 แทน คะแนนรวมของกลุ่มทดลองที่ 1

S_2^2 แทน คะแนนรวมของกลุ่มทดลองที่ 2

n_1 แทน ขนาดของกลุ่มทดลองที่ 1

n_2 แทน ขนาดของกลุ่มทดลองที่ 1

4.3.2 สถิติ t-test for dependent sample ในการทดสอบสมมติฐานข้อที่เป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการคิดผลิตภาพก่อนเรียนและหลังเรียนของนักเรียนในกลุ่มที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา คำนวณจากสูตร (กัญจนา ลินทรัตนศิริกุล, 2560)

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{n\sum D^2 - (\sum D)^2}{n-1}}} \quad \sim df = n\text{-}1$$

เมื่อ t แทน ค่าสถิติที่จะใช้เปรียบเทียบกับค่าวิกฤต เพื่อทราบความมีนัยสำคัญ

D แทน ผลต่างระหว่างคู่คะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน

$\sum D$ แทน ผลรวมของผลต่างของคะแนนแต่ละคู่

n แทน จำนวนกลุ่มตัวอย่างหรือจำนวนคู่ขนาน

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก และความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนประจวบวิทยาลัย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ให้ผลการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1.1 การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษากับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ

ในการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก ของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษากับนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ ได้ผลการทดสอบ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลป์วานิก ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

กลุ่มนักเรียน	จำนวนนักเรียน (คน)	คะแนนเต็ม	$\bar{x}$	S.D.	t	sig
กลุ่มทดลอง	21	30	22.14	3.32	2.618*	.013
กลุ่มควบคุม	22	30	19.91	2.11		

*p < .05

จากตารางที่ 4.1 พบว่านักเรียนในกลุ่มที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษามีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก เฉลี่ยเท่ากับ 22.14 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) เท่ากับ 3.32 ส่วนนักเรียนในกลุ่มที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติโดยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่อง เซลล์กัลวานิก มีคะแนนเฉลี่ย

เท่ากับ 19.91 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) เท่ากับ 2.11 โดยนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษามีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.2 การเปรียบเทียบความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษากับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ

ในการวัดความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษากับนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติได้ผล ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

รายการประเมิน	กลุ่มนักเรียน				t	sig
	กลุ่มทดลอง		กลุ่มควบคุม			
	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.		
1. ช่างสังเกต	3.67	0.13	3.23	0.23	7.86*	.000
2. คิดต่อเนื่อง	1.86	0.23	1.57	0.36	3.15*	.003
3. มองเห็นทางปรับปรุงแนวปฏิบัติ	3.76	0.44	2.73	0.70	5.77*	.000
4. คิดเชื่อมโยงกับผลผลิต	4.00	0.00	3.50	0.51	4.58*	.000
5. คิดแล้วทำ	3.71	0.46	3.36	0.66	2.02*	.050
6. คิดให้ตลอด	4.00	0.00	3.32	0.48	6.71*	.000
7. พร้อมรับการทดสอบ	3.38	0.50	2.91	0.29	3.76*	.001
ความสามารถในการคิดผลิตภาพโดยรวม	**3.72**	**0.13**	**3.19**	**0.10**	**15.28***	**.000**

*p < .05

จากตารางที่ 4.2 พบว่าความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษามีผลการประเมินเฉลี่ย 3.72 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.13 ส่วนนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติมีผลการประเมินความสามารถในการคิดผลิตภาพเฉลี่ย 3.19 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.10 พบว่านักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษามีความสามารถในการคิดผลิตภาพสูงกว่า

นักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ส่วนในรายลักษณะที่ได้ทำการประเมินจะพบว่า ในทุกลักษณะของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษามีค่าเฉลี่ยสูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ในด้านคิดแล้วทำจะแตกต่างกันน้อยที่สุด

1.3 การเปรียบเทียบความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

การเปรียบเทียบความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน ได้ผลการประเมิน ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

รายการประเมิน	การวัดความสามารถในการคิดผลิตภาพ				t	sig
	ก่อนเรียน		หลังเรียน			
	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.		
1. ช่างสังเกต	2.66	0.39	3.67	0.13	12.64*	.000
2. คิดต่อเนื่อง	1.81	0.29	1.86	0.23	0.62	.540
3. มองเห็นทางปรับปรุงแนวปฏิบัติ	2.71	0.46	3.76	0.44	6.85*	.000
4. คิดเชื่อมโยงกับผลผลิต	2.81	0.40	4.00	0.00	13.56*	.000
5. คิดแล้วทำ	2.81	0.40	3.71	0.46	3.29*	.004
6. คิดให้ตลอด	2.81	0.40	4.00	0.00	13.56*	.000
7. พร้อมรับการทดสอบ	2.57	0.75	3.38	0.50	4.68*	.000
ความสามารถในการคิดผลิตภาพโดยรวม	**2.78**	**0.31**	**3.72**	**0.13**	**14.34***	**.000**

*p < .05

จากตารางที่ 4.3 นักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาก่อนเรียน มีผลการประเมินความสามารถในการคิดผลิตภาพเฉลี่ย 2.78 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.31 ส่วนหลังเรียนมีผลการประเมินเฉลี่ย 3.66 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.13 พบว่า

ความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยด้านที่หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ได้แก่ คุณลักษณะในด้านช่างสังเกต ด้านมองเห็นทางปรับปรุงแนวปฏิบัติ ด้านคิดแล้วทำ ด้านคิดเชื่อมโยงกับผลผลิต ด้านคิดให้ตลอดและด้านพร้อมรับการทดสอบ ส่วนด้านคิดต่อเนื่องหลังเรียนมีคะแนนสูงกว่าก่อนเรียนแต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

บทที่ 5
สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบกึ่งทดลองในการศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาที่มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์เรื่องเซลล์กัลวานิก และความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนประจวบวิทยาลัย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ สรุปการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ ได้ดังนี้

1. สรุปการวิจัย

1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.1.1 เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนประจวบวิทยาลัย ที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษากับนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ

1.1.2 เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนดังกล่าวที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษากับนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ

1.1.3 เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนดังกล่าวที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

1.2 วิธีดำเนินการวิจัย

1.2.1 ประชากร ได้แก่ นักเรียนขั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 แผนการเรียนเน้นวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โรงเรียนประจวบวิทยาลัย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จำนวน 90 คน จำนวน 4 ห้องเรียน แบบคละความสามารถ

1.2.2 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 2 ห้องเรียน ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2561 แผนการเรียนเน้นวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โรงเรียนประจวบวิทยาลัย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ได้มาโดยการสุ่มแบบแบ่งกลุ่ม แล้วจับสลากซึ่งให้ห้องหนึ่งเป็นกลุ่มทดลองที่จัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา และอีกห้องหนึ่งเป็นกลุ่มควบคุมที่จัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ

1.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เป็นเครื่องมือที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นและพัฒนาปรับปรุง แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

(1) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องเซลล์กัลวานิก จำนวน 4 แผน ใช้เวลาในการสอน จำนวน 18 ชั่วโมง

(2) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ เรื่องเซลล์กัลวานิก จำนวน 6 แผน ใช้เวลาสอนจำนวน 18 ชั่วโมง

2) เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่

(1) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก ซึ่งผู้วิจัยได้สร้างขึ้นเองตามแนวคิดของ Bloom's Texonomy เป็นแบบทดสอบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ

(2) แบบประเมินทักษะและคุณลักษณะความสามารถในการคิดผลิตภาพ

1.2.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล มีขั้นตอนดังนี้

1) ดำเนินการประเมินความสามารถในการคิดผลิตภาพโดยใช้แบบประเมินทักษะและคุณลักษณะความสามารถในการคิดผลิตภาพก่อนเรียน

2) ดำเนินกิจกรรมการเรียนการสอนตามแผนการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องเซลล์กัลวานิก จำนวน 4 แผน 18 ชั่วโมง โดยผู้วิจัยเป็นผู้ดำเนินการสอน

3) ทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก หลังเรียนด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก จำนวน 30 ข้อคะแนนเต็ม 30 คะแนน

4) ดำเนินการประเมินความสามารถในการคิดผลิตภาพโดยใช้แบบประเมินทักษะและคุณลักษณะความสามารถในการคิดผลิตภาพหลังเรียน

1.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา และการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ เรื่องเซลล์กัลวานิก ใช้การทดสอบค่าที (t-test independent)

2) การเปรียบเทียบความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาและการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ เรื่องเซลล์กัลวานิก ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ใช้การทดสอบค่าที (t-test independent)

3) การเปรียบเทียบความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องเซลล์กัลวานิก ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน ใช้การทดสอบค่าที (t-test dependent)

1.3 ผลการวิจัย

1.3.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลป์วานิก ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

1.3.2 ความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษามีความสามารถในการคิดผลิตภาพสูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

1.3.3 ความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษามีความสามารถในการคิดผลิตภาพหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

2. อภิปรายผล

จากการวิจัย เรื่องผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาที่มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก และความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนประจวบวิทยาลัย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก และความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาและนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ สามารถอภิปรายผลได้ ดังนี้

2.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก

จากผลการวิจัยพบว่านักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องเซลล์กัลวานิก มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์สูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เนื่องจากในขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษานั้น นักเรียนจะได้มีโอกาสที่จะลงมือปฏิบัติในการสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นหาความรู้จากการใช้เทคโนโลยีในการศึกษาหาความรู้จากแหล่งอื่นๆ ที่นอกเหนือจากหนังสือเรียน รวมทั้งการทดลองเพื่อหาคำตอบเกี่ยวกับเรื่องที่ต้องการศึกษา แล้วนำความรู้ที่ได้นั้นมาใช้ในการแก้ไขปัญหาที่ได้กำหนดขึ้น ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง โดยครูผู้สอนจะกลายเป็นผู้ให้คำแนะนำ ผู้อำนวยความสะดวก ผู้ตั้งคำถามและ

ผู้กระตุ้นให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติเพื่อหาคำตอบโดยการลงมือปฏิบัติ อีกทั้งการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาจะเป็นการจัดกิจกรรมที่ผ่านกระบวนการกลุ่ม ทำให้นักเรียนไม่เกิดภาวะแข่งขันทำให้นักเรียนมีพัฒนาการทางด้านจิตใจ อารมณ์และสังคม ซึ่งจะส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องเซลล์กัลวานิกสูงกว่านักเรียนอีกกลุ่มหนึ่ง ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของ เวลเมอร์ (Welmer, อ้างถึงใน วศิณีส์ อิศรเสนา ณ อยุธยา, 2560) ที่กล่าวว่าการเรียนรู้ที่ที่เน้นผู้นักเรียนเป็นสำคัญจะช่วยให้นักเรียนเรียนรู้ได้ดีขึ้น เนื่องจากเกิดการอยากรู้และเกิดความสนุกที่จะรู้ รวมถึงทฤษฎีของจอห์น ดิวอี้ (John Dewey, อ้างถึงใน วศิณีส์ อิศรเสนา ณ อยุธยา, 2560) ที่กล่าวว่า นักเรียนจะเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้นถ้านักเรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง โดยความรู้ที่นักเรียนได้ทำการค้นหานั้นยังคงเป็นการบูรณาการความรู้ของทั้ง 4 สาขาวิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์อีกด้วย

และนอกจากนั้นการลงมือปฏิบัติเพื่อหาคำตอบของนักเรียนในขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษานั้นยังพบว่า นักเรียนมีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ซึ่งกันและกันโดยจะอยู่ในรูปแบบของนักเรียนกับนักเรียนทั้งภายในกลุ่มของตัวเองหรือระหว่างกลุ่มและนักเรียนกับครู ซึ่งบางข้อมูลอาจได้รับการเติมเต็มให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้นแตกต่างกับการเรียนรู้ที่เป็นการท่องจำจากตำราเรียน ทำให้นักเรียนแต่ละคนสามารถนำเอาความรู้ที่ได้เชื่อมโยงกับองค์ความรู้เดิมเพื่อหาความเกี่ยวข้องหรือสัมพันธ์กัน แล้วสร้างเป็นองค์ความรู้ใหม่เกิดขึ้นด้วยตนเองและมีความหมายต่อตัวนักเรียนโดยสังเกตได้จากการสร้างชิ้นงานเป็นโคมไฟ นักเรียนจะได้ใช้องค์ความรู้ใหม่ที่นักเรียนได้ศึกษาหาความรู้จากกิจกรรมที่กำหนดขึ้นไปเชื่อมโยงกับความรู้เดิมในการตัดสินใจเลือกใช้สารเคมีที่เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยที่นักเรียนจะมีความรู้เดิมอยู่แล้วคือ สมบัติของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จึงทำให้นักเรียนเกิดองค์ความรู้ใหม่ขึ้นที่มีความหมายต่อตัวนักเรียน ส่งผลให้นักเรียนเกิดความจำที่คงทนและเป็นระบบมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นเหตุผลอีกประการหนึ่งที่ทำให้นักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษานั้นมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก สูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเองของเลฟ ไวลอสกีและเพียเจย์ (Lev Vygotsky, Jean Piaget อ้างถึงใน ทิศนา แขมมณี, 2560) ที่กล่าวถึงการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองว่าเป็นการพัฒนาเชาว์ปัญญาของบุคคลโดยผ่านกระบวนการหรือประสบการณ์ต่างๆ และยังมีความสำคัญในการพัฒนากระบวนการคิดขั้นสูงของนักเรียนต่อไป และทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองที่กล่าวโดยออซูเบล (David P. Ausubel, อ้างถึงใน กิ่งฟ้า สินธุวงษ์, 2549) ที่กล่าวถึงการสร้างองค์ความรู้ด้วยตัวนักเรียนเองอย่างมีความหมายได้เป็นความรู้ใหม่ที่มีความสัมพันธ์กับความรู้เดิม โดยกระบวนการสร้างองค์ความรู้ดังกล่าวเกิดจากการกระทำซ้ำๆ อันเกิดจากการลองผิดลองถูกของนักเรียน ซึ่งจะทำให้นักเรียนเกิดองค์ความรู้ที่คงทนมากยิ่งขึ้นดังคำกล่าวของ ธอร์นไดค์ (Edward L Thorndike อ้างถึงใน ทิศนา แขมมณี, 2560)

จากผลการวิจัยดังกล่าวยังสอดคล้องกับงานวิจัยของนัสรินทร์ บือชา (2558) อาทิตย์ ฉิมกุล (2559), นารินทร์ ศิริเวช (2560) และเกรียงศักดิ์ วิเชียรสร้าง (2560) ที่ได้ศึกษาผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาในเรื่องต่างๆ ของวิชาวิทยาศาสตร์ ซึ่งผลการวิจัยยังสนับสนุนผลการวิจัยว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษานั้นสามารถช่วยยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนได้ รวมถึงงานวิจัยของ มินดี้ เลไวน์ และคณะ (Mindy Levine, Nicole Serio, Bhasker Radaram, Saudip Chadhuri, and William Talbert, 2017) ทำการศึกษาผลของการจัดกิจกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในค่ายวิชาเคมี เพื่อพัฒนาเจตคติเกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ของนักเรียนเพศหญิงให้ดีมากยิ่งขึ้น

เมื่อคำนึงถึงคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์รายบุคคลของนักเรียนกลุ่มที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาพบว่า นักเรียนบางคนมีคะแนนน้อยกว่าเพื่อนในห้องค่อนข้างมาก ซึ่งสังเกตได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุม เนื่องจากในระหว่างการทำกิจกรรมการเรียนรู้ตามขั้นตอนของสะเต็มศึกษาที่มอบหมายให้ทำเป็นกลุ่มนั้นมีนักเรียนบางคนที่ไม่ให้ความสนใจในการทำกิจกรรมการเรียนรู้เท่าที่ควร เพียงแต่รอรับคำสั่งจากเพื่อนในกลุ่มเสมอจึงทำให้นักเรียนขาดการสืบค้น การสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง ซึ่งส่งผลต่อคะแนนของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ต่ำกว่านักเรียนคนอื่น ๆ ดังนั้นในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาขั้นตอนที่สำคัญที่สุด คือ ขั้นระบุปัญหา โดยปัญหาดังกล่าวต้องเป็นปัญหาที่นักเรียนให้ความสนใจหรือเป็นปัญหาที่เกี่ยวกับชุมชม การใช้ชีวิตประจำวันของนักเรียน เพื่อให้นักเรียนเกิดความสนใจในการคิดหรือผลิตชิ้นงานในการแก้ปัญหาดังกล่าวต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับ อภิสิทธิ์ ธงไชย (2556), ศิริชัย กาญจนวาสี (2557), สสวท. (2560) และณัฐดนัย เนียมทอง (2561) ที่กล่าวถึงขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาโดยจะเริ่มด้วยขั้นตอนการจัดกิจกรรมด้วยการระบุปัญหาและให้ความสำคัญกับขั้นตอนนี้ เนื่องจากนักเรียนต้องมีการวิเคราะห์ปัญหาที่กำหนดขึ้น เพื่อให้นักเรียนได้ใช้เป็นแกนหลักในการศึกษาหาความรู้เพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวต่อไป

2.2 ความสามารถในการคิดผลิตภาพ

จากผลการวิจัยพบว่า นักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องเซลล์กัลวานิก มีคะแนนความสามารถในการคิดผลิตภาพสูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษามีความสามารถในการคิดผลิตภาพหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาในแต่ละขั้นจะช่วยส่งเสริม พัฒนาคุณลักษณะที่สำคัญของความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนซึ่งได้แก่ 1) การช่างสังเกต 2) การคิดต่อเนื่อง 3) การมองเห็นแนวทางปรับปรุง 4) เชื่อมโยงกับผลผลิต

5) การคิดแล้วทำ 6) การคิดให้ตลอด และ7) การพร้อมรับการทดสอบที่กล่าวโดยไพฑูรย์ สินลารัตน์ (2560) ซึ่งจะอภิปรายเชิงวิเคราะห์ ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของบุคคลที่มีความสามารถในการคิดผลิตภาพ
กับขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา
ที่พัฒนาคุณลักษณะความสามารถในการคิดผลิตภาพ

คุณลักษณะ ความสามารถ ในการคิดผลิตภาพ	**ขั้นตอนการจัดกิจกรรม การเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา ที่ปรากฏ**	**ลักษณะของการจัดกิจกรรม การเรียนรู้ที่พัฒนาคุณลักษณะ ความสามารถในการคิดผลิตภาพ**
1. ช่างสังเกต	ขั้นระบุปัญหา	นักเรียนได้ใช้ประสาทสัมผัสในการสังเกตสิ่งต่างๆ ที่อยู่รอบตัว นำมาอภิปรายวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่ได้กำหนดขึ้นเพื่อนำไปสู่การพัฒนาการแก้ปัญหาผลิตเป็นโคมไฟต่อไป โดยนักเรียนจะใช้การสังเกตจากการอ่านสถานการณ์ที่กำหนดแล้วระบุปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อหาแนวทางการแก้ปัญหาต่อไป
2. คิดต่อเนื่อง	ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง	นักเรียนนำประเด็นที่ได้จากการวิเคราะห์ถึงสาเหตุของปัญหา แล้วคิดต่อเนื่องหาความสัมพันธ์ในการศึกษาหาความรู้จากการสืบเสาะหรือการทดลอง เพื่อนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการสร้างชิ้นงานเพื่อแก้ปัญหา

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

คุณลักษณะความสามารถในการคิดผลิตภาพ	ขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาที่ปรากฏ	ลักษณะของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่พัฒนาคุณลักษณะความสามารถในการคิดผลิตภาพ
3. มองเห็นแนวทางปรับปรุง 4. พร้อมรับการทดสอบ	- ขั้นทดสอบ ประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน - ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา	นักเรียนแต่ละกลุ่มเมื่อสร้างโคมขึ้นจะทำการทดสอบประสิทธิภาพของโคมไฟจำนวน 2 ครั้ง โดยครั้งแรกนักเรียนจะสามารถพัฒนา ปรับปรุงให้โคมไฟมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและหลังจากการทดสอบครั้งที่ 2 นักเรียนแต่ละกลุ่มจะต้องคิดพัฒนาชิ้นงานเพื่อให้มีความเหมาะสมในการค้า แล้วนำเสนอในห้องเรียน
5. เชื่อมโยงกับผลผลิต	ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา	นักเรียนสรุปองค์ความรู้ที่ได้สืบเสาะหาความรู้และเลือกองค์ความรู้มาใช้ในการเลือกสารเคมี อุปกรณ์เพื่อสร้างโคมไฟให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่สามารถเข้าใจได้ง่าย สามารถทำตามขั้นตอนที่ได้กำหนดขึ้น
6. คิดแล้วทำ 7. คิดให้ตลอด	ขั้นวานแผนและดำเนินการแก้ปัญหา	นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติในการสร้างโคมไฟตามขั้นตอน สารเคมีและอุปกรณ์ที่ได้กำหนดขึ้นโดยผ่านการวิเคราะห์องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องแล้วสร้างเป็นโคมไฟให้สำเร็จสมบูรณ์เพื่อให้พร้อมในการทดสอบประสิทธิภาพต่อไป

นอกจากข้อมูลที่แสดงการวิเคราะห์การเชื่อมโยงในตารางแล้วยังพบว่า นักเรียนยังมีความสามารถในการคิดผลิตภาพ โดยการสังเกตจากการศึกษาหาข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้อื่นๆ และเชื่อมโยงความรู้จากสิ่งที่ได้สังเกตมาใช้ในการผลิตโคมไฟที่ทำให้เกิดนวัตกรรมที่เป็นรูปธรรมจากความคิดเกิดขึ้น โดยมีนักเรียนบางกลุ่มเลือกใช้น้ำขี้เถ้าหรือน้ำอัดลมมาใช้เป็นสารละลาย

อิเล็กโทรไลต์ หรือการใช้การสังเกตร่วมกับการคิดต่อเนื่องแล้วเชื่อมโยงไปกับผลผลิต โดยอาศัยหลักการสะท้อนแสงของกระจกที่นักเรียนได้สังเกตจากการสะท้อนแสงของกระจกรถมาใช้เป็นหลักการในการสร้างโคมไฟอีกด้วย และจากการวิจัยจะพบอีกว่า ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มนักเรียนทุกกลุ่มสามารถเปลี่ยนความคิดที่มีอยู่ในตัวนักเรียนให้เป็นชิ้นงานที่เป็นรูปธรรมได้เสร็จสมบูรณ์ รวมทั้งสามารถวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงหรือพัฒนาเพื่อใช้ในการค้าขายต่อไปได้ทุกกลุ่ม ซึ่งนักเรียนจะได้มองเห็นข้อดีและข้อจำกัดของเพื่อนในแต่ละกลุ่มรวมถึงกลุ่มตัวเองแล้วนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาชิ้นงานของตัวเองต่อไป นอกจากนี้ยังพบว่าในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษานั้นบรรยากาศภายในห้องเรียนยังเป็นบรรยากาศที่กำหนดด้วยกฎ กติกาที่ได้กำหนดร่วมกันในห้องเรียนโดยผู้เรียนและผู้สอน นอกจากนี้ยังมีการปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันเพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้ซึ่งกันและกันในการสร้างองค์ความรู้และแนวทางในการปรับปรุงชิ้นงานเพื่อให้มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้น โดยนักเรียนได้มีโอกาสในการศึกษาหาความรู้จากสื่อต่างๆ หรือแหล่งเรียนรู้ที่นอกเหนือจากในห้องเรียนและหนังสือเรียน โดยใช้เทคโนโลยีเพื่อช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ที่หลากหลาย ซึ่งจะเห็นได้ว่าบรรยากาศในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ดังกล่าวเป็นส่วนที่สำคัญในการพัฒนาความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนให้มีค่าที่สูงขึ้นซึ่งตรงกับแนวคิดในการสร้างบรรยากาศในห้องเรียนเพื่อพัฒนาความสามารถในการคิดผลิตภาพที่กล่าวโดย ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์ (2560) และการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษานั้นยังเป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เริ่มด้วยปัญหาให้นักเรียนได้สืบค้นหาความรู้เพื่อใช้ในการสร้างแนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าว จัดเป็นการเรียนรู้ที่เริ่มด้วยปัญหาที่ตั้งขึ้น แล้วให้นักเรียนได้เกิดความสนใจในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยใช้ความคิดสร้างสรรค์สิ่งใหม่ๆ เน้นการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มและสุดท้ายได้ชิ้นงานออกมาเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวผ่านกระบวนการปฏิบัติด้วยตนเอง ซึ่งอาจพบเจอปัญหาที่นักเรียนในแต่ละกลุ่มจะได้ร่วมกันคิดแก้ไขปรับปรุง หรือใช้ความรู้อื่นๆ มาประกอบมากยิ่งขึ้นซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะสอดคล้องกับแนวทางการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนที่กล่าวโดย ไพฑูรย์ สินลารัตน์ (2560) จึงทำให้นักเรียนในกลุ่มที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาที่ได้มีการเปลี่ยนความรู้ที่ได้ศึกษาให้กลายเป็นชิ้นงานที่มีความเป็นรูปธรรมมากขึ้น จึงมีความสามารถในการคิดผลิตภาพสูงกว่านักเรียนในกลุ่มที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติที่ผลงานส่วนใหญ่จะเป็นเพียงแผนผังมโนทัศน์หรือวิธีการออกแบบการทดลองที่อาจยังไม่เป็นรูปธรรมที่ชัดเจน

อีกทั้งการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษายังช่วยส่งเสริมองค์ประกอบที่สำคัญในการส่งเสริมความสามารถในการคิดผลิตภาพโดยที่นักเรียนจะมีโอกาสในการเรียนรู้จากสภาพความเป็นจริง โดยอาศัยจากปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในชีวิตประจำวันมาใช้ในการกำหนดเป้าหมายหรือจุดมุ่งหมายในการเรียนที่นักเรียนจะมีโอกาสในการกำหนดร่วมกันด้วยตัวของนักเรียนเอง อีกทั้งมีการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มตลอดการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนได้ใช้

ในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ซึ่งกันและกันในการสร้างชิ้นงานแล้วใช้การประเมิน เพื่อใช้ในการแก้ไขหรือปรับปรุงเพื่อให้ชิ้นงานที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพสูงที่สุด และได้เปิดโอกาสให้นักเรียนได้เกิดการคิดต่อยอดเพื่อการค้าขาย โดยอาศัยการพัฒนาเป็นนวัตกรรมแล้วนำเสนอภายในห้องเรียน ซึ่งจากองค์ประกอบข้างต้นจะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนได้เกิดความสามารถในการคิดผลิตภาพได้ดียิ่งขึ้น สอดคล้องกับไพฑูรย์ สินลารัตน์ (2560) ที่กล่าวถึงองค์ประกอบของความสามารถในการคิดผลิตภาพ ซึ่งจากผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มจึงช่วยในการพัฒนาความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนให้สูงขึ้น

นอกจากนี้ผลการวิจัยยังแสดงให้เห็นว่านักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษามีคุณลักษณะในด้านคิดต่อเนื่องหลังเรียนไม่แตกต่างจากก่อนเรียนเนื่องจากในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาในขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องที่เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการพัฒนาคุณลักษณะด้านการคิดต่อเนื่อง พบว่าจะใช้เวลาในการจัดกิจกรรมหลายชั่วโมง ในบางครั้งอาจเป็นการทำกิจกรรมในขั้นตอนดังกล่าวคนละช่วงเวลา ซึ่งจะทำให้นักเรียนเกิดปัญหาในการเชื่อมโยงความรู้ที่ได้จากเวลาที่ผ่านมาได้ รวมถึงการที่นักเรียนบางส่วนไม่สามารถใช้ผลการสังเกตที่ได้รับจากการทำกิจกรรมมาคิดต่อเนื่องในสิ่งที่ตัวเองสนใจ ครูจึงมีหน้าที่ในการกระตุ้นให้นักเรียนเกิดการคิดต่อเนื่อง ซึ่งทำให้คุณลักษณะด้านการคิดต่อเนื่องของก่อนและหลังเรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาไม่แตกต่างกัน แต่ค่าเฉลี่ยในด้านการคิดต่อเนื่องของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาสูงกว่าแบบปกติ เนื่องจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาซึ่งกิจกรรมการเรียนรู้จะเน้นการเรียนรู้เป็นกลุ่มจะทำให้นักเรียนภายในกลุ่มเกิดการช่วยเหลือซึ่งกันและกัน ช่วยกันกระตุ้น เพื่อให้งานที่ได้รับมอบหมายสำเร็จ ซึ่งตรงกับทฤษฎีสังคมและวัฒนธรรมของมนุษย์ ที่กล่าวโดย เลิฟ ไวกอสกี้ (Lev Vygotsky อ้างถึงใน วศิณีส์ อิศรเสนา ณ อยุธยา, 2560) ว่าการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาจะเน้นการมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคมซึ่งเป็นการเรียนรู้ที่เด็กเกิดการช่วยเหลือซึ่งกันและกัน อีกทั้งผลการวิจัยแสดงให้เห็นเพิ่มเติมว่ากลุ่มที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มและกลุ่มที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติจะมีคุณลักษณะของความสามารถในการคิดผลิตภาพที่แตกต่างกันมากที่สุด คือ การช่างสังเกต การคิดต่อเนื่อง การเห็นทางปรับปรุงแนวปฏิบัติ การคิดเชื่อมโยงผลผลิต การคิดให้ตลอดและพร้อมรับการทดสอบ เนื่องจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาจะต้องอาศัยการสังเกตในหลายๆ เรื่อง ทั้งจากการสืบค้นหรือการลงมือปฏิบัติการทดลอง เพื่อสร้างเป็นองค์ความรู้ใหม่เพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหา เมื่อได้ข้อมูลจึงต้องมีการคิดต่อเนื่องเพื่อให้มองเห็นแนวทางในการสร้างชิ้นงาน โดยคิดนำเอาความรู้ที่ได้ไปเชื่อมโยงกับชิ้นงานแล้วค่อยลงมือทำจนชิ้นงานสำเร็จ จึงทำให้คุณลักษณะในด้านต่างๆ ที่สำคัญของความสามารถการคิดผลิตภาพสูง แต่จากการศึกษาพบว่าคุณลักษณะด้านหนึ่งของความสามารถในการคิดผลิตภาพ

มีความแตกต่างกันตามสถิติที่ระดับ .05 ค่อนข้างน้อย คือ การคิดแล้วทำ เนื่องจากการทำกิจกรรมครูได้แบ่งกลุ่มนักเรียนให้ทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มแต่นักเรียนบางคนจะไม่ให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรมเท่าที่ควร เมื่อนักเรียนสังเกต หาความรู้ นำความรู้ไปเชื่อมโยงกับชิ้นงานที่สร้างขึ้นแต่นักเรียนดังกล่าวจะไม่ลงมือปฏิบัติ เนื่องจากมองว่าชิ้นงานดังกล่าวอาจเป็นไปไม่ได้ที่จะสร้างขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาหรือการขาดความรู้เท่าที่ควรเกี่ยวกับการสร้างชิ้นงาน ทำให้นักเรียนไม่เกิดการคิดแล้วลงมือปฏิบัติขึ้น ครูจึงต้องพยายามในการกระตุ้นให้นักเรียนได้นำความคิดดังกล่าวให้เกิดการลงมือทำจนสำเร็จ ซึ่งแตกต่างกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติที่ชิ้นงานส่วนใหญ่ที่นักเรียนได้รับมอบหมายจะเป็นชิ้นงานเดี่ยวจึงทำให้นักเรียนต้องมีการคิดนำความรู้ที่ได้มาลงมือทำจนสำเร็จ ทำให้คุณลักษณะของความสามารถการคิดผลิตภาพในด้านของการคิดแล้วทำนั้นมีคะแนนที่สูงซึ่งไม่แตกต่างกันมากนักกับนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา แต่ในคุณลักษณะด้านอื่นๆ จะพบว่าแตกต่างกับกลุ่มที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มค่อนข้างมาก เนื่องจากนักเรียนอาจเกิดการเรียนรู้จากกิจกรรมการเรียนรู้ในแบบต่างๆ แต่ไม่สามารถเชื่อมโยงความรู้ที่ได้รับนำไปสร้างเป็นชิ้นงานหรือบางคนมีการคิดเชื่อมโยงในการผลิตชิ้นงานแต่อาจทำไม่สำเร็จหรือเกิดความคิดแต่ไม่เกิดการลงมือทำ ซึ่งแตกต่างจากไพฑูรย์ สินลารัตน์ (2560) ที่กล่าวว่า บุคคลที่มีลักษณะของคนที่มีการคิดผลิตภาพนั้นจะต้องเป็นคนที่ช่างสังเกต คิดต่อเนื่อง มองเห็นแนวทางปฏิบัติปรับปรุงเพื่อเชื่อมโยงกับผลผลิต แล้วลงมือทำจนได้ผลผลิตออกมาและทำการทดสอบเพื่อได้แนวทางการปรับปรุงให้เหมาะสม ส่วนผลการวิจัยของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาที่เปรียบเทียบความสามารถในการคิดผลิตภาพผลปรากฏว่า นักเรียนทั้งก่อนเรียนและหลังเรียนมีคะแนนเฉลี่ยด้านการคิดต่อเนื่องเท่ากัน เนื่องจากนักเรียนในกลุ่มดังกล่าวเป็นนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ซึ่งคุ้นเคยกับการใช้ข้อมูลที่ได้จากการสังเกตผ่านกระบวนการทดลองหรือการใช้ประสาทสัมผัสต่างๆ แล้วนำผลที่ได้จากการสังเกตนั้นไปใช้ในการเชื่อมโยงกับงานที่ได้รับมอบหมายได้

ทั้งนี้ผลการวิจัยในด้านของความสามารถในการคิดผลิตภาพได้สอดคล้องกับงานวิจัยของธีระศักดิ์ ไชยสัตย์ (2560) ที่ได้ศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานเรื่องอะตอม และโครงสร้างของอะตอม ซึ่งนักเรียนกลุ่มตัวอย่างได้ลงมือปฏิบัติในการสร้างแบบจำลองด้วยตนเอง ซึ่งสามารถพัฒนาความสามารถในการคิดเชิงผลิตภาพของนักเรียนให้สูงขึ้นกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยจะเป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนได้ใช้ความรู้ที่ได้รับมาวิเคราะห์และคิดต่อเนื่องจนสร้างเป็นชิ้นงานขึ้นจากองค์ความรู้ที่ได้สร้างขึ้น คล้ายคลึงกับกิจกรรมสะเต็มที่ผู้วิจัยได้จัดขึ้นในกิจกรรมการเรียนรู้

3. ข้อเสนอแนะ

3.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

3.1.1 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา ครูควรจัดการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง โดยให้ผู้นักเรียนได้ใช้เทคโนโลยีในการสืบค้นหาข้อมูลหรือช่วยในการบันทึกสิ่งที่ได้จากการสังเกตและเน้นการบูรณาการของทั้ง 4 สาขาวิชาให้มากที่สุด

3.1.2 ปัญหาหรือสถานการณ์ที่ตั้งขึ้นเพื่อให้นักเรียนได้คิดวิธีหรือกระบวนการแก้ปัญหา ต้องเป็นปัญหาหรือสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมภายในท้องถิ่นหรือเป็นเหตุการณ์ที่อยู่ในความสนใจของนักเรียน เพื่อให้นักเรียนมีความกระตือรือร้นในการค้นหาข้อมูลนำไปสู่การสร้างเป็นชิ้นงานหรือกระบวนการในการแก้ปัญหาดังกล่าว

3.1.3 สามารถนำกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาไปใช้ในเนื้อหาในวิชาอื่นๆ ได้ตามความเหมาะสม อาจใช้การบูรณาการข้ามวิชา เพื่อให้นักเรียนลดภาระงาน ลดระยะเวลาในการจัดกิจกรรม และสามารถจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละขั้นตอนได้อย่างเหมาะสม

3.1.4 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาไม่จำเป็นต้องดำเนินการตามขั้นตอนที่ 1-6 เพียงรอบเดียว หากนวัตกรรมที่สร้างขึ้นไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้ อาจย้อนกลับไปค้นคว้าหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องอีกครั้งได้

3.1.5 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาจะเน้นการทำกิจกรรมเป็นกลุ่ม ดังนั้นครูจะต้องเน้นให้นักเรียนได้แบ่งหน้าที่ของนักเรียนให้ชัดเจนในแต่ละกลุ่ม

3.1.6 ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา ครูจะต้องเตรียมอุปกรณ์การทำกิจกรรมให้ครบถ้วนและหลากหลาย เพื่อให้นักเรียนได้เกิดความคิดที่แปลกใหม่

3.1.7 ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องในแต่ละเรื่อง ควรจัดกิจกรรมให้อยู่ภายในช่วงเวลาใกล้เคียงกันประมาณหนึ่งสัปดาห์ เพื่อให้เกิดการคิดอย่างต่อเนื่องเพื่อพัฒนาความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนให้ได้ผลดี

3.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

3.2.1 ควรศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาที่ส่งผลต่อตัวแปรอื่นๆ ที่สำคัญต่อศตวรรษที่ 21 เช่น ทักษะการคิดแก้ปัญหา ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ทักษะการคิดสร้างสรรค์ เป็นต้น

3.2.2 ควรศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษากับกลุ่มตัวอย่างอื่น เช่น นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นหรือนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายสายการเรียนอื่นๆ ที่นอกเหนือจากสายการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ เป็นต้น

3.2.3 ควรเปรียบเทียบผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาที่ส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์และความสามารถในการคิดผลิตภาพระหว่างเพศของนักเรียน

3.2.4 ควรศึกษาเปรียบเทียบผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาที่ส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ และความสามารถในการคิดผลิตภาพของนักเรียนในระดับอุดมศึกษา

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กมลฉัตร กล่อมอิ่ม และคณะ. (2559). การจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการสะเต็มศึกษา สำหรับนักศึกษาวิชาชีพครู. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 14*(4), 334-348.

กรมวิชาการ. (2546). *คู่มือการจัดการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาสาสตร์.* กรุงเทพฯ: องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.

กระทรวงศึกษาธิการ. (2546). *พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2542*. กรุงเทพฯ: คุรุสภา.

_____. (2551). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศึกราช 2551*. กรุงเทพฯ: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

_____. (2559). *สะเต็มศึกษาในโรงเรียน*. สืบค้น จาก https://www.moe.go.th/moe/th/news/detail.php?NewsID=45035&Key=news_act

กัญจนา ลินทรัตนศิริกุล. (2560). เครื่องมือวิจัยและการตรวจสอบคุณภาพ. *ใน ประมวลสาระชุดวิชาการวิจัยหลักสูตรและการเรียนการสอน.* หน่วยที่ 9. (พิมพ์ครั้งที่ 7, น. 1-80). นนทบุรี: สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

กิ่งฟ้า สินธุวงษ์. (2549). Trip RIP: กระบวนการคิด การเรียนรู้และการสร้างองค์ความรู้. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 29*(3), 27-37.

เกรียงศักดิ์ วิเชียรสร้าง. (2560). *ผลของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาเคมี ความสามารถในการแก้ปัญหา และความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

จันทร์เพ็ญ เชื้อพานิช. (2549). การส่งเสริมให้คนไทยคิด: จากอดีตสู่ปัจจุบันและอนาคต. *วารสารวิชาการ, 4*(11), 36-47.

จำรัส อินทลาภาพร. (2558). การศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาสำหรับผู้เรียนระดับ ประถมศึกษา. *วารสารสาขามนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์ และศิลปะ, 8*, 62-74.

จุฬารัตน์ ธรรมประทีป. (2560). การรู้วิทยาศาสตร์. ใน สารัตถะ วิทยวิธี และธรรมชาติวิทยาศาสตร์ หน่วยที่ 4. (พิมพ์ครั้งที่ 4, น.19-21). นนทบุรี: สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

เฉลิมพล พลมุข. (2551, 13 กุมภาพันธ์). ฤาว่าเด็กวัยรุ่นยุคนี้จะขาดภูมิคุ้มกัน, *ผู้จัดการ*. หน้า 13.

ชนาธิป พรกุล. (2557). *การสอนกระบวนการคิดทฤษฎี และการนำไปใช้.* กรุงเทพฯ: พริ้นท์(1991).

ชัยวัฒน์ สุทธิรัตน์. (2560). *การสร้างบรรยากาศเพื่อพัฒนาการคิดผลิตภาพ.* กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ณปภัช พิมพ์ดี. (2560). *เซลล์ไฟฟ้าเคมี.* สืบค้นจาก https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/7181-2017-06-05-14-40-23.

ณัฐดนัย เนียมทอง. (2561). *สะเต็มกับบัวลอย.* สืบค้นจาก https://www.scimath.org/article-stem/item/7757-2017-12-04-07-54-21.

ทวีศักดิ์ จินดานุรักษ์. (2560). *การประเมินการคิดผลิตภาพ. ในคิดผลิตภาพ: สอนและสร้างได้อย่างไร.* วิทยาลัยครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทิศนา แขมมณี. (2560). *ศาสตร์การสอน องค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ.* (พิมพ์ครั้งที่ 21). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวทยาลัย.

ธีระศักดิ์ ไชยสัตย์. (2560). *ผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี และความสามารถในการคิดเชิงผลิตภาพของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนมัธยมขยายโอกาส จังหวัดประจวบคีรีขันธ์.* (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.

นวลจิตต์ เชาวกีรติพงศ์. (2560). *ขอบเขตการคิดผลิตภาพ. ในคิดผลิตภาพ: สอนและสร้างได้อย่างไร. วิทยาลัยครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.* กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นารินทร์ ศิริเวช. (2560). *การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทางวิทยาศาสตร์และทักษะการคิดแก้ปัญหาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4.* (วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, .

นัสรินทร์ บือชา. (2558). *ผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา (STEM Education) ที่มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา ความสามารถในการแก้ปัญหาและความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ของนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5.* (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

บุญชม ศรีสะอาด. (2556). *การวิจัยเบื้องต้น.* กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

บุญอยู่ ขอพรประเสริฐ. (2559). ปรัชญาการศึกษาเชิงสร้างสรรค์และผลิตภาพ. *วารสารร่มพฤกษ์มหาวิทยาลัยเกริก, 32*(2), 203-216.

ประสาท เนืองเฉลิม. (2558). *การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21*. กรุงเทพฯ: แอคทีฟ พริ้นท์.

ปรีชาญ เดชศรี และคณะ. (2550). *การวัดประเมินผลเพื่อคุณภาพการเรียนรู้และตัวอย่างข้อสอบจากโครงการประเมินผลนักเรียนนานาชาติ (PISA).* กรุงเทพฯ: เซเว่น พริ้นติ้ง กรุ๊ป.

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

พิชิต ฤทธิ์จรูญ. (2552). *หลักการวัดและประเมินผลการศึกษา.* (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: เฮ้าส์ ออฟ เคอมิสท์.

พิมพันธ์ เดชะคุปต์ และพเยาว์ ยินดีสุข. (2558). *รู้เนื้อหาก่อนสอนเก่ง การเปลี่ยนวัฒนธรรมคุณภาพในศตวรรษที่ 21.* กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิศิษฐ ตัณฑวณิช. (2558). แนวคิดการจำแนกพฤติกรรมการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์การจัดการศึกษาด้านพุทธิพิสัยตามแนวคิดของบลูมและคณะฉบับปรับปรุง. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, 3*(2), 13-25.

พีรเดช จันทร. (2560). *เป้าหมายสะเต็มศึกษา.* สืบค้นจาก http://www.stemthaied.com

ไพฑูรย์ สินลารัตน์. (2560). *คิดผลิตภาพ สอนและสร้างได้อย่างไร.* กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

_____. (2560). คิดวิเคราะห์ สอนและสร้างได้อย่างไร. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

_____. (2560). คิดสร้างสรรค์ สอนและสร้างได้อย่างไร. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

_____. (2560). ศาสตร์การคิด. กรุงเทพฯ: DPU Coolprint มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.

ภพ เลาหไพบูลย์. (2542). แนวการสอนวิทยาศาสตร์. ฉบับปรับปรุง. (พิมพ์ครั้งที่ 3) กรุงเทพฯ: เชียงใหม่ คอมเมอร์เชียล.

มนตรี จุฬาวัฒนพล. (2556). การศึกษาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมและคณิตศาสตร์หรือสะเต็มศึกษา. *สมาคมครูวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 19*(3), 3-4.

รักษ์ศิริ จิตอารี. (2560). กรพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนตามทฤษฎีการสร้างความรู้และการจัดการเรียนรู้ STEM EDUCATION. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 19*(2), 202-213.

ลัดดาวัลย์ นางประโคน. (2560). *การจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการคิดสร้างสรรค์ในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, มหาสารคาม.

ลิปปนท์ เกตุทัต. (2538). *การศึกษาไทยในยุคโลกาภิวัตน์.* ปัตตานี: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ลิขิต ธีรเวคิน. (2536). *การเมืองการปกครองของไทย.* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

วศิณีส์ อิศรเสนา ณ อยุธยา. (2560). *เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับ STEM Education (สะเต็มศึกษา).* กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วัฒนาพร ระงับทุกข์. (2542). *แผนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง.* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: วัฒนาพานิช.

ศศิธร จันทมฤก และคณะ. (2561). รูปแบบการจัดการศึกษาวไลอลงกรณีสำหรับการศึกษายุค 4.0: การเรียนรู้เชิงสร้างสรรค์ และผลิตภาพ. *วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์, 12*(2), 257-269.

ศิริชัย กาญจนวาสี. (2554). *ทฤษฎีการประเมิน.* (พิมพ์ครั้งที่ 8.) กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันทดสอบทางการศึกษาแห่งชาติ. (2560). *ผลการทดสอบ O-net ปีการศึกษา 2559 และ2560*. สืบค้นจาก https://www.niets.or.th/th

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2546). *แนวคิดของการวัดผลประเมินผลวิทยาศาสตร์.* กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

_____. (2554). *หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมเคมี เล่ม 4 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6*. กรุงเทพฯ: สกสค.

_____. (2554). *คู่มือการจัดการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์.* กรุงเทพฯ: คุรุสภาลาดพร้าว.

_____. (2557). *สะเต็มศึกษา.* กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

_____. (2559). *ผลการประเมินโครงการ PISA 2015*. กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

_____. (2560). *กิจกรรมสะเต็มศึกษา ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย (ม.4-,.6).* กรุงเทพฯ: สกสค.

_____. (2561). *ผลการประเมิน PISA 2015 วิทยาศาสตร์ การอ่าน และคณิตศาสตร์ ความเป็นเลิศ และความเท่าเทียมทางการศึกษา.* กรุงเทพฯ: ซัคซสพับลิเคชั่น.

สมจิต สวธนไพบูลย์. (2535). *การประมวลการพัฒนาการสอนวิทยาศาสตร์.* กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

สมนึก ภัททิยธนี. (2553). *การวัดผลการศึกษา.* กาฬสินธุ์: ประสานการพิมพ์.

สมพร โกมารทัต. (2557). การเรียนรู้เชิงผลิตภาพ. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, 25*(3), 1-11.

สฤณี อาชวานันทกุล. (2561). *ข้อสังเกตบางประการต่อ ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี.* สืบค้นจาก https://www.the101.world/strategic-plan-or-pipe-dream/

สุภาวดี สาระวัน. (2562). *สะเต็มศึกษากับกระบวนการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21.* สืบค้นจาก https://www.scimath.org/article-stem/item/9112-21.

สุวิทย์ เมษินทรีย์. (2559). *แนวคิดเกี่ยวกับประเทศไทย 4.0.* สืบค้นจาก http://www.industry.go.th/ict/index.php?option=com_k2&view=item&id330.

อภิสิทธิ์ ธงชัย. (2556). เทคโนโลยีและวิศวกรรมคืออะไรในสะเต็ม. *วารสารสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศษสตร์และเทคโนโลยี(สสวท.), 42*(185), 10-13.

อาทิตย์ ฉิมกุล. (2559). *ผลของการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย.* (วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

อานุภาพ เลขะกุล. (2551). *อาจารย์มืออาชีพ: แนวคิด เครื่องมือและการพัฒนา.* กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อิทธิพัทธ์ สุวทันพรกูล. (2561). *การวิจัยทางการศึกษา: แนวคิด และการประยุกต์ใช้.* กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Alicia Cotabish, Deborah Dailey, Gail D Hughes, and Ann Robinson. (2011). The Effects of a STEM Professional Development Intervention on Elementary Teachers' Science Process Skills. *Research in the Schools, 18*(2), 16-25. Retrieved form https://www.researchgate.net/publication/291345603_The_Effects_of_a_STEM_Professional_Development_Intervention_on_Elementary_Teachers'_Science_Process_Skills.

Mindy Levine, Nicole Serio, Bhasker Radaram, Saudip Chadhuri, and William Talbert. (2015). Addressing the STEM Gender Gap by Designing and Implementing an Educational Outreach Chemistry Camp for Middle School Girls. *Journal of Chemical Education 2015, 92*(10), 1639-1644. Retrieved form https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed500945g.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบเครื่องมือ

รายนามผู้เชี่ยวชาญในการตรวจคุณภาพเครื่องมือวิจัย

1. ชื่อ นางอมรรัตน์ ศรีสวัสดิ์

สถานที่ทำงาน	โรงเรียนประจวบวิทยาลัย ตำบลประจวบคีรีขันธ์ อำเภอเมืองประจวบ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
วุฒิการศึกษา	การศึกษามหาบัณฑิต (กศ.ม.) วิชาเอกเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ประสบการณ์หรือความชำนาญ	ครูชำนาญการพิเศษ (คศ.3)

2. ชื่อ นางนิษานาถ บุญยิ้ม

สถานที่ทำงาน	โรงเรียนประจวบวิทยาลัย ตำบลประจวบคีรีขันธ์ อำเภอเมืองประจวบ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วิชาเอกเคมี มหาวิทยาลัยนเรศวร
ประสบการณ์หรือความชำนาญ	ครู (คศ.1)

3. ชื่อ นายนิติธรรม จันทร์แจ่ม

สถานที่ทำงาน	โรงเรียนประจวบวิทยาลัย ตำบลประจวบคีรีขันธ์ อำเภอเมืองประจวบ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
วุฒิการศึกษา	การศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกการสอนวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
ประสบการณ์หรือความชำนาญ	ครู (คศ.1)

ภาคผนวก ข

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ตัวอย่างแผนรายหน่วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องเซลล์กัลวานิก

รหัสวิชา ว33222 ชื่อวิชา เคมี4 **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6**

ภาคเรียนที่ 2 **เวลา 18 ชั่วโมง**

---

1. ผลการเรียนรู้

1. ทดลอง และอธิบายเกี่ยวกับปฏิกิริยารีดอกซ์ และดุลสมการสมการรีดอกซ์โดยใช้เลขออกซิเดชัน และครึ่งปฏิกิริยา

2. ทดลอง และอธิบายเกี่ยวกับเซลล์กัลวานิก พร้อมทั้งเขียนแผนภาพเซลล์กัลวานิก

3. อธิบายวิธีหาค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ โดยใช้ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ (E°) และทำนายการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์

4. ทดลอง อธิบาย และเขียนสมการของเซลล์กัลวานิก และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

2. สาระสำคัญ

ปฏิกิริยารีดอกซ์ คือ ปฏิกิริยาเคมี ที่มีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนระหว่างสารตั้งต้นทำให้เลขออกซิเดชันมีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะทำให้มีอะตอมของธาตุบางตัวสูญเสียหรือได้รับอิเล็กตรอน จะเรียกปฏิกิริยาที่เกิดการเสียอิเล็กตรอนว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยธาตุที่เสียอิเล็กตรอนเรียกว่าตัวรีดิวซ์หรือตัวถูกออกซิไดส์ และเรียกปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอนว่า ปฏิกิริยารีดักชัน โดยธาตุที่รับอิเล็กตรอนเรียกตัวออกซิไดส์หรือตัวถูกรีดิวซ์ การดุลสมการรีดอกซ์จะทำได้ 2 วิธีคือ ดุลด้วยเลขออกซิเดชัน และดุลด้วยครึ่งปฏิกิริยา

การใช้ปฏิกิริยาเคมีทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเกิดได้ในเซลล์ไฟฟ้าเคมี โดยมีส่วนประกอบหลักได้แก่ ขั้วไฟฟ้า และอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งขั้วไฟฟ้าเป็นวัสดุที่นำไฟฟ้าโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ส่วนอิเล็กโทรไลต์เป็นวัสดุนำไฟฟ้าโดยการเคลื่อนที่ของไอออนที่เป็นองค์ประกอบ บริเวณที่ขั้วไฟฟ้าและอิเล็กโทรไลต์สัมผัสกันจะเป็นบริเวณที่ไอออนในอิเล็กโทรไลต์ และอิเล็กตรอนในขั้วไฟฟ้าเคลื่อนที่เข้าหากันหรือแยกออกจากกัน การสร้างเซลล์ไฟฟ้าเคมีจะต้องมีบริเวณที่ขั้วไฟฟ้า และอิเล็กโทรไลต์สัมผัสกันที่แตกต่างกันอย่างน้อย 2 ชนิด คือ ขั้วแคโทด ที่จะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน และขั้วแอโนดที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนผ่านลวดตัวนำจากขั้วโลหะหนึ่งไปยังอีกขั้วโลหะหนึ่งซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าไม่เท่ากัน เมื่อขั้วโลหะมากขึ้นก็จะมีความต่างศักย์ไฟฟ้ามากขึ้นตามความสัมพันธ์และฟังก์ชัน ซึ่งอิเล็กตรอนจะไหลจากศักย์ไฟฟ้าต่ำไปสู่ศักย์ไฟฟ้าสูง และมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร เรียกว่า เซลล์กัลวานิก แผนภาพเซลล์กัลวานิกจะประกอบด้วยปฏิกิริยาของขั้วแคโทด และปฏิกิริยาของขั้วแอโนด โดยสะพานเกลือ ทำจากกระดาษชุบสารละลายอิ่มตัวที่สามารถแตกตัวเป็นไอออน มีหน้าที่ปรับสมดุลของไอออนในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อนำครึ่งเซลล์ต่างชนิดกันมาต่อเป็น

เซลล์กัลวานิก อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากขั้วที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำไปยังขั้วที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่า โดยอ่านค่าได้จากโวลต์มิตเตอร์ เพื่อเป็นมาตรฐานจึงกำหนดครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐาน หรือขั้วไฟฟ้าไฮโดรเจนมาตรฐาน ให้มีศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน 0 โวลต์ และใช้เป็นครึ่งเซลล์มาตรฐานในการเปรียบเทียบ ซึ่งถ้ามีค่า E° มากกว่าจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน แต่ถ้ามีค่า E° น้อยกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเซลล์กัลวานิกเป็นการนำสองครึ่งเซลล์มาต่อกันซึ่งครึ่งเซลล์ที่รับอิเล็กตรอนจะเกิดที่ขั้วแคโทด จะมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าครึ่งเซลล์ที่ให้อิเล็กตรอนซึ่งจะเกิดที่ขั้วแอโนด ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์คือ ผลต่างระหว่างศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ที่มีศักย์สูงกับครึ่งเซลล์ที่มีศักย์ต่ำ $E^{\circ}_{cell} = E^{\circ}_{cathode} - E^{\circ}_{anode}$ โดยค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์มีค่าเป็นลบ ปฏิกิริยารีดอกซ์จะไม่สามารถเกิดขึ้นเองได้ และอีกชนิดหนึ่งคือเซลล์แบบความเข้มข้น โดยใช้ขั้วโลหะชนิดเดียวกัน แต่สารละลายอิเล็กโทรไลต์มีความเข้มข้นแตกต่างกัน แล้วนำความรู้ที่ได้ออกแบบวางแผน ประดิษฐ์ และปรับปรุงโคมไฟส่องสว่าง โดยอาศัยความรู้เรื่องเซลล์กัลวานิก เพื่อช่วยให้เกิดแสงสว่าง ซึ่งนอกจากโคมไฟส่องสว่าง เซลล์กัลวานิกสามารถจำแนกการใช้ประโยชน์ตามลักษณะของการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ขั้วของเซลล์ไฟฟ้า แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ เซลล์ปฐมภูมิ และเซลล์ทุติยภูมิ

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

ด้านความรู้ความเข้าใจ (K) นักเรียนสามารถ

1. อธิบายความหมายของปฏิกิริยารีดอกซ์ได้
2. อธิบายความแตกต่างของปฏิกิริยาออกซิเดชัน กับปฏิกิริยารีดักชันได้
3. อธิบายความหมายของตัวรีดิวซ์ และตัวออกซิไดส์ของสารในปฏิกิริยาได้
4. อธิบายการเกิดกระแสไฟฟ้าในเซลล์กัลวานิกได้
5. อธิบายปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด และขั้วแอโนดได้
6. อธิบายหน้าที่ของสะพานเกลือได้
7. อธิบายวิธีการหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ได้
8. อธิบายวิธีการหาค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ โดยใช้ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ได้
9. อธิบายประโยชน์ของเซลล์กัลวานิกได้

ด้านทักษะกระบวนการ (P) นักเรียนสามารถ

1. เปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ของสารในปฏิกิริยาได้
2. ดุลสมการรีดอกซ์โดยใช้เลขออกซิเดชัน และครึ่งปฏิกิริยาได้
3. เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด และขั้วแคโทดได้
4. เขียนแผนภาพเซลล์กัลวานิกได้
5. ประยุกต์ความรู้เกี่ยวกับเรื่องความสัมพันธ์และฟังก์ชันได้

6. ทำนายการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้

7. เปรียบเทียบความสามารถในการให้ และรับอิเล็กตรอนจากโลหะต่างชนิดกันได้

8. คำนวณค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ได้

9. ประยุกต์ความรู้เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และการออกแบบได้

10. ออกแบบ และประดิษฐ์โคมไฟ จากเซลล์กัลวานิกได้

ด้านคุณลักษะอันพึงประสงค์ (A)

1. นักเรียนสนใจใฝ่เรียนรู้ และร่วมทำกิจกรรมในชั้นเรียน

2. นักเรียนมีความรับผิดชอบในชั้นเรียน และเข้าชั้นเรียนตรงเวลา

3. นักเรียนมีความซื่อสัตย์ต่องานที่ได้รับมอบหมาย

4. สาระการเรียนรู้

1. ปฏิกิริยารีดอกซ์
2. การดุลสมการรีดอกซ์
3. เซลล์กัลวานิก
4. แผนภาพเซลล์กัลวานิก
5. ความสัมพันธ์และฟังก์ชัน โปรแกรม GeoGebra
6. ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์
7. ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์

5. สมรรถนะ

1. ความสามารถในการสื่อสาร
2. ความสามารถในการคิด
3. ความสามารถในการแก้ปัญหา
4. ความสามารถในการใช้ทักษะชีวิต
5. ความสามารถในการใช้เทคโนโลยี

6. กระบวนการจัดการเรียนรู้

6.1 ขั้นก่อนทำกิจกรรม (10 นาที)

ครูทบทวนความรู้เรื่อง เลขออกซิเดชัน เพื่อให้ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับเลขออกซิเดชัน ดังนี้

1. ธาตุอิสระหรือธาตุบริสุทธิ์ เลขออกซิเดชัน เท่ากับ 0 เช่น Na Cu O_2 N_2 S_8

2. โลหะหมู่ I เลขออกซิเดชันเท่ากับ +1 เสมอ เช่น Li^+ Na^+ K^+

3. โลหะหมู่ II เลขออกซิเดชันเท่ากับ +2 เสมอ เช่น Be^{2+} Mg^{2+}

4. H มี เลขออกซิเดชันเท่ากับ +1 ยกเว้น สารประกอบโลหะไฮไดรด์ เช่น NaH LiH KH ซึ่ง H มี เลขออกซิเดชันเท่ากับ -1

5. O มี เลขออกซิเดชันเท่ากับ -2 ยกเว้น - สารประกอบเปอร์ออกไซด์ เช่น H_2O_2, O มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -1 สารประกอบซุปเปอร์ออกไซด์ เช่น NaO_2, O มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ $-\frac{1}{2}$

6. ธาตุหมู่ VII มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -1 เช่น F^- Cl^- Br^- I^-

7. เลขออกซิเดชันไอออนอะตอมเดี่ยว = ประจุของไอออนนั้น เช่น Na^+ มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +1, O^{2-} มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -2

8. เลขออกซิเดชันเท่ากับสารประกอบเท่ากับประจุที่แสดงไอออนนั้น เช่น SO_4^{2-} มีเลขออกซิเดชันรวมเท่ากับ -2, NO_2 มีเลขออกซิเดชันรวมเท่ากับ 0

6.2 ขั้นทำกิจกรรม

- **ขั้นระบุปัญหา (30 นาที)**

ครูให้นักเรียนศึกษาใบกิจกรรม เรื่องโคมไฟส่องสว่าง โดยกำหนดสถานการณ์ดังต่อไปนี้ “ถ้านักเรียนอยู่บ้านเพียงคนเดียว และในวันรุ่งขึ้นมีสอบเก็บคะแนนวิชาเคมี ปรากฏว่าเมื่อถึงเวลา 2 ทุ่ม ไฟเกิดดับทั้งหมู่บ้าน เนื่องจาก มีรถบรรทุกเสียหลักชนเสาไฟฟ้า ซึ่งดูจากสถานการณ์ดังกล่าวแล้วคงดับเป็นเวลานาน นักเรียนจึงต้องสร้างโคมไฟเพื่ออ่านหนังสือโดยใช้อุปกรณ์ และสารที่พบได้จากในครัวเรือน โดยให้มีความสว่างมากที่สุดเพื่อเหมาะกับการอ่านหนังสือ”

ครู ให้นักเรียนแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 4-5 คน เพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น

ครู : ปัญหาของสถานการณ์ดังกล่าวคืออะไร

นักเรียน : ไฟฟ้าดับขณะอ่านหนังสือ

ครู : นักเรียนมีแนวการแก้ไขปัญหานี้ได้อย่างไร

นักเรียน : การผลิตแหล่งกำเนิดแสงชนิดใหม่

ครู : นักเรียนคิดว่าปฏิกิริยาเคมีจะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าแทนได้หรือไม่

นักเรียน : สามารถ/ไม่สามารถ

- **ขั้นรวบรวมข้อมูล และแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (11 ชั่วโมง)**

1) ปฏิกิริยารีดอกซ์ (4 ชั่วโมง)

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับปฏิกิริยารีดอกซ์ และปฏิกิริยานอนรีดอกซ์จากกิจกรรม กลุ่มไหน...กลุ่มนั้น โดยครูจะยกตัวอย่างปฏิกิริยาเคมี และแบ่งกลุ่มปฏิกิริยาเคมีดังกล่าวออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มปฏิกิริยารีดอกซ์ และกลุ่มปฏิกิริยานอนรีดอกซ์ แล้วใช้คำถามดังต่อไปนี้

ครู : ปฏิกิริยาทั้ง 2 กลุ่มจัดเป็นปฏิกิริยาเคมีหรือไม่ อย่างไร

นักเรียน : ทั้ง 2 กลุ่มจัดเป็นปฏิกิริยาเคมี เนื่องจาก เกิดสารใหม่ขึ้น

ครู : ปฏิกิริยารีดอกซ์ และนอนรีดอกซ์ทั้ง 2 กลุ่มนั้น มีความแตกต่างกันอย่างไร

นักเรียน : ปฏิกิริยารีดอกซ์มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชันของธาตุ แต่ปฏิกิริยานอนรีดอกซ์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน

ครู : นักเรียนคิดว่าการเปลี่ยนแปลงของเลขออกซิเดชันเกิดจากอะไร

นักเรียน : การเปลี่ยนแปลงของจำนวนอิเล็กตรอน

ครูให้นักเรียนทำกิจกรรมการทดลองเพิ่มเติมเกี่ยวกับปฏิกิริยารีดอกซ์จากใบกิจกรรมที่ 1 ปฏิกิริยาระหว่างโลหะกับสารละลายของโลหะไอออน

2) เซลล์กัลวานิก (4 ชั่วโมง)

ครูให้นักเรียนสืบค้นเรื่องเซลล์ไฟฟ้าเคมี แล้วอภิปรายร่วมกันในชั้นเรียน

ครู : ปฏิกิริยาเคมี สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

นักเรียน : ได้ เนื่องจาก ปฏิกิริยารีดอกซ์มีการให้ และรับอิเล็กตรอน โดยอิเล็กตรอนมีการเคลื่อนที่ อาจทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าได้

ครู : เซลล์ไฟฟ้าเคมีแบ่งออกเป็นกี่ประเภท อะไรบ้าง

นักเรียน : 2 ประเภท คือ เซลล์กัลวานิก และเซลล์อิเล็กโทรไลต์

ครู : เซลล์ทั้งสองประเภทแตกต่างกันอย่างไร

นักเรียน : เซลล์กัลวานิก คือเซลล์ที่ปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า ส่วนเซลล์อิเล็กโทรไลต์ คือเซลล์ที่เปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเคมี

ครูให้นักเรียนทำกิจกรรมจากใบกิจกรรมใบที่ 2 การถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิก

3) ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ (3 ชั่วโมง)

ครูให้นักเรียนศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ และขค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ ครูกับนักเรียนร่วมกันอภิปรายโดยใช้คำถามดังต่อไปนี้

ครู : ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์แสดงสมการแบบใด

นักเรียน : สมการแบบปฏิกิริยารีดักชัน

ครู : ดังนั้น ถ้าสารชนิดใดมีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์มากกว่าจะเกิดปฏิกิริยาแบบใด

นักเรียน : เกิดปฏิกิริยารีดักชัน

ครู : นักเรียนคิดว่าค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ กับค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ มีความสัมพันธ์กันหรือไม่ อย่างไร

นักเรียน : มีความสัมพันธ์กัน โดยค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ หาได้จาก ค่าศักย์ไฟฟ้า

มาตรฐานของครึ่งเซลล์แคโทด(ปฏิกิริยารีดักชัน)-ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์แอโนด (ปฏิกิริยาออกซิเดชัน)

ครู : ดังนั้นถ้านักเรียนต้องการความต่างศักย์ทางไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์กัลวานิกมากๆ ขึ้น นักเรียนจะมีวิธีการอย่างไร

นักเรียน : เลือกโลหะที่จะนำมาเป็นขั้วทางไฟฟ้าให้มีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์แตกต่างให้มากที่สุด

ครูให้นักเรียนทำแบบฝึกหัดในใบงาน เรื่อง ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์

- **ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (1 ชั่วโมง)**

ครูให้นักเรียนร่วมกันกำหนดเงื่อนไขการประดิษฐ์โคมไฟส่องสว่างร่วมกัน แล้วให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดให้เพื่อสร้างผลงานโคมไฟส่องสว่าง พร้อมทั้งร่างแบบโคมไฟลงในกระดาษโดยกำหนดอัตราส่วน และรายละเอียดให้ชัดเจน

- **ขั้นวางแผน และดำเนินการแก้ปัญหา (3 ชั่วโมง)**

ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มกำหนดวางแผนการดำเนินงาน เช่น ขั้นตอนการดำเนินงาน ปริมาณของวัสดุอุปกรณ์ สารเคมีที่ใช้เพื่อนำมาสร้างเป็นโคมไฟส่องสว่าง เป็นขั้นตอนให้ชัดเจน

ครูให้นักเรียนดำเนินตามแผนขั้นตอนที่ได้กำหนดไว้ โดยครูจะเป็นผู้ให้คำแนะนำเพิ่มเติม และอำนวยความสะดวกเกี่ยวกับอุปกรณ์การทดลองให้กับนักเรียนในแต่ละกลุ่ม และกระตุ้นความคิดของนักเรียนเพิ่มเติม

- **ขั้นทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (1 ชั่วโมง)**

ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มนำชิ้นงานที่ได้สร้างขึ้นมาทดสอบวัดความสว่างของหลอดไฟโดยใช้โปรแกรม Lux meter แล้วเปิดโอกาสให้นักเรียน ร่วมกันระดมความคิด และอภิปรายแนวทางการปรับปรุง หรือแก้ชิ้นงานให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด และทดสอบอีกครั้งเพื่อการแข่งขันหาผู้ชนะ

- **ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (1 ชั่วโมง)**

ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา และผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงานที่ได้สร้างขึ้น และเปิดโอกาสให้นักเรียนได้คิดต่อยอดปรับปรุงเพื่อพัฒนาสู่การขายต่อไป

6.3 ขั้นขยายความรู้ และสรุป (20 นาที)

ครูให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับประโยชน์ของเซลล์กัลวานิก โดยมีเนื้อหาดังนี้

- เซลล์กัลวานิก ประเภทเซลล์ปฐมภูมิ ได้แก่

1. เซลล์แห้ง (Dry Cell) หรือเซลล์เลอคลังเช (LeClanche Cell)

เซลล์ไฟฟ้าชนิดนี้ถูกเรียกว่า เซลล์แห้ง เพราะไม่ได้ใช้ของเหลวเป็นอิเล็กโทรไลต์ เป็นเซลล์ที่ใช้ในไฟฉาย หรือใช้ในประโยชน์อื่น ๆ เช่น ในวิทยุ เครื่องคิดเลข ฯลฯ

2. เซลล์แอลคาไลน์ (Alkaline Cell)

เซลล์แอลคาไลน์มีส่วนประกอบของเซลล์เหมือนกับเซลล์เลอคลังเช แต่มีสิ่งที่แตกต่างกันคือเซลล์แอลคาไลน์ใช้เบสซึ่งได้แก่โพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นอิเล็กโทรไลต์ แทนแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) และเนื่องจากใช้สารละลายเบสนี่เองเซลล์ชนิดนี้จึงถูกเรียกว่า เซลล์แอลคาไลน์

3. เซลล์ปรอท (Mercury Cell)

มีหลักการเช่นเดียวกับเซลล์แอลคาไลน์ แต่ใช้เมอร์คิวรี (II) ออกไซด์ (HgO) แทนแมงกานีส (IV) ออกไซด์ (MnO_2) เป็นเซลล์ที่มีขนาดเล็กใช้กันมากในเครื่องฟังเสียงสำหรับคนหูพิการ หรือใช้ในอุปกรณ์อื่น เช่น นาฬิกาข้อมือ เครื่องคิดเลข เซลล์นี้จะให้ศักย์ไฟฟ้าประมาณ 1.3 โวลต์ ให้กระแสไฟฟ้าต่ำ แต่สามารถให้ค่าศักย์ไฟฟ้าคงที่ตลอดอายุการใช้งาน

4. เซลล์เชื้อเพลิง

องค์ประกอบสำคัญของเซลล์เชื้อเพลิงได้แก่ แอโนด (anode)เป็นขั้วไฟฟ้าที่ให้ประจุลบกับเซลล์เชื้อเพลิง มีหน้าที่ส่งผ่านประจุอิเล็กตรอนหรือประจุไฟฟ้าลบออกไปทางขั้วไฟฟ้า เมื่อต่อสายไฟกับขั้วไฟฟ้า ประจุไฟฟ้าจะไหลออกไป ส่วนแก๊สไฮโดรเจนที่ถูกดึงอิเล็กตรอนออกไปจะแสดงประจุบวก เรียกว่า โปรตอนแคโทด (Cathode) เป็นขั้วไฟฟ้าที่ให้ประจุบวกกับเซลล์เชื้อเพลิง มีหน้าที่ต่อเข้ากับสายไฟภายนอก รับอิเล็กตรอนมารวมกับอะตอมของแก๊สออกซิเจนกับไฮโดรเจนกลายเป็นโมเลกุลของน้ำอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ทำจากวัสดุต่าง ๆ เช่น สารละลาย, แผ่นพลาสติก มีหน้าที่คือยอมให้ประจุบวกหรือโปรตอนเคลื่อนที่ผ่าน

- เซลล์กัลวานิก ประเภทเซลล์ทุติยภูมิ

1. แบตเตอรี่สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่ว (Lead Storage Battery)

แบตเตอรี่คือเซลล์ไฟฟ้าหลาย ๆ เซลล์ต่อกันเป็นอนุกรม แบตเตอรี่สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่วนี้เป็นแบตเตอรีที่ใช้ในรถยนต์ โดยประกอบด้วยเซลล์ไฟฟ้า 6 เซลล์ แต่ละเซลล์จะมีศักย์ไฟฟ้า 2 โวลต์ ดังนั้นแบตเตอรี่ในรถยนต์มีศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์

2. เซลล์นิกเกิล-แคดเมียม หรือเซลล์นิแคด (Nickel-Cadmium Cell)

3. เซลล์ลิเทียมไอออน (Lithium Ion Cell)

เซลล์ลิเทียมอาจให้ศักย์ไฟฟ้าสูงถึง 3 โวลต์เป็นเซลล์ที่ใช้อิเล็กโทรไลต์เป็นของแข็ง ได้แก่ สารพอลิเมอร์ที่ยอมให้ไอออนผ่านแต่ไม่ยอมให้อิเล็กตรอนผ่าน ขั้วแอโนดคือลิเทียมซึ่งเป็นธาตุที่มีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานต่ำที่สุด มีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนได้ดีที่สุด ส่วนแคโทดใช้สารที่เรียกว่าสารประกอบแทรกชั้น (Insertion Compound) ได้แก่ TiS_2หรือV_6O_{13}

7. การวัดและประเมินผล

1. ประเมินพฤติกรรมขณะเข้าร่วมกิจกรรม
2. ประเมินแผนผังความคิด
3. ประเมินการออกแบบการสร้างโคมไฟ
4. ประเมินโมเดลโคมไฟ
5. ประเมินใบกิจกรรม
6. ประเมินพฤติกรรมการปฏิบัติการทดลอง
7. ประเมินการสืบค้น
8. ประเมินความสามารถในการคิดผลิตภาพ

8. สื่อการเรียนการสอนและแหล่งการเรียนรู้

1. หนังสือเรียนเคมีเพิ่มเติม เล่ม 4 ของ สสวท.
2. ใบกิจกรรมเรื่อง โคมไฟส่องสว่าง
3. อุปกรณ์การทดลองเรื่อง ปฏิกิริยาระหว่างโลหะกับสารละลายของโลหะไอออน การถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิก
4. อุปกรณ์ประดิษฐ์โคมไฟส่องสว่าง

จากแผนรายหน่วยในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เรื่องเซลล์กัลวานิก สามารถแบ่งเป็นแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ 4 แผน ได้แก่ 1) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ปฏิกิริยารีดอกซ์ 2) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง พลังงานไฟฟ้าจากปฏิกิริยาเคมี 3) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์และ4) แผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง โคมไฟส่องสว่าง โดยมีตัวอย่างแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้รายคาบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ตัวอย่างแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ 4

รหัสวิชา ว33222 ชื่อวิชา เคมี4 **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6** **ภาคเรียนที่ 2**

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 **ชื่อหน่วย ไฟฟ้าเคมี**

เรื่อง โคมไฟส่องสว่าง **เวลา 6 ชั่วโมง**

---

1. ผลการเรียนรู้

ทดลอง อธิบาย และเขียนสมการของเซลล์กัลวานิก และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

2. สาระสำคัญ

ออกแบบวางแผน ประดิษฐ์ และปรับปรุงโคมไฟส่องสว่าง โดยอาศัยความรู้เรื่องเซลล์กัลวานิก เพื่อช่วยให้เกิดแสงสว่าง ซึ่งนอกจากโคมไฟส่งสว่าง เซลล์กัลวานิกสามารจำแนกการใช้ประโยชน์ตามลักษณะของการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ขั้วของเซลล์ไฟฟ้า แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ เซลล์ปฐมภูมิ และเซลล์ทุติยภูมิ

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

ด้านความรู้ความเข้าใจ (K) นักเรียนสามารถ

1. อธิบายเรื่องเซลล์กัลวานิกได้
2. อธิบายประโยชน์ของเซลล์กัลวานิกได้

ด้านทักษะกระบวนการ (P) นักเรียนสามารถ

1. ประยุกต์ความรู้เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และการออกแบบได้
2. ออกแบบ และประดิษฐ์โคมไฟ จากเซลล์กัลวานิกได้

ด้านคุณลักษะอันพึงประสงค์ (A)

1. นักเรียนสนใจใฝ่เรียนรู้ และร่วมทำกิจกรรมในชั้นเรียน
2. นักเรียนมีความรับผิดชอบในชั้นเรียน และเข้าชั้นเรียนตรงเวลา
3. นักเรียนมีความซื่อสัตย์ต่องานที่ได้รับมอบหมาย

4. สาระการเรียนรู้

- เซลล์กัลวานิก

5. สมรรถนะ

1. ความสามารถในการสื่อสาร

2. ความสามารถในการคิด

3. ความสามารถในการแก้ปัญหา

4. ความสามารถในการใช้ทักษะชีวิต

5. ความสามารถในการใช้เทคโนโลยี

6. กระบวนการจัดการเรียนรู้

6.1 ขั้นก่อนทำกิจกรรม (ชั่วโมงที่ 1-5)

ครูทบทวนปัญหา และข้อมูลที่นำมาใช้กับนักเรียนโดยใช้คำถามดังต่อไปนี้

ครู : จากการทำกิจกรรมปัญหาของนักเรียนคืออะไร

นักเรียน : การผลิตโคมไฟส่องสว่างในการอ่านหนังสือที่สร้างโดยอุปกรณ์และสารเคมีภายในบ้าน

ครู : นักเรียนจะใช้ความรู้ใดบ้างมาผลิตโคมไฟดังกล่าว

นักเรียน : เซลล์กัลวานิก ปฏิกิริยารีดอกซ์และค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์

ครูให้นักเรียนทบทวนความรู้ โดยทำกิจกรรม เพื่อนบอกต่อ โดยแบ่งนักเรียนออกเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 4-5 คน และให้นักเรียนแต่ละกลุ่มรับหน้าที่ในการอธิบายเรื่อง ปฏิกิริยารีดอกซ์ การดุลสมการรีดอกซ์ เซลล์ไฟฟ้าเคมี เซลล์กัลวานิก และค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ โดยให้เวลาแต่ละกลุ่มนำเสนอเพียง 2 นาทีให้เพื่อนกลุ่มอื่นๆ ได้ฟัง

6.2 ขั้นทำกิจกรรม (ชั่วโมงที่ 1-5)

- **ขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา**

นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงสารที่มีอยู่ตามบ้านทั่วไป เพื่อสร้างผลงาน โคมไฟส่องสว่างตามเกณฑ์ที่กำหนด และเป็นไปตามเกณฑ์ที่ได้ตั้งขึ้น พร้อมทั้งร่างแบบโคมไฟลงในกระดาษ

- **ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา**

1. ครูให้นักเรียนแต่ละกลุ่มกำหนดวางแผนการดำเนินงาน เช่น ขั้นตอนการดำเนินงาน ปริมาณของวัสดุอุปกรณ์ เพื่อนำมาสร้างเป็นโคมไฟส่องสว่าง

2. นักเรียนดำเนินตามแผนที่ได้วางไว้ โดยครูจะเป็นผู้ให้คำแนะนำเพิ่มเติมกับนักเรียนในแต่ละกลุ่ม และกระตุ้นความคิดของนักเรียนเพิ่มเติม

- **ขั้นทดสอบ ประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน**

1. นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอผลงานที่ได้สร้างขึ้น โดยใช้โปรแกรม Lux meter ในการวัดความสว่างของแสง รวมทั้งนำเสนอแนวคิดการออกแบบ วัสดุหรือสารที่ใช้ รูปทรงของโคมไฟหน้าห้องเรียน

2. กลุ่มที่ไม่ได้ผลตามที่กำหนด ให้สมาชิกในกลุ่มร่วมกันระดมความคิด และอภิปรายแนวทางการปรับปรุง หรือแก้ชิ้นงานให้มีความเหมาะสมมากที่สุด

- **ขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน**

ครูสอบถามการแก้ไขปรับปรุง และพัฒนาชิ้นงาน หลังจากได้ระดมความคิด และอภิปรายร่วมกันภายในกลุ่ม พร้อมทั้งระบุเหตุผลในการปรับปรุง และให้นักเรียนแต่ละกลุ่มออกแบบเป็นโปสเตอร์เพื่อนำเสนอให้กับกลุ่มอื่นๆ ได้ศึกษา

6.3 ขั้นขยายความรู้ และสรุป (ชั่วโมงที่ 6)

ครูขยายความรู้เกี่ยวกับประเภทของเซลล์กัลวานิกและการใช้ประโยชน์ ดังนี้

- เซลล์กัลวานิก ประเภทเซลล์ปฐมภูมิ ได้แก่

1. เซลล์แห้ง (Dry Cell) หรือเซลล์เลอคลังเช (LeClanche Cell)

เซลล์ไฟฟ้าชนิดนี้ถูกเรียกว่า เซลล์แห้ง เพราะไม่ได้ใช้ของเหลวเป็นอิเล็กโทรไลต์ เป็นเซลล์ที่ใช้ในไฟฉาย หรือใช้ในประโยชน์อื่น ๆ เช่น ในวิทยุ เครื่องคิดเลข ฯลฯ

2. เซลล์แอลคาไลน์ (Alkaline Cell)

เซลล์แอลคาไลน์มีส่วนประกอบของเซลล์เหมือนกับเซลล์เลอคลังเช แต่มีสิ่งที่แตกต่างกันคือเซลล์แอลคาไลน์ใช้เบสซึ่งได้แก่โพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นอิเล็กโทรไลต์แทนแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) และเนื่องจากใช้สารละลายเบสนี่เองเซลล์ชนิดนี้จึงถูกเรียกว่าเซลล์แอลคาไลน์

3. เซลล์ปรอท (Mercury Cell)

มีหลักการเช่นเดียวกับเซลล์แอลคาไลน์ แต่ใช้เมอร์คิวรี (II) ออกไซด์ (HgO) แทนแมงกานีส (IV) ออกไซด์ (MnO_2) เป็นเซลล์ที่มีขนาดเล็กใช้กันมากในเครื่องฟังเสียงสำหรับคนหูพิการ หรือใช้ในอุปกรณ์อื่น เช่น นาฬิกาข้อมือ เครื่องคิดเลข เซลล์นี้จะให้ศักย์ไฟฟ้าประมาณ 1.3 โวลต์ ให้กระแสไฟฟ้าต่ำ แต่สามารถให้ค่าศักย์ไฟฟ้าคงที่ตลอดอายุการใช้งาน

4. เซลล์เชื้อเพลิง

องค์ประกอบสำคัญของเซลล์เชื้อเพลิงได้แก่ แอโนด (anode)เป็นขั้วไฟฟ้าที่ให้ประจุลบกับเซลล์เชื้อเพลิง มีหน้าที่ส่งผ่านประจุอิเล็กตรอนหรือประจุไฟฟ้าลบออกไปทางขั้วไฟฟ้าเมื่อต่อสายไฟกับขั้วไฟฟ้า ประจุไฟฟ้าจะไหลออกไป ส่วนแก๊สไฮโดรเจนที่ถูกดึงอิเล็กตรอนออกไปจะแสดงประจุบวก เรียกว่า โปรตอนแคโทด (Cathode) เป็นขั้วไฟฟ้าที่ให้ประจุบวกกับเซลล์เชื้อเพลิง มีหน้าที่ต่อเข้ากับสายไฟภายนอก รับอิเล็กตรอนมารวมกับอะตอมของแก๊สออกซิเจนกับไฮโดรเจนกลายเป็นโมเลกุลของน้ำอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ทำจากวัสดุต่างๆ เช่น สารละลาย, แผ่นพลาสติก มีหน้าที่คือยอมให้ประจุบวกหรือโปรตอนเคลื่อนที่ผ่าน

- เซลล์กัลวานิก ประเภทเซลล์ทุติยภูมิ

1. แบตเตอรี่สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่ว (Lead Storage Battery)

แบตเตอรี่คือเซลล์ไฟฟ้าหลาย ๆ เซลล์ต่อกันเป็นอนุกรม แบตเตอรี่สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่วนี้เป็นแบตเตอรีที่ใช้ในรถยนต์ โดยประกอบด้วยเซลล์ไฟฟ้า 6 เซลล์ แต่ละเซลล์จะมีศักย์ไฟฟ้า 2 โวลต์ ดังนั้นแบตเตอรี่ในรถยนต์มีศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์

2. เซลล์นิกเกิล-แคดเมียม หรือเซลล์นิแคด (Nickel-Cadmium Cell)

3. เซลล์ลิเทียมไอออน (Lithium Ion Cell)

เซลล์ลิเทียมอาจให้ศักย์ไฟฟ้าสูงถึง 3 โวลต์เป็นเซลล์ที่ใช้อิเล็กโทรไลต์เป็นของแข็ง ได้แก่ สารพอลิเมอร์ที่ยอมให้ไอออนผ่านแต่ไม่ยอมให้อิเล็กตรอนผ่าน ขั้วแอโนดคือลิเทียมซึ่งเป็นธาตุที่มีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานต่ำที่สุด มีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนได้ดีที่สุด ส่วนแคโทดใช้สารที่เรียกว่าสารประกอบแทรกชั้น (Insertion Compound) ได้แก่ TiS_2หรือV_6O_{13}

7. การวัดและประเมินผล

สิ่งที่ต้องการวัดและประเมิน	ภาระงาน/ชิ้นงาน	เครื่องมือวัด/วิธีการ	เกณฑ์การประเมินผล
ด้านความรู้ความเข้าใจ (K)	สิ่งประดิษฐ์	แบบประเมินสิ่งประดิษฐ์	นักเรียนมีคะแนนสิ่งประดิษฐ์ระดับดีขึ้นไป
	ใบกิจกรรมเรื่องโคมไฟส่องสว่าง	แบบประเมินใบกิจกรรม	มีคะแนนมากกว่าร้อยละ 60 ขึ้นไป
ด้านทักษะกระบวนการ (P)	สังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้	แบบสังเกตพฤติกรรมรายบุคคล	นักเรียนมีพฤติกรรมการเรียนรู้ในระดับดีขึ้นไป
	สิ่งประดิษฐ์	แบบประเมินสิ่งประดิษฐ์	ระดับดีขึ้นไป
ด้านคุณลักษะอันพึงประสงค์ (A)	สังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้	แบบสังเกตพฤติกรรมรายบุคคล	นักเรียนมีพฤติกรรมการเรียนรู้ในระดับดีขึ้นไป

8. สื่อการเรียนการสอนและแหล่งการเรียนรู้

8.1 วัสดุอุปกรณ์

- สารเคมี และอุปกรณ์ที่ใช้ในกิจกรรมการแก้ปัญหาตามรูปแบบการเรียนรู้สะเต็มศึกษา

8.2 สื่อ และแหล่งการเรียนรู้

- หนังสือเรียน เคมีเล่ม 4
- ใบกิจกรรมเรื่อง โคมไฟส่องสว่าง

ตัวอย่างแผนรายหน่วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ เรื่องเซลล์กัลวานิก

รหัสวิชา ว33222 ชื่อวิชา เคมี4 **ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6**

ภาคเรียนที่ 2 **เวลา 18 ชั่วโมง**

---

1. ผลการเรียนรู้

1. ทดลอง และอธิบายเกี่ยวกับปฏิกิริยารีดอกซ์ และดุลสมการสมการรีดอกซ์โดยใช้เลขออกซิเดชัน และครึ่งปฏิกิริยา

2. ทดลอง และอธิบายเกี่ยวกับเซลล์กัลวานิก พร้อมทั้งเขียนแผนภาพเซลล์กัลวานิก

3. อธิบายวิธีหาค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ โดยใช้ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ (E°) และทำนายการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์

4. ทดลอง อธิบาย และเขียนสมการของเซลล์กัลวานิก และนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

2. สาระสำคัญ

ปฏิกิริยารีดอกซ์ คือ ปฏิกิริยาเคมี ที่มีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนระหว่างสารตั้งต้นทำให้เลขออกซิเดชันมีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะทำให้มีอะตอมของธาตุบางตัวสูญเสียหรือได้รับอิเล็กตรอน จะเรียกปฏิกิริยาที่เกิดการเสียอิเล็กตรอนว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยธาตุที่เสียอิเล็กตรอนเรียกว่าตัวรีดิวซ์หรือตัวถูกออกซิไดส์ และเรียกปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอนว่า ปฏิกิริยารีดักชัน โดยธาตุที่รับอิเล็กตรอนเรียกตัวออกซิไดส์หรือตัวถูกรีดิวซ์ การดุลสมการรีดอกซ์จะทำได้ 2 วิธีคือ ดุลด้วยเลขออกซิเดชัน และดุลด้วยครึ่งปฏิกิริยา

การใช้ปฏิกิริยาเคมีทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเกิดได้ในเซลล์ไฟฟ้าเคมี โดยมีส่วนประกอบหลักได้แก่ ขั้วไฟฟ้า และอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งขั้วไฟฟ้าเป็นวัสดุที่นำไฟฟ้าโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ส่วนอิเล็กโทรไลต์เป็นวัสดุนำไฟฟ้าโดยการเคลื่อนที่ของไอออนที่เป็นองค์ประกอบ บริเวณที่ขั้วไฟฟ้าและอิเล็กโทรไลต์สัมผัสกันจะเป็นบริเวณที่ไอออนในอิเล็กโทรไลต์ และอิเล็กตรอนในขั้วไฟฟ้าเคลื่อนที่เข้าหากันหรือแยกออกจากกัน การสร้างเซลล์ไฟฟ้าเคมีจะต้องมีบริเวณที่ขั้วไฟฟ้า และอิเล็กโทรไลต์สัมผัสกันที่แตกต่างกันอย่างน้อย 2 ชนิด คือ ขั้วแคโทด ที่จะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน และขั้วแอโนดที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะมีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนผ่านลวดตัวนำจากขั้วโลหะหนึ่งไปยังอีกขั้วโลหะหนึ่งซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าไม่เท่ากัน เมื่อขั้วโลหะมากขึ้นก็จะมีความต่างศักย์ไฟฟ้ามากขึ้นตามความสัมพันธ์และฟังก์ชัน ซึ่งอิเล็กตรอนจะไหลจากศักย์ไฟฟ้าต่ำไปสู่ศักย์ไฟฟ้าสูง และมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร เรียกว่า เซลล์กัลวานิก แผนภาพเซลล์กัลวานิกจะประกอบด้วยปฏิกิริยาของขั้วแคโทด และปฏิกิริยาของขั้วแอโนด โดยสะพานเกลือ ทำจากกระดาษชุบสารละลายอิ่มตัวที่สามารถแตกตัวเป็นไอออน

มีหน้าที่ปรับสมดุลของไอออนในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อนำครึ่งเซลล์ต่างชนิดกันมาต่อเป็นเซลล์กัลวานิก อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากขั้วที่มีศักย์ไฟฟ้าต่ำไปยังขั้วที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่า โดยอ่านค่าได้จากโวลต์มิตเตอร์ เพื่อเป็นมาตรฐานจึงกำหนดครึ่งเซลล์ไฮโดรเจนมาตรฐาน หรือขั้วไฟฟ้าไฮโดรเจนมาตรฐาน ให้มีศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน 0 โวลต์ และใช้เป็นครึ่งเซลล์มาตรฐานในการเปรียบเทียบ ซึ่งถ้ามีค่า E° มากกว่าจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน แต่ถ้ามีค่า E° น้อยกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเซลล์กัลวานิกเป็นการนำสองครึ่งเซลล์มาต่อกันซึ่งครึ่งเซลล์ที่รับอิเล็กตรอนจะเกิดที่ขั้วแคโทด จะมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าครึ่งเซลล์ที่ให้อิเล็กตรอนซึ่งจะเกิดที่ขั้วแอโนด ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์คือ ผลต่างระหว่างศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ที่มีศักย์สูงกับครึ่งเซลล์ที่มีศักย์ต่ำ $E^\circ_{cell} = E^\circ_{cathode} - E^\circ_{anode}$ โดยค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์มีค่าเป็นลบ ปฏิกิริยารีดอกซ์จะไม่สามารถเกิดขึ้นเองได้ และอีกชนิดหนึ่งคือเซลล์แบบความเข้มข้น โดยใช้ขั้วโลหะชนิดเดียวกัน แต่สารละลายอิเล็กโทรไลต์มีความเข้มข้นแตกต่างกัน แล้วนำความรู้ที่ได้ออกแบบวางแผน ประดิษฐ์ และปรับปรุงโคมไฟส่องสว่าง โดยอาศัยความรู้เรื่องเซลล์กัลวานิก เพื่อช่วยให้เกิดแสงสว่าง ซึ่งนอกจากโคมไฟส่งสว่าง เซลล์กัลวานิกสามารจำแนกการใช้ประโยชน์ตามลักษณะของการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ขั้วของเซลล์ไฟฟ้า แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ เซลล์ปฐมภูมิ และเซลล์ทุติยภูมิ

3. จุดประสงค์การเรียนรู้

ด้านความรู้ความเข้าใจ (K) นักเรียนสามารถ

1. อธิบายความหมายของปฏิกิริยารีดอกซ์ได้
2. อธิบายความแตกต่างของปฏิกิริยาออกซิเดชัน กับปฏิกิริยารีดักชันได้
3. อธิบายความหมายของตัวรีดิวซ์ และตัวออกซิไดส์ของสารในปฏิกิริยาได้
4. อธิบายการเกิดกระแสไฟฟ้าในเซลล์กัลวานิกได้
5. อธิบายปฏิกิริยาที่ขั้วแคโทด และขั้วแอโนดได้
6. อธิบายหน้าที่ของสะพานเกลือได้
7. อธิบายวิธีการหาค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ได้
8. อธิบายวิธีการหาค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ โดยใช้ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ได้
9. อธิบายประโยชน์ของเซลล์กัลวานิกได้

ด้านทักษะกระบวนการ (P) นักเรียนสามารถ

1. เปรียบเทียบความสามารถในการเป็นตัวรีดิวซ์และตัวออกซิไดส์ของสารในปฏิกิริยาได้
2. ดุลสมการรีดอกซ์โดยใช้เลขออกซิเดชัน และครึ่งปฏิกิริยาได้
3. เขียนสมการแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด และขั้วแคโทดได้
4. เขียนแผนภาพเซลล์กัลวานิกได้

5. ประยุกต์ความรู้เกี่ยวกับเรื่องความสัมพันธ์และฟังก์ชันได้
6. ทำนายการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ได้
7. เปรียบเทียบความสามารถในการให้ และรับอิเล็กตรอนจากโลหะต่างชนิดกันได้
8. คำนวณค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ได้
9. ออกแบบ และประดิษฐ์โคมไฟ จากเซลล์กัลวานิกได้

ด้านคุณลักษะอันพึงประสงค์ (A)

1. นักเรียนสนใจใฝ่เรียนรู้ และร่วมทำกิจกรรมในชั้นเรียน
2. นักเรียนมีความรับผิดชอบในชั้นเรียน และเข้าชั้นเรียนตรงเวลา
3. นักเรียนมีความซื่อสัตย์ต่องานที่ได้รับมอบหมาย

4. สาระการเรียนรู้

1. ปฏิกิริยารีดอกซ์
2. การดุลสมการรีดอกซ์
3. เซลล์กัลวานิก
4. แผนภาพเซลล์กัลวานิก
5. ความสัมพันธ์และฟังก์ชัน โปรแกรม GeoGebra
6. ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์
7. ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์

5. สมรรถนะ

1. ความสามารถในการสื่อสาร
2. ความสามารถในการคิด
3. ความสามารถในการแก้ปัญหา
4. ความสามารถในการใช้ทักษะชีวิต
5. ความสามารถในการใช้เทคโนโลยี

6. กระบวนการจัดการเรียนรู้

6.1 ขั้นก่อนทำกิจกรรม (10 นาที)

ครูทบทวนความรู้เรื่อง เลขออกซิเดชัน เพื่อให้ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับเลขออกซิเดชัน ดังนี้

1. ธาตุอิสระหรือธาตุบริสุทธิ์ เลขออกซิเดชัน เท่ากับ 0 เช่น Na Cu O_2 N_2 S_8
2. โลหะหมู่ I เลขออกซิเดชันเท่ากับ +1 เสมอ เช่น Li^+ Na^+ K^+

3. โลหะหมู่ II เลขออกซิเดชันเท่ากับ +2 เสมอ เช่น Be^{2+} Mg^{2+}

4. H มี เลขออกซิเดชันเท่ากับ +1 ยกเว้น สารประกอบโลหะไฮไดรด์ เช่น NaH LiH KH ซึ่ง H มี เลขออกซิเดชันเท่ากับ -1

5. O มี เลขออกซิเดชันเท่ากับ -2 ยกเว้น - สารประกอบเปอร์ออกไซด์ เช่น H_2O_2, O มี เลขออกซิเดชันเท่ากับ -1 สารประกอบซุปเปอร์ออกไซด์ เช่น NaO_2, O มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ $-\frac{1}{2}$

6. ธาตุหมู่ VII มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -1 เช่น F^- Cl^- Br^- I^-

7. เลขออกซิเดชันไอออนอะตอมเดี่ยว ประจุของไอออนนั้น เช่น Na^+ มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +1, O^{2-} มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ -2

8. เลขออกซิเดชันเท่ากับสารประกอบเท่ากับประจุที่แสดงไอออนนั้น เช่น SO_4^{2-} มีเลขออกซิเดชันรวมเท่ากับ -2, NO_2 มีเลขออกซิเดชันรวมเท่ากับ 0

6.2 ขั้นทำกิจกรรม

ปฏิกิริยารีดอกซ์ (4 ชั่วโมง)

ครูให้นักเรียนทำกิจกรรมการทดลองที่ 9.1 ปฏิกิริยาระหว่างโลหะกับสารละลายของโลหะไอออน แล้วให้นักเรียนบันทึกผลการทดลองในสมุดบันทึก แล้วนำเสนอผลการทดลองของแต่ละกลุ่มหน้าชั้นเรียน และให้นักเรียนแต่ละคนสร้างแผนผังความคิดเกี่ยวกับเรื่อง ปฏิกิริยารีดอกซ์ จากนั้นครูประเมินผลตามสภาพจริงจากการสังเกตพฤติกรรมและแบบฝึกหัด

การดุลสมการรีดอกซ์ (2 ชั่วโมง)

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายจากการศึกษาใบความรู้ของนักเรียน เรื่อง การดุลสมการรีดอกซ์ พร้อมทั้งระบุหลักเกณฑ์การดุลสมการรีดอกซ์ในแต่ละแบบ จากนั้นครูประเมินผลจากแบบฝึกหัด

พลังงานไฟฟ้าจากปฏิกิริยาเคมี (3 ชั่วโมง)

ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายจากการศึกษาใบความรู้ เรื่อง การดุลสมการรีดอกซ์ พร้อมทั้งระบุหลักเกณฑ์การดุลสมการรีดอกซ์ในแต่ละแบบ จากนั้นครูประเมินผลจากแบบฝึกหัด

ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ (2 ชั่วโมง 30 นาที)

ครูให้นักเรียนศึกษาใบความรู้ เรื่อง ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์และร่วมกันอภิปรายในห้องเรียน พร้อมทั้งทำกิจกรรมการทำนายการเกิดปฏิกิริยาของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่กำหนดให้ จากนั้นครูประเมินผลจากแบบฝึกหัดและพฤติกรรมการสืบค้น

การผลิตโคมไฟ (6 ชั่วโมง)

ครูให้นักเรียนแบ่งกลุ่มกลุ่มละ 3-4 คน แล้วให้แต่ละกลุ่มออกแบบและลงมือประดิษฐ์โคมไฟจากเซลล์กัลวานิก พร้อมทดสอบประสิทธิภาพของโคมไฟนั้นแล้วนำเสนอผลงานหน้าห้องเรียน จากนั้นครูประเมินจากชิ้นงานและพฤติกรรมการทำกิจกรรม

6.3 ขั้นขยายความรู้ และสรุป (20 นาที)

ครูให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับประโยชน์ของเซลล์กัลวานิก โดยมีเนื้อหาดังนี้

- เซลล์กัลวานิก ประเภทเซลล์ปฐมภูมิ ได้แก่

1. เซลล์แห้ง (Dry Cell) หรือเซลล์เลอคลังเช (LeClanche Cell)

เซลล์ไฟฟ้าชนิดนี้ถูกเรียกว่า เซลล์แห้ง เพราะไม่ได้ใช้ของเหลวเป็นอิเล็กโทรไลต์ เป็นเซลล์ที่ใช้ในไฟฉาย หรือใช้ในประโยชน์อื่น ๆ เช่น ในวิทยุ เครื่องคิดเลข ฯลฯ

2. เซลล์แอลคาไลน์ (Alkaline Cell)

เซลล์แอลคาไลน์มีส่วนประกอบของเซลล์เหมือนกับเซลล์เลอคลังเช แต่มีสิ่งที่แตกต่างกันคือเซลล์แอลคาไลน์ใช้เบสซึ่งได้แก่โพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นอิเล็กโทรไลต์แทนแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) และเนื่องจากใช้สารละลายเบสนี่เองเซลล์ชนิดนี้จึงถูกเรียกว่าเซลล์แอลคาไลน์

3. เซลล์ปรอท (Mercury Cell)

มีหลักการเช่นเดียวกับเซลล์แอลคาไลน์ แต่ใช้เมอร์คิวรี (II) ออกไซด์ (HgO) แทนแมงกานีส (IV) ออกไซด์ (MnO_2) เป็นเซลล์ที่มีขนาดเล็กใช้กันมากในเครื่องฟังเสียงสำหรับคนหูพิการ หรือใช้ในอุปกรณ์อื่น เช่น นาฬิกาข้อมือ เครื่องคิดเลข เซลล์นี้จะให้ศักย์ไฟฟ้าประมาณ 1.3 โวลต์ ให้กระแสไฟฟ้าต่ำ แต่สามารถให้ค่าศักย์ไฟฟ้าคงที่ตลอดอายุการใช้งาน

4. เซลล์เชื้อเพลิง

องค์ประกอบสำคัญของเซลล์เชื้อเพลิงได้แก่ แอโนด (anode)เป็นขั้วไฟฟ้าที่ให้ประจุลบกับเซลล์เชื้อเพลิง มีหน้าที่ส่งผ่านประจุอิเล็กตรอนหรือประจุไฟฟ้าลบออกไปทางขั้วไฟฟ้าเมื่อต่อสายไฟกับขั้วไฟฟ้า ประจุไฟฟ้าจะไหลออกไป ส่วนแก๊สไฮโดรเจนที่ถูกดึงอิเล็กตรอนออกไป จะแสดงประจุบวก เรียกว่า โปรตอนแคโทด (Cathode) เป็นขั้วไฟฟ้าที่ให้ประจุบวกกับเซลล์เชื้อเพลิง มีหน้าที่ต่อเข้ากับสายไฟภายนอก รับอิเล็กตรอนมารวมกับอะตอมของแก๊สออกซิเจนกับไฮโดรเจนกลายเป็นโมเลกุลของน้ำอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ทำจากวัสดุต่าง ๆ เช่น สารละลาย, แผ่นพลาสติก มีหน้าที่คือยอมให้ประจุบวกหรือโปรตอนเคลื่อนที่ผ่าน

- เซลล์กัลวานิก ประเภทเซลล์ทุติยภูมิ

1. แบตเตอรี่สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่ว (Lead Storage Battery)

แบตเตอรี่คือเซลล์ไฟฟ้าหลาย ๆ เซลล์ต่อกันเป็นอนุกรม แบตเตอรี่สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่วนี้เป็นแบตเตอรีที่ใช้ในรถยนต์ โดยประกอบด้วยเซลล์ไฟฟ้า 6 เซลล์ แต่ละเซลล์จะมีศักย์ไฟฟ้า 2 โวลต์ ดังนั้นแบตเตอรี่ในรถยนต์มีศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์

2. เซลล์นิกเกิล-แคดเมียม หรือเซลล์นิแคด (Nickel-Cadmium Cell)

3. เซลล์ลิเทียมไอออน (Lithium Ion Cell)

เซลล์ลิเทียมอาจให้ศักย์ไฟฟ้าสูงถึง 3 โวลต์เป็นเซลล์ที่ใช้อิเล็กโทรไลต์เป็นของแข็ง ได้แก่ สารพอลิเมอร์ที่ยอมให้ไอออนผ่านแต่ไม่ยอมให้อิเล็กตรอนผ่าน ขั้วแอโนดคือลิเทียมซึ่งเป็นธาตุที่มีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานต่ำที่สุด มีความสามารถในการให้อิเล็กตรอนได้ดีที่สุด ส่วนแคโทดใช้สารที่เรียกว่าสารประกอบแทรกชั้น (Insertion Compound) ได้แก่ TiS_2หรือV_6O_{13}

7. การวัดและประเมินผล

1. ประเมินพฤติกรรมขณะเข้าร่วมกิจกรรม
2. ประเมินแผนผังความคิด
3. ประเมินการออกแบบการสร้างโคมไฟ
4. ประเมินโมเดลโคมไฟ
5. ประเมินใบกิจกรรม
6. ประเมินพฤติกรรมการปฏิบัติการทดลอง
7. ประเมินการสืบค้น
8. ประเมินความสามารถในการคิดผลิตภาพ

8. สื่อการเรียนการสอนและแหล่งการเรียนรู้

1. หนังสือเรียนเคมีเพิ่มเติม เล่ม 4 ของ สสวท.
2. ใบกิจกรรมเรื่อง โคมไฟ
3. ใบความรู้ เรื่อง การดุลสมการรีดอกซ์
4. ใบความรู้ เรื่อง ค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์
5. อุปกรณ์การทดลองเรื่อง ปฏิกิริยาระหว่างโลหะกับสารละลายของโลหะไอออน การถ่ายโอนอิเล็กตรอนในเซลล์กัลวานิก
6. อุปกรณ์ประดิษฐ์โคมไฟส่องสว่าง

ตัวอย่างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลป์วานิก

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์		
เรื่อง เซลล์กัลวานิก	**วิชา เคมี5**	**ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6**
เวลา 50 นาที		**คะแนน 30 คะแนน**

คำสั่ง จงเลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุด แล้วระบายลงใน

1. ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้องเกี่ยวกับปฏิกิริยารีดอกซ์

ก. เป็นปฏิกิริยาที่มีการให้ และการรับอิเล็กตรอน

ข. เป็นปฏิกิริยาที่ประกอบด้วยปฏิกิริยารีดักชัน และปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ค. **เป็นปฏิกิริยาที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน**

ง. เป็นปฏิกิริยาที่สามารถเกิดขึ้นได้ในชีวิตประจำวัน

2. ปฏิกิริยาใดจัดเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์

ก. $2HCl(aq) + Na_2CO_3(aq) \longrightarrow 2NaCl(aq) + H_2O(l) + CO_2(g)$

ข. $Cr_2O_7^{2-}(aq) + 2OH^-(aq) \longrightarrow 2CrO_4^{2-}(aq) + H_2O(l)$

ค. $NaOH(aq) + HCl(aq) \longrightarrow NaCl(aq) + H_2O(l)$

ง. **$Zn(s) + HgO(s) \longrightarrow ZnO(s) + Hg(l)$**

3. จากปฏิกิริยา $Ag(s) + Cu^{2+}(aq) \longrightarrow Cu(s) + Ag^+(aq)$ สารใดจัดเป็นตัวรีดิวซ์ และตัวถูกรีดิวซ์ ตามลำดับ

ก. **Ag และ Cu^{2+}**

ข. Cu^{2+} และ Ag

ค. Ag^+ และ Cu

ง. Cu และ Ag^+

4. โลหะ X ทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดชนิดหนึ่งพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป X เกิดการกร่อน ข้อใดกล่าวได้ถูกต้อง

ก. X เป็นตัวถูกออกซิไดซ์

ข. ปฏิกิริยาที่เกิดกับโลหะ คือ $X(s) \longrightarrow X^{2+}(aq) + 2e^-$

ค. X เป็นตัวรีดิวซ์

ง. **ถูกทุกข้อ**

5. โลหะ A ทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดไฮโดรครอริก และสารละลาย BSO_4 โลหะ B ทำปฏิกิริยากับสารละลายไฮโดรคลอริก แต่ไม่ทำปฏิกิริยากับ ASO_4 ข้อใดเรียงลำดับความสามารถในการให้อิเล็กตรอนของสารดังกล่าวจากง่ายไปยาก

ก. B^{2+} A^{2+} H^+

ข. **A^{2+} B^{2+} H^+**

ค. B^{2+} H^+ A^{2+}

ง. H^+ B^{2+} A^{2+}

6. ข้อใดเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์

ก. $2K_2CrO_4 + 2HCl \longrightarrow K2Cr_2O_7 + 2KCl + H_2O$

ข. **$2CuSO_4 + 4KCN \longrightarrow Cu_2(CN)_2 + 2K_2SO_4 + CN^-$**

ค. $[Co(NH_3)_5Br]SO_4 + BCl_2 \longrightarrow [Co(NH_3)_5Br]Cr_2 + BaSO_4$

ง. $Zn_2[Fe(CN)_6] + 8NaOH \longrightarrow 2Na_2ZnO_2 + Na_4[Fe(CN)_6] + 4H_2O$

7. ปฏิกิริยารีดอกซ์ที่ดุลแล้วคือข้อใด

ก. $2MnO_2 + Fe^{2+} + H^+ \longrightarrow 2Mn^{2+} + Fe^{3+} + H_2O$

ข. $MnO_2 + 2Fe^{2+} + 4H^+ \longrightarrow Mn^{2+} + 2Fe^{3+} + H_2O$

ค. **$MnO_2 + 2Fe^{2+} + 4H^+ \longrightarrow Mn^{2+} + 2Fe^{3+} + 2H_2O$**

ง. $4MnO_2 + 2Fe^{2+} + 4H^+ \longrightarrow 3Mn^{2+} + 2Fe^{3+} + 4H_2O$

8. จากสมการรีดอกซ์ $MnO_2 + Fe^{2+} + H^+ \longrightarrow Mn^{2+} + Fe^{3+} + H_2O$ มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนกี่โมล

ก. **2 โมล** ข. 4 โมล

ค. 6 โมล ง. 8 โมล

9. จากสมการรีดอกซ์ $aBiO_3^- + bMn^{2+} + cH^+ \longrightarrow dMnO_4^- + eBi^{3+} + fH_2O$ จงหาค่าของ a b c และ f ตามลำดับ

ก. **5, 2, 14 และ 7**

ข. 5, 2, 16 และ 8

ค. 2, 4, 14 และ 7

ง. 2, 4, 16 และ 8

10. จากสมการรีดอกซ์ $aP_4 + bOH^- + cH_2O \longrightarrow dPH_3 + eH_2PO_2^-$ จงหาค่าของ a+b

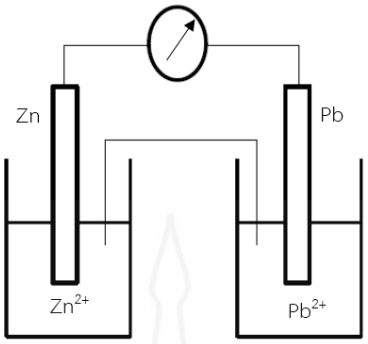
ก. 10

ข. 12

ค. 14

ง. **16**

11. จากรูปการต่อเซลล์ต่อไปนี้



ข้อใดระบุขั้วของเซลล์ได้ถูกต้อง

ข้อ	ขั้วแอโนด	ขั้วแคโทด
ก.	Zn	Zn^{2+}
ข.	**Zn**	**Pb**
ค.	Pb	Zn
ง.	Pb^{2+}	Pb

12. เหล็กในสมการใดเป็นตัวถูกออกซิไดส์

ก. $FeO + CO \longrightarrow Fe + CO_2$

ข. $2Hg + 2Fe^{3+} + 2Cl^{-} \longrightarrow Hg_2Cl + 2Fe^{2+}$

ค. $\mathbf{2Fe + \frac{3}{2}O_2 + xH_2O \longrightarrow Fe_2O_3 + xH_2O}$

ง. $[Fe(CN)_6]^{3-} + Cr^{2+} \longrightarrow [Fe(CN)_6]^{4-} + Cr^{3+}$

13. ปฏิกิริยาเคมีของเซลล์ไฟฟ้าในข้อใดคือเซลล์แอลคาไล

ก. $\mathbf{Zn(s) + 2MnO_2(s) \longrightarrow ZnO(s) + Mn_2O_3(s)}$

ข. $Zn(s) + HgO(s) \longrightarrow ZnO(s) + H_2O(l)$

ค. $2PbSO_4(s) + 2H_2O(l) \longrightarrow Pb(s) + 4H^{+}(aq) + 2SO_4^{2-}(aq)$

ง. $Zn(s) + 2NH^{4+}(aq) + 2MnO_2(s) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + Mn_2O(s) + 2NH_3(g) + H_2O(l)$

14. สารชนิดใดไม่สามารถนำมาใช้เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้

ก. น้ำเกลือ (NaCl)

ข. น้ำส้มสายชู (CH_3COOH)

ค. น้ำตาลทราย ($C_{12}H_{22}O_{11}$)

ง. โซดาไฟ (NaOH)

15. ข้อใดกล่าวถึงสะพานเกลือได้ถูกต้อง

ก. เป็นตัวกลางเชื่อมระหว่างคร่งเซลล์ทั้งสอง

ข. ช่วยปรับสมดุลของประจุในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ทั้งสองขั้ว

ค. ผลิตจากอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่ทำปฏิกิริยากับสารในเซลล์ประกอบด้วยไอออนบวก และไอออนลบ

ง. **ถูกทุกข้อ**

16. ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้องเกี่ยวกับเซลล์ไฟฟ้าเคมี

ก. แบ่งเป็นแบบผลิตกระแสไฟฟ้า และอาศัยกระแสไฟฟ้าจากภายนอก

ข. **จำเป็นต้องมีสะพานเกลือเท่านั้น**

ค. ต้องมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้

ง. ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง จะต้องสามารถให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้

17. ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์รีดักชัน จะเป็นค่าที่เปรียบเทียบกับธาตุอะไร

ก. O_2 **ข. H2**

ค. Cl2 ง. F2

18. จากค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์รีดักชันที่ 298 K

$A^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow A(s)$ **E° = +2.89 V**

$B^{3+}(aq) + 3e^- \longrightarrow B(s)$ **E° = +0.77 V**

$C^{+}(aq) + e^- \longrightarrow C(s)$ **E° = +0.20 V**

$E^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow E(s)$ **E° = -0.40 V**

การต่อเซลล์กัลวานิกคู่ใดที่เข็มของโวลต์มิเตอร์จะชี้ไปยังขั้ว C

ก. **C กับ E**

ข. C กับ B

ค. C กับ A

ง. C กับ A หรือ B

19. จากค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์รีดักชันที่ 298 K กำหนดให้

$A^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow A(s)$ **E° = +2.09 V**

$B^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow B(s)$ **E° = -0.45 V**

เมื่อนำขั้วทั้งสองมาสร้างเป็นเซลล์กัลวานิก อยากทราบว่าข้อใดกล่าวถูกต้อง

ก. ขั้ว A เป็นขั้วแอโนด ขั้ว B เป็นขั้วแคโทด

ข. เข็มของโวลต์มิเตอร์จะชี้ไปยังขั้วของ B

ค. **ขั้ว A จะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน เมื่อเวลาผ่านไปจะมีของแข็งมาเกาะ**

ง. ปฏิกิริยาที่ขั้ว B คือ $B^{2+} + 2e^- \longrightarrow B(s)$

20. จากแผนภาพของเซลล์ Fe(s) I Fe^{2+} (aq) II Cu^{2+} (aq) I Cu (s) ข้อใดกล่าวได้ถูกต้อง

A. ขั้วแคโทดคือ Cu

B. เข็มของโวลต์มิเตอร์จะชี้ไปยังขั้น Fe

C. ปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดคือ Fe(s) $\longrightarrow$ Fe^{2+} (aq) + $2e^-$

D. ที่ขั้ว Fe จะเกิดการผุกร่อน

ก. A, B และ C

ข. **A, C และ D**

ค. B, C และ D

ง. A, B, C และ D

21. จากการทดลองเอาแผ่นทองแดง (Cu) และแผ่นสังกะสี (Zn) จุ่มลงใจสารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดหนึ่ง เมื่อต่อวงจรครบพบว่าหลอดไฟสว่าง เมื่อเวลาผ่านไปที่แผ่นสังกะสีกร่อน ส่วนแผ่นทองแดงมีของแข็งมาเกาะมากขึ้น ข้อใดสรุปได้ถูกต้อง

ก. Zn เป็นตัวออกซิไดส์ที่ดีกว่า Cu

ข. แผนภาพเซลล์คือ Cu(s) I Cu^{2+} (aq) II Zn^{2+} (aq) II Zn(s)

ค. เลขออกซิเดชันของสังกะสี (Zn) ลดลง

ง. **ค่า E° ของครึ่งเซลล์ Cu มากกว่า Zn**

22. กำหนดค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มาตรฐานรีดักชันที่ 298 K ดังนี้

$A^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow A(s)$ E° = +3.89 V

$B^{3+}(aq) + 3e^- \longrightarrow B(s)$ E° = +1.77 V

$C^{+}(aq) + e^- \longrightarrow C(s)$ E° = -1.20 V

$E^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow E(s)$ E° = -3.40 V

แผนภาพเซลล์ข้อใดถูกต้อง

ก. C(s) I C^+(aq) II E^{2+}(aq) I E(s)

ข. A(s) I A^{2+}(aq) II B^{3+} (aq) I B(s)

ค. B(s) I B^{3+} (aq) II C^+ (aq) I C(s)

ง. **E(s) I E^{2+}(aq) II B^{3+}(aq) I B(s)**

23. จากการทดลองสร้างเซลล์กัลวานิกของนักเรียนคนหนึ่งพบว่า เมื่อใช้ขั้วของโลหะต่างชนิดกันและต่อเข้ากับโวลต์มิเตอร์ ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้ ขั้ว A กับ B เข็มของโวลต์มิเตอร์ชี้ไปยังขั้ว B เมื่อต่อขั้ว B กับ C เข็มของโวลต์มิเตอร์ชี้ไปยังขั้ว C ข้อใดถูกต้อง กำหนดปฏิกิริยารีดักชัน ดังนี้

$A^{3+}(aq) + 3e^- \longrightarrow A(s)$

$B^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow B(s)$

$C^{+}(aq) + e^- \longrightarrow C(s)$

ก. ถ้าต่อขั้วไฟฟ้าด้วยโลหะ A และ C จะพบว่า เข็มของโวลต์มิเตอร์จะชี้ไปยังขั้ว A

ข. $C(s) \mid C^{+}(aq) \parallel A^{3+}(aq) \mid A(s)$

ค. **ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มาตรฐาน ของ C มีค่าสูงที่สุด**

ง. ที่ขั้ว C จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเสมอ

24. เมื่อนำครึ่งเซลล์ของ Zn และครึ่งเซลล์ของ Cu มาต่อเป็นเซลล์กัลวานิกที่ 25 องศาเซลเซียส ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ (E°_{cell}) มีค่าเท่าใด กำหนดให้

$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$ $\quad E^{\circ} = +0.34$ V

$Zn^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Zn(s)$ $\quad E^{\circ} = -0.76$ V

ก. **+1.10 V**

ข. +1.50 V

ค. -1.10 V

ง. -1.50 V

25. การสร้างเซลล์กัลวานิก ได้ปฏิกิริยารีดอกซ์ ดังนี้ $Ni(s) + 2Ag^{+}(aq) \longrightarrow Ni^{2+}(aq) + 2Ag(s)$ $E^{\circ}_{cell} = +1.04$ ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ Ag เท่ากับเท่าใด กำหนดให้ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งเซลล์ E°_{Ni} เท่ากับ -0.24 V

ก. +1.28 V

ข. **+0.80 V**

ค. -0.80 V

ง. -1.28 V

26. จากแผนภาพเซลล์กัลวานิก Pb(s) I Pb^{2+}(aq) II Ag^{+}(aq) I Ag(s) ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์มีค่าเท่าใด กำหนดให้

$Pb^{2+}(aq) + 2e^{-} \longrightarrow Pb(s)$ $E° = -0.13$ V

$Ag^{+}(aq) + e^{-} \longrightarrow Ag(s)$ $E° = +0.08$ V

ก. -0.05 V

ข. +0.05 V

ค. -0.21 V

ง. **+0.21 V**

27. ครึ่งเซลล์ใดมีค่า E° มากกว่าอีกครึ่งเซลล์หนึ่ง จะเกิดปฏิกิริยาอะไร

ก. ปฏิกิริยาดูดพลังงาน

ข. ปฏิกิริยาคายพลังงาน

ค. **ปฏิกิริยารีดักชัน**

ง. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน

28. ถ้าประเสริฐคิดสร้างเซลล์ไฟฟ้าโดยใช้ขั้วแคโทดเป็นโลหะแมกนีเซียม (Mg) และขั้วแอโนดเป็นโลหะนิกเกิล (Ni) ปฏิกิริยารีดอกซ์ดังกล่าวเกิดขึ้นได้เองหรือไม่ เพราะเหตุใด กำหนดให้

$Mg^{2+}(aq) + 2e^{-} \longrightarrow Mg(s)$ $E° = -2.36$ V

$Ni^{2+}(aq) + 2e^{-} \longrightarrow Ni(s)$ $E° = -0.24$ V

ก. เกิดขึ้นเองได้ เนื่องจาก มีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์มีค่าเป็นค่าบวก

ข. เกิดข้นเองได้ เนื่องจาก มีขั้วไฟฟ้าจำนวน 2 ขั้วครบถ้วน

ค. **ไม่สามารถเกิดขึ้นเอง เนื่องจาก ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์มีค่าเป็นลบ**

ง. ไม่สามารถเกิดขึ้นเองได้ เนื่องจาก ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มาตรฐานมีค่าเท่ากัน

29. ในการสร้างเซลล์กัลวานิก โดยใช้ขั้วคือ ทองแดง (Cu) และอะลูมิเนียม (Al) ข้อใดกล่าวได้ถูกต้อง กำหนดให้

$Cu^{2+}(aq) + 2e^{-} \longrightarrow Cu(s)$ $E° = +0.34$ V

$Al^{3+}(aq) + 3e^{-} \longrightarrow Al(s)$ $E° = -1.67$ V

A. ที่ขั้ว Cu เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ได้สมการ $Cu(s) \longrightarrow Cu^{2+}(aq) + 2e^{-}$

B. ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ เท่ากับ +2.01 V ซึ่งเกิดขึ้นเองได้

C. แผนภาพเซลล์ คือ Al(s) I Al^{3+}(aq) II Cu^{2+}(aq) I Cu(s)

D. สมการปฏิกิริยารีดอกซ์ที่ได้คือ $3Cu^{2+}(aq) + 2Al(s) \longrightarrow 2Al^{3+}(aq) + 3Cu(s)$

ก. B และ C

ข. C และ D

ค. **B, C และ D**

ง. A, B, C และ D

30. ข้อใดไม่ใช่ประโยชน์ของเซลล์กัลวานิก

ก. ถ่านไฟฉาย

ข. แบตเตอร์รี่รถยนต์

ค. ถ่านโทรศัพท์

ง. **การชุบเหล็ก**

ตัวอย่างแบบประเมินความสามารถในการคิดผลิตภาพ

แบบประเมินความสามารถในการคิดผลิตภาพ

ชื่อผู้รับการประเมิน.....การแปรผล.....

รายการประเมิน	เกณฑ์การประเมิน			
	4	3	2	1
1. ช่างสังเกต 1.1 มีความตั้งใจ สมาธิ และเข้าใจในการสังเกต				
1.2 ความสามารใช้ประสาทสัมผัสในการรับรู้ และสำรวจสิ่งที่สังเกต				
1.3 ความสามารถรวบรวมข้อมูลการสังเกต				
1.4 ความสามารถในการรายงานข้อมูลเชิงประจักษ์				
1.5 ความสามารถรายงานข้อมูลการสังเกตโดยไม่ตีความข้อมูล				
2. คิดต่อเนื่อง 2.1 ความสามารถในการคิดในสิ่งที่สนใจ				
2.2 ความสามารในการคิดเชื่อมโยง				
3. มองเห็นทางปรับปรุงแนวปฏิบัติ				
4. คิดเชื่อมโยงกับผลผลิต				
5. คิดแล้วทำ				
6. คิดให้ตลอด				
7. พร้อมรับการทดสอบ				

เกณฑ์การประเมิน

ระดับ 4 ดีมาก ระดับ 3 ดี ระดับ 2 พอใช้ ระดับ 1 ปรับปรุง

เกณฑ์การให้คะแนน

ตัวชี้วัดคุณลักษณะ	ระดับ 4 (ดีมาก)	ระดับ 3 (ดี)	ระดับ 2 (พอใช้)	ระดับ 1 (ปรับปรุง)
1.1 มีความตั้งใจ สมาธิ และความเข้าใจในการสังเกต	มีความตั้งใจ มีสมาธิและมีความไวในการรับรู้สิ่งที่สังเกต	มีความตั้งใจ มีสมาธิและมีความไวในการรับรู้สิ่งที่สังเกตแต่ยังขาดความรู้	มีความตั้งใจ มีสมาธิและมีความไวในการรับรู้สิ่งที่สังเกตน้อย	มีความตั้งใจและไม่มีสมาธิในการสังเกต
1.2 สามารถใช้ประสาทสัมผัสในการรับรู้ และสำรวจสิ่งที่สังเกต	ใช้ประสาทสัมผัสทั้ง 4 ในการรับรู้สิ่งที่สังเกต	ใช้ประสาทสัมผัส 3 ด้าน ในการรับรู้สิ่งที่สังเกต	ใช้ประสาทสัมผัสเพียง 2 ด้าน ในการรับรู้สิ่งที่สังเกต	ใช้ประสาทสัมผัสเพียงด้านเดียวในการรับรู้สิ่งที่สังเกต
1.3 สามารรวบรวมข้อมูลที่สังเกตได้	ได้ข้อมูลในสิ่งที่สังเกตอย่างละเอียดครบถ้วนทั้งเชิงปริมาณและคุณลักษณะ	ได้ข้อมูลในสิ่งที่สังเกตทั้งในเชิงปริมาณ และคุณลักษณะ แต่ยังขาดรายละเอียด	ได้ข้อมูลในสิ่งที่สังเกตในเชิงปริมาณ และคุณลักษณะ แต่ยังขาดข้อมูลที่สำคัญ	ได้ข้อมูลในสิ่งที่สังเกตในเชิงปริมาณหรือคุณลักษณะเพียงอย่างเดียว
1.4 ความสามารถในการรายงานข้อมูลเชิงประจักษ์	สามารถรายงานข้อมูลเชิงประจักษ์จากการสังเกตได้อย่างครบถ้วน	สามารถรายงานข้อมูลที่สังเกตได้ตรงตามข้อมูลเชิงประจักษ์แต่ยังไม่ครบถ้วน	สามารถรายงานข้อมูลได้ แต่ไม่เป็นข้อมูลเชิงประจักษ์	ได้ข้อมูลเชิงประจักษ์แต่ไม่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่ได้จากการสังเกต
1.5 ความสามารถรายงานข้อมูลการสังเกตโดยไม่ตีความข้อมูล	สามารถรายงานข้อมูลที่สังเกตได้โดยไม่ตีความข้อมูล	สามารถรายงานข้อมูลที่สังเกตได้โดยตีความข้อมูลบางส่วน	สามารถรายงานข้อมูลที่สังเกตได้แต่ผ่านการตีความ	สามารถรายงานข้อมูลที่สังเกตได้แต่ผ่านการตีความที่ไม่เกี่ยวข้อง
2.1 ความสามารถคิดในสิ่งที่สนใจ			สามารถคิดในสิ่งที่สนใจผลิตโดยเกิดการคิดอย่างต่อเนื่อง	สามารถคิดในสิ่งที่สนใจผลิต แต่เกิดการคิดไม่ต่อเนื่อง

ตัวชี้วัดคุณลักษณะ	ระดับ 4 (ดีมาก)	ระดับ 3 (ดี)	ระดับ 2 (พอใช้)	ระดับ 1 (ปรับปรุง)
2.2 ความสามารในการคิดเชื่อมโยง			นำความคิดที่ได้จากการศึกษาสิ่งที่สนใจเชื่อมโยงไปยังการผลิต	ไม่สามารถเชื่อมโยงสิ่งที่ศึกษาไปยังการผลิต
3. มองเห็นทางปรับปรุงแนวปฏิบัติ	คิดปรับปรุงสิ่งเดิม มีข้อสังเกตข้อสงสัยในสิ่งรอบตัวแล้วตั้งข้อสงสัยนั้นน่าจะมีปัญหาอะไรเกี่ยวข้องกับอะไร และปรับเปลี่ยนให้ดีขึ้น	คิดปรับปรุงสิ่งเดิม มีข้อสังเกตข้อสงสัยในสิ่งรอบตัว แล้วมองต่อไปได้ว่าข้อสงสัยนั้นน่าจะมีปัญหา และเกี่ยวข้องกับอะไร	คิดปรับปรุงสิ่งเดิม มีข้อสังเกตและข้อสงสัยในสิ่งรอบตัว	สามารถคิดปรับปรุงได้ แต่ไม่ดีขึ้นกว่าเดิม
4. คิดเชื่อมโยงกับผลผลิต	คิดเชื่อมโยงจากความคิดนามธรรมไปสู่ความคิดที่เป็นรูปธรรม เป็นสิ่งที่สามารถเข้าใจและจับต้องได้	คิดเชื่อมโยงจากความคิดนามธรรมสู่ความคิดที่เป็นรูปธรรม แต่เป็นสิ่งที่ยากต่อความเข้าใจ	คิดเชื่อมโยงจากความคิดนามธรรมสู่ความคิดที่เป็นรูปธรรมได้แต่ยังขาดการเชื่อมโยงที่ครบถ้วน	ไม่สามารถคิดเชื่อมโยงความคิดจากนามธรรมไปสู่ความคิดที่เป็นรูปธรรมได้
5. คิดแล้วทำ	สามารถคิดแล้วลงมือทำทันที ทำให้ได้ผลผลิตใหม่ๆ หรือนวัตกรรม	สามารถคิดแล้วลงมือทำในทันที แต่ไม่เกิดผลผลิตใหม่ๆ หรือนวัตกรรม	สามารถคิดแล้วไม่ลงมือทำในทันที แต่เกิดนวัตกรรมใหม่ๆ	สามารถคิด แต่ไม่ลงมือทำในทันทีและไม่เกิดนวัตกรรมใหม่ๆ
6. คิดให้ตลอด	เกิดการคิด และคาดหวังในผลงานที่จะเกิดขึ้นแล้วลงมือ	เกิดการคิดวางแผน แต่ขาดการคิดรายละเอียดของ	เกิดการคิดแต่ไม่มีการวางแผน ขาดการคิดถึงรายละเอียดของ	เกิดการคิดแต่ไม่มีการวางแผน ขาดการคิดถึงรายละเอียดของ

ตัวชี้วัดคุณลักษณะ	ระดับ 4 (ดีมาก)	ระดับ 3 (ดี)	ระดับ 2 (พอใช้)	ระดับ 1 (ปรับปรุง)
	ทำ จนสำเร็จ ได้ผลงานออกมา	งาน แต่ได้ผลงาน ออกมา	งาน แต่ได้ผลงาน ออกมา	งาน แต่ไม่ได้ ผลงานออกมา
7. พร้อมรับการทดสอบ	ผลงานสำเร็จ สมบูรณ์ พร้อม รับการประเมิน ทั้งในเชิงของ วิชาการ และ นำไปใช้ และ พร้อมปรับปรุง ผลงาน	ผลงานสำเร็จ สมบูรณ์ พร้อม รับการประเมิน ทั้งในเชิงวิชาการ และนำไปใช้ แต่ ไม่มีการปรับปรุง ชิ้นงาน	ผลงานสำเร็จ สมบูรณ์ แต่ไม่มี ความพร้อมรับ การประเมินทั้ง ในเชิงวิชาการ และนำไปใช้	ผลงานสร้างขึ้น ออกเป็นรูปร่าง แต่ไม่สำเร็จ สมบูรณ์

การแปลผล

ผลการประเมินในระดับ 4 ค่าเฉลี่ย 3.01-4.00 เป็นผู้มีทักษะและคุณลักษณะในการคิดผลิตภาพ ระดับดีมาก

ผลการประเมินในระดับ 3 ค่าเฉลี่ย 2.01-3.00 เป็นผู้มีทักษะและคุณลักษณะในการคิดผลิตภาพ ระดับดี

ผลการประเมินในระดับ 2 ค่าเฉลี่ย 1.01-2.00 เป็นผู้มีทักษะและคุณลักษณะในการคิดผลิตภาพ ระดับพอใช้

ผลการประเมินในระดับ 1 ค่าเฉลี่ย 1.00 เป็นผู้มีทักษะและคุณลักษณะในการคิดผลิตภาพ ระดับปรับปรุง

ภาคผนวก ค

- คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่อง เซลล์กัลวานิก
- คะแนนความสามารถการคิดผลิตภาพ

คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก
ของนักเรียนกลุ่มที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา

เลขที่	คะแนน	เลขที่	คะแนน
1	16	12	23
2	22	13	18
3	23	14	24
4	28	15	26
5	23	16	21
6	25	17	24
7	20	18	24
8	25	19	17
9	22	20	18
10	17	21	25
11	24	[redacted]	

คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ เรื่องเซลล์กัลวานิก
ของนักเรียนกลุ่มที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ

เลขที่	คะแนน	เลขที่	คะแนน
1	19	12	21
2	23	13	22
3	20	14	19
4	20	15	23
5	21	16	20
6	20	17	16
7	15	18	19
8	20	19	17
9	19	20	19
10	23	21	19
11	22	22	21

คะแนนประเมินความสามารถการคิดผลิตภาพ
ของนักเรียนกลุ่มที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา

เลขที่	ก่อนเรียน		หลังเรียน	
	คะแนนเฉลี่ย	แปลผล	คะแนนเฉลี่ย	แปลผล
1	2.09	ดี	3.55	ดีมาก
2	2.73	ดี	3.82	ดีมาก
3	2.82	ดี	3.91	ดีมาก
4	3.36	ดีมาก	4.00	ดีมาก
5	3.00	ดี	3.91	ดีมาก
6	3.18	ดีมาก	3.73	ดีมาก
7	2.73	ดี	3.64	ดีมาก
8	3.09	ดีมาก	3.73	ดีมาก
9	2.82	ดี	3.73	ดีมาก
10	2.55	ดี	3.55	ดีมาก
11	2.64	ดี	3.73	ดีมาก
12	2.45	ดี	3.64	ดีมาก
13	2.73	ดี	3.73	ดีมาก
14	3.00	ดี	3.55	ดีมาก
15	3.09	ดีมาก	3.55	ดีมาก
16	2.36	ดี	3.64	ดีมาก
17	2.82	ดี	3.55	ดีมาก
18	2.64	ดี	3.55	ดีมาก
19	2.82	ดี	3.45	ดีมาก
20	3.00	ดี	3.64	ดีมาก
21	3.27	ดีมาก	3.82	ดีมาก

คะแนนประเมินความสามารถการคิดผลิตภาพ
ของนักเรียนกลุ่มที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ

เลขที่	ก่อนเรียน		หลังเรียน	
	คะแนนเฉลี่ย	แปลผล	คะแนนเฉลี่ย	แปลผล
1	2.17	ดี	2.73	ดี
2	2.33	ดี	2.73	ดี
3	2.75	ดี	3.00	ดี
4	2.33	ดี	3.09	ดีมาก
5	2.67	ดี	3.18	ดีมาก
6	2.92	ดี	3.27	ดีมาก
7	2.17	ดี	3.00	ดี
8	3.08	ดีมาก	3.27	ดีมาก
9	2.83	ดี	3.00	ดี
10	2.83	ดี	3.00	ดี
11	2.75	ดี	3.09	ดีมาก
12	2.92	ดี	3.09	ดีมาก
13	2.92	ดี	3.09	ดีมาก
14	2.92	ดี	2.91	ดี
15	3.00	ดี	2.91	ดี
16	2.92	ดี	3.27	ดีมาก
17	2.25	ดี	3.00	ดี
18	2.92	ดี	3.09	ดีมาก
19	2.92	ดี	3.18	ดีมาก
20	2.92	ดี	3.00	ดี
21	2.33	ดี	3.18	ดีมาก
22	3.00	ดี	3.09	ดีมาก

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายพลวิชญ์ อังสวัสดิ์
วัน เดือน ปีเกิด	28 พฤษภาคม 2535
ประวัติการศึกษา	การศึกษาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิทยาศาตร์-เคมี (กศ.บ. 5 ปี) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สถานที่ทำงาน	โรงเรียนประจวบวิทยาลัย อำเภอเมืองประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
ตำแหน่ง	ครู คศ.1