



การพัฒนากิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิด
สร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

DEVELOPMENT OF STEAM ACTIVITYON "CHEMICAL BONDING: WATERPROOF
COTTON"TO ENHANCE CREATIVE THINKING AND INNOVATION SKILLS FOR HIGH
SCHOOL STUDENTS

พงศกร พรมทา

บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2561

การพัฒนากิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะ
ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

DEVELOPMENT OF STEAM ACTIVITY ON "CHEMICAL BONDING:
WATERPROOF COTTON" TO ENHANCE CREATIVE THINKING AND
INNOVATION SKILLS FOR HIGH SCHOOL STUDENTS



PONGSAKORN PROMTA

A Thesis Submitted in partial Fulfillment of Requirements
for MASTER OF EDUCATION (Chemistry)
Faculty of Science Srinakharinwirot University

2018

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนากิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิด

สร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

ของ

พงศกร พรหมทา

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

ที่ปรึกษาหลัก

ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ดร.บัณฑิต)

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชาติรี ฝ้ายคำตา)

ที่ปรึกษาร่วม

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปานไพลิน สีหาราช)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นवलละออ รัตน

วิมานวงศ์)

ชื่อเรื่อง	การพัฒนากิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
ผู้วิจัย	พงศกร พรหมทา
ปริญญา	การศึกษามหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยรัตน์ ตรีบัณฑิต

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนากิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยเริ่มจากการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง ฝ่าฝ้ายกันน้ำ ได้ผลพบว่า การใช้โปรแกรม ImageJ สามารถใช้วัดค่ามุมสัมผัสของน้ำแทนเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัสได้ และสถานะที่ทำให้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมีค่าสูงที่สุด คือ การใช้สารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้มเข้มข้น 2 %W/V อัตราส่วน 1:1 ในการเคลือบโดยการสเปรย์สารละลายลงบนฝ่าฝ้ายและทำให้ผ้าแห้งด้วยการรีด จากนั้นได้ทำการพัฒนากิจกรรมสเต็มศึกษาและศึกษาประสิทธิภาพของกิจกรรมสเต็มศึกษาที่พัฒนาขึ้น โดยการหาคุณภาพของกิจกรรมสเต็มศึกษาจากการใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน พบว่า กิจกรรมสเต็มศึกษามีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 100 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ คือ นักเรียนร้อยละ 70 มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 และเมื่อนำกิจกรรมสเต็มศึกษาไปจัดการเรียนรู้กับกลุ่มทดลอง พบว่า นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนทักษะทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และนักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่นักเรียนกลุ่มทดลองมีผลคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับนักเรียนกลุ่มควบคุมที่เรียนด้วยวิธีสอนเสาะความรู้ (5E)

คำสำคัญ : สเต็มศึกษา ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ พันธะเคมี

Title	DEVELOPMENT OF STEAM ACTIVITYON "CHEMICAL BONDING: WATERPROOF COTTON"TO ENHANCE CREATIVE THINKING AND INNOVATION SKILLS FOR HIGH SCHOOL STUDENTS
Author	PONGSAKORN PROMTA
Degree	MASTER OF EDUCATION
Academic Year	2018
Thesis Advisor	Assistant Professor Piyarat Doonbhundit , Ph.D.

This research aimed to develop the STEAM activity on chemical bonding: waterproof cotton to promote creativity and the innovation skills of high school students. First, the process was developed to make waterproof cotton was found to use the ImageJ program to measure the contact angle of the water instead of the contact angle analyzer and conditions that increase the contact angle of the water at its highest used 2% W/V rosin solution and alum solution in a 1:1 ratio for spray coating the cotton and drying the fabric by rolling. Second, finding the quality of the STEAM activity using thirty non-sample students. It was found that the STEAM activity was 100 percent effective, which was higher than the set criteria. Finally, studying the effectiveness of the STEAM activity. After the sample group studied the STEAM activity found the following: 1) the sample group had significantly higher scores on creative thinking and innovation skills than before learning at a level of .05, and 2) the sample group had higher scores in terms of scientific concepts on chemical bonding after studying with a statistical significance level of .05. However, the sample group had the scores on scientific concepts on chemical bonding after studying were not significantly different at a level of .05 with students in the control group studying via inquiry knowledge (5E).

Keyword : STEAM education Creativity Skill Science Conception Chemical Bonding

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเนื่องจาก ผู้วิจัยได้รับความกรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการทำวิจัยจาก ผศ.ดร.ปิยรัตน์ ดรบัณฑิต อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ปริญญาานิพนธ์ และ ผศ.ดร.ปานไพลิน สีหาราช อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมปริญญาานิพนธ์ ผู้สละเวลาและให้ความช่วยเหลือผู้วิจัยตลอดการทำวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งใจ และขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ชาติรี ฝ่ายคำตา ที่ให้ความกรุณาเป็นประธานในการสอบปากเปล่าปริญญาานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นและกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. นवल รัตนวิมานวงศ์ ผู้ให้ความกรุณาเป็นกรรมการในการสอบปากเปล่าปริญญาานิพนธ์ และให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขงานวิจัยที่ดีเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. แพน ทองเรือง ผศ.ดร.มนตา ตุลย์เมธากการ และครูปริญญา กาลายศ ที่ให้ความกรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย โดยให้คำแนะนำ แ่งคิดในการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องมือเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ โครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์ และคณิตศาสตร์ (สควค.) สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ที่สนับสนุนเงินทุนสำหรับการศึกษาและวิจัย จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายสุดผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดามารดา และสมาชิกในครอบครัวทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนในด้านการศึกษา และเป็นกำลังใจที่ดีให้เสมอมา ขอคุณกัลยาณมิตรทุกท่านที่อยู่เคียงข้างกันเสมอมา คุณค่าและประโยชน์จากการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้เป็นแนวทางในการพัฒนาการศึกษาของประเทศต่อไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูปภาพ	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	4
ความสำคัญของงานวิจัย	4
ขอบเขตของการวิจัย	5
ประชากรที่ใช้ในการวิจัย	5
กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย	5
ตัวแปรที่ศึกษา	5
เนื้อหา	5
ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล	6
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	6
กรอบแนวคิดในการวิจัย	9
สมมติฐานในการวิจัย.....	10
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
1. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผ้ากันน้ำ.....	12

1.1 สมบัติการกันน้ำ.....	12
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผ้ากันน้ำ.....	19
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ เรื่อง พันธะเคมี	22
2.1 วิเคราะห์หลักสูตรและเนื้อหา สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ วิชาเคมีที่เกี่ยวข้องกับเรื่อง พันธะเคมี ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย	22
2.2 ความหมายของพันธะเคมี.....	23
2.3 ประเภทของพันธะเคมี	24
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ เรื่อง พันธะเคมี	26
3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสเต็มศึกษา.....	27
3.1 ความหมายของสเต็มศึกษา	27
3.2 แนวคิดและลักษณะของสเต็มศึกษา	28
3.3 ประโยชน์จากการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสเต็มศึกษา	31
3.4 แนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการแบบสเต็มศึกษา.....	31
3.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้โดยใช้สเต็มศึกษา.....	33
4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะในศตวรรษที่ 21ด้านความคิดสร้างสรรค์.....	35
4.1 องค์ประกอบของทักษะในศตวรรษที่ 21.....	35
4.2 ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม.....	37
4.3 แนวปฏิบัติในการประเมินทักษะในศตวรรษที่ 21ด้านความคิดสร้างสรรค์.....	41
4.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะในศตวรรษที่ 21และความคิดสร้างสรรค์.....	46
5. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	47
5.1 ความหมายของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	47
5.2 แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์.....	48
5.3 ประเภทของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์.....	48

5.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์.....	52
6. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านการปฏิบัติ (Constructionism)	53
6.1 ความหมายของทฤษฎี Constructionism.....	53
6.2 หลักการและกระบวนการการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านการปฏิบัติ	54
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	57
1. การพัฒนากิจกรรมสเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่องพันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะ ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย	59
1.1 การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง.....	59
1.2 การพัฒนาวิธีการทดลองและบทปฏิบัติการ เรื่อง ฝ่าฝ้ายกันน้ำ	62
1.3 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	71
2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล	90
2.2 การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล	93
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	96
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	123
ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	123
สมมติฐานในการวิจัย.....	123
วิธีการดำเนินการวิจัย.....	124
สรุปผลการวิจัย.....	127
อภิปรายผลการวิจัย	128
ข้อเสนอแนะ	144
บรรณานุกรม	146
ภาคผนวก.....	154
ประวัติผู้เขียน.....	183



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสของหยดน้ำและสมบัติของพื้นผิววัสดุ.....	14
ตาราง 2 แสดงการวัดภาวการณ์เปียกของวัสดุจากมุมสัมผัสของหยดน้ำ	15
ตาราง 3 แสดงการจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่องพันธะเคมี	60
ตาราง 4 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้ม	64
ตาราง 5 การศึกษาผลของวิธีทำให้ผ้าฝ้ายแห้ง	66
ตาราง 6 การศึกษาผลของวิธีเคลือบผ้าฝ้าย	67
ตาราง 7 แสดงการจัดกิจกรรมสเต็มศึกษาตามขั้นตอนของ KOFAC (2012)	75
ตาราง 8 การออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี. 85	
ตาราง 9 แสดงแบบแผนการทดลองแบบ Nonrandomized Control Group Pretest-Posttest Design.....	89
ตาราง 10 เปรียบเทียบการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษาและการสืบเสาะความรู้ (5E) ...	91
ตาราง 11 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำจากโปรแกรม ImageJ ของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงสมบัติการกันน้ำ ด้วยสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้มที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	98
ตาราง 12 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำจากเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัสของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงสมบัติการกันน้ำด้วยสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้มที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	100
ตาราง 13 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำของผ้าฝ้ายที่ใช้วิธีทำให้ผ้าแห้งด้วยวิธีต่างๆ	102
ตาราง 14 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำจากเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัสของผ้าฝ้ายที่ใช้วิธีทำให้ผ้าแห้งด้วยวิธีต่างๆ.....	104
ตาราง 15 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำของผ้าฝ้ายที่ใช้วิธีเคลือบผ้าด้วยวิธีต่างๆ	105
ตาราง 16 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำจากเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัสของผ้าฝ้ายที่ใช้วิธีเคลือบผ้าด้วยวิธีต่างๆ.....	107

ตาราง 17 แสดงร้อยละจำนวนของนักเรียนที่มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนมากกว่า 40 คะแนน จากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี.....	108
ตาราง 18 แสดงผลคะแนนการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้าน การออกแบบผลงาน ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา	115
ตาราง 19 แสดงผลคะแนนการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้าน ผลงาน ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา	117
ตาราง 20 แสดงผลรวมคะแนนการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา	118
ตาราง 21 แสดงผลการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยและระดับของทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ก่อนและหลังเรียนของนักเรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฟ้าผ่า ยกันน้ำ	119
ตาราง 22 แสดงผลการเปรียบเทียบผลคะแนนเฉลี่ยจากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ของกลุ่มทดลอง ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสเต็มศึกษา	120
ตาราง 23 แสดงผลการเปรียบเทียบผลคะแนนเฉลี่ยจากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังการจัดการเรียนรู้ ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม.....	122
ตาราง 24 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ขององค์ประกอบกิจกรรมสเต็มศึกษาเรื่อง พันธะเคมี: ฟ้าผ่า ยกันน้ำ.....	163
ตาราง 25 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม	165
ตาราง 26 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี	168
ตาราง 27 ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) และค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี	170
ตาราง 28 ค่าประสิทธิภาพของกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฟ้าผ่า ยกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย.....	172

ตาราง 29 คะแนนการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของกลุ่มทดลอง ก่อนและ หลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะ ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย	174
ตาราง 30 คะแนนจากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมีของกลุ่มทดลอง ก่อนและ หลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะ ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย	175
ตาราง 31 คะแนนจากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมีของกลุ่มควบคุม ก่อนและ หลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะ ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย	177
ตาราง 32 ตารางเปรียบเทียบคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนระหว่าง กลุ่มทดลองที่เรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา และกลุ่มควบคุมที่เรียนด้วยวิธีสืบเสาะความรู้ (5E)	179

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย	9
ภาพประกอบ 2 แสดงโครงสร้างในระดับไมโคร-นาโนเมตรบนพื้นผิวของไบบิว	12
ภาพประกอบ 3 การนำวัสดุที่มีพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำไปประยุกต์ใช้งาน.....	13
ภาพประกอบ 4 แสดงลักษณะของหยดของเหลวบนพื้นผิวของของแข็งโดยมีค่ามุมสัมผัสต่าง ๆ	16
ภาพประกอบ 5 แสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยผ้าฝ้าย.....	17
ภาพประกอบ 6 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของผ้าฝ้าย	17
ภาพประกอบ 7 ชั้นสน.....	18
ภาพประกอบ 8 สารส้ม.....	19
ภาพประกอบ 9 กรอบแนวคิดสเต็มศึกษา (Yakman. 2008).....	29
ภาพประกอบ 10 กรอบแนวทางการใช้สเต็ม (KOFAC. 2012).....	32
ภาพประกอบ 11 กรอบแนวคิดเพื่อการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21.....	37
ภาพประกอบ 12 กรอบแนวคิดการพัฒนากิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย	56
ภาพประกอบ 13 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	58
ภาพประกอบ 14 การวัดมุมสัมผัสของน้ำโดยใช้โปรแกรม ImageJ	69
ภาพประกอบ 15 เครื่องวิเคราะห์ห่มสัมผัส (Contact angles analyzer).....	70
ภาพประกอบ 16 แสดงภาพ SEM ของเส้นใยผ้าฝ้ายก่อนการปรับปรุงสมบัติกันน้ำ ที่กำลังขยาย a) 500 และ b) 5000 เท่า	97
ภาพประกอบ 17 กราฟแสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำจากโปรแกรม ImageJ ของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงสมบัติการกันน้ำด้วยสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้มที่ความเข้มข้นต่างๆ	98

ภาพประกอบ 18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลจากการวัดค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำด้วยโปรแกรม ImageJ และเครื่องวิเคราะห์หุ้มสัมพัทธ์ ของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงสมบัติการกันน้ำด้วยสารละลายชันสนและสารละลายสารส้มที่ความเข้มข้นต่างๆ..... 100

ภาพประกอบ 19 แสดงภาพ SEM ของเส้นใยผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงสมบัติการกันน้ำด้วยสารละลายชันสนและสารละลายสารส้มที่ความเข้มข้น a) 1 b) 2 c) 3 d) 6 e)10 และ f)14 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร ที่กำลังขยาย 5000 เท่า..... 101

ภาพประกอบ 20 กราฟแสดงค่ามูมสัมพัทธ์ของหยดน้ำของผ้าฝ้ายที่ใช้วิธีทำให้ผ้าแห้งด้วยวิธีต่างๆ 102

ภาพประกอบ 21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลจากการวัดค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำด้วยโปรแกรม ImageJ และเครื่องวิเคราะห์หุ้มสัมพัทธ์ของผ้าฝ้ายที่ใช้วิธีทำให้ผ้าฝ้ายแห้งด้วยวิธีต่างๆ 103

ภาพประกอบ 22 แสดงภาพ SEM ของเส้นใยผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงสมบัติกันน้ำโดยใช้ วิธีทำให้ผ้าฝ้ายแห้งด้วย a) ตากแดด b) อบแห้ง และ c) รีด ที่กำลังขยาย 5000 เท่า 104

ภาพประกอบ 23 กราฟแสดงค่ามูมสัมพัทธ์ของหยดน้ำของผ้าฝ้ายที่ใช้วิธีเคลือบผ้าด้วยวิธีต่างๆ105

ภาพประกอบ 24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลจากการวัดค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำด้วยโปรแกรม ImageJ และเครื่องวิเคราะห์หุ้มสัมพัทธ์ของผ้าฝ้ายที่ใช้วิธีเคลือบผ้าฝ้ายด้วยวิธีต่างๆ 106

ภาพประกอบ 25 แสดงภาพ SEM ของเส้นใยผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงสมบัติกันน้ำโดยใช้วิธีเคลือบผ้าด้วยวิธี a) จุ่มเคลือบ และ b) สเปรย์สารละลาย ที่กำลังขยาย 5000 เท่า 107

ภาพประกอบ 26 การนำเสนอปัญหาที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง..... 110

ภาพประกอบ 27 อุปกรณ์และสารเคมีในการทดลองเตรียมผ้ากันน้ำ..... 111

ภาพประกอบ 28 ตัวอย่างผลงานของนักเรียน 112

ภาพประกอบ 29 การออกแบบการทดลองและสร้างผลงานของนักเรียน 113

ภาพประกอบ 30 การดำเนินกิจกรรมของนักเรียนแต่ละกลุ่ม 114

ภาพประกอบ 31 การนำเสนอวิดีโอโฆษณาผลิตภัณฑ์ของนักเรียนผ่าน Facebook 116

ภาพประกอบ 32 แสดงพื้นผิวขรุขระระดับนาโนเมตร-ไมโครเมตรบนใบบัว 129

ภาพประกอบ 33 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของผ้าฝ้าย 129

ภาพประกอบ 34 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของชั้นสน..... 130

ภาพประกอบ 35 แสดงการเกิดปฏิกิริยาบนผิวเส้นใยผ้าฝ้าย 131

ภาพประกอบ 36 แสดงสมบัติการกั้นน้ำของผ้าฝ้ายเมื่อการเคลือบด้วยสารละลายชั้นสนและ
สารละลายสารส้ม 132

ภาพประกอบ 37 ภาพจากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงพื้นผิวขรุขระระดับนาโน
เมตร-ไมโครเมตร บนเส้นใยผ้าฝ้ายเมื่อการเคลือบด้วยสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้ม
A) กำลังขยาย 500X B)กำลังขยาย 5000X และ C) กำลังขยาย 10,000X..... 132



บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

แนวโน้มของสังคมโลกและสังคมไทยในปัจจุบัน มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและระบบสารสนเทศเป็นปัจจัยสำคัญที่ผลักดัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตของมนุษย์และระบบเศรษฐกิจของโลก ประเทศไทยจึงจำเป็นต้องปรับตัวให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงด้วยการสร้างวิสัยทัศน์เชิงนโยบายการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศที่มีความสำคัญในการขับเคลื่อนปฏิรูปประเทศด้านต่าง ๆ เพื่อเปลี่ยนแปลงและสร้างหนทางพัฒนาประเทศให้เจริญ ดังนั้นรัฐบาลไทยจึงมีนโยบาย “ไทยแลนด์ 4.0” เป็นโมเดลพัฒนาเศรษฐกิจซึ่งต้องการปรับเปลี่ยนโครงสร้างเศรษฐกิจไปสู่ “เศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม” (Value-Based Economy) จึงจำเป็นต้องพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ในประเทศให้มีความสอดคล้องกับนโยบาย “ไทยแลนด์ 4.0” โดยลักษณะที่สำคัญของบุคคลในยุคปัจจุบัน คือ ต้องมีทักษะในศตวรรษที่ 21 เพื่อเตรียมความพร้อมในการขับเคลื่อนประเทศสู่การสร้างนวัตกรรมเป็นสินค้า

จากนโยบาย “ไทยแลนด์ 4.0” ชี้ให้เห็นว่าทรัพยากรมนุษย์เป็นเครื่องมือสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ ดังนั้นการเตรียมกำลังคนให้พร้อมในการเป็นกลไกสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมไทยจึงต้องเริ่มจากการพัฒนาการศึกษาของประเทศ เพราะการศึกษาคือเครื่องมือสำคัญในการยกระดับคุณภาพทรัพยากรมนุษย์ในประเทศ ทำให้การศึกษาในยุคประเทศไทย 4.0 จึงมีความหมายมากกว่าการเตรียมความพร้อมของคน หรือให้ความรู้กับคนเท่านั้น โดยต้องสร้างเยาวชนให้เป็นผู้ที่มีทักษะในศตวรรษที่ 21 โดยเน้นทักษะในการคิดวิเคราะห์และความคิดสร้างสรรค์เป็นหลักเพื่อนำไปสู่การสร้างนวัตกรรม ดังนั้น การศึกษาจึงต้องเร่งดำเนินการปฏิรูปการเรียนการสอนให้กับเด็กไทยได้เข้าก้าวสู่ประเทศไทย 4.0 อย่างเป็นรูปธรรม เช่น การพัฒนาทักษะภาษาอังกฤษ และการส่งเสริมการเรียนการสอนวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ แต่การเรียนการสอนรูปแบบเดิมที่มีในประเทศไทย เช่น วิธีการสอนแบบบรรยาย (Lecture Method) การสอนแบบสืบเสาะความรู้ (5E) นั้นยังส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ให้เยาวชนกลายเป็นผู้สร้างนวัตกรรมได้ไม่เพียงพอมากนัก จึงจำเป็นต้องอย่างยิ่งที่จะต้องมีแนวทางการเรียนรู้ที่พัฒนาให้สอดคล้องกัน ซึ่งแนวทางการการเรียนรู้ที่สามารถพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 คือ การเรียนการสอนตามแนวทางสะเต็มศึกษา (STEM Education) โดยสะเต็มศึกษานั้นเป็นการเรียนการสอนที่เกิดจากการบูรณาการข้ามสาขาวิชา 4 สาขาวิชาพื้นฐาน ได้แก่ วิทยาศาสตร์

(Science : S) เทคโนโลยี (Technology : T) วิศวกรรม (Engineering : E) และคณิตศาสตร์ (Mathematic : M) เพื่อสร้างความคิดสร้างสรรค์ในการเชื่อมโยงเนื้อหาไปสู่การแก้ปัญหาในชีวิตจริง รวมทั้งการพัฒนากระบวนการหรือผลผลิตใหม่ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557) การจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษาทำให้เกิดการผลิตคนที่มีความรู้ความสามารถในการเชื่อมโยงทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ได้ดีขึ้น รวมถึงสร้างคนที่มีทักษะการคิดวิเคราะห์ เพื่อการสร้างสรรค์ผลงานใหม่

อย่างไรก็ตามการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษานั้นประกอบไปด้วยศาสตร์ที่มีความเป็นวิชาการสูง เน้นตรรกะการคำนวณทั้งวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ เน้นการใช้สมองซีกซ้ายมาก แต่ในความเป็นจริงบุคคลที่มีชื่อเสียงระดับโลก ที่เน้นการใช้สมองซีกซ้าย ย่อมจะต้องใช้สมองซีกขวาในการคิดสร้างสรรค์หรือประดิษฐ์ผลงานออกมา โดยการนำศิลปศาสตร์เข้าไปผสมผสาน เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างสมองซีกซ้ายและซีกขวา (University of Florida, 2014) และต่อ ยอดในการผลิตผลงานหรือนวัตกรรมที่สร้างขึ้น ดังนั้นจะเห็นว่าการจัดการเรียนรู้ด้วยสะเต็มศึกษา นี้ยังสามารถพัฒนาต่อยอดให้เหมาะสมต่อการสร้างสรรค์นวัตกรรมและประสบความสำเร็จในชีวิต โดยการเพิ่มกลุ่มวิชาศิลปศาสตร์ (Art : A) ซึ่งเป็นกลุ่มวิชาเกี่ยวกับ ศิลปะ ภาษา การเมือง จิตวิทยา สังคม วัฒนธรรม ศาสนา และดนตรี เข้าไปในกลุ่มวิชาสะเต็ม (STEM) แล้วทำให้ กลายเป็นกลุ่มวิชาสเต็ม (STEAM) (G. G. Yakman, 2008) ซึ่งการเพิ่มกลุ่มวิชาศิลปศาสตร์เข้าไป นั้น เพื่อให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้ ความเข้าใจเนื้อหาในระดับลึกได้อย่างครอบคลุม และ มุ่งต้องการให้นักเรียนถ่ายทอดจินตนาการออกมา เพื่อนำไปสู่การพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น ในชีวิตจริงอย่างสร้างสรรค์ โดยสเต็มศึกษา (STEAM Education) สามารถช่วยแก้ไขปัญหานักเรียนที่มีผลการเรียนวิชาคณิตศาสตร์และวิชาวิทยาศาสตร์ต่ำได้ เพราะเป็นการเชื่อมโยง ความสัมพันธ์ระหว่างวิทยาศาสตร์ (เน้นความคิดเชิงวิชาการ) กับศิลปศาสตร์ (เน้นความคิดเชิง สร้างสรรค์) ได้อย่างลงตัว ทำให้นักเรียนเกิดความคงทนในการเรียนรู้ (Y. Kim & Park, 2012) และการเรียนผ่านการจัดการศึกษาแบบสเต็มจะบูรณาการวิชาศิลปะเข้ามา โดยการใช้ลักษณะการ ทำงานของวิชาศิลปะ ที่เน้นการลงมือทำจริง ผู้เรียนจึงได้ประสบการณ์ผ่านประสาทสัมผัสทั้ง 5 (Moomaw, 2012) และเพิ่มขึ้นตอนในการออกแบบผลผลิตให้เหมาะสม สวยงาม เพื่อการนำไปใช้ ต่อได้จริง ซึ่งจะช่วยเสริมความคิดสร้างสรรค์ สร้างแรงบันดาลใจ ความสุขในการเรียนรู้ รู้จักการทำงานเป็นทีม และนำไปสู่การเป็นนักประดิษฐ์ นักสร้างสรรค์นวัตกรรมในอนาคต (สิตยา ลังการ์พินธุ์, 2561) ซึ่งสอดคล้องกับจุดมุ่งหมายของนโยบายไทยแลนด์ 4.0 ที่ต้องการขับเคลื่อน ประเทศไทยในอนาคตด้วยนวัตกรรม

การจัดการเรียนการสอนตามแนวทางสติมของประเทศไทยในปัจจุบันนั้น มีการประยุกต์ใช้เพียงกลุ่มนักเรียนระดับปฐมวัย (ฉัตรทราวดี บุญถนอม & อรพรรณ บุตรกัตถัญญ, 2015; เลิศนารี รอดกำเนิด & ชลาธิป สมาหิโต, 2559; หทัยภัทร ไกรวรรณ & ปัทมาวดี เล่ห์มิ่งคณ, 2017) ด้วยระดับวุฒิภาวะและวัยของนักเรียนระดับปฐมวัย จึงยังคงไม่สามารถส่งเสริมให้นำไปสู่การสร้างนวัตกรรมต่อได้ แต่ในงานวิจัยในระดับนานาชาติ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา และเกาหลีใต้ ได้มีการสร้างแนวทางการเรียนการสอนตามแนวทางสติมที่ผนวกรวมเอาวัฒนธรรมท้องถิ่นเข้ากับปัญหาที่เกิดขึ้นในสังคมที่ใกล้ตัวผู้เรียนในระดับมัธยมศึกษา (H. Kim & Chae, 2016) เพื่อนำมาสู่การพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในชีวิตจริงอย่างสร้างสรรค์และสามารถสร้างนวัตกรรมที่ตอบสนองความต้องการของตนและผู้อื่นได้ ผู้วิจัยจึงได้เลือกทำการวิจัยเกี่ยวกับสติมศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยการนำเอาปัญหาของผลิตภัณฑ์ที่อยู่บนพื้นฐานวัฒนธรรมไทยมาใช้เป็นสถานการณ์ในการทำกิจกรรมสติม คือ ปัญหาราคาผ้าทอพื้นเมืองของไทยราคาตกต่ำ ซึ่งการแก้ปัญหานี้จะต้องนำกระบวนการออกแบบอย่างสร้างสรรค์และนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์มาใช้กับผลิตภัณฑ์จากผ้าทอพื้นเมืองเพื่อเพิ่มมูลค่าต่อไป โดยนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์ที่นำมาใช้กับผ้าทอพื้นเมืองคือ การทำผ้ากันน้ำ ซึ่งเป็นนวัตกรรมเลียนแบบธรรมชาติ (Biomimicry) ของผิวใบบัว (Janine Benyus, 2015) จากนวัตกรรมการทำผ้ากันน้ำดังกล่าว สามารถเชื่อมโยงกับการจัดการเรียนรู้วิชาเคมี ในเรื่อง พันธะเคมี ที่เป็นสาระที่มีความหลากหลายและเป็นเนื้อหาพื้นฐานที่เชื่อมโยงกับสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของสสาร แต่เนื่องจากพันธะเคมีเป็นการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างและการเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ไอออน หรืออะตอมของสารที่อยู่รอบตัวเราซึ่งเป็นปรากฏการณ์ระดับจุลภาคไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า ดังนั้นพันธะเคมีจึงเป็นแนวคิดที่มีความเป็นนามธรรมสูง ทำความเข้าใจได้ยากและนักเรียนมีแนวความคิดที่คลาดเคลื่อนอยู่เป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงเลือกทำการวิจัยเกี่ยวกับสติมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี ให้สามารถจัดกิจกรรมในคาบเรียนได้ โดยครอบคลุมเนื้อหาสาระตามหลักสูตรแกนกลางขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560) เพื่อส่งผลให้เกิดนักเรียนที่เข้าใจสาระและกระบวนการเกี่ยวกับสติมศึกษา และสามารถเชื่อมโยงเนื้อหาสาระทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์โดยใช้เทคโนโลยีและกระบวนการวิศวกรรม ตลอดจนเชื่อมโยงศิลปะเข้ากับการสร้างสรรค์ผลงานได้ รวมทั้งส่งผลให้เกิดการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 คือ ทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม และมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ที่ถูกต้องร่วมด้วย

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารละลาย ชั้นสน และสารละลายสารส้ม
2. พัฒนากิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ คือ นักเรียนร้อยละ 70 มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50
3. ศึกษาทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายหลังจากเรียนด้วยกิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ
4. ศึกษาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายหลังจากเรียนด้วยกิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ

ความสำคัญของงานวิจัย

ในวิชาเคมีแนวคิดพื้นฐานที่สำคัญในการเรียนรู้เคมีคือ พันธะเคมี โดยพันธะเคมีเป็นการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างและการเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ไอออน หรืออะตอมของสารที่อยู่รอบตัวเราซึ่งเป็นปรากฏการณ์ระดับจุลภาคไม่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า ดังนั้นพันธะเคมีจึงเป็นแนวคิดที่มีความเป็นนามธรรมสูง ทำความเข้าใจได้ยากและนักเรียนมีแนวความคิดที่คลาดเคลื่อนอยู่เป็นจำนวนมาก การวิจัยครั้งนี้จึงได้พัฒนากิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม และแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีคุณภาพ ซึ่งพัฒนาขึ้นตามบริบทของประเทศไทย โดยสามารถจัดกิจกรรมการเรียนรู้ได้ในคาบเรียน เพื่อเป็นแนวทางจัดกิจกรรมตามแนวทางการเรียนการสอนแบบเสริมศึกษาอย่างมีระบบในโรงเรียน ทำให้นักเรียนมีแนวคิดในวิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี ดีขึ้นสามารถเชื่อมโยงแนวความคิดที่เป็นนามธรรมมาสู่ชีวิตประจำวันได้ และเกิดการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมควบคู่ไปด้วย

ขอบเขตของการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ของโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2561 ของโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง 2 ห้องเรียน ห้องเรียนละ 30 คน ทั้งหมดจำนวน 60 คน ประกอบด้วยกลุ่มทดลองที่เป็นกลุ่มที่เรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ และกลุ่มควบคุมเป็นกลุ่มที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะความรู้ (5E)

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ คือ การจัดการเรียนรู้ด้วยการใช้กิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ
2. ตัวแปรตาม คือ ประสิทธิภาพของกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ ประกอบด้วย 3 ด้าน ได้แก่
 - 2.1 ประสิทธิภาพของกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ
 - 2.2 ทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
 - 2.3 แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี

เนื้อหา

กิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ประกอบด้วยกิจกรรม 1 กิจกรรม คือ กิจกรรม “ผ้าฝ้ายกันน้ำ” โดยกิจกรรมนี้เป็นกิจกรรมที่สร้างขึ้นตามแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามรูปแบบสเต็มศึกษา โดยมีเนื้อหา เรื่อง พันธะเคมี ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. การเกิดไอออน และการเกิดพันธะไอออนิก
2. การเขียนสูตรและการเรียกชื่อสารประกอบไอออนิก
3. สมบัติและปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก
4. การอ่านชื่อสารประกอบโคเวเลนต์
5. การเกิดพันธะโคเวเลนต์และชนิดของพันธะโคเวเลนต์
6. แนวคิดเกี่ยวกับเรโซแนนซ์และรูปร่างโมเลกุล

7. สภาพัฒน์ของโมเลกุลโคเวเลนต์และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลโคเวเลนต์ ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย คือ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2561 ระยะเวลา 7 สัปดาห์ โดยใช้เวลารวมทั้งหมด 24 คาบเรียน รวมการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน (คาบเรียนละ 50 นาที)

นियามศัพท์เฉพาะ

1. ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้าย หมายถึง สภาวะหรือสิ่งที่ส่งผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้าย เช่น ความเข้มข้นของสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้ม วิธีเคลือบผ้า และวิธีทำให้ผ้าแห้ง

2. สมบัติการกันน้ำ หมายถึง ภาวะที่พื้นผิววัสดุไม่มีความเปียก หรือเปียกยาก โดยใช้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ (water contact angle, WCAs) บนพื้นผิวของวัสดุเป็นตัวแสดงสมบัติ โดยพื้นผิวใดที่มีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมากกว่า 90° แสดงว่าพื้นผิวมีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) จึงทำให้พื้นผิวเปียกยาก และพื้นผิวใดที่มีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมากกว่า 150° แสดงว่าพื้นผิวมีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophobic) จึงทำให้พื้นผิวไม่มีความเปียก ซึ่งการตรวจสอบสมบัติการกันน้ำทำได้โดยใช้โปรแกรม ImageJ

3. สติมศึกษา หมายถึง การจัดการเรียนรู้ที่บูรณาการระหว่าง 5 สาขาวิชา ได้แก่ คือ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม ศิลปะ และคณิตศาสตร์ โดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบสติมศึกษา 3 ขั้นตอน คือ 1) การนำเสนอปัญหาที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง 2) การออกแบบสร้างสรรค์ และ 3) การสร้างความรู้สึกจับใจ เพื่อให้นักเรียนได้แก้ปัญหาและสร้างผลงาน ตามสถานการณ์ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน สร้างการมีส่วนร่วมในการทำงานเป็นทีม และสร้างแรงจูงใจผ่านการลงมือปฏิบัติผ่านการแก้ไขปัญหา

4. กิจกรรมสติมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ หมายถึง กิจกรรมที่บูรณาการระหว่าง 5 สาขาวิชา ดังนี้

1. วิทยาศาสตร์ (S): นวัตกรรมเลียนแบบธรรมชาติ (Biomimicry) และเนื้อหาวิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี ดังนี้

1. การเกิดไอออน และการเกิดพันธะไอออนิก
2. การเขียนสูตรและการเรียกชื่อสารประกอบไอออนิก
3. สมบัติและปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก
4. การอ่านชื่อสารประกอบโคเวเลนต์

5. การเกิดพันธะโคเวเลนต์และชนิดของพันธะโคเวเลนต์
 6. แนวคิดเกี่ยวกับเรโซแนนซ์และรูปร่างโมเลกุล
 7. สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลโคเวเลนต์
2. เทคโนโลยี (T): การใช้โปรแกรม ImageJ ในการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำ และการใช้ Facebook เพื่อการนำเสนอผลิตภัณฑ์ผ้ากันน้ำ
3. วิศวกรรม (E): การใช้กระบวนการทางวิศวกรรม 5 ขั้นตอน คือ 1) ระบุปัญหา 2) รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา 3) ออกแบบวิธีการแก้ปัญหาและดำเนินการแก้ปัญหา 4) ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน และ 5) นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน
4. ศิลปะ (A): การใช้สถานการณ์ที่มาจากปัญหาของวัฒนธรรมไทย เรื่อง ปัญหา ราคาผ้าทอไทยตกต่ำ เพื่อกระตุ้นและสร้างความตระหนักให้นักเรียนเห็นความสำคัญของการแก้ปัญหา และออกแบบรูปแบบของผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายเพื่อคำนึงถึงการนำไปใช้งานได้จริงที่ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค
5. คณิตศาสตร์ (M): การคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิต และความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการเคลือบผ้าฝ้าย
- โดยกิจกรรมสเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ ที่จัดการเรียนรู้ตามแนวทางสเต็มศึกษาที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น โดยประกอบด้วยกิจกรรมทั้งสิ้น 1 กิจกรรม คือ กิจกรรม“ผ้าฝ้ายกันน้ำ” มีขั้นตอนการจัดกิจกรรมดังนี้ ขั้นที่ 1 การนำเสนอสถานการณ์ปัญหาที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง โดยชี้แจงการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี โดยแบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นทีม จากนั้นนำเสนอข่าวราคาผ้าทอไทยตกต่ำ แล้วให้นักเรียนร่วมกันวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา และหาวิธีแก้ไข จากนั้นนำเสนอแนวทางแก้ไขปัญหาย่างสร้างสรรค์ด้วยนวัตกรรมเลียนแบบธรรมชาติ (Biomimicry) ขั้นที่ 2 การออกแบบสร้างสรรค์ จัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่อง พันธะเคมี และให้นักเรียนค้นคว้าความรู้จากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ทำการทดลองตามเอกสารประกอบการเรียนของโรงเรียน และนำเสนอปฏิบัติการผ้าฝ้ายกันน้ำและการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผ้าฝ้ายกันน้ำโดยใช้โปรแกรม ImageJ เพื่อสร้างแรงบันดาลใจให้นักเรียนสู่การสร้างสรรค์ผลงาน แล้วให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่ส่งผลให้ได้ผ้ากันน้ำที่ดีที่สุด และวางแผนการสร้างผลงาน จากนั้นให้นักเรียนนำเสนอผลการทดลองให้เพื่อนและครูฟังเพื่อช่วยกันหาวิธีปรับปรุงวิธีทดลอง และปัญหาจากการสร้างชิ้นงาน เพื่อร่วมกันแก้ไข และขั้นที่ 3 การสร้างความรู้สึกประทับใจ ได้จัดนิทรรศการแสดงผลภัณฑ์ของนักเรียนแต่ละกลุ่มผ่าน Facebook โดย

การนำเสนอเป็นวิดีโอโฆษณาผลิตภัณฑ์ของกลุ่มตัวเอง และสะท้อนผลความคิดเห็นของนักเรียน ต่อกิจกรรม โดยแต่ละกิจกรรมมีครูผู้สอนเป็นผู้ช่วย ดังนั้นกิจกรรมจึงประกอบไปด้วย คู่มือครูของ กิจกรรมสติศึกษาวิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเอง ซึ่งประกอบด้วย คำชี้แจงคู่มือครู แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสติศึกษา เกณฑ์การให้คะแนน และแนวคำตอบของกิจกรรม

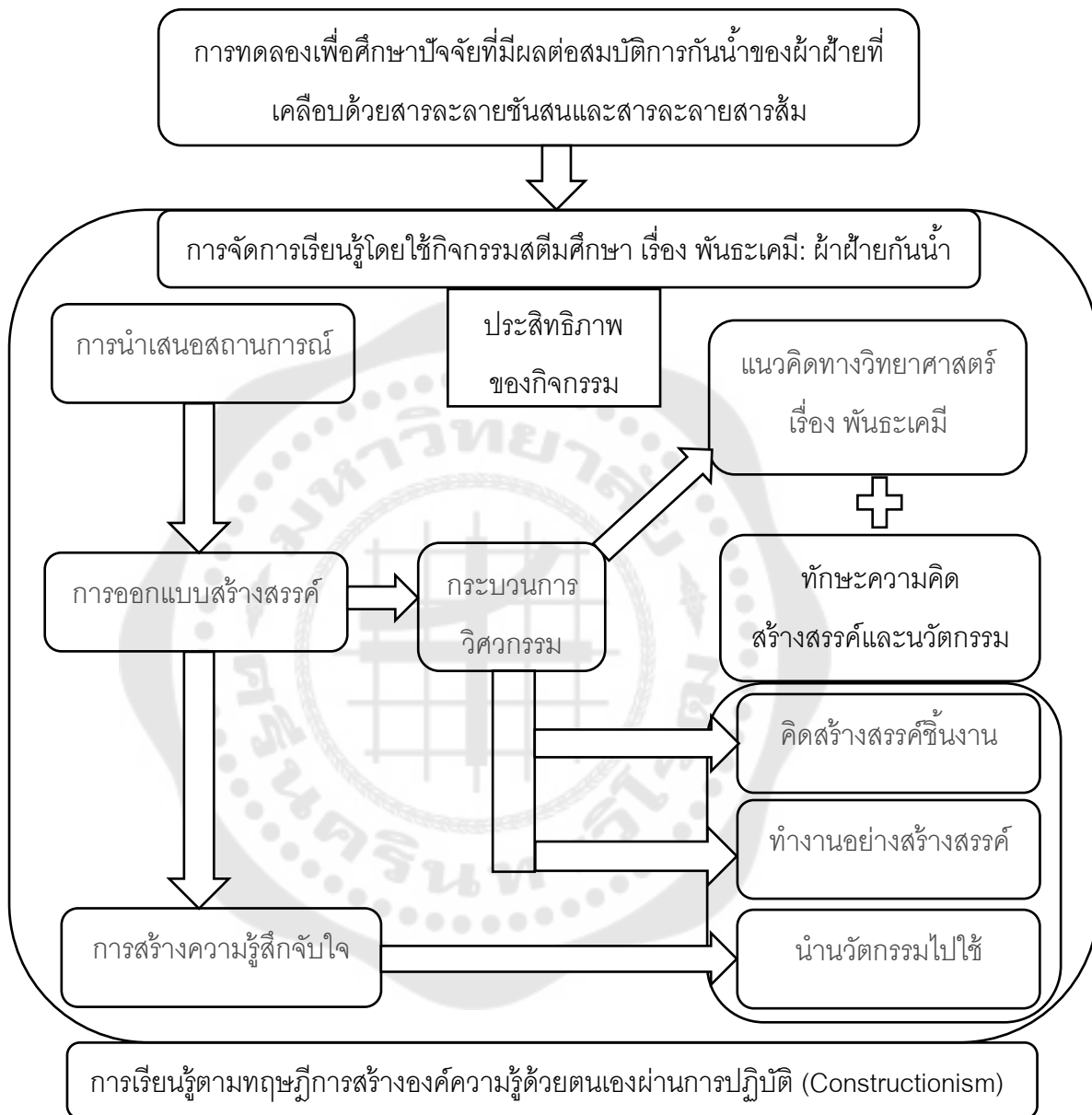
5. ทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หมายถึง ความสามารถในการคิดออกแบบ สร้างสรรค์ผลงาน และความสามารถในการสร้างสรรค์ผลงานจากผ้าฝ้ายกันน้ำ มีรายละเอียดดังนี้

5.1 ความสามารถในการคิดออกแบบสร้างสรรค์ผลงาน หมายถึง ความสามารถในการคิดและการออกแบบผลิตภัณฑ์จากผ้าฝ้ายที่แตกต่างจากเดิม หรือการผนวกความคิดเก่าให้เป็นความคิดใหม่โดยการใช้ความรู้เรื่อง สมบัติการกันน้ำ รวมถึงความสามารถในการคิดผลงานได้ หลากหลาย ไม่ซ้ำกับเพื่อน โดยประเมินได้จากแบบประเมินการออกแบบผลงาน

5.2 ความสามารถในการสร้างสรรค์ผลงาน หมายถึง นักเรียนสามารถลงมือสร้าง ผลงานได้จริงผ่านกระบวนการเชิงวิศวกรรม 5 ขั้นตอน และสามารถสร้างสรรค์ผลงานออกมาได้ ตามการออกแบบของนักเรียน โดยประเมินได้จากแบบประเมินผลงาน

6. แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความคิด ความเข้าใจในการรวบรวมความรู้ ที่ได้ จากการสังเกตหรือจากการได้รับประสบการณ์จากทดลองและสร้างผลงาน ออกมาเป็นข้อสรุป หรือให้คำจำกัดความได้ โดยอยู่บนพื้นฐานของเหตุและผล ซึ่งอาศัยข้อเท็จจริงและหลักเกณฑ์ทาง วิทยาศาสตร์ในวิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี ซึ่งวัดจากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะ เคมี ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น สำหรับใช้ในการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน ซึ่งเป็นแบบวัดแนวคิดชนิด ถูก-ผิด พร้อมอธิบายเหตุผลประกอบ จำนวน 20 คำถาม 80 คะแนน โดยหนึ่งคำถามให้เลือกตอบ ถูกหรือผิด หากข้อใดผิดต้องแก้ไขถูกต้อง ใช้เวลา 50 นาที โดยวัดจากผลการเรียนรู้ 8 ข้อ ตาม หลักสูตรแกนกลางขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560)

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

สมมติฐานในการวิจัย

1. ความเข้มข้นของสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้ม วิธีเคลือบผ้า และวิธีทำให้ผ้าแห้งมีผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้าย
2. กิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ คือ นักเรียนร้อยละ 70 มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50
3. นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่เรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ มีคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ในกลุ่มทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
4. แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่เรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ มีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน ในกลุ่มทดลอง และมีคะแนนหลังเรียนสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผ้ากันน้ำ
 - 1.1 สมบัติการกันน้ำ
 - 1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผ้ากันน้ำ
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ เรื่อง พันธะเคมี
 - 2.1 วิเคราะห์หลักสูตรและเนื้อหาสาระการเรียนรู้วิชาเคมี ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เรื่อง พันธะเคมี
 - 2.2 ความหมายของพันธะเคมี
 - 2.3 ประเภทของพันธะเคมี
 - 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้เรื่อง พันธะเคมี
3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสเต็มศึกษา
 - 3.1 ความหมายของสเต็มศึกษา
 - 3.2 แนวคิดและลักษณะของสเต็มศึกษา
 - 3.3 ประโยชน์จากการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสเต็มศึกษา
 - 3.4 แนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการแบบสเต็มศึกษา
 - 3.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้โดยใช้สเต็มศึกษา
4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์
 - 4.1 องค์ประกอบของทักษะในศตวรรษที่ 21
 - 4.2 ทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์
 - 4.3 แนวปฏิบัติในการประเมินทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์
 - 4.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะในศตวรรษที่ 21 และความคิดสร้างสรรค์
5. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์
 - 5.1 ความหมายของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์
 - 5.2 แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์
 - 5.3 ประเภทของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์
 - 5.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

6. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านการปฏิบัติ (Constructionism)

6.1 ความหมายของทฤษฎี Constructionism

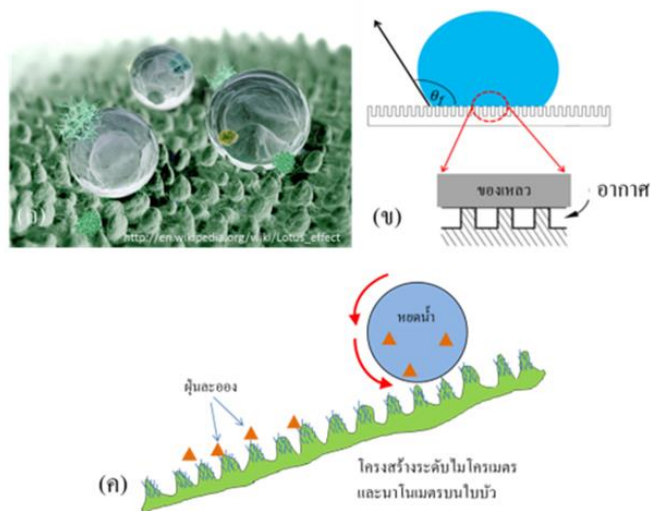
6.2 หลักการและกระบวนการการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านการปฏิบัติ

1. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผ้ากันน้ำ

1.1 สมบัติการกันน้ำ

1.1.1 ปรัชญาการณน้ำกลิ้งบนใบบัว (Lotus effect)

ปรัชญาการณน้ำกลิ้งบนใบบัว (lotus effect) เกิดจากโครงสร้างที่มีความขรุขระในระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรบนพื้นผิวของใบบัว (papillae) โดยจะมีลักษณะเป็นรูปกรวยคว่ำ มีขนาดกว้าง 10-15 ไมโครเมตร สูง 10-20 ไมโครเมตร และผิวที่มีความขรุขระเหล่านี้ยังมีสารเคลือบขี้ผึ้ง (wax) อนุภาคเล็ก ๆ ที่มีขนาดนาโนเมตรเคลือบอยู่ (Lafuma A & Quéré D, 2003) ดังแสดงในภาพประกอบ 2

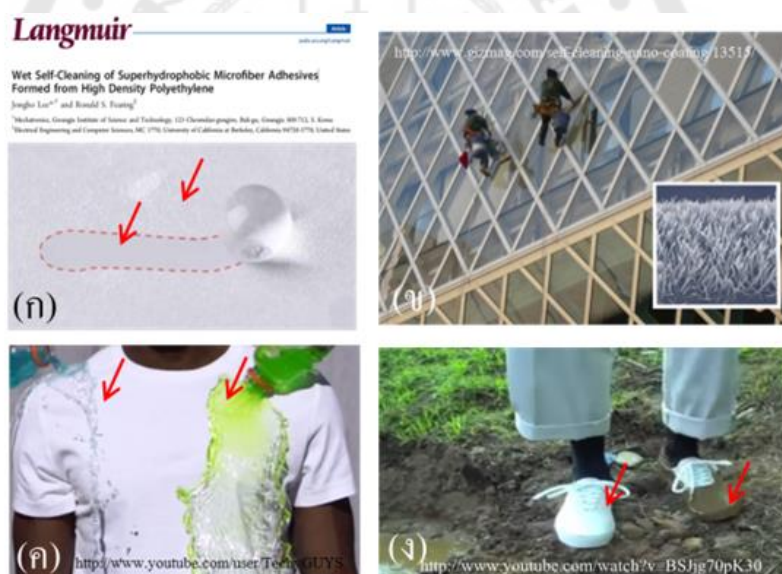


ภาพประกอบ 2 แสดงโครงสร้างในระดับไมโคร-นาโนเมตรบนพื้นผิวของใบบัว

ที่มา : http://www.physics.kmutt.ac.th/version2558/information2558/interested_topic_group/self_cleaning_leaf.html

ซึ่งพื้นผิวในลักษณะนี้มีมุมสัมผัสผิวน้ำ (water contact angles) มากกว่า 150 องศา ซึ่งทำให้เกิดสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophobic property) ขึ้น ซึ่งสมบัตินี้ทำให้น้ำสามารถกลิ้งบนใบบัวได้ ในขณะที่น้ำกลิ้งนั้นน้ำแต่ละหยดจะชะล้างคราบสิ่งสกปรกออกไปด้วย จึงเรียกพื้นผิวที่มีลักษณะนี้ว่าพื้นผิวที่ทำความสะอาดได้ด้วยตัวเอง (self-cleaning surface)

วัสดุที่มีพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านต่าง ๆ โดยใช้ประโยชน์จากสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง (self-cleaning) เช่น การนำไปใช้เคลือบบนกระจกที่ทำความสะอาดตัวเองได้ โดยกระจกที่มีพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำจะมีสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) คือ น้ำไม่เปียกบนผิวกระจก ดังนั้นน้ำที่ตกลงมาบนพื้นผิวจะรวมกันเป็นหยด จึงสามารถชะล้างฝุ่นที่ติดบนผิวกระจกให้กลิ้งออกไปพร้อมกับหยดน้ำได้ ดังแสดงในภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 การนำวัสดุที่มีพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำไปประยุกต์ใช้งาน

ที่มา :http://www.physics.kmutt.ac.th/version2558/information2558/interested_topic_group/self_cleaning_leaf.html

1.1.2 สมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (Superhydrophobic property)

ความชอบน้ำ (hydrophilicity) และความไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity) เป็นสมบัติเฉพาะของพื้นผิววัสดุที่มีค่าไม่เท่ากันในวัสดุแต่ละชนิด อธิบายโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะพื้นผิววัสดุกับการทำมุมสัมผัสของหยดน้ำ โดยวิธีการอย่างง่ายที่ใช้ในการบอกลักษณะของพื้นผิวว่ามีความชอบน้ำหรือไม่ชอบน้ำ สังเกตได้จากรูปทรงของหยดน้ำ คือ หากหยดน้ำมีลักษณะค่อนข้างแบน ไม่โค้งนูน แสดงว่าพื้นผิววัสดุนั้นมีความชอบน้ำหรือเปียกน้ำ (wettability) ได้ แต่ถ้าหากหยดน้ำมีลักษณะเป็นเม็ดกลมนูน แสดงว่าพื้นผิววัสดุมีความไม่ชอบน้ำมากหรือเปียกน้ำได้ยาก โดยค่ามุมสัมผัสน้ำ (water contact angles, WCAs) สามารถใช้เป็นตัวบอกความสัมพันธ์ของพื้นผิวและหยดน้ำ (Superhydrophobic property: 2016) ได้ดังตาราง 1

ตาราง 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมสัมผัสของหยดน้ำและสมบัติของพื้นผิววัสดุ

มุมสัมผัส	สมบัติ	ลักษณะของพื้นผิว
$>10^\circ$	ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophilicity)	ดูน้ำได้ดี เปียกอย่างสมบูรณ์
$<30^\circ$	ชอบน้ำ (hydrophilicity)	ดูน้ำ เปียกได้ดี
$90^\circ - 150^\circ$	ไม่ชอบน้ำ (hydrophobicity)	ไม่ดูน้ำหรือดูน้ำเล็กน้อย เปียกยาก
$>150^\circ$	ไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophobicity)	ไม่ดูน้ำ ไม่มีความเปียก

ที่มา : <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B8%B0%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%9B%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%81>

1.1.3 ภาวะการเปียก (Wetting) และการวัดค่ามุมสัมผัส (Contact angles measurement)

ภาวะการเปียก (wetting) คือ ความสามารถในการรักษาพื้นผิวสัมผัสระหว่างของเหลวกับของแข็ง โดยจะเกี่ยวข้องกับแรงสองแรงหลัก ๆ ดังนี้ (ภาวะการเปียก: 2016)

1. แรงเชื่อมแน่น (cohesive force) คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารชนิดเดียวกัน ซึ่งเป็นแรงที่พยายามทำให้โมเลกุลของของเหลวเกาะกลุ่มกันเป็นหยด

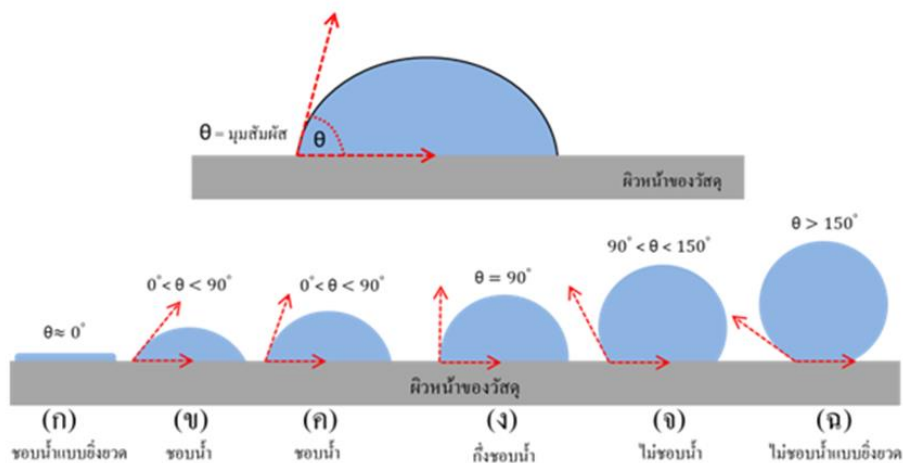
2. แรงยึดติด (adhesive force) คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารต่างชนิดกัน หมายถึง แรงระหว่างโมเลกุลของเหลวและของแข็ง เป็นแรงที่พยายามทำให้หยดของของเหลวกระจายตัวออกจากกันและกระจายแนบไปกับพื้นผิวของของแข็ง

การที่หยดน้ำเกาะอยู่บนพื้นผิวของวัสดุที่เป็นของแข็งได้จะต้องเกิดสภาพสมดุลระหว่างแรงยึดติดและแรงเชื่อมแน่น จึงใช้สภาพสมดุลระหว่างแรงยึดติดและแรงเชื่อมแน่นในการวัดภาวะการเปียกของวัสดุที่เรียกว่า มุมสัมผัส (contact angle) โดยมุมสัมผัสนี้ก็จะเป็นตัวบอกแนวโน้มที่หยดของเหลวจะกระจายตัวบนพื้นผิวของของแข็ง ค่ามุมสัมผัสจะแปรผกผันกับความสามารถในการกระจายตัวของของเหลว ดังแสดงในภาพประกอบ 4 และสามารถหาค่ามุมสัมผัสนี้เป็นเกณฑ์ในการแบ่งภาวะการเปียกของวัสดุโดยมีเกณฑ์ดังตาราง 2

ตาราง 2 แสดงการวัดภาวะการเปียกของวัสดุจากมุมสัมผัสของหยดน้ำ

มุมสัมผัส	ภาวะการเปียก	สภาพสมดุลระหว่าง		ลักษณะของหยดน้ำ
		แรงยึดติดและแรงเชื่อมแน่น	แรงเชื่อมแน่น	
0°	เปียกอย่างสมบูรณ์	แรงยึดติดมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่นมาก ๆ		แตกกระจายไปตามผิวของแข็งเป็นชั้นบาง ๆ คลุมอยู่บนพื้นผิว
0° - 90°	เปียกได้ดี	แรงยึดติดมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่น		เป็นหยดนูนขึ้นเล็กน้อย
>90°, < 180°	เปียกที่พื้นผิวได้ยาก	แรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่น		หยดรูปทรงค่อนข้างกลม
180°	ไม่เปียก	แรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่นมาก ๆ		หยดทรงกลม

ที่มา : <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B8%B0%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%80%E0%B8%9B%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%81>



ภาพประกอบ 4 แสดงลักษณะของหยดของเหลวบนพื้นผิวของของแข็งโดยมีค่ามุมสัมผัสต่าง ๆ

ที่มา : http://www.physics.kmutt.ac.th/version2558/information2558/interested_topic_group/self_cleaning_leaf.html

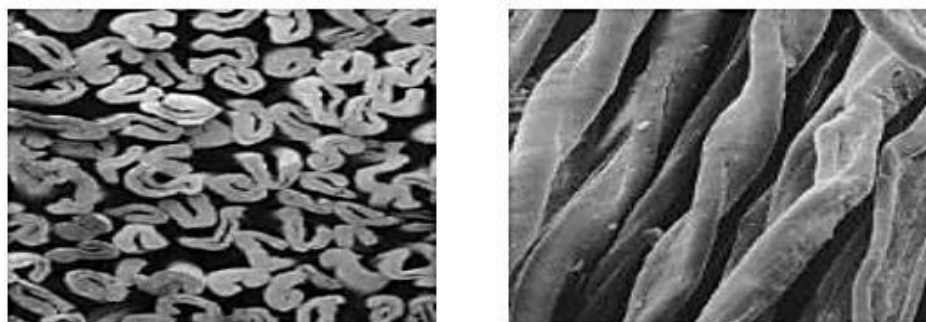
1.1.4 การเตรียมพื้นผิวที่มีสมบัติการกันน้ำ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมพื้นผิวผ้าฝ้ายที่มีสมบัติการกันน้ำโดยการใช้สารละลายชันสนและสารละลายสารส้ม

1.1.4.1 ฝ้าย (Cotton)

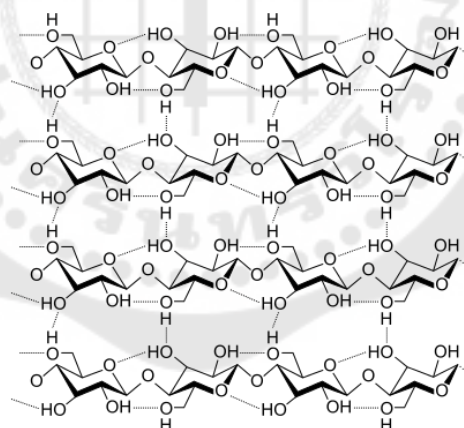
เส้นใยฝ้ายนั้นเป็นเส้นใยชนิดสั้น (staple) มีความยาวทั่วไปเฉลี่ย 0.3-5.5 เซนติเมตร สีของเส้นใยฝ้ายมีตั้งแต่ขาวไปจนถึงเหลืองเทา เส้นใยฝ้ายมีส่วนประกอบเป็นเซลลูโลส 87-90 เปอร์เซ็นต์ และสารอื่น ๆ เช่น ไขมันและความชื้น เซลลูโลสของเส้นใยฝ้ายเป็นสารโมเลกุลใหญ่ ประกอบด้วยกลูโคสในสายโซ่พอลิเมอร์ถึง 9,000-10,000 หน่วย (CMU, 2018) มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่มีความเป็นระเบียบ (crystalline) ค่อนข้างมากและระหว่างสายโซ่โมเลกุลยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ซึ่งทำให้เส้นใยเซลลูโลสนั้นมีความแข็งแรงค่อนข้างสูง นอกจากนี้เส้นใยฝ้ายยังสามารถทนต่อการขัดถู และทนต่อสารฟอกขาวได้ทุกชนิดทั้งสารฟอกขาวประเภทคลอรีน (chlorine bleach) เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรท์ และสารฟอกขาวประเภทออกซิเจน (oxygen bleach) เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสามารถทนต่อต่างได้ดี แต่ไม่ทนต่อการด่างแก่ อีกทั้งยังทนต่อความร้อนและแสงแดดได้ดี ฝ้ายนิยมนำมาใช้ประโยชน์ใน

หลายด้าน ทั้งการทำเป็นเสื้อผ้า เครื่องใช้ในบ้าน เนื่องจากผ้าฝ้ายให้ความสบายในการสวมใส่ ไม่สะสมความร้อน ภาพประกอบ 5 แสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยผ้าฝ้าย และภาพประกอบ 6 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของผ้าฝ้าย



ภาพประกอบ 5 แสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยผ้าฝ้าย

ที่มา: (ดรรชนี พัทธวรารกร, 2017)



ภาพประกอบ 6 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของผ้าฝ้าย

ที่มา: ("เซลลูโลส," 2016)

1.1.4.2 ชั้นสน (Rosin)

ชั้นสน (Rosin หรือ Colophony) หรือน้ำมันสน (Turpentine) ได้จากการกลั่นจากยางสน (Coniferous) มีลักษณะคล้ายน้ำผึ้ง เหนียว เมื่อแห้งจะเป็นก้อนนุ่มวาว น้ำมันสนนี้ผลิตจากต่อมพิเศษที่อยู่ใกล้กับชั้นแคมเบียม ในทางการค้าจะเจาะต้นสนเข้าไปเมื่อได้

น้ำยางสด จะนำไปกลั่น ได้น้ำมันหอมระเหย หรือ turpentine และ rosin เช่น น้ำมันสนออสเตรเลีย (Pinus australis) น้ำมันสนพินนาสเตอร์ (P.pinaster)

โดยชั้นสนนั้นเป็นเรซินประเภทหนึ่ง ซึ่งเรซิน (resins) หรือที่เรียกว่ายางหรือชัน เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันหอมระเหยชนิดต่างๆ ในพืชที่องค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน แล้วแต่ว่าเรซินนั้นเกิดจากน้ำมันหอมระเหยชนิดใด เมื่อพืชสร้างเรซิน เรซินก็จะถูกขับไปตามท่อน้ำยาง (resin duct หรือ resin canal) และขับออกมาสู่ภายนอก ทางรอยแตกของเปลือกไม้หรือตามบาดแผล เมื่อเรซินถูกกับอากาศ น้ำในเรซินจะค่อยๆ ระเหยออกไปทำให้เรซินแข็งและจับตัวเป็นก้อน พืชบางชนิดสร้างและขับเรซิน ออกมาปนกันกับน้ำมันหอมระเหย เรียกว่า oleo-resin มีลักษณะเหนียวและเหน็ด โดยเรซินมีคุณสมบัติ คือ ไม่ละลายน้ำ ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เอทานอล อีเทอร์ เมื่อถูกกับอากาศจะแข็งตัว มีฤทธิ์เป็นยาฆ่าเชื้อ (มนตรี เพ็ชรทองคำ, 2536)

ประโยชน์ของเรซิน

1. ใช้ทำยาและผสมยา
2. ใช้ในอุตสาหกรรมทำน้ำมันชักเงา และผสมสีต่างๆ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการกันน้ำ และป้องกันการผุกร่อน
3. ผสมกับสารอื่น เช่น ผสมเข้ากับน้ำมันยางแล้วใช้ทางเรือหรือภาชนะอื่นๆ เพื่อกันน้ำ
4. ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ ทำให้กระดาษเหนียวและทำหมึกพิมพ์
5. ใช้แกะสลักหรือตกแต่งตัดแปลงเป็นเครื่องบูชา โดยมากใช้เรซินที่เป็นฟอสซิล ซึ่งไม่มีการสลายตัวอีก เช่น อำพัน (amber)



ภาพประกอบ 7 ชั้นสน

ที่มา: (Chemistry Learner, 2018)

1.1.4.3 สารส้ม

สารส้ม หรือ อะลัม (alum) คือสารประกอบ ไฮเดรตเต็ดโพแทสเซียม อะลูมิเนียมซัลเฟต (โพแทสเซียมอะลัม) สูตรเคมีว่า $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ หรือหมายถึงกลุ่มของ สารประกอบอื่น ๆ ในสูตร $AB(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ก็ถูกเรียกว่าสารส้มเช่นกัน

คุณสมบัติของสารส้ม

1. ไม่มีสีและกลิ่น เหมาะสำหรับผู้ชอบใช้น้ำหอมเพราะจะไม่มีกลิ่นไปรบกวนหรือ หักล้างกลิ่นน้ำหอมที่ใช้

2. ไม่เปื้อนเสื้อผ้า เพราะไม่มีส่วนผสมของครีมและน้ำมัน

3.ปลอดภัยต่อร่างกาย คือไม่ดูดซับน้ำเข้าสู่ผิวหนัง ไม่ซึมเข้าร่างกาย เพราะสารส้มทำให้เกิดประจุลบ จึงไม่สามารถผ่านผนังเซลล์ได้ ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและไม่ทำลายโอโซน

4. ไม่เสื่อมสภาพ มีความคงทนต่อสภาพแวดล้อม จึงไม่เสื่อมสภาพที่ อุณหภูมิห้อง

5. สารส้ม เป็นสารประกอบที่ใช้ในอุตสาหกรรมทำสีย้อม เนื่องจากเป็น สารประกอบที่มีไอออนของอะลูมิเนียม สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสูตรโครงสร้าง ทางเคมีของสีและเส้นใยของพืช ทำให้สีติดเส้นใยได้ดีขึ้น สีจึงเข้มขึ้น ("สารส้ม," 2018)



ภาพประกอบ 8 สารส้ม

ที่มา: ("สารส้ม," 2018)

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผ้ากันน้ำ

มานิช นาคสาทา (2557) ได้ศึกษาเรื่อง กรรมวิธีผลิตผ้าฝ้ายกันน้ำและผ้าฝ้ายกันน้ำ ที่ได้กรรมวิธีนี้ โดยได้พัฒนากรรมวิธีผลิตผ้าฝ้ายกันน้ำ โดยใช้กระบวนการเตรียมอย่างง่ายและใช้

สารที่มีราคาถูก ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้อุตสาหกรรมผ้าพื้นเมืองสามารถเข้าถึงเทคโนโลยีนี้และนำไปสู่การผลิตผ้าพื้นเมืองที่มีคุณสมบัติพิเศษกันน้ำได้ ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ สารละลายชันสนและสารละลายสารส้ม โดยมีกรรมวิธีดังนี้

1. ทำความสะอาดผ้าฝ้ายด้วยผงซักฟอก เพื่อกำจัดคราบไขมันและแป้งบนเนื้อผ้า
2. ทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 60-80 องศาเซลเซียส
3. นำผ้าฝ้ายที่อบแห้งแล้ว มาแช่ในสารละลายชันสน ความเข้มข้น 1- 3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อปริมาตร (%W/V) ที่มีอัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อปริมาตรสารละลายชันสน (M/L) คือ 1:20 เป็นเวลา 15 นาที

4. นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการแช่สารละลายชันสนแล้ว มาแช่ต่อในสารละลายสารส้ม ความเข้มข้น 1-3 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อปริมาตร (% W/V) ที่มีอัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อปริมาตรสารละลายชันสน (M/L) คือ 1:20 เป็นเวลา 15 นาที

5. จากนั้นนำผ้าฝ้ายที่ผ่านการแช่สารละลายชันสน และสารละลายสารส้มแล้ว ไปเข้าเครื่องปั่นแห้งที่อัตราความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที

6. แล้วทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 60-80 องศาเซลเซียส

7. สังเกตและเปรียบเทียบลักษณะของผ้าฝ้ายที่ได้จากความเข้มข้นของสารละลายต่างๆ

ผ้าฝ้ายกันน้ำที่ได้จะเป็นผ้าฝ้ายที่ต้านทานการดูดซึมน้ำได้สูง และยังคงสมบัติทางกายภาพในกายสัมผัสเหมือนกับธรรมชาติของผ้าฝ้ายซึ่งผ่านการทดสอบแล้วว่าสามารถซักด้วยน้ำเปล่าได้กว่า 20 ครั้งโดยที่สมบัติการกันน้ำยังคงเหมือนเดิม จึงเหมาะที่จะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทนต่อการเปียกน้ำ เช่น ผ้าปูโต๊ะกระเป๋ากันน้ำ ผ้าม่าน เสื้อกันฝน

โสธรญา สัมเขียวหวาน (2557) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระดาษอย่างง่ายจากเปลือกกล้วยสดและจากผลผลิตเหลือทิ้งหลังการหมักเอทานอล พบว่า สามารถเพิ่มสมบัติความต้านทานการซึมน้ำ โดยใช้สารเติมประเภทสารกันซึม คือ ยางสน (Rosin) และสารส้ม (Alum) เพื่อให้แผ่นเยื่อมีการดูดซึมน้ำได้น้อยลง โดยพบว่า เมื่อใส่สารเติมทั้งสองชนิด การดูดซึมน้ำของแผ่นเยื่อกระดาษมีค่าลดลงเมื่อเติมสารเติมทั้งสองชนิดมากขึ้น โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ อัตราส่วนแผ่นเยื่อกระดาษต่อสารส้มต่อยางสนเป็น 3:1:1 ซึ่งทำให้ได้แผ่นเยื่อกระดาษที่มีความต้านทานการซึมน้ำใกล้เคียงกับกระดาษห่อพัสดุ

ณัชชา สุพวานิช and และคณะ (2558) ได้ศึกษาการพัฒนาผ้าตัวกรองที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยการเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และสารคว่ำควบเพื่อใช้ในการแยก

น้ำมันจากน้ำ โดยเริ่มจากการเตรียมผ้าตัวกรองด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อกำจัดชั้นไขมัน (wax) บนพื้นผิวผ้าและเพื่อให้มีหมู่ไฮดรอกซิลที่พื้นผิว ทำให้สามารถยึดเกาะกับอนุภาคซิงค์ออกไซด์ได้ดีขึ้น จากนั้นนำผ้าตัวกรองไปเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์แล้วทำการปรับปรุงพื้นผิวผ้าตัวกรองเพื่อให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยการเคลือบด้วยสารคู่ควบประเภทกรดไขมัน พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการพัฒนาผ้าตัวกรองให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดสูงสุด คือ การใช้วิธีการเคลือบผ้าตัวกรองโดยใช้สารแขวนลอยของอนุภาคผงซิงค์ออกไซด์โดยใช้ปริมาณอนุภาคผงซิงค์ออกไซด์ต่อเอทานอลเป็น 0.02 กรัมต่อมิลลิลิตร และทำการปรับปรุงสมบัติความไม่ชอบน้ำโดยการเคลือบด้วยกรดสเตียริก (stearic acid) ความเข้มข้น 0.03 โมลาร์ (0.003 โมล/มิลลิลิตร) โดยให้ค่ามุมสัมผัสของน้ำเฉลี่ยที่สูงที่สุดเท่ากับ 162.35 ± 1.99 องศา ซึ่งแสดงถึงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด จากการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิค FT-IR พบว่าที่พื้นผิวผ้ามีพันธะ C=O และ C-O ของพันธะเอสเทอร์ เกิดขึ้นแสดงให้เห็นถึงการเชื่อมต่อบริเวณระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลที่พื้นผิวของ ซิงค์ออกไซด์กับหมู่คาร์บอกซิลของกรดสเตียริกแล้วเกิดเป็นซิงค์สเตียเรตขึ้น และจากการศึกษาพื้นฐานวิทยาศาสตร์โดยเทคนิค SEM พบว่าพื้นผิวมีความขรุขระสูงเนื่องจากรูปร่างของซิงค์สเตียเรตที่เกิดขึ้นมีลักษณะคล้ายกับดอกไม้ ทำให้เกิดสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด เนื่องจากเกิดช่องว่างให้อากาศแทรกตัวอยู่ น้ำจึงซึมผ่านได้ยาก

กมลรัตน์ มุลตรีบุตร and และคณะ (2558) ได้ศึกษาการพัฒนาวัสดุตัวกรองที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วย การเคลือบด้วยอนุภาคซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวโดยกระบวนการโซล-เจล (sol-gel) โดยทำการเคลือบอนุภาคซิลิกาบนพื้นผิวผ้าและทำการปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคซิลิกาด้วยสารปรับปรุงพื้นผิว (coupling agents) คือ สารละลายคลอโรไตรเมทิลไซเลน.(chloro- trimethylsilane, CTMS). และสารละลายออกทระเดคซิลไตรคลอโรไซเลน.(octadecyl- trichlorosilane, .OTS) โดยเริ่มจากการเตรียมพื้นผิวผ้าฝ้ายเพื่อกำจัดชั้นไขมัน (wax) ทำให้มีความขรุขระและมีหมู่ไฮดรอกซิลที่พื้นผิว เพื่อให้เกิดการยึดเกาะกับอนุภาคซิลิกาได้ดี จากนั้นนำผ้าที่ผ่านการเตรียมพื้นผิวไปเคลือบด้วยอนุภาคซิลิกา โดยการใช้เตตระเอทิลออร์โทซิลิเกต.(tetra- ethyorthosilicate, .TEOS) เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสังเคราะห์อนุภาคซิลิกา แล้วจึงทำการปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคซิลิกา ด้วยการเติมสารปรับปรุงพื้นผิว CTMS และตามด้วย OTS เพื่อให้มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด พบว่า สภาวะที่ทำให้ได้วัสดุตัวกรองแสดงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดสูงสุด คือ การใช้ผ้าฝ้ายเป็นวัสดุตัวกรอง โดยทำการเคลือบอนุภาคซิลิกากับพื้นผิวด้วยวิธีการหยดผสม ซึ่งใช้อัตราส่วนโดยปริมาตรของน้ำและเอทานอล เป็น 30 ต่อ 49 ซึ่งจะให้ได้อนุภาคซิลิกาที่มีขนาด 568.10 ± 19.81 นาโนเมตร กระจายตัวอย่าง

สม่าเสมอบนพื้นผิวผ้า จากนั้นทำการปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคซิลิกาด้วยการเคลือบด้วย CTMS และตามด้วย OTS โดยสภาวะนี้ ทำให้มีค่ามุมสัมผัสของน้ำโดยเฉลี่ยคือ 161.24 ± 0.60 องศา โดยผลที่ได้นั้นมีสาเหตุมาจากการทำปฏิกิริยาการเชื่อมสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของสารคู่ควบ 2 ชนิด โดย CTMS ที่มีสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนสั้น และ OTS ที่มีสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนยาว เรียงตัวสลับกันไปมาทำให้เกิดความขรุขระระดับนาโนเมตรบนพื้นผิวของอนุภาคซิลิกาในระดับไมโครเมตร จึงทำให้ได้วัสดุตัวกรองที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด จากการทดสอบด้วยเทคนิค FT-IR พบพันธะ CH ของหมู่แอลคิลบนพื้นผิวอนุภาคซิลิกา แสดงให้เห็นว่าสารคู่ควบที่เติมลงไปเกิดการเชื่อมต่อกับพันธะกับอนุภาคซิลิกา

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ เรื่อง พันธะเคมี

2.1 วิเคราะห์หลักสูตรและเนื้อหา สาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ วิชาเคมีที่เกี่ยวข้องกับเรื่อง พันธะเคมี ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

กระทรวงศึกษาธิการโดยสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานได้ดำเนินการทบทวนหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 โดยนำข้อมูลจากแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี และแผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560 – 2579 มาใช้เป็นกรอบและทิศทางในการพัฒนาหลักสูตรให้มีความเหมาะสมชัดเจนยิ่งขึ้น (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2560) จึงได้ปรับปรุงมาเป็นหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ซึ่งในกลุ่มสาระการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์ ได้กำหนดสาระการเรียนรู้ออกเป็น 4 สาระ ได้แก่ สาระที่ 1 วิทยาศาสตร์ชีวภาพ สาระที่ 2 วิทยาศาสตร์กายภาพ สาระที่ 3 วิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ และ สาระที่ 4 เทคโนโลยี โดยวิทยาศาสตร์เพิ่มเติมมี 4 สาระ ได้แก่ สาระชีววิทยา สาระเคมี สาระฟิสิกส์ สาระโลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ จัดทำขึ้นสำหรับผู้เรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายแผนการเรียนวิทยาศาสตร์ ที่จำเป็นต้องเรียนเนื้อหาในสาระวิชา ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญและเพียงพอสำหรับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์ เพื่อประกอบวิชาชีพในสาขาที่ใช้วิทยาศาสตร์เป็นฐาน โดยมีผลการเรียนรู้ที่ครอบคลุมด้านเนื้อหา ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 รวมทั้งจิตวิทยาศาสตร์ที่ผู้เรียนจำเป็นต้องมี วิทยาศาสตร์เพิ่มเติมนี้ ได้มีการปรับปรุงเพื่อให้มีเนื้อหาที่ทัดเทียมกับนานาชาติ เน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา รวมทั้งเชื่อมโยงความรู้สู่การนำไปใช้ในชีวิตจริง (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560)

สำหรับการวิจัยนี้ได้ศึกษามาตรฐานการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในวิชา เคมี ที่เกี่ยวข้องกับเรื่อง พันธะเคมี ซึ่งอยู่ในสาระเพิ่มเติม สาระเคมี ข้อที่ 1 เข้าใจโครงสร้างอะตอม การจัดเรียงธาตุในตารางธาตุ สมบัติของธาตุ พันธะเคมีและสมบัติของสาร แก๊สและสมบัติของแก๊ส ประเภทและสมบัติของ สารประกอบอินทรีย์และพอลิเมอร์ รวมทั้งการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์ โดยผลการเรียนรู้ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เกี่ยวข้องกับพันธะเคมี คือ ผลการเรียนรู้ข้อที่ 9 – 21 กล่าวว่า อธิบายการเกิดพันธะโลหะ ไอออนิกและโคเวเลนต์ได้ อธิบายสมบัติของสารประกอบไอออนิกและโคเวเลนต์ได้ สามารถเขียนสูตร เรียกชื่อสารประกอบเคมี และสมการเคมีของสารประกอบเคมีได้ สามารถคาดคะเนรูปร่างโมเลกุลโคเวเลนต์ โดยใช้ทฤษฎีการผลักระหว่างคู่อิเล็กตรอนในวงเวเลนซ์ และระบุสภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์ได้

ในกิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย นี้ประกอบไปด้วย 1 กิจกรรม คือ กิจกรรมฝ่าฝ้ายกันน้ำ ซึ่งตอบสนองต่อมาตรฐานและผลการเรียนรู้ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)

2.2 ความหมายของพันธะเคมี

พันธะเคมีเป็นแนวคิดพื้นฐานที่สำคัญในการเรียนรู้และเข้าใจในสารประกอบเคมี มีสถาบันทาง การศึกษา ผู้รู้ และนักการศึกษาหลายท่านได้กล่าวถึงความหมายของพันธะเคมีไว้ ดังนี้

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2560) ได้ให้ความหมายของพันธะเคมี คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมกับอะตอมภายในโมเลกุลเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมที่ทำให้เกิดโมเลกุลของสาร

A. D. McNaught and A. Wilkinson (1997) ได้ให้ความหมายของ พันธะเคมี คือ แรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นระหว่างระหว่างนิวเคลียสของอะตอมหรือกลุ่มของอะตอมเพื่อเกิดเป็นกลุ่มที่เสถียรและเป็นอิสระในระดับโมเลกุล

Gudyanga and Madambi (2014) ได้ให้ความหมายของพันธะเคมี คือ แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างและการเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ไอออน หรืออะตอมของสารที่อยู่รอบตัว

จากความหมายของพันธะเคมีที่กล่าวมาผู้วิจัยสรุปได้ว่า พันธะเคมี คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอม ไอออน หรือโมเลกุล ซึ่งเป็นแรงยึดเหนี่ยวที่ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเคมี

2.3 ประเภทของพันธะเคมี

พันธะเคมีมีหลายประเภท โดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2554) ได้จำแนกพันธะเคมีเป็น 3 ประเภท คือ พันธะโลหะ พันธะไอออนิก และพันธะโคเวเลนต์ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้จัดทำกิจกรรมซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาเรื่อง พันธะเคมี เนื่องจากเป็นเนื้อหาเหมาะสมกับเวลาในการทำกิจกรรมตามแนวสเต็มศึกษา โดยมีรายละเอียด ดังนี้

2.3.1 พันธะโลหะ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2554) ได้ให้ความหมายของพันธะโลหะว่า เป็นพันธะที่เกิดจากแรงยึดเหนี่ยวของเวเลนซ์อิเล็กตรอนของอะตอมโลหะที่เคลื่อนที่อย่างอิสระกับโปรตอนในนิวเคลียสในทุกทิศทาง

A. D. McNaught and A. Wilkinson (1997) ได้ให้ความหมายของพันธะโลหะว่า เป็นพันธะภายในโลหะซึ่งเกี่ยวข้องกับ การเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนอิสระระหว่างแลตทิซของอะตอม อิเล็กตรอนที่เคลื่อนย้ายเหล่านี้เปรียบได้กับทะเลอิเล็กตรอน (Sea of Electrons) ล้อมรอบแลตทิซขนาดใหญ่ของไอออนบวก จึงเกิดเป็นแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิต (electrostatic attraction) ระหว่างอะตอม หรือไอออนของโลหะ และอิเล็กตรอนอิสระ (delocalised electrons)

ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย and คณะ (2012) ได้ให้ความหมายของพันธะโลหะว่าเป็นผลมาจากอิเล็กตรอนไม่ประจำที่ (delocalised electrons) เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระผ่านแถบพลังงานอันเกิดจากการซ้อนทับกันของโมเลกุลาร์ออร์บิทัล

จากความหมายของพันธะโลหะที่กล่าวมา สรุปได้ว่า พันธะโลหะเป็นพันธะที่เกิดจากแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตระหว่างเวเลนซ์อิเล็กตรอนของอะตอมโลหะที่เคลื่อนที่อย่างอิสระกับโปรตอนในนิวเคลียส ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้เนื้อหาเรื่อง พันธะโลหะ ยึดตามหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 1 ของสสวท. กระทรวงศึกษาธิการ เนื่องจากเป็นเนื้อหาที่ครอบคลุมตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ซึ่งประกอบด้วยเรื่อง พันธะโลหะ แบบจำลองพันธะโลหะ สมบัติบางประการของโลหะ

2.3.2 พันธะไอออนิก

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2554) ได้ให้ความหมายของพันธะไอออนิกว่า เป็นพันธะที่เกิดจากแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตระหว่างไอออนบวกของโลหะและไอออนลบของอโลหะ

A. D. McNaught and A. Wilkinson (1997) ได้ให้ความหมายของพันธะไอออนิกกว่า พันธะระหว่างอะตอมที่มีอิเล็กโตรเนกาติวิตีต่างกันอย่างมาก

A. D. McNaught and A. Wilkinson (1997) ได้ให้ความหมายของพันธะไอออนิกกว่า แรงทางไฟฟ้าสถิตที่ยึดเหนี่ยวไอออนไว้ด้วยกันในสารประกอบไอออนิก

จากความหมายของพันธะไอออนิกที่กล่าวมา สรุปได้ว่า พันธะไอออนิกเป็นพันธะที่เกิดจากแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตระหว่างไอออนบวกของโลหะและไอออนลบของโลหะ ซึ่งเป็นพันธะระหว่างอะตอมที่มีอิเล็กโตรเนกาติวิตีต่างกันอย่างมาก ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้เนื้อหาเรื่องพันธะไอออนิก ยึดตามหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 1 ของสสวท. กระทรวงศึกษาธิการ เนื่องจากเป็นเนื้อหาที่ครอบคลุมตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ซึ่งประกอบด้วย เรื่อง การเกิดพันธะไอออนิก โครงสร้างของสารประกอบไอออนิก การเขียนสูตรและการเรียกชื่อสารประกอบไอออนิก พลังงานกับการเกิดสารประกอบไอออนิก สมบัติของสารประกอบไอออนิก ปฏิริยาของสารประกอบไอออนิก

2.3.3 พันธะโคเวเลนต์

สถาบันส่งเสริมการสนธิวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2554) ได้ให้ความหมายของพันธะโคเวเลนต์ว่า เป็นพันธะที่เกิดจากอะตอม 2 อะตอมที่ใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกัน การใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน 1 คู่ เกิด 1 พันธะ อะตอมที่ใช้อิเล็กตรอนร่วมกันอาจเป็นอะตอมชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน แต่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (EN) ใกล้เคียงกัน และมีค่าพลังงานไอออไนเซชัน (IE) สูงทั้งคู่ โดยส่วนใหญ่เป็นพันธะเคมีที่ยึดระหว่างธาตุโลหะกับธาตุโลหะ

A. D. McNaught and A. Wilkinson (1997) ได้ให้ความหมายของพันธะโคเวเลนต์ว่า บริเวณที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์ของอิเล็กตรอนสูงระหว่างนิวเคลียส ที่มีการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันและก่อให้เกิดแรงดึงดูดและระยะทางระหว่างนิวเคลียสที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะ

ทวิชัย อมรศักดิ์ชัย and และคณะ (2012) ได้ให้ความหมายของพันธะโคเวเลนต์ว่า เป็นพันธะที่อิเล็กตรอน 2 ตัวถูกใช้ร่วมกันโดย 2 อะตอม อิเล็กตรอนแต่ละตัวในคู่อิเล็กตรอนมีแรงดึงดูดทางไฟฟ้ากับนิวเคลียสของทั้งสองอะตอมจึงช่วยยึดอะตอมทั้งคู่ให้อยู่ด้วยกันได้

จากความหมายของพันธะโคเวเลนต์ที่กล่าวมา สรุปได้ว่า พันธะโคเวเลนต์เป็นพันธะที่เกิดจากอะตอม 2 อะตอมที่ใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกันและก่อให้เกิดแรงดึงดูดและระยะทางระหว่างนิวเคลียสที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะ อะตอมที่ใช้อิเล็กตรอนร่วมกันอาจเป็นอะตอมชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน แต่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (EN) ใกล้เคียงกัน และมีค่า

พลังงานไอออไนเซชัน (IE) สูงทั้งคู่ จึงช่วยยึดอะตอมทั้งคู่ให้อยู่ด้วยกันได้ ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้เนื้อหาเรื่อง พันธะโคเวเลนต์ ยึดตามหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 1 ของสสวท. กระทรวงศึกษาธิการ เนื่องจากเป็นเนื้อหาที่ครอบคลุมตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ซึ่งประกอบด้วย เรื่อง การเกิดพันธะโคเวเลนต์ ชนิดของพันธะโคเวเลนต์ โมเลกุลที่ไม่เป็นไปตามกฎออกเตต การเขียนสูตรและการเรียกชื่อสารโคเวเลนต์ ความยาวพันธะและพลังงานพันธะ แนวคิดเกี่ยวกับเรโซแนนซ์ รูปร่างของโมเลกุล สภาพขั้วของโมเลกุล แรงแยัดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล สารโคเวเลนต์โครงสร้างตาข่าย

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ เรื่อง พันธะเคมี

อัจฉริรัตน์ ศิริ, ประนอม แซ่จิ่ง, and กานต์ตระกูล วุฒิเสลา (2016) ได้ศึกษาเรื่องการสำรวจมโนคติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง สารโคเวเลนต์และไอออนิกโดยใช้เทคนิคแบ่งกลุ่มผลสัมฤทธิ์ร่วมกับบัตรแสดงพันธะเคมี พบว่า มโนคติที่ถูกต้องของนักเรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้โดยเทคนิคแบ่งกลุ่มผลสัมฤทธิ์ร่วมกับสื่อการเรียนรู้บัตรแสดงพันธะเคมีเพิ่มขึ้นหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนที่ระดับนัยสำคัญ .05 ในขณะที่มโนคติที่คลาดเคลื่อนและมโนคติที่ผิดพลาด โดยการเขียนสูตรและการเรียกชื่อ นักเรียนมีความก้าวหน้าในเรื่องสารไอออนิกมากกว่าสารโคเวเลนต์ สำหรับมโนคติคลาดเคลื่อนมากที่สุดคือเรื่องการอ่านชื่อสารโคเวเลนต์โดยนักเรียนอ่านเลขจำนวนอะตอมเป็นภาษากรีกไม่ถูกต้อง คิดเป็นร้อยละ 40.63 และนักเรียนที่ไม่สามารถเขียนสูตรไอออนิกเพราะไม่รู้สัญลักษณ์ของธาตุคิดเป็นร้อยละ 37.50

ณัฐฐิ ดิษเจริญ (2557) ได้ศึกษาเรื่อง การพัฒนาสื่อการเรียนรู้เรื่อง โครงสร้างอะตอมและพันธะเคมีด้วยเทคโนโลยีออกเมนต์เรียลลิตี้ โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีออกเมนต์เรียลลิตี้ (Augmented Reality) ซึ่งเป็นการจำลองโมเดลลักษณะโครงสร้างของอะตอมและพันธะเคมีในรูปแบบแอนิเมชันสามมิติ จำนวน 34 โมเดลที่สามารถใช้งานได้ทั้งเครื่องคอมพิวเตอร์และแท็บเล็ตที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ผลการพัฒนาและทดสอบระบบด้วยการวิเคราะห์ความสอดคล้องของเนื้อหา (ค่า IOC) และศึกษาความพึงพอใจด้วยแบบสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน และนักศึกษาจำนวน 60 คน ของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พบว่า ความสอดคล้องของเนื้อหามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.81 และค่าเฉลี่ยของความพึงพอใจ มีค่าเท่ากับ 4.36 (จากคะแนนเต็ม 5.00) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า คุณภาพโดยรวมของสื่อการเรียนรู้ นี้อยู่ในระดับดี ช่วยเพิ่มความเข้าใจในเนื้อหาวิชาเคมีได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วกว่าการเรียนด้วยบทเรียนแบบเดิมที่เป็นภาพแบบสองมิติ

Tepporn Lomarak, Chinda Tambunchong, Somson Wongyounoi, and Precham Dechsri (2013) ได้ศึกษาเรื่อง การพัฒนาความเข้าใจมนต์ เรื่อง พันธะเคมี โดยใช้หน่วยการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับทฤษฎีกระบวนการสารสนเทศ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้มีจุดมุ่งหมายในการลดการใช้หน่วยความจำปฏิบัติการ (Working memory demand) ที่ใช้ในการประมวลผลในกระบวนการเรียนรู้ โดยการปรับลดความซับซ้อนของการนำเสนอเนื้อหาบทเรียนในรูปแบบที่เป็นขั้นตอนที่สั้นๆ และเชื่อมโยงกัน การปรับเปลี่ยนลำดับของการนำเสนอเนื้อหาที่เข้าใจง่ายขึ้น และการเชื่อมโยงเนื้อหาในหน่วยการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับพื้นฐานความรู้เดิมของนักเรียน ผลการวิเคราะห์ข้อสอบรายข้อของแบบทดสอบวินิจฉัยความเข้าใจมนต์ พบว่า โดยเฉลี่ย 83.4% ของนักเรียนตอบคำถามถูกในส่วนแรกของข้อสอบ ในขณะที่ 56.2% ของนักเรียนในกลุ่มตัวอย่างสามารถตอบคำถามถูกทั้งสองส่วน ผลการวิเคราะห์ค่า class average normalized gain (<g>) ของนักเรียนทั้งชั้นอยู่ในระดับคะแนนปานกลาง (<g> = 0.51) และผลของค่าสถิติ t-test สำหรับกลุ่มตัวอย่างกลุ่มเดียว พบว่า ค่าเฉลี่ยของคะแนนสอบหลังเรียนของนักเรียนมีค่าสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

กมลทิพย์ ไยรีอ่าง and พรรณวิไล ชมชิต (2016) ได้ศึกษาเรื่อง การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนพันธะเคมีและการคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนโดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ 4 MAT พบว่า ประสิทธิภาพของการจัดการเรียนรู้แบบ 4 MAT เรื่อง พันธะเคมี มีค่าเท่ากับ 74.86/90.00 นักเรียนชายและหญิงมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนพันธะเคมีและการคิดอย่างมีวิจารณญาณ หลังเรียนเพิ่มขึ้นจากก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.01 และนักเรียนหญิงที่กิจกรรมการเรียนรู้แบบ 4MAT หลังเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนพันธะเคมีสูงกว่านักเรียนชาย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.01 แต่นักเรียนทั้งสองเพศมีการคิดอย่างมีวิจารณญาณไม่แตกต่างกัน และนักเรียนที่เรียนโดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบ 4 MAT เรื่อง พันธะเคมีมีความพึงพอใจต่อการเรียนโดยรวมอยู่ในระดับมาก

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสเต็มศึกษา

3.1 ความหมายของสเต็มศึกษา

สเต็มศึกษาเป็นนวัตกรรมการเรียนรู้ที่บูรณาการระหว่างสาขาวิชาซึ่งประกอบไปด้วยสาขาวิชาต่อไปนี้เป็นคือ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ ศิลปศาสตร์และคณิตศาสตร์ มีหน่วยงานทางการศึกษา ผู้รู้และนักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายของสเต็มศึกษาไว้ดังนี้

G. Yakman (2010) ได้ให้ความหมายของสเต็มศึกษา คือ รูปแบบการเรียนรู้ในลักษณะของการบูรณาการข้ามกลุ่มสาระ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ (S: Science) เทคโนโลยี (T: Technology) วิศวกรรมศาสตร์ (E: Engineering) ศิลปศาสตร์ (A: Arts) และคณิตศาสตร์ (M: Mathematics) ให้มีความสัมพันธ์เป็นหนึ่งเดียวกัน โดยการเพิ่มศิลปศาสตร์เข้ามาเชื่อมโยงความสัมพันธ์การคิดเชิงสร้างสรรค์และการคิดเชิงวิชาการ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาความคิดแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ และเกิดความมั่นคงในการเรียนวิทยาศาสตร์

STEAM Education Company (2017) ได้ให้ความหมายของสเต็มศึกษา คือ การเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีผ่านกระบวนการทางวิศวกรรมและศิลปะ ซึ่งทั้งหมดอยู่ในองค์ประกอบทางคณิตศาสตร์

วิสูตร โพธิ์เงิน (2560) ได้ให้ความหมายของสเต็มศึกษา คือ แนวทางการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการที่นำศิลปะมาบูรณาการกับการจัดการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์

จากแนวคิดเกี่ยวกับความหมายของการจัดการเรียนรู้แบบสเต็มศึกษาที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยสรุปได้ว่า สเต็มศึกษาเป็นการบูรณาการข้ามกลุ่มสาระวิชา ประกอบด้วย วิทยาศาสตร์, เทคโนโลยี, วิศวกรรมศาสตร์, ศิลปศาสตร์ และคณิตศาสตร์ รวมกันอย่างลงตัว โดยการใช้ศิลปะศาสตร์ในการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ เพื่อให้เกิดการคิดเชิงสร้างสรรค์และการคิดเชิงวิชาการ

3.2 แนวคิดและลักษณะของสเต็มศึกษา

การจัดการเรียนรู้ของสเต็มศึกษานำมาซึ่งการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นใกล้ตัวผู้เรียน ผ่านกิจกรรมการเรียนรู้ที่ต้องอาศัยการทำงานร่วมกับผู้อื่น ผู้รู้ และนักการศึกษาได้กล่าวถึงแนวคิดและลักษณะของสเต็มศึกษาไว้ดังนี้

G. Yakman (2010) ได้จำแนกหลักของสเต็มศึกษาไว้ดังนี้

1. วิทยาศาสตร์ (S: Science) คือ สาระเกี่ยวกับธรรมชาติ แนวคิด และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วย ชีววิทยา, เคมี-ชีววิทยา, เคมี, ฟิสิกส์, อวกาศ, เทคโนโลยีชีวภาพ, ชีวการแพทย์

2. เทคโนโลยี (T: Technology) คือ ธรรมชาติของเทคโนโลยี การออกแบบ และประโยชน์ของเทคโนโลยี ประกอบด้วย การเกษตร, ก่อสร้าง, การสื่อสารข้อมูล, การขนส่ง

3. วิศวกรรม (E: Engineering) คือ การใช้เหตุผล หลักการ และการสร้างสรรค์บนพื้นฐานวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โดยใช้เทคโนโลยีในการสร้างสรรค์ ประกอบด้วย การบิน

และอวกาศ, เกษตร, สถาปัตยกรรม, คอมพิวเตอร์, โยธา, ไฟฟ้า, สิ่งแวดล้อม, ระบบอุตสาหกรรม, วัสดุ, หุ่นยนต์

4. ศิลปศาสตร์ (A: Arts) คือ การสื่อสาร การสร้างความเข้าใจ แนวคิด ทักษะคิด ประกอบด้วย ภาษา, การเมือง, จิตวิทยา, สังคม, ศาสนา

5. คณิตศาสตร์ (M: Mathematics) คือ ตัวเลขและการคำนวณ ประกอบด้วย พีชคณิต, แคลคูลัส, การวิเคราะห์ข้อมูล, ความน่าจะเป็น, รูปทรงเรขาคณิต, การแก้ไขปัญหา, หลักทฤษฎี, ตรีโกณมิติ

และ G. G. Yakman (2008) ยังได้นำเสนอกรอบแนวคิดสเต็มศึกษา หรือ พีรามิด สเต็ม ซึ่งแบ่งระดับขั้นของเนื้อหา และรูปแบบการใช้ ได้ดังนี้

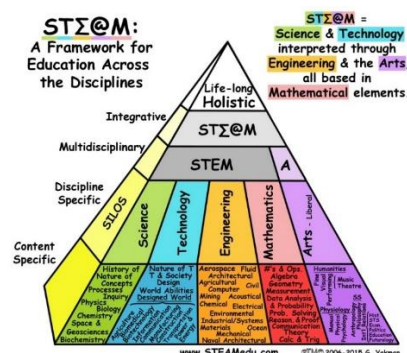
ขั้นที่ 1 สาระวิชาเฉพาะทาง หรือเนื้อหาที่เฉพาะเจาะจง (Content Specific) เป็น การศึกษาหลังระดับมัธยมศึกษาที่เฉพาะทางมากกว่าทุกลำดับขั้น

ขั้นที่ 2 กลุ่มวิชาเฉพาะทาง หรือองค์ความรู้ที่แบ่งตามศาสตร์ (Discipline Specific) เป็นการศึกษาที่เน้นการศึกษาพื้นฐานของแต่ละศาสตร์ เหมาะสำหรับระดับมัธยมศึกษา

ขั้นที่ 3 สหสาขาวิชา (Multidisciplinary) เป็นการศึกษาที่เน้นวิทยาศาสตร์ในเชิงการใช้แนวคิดสะสม (STEM) เพื่อสร้างผลงาน โดยแยกศิลปะศาสตร์ออกอย่างชัดเจน เหมาะสำหรับ ระดับมัธยมศึกษาในการปฏิบัติ

ขั้นที่ 4 บูรณาการ (Integrative) เป็นการเชื่อมโยงแนวคิดของสะสมและศิลปศาสตร์ เข้าด้วยกัน โดยผ่านการลงมือทำเป็นผลงาน เป็นการบูรณาการเนื้อหาและวิธีการสอนที่ให้ศิลปะมี บทบาท ซึ่งจะส่งเสริมให้ผู้เรียนมองเห็นภาพในเชิงองค์รวม เหมาะกับผู้เรียนระดับประถมศึกษา จนถึงมัธยมศึกษา

ขั้นที่ 5 การเรียนรู้แบบองค์รวมตลอดชีวิต (Life-long Holistic) มุ่งเน้นการเรียนรู้ของ คนทุกเพศทุกวัยที่สามารถเรียนรู้แบบองค์รวมได้ด้วยตนเอง ดังภาพประกอบ



ภาพประกอบ 9 กรอบแนวคิดสเต็มศึกษา (Yakman. 2008)

ที่มา: <https://steamedu.com/>

ยศวีร์ สายฟ้า (2555)กล่าวถึง ประเภทของศาสตร์การสอนที่แยกย่อยลงไป ในสเต็มศึกษา ดังนี้

1. วิทยาศาสตร์ (S: Science) มุ่งเน้นการปลูกฝังความรู้สึกลอยใต้น้ำ (Curiosity) ให้เกิดขึ้นกับนักเรียนเป็นสิ่งสำคัญ และส่งเสริมกระบวนการสืบสอบ (Investigation) ตลอดจนการทดลองสิ่งต่างๆ (Experiment) และการกระตุ้นกระบวนการคิด (Thinking Skill) สามารถทำได้จากการตั้งคำถามกับนักเรียนบ่อยๆ

2. เทคโนโลยี (T: Technology) เครื่องมือหรืออุปกรณ์ (Tool) ที่อำนวยความสะดวกแก่นักเรียนในการทำสิ่งต่างๆ ให้ลุล่วง

3. วิศวกรรมศาสตร์ (E: Engineering) เป็นกระบวนการที่เริ่มต้นมาจากการระบุปัญหา (Problem) จากนั้นจึงมุ่งเน้นไปที่กระบวนการคิดแก้ปัญหา (Problem-Solving Thinking Skill) และทดลองวิธีการแก้ปัญหา (Trial) ทั้ง 3 กระบวนการ นักเรียนเป็นผู้ริเริ่มดำเนินการด้วยตนเอง

4. ศิลปศาสตร์ (A: Arts) การเพิ่มศิลปศาสตร์ (Arts) เข้าไปใน STEM จะช่วยทำให้นักเรียนมีโอกาสได้ถ่ายทอดแนวคิดสำคัญ (Concept) ด้วยความคิดสร้างสรรค์และมีจินตนาการมากยิ่งขึ้น นักเรียนสามารถสื่อสารความคิดของตนเองออกมาในรูปแบบของดนตรีและการเคลื่อนไหว การสื่อสารด้วยภาษาท่าทาง หรือการสื่อสารออกมาในรูปแบบของการวาดภาพ หรือการสร้างโมเดลจำลอง

5. คณิตศาสตร์ (M: Mathematics) กระบวนการคิดทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Thinking) ซึ่งประกอบด้วย การเปรียบเทียบ การจำแนก/จัดกลุ่ม การจัดแปรรูป (Patterns) และการบอกรูปร่างและคุณสมบัติ ภาษาคณิตศาสตร์มีความสำคัญ

จากแนวคิดเกี่ยวกับประเภทศาสตร์การสอนบูรณาการแบบสเต็มศึกษาที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยสรุปได้ว่า มีการแบ่งประเภทศาสตร์การสอนเหมือนกัน ประกอบด้วย วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ ศิลปศาสตร์ และคณิตศาสตร์ แต่มีความแตกต่างกันในส่วนขยายของแต่ละศาสตร์ ผู้วิจัยจึงนำแนวคิดของนักวิชาการทางการศึกษามาจัดทำรายละเอียดของศาสตร์การสอนบูรณาการแบบสเต็มศึกษา ประกอบไปด้วยศาสตร์การเรียนรู้ วิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) ศิลปศาสตร์ (Arts) และคณิตศาสตร์ (Mathematics) โดยจุดเน้นของแต่ละศาสตร์มีดังนี้

1.วิทยาศาสตร์ (S) เนื้อหาวิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี, การเตรียมผ้าฝ้ายกันน้ำ และนวัตกรรมเลียนแบบธรรมชาติ

2.เทคโนโลยี (T) การใช้เทคโนโลยีเพื่อการสืบค้นข้อมูลในกิจกรรม การใช้โปรแกรม ImageJ ในการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำ และการใช้ Facebook เพื่อการนำเสนอผลิตภัณฑ์

3.วิศวกรรม (E) การใช้กระบวนการทางวิศวกรรมในการออกแบบการทดลอง การออกแบบผลิตภัณฑ์ คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ และการทดสอบผลิตภัณฑ์

4.ศิลปะ (A) การใช้เทคนิคทางศิลปะในการออกแบบลวดลาย สี สัน เพื่อเพิ่มคุณค่าของผลิตภัณฑ์ และออกแบบรูปแบบของผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายเพื่อคำนึงถึงการนำไปใช้งานได้จริงที่ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค

5.คณิตศาสตร์ (M) การคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิต และความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการเคลือบผ้าฝ้าย

3.3 ประโยชน์จากการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสเต็มศึกษา

การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสเต็มศึกษามีประโยชน์หลายด้าน ผู้รู้ และนักการศึกษาได้ กล่าวถึงประโยชน์ของการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสเต็มศึกษาไว้ ดังนี้

STEAM Education Company (2017)ประโยชน์ของ STEAM มีดังนี้

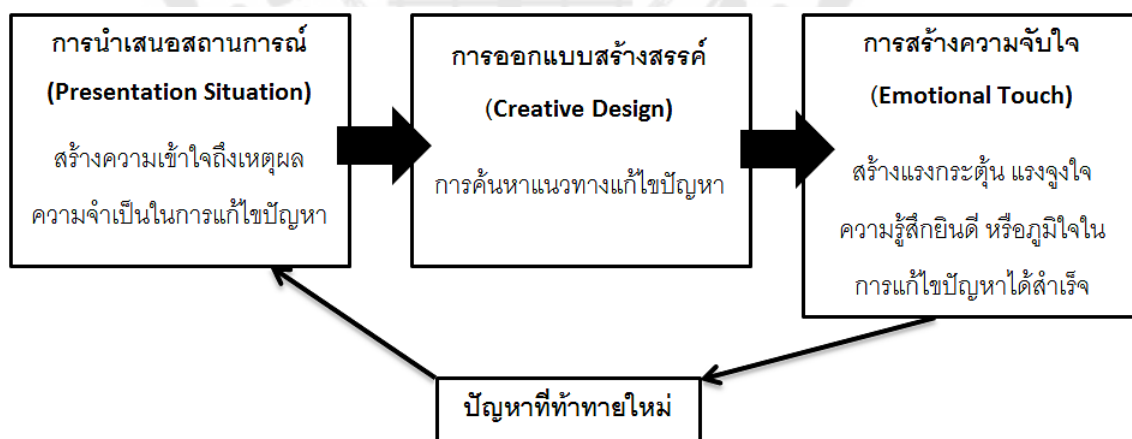
- 1.เกิดการเชื่อมต่อและการโอนย้ายความรู้
- 2.เกิดการใช้ทักษะการออกแบบ
- 3.ผู้เรียนมีความสนใจ มีส่วนร่วม ต่อการค้นพบ แก้ไขปัญหา และสร้างนวัตกรรมที่ใช้ได้จริง
- 4.เกิดความสมดุลของการศึกษา จากความสัมพันธ์ระหว่างครู ทีมของนักเรียน และปัญหา
- 5.ผู้เรียนได้ทำความเข้าใจ และเคารพในความสามารถของตนเอง ผ่านการเรียนรู้
- 6.เพิ่มจำนวนผู้ประกอบการอาชีพในด้านวิทยาศาสตร์ และขยายโอกาสให้เพศหญิงในการเข้าร่วมประกอบอาชีพในสาขาทางวิทยาศาสตร์มากขึ้น ที่จะส่งผลดีต่อการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับนวัตกรรมใหม่ๆ

3.4 แนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการแบบสเต็มศึกษา

การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสเต็มศึกษามีประโยชน์หลายด้าน มีหน่วยงานทางการศึกษา ผู้รู้ และนักการศึกษาได้ กล่าวถึงแนวทางการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการแบบสเต็มศึกษาไว้ ดังนี้

Rufo (2013) กล่าวถึง ศิลปะศาสตร์เป็นศูนย์กลางการเรียนรู้แบบสตีม สร้างความตื่นตัวในการเรียนรู้ ซึ่งเห็นจากการแสดงความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนผ่านการจัดนิทรรศการวิทยาศาสตร์ มุ่งให้นักเรียนแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกัน โดยดำเนินกิจกรรมไปตามกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ดังนี้

1. เรียนรู้ขั้นตอนการทดลองทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วย ปัญหา สมมุติฐาน เก็บข้อมูล ผลการทดลอง และสรุปผลการทดลอง
 2. นักเรียนออกแบบและดำเนินการทดลอง ตามอิสระให้สอดคล้องกับทฤษฎี
 3. นักเรียนนำเสนอผลการเรียนรู้ โดยใช้ศิลปะศาสตร์สื่อความหมาย ในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันในรูปแบบต่างๆ เช่น การแต่งเพลง ภาพวาด การเต้น บทกวี ประติมากรรม หรือการสาธิต เพื่อสร้างนวัตกรรมที่น่าสนใจ ตื่นเต้น และบันเทิงให้กับผู้เข้าชม
- มูลนิธิแห่งประเทศไทยสาธาณรัฐเกาหลีเพื่อความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (Korea Foundation for the Advancement of Science and Creativity (KOFAC), 2012) ได้สร้างกรอบแนวคิดพื้นฐานสำหรับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการแบบสตีมศึกษาในประเทศเกาหลีไว้ โดยมีปัจจัยพื้นฐานของสตีมศึกษา คือ บริบท (Context) การออกแบบสร้างสรรค์ (Creative Design) และการสร้างความจับใจ (Emotional Touch) ดังภาพประกอบ



ภาพประกอบ 10 กรอบแนวทางการใช้สตีม (KOFAC. 2012)

ที่มา: แปลจาก Hyoungbum Kim Chungbuk, Dong-Hyun Chae Jeonju. (2016). The Development and application of STEAM program based on traditional Korean culture.

การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสเต็มศึกษา มี 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

ขั้นที่ 1 การนำเสนอปัญหาที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง หรือสถานการณ์ปัญหาในปัจจุบัน ที่เกี่ยวข้องกับผู้เรียน เพื่อให้มีข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการคิดขั้นต้นในการคิดแก้ไขปัญหา

ขั้นที่ 2 การออกแบบสร้างสรรค์ เพื่อแก้ปัญหาตามสถานการณ์ เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียน ได้ฝึกคิดอย่างอิสระ พัฒนาทักษะการสื่อสาร แลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับทีม

ขั้นที่ 3 การสร้างความรู้สึกรับรู้ เป็นขั้นขยายสิ่งที่ค้นพบ โดยเน้นเจตคติต่อสิ่งที่เรียนรู้ ผ่านการลงมือทำที่ผ่านประสบการณ์จริง ช่วยให้ผู้เรียนพัฒนาการรับรู้ การแสดงออกและการเห็นอกเห็นใจผู้อื่น ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความสนใจในวิทยาศาสตร์ต่อไป

จากแนวคิดเกี่ยวกับแนวทางการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้บูรณาการแบบสเต็มศึกษาที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยสรุปได้ว่า การนำเอารูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบสเต็มศึกษาไปใช้ การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ต้องเริ่มด้วยการนำเสนอประเด็นให้นักเรียนเห็นและทำความเข้าใจปัญหาในสังคม เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนคิด ทำความเข้าใจปัญหา และคิดหาวิธีการแก้ปัญหา รวมทั้งสร้างการมีส่วนร่วมในการทำงานเป็นทีม นำไปสู่การสร้างสรรค์แนวทางในการแก้ไขปัญหาแบบบูรณาการ ที่สามารถสร้างแรงจูงใจผ่านการลงปฏิบัติในกระบวนการวิทยาศาสตร์

3.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้โดยใช้สเต็มศึกษา

งานวิจัยในประเทศ

เลิศนารี รอดกำเนิด and ชลาธิป สมานิโต (2559) ได้ศึกษาผลการจัดประสบการณ์แบบโครงการโดยใช้แนวคิดสเต็มศึกษาผสานการใช้แหล่งเรียนรู้ในท้องถิ่นจังหวัดสมุทรสงครามที่มีต่อความเข้าใจมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ของเด็กปฐมวัย พบว่า เด็กปฐมวัยชายและหญิงที่มีอายุระหว่าง 5-6 ปี จำนวน 37 คน มีค่าเฉลี่ยของคะแนนความเข้าใจมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ของเด็กปฐมวัยหลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลอง ดังนี้ คะแนนเฉลี่ยของคะแนนความเข้าใจมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ของเด็กปฐมวัยก่อนการทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.14 เมื่อได้รับการจัดประสบการณ์แบบโครงการโดยใช้แนวคิดสเต็มศึกษาผสานการใช้แหล่งเรียนรู้ในท้องถิ่นจังหวัดสมุทรสงคราม มีค่าเฉลี่ยความเข้าใจมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์เท่ากับ 8.62 และเด็กมีความเข้าใจมโนทัศน์ทางวิทยาศาสตร์ดีขึ้นทั้ง 9 มโนทัศน์

ฉัตรทราวดี บุญถนอม and อรพรรณ บุตรกัตัญญ (2015) ได้ศึกษาการจัดประสบการณ์บูรณาการการเรียนรู้สเต็มศึกษาโดยใช้วรรณกรรมเป็นฐานเพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ของเด็กปฐมวัย พบว่า เด็กปฐมวัย ชาย-หญิง ที่มีอายุระหว่าง 5-6 ปี จำนวน 11 คน มีความคิดสร้างสรรค์ของเด็กปฐมวัยที่ได้รับจากการจัดประสบการณ์บูรณาการการเรียนรู้สเต็มศึกษาโดยใช้วรรณกรรมเป็นฐาน มีค่าเฉลี่ยหลังการทดลองสูงกว่าก่อนการทดลอง ดังนั้นความคิดสร้างสรรค์ของเด็กปฐมวัย ก่อนการทดลองมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 12.73 ส่วนหลังการทดลองมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 23.18 และเด็กปฐมวัยมีความคิดสร้างสรรค์เพิ่มขึ้นในการออกแบบและประดิษฐ์ชิ้นงาน

หทัยภัทร ไกรวรรณ and ปัทมาวดี เล่ห์มิ่งคล (2017) ได้ศึกษาการจัดประสบการณ์การเรียนรู้แบบสเต็มศึกษาที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหอย่างสร้างสรรค์ของเด็กปฐมวัย พบว่า เด็กปฐมวัยชาย-หญิง อายุระหว่าง 5-6 ปี ที่ได้รับการจัดประสบการณ์การเรียนรู้แบบสเต็มศึกษา 5 ชั้น คือ ชั้นที่ 1 การระบุปัญหา ชั้นที่ 2 การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง ชั้นที่ 3 การวางแผนและพัฒนา ชั้นที่ 4 การทดสอบและการประเมินผล และชั้นที่ 5 การนำเสนอ ผลลัพธ์ มีความสามารถในการแก้ปัญหอย่างสร้างสรรค์หลังการจัดประสบการณ์สูงกว่าก่อนการจัดประสบการณ์

สมรัก อินทวิมลศรี (2560) ได้ศึกษาผลของการใช้แนวคิดสเต็มศึกษาในวิชาชีววิทยาที่มีต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้รูปแบบการวิจัยแบบกลุ่มเดียวทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน ทั้งข้อมูลความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน พบว่า 1) นักเรียนที่เรียนชีววิทยาตามแนวคิดสเต็มศึกษามีความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนอยู่ในระดับดีขึ้นไป 2) นักเรียนที่เรียนชีววิทยาตามแนวคิดสเต็มศึกษามีความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียนไม่แตกต่างกัน 3) นักเรียนที่เรียนชีววิทยาตามแนวคิดสเต็มศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยาหลังเรียนอยู่ในระดับปานกลาง

งานวิจัยต่างประเทศ

William Young et al. (2009) ได้ศึกษาการพัฒนาการเรียนรู้ โดยการสืบสวนด้วยตนเองโดยใช้เกมผ่านสเต็มศึกษา สำหรับนักเรียน GK-12 ประเทศสหรัฐอเมริกา ผลการศึกษาพบว่า การสอนวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนโดยใช้เกม เป็นการเร้าอารมณ์และเพิ่มคุณค่าสำหรับการเรียนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีให้กับนักเรียนมัธยมศึกษา ซึ่งเกมจะพัฒนามาจากผู้เชี่ยวชาญ โดยรูปแบบของเกมต้องเป็นที่น่าสนใจ และมีการระบุระดับความยากง่าย ลักษณะในการออกแบบ

เกมจะมีการบูรณาการเนื้อหาโดยใช้เนื้อหาวิทยาศาสตร์เป็นมาตรฐานหลัก ทำให้การสอนโดยใช้เกมในรูปแบบสตีมนั้น ประสบผลสำเร็จในการสอนเรื่อง การสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ วัฏจักรน้ำ ทำทนายสภาพอากาศ และพันธุกรรมแมลงวันผลไม้ ส่งผลให้นักเรียนได้เรียนรู้อย่างสนุกสนานและสามารถสอบผ่านบทเรียนวิทยาศาสตร์ได้

Kwon, Nam, and Lee (2012) ได้ศึกษาผลของการใช้ STEAM เป็นฐาน ในนักเรียนประถมศึกษาที่มีความคิดสร้างสรรค์ ประเทศเกาหลี ผลการศึกษาพบว่า การศึกษา STEAM เป็นฐานนั้น เป็นการเชื่อมโยงความคิดสร้างสรรค์ของบุคคลผ่านการผนวกรวมศิลปะศาสตร์เข้ากับ การศึกษารูปแบบเดิม คือ STEM โดยศิลปะศาสตร์ที่เพิ่มเข้ามานั้นหมายถึง ภาษา ความอิสระ การประดิษฐ์ จะทำให้เกิดการเรียนรู้เป็นรูปธรรม และยังเป็นแรงจูงใจในการพัฒนาบุคลิกภาพของนักเรียน นำไปสู่การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ในนักเรียนปฐมศึกษา อีกทั้งส่งผลให้นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนรู้ ซึ่งสังเกตได้จากการทำกิจกรรม และการวิเคราะห์ผลการเรียนรู้

H. Kim and Chae (2016) ได้ศึกษาเรื่อง การพัฒนาและการประยุกต์ใช้โปรแกรม สตีมศึกษากับวัฒนธรรมเกาหลีดั้งเดิม โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ คือ การพัฒนาโปรแกรม สตีมศึกษา (STEAM Program) ในบริบทของการสอนและการเรียนรู้ เรื่อง ชลุมไม้ไผ่สั้น “ถานโซ” (danso) ซึ่งเป็นเครื่องดนตรีดั้งเดิมของเกาหลี และนำไปใช้ในชั้นเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายเพื่อ วัดประสิทธิภาพของโปรแกรม จากการวิจัยได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้ คือ นักเรียนเข้าใจถึงความหมายและความจำเป็นในการศึกษาแบบสตีมที่เป็นกระบวนการแก้ปัญหา ซึ่งส่งผลให้เกิด การเรียนรู้ เข้าใจสตีมศึกษาและการพัฒนาแนวคิดโดยการแบ่งปันความคิดเห็นซึ่งกันและกัน เพิ่มขึ้น โดยนักเรียนส่วนใหญ่แสดงให้เห็นว่าพวกเขาจะใช้ความรู้ที่ได้จากเรียนผ่านโปรแกรมสตีม ศึกษา ไปใช้ในชั้นเรียนวิทยาศาสตร์ของตัวเอง เนื่องจากนักเรียนได้รับความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับ กระบวนการแก้ปัญหา (problem-solving process) มากขึ้น

4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะในศตวรรษที่ 21ด้านความคิดสร้างสรรค์

4.1 องค์ประกอบของทักษะในศตวรรษที่ 21

ทักษะในศตวรรษที่ 21 มีหลายองค์ประกอบ มีผู้รู้และนักการศึกษาหลายท่านได้ระบุ องค์ประกอบของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ไว้หลากหลาย โดยผู้วิจัยได้ทำการสรุปรวมได้ ดังนี้

Partnership for 21st century skills (2009) และ สำนักบริหารงานการมัธยมศึกษา ตอนปลาย สพฐ. (2560)กล่าวว่าทักษะในศตวรรษที่ 21 ประกอบด้วย

1. ทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม: การรู้แก่นวิชาหรือทฤษฎีความรู้จะสามารถเอาไปเชื่อมโยงกับวิชาอื่น ๆ เกิดแรงบันดาลใจอยากพัฒนางาน สร้างผลงานที่เกี่ยวกับ

การการพัฒนาคุณภาพชีวิต ที่เรียกว่า ความคิดเชิงสร้างสรรค์ นำทฤษฎีความรู้มาสร้างกระบวนการและวิธีการผลิต สร้างผลงานใหม่ที่เป็นประโยชน์ต่อบุคคล และสังคมที่เรียกว่า พัฒนานวัตกรรม ได้แก่

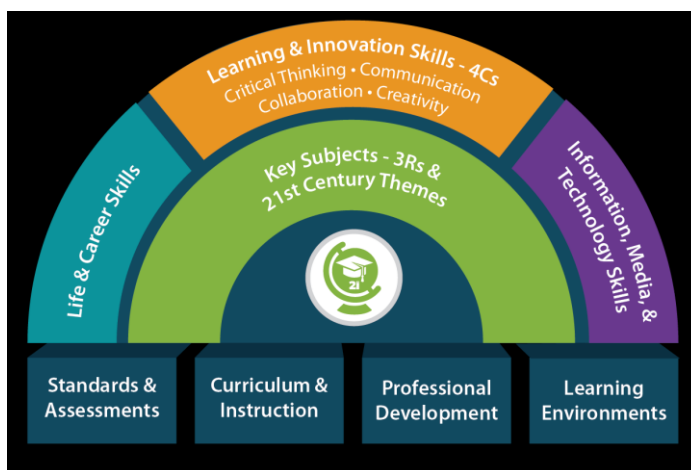
1. ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
2. การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา
3. ทักษะการสื่อสาร
4. การทำงานร่วมกับผู้อื่น

2. ทักษะด้านสารสนเทศ สื่อ และเทคโนโลยี: เนื่องด้วยในปัจจุบันมีการเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารผ่านทางสื่อและเทคโนโลยีมากมาย ผู้เรียนจึงต้องมีความสามารถในการแสดงทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและปฏิบัติงานได้หลากหลาย การสร้างทักษะด้านสารสนเทศ สื่อและเทคโนโลยี เพื่อให้เกิดการเท่าทันไม่ตกอยู่ภายใต้การถูกชักจูง ชวนเชื่อ ได้แก่

1. ความรู้ด้านสารสนเทศ
2. ความรู้เกี่ยวกับสื่อ
3. ความรู้ด้านเทคโนโลยี

3. ทักษะด้านชีวิตและอาชีพ : การเรียนรู้ที่จะปรับตัวได้อย่างดีในสภาวะการเปลี่ยนแปลง หรือมีภัยคุกคามได้ อย่างชาญฉลาดถือเป็นเรื่องสำคัญในการดำรงชีวิตที่มีทักษะชีวิตในโลกศตวรรษที่ 21 และการคิดสร้างสรรค์ ผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อตอบสนองการดำรงชีวิตเฉพาะบริบทสภาพแวดล้อมที่ต่างกันไป นำไปสู่การเผยแพร่ เทคนิควิธีการใช้และพัฒนาทักษะใช้ เกิดเป็นกลยุทธ์การขายเกิดผู้ประกอบการในงานอาชีพต่าง ๆ ซึ่ง เป็นทักษะงานอาชีพที่ต้องมีการส่งเสริมให้มีเท่าทันในยุคการเปลี่ยนแปลงของโลกศตวรรษที่ 21 ทักษะชีวิตและทักษะงานอาชีพจึงควรมีการพัฒนาสิ่งต่อไปนี้

1. ความยืดหยุ่นและการปรับตัว
2. การริเริ่มสร้างสรรค์และเป็นตัวของตัวเอง
3. ทักษะทางสังคมและสังคมข้ามวัฒนธรรม
4. การเป็นผู้สร้างหรือผู้ผลิต (Productivity) และความรับผิดชอบเชื่อถือได้ (Accountability)
5. ภาวะผู้นำและความรับผิดชอบ (Responsibility)



ภาพประกอบ 11 กรอบแนวคิดเพื่อการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21

ที่มา: The Partnership for 21st Century Skills (2009)

จากองค์ประกอบของทักษะในศตวรรษที่ 21 ที่กล่าวมา สรุปได้ว่าทักษะในศตวรรษที่ 21 ประกอบด้วยทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ทักษะด้านสารสนเทศ สื่อ และเทคโนโลยี และทักษะชีวิตและอาชีพ โดยผู้วิจัยได้ศึกษาทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ในด้านความคิดสร้างสรรค์ หลังจากการใช้กิจกรรมสเต็มศึกษาวิชา เคมี เรื่อง พันธะเคมี เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

4.2 ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม มีผู้รู้และนักการศึกษาหลายท่านได้ระบุงค์ประกอบและความหมายของความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมไว้หลากหลาย โดยผู้วิจัยได้ทำการสรุปรวมได้ ดังนี้

Partnership for 21st century skills (2009), สำนักบริหารงานการมัธยมศึกษาตอนปลาย สพฐ. (2560), ไสว พักขาว (2559), อนุชา โสมาบุตร (2556) กล่าวว่า ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม (Creatively and Innovation) ประกอบด้วย

1.การคิดสร้างสรรค์ (Think Creativity) โดยใช้เทคนิคของการสร้างสรรค์ทางความคิดที่เปิดกว้าง มีมุมมองที่หลากหลาย เช่น การระดมสมอง โดยอาจเป็นการปรับปรุงพัฒนาเพียงเล็กน้อย หรือทำใหม่ที่แหวกแนวโดนสิ้นเชิง ที่เปิดกว้างในความคิดเห็นที่ร่วมกัน เพื่อสร้าง

ความเข้าใจ ปรับปรุง วิเคราะห์ และประเมินมุมมอง เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงและพัฒนางานในเชิงสร้างสรรค์

2.การทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างสร้างสรรค์ (Work Creativity with Others) ในการพัฒนา ลงมือปฏิบัติ และสื่อสารมุมมองใหม่กับผู้อื่นอยู่เสมอ มีการเปิดใจและตอบสนอง มุมมองใหม่ ๆ รับฟังข้อคิดเห็น และร่วมประเมินผลงานจากกลุ่มคณะทำงาน เพื่อนำไปปรับปรุง พัฒนา มีการทำงานด้วยแนวคิดหรือวิธีการใหม่ ๆ และเข้าใจข้อจำกัดของโลกในการยอมรับ มุมมองใหม่ และให้มองความล้มเหลวเป็นโอกาสในการเรียนรู้ สามารถสร้างวิกฤติให้เป็นโอกาส ส่งผลต่อการเรียนรู้ และเข้าใจถึงวิธีการสร้างสรรค์นวัตกรรมที่ต้องใช้เวลาและสามารถนำเอา ข้อผิดพลาดมาปรับปรุงแก้ไขและพัฒนางานได้อย่างต่อเนื่อง

3.การประยุกต์สู่นวัตกรรม (Implement Innovations) ที่มีการลงมือปฏิบัติตาม ความคิดสร้างสรรค์ให้ได้ผลสำเร็จที่เป็นรูปธรรม เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการปรับใช้และพัฒนา นวัตกรรม

จากองค์ประกอบและความหมายของความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ที่กล่าว มา สรุปได้ว่าทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม คือ ทักษะ ทางด้านของการจินตนาการเพื่อนำมาสู่การสร้างขั้นตอนกระบวนการ โดยอ้างอิงจากทฤษฎี ความรู้เพื่อนำไปสู่การ ค้นพบใหม่ ซึ่งเกิดจากการทำงานร่วมกัน เปิดใจ รับฟังความคิดเห็น มอง ความล้มเหลวเป็นโอกาสในการเรียนรู้ จึงได้มาเป็นนวัตกรรมที่ใช้ตอบสนองความต้องการในการ ดำรงชีวิตที่ลงตัว และนำไปสู่การเป็นผู้ผลิตและผู้ประกอบการต่อไป

4.2.1 ความคิดสร้างสรรค์

ความคิดสร้างสรรค์ เป็นส่วนหนึ่งของทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ในทักษะใน ศตวรรษที่ 21 โดยรวมเป็นความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ซึ่งประกอบด้วย ความคิดสร้างสรรค์ การปฏิบัติอย่างสร้างสรรค์ และการนำนวัตกรรมไปใช้ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาเกี่ยวกับทักษะความคิด สร้างสรรค์ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการประเมินทักษะในศตวรรษที่ 21 ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา ตอนปลาย หลังจากจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษาวิชา เคมี เรื่อง พันธะเคมี เพื่อส่งเสริม ทักษะในศตวรรษที่ 21 สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

4.2.1.1 ความหมายของความคิดสร้างสรรค์

ความคิดสร้างสรรค์ จัดอยู่ในทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของทักษะในศตวรรษที่ 21 โดยมีความสำคัญกับการจัดการเรียนรู้แบบสเต็มศึกษา มีผู้รู้และนักการศึกษาหลายท่านได้กล่าวถึงความหมายของความคิดสร้างสรรค์ไว้ดังนี้

Guilford (1966) ได้ให้ความหมายของความคิดสร้างสรรค์ว่าเป็น ลักษณะ ความคิดหลายทิศทาง คิดอย่างหลากหลายแ่งมุม คิดได้กว้างไกล โดยความคิดลักษณะนี้ เรียกว่า ความคิดนอกเนกนัย

Torrance (1964) ได้ให้ความหมายของความคิดสร้างสรรค์ว่าเป็น ความสามารถของบุคคลในการสร้างสรรค์ผลงานหรือสิ่งแปลกใหม่ที่ไม่เป็นที่รู้จักมาก่อน ซึ่งเกิดจากประสบการณ์ และรวมความรู้ที่มีอยู่ในการเชื่อมโยงกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นใหม่ โดยการตั้งสมมติฐาน ทดสอบสมมติฐาน และรายงานผลที่ได้

พาสนา จุลรัตน์ (2549) ได้ให้ความหมายของความคิดสร้างสรรค์ว่าเป็น ความสามารถของสมองในการคิดได้หลายทิศทาง เพื่อตอบสนองต่อเหตุการณ์ต่างๆ คิดอย่างแปลก ใหม่ไม่ซ้ำกับแบบที่มีอยู่แล้ว และสามารถมองเห็นความสัมพันธ์ของสิ่งต่างๆ ซึ่งนำไปสู่การ ค้นพบสิ่งใหม่ๆที่มีคุณค่า

จากความหมายของความคิดสร้างสรรค์ที่กล่าวมาผู้วิจัยได้ยึดตาม กิลฟอร์ดและทอแรนซ์ซึ่งสรุปได้ว่า ความคิดสร้างสรรค์ หมายถึง ลักษณะความคิดหลายทิศทาง และแ่งมุม เป็นความสามารถของบุคคลในการสร้างสรรค์ผลงานหรือสิ่งใหม่ ซึ่งเกิดจากประสบการณ์เชื่อมโยงกับสถานการณ์ใหม่ โดยตั้งสมมติฐาน ทดสอบ และสรุป

4.2.1.2 องค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์

ความคิดสร้างสรรค์มีหลายองค์ประกอบ ซึ่งมีผู้รู้ได้ระบุองค์ประกอบของความคิด สร้างสรรค์ไว้ดังนี้

Guilford (1966) ระบุว่าความคิดสร้างสรรค์มีองค์ประกอบ ดังนี้

1. ความคิดริเริ่ม (Originality) หมายถึง ความคิดที่ต่างจากความคิดทั่วไป แปลก ใหม่ ไม่ซ้ำกับความคิดคนอื่น ซึ่งอาจเกิดจากการพลิกแพลงความคิดเดิมที่มีอยู่แล้ว ให้แตกต่างจากเดิม หรือผสมผสานความคิดเก่าให้เป็นของใหม่

2. ความคิดคล่องแคล่ว (Fluency) หมายถึง ปริมาณความคิดที่ไม่ซ้ำกันในเรื่อง เดียวกันในเวลาที่จำกัด

3. ความคิดยืดหยุ่น (Flexibility) หมายถึง ความสามารถในการคิดนอกกรอบที่ไม่อยู่ใต้กฎเกณฑ์หรือความคุ้นเคย เป็นความสามารถในการคิดได้หลายทางอย่างอิสระ และสามารถตัดแปลงความรู้หรือประสบการณ์ให้เกิดประโยชน์หลายๆ ด้าน ทำให้ได้ประโยชน์ในการแก้ปัญหา

4. ความคิดละเอียดละออ (Elaboration) หมายถึง รายละเอียดความคิดเป็นขั้นตอน ซึ่งสามารถอธิบายความคิดให้เห็นภาพชัดเจน และขยายความหลักให้สมบูรณ์ได้

4.2.1.3 ความคิดสร้างสรรค์สำหรับทักษะในศตวรรษที่ 21

ความคิดสร้างสรรค์ เป็นส่วนหนึ่งของทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ในทักษะในศตวรรษที่ 21 โดยรวมเป็นความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม (Jane Piirto, 2011) ซึ่งประกอบด้วย

1. คิดอย่างสร้างสรรค์

1.1 มีแนวคิดที่หลากหลาย กว้างขวาง ซึ่งเกิดจากการระดมสมอง
1.2 สร้างแนวคิดใหม่ และมีคุณค่า
1.3 คิดอย่างปราณีตและชัดเจน เพื่อวิเคราะห์และประเมินความคิดของตนเอง เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงให้ได้แนวคิดสร้างสรรค์ที่ดีที่สุด

2. ปฏิบัติอย่างสร้างสรรค์

2.1 พัฒนาให้สำเร็จและสื่อสารแนวคิดใหม่ ๆ กับผู้อื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2.2 เปิดกว้างและตอบสนองต่อมุมมองใหม่ ๆ และหลากหลาย โดยการรับฟังข้อเสนอแนะและสะท้อนความคิดจากการทำงานร่วมกัน
2.3 แสดงให้เห็นถึงความคิดริเริ่มและความคิดสร้างสรรค์ในการทำงานและเข้าใจข้อจำกัดในความเป็นจริงที่จะยอมรับความคิดใหม่ ๆ
2.4 มองว่าความล้มเหลวเป็นโอกาสในการเรียนรู้ โดยต้องเข้าใจว่าความคิดสร้างสรรค์และการสร้างนวัตกรรม เป็นวัฏจักรของการทำงานระยะยาว แต่พบความสำเร็จได้น้อยครั้งและพบข้อผิดพลาดได้บ่อยครั้ง

3. นำนวัตกรรมไปใช้

3.1 ทำให้เกิดนวัตกรรมขึ้น จากการทำให้ความคิดสร้างสรรค์ออกมาเป็นผลงานที่สามารถใช้ประโยชน์ได้

จากองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ที่ได้กล่าวมา สรุปได้ว่า ความคิดสร้างสรรค์ประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ คือ ความคิดริเริ่ม ความคิดคล่องแคล่ว ความคิดยืดหยุ่น และ ความคิดละเอียดละออ และความคิดสร้างสรรค์ที่เป็นองค์ประกอบของทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ไม่ได้ แตกต่างจากความคิดสร้างสรรค์ที่เคยมีคนนิยามไว้ แต่เป็นการเพิ่มความสำคัญของความคิดสร้างสรรค์มากยิ่งขึ้นโดยมุ่งเน้นเพื่อการสร้างสรรค์นวัตกรรม

จากการศึกษาความหมาย และองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ รวมถึงความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ผู้วิจัยได้เลือกประเมินความคิดสร้างสรรค์ ตามแบบ Jane Piirto (2011) เนื่องจากทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมที่ประกอบในทักษะในศตวรรษที่ 21 ในด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม มุ่งเน้นการสร้างสรรคเพื่อให้ได้ผลงานหรือนวัตกรรมใหม่ โดยผ่านกระบวนการทำงานเป็นทีม ซึ่งรูปแบบความคิดสร้างสรรค์ตามแบบ Jane Piirto (2011) นั้นสามารถติดตามกระบวนการคิดสร้างสรรค์ ได้ตั้งแต่การคิดออกแบบผลงาน การดำเนินงานร่วมกับผู้อื่น และการนำผลงานไปประยุกต์ใช้

4.3 แนวปฏิบัติในการประเมินทักษะในศตวรรษที่ 21ด้านความคิดสร้างสรรค์

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบกิจกรรมสเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสเต็มศึกษา เพื่อให้ นักเรียนเกิดความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม และเพื่อให้การวัดและประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ซึ่งเป็นทักษะสำคัญในศตวรรษที่ 21 สอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสเต็มศึกษา จากหัวข้อที่ 2 พบว่าการจัดการเรียนรู้แบบสเต็มศึกษานั้นถูกพัฒนามาจากสะเต็มศึกษา ซึ่งมีลักษณะการบูรณาการและกระบวนการคล้ายคลึงกัน ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการวัดและประเมินผลโดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2557: 17- 24) ได้กล่าวว่า การวัดและประเมินผลตามแนวทางสะเต็มศึกษาเน้นการวัดและประเมินผลตามสภาพ จริงขณะผู้เรียนทำกิจกรรมการเรียนรู้ในสภาพจริง เพื่อให้รู้พัฒนาการในการเรียนรู้และระดับความสำเร็จของผู้เรียน ส่งเสริมผู้เรียนให้พัฒนาเต็มตามศักยภาพ ความถนัด และความสนใจของแต่ละบุคคล และทำให้ผู้สอนทราบว่าควรปรับปรุงพัฒนา กิจกรรมการเรียนการสอนให้ประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกการประเมินตามสภาพจริงในการประเมินทักษะในศตวรรษที่ 21 ของ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่เรียนด้วยชุดกิจกรรมสเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

4.3.1 ความหมายของการประเมินตามสภาพจริง

การจัดการเรียนรู้โดยรูปแบบสเต็มศึกษาเพื่อทักษะในศตวรรษที่ 21 เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญซึ่งผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยตนเอง ดังนั้น การประเมินทักษะของผู้เรียนจำเป็นต้องประเมินตามสภาพจริง ซึ่งมีผู้รู้และนักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายของการประเมินตามสภาพจริงไว้ดังนี้

กรมวิชาการกระทรวงศึกษาธิการ (2544) ได้ให้ความหมายของการประเมินตามสภาพจริงว่าเป็นการตัดสินความรู้ ความสามารถ และทักษะของผู้เรียนที่สอดคล้องกับชีวิตจริง โดยใช้เรื่องราวที่คล้ายจริงหรือเหมือนจริงในชีวิตประจำวัน เพื่อให้ผู้เรียนแสดงออก ลงมือกระทำ หรือผลิต ส่งผลให้เกิดการสะท้อนภาพเพื่อลงข้อสรุปถึงความรู้ ความสามารถ และทักษะของผู้เรียน

กิตติ กิตติศัพท์ (2547) ได้ให้ความหมายของการประเมินตามสภาพจริงว่าเป็นการประเมินผลที่ใช้วิธีการและเกณฑ์ที่หลากหลาย เพื่อวัดและประเมินผลการเรียนรู้ความสามารถ และคุณลักษณะของผู้เรียน โดยให้ผู้เรียนทำกิจกรรมหรือสร้างสรรค์ผลงานเพื่อแสดงทักษะของตนเองซึ่งกิจกรรมจะเป็นกิจกรรมการเรียนรู้มากกว่าการทดสอบ

สงบ ลักษณะ (2544) ได้ให้ความหมายของการประเมินตามสภาพจริงว่าเป็นการวัดได้ตรงความเป็นจริง คือ สิ่งที่วัดได้นั้นเป็นข้อมูล เป็นการแสดงพฤติกรรมที่สะท้อนความสามารถที่แท้จริงของผู้เรียน ทั้งความสามารถทางความรู้ ความคิด ความสามารถในการปฏิบัติและคุณลักษณะทางจิตใจ มีความคลาดเคลื่อนผิดพลาดน้อยที่สุด ไม่เปิดโอกาสให้ผู้ใดยอความสามารถได้คะแนนสูง ตัดความผิดพลาดที่ผู้มีความสามารถสูงกลับได้คะแนนน้อย

จากความหมายของการประเมินตามสภาพจริงที่กล่าวมา ผู้วิจัยได้ยึดความหมายตามกรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ ซึ่งสรุปได้ว่าการประเมินตามสภาพจริงเป็นการประเมินโดยใช้เรื่องราวที่คล้ายจริงหรือเหมือนจริงในชีวิตประจำวัน เพื่อให้ผู้เรียนแสดงออกถึงความรู้ ความสามารถและทักษะ ของผู้เรียน

4.3.2 ลักษณะสำคัญของการประเมินตามสภาพจริง

การประเมินตามสภาพจริงมีลักษณะการประเมินที่แตกต่างจากการประเมินในรูปแบบเดิม เพื่อวัดความรู้ ความสามารถ และทักษะของผู้เรียนให้เหมาะสมกับการจัดการเรียนรู้ มีผู้รู้และนักการศึกษาหลายท่านได้กล่าวถึงลักษณะสำคัญของการประเมินตามสภาพจริงไว้ดังนี้

หน่วยศึกษานิเทศก์ (2540) กล่าวถึงลักษณะของการประเมินตามสภาพจริงดังนี้

1. เป็นการประเมินผลจากสภาพจริง ทำได้ตลอดเวลาในทุกสถานการณ์ โดยสังเกตพฤติกรรมต่างๆ โดยใช้การตัดสินใจของมนุษย์ในการให้คะแนน
2. กำหนดปัญหาหรืองานแบบปลายเปิด เพื่อให้ผู้เรียนสร้างคำตอบเอง หรือ
3. ให้ผู้เรียนตอบสนองด้วยการสร้างสรรค์งาน
4. เน้นการเรียนรู้เพื่อแก้ปัญหา คือ ให้ผู้เรียนใช้ทักษะการคิดที่ซับซ้อน การพิจารณาไตร่ตรอง การทำงานและแก้ปัญหา เพื่อสร้างสรรค์ผลงาน
5. เน้นการแก้ปัญหาที่สอดคล้องกับชีวิตจริง
6. ให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างหลากหลาย โดยใช้ข้อมูลและเครื่องมือที่หลากหลายในการประเมิน
7. เน้นการมีส่วนร่วมระหว่างผู้เรียน ผู้สอน และผู้ปกครอง
8. ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการออกแบบการประเมิน ทำให้ผู้เรียนรู้จักวางแผนการเรียนรู้ตามความต้องการของตนเอง

จากลักษณะสำคัญของการประเมินตามสภาพจริงที่กล่าวมา ผู้วิจัยได้ออกแบบการวัดและประเมินตามสภาพจริง โดยยึดลักษณะสำคัญของการประเมินตามสภาพจริงตามหน่วยศึกษานิเทศก์ ซึ่งเป็นการประเมินในขณะที่นักเรียนร่วมกิจกรรมในคาบเรียน โดยใช้กิจกรรมสเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยในกิจกรรมมีการเริ่มต้นด้วยสถานการณ์ปัญหาที่สอดคล้องกับชีวิตจริง เพื่อให้ผู้เรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันแก้ปัญหา โดยครูผู้สอนเป็นผู้ช่วย

4.3.3 วิธีการและเครื่องมือในการประเมินตามสภาพจริง

การประเมินตามสภาพจริงมีลักษณะการประเมินที่เน้นการแก้ปัญหาที่สอดคล้องกับชีวิตจริง เพื่อวัดความรู้ ความสามารถ และทักษะของผู้เรียนให้เหมาะสมกับการจัดการเรียนรู้ ดังนั้นวิธีการและเครื่องมือในการประเมินตามสภาพจริงย่อมแตกต่างจากการประเมินในรูปแบบอื่น มีผู้รู้และนักการศึกษาหลายท่านได้กล่าวถึงวิธีการและเครื่องมือในการประเมินตามสภาพจริงไว้ดังนี้

กรมวิชาการ (2546) และ สำนักงานคณะกรรมการการประถมศึกษาแห่งชาติ (2542) ได้กล่าวถึงวิธีการและเครื่องมือในการประเมินตามสภาพจริงดังตัวอย่างต่อไปนี้

1. การสังเกต เป็นการสังเกตผู้เรียนที่ทำได้ทุกสถานการณ์ และทุกสถานที่ โดยมีหรือไม่มีเครื่องมือในการสังเกตก็ได้ ขึ้นอยู่กับประเด็นที่ต้องการประเมิน ซึ่งใช้ในการประเมินผล

การเรียนรู้ทั้ง ด้านความรู้ ความเข้าใจ ทักษะกระบวนการ คุณธรรมและจริยธรรม และค่านิยมที่พึงประสงค์ของนักเรียน

2.การสัมภาษณ์ เป็นวิธีการประเมินโดยการตั้งคำถามอย่างง่ายๆ นิยมใช้ประเมินผลการเรียนรู้ด้านความรู้ความเข้าใจที่สูงกว่าความรู้ความจำ และด้านความรู้สึกรู้คิดที่สะท้อนให้เห็นถึงความเชื่อ ทศนคติ และค่านิยมของผู้เรียน

3.บันทึกของผู้เรียน เป็นการเขียนบันทึกการเรียนรู้ หรือการปฏิบัติงานของนักเรียน อาจเป็นงานเดี่ยวหรืองานกลุ่มก็ได้

4.การวัดและประเมินผลด้านความสามารถ ความสามารถของผู้เรียนประเมินได้จากการแสดงออกโดยตรงจากการทำงานต่างๆ เป็นสถานการณ์ที่กำหนดให้ซึ่งเป็นของจริงหรือใกล้เคียงกับสถานการณ์จริง และเปิดโอกาสให้นักเรียนแก้ปัญหา โดยประเมินจากกระบวนการทำงานกระบวนการคิด โดยเฉพาะความคิดขั้นสูง และผลงานที่ได้

5.การตรวจงาน เป็นการวัดและประเมินผลที่เน้นการนำผลการประเมินไปใช้ทันที ใน 2 ลักษณะ คือ เพื่อการช่วยเหลือนักเรียนและเพื่อปรับปรุงการสอนของครู จึงเป็นการประเมินที่ควรดำเนินการตลอดเวลา

6.การใช้บันทึกจากผู้ที่เกี่ยวข้อง เป็นการรวบรวมข้อมูลความคิดเห็นที่เกี่ยวข้องกับตัวนักเรียน ผลงานนักเรียน โดยเฉพาะความก้าวหน้าในการเรียนรู้ของนักเรียนจากแหล่งต่าง ๆ เช่น จากเพื่อนครู จากเพื่อนนักเรียน และจากผู้ปกครอง

7.การประเมินโดยใช้แฟ้มสะสมงาน โดย แฟ้มสะสมงาน หมายถึง สิ่งที่ใช้สะสมงานของนักเรียนอย่างมีจุดประสงค์อาจเป็นแฟ้ม ก่อ่ง แผ่นดิสก์ อัลบั้ม ฯลฯ ที่แสดงให้เห็นถึงความพยายามความก้าวหน้า และผลสัมฤทธิ์ในเรื่องนั้นๆ หรือหลาย ๆ เรื่อง การสะสมนั้นนักเรียนมีส่วนร่วมในการเลือกเนื้อหา เกณฑ์การเลือก เกณฑ์การตัดสิน ความสามารถ / คุณสมบัติ หลักฐานการสะท้อนตนเอง

วิธีการและเครื่องมือในการประเมินตามสภาพจริงที่กล่าวมาทั้งหมด ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการและเครื่องมือในการประเมินตามสภาพจริงตามกรมวิชาการ ซึ่งแบ่งวิธีการและเครื่องมือในการประเมินตามสภาพจริงไว้ 7 ประเภท คือ การสังเกต การสัมภาษณ์ บันทึกจากผู้เกี่ยวข้อง การตรวจงาน บันทึกของผู้เรียน การวัดและประเมินผลด้านความสามารถ และแฟ้มสะสมผลงาน โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้ การสังเกต โดยสังเกตผู้เรียนในระหว่างการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสเต็มศึกษา และการตรวจบันทึกการทำงานของผู้เรียน รวมถึงผลงาน โดยจะตรวจบันทึกการทำงานของผู้เรียนหลังคาบเรียนตามแนวทางสเต็มศึกษา ซึ่งจะใช้แบบการประเมินผลด้าน

ความสามารถ โดยประเมินจากกระบวนการทำงาน การออกแบบ และการนำเสนอผลงานของนักเรียนในระหว่างการทำกิจกรรมสเต็มศึกษา โดยใช้กิจกรรมที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

4.3.4 เกณฑ์การประเมินของการประเมินตามสภาพจริง

การประเมินตามสภาพจริงแตกต่างจากการประเมินแบบอื่น จึงจำเป็นต้องมีเกณฑ์การประเมินที่เหมาะสม ซึ่งมีผู้รู้และนักการศึกษาหลายท่านได้กล่าวถึงเกณฑ์การประเมินของการประเมินตามสภาพจริงไว้ดังนี้

กรมวิชาการ (2539) ได้กล่าวถึงเกณฑ์ประเมินของการประเมินตามสภาพจริงไว้ดังนี้

การประเมินแบบรูบริก (Rubric assessment) เป็นการให้คะแนนที่ต้องกำหนดมาตราวัด และรายการของคุณลักษณะที่บรรยายถึงความสามารถที่แสดงออกของนักเรียนในแต่ละระดับ ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญของครู ผู้ปกครอง และผู้สนใจอื่นๆ เพื่อให้ทราบว่านักเรียนรู้ และทำได้มากน้อยเพียงใด เพื่อนำไปสู่การบรรลุจุดประสงค์ของมาตรฐานการศึกษา ซึ่งการให้คะแนนของรูบริกจะมีความสำเร็จในขั้นต่างๆกัน โดยการให้คะแนนรูบริกมี 2 แบบ คือ

1. การให้คะแนนภาพรวม (Holistic score) คือ การให้คะแนนงานโดยดูจากภาพรวมของงานว่ามีความเข้าใจ ความคิดรวบยอด การสื่อความหมาย กระบวนการที่ใช้ และผลงานเป็นอย่างไร แล้วเขียนอธิบายคุณภาพของงาน หรือความสำเร็จของงานเป็นขั้น โดยอาจแบ่งระดับตั้งแต่ 0-4 หรือ 0-6

2. การให้คะแนนแบบแยกส่วน (Analytics score) คือ การมองคุณภาพงานหรือความสามารถของนักเรียนได้อย่างชัดเจน โดยการแยกองค์ประกอบของการให้คะแนนและอธิบายคุณภาพของงานในแต่ละองค์ประกอบเป็นระดับ โดยทั่วไปมีการแยกองค์ประกอบของงานเป็น 4 ด้านดังนี้

2.1 ความเข้าใจในความคิดรวบยอด ข้อเท็จจริง เป็นการแสดงให้เห็นว่านักเรียนเข้าใจในความคิดรวบยอด หลักการในปัญหาที่ถามกระจ่างชัด

2.2 การสื่อความหมาย เป็นความสามารถในการอธิบาย นำเสนอการบรรยายเหตุผล ให้ผู้อื่นเข้าใจ

2.3 การใช้กระบวนการและยุทธวิธี สามารถเลือกใช้วิธี กระบวนการที่นำไปสู่ความสำเร็จอย่างมีประสิทธิภาพ

2.4 ความสำเร็จของงาน ถูกต้องแม่นยำ หรืออธิบายที่มาและตรวจสอบผลงาน

จากเกณฑ์การประเมินของการประเมินตามสภาพจริงที่กล่าวมาสรุปได้ว่า การประเมิน ตามสภาพจริงนิยมให้รูบรีคเป็นเกณฑ์ ซึ่งการประเมินโดยใช้รูบรีคมี 2 รูปแบบ คือ การประเมินแบบ ภาพรวม และแบบแยกส่วน ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้การประเมินแบบรูบรีคในการประเมิน ทักษะในศตวรรษที่ 21 โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนรูบรีคแบบแยกส่วน โดยพิจารณาแต่ละส่วนของ งาน กำหนดแนวทางการให้คะแนนในแต่ละส่วน ซึ่งมีคำอธิบายของแต่ละส่วนอย่างชัดเจน

4.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะในศตวรรษที่ 21และความคิดสร้างสรรค์

เพชรศรีรินทร์ ตุ่นคา (2559) ได้ศึกษาการพัฒนาชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่อง สารชีวโมเลกุล: โปรตีนและลิพิด เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ระดับมัธยมศึกษาตอน ปลาย พบว่าเมื่อนำชุดกิจกรรมที่พัฒนาไปใช้กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 42 คน ชุดกิจกรรมมีประสิทธิภาพ E1/E2 เท่ากับ 80.72 /71.79 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ประสิทธิภาพ 70/70 ที่กำหนดไว้ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี เรื่องสารชีวโมเลกุล: โปรตีน และลิพิด และ ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอน ปลายที่เรียนด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่อง สารชีวโมเลกุล: โปรตีนและ ลิพิด มี คะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และนักเรียนระดับชั้น มัธยมศึกษาตอนปลายที่เรียนด้วยชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่อง สารชีวโมเลกุล: โปรตีน และลิพิด มีทักษะสารสนเทศ สื่อ และเทคโนโลยีอยู่ในระดับดีเยี่ยม และทักษะชีวิตและอาชีพอยู่ใน ระดับดีมาก

ปฏิวัติ ศรีทิพย์ศักดิ์, บัณฑิตภาควิชาคณิตศาสตร์, and อภิสิทธิ์ สงเสนา (2017) ได้ ศึกษาแนวปฏิบัติในการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 และแนวคิดเรื่อง สารละลาย ของนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ด้วยการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการโดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการ สื่อสาร พบว่า แนวปฏิบัติที่ดีในการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการโดยใช้ ICT เพื่อให้ให้นักเรียนพัฒนา แนว-คิดเรื่องสารละลาย และทักษะในศตวรรษที่ 21 คือ (1) ครูควรสร้างแรงบันดาลใจในการเรียน ด้วยการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการโดยใช้ ICT เพื่อช่วยให้นักเรียนสามารถดำเนินโครงการไปด้วย ตนเองได้ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการเรียนรู้เนื้อหาและทักษะสำคัญต่าง ๆ (2) ครูควรใช้คำถามขับ เคลื่อนโครงการเพื่อสนับสนุนการวางแผนและการสร้างชิ้นงานของนักเรียน (3) ครูควรให้ผล สะท้อนกลับเพื่อกระตุ้นความสร้างสรรค์ในชิ้น งานและการแก้ไขชิ้นงานของนักเรียน ซึ่งเป็น สิ่งจำเป็นในการพัฒนาทักษะการทำงานและทำให้ชิ้นงานของนักเรียนเกิดการพัฒนาไปในทางที่ดี ขึ้น (4) ครูควรส่งเสริมให้นักเรียนเป็นเจ้าของกระบวนการเรียนรู้ เพื่อที่นักเรียนจะได้เรียนรู้สิ่ง

สำคัญต่าง ๆ ในกระบวนการสร้างชิ้นงาน (5) ครูควรจัดการเรียนรู้ให้เป็นไปตามกระบวนการของ PBL เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนสร้างชิ้นงาน โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ที่มากกว่าในหลักสูตร และ (6) ครูควรจัดการเรียนรู้ตามแนวทางของ PBL โดยใช้ ICT เพื่อให้มั่นใจได้ว่านักเรียนได้เรียนรู้และเข้าใจหัวใจสำคัญของเรื่องที่เรียน และสามารถประเมินนักเรียนได้ตลอดเวลา

5. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

5.1 ความหมายของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

คำว่า “แนวคิด” มาจากศัพท์ภาษาอังกฤษคำว่า “Concept” บางคนใช้คำว่า ความคิดรวบยอด มโนทัศน์ สังกัป มโนภาพ คอนเซ็ป ซึ่งเป็นคำที่มีความหมายเดียวกัน โดยมีผู้รู้และนักการศึกษา หลายท่านได้ให้ความหมายของแนวคิดไว้ดังนี้

ผดุงยศ ดวงมาลา (2523) ให้ความหมายของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า หมายถึง แนวคิดที่เกิดจากการนำเอาข้อเท็จจริงที่เกี่ยวข้องมาผสมผสานเป็นรูปแบบใหม่ ซึ่งเป็นความคิดโดยสรุปต่อสิ่งนั้น อาจเกิดจากการจินตนาการของนักวิทยาศาสตร์ก็ได้

มังกร ทองสุขดี (2523) ให้ความหมายของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า หมายถึง การสังเคราะห์ตามเหตุผล ซึ่งเกิดจากรวมข้อเท็จจริง และหลักเกณฑ์ของแต่ละบุคคลว่าเข้าใจความสัมพันธ์ในวัตถุ สัญลักษณ์ หรือสถานการณ์ มากน้อยเพียงใด ซึ่งเป็นสิ่งปรุงแต่งขึ้นมาโดยอาศัยเหตุผลและทำให้ข้อเท็จจริงมีความหมายที่จะช่วยให้เกิดประโยชน์ในการคิดขั้นต่อไป

คณะอนุกรรมการพัฒนาการสอนและผลิตวัสดุอุปกรณ์การสอนวิทยาศาสตร์ (ทบวงมหาวิทยาลัย, 2525) ให้ความหมายของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า หมายถึง ความคิดความเข้าใจที่สรุปเกี่ยวกับสิ่งใดสิ่งหนึ่งหรือเรื่องใดเรื่องหนึ่งอันเกิดจากการสังเกต หรือการได้รับประสบการณ์เกี่ยวกับสิ่งนั้น หรือเรื่องนั้นมาประมวลเข้าด้วยกันให้เป็นข้อสรุป หรือคำจำกัดความของสิ่งใดสิ่งหนึ่ง

สุวิมล เขี้ยวแก้ว (2540) ให้ความหมายของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า หมายถึง การสังเคราะห์หรือบอกความสัมพันธ์ในเชิงตรรกศาสตร์จากข้อมูลที่ตรงประเด็น เป็นผลผลิตจากการใช้จินตนาการการตัดสินใจอย่างมีเหตุผลของผู้เรียน มโนคติเป็นสิ่งที่ซับซ้อนกว่าการรวบรวมความรู้ที่เป็นระบบอยู่แล้วเพื่อความเข้าใจในเรื่องที่กำลังสนใจศึกษา

จากความหมายของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่กล่าวมาผู้วิจัยสรุปความหมายได้ดังนี้
ความคิด ความเข้าใจในการรวบรวมความรู้ ที่ได้จากการสังเกตหรือจากการได้รับประสบการณ์

ออกมาเป็นข้อสรุปหรือให้คำจำกัดความได้ โดยอยู่บนพื้นฐานของเหตุและผล ซึ่งอาศัยข้อเท็จจริง และหลักเกณฑ์ทางวิทยาศาสตร์

5.2 แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

มีผู้รู้และนักการศึกษาหลายท่านได้ให้ความหมายของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไว้ดังนี้

บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์ (2549) เป็นเครื่องมือเก็บข้อมูลที่ตัวอย่างอ่านเองและตอบเอง ซึ่งเป็นชุดคำถามอย่างเป็นทางการ มีโครงสร้างและส่วนประกอบชัดเจน ใช้เก็บข้อมูลแนวคิดทางวิทยาศาสตร์จากผู้มีข้อมูล

อรวรรณ จันทร์ฟู and เอกรัตน์ ศรีตัญญ (2554) ให้ความหมายของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า หมายถึง การรวบรวมความรู้และความเข้าใจ ข้อความรู้เป็นข้อสรุปหรือให้คำจำกัดความได้ในขอบเขตเกี่ยวกับความหมายของวิทยาศาสตร์เรื่องนั้นๆ

พัชรภรณ์ บัวระบัดทอง and ไพโรจน์ เต็มเตชาติพงษ์ (2013) ให้ความหมายของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ว่า หมายถึง ความรู้ ความเข้าใจของบุคคลที่มีต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่งหรือเรื่องใดเรื่องหนึ่ง อันเกิดจากข้อเท็จจริง หลักการ ผลของการทดลองในทางวิทยาศาสตร์และสถานการณ์ต่าง ๆ แล้วนำมาประมวลเข้าด้วยกันเป็นข้อสรุปอย่างมีหลักการ และสอดคล้องกับนักวิทยาศาสตร์

จากความหมายของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่กล่าวมาผู้วิจัยสรุปความหมายได้ดังนี้ เครื่องมือที่ใช้เก็บรวบรวมความรู้และความเข้าใจ ที่เป็นข้อสรุปหรือคำจำกัดความในขอบเขตเกี่ยวกับความหมายของวิทยาศาสตร์เรื่องนั้นๆ อย่างมีหลักการ

5.3 ประเภทของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์มีหลายประเภทตามเกณฑ์การจำแนกที่กำหนดขึ้นนี้มีผู้รู้และนักการศึกษาหลายท่านได้ให้แบ่งประเภทของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไว้ดังนี้

5.3.1.1 แบบวัดแนวคิดชนิดเลือกตอบ ทั้งคำตอบและเหตุผล

เป็นแบบวัดหลายตัวเลือก ที่ให้เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดจากข้อคำถาม และต้องเลือกคำอธิบายที่เป็นเหตุผลของตัวเลือกที่เลือก เป็นแบบวัดที่สามารถให้ข้อมูลได้เชิงคุณภาพและปริมาณ โดยสามารถเปลี่ยนข้อมูลเชิงคุณภาพเป็นข้อมูลเชิงปริมาณได้โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนนเกณฑ์การให้คะแนน

1. ถ้านักเรียนตอบถูกต้องทั้ง 2 ส่วน คือ ทั้งส่วนของคำตอบและเหตุผล ถือว่านักเรียนมีแนวคิดที่ถูกต้องให้ 1 คะแนน

2. ถ้านักเรียนตอบถูกส่วนใดส่วนหนึ่งใน 2 ส่วน หรือตอบผิดทั้ง 2 ส่วน ถือว่านักเรียนมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนให้ 0 คะแนน

ตัวอย่างแบบวัดแนวคิดชนิดเลือกตอบ ทั้งคำตอบและเหตุผล(อัจฉรีรัตน์ ศิริ et al., 2016)

คำถาม: ข้อใดอ่านชื่อสารประกอบไอออนิกต่อไปนี้ได้ถูกต้อง

ก. $BaCl_2$ อ่านว่า แบเรียมไคลอไรด์

ข. Na_2CO_3 อ่านว่า ไดโซเดียมไนเตรต

ค. Al_2S_3 อ่านว่า อะลูมิเนียมซัลไฟด์

ง. KCl อ่านว่า โพแทสเซียมคลอไรด์

เหตุผล:

1. อ่านชื่ออะตอมตัวหน้าก่อนแล้วตามด้วยชื่ออะตอมตัวหลัง แต่เปลี่ยนเสียงท้ายพยางค์เป็น ไ-ด์

2. อ่านชื่ออะตอมตัวหน้าก่อนแล้วตามจำนวนอะตอมและชื่ออะตอมตัวหลัง แต่เปลี่ยนเสียงท้ายพยางค์เป็น ไ-ด์

3. อ่านชื่ออะตอมตัวหน้าก่อน แล้วตามด้วยชื่ออะตอมของธาตุตัวหลัง

4. บอกจำนวนอะตอมของธาตุตัวหน้าแล้วตามด้วยชื่อธาตุ ส่วนอะตอมของธาตุตัวหลังให้อ่านชื่อ แต่เปลี่ยนเสียงท้ายพยางค์เป็น ไ-ด์

5.3.1.2 แบบวัดแนวคิดชนิดเลือกตอบพร้อมอธิบายเหตุผลที่เลือก

เป็นแบบวัดหลายตัวเลือก ที่ให้เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดจากข้อคำถาม และต้องอธิบายเหตุผลของตัวเลือกที่เลือก เป็นแบบวัดที่สามารถให้ข้อมูลได้เชิงคุณภาพและปริมาณ โดยสามารถเปลี่ยนข้อมูลเชิงคุณภาพเป็นข้อมูลเชิงปริมาณได้โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนน

1. ถ้านักเรียนตอบถูกต้องทั้ง 2 ส่วน คือ ทั้งส่วนของคำตอบและเหตุผล ถือว่านักเรียนมีแนวคิดที่ถูกต้องให้ 1 คะแนน

2. ถ้านักเรียนตอบถูกส่วนใดส่วนหนึ่งใน 2 ส่วน หรือตอบผิดทั้ง 2 ส่วน ถือว่านักเรียนมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนให้ 0 คะแนน

ตัวอย่างแบบวัดแนวคิดชนิดเลือกตอบพร้อมอธิบายเหตุผลที่เลือก (กาญจนา คังคะประดิษฐ์, 2547)

คำถาม : ข้อใดคือ ความหมายของพันธะเคมี

ก. น้ำแข็งแต่ละก้อนมีหลายโมเลกุล และแต่ละโมเลกุลจะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างกัน

ข. น้ำแข็งหลายๆ โมเลกุลจะมีแรงยึดเหนี่ยวกันมากจึงทำให้อยู่เป็นก้อนได้

ค. น้ำแข็งแต่ละโมเลกุลจะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจน

ง. น้ำแข็งแต่ละโมเลกุลจะมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมของไฮโดรเจนและอะตอมของออกซิเจน

เหตุผล :

.....

5.3.1.3 แบบวัดแนวคิดชนิดคำถามปลายเปิด

เป็นแบบวัดแบบเขียนตอบ ที่ให้แสดงคำตอบ และต้องอธิบายเหตุผลประกอบพร้อมด้วย ซึ่งสามารถให้ข้อมูลทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยสามารถเปลี่ยนข้อมูลเชิงคุณภาพให้เป็นข้อมูลเชิงปริมาณได้โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนน

เกณฑ์การให้คะแนน

1. ถ้านักเรียนตอบถูกต้อง ครบคลุมและชัดเจน ถือว่านักเรียนมีแนวคิดที่ถูกต้อง ให้ 2 คะแนน

2. ถ้านักเรียนตอบถูกต้องบางส่วน แต่บางส่วนนักเรียนไม่ได้กล่าวถึงถือว่านักเรียนมีแนวคิดที่ไม่สมบูรณ์ ให้ 1 คะแนน

3. ถ้านักเรียนตอบถูกต้องบางส่วนแต่บางส่วนไม่ถูกต้อง ถือว่านักเรียนมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อน ให้ 0 คะแนน

4. ถ้านักเรียนตอบคำถามไม่ถูกต้องเลย ถือว่านักเรียนมีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องให้ 0 คะแนน

ตัวอย่างแบบวัดแนวคิดชนิดคำถามปลายเปิด (อัจฉริรัตน์ ศิริ et al., 2016)

คำถาม : จงหาอัตราส่วนไอออนบวกต่อไอออนลบในโซเดียมออกไซด์ พร้อมอธิบายแนวคิด

เหตุผล :

5.3.1.4 แบบวัดแนวคิดชนิดถูก-ผิด พร้อมอธิบายเหตุผลประกอบ

เป็นแบบวัดเลือกตอบถูก-ผิด ที่ให้เลือกว่าคำตอบนั้นถูกหรือผิดจากข้อคำถาม และต้องอธิบายเหตุผลของตัวเลือกที่เลือกว่าถูกหรือผิดเพราะเหตุใด เป็นแบบวัดที่สามารถให้ข้อมูลได้เชิงคุณภาพและปริมาณ โดยสามารถเปลี่ยนข้อมูลเชิงคุณภาพเป็นข้อมูลเชิงปริมาณได้โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนน

เกณฑ์การให้คะแนน

1. ถ้านักเรียนกาเครื่องหมายถูกหน้าข้อความที่เป็นแนวคิดที่ถูกต้อง และอธิบายเหตุผลได้ถูกต้อง ถือว่านักเรียนมีแนวคิดที่ถูกต้อง ให้ 1 คะแนน
2. ถ้านักเรียนกาเครื่องหมายผิดหน้าข้อความที่เป็นแนวคิดที่คลาดเคลื่อนและอธิบายเหตุผลได้ถูกต้อง แสดงว่านักเรียนมีแนวคิดที่ถูกต้อง ให้ 1 คะแนน
3. ถ้านักเรียนกาเครื่องหมายถูกหน้าข้อความที่เป็นแนวคิดที่คลาดเคลื่อน และอธิบายเหตุผลไม่ถูกต้อง แสดงว่านักเรียนมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อน ให้คะแนน 0 คะแนน
4. ถ้านักเรียนกาเครื่องหมายผิดหน้าข้อความที่เป็นแนวคิดที่คลาดเคลื่อน แต่อธิบายเหตุผลไม่ถูกต้อง แสดงว่านักเรียนมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อน ให้ 0 คะแนน

ตัวอย่างแบบวัดแนวคิดชนิดถูก-ผิด พร้อมอธิบายเหตุผลประกอบ (วิไลภรณ์ ผุยพรม. 2550)

คำชี้แจง : จงพิจารณาข้อความต่อไปนี้ แล้วให้นักเรียนกาเครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่นักเรียนคิดว่าถูกต้อง และกาเครื่องหมาย X หน้าข้อความที่นักเรียนคิดว่าผิด พร้อมทั้งอธิบายเหตุผลประกอบ

1).....สารประกอบเป็นสารบริสุทธิ์ที่มีเนื้อเดียว

เหตุผล.....

จากที่กล่าวมาข้างต้น สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้แบบวัดแนวคิดชนิดถูก-ผิด พร้อมอธิบายเหตุผลประกอบ ในวิชาเคมีเรื่อง พันธะเคมี จำนวน 15 คำถาม 15 คะแนน โดยหนึ่งคำถามให้เลือกตอบถูกหรือผิด หากข้อใดผิดต้องแก้ไขถูก โดยอธิบายเหตุผลประกอบคำตอบนั้น เพื่อนำคะแนนของผู้เรียนไปเปรียบเทียบแนวคิดของผู้เรียนก่อนและหลังเรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี โดยนำคะแนนสอบที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยจำแนกตามกลุ่มคำตอบตามกรอบแนวคิดของ Haidar (1997) ซึ่งได้จำแนกแนวคิดออกเป็น 5 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มที่มีแนวคิดวิทยาศาสตร์ (scientific understanding, SU) หมายถึง คำตอบที่แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจในแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องทั้งหมด
2. กลุ่มที่มีแนวคิดถูกต้องบางส่วน (partial understanding, PU) หมายถึง คำตอบที่แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจในแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องบางส่วน
3. กลุ่มที่มีแนวคิดถูกต้องบางส่วนกับแนวคิดคลาดเคลื่อน (partial understanding with a specific misconception, PU/SM) หมายถึง คำตอบที่แสดงให้เห็นถึง

ความเข้าใจในแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องบางส่วน และคลาดเคลื่อนจากแนวคิดทางวิทยาศาสตร์บางส่วน

4. กลุ่มที่มีแนวคิดคลาดเคลื่อน (specific misconception, SM) หมายถึง การตอบที่ไม่ถูกต้องตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

5. กลุ่มที่ไม่มีแนวคิด (no understanding, NU) หมายถึง ไม่ตอบคำถามตอบซ้ำกับคำถาม คำตอบไม่เกี่ยวข้องหรืออธิบายไม่ชัดเจน ไม่มีการอธิบายเหตุผลของคำตอบ วิเคราะห์ผลโดยนับจำนวนนักเรียน และเปรียบเทียบค่าเป็นร้อยละของนักเรียน โดยการนำคำตอบของนักเรียนมาจัดกลุ่มแนวคิดและหาร้อยละคำตอบของนักเรียนในแต่ละกลุ่มความคิด (ลัดดาวัลย์ บุรณะ & จรรยา ดาสา, 2017)

5.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

อรวรรณ จันทร์ฟู and เอกรัตน์ ศรีบุญญ (2554) ได้ศึกษาแนวคิดเรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิซิม พบว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนว คอนสตรัคติวิซิมทำให้นักเรียนส่วนใหญ่จำนวนร้อยละ 35.53 มีแนวคิดเรื่องพันธะเคมีถูกต้อง และแนวคิดถูกต้องบางส่วนร้อยละ 14.53 แต่อย่างไรก็ตามยังพบว่า ยังมีนักเรียนส่วนใหญ่อีกร้อยละ 30.92 ที่มีแนวคิดคลาดเคลื่อน โดยเฉพาะในแนวคิดเรื่องชนิดของพันธะโคเวเลนต์ ความยาวพันธะและพลังงานพันธะ สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล โคเวเลนต์ และสารโคเวเลนต์โครงผลึกว่างตาข่าย นอกจากนี้นักเรียนร้อยละ 12.75 ยังมีแนวคิดคลาดเคลื่อนบางส่วนถูกต้องบางส่วน ในแนวคิดเรื่องโมเลกุลที่ไม่เป็นไปตามกฎออกเตต ส่วนนักเรียนอีกร้อยละ 4.86 ไม่มีแนวคิด ในเรื่องพันธะเคมี

อัจฉรีรัตน์ ศิริ et al. (2016) ได้สำรวจมโนคติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง สารโคเวเลนต์ และไอออนิก โดยใช้เทคนิคแบ่งกลุ่มผลสัมฤทธิ์ร่วมกับบัตรแสดงพันธะเคมี พบว่า มโนคติที่ถูกต้องของนักเรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้โดยเทคนิคแบ่งกลุ่มผลสัมฤทธิ์ ร่วมกับสื่อการเรียนรู้บัตรแสดงพันธะเคมีเพิ่มขึ้นหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนที่ระดับนัยสำคัญ .05 ในขณะที่มโนคติที่คลาดเคลื่อนและมโนคติที่ผิดพลาดลดลง โดยการเขียนสูตรและการเรียกชื่อ นักเรียนมีความก้าวหน้าในเรื่องสารโคเวเลนต์มากกว่าสารไอออนิก สำหรับมโนคติคลาดเคลื่อนมากที่สุดคือ เรื่องการอ่านชื่อสารโคเวเลนต์โดยนักเรียนอ่านเลขจำนวนอะตอมเป็นภาษากรีกไม่ถูกต้อง คิดเป็นร้อยละ 40.63 นักเรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 28.13 สามารถเขียนสูตรไอออนิก เพราะใช้ตัวเลขโรมันในการระบุประจุของเรพรีเซนเททีฟ

ลัดดาวัลย์ บุรณะ and จรรยา ดาสา (2017) ได้ศึกษาแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง สารละลาย ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่า เรื่องที่นักเรียนมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนไม่เข้าใจและไม่มีแนวคิดมากที่สุด คือเรื่อง โมลาริตี และโมแลลิตี ผลที่ได้จากการวิจัยได้ข้อเสนอแนะว่าควรมีการพัฒนาการจัดการเรียนรู้ เรื่อง สารละลาย เพื่อพัฒนาให้นักเรียนมีแนวคิดเรื่องสารละลายให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะได้นำไปใช้ในชีวิตประจำวันและเป็นพื้นฐานในการเรียนวิทยาศาสตร์เรื่องอื่น ๆ ต่อไป

พัชรภรณ์ บัวระบัดทอง and ไพโรจน์ เต็มเตชาติพงศ์ (2013) ได้ศึกษาความเข้าใจมโนคติทางวิทยาศาสตร์ เรื่องพันธกรรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เมื่อใช้วิธีการสอนแบบเปรียบเทียบร่วมกับการวัดและประเมินผลเพื่อพัฒนา พบว่า เมื่อใช้วิธีการสอนแบบเปรียบเทียบร่วมกับการวัดและประเมินผลเพื่อพัฒนาโดยใช้รูปแบบตัวออก (Exit Cards) นักเรียนมีระดับมโนคติคลาดเคลื่อน (MU) ร้อยละ 14.46 ระดับมโนคติทางวิทยาศาสตร์บางส่วนและมโนคติคลาดเคลื่อนบางส่วน (PU & MU) ร้อยละ 13.04 ระดับมโนคติทางวิทยาศาสตร์แบบไม่สมบูรณ์ (PU) ร้อยละ 65.00 และระดับมโนคติทางวิทยาศาสตร์ (SU) ร้อยละ 7.50 แสดงให้เห็นว่า วิธีการสอนแบบเปรียบเทียบร่วมกับการวัดและประเมินผลเพื่อพัฒนา โดยใช้รูปแบบตัวออก (Exit cards) ช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจมโนคติทางวิทยาศาสตร์ เรื่องพันธกรรมมากขึ้น

6. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านการปฏิบัติ (Constructionism)

6.1 ความหมายของทฤษฎี Constructionism

ทฤษฎี Constructionism เป็นทฤษฎีที่ Seymour Papert (1999) แห่ง Massachusetts Institute of Technology (MIT) สหรัฐอเมริกา ได้เริ่มพัฒนาขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 โดยมีรากฐานมาจากทฤษฎี Constructivism ของ Jean Piaget โดยได้กล่าวว่า ความรู้เกิดจากการสร้างขึ้นโดยตัวผู้เรียน การศึกษาตามแนวคิดทฤษฎีคอนสตรัคชันนิสซึม จะประกอบด้วย การจัดโอกาสให้กับผู้เรียนได้มีส่วนร่วม ซึ่งการเรียนรู้ที่ดีไม่ได้มาจากการหาวิธีสอนต่างๆ มาให้ครู แต่มาจากการให้โอกาสตลอดจนการจัดสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่ดีกว่าแก่ผู้เรียนในการสร้างความรู้ โดย Seymour Papert (1999) ได้กล่าวถึงหลักสำคัญของการเรียนรู้ 3 ประการ คือ การเรียนรู้จากการแก้ปัญหาโดยการสำรวจและทดลองด้วยตนเอง การเชื่อมโยงความรู้ใหม่เข้ากับสิ่งที่รู้มาก่อนแล้ว และการนำความรู้ที่มีอยู่เดิมไปใช้เพื่อสร้างสิ่งใหม่ ๆ ต่อไป

ทฤษฎี Constructionism หรือ ทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านการปฏิบัติ นี้ มีความหมายสั้นที่สุด คือ การเรียนรู้โดยการปฏิบัติ (Doing) หรือสร้าง (Making) สิ่งต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น (Papert, 1999) และสามารถขยายความออกไปได้อีกว่า การเรียนรู้จะเกิดขึ้นได้ดีที่สุด เมื่อผู้เรียนมีส่วนเกี่ยวข้องในการสร้างบางสิ่งบางอย่างที่สัมผัสได้และมีความหมายกับตนเอง โดยเมื่อผู้เรียนสร้างบางสิ่งบางอย่างออกมาแล้ว จะได้รับความรู้ไปด้วย และความรู้ใหม่นี้จะช่วยให้เด็กนำไปสร้างสิ่งต่าง ๆ ที่มีความซับซ้อนมากขึ้น มีการปรับเปลี่ยน และแลกเปลี่ยนความรู้กับผู้อื่น ทำให้ความรู้เพิ่มพูนขึ้น และกระบวนการนี้จะเป็นวงจรต่อเนื่องที่เสริมรบกวนกันและกันภายในตนเองอย่างไม่มีที่สิ้นสุด

6.2 หลักการและกระบวนการการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านการปฏิบัติ

มีหลักการสำคัญดังนี้ (สุชิน เพ็ชรรักษ์, 2548 : 31 – 34)

1. หลักการที่ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง คือ การให้ผู้เรียนลงมือสร้างสิ่งของหรือประกอบกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยตนเอง ได้ปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมภายนอกที่มีความหมาย ซึ่งจะรวมถึงปฏิภพระหว่างความรู้ในตัวของผู้เรียนเองกับประสบการณ์และสิ่งแวดล้อมภายนอกสามารถเชื่อมโยงและสร้างเป็นองค์ความรู้ใหม่
2. หลักการที่ยืดผู้เรียนเป็นศูนย์กลางของการเรียนรู้ คือ ครูต้องจัดบรรยากาศการเรียนการสอนที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยตนเอง โดยมีทางเลือกที่หลากหลายและเรียนรู้ด้วยความสุข สามารถเชื่อมโยงความรู้ระหว่างความรู้ใหม่กับความรู้เก่าได้ ส่วนครูทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยและคอยอำนวยความสะดวก
3. หลักการเรียนรู้จากประสบการณ์และสิ่งแวดล้อม หลักการนี้เน้นให้เห็นความสำคัญของการเรียนรู้ร่วมกัน ทำให้ผู้เรียนเห็นว่าคนเป็นแหล่งความรู้อีกแหล่งหนึ่งที่สำคัญสามารถแลกเปลี่ยนความรู้กันได้ เมื่อจบการศึกษาออกไปก็จะปรับตัวและทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ
4. หลักการใช้เทคโนโลยีเป็นเครื่องมือ หลักการนี้เน้นการใช้เทคโนโลยีแสวงหาความรู้จากแหล่งความรู้ต่างๆ ด้วยตนเอง เป็นผลให้เกิดพฤติกรรมที่ฝังแน่นเมื่อผู้เรียน เรียนรู้ว่าจะเรียนรู้ได้อย่างไร (Learning how to Learn)

การจัดการเรียนรู้ตามทฤษฎี Constructionism เป็นนวัตกรรมด้านการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนากระบวนการคิดของผู้เรียนและนำเสนอผ่านผลงานที่จัดทำ ดังนั้นครูผู้สอนต้องดำเนินการจัดการเรียนรู้ดังนี้ (สุชิน เพ็ชรรักษ์, 2548 : 3 – 4)

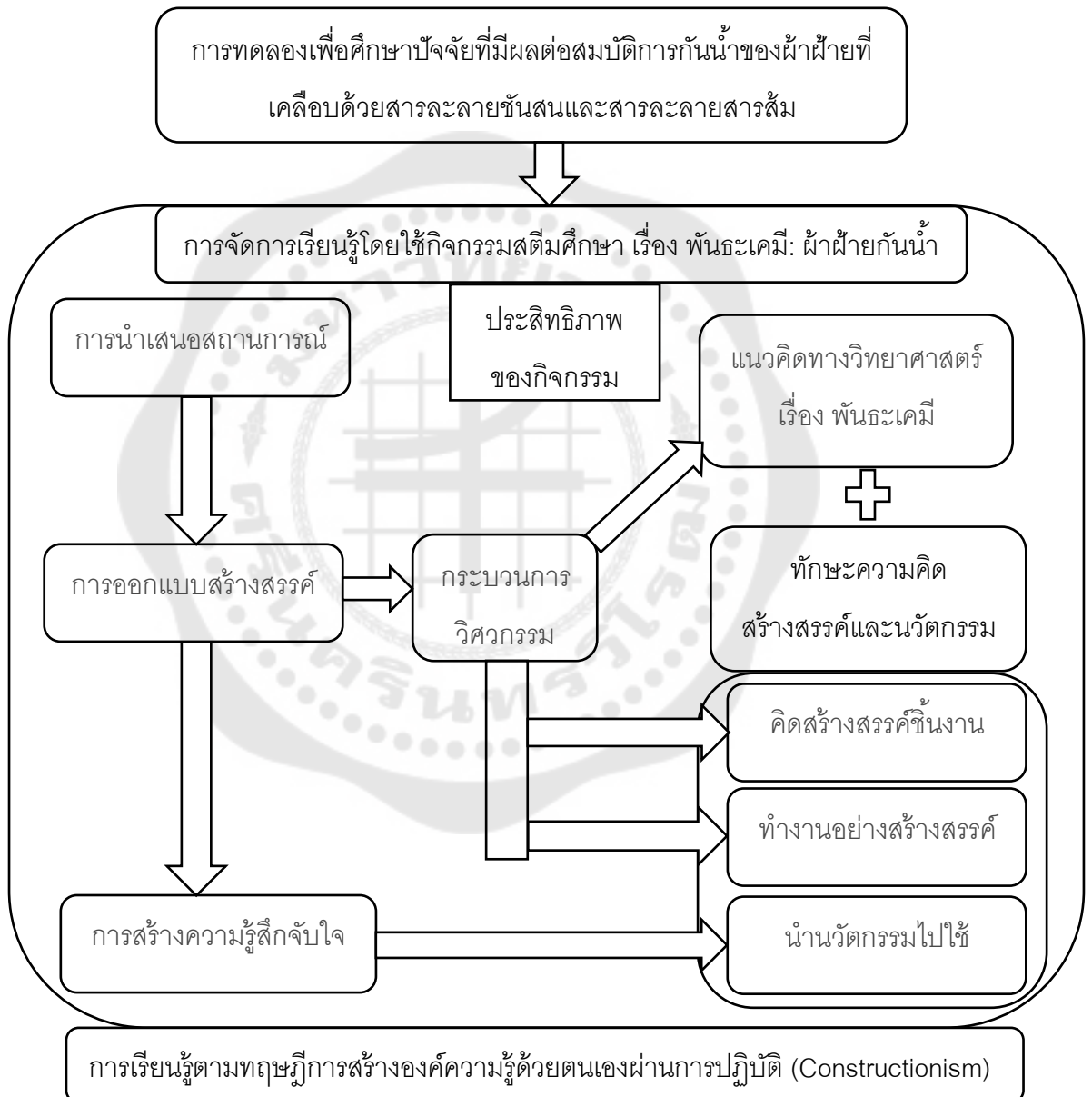
1. เชื่อมโยงสิ่งที่รู้แล้วกับสิ่งที่ผู้เรียนกำลังเรียน
2. การให้โอกาสผู้เรียนเป็นผู้ริเริ่มทำโครงการที่ตนเองสนใจ
3. เปิดโอกาสให้มีการนำเสนอความคิด ผลงาน ผลการวิเคราะห์กระบวนการเรียนรู้ของตนเองเพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับเพื่อน
4. ให้เวลาทำงานอย่างต่อเนื่อง

ในการจัดการเรียนรู้ตามทฤษฎี Constructionism ครูเป็นบุคคลสำคัญที่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงทัศนคติ ความเชื่อ ดังนี้

1. ต้องไม่ถือว่าครูเป็นผู้รู้แต่ผู้เดียว ผู้เรียนต้องเชื่อตามที่ครูบอกแต่ครูต้องตระหนักว่าตนเองมีความรู้ที่จะช่วยเหลือนักเรียนเท่าที่จะช่วยได้ ดังนั้นครูจึงไม่ต้องอายผู้เรียนหากจะต้องพูดว่าไม่ทราบ
2. ต้องพยายามให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ด้วยตนเองมากที่สุด อดทนและปล่อยให้ นักเรียนประกอบกิจกรรมด้วยตนเอง อย่ารีบบอกคำตอบ ควรช่วยเหลือและแนะนำผู้เรียนที่เรียนช้า และเรียนเร็วให้สามารถเรียนไปตามความสามารถของตนเองให้มากที่สุด
3. ไม่ควรถือว่า “ผู้เรียนที่ดีต้องเงียบ” แต่ครูควรเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้พูดคุย แลกเปลี่ยนความคิดเห็นซึ่งกันและกัน
4. ต้องไม่ถือว่าการที่ผู้เรียนเดินไปเดินมาในการทำกิจกรรมการเรียนรู้เป็นการแสดงถึงความไม่มีระเบียบวินัย แต่ต้องคิดว่าการเดินไปเดินมาเป็นกระบวนการหนึ่งที่จะช่วยให้การเรียนรู้เป็นไปอย่างต่อเนื่อง และช่วยทำให้ผู้เรียนไม่เบื่อหน่ายต่อการเรียน
5. ไม่ควรยึดติดกับหลักสูตรมากเกินไป ไม่ควรจะยึดเนื้อหาที่ไม่จำเป็นให้กับผู้เรียน ควรคิดว่าการให้เนื้อหาที่จำเป็นแม้จะน้อยอย่างก็ยิ่งดีกว่าสอนหลายๆอย่าง แต่ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้น้อยหรือนำความรู้ที่เรียนไปประยุกต์ใช้ไม่ได้ (พรศิริ อุปคำ, 2015)

กรอบแนวคิดของงานวิจัย

จากการทบทวนเอกสารทั้งหมดสามารถสรุปประเด็นสำคัญเพื่อเป็นกรอบแนวคิดการพัฒนากิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ดังภาพประกอบ และรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 12 กรอบแนวคิดการพัฒนากิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้สร้างกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ใช้ประกอบการเรียนการสอนในรายวิชาเคมีเพิ่มเติม ในการดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนตามลำดับต่อไปนี้

1. การพัฒนากิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่องพันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

1.1 การกำหนดประชากรและการสุ่มตัวอย่าง

1.2 การพัฒนาวิธีการทดลองและบทปฏิบัติการ เรื่อง ฝ่าฝ้ายกันน้ำ

1.3 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1.3.1 การสร้างกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

1.3.2 การสร้างแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ประกอบด้วยแบบประเมิน 2 ชุด ดังนี้

1.3.2.1 แบบประเมินการออกแบบผลงาน

1.3.2.2 แบบประเมินผลงาน

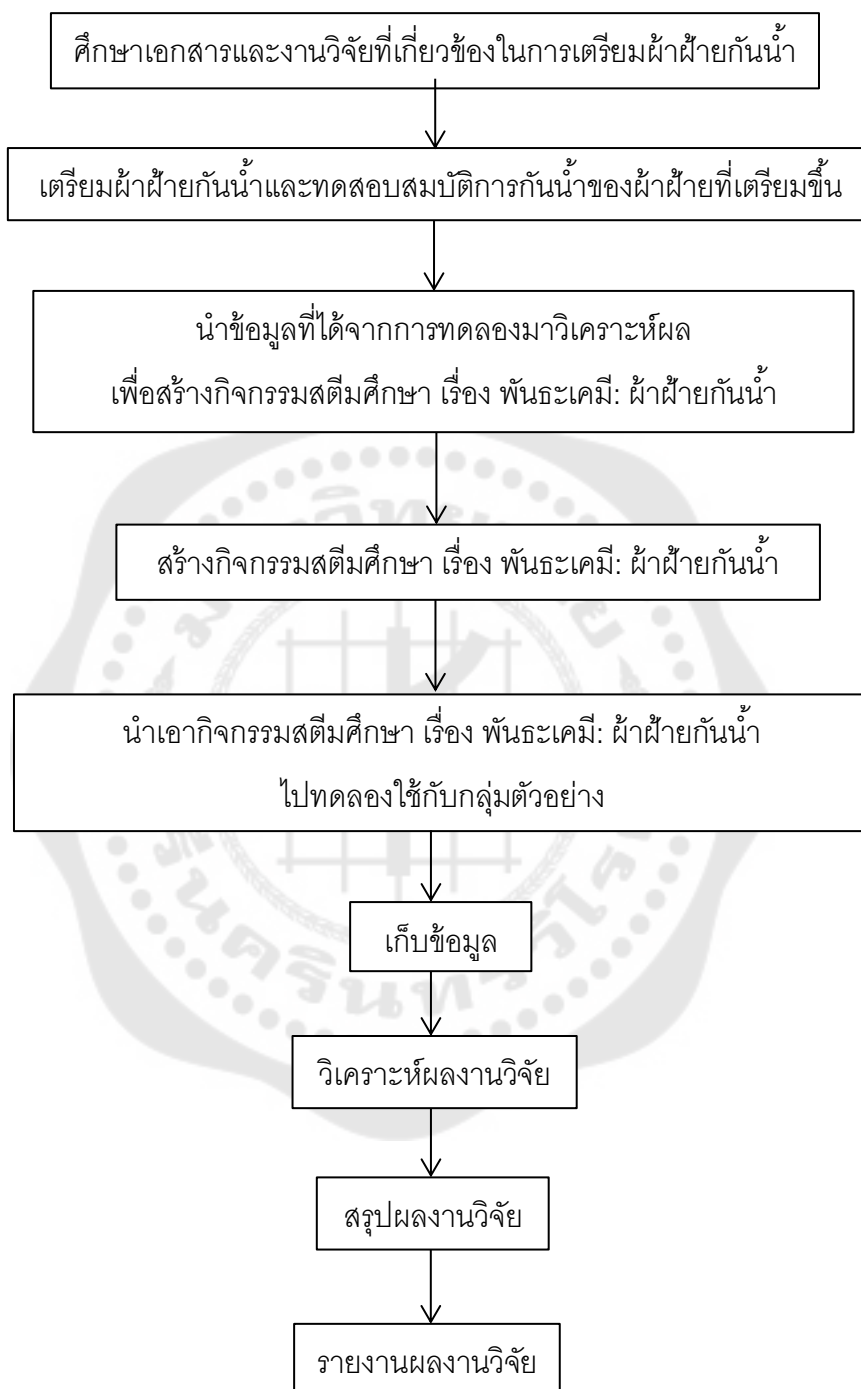
1.3.3 การสร้างแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี

2. การนำกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่องพันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง

2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

2.2 การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยขอเสนอขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. การพัฒนากิจกรรมสเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่องพันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

1.1 การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ จังหวัดกรุงเทพมหานคร

การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนที่เรียนรายวิชา เคมีเพิ่มเติม ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษ จังหวัดกรุงเทพมหานคร ปีการศึกษา 2561 ซึ่งเลือกโดยการเลือกแบบเจาะจง จำนวน 2 ห้องเรียน ห้องเรียนละ 30 คน ทั้งหมดจำนวน 60 คน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลอง 1 ห้องเรียน ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา และกลุ่มควบคุม 1 ห้องเรียน ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามนโยบายของโรงเรียน โดยกำหนดให้ใช้รูปแบบการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (5E)

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย คือ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2561 ใช้เวลา 24 คาบเรียน (คาบเรียนละ 50 นาที) ใน 7 สัปดาห์ โดยมีการแบ่งช่วงเวลาในการใช้กิจกรรมสเต็มศึกษาวิชาเคมีเรื่องพันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ ดังตาราง 3

ตาราง 3 แสดงการจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่องพันธะเคมี

ลำดับที่	เนื้อหา	จำนวนคาบ
1	<p>คาบเรียนที่ 1</p> <p>นำเข้าสู่บทเรียนสเต็มศึกษา โดยการสร้างความสนใจของนักเรียนจากบทเรียน เรื่อง นวัตกรรมเลียนแบบธรรมชาติ (Biomimicry)</p> <p>คาบเรียนที่ 2-3</p> <p>ทดสอบแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ก่อนเรียน เรื่อง พันธะเคมี ประเมินต้นแบบชิ้นงานผลิตภัณฑ์ก่อนเรียน และชี้แจงการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี</p>	3
2	<p>คาบเรียนที่ 1-2</p> <p>อธิบายการเกิดไอออน และการเกิดพันธะไอออนิก โดยใช้แผนภาพหรือสัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิส</p> <p>คาบเรียนที่ 3</p> <p>การเขียนสูตรและการเรียกชื่อสารประกอบไอออนิก โครงสร้างของสารประกอบไอออนิก</p> <p>คาบเรียนที่ 4</p> <p>ปฏิบัติการฝ้ายกันน้ำและการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ฝ้ายกันน้ำ โดยใช้โปรแกรม ImageJ</p>	4
3	<p>คาบเรียนที่ 1-2</p> <p>พลังงานกับการเกิดสารประกอบไอออนิก</p> <p>คาบเรียนที่ 3</p> <p>สมบัติและปฏิกิริยาของสารประกอบไอออนิก</p>	3
4	<p>คาบเรียนที่ 1-3</p> <p>การอ่านชื่อสารประกอบ การเกิดพันธะและชนิดของพันธะโคเวเลนต์</p> <p>คาบเรียนที่ 4</p> <p>ติดตามความคืบหน้าของความคิดและวางแผนการสร้างชิ้นงาน</p>	4

ตาราง 3 (ต่อ)

ลำดับที่	เนื้อหา	จำนวนคาบ
5	คาบเรียนที่ 1 ความยาวพันธะและพลังงานพันธะ คาบเรียนที่ 2-3 แนวคิดเกี่ยวกับเรโซแนนซ์และรูปร่างโมเลกุล คาบเรียนที่ 4 นำเสนอผลการทดลอง แลกเปลี่ยนความคิดเห็น และประเมินผล กระบวนการทำงานอย่างสร้างสรรค์	4
6	คาบเรียนที่ 1-2 สภาพัฒน์ของโมเลกุลโคเวเลนต์และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล โคเวเลนต์ คาบเรียนที่ 3 สารโคเวเลนต์โครงผลึก่างตาข่าย	3
7	คาบเรียนที่ 1-2 ทบทวนบทเรียน คาบเรียนที่ 3 ทดสอบแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนเรื่อง พันธะเคมี หมายเหตุ : จัดนิทรรศการแสดงผลภัณฑ์ ฟ้าฝ้ายกันน้ำ ของนักเรียน แต่กลุ่มผ่าน facebook โดยการนำเสนอเป็นวิดีโอโฆษณาผลิตภัณฑ์ ของกลุ่มตัวเอง ซึ่งประเมินโดยใช้แบบประเมินผลงาน	3
รวม		24

1.2 การพัฒนาวิธีการทดลองและบทปฏิบัติการ เรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ

ผู้วิจัยได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้าย โดยเลือกวิธีทำผ้าฝ้ายกันน้ำที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถเลือกใช้อุปกรณ์และสารเคมีที่มีในครัวเรือน หาซื้อได้ง่าย ราคาถูก เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และเป็นวิธีการที่เข้าใจได้ง่ายสำหรับนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้าย

1. เครื่องชั่งสาร
2. ปีกเกอร์ขนาด 50 ml และ 100 ml อย่างละ 2 ใบ
3. กระจกตวง ขนาด 100 ml
4. แท่งแก้วคนสาร
5. ช้อนตักสาร
6. หลอดหยดสาร
7. กรรไกร
8. ไม้บรรทัด
9. ผ้าฝ้าย
10. เครื่องทดสอบค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ (water contact angle: WCAs)
11. โปรแกรม ImageJ
12. ตู้อบลมร้อน
13. เตารีด

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. น้ำ (H_2O)
2. ชันสน (Gum Rosin)
3. สารส้ม (Alum: $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$)
4. เอทานอล (ethanol: C_2H_5OH)
5. ผงซักฟอก

วิธีการทดลอง

ในการพัฒนาวิธีการทดลองและบทปฏิบัติการ เรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ นี้ได้ศึกษาการเตรียมผ้าฝ้ายที่มีสมบัติกันน้ำ โดยการนำผ้าฝ้ายมาปรับปรุงสมบัติของพื้นผิวด้วยสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้ม แล้วทำผ้าให้แห้งเพื่อให้ได้ผ้าฝ้ายที่มีสมบัติกันน้ำ

ตอนที่ 1 การเตรียมผ้าฝ้าย

- 1.ทำความสะอาดผ้าฝ้ายด้วยผงซักฟอก เพื่อกำจัดคราบไขมันและแบงบนเนื้อผ้า
- 2.ทำให้แห้งโดยการตากแดด
- 3.ตัดผ้าฝ้ายให้มีขนาด 10 ตารางเซนติเมตร โดยกว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก โดยผ้า 9 ชิ้นมีน้ำหนักประมาณ 1 กรัม

ตอนที่ 2 การเคลือบผ้าฝ้ายให้มีสมบัติกันน้ำ

ในการพัฒนาวิธีการทดลองและบทปฏิบัติการ เรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ นี้ได้ศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้าย ดังนี้ คือ ผลของความเข้มข้นของสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้มที่ใช้เคลือบผ้าฝ้าย วิธีทำให้ผ้าฝ้ายแห้ง และวิธีเคลือบผ้าฝ้าย

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำผ้ากันน้ำ มาโนช นาคสาทา (2557) ได้ศึกษาเรื่อง กรรมวิธีผลิตผ้าฝ้ายกันน้ำ โดยใช้สารละลายชั้นสน 20 ml และสารละลายสารส้ม 20 ml คิดเป็นอัตราส่วน 1:1 และจากงานวิจัยของ ไสโรฎา สัมเขียวหวาน (2557) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระดาษอย่างง่ายจากเปลือกกล้วยสดและจากผลผลิตเหลือทิ้งหลังการหมักเอทานอล พบว่า เมื่อใส่ชั้นสนและสารส้มมากขึ้น การดูดซึมน้ำของแผ่นเยื่อกระดาษมีค่าลดลง โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ อัตราส่วนชั้นสนต่อสารส้มเป็น 1:1 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้ อัตราส่วนของชั้นสนต่อสารส้ม คือ 1:1

2.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้มที่มีผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้าย

- 1.ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้มที่มีผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้าย จะใช้วิธีการเคลือบผ้าแบบจุ่มเคลือบ และใช้วิธีการทำให้ผ้าแห้งโดยการอบ และใช้อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อปริมาตรสารละลายที่ใช้เคลือบ (g:ml) คือ 1:40
- 2.เตรียมสารละลายชั้นสน โดยใช้ปิ๊กเกอร์ขนาด 50 ml ละลายผงชั้นสน 0.4, 0.8, 1.2, 2.4, 4 และ 5.6 กรัม ด้วยเอทานอล โดยการเติมเอทานอลลงไปจนถึงขีดบอกรปริมาตร 40 ml ของปิ๊กเกอร์ คนจนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้สารละลายชั้นสนเข้มข้น 1, 2, 3, 6, 10 และ 14 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร (%W/V)

3.เตรียมสารละลายสารส้ม โดยใช้ปิ๊กเกอร์ขนาด 50 ml ละลายผงสารส้ม 0.4, 0.8, 1.2, 2.4, 4 และ 5.6 กรัม ด้วยน้ำ โดยการเติมน้ำลงไปจนถึงขีดบอกปริมาตร 40 ml ของปิ๊กเกอร์ คนจนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้สารละลายสารส้มเข้มข้น 1, 2, 3, 6, 10 และ 14 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร (%W/V)

4.นำผ้าฝ้ายขนาด 10 ตารางเซนติเมตร จำนวน 9 ชิ้น มาแช่ในสารละลายชั้นสน ความเข้มข้น 1, 2, 3, 6, 10 และ 14 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร (%W/V) ที่มีอัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อปริมาตรสารละลายชั้นสน (g:ml) คือ 1:40 เป็นเวลา 15 นาที

5.นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการแช่สารละลายชั้นสนแล้ว มาแช่ต่อในสารละลายสารส้ม ความเข้มข้น 1, 2, 3, 6, 10 และ 14 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร (%W/V) ที่มีอัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อปริมาตร สารละลายสารส้ม (g:ml) คือ 1:40 เป็นเวลา 15 นาที โดยต้องระวังไม่ให้ผ้าพับหรือซ้อนทับกัน

6.จากนั้นนำผ้าฝ้ายที่ผ่านการแช่สารละลายชั้นสน และสารละลายสารส้มแล้ว มาล้างด้วยน้ำเปล่า จากนั้นซับน้ำให้พอหมาด

7.แล้วทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส 5 นาที

8.สังเกตและเปรียบเทียบลักษณะของผ้าฝ้ายที่ได้จากความเข้มข้นของสารละลายต่างๆ

9.นำผ้าฝ้ายทั้ง 6 แบบไปทดสอบสมบัติการกันน้ำในตอนที 4

ตาราง 4 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้ม

วิธีการเคลือบ	ความเข้มข้น					ปริมาตรน้ำ (ml)	อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อปริมาตรสารละลายที่ใช้เคลือบ (g:ml)	วิธีทำ ให้แห้ง
	ความเข้มข้น (%w/v)	ปริมาณชั้นสน (g)	ปริมาตรเอทานอล (ml)	ความเข้มข้น (%w/v)	ปริมาณสารส้ม (g)			
จุ่มเคลือบ	1	0.4	40	1	0.4	40	1:40	อบแห้ง
	2	0.8		2	0.8			
	3	1.2		3	1.2			
	6	2.4		6	2.4			
	10	4		10	4			
	14	5.6		14	5.6			

ดังนั้นในการพัฒนาวิธีการทดลองและบทปฏิบัติการ เรื่อง ผ้าฝ้ายกั้นน้ำ นี้จึงได้เลือกใช้ความเข้มข้นของสารละลายทั้งสองที่ 2 %w/v ในการปรับปรุงผิวผ้า เนื่องจากทำให้ได้ค่ามุมสัมผัสของน้ำสูงที่สุดและเป็นการลดปริมาณของชั้นสนและสารสัมผัสที่มากเกินไปในการทดลอง จากนั้นจึงได้นำไปศึกษาผลของปัจจัยในการเตรียมอื่นๆ ที่มีผลต่อสมบัติการกั้นน้ำของผ้าฝ้ายต่อไป

2.2 ศึกษาผลของวิธีทำให้ผ้าฝ้ายแห้งที่มีผลต่อสมบัติการกั้นน้ำ

1.ในการศึกษาผลของวิธีทำให้ผ้าฝ้ายแห้งที่มีผลต่อสมบัติการกั้นน้ำของผ้าฝ้าย จะใช้วิธีการเคลือบผ้าแบบจุ่มเคลือบ และใช้อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อปริมาตรสารละลายที่ใช้เคลือบ (g:ml) คือ 1:40

2.เตรียมสารละลายชั้นสน โดยใช้ปิ๊กเกอร์ขนาด 50 ml ละลายผงชั้นสน 0.8 กรัม ด้วยเอทานอล โดยการเติมเอทานอลลงไปจนถึงขีดบอกระดับ 40 ml ของปิ๊กเกอร์ คนจนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้สารละลายชั้นสนเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร (%W/V) โดยเตรียมทั้งหมด 3 ปิ๊กเกอร์

3.เตรียมสารละลายสารสัมผัส โดยใช้ปิ๊กเกอร์ขนาด 50 ml ละลายผงสารสัมผัส 0.8 กรัม ด้วยน้ำ โดยการเติมน้ำลงไปจนถึงขีดบอกระดับ 40 ml ของปิ๊กเกอร์ คนจนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้สารละลายสารสัมผัสเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร (%W/V) โดยเตรียมทั้งหมด 3 ปิ๊กเกอร์

4.นำผ้าฝ้ายขนาด 10 ตารางเซนติเมตร จำนวน 9 ชิ้น มาแช่ในสารละลายชั้นสน ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร (%W/V) ในแต่ละปิ๊กเกอร์เป็นเวลา 15 นาที

5.นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการแช่สารละลายชั้นสนแล้ว มาแช่ต่อในสารละลายสารสัมผัส ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร (%W/V) ในแต่ละปิ๊กเกอร์เป็นเวลา 15 นาที

6.จากนั้นนำผ้าฝ้ายที่ผ่านการแช่สารละลายชั้นสน และสารละลายสารสัมผัสแล้ว มาล้างด้วยน้ำเปล่า จากนั้นซับน้ำให้พอหมาด

7.ทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส 5 นาที และทำให้แห้งโดยตากแดด และทำให้แห้งโดยการรีดด้วยเตารีด

8.สังเกตและเปรียบเทียบลักษณะของผ้าฝ้ายที่ได้จากวิธีต่างๆที่ใช้ทำให้ผ้าฝ้ายแห้ง

9.นำผ้าฝ้ายทั้ง 3 แบบไปทดสอบสมบัติการกั้นน้ำในตอนที่ 3

ตาราง 5 การศึกษาผลของวิธีทำให้ผ้าฝ้ายแห้ง

วิธีการ	ความเข้มข้น					ปริมาตรน้ำ (ml)	อัตราส่วน น้ำหนักผ้าต่อ ปริมาตรสารละลายที่ใช้เคลือบ (g:ml)	วิธีทำให้ แห้ง
	ความ เข้มข้น (%w/v)	ปริมาณ ชั้นสน (g)	ปริมาตร เอทานอล (ml)	ความ เข้มข้น (%w/v)	ปริมาณ สารส้ม (g)			
จุ่ม เคลือบ	2	0.8	40	2	0.8	40	1:40	อบแห้ง ตากแดด รีด

ดังนั้นในการพัฒนาวิธีการทดลองและบทปฏิบัติการ เรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ นี้จึงได้เลือกใช้วิธีการรีด ในการทำให้ผ้าแห้ง เนื่องจากทำให้ได้ค่ามุมสัมผัสของน้ำที่สูงและเป็นวิธีที่ใช้เวลาน้อยที่สุดในการทดลองแต่ผลค่ามุมสัมผัสใกล้เคียงกับวิธีอื่นๆ จากนั้นจึงได้นำไปศึกษาผลของปัจจัยในการเตรียมอื่นๆ ที่มีผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้ายต่อไป

2.3 ศึกษาผลของวิธีเคลือบผ้าฝ้ายที่มีผลต่อสมบัติการกันน้ำ

1.ในการศึกษาผลของวิธีเคลือบผ้าฝ้ายที่มีผลต่อสมบัติการกันน้ำ จะใช้อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อปริมาตรสารละลายที่ใช้เคลือบ (g:ml) คือ 1:40 และใช้วิธีการทำให้ให้ผ้าแห้งโดยการรีด

2.เตรียมสารละลายชั้นสน โดยใช้ปิ๊กเกอร์ขนาด 50 ml ละลายผงชั้นสน 0.8 กรัม ด้วยเอทานอล โดยการเติมเอทานอลลงไปจนถึงขีดบอกริมาตร 40 ml ของปิ๊กเกอร์ คนจนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้สารละลายชั้นสนเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร (%W/V) โดยเตรียมทั้งหมด 2 ปิ๊กเกอร์ โดย 1 ปิ๊กเกอร์เทสารละลายลงในขวดสเปร์ย์

3.เตรียมสารละลายสารส้ม โดยใช้ปิ๊กเกอร์ขนาด 50 ml ละลายผงสารส้ม 0.8 กรัม ด้วยน้ำ โดยการเติมน้ำลงไปจนถึงขีดบอกริมาตร 40 ml ของปิ๊กเกอร์ คนจนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้สารละลายสารส้มเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร (%W/V) โดยเตรียมทั้งหมด 2 ปิ๊กเกอร์ โดย 1 ปิ๊กเกอร์เทสารละลายลงในขวดสเปร์ย์

4.ใช้ผ้าฝ้ายขนาด 100 ตารางเซนติเมตร (กว้าง 10 cm ยาว 10 cm) จำนวน 1 ชิ้น มาแช่ในสารละลายชั้นสน ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร (%W/V) เป็นเวลา 15

นาที่ จากนั้นนำมาแช่ต่อในสารละลายสารส้ม ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร (% W/V) เป็นเวลา 15 นาที

5. ใช้ผ้าฝ้ายขนาด 100 ตารางเซนติเมตร (กว้าง 10 cm ยาว 10 cm) จำนวน 1 ชิ้น นำมาวางให้แผ่ราบแล้วสเปรย์ด้วยสารละลายชั้นสน ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร (%W/V) พักไว้ 5 นาที จากนั้นสเปรย์ด้วยสารละลายสารส้ม ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร (%W/V) พักไว้ 5 นาที

6. นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการสเปรย์ทั้งสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้มแล้ว มาล้างด้วยน้ำเปล่า จากนั้นซับน้ำให้พอหมาด

7. ทำให้แห้งโดยการรีดด้วยเตารีด

8. สังเกตและเปรียบเทียบลักษณะของผ้าฝ้ายที่ได้จากวิธีต่างๆ ที่ใช้ทำให้ผ้าฝ้ายแห้ง

9. นำผ้าฝ้ายทั้ง 2 แบบไปทดสอบสมบัติการกันน้ำในตอนที 3

ตาราง 6 การศึกษาผลของวิธีเคลือบผ้าฝ้าย

วิธีการเคลือบ	ความเข้มข้น						อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลายที่ใช้เคลือบ (g:ml)	วิธีทำให้แห้ง
	ความเข้มข้น (%w/v)	ปริมาณชั้นสน (g)	ปริมาณเอทานอล (ml)	ความเข้มข้น (%w/v)	ปริมาณสารส้ม (g)	ปริมาณน้ำ (ml)		
จุ่มเคลือบ								
สเปรย์	2	0.8	40	2	0.8	40	1:40	รีด
สารละลาย								

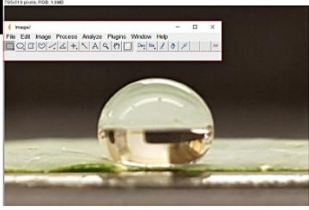
ดังนั้นในการพัฒนาวิธีการทดลองและบทปฏิบัติการ เรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ นี้จึงได้เลือกใช้วิธีการสเปรย์สารละลายในการเคลือบผ้า เนื่องจากทำให้ได้ค่ามุมสัมผัสของน้ำที่สูงและเป็นวิธีที่ใช้เวลาน้อยที่สุดในการทดลองแต่ผลค่ามุมสัมผัสใกล้เคียงกับวิธีจุ่มเคลือบ

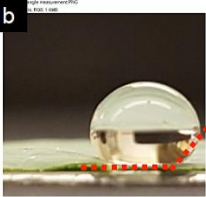
ตอนที่ 3 การตรวจสอบสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้าย

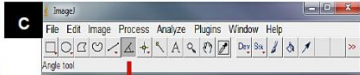
การวิเคราะห์สมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยการวัดมุมสัมผัสของน้ำ (Water contact angles, WCAs) : มุมสัมผัสของน้ำ (water contact angles, WCAs) เกิดจากความสัมพันธ์ของสองแรง คือ แรงเกาะติด (adhesion force) ระหว่างโมเลกุลของเหลวกับของแข็ง ซึ่งทำให้เกิดการกระจายตัวของของเหลวไปทั่วพื้นผิวของแข็งและแรงยึดติด (cohesion force) ระหว่างโมเลกุลภายในของเหลวชนิดเดียวกัน ซึ่งทำให้ของเหลวเกาะกันเป็นทรงกลมและไม่สัมผัสกับพื้นผิวของของแข็ง การที่ใช้ค่ามุมสัมผัสในการวิเคราะห์สมบัติความไม่ชอบน้ำ เพื่อจะทำการบอกแนวโน้มของหยดน้ำที่กระจายตัวอยู่บนพื้นผิวของของแข็ง โดยมุมสัมผัสจะแปรผกผันกับความสามารถในการกระจายตัวของของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง (ภาวะการเปียก, 2016: ออนไลน์) โดยในงานวิจัยนี้จะวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำจากโปรแกรม ImageJ เปรียบเทียบกับการวัดมุมสัมผัสของน้ำโดยใช้เครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำ เพื่อเปรียบเทียบผลค่ามุมสัมผัสของวิธีการวัดก่อนนำไปปรับใช้ในกิจกรรมสเต็มศึกษา


การวัดมุมสัมผัสของน้ำโดยใช้โปรแกรม ImageJ มีวิธีการทดสอบดังนี้

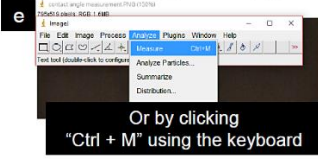
- 1.เปิด โปรแกรม ImageJ แล้วเปิดภาพถ่ายที่ต้องการ (“File” → “Open” → choose photo). (Figure 1.a).
- 2.คลิกปุ่ม “Angle tool” บนแถบเครื่องมือ เพื่อทำการมุมสัมผัสของหยดน้ำ (Figure 1.c).
- 3.สร้างมุมสัมผัสของหยดน้ำจากจุด 3 จุด โดยการคลิกซ้าย 1 ครั้ง เพื่อสร้างเส้นตรงที่ตัดผ่านผิวสัมผัสของหยดน้ำกับผิวผ้า จากนั้นคลิกซ้ายอีก 1 ครั้ง เมื่อสิ้นสุดขอบของหยดน้ำ เพื่อสร้างเส้นตรงที่ตัดผ่านผิวสัมผัสของหยดน้ำกับอากาศ จากนั้นคลิกซ้ายอีก 1 ครั้ง เมื่อสิ้นสุดบริเวณส่วนโค้งของหยดน้ำ (see Figure 1.d).
- 4.วัดมุมสัมผัสของหยดน้ำ โดยกดปุ่ม “Ctrl + M” หรือคลิกปุ่ม “Analyze” บนแถบเครื่องมือ แล้วคลิก “Measure” เพื่อแสดงค่าองศาของมุมสัมผัสที่สร้างขึ้น (Figure 1.e).
- 5.บันทึกผลของมุมสัมผัสของหยดน้ำ ที่แสดงในตารางแสดงผล (Figure 1.f). (Chiu, 2016)

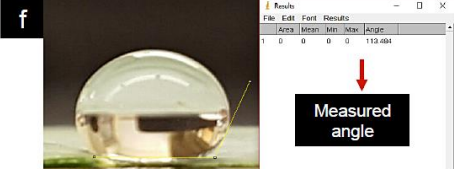
a  Open your photo image in ImageJ.

b  Visually locate the contact angle by identifying the two lines (line along solid-liquid interface and line tangent to liquid-air interface).

c  Click "angle tool"
Find "Angle tool" and click it.

d  Click to create the angle by three points
Draw the contact angle

e  Measure the angle by using toolbox "Analyze" or the hot key "Ctrl + M" on the keyboard.
Or by clicking "Ctrl + M" using the keyboard

f  Record the result.

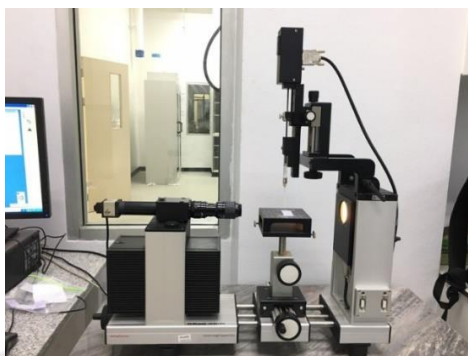
ภาพประกอบ 14 การวัดมุมสัมผัสของน้ำโดยใช้โปรแกรม ImageJ

ที่มา: (Chiu, 2016)

การวัดมุมสัมผัสของน้ำโดยใช้เครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำ มีวิธีการทดสอบดังนี้

1. นำเข็มดูดน้ำกลั่นแล้วหยดของเหลวออกจากปลายเข็มฉีด โดยปล่อยหยดของเหลวที่แขวนอยู่ปลายเข็มเพียงหยดเดียวให้ลงมาสัมผัสบนพื้นผิววัสดุที่ต้องการวัด
2. ทำการวัดค่ามุมสัมผัสด้วยโปรแกรม มีหน่วยเป็นองศา
3. ทำการวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้หยดน้ำขนาด 5 ไมโครลิตร อัตราเร็ว 1 ไมโครลิตรต่อวินาที
4. ทำการวัดทั้งหมด 3 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่างผ้า

5. แล้วนำค่ามุมสัมผัสที่ได้ทั้งด้านซ้ายและด้านขวามาหาค่าเฉลี่ย (ณัชชา สุพวานิช & และคณะ, 2558) เครื่องวัดมุมสัมผัสของน้ำมีลักษณะดังแสดงในภาพประกอบ 14



ภาพประกอบ 15 เครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส (Contact angles analyzer)

ก่อนที่จะสร้างกิจกรรมสเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายได้นั้น จำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้าย เช่น ความเข้มข้นของสารละลายชั้นสน และสารละลายสารส้ม วิธีการทำให้ผ้าฝ้ายแห้ง วิธีการเคลือบ ว่าปัจจัยใดส่งผลกระทบต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้ายมากน้อยเพียงใด เพื่อจะเป็นข้อมูลสำหรับการสร้างสถานการณ์ปัญหา เงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาที่มีความเหมาะสม และนำไปสู่การสร้างสรรค์ชิ้นงานที่สามารถใช้งานได้

จากผลการทดลอง พบว่า สภาวะที่ทำให้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมีค่าสูงที่สุด คือ การใช้สารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้มเข้มข้น 2 %W/V อัตราส่วน 1:1 ในการเคลือบโดยการสเปรย์สารละลายลงบนผ้าฝ้าย และทำให้ผ้าแห้งด้วยการรีด ซึ่งจากผลการทดลองนี้ได้นำไปใช้สร้างกิจกรรมสเต็มศึกษาจำนวน 1 กิจกรรม คือ การทำผ้าฝ้ายกันน้ำ โดยกิจกรรมดังกล่าวจะประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนย่อย คือ การทำผ้าฝ้ายกันน้ำ และการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผ้าทอพื้นเมือง

โดยรูปแบบกิจกรรมสเต็มนี้จะเริ่มจากการนำเสนอสถานการณ์หรือปัญหาเกี่ยวกับข้อบกพร่องผลิตภัณฑ์ผ้าทอพื้นเมืองของไทยที่ราคาตกต่ำให้แก่นักเรียน เพื่อให้นักเรียนช่วยกันวิเคราะห์ปัญหาของสถานการณ์นี้ แล้วให้ช่วยกันหาวิธีเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ผ้าทอพื้นเมือง และนำเสนอปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว แล้วให้นักเรียนช่วยกันสังเกต และเสนอความคิดเห็น คาดคะเนว่าปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้อย่างไร ก่อนจะนำเข้าสู่บทเรียนเรื่อง พันธะเคมี

1.3 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

1.3.1 กิจกรรมสติมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

1.3.2 แบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

ประกอบด้วยแบบประเมิน 2 ชุด ดังนี้

1.3.2.1 แบบประเมินการออกแบบผลงาน

1.3.2.2 แบบประเมินผลงาน

1.3.3 แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่องพันธะเคมี

1.3.1 การสร้างกิจกรรมสติมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

ขั้นตอนการสร้างกิจกรรมสติมศึกษาวิชาเคมี เรื่องพันธะเคมี : ผ้าฝ้ายกันน้ำ ดำเนินการดังนี้

1. พัฒนาวิธีการทดลองและบทปฏิบัติการ เรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ นี้ได้ศึกษาการเตรียมผ้าฝ้ายที่มีสมบัติกันน้ำ โดยการนำผ้าฝ้ายมาปรับปรุงสมบัติของพื้นผิวด้วยสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้ม แล้วทำผ้าให้แห้งเพื่อให้ได้ผ้าฝ้ายที่มีสมบัติกันน้ำ โดยศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้าย ดังนี้ คือ ผลของความเข้มข้นของสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้มที่ใช้เคลือบผ้าฝ้าย วิธีทำให้ผ้าฝ้ายแห้ง และวิธีเคลือบผ้าฝ้าย เพื่อนำผลการทดลองมาออกแบบกิจกรรมสติม

2. ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น ผู้วิจัยได้ศึกษาหนังสือและเอกสารที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน ดังนี้

2.1 ศึกษาตัวชี้วัดและผลการเรียนรู้ของหลักสูตรแกนกลางขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560) ของสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม สาระเคมี ที่กำหนดให้นักเรียนเรียนรู้เกี่ยวกับ ปริมาณสาร องค์ประกอบและสมบัติของสาร การเปลี่ยนแปลงของสาร ทักษะและการแก้ปัญหาทางเคมี โดยตัวชี้วัดชั้นปีระดับมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีการกำหนดตัวชี้วัดให้เข้าใจพันธะเคมี สมบัติของสารที่มีความสัมพันธ์กับพันธะเคมี ตลอดจนทดลองและอธิบายสมบัติทางกายภาพของสารประกอบที่มีพันธะแตกต่างกันได้ และจากการพิจารณาคุณภาพของนักเรียนเมื่อจบชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน

พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560) พบว่า มีการกำหนดคุณภาพของผู้เรียนให้มีความเข้าใจชนิดของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคและสมบัติต่าง ๆ ของสารที่มีความสัมพันธ์กับแรงยึดเหนี่ยว พันธะเคมี ผู้วิจัยจึงได้พัฒนากิจกรรมstimศึกษาวิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อให้เนื้อหาในวิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี มีการจัดการเรียนการสอนตามแนวstimศึกษา ทำให้การจัดการเรียนการสอนเรื่อง พันธะเคมี มีความน่าสนใจให้นักเรียนสามารถพัฒนาความรู้เรื่อง พันธะเคมีและเกิดทักษะทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์ได้

2.2 ศึกษาเนื้อหาเรื่องพันธะเคมี จากหนังสือและเอกสารต่าง ๆ เพื่อกำหนดขอบเขตเนื้อหาและแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ในเรื่อง พันธะเคมี โดยกำหนดขอบเขตของพันธะเคมี ที่กล่าวถึงในการวิจัย ดังนี้ พันธะเคมี จำแนกได้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์เป็น 3 แนวคิดหลัก คือ หลักการพื้นฐานของพันธะเคมี พันธะไอออนิก และพันธะโคเวเลนต์ และกำหนดกรอบสาระการเรียนรู้และจำนวนคาบของกิจกรรม โดยกำหนดให้มี 1 กิจกรรม คือ การทำผ้าฝ้ายกันน้ำ โดยจัดการเรียนการสอนจำนวน 1 คาบเรียน เพื่อสร้างแนวคิดในการแก้ปัญหาในกิจกรรมstim

2.3 ศึกษาหนังสือ เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้ตามแนวstimศึกษา จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลดังกล่าว พบว่า stimศึกษาเป็น รูปแบบการเรียนการสอนที่ บูรณาการระหว่าง 5 สาขาวิชา คือ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ คณิตศาสตร์และศิลปะ เพื่อให้ นักเรียนสามารถประยุกต์ใช้ความรู้ที่ได้จากการเรียนการสอนไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริง รวมถึง การสร้างผลงานใหม่ที่ส่งเสริมการประกอบอาชีพ

2.4 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างกิจกรรม จากการศึกษา ข้อมูลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงให้ความหมายของกิจกรรมในงานวิจัยนี้ว่าหมายถึง กิจกรรมstimศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ ซึ่งส่วนประกอบของกิจกรรมประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ เล่มกิจกรรมstimศึกษาสำหรับผู้เรียนและคู่มือในการใช้กิจกรรมstimศึกษาสำหรับครู

3. ดำเนินการสร้างกิจกรรมstimศึกษา เรื่อง พันธะเคมี :ผ้าฝ้ายกันน้ำ ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนากิจกรรมstimศึกษา เรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อสอนเนื้อหาเรื่อง พันธะเคมี ซึ่งใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้และทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน รวม 24 คาบเรียน (คาบเรียนละ 50 นาที) ประกอบด้วยคำชี้แจง สาระการเรียนรู้ ตัวชี้วัด จุดประสงค์กิจกรรม โดยขั้นตอนการออกแบบกิจกรรมstimศึกษาในงานวิจัยนี้อ้างอิงขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามกรอบแนวคิดของมูลนิธิแห่งประเทศไทยเพื่อพัฒนาความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (KOFAC. 2012) ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ซึ่งมีรายละเอียดกิจกรรมดังตาราง 7 ดังนี้

ขั้นที่ 1 การนำเสนอสถานการณ์ปัญหาที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง

ผู้วิจัยสร้างสถานการณ์ปัญหาที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง โดยการนำเสนอข่าวของปัญหาหาคาผลิตภัณฑผ้าทอพื้นเมืองตกต่ำในเล่มกิจกรรม แล้วให้นักเรียนร่วมกันวิเคราะห์ที่มาของปัญหาและช่วยกันนำเสนอวิธีแก้ไขปัญหา และรัฐบาลต้องการส่งเสริมราคาของผลิตภัณฑผ้าทอพื้นเมืองด้วยนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์ หากนักเรียนเป็นผู้ได้รับมอบหมายภารกิจนี้ จะมีวิธีช่วยเหลือและแก้ปัญหานี้ได้อย่างไร

ขั้นที่ 2 การออกแบบสร้างสรรค์

ในกระบวนการออกแบบสร้างสรรค์ ของกิจกรรมสเต็มศึกษาจะผนวกกับขั้นตอนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 5 ขั้นตอน และจากผลการพัฒนาวิธีการทดลอง เรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ ซึ่งได้ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้าย คือ ผลของความเข้มข้นของสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้มที่ใช้เคลือบผ้าฝ้าย วิธีทำให้ผ้าฝ้ายแห้ง และวิธีเคลือบผ้าฝ้าย ได้นำผลการทดลองมาออกแบบปฏิบัติการเรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ ในกิจกรรมสเต็มโดยผู้วิจัยกำหนดให้นักเรียนทำงานเป็นกลุ่ม ช่วยกันวิเคราะห์ปัญหา หาวิธีแก้ปัญห ออกแบบวิธีการแก้ปัญห และร่วมกันเสนอความคิดเห็นในการส่งเสริมคุณค่าของผลิตภัณฑผ้าทอพื้นเมือง เพื่อนำไปสู่การทดลองค้นหาแนวทางเพิ่มมูลค่า โดยสร้างเงื่อนไข คือ ให้นักเรียนร่วมกันหาวิธีเพิ่มค่ามูลค่าของหยดน้ำจากปัจจัยจากการทดลองต่าง ๆ เอง เพื่อนำไปสู่การค้นคว้าพัฒนาวิธีการทำผ้ากันน้ำ ด้วยการทำงานร่วมกันของนักเรียน จากนั้นจึงนำผลการทดลองมานำเสนอแก่ครูและเพื่อนๆ เพื่อหาข้อดีและข้อด้อยของวิธีแต่ละกลุ่ม เพื่อนำไปปรับปรุง แก้ไข พัฒนาให้ดีขึ้น

ผู้วิจัยกำหนดวิธีการทดลอง เรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อสร้างแนวคิดในการแก้ปัญห ในกิจกรรมสเต็มต่อไปด้วยตัวนักเรียนเอง มีขั้นตอนดังนี้

ตอนที่ 1 : การเตรียมผ้าฝ้าย

1. ทำความสะอาดผ้าฝ้ายด้วยผงซักฟอก เพื่อกำจัดคราบไขมันและแป้งบนเนื้อผ้า
2. ทำให้แห้งโดยการตากแดด
3. ตัดผ้าฝ้ายให้มีขนาด 10 ตารางเซนติเมตร โดยกว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก โดยผ้า 9 ชิ้นมีน้ำหนักประมาณ 1 กรัม

ตอนที่ 2 : การเคลือบผ้าฝ้ายให้มีสมบัติกันน้ำ

1. เตรียมสารละลายชั้นสน โดยใช้บีกเกอร์ขนาด 50 ml ละลายผงชั้นสน 0.8 กรัม ด้วยเอทานอล โดยการเติมเอทานอลลงไปจนถึงขีดบอกริมาตร 40 ml ของบีกเกอร์ คนจนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้สารละลายชั้นสนเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร (%W/V)

2. เตรียมสารละลายสารส้ม โดยใช้บีกเกอร์ขนาด 50 ml ละลายผงสารส้ม 0.8 กรัม ด้วยน้ำ โดยการเติมน้ำลงไปจนถึงขีดบอกริมาตร 40 ml ของบีกเกอร์ คนจนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้สารละลายสารส้มเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร (%W/V)

3. นำผ้าฝ้ายขนาด 10 ตารางเซนติเมตร จำนวน 9 ชิ้น มาแช่ในสารละลายชั้นสน ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร (%W/V) ที่มีอัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อปริมาตรสารละลายชั้นสน (g:ml) คือ 1:40 เป็นเวลา 15 นาที

4. นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการแช่สารละลายชั้นสนแล้ว มาแช่ต่อในสารละลายสารส้ม ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร (%W/V) ที่มีอัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อปริมาตรสารละลายสารส้ม (g:ml) คือ 1:40 เป็นเวลา 15 นาที โดยต้องระวังไม่ให้ผ้าพับหรือซ้อนทับกัน

5. จากนั้นนำผ้าฝ้ายที่ผ่านการแช่สารละลายชั้นสน และสารละลายสารส้มแล้ว มาล้างด้วยน้ำเปล่า จากนั้นซับน้ำให้พอหมาด

6. แล้วทำให้แห้งโดยใช้ตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส 5 นาที

7. สังเกตและเปรียบเทียบลักษณะของผ้าฝ้ายทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงสมบัติการกันน้ำ

8. นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบแล้วไปทดสอบสมบัติการกันน้ำโดยใช้โปรแกรม ImageJ

ขั้นที่ 3 การสร้างความรู้สึกรักบ้านเกิด

ผู้วิจัยเปิดโอกาสให้จัดนิทรรศการแสดงผลผลิตภัณฑ์ ผ้าฝ้ายกันน้ำ ของนักเรียนแต่ละกลุ่มผ่าน Facebook โดยการนำเสนอเป็นวิดีโอโฆษณาผลิตภัณฑ์ของกลุ่มตัวเอง ซึ่งจะประเมินโดยใช้แบบประเมินผลงาน และเปิดโอกาสให้มีการถาม-ตอบ ของเพื่อนนักเรียนและครูผู้สอน ต่อแนวคิดในการสร้างผลงาน กระบวนการทดลองและสร้างผลงาน ปัญหาที่พบในการทำงาน และแนวทางแก้ไข ตลอดจนความประทับใจต่อกิจกรรมสเต็มศึกษา

4. ดำเนินการสร้างคู่มือครูของกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายโดย

คู่มือครูประกอบไปด้วย คำชี้แจงคู่มือครู แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสเต็มศึกษา เกณฑ์การให้คะแนน และแนวคำตอบของกิจกรรม (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ง)

ตาราง 7 แสดงการจัดกิจกรรมสเต็มศึกษาตามขั้นตอนของ KOFAC (2012)

ลำดับ ที่	กระบวนการกิจกรรมสเต็มศึกษา		กิจกรรมการเรียนรู้
	ขั้น ที่	กระบวนการ ออกแบบเชิง วิศวกรรม	
1	ขั้นที่ 1 การนำเสนอ สถานการณ์	ขั้นที่ 1 การระบุปัญหา	คาบเรียนที่ 1-2 ชี้แจงการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี โดยเริ่มจากการแบ่งกลุ่มนักเรียน กลุ่มละ 4-5 คน จากนั้นนำเสนอข่าวราคาผ้าทอไทยตกต่ำ แล้วให้นักเรียนร่วมกันวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและหาวิธีแก้ไข จากนั้นนำเสนอแนวทางแก้ไขปัญหาย่างสร้างสรรค์ด้วยนวัตกรรมเลียนแบบธรรมชาติ (Biomimicry) เพื่อกระตุ้นความสนใจของนักเรียน แล้วให้แต่ละกลุ่มไปช่วยกันออกแบบผลงานที่ทำจากผ้าไทยแต่ต้องใช้นวัตกรรมเพื่อเพิ่มมูลค่า
2	ขั้นที่ 2 การออกแบบ สร้างสรรค์	ขั้นที่ 2 การค้นหา แนวคิดที่ เกี่ยวข้อง	คาบเรียนที่ 3-5 นักเรียนจะได้ศึกษาความรู้เกี่ยวกับพันธะเคมี โดยใช้กิจกรรมสเต็มศึกษาที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นประกอบด้วยเอกสารประกอบการเรียนของโรงเรียน ซึ่งเนื้อหาที่นักเรียนจะได้ศึกษา ได้แก่ การอธิบายการเกิดไอออนและการเกิดพันธะไอออนิก โดยใช้แผนภาพหรือสัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิส การเขียนสูตร การเรียกชื่อ และโครงสร้างของสารประกอบไอออนิก

ตาราง 7 (ต่อ)

ลำดับ ที่	กระบวนการกิจกรรมเสริม ศึกษา		กิจกรรมการเรียนรู้
	ระดับ	กระบวนการ ออกแบบเชิง วิศวกรรม	
2	ระดับ ที่ 2	กระบวนการ ค้นหา แนวคิดที่ เกี่ยวข้อง	คาบเรียนที่ 7 ครูผู้สอนจะนำเสนอปฏิบัติการผ้าฝ้ายกันน้ำและการ ตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผ้าฝ้ายกันน้ำ โดย ใช้โปรแกรม ImageJ เพื่อสร้างแรงบันดาลใจให้ นักเรียนสู่การสร้างสรรค์ผลงาน และมุ่งให้นักเรียน สังเกตปัจจัยที่มีผลต่อการทำผ้ากันน้ำ
			คาบเรียนที่ 8-10 นักเรียนจะได้ศึกษาความรู้เกี่ยวกับพันธะเคมี โดยใช้ กิจกรรมเสริมศึกษาที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นประกอบด้วย เอกสารประกอบการเรียนของโรงเรียน ซึ่งเนื้อหาที่ นักเรียนจะได้ศึกษา ได้แก่ พลังงานกับการเกิด สารประกอบไอออนิก สมบัติและปฏิกิริยาของ สารประกอบไอออนิก
3	ระดับ ที่ 2 การ ออกแบบ สร้างสรรค์	ระดับ ที่ 2 การค้นหา แนวคิดที่ เกี่ยวข้อง	คาบเรียนที่ 11 นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันออกแบบการทดลองเพื่อหา หาสภาวะที่ส่งให้ได้ผ้ากันน้ำที่ดีที่สุด และวางแผน การทำงานในการสร้างผลงานโดยการสวมบทบาท เป็นแต่ละอาชีพ แล้วร่างต้นแบบผลงาน พร้อม กำหนดชื่อ คุณลักษณะ รวมไปถึงต้นทุนและกำไร

ตาราง 7 (ต่อ)

ลำดับ ที่	กระบวนการกิจกรรมสเต็ม ศึกษา		กิจกรรมการเรียนรู้
	ระดับ	กระบวนการ ออกแบบเชิง วิศวกรรม	
4	ระดับ ที่ 2	การค้นห แนวคิดที่ เกี่ยวข้อง	คาบเรียนที่ 12-14 นักเรียนจะได้ศึกษาความรู้เกี่ยวกับพันธะเคมี โดยใช้ กิจกรรมสเต็มศึกษาที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นประกอบด้วย เอกสารประกอบการเรียนของโรงเรียน ซึ่งเนื้อหาที่ นักเรียนจะได้ศึกษา ได้แก่ การอ่านชื่อสารประกอบ โคเวเลนต์ การเกิดพันธะโคเวเลนต์และชนิดของพันธะ โคเวเลนต์
	ระดับ ที่ 1	ทดสอบและ ประเมินผลครั้ง ที่ 1	คาบเรียนที่ 15 ให้นักเรียนนำเสนอผลการทดลองให้เพื่อนและครูฟัง เพื่อช่วยกันหาวิธีปรับปรุงวิธีทดลอง และปัญหาจาก การสร้างชิ้นงาน เพื่อร่วมกันแก้ไขปัญหา
5	ระดับ ที่ 2	การค้นห แนวคิดที่ เกี่ยวข้อง	คาบเรียนที่ 16-19 นักเรียนจะได้ศึกษาความรู้เกี่ยวกับพันธะเคมี โดยใช้ กิจกรรมสเต็มศึกษาที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นประกอบด้วย เอกสารประกอบการเรียนของโรงเรียน ซึ่งเนื้อหาที่ นักเรียนจะได้ศึกษา ได้แก่ ความยาวพันธะ พลังงาน พันธะแนวคิดเกี่ยวกับเรโซแนนซ์ รูปร่างโมเลกุล สภาพขั้วของโมเลกุลโคเวเลนต์ และแรงยึดเหนี่ยว ระหว่างโมเลกุล

ตาราง 7 (ต่อ)

กระบวนการกิจกรรมสเต็ม			
ลำดับ ที่	ศึกษา		กิจกรรมการเรียนรู้
	ระดับ	กระบวนการ ออกแบบเชิง วิศวกรรม	
6		<p>ขั้นที่ 3</p> <p>การวางแผน และพัฒนา</p>	<p>คาบเรียนที่ 20</p> <p>นักเรียนทำการแก้ไขปรับปรุงการทดลองและการสร้าง ผลงาน (จะเน้นไปที่การให้นักเรียนสามารถกลับไปทำ เองได้ที่บ้าน)</p>
		<p>ขั้นที่ 4</p> <p>ทดสอบและ ประเมินผลครั้ง ที่ 2</p>	<p>คาบเรียนที่ 21-22</p> <p>ให้นักเรียนนำเสนอผลการทดลองให้เพื่อนและครูฟัง เพื่อช่วยกันหาวิธีปรับปรุงวิธีทดลอง และปัญหาจาก การสร้างชิ้นงาน เพื่อร่วมกันแก้ไขปัญหา</p>
7	<p>ขั้นที่ 3 การ สร้าง ความรู้ จับใจ</p>	<p>ขั้นที่ 5</p> <p>การนำเสนอ ผลลัพธ์</p>	<p>คาบเรียนที่ 23-24</p> <p>จัดนิทรรศการแสดงผลภัณฑ์ ผ้าฝ้ายกันน้ำ ของ นักเรียนแต่ละกลุ่มผ่าน facebook โดยการนำเสนอ เป็นวิดีโอโฆษณาผลิตภัณฑ์ของกลุ่มตัวเอง ซึ่ง ประเมินโดยใช้แบบประเมินผลงาน และเปิดโอกาสให้ มีการถาม-ตอบ ของเพื่อนนักเรียนและครูผู้สอน ต่อ แนวคิดในการสร้างผลงาน กระบวนการทดลองและ สร้างผลงาน ปัญหาที่พบในการทำงาน และแนวทาง แก้ไข ตลอดจนความประทับใจต่อกิจกรรมสเต็มศึกษา</p>

วิธีการหาคุณภาพของกิจกรรมสเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี: ฟ้าผ่า ยกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

1. ประเมินคุณภาพกิจกรรมสเต็มศึกษาตามขั้นตอนดังนี้

1.1 ด้านความสอดคล้องระหว่างเนื้อหาและกิจกรรมของกิจกรรมสเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่องพันธะเคมีท่าน ประกอบด้วย 3 ฟ้าผ่า ยกันน้ำ ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน : ท่าน 1 ท่าน และผู้สอนวิชาเคมี 2 ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา เครื่องมือที่ใช้ในการประเมิน คือ แบบประเมินกิจกรรมสเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่องพันธะเคมี: ฟ้าผ่า ยกันน้ำ มีลักษณะเป็นมาตราประมาณค่า 3 ระดับ คือ สอดคล้อง ไม่แน่ใจ และไม่สอดคล้อง เพื่อการปรับปรุงกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่องพันธะเคมี: ฟ้าผ่า ยกันน้ำ และนำผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญมาแปลงเป็นคะแนน ดังนี้

มีความเห็นว่า	สอดคล้อง	ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น	+1
มีความเห็นว่า	ไม่แน่ใจ	ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น	0
มีความเห็นว่า	ไม่สอดคล้อง	ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น	-1

แล้ววิเคราะห์โดยการหาค่าความเที่ยงตรงตามเนื้อหาของกิจกรรมสเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่องพันธะเคมี: ฟ้าผ่า ยกันน้ำ โดยใช้ดัชนี ความสอดคล้อง คำนวณจากสูตร (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2543)

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

เมื่อ IOC แทน ดัชนีความสอดคล้อง $\sum R$ แทน ผลรวมของการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ
n แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

ผู้วิจัยพบว่าผลการประเมินคุณภาพกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี : ฟ้าผ่า ยกันน้ำ ฉบับร่าง มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) เท่ากับ 1.00 (ดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ค)

1.2 นำกิจกรรมสเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่องพันธะเคมี: ฟ้าผ่า ยกันน้ำ มาปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งผู้เชี่ยวชาญได้ให้ความเห็นในการปรับปรุงกิจกรรม สรุปได้ดังนี้ ควรอธิบายเนื้อหาให้ชัดเจน ใช้รูปภาพหรือแผนภาพประกอบการอธิบายเพื่อให้นักเรียนเข้าใจได้ง่ายขึ้น จัดลำดับเนื้อหาให้สอดคล้องกับเอกสารประกอบการเรียนของโรงเรียน เขียนแสดงขั้นตอนการทดลองให้ชัดเจน โดยผู้วิจัยได้ปรับปรุงแก้ไขกิจกรรมสเต็มศึกษาตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้ ใช้รูปภาพหรือแผนภาพประกอบการอธิบาย จัดลำดับเนื้อหาและกิจกรรมให้

สอดคล้องกับเอกสารประกอบการเรียนของโรงเรียนเพื่อให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงเนื้อหาที่เรียนมาสู่การอธิบายผลการทดลองได้ง่ายขึ้น เขียนขั้นตอนการทดลองให้ชัดเจนโดยเปลี่ยนเป็นแผนภาพลำดับขั้นตอนการทดลอง และระบุเกณฑ์การประเมินผลงานให้ชัดเจน

2. นำกิจกรรมสเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่องพันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ ที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง เพื่อปรับปรุงและแก้ไขกิจกรรมดังนี้

2.1 ทดลองกลุ่มเล็กกับนักเรียน 3 คน ซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดกรุงเทพมหานคร เพื่อดูความเหมาะสมของกิจกรรมที่ใช้และหาข้อบกพร่องของกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่องพันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ โดยใช้การสัมภาษณ์และสังเกตพฤติกรรมของนักเรียน แล้วนำข้อมูลต่างๆมาปรับปรุงแก้ไข โดยนักเรียนระบุว่ากิจกรรมมีสีสันสวยงามแต่ในบางหน้ามีสีสันไม่น่าสนใจ ภาษาเข้าใจง่าย และบทปฏิบัติการในกิจกรรมน่าสนใจมากทำให้กระตุ้นการอยากเรียนรู้ แต่ต้องการให้เชื่อมโยงเนื้อหาจากเอกสารประกอบการเรียนของโรงเรียนมาสู่การทำบทปฏิบัติการและอธิบายผลการทดลองให้มากขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงแก้ไขและปรับปรุงกิจกรรมโดยการจัดเรียงลำดับเนื้อหาและกิจกรรมให้สอดคล้องตามลำดับเนื้อหาของเอกสารประกอบการเรียนของโรงเรียน และเพิ่มคำชี้แจงการทำบทปฏิบัติการ การอธิบายผลการทดลองที่ช่วยชี้แนะแนวทางการสรุปผลการทดลอง

2.2 ทดลองกลุ่มเล็กกับนักเรียน 15 คน ซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดกรุงเทพมหานคร เพื่อดูความเหมาะสมของกิจกรรมที่ใช้และหาข้อบกพร่องของกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่องพันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ โดยใช้การสัมภาษณ์และสังเกตพฤติกรรมของนักเรียน พบว่า นักเรียนกลุ่มละ 5 คน มีความเหมาะสมในการทำกิจกรรม นักเรียนให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรม การนำเสนอ เรื่อง นวัตกรรมการเดินทางแบบธรรมชาติ (Biomimicry) และบทปฏิบัติการในกิจกรรมน่าสนใจมากเพราะไม่เคยเรียนมาก่อนทำให้กระตุ้นการอยากเรียนรู้ และในขั้นตอนการทำบทปฏิบัติการเรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ พบว่ายังมีนักเรียนบางคนสับสนลำดับขั้นตอนการเตรียมสารละลาย การเคลือบผ้า ดังนั้นผู้วิจัยจึงแก้ไขและปรับปรุงกิจกรรมโดยการสรุปขั้นตอนการทำปฏิบัติออกมาเป็นแผนภาพลำดับขั้นตอนการทำผ้าฝ้ายกันน้ำ

2.3 ทดลองกลุ่มใหญ่กับนักเรียน 30 คน ซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดกรุงเทพมหานคร เพื่อศึกษากระบวนการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่องพันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อศึกษากระบวนการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษาจากการสังเกตการทำกิจกรรมของนักเรียนแต่ละกลุ่ม และหาประสิทธิภาพของกิจกรรมสเต็มศึกษา

เรื่อง พันธะเคมี: ฟ้าผ่ายกันน้ำ โดยใช้เกณฑ์ คือ นักเรียนร้อยละ 70 มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 หมายถึง มีนักเรียนอย่างน้อยจำนวน 21 คน ที่มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ตั้งแต่ 40 คะแนนขึ้นไป โดยวัดจากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา

จากการนำกิจกรรมสเต็มศึกษาไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดกรุงเทพมหานคร จำนวน 30 คน ที่ยังไม่เคยเรียนด้วยกิจกรรมตามแนวทางสเต็มศึกษา แล้ววิเคราะห์โดยการหาประสิทธิภาพของกิจกรรมสเต็มศึกษา โดยกำหนดให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ คือ นักเรียนร้อยละ 70 มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 โดยใช้สูตรร้อยละ (Percentage) ดังนี้

สูตรที่ 1 : คำนวณหาร้อยละของจำนวนนักเรียน

$$\% = \frac{X}{Y} \times 100$$

เมื่อ % แทน ร้อยละของจำนวนนักเรียน

X แทน จำนวนนักเรียนที่ได้คะแนนผ่านเกณฑ์แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

Y แทน จำนวนนักเรียนทั้งหมด

สูตรที่ 2 : คำนวณหาร้อยละของคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

$$\% = \frac{X}{Y} \times 100$$

เมื่อ % แทน ร้อยละของคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

X แทน ผลรวมของคะแนนของนักเรียนที่ได้จากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

Y แทน คะแนนเต็มจากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

พบว่า มีนักเรียนที่มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษาตั้งแต่ 40 คะแนนขึ้นไป เท่ากับ 30 คนหรือคิดเป็นร้อยละ 100 จึงสรุปได้ว่า กิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่องพันธะเคมี: ฟ้าผ่ายกันน้ำ มีประสิทธิภาพเท่ากับ 100 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์นักเรียนร้อยละ 70 มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ที่กำหนดไว้ (ดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ค)

1.3.2 การสร้างแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

ประกอบด้วยแบบประเมิน 2 ชุด ดังนี้

1.3.2.1 แบบประเมินการออกแบบผลงาน

1.3.2.2 แบบประเมินผลงาน

ขั้นตอนการสร้างแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ดำเนินการ ดังนี้

1. กำหนดจุดมุ่งหมายในการสร้างแบบประเมิน เพื่อสร้างแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม เพื่อนำไปใช้ในงานวิจัย

2. ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวัดและประเมินผล วิธีการสร้างแบบประเมินและการเขียนแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ จะศึกษาจากการออกแบบผลงานของนักเรียนและผลงานที่นักเรียนสร้างขึ้น โดยศึกษาทั้งหมด 3 ลักษณะ คือ คิดอย่างสร้างสรรค์ ทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ และ การใช้นวัตกรรม

3. สร้างแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยดัดแปลงเกณฑ์การประเมินมาจาก 21st Century Skills Standards Rubrics และ Creativity for 21st Century Skills (Jane Piirto, 2011) โดยเกณฑ์การประเมินประกอบด้วย 3 ลักษณะ ทั้งหมด 8 ข้อ คือ คิดอย่างสร้างสรรค์ 3 ข้อ ทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ 4 ข้อ ซึ่งเป็นเกณฑ์ในการประเมินการออกแบบผลงานของนักเรียน และการใช้นวัตกรรม 1 ข้อ ซึ่งเป็นเกณฑ์ในการประเมินผลงานที่นักเรียนสร้างขึ้น และการประเมินผลงานที่นักเรียนสร้างขึ้นยังพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต การออกแบบผลิตภัณฑ์ และการจัดการทรัพยากร

แบบประเมินนี้ใช้สำหรับการประเมินการออกแบบและผลงานของนักเรียน ประเมินโดยครูผู้สอน 2 ท่าน และกลุ่มของนักเรียนประเมินตนเอง ซึ่งเป็นแบบประเมินแบบมาตราส่วนค่า (Rating Scale) 4 ระดับ ที่มีเกณฑ์การให้คะแนน (Rubrics) ที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้น โดยกำหนดเกณฑ์การสรุปผลการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ดังนี้

เกณฑ์การประเมินให้คะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

ผู้วิจัยกำหนดวิธีการประเมินโดยดัดแปลงเกณฑ์การประเมินมาจาก 21st Century Skills Standards Rubrics และ Creativity for 21st Century Skills (Jane Piirto, 2011) โดยมีวิธีให้คะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมรายข้อ โดยแบ่งตามระดับทักษะ 4 ระดับ ดังนี้

เกณฑ์การประเมินระดับทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

ระดับทักษะ	ปรับปรุง	พอใช้	ดี	ดีมาก
คะแนน	1	2	3	4

โดยในการประเมินผู้วิจัยกำหนดวิธีการสรุปผลการประเมินในด้านการออกแบบผลงาน และการประเมินผลงาน ดังนี้

1. หาค่าเฉลี่ยของคะแนนรวมจากครูผู้สอน 2 ท่าน และกลุ่มของนักเรียนประเมินตนเอง
2. เทียบคะแนนเฉลี่ยกับเกณฑ์การสรุปผลประเมินการออกแบบผลงานและเกณฑ์การสรุปผลการประเมินผลงาน

เกณฑ์การสรุปผลประเมินการออกแบบผลงาน

ระดับ	ปรับปรุง	พอใช้	ดี	ดีมาก
ช่วงคะแนน	0 - 7	8 - 14	15 - 21	22 - 28

เกณฑ์การสรุปผลประเมินผลงาน

ระดับ	ปรับปรุง	พอใช้	ดี	ดีมาก
ช่วงคะแนน	0 - 10	11 - 20	21 - 30	31 - 40

ผู้วิจัยกำหนดวิธีการสรุปผลการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมจากการรวมคะแนนเฉลี่ยการประเมินการออกแบบผลงานและการประเมินผลงานของนักเรียนแต่ละกลุ่ม ที่ประเมินโดยครูผู้สอน 2 ท่าน และกลุ่มของนักเรียนประเมินตนเอง แล้วนำคะแนนรวมมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อสรุปผลตามเกณฑ์ ดังนี้

เกณฑ์การสรุปผลประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

ระดับ	ปรับปรุง	พอใช้	ดี	ดีมาก
ช่วงคะแนน	0 - 16	17 - 33	34 - 50	51 - 68

วิธีการหาคุณภาพแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

การหาคุณภาพแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

1. ประเมินความสอดคล้องของทักษะกับองค์ประกอบของแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน เครื่องมือที่ใช้ในการประเมิน คือ แบบประเมินแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ที่มีลักษณะเป็นมาตราประมาณค่า 3 ระดับ คือ สอดคล้อง ไม่แน่ใจ และไม่สอดคล้อง เพื่อปรับปรุงแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม และนำผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญมาแปลงเป็นคะแนน ดังนี้

มีความเห็นว่า	สอดคล้อง	ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น	+1
มีความเห็นว่า	ไม่แน่ใจ	ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น	0
มีความเห็นว่า	ไม่สอดคล้อง	ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น	-1

แล้ววิเคราะห์โดยใช้การหาค่าความสอดคล้องของทักษะกับองค์ประกอบของแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยใช้ดัชนีความสอดคล้อง คำนวณจากสูตร (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2543)

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

เมื่อ IOC แทน ดัชนีความสอดคล้อง $\sum R$ แทน ผลรวมของการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ
 n แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

ผู้วิจัยพบว่าผลการประเมินความสอดคล้องของทักษะกับองค์ประกอบของแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ที่ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่าง 0.67-1.00 (ดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ค)

2. แก้ไขและปรับปรุงแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน

3. นำแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่แก้ไขแล้วไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

1.3.2 แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี

ขั้นตอนในการสร้างแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ดำเนินการ ดังนี้

1. ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวัดและประเมินผล วิธีการสร้างแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์และการเขียนข้อสอบสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์

2. ศึกษาตัวชี้วัดของสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ จากหลักสูตร คู่มือครูและเอกสารต่างๆที่เกี่ยวข้องกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เพื่อสร้างตารางวิเคราะห์โครงสร้าง และรายการแนวคิดที่ต้องการวัดและประเมิน

3. ศึกษาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ที่นักเรียนมักเข้าใจผิดและพบบ่อย เพื่อนำมาใช้ในการสร้างแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ในกิจกรรมสเต็มศึกษา การออกแบบแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี สามารถวิเคราะห์ได้ดังตาราง

ตาราง 8 การออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี

เนื้อหา	หัวข้อเรื่อง	จำนวน (ข้อ)	รวม (ข้อ)	สัดส่วน น้ำหนัก (ร้อยละ)
1. หลักการของพันธะเคมี				
	- สัญลักษณ์แบบจุดของลิทวีส	2	4	10.00
	- กฎออกเตต	2		
2. พันธะไอออนิก				
	- การเกิดพันธะไอออนิก	4	17	42.50
	- การเขียนสูตร และเรียกชื่อสารประกอบไอออนิก	4		
	- สมบัติบางประการของสารประกอบไอออนิก	6		
	- สมการไอออนิก และสมการไอออนิกสุทธิ ของสารประกอบไอออนิก	3		
3. พันธะโคเวเลนต์				
	- การเกิดพันธะโคเวเลนต์แบบพันธะเดี่ยว พันธะคู่ และพันธะสาม	5	19	47.50
	- การเขียนสูตร และเรียกชื่อสารโคเวเลนต์	5		
	- คาคคະเนຽບຮ່າງໂມເລກຸລໂຄເວເລນ໌ ໂດຍໃຫ້ທຸກໆການຜລິກະລິດລະຫວ່າງຄູ່ອີເລັກຕຣອນໃນວົງເວເລນ໌ ແລະສະຖາປັບຂອງໂມເລກຸລໂຄເວເລນ໌	5		
	- ชนิดของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลโคเวเลนต์ และจุดหลอมเหลว จุดเดือด	4		
	รวม		40	100

4. สร้างแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ชนิดถูก-ผิด พร้อมอธิบายเหตุผลประกอบ ในวิชาเคมีเรื่อง พันธะเคมี จำนวน 40 คำถาม โดยหนึ่งคำถามให้เลือกตอบถูกหรือผิด โดยต้องอธิบายเหตุผลประกอบคำตอบนั้นด้วยว่าเหตุใดจึงตอบว่า “ถูก” หรือ “ผิด” โดยมีเกณฑ์การให้คะแนนแต่ละข้อ คือ ถ้าตอบถูกให้ 1 คะแนน ถ้าตอบผิดหรือไม่ตอบให้ 0 คะแนน และจากคำอธิบายเหตุผลประกอบคำตอบนั้นจะนำมาวิเคราะห์คำตอบเป็นรายข้อ โดยแปลผลคำตอบและจัดกลุ่มแนวคิดโดยใช้เกณฑ์ที่ปรับปรุงจากเกณฑ์การจัดกลุ่มแนวคิดตามรูปแบบของ Haidar (1997) ซึ่งได้จำแนกแนวคิดออกเป็น 5 ระดับ คือ

ระดับที่ 1 มีแนวคิดวิทยาศาสตร์ (scientific understanding, SU) หมายถึง คำตอบที่แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจในแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง หรือมีร้อยละของคำตอบที่ถูกต้องมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 80 - 100 ให้ 3 คะแนน

ระดับที่ 2 มีแนวคิดที่ไม่สมบูรณ์ (partial understanding, PU) หมายถึง คำตอบของนักเรียนที่แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจในแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกินครึ่งถูกต้อง หรือมีร้อยละของคำตอบที่ถูกต้องมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 50 - 79 ให้ 2 คะแนน

ระดับที่ 3 มีแนวคิดที่ไม่สมบูรณ์และคลาดเคลื่อน (partial understanding with a specific misconception, PU/SM) หมายถึง คำตอบของนักเรียนที่แสดงให้เห็นถึงความเข้าใจในแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องบางคำตอบแต่บางคำตอบมีแนวคิดที่ไม่ถูกต้องตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ให้ 1 คะแนน

ระดับที่ 4 มีแนวคิดคลาดเคลื่อน (specific misconception, SM) หมายถึง คำตอบของนักเรียนทุกคำตอบไม่ถูกต้องตามแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ให้ 0 คะแนน

ระดับที่ 5 ไม่มีแนวคิดวิทยาศาสตร์ (no understanding, NU) หมายถึง นักเรียนไม่ตอบคำถาม ตอบซ้ำกับคำถาม หรือคำตอบไม่เกี่ยวข้องกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ให้ 0 คะแนน

จากนั้นผู้วิจัยนำข้อมูลผลคะแนนของนักเรียนกลุ่มทดลองจากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี มาสร้างเป็นตารางจำแนกจำนวนและร้อยละของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียน ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสเต็มศึกษา (ลัดดาวัลย์ บุรณะ. 2560)

วิธีการหาคุณภาพแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี

การหาคุณภาพแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

1. ประเมินความสอดคล้องของเนื้อหาเกี่ยวกับแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา 2 ท่าน และผู้สอนวิชาเคมี 1 ท่าน เครื่องมือที่ใช้ในการประเมิน คือ แบบประเมินแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ที่มีลักษณะเป็นมาตราประมาณค่า 3 ระดับ คือ สอดคล้อง ไม่แน่ใจ และไม่สอดคล้อง เพื่อปรับปรุงแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี และนำผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญมาแปลงเป็นคะแนน ดังนี้

มีความเห็นว่า	สอดคล้อง	ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น	+1
มีความเห็นว่า	ไม่แน่ใจ	ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น	0
มีความเห็นว่า	ไม่สอดคล้อง	ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น	-1

แล้ววิเคราะห์โดยใช้การหาค่าความสอดคล้องของเนื้อหาเกี่ยวกับแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี โดยใช้ดัชนีความสอดคล้อง คำนวณจากสูตร (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2543)

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

เมื่อ IOC แทน ดัชนีความสอดคล้อง $\sum R$ แทน ผลรวมของการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ
 n แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

ผู้วิจัยพบว่าผลการประเมินความสอดคล้องของเนื้อหาเกี่ยวกับแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ที่ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่าง 0.33-1.00 จากนั้นปรับปรุงแก้ไขแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ที่ได้ดัชนีความสอดคล้องไม่ถึง 0.50 (ดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ค)

จากข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ พบว่า แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ควรปรับปรุงข้อคำถามให้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้และพฤติกรรมการเรียนรู้ที่ต้องการวัดให้มากขึ้น ควรปรับปรุงการใช้ภาษา และปรับปรุงข้อคำถามให้เหมาะสมกับเวลาที่ใช้ในการทำแบบทดสอบ ผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้ ปรับปรุงข้อคำถามให้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้และพฤติกรรมการเรียนรู้ที่กำหนด ปรับปรุงภาษาที่ใช้ในข้อ

คำถามให้ชัดเจนและตรงประเด็น ลดความซับซ้อนของข้อคำถามลงในข้อที่ซับซ้อนเกินไป เพื่อให้เหมาะสมกับเวลาที่ใช้ในการทำข้อสอบ

2. นำแบบวัดที่ผ่านการแก้ไขและปรับปรุงแก้ไขแล้ว ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่เรียนเนื้อหาเรื่องนี้มาแล้ว ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษ จังหวัดกรุงเทพมหานคร จำนวน 46 คน เพื่อตรวจสอบแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ความเข้าใจทางด้านภาษาและข้อคำถามแต่ละข้อ ตลอดจนตรวจสอบเวลาที่เหมาะสมในการทำแบบวัด

3. นำกระดาษคำตอบที่นักเรียนตอบแล้วมาตรวจให้คะแนน โดยข้อที่ตอบถูกให้ 1 คะแนน และข้อที่ผิดให้ 0 คะแนน และข้อที่ต้องอธิบายเหตุผลประกอบคำตอบนั้น จะวิเคราะห์คำตอบเป็นรายข้อแปลผลจากคำตอบและจัดกลุ่มแนวคิดโดยใช้เกณฑ์การให้คะแนน คือ ระดับที่ 1 มีแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU) ให้ 3 คะแนน ระดับที่ 2 มีแนวคิดที่ไม่สมบูรณ์ (PU) ให้ 2 คะแนน ระดับที่ 3 มีแนวคิดที่ไม่สมบูรณ์และคลาดเคลื่อน (PU/SM) ให้ 1 คะแนน ระดับที่ 4 มีแนวคิดคลาดเคลื่อน (SM) ให้ 0 คะแนน และระดับที่ 5 ไม่มีแนวคิดวิทยาศาสตร์ (NU) ให้ 0 คะแนน เมื่อตรวจสอบคะแนนเรียบร้อยแล้ววิเคราะห์โดยใช้การหาค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี โดยใช้เทคนิค 50% เนื่องจากนักเรียนมีจำนวนน้อยและสามารถแบ่งครึ่งได้จำนวนใกล้เคียงกัน โดยวิเคราะห์ข้อสอบเป็นรายข้อ คำนวณจากสูตร (บุญเชิด อภิญาญอนันตพงษ์. 2545)

$$p = \frac{P_H + P_L}{2n}$$

$$r = \frac{P_H - P_L}{2n}$$

เมื่อ p แทน ค่าความยากง่าย r แทน ค่าอำนาจจำแนก

P_H แทน จำนวนนักเรียนที่ตอบถูกในกลุ่มสูง

P_L แทน จำนวนนักเรียนที่ตอบถูกในกลุ่มต่ำ

n แทน จำนวนนักเรียนที่ตอบถูกในกลุ่มสูงหรือกลุ่มต่ำ

แล้วคัดเลือกข้อสอบที่มีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.23 - 0.89 และมีค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.21-0.61 ไว้จำนวน 20 ข้อ (ดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ค)

4. นำแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี มาวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่น (r_{tt}) ของแบบทดสอบทั้งฉบับ โดยคำนวณจากสูตรสัมประสิทธิ์แอลฟา (α -coefficient) ของครอนบาค (Cronbach) (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2538)

$$\alpha = \left(\frac{n}{n-1} \right) \left(1 - \frac{\sum s_i^2}{s_t^2} \right)$$

เมื่อ α แทน ค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น n แทน จำนวนข้อคำถามทั้งหมด
 s_i^2 แทน คะแนนความแปรปรวนแต่ละข้อ s_t^2 แทน คะแนนความแปรปรวนทั้งหมด

ผู้วิจัยพบว่า ค่าความเชื่อมั่นมีค่าเท่ากับ 0.99 (ดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ค) จากผลการวิเคราะห์ แสดงว่าแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี มีคุณภาพเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างได้ต่อไป (ดูตัวอย่างแบบวัดในภาคผนวก ง)

2. การนำกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง

แบบแผนการทดลอง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi-experimental Research) ประกอบด้วยกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม ซึ่งเลือกโดยการเลือกแบบเจาะจง คือ กลุ่มทดลองที่เป็นกลุ่มที่เรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่องพันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ และกลุ่มควบคุมเป็นกลุ่มที่เรียนด้วยการจัดการเรียนการสอนแบบสืบสอบ ซึ่งทำการทดลองตามแบบแผนการทดลองแบบมีกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมที่ไม่ได้มาจากการสุ่ม มีการวัดผลก่อนและหลังให้สิ่งทดลอง (Nonrandomized Control Group Pretest-Posttest Design) (พรรณี ลีกิจวัฒน์, 2555)

ตาราง 9 แสดงแบบแผนการทดลองแบบ Nonrandomized Control Group Pretest-Posttest Design

กลุ่ม	สอบก่อน	การทดลอง	สอบหลัง
E	T_{1E}	X	T_{2E}
C	T_{1c}	-	T_{2c}

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการทดลอง

E แทน กลุ่มทดลอง

C แทน กลุ่มควบคุม

T₁ แทน การทดสอบก่อนการทดลอง

T₂ แทน การทดสอบหลังการทดลอง

X แทน การจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี: ฟ้าผ่า ยกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย

2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลตามลำดับ ดังนี้

1. เลือกนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัด กรุงเทพมหานคร โดยการเลือกแบบเฉพาะเจาะจง ซึ่งเป็นกลุ่มทดลอง 1 ห้องเรียน จำนวน 30 คน และกลุ่มควบคุม 1 ห้องเรียน จำนวน 30 คน

2. ทดสอบก่อนเรียน (Pretest) ทั้งกลุ่มทดลองและควบคุม โดยใช้แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่องพันธะเคมี จำนวน 20 ข้อ ใช้เวลา 1 คาบ (50 นาที) และประเมินผลงานต้นแบบจากการส่งการบ้านด้วยแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

3. ดำเนินการจัดการเรียนรู้สำหรับนักเรียนกลุ่มทดลอง โดยใช้กิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฟ้าผ่า ยกันน้ำ ใช้เวลา 24 คาบ (คาบละ 50 นาที) ในช่วงเวลาเดียวกัน นักเรียนกลุ่มควบคุมได้รับการจัดการเรียนรู้เรื่อง พันธะเคมี ในระยะเวลาเดียวกัน โดยใช้การจัดการเรียนรู้ด้วยกระบวนการสืบเสาะความรู้ (5E) ดังแสดงในตาราง 10

ตาราง 10 เปรียบเทียบการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษาและการสืบเสาะความรู้ (5E)

กิจกรรมสเต็มศึกษา	กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (5E)
<p>ขั้นที่ 1 การนำเสนอสถานการณ์ปัญหาที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง</p> <p>ชี้แจงการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี โดยแบ่งกลุ่มนักเรียนเป็นทีม จากนั้นนำเสนอข่าวราคาผ้าทอไทยตกต่ำ แล้วให้นักเรียนร่วมกันวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา และหาวิธีแก้ไข จากนั้นนำเสนอแนวทางแก้ไข ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ด้วยนวัตกรรมเลียนแบบธรรมชาติ (Biomimicry)</p>	<p>ขั้นที่ 1 นำเข้าสู่บทเรียน</p> <p>ให้นักเรียนดูคลิปวิดีโอเกี่ยวกับสารเคมีในสิ่งมีชีวิตเพื่อเชื่อมโยงเกี่ยวกับการสร้างพันธะของโมเลกุลในสารชีวโมเลกุล แล้วร่วมกันอภิปรายว่าพันธะเคมี คืออะไร เกิดขึ้นได้อย่างไร เพราะอะไร</p>
<p>ขั้นที่ 2 การออกแบบสร้างสรรค์</p> <ul style="list-style-type: none"> - จัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่อง พันธะเคมี และให้นักเรียนค้นคว้าความรู้จากแหล่งข้อมูลต่างๆ - ทำการทดลองตามเอกสารประกอบการเรียนของโรงเรียน ได้แก่ การทดลองที่ 1 เรื่อง การละลายน้ำและสมบัติของสารประกอบไอออนิก และการทดลองที่ 2 เรื่อง รูปร่างโมเลกุลและมุมพันธะ - นำเสนอปฏิบัติการผ้าฝ้ายกันน้ำและการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผ้าฝ้ายกันน้ำ โดยใช้โปรแกรม ImageJ เพื่อสร้างแรงบันดาลใจให้นักเรียนสู่การสร้างสรรค์ผลงาน และมุ่งให้นักเรียนสังเกตปัจจัยที่มีผลต่อการทำผ้ากันน้ำ 	<p>ขั้นที่ 2 สำรวจและค้นหา</p> <p>นักเรียนปฏิบัติการทดลอง 2 การทดลองตามเอกสารประกอบการเรียนของโรงเรียน ได้แก่</p> <p>การทดลองที่ 1 เรื่อง การละลายน้ำและสมบัติของสารประกอบไอออนิก</p> <p>การทดลองที่ 2 เรื่อง รูปร่างโมเลกุลและมุมพันธะ</p> <p>โดยการทดลองที่ 3 ผู้วิจัยได้เสริมการทดลองเรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ เข้าไปในบทเรียน</p>
	<p>ขั้นที่ 3 อธิบายและลงข้อสรุป</p> <p>ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทดลอง และสรุปแนวคิดเกี่ยวกับพื้นฐานของพันธะเคมี พันธะไอออนิก และพันธะโคเวเลนต์</p>

ตาราง 10 (ต่อ)

กิจกรรมสเต็มศึกษา	กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (5E)
<p>- นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่ส่งให้ได้ผ้ากันน้ำที่ดีที่สุด และวางแผนการสร้างผลงาน</p> <p>- นักเรียนนำเสนอผลการทดลองให้เพื่อนและครูฟังเพื่อช่วยกันหาวิธีปรับปรุงวิธีทดลองและปัญหาจากการสร้างชิ้นงาน เพื่อร่วมกันแก้ไข</p> <p>- ปรับปรุงวิธีการทดลอง และสร้างผลงาน จากนั้นนำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหา</p>	<p>ขั้นที่ 4 ประยุกต์และขยายความรู้ ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพื่อเชื่อมโยงความรู้เกี่ยวกับพื้นฐานของพันธะเคมี พันธะไอออนิก และพันธะโคเวเลนต์ และครูนำเสนอตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในชีวิตประจำวันที่ประยุกต์ใช้ความรู้เรื่อง พันธะเคมี</p>
<p>ขั้นที่ 3 การสร้างความรู้ลึกซึ้ง</p> <p>จัดนิทรรศการแสดงผลภัณฑ์ของนักเรียนแต่ละกลุ่มผ่าน facebook โดยการนำเสนอเป็นวิดีโอโฆษณาผลิตภัณฑ์ของกลุ่มตัวเอง</p>	<p>ขั้นที่ 5 ประเมินผล</p> <p>นักเรียนทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน เรื่อง พันธะเคมี และทดสอบแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี</p>

4. ประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมจากการออกแบบผลงานและการออกแบบบทบาทปฏิบัติการของนักเรียน โดยใช้มาตรฐานค่าและเกณฑ์การให้คะแนนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเอง โดยประเมินตามสภาพจริงระหว่างการจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้ากันน้ำ ระยะเวลาในการสอนจำนวน 24 คาบเรียน คาบเรียนละ 50 นาที

5. เมื่อสิ้นสุดตามกำหนด จึงทำการทดสอบหลังเรียน (Posttest) ทั้งกลุ่มทดลองและควบคุม โดยใช้แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี จำนวน 20 ข้อ และประเมินผลงานสุดท้ายด้วยแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

6. นำผลคะแนนจากการตรวจแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี มาวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ และผลคะแนนจากการประเมินด้วยแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์สรุปผลการประเมินทักษะที่นักเรียนได้รับ เพื่อทดสอบสมมติฐานต่อไป

2.2 การจัดทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ศึกษาประสิทธิภาพของกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฟ้าผ่ายกันน้ำ โดยใช้เกณฑ์ คือ นักเรียนร้อยละ 70 มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 หมายถึง มีนักเรียนอย่างน้อยจำนวน 21คน ที่มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ตั้งแต่ 40 คะแนนขึ้นไป โดยคำนวณจากสูตรร้อยละ

2. วิเคราะห์คะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนที่ใช้กิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฟ้าผ่ายกันน้ำ โดยใช้คะแนนจากการประเมินก่อนเรียนและหลังเรียนมาวิเคราะห์ โดยใช้การเปรียบเทียบกับเกณฑ์สรุปผลการประเมินทักษะที่นักเรียนได้รับ และใช้วิธีการทางสถิติแบบ t-test for dependent sample เพื่อเปรียบเทียบทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมภายในกลุ่มทดลอง

3. ศึกษาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี โดยผู้วิจัยรวบรวมแบบวัดแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี และตรวจให้คะแนน จากนั้นผู้วิจัยนำคำตอบของนักเรียนมาจัดกลุ่มแนวคิดและหาร้อยละคำตอบของนักเรียนในแต่ละกลุ่มความคิด แล้วนำมาวิเคราะห์ โดยใช้วิธีการทางสถิติแบบ t-test for independent sample เพื่อเปรียบเทียบแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มทดลอง และใช้วิธีการทางสถิติแบบ t-test for dependent sample เพื่อเปรียบเทียบแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ภายในกลุ่มทดลอง

4. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล มีดังนี้

4.1 สถิติพื้นฐาน

4.1.1 หาค่าเฉลี่ยคำนวณจากสูตร (ชูศรี วงศ์รัตน์. 2553)

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

เมื่อ \bar{x} แทน คะแนนเฉลี่ย

$\sum x$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

n แทน จำนวนนักเรียนในกลุ่มตัวอย่าง

4.1.2 หาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนน คำนวณจากสูตร (ชูศรี วงศ์
รัตน์:2553)

$$s = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}}$$

เมื่อ s แทน ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน n แทน จำนวนนักเรียนในกลุ่มตัวอย่าง

$\sum x$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมด $\sum x^2$ แทน ผลรวมของคะแนนแต่ละตัวยกกำลังสอง

4.2 สถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน

จากแผนการทดลองในครั้งนี้ไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากร (σ^2) จึงไม่สามารถใช้สถิติ Z-test ได้ต้องใช้การทดสอบ t-test โดยกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มเป็นอิสระต่อกัน และมีขนาดเล็ก ($n < 100$) จึงพิจารณาเลือกใช้สถิติการทดสอบสำหรับสองกลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน (t-test for independent sample) ชนิดความแปรปรวนรวม (pooled variance t-test) เพื่อเปรียบเทียบแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ระหว่างกลุ่มควบคุมกับกลุ่มทดลอง (พรณี ลีกิจวัฒน์: 2557: 271-272)

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{S_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$$df = n_1 + n_2 - 2$$

เมื่อ	t	แทน ค่าสถิติ t
	\bar{X}_1	แทน ค่าเฉลี่ยของคะแนนกลุ่ม 1
	\bar{X}_2	แทน ค่าเฉลี่ยของคะแนนกลุ่ม 2
	S_p^2	แทน ความแปรปรวนรวม (pooled variance t-test)
	S_1^2	แทน ความแปรปรวนของคะแนนกลุ่ม 1
	S_2^2	แทน ความแปรปรวนของคะแนนกลุ่ม 2

n_1 แทน ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง 1

n_2 แทน ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง 2

df แทน ชั้นแห่งความอิสระ

และเลือกใช้สถิติการทดสอบที่สำหรับสองกลุ่มที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน (t-test for dependent sample) ชนิดความแปรปรวนรวม (pooled variance t-test) เพื่อเปรียบเทียบทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมและแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ภายในกลุ่มทดลอง (พรรณี ลีกิจวัฒน์. 2557: 271-272)

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

$$df = n - 1$$

เมื่อ t แทน ค่าสถิติที่จะเปรียบเทียบกับค่าวิกฤติเพื่อทราบความมีนัยสำคัญ

D แทน ค่าผลต่างระหว่างคู่คะแนน

n แทน จำนวนกลุ่มตัวอย่างหรือจำนวนคู่คะแนน

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลและแปลผลข้อมูล ผู้วิจัยเสนอสมมติฐานของการวิจัย ดังนี้

สมมติฐานข้อที่ 1 ความเข้มข้นของสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้ม วิธีทำให้ผ้าแห้ง และวิธีเคลือบผ้ามีผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้าย

สมมติฐานข้อที่ 2 กิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ คือ นักเรียนร้อยละ 70 มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50

สมมติฐานข้อที่ 3 นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่เรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ มีคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนในกลุ่มทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สมมติฐานข้อที่ 4 แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่เรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ มีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนในกลุ่มทดลอง และมีคะแนนหลังเรียนสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

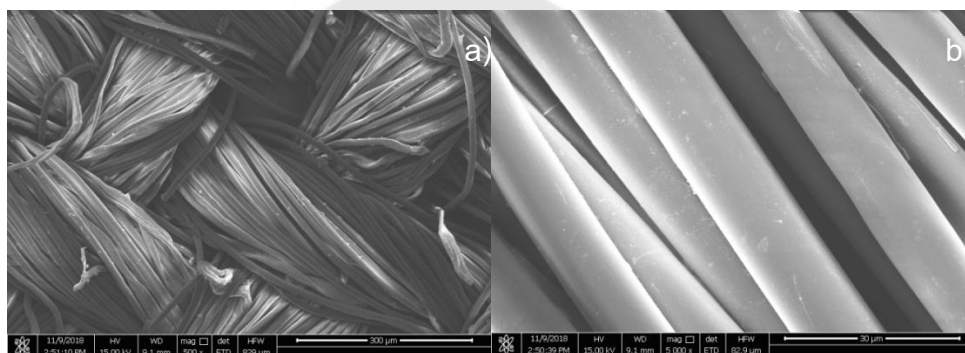
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

สมมติฐานข้อที่ 1 ความเข้มข้นของสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้ม วิธีทำให้ผ้าแห้ง และวิธีเคลือบผ้ามีผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้าย

ผู้วิจัยได้พัฒนาวิธีการทดลองและบทปฏิบัติการ เรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อศึกษาการเตรียมผ้าฝ้ายให้มีสมบัติการกันน้ำ โดยการนำผ้าฝ้ายมาปรับปรุงสมบัติของพื้นผิวด้วยสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้ม แล้วทำผ้าให้แห้งเพื่อให้ได้ผ้าฝ้ายที่มีสมบัติกันน้ำ ซึ่งได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้าย ดังนี้ คือ 1) ผลของความเข้มข้นของสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้มที่ใช้เคลือบผ้าฝ้าย 2) วิธีทำให้ผ้าฝ้ายแห้ง และ 3) วิธีเคลือบผ้าฝ้าย แล้ววิเคราะห์สมบัติความไม่ชอบน้ำด้วยการวัดมุมสัมผัสของน้ำ (Water contact angles, WCAs) ด้วยโปรแกรม ImageJ และเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสของน้ำจากโปรแกรม ImageJ กับเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส (Contact angles analyzer) รุ่น OCA 20 ยี่ห้อ data physics ซึ่งการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำด้วยเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส มีการทดสอบดังนี้ คือ นำเข็มดูดน้ำกลั่นแล้วหยดน้ำ

นอกจากปลายเข็มฉีด โดยปล่อยหยดของน้ำที่แขวนอยู่ปลายเข็มลงมาเพียงหยดเดียวให้ลงมาสัมผัสบนพื้นผิวของผ้า แล้วทำการวัดค่ามอดูลัสของน้ำด้วยโปรแกรม มีหน่วยเป็นองศา โดยวัดค่ามอดูลัสของน้ำที่อุณหภูมิห้อง ใช้หยดน้ำขนาด 10 ไมโครลิตร อัตราเร็ว 1.5 ไมโครลิตรต่อวินาที และทำการวัดทั้งหมด 3 ครั้ง แล้วนำค่ามอดูลัสที่ได้ทั้งด้านซ้ายและขวามาหาค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ข้อมูลตามสมมติฐานข้อที่ 1 ได้ผลแสดงดังต่อไปนี้

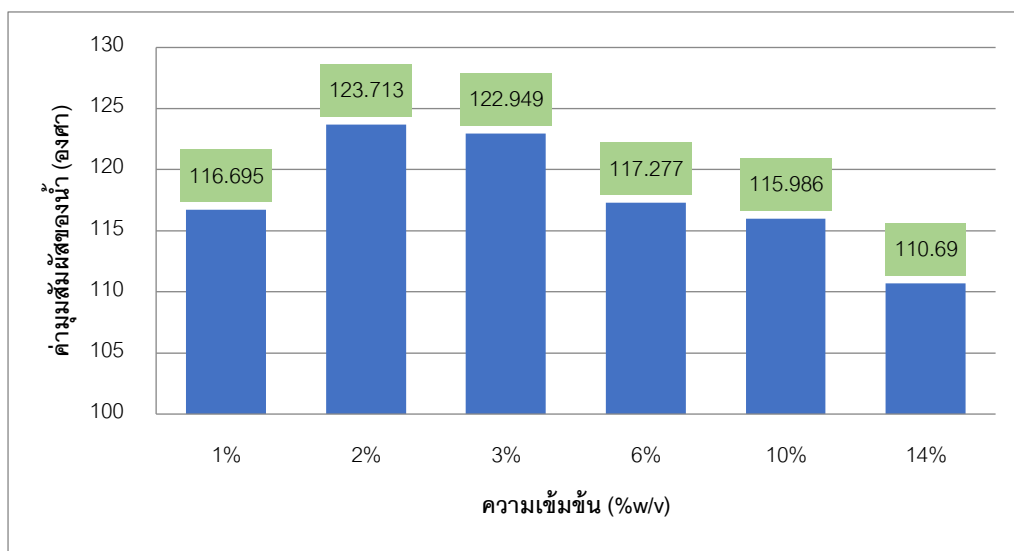
ภาพประกอบ 16 แสดงภาพ SEM ของเส้นใยผ้าฝ้ายก่อนการปรับปรุงสมบัติกันน้ำที่กำลังขยาย a) 500 เท่า และ b) 5000 เท่า



ผลของความเข้มข้นของสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้มที่มีผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้าย

ผลจากการทดลองแสดงในภาพประกอบ 16 และตาราง 11 จากการวัดค่ามอดูลัสของน้ำด้วยโปรแกรม ImageJ ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติการกันน้ำด้วยสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้มที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ 1, 2, 3, 6, 10 และ 14 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติการกันน้ำมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 110.69 ถึง 123.713 องศา ซึ่งที่ความเข้มข้น 2 %w/v ให้ค่ามอดูลัสของน้ำมากที่สุด คือ 123.713 องศา โดยผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติการกันน้ำมีแนวโน้มค่ามอดูลัสของหยดน้ำลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายมากกว่า 2 %w/v เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้มส่งผลให้มีปริมาณของชั้นสนและสารส้มในการทำปฏิกิริยาบนพื้นผิวของเส้นใยผ้าเกิดเป็นสารประกอบอะลูมิเนียม-โรซิเนต (aluminum-rosinat) จึงเกิดสมบัติการกันน้ำ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายทั้งสองมากกว่า 2 %w/v ในการปรับปรุงผิวผ้า ทำให้เกิดอนุภาคของอะลูมิเนียม-โรซิเนตขนาดใหญ่จำนวนมากบนผิวผ้า ซึ่งส่งผลให้ความขรุขระในระดับไมโคร-นาโนลดลง สมบัติการกันน้ำจึงลดลงด้วย

ดังนั้นในการพัฒนาวิธีการทดลองและบทปฏิบัติการ เรื่อง ผ้าฝ้ายกั้นน้ำ นี้จึงได้เลือกใช้ความเข้มข้นของสารละลายทั้งสองที่ 2 %w/v ในการปรับปรุงผิวผ้า เนื่องจากทำให้ได้ค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำสูงที่สุดและเป็นการลดปริมาณของชั้นสนและสารสีที่มากเกินไปในการทดลอง จากนั้นจึงได้นำไปศึกษาผลของปัจจัยในการเตรียมอื่นๆ ที่มีผลต่อสมบัติการกั้นน้ำของผ้าฝ้ายต่อไป



ภาพประกอบ 17 กราฟแสดงค่ามูมสัมพัทธ์ของหยดน้ำจากโปรแกรม ImageJ ของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงสมบัติการกั้นน้ำด้วยสารละลายชั้นสนและสารละลายสารสีที่ความเข้มข้นต่างๆ

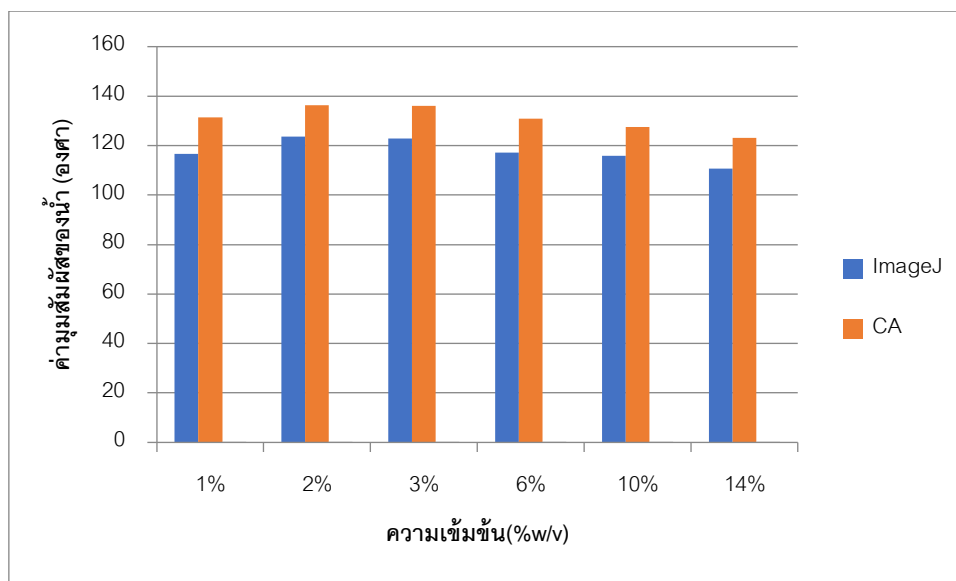
ตาราง 11 ค่ามูมสัมพัทธ์ของหยดน้ำจากโปรแกรม ImageJ ของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงสมบัติการกั้นน้ำด้วยสารละลายชั้นสนและสารละลายสารสีที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (% w/v)	ค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1%	116.695 \pm 3.25
2%	123.713 \pm 1.39
3%	122.949 \pm 1.23
6%	117.277 \pm 4.46
10%	115.986 \pm 1.35
14%	110.69 \pm 1.62

การเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสของน้ำจากโปรแกรม ImageJ กับเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส (Contact angles analyzer) ของผลด้านความเข้มข้นของสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้ม ที่มีผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้าย

จากการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำด้วยโปรแกรม ImageJ และเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติการกันน้ำด้วยสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้มที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน คือ 1, 2, 3, 6, 10 และ 14 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร พบว่าค่ามุมสัมผัสของน้ำของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติการกันน้ำที่วัดด้วยโปรแกรม ImageJ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 110.69 ถึง 123.713 องศา ซึ่งที่ความเข้มข้น 2 %w/v ให้ค่ามุมสัมผัสของน้ำมากที่สุด คือ 123.713 องศา และค่ามุมสัมผัสของน้ำของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติการกันน้ำที่วัดด้วยเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 123.133 ถึง 136.206 องศา ซึ่งที่ความเข้มข้น 2 %w/v ให้ค่ามุมสัมผัสของน้ำมากที่สุด คือ 136.206 องศา

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำด้วยโปรแกรม ImageJ และเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส พบว่าทั้ง 2 วิธี วัดค่ามุมสัมผัสของน้ำได้แนวโน้มไปในแนวทางเดียวกัน คือ ค่ามุมสัมผัสของน้ำที่มีค่ามากที่สุดได้จากการปรับปรุงสมบัติการกันน้ำด้วยสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้มที่ความเข้มข้น 2 %w/v โดยค่ามุมสัมผัสของน้ำจากการวัดด้วยโปรแกรม ImageJ มีผลต่างจากการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัสซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน ดังนี้ $136.206 - 123.713 = 12.493$ องศา ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้รูปถ่ายของหยดน้ำที่ถ่ายด้วยโทรศัพท์มือถือ จึงทำให้ได้รูปทรงของหยดน้ำแตกต่างกันเมื่อใช้มุมกล้องต่างกัน และการลากเส้นสัมผัสหยดน้ำด้วยโปรแกรม ImageJ ที่ขึ้นอยู่กับความชำนาญของผู้ปฏิบัติการ แม้ว่าค่ามุมสัมผัสของน้ำจากการวัดด้วยโปรแกรม ImageJ จะมีผลต่างจากการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัสซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานค่อนข้างมาก แต่ค่ามุมสัมผัสของน้ำที่ได้มีแนวโน้มไปในแนวทางเดียวกัน ดังนั้นในการพัฒนาวิธีการทดลองและบทปฏิบัติการ เรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ นี้จึงได้เลือกใช้การวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำด้วยโปรแกรม ImageJ แทนเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส เพื่อเป็นการลดความซับซ้อนของการปฏิบัติการและวิเคราะห์ผลของนักเรียนเมื่อนำไปทำการทดลอง เรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ

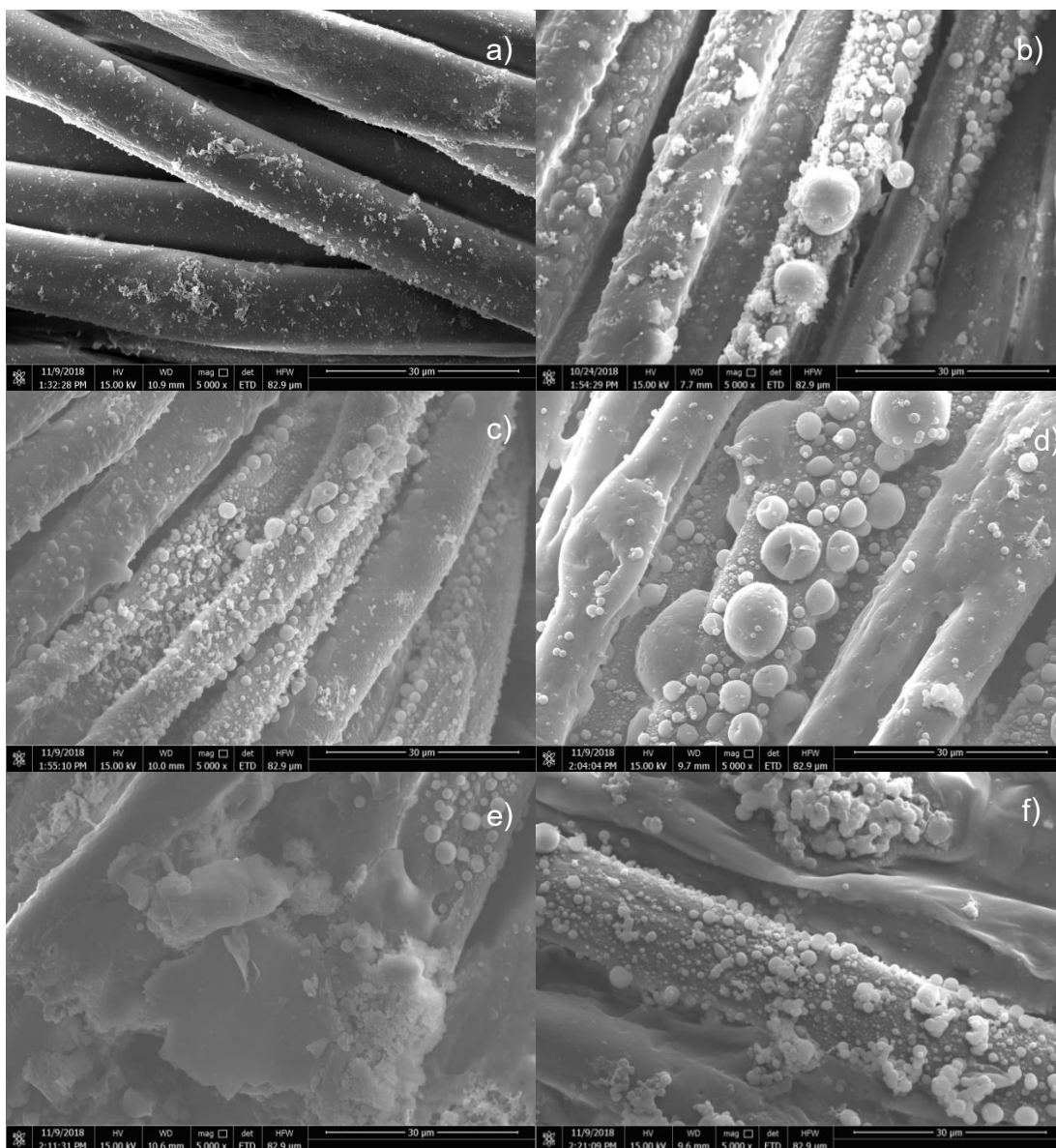


ภาพประกอบ 18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลจากการวัดค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำด้วยโปรแกรม ImageJ และเครื่องวิเคราะห์หุ้มสัมพัทธ์ ของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงสมบัติการกันน้ำด้วยสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้มที่ความเข้มข้นต่างๆ

ตาราง 12 ค่ามูมสัมพัทธ์ของหยดน้ำจากเครื่องวิเคราะห์หุ้มสัมพัทธ์ของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงสมบัติการกันน้ำด้วยสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้มที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (% w/v)	ค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1%	131.483 \pm 0.74
2%	136.206 \pm 0.40
3%	135.961 \pm 0.76
6%	130.800 \pm 0.53
10%	127.583 \pm 0.79
14%	123.133 \pm 1.14

ภาพประกอบ 19 แสดงภาพ SEM ของเส้นใยผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงสมบัติการกันน้ำด้วยสารละลายชันสนและสารละลายสารส้มที่ความเข้มข้น a) 1 b) 2 c) 3 d) 6 e) 10 และ f) 14 ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร ที่กำลังขยาย 5000 เท่า

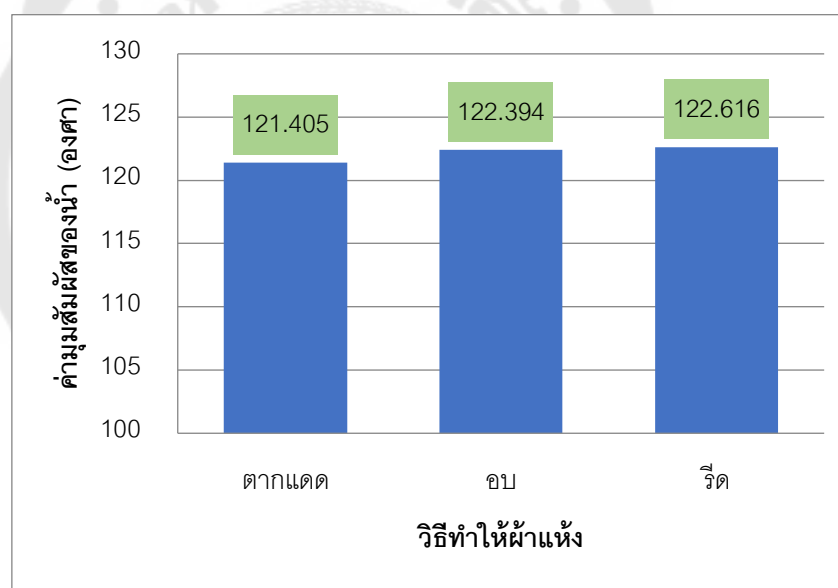


ผลของวิธีทำให้ผ้าฝ้ายแห้งที่มีผลต่อสมบัติการกันน้ำ

ผลจากการทดลองแสดงในภาพประกอบ 19 และตาราง 13 จากการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำด้วยโปรแกรม ImageJ ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติการกันน้ำด้วยสารละลายชันสนและสารละลายสารส้มที่ความเข้มข้น 2 %w/v และใช้วิธีทำให้ผ้าฝ้ายแห้งแตกต่างกัน คือ อบแห้ง

ตากแดด และรีด พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติการกันน้ำมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 121.405 ถึง 122.616 องศา ซึ่งวิธีการรีดให้ค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำมากที่สุด คือ 122.616 องศา โดยผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติการกันน้ำมีแนวโน้มค่ามูมสัมพัทธ์ของหยดน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อใช้วิธีที่ทำให้ผ้าแห้งด้วยความร้อนที่รวดเร็ว เนื่องจากการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วจะส่งผลต่อการสร้างชั้นฟิล์มบางบนผิวของผ้า ทำให้ได้ชั้นฟิล์มที่บางปกคลุมทั่วทั้งบริเวณผิวผ้าอย่างสม่ำเสมอ จึงทำให้ทุกบริเวณมีสมบัติการกันน้ำที่สม่ำเสมอ

ดังนั้นในการพัฒนาวิธีการทดลองและบทปฏิบัติการ เรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ นี้จึงได้เลือกใช้วิธีการรีด ในการทำให้ผ้าแห้ง เนื่องจากทำให้ได้ค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำที่สูงและเป็นวิธีที่ใช้เวลาน้อยที่สุดในการทดลองแต่ผลค่ามูมสัมพัทธ์ใกล้เคียงกับวิธีอื่นๆ จากนั้นจึงได้นำไปศึกษาผลของปัจจัยในการเตรียมอื่นๆ ที่มีผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้ายต่อไป



ภาพประกอบ 20 กราฟแสดงค่ามูมสัมพัทธ์ของหยดน้ำของผ้าฝ้ายที่ใช้วิธีทำให้ผ้าแห้งด้วยวิธีต่างๆ

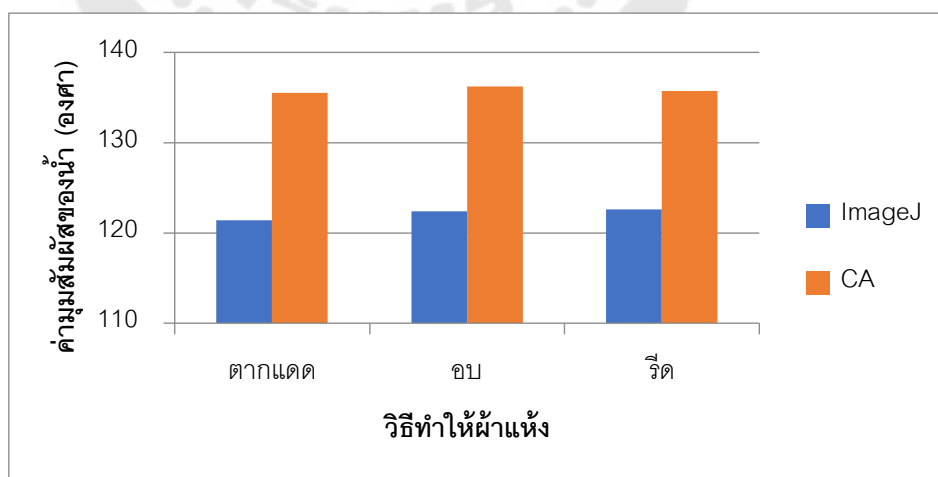
ตาราง 13 ค่ามูมสัมพัทธ์ของหยดน้ำของผ้าฝ้ายที่ใช้วิธีทำให้ผ้าแห้งด้วยวิธีต่างๆ

ความเข้มข้น (% w/v)	ค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตากแดด	121.405 \pm 1.02
อบแห้ง	122.394 \pm 1.39
รีด	122.616 \pm 1.21

การเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสของน้ำจากโปรแกรม ImageJ กับเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส (Contact angles analyzer) ของผลด้านวิธีทำให้ผ้าฝ้ายแห้งที่มีผลต่อสมบัติการกันน้ำ

จากการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำด้วยโปรแกรม ImageJ และเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติการกันน้ำด้วยสารละลายชันสนและสารละลายสารส้มที่ความเข้มข้น 2 %w/v และใช้วิธีทำให้ผ้าฝ้ายแห้งแตกต่างกัน คือ อบแห้ง ตากแดด และรีด พบว่าค่ามุมสัมผัสของน้ำของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติการกันน้ำที่วัดด้วยโปรแกรม ImageJ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 121.405 ถึง 122.616 องศา ซึ่งวิธีการรีดให้ค่ามุมสัมผัสของน้ำมากที่สุด คือ 122.616 องศา และค่ามุมสัมผัสของน้ำของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติการกันน้ำที่วัดด้วยเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 135.544 ถึง 136.206 องศา ซึ่งที่วิธีการอบให้ค่ามุมสัมผัสของน้ำมากที่สุด คือ 136.206 องศา แต่บทปฏิบัติการต้องการวิธีที่ใช้เวลาน้อยที่สุดในการทดลองแต่ผลค่ามุมสัมผัสใกล้เคียงกับวิธีอื่นๆ จึงเลือกใช้วิธีการรีด ซึ่งวิธีการรีด เมื่อวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัสมีค่ามุมสัมผัสของน้ำ คือ 135.694 องศา

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำด้วยโปรแกรม ImageJ และเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส พบว่าทั้ง 2 วิธี วัดค่ามุมสัมผัสของน้ำได้แนวโน้มไปในแนวทางเดียวกัน คือ ค่ามุมสัมผัสของน้ำที่ได้จากการใช้วิธีทำให้ผ้าฝ้ายแห้งด้วยการรีด มีค่าสูงกว่า 100 องศา โดยค่ามุมสัมผัสของน้ำจากการวัดด้วยโปรแกรม ImageJ มีผลต่างจากการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน ดังนี้ $135.694 - 122.616 = 13.078$ องศา

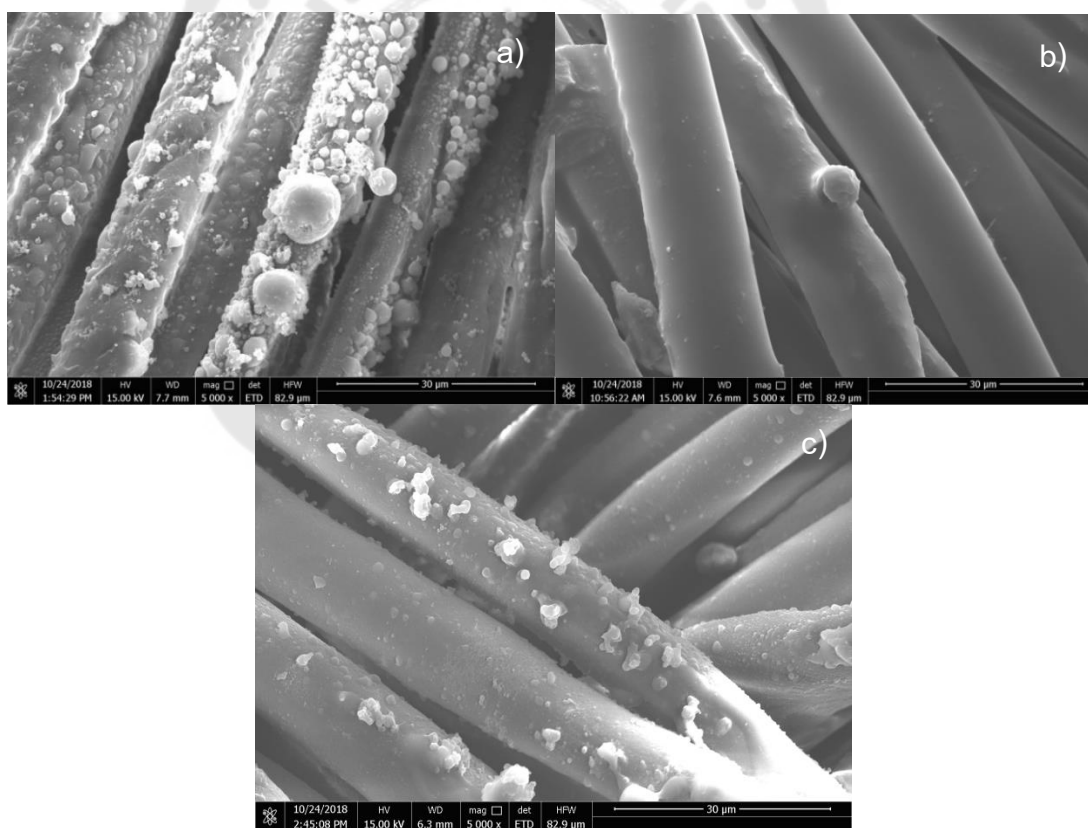


ภาพประกอบ 21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลจากการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำด้วยโปรแกรม ImageJ และเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัสของผ้าฝ้ายที่ใช้วิธีทำให้ผ้าฝ้ายแห้งด้วยวิธีต่างๆ

ตาราง 14 ค่ามูมสัมพัทธ์ของหยดน้ำจากเครื่องวิเคราะห์มูมสัมพัทธ์ของผ้าฝ้ายที่ใช้วิธีทำให้ผ้าแห้งด้วยวิธีต่างๆ

ความเข้มข้น (% w/v)	ค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ตากแดด	135.544 \pm 1.00
อบแห้ง	136.206 \pm 0.40
รีด	135.694 \pm 0.69

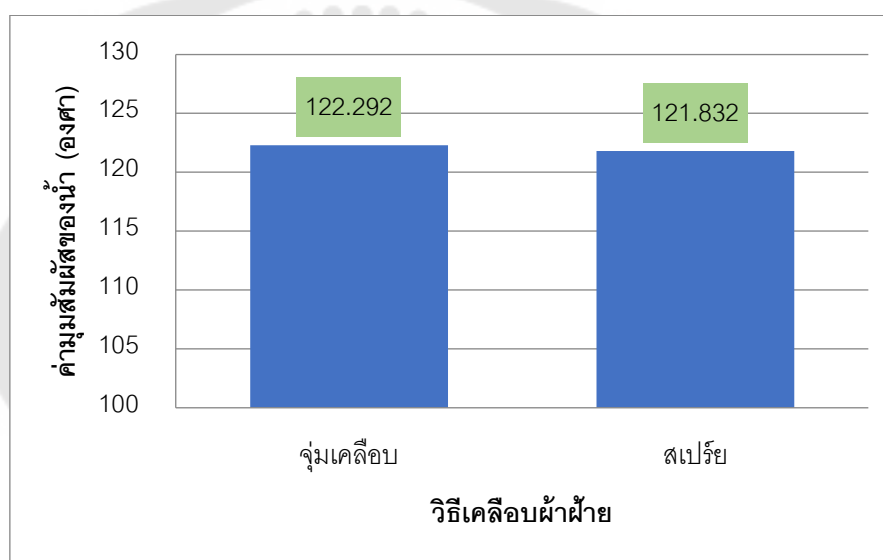
ภาพประกอบ 22 แสดงภาพ SEM ของเส้นใยผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงสมบัติกันน้ำโดยใช้วิธีทำให้ผ้าฝ้ายแห้งด้วย a) ตากแดด b) อบแห้ง และ c) รีด ที่กำลังขยาย 5000 เท่า



ผลของวิธีเคลือบผ้าฝ้ายที่มีผลต่อสมบัติการกันน้ำ

ผลจากการทดลองแสดงในภาพประกอบ 22 และตาราง 15 จากการวัดค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำด้วยโปรแกรม ImageJ ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติการกันน้ำด้วยสารละลายชันสน

และสารละลายสารส้มที่ความเข้มข้น 2 %w/v และใช้วิธีทำให้ผ้าฝ้ายแห้งด้วยการรีด และใช้วิธีเคลือบผ้าฝ้าย 2 วิธี คือ การจุ่มเคลือบ และสเปรย์สารละลาย พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติการกันน้ำมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 121.832 ถึง 122.292 องศา โดยวิธีจุ่มเคลือบใช้เวลาเตรียมทั้งหมด 30 นาที แต่วิธีสเปรย์สารละลายใช้เวลาเพียง 10 นาที และวิธีการจุ่มเคลือบและสเปรย์สารละลายให้ค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำใกล้เคียงกันมาก ในการพัฒนาวิธีการทดลองและบทปฏิบัติการเรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ นี้จึงได้เลือกใช้วิธีการสเปรย์สารละลายในการเคลือบผ้า เนื่องจากทำให้ได้ค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำที่สูงและเป็นวิธีที่ใช้เวลาน้อยที่สุดในการทดลองแต่ผลค่ามูมสัมพัทธ์ใกล้เคียงกับวิธีจุ่มเคลือบ



ภาพประกอบ 23 กราฟแสดงค่ามูมสัมพัทธ์ของหยดน้ำของผ้าฝ้ายที่ใช้วิธีเคลือบผ้าด้วยวิธีต่างๆ

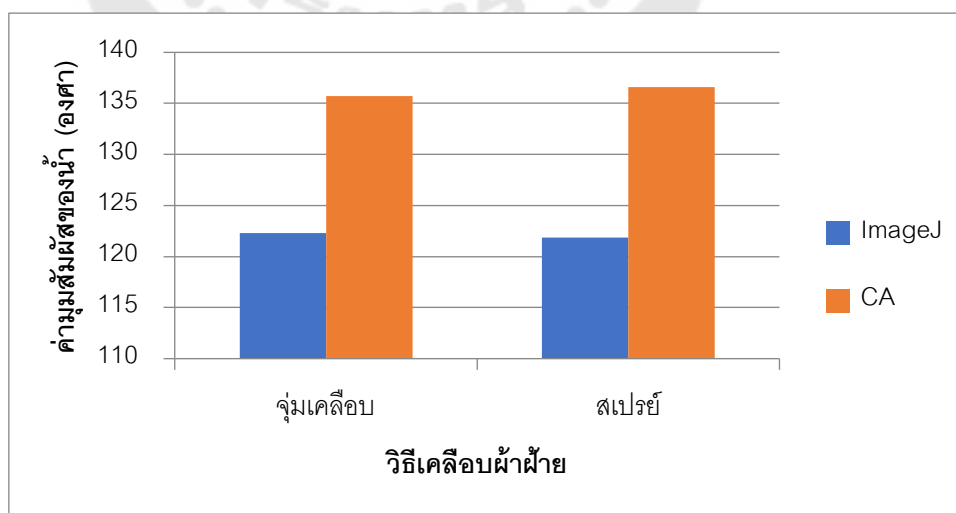
ตาราง 15 ค่ามูมสัมพัทธ์ของหยดน้ำของผ้าฝ้ายที่ใช้วิธีเคลือบผ้าด้วยวิธีต่างๆ

ความเข้มข้น (% w/v)	ค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
จุ่มเคลือบ	122.292 \pm 1.21
สเปรย์สารละลาย	121.832 \pm 0.92

การเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสของน้ำจากโปรแกรม ImageJ กับเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส (Contact angles analyzer) ของผลด้านวิธีเคลือบผ้าที่มีผลต่อสมบัติการกันน้ำ

จากการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำด้วยโปรแกรม ImageJ และเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติการกันน้ำด้วยสารละลายชันสนและสารละลายสารส้มที่ความเข้มข้น 2 %w/v และใช้วิธีทำให้ผ้าฝ้ายแห้งด้วยการรีด และใช้วิธีเคลือบผ้าฝ้าย 2 วิธี คือ การจุ่มเคลือบ และสเปรย์สารละลาย พบว่าค่ามุมสัมผัสของน้ำของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติการกันน้ำที่วัดด้วยโปรแกรม ImageJ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 121.832 ถึง 122.292 องศา ซึ่งวิธีการจุ่มเคลือบให้ค่ามุมสัมผัสของน้ำมากที่สุด คือ 122.292 องศา และค่ามุมสัมผัสของน้ำของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติการกันน้ำที่วัดด้วยเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 135.694 ถึง 136.617 องศา ซึ่งที่วิธีการสเปรย์สารละลายให้ค่ามุมสัมผัสของน้ำมากที่สุด คือ 136.617 องศา แต่พบปฏิบัติการต้องการวิธีที่ใช้เวลาน้อยที่สุดในการทดลองแต่ผลค่ามุมสัมผัสใกล้เคียงกับวิธีอื่นๆ จึงเลือกใช้วิธีการสเปรย์สารละลาย

เมื่อเปรียบเทียบผลจากการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำด้วยโปรแกรม ImageJ และเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส พบว่าทั้ง 2 วิธี วัดค่ามุมสัมผัสของน้ำได้ใกล้เคียงกัน คือ ค่ามุมสัมผัสของน้ำที่ได้จากการใช้วิธีเคลือบผ้าฝ้ายจากการสเปรย์สารละลาย มีค่าสูงกว่า 100 องศา โดยค่ามุมสัมผัสของน้ำจากการวัดด้วยโปรแกรม ImageJ มีผลต่างจากการวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัสซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน ดังนี้ $136.617 - 121.832 = 14.785$ องศา

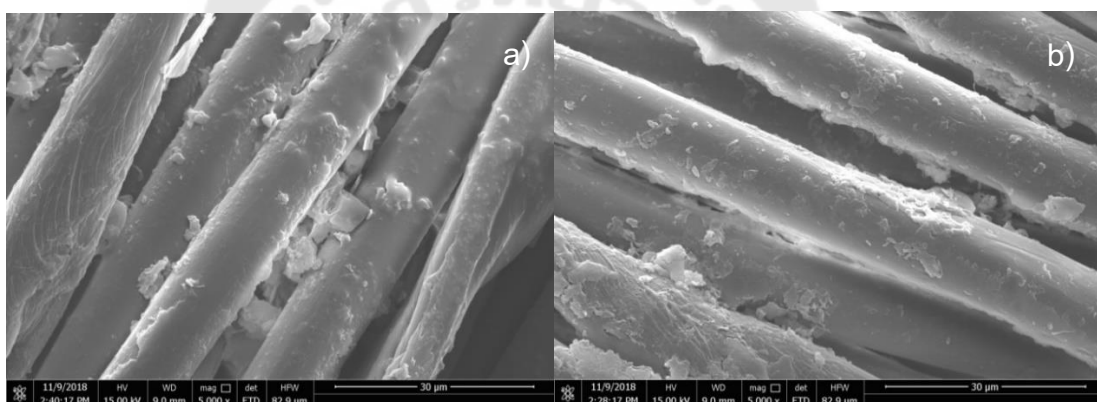


ภาพประกอบ 24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลจากการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำด้วยโปรแกรม ImageJ และเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัสของผ้าฝ้ายที่ใช้วิธีเคลือบผ้าฝ้ายด้วยวิธีต่างๆ

ตาราง 16 ค่ามูมสัมพัทธ์ของหยดน้ำจากเครื่องวิเคราะห์มูมสัมพัทธ์ของผ้าฝ้ายที่ใช้วิธีเคลือบผ้าด้วยวิธีต่างๆ

ความเข้มข้น (% w/v)	ค่ามูมสัมพัทธ์ของน้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
จุ่มเคลือบ	135.694 \pm 0.69
สเปรย์สารละลาย	136.617 \pm 0.82

ภาพประกอบ 25 แสดงภาพ SEM ของเส้นใยผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงสมบัติกันน้ำโดยใช้วิธีเคลือบผ้าด้วยวิธี a) จุ่มเคลือบ และ b) สเปรย์สารละลาย ที่กำลังขยาย 5000 เท่า



จากการพัฒนาวิธีการทดลองและบทปฏิบัติการ เรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อศึกษาการเตรียมผ้าฝ้ายให้มีสมบัติการกันน้ำ ได้พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้าย มีดังนี้ คือ 1) ความเข้มข้นของสารละลายชันสนและสารละลายสารส้มที่ใช้เคลือบผ้าฝ้าย 2) วิธีทำให้ผ้าฝ้ายแห้ง และ 3) วิธีเคลือบผ้าฝ้าย ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1

สมมติฐานข้อที่ 2 กิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ คือ นักเรียนร้อยละ 70 มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50

ผู้วิจัยได้พัฒนากิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากนั้นนำไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่งในจังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยจัดการเรียนรู้ตามกิจกรรมเสริมศึกษาที่พัฒนาขึ้นเพื่อหาแนวโน้มประสิทธิภาพของกิจกรรมเสริมศึกษาที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นโดยหาประสิทธิภาพจากเกณฑ์ คือ นักเรียนร้อยละ 70 มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 หมายถึง มีนักเรียนอย่างน้อยจำนวน 21 คน ที่มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ตั้งแต่ 40 คะแนนขึ้นไป โดยวัดจากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนด้วยกิจกรรมเสริมศึกษา ของนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน ได้ผลแสดงดังตาราง 28 ในภาคผนวก ค และจากการวิเคราะห์ข้อมูลตามสมมติฐานข้อที่ 2 ได้ผลแสดงดังตาราง 17

ตาราง 17 แสดงร้อยละจำนวนของนักเรียนที่มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนมากกว่า 40 คะแนน จากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี

ช่วงคะแนน	จำนวนนักเรียน (คน)	ร้อยละของนักเรียน (%)	ร้อยละของนักเรียนที่สอบผ่าน (%)
70-80	9	30	100
60-69	15	50	
50-59	3	10	
40-49	3	10	
30-39	0	0	
20-29	0	0	
10-19	0	0	
0-9	0	0	
รวม	30	100	

จากตาราง 17 แสดงให้เห็นจำนวนของนักเรียนที่มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนมากกว่า 40 คะแนน ซึ่งทดสอบโดยใช้แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นจำนวน 20 ข้อ คะแนนรวม 80 คะแนน พบว่ามีนักเรียนที่มีคะแนนหลังเรียนมากกว่า 40 คะแนน จำนวน 30 คน ซึ่งคิดเป็นร้อยละของนักเรียนที่สอบผ่านเท่ากับ 100 จึงสรุปได้ว่ากิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 100 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ที่นักเรียนร้อยละ 70 มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 เนื่องจากนักเรียนมีความสนใจและให้ความร่วมมือในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ เป็นอย่างดี และการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสเต็มศึกษาได้เปิดโอกาสให้นักเรียนร่วมกันทำงานเป็นทีม ในการแก้ไขปัญหาอย่างสร้างสรรค์ นักเรียนได้ลงมือทำด้วยตนเองร่วมกับสมาชิกในกลุ่ม เกิดการปฏิสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกในกลุ่มที่มีระดับความรู้ความสามารถที่ต่างกัน และกิจกรรมสเต็มศึกษาถูกออกแบบให้เชื่อมโยงแนวคิด เรื่อง พันธะเคมี ในเอกสารประกอบการสอนในห้องเรียนมาสู่การอธิบายผลการทดลอง การพัฒนาชิ้นงานของกลุ่มตนเอง จึงส่งเสริมการสร้างความรู้ผ่านการลงมือแก้ปัญหาจริงของนักเรียน ส่งผลให้กิจกรรมสเต็มศึกษาที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ และเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2

สมมติฐานข้อที่ 3 นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่เรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ มีคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนในกลุ่มทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ในการจัดกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ ผู้วิจัยได้เปิดโอกาสให้นักเรียนทำกิจกรรมสเต็มศึกษาร่วมกันเป็นทีม และจัดการเรียนรู้ตามขั้นตอนของ KOFAC (2012) 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1) การนำเสนอปัญหาที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง ผู้วิจัยได้สร้างสถานการณ์จากการนำเสนอข่าวปัญหาการขาดแคลนผ้าทอไทยตกต่ำ และรัฐบาลต้องการส่งเสริมราคาของผลิตภัณฑ์ผ้าทอไทยด้วยนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งผู้วิจัยได้นำเสนอนวัตกรรมเลียนแบบธรรมชาติ (Biomimicry) จากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ในสิ่งแวดล้อมใกล้ตัวนักเรียน เพื่อสร้างแรงบันดาลใจในการแก้ปัญหาด้วยนวัตกรรมเลียนแบบธรรมชาติให้แก่ นักเรียน และมอบหมายภารกิจให้นักเรียนแต่ละกลุ่มเป็นผู้รับผิดชอบในการส่งเสริมราคาของผลิตภัณฑ์ผ้าทอไทย ซึ่งในขั้นตอนนี้

จะช่วยกระตุ้นความสนใจ ความอยากรู้ และความตระหนักต่อการจำเป็นของการแก้ปัญหา เนื่องจากในการจัดกิจกรรมสเต็มศึกษานั้นจะต้องเริ่มจากการสนใจ ใคร่รู้ อยากรจะทำของตัวเอง นักเรียนเองเป็นหลักก่อนเสมอ



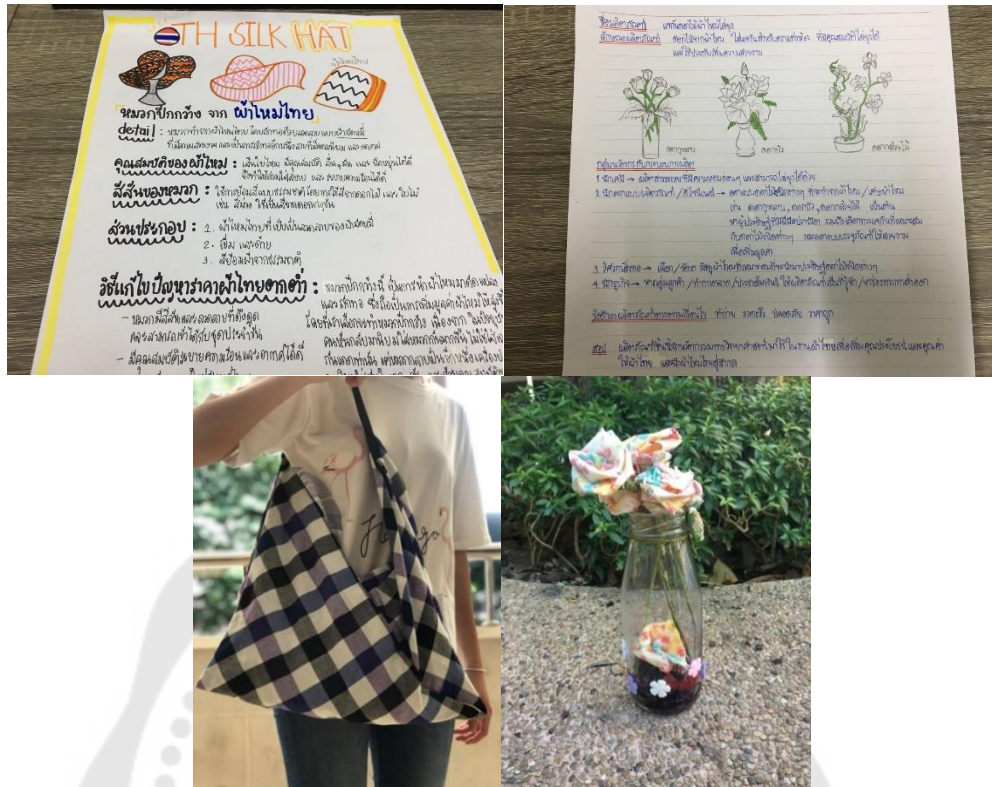
ภาพประกอบ 26 การนำเสนอปัญหาที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง

ขั้นตอนที่ 2) การออกแบบสร้างสรรค์ ผู้วิจัยได้นำเสนอปฏิบัติการการทำผ้าฝ้ายกันน้ำซึ่งเป็นนวัตกรรมเลียนแบบสมบัติการกันน้ำของผิวใบบัว และการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผ้าฝ้ายกันน้ำ โดยใช้โปรแกรม ImageJ เพื่อสร้างแรงบันดาลใจให้นักเรียนสู่การสร้างสรรค์ผลงานด้วยนวัตกรรมเลียนแบบธรรมชาติ และมุ่งให้นักเรียนสังเกตปัจจัยที่มีผลต่อการทำผ้ากันน้ำ เพื่อให้นักเรียนแต่ละกลุ่มค้นหาสาระที่ดีที่สุดในการทำผ้ากันน้ำด้วยตนเองเพื่อนำมาใช้ในการทำผลิตภัณฑ์จากผ้าไทยให้มีคุณสมบัติกันน้ำ จากนั้นให้นักเรียนช่วยกันออกแบบวิธีการแก้ปัญหาและร่วมกันเสนอความคิดเห็นในการส่งเสริมคุณค่าของผลิตภัณฑ์ผ้าทอพื้นเมือง เพื่อนำไปสู่การทดลองค้นหาแนวทางเพิ่มมูลค่า จากนั้นจึงนำผลการทดลองมานำเสนอแก่ครูและเพื่อนๆ เพื่อหาข้อดีและข้อด้อยของวิธีที่ทดลองของแต่ละกลุ่ม เพื่อนำไปปรับปรุง แก้ไข และพัฒนาผลงานของกลุ่มตนเองให้ดีขึ้น เพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหาราคาผลิตภัณฑ์ผ้าทอพื้นเมืองตกต่ำ ในขั้นตอนที่ 2 ของกิจกรรมสเต็มศึกษานี้ออกแบบมาเพื่อให้นักเรียนได้แก้ปัญหาและสร้างชิ้นงาน ตามสถานการณ์ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในสังคม สร้างการมีส่วนร่วมในการทำงานเป็นทีม และสร้างแรงจูงใจผ่านการลงมือปฏิบัติผ่านการแก้ปัญหามา จึงเป็นการเสริมสร้างทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมให้กับนักเรียน

ผู้วิจัยได้ประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ด้านการออกแบบผลงานของนักเรียนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ โดยใช้แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ซึ่งดัดแปลงเกณฑ์การประเมินมาจาก 21st Century Skills Standards Rubrics และ Creativity for 21st Century Skills (Jane Piirto. 2011) แบบประเมินนี้ประเมินโดยครูผู้สอน 2 ท่าน และกลุ่มของนักเรียนประเมินตนเอง ซึ่งเป็นแบบประเมินแบบมาตราประมาณค่า (Rating Scale) 4 ระดับ ที่มีเกณฑ์การให้คะแนน (Rubrics) ที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้น เมื่อประเมินการออกแบบผลงานของนักเรียน ทั้งก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยแบบประเมินฉบับเดียวกันปรากฏผลดังแสดงในตาราง 18 และแสดงดังภาพประกอบ 27-28



ภาพประกอบ 27 อุปกรณ์และสารเคมีในการทดลองเตรียมผ้ากันน้ำ

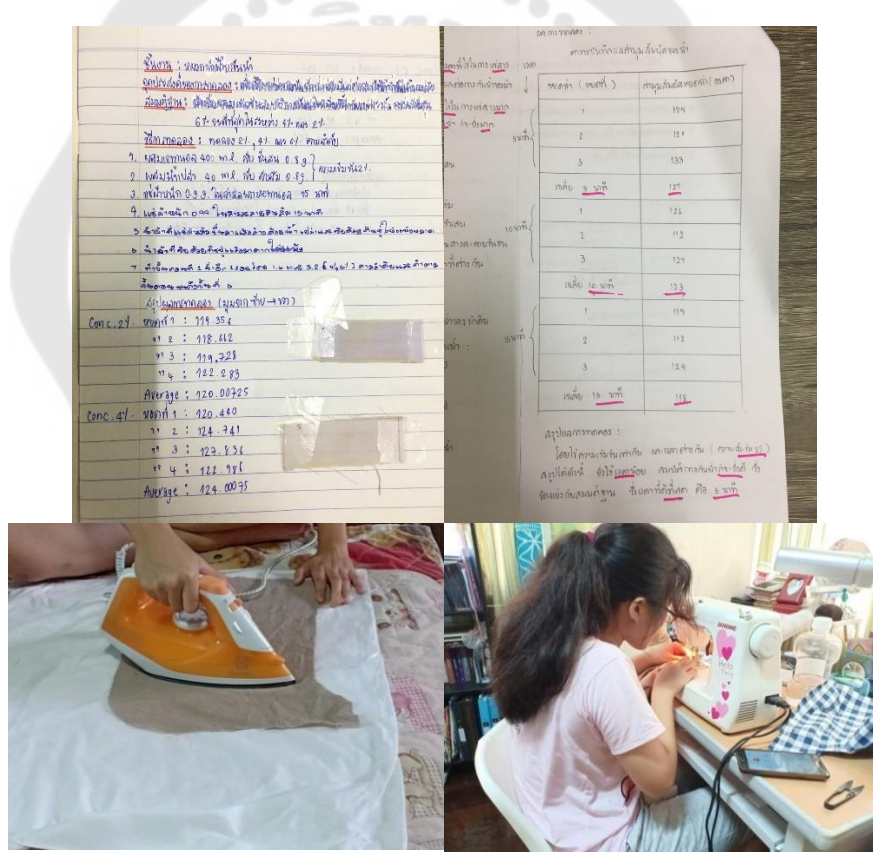


ภาพประกอบ 28 ตัวอย่างผลงานของนักเรียน

จากภาพประกอบ 28 พบว่า นักเรียนแต่ละกลุ่มสร้างความคิดที่แปลกใหม่เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์จากผ้าไทยที่มีสมบัติกันน้ำที่ไม่ซ้ำกับกลุ่มของเพื่อนร่วมชั้น เช่น นักเรียนกลุ่มที่หนึ่งออกแบบกระเป๋าจากผ้าขาวม้าที่มีคุณสมบัติกันน้ำ โดยได้ออกแบบให้มีรูปแบบทันสมัยและสามารถปรับเปลี่ยนรูปทรงของกระเป๋าได้ตามการสะพายที่เหมาะสมกับวัยรุ่นซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายของกลุ่มที่หนึ่ง นักเรียนกลุ่มที่สองออกแบบดอกไม้ประดิษฐ์จากเศษผ้าเหลือใช้ที่มีคุณสมบัติกันน้ำและมีกลิ่นของตะไคร้หอมที่สามารถไล่มดได้ ที่เหมาะกับวัยผู้ใหญ่ซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายของกลุ่มที่สอง นักเรียนกลุ่มที่สามออกแบบหมวกผ้ากันแดดสำหรับผู้หญิง ที่มีคุณสมบัติกันน้ำเพื่อใช้ในหน้าฝนที่เหมาะสมกับกลุ่มผู้หญิงซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายของกลุ่มที่สาม ซึ่งจากผลงานตัวอย่างจากทั้งสามกลุ่มแสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้แนวคิดดั้งเดิมสู่แนวคิดใหม่ที่แตกต่าง ส่งผลให้เกิดเป็นผลงานที่สร้างสรรค์ มีประโยชน์ สามารถใช้ได้จริง เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมาย และนำมาสู่การสร้างนวัตกรรมได้

นอกจากนี้ในกิจกรรมสเต็มศึกษายังประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ด้านการออกแบบผลงาน ของนักเรียนจากการออกแบบวิธีการทดลองการทำผ้ากันน้ำ โดยนักเรียนมีความคิดในการทดลองเรื่อง ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ ที่หลากหลายและแตกต่าง

กัน เช่น นักเรียนทุกกลุ่มให้ความสนใจเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ ในเรื่อง ความเข้มข้นของสารละลายขุ่นสนและสารละลายสารส้ม โดยต่างคาดคะเนว่าหากเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายทั้งสองมากขึ้นจะส่งผลให้มีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำสูงขึ้นส่งผลให้มีสมบัติ การกันน้ำดีขึ้น แต่ก็มีนักเรียนบางกลุ่มทำการทดลองที่ความเข้มข้นต่ำๆ เพื่อยืนยันผลการทดลอง ของการเพิ่มความเข้มข้นจะส่งผลให้มีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำสูงขึ้น และมีนักเรียนบางกลุ่มใช้วิธี ที่แตกต่างจากวิธีที่ผู้วิจัยนำเสนอในบทปฏิบัติการ โดยให้ความสนใจเกี่ยวกับการเคลือบสารละลาย ลงไปบนผ้า โดยเปลี่ยนจากการจุ่มเคลือบเป็นการสเปรย์สารละลาย หรือใช้การจุ่มเคลือบแต่ใช้ เวลาในการแช่ผ้าแตกต่างกันไป หรือใช้วิธีทำให้ผ้าแห้งด้วยการตากแดด ใช้ไดร์เป่าผม ใช้เตารีด ดังภาพประกอบ 29



ภาพประกอบ 29 การออกแบบการทดลองและสร้างผลงานของนักเรียน

จากการสังเกตการดำเนินกิจกรรมของนักเรียนแต่ละกลุ่มของผู้วิจัยทั้งในคาบเรียนและนอกเวลาเรียน พบว่า นักเรียนแต่ละกลุ่มมีการพูด อธิบาย และการให้เหตุผลความคิดของตนเอง ในการออกแบบผลงานของกลุ่มจากการแบ่งปันแนวคิดร่วมกัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเปิดใจ

ยอมรับฟังความคิดเห็นของคนอื่น และมีส่วนร่วมในการทำงานของกลุ่ม และผู้วิจัยยังพบว่านักเรียนทุกกลุ่มต่างพบกับปัญหาจากการทดลองหาสภาวะที่ทำให้ผลงานของกลุ่มตนเองกันน้ำไม่ได้ หรือจากการเพิ่มค่ามอดูลัสของหยดน้ำให้สูงขึ้น แต่นักเรียนก็ไม่ล้มเลิกความพยายามพยายามช่วยกันคิดหาวิธีแก้ปัญหา ปรับปรุงผลการทดลองต่อไป ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความตระหนักว่าในการทำงานแต่ละครั้งย่อมพบกับความล้มเหลวและความสำเร็จเป็นเรื่องปกติ และมองว่าความผิดพลาดเป็นโอกาสในการเรียนรู้รู้อย่างหนึ่ง และนำข้อผิดพลาดมาใช้พัฒนาผลงานให้ดีขึ้น

ดังภาพประกอบ 30



ภาพประกอบ 30 การดำเนินกิจกรรมของนักเรียนแต่ละกลุ่ม

ตาราง 18 แสดงผลคะแนนการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้าน การออกแบบผลงาน ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา

ทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้าน การออกแบบผลงาน					
กลุ่มของ นักเรียน	คะแนนเต็ม	ก่อนเรียน		หลังเรียน	
		คะแนน	ระดับทักษะ	คะแนน	ระดับทักษะ
1		13.33	พอใช้	25	ดีมาก
2		12	พอใช้	23.33	ดีมาก
3		14	พอใช้	24	ดีมาก
4	28	12.67	พอใช้	23.67	ดีมาก
5		13	พอใช้	24.33	ดีมาก
6		15	พอใช้	25	ดีมาก
7		12.67	พอใช้	25.33	ดีมาก
\bar{X}		13.24	พอใช้	24.38	ดีมาก
S.D.		0.99		0.69	
ร้อยละคะแนน		47.28		87.07	

จากตาราง 18 พบว่าจากการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้าน การออกแบบผลงาน ของนักเรียนแต่ละกลุ่มก่อนการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา มีคะแนนทักษะเฉลี่ยเท่ากับ 13.24 อยู่ในระดับพอใช้ แสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถช่วยกันคิด ออกแบบตามสถานการณ์ที่กำหนดไว้ให้ได้ และหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา มีคะแนนทักษะเฉลี่ยเท่ากับ 24.38 อยู่ในระดับดีมาก แสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถคิด ออกแบบตามสถานการณ์และเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากสามารถร่วมกันออกแบบวิธีทำผลงานได้สำเร็จอย่างละเอียด

ขั้นตอนที่ 3) การสร้างความรู้สึกจับใจ ผู้วิจัยได้เปิดโอกาสให้มีการจัดนิทรรศการแสดงผลภัณฑ์ของนักเรียนแต่ละกลุ่มผ่าน facebook โดยการนำเสนอเป็นวิดีโอโฆษณาผลภัณฑ์ของกลุ่มตัวเอง ซึ่งในขั้นตอนนี้ของกิจกรรมสเต็มศึกษาผู้วิจัยได้ประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้าน ผลงาน ของนักเรียน ทั้งก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยแบบประเมินฉบับเดียวกัน โดยประเมินจากคุณลักษณะของผลงาน วิธีใช้งาน และคุณสมบัติการกันน้ำของผลงาน

โดยใช้แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ซึ่งดัดแปลงเกณฑ์การประเมินมาจาก 21st Century Skills Standards Rubrics และ Creativity for 21st Century Skills (Jane Piirto. 2011) แบบประเมินนี้ประเมินโดยครูผู้สอน 2 ท่าน และกลุ่มของนักเรียนประเมินตนเอง ซึ่งเป็นแบบประเมินแบบมาตราประมาณค่า (Rating Scale) 4 ระดับ ที่มีเกณฑ์การให้คะแนน (Rubrics) ที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้น ปรากฏผลดังแสดงในตาราง 19 และแสดงดังภาพประกอบ 31



ภาพประกอบ 31 การนำเสนอวิดีโอโฆษณาผลิตภัณฑ์ของนักเรียนผ่าน Facebook

จากภาพประกอบ 31 พบว่า นักเรียนแต่ละกลุ่มสามารถสร้างผลงานจากความคิดสร้างสรรค์ของกลุ่มตนเองได้ โดยผลงานนั้นมีประโยชน์ สามารถใช้ได้จริง แม้จะมีคุณสมบัติการกั้นน้ำที่แตกต่างกันไปตามปัจจัยที่แต่ละกลุ่มทดลอง แต่โดยรวมมีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมากกว่า 100 องศา และพบว่านักเรียนแต่ละกลุ่มสามารถอธิบายวิธีการทำผลงานได้เข้าใจง่าย มีขั้นตอนสั้น ใช้เวลาน้อย สามารถทำตามได้ รวมทั้งตอบโต้กับกลุ่มผู้บริโภคที่เป็นกลุ่มเป้าหมายของกลุ่มตนเองด้วย

ตาราง 19 แสดงผลคะแนนการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้าน ผลงาน ก่อน และหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา

ทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้าน ผลงาน					
กลุ่มของ นักเรียน	คะแนนเต็ม	ก่อนเรียน		หลังเรียน	
		คะแนน	ระดับทักษะ	คะแนน	ระดับทักษะ
1		14	พอใช้	33.67	ดีมาก
2		15	พอใช้	31.67	ดีมาก
3		14	พอใช้	31.33	ดีมาก
4	40	15	พอใช้	31.33	ดีมาก
5		15	พอใช้	29.67	ดี
6		15.67	พอใช้	34.67	ดีมาก
7		15.33	พอใช้	35.67	ดีมาก
\bar{X}		14.86	พอใช้	32.57	ดีมาก
S.D.		0.63		1.98	
ร้อยละคะแนน		37.14		81.43	

จากตาราง 19 พบว่าจากการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้าน ผลงาน ของนักเรียนแต่ละกลุ่มก่อนการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา มีคะแนนทักษะเฉลี่ย เท่ากับ 14.86 อยู่ในระดับพอใช้ แสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถช่วยกันสร้างผลงานตาม สถานการณ์ที่กำหนดไว้ให้ได้ และหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา มีคะแนนทักษะ เฉลี่ยเท่ากับ 32.57 อยู่ในระดับดีมาก แสดงให้เห็นว่านักเรียนสามารถสร้างผลงานตามที่คิด ออกแบบ จากสถานการณ์และเงื่อนไขที่กำหนดให้ได้อย่างดี เนื่องจากสามารถร่วมกันสร้างผลงานได้ มีคุณสมบัติการกันน้ำตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

เมื่อประเมินการออกแบบและผลงานของนักเรียน ทั้งก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วย แบบประเมินฉบับเดียวกัน ปรากฏผลดังแสดงในตาราง 18 และ 19 จากนั้นรวมคะแนนประเมิน การออกแบบและผลงานของนักเรียนแต่ละกลุ่มก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็ม ศึกษาดังแสดงในตาราง 20 แล้วนำคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมก่อนและหลัง

เรียนของนักเรียนมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าร้อยละ และเปรียบเทียบผลต่าง โดยใช้วิธีการทางสถิติแบบ t-test for dependent samples ปรากฏผลดังแสดงในตาราง 21

ตาราง 20 แสดงผลรวมคะแนนการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ก่อนและหลัง การจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา

ผลรวมคะแนนการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม					
กลุ่มของ นักเรียน	คะแนนเต็ม	ก่อนเรียน		หลังเรียน	
		คะแนน	ระดับทักษะ	คะแนน	ระดับทักษะ
1		27.33	พอใช้	58.67	ดีมาก
2		27	พอใช้	55	ดีมาก
3		28	พอใช้	55.33	ดีมาก
4	68	27.67	พอใช้	55	ดีมาก
5		28	พอใช้	54	ดีมาก
6		30.67	พอใช้	59.67	ดีมาก
7		28	พอใช้	61	ดีมาก
\bar{X}		28.09	พอใช้	56.95	ดีมาก
S.D.		1.19		2.75	
ร้อยละคะแนน		41.32		83.75	

ตาราง 21 แสดงผลการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยและระดับของทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ก่อนและหลังเรียนของนักเรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ

ทักษะความคิด สร้างสรรค์และ นวัตกรรม	กลุ่มของ นักเรียน	คะแนน เต็ม	\bar{X}	S.D.	คิดเป็น ร้อยละ	ระดับ ทักษะ	t	df	p
ก่อนเรียน	7	68	28.09	1.19	41.32	พอใช้	-30.782 [*]	6	.000
หลังเรียน	7	68	56.95	2.75	83.75	ดีมาก			

*ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตาราง 21 แสดงให้เห็นว่าผลคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนก่อนการจัดการเรียนรู้และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 28.09 และ 1.19 ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 41.32 ซึ่งอยู่ในระดับพอใช้ และผลคะแนนเฉลี่ยหลังการจัดการเรียนรู้และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 56.95 และ 2.75 ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 83.75 ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก และสถิติทดสอบ t-test มีค่าเท่ากับ -30.782 มีค่าองศาอิสระเท่ากับ 6 และเลขนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า .05 แสดงว่าเมื่อนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย นักเรียนมีทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 3

สมมติฐานข้อที่ 4 แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่เรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ มีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนในกลุ่มทดลอง และมีคะแนนหลังเรียนสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนชั้น มัธยมศึกษาตอนปลาย ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ คือ แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง

พันธะเคมี จำนวน 20 ข้อ รวม 80 คะแนน ผ่านเกณฑ์ที่มีคะแนนมากกว่าหรือเท่ากับ 40 คะแนนขึ้นไป โดยใช้แบบวัดฉบับเดียวกันในการทดสอบก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ มีผลคะแนนดังตาราง 30 ในภาคผนวก ค จากนั้นนำผลคะแนนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้มาวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทางสถิติแบบ t-test for dependent samples ได้ผลแสดงดังตาราง 22

จากการทดสอบแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี พบว่าก่อนการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมstimศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฟ้าผ่ากันน้ำ นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 26.73 คะแนน และมีนักเรียนผ่านเกณฑ์เพียง 3 คน แต่หลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมstimศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฟ้าผ่ากันน้ำ นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 65.83 คะแนน และนักเรียนผ่านเกณฑ์ทั้งหมด 30 คน

ตาราง 22 แสดงผลการเปรียบเทียบผลคะแนนเฉลี่ยจากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ของกลุ่มทดลอง ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมstimศึกษา

ทดสอบแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	n	คะแนน		S.D.	t	df	p
		เต็ม	\bar{X}				
ก่อนเรียน	30	80	26.73	11.42	-17.183 [*]	29	.000
หลังเรียน	30	80	65.83	8.18			

*ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตาราง 22 แสดงให้เห็นว่าผลคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนก่อนการจัดการเรียนรู้และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 26.73 และ 11.42 ตามลำดับ และผลคะแนนเฉลี่ยหลังการจัดการเรียนรู้และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 65.83 และ 8.18 ตามลำดับ สถิติทดสอบ t-test มีค่าเท่ากับ -17.183 มีค่าองศาอิสระเท่ากับ 29 และเลขนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า .05 แสดงว่าเมื่อนักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมstimศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฟ้าผ่ากันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย นักเรียนมีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 4

จากนั้นนำข้อมูลผลคะแนนของนักเรียนกลุ่มทดลองจากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี มาสร้างเป็นตารางจำแนกจำนวนและร้อยละของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียน ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสเต็มศึกษา (ดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ค) พบว่า ก่อนการจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสเต็มศึกษานักเรียนกลุ่มทดลองส่วนใหญ่มีแนวคิดที่ไม่สมบูรณ์และคลาดเคลื่อนในแนวคิดย่อยหลายเรื่อง ได้แก่ 1) การเกิดพันธะไอออนิก 2) การเขียนสูตรและเรียกชื่อสารประกอบไอออนิก 3) สมบัติการละลายน้ำของสารประกอบไอออนิก 4) สมการไอออนิก และสมการไอออนิกสุทธิ และ 5) การเขียนสูตรและเรียกชื่อสารประกอบโคเวเลนต์ ตามลำดับ ยกเว้นแนวคิดย่อยเรื่อง สัญลักษณ์แบบจุดของลิวอิส และกฎออกเตต และการเกิดและเลขชนิดของพันธะโคเวเลนต์ ที่นักเรียนมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ และแนวคิดย่อยที่นักเรียนบางส่วนมีแนวคิดคลาดเคลื่อน และไม่มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ คือ เรื่อง สมบัติการนำไฟฟ้าของสารประกอบโคเวเลนต์ และ รูปร่างโมเลกุลตามทฤษฎี VSEPR และสภาพขั้วของโมเลกุล ตามลำดับ เพราะนักเรียนไม่ตอบคำถาม หรือคำตอบไม่เกี่ยวข้องกับคำถาม โดยลักษณะการตอบคำถามของนักเรียนก่อนการจัดการเรียนรู้ที่แสดงการมีแนวคิดที่ไม่สมบูรณ์และคลาดเคลื่อน เช่น

“ Cu_2S อ่านว่า คอปเปอร์(II)ซัลไฟด์ เกิดจาก $\text{Cu}^{2+} + \text{S}^{1-}$
และเมื่อนำสารมาทำปฏิกิริยากันแล้วจึงอยู่ในรูปสูตรโมเลกุล ”

นักเรียนคนที่ 30

“ CaCl_2 อ่านว่า แคลเซียมไดคลอไรด์ เนื่องจากมี Cl 2 ตัว
จึงต้องใส่คำว่า ได ลงไปข้างหน้าคลอไรด์ ”

นักเรียนคนที่ 13

หลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสเต็มศึกษา พบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้น และมีนักเรียนบางส่วนที่มีแนวคิดที่ไม่สมบูรณ์ ในแนวคิดย่อย เรื่อง 1) การเกิดพันธะไอออนิก และ 2) รูปร่างโมเลกุลตามทฤษฎี VSEPR และสภาพขั้วของโมเลกุล และมีแนวคิดที่ไม่สมบูรณ์และคลาดเคลื่อนในแนวคิดย่อย เรื่อง 1) สมการไอออนิกและสมการไอออนิกสุทธิ และ 2) การเขียนสูตรและเรียกชื่อสารประกอบโคเวเลนต์ โดยลักษณะการตอบคำถามของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้ที่แสดงการมีแนวคิดที่ไม่สมบูรณ์และคลาดเคลื่อน เช่น

“ โมเลกุลโคเวเลนต์ที่สมมาตรจะเป็นโมเลกุลไม่มีขั้วทั้งหมด เพราะมันหักล้างกันหมด ”

นักเรียนคนที่ 18

“ สมการไอออนิกมีสารที่เกิดตะกอน ”

นักเรียนคนที่ 1

ผู้วิจัยได้วัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ของกลุ่มทดลอง ซึ่งได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เทียบกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีสืบเสาะความรู้ (5E) ตามนโยบายของโรงเรียน โดยทั้ง 2 กลุ่มได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้ระยะเวลาเท่ากัน และใช้แบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นฉบับเดียวกัน มีผลคะแนนดังตาราง 32 ในภาคผนวก ค จากนั้นนำผลคะแนนหลังการจัดการเรียนรู้ทั้ง 2 กลุ่ม มาวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทางสถิติแบบ t-test for independent samples ได้ผลแสดงตาราง 23

ตาราง 23 แสดงผลการเปรียบเทียบผลคะแนนเฉลี่ยจากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังการจัดการเรียนรู้ ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

ทดสอบแนวคิดทางวิทยาศาสตร์	n	คะแนนเต็ม	\bar{X}	S.D.	t	df	p
กลุ่มทดลอง	30	80	65.83	8.18	0.729*	59	.469
กลุ่มควบคุม	30	80	64.30	8.12			

*ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตาราง 23 แสดงให้เห็นว่าผลคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนกลุ่มทดลองและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 65.83 และ 8.18 ตามลำดับ และผลคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนกลุ่มควบคุมและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 64.30 และ 8.12 ตามลำดับ สถิติทดสอบ t-test มีค่าเท่ากับ 0.729 มีค่าองศาอิสระเท่ากับ 59 และเลขนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .469 ซึ่งมีค่ามากกว่า .05 แสดงว่านักเรียนกลุ่มทดลองซึ่งได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฟ้าผ่ากันน้ำ มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีสืบเสาะความรู้ (5E) ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 4

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบกึ่งทดลอง เพื่อพัฒนาและศึกษาประสิทธิภาพของกิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากนั้นได้ทำการศึกษาประสิทธิผลของกิจกรรมเสริมศึกษาที่พัฒนาขึ้นในด้านทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม และแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ซึ่งสามารถสรุปสาระสำคัญของงานวิจัยได้ดังนี้

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

ในการวิจัยนี้มีความมุ่งหมายดังนี้

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้ม
2. พัฒนากิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ คือ นักเรียนร้อยละ 70 มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50
3. ศึกษาทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายหลังจากเรียนด้วยกิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ
4. ศึกษาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายหลังจากเรียนด้วยกิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ

สมมติฐานในการวิจัย

1. ความเข้มข้นของสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้ม วิธีทำให้ผ้าแห้ง และวิธีเคลือบผ้ามีผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้าย
2. กิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ คือ นักเรียนร้อยละ 70 มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50
3. นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่เรียนด้วยกิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ มีคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนในกลุ่มทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4. แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่เรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ มีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนในกลุ่มทดลอง และมีคะแนนหลังเรียนสูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 การพัฒนาวิธีการทดลองและบทปฏิบัติการ เรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำผ้ากันน้ำ เพื่อกำหนดจุดประสงค์ ขอบเขตและปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้าย เพื่อการพัฒนาวิธีการทดลองและบทปฏิบัติการ

2. ออกแบบวิธีการทดลองและทดลองทำบทปฏิบัติการเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้ายที่ดีที่สุด โดยได้ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้าย ดังนี้ คือ ผลของความเข้มข้นของสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้มที่ใช้เคลือบผ้าฝ้าย วิธีทำให้ผ้าฝ้ายแห้ง และวิธีเคลือบผ้าฝ้าย

3. ตรวจสอบผลการทดลองด้วยการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำด้วยโปรแกรม ImageJ เปรียบเทียบกับการวัดมุมสัมผัสของน้ำโดยใช้เครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส (Contact angles analyzer) พบว่า ค่ามุมสัมผัสของน้ำที่ได้จากการวัดด้วยโปรแกรม ImageJ และเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัสให้ผลไปในแนวทางเดียวกัน ซึ่งชี้ว่าการใช้โปรแกรม ImageJ สามารถใช้วัดค่ามุมสัมผัสของน้ำแทนเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัสได้ และสภาวะที่ทำให้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมีค่าสูงที่สุดคือ การใช้สารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้มเข้มข้น 2 %W/V อัตราส่วน 1:1 ในการเคลือบโดยการสเปรย์สารละลายลงบนผ้าฝ้าย และทำให้ผ้าแห้งด้วยการรีด

ส่วนที่ 2 การพัฒนาและศึกษาประสิทธิภาพของกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อกำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ ขอบเขตเนื้อหา การวัดและประเมินผล ในการสร้างกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

2. พัฒนากิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ และเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน พบว่า กิจกรรมสเต็มศึกษาที่พัฒนาขึ้นมีค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ

1.00

3. นำกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ ที่ผ่านการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่งในจังหวัดกรุงเทพมหานคร จำนวน 3 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 จำนวน 3 คน ครั้งที่ 2 จำนวน 15 คน และครั้งที่ 3 จำนวน 30 คน

4. หาคุณภาพของกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ โดยใช้เกณฑ์คือ นักเรียนร้อยละ 70 มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 หมายถึง มีนักเรียนอย่างน้อยจำนวน 21 คน ที่มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ตั้งแต่ 40 คะแนนขึ้นไป โดยวัดจากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา ของนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน พบว่า กิจกรรมสเต็มศึกษามีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 100 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้

ส่วนที่ 3 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวัดและประเมินผล

1. การสร้างแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ประกอบด้วยแบบประเมิน 2 ชุด คือ แบบประเมินการออกแบบผลงาน และแบบประเมินผลงาน ดำเนินการ ดังนี้

1.1 สร้างแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ซึ่งเป็นแบบประเมินแบบมาตราประมาณค่า (Rating Scale) 4 ระดับ โดยดัดแปลงเกณฑ์การประเมินมาจาก 21st Century Skills Standards Rubrics และ Creativity for 21st Century Skills (Jane Piirto : 2011) โดยเกณฑ์การประเมินประกอบด้วย 3 ลักษณะ ทั้งหมด 8 ข้อ คือ คิดอย่างสร้างสรรค์ 3 ข้อ ทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ 4 ข้อ ซึ่งเป็นเกณฑ์ในการประเมินการออกแบบผลงานของนักเรียน และการใช้นวัตกรรม 1 ข้อ ซึ่งเป็นเกณฑ์ในการประเมินผลงานที่นักเรียนสร้างขึ้น และการประเมินผลงานที่นักเรียนสร้างขึ้นยังพิจารณาจากปัจจัยต่าง ๆ คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต การออกแบบผลิตภัณฑ์ และการจัดการทรัพยากร

1.2 นำแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านเพื่อพิจารณาความสอดคล้องของแบบประเมินกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด พบว่ามีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.67-1.00 จากนั้น ผู้วิจัยจึงปรับปรุงและแก้ไขแบบประเมินตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

2. การสร้างแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ดำเนินการ ดังนี้

2.1 สร้างแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ชนิดถูก-ผิด พร้อมอธิบายเหตุผลประกอบ ในวิชาเคมีเรื่อง พันธะเคมี จำนวน 40 คำถาม โดยหนึ่งคำถามให้เลือกตอบถูกหรือผิด โดยต้องอธิบายเหตุผลประกอบคำตอบนั้นด้วยว่าเหตุใดจึงตอบว่า “ถูก” หรือ “ผิด”

2.2 นำแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน เพื่อพิจารณาความสอดคล้องของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์กับข้อคำถาม และจุดประสงค์การเรียนรู้ พบว่ามีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.33-1.00 จากนั้น ผู้วิจัยจึงปรับปรุงแบบวัดตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญในข้อที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องต่ำกว่า 0.50

2.3 นำแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างและเรียนเรื่อง พันธะเคมี แล้ว จำนวน 46 คน จากนั้นหาความยากง่าย (p) และอำนาจจำแนก (r) ของแบบวัดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี เป็นรายข้อ แล้วคัดเลือกข้อสอบซึ่งมีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.23 - 0.89 และมีค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.21-0.61 ให้อำนาจ 20 ข้อ

2.4 นำแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี มาวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่น (r_{tt}) ของแบบทดสอบทั้งฉบับ โดยคำนวณจากสูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาของ Cronbach โดยค่าความเชื่อมั่นมีค่าเท่ากับ 0.99

ส่วนที่ 4 การศึกษาประสิทธิผลของกิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฟ้าผ่ายกน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

ผู้วิจัยได้นำกิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฟ้าผ่ายกน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่มีประสิทธิภาพ ไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ให้กับนักเรียนกลุ่มทดลอง ซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 1 ปี การศึกษา 2561 ในโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่งในจังหวัดกรุงเทพมหานคร จำนวน 30 คน เพื่อศึกษาประสิทธิผลของกิจกรรมเสริมศึกษาทั้ง 2 ด้าน ได้แก่ ทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม และแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ดังต่อไปนี้

1.ด้านทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ดำเนินการ ดังนี้

1.1 นำแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่ได้ ไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 1 ปี การศึกษา 2561 ในโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่งในจังหวัดกรุงเทพมหานคร

1.2 ศึกษาประสิทธิผลของกิจกรรมเสริมศึกษาที่พัฒนาขึ้น ในด้านทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยเปรียบเทียบคะแนนจากแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ในกลุ่มทดลอง โดยใช้วิธีการทางสถิติแบบ t-test for dependent samples

2.ด้านแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ดำเนินการ ดังนี้

2.1 นำแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ที่ได้ ไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 1 ปี การศึกษา 2561 ในโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษแห่งหนึ่งในจังหวัดกรุงเทพมหานคร จำนวน 2 ห้องเรียน ที่ได้มาจากการเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (purposive sampling) ได้แก่ นักเรียนกลุ่มทดลอง 1 ห้องเรียน เป็นนักเรียนจำนวน 30 คน ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ และนักเรียนกลุ่มควบคุม 1 ห้องเรียน เป็นนักเรียนจำนวน 30 คน ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะความรู้ (5E)

2.2 ศึกษาประสิทธิผลของกิจกรรมสเต็มศึกษาที่พัฒนาขึ้นในด้านแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี โดยเปรียบเทียบคะแนนจากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์

2.2.1 เปรียบเทียบคะแนนจากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ของกลุ่มทดลอง โดยใช้วิธีการทางสถิติแบบ t-test for dependent samples

2.2.2 เปรียบเทียบคะแนนจากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังการจัดการเรียนรู้ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยใช้ วิธีการทางสถิติแบบ t-test for independent samples

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนากิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย สรุปผลได้ดังนี้

1. การเตรียมผ้าฝ้ายที่มีสมบัติกันน้ำ โดยการนำผ้าฝ้ายมาปรับปรุงสมบัติของพื้นผิวด้วยสารละลายชันสนและสารละลายสารส้มที่ความเข้มข้น 2 %w/v ในอัตราส่วนของชันสนต่อสารส้มคือ 1:1 และใช้อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อปริมาตรสารละลายที่ใช้เคลือบ (g:ml) คือ 1:40 และใช้วิธีการเคลือบผ้าแบบสเปรย์สารละลาย แล้วทำให้ให้ผ้าแห้งโดยการรีด พบว่าค่ามุมสัมผัสของน้ำที่วัดด้วยโปรแกรม ImageJ ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติการกันน้ำโดยวิธีสเปรย์สารละลายมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 121.832 องศา บ่งบอกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยกาสเปรย์สารละลายแล้วนั้นมีสมบัติการกันน้ำเพราะมีค่ามุมสัมผัสของน้ำมากกว่า 90 องศา

2. กิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย มีประสิทธิภาพร้อยละ 100 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ คือ นักเรียนร้อยละ 70 มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50

3. นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่เรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ มีคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนในกลุ่มทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4. คะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนกลุ่มทดลองที่เรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ มีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนกลุ่มทดลองที่เรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ มีคะแนนหลังเรียนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับคะแนนหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มควบคุมที่เรียนด้วยวิธีสืบเสาะความรู้ (5E)

อภิปรายผลการวิจัย

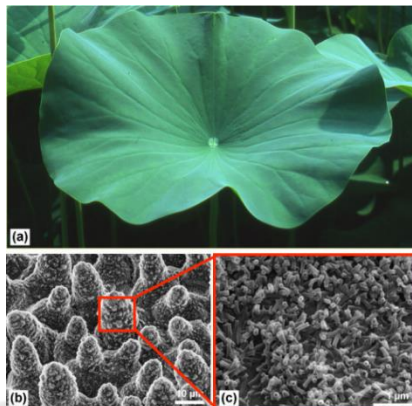
จากผลการพัฒนากิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย สามารถอภิปรายได้ดังต่อไปนี้

1. ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้าย คือ ความเข้มข้นของสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้ม วิธีทำให้ผ้าแห้ง และวิธีเคลือบผ้า

ความเข้มข้นของสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้ม วิธีทำให้ผ้าแห้ง และวิธีเคลือบผ้ามีผลต่อสมบัติการกันน้ำของผ้าฝ้าย โดยสภาวะที่ทำให้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมีค่าสูงที่สุด คือ การใช้สารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้มเข้มข้น 2 % W/V อัตราส่วน 1:1 ในการเคลือบโดยการสเปรย์สารละลายลงบนผ้าฝ้าย และทำให้ผ้าแห้งด้วยการรีด ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจาก

ปฏิบัติการ เรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ เป็นการสร้างชั้นเคลือบบนผิวผ้าฝ้ายเลียนแบบลักษณะชั้นเคลือบบนพื้นผิวของใบบัว (Biomimicry) ที่มีสมบัติการกันน้ำ เนื่องจากชั้นเคลือบบนพื้นผิวของใบบัวมีลักษณะเป็นตุ่มขนาดเล็กระดับนาโน-ไมโครเมตร เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทไข (Wax) ซึ่งเป็นสารประกอบโคเวเลนต์ที่โมเลกุลไม่มีขั้ว แต่โมเลกุลของน้ำ (H_2O) เป็นโมเลกุลที่มีขั้ว เมื่อน้ำหยดลงไปบนใบบัวจึงกลิ้งไปมาไม่เปียกเกาะติดบนผิวใบบัว (Eadie & Ghosh, 2011) ซึ่งหลักการนี้เป็นหลักการพื้นฐานในวิชาเคมี เรื่อง สมบัติการละลายของสารประกอบโคเวเลนต์ ดังที่กล่าวว่า สารประกอบโคเวเลนต์จะละลายในตัวทำละลายที่มีสภาพขั้วของโมเลกุลเหมือนกัน คือ โมเลกุลมีขั้วจะละลายในโมเลกุลมีขั้ว และโมเลกุลไม่มีขั้วจะละลายใน

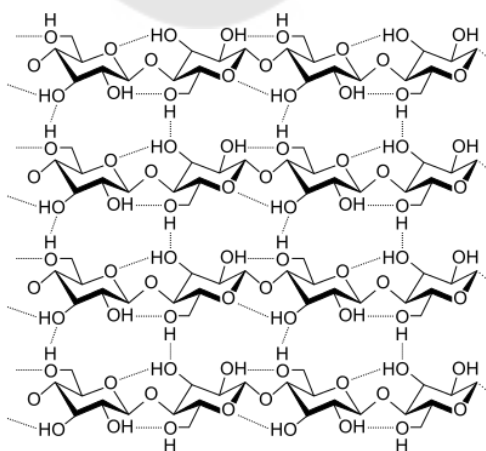
โมเลกุลไม่มีขั้ว (Like Dissolve Like) ซึ่งในปฏิบัติการ เรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ นั้นได้ใช้สารละลายชั้น
สนและสารละลายสารส้มในการสร้างชั้นเคลือบเลียนแบบบนผิวผ้าฝ้าย



ภาพประกอบ 32 แสดงพื้นผิวขรุขระระดับนาโนเมตร-ไมโครเมตรบนใบบัว

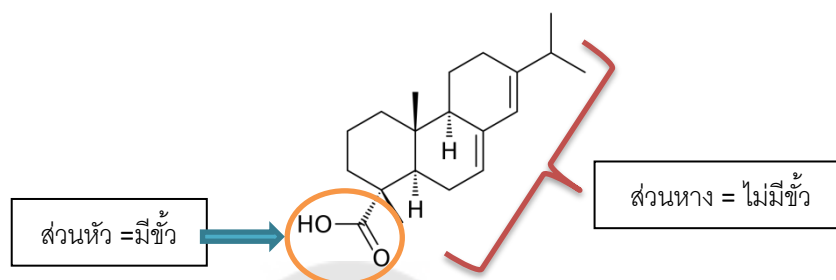
ที่มา: (Eadie & Ghosh, 2011)

ผ้าฝ้ายนั้นเป็นผ้าที่ทำมาจากเส้นใยธรรมชาติของฝ้ายมีส่วนประกอบเป็นเซลลูโลส 87-90 เปอร์เซ็นต์ และสารอื่น ๆ เช่น ไขมันและความชื้น เซลลูโลสของเส้นใยฝ้ายเป็นสารโมเลกุลใหญ่ประกอบด้วยกลูโคสในสายโซ่พอลิเมอร์ถึง 9,000-10,000 หน่วย จากภาพ 33 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของผ้าฝ้าย พบว่าโครงสร้างทางเคมีของผ้าฝ้ายเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (-OH) อยู่บนโครงสร้างจำนวนมากซึ่งแสดงสมบัติความมีขั้ว ทำให้ผ้าฝ้ายในสภาวะปกติจะเปียกน้ำได้ง่าย



ภาพประกอบ 33 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของผ้าฝ้าย

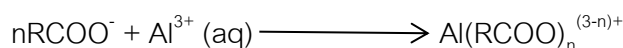
ชันสน (Rosin) เป็นยางไม้จากต้นสนที่มีองค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่ คือ กรดอะบีติก (Abietic acid : $C_{19}H_{29}COOH$) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทกรดคาร์บอกซิลิกที่โมเลกุลมีทั้งส่วนหัวที่มีขั้วและส่วนหางที่ไม่มีขั้ว (Hubbe, 2005) ดังภาพ 34



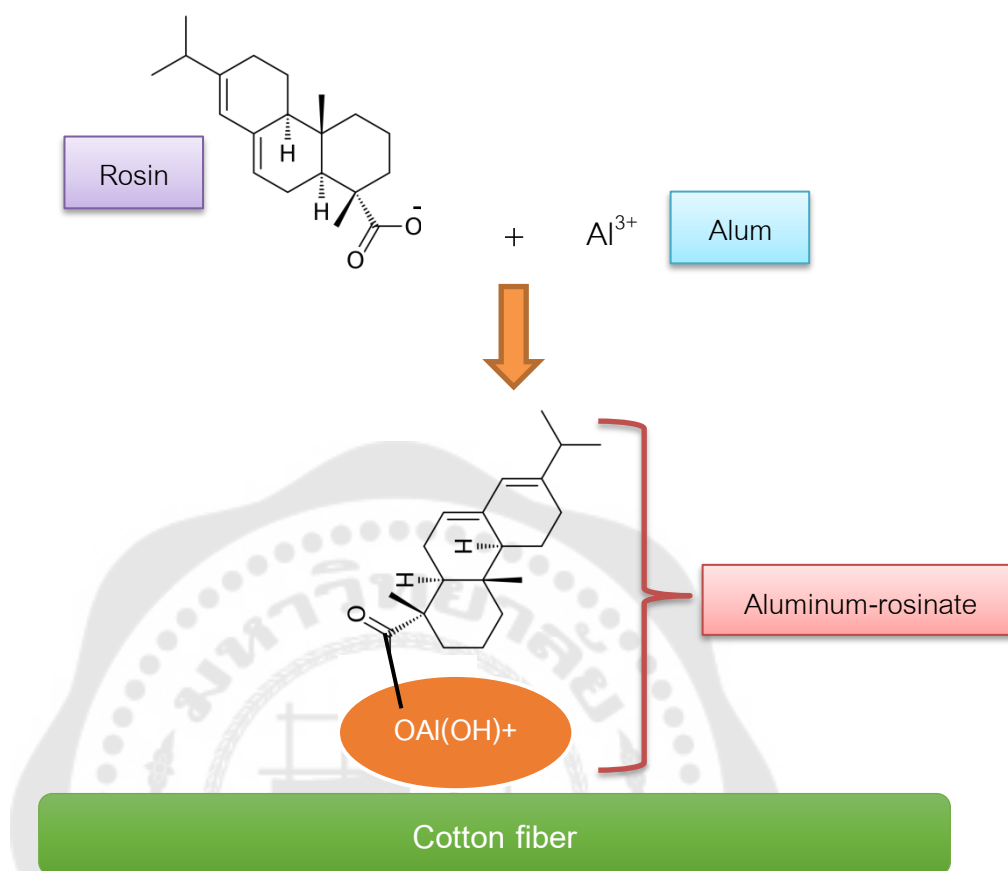
ภาพประกอบ 34 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของชันสน

เมื่อนำชันสนมาละลายด้วยเอทานอล (C_2H_5OH) ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำ ชันสนจึงสามารถละลายได้ ได้เป็นสารละลายชันสนที่พร้อมนำไปสเปรย์บนผ้าฝ้าย และสารส้ม หรืออะลูมิเนียม (alum) คือสารประกอบไอออนิกของไฮเดรตเต็ดโพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟต (โพแทสเซียมอะลูมิเนียม) สูตรเคมี คือ $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ เป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้ง่าย และนิยมใช้ในอุตสาหกรรมทำสีย้อม เนื่องจากเป็นสารประกอบที่มีไอออนของอะลูมิเนียม สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสูตรโครงสร้างทางเคมีของสีและเส้นใยของพืช ทำให้สีติดเส้นใยได้ดีขึ้น สีจึงเข้มขึ้น

เมื่อนำผ้าฝ้ายมาสเปรย์ด้วยสารละลายชันสนแล้วตามด้วยการสเปรย์สารละลายสารส้ม จะทำให้ อะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) จากสารส้มทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) บนโครงสร้างเส้นใยฝ้ายและเกิดปฏิกิริยากับหมู่กรดคาร์บอกซิลิกบนโมเลกุลกรดอะบีติก เกิดเป็นตะกอนของสารประกอบเอสเตออร์เรียกว่า อะลูมิเนียม-โรซิเนต (aluminum-rosinat) หรือ อะลูมิเนียม-โรซิเนต (alum-rosinat) ดังสมการ (Hubbe, 2005)

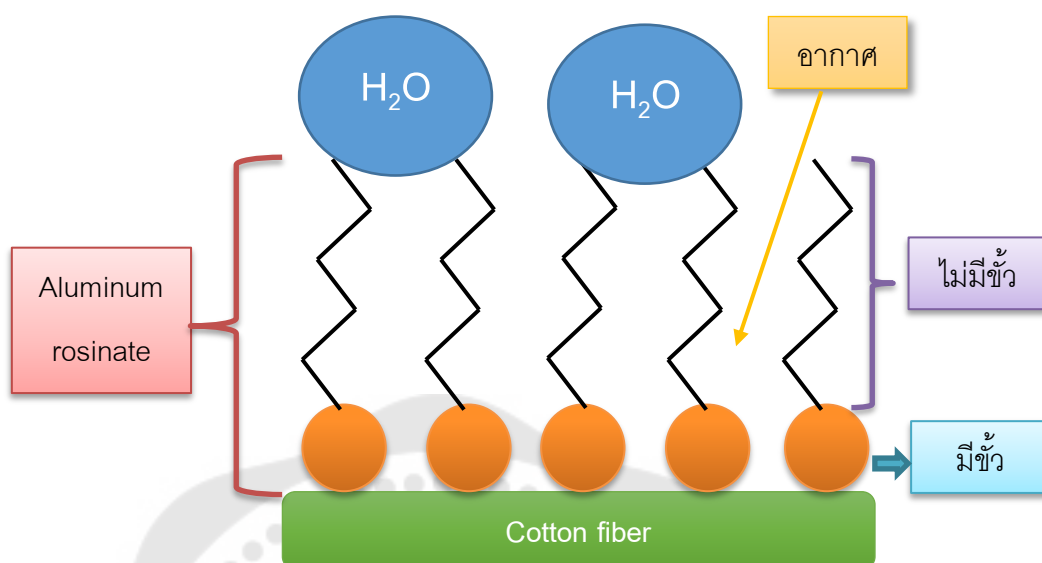


ทำให้เกิดการยึดเกาะโมเลกุลกรดอะบีติกบนเส้นใยผ้าฝ้าย โดยหันเอาส่วนหัวที่มีขั้วทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) บนผิวเส้นใยฝ้ายและหันเอาส่วนหางที่ไม่มีขั้วออกสู่ด้านนอก (Xu, Myers, & Hart, 2016) ดังภาพ 35

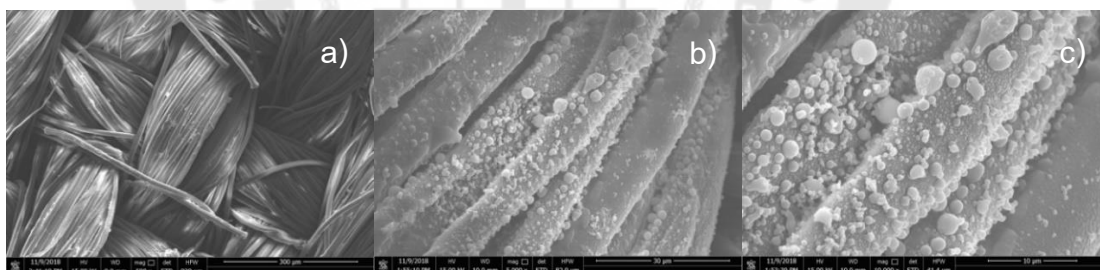


ภาพประกอบ 35 แสดงการเกิดปฏิกิริยาบนผิวเส้นใยผ้าฝ้าย

โดยปฏิกิริยาของหมู่กรดคาร์บอกซิลิกบนโมเลกุลกรดอะบิติกกับอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Al^{3+}) จากสารส้มนั้นจะเกิดเป็นเม็ดตะกอนทรงกลมสีขาวขนาดเล็ก ค่อยๆก่อตัวบนผิวของเส้นใยผ้าฝ้าย เกิดเป็นพื้นผิวขรุขระระดับนาโน-ไมโครเมตร จึงทำให้เกิดเป็นช่องว่างขนาดเล็กให้อากาศแทรกตัวอยู่ในชั้นเคลือบนี้ได้เป็นจำนวนมาก โดยอากาศที่ติดอยู่นี้ทำหน้าที่เป็นชั้นฟิล์มป้องกันการเปียกซึมของน้ำ (Seeharaj, Sripako, Promta, Detsri, & Vittayakorn) และบนอนุภาคอะบิติก-โรซิเนตมีสภาพพื้นผิวที่ปกคลุมไปด้วยส่วนหางของโมเลกุลกรดอะบิติกที่แสดงความไม่ขี้ขี้ว เมื่อหยดน้ำที่เป็นโมเลกุลมีขี้วลงไป น้ำจึงไม่สามารถละลายหรือผสมเข้ากับพื้นผิวดังกล่าวได้ ดังนั้นเมื่อทำการทดสอบสมบัติการกันน้ำ โดยการหยดน้ำลงไปบนผ้าฝ้ายที่ผ้าจึงทำให้หยดน้ำกลิ้งไปมา ไม่เปียกซึมลงไปบนผิวผ้า เพราะพื้นผิวผ้าฝ้ายมีลักษณะคล้ายกับพื้นผิวใบบัว (Liu, Chen, & Duan, 2006) ดังภาพ 36



ภาพประกอบ 36 แสดงสมบัติการกักน้ำของผ้าฝ้ายเมื่อการเคลือบด้วยสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้ม



ภาพประกอบ 37 ภาพจากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงพื้นผิวขรุขระระดับนาโนเมตร-ไมโครเมตร บนเส้นใยผ้าฝ้ายเมื่อการเคลือบด้วยสารละลายชั้นสนและสารละลายสารส้ม

A) กำลังขยาย 500X B)กำลังขยาย 5000X และ C) กำลังขยาย 10,000X

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้สามารถนำผลการทดลองมาออกแบบบทปฏิบัติการในกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกักน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลายได้

2. การพัฒนากิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

กิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย มีประสิทธิภาพร้อยละ 100 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ คือ นักเรียนร้อยละ 70 มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2 ทั้งนี้เนื่องจาก

กิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย พัฒนาขึ้นอย่างเป็นระบบบนข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ได้จากทดลองจึงทำให้ได้การทดลองที่มีขั้นตอนชัดเจน และกิจกรรมการเรียนรู้ ออกแบบให้ครอบคลุมแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี โดยผ่านการศึกษาตัวชี้วัดและผลการเรียนรู้ของหลักสูตรแกนกลางขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560) ของสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม สาระเคมี และยึดแนวการจัดการศึกษาที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง รวมถึงออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้บนพื้นฐานของการบูรณาการความรู้ 5 สาขาวิชาตามแนวทาง สเต็มศึกษาของ G. G. Yakman (2008) ได้แก่ 1) วิทยาศาสตร์ (S) คือ นวัตกรรมเลียนแบบธรรมชาติ (Biomimicry) และเนื้อหาวิชาเคมี เรื่อง พันธะเคมี 2) เทคโนโลยี (T) คือ การใช้โปรแกรม ImageJ ในการวัดค่ามุมสัมผัสของน้ำ และการใช้ Facebook เพื่อการนำเสนอผลิตภัณฑ์ฝ้ายกันน้ำ 3) วิศวกรรม (E) คือ การใช้กระบวนการทางวิศวกรรม 5 ขั้นตอน เพื่อระบุปัญหา รวบรวมข้อมูล ออกแบบและดำเนินการแก้ปัญหา ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน และนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา 4) ศิลปะ (A) คือ การใช้สถานการณ์ที่มาจากปัญหาของวัฒนธรรมไทย เรื่อง ปัญหาราคาผ้าทอไทยตกต่ำ เพื่อกระตุ้นและสร้างความตระหนักให้นักเรียนเห็นความสำคัญของการแก้ปัญหา และออกแบบรูปแบบของผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายเพื่อคำนึงถึงการนำไปใช้งานได้จริงที่ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค และ 5) คณิตศาสตร์ (M) คือ การคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิต และความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการเคลือบฝ้าย และจัดการเรียนรู้ตามขั้นตอนของ KOFAC (2012) 3 ขั้นตอน คือ 1) การนำเสนอปัญหาที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง 2) การออกแบบสร้างสรรค์ และ 3) การสร้างความรู้สึกลับใจ เพื่อให้นักเรียนได้แก้ปัญหาและสร้างชิ้นงาน ตามสถานการณ์ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในสังคม สร้างการมีส่วนร่วมในการทำงานเป็นทีม และสร้างแรงจูงใจผ่านการลงมือปฏิบัติผ่านการแก้ปัญหา ซึ่งแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสเต็มศึกษานี้เปิดโอกาสให้ผู้เรียนเรียนรู้ด้วยการลงมือ

ปฏิบัติด้วยตนเองในการแก้ปัญหา ด้วยการนำเสนอแนวคิดของตนเองในสิ่งที่เป็นนามธรรม ออกมาเป็นรูปธรรม คือ ผลงานหรือชิ้นงาน ซึ่งสอดคล้องกับการสร้างความรู้ตามทฤษฎีการเรียนรู้ Constructionism ที่เป็นการสร้างความรู้ผ่านการปฏิบัติ โดยนักเรียนจะได้เรียนรู้ผ่านกระบวนการสร้าง (Learning-by-Making) และมีวิธีนำเสนอด้วยวิธีที่ตนเองชอบ เช่น ชิ้นงาน หรือวัตถุตัวแทน ความคิด (Papert & Harel, 1991) ซึ่งความรู้ของผู้เรียนเกิดจากการทดลองและปฏิบัติงาน นักเรียนจึงสามารถเห็นผลการทดลองและอธิบายผลการทดลองด้วยหลักการและทฤษฎีจากเรื่อง พันธะเคมี ได้ง่าย จึงทำให้เกิดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง และการพัฒนากิจกรรมสเต็มศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ สมรัก อินทวิมลศรี (2560) ที่ได้พัฒนาการใช้แนวคิดสะเต็มศึกษาในวิชาชีววิทยาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 และของ วิภาวี ทะนานทอง and ปิยรัตน์ ตรีบัณฑิต (2019) ที่ได้พัฒนาชุดกิจกรรม STEAM วิชาพื้นฐาน เคมี เรื่อง ปฏิกริยาเคมี ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ผ่านการบูรณาการความรู้ 5 สาขาวิชาอย่างเป็นระบบ มีขั้นตอนของกิจกรรมและลำดับเนื้อหาที่ชัดเจนจึงส่งผลให้กิจกรรมมีประสิทธิภาพ

กิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์ และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่ผู้วิจัยสร้างได้รับการพิจารณาความเหมาะสม เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา 1 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดผลและวิจัยการศึกษา 1 ท่าน และครูผู้สอนวิชาเคมีระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย 1 ท่าน จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ทั้งในด้านความเหมาะสมขององค์ประกอบของและความสอดคล้องของบทเรียนที่พัฒนาขึ้นและนำไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างกลุ่มเล็กจำนวน 3 คน และกลุ่มกลางจำนวน 15 คน เพื่อดูความเหมาะสมของกิจกรรมที่ใช้และหาข้อบกพร่องของบทเรียน จากนั้น นำไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างกลุ่มใหญ่จำนวน 30 คน เพื่อศึกษากระบวนการจัดการเรียนรู้ และหาประสิทธิภาพของกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ตามเกณฑ์นักเรียนร้อยละ 70 มีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ซึ่งเป็นการพัฒนากิจกรรมอย่างเป็นระบบ จึงทำให้กิจกรรมสเต็มศึกษาที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด สอดคล้องกับงานวิจัยของ วรทยา มณีรัตน์ and ปิยรัตน์ ตรีบัณฑิต (2017) ที่พัฒนาการจัดการเรียนรู้โดยนำไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างกลุ่มเล็ก กลุ่มกลาง และกลุ่มใหญ่ เพื่อดูความเหมาะสมของกิจกรรมและหาข้อบกพร่องของ

แผนการจัดการเรียนรู้ก่อนนำไปใช้จริงกับกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ทำให้การจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้กิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย มีประสิทธิภาพร้อยละ 100 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ ร้อยละ 70 และสามารถนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างต่อไปได้

3. ทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย หลังจากเรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่เรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ มีคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนในกลุ่มทดลอง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 3 ทั้งนี้เนื่องจาก

การจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย เป็นการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการข้ามสาขาวิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี กระบวนการทางวิศวกรรม ศิลปะ และคณิตศาสตร์ ซึ่งแนวคิดนี้ช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนได้สร้างสรรค์นวัตกรรมใหม่ๆ และเพิ่มจำนวนผู้สร้างนวัตกรรมให้แก่ประเทศ เนื่องจากการสอนแบบสเต็มศึกษาให้ผู้เรียนได้คิดหลากหลายเพื่อเลือกคำตอบที่ดีที่สุดมาใช้ในการแก้ปัญหา (Divergent Thinking) แตกต่างจากการสอนแบบสะเต็มศึกษาเน้นให้ผู้เรียนได้คิดหาคำตอบที่ถูกเพียงคำตอบเดียวในการแก้ปัญหา (Convergent Thinking) (เจษฎา ชวนะไพศาล, 2017) และการเรียนรู้แบบสเต็มศึกษาสามารถเปลี่ยนแปลงกระบวนการเรียนรู้จากการที่นักเรียนเป็นผู้รับความรู้จากครูผู้สอนมาเป็นผู้แสวงหาความรู้ด้วยตนเองด้วยสื่อที่หลากหลาย และผ่านการลงมือปฏิบัติ เมื่อนักเรียนเกิดความสนใจอยากรู้ นักเรียนจะคิดหาวิธีในการเรียนรู้จนสามารถจำได้ เข้าใจ วิเคราะห์ สังเคราะห์ และเกิดการต่อยอดสร้างสรรค์สิ่งใหม่ๆ ได้ (วรรณพงษ์ เจริญโพธิ์, 2559)

การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสเต็มศึกษามีการบูรณาการกับกลุ่มวิชาศิลปศาสตร์ (Art) ร่วมกับการจัดการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ร่วมกันออกแบบและสร้างสรรค์ผลงานเพื่อแก้ไขปัญหาตามสถานการณ์ที่กำหนดไว้ จึงเป็นการพัฒนาสมองทั้งซีกซ้ายและซีกขวาอย่างสมดุล ซึ่งสามารถช่วยแก้ไขปัญหาให้นักเรียนที่มีผลการเรียนวิชาคณิตศาสตร์และวิชาวิทยาศาสตร์ต่ำได้ เพราะเป็นการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างวิทยาศาสตร์ (เน้นความคิดเชิงวิชาการ) กับศิลปะ

ศาสตร์ (เน้นความคิดเชิงสร้างสรรค์) ได้อย่างลงตัว ทำให้นักเรียนเกิดความคงทนในการเรียนรู้ (Y. Kim & Park, 2012) และการเรียนผ่านการจัดการศึกษาแบบสเต็มศึกษาจะเพิ่มขึ้นตอนในการออกแบบผลผลิตให้เหมาะสม สวยงาม เพื่อการนำไปใช้ต่อได้จริง ซึ่งจะช่วยเสริมความคิดสร้างสรรค์ สร้างแรงบันดาลใจ ความสุขในการเรียนรู้ รู้จักการทำงานเป็นทีม และนำไปสู่การเป็นนักประดิษฐ์ นักสร้างสรรค์นวัตกรรมในอนาคต (สิตยา ลังการ์พินธุ์, 2561)

โดยขั้นตอนการจัดกิจกรรมสเต็มศึกษาในงานวิจัยนี้อ้างอิงขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามกรอบแนวคิดของมูลนิธิแห่งประเทศไทยเพื่อพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (Korea Foundation for the Advancement of Science and Creativity (KOFAC), 2012) ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

ขั้นที่ 1 การนำเสนอสถานการณ์ปัญหาที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง ผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มนักเรียนให้ทำงานเป็นกลุ่ม จากนั้นนำเสนอข่าวจากกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม เรื่อง ราคาผ้าทอไทยตกต่ำ แล้วให้นักเรียนร่วมกันวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและหาวิธีแก้ไขลงในใบงานกิจกรรมสเต็ม “ชวนคิด ชวนทำ” เพื่อสร้างความตระหนักต่อความสำคัญของการแก้ปัญหา จากนั้นแนะนำให้นักเรียนรู้จักและเข้าใจกับคำว่า “นวัตกรรม” โดยยกตัวอย่างนวัตกรรมทางอาหารของขนมหม้อแกงปกติกับขนมหม้อแกงอบกรอบที่มีราคาต่างกันทั้งที่เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน เพื่อทำให้นักเรียนเห็นถึงความสำคัญของการใช้นวัตกรรมแก้ปัญหาและการสร้างนวัตกรรมนั้นไม่ใช่เรื่องยาก หรือไกลตัวที่นักเรียนสามารถทำได้ด้วยตนเอง หลังจากนั้นผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางแก้ไขปัญหาย่างสร้างสรรค์ด้วยนวัตกรรมเลียนแบบธรรมชาติ (Biomimicry) โดยการให้นักเรียนดูวิดีโอคลิปตัวอย่างสิ่งของหรือเทคโนโลยีที่เราได้รับแรงบันดาลใจมาจากธรรมชาติในชีวิตจริง เช่น การออกแบบหัวขบวนรถไฟชินคันเซนจากปากนกกระเต็น การออกแบบกังหันลมแอร์โรไดนามิกจากครีบวาฬหลังค่อม เพื่อสร้างแรงบันดาลใจแก่นักเรียนในการเรียนรู้การแก้ปัญหาจากสิ่งแวดล้อมใกล้ตัว และได้ให้นักเรียนไปช่วยกันสืบค้นนวัตกรรมที่ใช้กับสิ่งทอจากเว็บไซต์ของศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (NANOTEC) เพื่อจุดประกายแนวคิดและแรงบันดาลใจแก่นักเรียนในการออกแบบวิธีแก้ปัญหาราคาผ้าทอไทยตกต่ำของกลุ่มตนเอง ซึ่งในขั้นตอนนี้ช่วยกระตุ้นความสนใจ ความอยากรู้ และการสร้างความคิดที่หลากหลาย จากการระดมความคิดภายในกลุ่มของนักเรียนผ่านการสืบค้นข้อมูล การโต้แย้งถึงสาเหตุและการแก้ไขปัญหาย ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์ในการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของ Jane Piirto (2011) ที่กล่าวว่า ผู้เรียนสามารถสร้างความคิดที่หลากหลายผ่านการ ระดมความคิด หรือการโต้แย้งปัญหากับสมาชิก

ขั้นที่ 2 การออกแบบสร้างสรรค์ ผู้วิจัยได้ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มออกแบบผลิตภัณฑ์จากผ้าไทยที่ใช้ในวัตรกรรมทางวิทยาศาสตร์มาเพิ่มมูลค่า โดยการวาดภาพประกอบพร้อมระบุส่วนประกอบต่างๆ และอธิบายวิธีทำผลงานมาอย่างคร่ำๆ แต่มีเงื่อนไขคือ จะต้องคำนึงว่า วัตรกรรมที่เลือกมานั้นจะต้องทำได้ง่าย สะดวก ปลอดภัย และราคาถูก เหมาะสมกับการนำไปเผยแพร่สู่ชาวบ้านที่รอการช่วยเหลือ ซึ่งในขั้นตอนนี้ช่วยกระตุ้นให้นักเรียนร่วมกันคิดออกแบบผลิตภัณฑ์ของกลุ่มตนเองออกมาให้ใหม่ไม่ซ้ำกับเพื่อน โดยต้องมีประโยชน์และสามารถนำไปใช้ได้จริง จากการระดมความคิดภายในกลุ่มของนักเรียนผ่านการสืบค้นข้อมูล การถ่ายทอดประสบการณ์ส่วนตัว การให้เหตุผลประกอบการเสนอแนวคิดของตนเองต่อสมาชิกในกลุ่มร่วมกับความรู้เรื่องวัตรกรรมเลียนแบบธรรมชาติที่ผู้วิจัยได้นำเสนอไปมาใช้ในการออกแบบผลงาน ซึ่งในขั้นตอนนี้ชี้ให้เห็นว่านักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมมือกันทำงานอย่างเต็มที่ สามารถเปิดใจยอมรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่นได้ดีมาก ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์ในการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ และวัตรกรรมของ Jane Piirto (2011) หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ให้นักเรียนทำการทดลอง เรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ และการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผ้าฝ้ายกันน้ำโดยใช้โปรแกรม ImageJ และมุ่งเน้นให้นักเรียนร่วมกันสังเกตและบันทึกปัจจัยที่มีผลต่อการทำผ้ากันน้ำเท่าที่กลุ่มของตนเองสังเกตได้ เพื่อให้นักเรียนแต่ละกลุ่มร่วมกันออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่ส่งผลให้ได้ผ้ากันน้ำที่ดีที่สุดผ่านการอธิบายวิธีการทดลองเป็นแผนภาพ (Plane Lab) ลงในสมุดบันทึกประจำกลุ่ม จากนั้นนักเรียนได้ร่วมกันวางแผนการสร้างผลงานจากผ้าไทยในใบงานกิจกรรมสเต็ม “จากบทเรียนเคมี สู่วัตรกรรม” โดยในขั้นตอนนี้นักเรียนจะได้ร่วมกันวิเคราะห์ถึงต้นแบบผลงานที่เคยได้ออกแบบไว้ ว่าเหมาะสมกับการทำให้ผลงานมีคุณสมบัติกันน้ำหรือไม่ หากต้องปรับปรุงจะทำอย่างไรได้บ้าง เพื่อให้แปลกใหม่ น่าสนใจ และสามารถนำไปใช้ได้จริง โดยจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติการกันน้ำ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าผ้าไทยและตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค และเปิดโอกาสให้นักเรียนนำเสนอผลการทดลองให้เพื่อนและผู้วิจัยฟังเพื่อช่วยกันแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทดลอง และจากการสร้างผลงาน หลังจากนั้นจึงทำการปรับปรุงวิธีการทดลอง และสร้างผลงานให้ออกมาดีที่สุด

ขั้นที่ 3 การสร้างความรู้สึกรักใจ ผู้วิจัยให้นักเรียนร่วมกันจัดนิทรรศการแสดงผลภัณฑ์ของนักเรียนแต่ละกลุ่มผ่าน Facebook ด้วยวิดีโอโฆษณาผลิตภัณฑ์ของกลุ่มตัวเอง ซึ่งวิดีโอโฆษณาผลิตภัณฑ์นั้นจะต้องแสดงคุณลักษณะของผลงาน วิธีใช้งาน และคุณสมบัติการกันน้ำของผลงานออกมาร่วมด้วย ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นที่ให้ความสำคัญกับความรู้สึกนึกคิดของนักเรียนเป็นหลัก เพื่อให้นักเรียนได้แสดงความรู้สึก ความคิดเห็นที่มีต่อกิจกรรมสเต็มศึกษา และเพื่อสร้าง

ทัศนคติที่ดีต่อการเรียนวิชาเคมี และกระตุ้นให้อยากแก้ปัญหาอื่น ๆ ต่อไป ตัวอย่างความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อกิจกรรมสเต็มศึกษา มีดังต่อไปนี้

นักเรียน A : “ชอบ เพราะว่าเป็นกิจกรรมที่ได้ทดลองเยอะมาก ๆ และได้เรียนรู้สิ่งใหม่ๆ เพิ่มขึ้นเยอะมาก นอกจากนี้กิจกรรมนี้ยังทำให้ได้ฝึกทักษะการคิดแบบเป็นระบบ การทำงานเป็นทีม และได้ฝึกคิดหลักเป็นเหตุเป็นผลว่าความเข้มข้นไหนดีที่สุด”

นักเรียน B : “มีความรู้สึกตื่นเต้นและสนุกกับกิจกรรม แต่ในระหว่างการทำก็มักจะมีเจอบัปสรรค อย่างเช่น เพื่อนในกลุ่มว่างไม่ตรงกัน ทำให้งานสำเร็จยาก หรือแม้แต่ผ้าไม่กันน้ำ หรือกันน้ำได้น้อย”

นักเรียน C : “เป็นความรู้เพิ่มเติมที่ดี ไม่เคยรู้เกี่ยวกับการกันน้ำมาก่อนเลย แล้วได้มาลองทำจริง ๆ ก็ต้องคิดออกแบบผลงาน รวมถึงต้องทำการทดลองด้วย ไม่สำเร็จก็หลายรอบ ทำทายนิด”

นักเรียน D : “ได้ปฏิบัติแทนที่จะนั่งเรียนวิชาการ และสามารถทำให้สามารถนำไปต่อยอดเป็นอาชีพได้”

นักเรียน F : “คิดออกแบบนวัตกรรมที่แปลกใหม่และสามารถขายได้จริง”

จากความคิดเห็นของนักเรียนที่มีต่อกิจกรรมสเต็มศึกษานั้นสะท้อนให้เห็นว่าสถานการณ์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นและเงื่อนไขที่กำหนดให้แก่เรียนนั้นสามารถกระตุ้นความสนใจและทำทายนความอยากรู้อยากเห็นของนักเรียนได้ดี แม้ปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการออกแบบการทดลองและการสร้างผลงานให้มีสมบัติกันน้ำจะมีเล็กน้อยเพียงใด นักเรียนก็อดทน ไม่ยอมล้มเลิกการพัฒนาและปรับปรุงผลงานของกลุ่มตนเอง ซึ่งสอดคล้องกับเกณฑ์ในการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของ Jane Piirto (2011) ที่กล่าวว่า ผู้เรียนต้องมีความตระหนักว่าในการทำงานแต่ละครั้งย่อมพบกับความล้มเหลวและความสำเร็จเป็นเรื่องปกติ และมองว่าความผิดพลาดเป็นโอกาสในการเรียนรู้อย่างหนึ่ง และนำข้อผิดพลาดมาใช้พัฒนาผลงานให้ดีขึ้น

จากขั้นตอนและรูปแบบของกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ ที่กล่าวมาข้างต้นนี้ แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมสเต็มศึกษามีการทำงานเป็นขั้นตอน เปิดโอกาสให้นักเรียนคิดแก้ปัญหา และออกแบบสร้างสรรค์ ปรับปรุงผลงานของตนเองให้มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสเต็มศึกษาช่วยพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้ เนื่องจากมีองค์ประกอบสนับสนุน 3 ข้อที่มีในกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้ากันน้ำ คือ 1) การทำงานและคิดแก้ปัญหาพร้อมกันเป็นกลุ่ม (Collaboration) 2) การเปิดรับและแลกเปลี่ยนไอเดียซึ่งกันและกัน (Exposure to Ideas) จะช่วยขยายไอเดียของทั้งตนเองและผู้อื่นให้กว้างไกล

ขึ้นได้ และ 3) ประเมินไอเดียเดียวกัน (Evaluation of Ideas) ว่าวิธีแก้ปัญหาที่คิดขึ้นเหมาะสมหรือไม่ สามารถแก้ไขให้ดีขึ้นได้อีกหรือไม่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gregory, Hardiman, Yarmolinskaya, Rinne, and Limb (2013) ที่ได้ศึกษาการสอดแทรกความคิดสร้างสรรค์เข้าไปในห้องเรียนทำได้โดย ครูผู้สอนจัดกระบวนการเรียนรู้ผ่านประสบการณ์ตรง (experienced-based learning) ให้นักเรียนตั้งคำถาม คิด และค้นคว้าทดลองหาคำตอบเอง จนเมื่อเรียนรู้และเข้าใจองค์ความรู้พื้นฐานแล้ว ค่อยตั้งโจทย์ปัญหาบางอย่าง แล้วกระตุ้นให้นักเรียนลองเชื่อมโยงเนื้อหาเหล่านั้นไปยังบริบทที่ไม่เกี่ยวข้องกันเลย เพื่อฝึกนักเรียนให้ใช้องค์ความรู้หลากหลายด้านอย่างยืดหยุ่น รู้จักพลิกแพลง จากนั้นร่วมกันประเมินแนวทางหรือผลงานเหล่านั้นว่าเหมาะสม และแก้ไขเพิ่มเติมให้ดีขึ้นได้อีกหรือไม่ และงานวิจัยของ สมรัก อินทวิมลศรี (2560) ที่ได้ทำการศึกษาการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา ในวิชาชีววิทยาเพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยให้นักเรียนออกแบบเครื่องฟักไข่ให้มีคุณสมบัติตามที่กำหนดไว้ มีความแปลกใหม่ไม่ซ้ำกับเพื่อน ซึ่งพบว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาในวิชาชีววิทยาสามารถพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนได้ในระดับดีมาก เนื่องจากนักเรียนมีโอกาสได้ฝึกคิดเพื่อออกแบบสร้างสรรค์ผลงานให้มีหลากหลายแนวทางในการแก้ปัญหา และใช้ศิลปะในการสร้างและปรับปรุงผลงานเครื่องฟักไข่ให้มีความแปลกใหม่แตกต่างจากอุปกรณ์ต้นแบบ และงานวิจัยของ วิภาวี ทะนานทอง and ปิยรัตน์ ตรีบัณฑิต (2019) ที่ได้พัฒนาชุดกิจกรรม STEAM วิชาพื้นฐาน เคมี เรื่อง ปฏิริยาเคมี เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยให้นักเรียนออกแบบเรือของเล่นที่เคลื่อนที่ด้วยพลังงานจากปฏิริยาเคมีเพื่อแข่งขันกับเพื่อนกลุ่มอื่น ซึ่งพบว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาในเรื่อง ปฏิริยาเคมี ทำให้นักเรียนมีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมในด้านความคิดสร้างสรรค์ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และงานวิจัยของ Hadinugrahaningsih, Rahmawati, and Ridwan (2017) ที่ได้ทำการศึกษาการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา ในวิชาเคมีเพื่อพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 ซึ่งพบว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาในวิชาเคมีสามารถพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนได้ เนื่องจากการจัดสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ให้ท้าทายความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนในการออกแบบและสร้างตุ้ปลา

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนนักเรียนกลุ่มทดลอง หลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกัน

น้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4. แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย หลังจากเรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ ใน 2 กรณี คือ

4.1 คะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนกลุ่มทดลองที่เรียน ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ มีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 4 ทั้งนี้เนื่องจาก

การดำเนินการสร้างกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ ออกแบบให้ครอบคลุมแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี โดยผ่านการศึกษาค้นคว้าและผลการเรียนรู้ของหลักสูตรแกนกลางขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560) ของสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม สาระเคมี โดยจัดเรียงเนื้อหาให้สอดคล้องกับเอกสารประกอบการเรียนของโรงเรียน และพัฒนาบทปฏิบัติการขึ้นจากข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ได้จากการทดลองของผู้วิจัย จึงทำให้ได้การทดลอง เรื่อง ฝ่าฝ้ายกันน้ำ ที่มีขั้นตอนชัดเจน เข้าใจได้ง่าย เมื่อนักเรียนเรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษานี้จะได้ศึกษาเนื้อหา เรื่อง พันธะเคมี ผ่านบทปฏิบัติการเรื่อง ฝ่าฝ้ายกันน้ำ ตามขั้นตอนของกระบวนการทางวิศวกรรม 5 ขั้นตอน ดังนี้ 1) ระบุปัญหา: นักเรียนได้ร่วมกันวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดจากการทำให้ฝ้ายกันน้ำไม่ได้ หรือมีมุมสัมผัสหยดน้ำต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด 2) รวบรวมข้อมูล: นักเรียนได้ร่วมกันออกความคิดเห็นในการเชื่อมโยงความรู้จากเอกสารประกอบการเรียนมาใช้ในการปรับปรุงปัจจัยในการทดลองและอธิบายผลการทดลอง เช่น เรื่อง การอ่านชื่อสารประกอบ ใช้ในการสืบค้นข้อมูลของสารเคมีที่ใช้ในการทดลองและการเรียกชื่อของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจากการทดลอง เรื่อง โครงสร้างของสารประกอบโคเวเลนต์ ใช้ในการอธิบายสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสารประกอบโคเวเลนต์ที่ไปส่งผลให้ฝ้ายกันน้ำได้ และเรื่อง การละลายของสารประกอบไอออนิกและสารประกอบโคเวเลนต์ ใช้ในการอธิบายกระบวนการละลายของสารประกอบต่างชนิดพันธะในตัวทำละลายต่าง ๆ เพื่อเชื่อมโยงไปสู่การอธิบายกลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีในการทดลอง 3) ออกแบบและดำเนินการแก้ปัญหา: นักเรียนได้ร่วมกันคิดวิธีทดลองเพื่อปรับปรุงมุมสัมผัสหยดน้ำโดยใช้ความรู้พื้นฐานจากเรื่อง พันธะเคมี 4) ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหา: นักเรียนได้ทดสอบสมบัติการกันน้ำของผลิตภัณฑ์จากผ้าไทยของกลุ่มตนเองโดยใช้โปรแกรม ImageJ เพื่อยืนยันผลการทดลอง แล้วนำข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นกลับไปทบทวนความรู้จากเอกสารประกอบการเรียนเพื่อนำมาช่วยปรับปรุง

วิธีการทดลอง และ 5) นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา: นักเรียนได้ร่วมกันสรุปผลการทดลองที่ต้องเชื่อมโยงความรู้ในเรื่อง พันธะเคมี เพื่อนำผลการทดลองมานำเสนอแก่ครูและเพื่อนๆ เพื่อหาข้อดีและข้อด้อยของวิธีแต่ละกลุ่ม เพื่อนำไปปรับปรุง แก้ไข พัฒนาให้ดีขึ้น

ซึ่งบทปฏิบัติการนี้สามารถทำให้นักเรียนเห็นผลการทดลองจากการทำให้ผ้ากันน้ำน้ำ ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ในระดับมหภาค และอธิบายผลการทดลองของการทำให้ผ้ากันน้ำด้วยการใช้ภาพตัวแทนทางความคิดซึ่งเป็นปรากฏการณ์ในระดับจุลภาค ในการอธิบายกลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีในการทดลองและโครงสร้างทางเคมีที่เกิดขึ้นบนผิวของผ้า และสามารถใช้สัญลักษณ์ทางเคมีในการสื่อถึงสมการของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น เพื่อสรุปผลการทดลองได้ จึงส่งผลให้นักเรียนเกิดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ที่ถูกต้องขึ้นได้ ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีระดับความคิดทางเคมีของ Johnstone (1993) และด้วยการสร้างผลงานในกิจกรรมสเต็มศึกษา ยังเป็นการนำเสนอแนวคิดของนักเรียนในสิ่งที่เป็นนามธรรม ออกมาเป็นรูปธรรม ซึ่งสอดคล้องกับการสร้างความรู้ตามทฤษฎีการเรียนรู้ Constructionism ที่เป็นการสร้างความรู้ผ่านการปฏิบัติ โดยนักเรียนจะได้เรียนรู้ผ่านกระบวนการสร้าง (Learning-by-Making) และมีวิธีนำเสนอด้วยวิธีที่ตนเองชอบ เช่น ชี้นงาน หรือวัตถุตัวแทนความคิด (Papert & Harel, 1991) ซึ่งความรู้ของผู้เรียนเกิดจากการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองจากการปฏิบัติงาน โดยการสร้างทบทวนความรู้และสร้างใหม่ผ่านประสบการณ์ของแต่ละบุคคล (Ackermann, 2001) จึงส่งผลให้ผู้เรียนสามารถมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องขึ้นได้

ในขั้นตอนก่อนการนำเสนอผลการทดลองนักเรียนจะได้ร่วมกันอภิปรายผลการทดลองของกลุ่มตนเองเพราะการนำเสนอผลการทดลองครูผู้สอนได้กำหนดให้เชื่อมโยงกับความรู้จากเอกสารประกอบการเรียนประกอบการอธิบายผลการทดลองร่วมด้วย ซึ่งเมื่อมีสมาชิกในกลุ่มที่ยังไม่เข้าใจผลการทดลองและทฤษฎีที่ใช้ในการอธิบาย ก็จะมีการเติมเต็มเนื้อหาซึ่งกันและกัน จึงทำให้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องของนักเรียนภายในกลุ่มเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่นักเรียนที่มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องอยู่แล้วก็จะเกิดการพัฒนาความรู้ความเข้าใจมากขึ้นผ่านการอธิบายหรือการสอนให้กับสมาชิกคนอื่น ๆ ในกลุ่ม เนื่องจากการอธิบายหรือการสอนจะช่วยให้ผู้อธิบายเกิดการคิดทบทวนปรับโครงสร้างทางความคิดใหม่เพื่อสร้างเป็นคำอธิบาย (Webb, 1991) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Johnson, Johnson, and Smith (1998) และงานวิจัยของ Shachar and Fischer (2004) ที่พบว่า การเรียนรู้แบบร่วมมือในลักษณะกลุ่ม มีส่วนพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน และส่งผลดีอย่างยิ่งต่อนักเรียนกลุ่มอ่อนและกลุ่มปานกลางได้ดี เนื่องจากนักเรียนที่มีผลการเรียนอ่อนกว่าจะกล้าถามในสิ่งที่ตนเองไม่เข้าใจกับสมาชิกในกลุ่ม

มากกว่าถามครูผู้สอน และในการนำเสนอผลการทดลองแก่ครูผู้สอนและเพื่อนๆ หากพบว่านักเรียนยังมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ไม่สมบูรณ์หรือคลาดเคลื่อนจากการอธิบายผลการทดลอง ครูผู้สอนก็จะใช้โอกาสนี้ในการปรับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ให้ถูกต้องร่วมกับเพื่อนคนอื่นๆ ในชั้นเรียน มีจึงส่งผลให้ผู้เรียนสามารถมีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้องขึ้นได้

จากการทำปฏิบัติการ เรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ และนักเรียนได้ออกแบบวิธีทดลองการทำผ้ากันน้ำของกลุ่มตนเอง ทำให้นักเรียนเข้าใจแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ซึ่งประกอบไปด้วย 3 แนวคิดหลัก คือ หลักการของพันธะเคมี พันธะไอออนิก และพันธะโคเวเลนต์ เนื่องจากต้องนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบวิธีการทำผ้ากันน้ำของกลุ่มตนเองให้กันน้ำได้ดีที่สุด ส่งผลให้นักเรียนมีคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวิภาวี ทะนานทอง and ปิยรัตน์ ด้รบัณฑิต (2019) ที่ได้พัฒนาชุดกิจกรรม STEAM วิชาพื้นฐาน เคมี เรื่อง ปฏิกริยาเคมี ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ผลการวิจัยพบว่านักเรียนที่เรียนด้วยชุดกิจกรรม STEAM มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาพื้นฐาน เคมี เรื่อง ปฏิกริยาเคมี หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ จารีพร ผลมุล, สุนีย์ เหมะประสิทธิ์, and เกริก ศักดิ์สุภาพ (2015) ที่ได้พัฒนาหน่วยการเรียนรู้บูรณาการแบบ STEAM สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 กรณีศึกษา ชุมชนวังตะกอก จังหวัดชุมพร ผลการวิจัยพบว่านักเรียนเกิดการเชื่อมโยงความคิดแบบองค์รวม นำไปสู่ความคงทนในการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ และมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

แต่จากผลคะแนนของนักเรียนในตารางจำแนกจำนวนและร้อยละของแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสเต็มศึกษา (ดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ค) ที่พบว่าหลังการจัดการเรียนรู้โดยกิจกรรมสเต็มศึกษา นักเรียนส่วนใหญ่มีแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้น และมีนักเรียนบางส่วนที่มีแนวคิดที่ไม่สมบูรณ์ในแนวคิดย่อย เรื่อง 1) การเกิดพันธะไอออนิก และ 2) รูปร่างโมเลกุลตามทฤษฎี VSEPR และสภาพขั้วของโมเลกุล และมีแนวคิดที่ไม่สมบูรณ์และคลาดเคลื่อนในแนวคิดย่อย เรื่อง 1) สมการไอออนิกและสมการไอออนิกสุทธิ และ 2) การเขียนสูตรและเรียกชื่อสารประกอบโคเวเลนต์ เนื่องจากนักเรียนขาดความรู้พื้นฐานที่จำเป็นต่อการเรียนเรื่อง พันธะเคมี ดังนี้ 1) ตารางธาตุ เพราะนักเรียนต้องรู้ชื่อธาตุและหมู่ของธาตุเพื่อนำไปใช้ในการเขียนโครงสร้างทางเคมีและอธิบายสมบัติ 2) การจัดเรียงอิเล็กตรอน เพราะนักเรียนต้องใช้ในการเขียนอธิบายแผนภาพแบบจุดของลิวอิสในกระบวนการรับและจ่ายอิเล็กตรอน 3) นักเรียนเลือกที่จะใช้วิธีท่องจำในการเรียนและอธิบายผล

การทดลอง จึงไม่สามารถอธิบายถึงสาเหตุที่แท้จริงของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้ เช่น เมื่อให้นักเรียนอธิบายกระบวนการละลายน้ำของสารส้ม ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) พบว่ามีนักเรียนบางส่วนอธิบายว่าสารส้มละลายน้ำเนื่องจากเป็นสารประกอบที่มีโพแทสเซียมซึ่งอยู่หมู่ 1 โดยไม่ได้พิจารณาถึงพลังงานในการละลาย คือ พลังงานแลตทิซและพลังงานไฮเดรชัน ซึ่งสอดคล้องกับกับงานวิจัยของ โชติกุล รินลา (2559) ที่ได้ศึกษาผลของการจัดการเรียนการสอนโดยใช้การออกแบบการเรียนรู้จากการสร้างมโนภาพทางเคมีที่มีต่อตัวแทนทางความคิดทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีแนวคิดที่คลาดเคลื่อนในเรื่อง พันธะเคมี ทำให้แสดงความเข้าใจในทัศนเรื่อง พันธะเคมี ไม่ถูกต้อง เนื่องจากนักเรียนขาดความรู้พื้นฐาน ใช้วิธีท่องจำมากกว่าเข้าใจถึงสาเหตุของปรากฏการณ์ และนักเรียนขาดทักษะทางภาษาในการพูดหรือเขียนอธิบายทางวิทยาศาสตร์ และสอดคล้องกับกับงานวิจัยของ ณัชรุต เกื้อทาน (2011) ที่ได้ศึกษาแบบจำลองความคิดเรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนส่วนใหญ่มีแบบจำลองความคิดที่ไม่ถูกต้อง ในหัวข้อเรื่อง โครงสร้างของสารประกอบไอออนิก การนำไฟฟ้าของสารประกอบไอออนิก แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล และนักเรียนได้นำเอาประสบการณ์หรือคำอธิบายในชีวิตประจำวันมาใช้อธิบายพันธะเคมีและสมบัติของสาร

4.2 คะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนกลุ่มทดลองที่เรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ มีคะแนนหลังเรียนไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 กับคะแนนหลังเรียนของนักเรียนกลุ่มควบคุมที่เรียนด้วยวิธีสืบเสาะความรู้ (5E) ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 4 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก

จากตาราง 10 ที่เปรียบเทียบการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษาและการสืบเสาะความรู้ (5E) พบว่าลักษณะการจัดการเรียนรู้ทั้ง 2 แบบช่วยสนับสนุนการเรียนรู้และเสริมสร้างความเข้าใจในแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ให้แก่ผู้เรียนได้อย่างเท่าเทียมกัน โดยนักเรียนกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีสืบเสาะความรู้ (5E) จะสร้างองค์ความรู้ผ่านการปฏิบัติการทดลองและการอภิปรายร่วมกันระหว่างครูและนักเรียนเพื่อขยายความรู้ให้เชื่อมโยงกับชีวิตประจำวัน ส่วนนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ จะได้ศึกษาเนื้อหา เรื่อง พันธะเคมี ผ่านบทปฏิบัติการเรื่อง ฝ่าฝ้ายกันน้ำ ตามขั้นตอนของกิจกรรมสเต็มศึกษา ซึ่งจะมีการบูรณาการความรู้เรื่อง พันธะเคมี เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างผลงานจากผ้าไทยที่มีสมบัติการกันน้ำของกลุ่มตนเอง ซึ่งในการดำเนินการสร้างกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ้ายกันน้ำ ถูกพัฒนาให้กิจกรรมการเรียนรู้ครอบคลุมแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี และจัดเรียงเนื้อหาให้สอดคล้องกับเอกสาร

ประกอบการเรียนของโรงเรียน และครูผู้สอนได้จัดการเรียนการสอนให้นักเรียนได้ปฏิบัติการทดลอง 2 การทดลอง ตามเอกสารประกอบการเรียนของโรงเรียน ได้แก่ การทดลองที่ 1 เรื่อง การละลายน้ำและสมบัติของสารประกอบไอออนิก การทดลองที่ 2 เรื่อง รูปร่างโมเลกุลและมุมพันธะ โดยการทดลองที่ 3 ผู้วิจัยได้เสริมการทดลอง เรื่อง ผ้าฝ้ายกันน้ำ เข้าไปในบทเรียน จึงทำให้ไม่มีความแตกต่างของเนื้อหาที่ทั้งสองกลุ่มได้รับผ่านการจัดการเรียนรู้ทั้งสองแบบ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสติมศึกษานั้นสามารถสร้างความรู้ ความเข้าใจในแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ได้ไม่ต่างจากการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีสืบเสาะความรู้ (5E) แต่การจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสติมศึกษานั้นสามารถบูรณาการความรู้ เรื่อง พันธะเคมี เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในชีวิตจริงได้

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้คะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสติมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ มีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และการจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสติมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้าฝ้ายกันน้ำ นั้นสามารถสร้างแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี ให้แก่นักเรียนได้ไม่แตกต่างกับการสอนด้วยวิธีสืบเสาะความรู้ (5E)

ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะที่อาจเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจจัดการเรียนรู้หรือทำการศึกษาวิจัยต่อไป ดังนี้

1. ข้อเสนอแนะทั่วไป

1.1 การนำแนวคิดสติมศึกษาไปใช้ในการจัดการเรียนรู้จะต้องคำนึงถึงการบูรณาการความรู้ โดยต้องพิจารณาว่าอะไรคือความรู้หลักที่ต้องการให้นักเรียนได้รับ และอะไรคือความรู้เสริมหรือทักษะที่ต้องการพัฒนาเพิ่มเติม เพื่อจะได้พัฒนากิจกรรมสติมศึกษาให้ตรงจุดประสงค์

1.2 การเลือกใช้สถานการณ์ที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสติมศึกษาควรเป็นปัญหาที่ใกล้ตัวและเกิดขึ้นจริงในสังคม หรือในชีวิตประจำวันของนักเรียน เพื่อกระตุ้นความสนใจและตระหนักถึงความสำคัญของการร่วมมือกันแก้ปัญหาย่างสร้างสรรค์ ผ่านการเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ลงมือทำจริงผ่านการออกแบบ ทดลอง และสร้างผลงานของตนเอง

1.3 การพัฒนาการทดลองและบทปฏิบัติการในกิจกรรมสติมศึกษา ควรเลือกใช้วิธีทำการทดลองที่ไม่ซับซ้อน สามารถเลือกใช้อุปกรณ์และสารเคมีที่มีในครัวเรือน หาซื้อได้ง่าย ราคาถูก เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และเป็นวิธีการที่เข้าใจได้ง่ายสำหรับนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในการใช้ความรู้ที่มีในบทเรียนเพื่อสรุปผลการทดลอง

1.4 ครูผู้สอนควรติดตามกระบวนการแก้ปัญหาและให้คำแนะนำนักเรียนตลอดกิจกรรมสเต็มศึกษา เพื่อป้องกันการเกิดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่คลาดเคลื่อน จากการประยุกต์ใช้แนวคิดและการอธิบายผลการทดลองของนักเรียน

2. ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรทำการศึกษาวิจัยการจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสเต็มศึกษาต่อทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม ในศตวรรษที่ 21 ในด้านอื่น เช่น การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา ทักษะการสื่อสาร การทำงานร่วมกับผู้อื่น เป็นต้น เนื่องจากการจัดกิจกรรมสเต็มศึกษา ใช้การทำงานเป็นทีม จึงเหมาะสมที่พัฒนาทักษะดังกล่าวต่อไป

2.2 ควรทำการศึกษาวิจัยการจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสเต็มศึกษาผสมผสานกับวิธีการสอนที่ช่วยเสริมสร้างแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ถูกต้อง เช่น การจัดการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐาน

บรรณานุกรม

- A. D. McNaught, & A. Wilkinson. (1997). *Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the "Gold Book")*. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Ackermann, E. (2001). Piaget's constructivism, Papert's constructionism: What's the difference. *Future of learning group publication*, 5(3), 438.
- Chemistry Learner. (2018). Rosin Acid. Retrieved from <https://www.chemistrylearner.com/rosin-acid.html>
- Chiu, Y. C., Jenks, M. A., Richards-Babb, M., Ratcliff, B. B., Juvik, J. A., & Ku, K. M. (2016). Demonstrating the effect of surfactant on water retention of waxy leaf surfaces. *Journal of Chemical Education*, 94(2), 230-234.
- CMU. (2018). Cotton. Retrieved from <http://www.inc.science.cmu.ac.th/thai/index.php>
- Eadie, L., & Ghosh, T. K. (2011). Biomimicry in textiles: past, present and potential. An overview. *Journal of the royal society interface*, 8(59), 761-775.
- Gregory, E., Hardiman, M., Yarmolinskaya, J., Rinne, L., & Limb, C. (2013). Building creative thinking in the classroom: From research to practice. *International Journal of Educational Research*, 62, 43-50.
- Gudyanga, E., & Madambi, T. (2014). Students' misconceptions about bonding and chemical structure in chemistry. 24-40.
- Guilford, J. P. (1966). Intelligence 1965 Model. *American Psychologist* 21, 20-26.
- Hadinugrahaningsih, T., Rahmawati, Y., & Ridwan, A. (2017). *Developing 21st century skills in chemistry classrooms: Opportunities and challenges of STEAM integration*. Paper presented at the AIP Conference Proceedings.
- Haidar, A. H. (1997). Prospective Chemistry Teachers' Conceptions of the Conservation of Matter and Related Concepts. *Research in Science Education*, 34, 181-197.
- Hubbe, M. A. (2005). Acidic and alkaline sizings for printing, writing, and drawing papers. *The Book and Paper Group Annual*, 23, 139-151.
- Jane Piirto. (2011). *Creativity for 21st Century Skills*. In.
- Janine Benyus. (2015). What is Biomimicry? Retrieved from <https://biomimicry.org/what-is->

[biomimicry/](#)

- Johnson, D. W., Johnson, R. T., & Smith, K. A. (1998). Cooperative learning returns to college what evidence is there that it works? *Change: the magazine of higher learning*, 30(4), 26-35.
- Kim, H., & Chae, D.-H. (2016). The Development and Application of a STEAM Program Based on Traditional Korean Culture. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(7).
- Kim, Y., & Park, N. (2012). Development and application of STEAM teaching model based on the Rube Goldberg's invention. In *Computer science and its applications* (pp. 693-698): Springer.
- Korea Foundation for the Advancement of Science and Creativity (KOFAC). (2012). Policy directions of STEAM education: Introductory training of KOFAC STEAM. Retrieved from
- Kwon, S. B., Nam, D. S., & Lee, T. W. (2012). The effects of STEAM-based integrated subject study on elementary school students' creative personality. *Journal of the Korea society of computer and information*, 17(2), 79-86.
- Lafuma A, & Quéré D. (2003). Superhydrophobic states. *Nature Materials*, 2(7), 457-460.
- Liu, W., Chen, Z., & Duan, H. (2006). Sizing behavior of cationic dispersed rosin-ester on cellulose fibers. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 21(5), 586-590.
- Moomaw, S. (2012). STEM begins in the early years. *School Science and Mathematics*, 112(2), 57-58.
- Papert, S., & Harel, I. (1991). Situating constructionism. *Constructionism*, 36(2), 1-11.
- Partnership for 21st century skills. (2009). P21's Frameworks for 21st Century Learning. Retrieved from <http://www.battelleforkids.org/networks/p21/frameworks-resources>
- Rufo, D. (2013). STEAM with a Capital A: Learning Frenzy. Retrieved from <http://scholarship.claremont.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1016&context=steam.html>.
- Seeharaj, P., Sripako, K., Promta, P., Detsri, E., & Vittayakorn, N. Facile and eco-friendly fabrication of hierarchical superhydrophobic coating from eggshell biowaste.

International Journal of Applied Ceramic Technology.

Shachar, H., & Fischer, S. (2004). Cooperative learning and the achievement of motivation and perceptions of students in 11th grade chemistry classes. *Learning and Instruction, 14*(1), 69-87.

STEAM Education Company. (2017). Why STEAM Education. Retrieved from <https://steamedu.com/wpcontent/uploads/2016/12/WhySTEAMshortWeb2017.pdf>

Tepporn Lomarak, Chinda Tambunchong, Somson Wongyounoi, & Precharn Dechsri. (2013). การพัฒนาความเข้าใจมนมติ เรื่อง พันธะเคมี โดยใช้หน่วยการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับ ทฤษฎีกระบวนการสารสนเทศ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. วารสารศรีนครินทร วิทยุวิจัยและพัฒนา (สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์), 5(9), 81-98.

Torrance, E. P. (1964). *Encouraging Creativity in the Classroom*. Iowa: WM.C. Brown Company.

University of Florida. (2014). STEM vs. STEAM Girl Infographic. Retrieved from <https://www.americansforthearts.org/by-program/reports-and-data/legislation-policy/naappd/stem-vs-steam-girl-infographic>

Webb, N. M. (1991). Task-related verbal interaction and mathematics learning in small groups. *Journal for research in mathematics education, 22*(5), 366-389.

William Young, Li-Wei Peng, Stephen Carroll, Teresa Franklin, Chang Liu, & David Chelberg. (2009). An investigation of self-efficacy using educational video games developed by the GK-12 STEAM Project. *Society for Information Technology & Teacher Education International Conference*, 3695-3707.

Xu, L., Myers, J., & Hart, P. W. (2016). How to use alum with cationic dispersed rosin size. *Tappi Journal, 15*(5), 331-335.

Yakman, G. (2010). What is the point of STE@M? – A Brief Overview. Retrieved from www.steamedu.com.

Yakman, G. G. (2008). STEAM Education: an overview of creating a Model of integrative Education. Retrieved from <http://www.iteaconnect.org/Conference/PATT/PATT19/Yakmanfinal19.pdf>

กมลทิพย์ ไยรีอ่าง, & พรรณวิไล ชมขิด. (2016). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนพันธะเคมีและ

- การคิดอย่างมีวิจารณญาณของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่เรียนโดยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ 4 MAT. *Journal of Buriram Rajabhat University*, 8(2), 64-77.
- กมลรัตน์ มุลตรีบุตร, & และคณะ. (2558). การพัฒนาวัสดุตัวกรองที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วย การเคลือบด้วยอนุภาคซิลิกาที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว. (โครงการพิเศษ วท.บ. (เคมีอุตสาหกรรม)), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- กรมวิชาการกระทรวงศึกษาธิการ. (2544). แนวทางการนามาตรฐานหลักสูตรผู้การออกแบบการจัดการเรียนรู้และการวัดประเมินตามสภาพจริง. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.
- กิตติ กิตติศัพท์. (2547). การประเมินตามสภาพจริง. *วารสารโรงเรียนนายเรือ*, 4(4), 9-18.
- จารีพร ผลมุล, สุนีย์ เหมะประสิทธิ์, & เกริก ศักดิ์สุภาพ. (2015). การพัฒนาหน่วยการเรียนรู้บูรณาการแบบ STEAM สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 : กรณีศึกษา ชุมชนวังตะกอก จังหวัดชุมพร. *วารสารวิจัย มข. ฉบับสาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์* 3(2).
- เจษฎา ชวนะไพศาล. (2017). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง ทฤษฎีบทพีทาโกรัสโดยใช้การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนบางเลนวิทยา. *Veridian E-Journal, Silpakorn University (Humanities, Social Sciences and arts)*, 10(1), 297-312.
- ฉัตรทราวดี บุญอนอม, & อรพรรณ บุตรกตัญญู. (2015). การ จัด ประสพการณ์ บูรณาการ การ เรียน รู้ สเต็ม ศึกษา โดย การ ใช้ วรรณกรรม เป็น ฐาน เพื่อ พัฒนา ความ คิด สร้างสรรค์ ของ เด็ก ปฐมวัย. *วารสาร ศึกษา ศาสตร์ ปรัชญา*, 30(3), 186-196.
- โชติกุล รินลา. (2559). ผลของการจัดการเรียนการสอนโดยใช้การออกแบบการเรียนรู้จากการสร้างมโนภาพทางเคมีที่มีต่อตัวแทนความคิดทางวิทยาศาสตร์และเจตคติต่อการเรียนรู้เคมีของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย. (ครุศาสตร์มหาบัณฑิต (การศึกษาวิทยาศาสตร์)), จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย,
- เชลลุลอส. (2016). Retrieved from <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%80%E0%B8%8B%E0%B8%A5%E0%B8%A5%E0%B8%B9%E0%B9%82%E0%B8%A5%E0%B8%AA>
- ณัชชา สุพานิช, & และคณะ. (2558). การพัฒนาผ้าตัวกรองที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยการเคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์และสารคู่ควบเพื่อใช้ในการแยกน้ำมันจากน้ำ. (โครงการพิเศษ วท.บ. (เคมีอุตสาหกรรม)), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

- ณัฐวิจิตร ดิษเจริญ. (2557). การพัฒนาสื่อการเรียนรู้เรื่อง โครงสร้างอะตอมและพันธะเคมี ด้วยเทคโนโลยีออกเมนต์เรียลลิตี้. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม เพื่อการเรียนรู้, 5(1), 1-7.
- ดร.ชนัน พัทธวรากร. (2017). textile tecnology, 10. Retrieved from https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwj85832u_HhAhX18XMBHeHdBb8QjB16BAgBEAM&url=http%3A%2F%2Fwww.inc.science.cmu.ac.th%2Fthai%2Fupload%2Farticle%2Ffile%2F12-11-05-37a74.pdf&psig=AOvVaw1tX4g1PLhK5hmDVxDA80Sp&ust=1556495508740320
- ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย, & คณะ. (2012). เคมี 2 *Chemistry 10/e*. พญาไท. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แมคกรอ-ฮิล.
- ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย, & คณะ. (2012). เคมี 1 *Chemistry 10/e*. พญาไท. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แมคกรอ-ฮิล.
- ปวีณา ศรีทิพย์ศักดิ์, บัณฑิต วัฒนพิมพ์ทอง, & อภิสิทธิ์ สงสะเสน. (2017). แนวปฏิบัติในการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 และแนวคิดเรื่อง สารละลาย ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ด้วยการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงการโดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม เพื่อการเรียนรู้, 8(1), 123-140.
- พรณี ลีกิจวัฒน์. (2555). วิธีการวิจัยทางการศึกษา. กรุงเทพฯ: คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พัชรภรณ์ บัวระบัดทอง, & ไพโรจน์ เต็มเตชาติพงศ์. (2013). ความเข้าใจมโนคติทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธุกรรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เมื่อ ใช้วิธีการสอนแบบเปรียบเทียบ ร่วมกับการวัดและประเมินผลเพื่อพัฒนา. *Journal of Education Khon Kaen University (Graduate Studies Research)*, 7(3), 168-176.
- พาสณา จุลรัตน์. (2549). การศึกษาและการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ของนิสิตระดับปริญญาตรี. กรุงเทพฯ: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- เพชรศิรินทร์ ตุ่นคา. (2559). การพัฒนาชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่อง สารชีวโมเลกุล:โปรตีน และลิพิดเพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. (ปริญญาโท มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ).
- มนตรี เพ็ชรทองคำ. (2536). พีชเศรษฐกิจ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- มานิช นาคสาทา. (2557). กรรมวิธีผลิตผ้าฝ้ายก้นน้ำ Retrieved from

https://prcmu.cmu.ac.th/perin_detail.php?perin_id=600

ยศวีร์ สายฟ้า. (2555). การเสริมสร้างวิทย์ เทคโนโลยี ศิลปศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ด้วย STEAM Model. Retrieved from

http://www.education.com/workshop_download_handout_Download.php?id=60&page=4

ลัดดาวัลย์ บุญณะ, & จรรยา ดาสา. (2017). แนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่อง สารละลาย ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย High School Students' Understanding of Solution Concepts. วารสารศึกษาศาสตร์ปริทัศน์, 32(2), 10-17.

เลิศนารี รอดกำเนิด, & ชลาธิป สมาชิกโต. (2559). ผลการจัดประสบการณ์แบบโครงการโดยใช้แนวคิดสะเต็มศึกษามหาวิทยาลัยแม่โจ้ในท้องถิ่นจังหวัดสมุทรสงครามที่มีต่อความเข้าใจในทัศนศาสตร์ของเด็กปฐมวัย. วารสารศึกษาศาสตร์ปริทัศน์, 31(1), 93-100.

วรรณพงษ์ เตริยมโพธิ์. (2559). ชุดสื่อการเรียนรู้วิชาวิทยาศาสตร์สะเต็มศึกษา เล่มที่ 5. กรุงเทพฯ: โรงเรียน คอมพิวเตอร์อัจฉริยะภาพ.

วิรัชยา มณีรัตน์, & ปิยรัตน์ ดรบัตนทิต. (2017). การพัฒนาทักษะกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรด-เบส โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้, 8(2), 297-306.

วิภาวี ทะนานทอง, & ปิยรัตน์ ดรบัตนทิต. (2019). การเปรียบเทียบผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษากับกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (5E) เรื่อง ปฏิกิริยาเคมี สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาตอนปลาย. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้, 9(2), 119-131.

วิสูตร โพธิ์เงิน. (2560). STEAM ศิลปะเพื่อสะเต็มศึกษา: การพัฒนาการรับรู้ความสามารถและแรงบันดาลใจให้เด็ก. *Journal of Education Studies*, 45(1), 320-334.

สงบ ลักษณะ. (2544). การวัดและประเมินตามสภาพจริง. Retrieved from

<http://www.moe.go.th/main2/article/article-sagob/assess.htm>

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2554). หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 1. ลาดพร้าว กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ สกสค.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557). เอกสารการจัดกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษา. กรุงเทพฯ.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2560). เอกสารการชี้แจงตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์(ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐). กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.

สมรัก อินทวิมลศรี. (2560). ผลของการใช้แนวคิดสะเต็มศึกษาในวิชา ชีววิทยา ที่มีต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. (วิทยานิพนธ์ (ค.ม.)), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สารส้ม. (2018). Retrieved from

<https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%A%E0%B9%89%E0%B8%A1>

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2560). เอกสารชี้แจงมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และสาระภูมิศาสตร์ ในกลุ่มสาระการเรียนรู้สังคมศึกษา ศาสนา และวัฒนธรรม (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560). กรุงเทพฯ: กระทรวงศึกษาธิการ.

สำนักบริหารงานการมัธยมศึกษาตอนปลาย สพฐ. (2560). แนวทางจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21. Retrieved from

https://webs.rmutl.ac.th/assets/upload/files/2016/09/20160908101755_51855.pdf

สิตยา ลังการ์พินธุ์. (2561). เต็ม STEM ให้เต็ม STEAM. Retrieved from <http://slideplayer.in.th/slide/2764416/>

โสธญา สัมเขียวหวาน. (2557). ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระดาษอย่างง่ายจากเปลือกกล้วยสดและจากผลผลิตเหลือทิ้งหลังการหมักเอทานอล. (วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมเคมี)), มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

ไสว พักขาว. (2559). ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21. Retrieved from <http://www.manage.mju.ac.th/openFile.aspx?id=MjI5Mzc3>

หทัยภัทร ไกรวรรณ, & ปัทมาวดี เล่ห์มิ่งคล. (2017). การ จัด ประสบการณ์ การ เรียน รู้ แบบ สเต็มศึกษา ที่มี ต่อ ความ สามารถ ใน การ แก้ ปัญหา อย่าง สร้างสรรค์ ของ เด็ก ปฐมวัย. วารสาร ศึกษา ศาสตร์ ปรัชญา, 32(1), 123-123.

อนุชา โสมาบุตร. (2556). ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม สำหรับการเรียนรู้แห่งศตวรรษที่ 21. Retrieved from <https://teacherweekly.wordpress.com/2013/09/25/learning-and-innovation-skills/>

อรรรรณ จันทรฟู, & เอกรัตน์ ศรีตัญญุ. (2554). แนวคิดเรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา
ปีที่ 4 ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคอนสตรัคติวิซึม. รายงานสืบเนื่องจากการประชุม
ทางวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัย “มสธ. วิจัย ประจำปี 2554”.

อัจฉรีรัตน์ ศรี, ประนอม แซ่จิ่ง, & กานต์ตะวัน วุฒิเสลา. (2016). การสำรวจมโนคติทาง
วิทยาศาสตร์ เรื่อง สารโคเวเลนต์และไอออนิกโดยใช้เทคนิคแบ่งกลุ่ม ผลสัมฤทธิ์ร่วมกับบัตร
แสดงพันธะเคมี. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้,
6(2), 198-208.









หนังสือยืนยันการยกเว้นการรับรอง
คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(เอกสารนี้เพื่อแสดงว่าคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ ได้พิจารณาโครงการวิจัยนี้)

ชื่อโครงการวิจัย : การพัฒนากิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ่าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิด
สร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย : นายพงศกร พรหมทา

หน่วยงานต้นสังกัด : คณะวิทยาศาสตร์

รหัสโครงการวิจัย : 313/61X

โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการวิจัยที่เข้าข่ายยกเว้น (Research with Exemption from SWUEC)

วันที่ยื่น : 26 กันยายน 2561

ยืนยันโดย : คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ดำเนินการ
รับรองโครงการวิจัยตามแนวทางหลักจริยธรรมการวิจัยในคนที่เป็นสากล ได้แก่ Declaration of Helsinki, the
Belmont Report, CIOMS Guidelines และ the International Conference on Harmonization in Good Clinical
Practice (ICH-GCP)

ออกให้ ณ วันที่ 27 กันยายน 2561

ลงชื่อ.....

(นายปิยชาติ บุญเพ็ญ)

กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการคณะกรรมการจริยธรรม
สำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

ลงชื่อ.....

(แพทย์หญิงสุรีพร ภัทรสุวรรณ)

ประธานคณะกรรมการจริยธรรม
สำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

หมายเลขรับรอง : SWUEC/X-313/2561



บันทึกข้อความ

ส่วนงาน งานบริหารและธุรการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โทร. 15664

ที่ ศธ 6918/ ๒.1๖.๖ วันที่ ๖ สิงหาคม 2561

เรื่อง ขอเรียนเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

เนื่องด้วย นายพงศกร พรหมทา นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญาโท เรื่อง “การพัฒนากิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี : ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย” โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ตรีบัณฑิต เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท

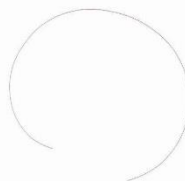
ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แพน ทองเรือง และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจ 1) กิจกรรมเสริมศึกษา 2) แบบประเมินทักษะ และ 3) แบบทดสอบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้ นิสิตได้ติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับผู้เชี่ยวชาญทั้ง 2 ท่านเรียบร้อยแล้ว และจะประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป โดยสามารถสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่ โทรศัพท์ 097 036 9157

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายพงศกร พรหมทา และ ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิพงษ์ วัฒนานนท์สกุล)

รองคณบดีฝ่ายบริหารและวางแผน รักษาการแทน

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย





บันทึกข้อความ

ส่วนงาน งานบริหารและธุรการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โทร. 15664

ที่ ศธ 6918/๑๑๖ วันที่ 3 สิงหาคม 2561

เรื่อง ขอเรียนเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน คณะศึกษาศาสตร์

เนื่องด้วย นายพงศกร พรหมทา นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนากิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี : ผ่าฝายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย” โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ดร.บัณฑิต เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

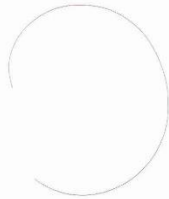
ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนตา ตูลย์เมธการ เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจ 1) กิจกรรมเสริมศึกษา 2) แบบประเมินทักษะ และ 3) แบบทดสอบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้ นิสิตได้ติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับท่านแล้ว และจะประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป โดยสามารถสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่ โทรศัพท์ 097 036 9157

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายพงศกร พรหมทา และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิพงศ์ วัฒนานนท์สกุล)

รองคณบดีฝ่ายบริหารและวางแผน รักษาการแทน

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย



ที่ ศธ 6918/ ๒๕๖๑



บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
สุขุมวิท 23 เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

๓ สิงหาคม 2561

เรื่อง ขอเรียนเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้อำนวยการโรงเรียนหอวัง

เนื่องด้วย นายพงศกร พรหมทา นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญาานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนากิจกรรมstimศึกษา เรื่อง พันธะเคมี : ผ้าฝ้ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย” โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ดร.บัณฑิต เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์

ในการนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญ ครูปฏิญา กาลายศ (ครู คศ.1) เป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจ 1) กิจกรรมstimศึกษา 2) แบบประเมินทักษะ และ 3) แบบทดสอบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ทั้งนี้ นิสิตได้ติดต่อประสานงานเบื้องต้นกับ ครูปฏิญา กาลายศ (ครู คศ.1) แล้ว และจะประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นายพงศกร พรหมทา และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิพงศ์ วัฒนานนท์สกุล)
รองคณบดีฝ่ายบริหารและวางแผน รักษาการแทน
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 097 036 9157



รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือในการวิจัย

ด้านเนื้อหา

ผศ.ดร. แพน ทองเรือง

อาจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ด้านการวัดผลและวิจัยการศึกษา

ผศ.ดร. มนต์ ตูลย์เมธากา

อาจารย์ ภาควิชาการวัดผลและวิจัยการศึกษา

คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ด้านการสอนวิชาเคมีระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

อาจารย์ ปฏิญา กาลายศ

ครูชำนาญการ โรงเรียนหอวัง





ตาราง 24 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ขององค์ประกอบกิจกรรมสเต็มศึกษาเรื่อง พันธะเคมี: ฟ้า
ฝ้ายกันน้ำ

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	การพิจารณา
	1	2	3			
1. จุดประสงค์ของกิจกรรมสเต็มศึกษา	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
1.1 ปลูกฝังความสามารถเชิงการบูรณาการ	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
2. แนวคิดของสเต็มศึกษา	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
2.1 เพิ่มความสนใจของนักเรียน	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
2.2 เชื่อมโยงกับโลกความเป็นจริง	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
2.3 ปลูกฝังความสามารถในการคิดแบบบูรณาการ	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
3. กรอบการเรียนรู้มาตรฐานของสเต็มศึกษา	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
3.1 การนำเสนอปัญหาหรือสถานการณ์	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
3.1.1 เชื่อมโยงกับโลกความเป็นจริง	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
3.1.2 สร้างความสนใจ ความใส่ใจต่อปัญหา	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
3.2 การออกแบบสร้างสรรค์	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
3.2.1 คิดสร้างสรรค์	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
3.2.2 มุ่งเน้นที่นักเรียนเป็นสำคัญ	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
3.2.3 ผลลัพธ์ และแนวคิด	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
3.2.4 การใช้เครื่องมือ	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
3.3 การสร้างความจับใจ	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
3.3.1 การแก้ปัญหา	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
3.3.2 การเรียนรู้ผ่านความร่วมมือ	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
3.3.3 จิตวิญญาณแห่งความท้าทาย	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4. การประเมินผลของสเต็มศึกษา	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4.1 มุมมองรายละเอียด	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้

ตาราง 24 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	การพิจารณา
	1	2	3			
4.1.1 ทำเพื่อประเมินประสบการณ์ ความสำเร็จในแก้ปัญหาของนักเรียน	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4.1.2 ผลของการคิดต่าง ๆ ถูกลำนำ วิเคราะห์ในการประเมินของนักเรียน	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4.1.3 เป้าหมายของการดำเนินการ ไม่ได้เป็นการประเมินผลที่มุ่งเน้นผลลัพธ์ แต่ เป็นการประเมินที่มุ่งเน้นกระบวนการ	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ขององค์ประกอบกิจกรรมเสริมศึกษา					1.00	ใช้ได้

หมายเหตุ : เกณฑ์การประเมินกิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝายกันน้ำ ปรับมาจาก STEAM Class Checklist ของ The Korea Foundation for the Advancement of Science and Creativity (KOFAC. 2012)

ตาราง 25 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	การพิจารณา
	1	2	3			
การออกแบบผลงาน						
1. คิดอย่างสร้างสรรค์						
1.1 ใช้เทคนิคในการสร้างความคิดที่หลากหลาย เช่น ระดมความคิด , แผนภาพความคิด, สืบค้นข้อมูล หรือการโต้แย้งปัญหา และสมาชิกมีส่วนร่วมในการคิด	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
1.2 สร้างแนวคิดใหม่ที่ไม่ซ้ำกับกลุ่มอื่น และแนวคิดนั้นมีประโยชน์ และสามารถนำไปใช้ได้จริง โดยใช้ความรู้หรือแนวคิดที่มีอยู่เดิมและใหม่ร่วมกัน	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
1.3 ขยายความรู้ วิเคราะห์ ปรับปรุง และประเมินค่าความคิดของตนเองและกลุ่ม ที่แสดงให้เห็นถึงการพัฒนาและมีความพยายามในการสร้างสรรค์ผลงาน	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
2. ทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์						
2.1 ถ่ายทอดความคิดใหม่ไปสู่ผู้อื่น โดยใช้วิธีการพูด การอธิบาย การยกตัวอย่าง หรือการให้เหตุผลประกอบได้ และนำความคิดใหม่ไปใช้ในการสร้างผลงานได้	+1	+1	0	2	0.67	ใช้ได้
2.2 เปิดใจรับฟังความคิด และยอมรับความหลากหลายของผู้อื่น และมีส่วนร่วมในการทำงานกลุ่ม	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้

ตาราง 25 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	การพิจารณา
	1	2	3			
2.3 เข้าใจถึงข้อจำกัดของการทำงาน เกี่ยวกับการสร้างแนวคิดใหม่ และแก้ไข ปัญหาเฉพาะหน้าจากสถานการณ์ที่ครู กำหนดได้	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
การออกแบบผลงาน						
2.4 มีความตระหนักว่าในการทำงานแต่ละ ครั้งย่อมพบกับความล้มเหลวและความสำเร็จ เป็นเรื่องปกติ และมองว่าความผิดพลาดเป็น โอกาสในการเรียนรู้อย่างหนึ่ง และนำ ข้อผิดพลาดมาใช้พัฒนาผลงานให้ดีขึ้น	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้
การสร้างผลงาน						
1. การใช้นวัตกรรม						
1.1 สร้างผลงานจากความคิดสร้างสรรค์ของ ตนได้ โดยผลงานนั้นมีประโยชน์ นำไปใช้ได้ ซึ่ง ทำให้เกิดเป็นนวัตกรรม	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
2. คุณภาพของผลิตภัณฑ์						
2.1 มีสมบัติการกันน้ำ	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
2.2 มีมูลค่าสัมผัสของหยดน้ำมากกว่า 100 องศา	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
3. กระบวนการผลิต						
3.1 ทำตามได้ง่าย	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
3.2 ทำได้รวดเร็ว และทำซ้ำได้ จำนวนมาก	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
4. การออกแบบผลิตภัณฑ์						
4.1 ใช้ได้จริง	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
4.2 ใช้ง่าย	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
4.3 ความคงทน	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้

ตาราง 25 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	การพิจารณา
	1	2	3			
4.4 ตอบสนองต่อความต้องการของกลุ่ม ผู้บริโภคร	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
5.การจัดการทรัพยากร						
5.1 ใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างคุ้มค่า ไม่ สิ้นเปลือง โดยผลิตภัณฑ์มีต้นทุนต่ำ และมีกำไร ต่อชิ้น	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้

หมายเหตุ : เกณฑ์การประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ดัดแปลงเกณฑ์
มาจาก 21th Century Skills Standards Rubrics และ Creativity for 21st Century Skills (Jane
Piirto:2011)

ตาราง 26 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี

ข้อที่	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	การพิจารณา
	1	2	3			
1	+1	+1	-1	1	0.33	ปรับปรุง
2	0	+1	+1	2	0.67	ใช้ได้
3	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
4	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
5	+1	+1	-1	1	0.33	ปรับปรุง
6	-1	+1	+1	1	0.33	ปรับปรุง
7	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
8	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
9	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
10	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
11	0	+1	0	1	0.33	ปรับปรุง
12	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
13	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
14	+1	+1	-1	1	0.33	ปรับปรุง
15	+1	+1	-1	1	0.33	ปรับปรุง
16	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
17	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
18	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
19	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
20	0	+1	0	1	0.33	ปรับปรุง
21	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
22	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
23	+1	+1	-1	1	0.33	ปรับปรุง
24	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้

ตาราง 26 (ต่อ)

ข้อที่	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	การพิจารณา
	1	2	3			
25	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
26	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
27	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
28	+1	+1	0	2	0.67	ใช้ได้
29	+1	+1	0	2	0.67	ใช้ได้
30	+1	+1	0	2	0.67	ใช้ได้
31	+1	+1	0	2	0.67	ใช้ได้
32	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
33	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
34	0	+1	+1	2	0.67	ใช้ได้
35	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
36	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้
37	0	+1	+1	2	0.67	ใช้ได้
38	-1	+1	+1	1	0.33	ปรับปรุง
39	+1	+1	0	2	0.67	ใช้ได้
40	+1	+1	+1	3	1	ใช้ได้

ตาราง 27 ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) และค่าความเชื่อมั่นของแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี

ข้อที่	p	r	การพิจารณา	ข้อที่เลือก
1	0.20	-0.04	ยากมาก จำแนกไม่ได้	
2	0.89	0.13	ง่ายมาก จำแนกไม่ได้	
3	0.30	0.29	ค่อนข้างยาก จำแนกไม่ได้	✓
4	0.24	0.36	ค่อนข้างยาก จำแนกไม่ได้	✓
5	0.87	0.17	ง่ายมาก จำแนกไม่ได้	
6	0.24	0.13	ค่อนข้างยาก จำแนกไม่ได้	
7	0.61	0.52	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้	✓
8	0.87	0.09	ง่ายมาก จำแนกไม่ได้	
9	0.89	0.22	ง่ายมาก จำแนกได้	✓
10	0.83	0.26	ง่ายมาก จำแนกได้	✓
11	0.26	0.00	ค่อนข้างยาก จำแนกไม่ได้	
12	0.91	0.1	ง่ายมาก จำแนกไม่ได้	
13	0.65	0.44	พอเหมาะ จำแนกได้	✓
14	0.85	0.30	ง่ายมาก จำแนกได้	✓
15	0.17	-0.17	ยากมาก จำแนกไม่ได้	
16	0.76	0.39	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้	✓
17	0.94	0.04	ง่ายมาก จำแนกไม่ได้	
18	0.50	-0.22	พอเหมาะ จำแนกไม่ได้	
19	0.24	0.13	ค่อนข้างยาก จำแนกไม่ได้	
20	0.20	-0.13	ยากมาก จำแนกไม่ได้	
21	0.48	-0.26	พอเหมาะ จำแนกไม่ได้	
22	0.63	0.22	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้	✓
23	0.85	0.04	ง่ายมาก จำแนกไม่ได้	
24	0.74	0.26	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้	✓
25	0.94	0.04	ง่ายมาก จำแนกไม่ได้	

ตาราง 27 (ต่อ)

ข้อที่	p	r	การพิจารณา	ข้อที่เลือก
26	0.74	0.00	ค่อนข้างง่าย จำแนกไม่ได้	
27	0.65	0.26	พอเหมาะ จำแนกได้	✓
28	0.89	0.22	ง่ายมาก จำแนกได้	✓
29	0.46	0.22	พอเหมาะ จำแนกได้	✓
30	0.80	-0.04	ง่ายมาก จำแนกไม่ได้	
31	0.67	0.30	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้	✓
32	0.41	-0.04	พอเหมาะ จำแนกไม่ได้	✓
33	0.37	0.30	ค่อนข้างยาก จำแนกได้	✓
34	0.24	0.04	ค่อนข้างยาก จำแนกไม่ได้	
35	0.37	-0.30	ค่อนข้างยาก จำแนกไม่ได้	
36	0.48	0.17	พอเหมาะ จำแนกไม่ได้	✓
37	0.63	-0.57	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้	✓
38	0.20	-0.22	ยากมาก จำแนกไม่ได้	
39	0.52	0.44	พอเหมาะ จำแนกได้	✓
40	0.61	0.61	ค่อนข้างง่าย จำแนกได้	✓

หมายเหตุ

แบบวัดแนวคิดที่ผ่านการคัดเลือกมีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.23 - 0.89 และมีค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.21-0.61 ซึ่งการคัดเลือกแบบวัดแนวคิดนั้นนอกจากจะพิจารณาค่าความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนกที่เป็นไปตามเกณฑ์ ผู้วิจัยยังคำนึงถึงจุดประสงค์การเรียนรู้ด้วย โดยแบบวัดแนวคิดที่คัดเลือกไว้มีจำนวนทั้งหมด 20 ข้อ มีค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ (r_t) โดยคำนวณจากสูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาของ Cronbach โดยค่าความเชื่อมั่นมีค่าเท่ากับ 0.99

ตาราง 28 ค่าประสิทธิภาพของกิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฝ่าฝ่ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

นักเรียนคนที่	คะแนนหลังเรียนจากแบบวัดแนวคิดทาง วิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี (80 คะแนน)	ผลการประเมิน (ผ่าน \geq 40 คะแนน)
1	60	ผ่าน
2	66	ผ่าน
3	48	ผ่าน
4	74	ผ่าน
5	63	ผ่าน
6	65	ผ่าน
7	68	ผ่าน
8	71	ผ่าน
9	46	ผ่าน
10	51	ผ่าน
11	49	ผ่าน
12	69	ผ่าน
13	68	ผ่าน
14	64	ผ่าน
15	60	ผ่าน
16	71	ผ่าน
17	74	ผ่าน
18	63	ผ่าน
19	65	ผ่าน
20	61	ผ่าน
21	57	ผ่าน
22	61	ผ่าน
23	67	ผ่าน

ตาราง 28 (ต่อ)

นักเรียนคนที่	คะแนนหลังเรียนจากแบบวัดแนวคิดทาง วิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี (80 คะแนน)	ผลการประเมิน (ผ่าน ≥ 40 คะแนน)
24	74	ผ่าน
25	71	ผ่าน
26	77	ผ่าน
27	58	ผ่าน
28	65	ผ่าน
29	72	ผ่าน
30	71	ผ่าน
รวม	1929	
\bar{X}	64.30	
S.D.	8.12	
จำนวนนักเรียน ที่สอบผ่าน	30	
ร้อยละของนักเรียน ที่สอบผ่าน	100	

ตาราง 29 คะแนนการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของกลุ่มทดลอง ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฟ้าผ่ายกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

กลุ่มที่	ก่อนเรียน	หลังเรียน
1	27.33	58.67
2	27.00	55.00
3	28.00	55.33
4	27.67	55.00
5	28.00	54.00
6	30.67	59.67
7	28.00	61.00
รวม	196.67	398.67
\bar{X}	28.09	56.95
S.D.	1.19	2.75
ร้อยละของคะแนน	41.32	83.75

ตาราง 30 คะแนนจากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมีของกลุ่มทดลอง ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฟ้าผ่ายกน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

เลขที่	คะแนนก่อนเรียน	การแปลผล	คะแนนหลังเรียน	การแปลผล
1	56	ผ่านเกณฑ์	60	ผ่านเกณฑ์
2	19	ไม่ผ่านเกณฑ์	67	ผ่านเกณฑ์
3	15	ไม่ผ่านเกณฑ์	52	ผ่านเกณฑ์
4	20	ไม่ผ่านเกณฑ์	47	ผ่านเกณฑ์
5	12	ไม่ผ่านเกณฑ์	67	ผ่านเกณฑ์
6	38	ไม่ผ่านเกณฑ์	80	ผ่านเกณฑ์
7	29	ไม่ผ่านเกณฑ์	58	ผ่านเกณฑ์
8	11	ไม่ผ่านเกณฑ์	61	ผ่านเกณฑ์
9	23	ไม่ผ่านเกณฑ์	65	ผ่านเกณฑ์
10	22	ไม่ผ่านเกณฑ์	68	ผ่านเกณฑ์
11	20	ไม่ผ่านเกณฑ์	54	ผ่านเกณฑ์
12	32	ไม่ผ่านเกณฑ์	63	ผ่านเกณฑ์
13	37	ไม่ผ่านเกณฑ์	74	ผ่านเกณฑ์
14	11	ไม่ผ่านเกณฑ์	69	ผ่านเกณฑ์
15	30	ไม่ผ่านเกณฑ์	69	ผ่านเกณฑ์
16	15	ไม่ผ่านเกณฑ์	72	ผ่านเกณฑ์
17	28	ไม่ผ่านเกณฑ์	69	ผ่านเกณฑ์
18	22	ไม่ผ่านเกณฑ์	69	ผ่านเกณฑ์
19	32	ไม่ผ่านเกณฑ์	71	ผ่านเกณฑ์
20	22	ไม่ผ่านเกณฑ์	67	ผ่านเกณฑ์
21	26	ไม่ผ่านเกณฑ์	70	ผ่านเกณฑ์
22	31	ไม่ผ่านเกณฑ์	77	ผ่านเกณฑ์
23	27	ไม่ผ่านเกณฑ์	66	ผ่านเกณฑ์

ตาราง 30 (ต่อ)

เลขที่	คะแนนก่อน เรียน	การแปลผล	คะแนนหลัง เรียน	การแปลผล
24	24	ไม่ผ่านเกณฑ์	48	ผ่านเกณฑ์
25	39	ไม่ผ่านเกณฑ์	74	ผ่านเกณฑ์
26	22	ไม่ผ่านเกณฑ์	73	ผ่านเกณฑ์
27	29	ไม่ผ่านเกณฑ์	72	ผ่านเกณฑ์
28	56	ผ่านเกณฑ์	62	ผ่านเกณฑ์
29	40	ผ่านเกณฑ์	73	ผ่านเกณฑ์
30	14	ไม่ผ่านเกณฑ์	58	ผ่านเกณฑ์
รวม	802		1975	
\bar{X}	26.73		65.83	
S.D.	11.41		8.17	
ร้อยละของ คะแนน	33.41		82.29	

ตาราง 31 คะแนนจากแบบวัดแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมีของกลุ่มควบคุม ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ฟ้าผ่ายกกันน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

เลขที่	คะแนนก่อนเรียน	การแปลผล	คะแนนหลังเรียน	การแปลผล
1	29	ผ่านเกณฑ์	60	ผ่านเกณฑ์
2	16	ไม่ผ่านเกณฑ์	66	ผ่านเกณฑ์
3	11	ไม่ผ่านเกณฑ์	48	ผ่านเกณฑ์
4	22	ไม่ผ่านเกณฑ์	74	ผ่านเกณฑ์
5	19	ไม่ผ่านเกณฑ์	63	ผ่านเกณฑ์
6	22	ไม่ผ่านเกณฑ์	65	ผ่านเกณฑ์
7	34	ไม่ผ่านเกณฑ์	68	ผ่านเกณฑ์
8	58	ผ่านเกณฑ์	71	ผ่านเกณฑ์
9	15	ไม่ผ่านเกณฑ์	46	ผ่านเกณฑ์
10	16	ไม่ผ่านเกณฑ์	51	ผ่านเกณฑ์
11	26	ไม่ผ่านเกณฑ์	49	ผ่านเกณฑ์
12	29	ไม่ผ่านเกณฑ์	69	ผ่านเกณฑ์
13	29	ไม่ผ่านเกณฑ์	68	ผ่านเกณฑ์
14	36	ไม่ผ่านเกณฑ์	64	ผ่านเกณฑ์
15	24	ไม่ผ่านเกณฑ์	60	ผ่านเกณฑ์
16	39	ไม่ผ่านเกณฑ์	71	ผ่านเกณฑ์
17	42	ผ่านเกณฑ์	74	ผ่านเกณฑ์
18	24	ไม่ผ่านเกณฑ์	63	ผ่านเกณฑ์
19	34	ไม่ผ่านเกณฑ์	65	ผ่านเกณฑ์
20	24	ไม่ผ่านเกณฑ์	61	ผ่านเกณฑ์
21	25	ไม่ผ่านเกณฑ์	57	ผ่านเกณฑ์
22	15	ไม่ผ่านเกณฑ์	61	ผ่านเกณฑ์
23	27	ไม่ผ่านเกณฑ์	67	ผ่านเกณฑ์
24	50	ผ่านเกณฑ์	74	ผ่านเกณฑ์

ตาราง 31 (ต่อ)

เลขที่	คะแนนก่อนเรียน	การแปลผล	คะแนนหลังเรียน	การแปลผล
25	29	ไม่ผ่านเกณฑ์	71	ผ่านเกณฑ์
26	34	ไม่ผ่านเกณฑ์	77	ผ่านเกณฑ์
27	28	ไม่ผ่านเกณฑ์	58	ผ่านเกณฑ์
28	16	ไม่ผ่านเกณฑ์	65	ผ่านเกณฑ์
29	31	ไม่ผ่านเกณฑ์	72	ผ่านเกณฑ์
30	39	ไม่ผ่านเกณฑ์	71	ผ่านเกณฑ์
รวม	843		1929	
\bar{X}	28.10		64.30	
S.D.	10.63		8.11	
ร้อยละของ คะแนน	35.12		80.37	

ตาราง 32 ตารางเปรียบเทียบคะแนนแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เรื่อง พันธะเคมี หลังเรียนระหว่าง
กลุ่มทดลองที่เรียนด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา และกลุ่มควบคุมที่เรียนด้วยวิธีสืบเสาะความรู้ (5E)

เลขที่	คะแนนหลังเรียน ของกลุ่มทดลอง	การแปลผล	คะแนนหลังเรียน ของกลุ่มควบคุม	การแปลผล
1	60	ผ่านเกณฑ์	60	ผ่านเกณฑ์
2	67	ผ่านเกณฑ์	66	ผ่านเกณฑ์
3	52	ผ่านเกณฑ์	48	ผ่านเกณฑ์
4	47	ผ่านเกณฑ์	74	ผ่านเกณฑ์
5	67	ผ่านเกณฑ์	63	ผ่านเกณฑ์
6	80	ผ่านเกณฑ์	65	ผ่านเกณฑ์
7	58	ผ่านเกณฑ์	68	ผ่านเกณฑ์
8	61	ผ่านเกณฑ์	71	ผ่านเกณฑ์
9	65	ผ่านเกณฑ์	46	ผ่านเกณฑ์
10	68	ผ่านเกณฑ์	51	ผ่านเกณฑ์
11	54	ผ่านเกณฑ์	49	ผ่านเกณฑ์
12	63	ผ่านเกณฑ์	69	ผ่านเกณฑ์
13	74	ผ่านเกณฑ์	68	ผ่านเกณฑ์
14	69	ผ่านเกณฑ์	64	ผ่านเกณฑ์
15	69	ผ่านเกณฑ์	60	ผ่านเกณฑ์
16	72	ผ่านเกณฑ์	71	ผ่านเกณฑ์
17	69	ผ่านเกณฑ์	74	ผ่านเกณฑ์
18	69	ผ่านเกณฑ์	63	ผ่านเกณฑ์
19	71	ผ่านเกณฑ์	65	ผ่านเกณฑ์
20	67	ผ่านเกณฑ์	61	ผ่านเกณฑ์
21	70	ผ่านเกณฑ์	57	ผ่านเกณฑ์
22	77	ผ่านเกณฑ์	61	ผ่านเกณฑ์
23	66	ผ่านเกณฑ์	67	ผ่านเกณฑ์
24	48	ผ่านเกณฑ์	74	ผ่านเกณฑ์

ตาราง 32 (ต่อ)

เลขที่	คะแนนหลังเรียน ของกลุ่มทดลอง	การแปลผล	คะแนนหลังเรียน ของกลุ่มควบคุม	การแปลผล
25	74	ผ่านเกณฑ์	60	ผ่านเกณฑ์
26	73	ผ่านเกณฑ์	71	ผ่านเกณฑ์
27	72	ผ่านเกณฑ์	77	ผ่านเกณฑ์
28	62	ผ่านเกณฑ์	58	ผ่านเกณฑ์
29	73	ผ่านเกณฑ์	65	ผ่านเกณฑ์
30	58	ผ่านเกณฑ์	72	ผ่านเกณฑ์
รวม	1975		1929	
\bar{x}	65.83		64.30	
S.D.	8.17		8.11	
ร้อยละของ คะแนน	82.29		80.37	

ระดับแนวคิด	ระดับที่ 1		ระดับที่ 2		ระดับที่ 3		ระดับที่ 4		ระดับที่ 5	
	มีแนวคิดวิทยาศาสตร์ (SU)		มีแนวคิดที่ไม่สมบูรณ์ (PU)		มีแนวคิดที่ไม่สมบูรณ์และคลาดเคลื่อน (PU/SM)		มีแนวคิดคลาดเคลื่อน (SM)		ไม่มีแนวคิด (NU)	
	ก่อนเรียน	%	ก่อนเรียน	%	ก่อนเรียน	%	ก่อนเรียน	%	ก่อนเรียน	%
1. หลักการของพันธะเคมี	21	70	2	6.67	2	6.67	4	13.33	1	1.33
1.1 สัมพันธภาพแบบจุดของลิวอิส	6	20	4	13.33	9	30	6	20	5	16.67
1.2 ปฏิกิริยาออกเตต	0	0	7	23.33	15	50	3	10	5	16.67
2. การเกิดพันธะไฮโดรเจน	0	0	4	13.33	22	73.33	1	3.33	3	10
2.1 การเขียนสูตร และเรียกชื่อสารประกอบไอออนิก	0	0	1	3.33	20	66.67	5	16.67	4	13.33
2.2 การนำไฟฟ้าของสารประกอบไอออนิก	2	6.67	6	20	4	13.33	15	50	3	10
2.3 สมการไอออนิกสุทธิ	2	6.67	3	10	11	36.67	5	16.67	9	30
3. พันธะโคเวเลนต์	20	66.67	0	0	3	10	3	10	4	13.33
3.1 การเกิดและชนิดของพันธะโคเวเลนต์	0	0	2	6.67	15	50	4	13.33	9	30
3.2 การเขียนสูตร และเรียกชื่อสารประกอบโคเวเลนต์	0	0	1	3.33	8	26.67	8	26.67	13	43.33
3.3 รูปร่างโมเลกุลตามทฤษฎี VSEPR และสภาพพันธะของโมเลกุล	0	0	2	6.67	8	26.67	4	13.33	16	53.33
3.4 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล	5	16.67	0	0	5	16.67	5	16.67	15	50

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นาย พงศกร พรมทา
วัน เดือน ปี เกิด	10 พฤศจิกายน 2537
สถานที่เกิด	อำเภอ เมืองลพบุรี จังหวัด ลพบุรี
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขา เคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ที่อยู่ปัจจุบัน	45 หมู่ 2 ตำบล นิคมสร้างตนเอง อำเภอ เมืองลพบุรี จังหวัด ลพบุรี 15000
ผลงานตีพิมพ์	การศึกษาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เรื่อง พันธะเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เมื่อผ่านการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสเต็มศึกษา
รางวัลที่ได้รับ	รางวัลการนำเสนอผลงานวิจัยระดับปริญญาโท แบบบรรยาย กลุ่มมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ ระดับ ดีเด่น ในการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 20 ปี 2562 ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น