



การพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ
เรื่อง สารละลายกรด-เบส เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
สำหรับนิสิตวิชาชีพครู

DEVELOPMENT OF STEM ACTIVITY BY USING MICROFLUIDIC PAPER-BASED
ANALYTICAL DEVICES ON ACID-BASE SOLUTIONS TO ENHANCE CREATIVITY

วิทวัส จำปาทอง

การพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ
เรื่อง สารละลายกรด-เบส เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
สำหรับนิสิตวิชาชีพครู



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

DEVELOPMENT OF STEM ACTIVITY BY USING MICROFLUIDIC PAPER-BASED
ANALYTICAL DEVICES ON ACID-BASE SOLUTIONS TO ENHANCE CREATIVITY
AND INNOVATION SKILLS FOR PRE-SERVICE TEACHERS



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF EDUCATION
(Chemistry)

Faculty of Science, Srinakharinwirot University

2019

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
การพัฒนากิจกรรมส่งเสริมศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ
เรื่อง สารละลายกรด-เบส เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
สำหรับนิสิตวิชาชีพครู
ของ
วิทวัส จำปาทอง

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ดรบบัณฑิต) (รองศาสตราจารย์ ดร.พรรณี ลีกิจวัฒน์)

..... ที่ปรึกษาร่วม กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นวลละออ รัตนวิมานวงศ์) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ)

ชื่อเรื่อง	การพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และ นวัตกรรม สำหรับนิสิตวิชาชีพครู
ผู้วิจัย	วิหวัธ จำปาทอง
ปริญญา	การศึกษามหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2562
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยรัตน์ ดรบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นวลละออ รัตนนิมมานวงศ์

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ คือ นิสิตวิชาชีพครูร้อยละ 70 มีคะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมอยู่ในระดับดีขึ้นไป และเพื่อเปรียบเทียบคะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเฉลี่ยหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง สารละลายกรด-เบส ของนิสิตระดับปริญญาตรี กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นนิสิตหลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 22 คน ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ คู่มือกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส และแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ร้อยละ และการทดสอบสมมติฐานโดยใช้ค่าสถิติ t-test for One Sample สามารถสรุปผลการวิจัยได้ ดังนี้ (1) กิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส มีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 100 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ (2) นิสิตระดับปริญญาตรีที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส มีคะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเฉลี่ยหลังการจัดการเรียนรู้สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

คำสำคัญ : สะเต็มศึกษา, สารละลายกรด-เบส, ทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม, นิสิตวิชาชีพครู

Title	DEVELOPMENT OF STEM ACTIVITY BY USING MICROFLUIDIC PAPER-BASED ANALYTICAL DEVICES ON ACID-BASE SOLUTIONS TO ENHANCE CREATIVITY AND INNOVATION SKILLS FOR PRE-SERVICE TEACHERS
Author	VITAVAS JUMPATHONG
Degree	MASTER OF EDUCATION
Academic Year	2019
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Piyarat Doonbhundit
Co Advisor	Assistant Professor Dr. Nuanlaor Ratanawimarnwong

This research aimed to develop STEM activity by using microfluidic paper-based analytical devices to achieve lesson efficiency and based on the efficiency criteria that seventy percent of pre-service teachers had creativity and innovation skills at good level and in comparison to the creativity and innovation skills and posttest average scores of pre-service teachers after studying with a STEM activity on an acid-base solutions topic. The target group in this study consisted of twenty-two fourth year undergraduate students in the Chemistry Education Program at Srinakharinwirot University. They were selected using the purposive sampling method. The research instruments used in this study consisted of a STEM activity that used a microfluidic paper-based analytical devices guidebook on acid-base solutions topic and a creativity and innovation skills assessment form. The statistics used for data analysis were mean, standard deviation, percentage, and a t-test for One Sample. The results revealed the following: (1) the STEM activity was 100 percent effective, which was higher than the set criteria; and (2) all of the pre-service teachers who studied by using this STEM activity achieved posttest average scores in creativity and innovation skills that were higher than the criteria of 70 percent at a statistically significant level of .01.

Keyword : STEM Education, Acid-Base Solutions, Creativity and Innovation Skills, Pre-service teachers

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจาก ผู้วิจัยได้รับความกรุณาจาก ผศ.ดร.ปิยรัตน์ ตรีบัณฑิต อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์หลัก และ ผศ.ดร.นวลละออ รัตนวิมานวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ร่วม ที่สละเวลามาคำปรึกษา เสนอแนะแนวทางและให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งใจ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.พรณี ลีกิจวัฒน์ ที่ให้ความกรุณาเป็นประธานกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ และให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขงานวิจัยด้วยดีเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.รัชนก ทองนำ ผศ.ดร.สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ รศ.ดร.อิทธิพัทธ์ สุวทันพรกุล และอ.ดร.อิทธิรัตน์ แม่นทิม ที่ให้ความกรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยอย่างดียิ่ง โดยให้คำแนะนำ ตลอดจนแนวทางที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องมือให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.ชัชฎาภรณ์ พิณทอง ที่กรุณาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือตลอดการเก็บผลการวิจัย และขอบคุณนิสิต หลักสูตรการศึกษาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ชั้นปีที่ 4 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีการศึกษา 2562 ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการทำกิจกรรม ตลอดจนระยะเวลาการเก็บข้อมูลวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ โครงการส่งเสริมการผลิตครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ (สควค.) สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ที่สนับสนุนเงินทุนการศึกษาและทุนการวิจัย จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา และสมาชิกในครอบครัวที่ได้ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่ดีให้แก่ผู้วิจัยเสมอมา ขอขอบคุณกัลยาณมิตรทุกท่านที่อยู่เคียงข้างกันมาโดยตลอด คุณค่าและประโยชน์จากการทำปริญญานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ทุกท่าน และมอบไว้เป็นแนวทางในการพัฒนาการจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 สืบไป

วิฑูรย์ จำปาทอง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	7
ความสำคัญของงานวิจัย.....	7
ขอบเขตของการวิจัย.....	7
กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย.....	7
ตัวแปรที่ศึกษา.....	8
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	9
กรอบแนวคิดในงานวิจัย.....	12
สมมติฐานในการวิจัย.....	12
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม.....	13
1. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับหลักสูตรการศึกษาระดับชั้น สาขาวิชาเคมี (5 ปี) หลักสูตรฉบับปรับปรุง พ.ศ.2556 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.....	14
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ.....	16
3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสະเต็มศึกษา.....	23

4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	38
1.1 การกำหนดกลุ่มเป้าหมาย	40
1.2 การพัฒนาวิธีการทดลอง เรื่อง สารละลายกรด-เบส ด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของ โหลจุลภาคฐานกระดาษ	43
1.3 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	61
ตอนที่ 2. การนำกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของโหลจุลภาคฐาน กระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตวิชาชีพครู ไปทดลองกับกลุ่มเป้าหมาย	79
2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	80
2.2 การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	85
บทที่ 4 ผลการศึกษา	87
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	87
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และขอเสนอแนะ.....	99
ความมุ่งหมายของงานวิจัย	99
สมมติฐานในการวิจัย.....	99
วิธีดำเนินการวิจัย	100
สรุปผลการวิจัย	104
อภิปรายผลการวิจัย	104
ขอเสนอแนะ	124
บรรณานุกรม.....	125
ภาคผนวก.....	135
ประวัติผู้เขียน.....	193

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 วิธีการขึ้นรูปอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ	18
ตาราง 2 สรุปขั้นตอนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ..	25
ตาราง 3 แผนระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัยสำหรับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส.....	41
ตาราง 4 การออกแบบร่างกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาค ฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส	63
ตาราง 5 แนวทางการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่บูรณาการศาสตร์ 4 สาขาวิชา ...	64
ตาราง 6 ข้อเสนอแนะและการปรับปรุงแก้ไขกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ.....	68
ตาราง 7 รายการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม องค์ประกอบที่ 1 การคิด สร้างสรรค์ (Think creatively)	73
ตาราง 8 รายการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม องค์ประกอบที่ 2 การทำงาน ร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ (Work creatively with others)	74
ตาราง 9 รายการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม องค์ประกอบที่ 3 การใช้ นวัตกรรม (Implement innovations)	75
ตาราง 10 ช่วงและการแปลผลคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมรวม ทั้งราย องค์ประกอบและรวมทุกองค์ประกอบ	77
ตาราง 11 ข้อเสนอแนะและการปรับปรุงแก้ไขแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ.....	78
ตาราง 12 แบบแผนการทดลองแบบ Pre-Experimental Design: One-Shot Case Study Design	79
ตาราง 13 แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส.....	81

ตาราง 14 ผลการหาประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส.....	88
ตาราง 15 ผลการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังการจัดการเรียนรู้ องค์ประกอบที่ 1 การคิดสร้างสรรค์	90
ตาราง 16 ผลการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังการจัดการเรียนรู้ องค์ประกอบที่ 2 การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์	93
ตาราง 17 ผลการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังการจัดการเรียนรู้ องค์ประกอบที่ 3 การใช้นวัตกรรม.....	94
ตาราง 18 คะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม รวม 3 องค์ประกอบ : องค์ประกอบ ที่ 1 การคิดสร้างสรรค์ องค์ประกอบที่ 2 การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ และองค์ประกอบ ที่ 3 การใช้นวัตกรรม หลังการจัดการเรียนรู้ของนิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมาย	97
ตาราง 19 การเปรียบเทียบคะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม (รวม 3 องค์ประกอบ) หลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐาน กระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส ของนิสิตวิชาชีพครูกับเกณฑ์ร้อยละ 70	98

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในงานวิจัย	12
ภาพประกอบ 2 อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ (μ PAD)	17
ภาพประกอบ 3 อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่ศึกษาจากงานวิจัย	21
ภาพประกอบ 4 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม	27
ภาพประกอบ 5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	39
ภาพประกอบ 6 แผนภาพด้านล่างของแม่พิมพ์ 2 มิติ และแผนภาพแม่พิมพ์ 3 มิติ	45
ภาพประกอบ 7 การวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำกับพื้นผิวด้วยแอปพลิเคชัน Angle Meter	47
ภาพประกอบ 8 ผลการหาปริมาตรอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม	52
ภาพประกอบ 9 การทดลองใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส กับนิสิตวิชาชีพครู ระดับปริญญาโท	71
ภาพประกอบ 10 ตัวอย่างผลงานการออกแบบชุดทดสอบอย่างง่ายของนิสิต (Prototype) ก่อนศึกษาหลักการอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ	91
ภาพประกอบ 11 ตัวอย่างผลงานการออกแบบชุดทดสอบอย่างง่ายของนิสิต หลังจากศึกษาหลักการอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ	92
ภาพประกอบ 12 แม่พิมพ์และอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่นิสิตสร้างขึ้น	96
ภาพประกอบ 13 สถานการณ์ที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส	107
ภาพประกอบ 14 ปัญหาและสาเหตุของปัญหาที่นิสิตได้มาจากการวิเคราะห์สถานการณ์	113
ภาพประกอบ 15 วิธีแก้ไขปัญหที่นิสิตเสนอเพื่อแก้ไขข้อจำกัด ของการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซัลฟิวริกด้วยวิธีการไทเทรต	114

ภาพประกอบ 16 แผนผังขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์ที่นิตออกแบบ	115
ภาพประกอบ 17 การบันทึกสรุปองค์ความรู้ที่ได้เรียนในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ของนิต.....	118
ภาพประกอบ 18 นิตทุกกลุ่มนำเสนอนวัตกรรมชุดทดสอบอย่างง่ายที่ออกแบบไว้.....	120



บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม (Creatively and Innovation skills) เป็นองค์ประกอบสำคัญในทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม ตามที่องค์การภาคีเพื่อทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ได้เสนอไว้ (Partnership for 21st Century Skills, 2007) (เอกสารจากเว็บไซต์) ซึ่งหลายประเทศได้เน้นการพัฒนาทักษะดังกล่าวนี้ เพื่อตอบสนองต่อโลกยุคใหม่ที่มุ่งเน้นธุรกิจการค้าและการสร้างนวัตกรรม เพื่อการแข่งขันทางเศรษฐกิจในเวทีโลก สำหรับประเทศไทยได้เริ่มปลูกฝังให้พลเมืองมีทักษะในศตวรรษที่ 21 โดยกำหนดสิ่งที่ผู้เรียนจะได้เรียนรู้ให้สอดคล้องกับนโยบายเศรษฐกิจแบบ 4.0 ที่เน้นไปที่การสร้าง “นวัตกรรม” (วิชาญ ทราย์อ่อน, 2559)

จากการประเมินคุณภาพการศึกษาโดยจำแนกตามตัวบ่งชี้โดยภาพรวมของสถาบันอุดมศึกษาทุกแห่งในประเทศไทย รอบที่ 3 (พ.ศ. 2554-2558) โดยสำนักงานรับรองมาตรฐานและประเมินคุณภาพการศึกษา (องค์การมหาชน) (2558, น.1-2) พบว่าสถาบันอุดมศึกษาควรพัฒนา ตัวบ่งชี้ที่ 6 ด้านงานวิจัยหรืองานสร้างสรรค์ที่นำไปใช้ประโยชน์เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษา ซึ่งจากผลการประเมิน พบว่า การพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์ของนิสิต นักศึกษา ยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร จึงไม่สามารถสร้างสรรค์งานวิจัยและนวัตกรรมตามเป้าหมายได้ ทำให้ตัวบ่งชี้นี้ยังคงเป็นพันธกิจต่อเนื่องที่สำคัญของทุกมหาวิทยาลัย และเป็นเกณฑ์ของการประเมินคุณภาพภายนอก ระดับอุดมศึกษา รอบที่ 4 (พ.ศ.2559-2563) อีกด้วย ต่อมาผู้วิจัยได้ศึกษารายงานผลการศึกษาของประเทศไทย โดยสำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ซึ่งระบุไว้ในแนวทางเดียวกันว่า ระบบการศึกษามีปัญหาในด้านการผลิตกำลังคนที่มีคุณภาพ โดยระบุว่านิสิต นักศึกษาวิชาชีพครูในสถาบันอุดมศึกษา ยังขาดคุณลักษณะทั้งด้านความรู้และทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 เพราะนิสิต นักศึกษาวิชาชีพครูขาดความสามารถหรือทักษะในการคิดออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ (Pedagogical skills) ที่สร้างสรรค์และการทำวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษาแห่งชาติ, 2559) ดังนั้น สถาบันการศึกษาที่ผลิตครู จึงจำเป็นต้องกลับมาทบทวนหาแนวทางการผลิตและพัฒนาบัณฑิตครู เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว และยกระดับมาตรฐานการผลิตครูตามที่สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ได้กำหนดกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา พ.ศ. 2561 เพื่อเป็นทิศทางสำหรับการผลิตบัณฑิตวิชาชีพครู โดยกำหนดมาตรฐานการอุดมศึกษาด้านผลลัพธ์ผู้เรียนไว้ว่า นิสิต นักศึกษาจะต้องเป็นผู้ร่วมสร้างสรรค์นวัตกรรม (Co-Creator) ที่มี

ทักษะสำคัญในศตวรรษ 21 นั่นคือ ทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม รวมทั้งมีความสามารถในการบูรณาการศาสตร์ต่าง ๆ เพื่อพัฒนาหรือแก้ไขปัญหาใน สังคม ตลอดจนสามารถสร้างโอกาสและอาชีพให้กับตนเอง เสริมความแข็งแกร่งทางเศรษฐกิจให้กับชุมชน และประเทศได้อย่างยั่งยืน โดยใช้กระบวนการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นสร้างนวัตกรรม (สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา, 2561) ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการปฏิรูปการศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 ระยะปานกลาง ระหว่างปี พ.ศ. 2559-2564 ที่ระบุว่า การจัดการศึกษาในทุกระดับ จะต้องเน้นให้ผู้เรียนเกิดการพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูง อาทิเช่น ทักษะการคิดสร้างสรรค์ ตามกรอบแนวคิดในศตวรรษที่ 21 ด้านทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม (ณมน จีรังสุวรรณ , 2558, น.19) อย่างไรก็ตาม ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา มีการเตรียมครูให้พร้อมสำหรับการก้าวเข้าสู่ศตวรรษที่ 21 โดยมีการพัฒนาหลักสูตรการผลิตครู เพื่อให้ครูพร้อมรับความรู้ใหม่ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นพลวัต ซึ่งทักษะสำคัญที่ควรพัฒนามีหลายทักษะ เช่น ภาวะผู้นำ การทำงานเป็นทีม การสื่อสาร และการใช้ภาษา เป็นต้น แต่ทักษะที่มีความสำคัญมากกว่าทักษะอื่น ๆ และยังไม่ได้มีการพัฒนาเท่าที่ควร คือ ทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม (นันทชินิตร อาชวพร และคนอื่น ๆ, 2015, น. 127) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกทักษะที่สำคัญอย่างยี่งนี้มาทำการศึกษาวิจัย

จากปัญหาเรื่อง การขาดทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิต นักศึกษา วิชาชีพครูดังที่กล่าวในข้างต้น ทำให้การเตรียมครูให้พร้อมสำหรับการทำงานในศตวรรษที่ 21 เป็นเรื่องสำคัญและท้าทายของมหาวิทยาลัย (วิชยานนท์ สุทธิโส, ม.ป.ป., น.3) มหาวิทยาลัยจึงเริ่มมีการปรับเปลี่ยนแนวทางและรูปแบบการจัดการเรียนรู้ใหม่มาใช้สำหรับจัดการเรียนรู้ และมีหนึ่งแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่กำลังได้รับความสนใจและสามารถนำไปปรับใช้ในการจัดการเรียนรู้ในทุกระดับการศึกษา คือ สะเต็มศึกษา โดยสะเต็มศึกษา เป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้บูรณาการระหว่างวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมและคณิตศาสตร์ เพื่อพัฒนาทักษะที่จำเป็นในด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ การคิดวิเคราะห์และการคิดสร้างสรรค์ (Maslen C, 2017) (เอกสารจากเว็บไซต์) อย่างมีประสิทธิภาพ ผ่านการทำกิจกรรมที่ใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem-based Learning) โดยฝึกฝนให้ผู้เรียนรู้จักนำองค์ความรู้จากสาขาวิชาต่าง ๆ มาบูรณาการกัน (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2560,น. 135-136) เพื่อให้ผู้เรียนได้เชื่อมโยงความรู้ที่ได้จากโรงเรียนสู่ความเป็นจริงและสามารถนำไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริงได้อย่างสร้างสรรค์ (Breiner, Harkness, Johnson, & C. M. Koehler, 2012 อ้างถึงใน ; สุทธิดา จำรัส, 2559,น. 34-47) ซึ่งจะทำให้การเรียนวิทยาศาสตร์ไม่เพียงเป็นการเรียนรู้เนื้อหา ทฤษฎี หรือฝึกทักษะปฏิบัติเท่านั้น แต่ต้องสามารถนำความรู้ที่ได้รับนั้น ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้จริง รวมทั้งเป็นการฝึกให้

ผู้เรียนมีบทบาทสำคัญที่จะเสนอความคิดในการประดิษฐ์คิดค้นหรือสร้างสรรค์นวัตกรรมใหม่ ๆ ผ่านการลงมือทำ (Activity-based Learning) และสร้างสรรค์ผลงานที่สะท้อนการเรียนรู้ของผู้เรียน ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้คอนสตรัคชันนิซึม (Constructionism) ที่ Papert S. (1991) เสนอไว้ โดยใช้ขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (อภิสิทธิ์ ธงไชย, 2559, น. 48-51) ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของการจัดการเรียนรู้ตามแนวทาง สะเต็มศึกษา (Ogunleye & Tankeh, 2006, pp. 78-85) เพื่อตอบสนองต่อการพัฒนาผู้เรียนให้มีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม จนนำไปสู่การพัฒนาความสามารถในการจัดการเรียนรู้และสร้างนวัตกรรมทางการศึกษาต่อไป (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2559, น.5) ซึ่งทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมยังสอดคล้องกับทักษะที่จำเป็นสำหรับครูไทยในอนาคต (C - Teacher) ในเรื่อง ทักษะการคิดสร้างสรรค์ (Creativity) ในการออกแบบสร้างสรรค์กิจกรรมการเรียนรู้ (ถนอมพร เลาหจรัสแสง, 2556) ที่เป็นหนึ่งในบทบาทสำคัญ 7 ประการ ของครูในศตวรรษที่ 21 อีกด้วย (ไพฑูรย์ สินลารัตน์, 2557) ดังนั้น นิสิต นักศึกษาวิชาศึกษาศาสตร์จึงควรเตรียมความพร้อมในขณะที่ศึกษาอยู่ในมหาวิทยาลัย เพื่อให้บัณฑิตวิชาชีพครูมีทักษะที่จำเป็นและมีความพร้อมที่จะจัดการเรียนรู้ เพื่อพัฒนานักเรียนต่อไปได้ในอนาคต

การจัดการศึกษาตามแนวทางสะเต็มศึกษาได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในทุกระดับการศึกษา เนื่องจาก พิสูจน์แล้วว่า มีหลายประเทศประสบผลสำเร็จในการใช้สะเต็มศึกษาในการพัฒนากำลังคนที่มีความคิดสร้างสรรค์ สามารถสร้างนวัตกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพได้ อาทิ สหรัฐอเมริกา สาธารณรัฐเกาหลี รวมถึงสาธารณรัฐประชาชนจีน โดยเน้นประสบการณ์จริงจากการลงมือปฏิบัติในชั้นเรียน มีการต่อยอดจากความรู้พื้นฐานไปสู่การสร้างนวัตกรรมและเพิ่มกิจกรรมหรือการเรียนรู้จากประสบการณ์ภายนอกห้องเรียนด้วยความคิดสร้างสรรค์ เพื่อสร้างนวัตกรรมที่เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางเศรษฐกิจในเวทีโลก (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2559) สำหรับประเทศไทยได้มีการนำประกาศให้ใช้สะเต็มศึกษาเป็นนโยบายเชิงรุกเพื่อพัฒนาเยาวชนและกำลังคนด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 โดยกำหนดวิสัยทัศน์ให้มีการสร้างกำลังคนด้านสะเต็มที่สามารถใช้ประโยชน์จากวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และกระบวนการเชิงวิศวกรรมในการประกอบอาชีพและในชีวิตประจำวัน ให้มีจำนวนมากขึ้น และมีเป้าหมายในการเสริมสร้างทรัพยากรบุคคลแห่งอนาคตให้มีคุณภาพและมีทักษะสำคัญที่เป็นที่ต้องการในระดับสากล โดยเฉพาะอย่างยิ่งทักษะ

การคิดขั้นสูง ซึ่งเน้นทักษะในการคิดวิเคราะห์ การแก้ปัญหา ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ในการพัฒนานวัตกรรม (พรพรรณ ไวย่างกูร, 2558)(เอกสารจากเว็บไซต์)

จากนโยบายการศึกษาดังกล่าวนำมาสู่การปรับใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาในสถาบันการศึกษาอย่างจริงจัง เพื่อแก้ปัญหาการจัดการเรียนรู้ดั้งเดิมที่ไม่ตอบสนองต่อการสร้างทรัพยากรบุคคลที่มีคุณภาพตามที่สังคมต้องการ โดยในระดับมัธยมศึกษา การจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเคมีก็ได้มีการนำการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษามาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์และความเข้าใจของผู้เรียนในสาระการเรียนรู้ผ่านการแก้ปัญหาในการจัดการเรียนรู้ของวิชาเคมีอยู่พอสมควร (เกรียงศักดิ์ วิเชียรสร้าง, 2560; พลศักดิ์ แสงพรมศรี, 2558; เพชรศิริินทร์ ตุ่นคำ, 2559; วิไลลักษณ์ ผ่านเมือง, 2560) ส่วนในระดับอุดมศึกษา สถาบันผลิตครูเริ่มมีแนวคิดในการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาในการจัดการเรียนรู้ สำหรับนิสิตนักศึกษาวิชาชีพครู (กมลฉัตร กล่อมอิม, 2559, น.334-348; จุติยา เนตรวงษ์, 2561, น.296-301) แต่ยังมีไม่มากนัก ส่งผลให้สะเต็มศึกษาที่เป็นรากฐานในการพัฒนากำลังคน นวัตกรรม และการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไม่สามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพและต่อเนื่องเหมือนในต่างประเทศ ได้แก่ แครีรัฐออสเตรเลีย สาธารณรัฐเกาหลี สาธารณรัฐประชาชนจีน สหรัฐอเมริกา และสหราชอาณาจักรได้ ซึ่งประเทศเหล่านี้ประสบความสำเร็จในการจัดโปรแกรมฝึกอบรมด้านสะเต็มศึกษา เพื่อให้ครูได้รับการพัฒนาความรู้และทักษะที่จำเป็นอย่างต่อเนื่อง ทั้งนักศึกษาครู (Pre-service teacher) และครูประจำการ (In-service teacher) (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2559, น.4,145)

จากข้อมูลดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า กระบวนการเรียนการสอนในการผลิตครูนั้นมีความสำคัญ เพราะก่อนที่ครูจะพัฒนาให้นักเรียนมีความคิดสร้างสรรค์และสร้างนวัตกรรมได้ ครูจำเป็นต้องมีทักษะการคิดสร้างสรรค์ในตนเองเสียก่อน เพราะหากครูมีทักษะดังกล่าวแล้วครูจะสามารถสร้างนวัตกรรมการศึกษา เพื่อทำมาพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 ของนักเรียนได้ดียิ่งขึ้น (วิไลลักษณ์ รัตนเพียรธัมมะ, 2559, น.73-74) ดังนั้น มหาวิทยาลัยจึงมีพันธกิจที่สำคัญทั้งในด้านการวิจัยและการผลิตบัณฑิตครูที่มีความรู้ความสามารถในการจัดการศึกษาเพื่อตอบสนองการพัฒนาประเทศไปสู่ประเทศไทย 4.0 โดยดำเนินปรับกระบวนการในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยนวัตกรรมที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงความแตกต่างระหว่างผู้เรียน และเปิดให้ผู้เรียนได้มีโอกาสลงมือปฏิบัติจริงมากกว่าการฟังเพียงอย่างเดียว ตามแนวคิดการเรียนรู้จากการกระทำ (Learning by Doing) (Dewey J., 1938) โดยจัดกิจกรรมให้ผู้เรียนได้เรียนรู้โดยการอ่าน การเขียน การโต้ตอบ และการวิเคราะห์ปัญหา โดยให้ผู้เรียนได้ใช้กระบวนการคิด

ชั้นสูง ตามมาตรฐานผลการเรียนรู้ของหลักสูตรและกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษา แห่งชาติ ด้านทักษะการจัดการเรียนรู้ด้วย (คณะวิทยาศาสตร์ และคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2560, น.4-5)

สำหรับเรื่องสารละลายกรด-เบสนั้น เป็นแนวคิดที่มีความสำคัญ เนื่องจากสามารถใช้ใน การหาปริมาณสาร ซึ่งมีความสัมพันธ์กับหลายแนวคิดในวิชาเคมี ได้แก่ ปริมาณสารสัมพันธ์ สารละลาย และการเลือกใช้อินดิเคเตอร์ (Demircioglu G., Ayas, & H. Demircioglu, 2005, pp. 36-51) อย่างไรก็ตาม การจัดการเรียนรู้เรื่อง สารละลายกรด-เบส จำเป็นต้องมีปฏิบัติการทดลอง เพื่อฝึกให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง มีการแลกเปลี่ยนความคิด ผ่านการอภิปรายโต้แย้ง ให้เหตุผล ตลอดจนการแก้ปัญหาที่ประสบในระหว่างทำปฏิบัติการทดลอง (แก้วใจ พัทธน หิรัญ, 2541, น. 2-4; สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2545, น. 5) เมื่อผู้เรียน ได้เรียนรู้ผ่านการปฏิบัติ จะช่วยให้ผู้เรียนสามารถนำองค์ความรู้ที่มีอยู่มาปฏิบัติได้จริงและสร้าง ความเข้าใจที่ถูกต้องในเรื่องนั้น ๆ ได้ และจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า การทำปฏิบัติการทดลองดั้งเดิมที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ มีข้อจำกัดในเรื่องค่าใช้จ่ายสูง จำเป็นต้อง จัดเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมีให้เพียงพอกับจำนวนผู้เรียนซึ่งต้องใช้สารเคมีในปริมาณ มาก ซึ่งอาจส่งผลเสียต่อนิสิต นักศึกษา ตามที่สมาคมเคมีแห่งสหรัฐอเมริกา (American Chemical Society) ได้จัดทำคู่มือเพื่อเป็นแนวทางปฏิบัติในเรื่อง ความปลอดภัยในห้องปฏิบัติการ เคมีสำหรับสถาบันทางการศึกษา โดยระบุว่า ในการทำปฏิบัติการทดลองเคมีของนิสิต นักศึกษา ที่จำเป็นต้องใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นกรดและเบส จะต้องใช้ในปริมาณและความเข้มข้นที่ เหมาะสม หลีกเลี่ยงการสัมผัสโดยตรงและการสูดดม เพราะจะทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้ นอกจากนี้ การทิ้งสารเคมีในปริมาณมากอาจส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่ จะลดปริมาณและความเข้มข้นของสารเคมีดังกล่าวลง เพื่อความปลอดภัยของนิสิต นักศึกษาและ เพิ่มความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับหลักการเคมีสีเขียว (American Chemical Society, 2017, pp.36-37,49) อีกปัญหาหนึ่งที่ผู้วิจัยต้องการแก้ไข คือ การทำปฏิบัติการไทเทรต กรด-เบสแต่ละครั้ง มักใช้เวลานาน ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษ เพื่อใช้เสริมการทำปฏิบัติการแบบดั้งเดิมที่มีข้อจำกัดในเรื่องอุปกรณ์การ ทดลอง ปริมาณสารเคมีที่ใช้ และระยะเวลาในการทำปฏิบัติการ เพื่อให้นิสิตวิชาชีพรู้สามารถทำ การทดลองได้ทุกคน เนื่องจากสามารถประดิษฐ์อุปกรณ์การทดลองได้ง่ายขึ้นและมีต้นทุนต่ำ เพียงใช้กระดาษกรองซึ่งเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในห้องปฏิบัติการและมีความปลอดภัยในการใช้งาน อีกทั้งสามารถประหยัดเวลาและลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ลงได้จากเดิมที่ใช้สารเคมีรวม 100

มีผลลิตรขึ้นไป มาเป็น 5-30 ไมโครลิตร ซึ่งถือว่าการทำปฏิบัติการในระดับไมโครสเกล (Micro scale) (ประภรณ์ เลิศสุวรรณไพศาล, พัทธักษ์ อยู่มี, & อนงค์ ศรีโสภา, 2559) และเมื่อใช้งานอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษเสร็จแล้ว สามารถทิ้งให้ย่อยสลายได้ในธรรมชาติ เพราะอุปกรณ์ดังกล่าวประดิษฐ์ขึ้นจากวัสดุธรรมชาติทั้งหมด

อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ (Microfluidic paper-based analytical device ; μ PAD) มีหลักการที่สำคัญ คือ การสร้างลวดลายบนกระดาษ ทำให้กระดาษที่สร้างได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic region) เป็นบริเวณที่เคลือบด้วยสารที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ และส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic region) เป็นบริเวณที่ใช้สำหรับทำปฏิกิริยาซึ่งเกิดจากขอบเขตที่กำหนดขึ้นโดยส่วนที่ไม่ชอบน้ำนั้น จะช่วยในการควบคุมทิศทางการแพร่ของสารละลายโดยใช้หลักการแพร่ของสารในท่อขนาดเล็ก หรือที่เรียกว่า การซึมตามรูเล็ก (Capillary action) ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้แรงจากภายนอก (Whitesides G.M., Martinez A.W., Phillips S.T., & Butte M.J., 2007, pp. 1318-1320) โดยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่สร้างขึ้น สามารถนำมาใช้ในการตรวจวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ซึ่งอาศัยเทคนิคในการตรวจวัดต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ร่วมกัน เช่น เทคนิคการตรวจวัดสี (Colorimetric detection) เทคนิคการวัดทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical detection) เป็นต้น และในปัจจุบันเริ่มมีการนำอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ เช่น งานวิจัยของ ไตรรงค์ เปลี่ยนแสง และคณะ (ไตรรงค์ เปลี่ยนแสง, ธนสาร เพ็งพุ่ม, & อนงค์ ศรีโสภา, 2560, น. 1061-1068) ทำการพัฒนาอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ โดยสร้างขอบเขตที่ไม่ละลายน้ำ ด้วยปากกาที่ใช้สีน้ำหมึกชนิดกันน้ำบนกระดาษกรอง เพื่อศึกษาสมดุลเคมีและการวัดความเป็นกรด-เบส ร่วมกับหลักการเทียบสี ในระดับปริญญาตรีพบว่า อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้น สามารถใช้ทดแทนปฏิบัติการดั้งเดิม ใช้ได้ง่ายและเหมาะสมกับนิสิตวิชาชีพครูระดับมัธยมศึกษาจนถึงระดับปริญญาตรี

จากการศึกษาข้างต้น ผู้วิจัยจึงนำหลักการของการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษมาประยุกต์เข้ากับสาระการเรียนรู้ เรื่อง สารละลายกรด-เบส เพื่อใช้เป็นนวัตกรรมสื่อการจัดการเรียนรู้รวมกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา โดยมุ่งเน้นให้นิสิตวิชาชีพครูได้ประดิษฐ์และประยุกต์ใช้นวัตกรรมอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษด้วยตนเองจากวัสดุที่หาได้ง่าย เพื่อเป็นการส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตวิชาชีพครูอย่างมีประสิทธิภาพ

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายดังต่อไปนี้

1. เพื่อพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ที่ส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตวิชาชีพครูให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ คือ นิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมาย มากกว่าร้อยละ 70 มีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมอยู่ในระดับดีขึ้นไป

2. เพื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตวิชาชีพครู หลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ที่พัฒนาขึ้นกับเกณฑ์ร้อยละ 70

ความสำคัญของงานวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนาวิธีการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ สำหรับใช้ในการจัดการเรียนรู้ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ที่สามารถนำไปใช้ เพื่อลดต้นทุนและระยะเวลาในการทำปฏิบัติการเคมี จากนั้นผู้วิจัยได้พัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ที่ส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับอาจารย์ผู้สอนได้นำไปใช้ เพื่อให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในการจัดการเรียนรู้แบบเชิงรุก (Active Learning) และมีแนวทางในการพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษา สำหรับอาจารย์ผู้สอนที่สนใจจะนำไปพัฒนากิจกรรมการจัดการเรียนรู้ เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตวิชาชีพครูในมหาวิทยาลัยอย่างมีระบบ

ขอบเขตของการวิจัย

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นิสิตหลักสูตรการศึกษาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ชั้นปีที่ 4 จำนวน 1 กลุ่มผู้เรียน รวม 22 คน ที่ลงทะเบียนเรียน รายวิชา คศ 481 หัวข้อพิเศษทางเคมีศึกษา ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling)

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ คือ การจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส

2. ตัวแปรตาม ได้แก่

2.1 ประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ที่ส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตวิชาชีพครู

2.2 ทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

เนื้อหา

เนื้อหาสำหรับการจัดการเรียนรู้ในกิจกรรมสะเต็มศึกษาใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส เป็นเนื้อหาในหัวข้อสารละลายกรด-เบส ซึ่งเป็นเนื้อหาในรายวิชา คม 254 เคมีวิเคราะห์ โดยนำมาออกแบบกิจกรรมในรูปแบบสะเต็มศึกษาที่สอดคล้องกับจุดมุ่งหมายและคำอธิบายรายวิชา คศ 481 หัวข้อพิเศษทางเคมีศึกษา ที่เน้นให้ผู้เรียน มีความเข้าใจทฤษฎีการเรียนรู้และแนวคิดในการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาและสามารถนำทฤษฎีการเรียนรู้และแนวคิดในการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษามาใช้ในการจัดการเรียนการสอนให้เหมาะสมกับเนื้อหาสาระวิชาเคมี โดยจะต้องออกแบบและผลิตนวัตกรรมการเรียนการสอนแบบสะเต็มศึกษา ตลอดจนสามารถสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามที่ระบุไว้ในหลักสูตรการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น สาขาวิชาเคมี (5 ปี) (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2556) ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ซึ่งกำหนดให้นิสิตได้เรียน ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 โดยในการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษากับนิสิตวิชาชีพครูครั้งนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งกิจกรรมออกเป็น 3 สัปดาห์ ได้แก่ สัปดาห์ที่ 1 กิจกรรมการออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ สัปดาห์ที่ 2 กิจกรรมการศึกษาลักษณะการใช้ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในการหาปริมาณกรด-เบสด้วยอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม และสัปดาห์ที่ 3 กิจกรรมการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อหาปริมาณกรดซัลฟิวริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม

ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษา

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย คือ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 โดยใช้ระยะเวลา 3 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 ชั่วโมง รวมทั้งสิ้น 9 ชั่วโมง ซึ่งหมายรวมถึงการประเมินด้วยแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่พัฒนาขึ้น

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. กิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลาย กรด-เบส หมายถึง กิจกรรมการเรียนรู้ที่สร้างขึ้น โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษ เป็นนวัตกรรมและสื่อในการจัดการเรียนรู้ ผสมกับสาระการเรียนรู้/แนวคิด สำคัญทางวิทยาศาสตร์ในเรื่อง สารละลายกรด-เบส เป็นแกนในการออกแบบกิจกรรมและผนวก เข้ากับแนวคิดสะเต็มศึกษา ซึ่งเป็นการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการ 4 สาขาวิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ เพื่อเป็นการพัฒนาทักษะการ คิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตวิชาชีพครู ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ซึ่งนิสิตจะ ได้ออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษให้มีคุณภาพ สามารถนำไปใช้ในการทดลองเพื่อหาปริมาณกรด-เบสในตัวอย่างได้จริง โดยผลจากกิจกรรม สะเต็มศึกษานี้จะช่วยให้ นิสิตวิชาชีพครูได้เรียนรู้ทางทฤษฎีและสามารถนำความรู้เหล่านั้น ไปประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาในสถานการณ์ที่กำหนดได้อย่างสร้างสรรค์ โดยรายละเอียดการ บูรณาการระหว่างสาขาวิชา มีดังนี้

วิทยาศาสตร์ (Science) หมายถึง เนื้อหาในเรื่อง สารละลายกรด-เบส รายวิชาเคมี วิเคราะห์ ในหลักสูตรการศึกษามัธยมศึกษา (5 ปี) (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2556) ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้แก่ หลักการไทเทรต กรด-เบส การเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม รวมถึงความรู้ทางวิทยาศาสตร์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง อาทิ วิธีวิเคราะห์หาปริมาณกรดซัลฟิวริก หลักการและวิธีการขึ้นรูปอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาค-ฐานกระดาษ คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ คุณสมบัติของวัสดุที่เหมาะสมที่นำมาใช้ ในการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ หลักการ ประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ สารละลายไฮโดรเจนไฮดรอกไซด์ หลักการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐาน กระดาษในการหาปริมาณกรดซัลฟิวริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม หลักการออกแบบและการทำงาน ของนวัตกรรมชุดทดสอบอย่างง่าย

เทคโนโลยี (Technology) ได้แก่ การสืบค้นสารสนเทศที่ต้องการ การใช้ แอปพลิเคชันในโทรศัพท์มือถือระหว่างการทำกิจกรรม เช่น แอปพลิเคชัน Angle meter เป็นต้น การใช้อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ เช่น ไมโครปิเปตต์ เวอร์เนียคาลิเปอร์ เป็นต้น การใช้เทคโนโลยี สารสนเทศในการนำเสนอผลการทดลอง และนวัตกรรมที่นิสิตแต่ละกลุ่มสร้างขึ้น

วิศวกรรม (Engineering) หมายถึง การใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering design process) ซึ่งมี 6 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การระบุปัญหาจากสถานการณ์ปัญหา ปัญหานี้มักจะนามานวเทียบไม่มีคุณภาพ เพื่อนำไปสู่การออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ 2) การระดมความคิดและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับหลักการ วิธีการประดิษฐ์ และการนำอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษไปใช้ประโยชน์ 3) การออกแบบวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษและนวัตกรรมชุดทดสอบอย่างง่ายที่มีความเหมาะสมและเป็นไปได้ 4) การวางแผนและดำเนินการออกแบบประดิษฐ์ และนำอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษไปประยุกต์ใช้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ 5) การทดสอบ ประเมินคุณภาพของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษและวิธีการประยุกต์ใช้ที่พัฒนาขึ้น เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงแก้ไขให้ดียิ่งขึ้น 6) การนำเสนอผลการประดิษฐ์และวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษเพื่อแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับนิสิตกลุ่มอื่น ๆ พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางการนำอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษไปใช้ประโยชน์ในการเรียนรู้ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ต่อไป

คณิตศาสตร์ (Mathematics) หมายถึง การคำนวณปริมาตรของสารที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์บนอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ การคำนวณตามทฤษฎี เรื่อง สารละลายกรด-เบส และปริมาณสารสัมพันธ์ รวมถึงการคำนวณค่าสถิติทางเคมีวิเคราะห์ เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไฮดรอกไซด์ และหาปริมาณกรดชนิดใดในตัวอย่างนามานวเทียบ

2. ทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หมายถึง พฤติกรรมที่แสดงถึงความสามารถในการคิดริเริ่มสร้างสรรค์ ในการออกแบบ พัฒนาอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษและวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในการทดลอง เรื่อง สารละลายกรด-เบส ให้มีประสิทธิภาพและตอบสนองต่อสถานการณ์ปัญหา ตลอดจนมีความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ มีการใช้ความคิดที่หลากหลายโดยพัฒนาหรือต่อยอดจากความรู้พื้นฐาน ประสบการณ์เดิมที่มีอยู่ สำหรับใช้ในการออกแบบและนำเสนอนวัตกรรมชุดทดสอบอย่างง่ายที่มีประโยชน์ไปสู่ผู้อื่น โดยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม มีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 องค์ประกอบ ดังนี้

1. การคิดสร้างสรรค์ (Think creatively) เป็นกระบวนการคิดที่นำเทคนิคที่หลากหลายและแตกต่างจากเดิม อาทิ การเสนอเทคนิควิธีการที่หลากหลายในการออกแบบ

อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษและสร้างวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในการทดลอง เรื่อง สารละลายกรด-เบส จากการระดมพลังสมอง การคิดอุปมาอุปไมย การสร้างสรรค์ความคิดใหม่โดยต่อยอดจากความรู้เดิมหรือจากการใช้เทคโนโลยีในการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง จนสามารถเสนอวิธีการ/ความคิดในการแก้ปัญหาหรือสร้างสรรค์ผลงานที่แตกต่างจากนิสิตกลุ่มอื่น ๆ หรือแหล่งการเรียนรู้ที่ได้กำหนดให้ และในระหว่างการทำกิจกรรม มีการวางแผนเพื่อแก้ไขสถานการณ์ปัญหาอย่างละเอียดรอบคอบ โดยผ่านการถกเถียงความคิดออกมาเป็นลำดับขั้นตอนที่ชัดเจน นำไปปฏิบัติได้จริง และเมื่อดำเนินการตามแผนที่วางไว้แล้ว มีการวิเคราะห์ ตรวจสอบ ประเมินความคิด เพื่อปรับปรุงคุณภาพของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ ตลอดจนประสิทธิภาพของวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในการหาปริมาณกรด-เบส ในตัวอย่างจริงอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งผู้วิจัยประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตวิชาชีพครู ในองค์ประกอบนี้ ได้จากแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

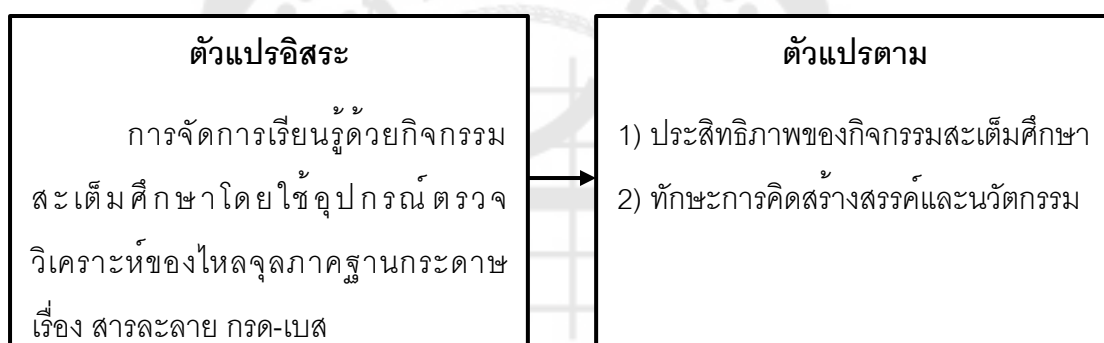
2. การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ (Work creatively with others) หมายถึง การปฏิบัติกิจกรรมร่วมกับผู้อื่นด้วยความสมัครใจ และเปิดใจที่จะรับฟังความคิดของเพื่อนสมาชิกภายในกลุ่ม/ระหว่างกลุ่ม จนเกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ที่นำไปสู่การพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ ผ่านการเสนอความคิดของตนเองให้กับผู้อื่น โดยการอธิบาย การยกตัวอย่าง การอธิบาย การให้เหตุผล จนนำไปสู่การสร้างสรรค์หรือปรับปรุงผลงาน/วิธีการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ มีความรับผิดชอบในหน้าที่ของตนเองอย่างเต็มความสามารถ ตลอดจนสามารถแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าด้วยวิธีการที่หลากหลาย ด้วยความเข้าใจในเงื่อนไขหรือปัญหาของการทำงาน และสามารถนำอุปสรรค ปัญหาที่พบในระหว่างการทำงานมาปรับใช้ในการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาหรือผลงานให้ดีขึ้นในครั้งต่อไป ซึ่งผู้วิจัยประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตวิชาชีพครู ในองค์ประกอบนี้ ได้จากแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

3. การใช้นวัตกรรม (Implement innovations) หมายถึง ความสามารถในการสร้างอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษให้มีคุณภาพ และสามารถนำอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษไปประยุกต์ใช้ในการตรวจหาปริมาณกรด-เบสได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ ภายใต้เงื่อนไข ข้อจำกัดที่มีอยู่ ตลอดจนสามารถนำเสนอผลงานเพื่อแลกเปลี่ยนแนวทางการใช้ประโยชน์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่คุ้มค่าไปสู่เพื่อนต่างกลุ่มอย่างสร้างสรรค์ ซึ่งผู้วิจัยประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตวิชาชีพครู ในองค์ประกอบนี้ ได้จากแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

3. ประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลาย กรด-เบส หมายถึง ผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลาย กรด-เบส ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด คือ นิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมาย มากกว่าร้อยละ 70 มีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมอยู่ในระดับดีขึ้น

4. นิสิตวิชาชีพครู หมายถึง นิสิตที่กำลังศึกษาอยู่ในหลักสูตรการศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ลงทะเบียนเรียน รายวิชา คศ 481 หัวข้อพิเศษทางเคมีศึกษา ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562

กรอบแนวคิดในงานวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในงานวิจัย

สมมติฐานในการวิจัย

1. กิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ที่ส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตวิชาชีพครู มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ คือ นิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมาย มากกว่าร้อยละ 70 มีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมอยู่ในระดับดีขึ้น

2. นิสิตวิชาชีพครูที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส มีคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังการจัดการเรียนรู้สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

การวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาผลของการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตวิชาชีวเคมี ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับหลักสูตรการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเคมี (5 ปี) หลักสูตรฉบับปรับปรุง พ.ศ.2556 ตำราและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ สะเต็มศึกษา และทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ซึ่งมีรายละเอียดโดยลำดับ ดังต่อไปนี้

1. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับหลักสูตรการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเคมี (5 ปี) หลักสูตรฉบับปรับปรุง พ.ศ.2556 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ
 - 2.1 ความเป็นมาของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ
 - 2.2 ความหมายและหลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ
 - 2.3 วิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ
 - 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ สำหรับใช้ในการเรียนรู้และการวิเคราะห์เชิงปริมาณของกรด-เบส
3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มศึกษา
 - 3.1 ความเป็นมาของสะเต็มศึกษา
 - 3.2 ความหมายและองค์ประกอบของสะเต็มศึกษา
 - 3.3 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา
 - 3.4 การออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษา
 - 3.5 ประโยชน์จากการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา
 - 3.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา
4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
 - 4.1 ความหมายและองค์ประกอบของทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
 - 4.2 การประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

4.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

1. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับหลักสูตรการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น (5 ปี) หลักสูตรฉบับปรับปรุง พ.ศ.2556 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

หลักสูตรการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น (5 ปี) หลักสูตรฉบับปรับปรุง พ.ศ.2556 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เป็นหลักสูตรในระดับปริญญาตรีที่มีระยะเวลาในการศึกษา 5 ปี เริ่มดำเนินการจัดการเรียนการสอน ตั้งแต่ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556 โดยผ่านความเห็นชอบของคณะกรรมการการศึกษาระดับปริญญาตรี สภาวิชาการ สภามหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ คณบดี และสำนักคณะกรรมการการอุดมศึกษา ตามลำดับ (ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2556)

สำหรับพันธกิจสำคัญของหลักสูตรนี้ คือ การเป็นผู้นำในด้านการผลิตครูและบุคลากรทางการศึกษาที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้ได้ครูและบุคลากรทางการศึกษาที่มีสมรรถนะในการบริหารและจัดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งมีคุณลักษณะตามอัตลักษณ์ของมหาวิทยาลัย ได้แก่ คิดเป็นทำเป็น คือ การมีทักษะการคิด กล้าที่จะแสดงออกทางความคิด และลงมือทำตามความคิดเหล่านั้นให้เป็นรูปธรรม นักเอาเบาสู้ คือ มีความรับผิดชอบในการทำหน้าที่ของตนเองอย่างสุดความสามารถ มีทักษะสื่อสาร ประกอบด้วย ความสามารถในการใช้ภาษาสื่อสารได้เข้าใจ ชัดเจน (Language) ความสามารถในการใช้ ICT (Information Communication Technology) เพื่อค้นหาความรู้และการสื่อสาร และความสามารถในการถ่ายทอดข้อมูล/ความรู้ (Teaching) ซึ่งเป็นรากฐานของความเป็นครู ตลอดจนการมีทักษะการสอนอย่างสร้างสรรค์ (Creative Teaching Skill) ซึ่งเป็นขีดความสามารถของนิสิตตามที่หลักสูตรระบุไว้

สำหรับวัตถุประสงค์ในการพัฒนาและปรับปรุงหลักสูตรในครั้งนี้ คือ การผลิตบัณฑิตวิชาชีพครูให้มีคุณลักษณะสำคัญ ดังต่อไปนี้

- 1) มีความรอบรู้ในวิชาเคมี มีความรู้ในหลักวิทยาศาสตร์และวิชาชีพครูอย่างลึกซึ้ง
- 2) มีความสามารถในการจัดการเรียนรู้ที่สร้างสรรค์ เพื่อพัฒนาผู้เรียนในด้านเคมีและวิทยาศาสตร์ในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน
- 3) มีจรรยาบรรณและเจตคติที่ดีต่อวิชาชีพครู
- 4) มีคุณธรรม จริยธรรม สามารถดำรงชีวิตอยู่ในสังคมได้อย่างมีความสุข

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับหลักสูตรการศึกษาระดับบัณฑิต สาขาวิชาเคมี (5 ปี) หลักสูตรฉบับปรับปรุง พ.ศ.2556 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในรายละเอียดเกี่ยวกับสาระวิชา และการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ พบว่า มีการกำหนดกลยุทธ์ในการจัดการเรียนรู้ให้มีลักษณะเป็น การบูรณาการสาระความรู้ โดยให้นิสิตฝึกค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเองในทุกรายวิชา ซึ่งเป็นการ เปิดโอกาสให้นิสิตได้เรียนรู้องค์ความรู้ต่าง ๆ อย่างหลากหลาย รวมทั้งเข้าใจวิถีวิเคราะห์ปัญหาที่ เกิดขึ้นในระหว่างการเรียนรู้และแสวงหาแนวทางแก้ไขได้อย่างเป็นระบบ โดยอาศัยการบูรณาการ ความรู้ในศาสตร์ต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีจุดเน้นให้นิสิตพัฒนาความสามารถปรับตัวเพื่อทำงาน ร่วมกับผู้อื่นได้อย่างสร้างสรรค์ มีความรับผิดชอบต่อภาระงานที่ได้รับมอบหมาย สามารถแสดง จุดยืนทางความคิดของตนเองและเปิดใจรับฟังความคิดเห็นของเพื่อนร่วมกลุ่ม เพื่อการเรียนรู้และ ค้นหาคำตอบของปัญหาในการเรียนรู้ร่วมกันได้ ตลอดจนสามารถนำเสนอและอภิปราย แลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับคณาจารย์และเพื่อนร่วมชั้น

จากจุดเน้นของการพัฒนานิสิตวิชาชีพอิสระและกลยุทธ์ในการจัดการเรียนรู้ที่สรุปมาใน ข้างต้น ผู้วิจัยจึงเกิดความสนใจที่จะออกแบบกิจกรรมในรูปแบบสะเต็มศึกษา เพื่อส่งเสริมทักษะ ดังกล่าว ให้สอดคล้องกับหลักสูตร ตลอดจนคำอธิบายของรายวิชา คศ 481 หัวข้อพิเศษทางเคมี ศึกษาที่นิสิตลงทะเบียนเรียนในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 ซึ่งเน้นจัดการเรียนรู้โดยนักทฤษฎี และความก้าวหน้าทางเคมีศึกษา นั่นคือ การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษามาปรับใช้กับ นิสิต เพื่อให้นิสิตมีความเข้าใจในหลักการทางสะเต็มศึกษามากยิ่งขึ้น และมีการกำหนดความมุ่ง หมายของรายวิชาต่อผู้เรียนไว้ ดังนี้

- 1) มีความเข้าใจทฤษฎีการเรียนรู้และแนวคิดในการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา
- 2) สามารถนำทฤษฎีการเรียนรู้และแนวคิดในการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษามา ใช้ในการจัดการเรียนการสอนให้เหมาะสมกับเนื้อหาสาระวิชาวิทยาศาสตร์และเคมี
- 3) สามารถออกแบบสื่อการเรียนการสอนแบบสะเต็มศึกษาได้
- 4) สามารถผลิตนวัตกรรมการเรียนการสอนแบบสะเต็มศึกษาได้
- 5) สามารถสื่อสารได้อย่างมีประสิทธิภาพและเลือกใช้สื่อได้อย่างเหมาะสม

จากความมุ่งหมายของรายวิชาดังกล่าว แสดงให้เห็นถึงจุดเน้นของรายวิชา ที่มุ่งเน้นให้ ผู้เรียนมีความเข้าใจทฤษฎีการเรียนรู้และแนวคิดในการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็ม ศึกษาตามที่หลักสูตรและรายวิชาคาดหวัง ยังมีความสอดคล้องกับองค์ประกอบของทักษะการคิด สร้างสรรค์และนวัตกรรมที่งานวิจัยนี้ต้องการส่งเสริมให้นิสิตวิชาชีพอิสระกลุ่มเป้าหมาย มีทักษะ สำคัญดังกล่าว และตอบวัตถุประสงค์ของหลักสูตรและรายวิชาที่เกี่ยวข้องได้อย่างสมบูรณ์

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงได้นำเนื้อหาในรายวิชา คม 254 เคมีวิเคราะห์ เรื่อง สารละลายกรด-เบส มาใช้ในการดำเนินกิจกรรมสะเต็มศึกษา เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตวิชาชีพอครุ สาขาวิชาเคมี โดยแบ่งกิจกรรมสะเต็มศึกษาออกเป็น 3 สัปดาห์ ได้แก่ สัปดาห์ที่ 1 กิจกรรมการออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ สัปดาห์ที่ 2 กิจกรรมการศึกษาหลักการใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในการหาปริมาณกรด-เบสด้วยอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม และสัปดาห์ที่ 3 กิจกรรมการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อหาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ

2.1 ความเป็นมาของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ

อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ (Microfluidic paper-based analytical device หรือ μ PAD) เป็นอุปกรณ์สำหรับงานด้านเคมีวิเคราะห์ที่ถูกคิดค้นและพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดยกลุ่มวิจัยของจอร์จ เอ็ม ไวท์ไซด์ (Whitesides G.M. et al., 2007, pp. 1318-1320) เพื่อใช้ในการตรวจวัดทางชีวภาพ ซึ่งอุปกรณ์ที่กลุ่มผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีต้นทุนต่ำ ขนาดเล็ก สามารถพกพาได้สะดวก ใช้สารปริมาณน้อยในการตรวจวัด ใช้ตรวจวิเคราะห์สารได้ง่าย และไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เสริมในการตรวจวัด จึงทำให้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษได้รับความนิยมและความสนใจจากผู้วิจัยเป็นจำนวนมาก และได้มีการนำอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษนี้ไปประยุกต์ใช้กับเทคนิคการตรวจวัดที่หลากหลายเพื่อให้เหมาะสมกับปฏิกิริยาและสารที่ต้องการทำการตรวจวัด เช่น การตรวจวัดโดยใช้การวิเคราะห์สี (Colorimetric detection), การตรวจวัดการเรืองแสงของสารเคมี (Chemiluminescence detection), การตรวจวัดทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical detection) นอกจากนี้ผู้วิจัยสามารถออกแบบวิธีการผลิต ลักษณะของอุปกรณ์ให้สอดคล้องและอำนวยความสะดวกในการตรวจวัดมากยิ่งขึ้น

2.2 ความหมายและหลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ

อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ (Microfluidic Paper-based Analytical Device ; μ PAD) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ห้องปฏิบัติการบนกระดาษ (Lab on paper) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ โดยอาศัยหลักการไหลของของเหลวหรือสารละลาย

ปริมาณน้อยระดับไมโครลิตรบนกระดาษ ด้วยแรงแคพิลลารี (Capillary action) ภายในขอบเขตที่กำหนดขึ้นบนกระดาษ โดยไม่ต้องอาศัยแรงดึงดูดจากภายนอก ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ (μ PAD)

ที่มา Whitesides G.M. et al. (2007, pp. 1318-1320)

จากภาพประกอบ 2 แสดงถึงลักษณะสำคัญของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ คือ มีการกำหนดขอบเขตหรือจำกัดพื้นที่ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาบนกระดาษด้วยสารที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic barrier) โดยที่ภายในบริเวณขอบเขตดังกล่าวยังคงเป็นบริเวณที่มีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic region) อยู่ และสามารถแบ่งบริเวณที่มีคุณสมบัติชอบน้ำนั้น ออกเป็น 2 บริเวณย่อย ได้แก่ บริเวณสารละลายตัวอย่าง (Sample zone) ซึ่งเป็นบริเวณที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่างลงไปในขณะที่เริ่มทำการตรวจวิเคราะห์ แล้วรอให้สารละลายตัวอย่างนั้นไหลและแพร่กระจายไปบนกระดาษด้วยแรงแคพิลลารี ไปยังบริเวณทดสอบ (Test zone) ซึ่งมีรีเอเจนต์สำหรับใช้ตรวจวิเคราะห์บรรจุไว้ โดยข้อดีของการใช้กระดาษเป็นตัวกลางในการทำปฏิกิริยากันของสาร คือ กระดาษมีคุณสมบัติที่สามารถกรอง หน่วง และตรึงสารไว้ทำปฏิกิริยากันภายหลังได้ จึงมีความสะดวกและชัดเจนในการตรวจวิเคราะห์ (กนกวรรณ พิสันเทียะ & ยุภาพร สมน้อย, 2557, น.160-166; จุฬาลักษณ์ น้อยพ่วง, 2555, น.17)

2.3 วิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ

ในปัจจุบัน มีนักวิจัยที่สนใจ พัฒนาการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษเป็นจำนวนมาก โดยออกแบบวิธีการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำด้วยวิธีที่แตกต่างกัน เพื่อใช้ในการกำหนดขอบเขตหรือรูปแบบของบริเวณตรวจวัดบนกระดาษ โดยวิธีที่ใช้ในการขึ้นรูปที่เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายมีหลายวิธี สามารถสรุปวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ จากงานวิจัยต่าง ๆ ได้ดังตาราง 1

ตาราง 1 วิธีการขึ้นรูปอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ

วิธีการประดิษฐ์ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ ของไหลจุลภาค ฐานกระดาษ	วัสดุ /อุปกรณ์ ที่ใช้	ค่าใช้จ่าย	การให้ ความร้อน ในการขึ้นรูป	งานวิจัย
1. การพิมพ์ด้วยแสง (Photolithography)	รังสียูวี รังสีเอกซ์ เลเซอร์	สูง	-	(Whitesides G.M. et al., 2007, pp. 1318-1320)
2. การพิมพ์ด้วยขี้ผึ้ง (Wax printing)	ขี้ผึ้ง	สูง	ให้ความร้อน โดยใช้ Hot plate	(Nilghaz A., Liu X., & Ma L., 2019)
3. การวาดลายโดยใช้วัสดุ พอลิเมอร์ (Plotting)	สาร Polydimethyl siloxane (PDMS)	สูง	ให้ความร้อน โดยใช้เตาอบ	(Derek A. Bruzewicz, Meital Rechtes, & George M Whitesides, 2008, pp.3387-3392)
4. การสกรีนด้วยขี้ผึ้ง (Wax screen printing)	ขี้ผึ้ง	ค่อนข้างสูง	ให้ความร้อน โดยใช้เตาอบ และเครื่องเป่า ลม	(Ali Kemal Yetisen, Muhammad Safwan Akram, & Christopher R. Lowe, 2013, p.2220)
5. การจุ่มกระดาษลงใน สารละลายขี้ผึ้ง (Wax dipping)	ขี้ผึ้ง	ต่ำ	ให้ความร้อน โดยใช้ Hot plate	(วนิดา หลายวัฒนไพศาล, อรรณณ ชัยลภากุล, ชาร์ลส์ เฮนรี่, วิจิตรา เตือนฉาย, & เต็มศิริ ทรงเจริญ, 2555, น. 9)

ตาราง 1 (ต่อ)

วิธีการประดิษฐ์ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ ของไหลจุลภาค ฐานกระดาษ	วัสดุ /อุปกรณ์ ที่ใช้	ค่าใช้จ่าย	การให้ ความร้อน ในการขึ้นรูป	งานวิจัย
6. การประทับแม่พิมพ์ที่มี ซี่ผึ้งหลอมเหลวบนกระดาษ (Movable-type printing)	ซี่ผึ้ง	ต่ำ	ให้ความร้อน โดยใช้ Hot plate	(Zhang Yun et al., 2014, pp.2005-2012)

จากตาราง 1 แสดงวิธีการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่สรุปได้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งพบว่า บางวิธีมีขั้นตอนที่ซับซ้อน ต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงในการขึ้นรูป ได้แก่ 1. การพิมพ์ด้วยแสง (Photolithography) ซึ่งต้องใช้รังสียูวี รังสีเอกซ์ หรือเลเซอร์ 2. การพิมพ์ด้วยซี่ผึ้ง (Wax printing) โดยใช้เครื่องพิมพ์เอกซาร์ และ 3. การพิมพ์ลาย (Plotting) โดยใช้วัสดุพอลิเมอร์ เช่น สาร Polydimethylsiloxane (PDMS) ที่มีราคาสูงมาก ส่วน 4. การสกรีนด้วยซี่ผึ้ง (Wax screen printing) และ 5 การจุ่มกระดาษลงในสารละลายซี่ผึ้ง (Wax dipping) ทั้ง 2 วิธีนี้แม้ค่าใช้จ่ายจะไม่สูง แต่จำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณภาพอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่ผลิตได้อย่างสม่ำเสมอ และวิธีการสกรีนต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มในการทำแม่แบบ อีกทั้งอาจใช้ผู้สกรีนมากกว่า 1 คนในการควบคุม สำหรับบางงานวิจัยใช้วิธีการพิมพ์สกรีนด้วยซี่ผึ้งแข็ง ก่อนที่จะใช้เครื่องเป่าลมให้ความร้อน เพื่อให้ซี่ผึ้งหลอมเหลว ซึ่งอาจเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าได้ และวิธีการขึ้นรูปสุดท้ายที่น่าเสนอ คือ 6. การประทับแม่พิมพ์ที่มีซี่ผึ้งหลอมเหลวบนกระดาษ ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถทำได้ สะดวก รวดเร็ว และมีต้นทุนต่ำ แต่การพิมพ์ด้วยซี่ผึ้งหลอมเหลวนี้ ยังมีความยากลำบากในหลายขั้นตอน เช่น การควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมเหลว ระยะเวลาในการแข็งตัว ปริมาตรที่เหมาะสมในการพิมพ์แต่ละครั้ง ซึ่งปัญหาเหล่านี้จำเป็นต้องแก้ไขและทำการปรับปรุงวิธีการขึ้นรูปอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษนี้ให้ง่ายขึ้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้สารละลายผสมระหว่างสารละลายชันสนและสารละลายสารส้มมาเป็นวัสดุทางเลือกในการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำ เนื่องจาก สารละลายผสมดังกล่าว จะมีคุณสมบัติกันน้ำได้เป็นอย่างดี และสามารถพิมพ์ลงบนกระดาษได้ง่าย แห้งตัวได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งสามารถหาซื้อได้ง่ายและมีราคาถูกมาก

ทำให้การประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษมีต้นทุนต่ำลงและสามารถประดิษฐ์ได้จำนวนมาก ในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งกับบริบททางการศึกษา เพื่อให้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียนเป็นไปอย่างทั่วถึง และเปิดโอกาสให้นิสิตทุกคนได้ออกแบบประดิษฐ์และประยุกต์ใช้อุปกรณ์ดังกล่าวด้วยตนเอง

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ สำหรับใช้ในการเรียนรู้และการวิเคราะห์เชิงปริมาณของกรด-เบส

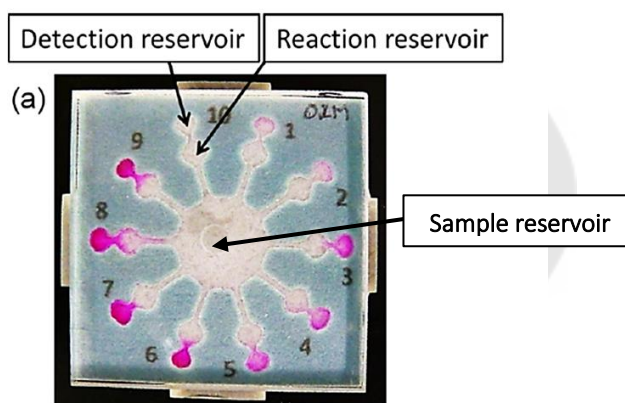
งานวิจัยในประเทศ

ไตรรงค์ เปลี่ยนแสงและคณะ (2560, น. 1061-1068) ได้ทำการพัฒนาวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษ โดยขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำด้วยปากกาที่มีคุณสมบัติการกันน้ำบนกระดาษกรอง สำหรับใช้ในการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง สมดุลเคมีและการวัดความเป็นกรด-เบส เพื่อศึกษาผลการใช้บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน ซึ่งผลการวิจัยสรุปว่า อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษนี้เมื่อนำผลการทดลองไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองในหลอดทดลองแบบเดิม พบว่าสามารถสังเกตสีได้ชัดเจนไม่แตกต่างกัน และผู้วิจัยได้นำเสนอข้อดีของอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นอีกว่าสามารถลดปริมาณการใช้สารเคมีได้มาก และทำให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการทดลองอย่างทั่วถึงกว่าการทดลองแบบเดิม ส่งผลให้ผู้เรียนมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหา อยู่ในระดับมาก และจากการสำรวจความพึงพอใจในกิจกรรมการเรียนรู้ พบว่า ผู้เรียนมีความพึงพอใจในการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการนี้เป็นอย่างมาก และเห็นถึงประโยชน์ ตลอดจนแนวทางการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ดังกล่าว ซึ่งสามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ของผู้เรียนในการเรียนรู้ รายวิชาเคมีทั่วไป ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยต่างประเทศ

Shingo Karita and Takashi Kaneta (2014, pp. 12108-12114) ได้นำอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ ที่ขึ้นรูปโดยใช้วิธีการพิมพ์ด้วยขี้ผึ้ง (Wax printing) มาประยุกต์ใช้กับการหาปริมาณกรด-เบสได้สำเร็จ โดยออกแบบอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษให้มีลักษณะ ดังภาพประกอบ 3 ซึ่งมีบริเวณสำหรับเกิดปฏิกิริยา 10 บริเวณ กระดาษออกเป็น 10 แฉก และเมื่อได้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่มีลักษณะตามที่ต้องการแล้ว ผู้วิจัยเริ่มทำการทดลอง โดยเริ่มจากการบรรจุสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนในบริเวณตรวจวัด (Detection reservoir) จากนั้นบรรจุสารละลายมาตรฐานปฐมนิยามโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกันในบริเวณเกิดปฏิกิริยา 10 บริเวณ (Reaction reservoir) และขั้นตอนสุดท้าย ทำการบรรจุสารละลายตัวอย่าง คือ

สารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ บริเวณตรงกลางของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ (Sample reservoir) จากนั้นรอให้สารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ แพร่กระจายไปยังบริเวณเกิดปฏิกิริยาทั้ง 10 บริเวณ เพื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานปฐภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท แล้วรอให้สารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น รวมถึงสารที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาแพร่ต่อไปยังบริเวณตรวจวัด ซึ่งจะส่งผลให้ฟีนอล์ฟทาไลน์ที่บรรจุอยู่เปลี่ยนสี โดยสามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงนี้ได้ด้วยตาเปล่า เหมือนการไทเทรตกรด-เบสปกติ และใช้เวลาในการตรวจวัดเพียง 1 นาที ด้วยความสะดวกและระยะเวลาอันสั้นในการใช้งานอุปกรณ์ดังกล่าว ทำให้ผู้วิจัยได้แนวคิดที่จะนำอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษนี้ มาประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณหรือความเข้มข้นของสารละลายชนิดอื่น โดยปรับเปลี่ยนสารละลายมาตรฐาน และชนิดของอินดิเคเตอร์ให้มีความเหมาะสมกับสารละลายตัวอย่างที่ต้องการตรวจวิเคราะห์



ภาพประกอบ 3 อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่ศึกษาจากงานวิจัย

ที่มา : Shingo Karita and Takashi Kaneta (2014, pp. 12108-12114)

พิทักษ์พงศ์ นามวงศ์ และคนอื่น ๆ (Pithakpong Namwong, Purim Jarujamrus, Maliwan Amatongchai, & Sanoe Chairam, 2018) ได้จัดการเรียนรู้โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ ด้วยเทคนิคการพิมพ์สกรีน เพื่อพัฒนาแนวคิดทางเคมี เรื่อง สารกำหนดปริมาณในปฏิกิริยากรด-เบส สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 มีการกลุ่มเป้าหมายเป็นนักเรียนจำนวน 51 คน ซึ่งนักเรียนจะร่วมกันประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาสารกำหนดปริมาณ

ในปฏิริยาระหว่างกรดและเบส จำนวน 3 ปฏิริยา ได้แก่ 1) ปฏิริยาระหว่างสารละลายไฮเดียมคาร์บอเนตกับสารละลายกรดแอซิก 2) ปฏิริยาระหว่างสารละลายไฮเดียมโบคาร์บอเนตกับสารละลายกรดแอซิก 3) ปฏิริยาระหว่างสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์กับสารละลายกรดแอซิก โดยปฏิริยาทั้งหมดนี้ใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ในการสังเกตการเปลี่ยนสีที่จุดยุติ ผลการวิจัยสรุปว่า นิสิตวิชาชีวะครูสามารถหาความเข้มข้นของสารละลายที่ทำปฏิริยาพอดีกันได้อย่างถูกต้อง เช่น เมื่อกำหนดความเข้มข้นของสารละลายไฮเดียมคาร์บอเนตเป็น 0.03 โมลต่อลิตร จากการทดลอง นักเรียนสามารถวิเคราะห์ได้ว่า ที่จุดยุติสารละลายกรดแอซิกมีความเข้มข้น 0.065 โมลต่อลิตร ซึ่งสอดคล้องกับค่าอ้างอิง และสามารถระบุสารกำหนดปริมาณในปฏิริยาได้ถูกต้อง ประกอบกับการเปรียบเทียบผลการทดสอบก่อนและหลังทำปฏิบัติการพบว่า คะแนนหลังทำปฏิบัติการเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่า นักเรียนมีความเข้าใจในแนวคิด เรื่อง สารกำหนดปริมาณในปฏิริยากรด-เบสเพิ่มมากขึ้น

จากงานวิจัยในประเทศและต่างประเทศที่ได้ศึกษามาแล้วข้างต้นทำให้ทราบว่า อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวิเคราะห์เชิงปริมาณ สำหรับสารตัวอย่างที่เป็นกรดหรือเบสได้ เนื่องจากผู้วิจัยสามารถออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษได้ง่าย และสามารถประยุกต์ใช้กับเทคนิคการตรวจวัดที่หลากหลาย เช่น ตรวจวัดความเข้มข้นของสีที่เปลี่ยนแปลงไป ตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากปฏิริยา นอกจากนี้การใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษยังถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการวิทยาศาสตร์และการแพทย์ในปัจจุบัน เนื่องจากข้อดีหลายประการ เช่น อุปกรณ์มีขนาดเล็ก พกพาสะดวก สามารถตรวจวิเคราะห์สารได้ง่ายโดยไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญการทดสอบ และไม่ต้องใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่มีขนาดใหญ่และราคาสูง ส่งผลให้ต้นทุนในการตรวจวิเคราะห์สารลดลงเป็นอย่างมาก และลดการใช้สารเคมีได้มากซึ่งจัดเป็นวิธีการตรวจวิเคราะห์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย นอกจากนี้เหมาะสมอย่างยิ่งในการนำประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียนจริง ซึ่งยังมีการนำมาใช้ยังไม่แพร่หลายเท่าใดนัก เพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการลดปัญหาจากการจัดการเรียนรู้แบบเดิมที่ใช้เวลานานและเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่า ผู้วิจัยจึงประสงค์ที่จะศึกษาและเผยแพร่วิธีการประดิษฐ์ การใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ ในการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษา เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตวิชาชีวะครู สาขาวิชาเคมีต่อไป

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มศึกษา

3.1 ความเป็นมาของสะเต็มศึกษา

แนวคิดสะเต็มศึกษาก่อกำเนิดขึ้นเป็นครั้งแรกที่ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีวิวัฒนาการมาโดยลำดับ ดังนี้ ในปี ค.ศ. 2006 หลังจากที่ประธานาธิบดีจอร์จ ดับเบิลยู บุช ได้ประกาศใช้กฎหมาย “No Child Left Behind Act” หรือ Elementary and Secondary Education Act โดยมุ่งเน้นให้เยาวชนของประเทศสหรัฐอเมริกา ประสบความสำเร็จในการอ่านออก เขียนได้ และได้เพิ่มนโยบายความสำคัญด้านการพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพราะต้องการพัฒนาเศรษฐกิจ ต่อมาในสมัยของประธานาธิบดีบารัก โอบามา ตลาดแรงงานของสหรัฐอเมริกาประสบปัญหาขาดกำลังคนด้านสะเต็ม ซึ่งการศึกษาไม่สามารถผลิตแรงงานที่มีคุณภาพ เพื่อตอบสนองต่อการแข่งขันด้านเศรษฐกิจในเวทีโลกได้ จนในที่สุด รัฐบาลสหรัฐอเมริกา จึงกำหนดกรอบกฎหมายสำหรับการนำระบบสะเต็มไปดำเนินการในแต่ละมลรัฐในปี ค.ศ. 2010 เพื่อเตรียมความพร้อมกำลังคนให้มีความรู้ความสามารถ เพื่อพร้อมแข่งขันทางด้านเศรษฐกิจ โดยเฉพาะความรู้และความเชี่ยวชาญของนักวิทยาศาสตร์ วิศวกร และนักนวัตกรรม และในช่วงเวลานั้น สหรัฐอเมริกา ยังคงมีปัญหาเรื่องผลทดสอบ PISA ด้านความรู้คณิตศาสตร์ (Math literacy) และวิทยาศาสตร์ (Science Literacy) ของประเทศสหรัฐอเมริกา ด้อยกว่าหลายประเทศ ซึ่งมีสาเหตุมาจากครูผู้สอนไม่มีความรู้ความเชี่ยวชาญเพียงพอ ด้วยเหตุนี้ความคิดริเริ่มในการพัฒนาสะเต็มศึกษา (STEM education) จึงเกิดขึ้น (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2559, น. 64-68) โดยเริ่มจากการประกาศนโยบายที่จะพลิกโฉมระบบการศึกษาด้วยสะเต็มศึกษาอย่างจริงจัง ซึ่งสถาบันวิทยาศาสตร์แห่งประเทศสหรัฐอเมริกา มีการทดลองใช้จริงเป็นสถาบันแรก โดยแรกเริ่มนั้นมีการใช้คำว่า “STEM” สำหรับเป็นชื่อหลักสูตรโครงการ รวมถึงโปรแกรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับศาสตร์ ทั้ง 4 สาขานี้ โดยสถาบันวิทยาศาสตร์แห่งประเทศสหรัฐอเมริกา ยังไม่ได้ให้คำจำกัดความของคำว่า STEM ดังนั้น คำว่า STEM จึงมีการกำหนดนิยามที่หลากหลายตามบริบทของสถาบันทางการศึกษา ด้วยความเชื่อเดียวกันที่จะนำหลักของสะเต็มศึกษามาใช้ในการจัดการเรียนรู้ เนื่องจาก สะเต็มศึกษาเป็นกระบวนการจัดการเรียนรู้รูปแบบหนึ่งที่ช่วยพัฒนาทักษะสำคัญในศตวรรษที่ 21 (Kuenzi, 2008, p. 29-31) ใน 3 ด้าน คือ 1) ด้านพุทธิพิสัย ซึ่งทำให้ผู้เรียนได้เรียนรู้และเข้าใจในแนวคิดสำคัญของสาระวิชาต่าง ๆ อย่างแท้จริง 2) ด้านทักษะพิสัย คือ ช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนพัฒนาระบบการคิดเชิงระบบและแก้ไขปัญหาอย่างสร้างสรรค์ 3) ด้านจิตพิสัย ช่วยฝึกทักษะการทำงานเป็นทีมให้แก่ผู้เรียนอย่างสร้างสรรค์ ผ่านกระบวนการสื่อสารความคิดของตนเองและเปิดใจรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน

3.2 หลักการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

หลักการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา เป็นการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการรูปแบบหนึ่ง ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงเนื้อหาสาระระหว่างสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมและคณิตศาสตร์ และมีการประยุกต์ให้เข้ากับบริบทของหัวข้อ กิจกรรม โครงการ หรือ หัวข้อเรื่อง (Theme) ตามสาระการเรียนรู้ที่กำหนดผ่านการนำความคิดรวบยอด หรือปัญหาที่เกิดขึ้นในชีวิตจริงของผู้เรียนมาใช้ เพื่อให้นิสิตวิชาชีพครูได้รู้จักใช้ทักษะต่าง ๆ อย่างเหมาะสมในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่ประสบในชีวิตประจำวันหรือสถานการณ์จำลองในชั้นเรียน โดยผู้เรียนสามารถที่จะเลือกวิธีการเรียนรู้ที่สัมพันธ์กับการเรียนได้อย่างอิสระด้วยตนเอง (สิริพัชร เจษฎาวิโรจน์, ม.ป.ป., น. 1) ซึ่งการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการแบ่งได้เป็น 4 ระดับ (Vasquez, Comer, & Sneider, 2013, pp. 16-19) ได้แก่ 1) การบูรณาการภายในวิชา หมายถึง การบูรณาการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้เรียนรู้และพัฒนาทักษะปฏิบัติ ในแต่ละสาขาวิชาของสะเต็มศึกษาแยกออกจากกัน 2) การบูรณาการพหุวิทยาการ หมายถึง การบูรณาการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้เรียนรู้และพัฒนาทักษะปฏิบัติในแต่ละสาขาวิชาของสะเต็มศึกษาแยกกัน โดยกำหนดหัวข้อการเรียนรู้ ทำให้ผู้เรียนเข้าใจความเชื่อมโยงระหว่างสาระการเรียนรู้ของแต่ละสาขาวิชา กับหัวข้อการเรียนรู้ที่นำมาใช้ 3) การบูรณาการสหวิทยาการ หมายถึง การบูรณาการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้เรียนรู้และพัฒนาทักษะปฏิบัติที่มีความสัมพันธ์กันของสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง ผ่านการจัดการเรียนรู้ ที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้เข้าใจความเชื่อมโยงกันของวิชาเหล่านั้น 4) การบูรณาการข้ามวิชา หมายถึง การบูรณาการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้เรียนรู้และฝึกทักษะปฏิบัติของ 4 สาขาวิชาและนำสิ่งที่ได้จากเรียนรู้/ปฏิบัติเหล่านั้น ไปใช้ในการแก้ไขปัญหาที่พบในชีวิตประจำวัน และในงานวิจัยนี้เป็นการบูรณาการแบบข้ามวิชา เพื่อให้นิสิตวิชาชีพครูนำความรู้จากศาสตร์เหล่านั้น มาประยุกต์ใช้ในแก้ไขปัญหาในชีวิตจริงได้

3.3 ความหมายและองค์ประกอบของสะเต็มศึกษา

คำจำกัดความของคำว่า สะเต็มศึกษา มีการกำหนดไว้อย่างหลากหลาย ซึ่งสามารถสรุปความสอดคล้อง ได้ดังนี้

สะเต็มศึกษา (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557, น. 4) เป็นแนวทางการจัดการศึกษาที่เน้นการแก้ไขปัญหาในชีวิตจริง โดยเป็นการบูรณาการระหว่าง 4 สาขาวิชาที่เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ (Dugger, 2010, pp. 1-3 ; Lantz, 2009; Vasquez et al., 2013, pp. 16-19) ในการจัดการเรียนรู้ โดยวิชาวิทยาศาสตร์เป็นการเรียนรู้ธรรมชาติของโลก เทคโนโลยีเป็นการดัดแปลงธรรมชาติของโลก ให้เหมาะสมต่อความต้องการของมนุษย์ วิศวกรรมศาสตร์ เป็นความรู้เฉพาะของ

คณิตศาสตร์ และธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ที่ได้รับการเรียนรู้ ประสบการณ์ และการฝึกฝน และคณิตศาสตร์ เป็นวิชาที่เกี่ยวกับแบบแผนและความสัมพันธ์ เพื่อเชื่อมโยงประสบการณ์และความรู้ที่ได้เรียนรู้สู่โลกแห่งความเป็นจริง ทั้งเรื่องทักษะในการใช้ชีวิต ความคิดสร้างสรรค์ เตรียมความพร้อมในการทำงาน และการสร้างสรรค์นวัตกรรมใหม่ในอนาคตของผู้เรียน

3.4 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา มีการนำกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมมาใช้เป็นหลักสำคัญในการออกแบบขั้นตอนของกิจกรรมการเรียนรู้ ซึ่งมีงานวิจัยหลายฉบับทั้งในประเทศและต่างประเทศ ได้เสนอขั้นตอนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่แตกต่างกัน โดยสรุปได้ดังตาราง 2

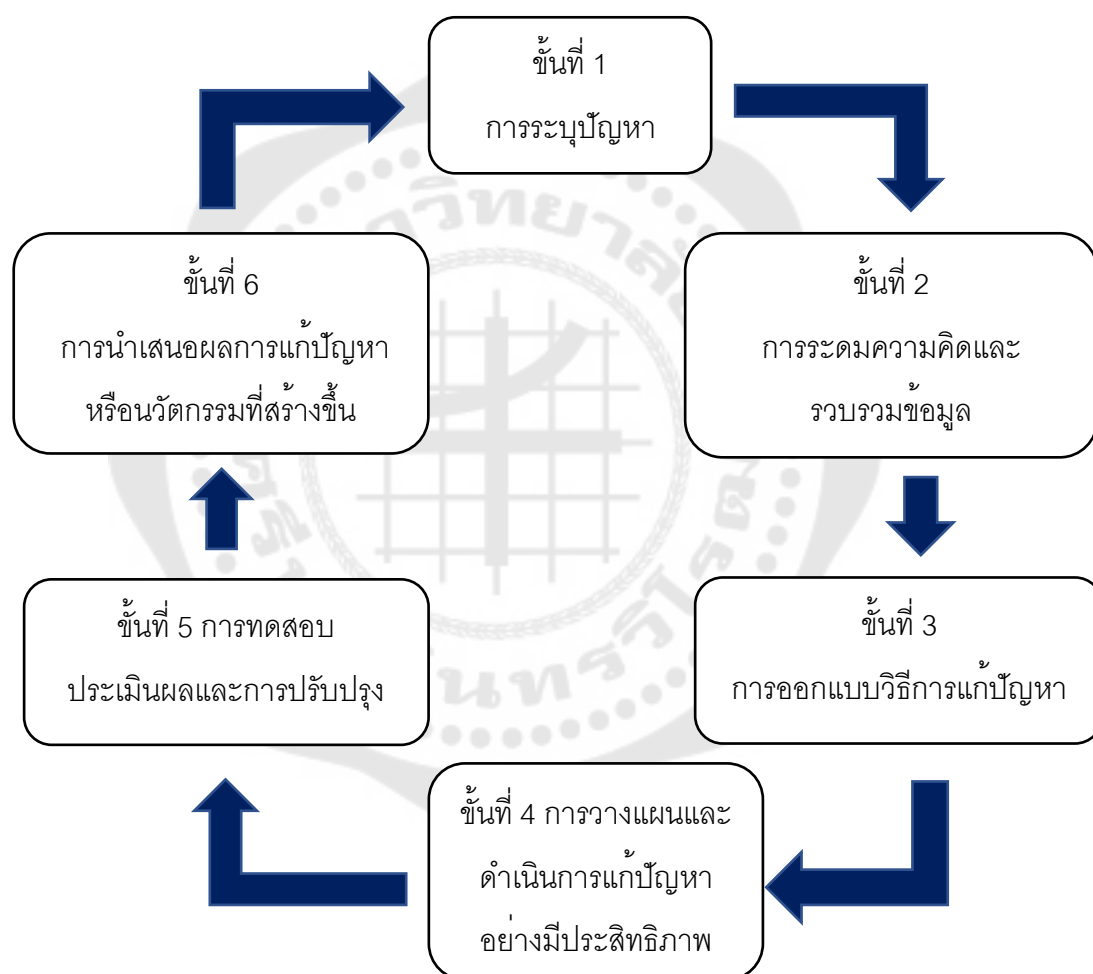
ตาราง 2 สรุปขั้นตอนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ สะเต็มศึกษาโดยใช้ กระบวนการออกแบบ เชิงวิศวกรรม	ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาโดยใช้กระบวนการออกแบบ เชิงวิศวกรรมจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง						
	(Wells J. T., 2016, p. 15)	(Charles R.M., 2016, p.33)	(Roderic, 2001)	(Museum of Science, 2007)	(Robert M. Capraro, Mary Margaret Capraro, & James R. Morgan, 2013 : 7-14)	(สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557)	
ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา (Problem Identification Phase)	√	√	√	√	√	√	
ขั้นที่ 2 ระดมความคิด (Ideation Phase)	√	√		√	√		
ขั้นที่ 3 ค้นหา/ค้นหา เพื่อ ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Research Phase)	√		√	√	√	√	
ขั้นที่ 4 การแก้ปัญหา (Potential Solutions Phase)	√	√	√	√	√	√	

ตาราง 2 (ต่อ)

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ สะเต็มศึกษาโดยใช้ กระบวนการออกแบบ เชิงวิศวกรรม	ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาโดยใช้กระบวนการออกแบบ เชิงวิศวกรรมจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง					
	(Wells J. T., 2016, p. 15)	(Charles R.M., 2016, p.33)	(Roderic, 2001)	(Museum of Science, 2007)	(Robert M. Capraro et al., 2013 : 7-14)	(สถาบันส่งเสริมการสอน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557)
ขั้นที่ 5 การเพิ่ม ประสิทธิภาพ (Optimization Phase)	✓		✓		✓	✓
ขั้นที่ 6 ประเมินการ แก้ปัญหา (Solution Evaluation Phase)	✓	✓	✓		✓	✓
ขั้นที่ 7 ปรับปรุง (Alterations Phase)	✓		✓		✓	✓
ขั้นที่ 8 เรียนรู้ผลลัพธ์ (Learned Outcomes Phase)	✓				✓	✓

ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ผู้วิจัยได้สรุปจากงานวิจัยที่ได้ศึกษามาและนำไปใช้ในการออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่พัฒนาขึ้นปรากฏ ดังภาพประกอบ 4 ซึ่งขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวนี้มีความเป็นพลวัต สามารถดำเนินการจัดการเรียนรู้สลับขั้นตอนหรือย้อนกลับไปได้มา โดยปรับลำดับขั้นตอนได้ตามความเหมาะสมกับสถานการณ์และบริบทในขณะดำเนินการจัดการเรียนรู้



ภาพประกอบ 4 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา
โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

3.5 การออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษา

3.5.1 องค์ประกอบของกิจกรรมสะเต็มศึกษา

องค์ประกอบของกิจกรรมสะเต็มศึกษามีองค์ประกอบคล้ายคลึงกับกิจกรรมการเรียนรู้ทั่วไป ซึ่งนักการศึกษาหลายท่าน (บุญเกื้อ ควรหาเวช, 2545, น.97-99; สมจิต สวธนไพบุลย์, 2535, น.43) ได้ระบุองค์ประกอบของกิจกรรมการเรียนรู้อย่างหลากหลาย ผู้วิจัยจึงสรุปเป็นองค์ประกอบของกิจกรรมสะเต็มศึกษาได้ ดังนี้

1. ชื่อกิจกรรมสะเต็มศึกษา ประกอบด้วย ลำดับและหัวข้อของกิจกรรม
2. ระยะเวลาในการดำเนินกิจกรรมที่เหมาะสม
3. จุดประสงค์การเรียนรู้ โดยกำหนดจากผลการเรียนรู้ที่ระบุไว้ในหลักสูตร
4. หลักการสำคัญที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมสะเต็มศึกษา
5. คำชี้แจงและข้อควรระวังในการปฏิบัติกิจกรรม
6. วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมี
7. ขั้นตอนการดำเนินกิจกรรม
8. การบันทึกผลการทำกิจกรรม
9. การสรุปและอภิปรายผลจากการทำกิจกรรม

จากองค์ประกอบของกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่สรุปไว้ในข้างต้น ผู้วิจัยจึงนำมาใช้ในการออกแบบเพื่อสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลาย กรด-เบส พร้อมทั้งสร้างคู่มือการใช้กิจกรรม สำหรับอาจารย์ผู้สอน โดยประกอบด้วย คำชี้แจง แผนการจัดการเรียนรู้ เกณฑ์การประเมินผลการทำกิจกรรม และผลสรุปของกิจกรรม

3.5.2 ขั้นตอนการออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษา

การออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษา ได้ดำเนินการตามขั้นตอนในการสร้างกิจกรรมการเรียนรู้ตามที่นักการศึกษาหลายท่านได้เสนอแนะแนวทางไว้ (ชัยยงค์ พรหมวงศ์, 2521, น.65; บุญเกื้อ ควรหาเวช, 2545, น.97-99) ซึ่งผู้วิจัยนำมาสรุปและสังเคราะห์เป็นขั้นตอนการออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยสังเขป ดังนี้

1. กำหนดเนื้อหาและประสบการณ์โดยการบูรณาการระหว่าง 4 สาขาวิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์
2. กำหนดหน่วยการเรียนรู้ให้ชัดเจน โดยแบ่งตามเนื้อหา
3. กำหนดหน่วยการเรียนรู้ย่อยหรือหัวข้อเรื่อง โดยระบุจำนวนคาบเรียนที่ใช้ในการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาให้เหมาะสม

4. กำหนดสาระสำคัญหรือแนวคิดที่สำคัญให้สัมพันธ์กับหน่วยการเรียนรู้ และหัวข้อเรื่อง เพื่อเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้ที่หลักสูตรกำหนด
5. กำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ให้สอดคล้องกับผลการเรียนรู้ตามหลักสูตร พร้อมทั้งระบุจุดประสงค์การเรียนรู้เชิงพฤติกรรมด้วย
6. สร้างกิจกรรมสะสมเต็มศึกษาให้สัมพันธ์กับจุดประสงค์การเรียนรู้เชิงพฤติกรรม
7. กำหนดรูปแบบการประเมินผล โดยในงานวิจัยนี้ใช้แบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่แบ่งเป็น 3 องค์ประกอบ ได้แก่ การคิดสร้างสรรค์ การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ และการใช้นวัตกรรม
8. จัดทำคู่มือ คำชี้แจง แนวปฏิบัติสำหรับผู้สอนใช้ในการดำเนินกิจกรรมสะสมเต็มศึกษา
9. นำกิจกรรมสะสมเต็มศึกษาไปใช้
10. หาประสิทธิภาพชุดของกิจกรรมสะสมเต็มศึกษา

3.6 ประโยชน์จากการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะสมเต็มศึกษา

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง (Chen, 2012 (เอกสารจากเว็บไซต์); สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557, น. 6; สนธิ พลชัยยา, 2557, น. 7; อภิสัทธินงไชย, 2557 (เอกสารจากเว็บไซต์)) สามารถสรุปประโยชน์ของการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะสมเต็มศึกษา ได้ดังนี้

1. ผู้เรียนมีทักษะการคิดวิเคราะห์ การคิดอย่างมีวิจารณญาณ การคิดเชิงระบบ (System thinking) และสร้างสรรค์นวัตกรรมใหม่ โดยใช้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี คณิตศาสตร์ และการออกแบบตามกระบวนการวิศวกรรม
2. ส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหา โดยกระตุ้นให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติและสำรวจตรวจสอบผ่านปัญหาที่เป็นปลายเปิด
3. ผู้เรียนเข้าใจสาระวิชาและกระบวนการทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์มากขึ้น
4. ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น
5. ส่งเสริมการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการเชื่อมโยงระหว่างสาระวิชา
6. ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการทำงานเป็นทีม

7. ผลิตบุคคลด้านสะเต็มของประเทศไทย เพื่อเศรษฐกิจที่มีศักยภาพมากขึ้นของชาติ ช่วยเพิ่มโอกาสในด้านเศรษฐกิจ การทำงาน และการเพิ่มมูลค่า

8. ส่งเสริมผู้เรียนรักและเห็นคุณค่าของการเรียนวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์

3.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาสำหรับนิสิต นักศึกษา

งานวิจัยในประเทศ

ณพงศ์ วรณพิรุณ (2559, น.84-96) ได้พัฒนารูปแบบการเรียนการสอนแบบสะเต็มศึกษาในสภาพแวดล้อมการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เพื่อเสริมสร้างทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2558 จำนวน 30 คน ผลการวิจัย พบว่า นักศึกษาที่เรียนโดยใช้รูปแบบการเรียนการสอนแบบสะเต็มศึกษาในสภาพแวดล้อมการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้านที่พัฒนาขึ้น มีคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และมีคะแนนประเมินผลงานสร้างสรรค์นวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อยู่ในระดับดีมาก

ณัฐศาสตร์ เหมือนแมน (2560, น.73-78) ได้ศึกษาการพัฒนากระบวนการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาให้กับนักศึกษาวิชาชีพครูสายทางอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม โดยใช้ร่วมกับวงจรเดมมิ่ง ผลการวิจัยพบว่า นักศึกษาที่ผ่านกระบวนการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษานี้ มีผลคะแนนดี สามารถพูด อธิบายหรือนำเสนอเนื้อหาที่เรียนรู้ในแต่ละสัปดาห์ดีขึ้นเป็นลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลสัมฤทธิ์ตามเป้าประสงค์ของการวิจัยในทุก ๆ ด้าน

จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา พบว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาเป็นรูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่มีขั้นตอนไม่ซับซ้อน สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสอนนิสิต นักศึกษาได้หลากหลายบริบท และยังเป็นรูปแบบการสอนที่มีประสิทธิภาพสูง โดยพิจารณาจากผลของการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาในงานวิจัยที่ได้ศึกษาในข้างต้น ซึ่งสรุปผลการวิจัยไว้อย่างสอดคล้องกันว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา สามารถพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้ แต่พบว่าการทำวิจัยในลักษณะนี้กับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นนิสิต นักศึกษาวิชาชีพครู ยังมีน้อยมาก ผู้วิจัยจึงแนวคิดที่จะใช้การจัดการเรียนรู้ในลักษณะดังกล่าว ใช้ในการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริม นิสิตวิชาชีพครูให้มีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นคุณลักษณะของครู

สำคัญตามที่สังคมโลกในศตวรรษที่ 21 และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการเรียนรู้ของ นิสิตวิชาศึกษาศาสตร์อีกทางหนึ่ง

4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

4.1 ความหมายและองค์ประกอบของทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

4.1.1 ความหมายของทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

ทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หมายถึง พฤติกรรมที่แสดงถึง ความสามารถในการคิดริเริ่ม สร้างสรรค์ พัฒนาความรู้หรือพัฒนาผลงานที่แตกต่างจากเดิม มีความใหม่อย่างเห็นได้ชัดนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในทางที่ดี การคิดนอกกรอบ มีการใช้จินตนาการ สร้างสรรค์นวัตกรรมขึ้นมาและมีความสามารถในการทำงานอย่างสร้างสรรค์ร่วมกับผู้อื่นได้ และเกิดนวัตกรรมที่มีคุณค่า (International Society for Technology in Education, 2007; Partnership for 21st Century Skills, 2008; น้ำทิพย์ อองอาจวาณิชย์, 2556, น.17)

4.1.2 องค์ประกอบของทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (International Society for Technology in Education, 2007; Partnership for 21st Century Skills, 2007; น้ำทิพย์ อองอาจวาณิชย์, 2556, น.17; สุพรรณิ ชาญประเสริฐ, 2556, น.10) สามารถสรุปองค์ประกอบของทักษะ การคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ได้ดังนี้

1. การคิดสร้างสรรค์ (Think creatively) เป็นการใช้ความคิดที่อิสระในการ ออกแบบเทคนิค วิธีการใหม่ ๆ ที่มีประโยชน์ โดยมีการวางแผนอย่างละเอียด ปรับ วิเคราะห์และ ประเมินความคิดอย่างสม่ำเสมอ เพื่อปรับปรุงและสร้างสรรค์ผลงานอย่างจริงจัง

2. การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ (Work creatively with others) คือ การสร้างความคิดใหม่เกี่ยวกับการพัฒนาการทำงานและการติดต่อสื่อสารกับผู้อื่นอย่าง มีประสิทธิภาพ โดยเปิดรับและตอบสนองต่อเทคนิค วิธีการใหม่ ๆ ที่หลากหลาย ตลอดจนแสดง ความคิดริเริ่ม สร้างสรรค์ในการทำงาน มีความเข้าใจข้อจำกัด ความล้มเหลว และพร้อมที่จะ เปิดโอกาสในการเรียนรู้ร่วมกับผู้อื่นอยู่เสมอ

3. การใช้นวัตกรรม (Implement innovations) คือ ความสามารถในการนำ นวัตกรรมมาใช้ประโยชน์อย่างสร้างสรรค์ ภายใต้เงื่อนไข ข้อจำกัดและขอบเขตของนวัตกรรม และ สื่อสารนวัตกรรมไปสู่ผู้อื่น

4.2 การประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

แบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม เป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งในการวัดทักษะการคิดสร้างสรรค์ที่เป็นระบบ โดยประยุกต์ใช้แนวคิดของแบบสังเกตพฤติกรรมนำมาออกแบบในการสร้างแบบประเมินด้วย ซึ่งอนันต์ จันทร์ทวี (2525) ได้เสนอว่า อาจมีการประเมินผลงาน ประกอบการสังเกตพฤติกรรมด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพัฒนานุสรณ์ สถาพรวงศ์ (2533) ได้พัฒนาแบบวัดความคิดสร้างสรรค์จากการประเมินชิ้นงานขึ้น โดยใช้รูปแบบมาตราประมาณค่า (Rating scale) เพื่อให้เกิดความสะดวกในการประเมิน นอกจากนี้หลักการสำคัญของการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยการใช้แบบประเมินผลงานอยู่ที่ การกำหนด “โครงสร้าง” ให้ครอบคลุม “สาระ” ที่ต้องการวัดอีกด้วย

ในงานวิจัยนี้ใช้แนวทางการวัดและประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ตามแนวคิดการประเมินตามสภาพจริง (Authentic Assessment) และการวัดและประเมินด้านความสามารถ (Performance Assessment) ได้ตามที่ Partnership for 21st Century Skills (2007) , Jane Piirto (2011, p.3) และ Career and Technical Education in Washington (2017) ได้สร้างแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยแบ่งเป็น 3 องค์ประกอบ คือ 1. การคิดสร้างสรรค์ 2. การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ และ 3. การใช้นวัตกรรม ซึ่งรายละเอียดของการประเมินตามสภาพจริง (Authentic Assessment) และการประเมินด้านความสามารถ (Performance Assessment) มีดังนี้

1. การประเมินตามสภาพจริง (Authentic Assessment) คือ การประเมินพฤติกรรมหรือผลงานของผู้เรียนที่สะท้อนผลการเรียนรู้และการสังเคราะห์องค์ความรู้โดยผู้เรียนเอง ตามความเป็นจริง ซึ่งมีลักษณะที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

1. มีการสอดแทรกวิธีการประเมินผลการเรียนรู้ที่หลากหลายและเหมาะสมในระหว่างการจัดการเรียนรู้ และดำเนินการประเมินอย่างต่อเนื่อง

2. นำมาใช้ในการประเมินทักษะการคิดขั้นสูง สมรรถนะในการทำงาน ตลอดจนความสามารถในการคิดเชิงผลิตภาพได้ และให้ความสำคัญกับการประเมินสมรรถนะโดยรวม

3. นำข้อมูลทั้งหมดจากการประเมินระหว่างการจัดการเรียนรู้ มาวิเคราะห์ เพื่อส่งเสริมศักยภาพของผู้เรียนในด้านที่ควรส่งเสริม ต่อยอด และวิเคราะห์ศักยภาพของผู้เรียนในด้านที่ควรช่วยเหลือ เพื่อให้ผู้เรียนมีพัฒนาการทางการเรียนรู้ที่ดียิ่งขึ้น

4. สิ่งที่ได้จากการประเมินในรูปแบบนี้ จะแสดงถึงกระบวนการเรียนรู้ และการวางแผนการจัดการเรียนรู้ของผู้สอนว่า เป็นไปตามจุดประสงค์ของการเรียนรู้หรือไม่ ซึ่งผู้สอนสามารถนำผลประเมินมาปรับปรุงวิธีการจัดการเรียนรู้ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5. เปิดโอกาสให้ผู้เรียนมีส่วนในการประเมินผลการเรียนรู้ ซึ่งส่งเสริมให้ผู้เรียนได้เข้าใจตัวเอง จนเกิดความเชื่อมั่นในศักยภาพและสามารถพัฒนาตนเองต่อไปได้

6. มีการประเมินความสามารถในการเชื่อมโยงและประยุกต์ใช้องค์ความรู้ในห้องเรียนไปสู่ชีวิตประจำวัน ซึ่งจะบ่งบอกถึงความสามารถของผู้เรียนในการถ่ายโอนความรู้ไปสู่ชีวิตจริงและทำให้ผู้เรียนเห็นคุณค่าของการเรียนรู้

2. การประเมินด้านความสามารถ (Performance Assessment) มีลักษณะสำคัญดังนี้

1. ความสามารถของผู้เรียนประเมินได้จากการพฤติกรรมการทำงาน ภายใต้สถานการณ์ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้แก้ปัญหาหรือลงมือทำได้จริง โดยประเมินจากพฤติกรรมการทำงาน รวมถึงการแสดงออกทางความคิดของผู้เรียน

2. สามารถประเมินได้จากการแสดงออก พฤติกรรมการทำงานและผลงาน โดยให้ความสำคัญต่อกระบวนการทำงาน กระบวนการคิด คุณภาพของงานมากกว่าผลสำเร็จของงาน

3. ในการประเมินจำเป็นต้องกำหนดเป้าหมายของการทำงาน รูปแบบการปฏิบัติงาน ผลจากการทำงาน โดยระบุเงื่อนไขในการปฏิบัติงาน ตลอดจนเกณฑ์การประเมินให้ชัดเจน และดำเนินการประเมินได้หลากหลายวิธี ขึ้นอยู่กับบริบท สภาพแวดล้อม สถานการณ์ และความสนใจของผู้เรียน

วิธีการและแหล่งข้อมูลที่ใช้

การประเมินที่สามารถบ่งบอกถึงความสามารถโดยแท้จริงในลักษณะนี้ สามารถพิจารณาได้จากแหล่งข้อมูลปฐมภูมิ รวมถึงวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่น่าเชื่อถือ ได้แก่

1. การสังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนทั้งรายบุคคลและรายกลุ่ม
2. ผลงานที่ได้จากการทำกิจกรรม
3. การสอบถามหรือสัมภาษณ์ผู้เรียน ภายหลังการจัดการเรียนรู้
4. ผลการบันทึกกิจกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียน
5. การอภิปรายและลงข้อสรุปร่วมกันระหว่างผู้สอนและผู้เรียน
6. การประเมินผลการปฏิบัติกิจกรรมของผู้เรียน
7. การประเมินผลด้านความสามารถของผู้เรียน
8. การใช้แฟ้มผลงานในการประเมินผล
9. การประเมินผลการเรียนรู้ด้วยวิธีการทดสอบ

สรุปได้ว่า การประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมจะให้ความสำคัญต่อการแสดงออกหรือพฤติกรรมที่แท้จริงของผู้เรียนขณะทำกิจกรรม รวมถึงงานหรือกิจกรรมที่กำหนดให้ผู้เรียนทำ ซึ่งมีแนวทางการทำงานและวิธีการหาคำตอบหลายแนวทาง คำตอบที่ได้อาจมีใช่คำตอบหรือแนวทางที่กำหนดไว้เสมอไป การตรวจให้คะแนน จึงไม่สามารถทำได้อย่างชัดเจน ดังนั้น การประเมินจึงต้องมีการกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนที่ชัดเจน ซึ่งการกำหนดเกณฑ์การประเมินอาจทำโดยผู้สอนเพียงฝ่ายเดียว หรือผู้สอนกับผู้เรียนเป็นผู้กำหนดร่วมกัน โดยแนวทางการประเมินนั้นจะต้องมีมาตรฐานว่า ผู้เรียนทำอะไรได้ มีความสำเร็จอยู่ในระดับใด โดยมีเกณฑ์ที่กำหนดอย่างชัดเจน ซึ่งแนวทางการประเมินที่มีมาตรฐานนี้ เรียกว่า Scoring Rubric โดยในงานวิจัยนี้จะใช้แบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ที่ดัดแปลงรูปแบบและเกณฑ์การประเมินมาจาก Partnership for 21st Century Skills (2007) ที่ได้ออกแบบรูปแบบและเกณฑ์ประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมไว้ ซึ่งผู้วิจัยนำมาปรับเกณฑ์ให้เหมาะสมและมีลักษณะการประเมินที่เฉพาะกับงานวิจัยนี้ด้วย โดยองค์ประกอบของการประเมิน ประกอบด้วย การคิดสร้างสรรค์ การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ และการใช้นวัตกรรม ซึ่งรูปแบบของแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเป็นแบบมาตรประมาณค่า 4 ระดับ

4.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

งานวิจัยในประเทศ

สุชาวีณี จันทร์คุ (2559) ทำการวิจัยเพื่อศึกษาเปรียบเทียบทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมในศตวรรษที่ 21 ซึ่งมีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเป็นองค์ประกอบของนักศึกษาจากการใช้ชุดกิจกรรมแนะแนว กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก จำนวน 30 คน ที่ได้มาโดยการสุ่มแบบกลุ่ม ผลการวิจัยพบว่า (1) นักศึกษากลุ่มทดลองมีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมในศตวรรษที่ 21 สูงขึ้น หลังใช้ชุดกิจกรรมแนะแนว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และภายหลังการทดลองนักศึกษากลุ่มทดลองที่ใช้ชุดกิจกรรมแนะแนวมีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมในศตวรรษที่ 21 สูงกว่าของกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

กมลรัตน์ เทอร์เนอร์ (2561, น.1-10) ทำการศึกษาผลการใช้การเรียนรู้แบบโครงงานสะเต็มเพื่อส่งเสริมทักษะศตวรรษที่ 21 กลุ่มตัวอย่างคัดเลือกแบบสะดวกจำนวน 114 คน เป็นนักศึกษาพยาบาลชั้นปีที่ 3 วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนีนครบุรี ปีการศึกษา 2559 ผลการวิจัยพบว่า ภายหลังเสร็จสิ้นการทดลองกลุ่มตัวอย่างมีคะแนนทักษะศตวรรษที่ 21 เพิ่มขึ้นกว่าก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 ทั้งคะแนนรวมและรายด้าน

แสดงให้เห็นว่าการใช้การเรียนรู้แบบโครงงานสะเต็มมีประสิทธิภาพ อาจารย์และผู้บริหาร การศึกษาพยาบาลสามารถนำการเรียนรู้แบบโครงงานสะเต็มนี้ไปใช้ในการจัดการศึกษาพยาบาล เพื่อให้ผู้เรียนได้มีทักษะศตวรรษที่ 21 ที่เหมาะสม

ชาญณรงค์ วิเศษสัตย์ (2561, น.129-141) ได้ทำการวิจัยเชิงสังเคราะห์ เพื่อศึกษา แนวทางการจัดการเรียนรู้ ที่ส่งเสริมทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของนักศึกษาวิชาชีพครู โดยดำเนินการสังเคราะห์เอกสารจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ เอกสารงานวิจัยต่างประเทศ หนังสือ รวมทั้งมีการศึกษาข้อมูลเชิงประจักษ์จากแหล่งข้อมูลของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งผลการวิจัยพบว่า องค์ประกอบของทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของนักศึกษาวิชาชีพครู มี 6 องค์ประกอบ ได้แก่ ความสามารถในการวิเคราะห์บริบท ความสามารถในการสร้างแนวคิด ความสามารถในการร่วมมือกับผู้อื่น ความสามารถในการสะท้อน ความสามารถในการนำเสนอ และความสามารถในการประเมิน ส่วนขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของ นักศึกษาวิชาชีพครูมี 5 ขั้นตอน โดยมีความสัมพันธ์กับทักษะการคิดเชิงนวัตกรรม คือ ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์บริบทที่ส่งเสริมทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมด้านการตีความบริบท ขั้นตอนที่ 2 การระดมสมองที่ส่งเสริมทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมด้านการสร้างแนวคิด ขั้นตอนที่ 3 การสร้าง ชิ้นงาน ที่ส่งเสริมทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมด้านการร่วมมือกับผู้อื่นและการสะท้อน ขั้นตอนที่ 4 การปฏิบัติการสอนที่ส่งเสริมทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมด้านการนำเสนอ และขั้นตอนที่ 5 การประเมินนวัตกรรมที่ส่งเสริมทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมด้านการประเมิน ผู้วิจัยจึงได้กำหนด แนวทางการจัดการเรียนรู้ส่งเสริมทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของนักศึกษาวิชาชีพครู ได้แก่ การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้ผู้เรียนได้ร่วมมือกันในการพัฒนานวัตกรรม ออกแบบการพัฒนา นวัตกรรมเป็นลักษณะโครงงานให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ แก้ปัญหาและสร้างนวัตกรรมร่วมกัน กำหนด นวัตกรรมในการเรียนรู้ของนักศึกษาวิชาชีพครู ได้แก่ การสร้างสื่อการสอนและแผนการจัดการ เรียนรู้ ในการเรียนรู้ผู้เรียนควรได้ลงมือปฏิบัติจริงจนเกิดประสบการณ์และนำประสบการณ์มาใช้ ในการพัฒนานวัตกรรม จัดกิจกรรมให้ผู้เรียนได้ใช้เทคโนโลยีช่วยในการสืบค้นและพัฒนา นวัตกรรม และจัดการเรียนการสอนโดยใช้ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ 5 ขั้น สำหรับส่งเสริม ทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของนักศึกษาวิชาชีพครู

ธนกฤตา แจ่มดวง (2561, น.146-160) ได้ทำการวิจัยเพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนา ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมของนักศึกษา มหาวิทยาลัยศิลปากร ตามนโยบายประเทศไทย 4.0 ตัวอย่างคือ นักศึกษามหาวิทยาลัยศิลปากร ที่กำลังศึกษาอยู่ระดับปริญญาตรีชั้นปีสุดท้าย ในปีการศึกษา 2560 จำนวน 350 คน ผลการวิจัยพบว่า 1) ระดับทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม

ของนักศึกษามหาวิทยาลัยศิลปากร ตามนโยบายประเทศไทย 4.0 โดยภาพรวม อยู่ในระดับมาก

2) ปัจจัยด้านมาตรฐานการศึกษา ด้านหลักสูตรและวิธีสอนส่งผลต่อทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมตามนโยบายประเทศไทย 4.0 ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 3) แนวทางการพัฒนาทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมของนักศึกษามหาวิทยาลัยศิลปากร ตามนโยบายประเทศไทย 4.0 ได้แก่ (3.1) ด้านมาตรฐานการศึกษาควรมีการปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้เรียนเป็นหลัก เน้นการเรียนการสอนด้วยวิธีการบูรณาการความรู้และการลงมือทำ (3.2) การประเมินผลทักษะ ควรมีการประเมินผลที่หลากหลายรูปแบบ เน้นการประเมินผลที่ผลงานของนักศึกษาที่ได้สร้างขึ้น (3.3) หลักสูตรและวิธีสอน ควรมีการปรับเปลี่ยนวิธีการเรียนการสอนโดยใช้วิธีการเรียนการสอนแบบโครงการ เพื่อให้นักศึกษาได้เกิดความคิดสร้างสรรค์และกระบวนการเรียนรู้ระหว่างการสร้างนวัตกรรม (3.4) การพัฒนาวิชาชีพ ควรมีการพัฒนาเข้าใจทิศทางการพัฒนาทักษะนักศึกษาเพื่อให้ทันสมัย (3.5) ด้านสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ ควรมีการปรับปรุงสภาพแวดล้อม การเรียนรู้ สร้างบรรยากาศให้เหมาะสมกับการเรียนรู้

มารศรี แนวจำปา (2561, น.109-116) ทำการวิจัยเพื่อสำรวจการเรียนรู้และศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสมในศตวรรษที่ 21 ของนักศึกษามหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยมี 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 เป็นนักศึกษาปีการศึกษา 2558 จำนวน 375 คน และกลุ่มที่ 2 เป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่ทำหน้าที่สอนในระดับอุดมศึกษา มัธยมศึกษาตอนปลาย หรือมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนการสอนที่มีประสบการณ์การสอนไม่ต่ำกว่า 10 ปี จำนวน 10 ท่าน ผลการวิจัยสรุปได้ ดังนี้ 1. กลุ่มตัวอย่างมีการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ในภาพรวมทั้ง 5 ด้าน คือ ด้านการคิดสร้างสรรค์ ด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ด้านการแก้ปัญหา ด้านการสื่อสาร และด้านการร่วมมือทำงานอยู่ในระดับปานกลาง (ร้อยละ 56.67) และจากการสำรวจการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ของกลุ่มตัวอย่างเป็นรายด้าน พบว่า ด้านที่มีการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 สูงสุด ได้แก่ ด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณ และด้านการสื่อสาร โดยมีการเรียนรู้ในระดับมาก ส่วนด้านที่มีการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ต่ำสุด ได้แก่ ด้านการแก้ปัญหา ซึ่งมีการเรียนรู้ในระดับน้อย 2.แนวทางในการพัฒนาการจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ของนักศึกษาที่จะควรพัฒนา ประกอบด้วย 6 ด้าน ได้แก่ ด้านผู้บริหาร ด้านคณาจารย์ ด้านนักศึกษา ด้านวิธีการ/รูปแบบกิจกรรมที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ ด้านสิ่งแวดล้อมในการเรียนรู้ และด้านการประเมินผลการเรียนรู้

จากเอกสารและงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม พบว่า ในระยะเวลา 3 ปีที่ผ่านมา เริ่มมีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิต นักศึกษา ระดับปริญญาตรี แต่ยังคงถือว่า มีจำนวนไม่มาก โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่แตกต่างกัน อาทิเช่น การใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ การสอนโดยใช้โครงงานสะเต็มศึกษาเป็นฐาน เป็นต้น อีกทั้งการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้วยวิธีการจัดการเรียนรู้ต่าง ๆ ที่กล่าวในข้างต้นนี้ ยังมีได้นำไปใช้จริงกับกลุ่มนิสิต นักศึกษาวิชาชีพครูเท่าที่ควร ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะใช้การจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษา เพื่อพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตวิชาชีพครู สาขาวิชาเคมี ให้นิสิตวิชาชีพครูสามารถสร้างสรรค์นวัตกรรมทางการศึกษาที่ใช้ได้จริงและสามารถนำไปต่อยอดใช้ในการจัดการเรียนรู้ในอนาคตได้อีกด้วย



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตวิชาชีพครู สำหรับใช้ในการจัดการเรียนรู้ โดยขั้นตอนการดำเนินการวิจัยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตวิชาชีพครู ประกอบด้วย

1.1 การกำหนดกลุ่มเป้าหมาย

1.2 การพัฒนาวิธีการทดลอง เรื่อง สารละลายกรด-เบส ด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ

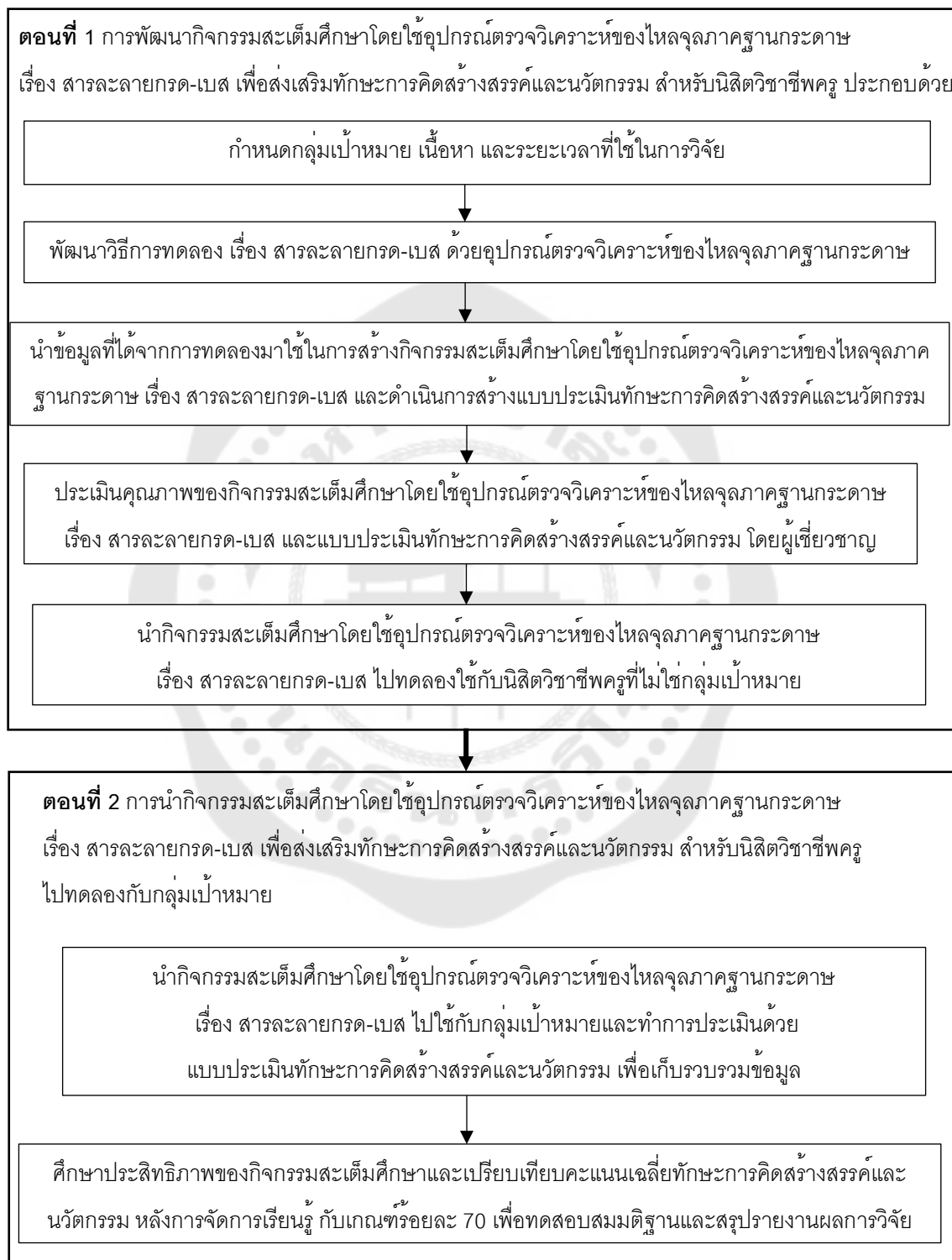
1.3 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

1.3.1 กิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส

1.3.2 แบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมจำนวน 1 ชุด ซึ่งแบ่งเป็น 3 องค์ประกอบย่อย ได้แก่ องค์ประกอบที่ 1 การคิดสร้างสรรค์ (Think creatively) องค์ประกอบที่ 2 การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ (Work creatively with others) และองค์ประกอบที่ 3 การใช้นวัตกรรม (Implement innovations)

ตอนที่ 2 การนำกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตวิชาชีพครู ไปทดลองกับกลุ่มเป้าหมาย เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมกับเกณฑ์ร้อยละ 70

สามารถสรุปขั้นตอนการดำเนินการวิจัยได้ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ตอนที่ 1. การพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล
จุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และ
นวัตกรรม สำหรับนิสิตวิชาชีพครู ประกอบด้วย

1.1 การกำหนดกลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นิสิตหลักสูตรการศึกษาด้าน
สาขาวิชาเคมี ชั้นปีที่ 4 จำนวน 1 กลุ่มผู้เรียน รวม 22 คน ที่ลงทะเบียนเรียน รายวิชา คศ 481
หัวข้อพิเศษทางเคมีศึกษา ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ คือ การจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้
อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลาย กรด-เบส

2. ตัวแปรตาม ได้แก่

2.1 ประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์
ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส ที่ส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และ
นวัตกรรม ของนิสิตวิชาชีพครู

2.2 ทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

เนื้อหา

เนื้อหาสำหรับการจัดการเรียนรู้ในกิจกรรมสะเต็มศึกษาใช้อุปกรณ์ตรวจ
วิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส เป็นเนื้อหาในหัวข้อสารละลาย
กรด-เบส ซึ่งเป็นเนื้อหาในรายวิชา คม 254 เคมีวิเคราะห์ โดยนำมาออกแบบกิจกรรมในรูปแบบ
สะเต็มศึกษาที่สอดคล้องกับจุดมุ่งหมายและคำอธิบายรายวิชา คศ 481 หัวข้อพิเศษทาง
เคมีศึกษา ที่เน้นให้ผู้เรียน มีความเข้าใจทฤษฎีการเรียนรู้และแนวคิดในการจัดการเรียนรู้แบบ
สะเต็มศึกษา และสามารถนำทฤษฎีการเรียนรู้และแนวคิดในการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา
มาใช้ในการจัดการเรียนการสอนให้เหมาะสมกับเนื้อหาสาระวิชาเคมี โดยจะต้องออกแบบและ
ผลิตนวัตกรรมการเรียนการสอนแบบสะเต็มศึกษา ตลอดจนสามารถสื่อสารได้อย่าง
มีประสิทธิภาพ ตามที่ระบุไว้ในหลักสูตรการศึกษาด้าน สาขาวิชาเคมี (5 ปี) (ฉบับปรับปรุง
พุทธศักราช 2556) ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ซึ่งกำหนดให้นิสิตเรียน ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 โดยในการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรม
สะเต็มศึกษากับนิสิตวิชาชีพครูครั้งนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งกิจกรรมออกเป็น 3 สัปดาห์ ได้แก่ สัปดาห์ที่ 1
กิจกรรมการออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ

สัปดาห์ที่ 2 กิจกรรมการศึกษาหลักการใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในการหาปริมาณกรด-เบสด้วยอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม และสัปดาห์ที่ 3 กิจกรรมการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อหาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย คือ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 โดยใช้เวลา 3 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 ชั่วโมง รวมทั้งสิ้น 9 ชั่วโมง ซึ่งหมายรวมถึงการประเมินด้วยแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่พัฒนาขึ้นโดยแผนระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย ปรากฏดังตาราง 3

ตาราง 3 แผนระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัยสำหรับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส

สัปดาห์ที่	กิจกรรมการเรียนรู้	จำนวนชั่วโมง
1	ชั่วโมงที่ 1-3 - ผู้สอนชี้แจงการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส - ผู้สอนแบ่งกลุ่มนิสิต เพื่อทำกิจกรรม - ผู้สอนนำเข้าสู่กิจกรรมสะเต็มศึกษาด้วยสถานการณ์ปัญหา - นิสิตแต่ละกลุ่มร่วมกันทบทวนเนื้อหาเรื่อง สารละลายกรด-เบส โดยทำปฏิบัติการไทเทรตจริงและศึกษาวิธีการเลือกอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมกับปฏิกิริยากรด-เบส - นิสิตแต่ละกลุ่ม ระบุนิยาม ระบุความคิดและรวบรวมข้อมูล เพื่อเสนอวิธีการแก้ไขปัญหา - ผู้สอนนำเสนอ เรื่อง นวัตกรรมชุดทดสอบอย่างง่าย - นิสิตแต่ละกลุ่มร่วมกันออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ	3

ตาราง 3 (ต่อ)

สัปดาห์ที่	กิจกรรมการเรียนรู้	จำนวนชั่วโมง
2 (ต่อ)	ชั่วโมงที่ 4-6 - นิสิตแต่ละกลุ่มร่วมกันปรับปรุงคุณภาพของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อนำไปใช้ในกิจกรรมการทดลอง - นิสิตแต่ละกลุ่มทดลองใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษเพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไฮโดรอกไซด์	3
3	ชั่วโมงที่ 6-9 - นิสิตแต่ละกลุ่มใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษเพื่อหาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม - นิสิตแต่ละกลุ่มร่วมกันออกแบบชุดทดสอบกรดซิตริกอย่างง่ายที่สามารถใช้ได้จริง โดยใช้องค์ความรู้ที่ได้เรียนรู้ในสัปดาห์ที่ 1-2 พร้อมทั้งนำเสนอชุดทดสอบกรดซิตริกอย่างง่ายที่แต่ละกลุ่มออกแบบ - ผู้สอนสรุปกิจกรรมทั้งหมดและสรุปผลการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม	3

1.2 การพัฒนาวิธีการทดลอง เรื่อง สารละลายกรด-เบส ด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ

ในการพัฒนาวิธีการทดลอง เรื่อง สารละลายกรด-เบส ด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ สำหรับนำข้อมูลที่สำคัญและผลการทดลองไปใช้ในการสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ที่ผู้วิจัยทำการศึกษา ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ 1.2.1 การพัฒนาวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ และ 1.2.2 การพัฒนาวิธีการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.2.1 การพัฒนาวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ

ผู้วิจัยได้ศึกษาวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แล้วตัดสินใจเลือกวิธีการสร้างขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำด้วยวิธีการประทับพิมพ์ลงบนกระดาษกรอง เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวก ทำได้ง่าย ซึ่งนิสิตสามารถทำได้ด้วยตนเอง สำหรับการศึกษาวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่จะนำไปใช้ในการสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบ ประดิษฐ์แม่พิมพ์สำหรับประทับพิมพ์ เพื่อขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาและเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติการกันน้ำที่เหมาะสมในการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ

ขั้นตอนที่ 3 ทดสอบคุณภาพของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่ขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ

รายการวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

รายการ	จำนวน
1. เครื่องขึ้นสาร	1 เครื่อง
2. ปีกเกอร์ขนาด 50 100 500 มิลลิลิตร อย่างละ	3 ใบ
3. กระบอกตวงขนาด 50 100 มิลลิลิตร อย่างละ	1 ใบ
4. แท่งแก้วคนสาร	5 อัน
5. ซ่อนตักสาร	5 คัน
6. หลอดหยดสาร	5 หลอด
7. ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 100 มิลลิลิตร อย่างละ	5 ใบ
8. เวอร์เนียร์คาลิเปอร์	1 อัน
9. ไมโครปิเปตต์	1 เครื่อง
10. ปิเปตต์พลาสติก	15 อัน
10. กระดาษทิชชู	2 ห่อ
11. กรรไกร	1 เล่ม
12. ไม้บรรทัด	1 อัน

รายการสารเคมีที่ใช้

รายการ	จำนวน
1. น้ำกลั่น	1 ลิตร
2. เอทานอล	1 ลิตร
3. ชันสน (Gum rosin)	1 กิโลกรัม
4. สีส้มอาหาร	20 มิลลิลิตร

ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบ ประดิษฐ์แม่พิมพ์สำหรับประทับพิมพ์ เพื่อขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ

ทำการออกแบบบริเวณที่ให้สารละลายทำปฏิกิริยากันเป็นรูปวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 125.0 มิลลิเมตร เส้นขอบหนา 2.0 มิลลิเมตร จำนวน 3 วง วางเรียงต่อกัน โดยการวาดแบบด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop เพื่อนำไปทำแม่พิมพ์ โดยเลือกใช้ยางพาราเป็นวัสดุที่นำมาใช้ในการสร้างแม่พิมพ์ เพราะเป็นวัสดุที่มีความเหนียว สามารถทนต่อแรงเสียดสีได้ดี มีความยืดหยุ่นสูง เมื่อสร้างแม่พิมพ์เสร็จจึงได้แม่พิมพ์ที่มีลักษณะดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 แผนภาพด้านล่างของแม่พิมพ์ 2 มิติ และแผนภาพแม่พิมพ์ 3 มิติ

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทดลองและศึกษาวิธีการแกะสลักแม่พิมพ์จากวัสดุชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ยางลบ ฟิวเจอร์บอร์ด และโฟมยาง ซึ่งผลการทดลอง พบว่า แม่พิมพ์ที่ทำขึ้นจากยางลบซึ่งเป็นอุปกรณ์การเรียนที่หาซื้อได้ง่าย มีราคาถูก มีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากยางลบบมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับทรายที่ทำจากน้ำยางพารา และใช้ระยะเวลาในการทำแม่พิมพ์ไม่นาน เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการทำทรายพาราหลายชิ้น และผลิตให้เพียงพอต่อจำนวนนิสิต อีกทั้งผู้วิจัยประสงค์ให้นิสิตสร้างแม่พิมพ์ประทับด้วยตนเอง เป็นการเปิดโอกาสให้นิสิตออกแบบรูปแบบของแม่พิมพ์ได้อย่างความหลากหลาย โดยคำนึงถึงเหมาะสมต่อการนำไปใช้สร้างอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษจริงด้วย

สำหรับกระดาษที่นำมาขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ เพื่อสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ฐานกระดาษในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้กระดาษกรองเบอร์ 4 เนื่องจาก กระดาษกรองเบอร์ 4 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนค่อนข้างใหญ่ เมื่อเทียบกับกระดาษกรองขนาดอื่น ๆ เช่น กระดาษกรองเบอร์ 1 หรือเบอร์ 6 โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนเฉลี่ยในช่วง 20-25 ไมโครเมตร ส่งผลให้สารละลายที่ถูกบรรจุลงไปในกระดาษ สามารถซึมผ่านรูพรุนของกระดาษได้ง่าย ทำให้สารละลายที่หยดลงไป สามารถแพร่กระจายทั่วขอบเขตที่กำหนดได้อย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอ จึงเหมาะสำหรับนำมาประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ฐานกระดาษ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Jirayu Sitanurak (2019) ที่ได้ออกแบบวิธีการสร้างอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ฐานกระดาษในรูปแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ โดยใช้เทคนิคการพิมพ์สกรีนด้วยน้ำหมึกสำหรับสกรีนเสื้อ ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกใช้กระดาษกรองเบอร์ 4 เป็นวัสดุในการสร้างอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ฐานกระดาษเช่นกัน

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาและเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติการกันน้ำที่เหมาะสม
ในการ ขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐาน
กระดาษ

วิธีการทดลอง

การสร้างขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำบนอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ ในการทดลองเลือกใช้วัสดุ 3 ชนิด ได้แก่ ขี้ผึ้งพาราฟิน หมึกกันน้ำ และสารละลายผสมระหว่างชันสนและสารส้ม โดยมีขั้นตอนในการทำที่แตกต่างกันตามชนิดของวัสดุที่ใช้ ดังนี้

2.1 ขี้ผึ้งพาราฟิน

นำขี้ผึ้งพาราฟินไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพื่อให้หลอมเหลวก่อนนำแม่พิมพ์ที่ทำจากยางพาราในข้อ 1 มาจุ่มลงในขี้ผึ้งพาราฟินหลอมเหลว แล้วนำไปประทับพิมพ์ลงบนกระดาษกรองเบอร์ 4 ทันที จากนั้นรอให้ขี้ผึ้งพาราฟินแห้งเป็นเวลา 1 นาที แล้วติดสติ๊กเกอร์ใสบริเวณด้านหลังของกระดาษกรอง

2.2 หมึกกันน้ำ

กดแม่พิมพ์ที่ทำจากยางพาราในข้อ 1 ลงบนแผ่นประทับพิมพ์ที่บรรจุหมึกกันน้ำไว้แล้ว จากนั้นนำแม่พิมพ์ไปประทับพิมพ์ลงบนกระดาษกรองเบอร์ 4 ทันที รอให้หมึกกันน้ำแห้งเป็นเวลา 3 นาที แล้วติดสติ๊กเกอร์ใสบริเวณด้านหลังของกระดาษกรอง

2.3 สารละลายผสมระหว่างชันสนและสารส้ม

นำสารละลายชันสนและสารละลายสารส้มเข้มข้นร้อยละ 15 โดยมวลต่อปริมาตรที่เตรียมได้ ไปศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ฐานกระดาษ โดยเตรียมในอัตราส่วนสารละลายชันสนต่อสารละลายสารส้มโดยปริมาตร เท่ากับ 1 : 1 2 : 1 3 : 1 4 : 1 และ 5 : 1 ของตามลำดับ เมื่อผสมสารละลายทั้งสองเข้าด้วยกันแล้ว ต้องประทับพิมพ์สารละลายผสมลงบนกระดาษกรองเบอร์ 4 ภายในเวลา 5 นาที เพื่อป้องกันการจับตัวกันของตะกอน จนทำให้ขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำมีลักษณะที่ไม่สมบูรณ์ และหลังจากการประทับพิมพ์ลงบนกระดาษกรองเบอร์ 4 รอให้แห้งโดยใช้เวลาไม่เกิน 5 นาที จากนั้นติดสติ๊กเกอร์ใสบริเวณด้านหลังของกระดาษกรอง

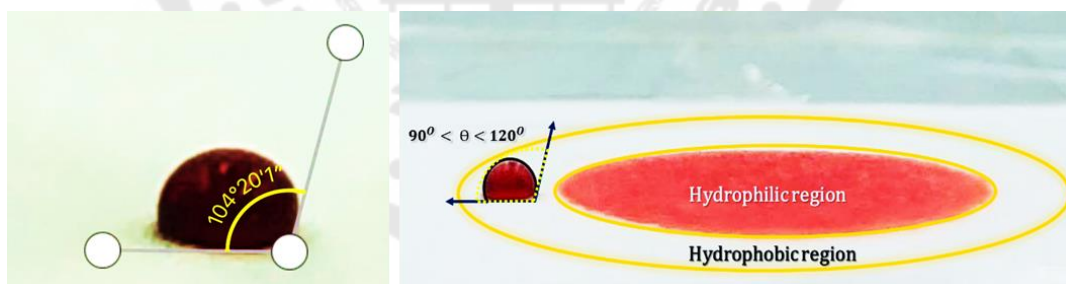
ขั้นตอนที่ 3 ทดสอบคุณภาพของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่ขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ

การทดสอบคุณภาพของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในด้านประสิทธิภาพการกันน้ำของขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำที่ขึ้นรูปด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ

ปริมาณรวมของสารละลายที่จะบรรจุและด้านความสามารถในการผลิตซ้ำ (Reproducibility) ซึ่งวิธีการทดสอบ ดังต่อไปนี้

วิธีที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพการกักน้ำของขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำและการหาปริมาณรวมของสารละลายที่บรรจุลงอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ

ทำการทดสอบคุณภาพของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ฐานกระดาษที่ขึ้นรูปด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ โดยการตรวจสอบความสามารถในการขึ้นรูปวงกลมบนกระดาษกรองทดสอบสมบัติความไม่ชอบน้ำของวัสดุ (Hydrophobicity) โดยพิจารณาจากมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำ (สารละลายสีผสมอาหาร) กับพื้นผิว ดังภาพประกอบ 7 ซึ่งวัดด้วยแอปพลิเคชัน Angle Meter ในโทรศัพท์มือถือ โดยวัสดุที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) จะต้องมียามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวอยู่ระหว่าง 90 ถึง 120 องศาและตรวจสอบประสิทธิภาพกักน้ำของขอบเขตที่สร้างขึ้นจากวัสดุชนิดต่าง ๆ โดยการหยดสารละลายสีผสมอาหาร แล้วสังเกตการรั่วไหลของสารละลายสีผสมอาหาร จากนั้นหาปริมาณของสารละลายที่เหมาะสมในการบรรจุลงในขอบเขตที่สร้างขึ้น นอกจากนี้ผู้วิจัยยังพิจารณาระยะเวลาที่ใช้ในการรอแห้ง เพื่อคัดเลือกวัสดุที่เหมาะสมและสะดวกในการขึ้นรูปอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ฐานกระดาษ สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณกรด-เบส ในสารละลายตัวอย่างในลำดับต่อไป



ภาพประกอบ 7 การวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำกับพื้นผิวด้วยแอปพลิเคชัน Angle Meter

วิธีที่ 2 การตรวจสอบความสม่ำเสมอของการผลิตซ้ำ (Reproducibility) โดยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณทำปฏิกิริยา

ทำการตรวจสอบความสม่ำเสมอของการผลิตซ้ำ โดยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณทำปฏิกิริยาด้วยอุปกรณ์เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ ซึ่งมีความละเอียด 0.1 มิลลิเมตร แล้วหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าร้อยละเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) เพื่อระบุ

ความสามารถในการผลิตซ้ำ (Reproducibility) อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ

สำหรับผลการเลือกวัสดุที่เหมาะสมในการขึ้นรูป ผลการทดสอบและอภิปรายคุณภาพของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่ขึ้นรูปด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ นั้น จะแสดงไว้ในภาคผนวก ค ซึ่งผลการทดลองทั้งหมด จะแสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษอย่างง่าย ที่มีความสะดวกสำหรับนำไปสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่มีคุณภาพ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาวิธีการทดลองในหัวข้อ 1.2.2 ซึ่งจะนำไปใช้ในการสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษาต่อไป

1.2.2 การพัฒนาวิธีการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส

ในการพัฒนาวิธีการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส สำหรับนำไปใช้ในการสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ผู้วิจัยได้การศึกษาโดยแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาวิธีการหาปริมาณกรดและเบสในสารละลายตัวอย่างด้วยวิธีการไทเทรตและการเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในการวิเคราะห์หาปริมาณกรด-เบสเบื้องต้น

ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไฮโดรอกไซด์

ขั้นตอนที่ 4 การศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อหาปริมาณกรดซिटริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม

ขั้นตอนที่ 5 การประเมินประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษด้วยสถิติทางเคมีวิเคราะห์

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาวิธีการหาปริมาณกรดและเบสในสารละลาย
ตัวอย่างด้วยวิธีการไทเทรตและการเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม

รายการวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

รายการ	จำนวน
1. เครื่องชั่งสาร	1 เครื่อง
2. บีกเกอร์ขนาด 50 100 500 มิลลิลิตร อย่างละ	3 ใบ
3. กระบอกตวงขนาด 10 50 100 มิลลิลิตร อย่างละ	1 ใบ
4. แท่งแก้วคนสาร	5 อัน
5. ช้อนตักสาร	5 คัน
6. หลอดหยดสาร	5 หลอด
7. ขวดวัดปริมาตรขนาด 10 25 50 100 มิลลิลิตร อย่างละ	10 ใบ
8. ขวดรูปชมพู่	5 ใบ
9. บิวเรตต์	1 อัน
10. ปิเปตต์	5 อัน
11. กรวย	1 ใบ
12. ไมโครปิเปตต์	1 เครื่อง
13. กระดาษกรองเบอร์ 4	2 แผ่น
14. สติกเกอร์ใส	1 แผ่น

รายการสารเคมีที่ใช้

รายการ	จำนวน
1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ชนิดเม็ด (NaOH)	50 กรัม
2. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท ($\text{KC}_8\text{H}_5\text{O}_4$)	50 กรัม
3. เมทิลเรด	10 กรัม
4. ไทมอลบลู	10 กรัม
5. น้ำมะนาวตัวอย่าง	5 มิลลิลิตร

1.1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไฮเดียม-ไฮดรอกไซด์ด้วยวิธีการไทเทรต

การเตรียมสารละลาย

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานปฐุมภูมิโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์น้ำหนักเข้มข้น 0.10 โมลาริตี ปริมาตร 100.00 มิลลิลิตร โดยการชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์น้ำหนักที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงมา 2.0422 กรัม แล้วนำไปละลายด้วยน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100.00 มิลลิลิตร
2. เตรียมสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นโดยประมาณ 0.10 โมลาริตี ปริมาตร 100.00 มิลลิลิตร โดยการชั่งไฮเดียมไฮดรอกไซด์ ชนิดเม็ด จำนวน 0.3999 กรัม แล้วนำไปละลายด้วยน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100.00 มิลลิลิตร
3. เตรียมสารละลายไทมอลบลูเข้มข้นร้อยละ 0.50 โดยมวลต่อปริมาตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร โดยชั่งไทมอลบลูมา 0.0500 กรัม แล้วใช้เอทานอลบริสุทธิ์ร้อยละ 95 : น้ำกลั่นอัตราส่วน 2 : 8 เป็นตัวทำละลาย
4. เตรียมสารละลายเมทิลเรดเข้มข้นร้อยละ 0.50 โดยมวลต่อปริมาตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร โดยชั่งเมทิลเรดมา 0.0500 กรัม แล้วใช้เอทานอลบริสุทธิ์ร้อยละ 95 : น้ำกลั่นอัตราส่วน 5 : 5 เป็นตัวทำละลาย

วิธีการทดลอง

1. ปิเปตต์สารละลายมาตรฐานปฐุมภูมิโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์น้ำหนักเข้มข้น 0.10 โมลาริตี ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250.00 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายไทมอลบลูเข้มข้นร้อยละ 0.50 โดยมวลต่อปริมาตร 2-3 หยด เขย่าขวดให้สารละลายเข้ากัน
2. นำสารละลายในข้อ 1. มาไทเทรตด้วยสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ที่บรรจุอยู่ในบิวเรตต์ จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นน้ำเงิน
3. บันทึกปริมาตรของสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้เพื่อคำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนและเก็บสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือไว้ใช้ทดลองการทดลองต่อไป (บันทึกผลให้ชัดเจน)
4. ทำการไทเทรตตามข้อที่ 1.- 3. ซ้ำอีก 9 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ในหน่วยโมลาริตี
5. ทำการทดลองตามขั้นตอนในข้อที่ 1-4 อีก 10 ครั้ง โดยเปลี่ยนชนิดของอินดิเคเตอร์เป็นสารละลายเมทิลเรดเข้มข้นร้อยละ 0.50 โดยมวลต่อปริมาตร

1.2 การหาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมด้วย

วิธีการไทเทรต

การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

เนื่องจาก ความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างมีผลต่อช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้วิเคราะห์ ผู้วิจัยจึงทำการเจือจางสารละลายตัวอย่างที่มีความเจือจาง 2.5 5.0 10.0 15.0 และ 20.0 เท่า เพื่อเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์ปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวสำเร็จรูปด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ จากผลการทดลองเบื้องต้น พบว่า เมื่อเจือจางสารละลายลง 20.0 เท่า ยังสามารถสังเกตเห็นจุดยุติของปฏิกิริยาได้ชัดเจนดี และใช้ปริมาณตัวอย่างและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์น้อยที่สุด จึงเป็นความเข้มข้นเหมาะสมที่จะนำมาไทเทรต และเป็น การลดของเสียที่จะเกิดขึ้นจากการตรวจวิเคราะห์ด้วย

วิธีการทดลอง

1. ปิเปตต์ตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมที่สุ่มมาจากตลาด ที่ผ่านการเจือจาง 20.0 เท่าแล้ว ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125.00 มิลลิลิตร หยดสารละลายไทมอลบลู เข้มข้นร้อยละ 0.50 โดยมวลต่อปริมาตร ประมาณ 2-3 หยด

2. นำสารละลายจากข้อที่ 1. มาไทเทรตกับสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.10 โมลาริตี (โดยประมาณ) จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็น น้ำเงิน แล้วคำนวณหาปริมาณกรดซิตริกจากสูตร (วรรณค์ ทองสมบัติ, 2549) ดังนี้

$$\% \text{ (w/v) ของกรดซิตริก} = \frac{M \times V_1 \times 64}{10 \times V_2} \times 20$$

เมื่อ V_1 เป็น ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จากการไทเทรต

V_2 เป็น ปริมาตรของสารตัวอย่าง

M เป็น ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หน่วยโมลาริตี

3. ทำการทดลองข้อที่ 1-2 ซ้ำอีก 9 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดซิตริกในหน่วยความเข้มข้นร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร

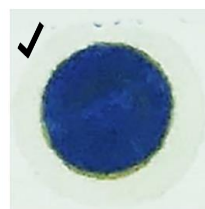
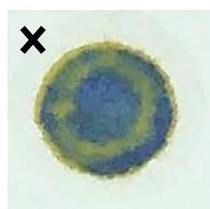
4. ทำการทดลองตามขั้นตอนในข้อที่ 1-3 อีก 10 ครั้ง โดยเปลี่ยนชนิดของอินดิเคเตอร์เป็นสารละลายเมทิลเรดเข้มข้นร้อยละ 0.50 โดยมวลต่อปริมาตร

สำหรับผลการพัฒนาวิธีการทดลอง ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาวิธีการหาปริมาณกรดและเบสในสารละลายตัวอย่างด้วยวิธีการไทเทรตและการเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม หัวข้อ 1.1 และ 1.2 จะแสดงไว้ในภาคผนวก ค

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในการวิเคราะห์หาปริมาณกรด-เบสเบื้องต้น

ในการทำปฏิกิริยากันของสารบนกระดาษจะมีความแตกต่างกับการผสมของสารละลายโดยตรงในอุปกรณ์การทดลอง โดยพบว่า ลำดับของการหยดสารบนกระดาษ จะส่งผลต่อการผสมของสารบนอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงศึกษาลำดับการหยดสาร โดยใช้ปฏิกิริยาระหว่างสารละลายปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต เข้มข้น 0.10 โมลาริตี ปริมาตร 5 ไมโครลิตร กับสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.10 โมลาริตี ปริมาตร 5 ไมโครลิตร แล้วทำการติดตามสีที่เปลี่ยนแปลงไปของไหมอลบลู โดยเปลี่ยนแปลงลำดับการหยดทั้งหมด 6 แบบ ซึ่งจากการทดลองพบว่า ลำดับการหยดที่เหมาะสม คือ หยดสารละลายกรด สารละลายเบส และสารละลายอินดิเคเตอร์ ตามลำดับ โดยแสดงรายละเอียดของผลการทดลองไว้ใน ภาคผนวก ค

ส่วนปริมาตรอินดิเคเตอร์ จำเป็นจะต้องใช้ปริมาตรเป็นสองเท่าของปริมาตรสารละลายกรดหรือเบส เนื่องจาก ผู้วิจัยต้องการให้อินดิเคเตอร์แพร่กระจายเต็มบริเวณขอบเขต และสามารถทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาระหว่างสารละลายกรดและสารละลายเบสได้อย่างทั่วถึง ทำให้สีที่เกิดขึ้นมีความสม่ำเสมอ ดังภาพประกอบ 8 ข. ซึ่งแตกต่างจากภาพประกอบ 8 ก. ที่ใช้ปริมาตรอินดิเคเตอร์น้อยเกินไป



ก. การแพร่กระจายของสีที่ไม่สม่ำเสมอ ข. การแพร่กระจายของสีที่สม่ำเสมอ

ภาพประกอบ 8 ผลการหาปริมาณอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม

จากการศึกษาระยะเวลาในการรอให้สารละลายแห้งในแต่ละครั้ง พบว่า ระยะเวลาที่มีผลต่อการทำปฏิกิริยาของสาร และความชัดเจนในการสังเกตสีของสารละลาย อินดิเคเตอร์ ณ จุดยุติ ผู้วิจัยจึงได้ทดลองจับเวลาในการรอแห้ง เมื่อหยดสารละลายกรดลงไป โดยใช้ระยะเวลาดังแต่ 1-5 นาที ส่วนระยะเวลาหลังจากหยดสารละลายเบสลงไปผู้วิจัยได้จับเวลา ตั้งแต่ 1-15 นาที ก่อนที่จะหยดสารละลายอินดิเคเตอร์เป็นลำดับสุดท้าย ซึ่งพบว่า ระยะเวลาที่เหมาะสมในการรอแห้ง ในระหว่างการหยดทั้งสองช่วงเป็น 2 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าว ผู้วิจัยจึงนำมาปรับใช้ในวิธีการทดลองหาปริมาณของสารละลายกรด และสารละลายเบสในตัวอย่างด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในขั้นตอน ที่ 3 และขั้นตอนที่ 4 ต่อไป

ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์

รายการวัสดุ-อุปกรณ์ที่ใช้

รายการ	จำนวน
1. เครื่องชั่งสาร	1 เครื่อง
2. บีกเกอร์ขนาด 50 100 มิลลิลิตร อย่างละ	3 ใบ
3. กระบอกตวงขนาด 10 50 100 มิลลิลิตร อย่างละ	1 ใบ
4. แท่งแก้วคนสาร	5 อัน
5. ช้อนตักสาร	5 คัน
6. หลอดหยดสาร	5 หลอด
7. ขวดวัดปริมาตรขนาด 10 100 มิลลิลิตร อย่างละ	10 ใบ
10. ปิเปตต์	5 อัน
11. กรวย	1 ใบ
12. ไมโครปิเปตต์	1 เครื่อง
13. กระดาษกรองเบอร์ 4	2 แผ่น
14. สติกเกอร์ใส	1 แผ่น

รายการสารเคมีที่ใช้

รายการ	จำนวน
1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ชนิดเม็ด (NaOH)	50 กรัม
2. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท ($\text{KC}_8\text{H}_5\text{O}_4$)	50 กรัม
3. ไทมอลบูล	10 กรัม

การเตรียมสารละลาย

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียม-ไฮโดรเจนพทาเลท เข้มข้น 0.01 0.05 0.10 0.20 และ 0.30 โมลาริตี ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร จากการเจือจางจากสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท 1.00 โมลาริตี ซึ่งเตรียมได้จากการชั่งโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลทที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงมา 2.0422 กรัม แล้วนำไปละลายด้วยน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 10.00 มิลลิลิตร แล้วนำสารละลายดังกล่าวไปเจือจางให้ได้ความเข้มข้นตามที่ระบุไว้ โดยการปิเปตสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท 1.00 โมลาริตี มา 0.10 0.50 1.00 2.00 และ 3.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรเป็น 10.00 มิลลิลิตร
2. เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น โดยประมาณ 0.10 โมลาริตี ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร โดยการชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ ชนิดเม็ด จำนวน 0.0399 กรัม แล้วนำไปละลายด้วยน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 100.00 มิลลิลิตร
3. เตรียมสารละลายไทมอลบูล เข้มข้นร้อยละ 0.50 โดยมวล ต่อปริมาตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร โดยชั่งไทมอลบูลมา 0.0500 กรัม แล้วใช้เอทานอลบริสุทธิ์ ร้อยละ 95 : น้ำกลั่นอัตราส่วน 2 : 8 เป็นตัวทำละลาย

วิธีการทดลอง

1. เตรียมอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ
2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียม-ไฮโดรเจนพทาเลท เข้มข้น 0.01 0.05 0.10 0.20 และ 0.30 โมลาริตี ปริมาตร 5.00 ไมโครลิตร ลงบนอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ ความเข้มข้นละ 1 วง ตามลำดับความเข้มข้นจากน้อยไปมาก จนครบ 5 วง จากนั้นรอให้สารละลายแพร่กระจายและซึมลงบนกระดาษ อย่างสม่ำเสมอ เป็นเวลา 2 นาที
3. ปิเปตสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไม่ทราบความเข้มข้น ปริมาตร 5.00 ไมโครลิตร ลงบนอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษทีละวง

จนครบ 5 วง จากนั้นรื้อให้สารละลายแพร่กระจายและทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐาน
ปฐมภูมิโพแทสเซียม ไฮโดรเจนพทาเลท เป็นเวลา 10 นาที

4. ปิเปตต์สารละลายไทมอลบลู เข้มข้นร้อยละ 0.50
โดยมวลต่อปริมาตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาค
ฐานกระดาษที่ละวงจนครบ 5 วงเช่นกัน เมื่อปิเปตต์สารละลายครบแล้ว ให้สังเกต
การเปลี่ยนแปลงสีของไทมอลบลู เพื่อระบุจุดยุติที่ถูกต้อง พร้อมทั้งบันทึกภาพอุปกรณ์ตรวจ
วิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อเก็บไว้สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

5. ทำตามขั้นตอนในข้อ 1.- 4. ซ้ำอีก อย่างน้อย 9 ครั้ง
เพื่อหาความเข้มข้นเฉลี่ยของสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ในหน่วยโมลาริตี

สำหรับผลการพัฒนาวิธีการทดลอง ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาวิธีการ
ประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ
สารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ จะแสดงไว้ในภาคผนวก ค

**ขั้นตอนที่ 4 การศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์
ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อหาปริมาณกรดซิดริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม**

รายการอุปกรณ์ที่ใช้

รายการ	จำนวน
1. เครื่องชั่งสาร	1 เครื่อง
2. ปีกเกอร์ขนาด 50 100 มิลลิลิตร อย่างละ	3 ใบ
3. กระบอกตวงขนาด 10 50 มิลลิลิตร อย่างละ	1 ใบ
4. แท่งแก้วคนสาร	5 อัน
5. ช้อนตักสาร	5 คัน
6. หลอดหยดสาร	5 หลอด
7. ขวดวัดปริมาตรขนาด 10 100 มิลลิลิตร อย่างละ	10 ใบ
8. ขวดรูปชมพู่	5 ใบ
9. บิวเรตต์	1 อัน
10. กรวย	1 ใบ
11. ไมโครปิเปตต์	1 เครื่อง
12. กระดาษกรองเบอร์ 4	2 แผ่น
13. สติ๊กเกอร์ใส	1 แผ่น

รายการสารเคมีที่ใช้

รายการ	จำนวน
1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ชนิดเม็ด (NaOH)	50 กรัม
2. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท ($\text{KC}_8\text{H}_5\text{O}_4$)	50 กรัม
3. ไทมอลบูล	10 กรัม
4. น้ำมะนาวตัวอย่าง	5 มิลลิลิตร

การเตรียมสารละลาย

1. เตรียมสารละลายตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมเจือจาง 20.0 เท่า โดยการปิเปตตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมมา 2.00 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 10.00 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร

2. เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น โดยประมาณ 0.10 โมลาริตี ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยการชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ ชนิดเม็ด จำนวน 0.3999 กรัม นำไปละลายด้วยน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 100.00 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปหาความเข้มข้นที่แน่นอน (Standardization) โดยการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลท เข้มข้น 0.10 โมลาริตี แล้วนำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ดังกล่าวไป เจือจางให้ได้ความเข้มข้นตามที่ระบุไว้โดยการปิเปตสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์นี้มา 1.00 2.00 3.00 4.00 5.00 6.00 7.00 8.00 9.00 และ 10.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 10.00 มิลลิลิตร (ยกเว้นความเข้มข้นสุดท้าย)

3. เตรียมสารละลายไทมอลบูล เข้มข้นร้อยละ 0.50 โดยมวลต่อปริมาตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร โดยชั่งไทมอลบูลมา 0.0500 กรัม แล้วใช้เอทานอลบริสุทธิ์ ร้อยละ 95: น้ำกลั่นอัตราส่วน 2 : 8 เป็นตัวทำละลาย

วิธีการทดลอง

1. เตรียมอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ
2. ปิเปตสารละลายตัวอย่างน้ำมะนาวเจือจาง 20.0 เท่า ปริมาตร 5.00 ไมโครลิตร ลงบนอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่ละวงจนครบ 10 วง จากนั้นรอให้สารละลายแพร่กระจายและซึมลงบนกระดาษอย่างสม่ำเสมอเป็นเวลา 2 นาที

3. ปิเปตสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.01-0.10 โมลาริตี (จำนวน 10 ความเข้มข้น) ปริมาตร 5.00 ไมโครลิตร ลงบนอุปกรณ์ตรวจ

วิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษความเข้มข้นละ 1 วง ตามลำดับความเข้มข้นจากน้อยไปมาก จนครบ 10 วง จากนั้นรอให้สารละลายแพร่กระจายและทำปฏิกิริยากับสารละลายตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม เป็นเวลา 10 นาที

4. ปิเปตต์สารละลายไทมอลบลู เข้มข้นร้อยละ 0.50 โดยมวลต่อปริมาตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษจนครบ 10 วงเช่นกัน เมื่อปิเปตต์สารละลายครบแล้ว ให้สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของไทมอลบลู เพื่อระบุจุดยุติที่ถูกต้อง พร้อมทั้งบันทึกภาพอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อเก็บไว้สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

5. ทำตามขั้นตอนในข้อที่ 1.- 4. ซ้ำอีก อย่างน้อย 9 ครั้ง เพื่อนำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยของปริมาณกรดซิตริกในหน่วยความเข้มข้นร้อยละโดยมวลต่อปริมาตรต่อไป

สำหรับผลการพัฒนาวิธีการทดลอง ขั้นตอนที่ 4 การศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อหาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม จะแสดงไว้ในภาคผนวก ค

ขั้นตอนที่ 5 การประเมินประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษด้วยสถิติทางเคมีวิเคราะห์

ในการประเมินประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษด้วยสถิติทางเคมีวิเคราะห์ สามารถทำได้ด้วย 2 วิธีการ ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ (Accuracy)

1.1 การหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของผลการวิเคราะห์

เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้กับค่าอ้างอิงทางทฤษฎีจากวิธีวิเคราะห์มาตรฐานและเป็นที่ยอมรับ คือ วิธีการไทเทรตกรด-เบส โดยการหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์นี้ สามารถทำได้โดยการคำนวณจากสูตรดังต่อไปนี้ (Skooog, West, & Holler, 1996, pp.13-14)

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{|X_i - \mu|}{\mu} \times 100$$

เมื่อ X_i คือ ค่าที่ได้จากการทดลองแต่ละครั้ง

μ คือ ค่าอ้างอิงทางทฤษฎีที่ได้จากวิธีการไทเทรตมาตรฐาน

1.2 การทดสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ด้วย

สถิติ t-test

เป็นการทดสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพของวิธีการตรวจวิเคราะห์ด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่พัฒนาขึ้น โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างชนิดเดียวกันกับวิธีการไทเทรตกรด-เบส โดยจะต้องนำค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 วิธีมาคำนวณโดยใช้สถิติ t-test for independent samples สามารถคำนวณด้วยดังสูตรต่อไปนี้ (Skoog et al., 1996, pp. 53-55)

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_p} \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_1} (X_i - \bar{X}_1)^2 + \sum_{j=1}^{n_2} (X_j - \bar{X}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

เมื่อ $\bar{X}_1$ และ $\bar{X}_2$ คือ ค่าเฉลี่ยจากผลการวิเคราะห์โดยวิธีมาตรฐานและวิธีที่ต้องการทดสอบ ตามลำดับ

X_i และ X_j คือ ค่าที่ได้จากการวัดแต่ละครั้งจากวิธีมาตรฐานและวิธีที่ต้องการทดสอบตามลำดับ

n_1 คือ จำนวนครั้งที่ทำการทดลองโดยวิธีมาตรฐาน

n_2 คือ จำนวนครั้งที่ทำการทดลองโดยวิธีที่ต้องการทดสอบ

2. การทดสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ (Precision)

2.1 การทดสอบการกระจายของข้อมูลจากผลการวิเคราะห์

ทำการตรวจวัดซ้ำอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษด้วยจำนวน 10 ครั้ง จากนั้นคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการวิเคราะห์ที่ได้ โดยใช้สูตรดังสมการ (Skoog et al., 1996, p. 28)

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

เมื่อ S คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

X คือ ค่าที่ได้จากผลการวิเคราะห์

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยจากผลการวิเคราะห์

n คือ จำนวนครั้งที่ทำการวิเคราะห์

2.2 การทดสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์

เป็นการทดสอบเพื่อหาความแม่นยำในการตรวจวิเคราะห์โดยตรวจปริมาณกรดหรือเบสในสารละลายตัวอย่าง รวมทั้งปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม โดยทำการนำความเข้มข้นของสารตัวอย่างเดียวกัน มาตรวจวิเคราะห์โดยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษจำนวน 10 ครั้งในวันเดียวกัน แล้วนำมาหาค่าร้อยละเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) หรืออาจเรียกว่า สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.) จากสูตรดังสมการ (Skoog et al., 1996, p. 33)

$$\%RSD \text{ หรือ } C.V. = \frac{S}{\bar{X}} \times 100$$

เมื่อ %RSD คือ ค่าร้อยละเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Percent relative standard deviation)

C.V. คือ สัมประสิทธิ์การกระจาย

S คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยจากผลการวิเคราะห์

สำหรับผลการประเมินประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษด้วยสถิติทางเคมีวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ 5 จะแสดงไว้ในภาคผนวก ค

จากการศึกษาวิธีการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ในส่วนที่ 1 วิธีการพัฒนาวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ ทำให้ผู้วิจัยได้ข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบ การเลือกวัสดุ และการประดิษฐ์แม่พิมพ์สำหรับประทับพิมพ์ เพื่อขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษจากวัสดุที่หาได้ง่าย ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวก ทำได้ง่าย และนิสิตสามารถออกแบบและประดิษฐ์ได้ด้วยตนเอง ส่วนการศึกษาและเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติการกันน้ำที่เหมาะสมในการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ ซึ่งจากการทดสอบคุณสมบัติการกันน้ำพบว่า สารละลายชันสนและสารส้มในอัตราส่วน 4 : 1 มีคุณสมบัติการกันน้ำที่ดีที่สุด ผู้วิจัยจึงนำผลการทดลองดังกล่าวมาไว้เปรียบเทียบกับผลการทดสอบคุณสมบัติการกันน้ำจากการเลือกใช้วัสดุที่หาได้ง่ายชนิดต่าง ๆ ในกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่สร้างขึ้น โดยให้นิสิตเป็นผู้ทดสอบคุณภาพของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์

ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่ขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ ด้วยตนเอง ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้ขั้นตอนตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทั้ง 6 ขั้นตอน ที่นิสิตจะได้วางแผน และปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง รวมถึงการทดสอบ ปรับปรุงผลงานของกลุ่มตนเองให้ดีที่สุดตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

สำหรับผลการพัฒนาวิธีการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ในส่วนที่ 2 ทั้ง 5 ขั้นตอน ทำให้ผู้วิจัยได้ข้อมูลที่เป็นเกี่ยวกับวิธีการหาปริมาณกรดและเบสในสารละลายตัวอย่างด้วยวิธีการไทเทรตและการเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม เพื่อนำขั้นตอนการทดลองของวิธีการไทเทรต ไปใช้เป็นส่วนหนึ่งในการจัดการเรียนรู้ในสัปดาห์ที่ 1 เพื่อให้นิสิตได้ค้นพบข้อดี ข้อจำกัดของวิธีการไทเทรตด้วยตนเอง และค้นหาแนวทางแก้ไขปัญหาคำจำกัดดังกล่าวต่อไป รวมทั้งนิสิตยังได้ผลการทดลองของวิธีการไทเทรตมาตรฐานไว้เปรียบเทียบกับผลการหาปริมาณกรด-เบสโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ และจากการศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในการวิเคราะห์หาปริมาณกรด-เบสเบื้องต้น ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากการทดลองมาเป็นแนวทางในการกำหนดเงื่อนไขให้นิสิตเข้าใจและประยุกต์ใช้ได้จริง โดยคำนึงปัจจัยในเรื่อง ลำดับการหยด ระยะเวลาในการรอแห้ง รวมถึงปริมาตรของสารละลายกรด สารละลายเบส และสารละลายอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งนิสิตจะได้ทดลองหาปัจจัยดังกล่าวด้วยตนเอง ในส่วนของการศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไฮดรอกไซด์ ซึ่งผู้วิจัยมีความประสงค์ให้นิสิตได้ทดลองใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษให้คล่องแคล่วและเข้าใจหลักการใช้ก่อนที่จะประยุกต์ใช้หาปริมาณกรดซिटริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมตามที่สถานการณ์กำหนด ลำดับต่อมาเมื่อผู้วิจัยศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อหาปริมาณกรดซिटริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม ซึ่งทำให้ผู้วิจัยได้ข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการทดลองสำหรับใช้ในการกำหนดเงื่อนไข สถานการณ์ปัญหาหลักของกิจกรรม ที่จะนำไปสู่การสร้างนวัตกรรมที่ตอบโจทย์ต่อสถานการณ์ปัญหาดังกล่าว และสุดท้าย คือ การศึกษาวิธีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษด้วยสถิติทางเคมีวิเคราะห์ ซึ่งผู้วิจัยนำผลการวิเคราะห์คุณภาพในส่วนนี้ไปใช้ในการกำหนดเกณฑ์เพื่อประเมินการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อหาปริมาณกรด-เบส สำหรับนิสิตทุกกลุ่ม

จากที่กล่าวมาทั้งหมดในข้างต้น ผู้วิจัยได้นำข้อมูลผลการทดลองทั้ง 2 ส่วน ไปใช้ในการสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดของการบูรณาการ 4 สาขาวิชา และ แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน ในหัวข้อ 1.3 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยต่อไป

1.3 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ กิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้อุปกรณ์ ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส
2. เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบประเมินทักษะการคิด สร้างสรรค์และนวัตกรรม

1.3.1 การพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และ นวัตกรรมของนิสิตวิชาชีพครู

การพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส ดำเนินการดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น ผู้วิจัยได้ศึกษาลักษณะและวิธีการสร้างกิจกรรม ตามแนวทางสะเต็มศึกษาจากเอกสาร ตำรา วารสารและงานวิจัย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดทำ กิจกรรมสะเต็มศึกษา ดังนี้

1.1 ศึกษาผลการเรียนรู้ในรายวิชา คศ 481 หัวข้อพิเศษทางเคมี ตามหลักสูตรการศึกษาระดับชั้น สาขาวิชาเคมี (5 ปี) (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2556) ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

1.2 ศึกษาเนื้อหาเรื่อง สารละลายกรด-เบส รายวิชา เคมีวิเคราะห์ จากหนังสือและเอกสารประกอบการสอนในรายวิชาดังกล่าว เพื่อกำหนดขอบเขตเนื้อหาที่จะใช้ใน กิจกรรมสะเต็มศึกษาที่จะพัฒนาขึ้น พบว่า มีการระบุเนื้อหาในหัวข้ออินดิเคเตอร์สำหรับกรด-เบส การไทเทรตกรด-เบส จากเนื้อหาในข้างต้น ผู้วิจัยจึงเลือกหัวข้อที่จะใช้ในการพัฒนาวิธีการทดลอง ที่ประกอบในกิจกรรมสะเต็มศึกษาและทำการกำหนดกิจกรรมในการจัดการเรียนรู้ เพื่อประกอบใน แผนการจัดการเรียนรู้ที่จัดทำขึ้นสำหรับการจัดการเรียนรู้ใน 3 สัปดาห์ ซึ่งประกอบด้วย สัปดาห์ที่ 1 กิจกรรมการออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาค ฐานกระดาษ สัปดาห์ที่ 2 กิจกรรมการศึกษาหลักการใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาค

ฐานกระดาศในการหาปริมาณกรด-เบส ด้วยอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม และสปีดาร์ที่ 3 กิจกรรมการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาศ เพื่อหาปริมาณกรดซิดริกในตัวอย่งน้ำมะนาวเทียม

1.3 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกิจกรรมสะเต็มศึกษาจากการศึกษาข้อมูลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงให้ความหมายของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาศ เรื่อง สารละลาย กรด-เบส ว่าเป็นกิจกรรมการเรียนรู้ที่สร้างขึ้น โดยใช้สาระการเรียนรู้/แนวคิดสำคัญ เรื่อง สารละลายกรด-เบส เป็นแกนในการออกแบบวิธีการจัดการเรียนรู้และผนวกเข้ากับแนวคิดสะเต็มศึกษา ซึ่งเป็นการบูรณาการเนื้อหาสาระระหว่างวิศวกรรม เทคโนโลยีและคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้กับวิชาเคมีวิเคราะห์ แล้วจัดทำเป็นคู่มือกิจกรรมการทดลองประกอบในกิจกรรมสะเต็มศึกษา ซึ่งประกอบด้วย ชื่อกิจกรรมสะเต็มศึกษา คำชี้แจงและข้อควรปฏิบัติในการทำกิจกรรม ระยะเวลาในการดำเนินกิจกรรมที่เหมาะสม จุดประสงค์การเรียนรู้ โดยกำหนดจากผลการเรียนรู้ที่ระบุไว้หลักสูตร หลักการสำคัญที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมสะเต็มศึกษา วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี ขั้นตอนการดำเนินกิจกรรม การบันทึกผลการทำกิจกรรม การสรุปและอภิปรายผลจากการทำกิจกรรม

1.4 ศึกษาหนังสือ เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษา จากการศึกษาค้นคว้าดังกล่าว สรุปได้ว่า สะเต็มศึกษาเป็นแนวทางการจัดการศึกษาที่เน้นการแก้ไขปัญหาในชีวิตจริง โดยเป็นการบูรณาการระหว่าง 4 สาขาวิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ในการจัดการเรียนรู้

2. ดำเนินออกแบบร่างกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาศ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ที่ใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ มีรายละเอียดแสดง ดังตาราง 4

ตาราง 4 การออกแบบร่างกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาค
ฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส

กิจกรรม การเรียนรู้ที่	หัวข้อกิจกรรมการเรียนรู้	จำนวนคาบ เรียน
1	- ชี้แจงการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ และแบ่งกลุ่มนิสิต - การนำเสนอสถานการณ์ปัญหาน้ำมะนาวเทียมไม่มี คุณภาพ เพื่อไปสู่การสร้างสรค์นวัตกรรม - การทบทวนเนื้อหาเรื่อง สารละลายกรด-เบส - การระดมความคิดและรวบรวมข้อมูล เพื่อแก้ไข ปัญหา - ผู้สอนนำเสนอ เรื่อง นวัตกรรมการทดลองอย่างง่าย ทำได้นบนกระดาษ - การออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ	3
2	- การใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐาน กระดาษเพื่อใช้ในการเลือกอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม กับปฏิกิริยากรด-เบส - การใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐาน กระดาษเพื่อไทเทรตหาปริมาณสารตัวอย่าง กรด-เบส	3
3	- การประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษในการไทเทรตหาปริมาณสาร ตัวอย่างในชีวิตประจำวัน - สรุปผลการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และ นวัตกรรม	3

ตาราง 5 (ต่อ)

E (วิศวกรรมศาสตร์) กระบวนการ ออกแบบเชิง วิศวกรรม	แนวทางการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลาย กรด-เบส		
	S (วิทยาศาสตร์)	T (เทคโนโลยี)	M (คณิตศาสตร์)
	วิทยาศาสตร์	เทคโนโลยี	คณิตศาสตร์
ชั้นที่ 2 การระดม ความคิดและรวบรวม ข้อมูล (ต่อ)	- หลักการประยุกต์ใช้ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของ ไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อหาความเข้มข้นที่ แน่นอนของสารละลาย ไซเดียมไฮดรอกไซด์		
ชั้นที่ 3 การออกแบบ วิธีการแก้ปัญหา - การออกแบบวิธีการ ประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจ วิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษ และนวัตกรรมชุด ทดสอบอย่างง่ายที่มี ความเหมาะสมและ เป็นไปได้	- หลักการและวิธีการขึ้นรูป อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของ ไหลจุลภาคฐานกระดาษ - ความหมายและหลักการ ของนวัตกรรมชุดทดสอบ อย่างง่าย	- การสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับ วิธีการขึ้นรูปอุปกรณ์ตรวจ วิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐาน กระดาษ	- การวัดและ คำนวณพื้นที่ ภายในขอบเขต ที่ไม่ขอบน้ำของ อุปกรณ์ตรวจ วิเคราะห์ของ ไหลจุลภาคฐาน กระดาษ
ชั้นที่ 4 การวางแผน และดำเนินการ แก้ปัญหาอย่างมี ประสิทธิภาพ - การวางแผนและ ดำเนินการออกแบบ ประดิษฐ์ และนำ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ ของไหลจุลภาคฐาน กระดาษไปประยุกต์ใช้	- คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำ แม่พิมพ์ - หลักการนำอุปกรณ์ตรวจ วิเคราะห์ของไหลจุลภาค ฐานกระดาษไปใช้หา ปริมาณกรดซิตริกใน ตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม - การออกแบบนวัตกรรม ชุดทดสอบอย่างง่าย	- การสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับ คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำ แม่พิมพ์ - การสืบค้นข้อมูล เพื่อนำมาใช้ ในการออกแบบขั้นตอนการ วิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริก ในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมด้วย อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษ	- การคำนวณ โดยใช้หลัก ปริมาณสาร สัมพันธ์ เรื่อง สารละลายกรด- เบส (ไทเทรต กรด-เบส) เพื่อ ใช้ในการหา ปริมาณกรด ซิตริกในตัวอย่าง

ตาราง 5 (ต่อ)

E (วิศวกรรมศาสตร์) กระบวนการ ออกแบบเชิง วิศวกรรม	แนวทางการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลาย กรด-เบส		
	S (วิทยาศาสตร์)	T (เทคโนโลยี)	M (คณิตศาสตร์)
ขั้นที่ 4 การวางแผนและ ดำเนินการแก้ปัญหา อย่างมีประสิทธิภาพ (ต่อ)		- การสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับ หลักการออกแบบและการ ใช้งานนวัตกรรมชุดทดสอบ อย่างง่าย	
ขั้นที่ 5 การทดสอบ ประเมินผลและการ ปรับปรุง - การทดสอบ ประเมิน คุณภาพของอุปกรณ์ ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษ และวิธีการประยุกต์ใช้ที่ พัฒนาขึ้น เพื่อนำไปสู่ การปรับปรุงแก้ไขให้ ดียิ่งขึ้น	- การทดสอบคุณสมบัติ ความไม่ชอบน้ำของวัสดุที่ นำมาขึ้นรูปอุปกรณ์ตรวจ วิเคราะห์ของไหลจุลภาค ฐานกระดาษ โดยพิจารณา จากการแพร่และการรั่วซึม ของสารละลาย - การทดสอบประสิทธิภาพ ในการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษที่สร้าง ขึ้น เพื่อหาปริมาณกรดซึ ตริกในตัวอย่างน้ำมะนาว เทียม	- การสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับ การปรับปรุงวิธีการขึ้นรูป และคุณสมบัติของวัสดุที่ นำมาขึ้นรูปอุปกรณ์ตรวจ วิเคราะห์ของไหลจุลภาค ฐานกระดาษให้มีความ เหมาะสม - การทดสอบสมบัติความ ไม่ชอบน้ำโดยการวัดมุม ผิวสัมผัสระหว่างพื้นผิวกับ หยดน้ำด้วยโปรแกรม Angle Meter - การบันทึกภาพผลการ ทดลอง	- การคำนวณ ปริมาตร สารละลายที่จะ บรรจุได้ เพื่อ ประเมินคุณภาพ อุปกรณ์ตรวจ วิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐาน กระดาษ - การคำนวณค่า ทางสถิติเคมี วิเคราะห์ เพื่อประเมิน ประสิทธิภาพของ วิธีการประยุกต์ใช้
ขั้นที่ 6 การนำเสนอผล การแก้ปัญหาหรือ นวัตกรรมที่สร้างขึ้น - การนำเสนอผลการ ประดิษฐ์และวิธีการ ประยุกต์ใช้อุปกรณ์ ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษ	- หลักการขึ้นรูปอุปกรณ์ ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษ - แนวคิดและวิธีการใช้ นวัตกรรมชุดทดสอบ เพื่อหาปริมาณกรดซึตริกใน ตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม	- การสืบค้นข้อมูล ประกอบการนำเสนอ - อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ ของไหลจุลภาคฐาน กระดาษที่นิสิตสร้างขึ้น - นวัตกรรมชุดทดสอบอย่าง ง่ายที่นิสิตออกแบบ	- การคำนวณและ จัดสรรระยะเวลา ในการนำเสนอของ สมาชิกทุกคนใน กลุ่มให้อยู่ภายใน เวลาที่กำหนด

การหาคุณภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของ โหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลาย กรด-เบส

1. ประเมินคุณภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของโหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลาย กรด-เบส ตามขั้นตอนดังนี้

1.1 ด้านความเหมาะสมขององค์ประกอบของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้
อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของโหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลาย กรด-เบส ประเมินโดย
ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา 2 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญ
ด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 1 ท่าน ซึ่งในขั้นตอนนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาข้อบกพร่องของกิจกรรม
สะเต็มศึกษาที่พัฒนาขึ้น โดยเครื่องมือที่ใช้ในการประเมิน คือ แบบประเมินกิจกรรมสะเต็มศึกษา
ที่มีลักษณะเป็นมาตรประมาณค่า 5 ระดับ ระหว่างระดับที่ 1-5 ดังนี้

มากที่สุด	ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น	5
มาก	ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น	4
ปานกลาง	ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น	3
น้อย	ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น	2
น้อยที่สุด	ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น	1

การแปลความหมาย ใช้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักคะแนน โดยแบ่งออกเป็น
5 ระดับ ได้แก่

ค่าเฉลี่ย 4.50-5.00 หมายถึง มีความเหมาะสมมากที่สุด
ค่าเฉลี่ย 3.50-4.49 หมายถึง มีความเหมาะสม
ค่าเฉลี่ย 2.50-3.49 หมายถึง มีความเหมาะสมปานกลาง
ค่าเฉลี่ย 1.50-2.49 หมายถึง มีความเหมาะสมน้อย
ค่าเฉลี่ย 1.00-1.49 หมายถึง มีความเหมาะสมน้อยที่สุด

ผลประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบกิจกรรมโดย
ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พบว่า มีความเหมาะสมรายด้านในระดับมาก และมากที่สุด และรวมทุกด้าน
ในระดับมากที่สุด ดังแสดงในภาคผนวก ข

1.2 ด้านความสอดคล้องขององค์ประกอบของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้
อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของโหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ประเมินโดย
ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา 2 ท่านและผู้เชี่ยวชาญ
ด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 1 ท่าน เครื่องมือที่ใช้ในการประเมินมีลักษณะเป็นมาตรประมาณค่า 3
ระดับ คือ สอดคล้อง ไม่แน่ใจ และไม่สอดคล้อง เพื่อการปรับปรุงกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้

อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส และนำผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญมาแปลงเป็นคะแนน ดังนี้

มีความเห็นว่า สอดคล้อง ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น +1

มีความเห็นว่า ไม่แน่ใจ ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น 0

มีความเห็นว่า ไม่สอดคล้อง ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น -1

ผลการพิจารณาความสอดคล้องขององค์ประกอบกิจกรรมโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน พบว่า ค่าดัชนีความสอดคล้องของกิจกรรมที่พัฒนาขึ้นกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (IOC) เฉลี่ยอยู่ที่ 0.96 ดังแสดงในภาคผนวก ข

1.3 นำกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส มาปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ ดังตาราง 6

ตาราง 6 ข้อเสนอแนะและการปรับปรุงแก้ไขกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ	การปรับปรุงแก้ไข
1. ควรเพิ่มเลขลำดับกิจกรรมย่อย เช่น กิจกรรมที่ 1 เพื่อให้การดำเนินกิจกรรมในแต่ละขั้น ดำเนินอย่างต่อเนื่องและมีลำดับที่ชัดเจน	แก้ไขโดย ใส่ลำดับกิจกรรมในคู่มือกิจกรรมสำหรับนิสิตให้ชัดเจน
2. ควรปรับลำดับขั้นตอนของการทำกิจกรรมให้ชัดเจนและสอดคล้องกับแนวทางการประเมินผลมากยิ่งขึ้น	แก้ไขโดย กำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ของกิจกรรมและเรียงลำดับเนื้อหาในกิจกรรมให้สอดคล้องกับลำดับและเกณฑ์การประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่สร้างขึ้น
3. ควรปรับคำถามในคู่มือกิจกรรมสำหรับนิสิตให้เป็นคำถามปลายเปิด เพื่อให้ประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้อย่างชัดเจน	แก้ไขโดย ปรับคำถามในคู่มือกิจกรรมสำหรับนิสิตให้เป็นคำถามปลายเปิดมากขึ้น โดยเน้นให้นิสิตเป็นผู้เสนอความคิดอย่างอิสระมากกว่าการเลือกคำตอบจากกรอบที่ผู้สอนกำหนดไว้

ตาราง 6 (ต่อ)

ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ	การปรับปรุงแก้ไข
4. ควรปรับเนื้อหาบางส่วนในคู่มือกิจกรรม โดยใช้นิยามของคำศัพท์ทางวิทยาศาสตร์ และสัญลักษณ์ทางวิทยาศาสตร์/สถิติต่าง ๆ ให้ถูกต้อง พร้อมทั้งอ้างอิงแหล่งข้อมูลที่ น่าเชื่อถือ	แก้ไขโดย ปรับเนื้อหาและเปลี่ยนนิยามของ คำศัพท์ทางวิทยาศาสตร์ และสัญลักษณ์ทาง วิทยาศาสตร์/สถิติต่าง ๆ ให้ถูกต้องตาม หลักการ พร้อมทั้งอ้างอิงแหล่งข้อมูลที่ น่าเชื่อถือ
5. ควรปรับคำชี้แจงหรือรายละเอียดที่นิสิต ต้องบันทึกผลการทำกิจกรรม เช่น หัวตาราง ให้ครบถ้วนและชัดเจน เพื่อป้องกันไม่ให้นิสิตความเข้าใจผิด	แก้ไขโดย ปรับคำชี้แจงหรือรายละเอียดที่ นิสิตต้องบันทึกผลการทำกิจกรรม โดยระบุสิ่ง ที่นิสิตจะต้องปฏิบัติและบันทึกผลในระหว่าง การทำกิจกรรมไว้ในคู่มือให้ชัดเจน
6. ควรจัดทำคู่มือผู้สอน (แนวทางหรือ แผนการจัดการเรียนรู้) สำหรับให้ผู้สอนได้นำไปปรับใช้ในการจัดกิจกรรมได้อย่าง หลากหลายมากขึ้น และคู่มือควรแสดงผล จากการทดลองจริงของผู้วิจัย เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือ	แก้ไขโดย จัดทำคู่มือผู้สอน (แนวทางหรือ แผนการจัดการเรียนรู้) ประกอบกิจกรรม สำหรับให้ผู้สอนท่านอื่น นำไปปรับใช้ได้ สะดวกยิ่งขึ้น

2. นำกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส ที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดลองใช้กับนิสิตวิชาชีพครูที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมาย เพื่อหาปรับปรุงกิจกรรมก่อนนำไปใช้กับกลุ่มเป้าหมายจริง โดยทดลองใช้กับนิสิตวิชาชีพครู ระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ผ่านการคัดเลือกแบบเจาะจง และเป็นนิสิตที่ผ่านการเรียนรายวิชาเคมีวิเคราะห์มาแล้ว นอกจากนี้นิสิตกลุ่มนี้ยังมีคุณสมบัติและวัยวุฒิที่เพียงพอ ผู้วิจัยจึงเชื่อมั่นว่า มีความเหมาะสมที่จะนำนิสิตกลุ่มนี้ มาร่วมกันประเมินความเหมาะสมของกิจกรรมและปรับปรุงกิจกรรมให้มีความพร้อมในการนำไปใช้จริงกับกลุ่มเป้าหมาย ซึ่งขั้นตอนการทดลองใช้กิจกรรม มีดังนี้

2.1 ทดลองใช้กับนิสิตวิชาชีพครูจำนวน 3 คน เพื่อตรวจสอบความเข้าใจ และความถูกต้องของคู่มือกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาค

ฐานกระดาด เรื่อง สารละลายกรด-เบส โดยใช้การสัมภาษณ์และสังเกตพฤติกรรมของนิสิต พบว่า นิสิตบางคนยังมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนว่า ผู้วิจัยต้องการที่จะให้นิสิตวิเคราะห์หาปริมาณกรดซिटริก เพื่อแยกความแตกต่างระหว่างมะนาวแท้กับมะนาวเทียม ผู้วิจัยจึงชี้แจงว่า กิจกรรมที่พัฒนาขึ้นนี้ไม่ได้มีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณกรดซिटริก สำหรับใช้เป็นเกณฑ์ในการแยกน้ำมะนาวแท้กับน้ำมะนาวเทียมตั้งแต่แรก แต่มีจุดประสงค์เพื่อให้นิสิตวิชาชีพรูเข้าใจสถานการณ์ปัญหาและสามารถวิเคราะห์ปริมาณกรดซिटริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม เพื่อการบริโภคน้ำมะนาวเทียมอย่างปลอดภัย ในสถานะที่มะนาวแท้ขาดตลาด ผู้วิจัยจึงปรับสถานการณ์ปัญหาให้มีรายละเอียดชัดเจน เพื่อป้องกันความเข้าใจคลาดเคลื่อนจากสถานการณ์ปัญหาที่กำหนดเมื่อนำกิจกรรมไปใช้จริงกับกลุ่มเป้าหมาย นอกจากนี้ผู้วิจัยยังปรับสถานการณ์ปัญหาให้มีความน่าสนใจและเชื่อมโยงกับชีวิตประจำวันตามที่ได้รับข้อเสนอแนะมาด้วย ในส่วนของรูปเล่มคู่มือกิจกรรม พบว่า เนื้อหาถูกต้องและครอบคลุม จัดลำดับกิจกรรมได้อย่างเหมาะสม สอดคล้องกับสาระการเรียนรู้ที่นิสิตต้องใช้ในการทำกิจกรรมตามลำดับ มีการพิมพ์ผิดเพียงเล็กน้อย ใช้ภาษาเข้าใจง่าย และเหมาะสมกับวัยของผู้เรียน การตกแต่งสวยงามเหมาะสมแล้ว

2.2 ทดลองใช้กับนิสิตวิชาชีพรูจำนวน 9 คน โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ๆ ละ 3 คน เพื่อศึกษากระบวนการกลุ่มในการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้และประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาด เรื่อง สารละลายกรด-เบส โดยใช้การสัมภาษณ์ สังเกตพฤติกรรม ซึ่งพบว่า นิสิตให้ความสนใจในกิจกรรมเป็นอย่างมาก เนื่องจาก ยังไม่เคยทำกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่นำนวัตกรรมทางเคมีวิเคราะห์ในลักษณะนี้เข้ามาประยุกต์ใช้ จากการสังเกตพฤติกรรม พบว่า นิสิตให้ความร่วมมือและทำกิจกรรมสะเต็มศึกษาตามขั้นตอนอย่างตั้งใจ และรอบคอบ ดังภาพประกอบ 14 ทำให้ได้ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และปริมาณกรดซिटริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม สอดคล้องกับผู้วิจัยเป็นอย่างมาก แสดงว่า กิจกรรมสะเต็มศึกษาที่พัฒนาขึ้นมีความพร้อมและเหมาะสมที่จะไปจัดการเรียนรู้ เพื่อพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตวิชาชีพรูกลุ่มเป้าหมายได้



ภาพประกอบ 9 การทดลองใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส กับนิสิตวิชาชีวะครู ระดับปริญญาโท

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังให้นิสิตวิชาชีวะครูที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมายนี้ ทำการประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบสทั้งหมด 5 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านจุดประสงค์ของกิจกรรมสะเต็มศึกษา 2) ด้านแนวคิดสำคัญของสะเต็มศึกษา 3) ด้านการดำเนินกิจกรรมสะเต็มศึกษาตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 4) ด้านรูปแบบของเล่นกิจกรรมสะเต็มศึกษา และ 5) ด้านการประเมินผล ซึ่งหลังจากผู้วิจัยทดลองใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตวิชาชีวะครูแล้ว ผู้วิจัยได้รวบรวมและวิเคราะห์ผลการประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบของกิจกรรมสะเต็มศึกษาของนิสิตกลุ่มนี้ ซึ่งปรากฏผลดังตาราง 22 ในภาคผนวก ข

3. หาประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ของนิสิตวิชาชีวะครูให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ คือ นิสิตวิชาชีวะครูกลุ่มเป้าหมาย มากกว่าร้อยละ 70 มีคะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมในระดับดีขึ้นไป หมายถึง นิสิตวิชาชีวะครูอย่างน้อย 5 กลุ่มหรือจำนวน 15 คนขึ้นไป (จากนิสิตทั้งหมด 22 คน) มีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมรวมทุกองค์ประกอบ

อยู่ในระดับดีหรือดีมาก ซึ่งการหาประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่พัฒนาขึ้น ทำได้โดยระดับทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่แปลความหมายจากคะแนนรวมทั้ง 3 องค์ประกอบ มาวิเคราะห์ โดยใช้สูตรร้อยละ (Percentage) (Prapassorn Wongdee, 2019; นรพนธ์ คนสูง, 2561) ดังนี้

สูตร

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

เมื่อ % แทน ร้อยละของนิสิตวิชาชีพครูที่มีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมระดับดีขึ้นไป

X แทน จำนวนนิสิตวิชาชีพครูที่มีคะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมระดับดีขึ้นไป

Y แทน จำนวนนิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมายทั้งหมด

1.3.2 การสร้างแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม จำนวน 1 ชุด โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดจุดมุ่งหมายในการสร้างแบบประเมิน เพื่อสร้างแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับใช้ในการวิจัย

2. ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวัดและประเมินผล วิธีการสร้างแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยจะศึกษา 3 องค์ประกอบ ได้แก่ การคิดสร้างสรรค์ (Think creatively) ทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ (Work creatively with others) การใช้นวัตกรรม (Implement innovations) (Partnership for 21st Century Skills, 2007; น้าทิพย์ อองอาจวนิชย์, 2556, น.17)

3. สร้างแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยดัดแปลงรูปแบบและเกณฑ์การประเมินมาจาก Partnership for 21st Century Skills (2007) ซึ่งเกณฑ์การประเมินที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ประกอบด้วย องค์ประกอบการคิดสร้างสรรค์ จำนวน 4 ข้อ องค์ประกอบการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ จำนวน 5 ข้อ และองค์ประกอบการใช้นวัตกรรม จำนวน 9 ข้อ รวมทั้งสิ้น 18 ข้อ ซึ่งรูปแบบของแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเป็นการกำหนดเกณฑ์การให้คะแนน (Scoring rubric) 4 ระดับ ได้แก่ ระดับดีมาก (4.00 คะแนน)

ระดับดี (3.00 คะแนน) ระดับพอใช้ (2.00 คะแนน) และระดับปรับปรุง (1.00 คะแนน) โดยสรุป
รายการประเมินและการแปลผลการประเมินได้ ดังตาราง 7 ถึง 10

ตาราง 7 รายการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม องค์ประกอบที่ 1
การคิดสร้างสรรค์ (Think creatively)

รายการประเมินองค์ประกอบที่ 1 การคิดสร้างสรรค์ (Think creatively)	ระดับคะแนนที่ได้เฉลี่ย จากผู้ประเมิน 3 ท่าน	ผลการ ประเมิน
1.1 เสนอเทคนิควิธีการที่หลากหลายในการ ออกแบบผลงานหรือวิธีแก้ปัญหา จากการระดม พลังสมอง การคิดอุปมาอุปไมย การสร้างสรรค์ ความคิดใหม่โดยต่อยอดจากความรู้เดิมหรือ จากการใช้เทคโนโลยีในการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	1.00-1.49	ปรับปรุง
	1.50-2.49	พอใช้
	2.50-3.49	ดี
	3.50-4.00	ดีมาก
1.2 เสนอวิธีการหรือความคิดในการแก้ปัญหา หรือสร้างสรรค์ผลงานที่แตกต่างจากนิสิตกลุ่ม อื่นๆ หรือแหล่งการเรียนรู้ที่กำหนดให้	1.00-1.49	ปรับปรุง
	1.50-2.49	พอใช้
	2.50-3.49	ดี
	3.50-4.00	ดีมาก
1.3 การวางแผนอย่างละเอียด รอบคอบโดยผ่าน การกลั่นกรองความคิดออกมาเป็นลำดับขั้นตอน ที่ชัดเจนและนำไปปฏิบัติได้จริง	1.00-1.49	ปรับปรุง
	1.50-2.49	พอใช้
	2.50-3.49	ดี
	3.50-4.00	ดีมาก
1.4 การวิเคราะห์ และประเมินความคิด เพื่อ ปรับปรุงผลงานที่แสดงถึงความพยายามในการ สร้างสรรค์	1.00-1.49	ปรับปรุง
	1.50-2.49	พอใช้
	2.50-3.49	ดี
	3.50-4.00	ดีมาก

ตาราง 8 รายการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม องค์ประกอบที่ 2 การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ (Work creatively with others)

รายการประเมินองค์ประกอบที่ 2 การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ (Work creatively with others)	ระดับคะแนนที่ได้ เฉลี่ยจากผู้ประเมิน 3 ท่าน	ผลการ ประเมิน
2.1 เสนอความคิดของตนเองให้กับสมาชิกในกลุ่ม	1.00-1.49	ปรับปรุง
โดยการอธิบาย การยกตัวอย่าง การอภิปราย การ	1.50-2.49	พอใช้
ให้เหตุผล จนนำไปสู่การสร้างสรรค์หรือปรับปรุง	2.50-3.49	ดี
ผลงาน/วิธีการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ	3.50-4.00	ดีมาก
2.2 การเปิดใจรับฟังและเคารพความคิดของผู้อื่น	1.00-1.49	ปรับปรุง
เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ทั้งภายในกลุ่ม	1.50-2.49	พอใช้
และระหว่างกลุ่ม จนนำไปสู่การพัฒน	2.50-3.49	ดี
กระบวนการทำงานที่มีประสิทธิภาพ	3.50-4.00	ดีมาก
2.3 การรู้จักบทบาทหน้าที่ที่ตนได้รับมอบหมาย	1.00-1.49	ปรับปรุง
และ มีความรับผิดชอบในการทำงานกลุ่มอย่าง	1.50-2.49	พอใช้
เต็มความสามารถ	2.50-3.49	ดี
	3.50-4.00	ดีมาก
2.4 เข้าใจในเงื่อนไขหรือปัญหาของการทำงาน	1.00-1.49	ปรับปรุง
จนนำไปสู่การแก้ปัญหาหรือสร้างสรรค์ผลงาน	1.50-2.49	พอใช้
	2.50-3.49	ดี
	3.50-4.00	ดีมาก
2.5 การนำอุปสรรค ปัญหาที่พบในระหว่างการทำงาน	1.00-1.49	ปรับปรุง
มาปรับใช้ในการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหา	1.50-2.49	พอใช้
หรือผลงานให้ดีขึ้นในครั้งต่อไป	2.50-3.49	ดี
	3.50-4.00	ดีมาก

ตาราง 9 รายการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม องค์ประกอบที่ 3 การใช้นวัตกรรม (Implement innovations)

รายการประเมินองค์ประกอบที่ 3 การใช้นวัตกรรม (Implement innovations)	ระดับคะแนนที่ได้ เฉลี่ยจากผู้ประเมิน 3 ท่าน	ผลการ ประเมิน
3.1 การประเมินผลงาน		
3.1.1 คุณภาพผลงาน(พิจารณาตามเกณฑ์ที่ กำหนดไว้ในเล่มกิจกรรม)	1.00-1.49	ปรับปรุง
	1.50-2.49	พอใช้
	2.50-3.49	ดี
	3.50-4.00	ดีมาก
3.2 การนำผลงานไปใช้		
3.2.1 ความถูกต้อง (ช่วงของค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน กำหนด จากผลการทดลองในพัฒนางานกิจกรรมสะเต็ม ศึกษา)	1.00-1.49	ปรับปรุง
	1.50-2.49	พอใช้
	2.50-3.49	ดี
	3.50-4.00	ดีมาก
3.2 การนำผลงานไปใช้ (ต่อ)		
3.2.2 ความสามารถในการทำซ้ำ (ช่วงของค่าร้อยละการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% RSD) หรือสัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.) ในการทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง กำหนดจากผลการ ทดลองในพัฒนางานกิจกรรมสะเต็มศึกษา)	1.00-1.49	ปรับปรุง
	1.50-2.49	พอใช้
	2.50-3.49	ดี
	3.50-4.00	ดีมาก
3.2.3 ความสะดวกในการใช้งาน (ระยะเวลาที่ใช้ มีเกณฑ์ที่กำหนดในเล่มกิจกรรม)	1.00-1.49	ปรับปรุง
	1.50-2.49	พอใช้
	2.50-3.49	ดี
	3.50-4.00	ดีมาก

ตาราง 9 (ต่อ)

รายการประเมินองค์ประกอบที่ 3 การใช้นวัตกรรม (Implement innovations)	ระดับคะแนนที่ได้เฉลี่ย จากผู้ประเมิน 3 ท่าน	ผลการ ประเมิน
3.3 การนำเสนอผลงาน		
3.3.1 องค์ประกอบของการนำเสนอ	1.00-1.49	ปรับปรุง
	1.50-2.49	พอใช้
	2.50-3.49	ดี
	3.50-4.00	ดีมาก
3.3.2 รูปแบบการนำเสนอ	1.00-1.49	ปรับปรุง
	1.50-2.49	พอใช้
	2.50-3.49	ดี
	3.50-4.00	ดีมาก
3.3.3 ความสามารถในการนำเสนอ (Performance)	1.00-1.49	ปรับปรุง
	1.50-2.49	พอใช้
	2.50-3.49	ดี
	3.50-4.00	ดีมาก
3.3.4 การเสนอแนวทางการนำองค์ความรู้ที่ได้รับ หรือนวัตกรรมที่สร้างขึ้นไปใช้ประโยชน์อย่าง สร้างสรรค์และคุ้มค่า	1.00-1.49	ปรับปรุง
	1.50-2.49	พอใช้
	2.50-3.49	ดี
	3.50-4.00	ดีมาก
3.3.5 ความสอดคล้องของนวัตกรรมที่พัฒนาขึ้น กับปัญหาและจุดมุ่งหมายของการสร้างนวัตกรรม	1.00-1.49	ปรับปรุง
	1.50-2.49	พอใช้
	2.50-3.49	ดี
	3.50-4.00	ดีมาก

ตาราง 10 ช่วงและการแปลผลคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมรวมทั้งรายองค์ประกอบและรวมทุกองค์ประกอบ

คะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม				
รวมแต่ละองค์ประกอบ			คะแนนเฉลี่ย	
องค์ประกอบที่ 1	องค์ประกอบที่ 2	องค์ประกอบที่ 3	ทักษะการคิด	
การคิด	การทำงาน	การใช้นวัตกรรม	สร้างสรรค์	ผลการ
สร้างสรรค์	ร่วมกับผู้อื่น	(Implement	และนวัตกรรม	ประเมิน
(Think creatively)	อย่างสร้างสรรค์	innovations)	รวม 3	
	(Work creatively		องค์ประกอบ	
	with others)			
4.00 – 7.00	5.00 – 9.00	9.00 – 16.00	18.00 – 32.00	ปรับปรุง
7.01 – 10.00	9.01 – 13.00	16.01 – 23.00	32.01 – 46.00	พอใช้
10.01 – 13.00	13.01 – 17.00	23.01 – 30.00	46.01 – 60.00	ดี
13.01 – 16.00	17.01 – 20.00	30.01 – 36.00	60.01 – 72.00	ดีมาก

จากตาราง 10 แสดงช่วงของคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมทั้งรายองค์ประกอบและรวมทุกองค์ประกอบ พร้อมทั้งแสดงผลการประเมินเป็นระดับทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตวิชาชีพครู

ในส่วนคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่จะนำมาเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70 ตามสมมติฐานในข้อที่ 2 เป็นคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังการจัดการเรียนรู้รวมทั้ง 3 องค์ประกอบ โดยเฉลี่ยจากนิสิตวิชาชีพครูทั้ง 7 กลุ่ม ซึ่งมีคะแนนอยู่ในช่วง 18.00-72.00 คะแนน และมีคะแนนเต็มเท่ากับ 72.00 คะแนน หากนิสิตวิชาชีพครูได้คะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม 50.40 คะแนนขึ้นไป (ตามสมมติฐานกำหนดเกณฑ์ร้อยละ 70 ขึ้นไป) แสดงว่า นิสิตวิชาชีพครูมีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมอยู่ในระดับดีขึ้นไป

การหาคุณภาพแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

การหาคุณภาพของแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ประเมินความสอดคล้องขององค์ประกอบของแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม เพื่อประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา 1 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 1 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดผลและวิจัยการศึกษา 1 ท่าน เครื่องมือที่ใช้ในการประเมิน คือ แบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่มีลักษณะเป็นมาตราประมาณค่า 3 ระดับ คือ สอดคล้อง ไม่แน่ใจ และไม่สอดคล้อง เพื่อปรับปรุงแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมและนำผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญมาแปลงเป็นคะแนน ดังนี้

มีความเห็นว่า สอดคล้อง ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น +1

มีความเห็นว่า ไม่แน่ใจ ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น 0

มีความเห็นว่า ไม่สอดคล้อง ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น -1

ผลการประเมินความสอดคล้องขององค์ประกอบของแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน พบว่า ค่าดัชนีความสอดคล้องของข้อคำถามในแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (IOC) ทั้ง 3 องค์ประกอบ มีค่ามากกว่า 0.5 ทั้งหมด ดังแสดงในภาคผนวก ข

2. ปรับปรุงแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญก่อนนำไปใช้กับนิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมาย ดังตาราง 11

ตาราง 11 ข้อเสนอแนะและการปรับปรุงแก้ไขแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ	การปรับปรุงแก้ไข
1. ควรปรับภาษาในเกณฑ์การประเมินบางรายการให้อ่านเข้าใจง่าย ไม่กำกวม และสามารถเข้าใจได้ตรงกัน เมื่อนำไปประเมินพฤติกรรมการทำงาน ผลงานหรือผลการทำกิจกรรมที่นิสิตบันทึกไว้	แก้ไขโดย ปรับภาษาในเกณฑ์การประเมินให้ชัดเจนขึ้น และระบุอย่างชัดเจนว่าต้องการประเมินพฤติกรรมการทำงาน ผลงานหรือผลการทำกิจกรรมใดบ้างจากนิสิต เพื่อให้ผู้ร่วมประเมินท่านอื่นสับสน

ตาราง 11 (ต่อ)

ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ	การปรับปรุงแก้ไข
2. ควรปรับรายละเอียดของเกณฑ์การประเมิน บางข้อ ให้สามารถแบ่งแยกระดับทักษะให้ ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องใช้ ดุลยพินิจของผู้ประเมิน ซึ่งอาจส่งผลให้การ ประเมินคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง	แก้ไขโดย ปรับรายละเอียดของเกณฑ์ที่ เป็นตัวบ่งชี้ระดับทักษะให้แยกขาดออก จากกัน ในลักษณะลดหลั่นโดยเน้นในเชิง ปริมาณ เพราะง่ายต่อการตัดสินผลการ ประเมินมากกว่าเชิงคุณภาพ
3. ควรระบุที่มาของเกณฑ์การประเมินที่มีการ กำหนดช่วงสถิติทางเคมีวิเคราะห์เป็นตัวเลข เพื่อลดข้อสงสัยในการสร้างเกณฑ์การประเมิน ภายหลัง	แก้ไขโดย ระบุที่มาของเกณฑ์การ ประเมินที่มีการกำหนดช่วงสถิติทางเคมี วิเคราะห์ที่เป็นตัวเลข ซึ่งมาจากการศึกษา และพัฒนากิจกรรมการทดลองของผู้วิจัย
4. ควรปรับช่วงคะแนนที่บอกระดับทักษะการคิด สร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตให้มีความ สมเหตุสมผลและเท่าเทียมกันทุกระดับ	แก้ไขโดย ปรับช่วงคะแนนที่บอกระดับ ทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนิสิตให้เหมาะสมและเท่าเทียมกัน

ตอนที่ 2. การนำกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐาน กระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตวิชาชีพครู ไปทดลองกับกลุ่มเป้าหมาย

แบบแผนการทดลอง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยแบบการทดลองขั้นต้น (Pre-Experimental Design : One-Shot Case Study Design) ซึ่งทำการทดลองตามแบบแผนการทดลองแบบกลุ่มเดียวมีการ วัดเฉพาะหลังการทดลอง ดังตาราง 12 (พรณี ลีกิจวัฒน์, 2558)

ตาราง 12 แบบแผนการทดลองแบบ Pre-Experimental Design: One-Shot Case Study Design

กลุ่ม	วัดก่อน	การให้สิ่งทดลอง	วัดหลัง
E	-	X	T

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการแสดงแบบแผนการทดลอง

E แทน กลุ่มทดลอง คือ นิสิตวิชาชีพรุ่นปีที่ 4 หลักสูตรการศึกษาด้านจิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒซึ่งกำลังศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562

T แทน การประเมินด้วยแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังการจัดการเรียนรู้

X แทน การจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส

สำหรับเหตุผลที่เลือกสถิติการวิจัยประเภทนี้ในทดสอบสมมติฐานของการวิจัย เนื่องจาก ผลการวิจัยที่ได้ ได้มาจากการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ซึ่งนิสิตที่เป็นกลุ่มตัวอย่างไม่ได้ผ่านการเรียนรู้หรือพัฒนาทักษะดังกล่าวมาก่อน ดังนั้น จึงไม่สามารถประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเบื้องต้น ก่อนการจัดการเรียนรู้ด้วยการทำกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส ทั้งหมดได้ เพราะในกิจกรรมการเรียนรู้มีการใช้ความรู้ใหม่ในเรื่องวิธีการประดิษฐ์และใช้ประโยชน์จากอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ และเน้นการประเมินจากการปฏิบัติจริง ดังนั้น การประเมินทักษะจากการปฏิบัติกิจกรรมของนิสิตก่อนการจัดการเรียนรู้ จึงทำได้ยาก ไม่ครอบคลุม และอาจก่อให้เกิดอคติของผู้วิจัยในการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมก่อนการจัดการเรียนรู้ได้ อีกทั้งการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังการจัดการเรียนรู้เพียงอย่างเดียว จะช่วยให้การประเมินปราศจากอิทธิพลและลดตัวแปรแทรกซ้อนจากการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมก่อนการจัดการเรียนรู้ อีกด้วย (อิทธิพัทธ์ สุวทันพรกุล, 2561)

2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลตามลำดับ ดังนี้

1. เลือกกลุ่มเป้าหมายเป็นนิสิตวิชาชีพรุ่นปีที่ 4 หลักสูตรการศึกษาด้านจิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ แบบเจาะจง จำนวน 1 กลุ่มผู้เรียน

2. ดำเนินการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส ในระยะเวลาการสอนจำนวน 9 ชั่วโมง (สัปดาห์ละ 3 ชั่วโมง) โดยแสดงรายละเอียด ดังตาราง 13

ตาราง 13 แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล
จุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส

สัปดาห์ ที่	การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาค ฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส	การวัดและ ประเมินผล
1	ขั้นที่ 1 การระบุปัญหา : ผู้สอนนำเสนอสถานการณ์ ข่าวเกี่ยวกับปัญหาน้ำมะนาวเทียม ไม่มีคุณภาพ ส่งผล ให้กระทบด้านสุขภาพต่อผู้บริโภคตามประกาศเตือนของ สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) ขั้นที่ 2 การระดมความคิดและรวบรวมข้อมูล : นิสิต ร่วมกันทบทวนความรู้เกี่ยวกับหลักการไทเทรตกรด-เบส การเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม และร่วมกันไทเทรต หาปริมาณกรดซิตริกในน้ำมะนาวเทียม เมื่อทำการ ไทเทรตเสร็จ นิสิตร่วมกันเสนอข้อดี ข้อจำกัด ของวิธีการ วิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกด้วยวิธีการไทเทรต ขั้นที่ 3 การออกแบบวิธีการแก้ปัญหา : นิสิตร่วมกัน เสนอวิธีแก้ปัญหาข้อจำกัดของวิธีการวิเคราะห์หา ปริมาณกรดซิตริกด้วยวิธีการไทเทรต โดยนิสิตทำการ สืบค้นข้อมูลและศึกษาไปความรู้ เรื่อง นวัตกรรม ชุดทดสอบอย่างง่าย นิสิตศึกษาสารละลายเกี่ยวกับ หลักการของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐาน กระดาษ จากนั้นนิสิตร่วมกันศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วิธีการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจ วิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ (นิสิตเลือกวิธีการ ประทับแม่พิมพ์ในการขึ้นรูป) ร่วมกันออกแบบรูปร่างของ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่จะ นำไปสร้างแม่พิมพ์อย่างหลากหลาย	ประเมินจากการ บันทึกผลการทำ กิจกรรมและ พฤติกรรม การทำงานของนิสิต โดยใช้แบบ ประเมินทักษะ การคิดสร้างสรรค์ และนวัตกรรม - องค์ประกอบที่ 1 การคิดสร้างสรรค์ - องค์ประกอบที่ 2 การทำงานร่วมกับ ผู้อื่น

ตาราง 13 (ต่อ)

ลำดับ ที่	การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐาน กระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส	การวัดและ ประเมินผล
1 (ต่อ)	ขั้นที่ 4 การวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหาหรือ สร้างนวัตกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ : นิสิตร่วมกัน วางแผนขั้นตอนในการสร้างแม่พิมพ์โดยเลือกใช้วัสดุชนิด ต่าง ๆ และทำการทดสอบคุณภาพแม่พิมพ์ก่อนใช้ ขั้นที่ 5 การทดสอบ ประเมินผล และการปรับปรุง วิธีการแก้ปัญหาหรือนวัตกรรม : นิสิตแต่ละกลุ่มร่วมกัน ทดสอบและปรับปรุงคุณภาพของแม่พิมพ์ให้มีคุณภาพ ตามเกณฑ์ที่กำหนดให้ ขั้นที่ 6 การนำเสนอผลการแก้ปัญหาหรือนวัตกรรมที่ สร้างขึ้น : นิสิตแต่ละกลุ่มนำเสนอแนวทางการสร้างและ ปรับปรุงคุณภาพของแม่พิมพ์	
2	ขั้นที่ 2 การระดมความคิดและรวบรวมข้อมูล : นิสิต ร่วมกันสืบค้นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปขอบเขต ที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐาน กระดาษ ขั้นที่ 3 การออกแบบวิธีการแก้ปัญหา : นิสิตเลือกวัสดุ ที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ พร้อม ทั้งอธิบายเหตุผล จากนั้นนิสิตร่วมกันทดลองสร้างอุปกรณ์ ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ โดยใช้วิธีการ ประทับพิมพ์ด้วยวัสดุที่หาได้ง่ายหลากหลายชนิด เพื่อทำ การเก็บรวบรวมข้อมูล สำหรับใช้ตัดสินใจในการเลือกชนิด ของวัสดุ	ประเมินจาก การบันทึกผล การทำกิจกรรม และพฤติกรรม การทำงานของ นิสิต โดยใช้ แบบประเมิน ทักษะการคิด สร้างสรรค์และ นวัตกรรม 1 การคิด สร้างสรรค์

ตาราง 13 (ต่อ)

สัปดาห์ ที่	การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยให้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐาน กระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส	การวัดและ ประเมินผล
2 (ต่อ)	ชั้นที่ 4 การวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหาหรือ สร้างนวัตกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ : นิสิตร่วมกันสร้าง อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ จาก วัสดุที่กลุ่มตนเองเลือก ชั้นที่ 5 การทดสอบ ประเมินผล และการปรับปรุง วิธีการแก้ปัญหาหรือนวัตกรรม : นิสิตร่วมกันทดสอบ และปรับปรุงคุณภาพของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษที่สร้างขึ้น ชั้นที่ 6 การนำเสนอผลการแก้ปัญหาหรือนวัตกรรมที่ สร้างขึ้น : นิสิตนำเสนอผลการออกแบบและประดิษฐ์ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษของ กลุ่มตนเอง	- องค์ประกอบที่ 2 การทำงาน ร่วมกับผู้อื่นอย่าง สร้างสรรค์
3	ชั้นที่ 2 การระดมความคิดและรวบรวมข้อมูล : นิสิตร่วมกันศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ ของไหลจุลภาคฐานกระดาษเพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอน ของสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์และรวบรวมข้อมูลที่ จำเป็น สำหรับใช้ในการหาปริมาณกรดซिटริกในน้ำมะนาว ตัวอย่าง ชั้นที่ 3 การออกแบบวิธีการแก้ปัญหา : นิสิตร่วมกัน ออกแบบวิธีการนำอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาค ฐานกระดาษไปใช้หาปริมาณกรดซिटริกในตัวอย่าง	ประเมินจากการ บันทึกผลการทำ กิจกรรม พฤติกรรมการ ทำงานและ ผลงานของนิสิต โดยใช้แบบ ประเมินทักษะ การคิดสร้างสรรค์ และนวัตกรรม

ตาราง 13 (ต่อ)

สัปดาห์ ที่	การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส	การวัดและ ประเมินผล
3 (ต่อ)	ขั้นที่ 4 การวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหาหรือสร้าง นวัตกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ : นิสิตร่วมกันวางแผนและ ดำเนินการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาค ฐานกระดาษ เพื่อหาปริมาณกรดซัลฟิวริกในตัวอย่างน้ำ มะนาวเทียม ขั้นที่ 5 การทดสอบ ประเมินผล และการปรับปรุงวิธีการ แก้ปัญหาหรือนวัตกรรม : นิสิตร่วมกันทดสอบประสิทธิภาพ ในการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาค ฐานกระดาษที่สร้างขึ้น เพื่อหาปริมาณกรดซัลฟิวริก เมื่อได้วิธีการ ประยุกต์ใช้ที่เหมาะสมแล้ว นิสิตแต่ละกลุ่มจะร่วมกัน เพื่อวางแผนและออกแบบอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษ ที่สร้างขึ้น ให้เป็นนวัตกรรมชุดทดสอบ อย่างง่ายให้มีคุณภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด ขั้นที่ 6 การนำเสนอผลการแก้ปัญหาหรือนวัตกรรมที่สร้าง ขึ้น : นิสิตแต่ละกลุ่ม นำเสนอ นวัตกรรมชุดทดสอบ อย่างง่ายและวิธีการประยุกต์ใช้ชุดทดสอบอย่างง่าย เพื่อหา ปริมาณกรดซัลฟิวริกของกลุ่มตนเอง	- องค์ประกอบที่ 1 การคิด สร้างสรรค์ - องค์ประกอบที่ 2 การทำงาน ร่วมกับผู้อื่น อย่างสร้างสรรค์ - องค์ประกอบที่ 3 การใช้ นวัตกรรม

3. เมื่อสิ้นสุดตามกำหนดแล้ว จึงทำการทดสอบหลังเรียน (Posttest) กลุ่มเป้าหมาย โดยการประเมินด้วยแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

4. นำผลคะแนนจากการตรวจแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมมาวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ เพื่อทดสอบสมมติฐานของการวิจัยต่อไป

2.2 การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

1. เพื่อพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ที่ส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตวิชาชีพครูให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ คือ นิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมาย มากกว่าร้อยละ 70 มีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมในระดับดีขึ้นไป ซึ่งหมายถึง นิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมายอย่างน้อย 5 กลุ่มหรือจำนวน 15 คนขึ้นไป (จากนิสิตทั้งหมด 22 คน) มีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมรวม 3 องค์ประกอบ อยู่ในระดับดีหรือดีมาก

2. ศึกษาเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส กับเกณฑ์ร้อยละ 70 โดยใช้สถิติ t-test for One Sample

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล มีดังนี้

สถิติพื้นฐาน

1. หาค่าคะแนนเฉลี่ย ($\bar{X}$) คำนวณจากสูตรต่อไปนี้

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

เมื่อ $\bar{X}$ แทน คะแนนเฉลี่ย

$\sum x$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

N แทน จำนวนนิสิตวิชาชีพครูในกลุ่ม

2. หาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) คำนวณจากสูตรต่อไปนี้ (ชูศรี

วงศ์รัตน์, 2553 , น.33)

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

เมื่อ S. D. แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\sum x$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

$\sum x^2$ แทน ผลรวมของคะแนนแต่ละตัวยกกำลังสอง

n แทน จำนวนนิสิตวิชาชีพครูในกลุ่ม

$(n-1)$ แทน ค่าของขั้นแห่งความเป็นอิสระ

สถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน

1. เปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส กับเกณฑ์ร้อยละ 70 โดยใช้สถิติ t-test for One Sample (ชูศรี วงศ์รัตน์, 2553)

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} ; df = n - 1$$

เมื่อ t แทน ค่าสถิติที่ใช้พิจารณาใน t-Distribution

$\bar{X}$ แทน คะแนนเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง

μ_0 แทน ค่าเฉลี่ยมาตรฐานที่ใช้เป็นเกณฑ์

S แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง

n แทน จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

บทที่ 4

ผลการศึกษา

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลและแปลผลการวิจัย ผู้วิจัยได้กำหนดลำดับการนำเสนอที่สอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย โดยลำดับดังนี้

สมมติฐานข้อที่ 1 กิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ที่ส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตวิชาชีพครู มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ คือ นิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมาย มากกว่าร้อยละ 70 มีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมอยู่ในระดับดีขึ้น

สมมติฐานข้อที่ 2 นิสิตวิชาชีพครูที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส มีคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังการจัดการเรียนรู้สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

สมมติฐานข้อที่ 1 กิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ที่ส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตวิชาชีพครู มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ คือ นิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมาย มากกว่าร้อยละ 70 มีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมอยู่ในระดับดีขึ้น

ผู้วิจัยดำเนินการหาประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ที่มีการกำหนดเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพ คือ นิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมาย มากกว่าร้อยละ 70 มีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมในระดับดีขึ้น ซึ่งหมายถึง นิสิตวิชาชีพครูอย่างน้อย 5 กลุ่ม มีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมรวมทุกองค์ประกอบ อยู่ในระดับดีหรือดีมาก ซึ่งผลของการหาประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่พัฒนาขึ้น มาจากการนำระดับทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมรวม 3 องค์ประกอบ ที่ผ่านการแปลผลตามเกณฑ์ที่กำหนดของนิสิตวิชาชีพครูทุกกลุ่ม มาวิเคราะห์โดยใช้สูตรร้อยละ (Percentage) ซึ่งปรากฏผล ดังตาราง 14

ตาราง 14 ผลการหาประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล
จุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส

คะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังการจัดการเรียนรู้					
กลุ่มที่	องค์ประกอบที่ 1 การคิดสร้างสรรค์ (เต็ม 16.00 คะแนน)	องค์ประกอบที่ 2 การทำงานร่วมกับ ผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ (เต็ม 20.00 คะแนน)	องค์ประกอบที่ 3 การใช้นวัตกรรม (เต็ม 36.00 คะแนน)	คะแนนรวม 3 องค์ประกอบ (เต็ม 72.00 คะแนน)	ระดับ ทักษะ
1	12.37	19.00	32.00	63.37	ดีมาก
2	13.24	17.83	33.50	64.57	ดีมาก
3	14.38	17.50	35.00	66.88	ดีมาก
4	14.40	19.00	35.00	68.40	ดีมาก
5	15.07	18.67	35.00	68.74	ดีมาก
6	14.36	17.84	35.00	67.30	ดีมาก
7	12.06	17.68	33.50	63.24	ดีมาก
ร้อยละนิสิตวิชาชีพครูที่มีทักษะการคิดสร้างสรรค์ และนวัตกรรม อยู่ในระดับดีขึ้นไป				100	

จากตาราง 14 แสดงผลการหาประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์
ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส พบว่า นิสิตวิชาชีพครู
กลุ่มเป้าหมายทั้ง 7 กลุ่ม มีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม อยู่ในระดับดีขึ้นไป โดยอยู่ใน
ระดับดีมาก คิดเป็นร้อยละ 100 ของนิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมายทั้งหมด จึงสรุปได้ว่า กิจกรรม
สะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส
ที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด และเป็นไปตามสมมติฐานในข้อที่ 1

สมมติฐานข้อที่ 2 นิสิตวิชาชีพครูที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส มีคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังการจัดการเรียนรู้สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนน

สำหรับการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตวิชาชีพครู หลังการจัดการเรียนรู้ (Posttest) ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ด้วยแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยใช้แนวทางการประเมินตามสภาพจริง หลังสิ้นสุดสัปดาห์ที่ 3 ซึ่งผู้วิจัยได้แสดงรายละเอียดของการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมในแต่ละองค์ประกอบ รวมทั้งร่องรอย หลักฐานจากการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาของนิสิตวิชาชีพครูไว้ในภาคผนวก จ และสำหรับการประเมินในครั้งนี้ มีผู้ประเมินทั้งสิ้น 3 ท่าน ได้แก่ ผู้วิจัยและผู้สังเกตการณ์การจัดการเรียนรู้อีก 2 ท่าน เพื่อลดอคติที่อาจเกิดขึ้นในการประเมิน จากนั้นผู้วิจัยทำการหาค่าความเที่ยงของการตรวจข้อสอบ (Inter-rater reliability) เพื่อใช้เป็นค่าที่บอกความเชื่อมั่นและความสอดคล้องของผลการประเมิน โดยคำนวณจากสัดส่วนระหว่างจำนวนข้อที่ตรวจได้เหมือนกันกับผลรวมของจำนวนข้อทั้งหมด ซึ่งพบว่า ค่าความเที่ยงของการประเมินของผู้ประเมิน 3 ท่านมีค่าอยู่ระหว่าง 0.67–0.89 ซึ่งแสดงถึงความเชื่อมั่นระหว่างผู้ประเมินอยู่ในระดับสูงและผลการประเมินส่วนใหญ่ มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน (Townes et al., 2012) สำหรับคะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตวิชาชีพครูทุกกลุ่มที่มาจากผู้ประเมินจำนวน 3 ท่าน ผู้วิจัยได้นำคะแนนดังกล่าว มาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ย ทำให้คะแนนที่ได้มีลักษณะเป็นทศนิยมสองตำแหน่ง ดังแสดงในผลการประเมินในตาราง 15 ถึง 19

ตาราง 15 ผลการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังการจัดการเรียนรู้
องค์ประกอบที่ 1 การคิดสร้างสรรค์

คะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังการจัดการเรียนรู้ องค์ประกอบที่ 1 การคิดสร้างสรรค์						
กลุ่มที่	รายการประเมิน (คะแนนเต็มรายการละ 4.00 คะแนน)				คะแนนรวม (คะแนนเต็ม 16.00 คะแนน)	ร้อยละของ คะแนน
	1.1	1.2	1.3	1.4		
1	3.00	2.44	3.93	3.00	12.37	77.31
2	3.33	3.33	3.33	3.25	13.24	82.75
3	3.33	4.00	3.80	3.25	14.38	89.88
4	3.33	3.44	3.80	3.83	14.40	90.00
5	4.00	3.56	3.73	3.78	15.07	94.19
6	4.00	3.78	3.33	3.25	14.36	89.75
7	2.00	3.33	3.73	3.00	12.06	75.38
	ค่าเฉลี่ย				13.70	85.61

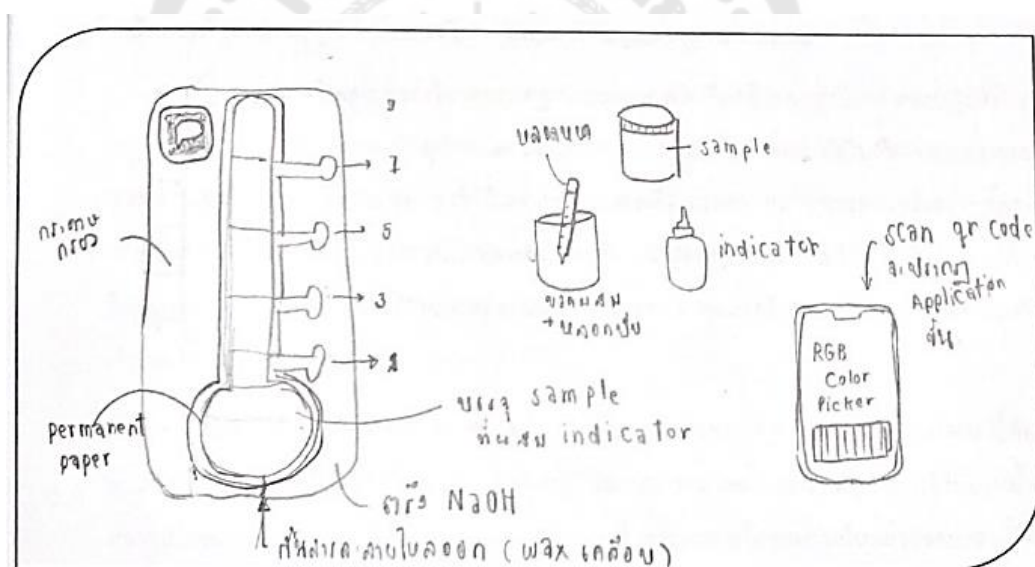
หมายเหตุ : 1.1 คือ เสนอเทคนิควิธีการที่หลากหลายในการออกแบบผลงานหรือวิธี
แก้ปัญหา จากการระดมพลังสมอง การคิดอุปมาอุปไมย การสร้างสรรค์ความคิดใหม่
โดยต่อยอดจากความรู้เดิมหรือจากการใช้เทคโนโลยีในการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1.2 คือ เสนอวิธีการหรือความคิดในการแก้ปัญหาหรือสร้างสรรค์ผลงานที่แตกต่าง
จากนิสิตกลุ่มอื่น ๆ หรือแหล่งการเรียนรู้ที่ได้กำหนดให้

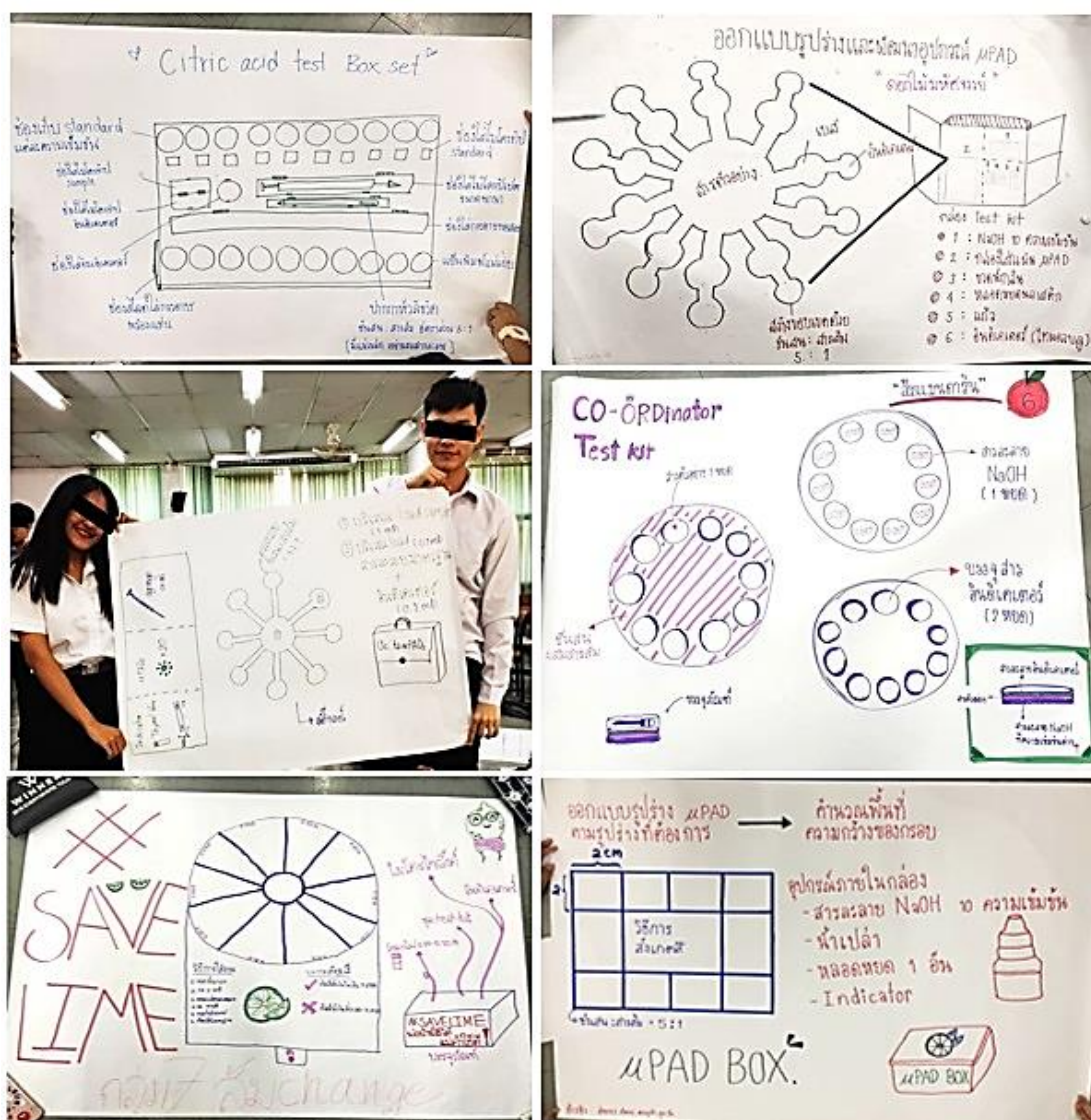
1.3 คือ การวางแผนอย่างละเอียด รอบคอบ โดยผ่านการกลั่นกรองความคิดออกมา
เป็นลำดับขั้นตอนที่ชัดเจนและนำไปปฏิบัติได้จริง

1.4 คือ การวิเคราะห์ และประเมินความคิด เพื่อปรับปรุงผลงานที่แสดงถึงความ
พยายามในการสร้างสรรค์

จากตาราง 15 แสดงผลการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังการจัดการเรียนรู้ของนิสิตวิชาชีพครู องค์ประกอบที่ 1 การคิดสร้างสรรค์ ซึ่งพบว่า นิสิต วิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมาย ได้คะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมในองค์ประกอบนี้ คิดเป็นร้อยละ 77.31-94.19 และมีค่าเฉลี่ยจากนิสิตวิชาชีพครูทั้ง 7 กลุ่ม เท่ากับ ร้อยละ 85.61 โดยผลการประเมินมาจากการประเมินผลการปฏิบัติกิจกรรมและผลงานที่มอบหมายให้นิสิตแต่ละ กลุ่มออกแบบหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่พัฒนาขึ้น ซึ่งจากการ ตรวจสอบการบันทึกกิจกรรมและผลงานที่นิสิตออกแบบ โดยยึดหลักการประเมินตามสภาพจริง สะท้อนให้เห็นว่า นิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมายมีการใช้ทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมใน การพัฒนาผลงานให้ดียิ่งขึ้นได้อย่างชัดเจน ดังตัวอย่างผลงานของนิสิตที่ปรากฏในภาพประกอบ 10 และ 11 ที่บ่งบอกถึงพัฒนาการในการสร้างสรรค์ผลงานของนิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมายโดย ใช้ทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมในองค์ประกอบที่ 1 การคิดสร้างสรรค์



ภาพประกอบ 10 ตัวอย่างผลงานการออกแบบชุดทดสอบอย่างง่ายของนิสิต (Prototype)
ก่อนศึกษาหลักการอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ



ภาพประกอบ 11 ตัวอย่างผลงานการออกแบบชุดทดสอบอย่างง่ายของนิสิต
หลังจากศึกษาหลักการอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ

ตาราง 16 ผลการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังการจัดการเรียนรู้
องค์ประกอบที่ 2 การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์

คะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังการจัดการเรียนรู้ องค์ประกอบที่ 2 การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์							
กลุ่มที่	รายการประเมิน (คะแนนเต็มรายการละ 4.00 คะแนน)					คะแนน (คะแนนเต็ม 20.00 คะแนน)	ร้อยละของ คะแนน
	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5		
1	4.00	4.00	4.00	4.00	3.00	19.00	95.00
2	3.50	4.00	4.00	3.33	3.00	17.83	89.15
3	3.50	3.00	4.00	3.00	4.00	17.50	87.50
4	4.00	3.00	4.00	4.00	4.00	19.00	95.00
5	4.00	4.00	3.67	3.67	3.33	18.67	93.35
6	3.34	4.00	3.50	4.00	3.00	17.84	89.20
7	2.34	4.00	3.67	3.67	4.00	17.68	88.40
ค่าเฉลี่ย						18.22	91.09

หมายเหตุ : 2.1 คือ เสนอความคิดของตนเองให้กับสมาชิกในกลุ่ม โดยการอธิบาย
การยกตัวอย่าง การอธิบาย การให้เหตุผล จนนำไปสู่การสร้างสรรค์หรือปรับปรุงผลงาน/วิธีการ
แก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 คือ เปิดใจรับฟังและเคารพความคิดของผู้อื่น เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้
ทั้งภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม จนนำไปสู่การพัฒนากระบวนการทำงานที่มีประสิทธิภาพ

2.3 คือ รู้จักบทบาทหน้าที่ที่ตนได้รับมอบหมาย และ มีความรับผิดชอบ
ในการทำงานกลุ่มอย่างเต็มความสามารถ

2.4 คือ เข้าใจในเงื่อนไขหรือปัญหาของการทำงาน จนนำไปสู่การแก้ปัญหาหรือ
สร้างสรรค์ผลงาน

2.5 คือ นำอุปสรรค ปัญหาที่พบในระหว่างการทำงานมาปรับใช้ในการพัฒนาวิธีการ
แก้ปัญหาหรือผลงานให้ดีขึ้นในครั้งต่อไป

จากตาราง 16 แสดงผลการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังการจัดการเรียนรู้ของนิสิต ในองค์ประกอบที่ 2 การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ ซึ่งพบว่า นิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมาย ได้คะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ในองค์ประกอบนี้ คิดเป็นร้อยละ 87.50-95.00 และมีค่าเฉลี่ยจากนิสิตวิชาชีพครูทั้ง 7 กลุ่ม เท่ากับ ร้อยละ 91.09 โดยผู้ประเมินพิจารณาจากการทำงานและผลงานของนิสิตในระหว่างดำเนินการ จัดการเรียนรู้ และร่องรอยการบันทึกผลในคู่มือกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส ที่นิสิตทุกคนในกลุ่มต้องมีส่วนร่วมในการ บันทึกผลการทำกิจกรรม พร้อมทั้งระบุชื่อผู้บันทึกไว้ด้านล่างของหน้าที่บันทึก และมีบันทึกวิดีโอ เพื่อสังเกตพฤติกรรมการทำงานของนิสิตทุกกลุ่ม

ตาราง 17 ผลการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังการจัดการเรียนรู้ องค์ประกอบที่ 3 การใช้นวัตกรรม

คะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังการจัดการเรียนรู้					
กลุ่มที่	องค์ประกอบที่ 3 การใช้นวัตกรรม				ร้อยละของ คะแนน
	รายการประเมิน			คะแนน (คะแนนเต็ม 36.00 คะแนน)	
	(คะแนนเต็มรายการละ 4.00 คะแนน)				
	3.1.1	3.2.1-3.2.3	3.3.1-3.3.5		
1	3.50	9.50	19.00	32.00	88.88
2	4.00	10.50	19.00	33.50	93.06
3	4.00	12.00	19.00	35.00	97.22
4	4.00	12.00	19.00	35.00	97.22
5	4.00	12.00	19.00	35.00	97.22
6	4.00	12.00	19.00	35.00	97.22
7	2.50	12.00	19.00	33.50	93.06
ค่าเฉลี่ย				34.14	94.83

หมายเหตุ : 3.1.1 คือ คุณภาพผลงาน (พิจารณาตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในเล่มกิจกรรม)

3.2.1 คือ ความถูกต้อง (ช่วงของค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน)

หมายเหตุ (ต่อ) : 3.2.2 คือ ความสามารถในการทำซ้ำ (ช่วงของค่าร้อยละการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% RSD) หรือสัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.))

3.2.3 คือ ความสะดวกในการใช้งาน (ระยะเวลาที่ใช้มีเกณฑ์ที่กำหนดในเล่มกิจกรรม)

3.3.1 คือ องค์ประกอบของการนำเสนอ

3.3.2 คือ รูปแบบการนำเสนอ

3.3.3 คือ ความสามารถในการนำเสนอ (Performance)

3.3.4 คือ การเสนอแนวทางการนำองค์ความรู้ที่ได้รับหรือนวัตกรรมที่สร้างขึ้นไปใช้ประโยชน์อย่างสร้างสรรค์และคุ้มค่า

3.3.5 คือ ความสอดคล้องของนวัตกรรมที่พัฒนาขึ้นกับปัญหาและจุดมุ่งหมายของการสร้างนวัตกรรม

จากตาราง 17 แสดงผลการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังการจัดการเรียนรู้ของนิสิต ในองค์ประกอบที่ 3 การใช้นวัตกรรม พบว่า นิสิตวิชาชีพรู กลุ่มเป้าหมาย ได้คะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมในองค์ประกอบนี้ คิดเป็นร้อยละ 88.88-97.22 และมีค่าเฉลี่ยจากนิสิตวิชาชีพรูทั้ง 7 กลุ่ม เท่ากับ ร้อยละ 94.83 ซึ่งผู้ประเมินพิจารณาจากคุณภาพผลงานที่นิสิตได้ประดิษฐ์ขึ้น ได้แก่ แม่พิมพ์ที่แกะสลักจากยางลบ และอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ ดังตัวอย่างในภาพประกอบ 12 โดยกำหนดเกณฑ์เกี่ยวกับขนาด พื้นที่ภายในแม่พิมพ์และขอบเขตไม่ขอบน้ำที่สร้างขึ้น ซึ่งนิสิตสามารถแกะสลักแม่พิมพ์ให้มีพื้นที่ภายในตามที่กำหนดได้ รวมถึงอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถบรรจุสารละลายได้ ตามปริมาตรที่กำหนดอีกด้วย



ภาพประกอบ 12 แม่พิมพ์และอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่นิสิตสร้างขึ้น

ในประเด็นต่อมาจะพิจารณาจากการนำอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่ปรับปรุงจนมีคุณภาพและพร้อมใช้งานแล้ว ไปประยุกต์ใช้ในการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และหาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมตามขั้นตอนที่นิสิตออกแบบและวางแผนไว้ โดยผู้ประเมินจะประเมินจากความถูกต้อง (ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน) ความสามารถในการทำซ้ำ (ช่วงของค่าร้อยละการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% RSD) หรือสัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.) ในการทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง) และความสะดวกในการใช้งาน (ระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์แต่ละครั้ง) ซึ่งหลังจากการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในการทดลอง พบว่า นิสิตทุกกลุ่มได้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน ต่ำกว่าร้อยละ 3.00 ค่าร้อยละการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของนิสิต 5 จาก 7 กลุ่ม เท่ากับ ร้อยละ 0.00 และระยะเวลาที่ใช้มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดีและดีมาก

สำหรับประเด็นสุดท้ายจะประเมินจากการนำเสนอผลงาน โดยผู้วิจัยได้เปิดโอกาสให้นิสิตมีส่วนร่วมในการตัดสินผลการนำเสนอและช่วยพิจารณาความครบถ้วนองค์ประกอบของการนำเสนอ รูปแบบการนำเสนอ รวมทั้งความสามารถในการนำเสนอ (Performance) ที่พิจารณาจากบุคลิกภาพ ความมั่นใจ การแก้ปัญหาเฉพาะหน้า และการตอบคำถามเกี่ยวกับนวัตกรรมที่ตนเองออกแบบ รวมทั้งการเสนอแนะแนวทางการต่อยอดนวัตกรรมเพื่อใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า ซึ่งนิสิตสามารถนำเสนอได้ครบถ้วนตามเกณฑ์ที่กำหนดและตอบคำถามได้ถูกต้อง ชัดเจน ส่งผลให้คะแนนการนำเสนอ นวัตกรรมอยู่ในระดับดีมากทุกกลุ่ม

เมื่อได้ผลการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษเรื่อง สารละลายกรด-เบส ทั้ง 3 องค์ประกอบ ผู้วิจัยนำคะแนนแต่ละองค์ประกอบมารวมกันดังปรากฏผล ดังตาราง 18

ตาราง 18 คะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม รวม 3 องค์ประกอบ : องค์ประกอบที่ 1 การคิดสร้างสรรค์ องค์ประกอบที่ 2 การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ และองค์ประกอบที่ 3 การใช้นวัตกรรม หลังการจัดการเรียนรู้ของนิสิตวิชาชีวปฏิกูลกลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มที่	คะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังการจัดการเรียนรู้ รวม 3 องค์ประกอบ	
	คะแนน	ร้อยละของคะแนน
	(คะแนนเต็ม 72.00 คะแนน)	
1	63.37	88.01
2	64.57	89.68
3	66.88	92.88
4	68.40	95.00
5	68.74	95.47
6	67.30	93.47
7	63.24	87.83
ค่าเฉลี่ย	66.07	91.76

จากตาราง 18 แสดงคะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังการปฏิบัติกิจกรรมทั้ง 3 สัปดาห์ ของนิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมายทุกกลุ่ม ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 63.24-68.74 คิดเป็นร้อยละ 87.83-95.47 ของคะแนนรวม

จากนั้นผู้วิจัยนำคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม (รวม 3 องค์ประกอบ) หลังการจัดการเรียนรู้ของนิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมายทุกกลุ่ม จากตาราง 15 มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนด คือ ร้อยละ 70 โดยใช้สถิติ t-test for One Sample เพื่อทดสอบสมมติฐานข้อที่ 2 ได้ผลดังตาราง 19

ตาราง 19 การเปรียบเทียบคะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม (รวม 3 องค์ประกอบ) หลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส ของนิสิตวิชาชีพครูกับเกณฑ์ร้อยละ 70

การทดสอบ	n	$\bar{X}$	S.D.	ร้อยละ	เกณฑ์	df	t	p
หลังการจัดการเรียนรู้	7	66.07	2.32	91.76	70.00	6	17.877	.000*

มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01, คะแนนเต็ม 72.00 คะแนน

หมายเหตุ : n หมายถึง จำนวนกลุ่มของนิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมาย

$\bar{X}$ หมายถึง คะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมรวม 3 องค์ประกอบ ของนิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมายทั้ง 7 กลุ่ม

ร้อยละ หมายถึง ร้อยละของคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม รวม 3 องค์ประกอบของนิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมายทั้ง 7 กลุ่ม

จากตาราง 19 พบว่า นิสิตวิชาชีพครูที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส มีคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมรวม 3 องค์ประกอบทั้ง 7 กลุ่ม เท่ากับ 66.07 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 91.76 และเมื่อนำไปทดสอบค่าเฉลี่ยของคะแนนดังกล่าวหลังการจัดการเรียนรู้เทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมรวม 3 องค์ประกอบ (50.40 คะแนน) ด้วยสถิติ t-test for One Sample ที่ค่าองศาอิสระเท่ากับ 6 พบว่า คะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมรวม 3 องค์ประกอบหลังการจัดการเรียนรู้ของนิสิตวิชาชีพครูสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01 ดังที่แสดงผลการวิเคราะห์ (Output) จากโปรแกรม IBM SPSS Statistic 20 ในภาคผนวก ข ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2 ที่ตั้งไว้

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยแบบทดลองขั้นต้น (Pre-Experimental Research : One-Shot Case Study Design) ซึ่งทำการทดลองตามแบบแผนการทดลองแบบกลุ่มเดียว มีการวัดเฉพาะหลังการจัดการเรียนรู้ โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด และนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตวิชาชีพครูได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งผู้วิจัยสามารถสรุปสาระสำคัญของงานวิจัยได้ ดังนี้

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายดังต่อไปนี้

1. เพื่อพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ที่ส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตวิชาชีพครู ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ คือ นิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมาย มากกว่าร้อยละ 70 มีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมอยู่ในระดับดีขึ้น
2. เพื่อเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตวิชาชีพครู หลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ที่พัฒนาขึ้นกับเกณฑ์ร้อยละ 70

สมมติฐานในการวิจัย

1. กิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตวิชาชีพครู มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ คือ นิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมาย มากกว่าร้อยละ 70 มีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมอยู่ในระดับดีขึ้น
2. นิสิตวิชาชีพครูที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส มีคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังการจัดการเรียนรู้สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70

วิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 2 ตอน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 การพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตวิชาชีพครู มีขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ

2. หาวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

3. การพัฒนาวิธีการทดลอง เรื่อง สารละลายกรด-เบส ด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ สำหรับนำข้อมูลและผลการทดลองไปใช้ในการสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ

ส่วนที่ 1 การพัฒนาวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบ ประดิษฐ์แม่พิมพ์สำหรับประทับพิมพ์ เพื่อขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาและเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติการกันน้ำที่เหมาะสมในการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ และขั้นตอนที่ 3 ทดสอบคุณภาพของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่ขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ ซึ่งผลการทดลอง พบว่า สารละลายผสมระหว่างชันสนกับสารส้มในอัตราส่วน 4 : 1 เป็นวัสดุที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาขึ้นรูปอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ฐานกระดาษ เนื่องจาก สามารถสร้างเส้นวงกลมของส่วนที่ไม่ชอบน้ำได้ชัดเจนและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในวงสม่ำเสมอเท่ากันทุกครั้ง

ส่วนที่ 2 การพัฒนาวิธีการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส สำหรับนำมาใช้ในการสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษา เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาวิธีการหาปริมาณกรดและเบสในสารละลายตัวอย่างด้วยวิธีการไทเทรตและการเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในการวิเคราะห์หาปริมาณกรด-เบสเบื้องต้น ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของ

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ขั้นตอนที่ 4 การศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อหาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม และขั้นตอนที่ 5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ ด้วยสถิติทางเคมีวิเคราะห์ ซึ่งผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และหาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ โดยเปรียบเทียบกับวิธีการไทเทรตด้วยสถิติ t-test for independent samples พบว่า ทั้งสองวิธีให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่า วิธีการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้วิเคราะห์หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมได้ไม่แตกต่างกับวิธีการไทเทรตแบบเดิม

4. นำข้อมูลที่ได้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองมาวิเคราะห์และสรุปผล เพื่อใช้ในการวางแผนและสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ ดังต่อไปนี้

4.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น ผู้วิจัยได้ศึกษาลักษณะและวิธีการสร้างกิจกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษาจากเอกสาร ตำรา วารสารและงานวิจัย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดทำกิจกรรมสะเต็มศึกษา

4.2 ศึกษาเนื้อหาเรื่อง สารละลายกรด-เบส รายวิชา คม 254 เคมีวิเคราะห์จากหนังสือและเอกสารประกอบการสอนในรายวิชาดังกล่าว เพื่อกำหนดขอบเขตเนื้อหาที่จะใช้และพัฒนาวิธีการทดลอง เพื่อประกอบกิจกรรมสะเต็มศึกษา สำหรับการจัดการเรียนรู้ตลอด 3 สัปดาห์ ซึ่งประกอบด้วย สัปดาห์ที่ 1 กิจกรรมการออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ สัปดาห์ที่ 2 กิจกรรมการศึกษาหลักการใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในการหาปริมาณกรด-เบสด้วยอินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม และสัปดาห์ที่ 3 กิจกรรมการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อหาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม

5. ดำเนินการออกแบบร่างกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ที่ใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

6. ดำเนินการสร้างคู่มือการใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลาย กรด-เบส สำหรับอาจารย์ผู้สอน โดยประกอบด้วย

คำชี้แจงแผนการจัดการเรียนรู้ เกณฑ์การวัดและประเมินผลการทำกิจกรรม และผลสรุปของกิจกรรม

7. ประเมินคุณภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลาย กรด-เบส ด้านความเหมาะสมขององค์ประกอบของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลาย กรด-เบส ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา 2 ท่านและผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 1 ท่าน พบว่า มีความเหมาะสมรวมทุกด้านในระดับมากที่สุด และผลการพิจารณาความสอดคล้องขององค์ประกอบกิจกรรม จากค่าดัชนีความสอดคล้องของกิจกรรมที่พัฒนาขึ้นกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (IOC) เฉลี่ยอยู่ที่ 0.96 นำกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลาย กรด-เบส ไปปรับปรุงแก้ไข ก่อนจะนำไปทดลองใช้กับนิสิตวิชาชีพครูที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมายและเคยเรียนเนื้อหาเรื่องนี้มาแล้ว

8. สร้างแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมจำนวน 1 ชุด โดยดัดแปลงรูปแบบและเกณฑ์การประเมินมาจาก Partnership for 21st Century Skills (2007) ซึ่งเกณฑ์การประเมินที่สร้างขึ้น ประกอบด้วย องค์ประกอบการคิดสร้างสรรค์ จำนวน 4 ข้อ องค์ประกอบการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ จำนวน 5 ข้อ และองค์ประกอบการใช้นวัตกรรม จำนวน 9 ข้อ รวมทั้งสิ้น 18 ข้อ ซึ่งรูปแบบของแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเป็นการกำหนดเกณฑ์การให้คะแนน (Scoring rubric) 4 ระดับ

9. ประเมินคุณภาพแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยประเมินความสอดคล้องขององค์ประกอบของแบบวัดทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา 1 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 1 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านการวัดผลและวิจัยการศึกษา 1 ท่าน พบว่า ค่าดัชนีความสอดคล้องของข้อคำถามในแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (IOC) ทั้ง 3 องค์ประกอบ มีค่ามากกว่า 0.5 ทั้งหมด จากนั้นนำแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมไปปรับปรุงแก้ไข ก่อนจะนำไปใช้กับนิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมาย

10. นำกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลาย กรด-เบส และประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมไปทดลองใช้กับนิสิตที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมาย โดยเป็นนิสิตวิชาชีพครู ระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ ที่ผ่านการเรียนรายวิชา คม 254 เคมีวิเคราะห์ มาแล้ว โดยครั้งที่ 1 ทดลองใช้กับ

นิสิตจำนวน 3 คน เพื่อตรวจสอบความเข้าใจและความถูกต้องจากการศึกษาคู่มือกิจกรรม สะเต็มศึกษา และครั้งที่ 2 ทดลองใช้กับนิสิตจำนวน 9 คน โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ๆ ละ 3 คน เพื่อศึกษากระบวนการกลุ่มในการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้และหาความเหมาะสมของ องค์ประกอบกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง สารละลายกรด-เบส ซึ่งผลการทดลองใช้กิจกรรม พบว่า ความเหมาะสมของกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่พัฒนาขึ้นนี้อยู่ในระดับมากที่สุด จำนวน 4 ด้าน มีเพียง ด้านการดำเนินกิจกรรมสะเต็มศึกษาตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพียงด้านเดียวที่อยู่ในระดับมาก เนื่องจาก นิสิตที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมาย ส่วนใหญ่มีความเห็นว่า ระยะเวลาในการ ดำเนินกิจกรรมในบางขั้นตอน เช่น ขั้นที่ 2 การระดมความคิดและรวบรวมข้อมูล และขั้นที่ 3 การออกแบบวิธีการแก้ปัญหาที่ยังน้อยเกินไป ผู้วิจัยจึงปรับแก้เรื่องกำหนดระยะเวลาในการทำ กิจกรรมในขั้นตอนดังกล่าวตามที่นิสิตเสนอมา ก่อนจะนำไปใช้จริงกับกลุ่มเป้าหมาย แล้วทำการ หาประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาค ฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบสตามสมมติฐานข้อที่ 1

ตอนที่ 2 การนำกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และ นวัตกรรม สำหรับนิสิตวิชาชีพครู ไปทดลองกับกลุ่มเป้าหมาย มีขั้นตอนดังนี้

1. ดำเนินการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส กับนิสิตกลุ่มเป้าหมาย เป็นนิสิตวิชาชีพครู ชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 จำนวน 1 กลุ่มผู้เรียน จำนวน 22 คน ใช้ระยะเวลาการจัดการเรียนรู้จำนวน 9 ชั่วโมง

2. เมื่อดำเนินการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาเสร็จสิ้น จึงทำการทดสอบ หลังเรียน (Posttest) กลุ่มเป้าหมาย โดยการประเมินด้วยแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์ และนวัตกรรม แล้วนำผลคะแนนที่ได้มาวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ เพื่อบอกประสิทธิภาพของ กิจกรรมสะเต็มศึกษาที่พัฒนาขึ้นและเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และ นวัตกรรม หลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส กับเกณฑ์ร้อยละ 70 โดยใช้สถิติ t-test for One Sample

สรุปผลการวิจัย

จากการพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส และนำมาใช้จัดการเรียนรู้กับนิสิตวิชาชีพครู กลุ่มเป้าหมาย เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ซึ่งปรากฏผลการวิจัยดังที่สรุปได้ดังนี้

1. กิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ที่ส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตวิชาชีพครู มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด โดยนิสิตวิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมาย ร้อยละ 100 มีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมอยู่ในระดับดีขึ้นไป

2. นิสิตวิชาชีพครูที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส มีคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังการจัดการเรียนรู้สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01

อภิปรายผลการวิจัย

1. การอภิปรายผลการศึกษาประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ที่ส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตวิชาชีพครู

จากการศึกษาประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตวิชาชีพครู พบว่า กิจกรรมสะเต็มศึกษาที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นนี้ มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด โดยนิสิตวิชาชีพครูร้อยละ 100 มีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมอยู่ในระดับดีขึ้นไป ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1 เนื่องมาจากเหตุผล 2 ประการ ดังต่อไปนี้

ประการแรก การพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตวิชาชีพครู ดำเนินไปอย่างเป็นระบบ โดยผู้วิจัยทำการศึกษาลักษณะและวิธีการสร้างกิจกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษาจากเอกสาร ตำรา วารสารและงานวิจัย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดทำกิจกรรมสะเต็มศึกษา จากนั้นผู้วิจัยทำการเลือกเนื้อหาที่ใช้ในกิจกรรม โดยเลือกเนื้อหาในหัวข้อสารละลายกรด-เบส เป็นหัวข้อสำคัญและเป็นพื้นฐานในการเรียนรายวิชาเคมีวิเคราะห์ ซึ่งอาศัยความรู้พื้นฐานในเรื่อง ปริมาณสารสัมพันธ์ การเตรียมสารละลาย การเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม และการไทเทรตเพื่อหาปริมาณกรดหรือเบสในสารตัวอย่าง

ซึ่งสามารถเชื่อมโยงเข้ากับสถานการณ์ปัญหาในชีวิตประจำวันได้ง่าย ทำให้ผู้เรียนเกิดความสนใจ ในกิจกรรมการเรียนรู้มากยิ่งขึ้น จากนั้นผู้วิจัยทำการศึกษาเนื้อหาเรื่อง สารละลายกรด-เบส รายวิชา คม 254 เคมีวิเคราะห์ จากหนังสือและเอกสารประกอบการสอนในรายวิชาดังกล่าว เพื่อกำหนดขอบเขตเนื้อหาที่จะใช้ในกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่จะพัฒนาขึ้น ซึ่งวิธีการทดลองที่ พัฒนาขึ้นเพื่อประกอบในกิจกรรมสะเต็มศึกษานี้ถูกพัฒนาขึ้นโดยผู้วิจัย โดยเริ่มจากศึกษาวิธีการ หาปริมาณกรดและเบสในสารละลายตัวอย่างด้วยวิธีการไทเทรตและการเลือกใช้อินดิเคเตอร์ ที่เหมาะสม จากนั้นทำการศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาค ฐานกระดาษในการวิเคราะห์หาปริมาณกรด-เบสเบื้องต้น เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการศึกษา วิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อหาความเข้มข้น ที่แน่นอนของสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์และหาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม รวมถึงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาค ฐานกระดาษด้วยสถิติทางเคมีวิเคราะห์ ซึ่งผลการทดสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพของวิธี วิเคราะห์หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ และหาปริมาณกรดซิตริก ในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ โดยเปรียบเทียบกับวิธีการไทเทรตด้วยสถิติ t-test for independent samples ซึ่งพบว่า วิธีการ ทดลองที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้วิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์และ ปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมได้ไม่แตกต่างกับวิธีการไทเทรตแบบเดิม ผู้วิจัยจึงนำ ข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือนี้มาใช้ในการวางแผน เพื่อสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส โดยเริ่มจากการออกแบบ ร่างกิจกรรมสะเต็มศึกษา ซึ่งกำหนดระยะเวลาในการจัดการเรียนรู้รวม 9 ชั่วโมง จากนั้นดำเนินการส่งร่างกิจกรรมให้อาจารย์ที่ปรึกษาพิจารณา ก่อนที่จะนำไปสร้างเป็นคู่มือ กิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลาย กรด-เบส สำหรับนิสิต และแผนการจัดการเรียนรู้สำหรับผู้สอนที่ประกอบด้วย คำชี้แจงแผนการ จัดการเรียนรู้ เกณฑ์การวัดและประเมินผลการทำกิจกรรม ผลสรุปของกิจกรรม เมื่อกระบวนการพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาเสร็จสิ้น ผู้วิจัยจึงขอความอนุเคราะห์จากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา 2 ท่านและผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์- ศึกษา 1 ท่าน ในการประเมินคุณภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของ ไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลาย กรด-เบส ด้านความเหมาะสมขององค์ประกอบของ กิจกรรม ซึ่งผลการประเมินพบว่า มีความเหมาะสมทุกด้านอยู่ในระดับมากที่สุด และผลการ

พิจารณาความสอดคล้องขององค์ประกอบกิจกรรม จากค่าดัชนีความสอดคล้องของกิจกรรม ที่พัฒนาขึ้นกับจุดประสงค์การเรียนรู้ (IOC) เฉลี่ยอยู่ที่ 0.96 แล้วนำกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลาย กรด-เบส ไปปรับปรุงแก้ไข ก่อนจะนำไปทดลองใช้กับนิสิตวิชาชีพครูที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมายและเคยศึกษาเนื้อหาที่ผ่านมาแล้ว จากนั้นผู้วิจัยทำการปรับแก้ขอบกรอบของคู่มือกิจกรรมและกระบวนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ก่อนจะนำไปใช้กับกลุ่มเป้าหมายจริง แล้วทำการศึกษาประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลาย กรด-เบส เพื่อส่งเสริม ทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตวิชาชีพครู ซึ่งสรุปผลได้ว่า กิจกรรม สะเต็มศึกษาที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นนี้ มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด โดยนิสิตวิชาชีพครู ร้อยละ 100 มีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมอยู่ในระดับดีขึ้นไป ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ ร้อยละ 70 ที่กำหนดไว้ ผลการทดสอบสมมติฐานดังกล่าวนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐสุริกันต์ คำชู (2561) ที่ศึกษาประสิทธิภาพกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง สารละลาย : เจล พลังงานสูง และนรพนธ์ คนสูง (2561) ที่ศึกษาประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง ปัจจัย ที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพเป็นร้อยละ โดยผลการศึกษา ประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษา พบว่า กิจกรรมสะเต็มศึกษาผู้วิจัยทั้ง 2 ท่านพัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด เนื่องจากผู้วิจัย มีกระบวนการพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาที่มี ลำดับขั้นตอน เป็นระบบ โดยผ่านการประเมินคุณภาพเครื่องมือโดยผู้เชี่ยวชาญ และผ่านการ ทดลองใช้เพื่อปรับปรุงกิจกรรมก่อนนำไปใช้จริงส่งผลให้การจัดการเรียนรู้เป็นไปอย่างราบรื่น และ มีประสิทธิภาพตามสมมติฐานข้อที่ 1 ที่ตั้งไว้

ประการที่สอง กิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลาย กรด-เบส ที่พัฒนาขึ้น ใช้หลักการจัดการเรียนรู้ตามแนวทาง สะเต็มศึกษา ซึ่งเป็นการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการรูปแบบหนึ่งที่เชื่อมโยงเนื้อหาสาระระหว่าง สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรม และคณิตศาสตร์ ซึ่งมีการประยุกต์ให้เข้ากับบริบท ของหัวข้อกิจกรรม หรือหัวข้อเรื่อง (Theme) ตามสาระการเรียนรู้ที่กำหนด (Dugger, 2010, pp. 1-3 ; Lantz, 2009, Online; Vasquez et al., 2013, pp. 16-19) โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ สาระการเรียนรู้ เรื่อง สารละลาย กรด-เบส ที่สามารถเชื่อมโยงกับปัญหาที่เกิดขึ้นในชีวิตจริงได้ง่าย และนำปัญหาดังกล่าวมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนรู้วิธีการแก้ปัญหา ที่สร้างสรรค์ (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557, น. 4) ซึ่งในกิจกรรม

สะเต็มศึกษาที่พัฒนาขึ้น ผู้วิจัยได้นำปัญหาผลิตภัณฑ์น้ำมะนาวเทียมไม่มีคุณภาพ มาใช้เป็นจุดเริ่มต้นของกิจกรรม โดยมีรายละเอียด ดังภาพประกอบ 13



ปัญหาน้ำมะนาวขาดตลาดยังคงเกิดขึ้นเป็นประจำในฤดูแล้งของทุกปี ผู้ประกอบการร้านอาหารจึงเลือกใช้น้ำมะนาวเทียมในการปรุงอาหาร ทดแทนน้ำมะนาวแท้จากธรรมชาติ ทำให้เกิดปัญหาอีกปัญหาหนึ่งที่ส่งกระทบโดยตรงต่อผู้บริโภค นั่นคือ ปัญหาลิขสิทธิ์น้ำมะนาวเทียมที่วางจำหน่ายในท้องตลาดไม่มีคุณภาพ จากสภาพการณ์ดังกล่าว ทำให้สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) จึงได้ออกประกาศเตือนถึงอันตรายของการบริโภคน้ำมะนาวเทียมที่ไม่มีคุณภาพ ซึ่งมักจะมีปริมาณกรดซิตริกเข้มข้นกว่าร้อยละ 9 โดยมวลต่อปริมาตร หากผู้บริโภครับประทานน้ำมะนาวเทียมดังกล่าวเข้าไป ส่งผลให้เกิดอาการจุกเสียดแน่นท้อง เนื่องจากมีกรดในกระเพาะอาหารมาก และเป็นสาเหตุให้เกิดอาการท้องร่วงได้ (อภิษฐา ช่างสุพรรณ, 2552)

ภาพประกอบ 13 สถานการณ์ที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส

จากปัญหาลิขสิทธิ์น้ำมะนาวเทียมไม่มีคุณภาพที่นำมาใช้ในกิจกรรม ซึ่งเป็นปัญหาที่สามารถพบได้จริงในชีวิตประจำวัน และมักจะเกิดขึ้นในฤดูแล้ง ช่วงกลางเดือนตุลาคม จนถึงกลางเดือนพฤษภาคม (กรมอุตุนิยมวิทยา, ม.ป.ป.) ประกอบกับอาหารประเภทยำกำลังได้รับความนิยมจากผู้บริโภคเป็นจำนวนมากในช่วงเวลานี้ และเป็นเรื่องใกล้ตัวของนิสิตด้วย ผู้วิจัยจึงนำปัญหาดังกล่าว มาช่วยกระตุ้นนิสิตให้เกิดความสนใจ และเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการแก้ไขปัญหาดำเนินการขั้นตอนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เพื่อให้นิสิตได้เรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐาน (Problem-based Learning) และดำเนินการแก้ปัญหาที่มีอยู่จริงในชีวิตประจำวัน (Williamson R. J., 2010; สิริพัทธ์ เจษฎาวิโรจน์, ม.ป.ป., น. 1) เป็นการเชื่อมโยงประสบการณ์และความรู้ที่ได้เรียนรู้ในโลกแห่งความเป็นจริง ทั้งเรื่องทักษะในการแก้ปัญหาด้วยความคิดสร้างสรรค์ การทำงานร่วมกับผู้อื่น และการสร้างสรรค์นวัตกรรมของนิสิต โดยผู้วิจัยได้กำหนดเนื้อหาและประสบการณ์

โดยการบูรณาการระหว่าง 4 สาขาวิชา ซึ่งประกอบด้วย 1) วิทยาศาสตร์ (S) ผู้วิจัยเลือกใช้เนื้อหา รายวิชา คม 254 เคมีวิเคราะห์ เรื่อง สารละลายกรด-เบส วิธีการตรวจวิเคราะห์ทางเคมีวิเคราะห์ และสมบัติการกักน้ำของวัสดุธรรมชาติ ฯลฯ 2) เทคโนโลยี (T) ได้แก่ การใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในการสืบค้นข้อมูล การออกแบบและนำเสนอผลงาน การใช้อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ เช่น ไมโครปิเปตต์ เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ เป็นต้น และนวัตกรรมที่นิสิตร่วมการออกแบบและสร้างขึ้น 3) วิศวกรรมศาสตร์ (E) คือ การใช้กระบวนการทางวิศวกรรมในการแก้ปัญหาและออกแบบ สร้างสรรค์นวัตกรรมชุดทดสอบอย่างง่าย และ 4) คณิตศาสตร์ (M) อาทิ การคำนวณปริมาตร สารละลายที่ใช้ การคำนวณความเข้มข้นของสารตัวอย่างจากการไทเทรต การคำนวณทางสถิติ เคมีวิเคราะห์ และการออกแบบการนำเสนอข้อมูลการทดลอง และเมื่อนำกิจกรรมไปทดลองใช้กับ นิสิตวิชาชีวเคมี ระดับปริญญาโทที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมาย เพื่อประเมินความเหมาะสมของ องค์ประกอบกิจกรรม พบว่า ความเหมาะสมขององค์ประกอบกิจกรรมโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด เนื่องจาก ผู้วิจัยได้สอดแทรกแนวคิดสำคัญของสะเต็มศึกษาและจุดประสงค์ของกิจกรรม สะเต็มศึกษาในขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ไว้อย่างชัดเจน ประกอบกับมีแนวทางการดำเนินกิจกรรม ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน (Charles R.M., 2016; Museum of Science, 2007; Robert M. Capraro et al., 2013; Roderic, 2001; Wells J. T., 2016, p. 15; สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557) ส่งผลให้ทุก ๆ องค์ประกอบของกิจกรรม สะเต็มศึกษามีความสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ และมีความต่อเนื่อง เชื่อมโยงกันเป็น ลำดับ โดยมีคู่มือกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ที่ผ่านการตรวจสอบ ปรับปรุงแก้ไขในขั้นการทดลองใช้แล้ว เป็นสื่อกลาง ให้นิสิตได้เข้าใจและเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ทั้ง 6 ขั้นตอนอย่างถูกต้อง พร้อมทั้งชี้แจงเกณฑ์การประเมินผลให้นิสิตเข้าใจก่อนที่จะทำการ ประเมิน ส่งผลให้การดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพตามสมมติฐานข้อที่ 1 สอดคล้องกับงานวิจัยของกนกทิพย์ ยาทองไชย (2559) ณัฐสุริกันต์ คำชู (2561) และนรพนธ์ คนสูง (2561) ที่พัฒนางานกิจกรรมสะเต็มศึกษา สำหรับใช้ในการจัดการเรียนรู้รายวิชาเคมี โดยใช้ กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่เริ่มต้นด้วยสถานการณ์ที่เป็นปัญหาที่เชื่อมโยงใน ชีวิตประจำวันในการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้ผู้เรียนเห็นความสำคัญว่า ประเด็นปัญหาดังกล่าว เป็นเรื่องใกล้ตัว กระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสงสัย และสนใจศึกษาข้อมูล เพื่อแก้ปัญหาได้อย่าง มีประสิทธิภาพ ซึ่งส่งผลให้กิจกรรมสะเต็มที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดเช่นกัน

จากเหตุผลทั้ง 2 ประการที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้กิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส เพื่อส่งเสริมทักษะ การคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตวิชาชีพรู มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด โดยนิสิตวิชาชีพรูร้อยละ 100 มีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมอยู่ในระดับดีขึ้น

2. การอภิปรายผลการศึกษาเปรียบเทียบคะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์และ นวัตกรรมเฉลี่ยหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจ วิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ของนิสิตวิชาชีพรูกับ เกณฑ์ร้อยละ 70

หลังจากการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส เสร็จสิ้น ผู้วิจัยได้รวบรวมคะแนนจากการ ประเมิน ทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมโดยผู้ประเมิน 3 ท่าน เพื่อลดอคติที่อาจเกิดขึ้นจาก การประเมินได้ และภายหลังการประเมิน มีการคำนวณค่าความเที่ยงของการตรวจประเมิน (Inter-rater reliability) ซึ่งพบว่า มีค่าอยู่ในระดับมาก แสดงว่า ผลการประเมินส่วนใหญ่มีความ สอดคล้องและเป็นไปในแนวทางเดียวกัน (Towns et al., 2012) นอกจากนี้ยังเปิดโอกาสให้นิสิต มีส่วนร่วมในการประเมินผลงานและการนำเสนอผลงานของกลุ่มตนเอง และกลุ่มเพื่อนด้วย ซึ่งผลการทดสอบสมมติฐานโดยใช้สถิติ t-test for One Sample พบว่า นิสิตวิชาชีพรูที่ได้รับการ จัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส มีคะแนนเฉลี่ยจากแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังการจัดการเรียนรู้สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01 ซึ่งเป็นไปตาม สมมติฐานข้อที่ 2 เนื่องจากเหตุผลดังต่อไปนี้

ประการแรก ผู้วิจัยได้กำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้เชิงพฤติกรรมในการใช้ กิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลาย กรด-เบส เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตวิชาชีพรูไว้อย่างชัดเจน และสอดคล้องกับองค์ประกอบของทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมทั้ง 3 องค์ประกอบ ตามที่ดัดแปลงเกณฑ์มาจาก Partnership for 21st Century Skills (2007) และมีการปรับปรุง เกณฑ์ให้สอดคล้องกับการประเมินตามสภาพจริงในบริบทการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรม สะเต็มศึกษาที่พัฒนาขึ้น ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบที่ 1 การคิดสร้างสรรค์ โดยระบุว่า นิสิตสามารถใช้เทคนิคที่หลากหลายในการออกแบบอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาค ฐานกระดาษและวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในการ ทดลอง เรื่อง สารละลายกรด-เบสได้อย่างเป็นระบบ สามารถสร้างวิธีการใหม่ที่แตกต่างจากนิสิต

กลุ่มอื่น ๆ จากการประยุกต์ใช้ต่อยอดจากแนวคิดเดิม โดยวางแผนอย่างละเอียด รอบคอบ และกลั่นกรองความคิดออกมาเป็นลำดับขั้นตอนการทำงานที่ชัดเจน และต้องมีการวิเคราะห์ ประเมินความคิด เพื่อปรับปรุงอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษและวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในการทดลอง เรื่อง สารละลายกรด-เบสได้องค์ประกอบที่ 2 การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ ได้แก่ นิสิตสามารถเปิดใจรับฟังความคิดของเพื่อนสมาชิกภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ จนนำไปสู่การแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ มีความรับผิดชอบในการทำงานกลุ่มอย่างเต็มความสามารถ สามารถแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าด้วยวิธีการที่หลากหลาย และนำข้อผิดพลาดจากการทำงาน มาปรับใช้ในการพัฒนาผลงานให้ดีขึ้นได้ และองค์ประกอบที่ 3 การใช้นวัตกรรม ประกอบด้วย นิสิตสามารถสร้างอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษหลากหลายรูปแบบและมีคุณภาพได้ สามารถนำอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษไปประยุกต์ใช้ได้จริง อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงสามารถเสนอแนวทางการนำอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษไปใช้ประโยชน์อย่างสร้างสรรค์และคุ้มค่า ซึ่งจากการกำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้เชิงพฤติกรรมที่ชัดเจนดังกล่าว ทำให้เป้าหมายของการส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมมีความชัดเจนและสะดวก เมื่อนำกิจกรรมมาใช้ในการจัดการเรียนรู้กับกลุ่มเป้าหมายจริง ส่งผลให้นิสิตทุกกลุ่มมีคะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70

ประการที่สอง ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ตามขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน (Charles R.M., 2016; Museum of Science, 2007; Robert M. Capraro et al., 2013; Roderic, 2001; Wells J. T., 2016, p. 15; สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557) ซึ่งแต่ละขั้นตอน ผู้สอนมีการสอดแทรกกลยุทธ์เรียนรู้ เช่น การใช้คำถามที่เน้นให้ผู้เรียนสืบเสาะหาความรู้ด้วยตนเอง (Inquiry-based questioning strategies) ที่ช่วยกระตุ้นและส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตวิชาชีพครูไว้ในแต่ละขั้น รวมถึงระบุเกณฑ์การประเมินพฤติกรรมการทำงาน และผลงานของนิสิตไว้ในแผนการจัดการเรียนรู้และคู่มือกิจกรรมเป็นลำดับ ซึ่งขั้นตอนของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ทั้งหมดใน 3 สัปดาห์นี้ สามารถแบ่งออกเป็น 3 วงจร ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และสำหรับการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมตลอดระยะเวลาในการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยและผู้ประเมินอีก 2 ท่าน ได้ทำการประเมินโดยใช้แบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมทั้ง 3 องค์ประกอบ ได้แก่ องค์ประกอบที่ 1 การคิดสร้างสรรค์

องค์ประกอบที่ 2 การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ และองค์ประกอบที่ 3 การใช้นวัตกรรม โดยมีการกำหนดรายการประเมินที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนของกิจกรรมไว้อย่างชัดเจน ซึ่งการประเมินนี้ เน้นประเมินจากพฤติกรรมการทำงาน ผลงาน และผลการทำกิจกรรมอื่น ๆ ที่นิสิตบันทึกไว้ใน ระหว่างการปฏิบัติกิจกรรม ซึ่งในระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ จะเปิดโอกาสให้นิสิตวิชาชีพรู้ ได้เรียนรู้ ผูกพันทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม จากการลงมือปฏิบัติจริงตามแนวคิดการเรียนรู้จากการกระทำของ Dewey J. (1938) และสร้างสรรค์ผลงานด้วยตนเองผ่านกระบวนการ ออกแบบเชิงวิศวกรรม (Wells J. T., 2016) โดยอาศัยวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ร่วมด้วย (Charles R.M., 2016) ซึ่งเป็นการส่งเสริมให้นิสิตได้แสดงพฤติกรรมที่บ่งบอกถึงการมี ทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมในเชิงประจักษ์ และทำให้การประเมินตามสภาพจริงทำได้ ง่ายและมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา จะไม่มีศาสตร์ด้านศิลปะมาบูรณาการ แต่ก็สามารถพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์ ที่ถือว่าเป็น หัวใจของสะเต็มศึกษาได้ (Kaufman, 2019) ซึ่งทักษะการคิดสร้างสรรค์นี้เอง เป็นวัตถุดิบที่สำคัญ ในการสร้างนวัตกรรมเพื่อแก้ไขปัญหาหรือสถานการณ์ที่ท้าทาย ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ความรู้ทั้ง ดั้งเดิมและที่เรียนรู้ใหม่ในการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ผ่านการกระบวนการคิดเชิงออกแบบ (Design Thinking) ที่สอดคล้องอยู่ในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Li et al., 2019; The Stanford d.school Bootcamp Bootleg (HPI), 2010) ซึ่งจะกระตุ้นให้ผู้เรียนได้คิดและลงมือ ปฏิบัติจริงผ่านปัญหาหรือคำถามที่เป็นปลายเปิด (Chen, 2012 (เอกสารจากเว็บไซต์); สถาบัน ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2557, น. 6; สนิธิ พลชัยยา, 2557, น. 7; อภิลิทธิ์ ธงไชย, 2557 (เอกสารจากเว็บไซต์)) และนำไปสู่การพัฒนาและทดสอบคุณภาพของนวัตกรรม ร่วมกัน โดยผู้สอนเป็นเพียงผู้อำนวยความสะดวก (Facilitator) และใช้กลยุทธ์การคำถามที่เน้นให้ ผู้เรียนสืบเสาะหาความรู้ด้วยตนเอง (Hathcock, Dickerson, Eckhoff, & Katsioloudil, 2015) ผ่านกระบวนการแก้ปัญหาและสร้างสรรค์ผลงาน ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีคอนสตรัคชันนิซึม (Constructionism) ของ Papert S. (1991) และเมื่อได้นวัตกรรมจากการสร้างสรรค์แล้ว ผู้เรียนจะต้องนำนวัตกรรมนั้นไปใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า ซึ่งในงานวิจัยนี้นิสิตได้ออกแบบ ประดิษฐ์ และใช้ประโยชน์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ฐานกระดาษซึ่งนิสิตได้สร้างขึ้นด้วยตนเอง ซึ่งอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นนี้มีข้อดี คือ มีขนาดเล็ก พกพา สะดวก สามารถใช้ตรวจวิเคราะห์ ได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องมืออื่น ๆ ช่วย และใช้สารเคมีในปริมาณที่น้อย ในระดับไมโครลิตร ซึ่งมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการวิทยาศาสตร์และการแพทย์ (Whitesides G.M. et al., 2007) ก่อนที่จะเริ่มมีการนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจหาสารตัวอย่าง

ในชีวิตประจำวันในเวลาต่อมา เช่น งานวิจัยของ Shingo Karita and Takashi Kaneta (2014) ซึ่งเป็นงานวิจัยแรกที่นำอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ มาประยุกต์ใช้กับปฏิกิริยากรด-เบส ได้สำเร็จ โดยในงานวิจัยนี้เป็นการตรวจหาปริมาณกรดในน้ำพุร้อน ซึ่งใช้เวลาในการตรวจวัดเพียง 1 นาที และสามารถการสังเกตผลการวิเคราะห์ได้ด้วยตาเปล่า (Naked-eye) และในปัจจุบันเริ่มมีการพัฒนาการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ฐานกระดาษกับปฏิกิริยาอื่น ๆ สำหรับใช้ในการจัดการเรียนรู้เช่นกัน อาทิ งานวิจัยของ ไตรรงค์ เปลี่ยนแสง et al. (2560) ได้ทำการพัฒนาอุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบกระดาษโดยสร้างขอบเขตที่ไม่ละลายน้ำด้วยปากกาที่ใช้สีน้ำหมึกชนิดกันน้ำบนกระดาษกรอง ร่วมกับหลักการเทียบสี ซึ่งประสบผลสำเร็จในการจัดการเรียนรู้ เรื่อง สมดุลเคมีและการวัดความเป็นกรด-เบส เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจ ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี และงานวิจัยของ พิทักษ์พงศ์ นามวงศ์ และคนอื่น ๆ (Pithakpong Namwong et al., 2018) ได้จัดการเรียนรู้โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษด้วยเทคนิคการพิมพ์สกรีน เพื่อพัฒนาแนวคิดทางเคมี เรื่อง สารกำหนดปริมาณในปฏิกิริยากรด-เบส สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ซึ่งจากงานวิจัยที่กล่าวมานั้น แสดงให้เห็นว่า อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถใช้ทดแทนอุปกรณ์ปฏิบัติการทดลองแบบดั้งเดิม สามารถนำไปใช้ได้ง่ายและเหมาะสมกับการจัดการเรียนรู้ตั้งแต่ระดับมัธยมศึกษาจนถึงระดับอุดมศึกษา และจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่กล่าวถึงในข้างต้นพบว่า ยังไม่มีงานวิจัยใดที่นำกิจกรรมสะเต็มศึกษากับอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษมาบูรณาการร่วมกันในการจัดการเรียนรู้และส่วนใหญ่งานวิจัยที่ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในการจัดการเรียนรู้ จะเน้นพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหรือแนวคิดทางเคมีของผู้เรียนเท่านั้น ผู้วิจัยจึงได้นำแนวคิดจากหลายงานวิจัยมาบูรณาการเพื่อต่อยอด ปรับใช้ และเติมเต็มในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาที่พัฒนาขึ้นอย่างเหมาะสม ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้สมมติฐานข้อที่ 2 เป็นจริงตามที่ผู้วิจัยตั้งไว้ก่อนดำเนินการเก็บและรวบรวมข้อมูลการวิจัย

ประการที่สาม จากการสังเกตพฤติกรรมของนิสิตระหว่างทำกิจกรรม พบว่านิสิตที่เป็นกลุ่มเป้าหมายมีทักษะทางวิทยาศาสตร์ เช่น ทักษะการทดลองในระดับดีถึงดีมากอยู่แล้ว จากการทำปฏิบัติการทดลองและงานวิจัยในด้านวิทยาศาสตร์ในระดับปริญญาตรี ตั้งแต่ชั้นปีที่ 1-4 นิสิตจึงมีความรู้พื้นฐาน มีความคล่องตัว ที่สามารถต่อยอดการเรียนรู้และพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น สอดคล้องกับ

งานวิจัยของเกรียงไกร พลเสน (2559) ที่พบว่า นักศึกษาที่ผ่านการจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบ คลาวด์เรียนรู้แบบสะเต็ม มีทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรมสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด เนื่องจาก นักศึกษาสามารถสร้างด้วยเทคนิควิธีที่แตกต่างและหลากหลายเพื่อนำไปสู่การสร้างสรรค์ นวัตกรรม โดยอาศัยพื้นฐานของ ข้อมูลองค์ความรู้และทักษะที่มีอยู่ นอกจากนี้กิจกรรม สะเต็มศึกษาที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น ยังเน้นประเมินผลตามสภาพจริง (สุทธิดา จำรัส, 2560) โดย พิจารณาจากผลปฏิบัติการทดลองและสถิติทางเคมีวิเคราะห์ที่นิสิตทุกกลุ่มได้ทำกิจกรรม เพื่อใช้ เป็นหนึ่งในเกณฑ์ของการประเมินคุณภาพของนวัตกรรม รวมทั้งประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้ นวัตกรรมที่สร้างขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาตามสถานการณ์ที่กำหนด อีกทั้งระดับเนื้อหาที่นำมาใช้ ในการจัดการเรียนรู้ยังเหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายอีกด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของอนุรักษ์ เมฆ พะโยม (2557) ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนมีการทบทวนความรู้พื้นฐานก่อนการเรียนรู้ มีการพัฒนาเนื้อหา และกิจกรรมที่มีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน ส่งผลให้การวิจัยเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้

ประการที่สี่ พฤติกรรมการทำงานและผลงานของนิสิตวิชาชีวศรทุกกลุ่ม แสดงออกถึงการมีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมใน 3 องค์ประกอบอย่างชัดเจน ซึ่งผู้วิจัย ได้รวบรวมพฤติกรรมการทำงานและผลงานในระหว่างการจัดการเรียนรู้ตลอด 3 สัปดาห์ ที่มีความ สอดคล้องเกณฑ์การประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ สามารถสรุป ได้ดังนี้

องค์ประกอบที่ 1 การคิดสร้างสรรค์ พฤติกรรมการทำงานและผลงานของ นิสิตทุกกลุ่มที่บ่งบอกถึงการมีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมในองค์ประกอบนี้ ได้แก่

1) นิสิตแต่ละกลุ่มร่วมกันระดมความคิด เพื่อระบุปัญหาและสาเหตุของ ปัญหาจากสถานการณ์น้ำมะนาวเทียมไม่มีคุณภาพซึ่งเป็นสถานการณ์ปัญหาใกล้ตัว ทำให้นิสิต เกิดความสนใจ จึงสามารถระบุสาเหตุของปัญหาอย่างหลากหลาย อธิบายสาเหตุของปัญหาได้ ชัดเจน (Williamson R. J., 2010) ดังภาพประกอบ 14

ระบุปัญหา	สาเหตุของปัญหา
1. วัสดุสารเคมี.....	1. ขาดความรู้เกี่ยวกับกระบวนการผลิต.....
2. สัมผัสความร้อนเกินไป.....	2. ไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการผลิต.....
3. อุปกรณ์ชำรุด.....	3. ไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการผลิต.....
.....	4. ไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการผลิต.....
.....	5. ไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการผลิต.....
.....	6. ไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการผลิต.....
.....	7. ไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการผลิต.....
.....	8. ไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการผลิต.....
.....	9. ไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการผลิต.....

ภาพประกอบ 14 ปัญหาและสาเหตุของปัญหาที่นิสิตได้มาจากการวิเคราะห์สถานการณ์

จากนั้นนิตินี้ร่วมกันเสนอวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่าง น้ำมะนาวเทียม เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคมาอย่างหลากหลายและมีความแตกต่างจาก แหล่งการเรียนรู้ที่กำหนดให้ ซึ่งพฤติกรรมในระหว่างปฏิบัติกิจกรรมของนิตินี้ในประเด็นนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของชูลีพร ปิ่นธนสุวรรณ (2556) ที่ใช้การจัดการเรียนรู้ผ่านระบบ อิเล็กทรอนิกส์ (E-Learning) โดยเปิดโอกาสให้นักศึกษาวิชาชีพระดมความคิดและสืบค้นข้อมูล สารสนเทศด้วยตนเอง โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีอยู่ ในส่วนของผู้สอนนั้น จะทำหน้าที่ คอยกระตุ้นให้นักศึกษาเกิดความสงสัยและอยากที่จะค้นหาคำตอบ/วิธีการแก้ไขปัญหา อย่างสร้างสรรค์ตามสถานการณ์ที่กำหนด ซึ่งผลการวิจัยพบว่า นักศึกษาเกิดการเรียนรู้จากการ ค้นคว้าด้วยตนเองได้ดีกว่าการที่ผู้สอนบอกเพียงฝ่ายเดียว ส่งผลให้นักศึกษาสามารถ แสดงความคิดออกมาได้จำนวนมากและหลากหลายในสถานการณ์ที่เปิดกว้างทางความคิด

2) นิตินี้แต่ละกลุ่มร่วมกันเสนอเทคนิควิธีการที่หลากหลายในการ แก้ปัญหาจากข้อจำกัดของการไทเทรต โดยการสืบค้นข้อมูลและประสบการณ์ความรู้เดิม ดังภาพประกอบ 15

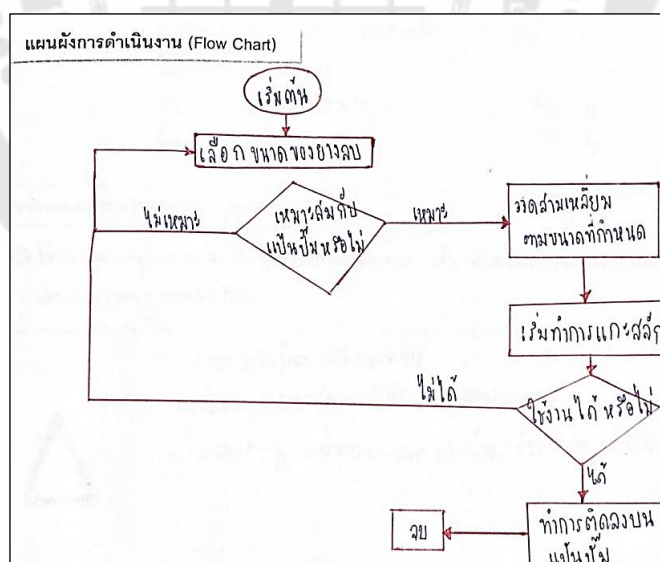
ข้อจำกัด	วิธีการแก้ไข
1. การเลือกอินดิเคเตอร์ไม่เหมาะสม	1. ควรใช้ตัวชี้วัดสีของสารที่ไทเทรต และ ช่วงการเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์
2. การเลือกอินดิเคเตอร์ไม่เหมาะสม	2. การใช้โปรแกรม RGB color picker ในคอมพิวเตอร์
3. ใช้สารละลายกรดในหลอดไทเทรต	3. ใช้กระดาษกรองก่อนเทใส่หลอดไทเทรต และ ทำการล้างหลอดไทเทรต
4. ความคลาดเคลื่อนจากค่าปริมาตรของสารละลาย ที่ไม่เสถียร	4. ต้องทำ Standardization สารละลาย ก่อน
5. การเลือกอินดิเคเตอร์ไม่เหมาะสม	5. ต้องใช้กระดาษกรองขนาดพอเหมาะ เพื่อไม่ให้ สีของอินดิเคเตอร์เจือปน - ทำซ้ำ 3 ครั้ง

ภาพประกอบ 15 วิธีแก้ไขปัญหาที่นิตินี้เสนอเพื่อแก้ไขข้อจำกัด
ของการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกด้วยวิธีการไทเทรต

3) นิสิตออกแบบต้นแบบชุดทดสอบหาปริมาณกรดซิตริกอย่างง่าย (Prototype) เป็นครั้งแรก ตามจินตนาการและประสบการณ์ที่เคยเรียนรู้ผนวกเข้ากับความคิดสร้างสรรค์ของกลุ่มตนเอง ทำให้ต้นแบบชุดทดสอบอย่างง่ายของนิสิตแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกัน ซึ่งการออกแบบต้นแบบนี้เป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการคิดเชิงออกแบบ ที่สอดคล้องอยู่ในขั้นตอนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Li et al., 2019; The Stanford d.school Bootcamp Bootleg (HPI), 2010) ซึ่งนิสิตจะได้นำต้นแบบชุดทดสอบอย่างง่ายนี้ไปพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นในลำดับต่อไป

4) หลังจากนั้น นิสิตทุกกลุ่มศึกษาเกี่ยวกับหลักการของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษและเลือกวิธีการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำแล้ว ซึ่งนิสิตเลือกใช้วิธีการขึ้นรูปแบบประทับพิมพ์ โดยดัดแปลงมาจากการวิจัยของ Zhang Yun et al. (2014) เนื่องจาก วิธีการขึ้นรูปดังกล่าว มีความสะดวกและต้นทุนต่ำ นิสิตจึงร่วมกันออกแบบแม่พิมพ์ซึ่งพบว่า รูปแบบแม่พิมพ์ของนิสิตแต่ละกลุ่มมีรูปแบบไม่ซ้ำกันกับเพื่อนกลุ่มอื่น ๆ

5) นิสิตทุกกลุ่มสามารถออกแบบขั้นตอนกระบวนการสร้างแม่พิมพ์ออกมาเป็นลำดับที่ชัดเจนและนำไปปฏิบัติได้จริงได้ ดังภาพประกอบ 16



ภาพประกอบ 16 แผนผังขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์ที่นิสิตออกแบบ

เมื่อนิสิตดำเนินการสร้างแม่พิมพ์ครั้งแรกด้วยวิธีการแกะสลักจนสำเร็จแล้วทำการทดสอบและปรับปรุงคุณภาพแม่พิมพ์โดยผ่านการวิเคราะห์ และประเมินความคิดเพื่อปรับปรุงผลงานที่แสดงถึงความพยายามในการสร้างสรรค์แม่พิมพ์ให้มีคุณภาพและสามารถใช้งานได้จริง

6) เมื่อได้แม่พิมพ์ที่พร้อมใช้งานแล้ว นิสิตได้เสนอชนิดของวัสดุที่หลากหลายและแตกต่างจากแหล่งเรียนรู้ที่กำหนดให้จากการระดมความคิดและสืบค้นข้อมูลจากแหล่งการเรียนรู้ต่าง ๆ แล้วทำการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำด้วยวัสดุที่เหมาะสม นั่นคือ สารละลายผสมระหว่างชันสนกับสารส้มอัตราส่วนเป็น 5 : 1 เนื่องจาก ดังกล่าว มีคุณสมบัติการกันน้ำใกล้เคียงกับอัตราส่วน 4 : 1 ที่ผู้วิจัยได้ทดลองก่อนหน้านี้เป็นอย่างมากและยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Manar El-Sayed Abdel-Raouf (2018) ที่นำสารละลายชันสนกับสารละลายสารส้มมาผสมกัน ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ส่งผลให้เกิดอันตรกิริยาทางไฟฟ้าระหว่างไอออนที่เป็นองค์ประกอบของสารทั้ง 2 ชนิดกับเซลล์โลหะของกระดาษกรองอย่างสมบูรณ์ ทำให้สารละลายผสมดังกล่าว มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำและสามารถกันน้ำได้ดี

7) เมื่อได้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่มีคุณภาพจากการทดสอบและประเมินคุณภาพแล้ว นิสิตร่วมกันวางแผนขั้นตอนการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไฮเดรียมไฮดรอกไซด์และการหาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม เป็นลำดับขั้นตอนที่สามารถนำไปปฏิบัติจริงโดยคำนึงถึงประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ ซึ่งใช้สถิติทางเคมีวิเคราะห์จากหนังสือของ Skoog et al. (1996) เป็นเกณฑ์ในการประเมิน

8) เมื่อนิสิตทุกกลุ่มได้เรียนรู้ เข้าใจ และสามารถประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว นิสิตแต่ละกลุ่มร่วมกันสร้างสรรค์เป็นนวัตกรรมชุดทดสอบอย่างง่ายโดยประยุกต์ใช้และต่อยอดจากความรู้ที่ได้รับ ซึ่งนิสิตทุกกลุ่มมีความตั้งใจในการออกแบบนวัตกรรมชุดทดสอบอย่างง่าย และเข้าใจในเงื่อนไขปัญหาของการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมเพื่อความปลอดภัยในการบริโภคเป็นอย่างดี จนนำไปสู่การออกแบบชุดทดสอบอย่างง่ายที่มีความคิดสร้างสรรค์ และไม่ซ้ำรูปแบบกันระหว่างกลุ่ม ที่สะท้อนถึงความคิดริเริ่ม (Guilford, 1950) ในการสร้างสรรค์นวัตกรรม

องค์ประกอบที่ 2 การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ พฤติกรรม

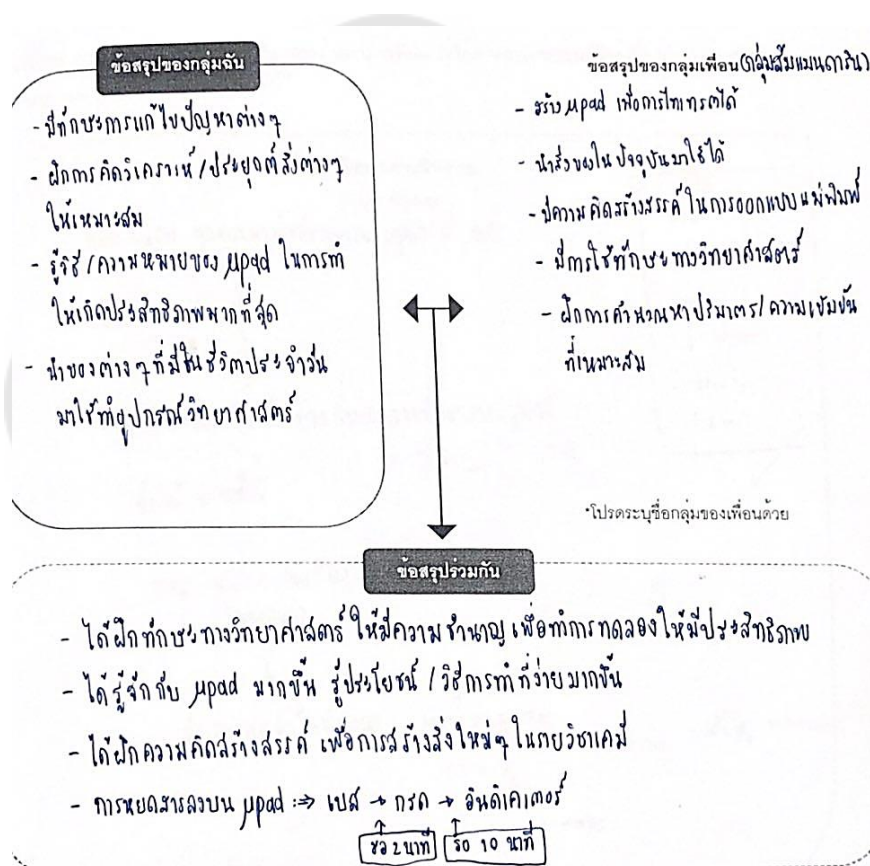
การทำงานและผลงานของนิสิตทุกกลุ่มที่บ่งบอกถึงการมีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมในองค์ประกอบนี้ได้แก่

1) เมื่อผู้วิจัยแบ่งกลุ่มนิสิตด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่ายโดยใช้โปรแกรม Super soom เป็นกลุ่มเล็ก กลุ่มละ 3-4 คน เพื่อนิสิตทุกคนในกลุ่มได้มีส่วนร่วมในการปฏิบัติกิจกรรมอย่างทั่วถึงสอดคล้องกับแนวปฏิบัติในการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการมีส่วนร่วมของผู้เรียนของอรพรรณ พรสีมา (2540) และหลักการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือของนาตยา ปิรันธนานนท์ (2543) ที่ระบุว่า การจัดกลุ่มในการทำกิจกรรม ควรมีสมาชิกภายในกลุ่มน้อยกว่า 6 คน เพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ความสามารถของตนเองอย่างเต็มที่ และสมาชิกในแต่ละกลุ่มควรมีสมาชิกที่ความสามารถต่างกัน เพื่อให้มีความหลากหลายในการทำงานในหน้าที่ที่แตกต่างกัน โดยในการทำกิจกรรมกลุ่มในงานวิจัยนี้ มีการแบ่งหน้าที่ของสมาชิกอย่างชัดเจน ได้แก่ หัวหน้ากลุ่ม สมาชิกกลุ่ม หรือเลขานุการกลุ่ม (ถ้ามี) ซึ่งผู้สอนจะให้สิทธิ์กับนิสิตในการแบ่งหน้าที่ของสมาชิกได้ตามความเหมาะสมและความเห็นชอบของกลุ่ม ผลปรากฏว่า นิสิตทุกกลุ่มสามารถแบ่งหน้าที่ระหว่างสมาชิกอย่างชัดเจน และปฏิบัติตามหน้าที่ที่ตนเองได้รับมอบหมายอย่างเต็มความสามารถ ส่งผลให้การทำงานร่วมกันของนิสิตเป็นไปอย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพ

2) ในด้านความรับผิดชอบการส่งงาน พบว่า มีเพียงสัปดาห์ที่ 1 ของการจัดการเรียนรู้เท่านั้น ที่มีนิสิตจำนวน 3 กลุ่ม ส่งงานไม่ตรงเวลา ส่วนในสัปดาห์ที่ 2-3 นิสิตส่งงานตรงตามเวลาที่กำหนดทุกกลุ่ม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความกระตือรือร้นและการปรับปรุงความรับผิดชอบในการทำงานของนิสิตทุกคน ทั้งนี้อาจเกิดจากวินัยในตัวนิสิต ตลอดจนผู้สอนได้มีการชี้แจงแนวทางในการส่งงานอย่างชัดเจน และมีการมอบรางวัล กล่าวชมเชย เพื่อสร้างแรงจูงใจในการทำกิจกรรมให้แก่นิสิต ซึ่งสอดคล้องกับเทคนิคการจัดการเรียนรู้ของซูลีพร ปันธนสุวรรณ (2556) ที่ได้ใช้การเสริมแรงผู้เรียนในลักษณะเดียวกัน ส่งผลให้คะแนนความประพฤติดระหว่างเรียนและพฤติกรรมการส่งงานของผู้เรียนอยู่ในระดับดีโดยตลอด

3) จากการสังเกตพฤติกรรมของนิสิตทุกคนทั้งในชั้นเรียนและผ่านคลิปวิดีโอที่บันทึกไว้ พบว่า นิสิตร่วมกันเสนอความคิดของตนเองให้กับสมาชิกในกลุ่มด้วยวิธีการอธิบาย การยกตัวอย่าง การอภิปรายด้วยเหตุผลและหลักการทางวิทยาศาสตร์ จนนำไปสู่การสร้างสรรค์หรือปรับปรุงผลงาน/วิธีการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพร่วมกัน นอกจากนิสิตในแต่ละกลุ่มจะเปิดใจรับฟังและเคารพความคิดของเพื่อนสมาชิกในกลุ่มตนเองแล้ว นิสิตในแต่ละกลุ่มยังได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้กับเพื่อนต่างกลุ่มผ่านการพูดคุย การนำเสนอ และการอภิปรายร่วมกัน

ทั้งชั้นเรียน เพื่อช่วยการหาข้อสรุปและแนวทางการปรับปรุงผลงานร่วมกัน เพื่อนำไปสู่การพัฒนากระบวนการทำงานที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และสามารถหาแนวทางการต่อยอดองค์ความรู้ไปประยุกต์ใช้กับการหาปริมาณกรดซัลฟิวริกในตัวอย่างน้ำมันาวเทียมในสัปดาห์ที่ 3 ร่วมกันได้ ภาพประกอบ 17 ที่นีสิตบันทึกไว้ ซึ่งในระหว่างการดำเนินกิจกรรมในสัปดาห์ที่ 3 นี้ ผู้สอนจะไม่ให้คำปรึกษาใดๆ แก่นีสิตในระหว่างปฏิบัติกิจกรรม เพื่อเปิดโอกาสให้นีสิตแต่ละกลุ่มร่วมแก้ไขปัญหาด้วยตนเอง พร้อมกับฝึกทักษะการทำงานร่วมกับเพื่อนสมาชิกภายในกลุ่มอย่างสร้างสรรค์ ผ่านการลองผิดลองถูก



ภาพประกอบ 17 การบันทึกสรุปองค์ความรู้ที่ได้เรียนในสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ของนีสิต

เมื่อนีสิตทุกกลุ่มดำเนินการตามขั้นตอนที่วางแผนไว้แล้ว ได้มีการทดสอบและปรับปรุงขั้นตอนการดำเนินงานอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ ซึ่งผลจากการบันทึกกิจกรรมของนีสิต พบว่า นีสิตหลายกลุ่ม มีการปรับเปลี่ยนลำดับขั้นตอนในการตรวจวิเคราะห์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น หลังจากที่นีสิตได้ทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนการประยุกต์ใช้

อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในครั้งแรกแล้ว แสดงให้เห็นว่า นิสิตมีการนำอุปกรณ์ ปัญหาที่พบในระหว่างการทำงานมาปรับใช้ในการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาหรือผลงานให้ดีขึ้นในครั้งต่อไปด้วย

จากพฤติกรรมการทำงานร่วมกันของนิสิตทุกกลุ่ม เพื่อแก้ไขปัญหาในแต่ละสัปดาห์อย่างสร้างสรรค์นั้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Brophy D.R. (2006) ซึ่งสรุปผลการวิจัยไว้ว่า ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่มีวัตถุประสงค์ เพื่อแก้ไขปัญหาในสถานการณ์ใด ๆ ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ใช้ความคิดอย่างอิสระและสร้างสรรค์นั้น เหมาะกับการทำกิจกรรมเป็นกลุ่มมากกว่าทำกิจกรรมเป็นรายบุคคล เนื่องจาก การทำกิจกรรมร่วมกันเป็นกลุ่ม จะทำให้ผู้เรียนได้ฝึกการทำงานร่วมกับผู้อื่น ฝึกฝนการระดมความคิดและแลกเปลี่ยนแนวคิดที่หลากหลาย จนนำไปสู่การค้นหาคำสรุป วางแผนและตัดสินใจเลือกขั้นตอนในการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพ ได้ดีกว่าการปฏิบัติกิจกรรมเป็นรายบุคคลอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้ผลการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม องค์ประกอบที่ 2 การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ของนิสิตวิชาชีวเคมี มีคะแนนอยู่ในระดับดีมากทุกกลุ่ม

องค์ประกอบที่ 3 การเรียนรู้วัฒนธรรม พฤติกรรมการทำงานและผลงานของนิสิตทุกกลุ่มที่บ่งบอกถึงการมีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมในองค์ประกอบนี้ ได้แก่

1) นิสิตส่วนใหญ่สามารถสร้างแม่พิมพ์ และอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษได้มีคุณภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ มีเพียง 1 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เท่านั้นที่ต้องปรับปรุงรูปแบบแม่พิมพ์และคุณภาพอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ ซึ่งผู้สอนเปิดโอกาสให้นิสิตทดสอบและปรับปรุงคุณภาพให้ดีที่สุดตามขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ก่อนนำไปใช้งานจริงและประเมินผลงาน ซึ่งขั้นตอนในการทดสอบและปรับปรุงผลงานของนิสิตนี้ สอดคล้องกับแนวคิดการจัดการเรียนรู้เชิงประสบการณ์ของ Kolb D.A. (2014) ที่เน้นให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติกิจกรรมและสร้างผลงานจริง ก่อนที่จะทำการประเมินและปรับปรุงผลงานที่กลุ่มตนเองสร้างขึ้นให้ดีที่สุด แล้วจึงนำเสนอแลกเปลี่ยนกับเพื่อนร่วมชั้นเรียน

2) เมื่อนิสิตทุกกลุ่มปรับปรุงอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ จนมีคุณภาพและพร้อมใช้งานแล้ว นิสิตทุกกลุ่มได้นำอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษไปประยุกต์ใช้ในการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไฮโดรอกไซด์และหาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมตามขั้นตอนที่นิสิตออกแบบและวางแผนไว้ ซึ่งหลังจากการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในการทดลอง พบว่า นิสิตส่วนใหญ่ ได้คำนวณหาความคลาดเคลื่อน ต่ำกว่าร้อยละ 3.00 ค่าร้อยละ

การเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของนิสิต 5 จาก 7 กลุ่ม เท่ากับ ร้อยละ 0.00 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ระดับดีมาก (Skoog et al., 1996) และระยะเวลาที่ใช้มีความเหมาะสมในระดับดีและดีมาก

3) สำหรับการประเมินผลการนำเสนอผลงาน ซึ่งผู้วิจัยกำหนดให้นิสิตทุกคนในกลุ่มจะต้องมีส่วนร่วมในการนำเสนอ เพราะนอกจากนิสิตจะร่วมกันสร้างสรรค์ผลงานที่มีคุณภาพและสามารถนำไปใช้งานได้จริงแล้ว นิสิตทุกคนจะต้องเข้าใจและสามารถสื่อสารนวัตกรรมของกลุ่มตนเองให้กับผู้อื่นรับรู้ เข้าใจแนวทางการใช้ประโยชน์ที่สร้างสรรค์ คุ่มค่า และตอบสนองกับสถานการณ์ปัญหา รวมถึงจุดมุ่งหมายของการสร้างนวัตกรรม ดังภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 นิสิตทุกกลุ่มนำเสนอนวัตกรรมชุดทดสอบอย่างง่ายที่ออกแบบไว้

ในส่วนของการประเมินการนำเสนอผลงานนี้ นอกจากผู้สอนเป็นผู้ประเมินแล้ว ยังเปิดโอกาสให้นิสิตทุกกลุ่มประเมินตนเอง และกลุ่มเพื่อนร่วมกันประเมินด้วย เพื่อให้นิสิตมีส่วนร่วมในการตัดสินใจผลการนำเสนอ ในประเด็น แนวคิดในการออกแบบ ส่วนประกอบของนวัตกรรมชุดทดสอบอย่างง่าย วิธีการใช้งาน และแนวทางการต่อยอดนวัตกรรม เพื่อใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าอีกด้วย ซึ่งพบว่า นิสิตทุกกลุ่มได้แบ่งเนื้อหาในการนำเสนอให้เพื่อนสมาชิกทุกคนได้มีส่วนร่วมในการนำเสนอ โดยมีการบอกเล่าแนวคิดในการออกแบบชุดทดสอบอย่างง่ายและชิ้นนวัตกรรมชุดทดสอบอย่างง่ายที่เป็นเอกลักษณ์ของแต่ละกลุ่ม ตลอดจนมีการ

อธิบายองค์ประกอบ ลักษณะ และบรรพจน์ของชุดทดสอบอย่างง่ายได้ชัดเจน และมีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่ม ซึ่งแสดงถึงความคิดริเริ่มและหลากหลาย จากการประยุกต์ใช้องค์ความรู้พื้นฐาน มุมมองและประสบการณ์ของนิสิตแต่ละกลุ่ม นอกจากนี้ นิสิตทุกกลุ่มยังสามารถควบคุมระยะเวลาการนำเสนอได้ตามที่กำหนดด้วย เมื่อจบการนำเสนอผลงานครั้งสุดท้าย นิสิตก็ได้สะท้อนความรู้สึกรู้สึกของตนเองจากการทำกิจกรรมว่า ในการนำเสนอผลงานตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 จนถึงสัปดาห์ที่ 3 นิสิตเห็นพัฒนาการของกระบวนการคิด การทำงาน และปรับปรุงผลงานของกลุ่มตนเองและกลุ่มเพื่อน ตลอดจนความเข้าใจในหลักการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ปัญหาเป็นฐานตามแนวทางสะเต็มศึกษาและหลักการในการประดิษฐ์และประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษมากยิ่งขึ้นด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของณัฐศาสตร์ เหมือนแมน (2560) ที่ใช้การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ส่งผลให้ผู้เรียนมีพัฒนาการในนำเสนอผลการเรียนรู้จากกิจกรรมในแต่ละสัปดาห์ดีขึ้นเป็นลำดับ

จากพฤติกรรมการทำงานและผลงานของนิสิตในเชิงประจักษ์ดังที่อธิบายรายละเอียดในข้างต้น ทำให้ผลการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมจากผู้ประเมินทั้ง 3 ท่าน เป็นไปในแนวทางเดียวกันและสรุปผลการวิจัยได้ว่า นิสิตทุกกลุ่มมีคะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมรวมทั้ง 3 องค์ประกอบ สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ส่งผลให้สมมติฐานในข้อที่ 2 เป็นจริงตามที่คาดการณ์ไว้ และจากการแปลผลตามเกณฑ์ที่กำหนด พบว่า นิสิตมีทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมอยู่ในระดับดีมากทุกกลุ่ม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณพพงศ์ วรธนพิรุณ (2559) ที่ได้พัฒนารูปแบบการเรียนการสอนแบบสะเต็มศึกษา 6 ขั้นตอน เพื่อเสริมสร้างทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี โดยนำจุดเด่นของวิธีการสอนทางวิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) และ คณิตศาสตร์ (Mathematics) มาผสมผสานกัน เพื่อให้ผู้เรียนนำความรู้มาใช้ในการแก้ปัญหา การค้นคว้า และการพัฒนานวัตกรรม ซึ่งผลการวิจัย พบว่า นักศึกษา มีคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และมีคะแนนประเมินผลงานสร้างสรรค์นวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อยู่ในระดับดีมาก และสอดคล้องกับงานวิจัยของณัฐศาสตร์ เหมือนแมน (2560) ที่ได้ศึกษาการพัฒนากระบวนการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาร่วมกับวงจรเดมมิ่งให้กับนักศึกษาวิชาชีพครู คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม โดยผลการวิจัย พบว่า นักศึกษาที่ผ่านกระบวนการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษานี้มีผลคะแนนดี สามารถพูด อธิบายหรือนำเสนอความคิดและเนื้อหาที่เรียนรู้ในแต่ละสัปดาห์ดีขึ้นเป็นลำดับ ซึ่งเป็นผลจากการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาร่วมกับการควบคุมและกระตุ้น

ให้นักศึกษามีการพัฒนาตนเองอย่างต่อเนื่อง และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของกมลรัตน์ เทอร์เนอร์ (2561) ที่ได้ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงงานสะเต็มศึกษา ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม 6 ขั้นตอน เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ของนักศึกษาพยาบาล โดยในกระบวนการจัดการเรียนรู้ มีการส่งเสริมให้นักศึกษาได้เรียนรู้ “วิธีการเรียนรู้ (Learning how to learn)” จากการค้นคว้า ปฏิบัติการทดลอง และแก้ปัญหาพร้อมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ ซึ่งผลการวิจัยพบว่า กลุ่มตัวอย่าง มีคะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001

จากเหตุผลทั้ง 4 ประการในข้างต้น ทำให้นิสิตวิชาชีพอครุที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษเรื่อง สารละลายกรด-เบส มีคะแนนเฉลี่ยจากแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังการจัดการเรียนรู้สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01

สำหรับผลสะท้อนที่สำคัญอีกประการของการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษเรื่อง สารละลายกรด-เบส ที่ผู้วิจัยทำการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อดูผลสะท้อนกลับจากกระบวนการจัดการเรียนรู้และอาจนำไปปรับปรุงกิจกรรมในอนาคต ได้มาจากการสำรวจความคิดเห็นของนิสิตต่อกิจกรรมภายหลังการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้ โดยใช้การสอบถามนิสิตวิชาชีพอครุกลุ่มเป้าหมาย พบว่า นิสิตวิชาชีพอครุกลุ่มเป้าหมาย มีความพึงพอใจในการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษเรื่อง สารละลาย กรด-เบส ซึ่ง มีรายละเอียดในแต่ละด้านดังนี้

1. ด้านรูปแบบของกิจกรรมสะเต็มศึกษาและวิธีการจัดการเรียนรู้
นิสิตแสดงความคิดเห็นว่า การจัดการเรียนรู้ตามรูปแบบและกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม มีขั้นตอนที่ชัดเจนตามแนวทางสะเต็มศึกษา ตั้งแต่เริ่มต้นด้วยสถานการณ์ปัญหาในชีวิตจริง ไปจนถึงกระบวนการทำงานกลุ่ม เพื่อสร้างนวัตกรรมสำหรับใช้ในการแก้ปัญหา

2. ด้านการวัดและประเมินผลจากการทำกิจกรรม นิสิตแสดงความคิดเห็นว่า นิสิตทุกกลุ่มได้รับทราบแนวทางและเข้าใจเกณฑ์การประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมอย่างชัดเจน ก่อนเริ่มการจัดการเรียนรู้หรือประเมินผลทุกครั้ง และเป็นสิ่งที่ดีที่ผู้วิจัยเปิดโอกาสให้นิสิตทุกคนมีส่วนร่วมในการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของตนเองโดยเฉพาะในองค์ประกอบที่ 3 การใช้นวัตกรรม

3. ด้านประโยชน์ที่ได้รับจากการทำกิจกรรมเรียนรู้ นิสิตแสดงความ คิดเห็นว่า ได้เรียนรู้และเข้าใจกระบวนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษามากยิ่งขึ้น ตลอดจนนิสิตได้เรียนรู้เกี่ยวกับหลักการประดิษฐ์และการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของ ไหลจุลภาคฐานกระดาษในการวิเคราะห์หาปริมาณกรด-เบส ในสารละลายตัวอย่าง ซึ่งนิสิต สามารถนำองค์ความรู้เหล่านี้ไปปรับใช้ในการจัดการเรียนรู้ของนิสิตได้ในอนาคตได้

สำหรับผลการสำรวจความคิดเห็นของนิสิตวิชาชีวเคมีที่กล่าวไปในข้างต้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ กัญญวิทย์ กลิ่นบำรุง (2560) ที่ได้พัฒนารูปแบบการเรียนการสอนโดย ใช้กระบวนการแบบสะเต็มศึกษา สำหรับการศึกษาด้านวิศวกรรมสายส่งความถี่สูง ที่มุ่งเน้นให้ ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการปฏิบัติกิจกรรมในทุกขั้นตอนของกระบวนการเรียนรู้ที่มีความชัดเจนและ เหมาะสม ทำให้ผู้เรียนมีความพึงพอใจและมีแรงจูงใจในการเรียนรู้เพิ่มมากขึ้น

สำหรับข้อเสนอแนะที่นิสิตวิชาชีวเคมีกลุ่มเป้าหมายได้เสนอให้ปรับปรุง ได้แก่ ด้านการบริหารเวลาในการทำกิจกรรม ซึ่งบางขั้นตอนอาจมีระยะเวลาที่สั้นเกินไป ตัวอย่าง ข้อเสนอแนะจากนิสิต มีดังนี้

“เป็นกิจกรรมที่ดีค่ะ บางกิจกรรมสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ ใน ห้องเรียนจริง แต่ว่าบางกิจกรรมยังมีข้อจำกัดในการนำไปใช้อยู่บ้าง ในเรื่องของเวลา เช่น กิจกรรม การทำแม่พิมพ์ ต้องใช้เวลาในการทำค่อนข้างนาน หรือการหาอัตราส่วนของชั้นสนกับสารส้ม ซึ่ง ถ้าหากปรับกิจกรรมตรงนี้ได้ ก็จะทำให้สามารถนำไปใช้ได้ง่ายขึ้นค่ะ”

จากข้อเสนอดังกล่าว จะเห็นได้ว่า นิสิตมีการเสนอแนวทางการนำกิจกรรม สะเต็มศึกษาที่ได้เรียนรู้ ไปประยุกต์ใช้ในห้องเรียนระดับมัธยมศึกษาอีกด้วย โดยเสนอให้ลด ขั้นตอนในการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างสารละลายชั้นสนกับสารละลายสารส้ม เนื่องจาก ใช้ระยะเวลาค่อนข้างนาน จากข้อเสนอดังกล่าวนี้นี้ สะท้อนให้เห็นว่า นิสิตมีแนวคิดที่จะนำกิจกรรม สะเต็มศึกษาที่ได้เรียนรู้ไปปรับใช้ให้สอดคล้องกับบริบทห้องเรียนในอนาคตของนิสิตได้ นับเป็น การจุดประกายความคิดของนิสิตและแสดงให้เห็นถึงนิตเห็นถึงความสำคัญของการจัดการเรียนรู้ด้วย กิจกรรมสะเต็มศึกษาสำหรับครูวิทยาศาสตร์ เมื่อไปปฏิบัติการสอนในโรงเรียน และเห็นถึง ประโยชน์ของทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ที่มีผลต่อการคิดออกแบบกิจกรรมการจัดการ เรียนรู้ของนิสิตด้วย จากการทำวิจัยในครั้งนี้ ทำให้ผู้วิจัยมีความเห็นว่า ทักษะที่สำคัญนี้ควรเป็น สิ่งที่สถาบันผลิตครูควรตระหนักและให้ความสำคัญในการส่งเสริมและพัฒนาแก่นิสิต เพราะการที่ นิสิตวิชาชีวเคมีเหล่านี้จะออกไปพัฒนาให้นักเรียนมีความคิดสร้างสรรค์และสร้างนวัตกรรมได้ นิสิตจำเป็นต้องมีทักษะการคิดสร้างสรรค์และมีความรอบรู้ในด้านการพัฒนานวัตกรรมทาง

การศึกษา ตามที่ระบุไว้ในวัตถุประสงค์ของหลักสูตร ตัวชี้วัดตามกรอบมาตรฐานการอุดมศึกษา รวมถึงมาตรฐานวิชาชีพครูฐานสมรรถนะของครูสภาศึกษาก่อน เพราะหากนิสิตวิชาชีพครูมีทักษะที่สำคัญดังกล่าวแล้ว ก็จะสามารถสร้างนวัตกรรมการจัดการเรียนรู้ เพื่อพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 ของนักเรียนได้ดียิ่งขึ้นต่อไปได้ในอนาคต (วิไลลักษณ์ รัตนเพียรธัมมะ, 2559)

ข้อเสนอแนะ

จากผลการพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตวิชาชีพครู โดยใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส ผู้วิจัยขอเสนอแนะแนวทางการนำกิจกรรมดังกล่าวไปใช้ในอนาคต ดังนี้

1. ข้อเสนอแนะทั่วไป

1.1 ผู้ที่สนใจสามารถนำแนวทางการจัดการเรียนรู้นี้ ไปประยุกต์ใช้กับนิสิตวิชาชีพครูสาขาอื่นได้ โดยศึกษาและทำความเข้าใจขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาและปรับสถานการณ์ปัญหา/เนื้อหาให้สอดคล้องกับสาขาวิชานั้น ๆ ตลอดจนคำนึงถึงความรู้และทักษะพื้นฐานของนิสิตที่จะนำกิจกรรมไปใช้ด้วย

1.2 ควรเพิ่มระยะเวลาในการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้มีเวลาในการเรียนรู้กระบวนการพัฒนานวัตกรรมในรูปแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาเพิ่มมากขึ้น

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรใช้เครื่องมือในการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น แบบสัมภาษณ์ เพื่อให้ได้ข้อมูลสะท้อนกลับ หลังการจัดการเรียนรู้จากนิสิตครบถ้วนมากยิ่งขึ้น

2.2 ควรศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส ที่มีต่อทักษะในศตวรรษที่ 21 ในด้านอื่น ๆ ด้วย เช่น ทักษะการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา

บรรณานุกรม

- Ali Kemal Yetisen, Muhammad Safwan Akram, & Christopher R. Lowe. (2013). Paper-based microfluidic point-of-care diagnostic devices. *Lab on a Chip*, 13, 2210-2251.
- American Chemical Society. (2017). *Safety in Academic Chemistry Laboratories : BEST PRACTICES FOR FIRST- AND SECOND-YEAR UNIVERSITY STUDENTS* (8th ed.). Washington, the United states: American Chemical Society, 1155 Sixteenth Street, NW Washington, DC 20036.
- Breiner, J. M., Harkness, S. S., Johnson, C. C., & C. M. Koehler. (2012). What is STEM? A discussion about conceptions of STEM in education and partnerships. *School Science and Mathematics*, 122(1), 3-11.
- Brophy D.R. (2006). A Comparison of Individual and Group Efforts to Creativity Solve Contrasting Types of Problems. *Creativity Research Journal*, 18(3), 293-315.
- Career and Technical Education in Washington (2017). 21st Century Skills Standards Rubrics. Retrieved from
- Charles R.M. (2016). why STEM? *Technology & Engineering Teacher*, 75(6), 30-35.
- Chen, G. (2012). The Rising Popularity of STEM: A Crossroads in Public Education or a Passing Trend? Retrieved from www.publicschoolreview.com/articles/408
- Demircioglu G., Ayas, A., & H. Demircioglu. (2005). "Conceptual change achieved through a new teaching program on acids and bases.". *Chemistry Education Research and Practice*, 6(1), 36-51.
- Derek A. Bruzewicz, Meital Reches, & George M Whitesides. (2008). Low-Cost Printing of Poly(dimethylsiloxane) Barriers To Define Microchannels in Paper. *Analytical Chemistry*, 80(9), 3387-3392.
- Dewey J. (1938). *Experience and education*. New York: Macmillan.
- Dugger, W. E. (2010). *Evolution of STEM in the United States*. United States.
- Gary D. Christian, P. K. D., Kevin A. Schug,. (2013). *Analytical Chemistry*. The United States: Wiley.

- Guilford, J. P. (1950). Creativity. *American Psychologist*, 5, 444-454.
- Hathcock, S. J., Dickerson, D. L., Eckhoff, A., & Katsioloudil, P. (2015). Scaffolding for Creative Product Possibilities in a Design-Based STEM Activity. *Research in Science Education*, 45(5), 727-748. doi:10.1007/s11165-014-9437-7
- International Society for Technology in Education. (2007). *National educational technology standards for students* Eugene: OR: Author.
- Jane Piirto. (2011). *Creativity for 21st Century Skills* Netherlands Sense Publishers.
- Jirayu Sitanurak, N. F., Thinnapong Wongpakdee, Yanisa Thepchuay, Nuanlaor Ratanawimarnwong, Taweetchai Amornsakchai, Duangjai Nacapricha. (2019). T-shirt ink for one-step screen-printing of hydrophobic barriers for 2D- and 3D-microfluidic paper-based analytical devices. *Talanta*, 205(2019), 1-10.
- Kaufman, J. C. (2019). *Creativity and Innovation in STEM Education*. Paper presented at the 2019 International Conference on Knowledge, Innovation and Enterprise DUBAI, UAE. <https://kiecon.org/wp-content/uploads/2018/07/Creativity-and-Innovation-in-STEM-Education.pdf>
- Kolb D.A. (2014). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Indiana: FT Press.
- Kuenzi, J. J. (2008). Science, technology, engineering, and mathematics (stem) education: Background, federal policy, and legislative action. Retrieved from <https://fas.org/sgp/crs/misc/RL33434.pdf>
- Lantz, H. B. (2009). Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education What Form? What Function? Retrieved from <http://www.currtechintegrations.com/pdf/STEMEducationArticle.pdf>
- Li, Y., Schoenfeld, A. H., diSessa, A. A., Graesser, A. C., Benson, L. C., English, L. D., . . . et al. (2019). Design and Design Thinking in STEM Education. *Journal for STEM Education Research*, 2(2), 93-104. doi:10.1007/s41979-019-00020-z
- Manar El-Sayed Abdel-Raouf. (2018). Rosin: Chemistry, Derivatives, and Applications: a review. *BAOJ Chemistry*, 4(1), 9.
- Manar El-Sayed Abdel-Raouf, A.-R. M. A.-R. (2018). Rosin: Chemistry, Derivatives, and

- Applications: a review. *BAOJ Chemistry*, 4(39), 1-16.
- Maslen C. (2017). How STEAM Education Can Help Shape the Creative Leaders of Tomorrow. Retrieved from <https://insights.samsung.com/2017/01/26/how-steameducation-can-help-shape-the-creative/>
- Museum of Science. (2007). Engineer is elementary: Engineering for children. Retrieved from www.mos.org/eie/index.php
- Nilghaz A., Liu X., & Ma L. (2019). Development of fabric-based microfluidic devices by wax printing. *Cellulose* 1-11.
- Ogunleye, J., & Tankeh, A. (2006). Creativity and innovation in IT Industry: an assessment of trends in research and development expenditures and funding with particular reference to IBM, HP, Dell, Sun, Fujitsu and Oracle. *Journal of Current Research in Global Business*, 9(14).
- Papert S., H. I. (1991). *Constructionism*. Norwood, NJ: Ablex Publishing.
- Partnership for 21st Century Skills. (2007). Framework for 21st century learning. Retrieved from <http://www.p21.org/our-work/p21-framework>
- Partnership for 21st Century Skills. (2008). 21st century skills, education & competitiveness: A resource and policy guide. Retrieved from [www.21stcenturyskills.org/documents/21st century skills education and competitiveness guide.pdf](http://www.21stcenturyskills.org/documents/21st_century_skills_education_and_competitiveness_guide.pdf).
- Pithakpong Namwong, Purim Jarujamrus, Maliwan Amatatongchai, & Sanoe Chairam. (2018). Fabricating Simple Wax Screen-Printing Paper-Based Analytical Devices To Demonstrate the Concept of Limiting Reagent in Acid-Base Reactions. *Journal of Chemical Education*(95), 305-309.
- Prapassorn Wongdee. (2019). The Development of Activity-Based Learning Model to Enhance Research Skills for Pre-service teachers of Industrial Education, Faculty of Industrial Education and Technology, KMUTT. *Journal of Humanities, Arts and Social Sciences Studies*, 19(1), 182-220.
- Rathod M., K. B. (2005). Experimental Investigation on latent heat storage unit using paraffin wax as phase change material. *Int J Green Energy*, 2(1), 40-55.

- Robert M. Capraro, Mary Margaret Capraro, & James R. Morgan. (2013). *STEM Project-based learning*. Texas: Sense publisher.
- Roderic, W. L. (2001). The design process. Retrieved from www.micron.com/students/engineer/design.html
- Shingo Karita, & Takashi Kaneta. (2014). Acid–Base Titrations Using Microfluidic Paper-Based Analytical Devices. *Analytical Chemistry*, 86(24), 12108-12114.
doi:10.1021/ac5039384
- Skoog, A. D., West, M. D., & Holler, F. J. (1996). *Analytical Chemistry* (J. Bortel Ed. 7 ed.). United States of America: Suanders College Publishing.
- The Stanford d.school Bootcamp Bootleg (HPI). (2010). An Introduction to Design Thinking PROCESS GUIDE. Retrieved from <https://dschool-old.stanford.edu/sandbox/groups/designresources/wiki/36873/attachments/74b3d/ModeGuideBOOTCAMP2010L.pdf>
- Towns, M. H., Raker, J. R., Becker, N., Harle, M., Sutcliffe, J., & et al. (2012). The biochemistry tetrahedron and the development of the taxonomy of biochemistry external representations (TOBER). *Chem. Educ. Res. Pract.*, 13(3), 296–306.
- Vasquez, J. A., Comer, M., & Sneider, C. (2013). *STEM Lesson Essentials, Grades 3-8: Integrating Science, Technology, Engineering, and Mathematics*: Heinemann.
- Wells J. T. (2016). PIRPOSAL model of Integrative STEM education: CONCEPTUAL AND PEDAGOGICAL FRAMEWORK FOR CLASSROOM IMPLEMENTATION.
Technology & Engineering Teacher, 75(6), 12-19.
- Whitesides G.M., Martinez A.W., Phillips S.T., & Butte M.J. (2007). Patterned paper as a platform for inexpensive, low-volume, portable bioassays. *Angewandte Chemie International Edition*, 46(8), 1318-1320.
- Williamson R. J. (2010). A Study of Creative Problem Solving Skill: The Difference between Art and Science Students. *Creativity Research Journal*, 22(1), 86-101.
- Zhang Yun, Zhou Caibin, Nie Jinfang, Le Shangwang, Qin Qun, Liu Fang, . . . et al. (2014). Equipment-Free Quantitative Measurement for Microfluidic Paper-Based Analytical Devices Fabricated Using the Principles of Movable-Type Printing. *Analytical*

Chemistry, 86(4), 2005-2012. doi:10.1021/ac403026c

- กนกทิพย์ ยาทองไชย. (2559). การพัฒนาชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง ปิโตรเลียมและพลังงานทดแทน เพื่อส่งเสริมการคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. (ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (เคมี)), บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.
- กนกวรรณ พิสน์เพียะ, & ยุภาพร สมิน้อย. (2557). อุปกรณ์แบบกระดานสำหรับวิเคราะห์แอลกอฮอล์โดยอาศัยการตรวจวัดทางเอนไซม์. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 6, 160-166.
- กมลฉัตร กล่อมอิม. (2559). การจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการสะเต็มศึกษา สำหรับนักศึกษาวิชาชีพครู. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์, 18(4).
- กมลรัตน์ เทอร์เนอร์. (2561). ผลการใช้การเรียนรู้แบบโครงงานสะเต็มเพื่อส่งเสริมทักษะศตวรรษที่ 21 ในนักศึกษาวิทยาลัยพยาบาล. วารสารมหาวิทยาลัยบูรพา.
- กัญญวิทย์ กลิ่นบำรุง. (2560). การพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนโดยใช้กระบวนการแบบสะเต็มศึกษา สำหรับการศึกษาด้านวิศวกรรมสายส่งความถี่สูง. (วิทยานิพนธ์ดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าศึกษา), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.
- เกรียงไกร พลະสนธิ. (2559). การพัฒนารูปแบบคลาวด์เลิร์นนิ่งแบบสะเต็มด้วยเทคโนโลยีความเป็นจริงเสริม เพื่อพัฒนาทักษะการสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี. (วิทยานิพนธ์ วท.ม. สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อการศึกษา), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.
- เกรียงศักดิ์ วิเชียรสร้าง. (2560). ผลของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี ความสามารถในการแก้ปัญหา และความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6. (ปริญญานิพนธ์ ศษ.ม. หลักสูตรและการสอน), มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.
- แก้วใจ พัวหนกนิรุญ. (2541). ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับบทบาทปฏิบัติการทดลองเคมีของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายในจังหวัดเชียงใหม่. (ปริญญานิพนธ์ ศษ.ม. สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน), บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- คณะวิทยาศาสตร์ และคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. (2560). หลักสูตรการศึกษาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี (5 ปี) (หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2560). กรุงเทพฯ: คณะ

- วิทยาศาสตร์ และคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- จุฬาลักษณ์ น้อยพวง. (2555). การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ สำหรับตรวจวัดระดับกลูโคสจากเลือดครบส่วน ด้วยหลักการเคมีไฟฟ้า. (วิทยานิพนธ์ วท.ม. ชีวเคมีคลินิกและอณูทางการแพทย์), คณะสหเวชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ชัยยงค์ พรหมวงศ์. (2521). เทคโนโลยีทางการสอนและการศึกษา. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- ชาญณรงค์ วิเศษสัตย์. (2561). แนวทางการจัดการเรียนรู้ ส่งเสริมทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมของ นักศึกษาวิชาชีพครู. วารสารบริหารการศึกษาบัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, 18(4).
- ชูลีพร ปิ่นธนาสุวรรณ. (2556). ผลการเรียนรู้แบบอีเลิร์นนิ่งด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะเพื่อ แก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี วิชาชีพครู. (วิทยานิพนธ์ ศษ.ม. สาขาวิชาเทคโนโลยีการศึกษา), บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.
- ชูศรี วงศ์รัตน์. (2553). เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย. กรุงเทพฯ: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ.
- ฐิตียา เนตรวงษ์. (2561). สะเต็มในระดับอุดมศึกษาเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 9(3).
- ณพงศ์ วรรณพิรุณ. (2559). รูปแบบการเรียนการสอนแบบสะเต็มศึกษาในสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ แบบห้องเรียนกลับด้านเพื่อเสริมสร้างทักษะความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. วารสารการอาชีวและเทคนิคศึกษา, 6(12).
- ณมน จีรังสุวรรณ. (2558). การปฏิรูปการศึกษาไทย เพื่อพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21. พัฒนา เทคนิคศึกษา, 27(39).
- ณัฐวิภากร คำชู. (2561). การพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่อง สารละลาย : เจลพลังงาน สูงเพื่อพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ระดับชั้น มัธยมศึกษาตอนปลาย. วิทยานิพนธ์ (กศ.ม. (เคมี)) -- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2561.
- ณัฐศาสตร์ เหมือนมั่น. (2560). การพัฒนากระบวนการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ในรายวิชาการ พัฒนาหลักสูตร สำหรับนักศึกษาศาสนาวิชาชีพครูช่างอุตสาหกรรม. (วิทยานิพนธ์ ค.อ.ม. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า), บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,

กรุงเทพฯ.

ไตรรงค์ เปลี่ยนแสง, ธนสาร เพ็งพุ่ม, & อนงค์ ศรีโสภา. (2560). การพัฒนาชุดปฏิบัติการเคมีใช้หลักการของไหลจุลภาคแบบกระดาด. รายงานการประชุมสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 4 สถาบันวิจัย สถาบันราชภัฏกำแพงเพชร 4, 1061-1068.

ธนอมพร เลหาจรัสแสง. (2556). การเรียนรู้ในยุคสมัยหน้า : ตอน อนาคตครูไทย ครูพันธุ์ C.

Retrieved from <http://thanompo.edu.cmu.ac.th/load/journal/50-51/Cteachers.pdf>

ธนกฤตา แจ่มดวง. (2561). แนวทางการพัฒนาทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมของนักศึกษา มหาวิทยาลัยศิลปากรตามนโยบายประเทศไทย 4.0. *Journal of Management Science Nakhon Pathom Rajabhat University*, 5(2).

นนท์ชนิต อาชวพร และคนอื่น ๆ. (2015). อัตลักษณ์ครูเชิงสร้างสรรค์นวัตกรรมสำหรับศตวรรษที่ 21 ของนิสิตนักศึกษาครู: การประเมินความต้องการจำเป็น. วารสารอิเล็กทรอนิกส์ทางการศึกษา, 10(4), 125-138.

นรพนธ์ คนสูง. (2561). การพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่องปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อส่งเสริมแนวคิดทางเคมีและทักษะในศตวรรษที่ 21 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. ปรินิพนธ์ (กศ.ม. (เคมี)) -- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2561.

นารถยา ปิลันธนานนท์. (2543). การเรียนรู้แบบร่วมมือ. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

น้ำทิพย์ อองอาจฉิมชัย. (2556). การพัฒนาแบบวัดทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ตามการรับรู้ของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น : การประยุกต์ใช้แนวคิดการเข้าถึงคุณลักษณะที่มุ่งวัดของแบบสอบ. (ปริญาครุศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการวัดและประเมินผลการศึกษา), คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

บุญเกื้อ คอหาเวช. (2545). นวัตกรรมการศึกษา. กรุงเทพฯ: เอสที พรินติ้ง.

ประภรณ์ เลิศสุวรรณไพศาล, พัทธชัย อยู่มี, & อนงค์ ศรีโสภา. (2559). การพัฒนาเทคนิคการไทเทรตโดยใช้หลักการไมโครสเกล สำหรับใช้ในห้องเรียนวิทยาศาสตร์. วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, 10(2), 18-35.

พรพรรณ ไวย่างกูร (Producer). (2558, 18 เมษายน พ.ศ.2562). ทิศทางของสะเต็มศึกษาในประเทศไทย. Retrieved from

https://www.nstda.or.th/sciencecamp/th/file/STEM%20Day2015_STEM%20Thai.pdf

พรณี ลีกิจวัฒน์. (2558). วิธีการวิจัยทางการศึกษา = *Research methods in education*.

กรุงเทพฯ ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง.

พลศักดิ์ แสงพรมศรี. (2558). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และเจตคติต่อการเรียนวิชาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษากับแบบปกติ. (วิทยานิพนธ์ วท.ม.เคมีศึกษา), มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.

พัฒนานุสรณ์ สถาพรวงศ์. (2533). การพัฒนารูปแบบการสอนเพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา. (วิทยานิพนธ์ ค.ด. จิตวิทยา), บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

เพชรศิรินทร์ ตุ่นคำ. (2559). การพัฒนาชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่อง สารชีวโมเลกุล : โปรตีนและลิพิดเพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. (ปริญญา นิพนธ์ กศ.ม. เคมี), บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ไพฑูรย์ สีนารัตน์. (2557). ครูในศตวรรษที่ 21. วารสารวิชาการ.

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. (2556). รายละเอียดของหลักสูตร การศึกษาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี (5 ปี) หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ.2556 (มคอ.2). กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

มารศรี แนวจำปา. (2561). แนวทางการพัฒนาการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ของนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี. วารสารศรีวันาลัยวิจัย, 8(2).

วนิดา หลายวัฒนไพศาล, อรวรรณ ชัยลภากุล, ชาร์ลส์ เฮนรี, วิจิตรา เดือนฉาย, & เต็มศิริ ทรงเจริญ. (2555). การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ สำหรับตรวจวัดตัวบ่งชี้ทางชีวภาพจากเลือดครบถ้วน.

วรรณค์ ทองสมบัติ. (2549). การผลิตใยอาหารและน้ำฝรั่งพร้อมดื่มเต็มใยอาหารจากผลฝรั่ง. (วิทยานิพนธ์ วท.ม. เทคโนโลยีอาหาร), มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วิชยานนท์ สุทธิโส. (ม.ป.ป.). ทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21: ความท้าทายของมหาวิทยาลัยราชภัฏ. Retrieved from [https://www.tci-](https://www.tci-thaijo.org/index.php/AJPU/article/view/63839/80979)

[thaijo.org/index.php/AJPU/article/view/63839/80979](https://www.tci-thaijo.org/index.php/AJPU/article/view/63839/80979)

วิชาญ ทรายอ่อน. (2559). Academic Focus ประเทศไทย 4.0, 2. Retrieved from <http://dl.parliament.go.th/handle/lirt/493129>

วิไลลักษณ์ ผ่านเมือง. (2560). การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยรูปแบบสะเต็มศึกษาในรายวิชาเคมี เรื่อง พอลิเมอร์ สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6. (ปริญญา นิพนธ์ ค.ม. วิทยา

- ศาสตรศึกษา), บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, มหาสารคาม.
- วิไลลักษณ์ รัตนเพียรธัมมะ. (2559). นวัตกรรมการศึกษาในการพัฒนาทักษะ เพื่อการดำรงชีวิตในศตวรรษที่ 21. วารสารรวมพฤษ มหวิทยาลัยเกริก, 34(3).
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2545). คู่มือการจัดการเรียนรู้กลุ่มสาระวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ โรงพิมพ์คุรุสภา.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557). สะเต็มศึกษา. Retrieved from http://www.stemedthailand.org/?page_id=23
- สนธิ พลชัยยา. (2557). สะเต็มศึกษากับการคิดขั้นสูง. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 42(189), 7-10.
- สมจิต สวณไพบูลย์. (2535). ธรรมชาติวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ: ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2559). ทักษะคนไทยในศตวรรษที่ 21 ความท้าทายในการพัฒนา. วารสารเศรษฐกิจและสังคม, 53(1).
- สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา. (2561). มาตรฐานการอุดมศึกษาและแนวทางการนำมาตรฐานสู่การปฏิบัติ. Retrieved from <http://www.mua.go.th/users/bhes/bhes2/Standard%20of%20Higher%20Education-14-9-61/06>
- สำนักงานรับรองมาตรฐานและประเมินคุณภาพการศึกษา (องค์การมหาชน). (2558). รายงานการสังเคราะห์ผลการประเมินคุณภาพภายนอกรอบสาม (พ.ศ.2554-2558) ของสถาบันอุดมศึกษา. Retrieved from กรุงเทพฯ: <https://www.tci-thaijo.org/index.php/phdssj/article/view/81046>
- สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2559). รายงานการวิจัยเพื่อจัดทำข้อเสนอแนะนโยบายการส่งเสริมการจัดการศึกษาด้านสะเต็มศึกษาของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: บริษัท พริกหวานกราฟิค จำกัด.
- สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2560). สมรรถนะการศึกษาไทยในเวทีสากล ปี 2560. กรุงเทพฯ บริษัท 21 เซ็นจูรี จำกัด.
- สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษาแห่งชาติ. (2559). รายงานสภาวะการศึกษาไทย ปี 2557/2558 จะปฏิรูปการศึกษาไทยให้ทันโลกในศตวรรษที่ 21 ได้อย่างไร. กรุงเทพฯ.
- สิริพัทธ์ เจษฎาวิโรจน์. (ม.ป.ป.). การจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการ. กรุงเทพฯ ภาควิชาหลักสูตรและ

การสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

- สุธารินี จันทร์คุ. (2559). ผลของการใช้ชุดกิจกรรมแนะแนวเพื่อพัฒนาทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมในศตวรรษที่ 21 ของนักศึกษาระดับชั้นปีที่ 4 คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก. (วิทยานิพนธ์ ศษ.ม. สาขาวิชา การแนะแนวและการปรึกษาเชิงจิตวิทยา), บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก.
- สุทธิดา จำรัส. (2559). สะเต็มศึกษาบนเส้นทางวิชาการรับใช้สังคม: จุดเปลี่ยนการเรียนรู้สู่อนาคต. วารสารศึกษาศาสตร์ปริทัศน์, 31(3), 34-47.
- สุทธิดา จำรัส. (2560). นิยามของสะเต็มและลักษณะสำคัญของกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา. วารสารศึกษาศาสตร์ มสธ., 10(2), 13-34.
- สุพรรณิชา ชาญประเสริฐ. (2556). การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21. นิตยสาร สสวท., 42(185).
- อนันต์ จันทร์กวี. (2525). โครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีปรีชาญาณทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. วิทยาจารย์, 7, 3-10.
- อนุรักษ์ เมฆพะโยม. (2557). การพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนแบบ P-CSDE สำหรับการศึกษาด้านวิศวกรรมโทรคมนาคม ระดับปริญญาตรี. (วิทยานิพนธ์ ปร.ด. สาขาวิชาไฟฟ้าศึกษา), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- อภิสิทธิ์ ธงไชย. (2557). สะเต็มศึกษา. Retrieved from www.knw.ac.th/UserFiles/files/STEM1.pdf
- อภิสิทธิ์ ธงไชย. (2559). ความสำคัญของวิศวกรรมในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในศตวรรษที่ 21. วารสารศึกษาศาสตร์ปริทัศน์, 31(3), 48-51.
- อรพรรณ พรสีมา. (2540). โครงการพัฒนาคุณภาพการเรียนการสอน ทฤษฎีการเรียนรู้แบบมีส่วนร่วม ต้นแบบการเรียนรู้ทางด้านหลักทฤษฎีและแนวปฏิบัติ. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี.
- อิทธิพัทธ์ สุวทันพรกุล. (2561). การวิจัยทางการศึกษา : แนวคิดและการประยุกต์ใช้. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



ภาคผนวก





**หนังสือยืนยันการยกเว้นการรับรอง
คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**

(เอกสารนี้เพื่อแสดงว่าคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ ได้พิจารณาโครงการวิจัยนี้)

ชื่อโครงการวิจัย : การพัฒนากิจกรรมส่งเสริมศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ
เรื่อง สารละลายกรด-เบส เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างและนวัตกรรม สำหรับนิสิตวิชาชีพ
ครู
ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย : นายวิวัฒน์ จำปาทอง
หน่วยงานต้นสังกัด : คณะวิทยาศาสตร์
รหัสโครงการวิจัย : SWUEC-G-229/2562X

โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการวิจัยที่เข้าข่ายยกเว้น (Research with Exemption from SWUEC)

วันที่ยืนยัน : 6 มกราคม 2563

ยืนยันโดย : คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

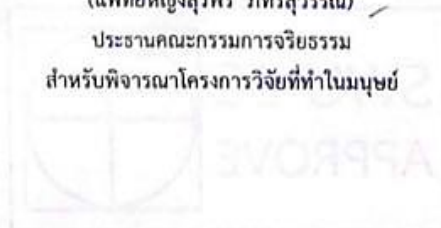
คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ดำเนินการ
รับรองโครงการวิจัยตามแนวทางหลักจริยธรรมการวิจัยในคนที่เป็นสากล ได้แก่ Declaration of Helsinki, the
Belmont Report, CIOMS Guidelines และ the International Conference on Harmonization in Good Clinical
Practice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

ออกให้ ณ วันที่ 27 มกราคม 2563

(ลงชื่อ).....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทันตแพทย์หญิงณปภา เอี่ยมจิตรกุล)
กรรมการและเลขานุการคณะกรรมการจริยธรรม
สำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

หมายเลขรับรอง : SWUEC/X/G-229/2562

(ลงชื่อ).....
(แพทย์หญิงสุวิพร ภัทรสุวรรณ)
ประธานคณะกรรมการจริยธรรม
สำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์





บันทึกข้อความ

ส่วนงาน งานบริหารและธุรการ บัณฑิตวิทยาลัย โทร. 15644

ที่ อว 8718.1/20๖1

วันที่ 21 พฤศจิกายน 2562

เรื่อง ขออนุมัติขอความเห็นชอบเพื่อการวิจัย

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

เนื่องด้วย นายวิวัฒน์ จำปาทอง นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษ เรื่องสารละลายกรด – เบส เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับ นิสิตวิชาชีพครู” โดยมี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ดร.บัณฑิต อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นวลละออ รัตนวิมานวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ในการนี้ นิสิตขออนุมัติขอความเห็นชอบ โดยใช้ 1) แผนการสอนหรือแผนการจัดการเรียนรู้ กิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด – เบส และ 2) แบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม กับนิสิตระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาเคมี จำนวน 22 คน เพื่อเป็นข้อมูลในการวิจัย และขอใช้สถานที่ภาควิชาเคมี ระหว่างเดือนมกราคม 2563 ถึงเดือน มีนาคม 2563 ทั้งนี้ นิสิตจะเป็นผู้ประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป และสามารถสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ 061 653 2892

จึงเรียนมาเพื่อพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิพงศ์ วัฒนานนท์สกุล)

รองคณบดีฝ่ายบริหารและวางแผน รักษาการแทน

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย



รายนามผู้เชี่ยวชาญ

ด้านเนื้อหา

รองศาสตราจารย์ ดร.รัชก ทองน้ำ

อาจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

อาจารย์ ดร.ฉัตรรัตน์ แม่นทิม

อาจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ

อาจารย์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ด้านการวัดผลและวิจัยการศึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพัทธ์ สุธันนพรกุล

อาจารย์ ภาควิชาการวัดผลและวิจัยการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

**ผลการประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้
อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส**

การแปลความหมาย ใช้ค่าเฉลี่ยคะแนน โดยแบ่งออกเป็น 5 ระดับ คือ

ค่าเฉลี่ย 4.50-5.00 หมายถึง มีความเหมาะสมมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.50-4.49 หมายถึง มีความเหมาะสมมาก

ค่าเฉลี่ย 2.50-3.49 หมายถึง มีความเหมาะสมปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.50-2.49 หมายถึง มีความเหมาะสมน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00-1.49 หมายถึง มีความเหมาะสมน้อยที่สุด

ตาราง 1 ผลการประเมินความเหมาะสมขององค์ประกอบกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์
ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	$\bar{X}$	SD	ระดับความเหมาะสม
	1	2	3				
1. ด้านจุดประสงค์ของกิจกรรมสะเต็มศึกษา							
1.1 ส่งเสริมความสามารถในการบูรณาการความรู้ระหว่างสาระวิชา	5	4	5	14	4.67	0.58	มากที่สุด
2. ด้านแนวคิดสำคัญของสะเต็มศึกษา							
2.1 การกระตุ้นความสนใจของนิสิตวิชาชีพครู	5	5	4	14	4.67	0.58	มากที่สุด
2.2 เชื่อมโยงกับสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน	4	5	5	14	4.67	0.58	มากที่สุด
2.3 ส่งเสริมความสามารถในการบูรณาการความรู้ระหว่างสาระวิชานำมาสู่การสร้างสรรค์นวัตกรรม	4	5	5	14	4.67	0.58	มากที่สุด

ตาราง 1 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	$\bar{X}$	SD	ระดับความเหมาะสม
	1	2	3				
3. ด้านการดำเนินกิจกรรมส่งเสริมศึกษาตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม							
3.1 การนำเสนอสถานการณ์ปัญหาที่น่าสนใจและเชื่อมโยงกับสถานการณ์จริงในชีวิตประจำวัน	4	5	4	13	4.33	0.58	มาก
3.2 ระยะเวลาในการรวบรวมข้อมูล แนวคิดที่เกี่ยวข้องและออกแบบวิธีการแก้ปัญหา	5	4	3	12	4.00	1.00	มาก
3.3 เปิดโอกาสให้คิดได้วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหาด้วยตนเอง	5	5	4	14	4.67	0.58	มากที่สุด
3.4 เกณฑ์การประเมินการออกแบบผลงานและการประเมินผลงานตามสภาพจริง	5	5	4	14	4.67	0.58	มากที่สุด
3.5 เกณฑ์การนำเสนอผลการแก้ปัญหาหรือนวัตกรรมที่สร้างขึ้น	5	5	4	14	4.67	0.58	มากที่สุด
3.6 แนวทางการใช้ประโยชน์จากนวัตกรรมที่สอดคล้องกับสถานการณ์ปัญหาที่กำหนดขึ้น	5	5	4	14	4.67	0.58	มากที่สุด
4. ด้านรูปแบบของเล่มกิจกรรมส่งเสริมศึกษา							
4.1 เนื้อหาถูกต้องและครอบคลุม	5	5	4	14	4.67	0.58	มากที่สุด
4.2 มีการจัดลำดับเนื้อหาที่เหมาะสม	5	4	5	14	4.67	0.58	มากที่สุด

ตาราง 1 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	$\bar{X}$	SD	ระดับความเหมาะสม
	1	2	3				
4.3 เนื้อหาเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด	4	5	4	13	4.33	0.58	มาก
4.4 เนื้อหาเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน	5	5	4	14	4.67	0.58	มากที่สุด
4.5 ไขภาษาที่เข้าใจง่าย	5	5	5	15	5.00	0.00	มากที่สุด
4.6 ความถูกต้องของการใช้ภาษา	5	4	4	13	4.33	0.58	มาก
4.7 การใช้ภาษาน่าสนใจ กระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้	4	5	4	13	4.33	0.58	มาก
4.8 ภาษาที่ใช้เหมาะสมกับวัยของผู้เรียน	5	5	4	15	5.00	0.00	มากที่สุด
5. ด้านการประเมินผล							
5.1 การประเมินผลเหมาะสมกับวัยของผู้เรียน	5	5	5	15	5.00	0.00	มากที่สุด
5.2 จำนวนรายการประเมิน/ข้อคำถามเหมาะสม	5	5	5	15	5.00	0.00	มากที่สุด
5.3 ข้อคำถามเข้าใจง่าย ไม่กำกวม	5	4	5	14	4.67	0.58	มากที่สุด
ค่าความเหมาะสมเฉลี่ยขององค์ประกอบกิจกรรมสะเต็มศึกษา					4.64	0.26	มากที่สุด

ผลการประเมินความสอดคล้องของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส

ตาราง 2 ผลการประเมินความสอดคล้องของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			IOC	การพิจารณา
	1	2	3		
1.1 จุดประสงค์สอดคล้องคำอธิบาย รายวิชา คศ 481 หัวข้อพิเศษทางเคมีศึกษา ตามหลักสูตรการศึกษาระดับชั้น สาขาวิชาเคมี (หลักสูตร 5 ปี) (ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560) ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	+1	+1	0	0.67	ใช้ได้
1.2 จุดประสงค์สอดคล้องคำอธิบายรายวิชา คศ 481 หัวข้อพิเศษทางเคมีศึกษา	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
2.1 เนื้อหาสอดคล้องกับจุดประสงค์ของ กิจกรรม	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
3.1 กิจกรรมสะเต็มศึกษาสอดคล้องกับ จุดประสงค์	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
3.2 กิจกรรมสะเต็มศึกษาสอดคล้องกับเนื้อหา	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
3.3 กิจกรรมสะเต็มศึกษาสอดคล้องกับการ ประเมินผล	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
3.4 กิจกรรมสะเต็มศึกษาสอดคล้องกับการ ส่งเสริมและพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์ และนวัตกรรม	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้

ตาราง 2 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			IOC	การพิจารณา
	1	2	3		
4.1 การประเมินผลสอดคล้องกับจุดประสงค์	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
4.2 การประเมินผลมีความสอดคล้องกับเนื้อหา	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้

**ผลการประเมินความสอดคล้องขององค์ประกอบแบบประเมินทักษะการ
ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม องค์ประกอบที่ 1 การคิดสร้างสรรค์**

ตาราง 3 ผลการประเมินความสอดคล้องขององค์ประกอบแบบประเมินทักษะการความคิด
สร้างสรรค์และนวัตกรรม องค์ประกอบที่ 1 การคิดสร้างสรรค์ โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	การพิจารณา
	1	2	3		
1.1 เสนอเทคนิควิธีการที่หลากหลายในการ ออกแบบผลงานหรือวิธีแก้ปัญหา จากการ ระดมพลังสมอง การคิดอุปมาอุปไมย การ สร้างสรรค์ความคิดใหม่โดยต่อยอดจากความรู้ เดิมหรือจากการใช้เทคโนโลยีในการรวบรวม ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	+1	+1	+1	3	ใช้ได้
1.2 เสนอวิธีการหรือความคิดในการแก้ปัญหา หรือสร้างสรรค์ผลงานที่แตกต่างจากนิสิตกลุ่ม อื่น ๆ หรือแหล่งการเรียนรู้ที่ได้กำหนดให้	+1	+1	+1	3	ใช้ได้

ตาราง 3 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			IOC	การพิจารณา
	1	2	3		
1.3 การวางแผนอย่างละเอียด รอบคอบ โดยผ่านการกลั่นกรองความคิดออกมาเป็นลำดับขั้นตอนที่ชัดเจนและนำไปปฏิบัติได้จริง	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
1.4 การวิเคราะห์ และประเมินความคิด เพื่อปรับปรุงผลงานที่แสดงถึงความพยายาม	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้

ผลการประเมินความสอดคล้องขององค์ประกอบแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม องค์ประกอบที่ 2 การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์

ตาราง 4 ผลการประเมินความสอดคล้องขององค์ประกอบแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม องค์ประกอบที่ 2 การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			IOC	การพิจารณา
	1	2	3		
2.1 เสนอความคิดของตนเองให้กับสมาชิกในกลุ่ม โดยการอธิบาย การยกตัวอย่าง การอภิปราย การให้เหตุผล จนนำไปสู่การสร้างสรรค์หรือปรับปรุงผลงาน/วิธีการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
2.2 การเปิดใจรับฟังและเคารพความคิดของผู้อื่น เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ทั้งภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม จนนำไปสู่การพัฒนาระบบการทำงานที่มีประสิทธิภาพ	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้

ตาราง 4 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			IOC	การพิจารณา
	1	2	3		
2.3 การรู้จักบทบาทหน้าที่ที่ได้รับมอบหมาย และ มีความรับผิดชอบในการทำงานกลุ่มอย่างเต็มความสามารถ	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
2.4 เข้าใจในเงื่อนไขหรือปัญหาของการทำงาน จนนำไปสู่การแก้ปัญหาหรือสร้างสรรค์ผลงาน	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
2.5 การนำอุปสรรค ปัญหาที่พบในระหว่างการทำงานมาปรับใช้ในการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาหรือผลงานให้ดีขึ้นในครั้งต่อไป	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้

ผลการประเมินความสอดคล้องขององค์ประกอบแบบประเมินทักษะการความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม องค์ประกอบที่ 3 การใช้นวัตกรรม

ตาราง 5 ผลการประเมินความสอดคล้องขององค์ประกอบแบบประเมินทักษะการความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม องค์ประกอบที่ 3 การใช้นวัตกรรม โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			IOC	การพิจารณา
	1	2	3		
3.1.1 คุณภาพผลงาน (พิจารณาตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในเล่มกิจกรรม)	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
3.2.1 ความถูกต้อง (ช่วงของคาร์อยละความคลาดเคลื่อน)	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้

ตาราง 5 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			IOC	การพิจารณา
	1	2	3		
3.2.2 ความสามารถในการทำซ้ำ (ช่วงของค่าร้อยละการเบี่ยงเบน มาตรฐานสัมพัทธ์ (% RSD) หรือสัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.) ในการทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง)	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
3.2.3 ความสะดวกในการใช้งาน	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
3.3.1 องค์ประกอบของการ นำเสนอ	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
3.3.2 รูปแบบการนำเสนอ	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
3.3.3 ความสามารถในการ นำเสนอ (Performance)	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
3.3.4 การเสนอแนวทางการนำ องค์ความรู้ที่ได้รับหรือนวัตกรรม ที่สร้างขึ้นไปใช้ประโยชน์อย่าง สร้างสรรค์และคุ้มค่า	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
3.3.5 ความสอดคล้องของ นวัตกรรมที่พัฒนาขึ้นกับปัญหา และจุดมุ่งหมายของการสร้าง นวัตกรรม	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้

ผลการประเมินความเหมาะสมของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส จากการทดลองใช้กับนิสิตวิชาชีพครูที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมาย

ผู้วิจัยได้แบ่งการแปลความหมายของค่าเฉลี่ยคะแนนเหมาะสมออกเป็น 5 ระดับ คือ

ค่าเฉลี่ย 4.50-5.00 หมายถึง มีความเหมาะสมมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.50-4.49 หมายถึง มีความเหมาะสมมาก

ค่าเฉลี่ย 2.50-3.49 หมายถึง มีความเหมาะสมปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.50-2.49 หมายถึง มีความเหมาะสมน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00-1.49 หมายถึง มีความเหมาะสมน้อยที่สุด

ตาราง 6 ผลประเมินความเหมาะสมของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส จากการทดลองใช้กับนิสิตวิชาชีพครูที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมาย

รายการประเมิน	ผลการประเมิน เฉลี่ย ($\bar{X}$, n = 9)	S.D.	ระดับ ความ เหมาะสม
1. ด้านจุดประสงค์ของกิจกรรมสะเต็มศึกษา			
1.1 ส่งเสริมความสามารถในการบูรณาการ ความรู้ระหว่างสาระวิชา	4.50	0.50	มากที่สุด
คะแนนเฉลี่ยรายด้าน	4.50	0.50	มากที่สุด
2. ด้านแนวคิดสำคัญของสะเต็มศึกษา			
2.1 การกระตุ้นความสนใจของนิสิตวิชาชีพครู	4.44	0.53	มาก
2.2 เชื่อมโยงกับสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน	4.44	0.73	มาก
2.3 ส่งเสริมความสามารถในการบูรณาการ ความรู้ระหว่างสาระวิชานำมาสู่การสร้างสรรค์ นวัตกรรม	4.67	0.50	มากที่สุด
คะแนนเฉลี่ยรายด้าน	4.52	0.13	มากที่สุด

ตาราง 6 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมิน เฉลี่ย ($\bar{X}$, n = 9)	S.D.	ระดับความ เหมาะสม
3. ด้านการดำเนินกิจกรรมส่งเสริมศึกษาตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม			
3.1 การนำเสนอสถานการณ์ปัญหาที่น่าสนใจ และเชื่อมโยงกับสถานการณ์จริงในชีวิตประจำวัน	4.11	0.93	มาก
3.2 ระยะเวลาในการรวบรวมข้อมูล แนวคิดที่ เกี่ยวข้องและออกแบบวิธีการแก้ปัญหา	4.11	0.33	มาก
3.3 เปิดโอกาสให้นิสิตได้วางแผนและ ดำเนินการแก้ปัญหาด้วยตนเอง	4.44	0.53	มาก
3.4 เกณฑ์การประเมินการออกแบบผลงานและ การประเมินผลงานตามสภาพจริง	4.56	0.53	มากที่สุด
3.5 เกณฑ์การนำเสนอผลการแก้ปัญหาหรือ นวัตกรรมที่สร้างขึ้น	4.78	0.44	มากที่สุด
3.6 แนวทางการใช้ประโยชน์จากนวัตกรรมที่ สอดคล้องกับสถานการณ์ปัญหาที่กำหนดขึ้น	4.50	0.87	มากที่สุด
คะแนนเฉลี่ยรายด้าน	4.42	0.26	มาก
4. ด้านรูปแบบของเล่นกิจกรรมส่งเสริมศึกษา			
4.1 เนื้อหาถูกต้องและครอบคลุม	4.67	0.50	มากที่สุด
4.2 มีการจัดลำดับเนื้อหาที่เหมาะสม	4.67	0.50	มากที่สุด
4.3 เนื้อหาเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด	4.00	0.67	มาก
4.4 เนื้อหาเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน	4.67	0.50	มากที่สุด
4.5 ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย	4.50	0.53	มากที่สุด
4.6 ความถูกต้องของการใช้ภาษา	4.89	0.33	มากที่สุด
4.7 การใช้ภาษาน่าสนใจ กระตุ้นให้ผู้เรียนได้ดี	4.50	0.53	มากที่สุด
4.8 ภาษาที่ใช้เหมาะสมกับวัยของผู้เรียน	4.50	0.53	มากที่สุด
คะแนนเฉลี่ยรายด้าน	4.55	0.26	มากที่สุด

ตาราง 6 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินเฉลี่ย ($\bar{X}$, n = 9)	S.D.	ระดับความเหมาะสม
5. ด้านการประเมินผล			
5.1 การประเมินผลเหมาะสมกับวัยของผู้เรียน	4.44	0.53	มาก
5.2 จำนวนรายการประเมิน/ข้อคำถามเหมาะสม	4.67	0.50	มากที่สุด
5.3 ข้อคำถามเข้าใจง่าย ไม่กำกวม	4.67	0.50	มากที่สุด
คะแนนเฉลี่ยรายด้าน	4.59	0.13	มากที่สุด
คะแนนรวมทุกด้าน	4.52	0.06	มากที่สุด

*คะแนนความเหมาะสมเฉลี่ยเต็ม 5.00

จากตาราง 6 พบว่า ความเหมาะสมของกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรือง สารละลายกรด-เบส อยู่ในระดับมากที่สุด จำนวน 4 ด้าน มีเพียงด้านการดำเนินกิจกรรมสะเต็มศึกษาตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพียงด้านเดียวที่อยู่ในระดับมาก เนื่องจาก นิสิตที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมายส่วนใหญ่ มีความเห็นว่าระยะเวลาในการดำเนินกิจกรรมในบางขั้นตอน เช่น ขั้นที่ 2 การระดมความคิดและรวบรวมข้อมูล และขั้นที่ 3 การออกแบบวิธีการแก้ปัญหา ยังน้อยเกินไป ผู้วิจัยจึงปรับแก้เรื่องการกำหนดระยะเวลาในการทำกิจกรรมในขั้นตอนดังกล่าวตามที่ได้รับข้อเสนอแนะมา ก่อนจะนำไปใช้จริงกับกลุ่มเป้าหมาย



ภาคผนวก ค

รายละเอียดและภาพประกอบแสดงผลการพัฒนานวัตกรรมทดลองที่ใช้ในการสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษเรื่อง สารละลายกรด-เบส

หัวข้อ 1.2.1 ผลการพัฒนานวัตกรรมประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ

ผลการเลือกวัสดุที่เหมาะสมในการขึ้นรูปและผลการทดสอบคุณภาพของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่ขึ้นรูปด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ

ตาราง 7 ผลการทดสอบคุณภาพของของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ

วัสดุที่ใช้	ผลการทดสอบคุณภาพของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ			
	ความสามารถในการขึ้นรูปวงกลมบนกระดาษกรอง	ค่าเฉลี่ยขนาดรูปร่างวงกลมที่สร้างได้ (มิลลิเมตร) (% RSD, n = 10)	ระยะเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป (นาที)	ความสามารถในการกักน้ำ (ร้อยละ)
(1) ขี้ผึ้งพาราฟิน	ไม่ได้	-	-	0
(2) หมึกกักน้ำ	ได้	$\bar{X} = 124.8$ (% RSD = 1.2413)	3	60
(3) สารละลายผสมระหว่าง สารละลายชั้นสน ต่อสารละลาย สารส้ม (1 : 1)	ได้	$\bar{X} = 124.3$ (% RSD = 2.7622)	5	60
(4) สารละลายผสมระหว่าง สารละลายชั้น สนตสารละลาย สารส้ม (2 : 1)	ได้	$\bar{X} = 125.5$ (% RSD = 1.8112)	3	70
(5) สารละลายผสมระหว่าง สารละลายชั้นสน ต่อสารละลาย สารส้ม (3 : 1)	ได้	$\bar{X} = 125.7$ (%RSD = 1.6793)	2	80

ตาราง 7 (ต่อ)

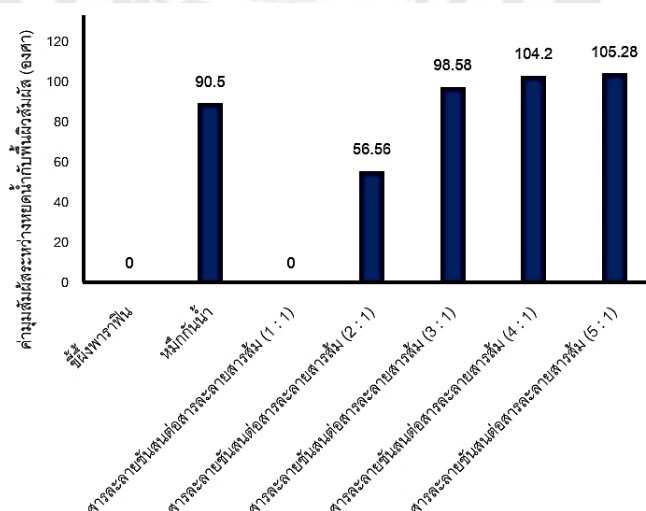
ผลการทดสอบคุณภาพของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ				
วัสดุที่ใช้	ความสามารถในการขึ้นรูปวงกลมบนกระดาษกรอง	ค่าเฉลี่ยขนาดรูปแบบวงกลมที่สร้างได้ (มิลลิเมตร) (% RSD, n = 10)	ระยะเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป (นาที)	ความสามารถในการกั้นน้ำ (ร้อยละ)
(6) สารละลายผสมระหว่างสารละลายชั้นสนตอ	ได้	$\bar{X} = 124.9$ (%RSD = 0.4545)	2	100
สารละลายสารส้ม (4 : 1)				
(7) สารละลายผสมระหว่างสารละลายชั้นสนตอ	ได้	$\bar{X} = 124.9$ (%RSD = 1.0667)	1	100
สารละลายสารส้ม (5 : 1)				

จากตาราง 7 สามารถสรุปผลการทดสอบคุณภาพของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่ขึ้นรูปด้วยวัสดุทาง่ายชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้

วัสดุแรก que เลือกใช้ในการขึ้นรูป คือ ขี้ผึ้งพาราฟิน ซึ่งต้องให้ความร้อนจนหลอมเหลวเสียก่อน โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส (Rathod M., 2005) และในระหว่างการประทับพิมพ์ พบว่า ขี้ผึ้งพาราฟินที่หลอมเหลว แพร่กระจายตัวบนกระดาษกรองอย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่สามารถควบคุมรูปร่างและขนาดของวงกลมที่สร้างขึ้นได้ อีกทั้งพอขี้ผึ้งพาราฟินแห้งตัวจะเกาะติดแม่พิมพ์ ทำให้ลักษณะของแม่พิมพ์ไม่คมชัดเหมือนเดิม จึงไม่เหมาะที่จะนำขี้ผึ้งพาราฟินมาใช้ในการสร้างอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ฐานกระดาษด้วยวิธีการประทับพิมพ์ ส่วนการขึ้นรูปด้วยหมึกกันน้ำ (Waterproof ink) หลังจาก que ทำการประทับพิมพ์หมึกกันน้ำลงบนกระดาษกรองแล้วรอให้หมึกซึมและแห้ง เป็นเวลา 3 นาที พบว่า สามารถสร้างขอบเขตเป็นรูปแบบวงกลมได้ และมีความสม่ำเสมอของขนาดวงกลมที่สร้างขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลม

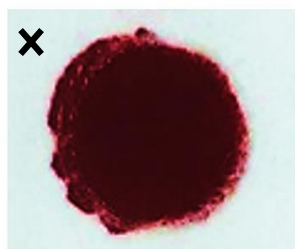
ใกล้เคียงกับขนาดของแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้น คือ 125.0 มิลลิเมตร แต่จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการกันน้ำ พบว่า เมื่อหยดสารละลายสีผสมอาหารลงไป ยังมีการรั่วไหลออกนอกวงกลมไปยังขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำในบางครั้ง ผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่า หมึกกันน้ำไม่ใช่วัสดุที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการสร้างอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษด้วยวิธีการประทับพิมพ์

ในส่วนของการขึ้นรูปวงกลมด้วยสารละลายผสมระหว่างสารละลายชั้นสนต่อสารละลายสารส้มในอัตราส่วนโดยปริมาตรต่าง ๆ พบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนเป็น 1:1 และ 2:1 มีตะกอนอะลูมิเนียมโรซิเนต (Aluminum-rosinate) เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และขณะนำไปประทับพิมพ์สังเกตเห็นว่า สารละลายผสมดังกล่าวติดแม่พิมพ์น้อย ส่งผลให้วงกลมที่สร้างขึ้นมีลักษณะที่ไม่สมบูรณ์และมีสารละลายสีผสมอาหารรั่วไหลออกนอกวงกลมทันทีที่หยดลงไป และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนเป็น 3:1 ขึ้นไป พบว่า สามารถขึ้นรูปวงกลมบนกระดาษกรองได้สม่ำเสมอมากขึ้น ส่วนผลจากการทดสอบสมบัติความไม่ชอบน้ำ โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวที่บริเวณเส้นวงกลมที่สร้างขึ้น พบว่า มีค่ามากกว่า 90 องศา ดังภาพประกอบ 1 ซึ่งแสดงถึงความเป็นพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) และเมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการรอแห้ง พบว่า เมื่อผสมสารละลายชั้นสนในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น จะใช้ระยะเวลาในการรอแห้งน้อยลง โดยที่อัตราส่วนการผสมสารละลายชั้นสนต่อสารละลายสารส้มเป็น 5:1 จะใช้ระยะเวลาในการรอแห้งเพียง 1 นาที เท่านั้น

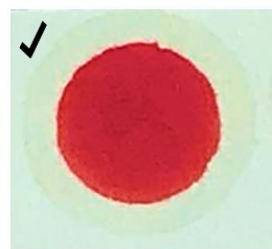


ภาพประกอบ 1 ผลการวัดค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวสัมผัสที่ขึ้นรูปด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ

สำหรับผลทดสอบความสามารถในการกั้นน้ำให้อยู่ภายในขอบเขตจากวัสดุชนิดต่าง ๆ จากตาราง 7 โดยการหยดสารละลายสีผสมอาหารสีแดงลงไปในวงกลมที่ขึ้นรูปชนิดละ 10 วง แล้วนำผลการกั้นน้ำที่ได้ ดังภาพประกอบ 2 ข. ไปหาร้อยละของความสามารถในการกั้นน้ำจากการทำซ้ำ 10 ครั้ง ผลปรากฏว่า ซีพิงพาราฟินไม่สามารถกั้นน้ำได้เลย เนื่องจากมีการรั่วซึมทุกวง ส่วนหมึกกั้นน้ำและสารละลายผสมระหว่างสารละลายชันสนต่อสารละลายสารส้มในอัตราส่วนโดยปริมาตรเป็น 1 : 1 ถึง 3 : 1 มีร้อยละของความสามารถในการกั้นน้ำอยู่ระหว่าง 60 -80 ซึ่งแตกต่างจากอัตราส่วน 4 : 1 และ 5 : 1 ที่มีร้อยละของความสามารถในการกั้นน้ำร้อยละ 100 จึงเป็นเหตุผลหนึ่งที่ผู้วิจัยเลือกอัตราส่วนผสมดังกล่าวเป็นอัตราส่วนผสมระหว่างสารละลายชันสนต่อสารละลายสารส้มที่เหมาะสมที่สุดในการขึ้นรูปอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ



ก. ขอบเขตไม่สามารถกั้นสีผสมอาหารได้



ข. ขอบเขตสามารถกั้นสีผสมอาหารได้

ภาพประกอบ 2 ตัวอย่างผลการทดสอบความสามารถในการกั้นน้ำของขอบเขตที่สร้างขึ้น

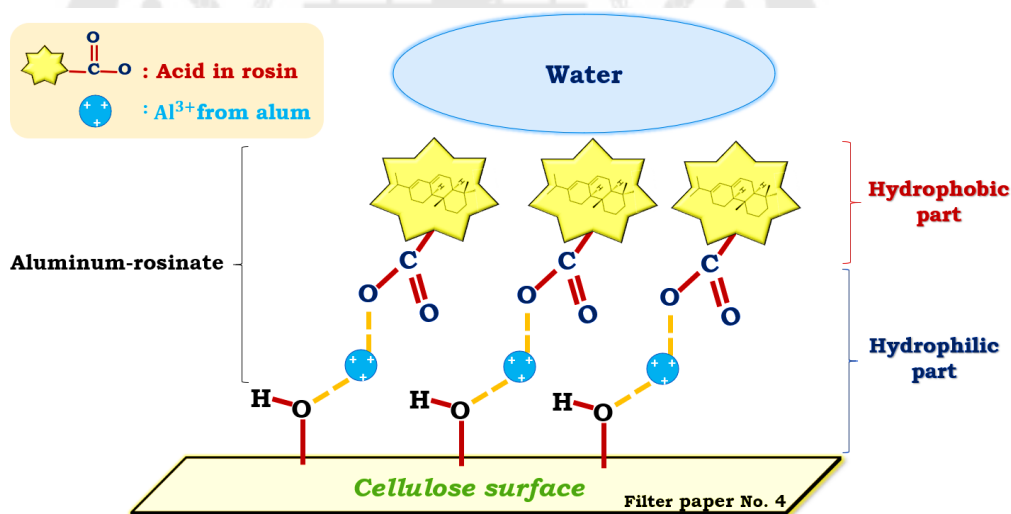
จากการเลือกวัสดุขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่นำมาขึ้นรูป พบว่า เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างชันสนและสารส้มในอัตราส่วนโดยปริมาตร เท่ากับ 4 : 1 ขอบเขตของวงกลมที่สร้างขึ้น จะมีสมบัติความไม่ชอบน้ำสูงกว่าหมึกกั้นน้ำและสารละลายผสมระหว่างชันสนและสารส้ม ในอัตราส่วน 1 : 1 2 : 1 และ 3 : 1 อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากมีมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีมุมสัมผัสเฉลี่ยเท่ากับ 104.20 องศา จากการทำซ้ำ 10 ครั้ง และยังมีค่าใกล้เคียงกับมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิว เมื่อใช้อัตราส่วนผสม 5 : 1 อีกด้วย ประกอบกับเมื่อทดสอบการรั่วไหลโดยการหยดสารละลายสีผสมอาหารลงไป พบว่า ไม่มีการรั่วไหลออกจากวงกลมที่สร้างขึ้น แสดงว่า ขอบเขตวงกลมมีความสามารถในการกั้นน้ำได้ร้อยละ 100 จากนั้นเมื่อพิจารณาความสามารถในการผลิตซ้ำ พบว่า ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่สร้างขึ้น

เมื่อใช้อัตราส่วนผสมระหว่างสารละลายชั้นสนต่อสารละลายสารส้มเป็น 4 : 1 จากการทำซ้ำ 10 ครั้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 124.9 มิลลิเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับขนาดของแม่พิมพ์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลม เท่ากับ 125 มิลลิเมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ร้อยละ 0.4545 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าทุกสภาวะ รวมทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป ตั้งแต่ประทับพิมพ์จนรอแห้งสนิทในแต่ละครั้ง ใช้เวลาเพียง 2 นาที จึงสามารถสรุปได้ว่า วัสดุและอัตราส่วนที่เหมาะสม สำหรับการนำมาขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ คือ สารละลายผสมระหว่างสารละลายชั้นสนต่อสารละลายสารส้มที่มีอัตราส่วนผสมโดยปริมาตรเป็น 4 : 1

อภิปรายผลการทดสอบคุณภาพของของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่ขึ้นรูปด้วยวัสดุหยาบชนิดต่าง ๆ

จากการเลือกวัสดุขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่นำมาขึ้นรูป พบว่า เมื่อใช้สารละลายผสมระหว่างชั้นสนและสารส้มในอัตราส่วนโดยปริมาตร เท่ากับ 4 : 1 ขอบเขตของวงกลมที่สร้างขึ้น จะมีสมบัติความไม่ชอบน้ำสูงกว่าหมึกกันน้ำและสารละลายผสมระหว่างชั้นสนและสารส้ม ในอัตราส่วน 1 : 1 2 : 1 และ 3 : 1 อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากมีมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิวมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีมุมสัมผัสเฉลี่ยเท่ากับ 104.20 องศา จากการทำซ้ำ 10 ครั้ง และยังมีค่าใกล้เคียงกับมุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับพื้นผิว เมื่อใช้อัตราส่วนผสม 5 : 1 อีกด้วย ประกอบกับเมื่อทดสอบการรั่วไหล โดยการหยดสารละลายสีผสมอาหารลงไป พบว่า ไม่มีการรั่วไหลออกจากวงกลมที่สร้างขึ้น แสดงว่า ขอบเขตวงกลมมีความสามารถในการกันน้ำได้ร้อยละ 100 จากนั้นเมื่อพิจารณาความสามารถในการผลิตซ้ำ พบว่า ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมที่สร้างขึ้น เมื่อใช้อัตราส่วนผสมระหว่างสารละลายชั้นสนต่อสารละลายสารส้มเป็น 4 : 1 จากการทำซ้ำ 10 ครั้ง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 124.9 มิลลิเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับขนาดของแม่พิมพ์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลม เท่ากับ 125 มิลลิเมตร และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ร้อยละ 0.4545 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าทุกสภาวะ รวมทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป ตั้งแต่ประทับพิมพ์จนรอแห้งสนิทในแต่ละครั้ง ใช้เวลาเพียง 2 นาที จึงสามารถสรุปได้ว่า วัสดุและอัตราส่วนที่เหมาะสม สำหรับการนำมาขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ คือ สารละลายผสมระหว่างสารละลายชั้นสนต่อสารละลายสารส้มที่มีอัตราส่วนผสมโดยปริมาตรเป็น 4 : 1

จากการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในข้างต้น เมื่อผสมสารละลายสารส้มลงไปในการละลายชั้นสน จะช่วยให้สารละลายผสมมีคุณสมบัติการกันน้ำหรือไม่ชอบน้ำสูงกว่าการใช้สารละลายชั้นสนเพียงอย่างเดียว ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าว สามารถอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นได้ว่า อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Al^{3+}) จากสารส้มสามารถเกิดอันตรกิริยาทางไฟฟ้า (Electrostatic interaction) กับไฮดรอกซิลของหมู่คาร์บอกซิเลต (Carboxylate groups) ของกรดในชั้นสน ซึ่งเราจะเรียกรวมทั้งสองส่วนนี้ว่า Aluminum-rosinate complex จากนั้นอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์จะเกิดอันตรกิริยาทางไฟฟ้าอีกต่อหนึ่งกับออกซิเจน ซึ่งเป็นเสมือนหัวลบของหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลส (กระดาษกรอง) และจากอันตรกิริยาดังกล่าวนี้นี้เอง จะช่วยลดความมีขี้้วและความสามารถในการชอบน้ำ (Hydrophilicity) ของหมู่คาร์บอกซิลิกของกรดที่มีอยู่ชั้นสนได้ และยังทำให้เกิดส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic part) ที่มีลักษณะเป็นชั้นฟิล์มเคลือบติดกระดาษกรองไว้อย่างสม่ำเสมอ (A.-R. M. A.-R. Manar El-Sayed Abdel-Raouf, 2018) ปรากฏดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 อันตรกิริยาระหว่างชั้นสนและสารส้มกับเซลลูโลส (กระดาษกรอง)

หัวข้อ 1.2.2 ผลการพัฒนาวิธีการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส

ผลการพัฒนาวิธีการทดลอง ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาวิธีการหาปริมาณกรดและเบสในสารละลายตัวอย่างด้วยวิธีการไทเทรตและการเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม

1.1 ผลการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยวิธีการไทเทรต

ผลการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยวิธีการไทเทรตซ้ำจำนวน 10 ครั้ง โดยใช้สารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตเข้มข้น 0.10 โมลาริตีและอินดิเคเตอร์ 2 ชนิด คือ ไทมอลบลูกับเมทิลเรด ผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้ไทมอลบลูในการไทเทรต จะได้ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์อยู่ระหว่าง 0.099-0.097 และเมื่อใช้เมทิลเรดในการไทเทรต จะได้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ อยู่ระหว่าง 0.155-0.158 โมลาริตี

จากการสังเกตของผู้วิจัย ขณะทำการไทเทรต พบว่า ที่จุดยุติ เมทิลเรดจะเปลี่ยนสีจากสีแดงไปเป็นสีเหลือง ซึ่งมีโทนสีที่ใกล้เคียงกัน ส่งผลให้การสังเกตสีที่จุดยุติทำได้ยากกว่าไทมอลบลู ซึ่งมีการเปลี่ยนสีจากสีเหลืองไปเป็นสีน้ำเงิน และมีโอกาสทำให้ผลการไทเทรตคลาดเคลื่อนได้ จากความผิดพลาดในการสังเกตสี ถึงแม้ว่าตามทฤษฎี เมทิลเรดจะมีช่วง pH ของการเปลี่ยนสีที่น่าจะใช้ในการไทเทรตกับปฏิกิริยานี้ได้ (Gary D. Christian, 2013, pp.283-285) แต่เมื่อทำการไทเทรตจริง พบว่า เมทิลเรดเปลี่ยนสีที่ pH น้อยกว่าค่า pH ณ จุดสมมูลของปฏิกิริยานี้ค่อนข้างมาก (เปลี่ยนสีก่อนจะถึงจุดสมมูลของปฏิกิริยา) ส่งผลให้ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตที่ใช้ในการไทเทรตมีค่าน้อยลง และเมื่อนำไปคำนวณตามทฤษฎี เพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จึงได้ค่าความเข้มข้นที่มากกว่าค่าจริง (Positive error) ซึ่งได้ผลตรงข้ามกับไทมอลบลูที่มีค่า pH ของการเปลี่ยนสีใกล้เคียงกับค่า pH ณ จุดสมมูลของปฏิกิริยานี้มากกว่า (ค่า pH ที่จุดสมมูลของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับ 9.85) (Skoog et al., 1996) ดังนั้น อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ไทเทรตเพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอน ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จึงควรใช้ไทมอลบลู

1.2 ผลการหาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมด้วยวิธีการ

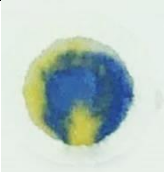
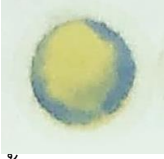
ไทเทรต

ผลการหาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมด้วยวิธีการไทเทรตซ้ำจำนวน 10 ครั้ง โดยใช้สารละลายสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้นประมาณ 0.10 โมลาริตี และอินดิเคเตอร์ 2 ชนิด คือ ไทมอลบลู กับเมทิลเรด ผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้ไทมอลบลูได้ปริมาณกรดซิตริกจากการไทเทรต อยู่ระหว่างร้อยละ 5.125-5.150 โดยมวลต่อปริมาตร และเมื่อใช้เมทิลเรดในการไทเทรต ได้ปริมาณกรดซิตริกจากการไทเทรต มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 8.140-8.150 โดยมวลต่อปริมาตร

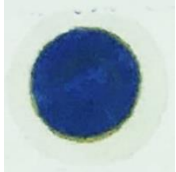
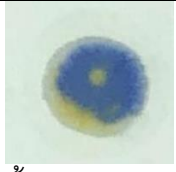
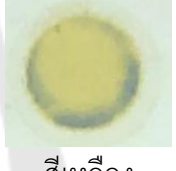
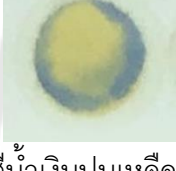
ด้วยเหตุผลของความยากในการสังเกตการเปลี่ยนสีของเมทิลเรด ดังที่กล่าวไปแล้ว ในหัวข้อ 1.1 ประกอบกับ เมทิลเรดเปลี่ยนสีที่ค่า pH น้อยกว่า pH ณ จุดสมมูลของปฏิกิริยานี้มากเช่นกัน (เปลี่ยนสีก่อนจะถึงจุดสมมูลของปฏิกิริยา) ส่งผลให้ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรตมีค่าน้อยลง และเมื่อนำไปคำนวณตามทฤษฎี จึงได้ปริมาณกรดซิตริกมากกว่าความเป็นจริง ซึ่งตรงข้ามกับไทมอลบลูที่มีการเปลี่ยนสี ณ ค่า pH ที่ใกล้เคียงกับค่า pH ณ จุดสมมูลของปฏิกิริยานี้มากกว่า (ค่า pH ที่จุดสมมูลของปฏิกิริยา มีค่าเท่ากับ 9.37) (Skoog et al., 1996) ดังนั้น อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ไทเทรต เพื่อหาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม จึงควรใช้ไทมอลบลู

ผลการพัฒนาวิธีการทดลอง ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในการวิเคราะห์หาปริมาณกรด-เบสเบื้องต้น

ตาราง 8 ผลการหาลำดับการหยดสารละลายที่เหมาะสม

แบบที่	ลำดับ	ผลการทดลอง (สีที่จุดยุติ)
1	อินดิเคเตอร์ กรด เบส	 สีน้ำเงินปนเหลือง
2	อินดิเคเตอร์ เบส กรด	 สีน้ำเงินปนเหลือง

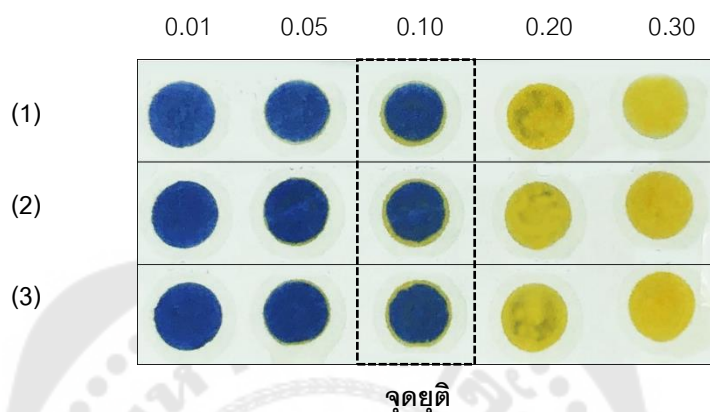
ตาราง 8 (ต่อ)

แบบที่	ลำดับ	ผลการทดลอง (สีที่จุดยติ)
3	กรด เบส อินดิเคเตอร์	 สีน้ำเงิน
4	กรด อินดิเคเตอร์ เบส	 สีน้ำเงินปนเหลือง
5	เบส กรด อินดิเคเตอร์	 สีเหลือง
6	เบส อินดิเคเตอร์ กรด	 สีน้ำเงินปนเหลือง

จากตาราง 8 พบว่า ลำดับการหยดกรด เบส อินดิเคเตอร์ ทำให้สามารถสังเกตเห็นสีของอินดิเคเตอร์ ณ จุดยุติ ได้ตรงตามทฤษฎี คือ สีน้ำเงิน แสดงว่า ค่า pH ของสารละลายหลังการผสมและทำปฏิกิริยา มีค่ามากกว่า 9.85 ซึ่งเป็นค่า pH ณ จุดสมมูลของปฏิกิริยาระหว่างสารละลายปฐภูมิโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Skoog et al., 1996)

ผลการพัฒนาวิธีการทดลอง ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

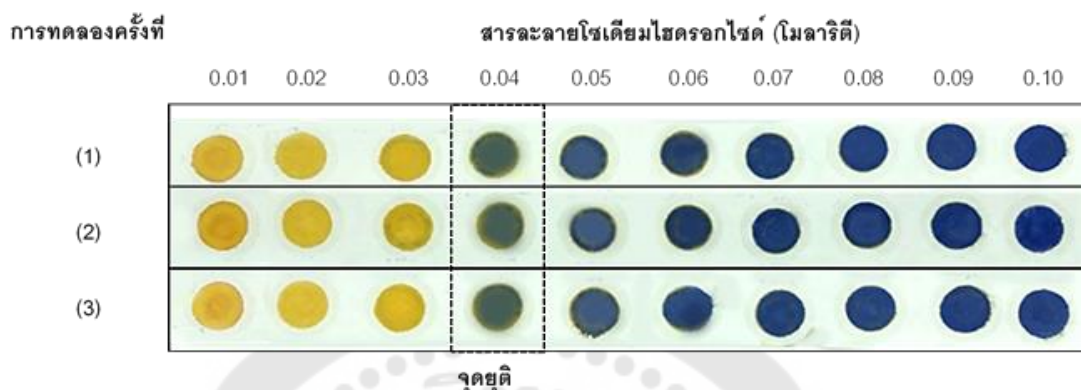
การทดลองครั้งที่ สารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (โมลาริตี)



ภาพประกอบ 4 ตัวอย่างของผลการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

จากภาพประกอบ 4 แสดงตัวอย่างผลการทดลองการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง พบว่า ได้ค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยประมาณ 0.10 โมลาริตี ซึ่งทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตเข้มข้น 0.10 โมลาริตี โดยสังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของไทมอลบลู ณ จุดยุติ และผลการทดลองจากการทำซ้ำ 10 ครั้ง ให้ผลการทดลองตรงกันทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 100

ผลการพัฒนาวิธีการทดลอง ขั้นตอนที่ 4 การศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ เพื่อหาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม



ภาพประกอบ 5 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ จากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

จากตัวอย่างผลการทดลองใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม จากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ดังภาพประกอบ 5 พบว่า เมื่อนำความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่จุดยุติไปคำนวณหาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม โดยใช้สูตรการคำนวณเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 1 หัวข้อ 1.2 ในบทที่ 3 การหาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมด้วยวิธีการไทเทรต ซึ่งผลการทดลอง พบว่า สามารถวิเคราะห์ปริมาณกรดซิตริกจากการใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ ได้ร้อยละ 5.125 โดยมีผลต่อปริมาตร ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการไทเทรต และจากผลการทดลองซ้ำ 10 ครั้ง ให้ผลการทดลองตรงกันทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 100

ผลการพัฒนาวิธีการทดลอง ขั้นตอนที่ 5 การประเมินประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษด้วยสถิติทางเคมีวิเคราะห์

1. ผลการทดสอบความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ (Accuracy)

1.1 ผลการหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนของผลการวิเคราะห์

จากการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ พบว่า มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน

เมื่อเทียบกับผลการไทเทรตแบบปกติ จากการทำซ้ำ 10 ครั้งอยู่ในช่วงต่ำกว่าร้อยละ 3.00 ส่วนการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ พบว่า ร้อยละความคลาดเคลื่อนไปจากค่าอ้างอิง (ที่ระบุบนฉลาก) เท่ากับ 2.40 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการหาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมด้วยวิธีการไทเทรตที่มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน เท่ากับ 2.32

1.2 ผลการทดสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ด้วยสถิติ t-test for independent samples

ตาราง 9 ผลการทดสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ด้วยสถิติ t-test for independent samples

วิธีวิเคราะห์	n	ปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างเฉลี่ย ($\bar{X}$)	S.D.	df	t	p
1. วิธีการไทเทรต	10	5.116	0.12	18	-1.960*	.082
2. วิเคราะห์โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ	10	5.123	0.00			

นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05*

จากตาราง 9 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ โดยเปรียบเทียบกับวิธีการไทเทรต ด้วยสถิติ t-test for independent samples พบว่า ทั้งสองวิธีให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05* แสดงว่า วิธีการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้วิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมได้ ไม่แตกต่างกับวิธีการไทเทรตแบบเดิม เช่นเดียวกับการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่า ได้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0.10 โมลาริตี ซึ่งมีค่าเท่ากับวิธีการไทเทรต

2. ผลการทดสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ (Precision)

2.1 ผลการทดสอบการกระจายของข้อมูลจากผลการวิเคราะห์

จากการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ พบว่า ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.00 จากการทำซ้ำ 10 ครั้ง เช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ พบว่า มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.00 เช่นกัน ซึ่งแสดงถึงความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกได้ตรงกันทั้ง 10 ครั้ง

2.2 ผลการทดสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์

จากการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ พบว่า มีค่าร้อยละเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) หรืออาจเรียกว่า สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.) เท่ากับ 0.00 เช่นเดียวกับการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมที่พบว่า มีค่าร้อยละเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ เท่ากับ 0.00 เช่นกัน ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility) ในระดับสูง โดยสามารถวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษซ้ำ แล้วได้ผลการทดลองตรงกันทั้ง 10 ครั้ง



ภาคผนวก ง

ตัวอย่างเกณฑ์แบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมในแต่ละองค์ประกอบ

ตาราง 10 ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินของแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
องค์ประกอบที่ 1 การคิดสร้างสรรค์

ขั้นตอนการดำเนินกิจกรรม	สิ่งที่ประเมิน	ปรากฏที่		
สัปดาห์ที่ 1				
ขั้นที่ 1 การระบุปัญหา				
กิจกรรมที่ 1 เกะติต	ทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม	หน้า 5		
สถานการณ์	องค์ประกอบที่ 2 การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์			
- การระบุปัญหาและวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจากสถานการณ์น้ำมะนาวเทียมไม่มีคุณภาพ	รายการประเมินที่ 2.4			
ระดับทักษะ				
รายการประเมิน	4 ดีมาก	3 ดี	2 พอใช้	1 ปรับปรุง
2.4 เข้าใจในเงื่อนไขหรือปัญหาของการทำงานจนนำไปสู่การแก้ปัญหาหรือสร้างสรรค์ผลงาน	- มีความเข้าใจในเงื่อนไข และปัญหาของการทำงานโดยสามารถระบุปัญหาและสาเหตุของปัญหา ตั้งแต่ 4 ประเด็นขึ้นไป	- มีความเข้าใจในเงื่อนไข และปัญหาของการทำงานโดยสามารถระบุปัญหาและสาเหตุของปัญหาได้ 3 ประเด็น	- มีความเข้าใจในเงื่อนไขและปัญหาของการทำงานโดยสามารถระบุปัญหาและสาเหตุของปัญหาได้ 2 ประเด็น	- มีความเข้าใจในเงื่อนไข และปัญหาของการทำงานโดยสามารถระบุปัญหาและสาเหตุของปัญหาได้ 1 ประเด็น

ตาราง 10 (ต่อ)

ขั้นตอนการดำเนินงาน กิจกรรม	สิ่งที่ประเมิน	ปรากฏที่
ประเด็นปัญหา 1) ผลผลิตมะนาวลดลง 2) มะนาวมีราคาแพง 3) ผู้ประกอบการร้านอาหาร ใช้มะนาวเทียมในการ ประกอบอาหาร เพื่อจำหน่าย 4) ผลกระทบด้านสุขภาพต่อ ผู้บริโภค สาเหตุของปัญหา 1) ปัญหากล้าง ทำให้ เกษตรกรขาดน้ำในการปลูก มะนาว 2) มะนาวขาดตลาด ส่งผลให้ มะนาวในท้องตลาดมีราคา สูงขึ้น 3) มะนาวแท้มีราคาแพง ผู้ประกอบการร้านอาหารจึง เลือกใช้น้ำมะนาวเทียม ทดแทน 4) ผู้ประกอบการเลือกใช้ ผลิตภัณฑ์น้ำมะนาวเทียมที่ ไม่มีคุณภาพ และมีปริมาณ กรดซิตริกเกินที่กำหนด		
ผลการประเมิน		

ตาราง 11 ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินของแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
องค์ประกอบที่ 2 การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์

ขั้นตอนการดำเนินกิจกรรม		สิ่งที่ประเมิน	ปรากฏที่	
สัปดาห์ที่ 1				
ขั้นที่ 2 การระดมความคิดและรวบรวมข้อมูล				
- การเสนอวิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างให้ได้จำนวนมากที่สุด พร้อมบอกข้อดี, ข้อจำกัดแหล่งที่มาของแต่ละวิธีด้วย	ทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม องค์ประกอบที่ 1 การคิดสร้างสรรค์ รายการประเมินที่ 1.2		หน้า 5-6	
ระดับทักษะ				
รายการประเมิน	4 ดีมาก	3 ดี	2 พอใช้	1 ปรับปรุง
1.2 เสนอวิธีการหรือความคิดในการแก้ปัญหาหรือสร้างสรรค์ผลงานที่แตกต่างจากนิสิตกลุ่มอื่น ๆ หรือแหล่งการเรียนรู้ที่ได้กำหนดให้	- เสนอวิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดซิตริกแตกต่างจากแหล่งการเรียนรู้ที่กำหนดให้	- เสนอวิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดซิตริกแตกต่างจากแหล่งการเรียนรู้ที่กำหนดให้ 2	- เสนอวิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดซิตริกแตกต่างจากแหล่งการเรียนรู้ที่กำหนดให้ 1	- เสนอวิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดซิตริกแตกต่างจากแหล่งการเรียนรู้ที่กำหนดให้
วิธีการหาปริมาณกรดซิตริกจากแหล่งการเรียนรู้	ตั้งแต่ 3 วิธีขึ้นไป	วิธี	วิธี	
1. การวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกด้วยวิธียูวี-วิสเปกโทรโฟโตเมทรี (Hartford, 1962)				

ตาราง 11 (ต่อ)

ขั้นตอนการดำเนินงาน กิจกรรม	สิ่งที่ประเมิน	ปรากฏที่
วิธีการหาปริมาณกรด ซิตริกจากแหล่งการ เรียนรู้ (ต่อ) 2. การวิเคราะห์หา ปริมาณกรดซิตริกด้วย เทคนิคโครมาโทกราฟี ของเหลวสมรรถนะสูง ; High Performance Liquid Chromatography : HPLC (Shui and Leong., 2002) 3. การวิเคราะห์หา ปริมาณกรดซิตริกด้วย เทคนิค ไอออนโครมาโทกราฟี (Ion Chromatography) (Saccani et al., 1995) 4. การวิเคราะห์หา ปริมาณกรดซิตริกด้วย การไทเทรตกรด-เบส (Standard Methods, 1998)		
ผลการประเมิน		

ตาราง 12 ตัวอย่างเกณฑ์การประเมินของแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
องค์ประกอบที่ 3 การใช้นวัตกรรม

ขั้นตอนการดำเนินกิจกรรม		สิ่งที่ประเมิน			
สัปดาห์ที่ 1					
รายการประเมิน	ระดับทักษะ				
	4 ดีมาก	3 ดี	2 พอใช้	1 ปรับปรุง	
3.1.1 คุณภาพผลงาน(แม่พิมพ์)	- แม่พิมพ์มีพื้นที่ภายใน	- แม่พิมพ์มีพื้นที่ภายใน	- แม่พิมพ์มีพื้นที่ภายใน	- แม่พิมพ์มีพื้นที่ภายใน	
เกณฑ์การประเมิน	และมีความหนาของขอบได้	และมีความหนาของขอบ	และมีความหนาของขอบ	และมีความหนาของขอบ	
กำหนดพื้นที่ภายในของแม่พิมพ์ 1.20-1.25 cm. ²	ขนาดตามที่กำหนดไว้ร้อยละ 90-100	ได้ขนาดตามที่กำหนดไว้ร้อยละ 80-89	ได้ขนาดตามที่กำหนดไว้ร้อยละ 70-79	ได้ขนาดตามที่กำหนดไว้ต่ำกว่าร้อยละ 70	
ผลการประเมิน					



ภาคผนวก จ

รายละเอียดและภาพประกอบแสดงพฤติกรรมการทำงาน ผลงานของนิสิตกลุ่มเป้าหมาย สำหรับใช้ในการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม องค์ประกอบที่ 1 การคิดสร้างสรรค์

จากสถานการณ์ปัญหาน้ำมะนาวเทียมไม่มีคุณภาพ นิสิตแต่ละกลุ่มร่วมกันระดมความคิด เพื่อระบุปัญหาและสาเหตุของปัญหาจากสถานการณ์ รวมทั้งเสนอวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคมาอย่างหลากหลาย และมีความแตกต่างจากแหล่งการเรียนรู้ที่กำหนดให้ ดังภาพประกอบ 6 และ 7 ตามลำดับ

ระบุปัญหา	สาเหตุของปัญหา
(1) ธรรมชาติของผลไม้	(1) วัตถุดิบ
(2) ใส่น้ำตาลเทียมแทนน้ำตาลจริง	(2) ธรรมชาติของผลไม้
(3) ใส่น้ำตาลเทียมในสัดส่วนสูงเกินไป	(3) วัตถุดิบไม่สะอาด มีสิ่งสกปรกปนเปื้อน
(4) ผู้บริโภคไม่ทราบส่วนผสมที่ใส่น้ำตาลเทียม และเกิดอาการแพ้	(4) ใส่น้ำตาลเทียมในปริมาณที่มากกว่ามาตรฐานที่กำหนด
(5) ผู้บริโภคมีอาการแพ้	(5) ใส่น้ำตาลเทียมในปริมาณที่มากกว่ามาตรฐานที่กำหนด
(6) ดัชนีค่า	(6) ใส่น้ำตาลเทียมในปริมาณที่มากกว่ามาตรฐานที่กำหนด

ภาพประกอบ 6 ปัญหาและสาเหตุของปัญหาที่นิสิตได้มาจากการวิเคราะห์สถานการณ์

วิธีการวิเคราะห์	ข้อดี	ข้อจำกัด	แหล่งที่มา
ไทเทรต	ง่าย	ใช้สารเคมีมาก	home.knu.ac.th
HPLC	วิเคราะห์ได้แม่นยำ	ราคาสูง solvent หมด	lib.ips.ku.ac.th
GC-MS	มีความไวสูง	ต้องบำรุงรักษาบ่อย	lib.psu.ac.th
pH-meter	สะดวก รวดเร็ว	ราคาแพง ใช้เวลานาน	web.nondap.beng
spectrometer			

วิธีการวิเคราะห์	ข้อดี	ข้อจำกัด	แหล่งที่มา
• spectrophotometry	ตรวจสอบความเข้มข้นของ Citric ได้	ต้องบำรุงรักษาบ่อย	
• enzyme			
- Citrate lyase	ตรวจสอบความเข้มข้น		
- L-malate dehydrogenase	ตรวจสอบความเข้มข้น		
- D-lactate dehydrogenase			
• Ion- Chromatography	ตรวจสอบความเข้มข้นได้		
	ผล ผสมกับสารอินทรีย์		
	อื่นๆ ได้		

ภาพประกอบ 7 วิธีวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกที่นิสิตสืบค้นและนำเสนอ

จากนั้นนิสิตแต่ละกลุ่มร่วมกันทบทวนความรู้ เรื่อง หลักการไทเทรต การคำนวณ เพื่อหาปริมาณกรด-เบส และการเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม ก่อนลงมือทำปฏิบัติการทดลอง เรื่อง การไทเทรตหาปริมาณกรดซิดริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม โดยปฏิบัติการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้นิสิตได้ทบทวนขั้นตอนการไทเทรต ความรู้เกี่ยวกับการใช้อินดิเคเตอร์ เพื่อให้ นิสิตสามารถเลือกใช้อินดิเคเตอร์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับปฏิกิริยา ดังภาพประกอบ 8



บันทึกผลการทดลอง

อินดิเคเตอร์ไทมอลบูล (Thymol blue)

ครั้งที่	ปริมาตรตัวอย่าง เจือจาง 20 เท่า (mL)	ปริมาตร 0.096M NaOH ที่ใช้ (mL)	ความเข้มข้นกรด ซิดริก (M)	ความเข้มข้น กรดซิดริก (%W/V)
1	25.00	10.90	0.279	5.36
2	25.00	11.00	0.282	5.42
3	25.00	11.00	0.282	5.42
4	25.00	10.80	0.276	5.30
5	25.00	10.70	0.274	5.26
ผลเฉลี่ย		10.90	0.279	5.35

สรุปได้ว่า กรดซิดริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม มีความเข้มข้นร้อยละ.....5.35..... โดยมีมวลต่อปริมาตร

อินดิเคเตอร์เมทิลเรด (Methyl red)

ครั้งที่	ปริมาตรตัวอย่าง เจือจาง 20 เท่า (mL)	ปริมาตร 0.096M NaOH ที่ใช้ (mL)	ความเข้มข้นกรด ซิดริก (M)	ความเข้มข้น กรดซิดริก (%W/V)
1	25.00	8.00	0.2048	3.968
2	25.00	7.90	0.2022	3.86
3	25.00	7.60	0.1946	3.781
4	25.00	8.00	0.2048	3.968
5	25.00	8.30	0.2125	4.0392
ผลเฉลี่ย		7.96	0.2038	3.919

สรุปได้ว่า กรดซิดริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม มีความเข้มข้นร้อยละ.....3.919..... โดยมีมวลต่อปริมาตร

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

การไทเทรตในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม มีความเข้มข้น 5.35% w/v เมื่อใช้ไทมอลบูลเป็นอินดิเคเตอร์ แต่มีความเข้มข้น 3.919% w/v เมื่อใช้เมทิลเรดเป็นอินดิเคเตอร์ ซึ่งเมื่อเทียบกับค่าจริงพบว่า ไทมอลบูลให้ค่าความเข้มข้นใกล้เคียงค่าจริง เนื่องจาก การใช้อินดิเคเตอร์เมทิลเรดจะมีการเปลี่ยนสีตั้งแต่ช่วงกรด แต่สารตัวอย่างมีช่วงการเปลี่ยนสีในช่วงเบส ดังนั้น จึงควรเลือกใช้ไทมอลบูลเป็นอินดิเคเตอร์ ในการหาปริมาณ

ภาพประกอบ 8 การปฏิบัติการทดลอง เรื่อง การไทเทรตหาปริมาณกรดซิดริก
ในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมและผลการทดลองของนิสิต

จากกิจกรรมดังกล่าว นอกจากนิสิตจะได้เรียนรู้เกี่ยวกับปฏิบัติการไทเทรตและการเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่ถูกต้องแล้ว ยังช่วยให้มนิสิตสามารถวิเคราะห์และระบุข้อดี ข้อจำกัดของการไทเทรตเป็นจำนวนมาก จากเรียนรู้และประสบการณ์การลงมือปฏิบัติจริง ดังภาพประกอบ 9

ข้อดี	ข้อจำกัด
- วัสดุไม่แพงมาก.....ใช้ซ้ำ	- ต้องเลือกใช้อินดิเคเตอร์ที่เหมาะสม
- รวดเร็ว	- การเตรียมสารละลายมาตรฐานคลอโรฟอร์ม
- สามารถใช้ในห้องปฏิบัติการได้จริง	- ข้อจำกัดของสารละลาย
- ไม่สะดวกในการเก็บรักษาตัวอย่าง	- ใช้สารละลายปริมาณมาก
- สามารถทำได้ทั้งในห้องปฏิบัติการ	- วิเคราะห์ได้เฉพาะสารละลาย
- ผลการวิเคราะห์	- สามารถเกิด ความคลาดเคลื่อน
- การวิเคราะห์สารละลายได้	จากอุปกรณ์
- ผลการทดลอง	- ขั้นตอนการเตรียมสารละลายมาตรฐาน
- ค่าใช้จ่าย.....ต้นทุนต่ำ	- สามารถทราบค่ามาตรฐานได้
- ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ทั้ง	- สามารถทราบค่ามาตรฐานได้
	- วิเคราะห์ได้เฉพาะสารละลายที่เป็น
	สารละลาย
	- ไม่สามารถวิเคราะห์สารละลายที่เป็น
	- ต้องทำการทดลองซ้ำ เพื่อป้องกัน
	ความคลาดเคลื่อน
	- การทำ blank Indicator เพื่อลดความ
	คลาดเคลื่อนจากการสังเกตสีของสาร
	- ปฏิบัติการต้องไม่ทำเกินขีด (ถ้าทำไป
	ต้องทำ back titration)
	- หากต้องการทราบค่ามาตรฐาน RGB ใน
	การสังเกต (RGB Color Picker
	Application)
	- ไม่สามารถนำสารกับมาใช้ในการ
	ได้



ภาพประกอบ 9 ข้อดีและข้อจำกัดของการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซัลฟิวริก
ด้วยวิธีการไทเทรตที่มนิสิตวิเคราะห์ได้

จากข้อดี และข้อจำกัดของการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกด้วยวิธีการไทเทรตที่ นิสิตวิเคราะห์ได้ นิสิตได้รับภารกิจให้เสนอเทคนิควิธีการที่หลากหลายในการแก้ปัญหาจาก ข้อจำกัดดังกล่าว โดยระดมพลังสมอง เพื่อสร้างสรรค์ความคิดใหม่โดยต่อยอดจากความรู้เดิมหรือ จากการใช้เทคโนโลยีในการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง นิสิตจึงเสนอวิธีการแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว

ต่อมา นิสิตได้เรียนรู้เกี่ยวกับนวัตกรรมยุค 4.0 “ชุดทดสอบอย่างง่าย” และทำการ ออกแบบต้นแบบชุดทดสอบหาปริมาณกรดซิตริกอย่างง่าย (Prototype) เป็นครั้งแรก โดยเปิดโอกาสให้นิสิตออกแบบตามจินตนาการและประสบการณ์ที่เคยเรียนรู้ผนวกเข้ากับ ความคิดสร้างสรรค์ของกลุ่มตนเอง ซึ่งเป็นช่วงก่อนที่นิสิตจะเรียนรู้หลักการและการประยุกต์ใช้ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ ซึ่งทำให้นิสิตได้วางแผนในการออกแบบชุด ทดสอบอย่างง่ายร่วมกันในกลุ่ม โดยกลั่นกรองความคิดออกมาเป็นลำดับขั้นตอนที่ชัดเจนและมีความ เป็นไปได้ที่จะนำไปปฏิบัติจริง

จากนั้น นิสิตได้เรียนรู้หลักการและการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษ นิสิตร่วมกันศึกษาหลักการของวิธีการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษตามแหล่งการเรียนรู้ที่กำหนดให้ ก่อนทำการเลือก วิธีการขึ้นรูปที่นิสิตจะนำมาดัดแปลงและประยุกต์ใช้จริง พร้อมทั้งระบุเหตุผลประกอบ ดังภาพประกอบ 10 โดยจากการตรวจสอบพบว่า นิสิตส่วนใหญ่เลือกวิธีการประทับพิมพ์ที่มีซี่ฝัง หลอมเหลวบนกระดาษ (Movable-type printing) จากนั้นผู้สอนจึงอภิปรายร่วมกับนิสิตใน ประเด็นที่เกี่ยวข้องกับวิธีการขึ้นรูปดังกล่าว เช่น วิธีการขึ้นรูปดังกล่าวมีข้อจำกัดอย่างไรบ้าง ซึ่งนิสิตร่วมกันเสนอข้อจำกัดว่า ต้องอาศัยความร้อนในการหลอมเหลวซี่ฝัง และต้องใช้โลหะเป็น แม่พิมพ์ ซึ่งวัสดุโลหะค่อนข้างมีราคาแพง และหาได้ยาก อีกทั้งการนำมาประดิษฐ์เป็นแม่พิมพ์นั้น ทำได้ยากกว่าวัสดุชนิดอื่น ๆ ด้วย ผู้สอนจึงเปิดโอกาสให้นิสิตได้ปรับเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ ต่อไป และในที่นี้จะเรียกวิธีการขึ้นรูปโดยการประทับด้วยแม่พิมพ์ ว่า Stamping Method แทน



ชวนคิด

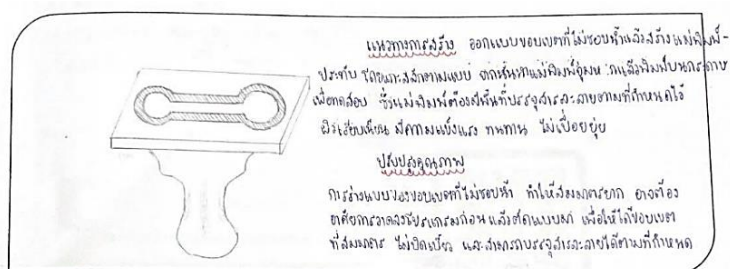
หากนิสิตจะต้องขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาค ฐานกระดาษ นิสิตจะเลือกใช้วิธีการขึ้นรูปแบบใด เพราะเหตุใด

ใช้หลักการและงานประดิษฐ์ที่รู้จักคือ หลอมเหลวบนกระดาษ (Movable-type printing)

เพราะ วัสดุค่อนข้างง่าย ไม่ซับซ้อน อีกทั้งได้ขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำได้ชัดเจน และสะดวกทำ แม่พิมพ์ง่าย ใช้ได้

ภาพประกอบ 10 วิธีการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่นิสิตเลือกใช้

เมื่อนิสิตเลือกวิธีการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล
จุลภาคฐานกระดาษด้วยวิธีการประทับพิมพ์ (Stamping Method) แล้ว นิสิตแต่ละกลุ่มร่วมกัน
ออกแบบแม่พิมพ์ที่ไม่ซ้ำกับเพื่อนกลุ่มอื่น ๆ ดังภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 ผลงานการออกแบบแม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำ
ของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ

เมื่อนิสิตทุกกลุ่มออกแบบแม่พิมพ์ให้มีขนาดและรูปแบบตามต้องการแล้ว
นิสิตร่วมกันวางแผนขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์อย่างละเอียด และเปิดโอกาสให้นิสิตเลือกใช้วัสดุใน
การสร้างแม่พิมพ์จากวัสดุ 3 ชนิด ได้แก่ ยางลบ พิวเจอร์บอร์ด และแผ่นโฟมยาง ซึ่งพบว่า
นิสิตทุกกลุ่มเลือกใช้ยางลบ โดยให้เหตุผลว่า ยางลบ มีคุณสมบัติยืดหยุ่น คล้ายกับตราประทับ
พิมพ์ยางพารา สามารถตัดและแกะสลักให้มีขนาดตามที่ต้องการได้ จากนั้นนิสิตกลั่นกรอง
กระบวนการสร้างแม่พิมพ์ออกมาเป็นลำดับขั้นตอนที่ชัดเจนและนำไปปฏิบัติจริง

เมื่อนิสิตดำเนินการสร้างแม่พิมพ์ครั้งแรกจนสำเร็จ แล้วทำการทดสอบและปรับปรุง
คุณภาพแม่พิมพ์ผ่านการวิเคราะห์ และประเมินความคิด เพื่อปรับปรุงผลงานที่แสดงถึงความ
พยายามในการสร้างสรรค์แม่พิมพ์ให้มีคุณภาพและสามารถใช้งานได้จริง ดังภาพประกอบ 12

ภาพทดสอบ ครั้งที่	ผลการทดสอบ	แนวทางการปรับปรุง	ผลการปรับปรุง
1		ใช้สีและสีกัดแต่ง ให้ขอบเส้น สีขาวคมมากขึ้น	ขอบ คมชัดขึ้น
2		ขอบ แม่พิมพ์มีขนาดไม่เท่ากัน	ขอบแม่พิมพ์ มีขนาดเท่ากัน

ภาพประกอบ 12 การทดสอบและปรับปรุงคุณภาพแม่พิมพ์

หลังจากที่นิสิตได้แม่พิมพ์ที่มีคุณภาพ แข็งแรง และทนทานต่อการใช้งานแล้ว นิสิตจะได้ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่ไม่ชอบน้ำจากแหล่งการเรียนรู้และจากการใช้โทรศัพท์มือถือในการสืบค้นข้อมูล เพื่อนำมาใช้ในการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ โดยนิสิตได้เสนอชนิดของวัสดุที่หลากหลายและแตกต่างจากแหล่งเรียนรู้ที่กำหนดให้ พร้อมทั้งอธิบายคุณสมบัติของวัสดุนั้นๆ ดังภาพประกอบ 13

1) ขี้ผึ้ง - ไม้เลื้อย	ขี้ผึ้ง
2) ผง - สีผสมอาหาร ผงแป้ง ผงน้ำตาล ผงกาแฟ ผงชา ผงนม ผงไข่ ผงกล้วย ผงมะพร้าว ผงถั่ว ผงถั่วเหลือง ผงถั่วเขียว ผงถั่วแดง ผงถั่วดำ ผงถั่วขาว ผงถั่วเหลือง ผงถั่วเขียว ผงถั่วแดง ผงถั่วดำ ผงถั่วขาว	ผงแป้ง ผงน้ำตาล ผงกาแฟ ผงชา ผงนม ผงไข่ ผงกล้วย ผงมะพร้าว ผงถั่ว ผงถั่วเหลือง ผงถั่วเขียว ผงถั่วแดง ผงถั่วดำ ผงถั่วขาว
3) พลาสติก - ยาง	พลาสติก ยาง
4) NAX - ไม้	ไม้
5) ไม้ - ไม้	ไม้
6) ไม้ - ไม้	ไม้
7) ไม้ - ไม้	ไม้
8) ไม้ - ไม้	ไม้

ภาพประกอบ 13 วัสดุที่นิสิตนำเสนอเพื่อใช้ในการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ

จากนั้นผู้สอนได้เลือกวัสดุที่ไม่ชอบน้ำจากที่นิสิตทุกกลุ่มเสนอมา 3 ชนิด ได้แก่ ขี้ผึ้ง พาราฟิน หมึกกันน้ำ และสารละลายผสมระหว่างชั้นสนกับสารส้ม ให้นิสิตร่วมกันทดสอบและเลือกวัสดุที่เหมาะสมที่จะนำมาขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ โดยพิจารณาจากคุณสมบัติการกันน้ำของวัสดุที่ใช้ ซึ่งปรากฏผลดังภาพประกอบ 14

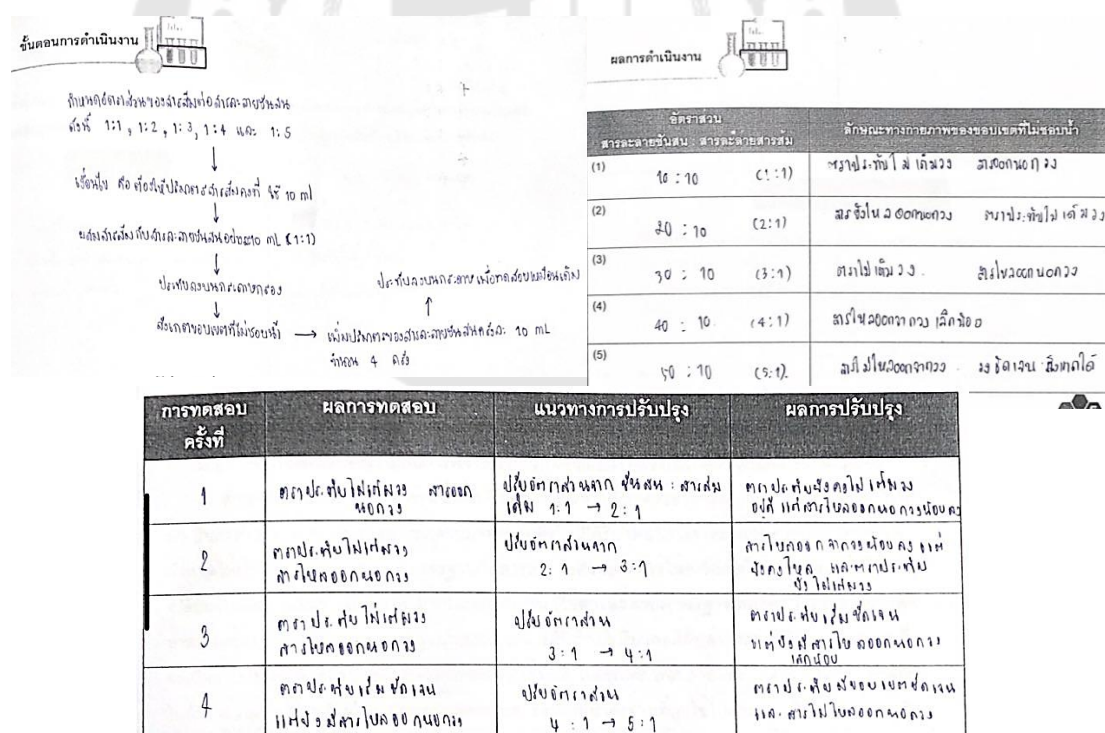
ผลการทดลอง	
วัสดุที่ไม่ชอบน้ำ	ผลการทดลอง
(1) ขี้ผึ้ง	น้ำไม่ซึมเข้า และซึมเข้าช้า
(2) พาราฟิน	น้ำไม่ซึมเข้า และซึมเข้าช้า
(3) สารละลายผสมระหว่างชั้นสนกับสารส้ม	น้ำไม่ซึมเข้า และซึมเข้าช้า

ข้อสรุปเบื้องต้นในการเลือกวัสดุที่ไม่ชอบน้ำ

เลือกใช้วัสดุที่ น้ำไม่ซึมเข้า และซึมเข้าช้า

ภาพประกอบ 14 ผลการทดสอบและเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับนำมาขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ

หลังจากนิสิตทุกกลุ่มตัดสินใจเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับนำมาขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษแล้ว ผู้วิจัยตรวจสอบ พบว่า นิสิตทุกกลุ่มเสนอความคิดตรงกันว่า สารละลายผสมระหว่างชั้นสนกับสารส้ม ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการผสมในอัตราส่วนที่เหมาะสมไว้แล้วนั้น มีความเหมาะสมในการขึ้นรูปมากที่สุด เนื่องจาก สามารถขึ้นรูปด้วยวิธีการประทับพิมพ์ได้ง่าย และมีคุณสมบัติในการกันน้ำที่ดีมาก ซึ่งจากการทดสอบหยดสารละลายสีผสมอาหารปริมาตร 10-12 ไมโครลิตร ไม่พบว่ามีารรั่วไหลออกนอกขอบเขตที่สร้างขึ้น แสดงว่า ภายในวงกลมสามารถบรรจุสารละลายตามปริมาตรที่ต้องการใช้ได้ ผู้วิจัยจึงมอบหมายให้นิสิตได้ช่วยกันหาอัตราส่วนผสมระหว่างสารละลายชั้นสนกับสารละลายสารส้มที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพในการกันน้ำดีที่สุด เพื่อสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่มีคุณภาพ ซึ่งนิสิตหลายกลุ่มเลือกใช้อัตราส่วนเป็น 5 : 1 เนื่องจากสารละลายผสมระหว่างชั้นสนกับสารส้มดังกล่าว มีคุณสมบัติการกันน้ำใกล้เคียงกับอัตราส่วน 4 : 1 ที่ผู้วิจัยได้ทดลองก่อนหน้านี้ เป็นอย่างมาก (พิจารณาจากมุมสัมผัสของหยดน้ำ) และใช้ระยะเวลาอบแห้งน้อยกว่าอัตราส่วน 4 : 1 เป็นเวลา 1 นาทีด้วย ปรากฏผลดังภาพประกอบ 15



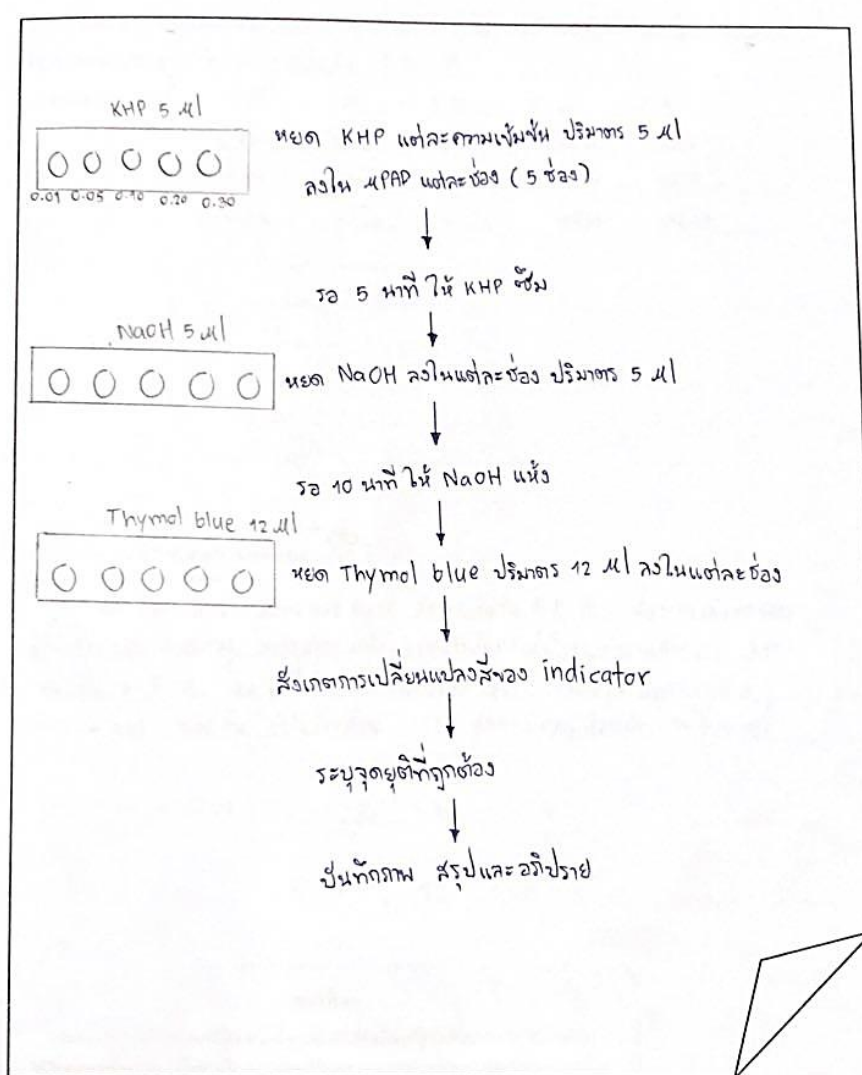
ภาพประกอบ 15 ขั้นตอนและผลการหาอัตราส่วนผสมระหว่างสารละลายชั้นสนกับสารละลายสารส้มที่เหมาะสมในการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ



ภาพประกอบ 16 นิสิตแต่ละกลุ่มร่วมกันประดิษฐ์และทดสอบคุณภาพของ
อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ

เมื่อได้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษที่มีคุณภาพแล้ว นิสิตร่วมกันวางแผนขั้นตอนการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยผู้สอนคอยให้คำแนะนำ ดังภาพประกอบ 17 จากนั้นนิสิตดำเนินการทดลองตามขั้นตอนที่วางแผนไว้ ซึ่งได้ผลการทดลองตามภาพประกอบ 18

วิธีการทดลอง



ภาพประกอบ 17 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ของนิสิต

บันทึกผลการทดลอง

NaOH ... ความเข้มข้นเท่ากับ 0.01 M ... นำไลกาสไปดที่อุณหภูมิห้องป้อนลงเป็นจุดแรก ...
 วัดความเข้มข้นของตัวอย่างใหม่เก็บ ... ส่วนใหญ่ ... 0.01 M

เมื่อทดสอบครั้งที่	0.01	0.05	0.10	0.20	0.30
1	น้ำเงิน	น้ำเงิน	น้ำเงิน	เหลือง	เหลือง
2	น้ำเงิน	น้ำเงิน	น้ำเงิน	เหลือง	เหลือง
3	น้ำเงิน	น้ำเงิน	น้ำเงิน	เหลือง	เหลือง



สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า สารละลาย NaOH มีความเข้มข้น 0.1 M ... เพื่อทราบเพื่อทดสอบ ...
 ด้วยอินดิเคเตอร์ไทมอลบลู ... พบว่าสารใหม่เปลี่ยนจากสีเหลืองเข้มเป็นสีน้ำเงินที่ความเข้มข้นของ KHP ...
 ผิดค่าเท่ากับ 0.1 M ... และทำให้ทราบความเข้มข้นของ NaOH ... ได้ใหม่ ... เกิดปฏิกิริยา ...
 NaOH กับ KHP ... พบดังนี้ คือในอัตราส่วน 1:1 ... ที่เกิดจากผลการป้อนสารอินดิเคเตอร์

% ความคลาดเคลื่อน = $\frac{|0.1 - 0.1|}{0.1} \times 100 = 0\%$

RSD = 0% , $\bar{X} = 0.1$, $SD = 1.699 \times 10^{-17}$

ภาพประกอบ 18 ผลการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
 โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษของนิสิต

**รายละเอียดและภาพประกอบแสดงพฤติกรรมการทำงาน ผลงานของนิสิต
กลุ่มเป้าหมาย สำหรับใช้ในการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
องค์ประกอบที่ 2 การทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์**

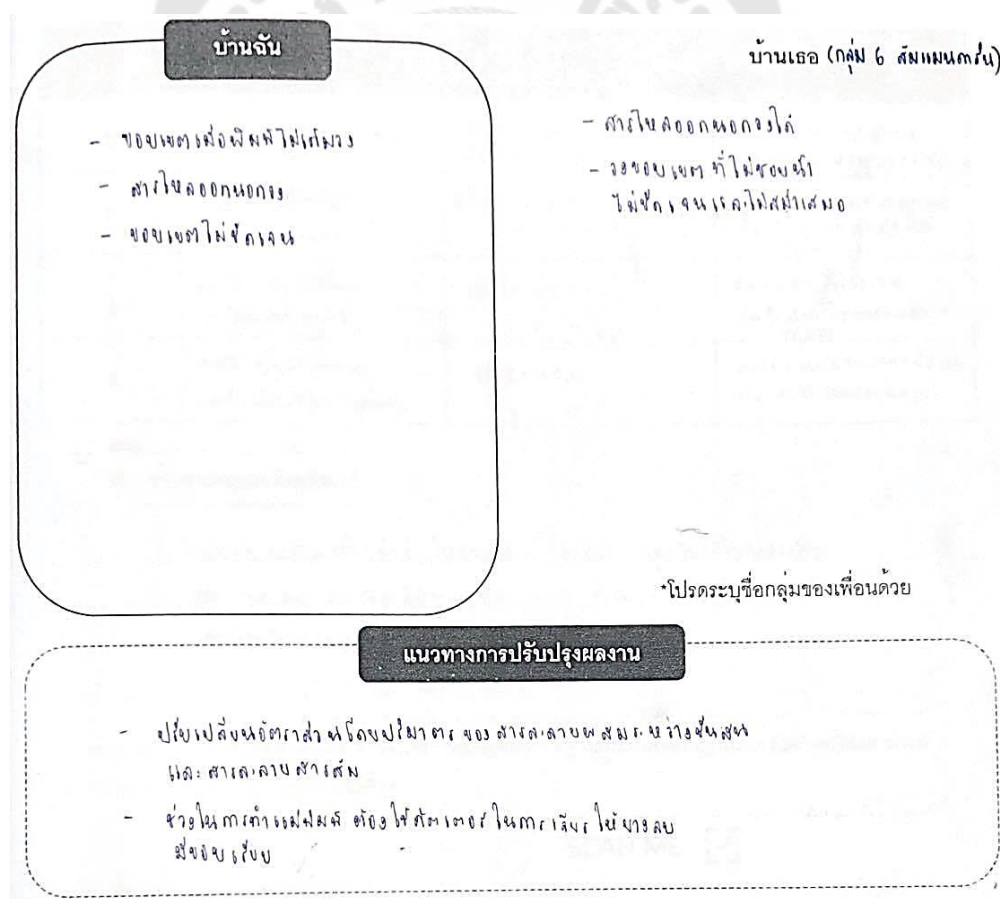
ก่อนเริ่มการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของ
ไหลจุลภาคฐานกระดาษ เรื่อง สารละลายกรด-เบส ผู้สอนได้แบ่งนิสิตด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่ายโดย
ใช้โปรแกรม Super soom เป็นกลุ่มเล็ก จำนวน 7 กลุ่ม แบ่งเป็นกลุ่มละ 3 คน 6 กลุ่ม และกลุ่มละ
4 คน 1 กลุ่ม เพื่อนิสิตทุกคนในกลุ่มได้มีส่วนร่วมในการปฏิบัติกิจกรรมอย่างทั่วถึงโดยตลอด
ระยะเวลาที่ดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ จากนั้นนิสิตแต่ละกลุ่ม แบ่งหน้าที่หัวหน้ากลุ่ม
สมาชิกกลุ่ม หรือเลขานุการกลุ่ม (ถ้ามี) ตามความสมัครใจและความเห็นชอบของสมาชิกในกลุ่ม

ในการติดตามผลการทำงานและการส่งงานของนิสิต เพื่อประเมินการรู้จักบทบาท
หน้าที่ และ มีความรับผิดชอบในการทำงานกลุ่มของนิสิตทุกกลุ่มและทุกคน ผู้วิจัยได้สร้างกลุ่ม
Facebook เพื่อเป็นช่องทางในการส่งงานทั้งในรูปแบบเอกสาร รูปภาพและวิดีโอคลิปการทำงาน
รวมถึงการนำเสนอผลงานที่นิสิตแต่ละกลุ่มได้รับมอบหมาย ดังภาพประกอบ 20 ซึ่งจากการ
ตรวจสอบการส่งงาน พบว่า มีเพียงสัปดาห์ที่ 1 ของการจัดการเรียนรู้เท่านั้น ที่มีนิสิตจำนวน 3
กลุ่ม ส่งงานไม่ตรงเวลา ส่วนในสัปดาห์ที่ 2-3 นิสิตส่งงานตรงตามเวลาที่กำหนดทุกกลุ่ม ซึ่งแสดง
ให้เห็นถึงความกระตือรือร้นและรับผิดชอบในการทำงานของนิสิตทุกคน



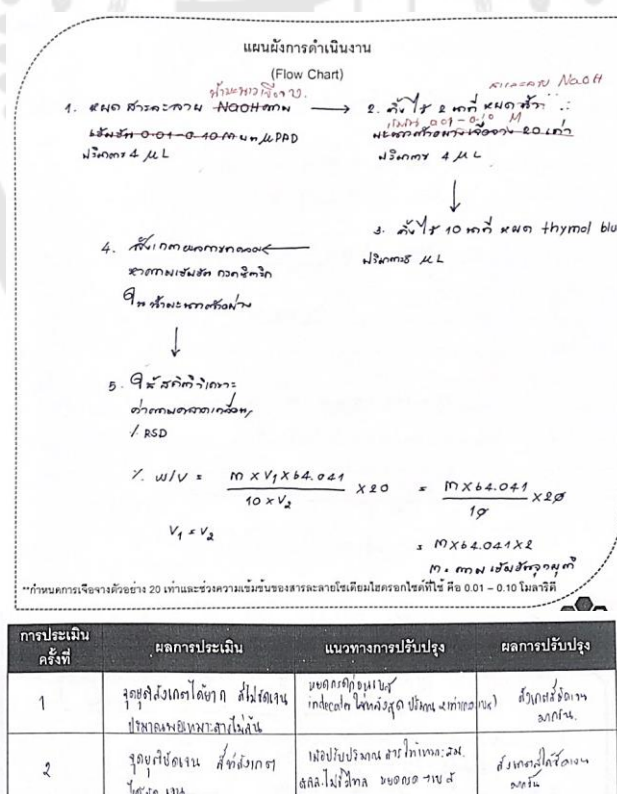
ภาพประกอบ 20 กลุ่ม Facebook ที่ใช้เป็นสื่อกลางในการติดต่อ
และส่งงานของนิสิตในระหว่างการจัดการเรียนรู้

จากการสังเกตพฤติกรรมการทำงานของนิสิตทั้งในชั้นเรียนและผ่านคลิปวิดีโอที่บันทึกไว้ พบว่า นิสิตทุกคนช่วยกันเสนอความคิดของตนเองให้กับสมาชิกในกลุ่ม ด้วยวิธีการอธิบาย การยกตัวอย่าง การอธิบายด้วยเหตุผลและหลักการทางวิทยาศาสตร์ จนนำไปสู่การสร้างสรรค์หรือปรับปรุงผลงาน/วิธีการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพร่วมกัน นอกจากนี้ นิสิตในแต่ละกลุ่มจะเปิดใจรับฟังและเคารพความคิดของเพื่อนสมาชิกในกลุ่มตนเองแล้ว นิสิตยังได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้กับเพื่อนต่างกลุ่มผ่านการพูดคุยการนำเสนอ และการอธิบายร่วมกันทั้งชั้นเรียน เพื่อช่วยการหาข้อสรุปและแนวทางการปรับปรุงร่วมกัน จนนำไปสู่การพัฒนากระบวนการทำงานที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังตัวอย่างในภาพประกอบ 21 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า นิสิตร่วมกันลงข้อสรุปทั้งภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม จนนำไปสู่การหาแนวทางปรับปรุงคุณภาพอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษมีคุณภาพมากขึ้น



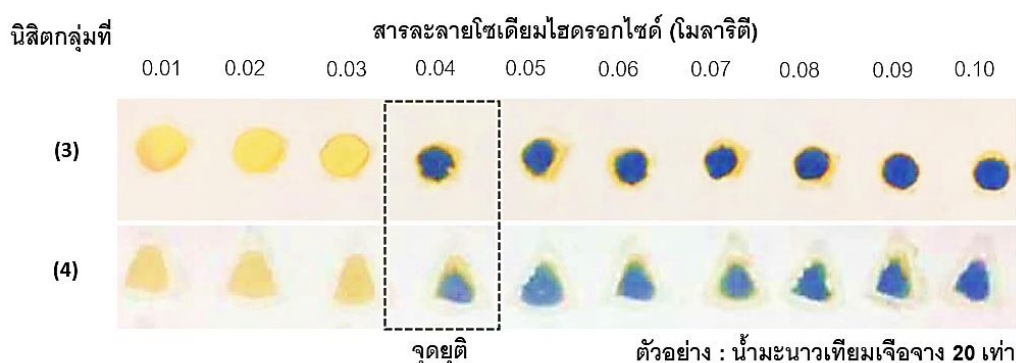
ภาพประกอบ 21 การบันทึกผลแนวทางการประดิษฐ์และปรับปรุงคุณภาพอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษของกลุ่มนิสิตและกลุ่มเพื่อน

จากนั้น นิสิตทุกกลุ่มร่วมกันสรุปองค์ความรู้จากสัปดาห์ที่ 1 และ 2 ของกลุ่มตนเอง และกลุ่มเพื่อน ในประเด็นการประดิษฐ์และวิธีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษในการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไฮดรอกไซด์ แล้วลงข้อสรุปร่วมกัน เพื่อหาแนวทางการต่อยอดองค์ความรู้ไปประยุกต์ใช้กับการหาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมในสัปดาห์ที่ 3 โดยผู้สอนจะไม่ให้คำปรึกษาใด ๆ แก่นิสิตในระหว่างปฏิบัติกิจกรรม ซึ่งเป็นการฝึกให้นิสิตได้แก้ไขปัญหาด้วยตนเองและฝึกทักษะการทำงานร่วมกับเพื่อน สมาชิกภายในกลุ่มอย่างสร้างสรรค์ ผ่านการลองผิดลองถูก การทดสอบและปรับปรุงขั้นตอนการดำเนินงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังภาพประกอบ 22 ที่นิสิตได้สร้างแผนผังการดำเนินงาน เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษ โดยนิสิตได้มีการปรับเปลี่ยนลำดับขั้นตอนในการตรวจวิเคราะห์ หลังจากที่นิสิตได้ทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษในครั้งแรกแล้ว ซึ่งแสดงให้เห็นว่า นิสิตมีการนำอุปสรรค ปัญหาที่พบในระหว่างการทำงานมาปรับใช้ในการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาหรือผลงานให้ดีขึ้นในครั้งต่อไปด้วย



ภาพประกอบ 22 แผนผังการดำเนินงานและการทดสอบประสิทธิภาพการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษ

หลังจากที่นิสิตปรับปรุงขั้นตอนในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษแล้ว พบว่า ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมเฉลี่ย 3 ครั้ง เท่ากับร้อยละ 5.125 โดยมีผลต่อปริมาตร ทุกกลุ่ม ซึ่งมีค่าเท่ากับผลการทดลองที่ผู้วิจัยทดลองมาก่อนหน้านี้ โดยตัวอย่างผลการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกของนิสิต แสดงในภาพประกอบ 23

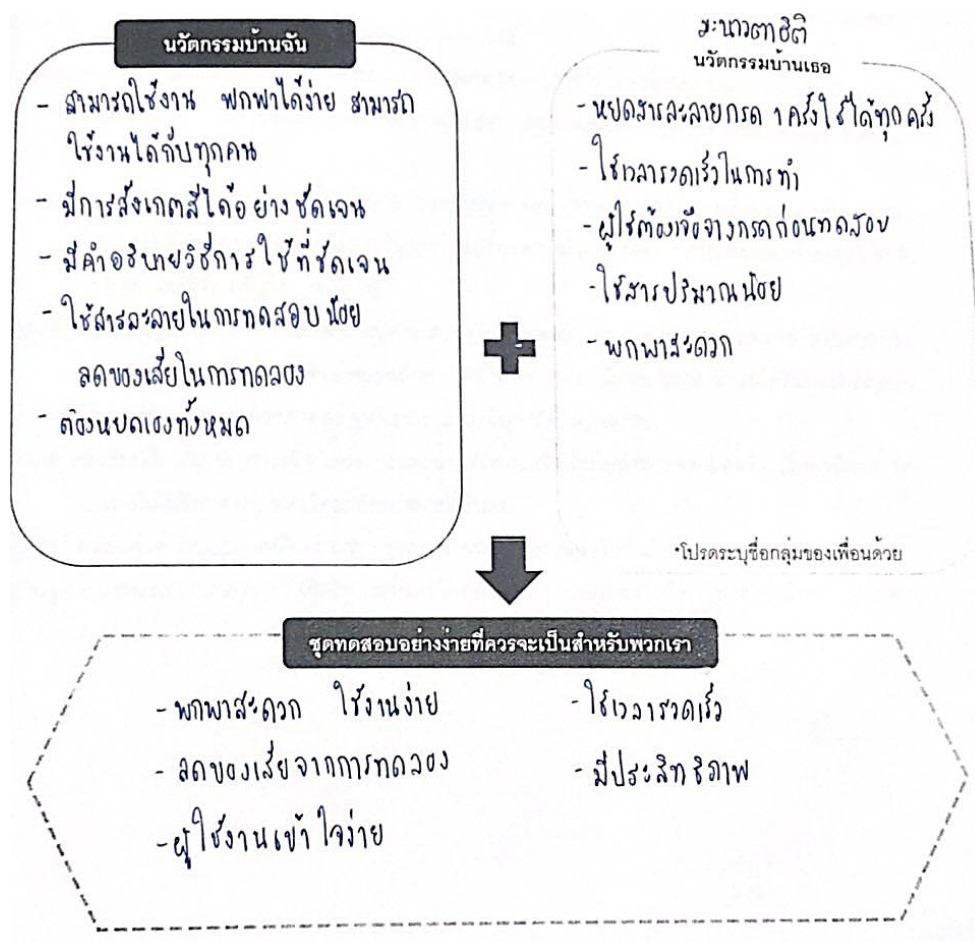


ภาพประกอบ 23 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมด้วยอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษของนิสิต

เมื่อนิสิตทุกกลุ่มได้เรียนรู้ เข้าใจ และสามารถประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมเป็นอย่างดีแล้ว ผู้สอนจึงมอบหมายให้นิสิตทุกกลุ่มร่วมกันสร้างสรรค์เป็นนวัตกรรมชุดทดสอบอย่างง่ายโดยประยุกต์ใช้และต่อยอดจากความรู้ที่ได้รับ ซึ่งนิสิตทุกกลุ่มร่วมกันออกแบบนวัตกรรมชุดทดสอบอย่างง่าย โดยมีแนวคิดในการออกแบบที่หลากหลาย และเข้าใจในเงื่อนไขปัญหาของการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียม เพื่อความปลอดภัยในการบริโภคเป็นอย่างดี จนนำไปสู่การออกแบบชุดทดสอบอย่างง่ายที่มีความคิดสร้างสรรค์ และไม่ซ้ำรูปแบบกันระหว่างกลุ่ม

หลังจากนิสิตทุกกลุ่มออกแบบชุดทดสอบอย่างง่ายเสร็จเรียบร้อยแล้ว นิสิตแต่ละกลุ่มร่วมกันสรุปและบอกเล่าจุดแข็ง จุดอ่อนของนวัตกรรมชุดทดสอบอย่างง่ายของกลุ่มตนเองให้เพื่อนกลุ่มอื่น ๆ รับฟัง เพื่อเป็นการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ทั้งจุดแข็ง และจุดอ่อนซึ่งกันและกัน แล้วนำจุดแข็งของกลุ่มเพื่อน มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนากระบวนการออกแบบ เพื่อลดจุดอ่อนของกลุ่ม

ตนเองให้น้อยที่สุด และสุดท้าย นิสิตทุกกลุ่มช่วยกัน สรุปจุดแข็งหรือคุณลักษณะที่ดีของชุดทดสอบอย่างง่ายที่ควรจะเป็นร่วมกัน ดังภาพประกอบ 24



ภาพประกอบ 24 จุดแข็ง จุดอ่อนของนวัตกรรมชุดทดสอบอย่างง่าย
ที่นิสิตแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกัน

รายละเอียดพฤติกรรมการทำงาน ผลงานของนิสิตกลุ่มเป้าหมาย สำหรับใช้ในการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม องค์ประกอบที่ 3 การใช้นวัตกรรม

ในการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม องค์ประกอบที่ 3 การใช้ นวัตกรรมผู้ประเมินทั้ง 3 ท่าน จะพิจารณาจากคุณภาพผลงานที่นิสิตได้ประดิษฐ์ขึ้น ได้แก่ แม่พิมพ์ที่แกะสลักจากยางลบ และอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ โดย กำหนดเกณฑ์เกี่ยวกับขนาด พื้นที่ภายในแม่พิมพ์และขอบเขตไม่ชอบน้ำที่สร้างขึ้น ซึ่งนิสิต สามารถแกะสลักแม่พิมพ์ให้มีพื้นที่ภายในตามที่กำหนดอยู่ระหว่างร้อยละ 86.40-100.00 รวมถึงความสามารถในการบรรจุสารละลาย โดยนิสิตส่วนใหญ่สามารถบรรจุ สารละลายที่มีปริมาตรอยู่ระหว่าง 10-12 ไมโครลิตรตามที่กำหนด

จากนั้น เมื่อนิสิตทุกกลุ่มปรับปรุงอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐาน กระดาษจนมีคุณภาพและพร้อมใช้งานแล้ว นิสิตทุกกลุ่มได้นำอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล จุลภาคฐานกระดาษไปประยุกต์ใช้ในการหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายไซเดียม- ไฮดรอกไซด์และหาปริมาณกรดซิตริกในตัวอย่างน้ำมะนาวเทียมตามขั้นตอนที่นิสิตออกแบบและ วางแผนไว้ โดยผู้ประเมิน จะประเมินจากความถูกต้อง (ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน) ความสามารถในการทำซ้ำ (ช่วงของค่าร้อยละการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% RSD) หรือ สัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.) ในการทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง) และความสะดวกในการใช้งาน (ระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์แต่ละครั้ง) ซึ่งหลังจากการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของ ไหลจุลภาคฐานกระดาษในการทดลอง พบว่า นิสิตส่วนใหญ่ ได้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน ต่ำ กว่าร้อยละ 3.00 ค่าร้อยละการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของนิสิต 5 จาก 7 กลุ่ม เท่ากับ ร้อยละ 0.00 และระยะเวลาที่ใช้มีความเหมาะสมในระดับดีและดีมาก

สำหรับการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังการจัดการเรียนรู้ของ นิสิต องค์ประกอบที่ 3 การใช้นวัตกรรม ในส่วนสุดท้าย คือ การประเมินจากการนำเสนอผลงาน ซึ่งนิสิตทุกคนในกลุ่มจะต้องมีส่วนร่วมในการนำเสนอ เพราะนอกจากนิสิตจะร่วมกันสร้างสรรค์ ผลงานที่มีคุณภาพและสามารถนำไปใช้งานได้จริงแล้ว นิสิตทุกคนจะต้องเข้าใจกระบวนการสร้าง นวัตกรรมและสามารถสื่อสารนวัตกรรมของกลุ่มตนเองให้กับผู้อื่นรับรู้ เข้าใจ และเห็นถึง แนวทางการใช้ประโยชน์ที่สร้างสรรค์ คุ่มค่า สอดคล้องและตอบสนองกับสถานการณ์ปัญหา รวมถึงจุดมุ่งหมายของการสร้างนวัตกรรม

ในส่วนของการประเมินการนำเสนอผลงาน นอกจากผู้สอนเป็นผู้ประเมินแล้ว ยังเปิดโอกาสให้นิสิตทุกกลุ่มประเมินตนเอง และกลุ่มเพื่อนร่วมกันประเมินด้วย เพื่อให้นิสิตมีส่วน ร่วมในการตัดสินผลการนำเสนอและช่วยพิจารณาความครบถ้วนองค์ประกอบของการนำเสนอ

รูปแบบการนำเสนอที่น่าสนใจและมีการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามาช่วยอย่างหลากหลาย รวมทั้งความสามารถในการนำเสนอ (Performance) ที่พิจารณาจากบุคลิกภาพ ความมั่นใจ การแก้ปัญหาเฉพาะหน้า และการตอบคำถามเกี่ยวกับนวัตกรรมที่ตนเองออกแบบในประเด็นแนวคิดในการออกแบบ ส่วนประกอบของนวัตกรรมชุดทดสอบอย่างง่าย วิธีการใช้งาน และแนวทางการต่อยอดนวัตกรรม เพื่อใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า





ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ t-test for One Sample
จากโปรแกรม IBM SPSS Statistics 20

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
SCORE	7	66.0714	2.31933	.87662

One-Sample Test

One-Sample Test						
	Test Value = 50.40					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	99% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
SCORE	17.877	6	.000	15.67143	12.4214	18.9214

ภาพประกอบ 25 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ t-test for One Sample จากโปรแกรม IBM SPSS Statistics 20 เพื่อทดสอบสมมติฐานข้อที่ 2

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายวิวัฒน์ จำปาทอง
วัน เดือน ปี เกิด	6 ธันวาคม 2537
สถานที่เกิด	พระนครศรีอยุธยา
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2560 การศึกษาระดับบัณฑิต สาขาวิชาเคมี จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ที่อยู่ปัจจุบัน	155 หมู่ที่ 1 ตำบล สี่ร้อย อำเภอบางบาล จังหวัด อ่างทอง 14110
ผลงานตีพิมพ์	การพัฒนาวิธีการขึ้นรูปอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ฐานกระดาษโดยใช้วัสดุที่หาได้ง่าย สำหรับการตรวจวัดค่าความเป็นกรดต่าง ในงานประชุมวิชาการ เสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 21 ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น