



การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำโดยใช้อุปกรณ์
ห้องปฏิบัติการบนชิพ ร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม
ของนิสิตระดับปริญญาตรี

DEVELOPMENT OF ANALYTICAL LABORATORY ON DETERMINATION OF IRON IN
WATER BY USING LAB ON A CHIP DEVICE WITH COLORIMETRIC ANALYSIS TO

ปิยธิดา สุภา

การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำโดยใช้อุปกรณ์
ห้องปฏิบัติการบนชิพ ร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม
ของนิสิตระดับปริญญาตรี



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

DEVELOPMENT OF ANALYTICAL LABORATORY ON DETERMINATION OF IRON IN
WATER BY USING LAB ON A CHIP DEVICE WITH COLORIMETRIC ANALYSIS TO
IMPROVE LEARNING AND INNOVATION SKILLS FOR UNDERGRADUATE STUDENTS



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

การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำโดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ
ร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมของนิสิตระดับปริญญาตรี

ของ

ปิยธิดา สุภา

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ดรบบัณฑิต)

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรณี ลีกิจวัฒน์นะ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นวลละออ รัตนวิมานวงศ์)

ชื่อเรื่อง	การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ โดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ ร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมของนิสิตระดับปริญญาตรี
ผู้วิจัย	ปิยธิดา สุภา
ปริญญา	การศึกษามหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2562
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยรัตน์ ตรีบัณฑิต

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ถูกพัฒนาขึ้นได้นำไปใช้กับนิสิตปริญญาตรี เพื่อส่งเสริมทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมของนิสิต และทำการประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมทั้งสามด้านของผู้เรียน ได้แก่ ทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ทักษะด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา และทักษะด้านการสื่อสารและร่วมมือทำงาน โดยนิสิตจะถูกกระตุ้นให้สร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพด้วยตนเองในชั้นเรียน สำหรับการตรวจวัดสีของสารประกอบเชิงซ้อนสามารถทำได้โดยการถ่ายภาพด้วยกล้องโทรศัพท์ แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมอิมเมจเจ ผลการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่าบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมมาก เมื่อนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปใช้ ผลปรากฏว่าคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมและทักษะด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหาของผู้เรียน สูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 นอกจากนี้ คะแนนเฉลี่ยหลังเรียนทักษะด้านการสื่อสารและร่วมมือทำงาน สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

คำสำคัญ : บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์, ห้องปฏิบัติการบนชิพ, การวิเคราะห์แบบเทียบสี, การวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำ, ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม, นิสิตระดับปริญญาตรี

Title	DEVELOPMENT OF ANALYTICAL LABORATORY ON DETERMINATION OF IRON IN WATER BY USING LAB ON A CHIP DEVICE WITH COLORIMETRIC ANALYSIS TO IMPROVE LEARNING AND INNOVATION SKILLS FOR UNDERGRADUATE STUDENTS
Author	PIYATIDA SUPA
Degree	MASTER OF EDUCATION
Academic Year	2019
Thesis Advisor	Assistant Professor Piyarat Doonbhundit

This research aims to develop an analytical laboratory for the determination of iron in water by using a lab on a chip device with colorimetric analysis. The developed analytical laboratory was applied to undergraduate students in order to investigate the improvement of learning and innovation skills among the students. The three learning and innovation skills included creativity, innovation skills, critical thinking and problem-solving skills, and communication and collaborative skills. The students were encouraged to create a device in class themselves. The detection of the colored complex was carried out by a mobile camera followed by the ImageJ[®] program. The results of expert evaluation showed that the quality of developed laboratory was at a high level. By studying the developed analytical laboratory, the average posttest scores in creativity and innovation skills and critical thinking and problem-solving skills were higher than the pretest average scores at a statistically significant level of .05. In addition, the posttest average scores of communication and collaborative skills were higher than the criteria of 80 percent at a statistically significant level of .05.

Keyword : Analytical laboratory, Chip device, Colorimetric Analysis, Determination of iron in water, Learning and innovation skills, Undergraduate students

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยรัตน์ ตรีบัณฑิต อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ที่ท่านได้เสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะต่าง ๆ และความช่วยเหลือที่เป็นประโยชน์ตลอดการทำวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พรรณี ลีกิจวัฒน์ ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบปากเปล่าปริญญาานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นวลละออ รัตนวิมานวงศ์ ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำต่าง ๆ เพื่อให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ ส่งศรีโรจน์ และ อาจารย์ ดร. ชัชฎาภรณ์ พิณทอง ที่ให้ความกรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาคเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้ และให้ความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา และขอขอบคุณนิสิตหลักสูตรการศึกษาระดับบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ชั้นปีที่ 4 ปีการศึกษา 2562 ที่ให้ความร่วมมือในการดำเนินการวิจัย ทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน โดยเฉพาะด้านการศึกษา ตลอดจนเป็นกำลังใจที่สำคัญที่ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในครั้งนี้ ขอขอบคุณกัลยาณมิตรทุกท่านที่อยู่เคียงข้างกันเสมอมา

ปิยธิดา สุภา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	4
ความสำคัญของการวิจัย	5
ขอบเขตของการวิจัย	5
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	6
กรอบแนวคิดการวิจัย	8
สมมติฐานการวิจัย.....	8
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม.....	10
1. การศึกษาในศตวรรษที่ 21.....	10
2. ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม.....	16
3. หลักสูตรการศึกษาระดับชาติ.....	23
4. บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์	24
5. หลักการของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ.....	27
6. การวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำ	30

7. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	32
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	35
1. การกำหนดประชากรและเลือกกลุ่มตัวอย่าง	35
2. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	36
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล	49
4. การจัดกระทำข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล.....	51
บทที่ 4 ผลการศึกษา	54
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	66
ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	66
สมมติฐานการวิจัย.....	66
วิธีดำเนินการวิจัย.....	67
สรุปผลการวิจัย.....	70
อภิปรายผลการวิจัย	71
บรรณานุกรม	79
ภาคผนวก.....	85
ประวัติผู้เขียน.....	137

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 ทักษะเจ็ดข้อในการดำรงตนในยุคนิวโม่	13
ตาราง 2 ทักษะที่จะช่วยให้อยู่รอด	14
ตาราง 3 กรอบความคิดเพื่อการจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21	15
ตาราง 4 การเลือกใช้วิธีการและเครื่องมือประเมินการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ของการประเมิน ..	21
ตาราง 5 วิธีการประเมินเป้าหมายทางการศึกษาด้านทักษะ วิธีการปฏิบัติและการสร้างวรรค์ผลงาน	22
ตาราง 6 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย	36
ตาราง 7 ขั้นตอนการขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ	41
ตาราง 8 วิธีการศึกษาความเข้มข้นของวุ้น	42
ตาราง 9 ขั้นตอนการขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ	43
ตาราง 10 โครงสร้างบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ	45
ตาราง 11 เกณฑ์การประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม	47
ตาราง 12 รูปแบบวิจัย	49
ตาราง 13 การจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 5 ขั้นตอน	50
ตาราง 14 ค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นตรง (Coefficient of determination, r^2)	56
ตาราง 15 สมการเส้นตรง และค่า r^2 ของกราฟมาตรฐานเมื่อใช้ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง ในช่วง 20-100 ไมโครลิตร	56
ตาราง 16 ค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นตรง (Coefficient of determination, r^2) จากปฏิกิริยาที่เกิดใน อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ	58
ตาราง 17 แสดงลักษณะของวุ้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 %w/v	59
ตาราง 18 ผลการทดสอบความเที่ยงของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบ เทียบสี	61

ตาราง 19 ค่าคะแนน ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมี
วิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำโดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์
แบบเทียบสี..... 62

ตาราง 20 ผลการเปรียบเทียบคะแนนทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และ
นวัตกรรม ก่อนและหลังเรียนโดยใช้บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิต 63

ตาราง 21 ผลการเปรียบเทียบคะแนนทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการคิดเชิงวิพากษ์และ
การแก้ปัญหา ก่อนและหลังเรียนโดยใช้บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิต..... 64

ตาราง 22 ผลการเปรียบเทียบคะแนนทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการสื่อสารและร่วมมือ
ทำงาน ก่อนและหลังเรียนโดยใช้บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิต..... 65



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 กรอบความคิดเพื่อการเรียนรู้ของศตวรรษที่ 21	16
ภาพประกอบ 2 ตัวอย่างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ	28
ภาพประกอบ 3 กราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (concentration calibration curve)	31
ภาพประกอบ 4 อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพช่องแบบวงกลม	38
ภาพประกอบ 5 อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพช่องแบบตรง	38
ภาพประกอบ 6 อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพช่องแบบขด	38
ภาพประกอบ 7 แม่แบบสำหรับการขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพแบบกลม	39
ภาพประกอบ 8 แม่แบบสำหรับการขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพแบบตรง	39
ภาพประกอบ 9 แม่แบบสำหรับการขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพแบบขด	40
ภาพประกอบ 10 แม่แบบ 3 มิติสำหรับการขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพแบบกลม	40
ภาพประกอบ 11 แม่แบบ 3 มิติสำหรับการขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพแบบตรง	40
ภาพประกอบ 12 แม่แบบ 3 มิติสำหรับการขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพแบบขด	41
ภาพประกอบ 13 สีสารประกอบเชิงซ้อนสารละลายเหล็กมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.1-5.0 mg/L	55
ภาพประกอบ 14 สีของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากสารละลายเหล็กมาตรฐาน	56
ภาพประกอบ 15 แม่พิมพ์จากแผ่นพลาสติกใส	57
ภาพประกอบ 16 อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพแบบกลม	57
ภาพประกอบ 17 อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพแบบตรง	58
ภาพประกอบ 18 อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพแบบขด	58
ภาพประกอบ 19 การขึ้นรูปวุ้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5	59
ภาพประกอบ 20 การขึ้นรูปวุ้นความเข้มข้นของน้ำตาลที่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 %w/v	60

ภาพประกอบ 21 การขึ้นรูปฐานความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ที่ 85-95 องศาเซลเซียส 60

ภาพประกอบ 22 แผนภาพการทดลองเรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น. 73

ภาพประกอบ 23 ผลงานการสืบค้นวิธีวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำของผู้เรียน 74

ภาพประกอบ 24 ผลงานอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพก่อนเรียนและหลังเรียน..... 75

ภาพประกอบ 25 กระบวนการทำงานกลุ่มของผู้เรียน..... 76

ภาพประกอบ 26 การออกแบบอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพของผู้เรียน 76



บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

การศึกษาในศตวรรษที่ 21 คือการจัดการเรียนรู้ให้กับผู้เรียนเพื่ออยู่รอดท่ามกลางการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในภาวะแวดล้อมของยุคโลกาภิวัตน์ ระบบการศึกษาต้องปรับให้เท่าทันในหลายๆด้าน ทั้งเศรษฐกิจ การเมืองและสังคม (Delaney, 2019) และยังสำคัญในการนำการพัฒนาไปสู่สังคมในอนาคตอีกด้วย (Watanabe, 2016) ในปัจจุบันการสร้างให้ผู้เรียนมีทักษะในการเรียนรู้ตลอดชีวิต เป็นสิ่งสำคัญ พร้อมทั้งการสร้างให้ผู้เรียนมีกระบวนการทางความคิดที่ซับซ้อนมากขึ้น ตัวอย่างเช่น การฝึกให้ผู้เรียนมีความคิดขั้นสูง นั่นคือคิดอย่างสร้างสรรค์และคิดอย่างมีวิจารณญาณ เพื่อให้ผู้เรียนนั้นสามารถแก้ปัญหาและตัดสินใจ ซึ่งจะมีส่วนเกี่ยวข้องของทั้งทางด้านอาชีพการทำงาน รวมไปถึงการเข้าสังคมและการทำงานร่วมกับผู้อื่นตามมา (Sleicher, 2010) หรือที่องค์การภาคความร่วมมือทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 หรือ P21 เรียกว่า “ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม” (Partnership for 21st Century Skills, 2010) อีกทั้งในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาปฏิเสธไม่ได้เลยว่า วิทยาการทางวิทยาศาสตร์ได้มีส่วนสำคัญต่อชีวิตเราเป็นอย่างมาก รวมไปถึงในทางการศึกษาด้วยเช่นกัน ผลที่เกิดขึ้นต่อการศึกษาเริ่มตั้งแต่มีการเกิดเครือข่ายขนาดใหญ่หรือเว็บ ที่สามารถเชื่อมต่อโลกทั้งโลกเข้าด้วยกัน อีกทั้งยังเป็นรูปแบบหนึ่งในการเชื่อมโยงข่าวสารข้อมูลต่างๆในโลก ผู้คนสามารถค้นคว้าข้อมูลข่าวสารเพียงใช้นิ้วสัมผัส ดังนั้นเทคโนโลยีจึงสร้างวิธีการเรียนรู้แบบใหม่ทั้งในระดับโรงเรียนและมหาวิทยาลัยให้สะดวกมากขึ้น (Evenson, 2017) โดยเฉพาะส่งผลต่อการจัดการเรียนการสอนในสาขาวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ ทั้งวิชาเคมี ฟิสิกส์และชีววิทยา

วิชาเคมีถือเป็นวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์แขนงหนึ่ง เนื้อหาของวิชาเคมีบางเนื้อหาเป็นเรื่องที่ซับซ้อนเข้าใจยาก บางครั้งต้องอาศัยแบบจำลองหรือโมเดล ในการอธิบายความรู้และมโนทัศน์ต่าง ๆ (สุพรรณดี ชาญประเสริฐ, 2556) การจัดการเรียนรู้ในวิชาเคมีนอกจากจะเน้นการเรียนเนื้อหาแล้วยังต้องอาศัยการทดลองทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Experiment) เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการเรียนการสอน อย่างไรก็ตามการจัดการเรียนการสอนด้วยการทดลองทางวิทยาศาสตร์ส่วนมากมีความยุ่งยาก ในการจัดเตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือในการทดลองไม่มีความพร้อมต่อการใช้งานและยังใช้สารเคมีเป็นจำนวนมาก จนทำให้ผู้เรียนขาดโอกาสในการเรียนรู้จนเป็นสาเหตุให้ผู้เรียนเองขาดทักษะทางวิทยาศาสตร์ในการฝึกปฏิบัติการทดลองไปด้วย จึงทำให้ในปี ค.ศ. 1982 ได้เริ่มพัฒนาการทดลองด้วยเทคนิคไมโครสเกล พัฒนาขึ้นเพื่อลดการใช้เครื่องมือที่ยุ่งยาก ลดการ

ใช้สารเคมีในการปฏิบัติการทดลอง โดยมีการนำไปใช้กับการทดลองวิชาเคมีอินทรีย์ในชั้นเรียนของนักศึกษา (สาลินี อาจารย์, 2552) ประโยชน์มีหลายด้าน เช่น ด้านความปลอดภัย ด้านค่าใช้จ่าย ด้านระยะเวลา ด้านสิ่งแวดล้อมและด้านส่งเสริมการเรียนรู้ให้แก่ผู้เรียน (ศุภวรรณ ตันตยานนท์, 2554) ขณะที่การทดลองด้วยเทคนิคไมโครสเกลกำลังได้รับความนิยมมากขึ้น อีกไม่กี่ปีต่อมาหลังจากนั้นได้มีการพัฒนาการทดลองทางวิทยาศาสตร์ขึ้นมาใหม่เรียกว่า “หลักการไมโครฟลูอิดิกส์” ไมโครฟลูอิดิกส์ถือเป็นผลพวงมาจากการพัฒนาที่รวดเร็วของจนทำให้เกิดวิทยาการใหม่ในแวดวงวิทยาศาสตร์ หลักการที่สำคัญคือการจัดการของไหลที่ปริมาณน้อย ในระดับไมโครลิตรไปจนถึงพิโคลิตรที่ไหลผ่านช่องที่มีความกว้างในระดับไมโครเมตร (อดิสร เตือนตรานนท์ และคณะ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, 2556) ความรู้เกี่ยวกับไมโครฟลูอิดิกส์ทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่ถูกนำมาใช้เป็นที่แพร่หลายมากขึ้น ไมโครฟลูอิดิกส์จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์หรือเครื่องมือได้อีกด้วย ซึ่งหนึ่งในอุปกรณ์ที่ใช้หลักการไมโครฟลูอิดิกส์ นั่นก็คืออุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิปหรือ Lab-on-a-chip (Castillo & Jaime, 2015)

ห้องปฏิบัติการบนชิป (Lab-on-a-Chip) เป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจวิเคราะห์ทางเคมีโดยทั่วไปวัสดุที่ใช้สร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิป นิยมใช้แก้วหรือพลาสติก เช่น พอลิเมทิลซิลอกเซน (Polydimethylsiloxane) พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl methacrylate) การสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิปที่สำคัญอีกสิ่งหนึ่งคือการสร้างท่อและหลุมเพื่อบรรจุสารเคมีบนอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิป โดยเรียกระบบการขึ้นรูปอุปกรณ์ การขึ้นรูปอุปกรณ์ สามารถทำได้หลากหลายวิธีเช่นกัน เช่น การแกะสลัก (Lithography) การหล่อแบบโดยใช้แม่พิมพ์ (Molding) การตัด (Cutting) และการกัดด้วยเครื่องกัด (Milling) เป็นต้น เมื่อศึกษาการวิจัยเกี่ยวกับอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิปที่ผ่านมาพบว่า การเลือกใช้วัสดุและเทคนิคในการขึ้นรูปจะแตกต่างกันออกไป เช่น (Wietsma, 2018) ได้สร้างชุดอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิปโดยใช้วัสดุเป็นพอลิเมทิลซิลอกเซน (PDMS) (อดิสร เตือนตรานนท์ และคณะ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, 2556) ได้สร้างห้องปฏิบัติการระบบของไหลจุลภาคบนชิปที่มีวัสดุนาโนประกอบรวมด้วย จึงทำให้เห็นว่าการสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิปที่สร้างขึ้นนั้นจะเป็นไปตามวัตถุประสงค์และการใช้งานนั่นเอง ในปี ค.ศ. 2010 Yang (2010) ผลิตห้องปฏิบัติการบนชิปราคาถูกลง เพื่อใช้ในการสอนปฏิบัติการทดลองเกี่ยวกับของไหลจุลภาค ห้องปฏิบัติการบนชิปที่ผลิตขึ้นนั้นมีราคาถูกลง ประดิษฐ์ได้ง่ายและใช้การขึ้นรูปโดยการพิมพ์แบบจากแม่แบบ (Soft-lithography) โดยใช้เจลลาดิน ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความปลอดภัยเมื่อนำมาใช้ในห้องเรียน หลังจากนั้น

(T. A. Davis, 2015) ได้ประดิษฐ์เครื่องมือห้องปฏิบัติการบนชิพราคาถูก ในการสาธิตการทดลอง เรื่องการแยกน้ำด้วยไฟฟ้าเพื่อใช้ในการเรียนวิชาเคมีเบื้องต้นในโรงเรียนระดับมัธยมศึกษา ซึ่งวัสดุที่ใช้ผลิตห้องปฏิบัติการบนชิพได้ใช้แผ่นสไลด์และเจลาตินในการผลิตขึ้นรูปด้วยการหล่อแบบจากแม่พิมพ์เช่นเดียวกัน มีประโยชน์ในแง่ลดต้นทุนในการผลิตลงได้ อีกทั้งสารเคมีที่ใช้ในการสร้างห้องปฏิบัติการบนชิพ ไม่เป็นอันตรายต่อผู้เรียนอีกด้วย จากงานวิจัยข้างต้นผู้วิจัยเห็นว่าการสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพจากเจลาติน มีความน่าสนใจในการสร้างห้องปฏิบัติการบนชิพ เพราะสามารถหาซื้อวัสดุอุปกรณ์ได้ง่าย เป็นสารเคมีที่พบเห็นได้ในชีวิตประจำวันแต่จากการศึกษางานวิจัยทั้งสองเรื่องผู้วิจัยพบว่าการผลิตห้องปฏิบัติการบนชิพจากเจลาตินค่อนข้างไม่มีความคงสภาพหลังการขึ้นรูป ทำให้ผู้วิจัยสนใจพัฒนาอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพเพื่อนำมาใช้ในห้องเรียน

นอกจากนั้นเมื่อศึกษาเอกสารเกี่ยวกับหลักสูตรการศึกษาระดับบัณฑิตสาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พบว่าหลักสูตรเล็งเห็นความสำคัญของการผลิตและการพัฒนาครูยุคใหม่ เพื่อยกระดับครูยุคใหม่ให้มีความรู้ ความสามารถ มีศักยภาพทางวิชาการแบบลุ่มลึกและกว้างไกล มีศรัทธาต่อความเป็นครู ด้วยการให้ความรู้ทางวิชาการ ควบคู่กับการเสริมสร้างความสามารถและทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 คือ “ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม” อีกทั้งจากงานวิจัยของ (Tican, 2019) ได้ระบุเกี่ยวกับความคิดเห็นของนักศึกษาวิชาชีพรู้เกี่ยวกับการใช้ทักษะในศตวรรษที่ 21 ในบทบาทของนักเรียนและครูในระดับมหาวิทยาลัยซึ่งพบว่าทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม เป็นทักษะที่สำคัญทั้งกับนักเรียนและครูในศตวรรษที่ 21 เพราะผู้เรียนจะต้องคิดเป็นทำเป็นแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ และสามารถเรียนรู้ที่จะอยู่และทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างสร้างสรรค์ได้นั่นเอง องค์ประกอบที่สำคัญของทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม งานวิจัยนี้ได้นำเสนอทั้งหมด 3 องค์ประกอบคือ 1. ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม 2. การคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา และ 3. การสื่อสารและร่วมมือทำงาน จากนั้นผู้วิจัยจึงศึกษารายวิชาที่นิสิตในหลักสูตรการศึกษาระดับบัณฑิตจะได้รับในแต่ละปีการศึกษา พบว่าวิชาหัวข้อพิเศษทางเคมีศึกษา เป็นวิชาที่ให้นิสิตหลักสูตรการศึกษาระดับบัณฑิตได้เรียนรู้เกี่ยวกับสื่อและนวัตกรรมในการจัดการเรียนการสอนก่อนออกไปฝึกปฏิบัติจริงในโรงเรียน บทปฏิบัติการซึ่งถือเป็นนวัตกรรมการเรียนการสอนชนิดหนึ่ง และถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ประกอบการจัดการเรียนรู้ ผู้เรียนสามารถพัฒนาความรู้ผ่านการทำการทดลองและสืบเสาะหาความรู้ได้ด้วยตนเอง (ทรงกลด ไบยา, 2558) ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาบทปฏิบัติการขึ้นมา เพื่อใช้ในการจัดการเรียนรู้ โดยทั่วไปการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตรวจวิเคราะห์ทางสเปกโตรโฟโตเมทรีเพื่อหาปริมาณเหล็ก(II) ในธรรมชาติ

และตัวอย่างอาหาร (Kassem, 2013) การหาปริมาณเหล็ก (II) ในน้ำธรรมชาติโดยการไทเทรตที่พัฒนาขึ้น (Masawat, 2011) และวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ การวิเคราะห์ปริมาณเหล็กด้วยวิธีวัด absorbance โดยทำให้เหล็ก (II) เกิดไอออนเชิงซ้อนที่มีสี ระหว่าง Fe^{2+} กับ 1,10-ฟีแนนโทรีน ที่เรียกว่าไอออนเชิงซ้อนเหล็กฟีแนนโทรีน (Fe-Phen) โดยสามารถหาปริมาณเหล็กได้จากการทำกราฟมาตรฐานความเข้มข้นซึ่งสร้างจาก absorbance และความเข้มข้นของเหล็กมาตรฐาน ซึ่งตรงกับบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ใช้ในหลักสูตรปัจจุบัน การวิเคราะห์ปริมาณเหล็กด้วยวิธีวัด absorbance สามารถวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กได้ถูกต้องและแม่นยำ แต่เนื่องด้วยเครื่องมือมีราคาสูงและมีขนาดใหญ่ อีกทั้งยังใช้สารเคมีในปริมาณมาก ผู้วิจัยจึงต้องการพัฒนาบทปฏิบัติการด้วยการใช้รายการคำสั่งอิมเมจเจ ในการวิเคราะห์ภาพถ่าย เพื่อหาค่าความเข้มข้นจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิปแล้วนำค่าเข้มข้นที่ได้มาสร้างกราฟระหว่างค่าความเข้มข้นและความเข้มข้นของสารตัวอย่าง ยิ่งไปกว่านั้นการส่งเสริมให้ผู้เรียนรู้จักการคิดค้นหรือประดิษฐ์นวัตกรรมใหม่เกี่ยวกับสื่อการเรียนการสอนมีความจำเป็นอย่างมากในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับผู้เรียนและครูผู้สอน เพราะนวัตกรรมที่สร้างขึ้นมานั้นจะช่วยแก้ไขปัญหาการเรียน เป็นสิ่งอำนวยความสะดวกให้การเรียนประสบผลสำเร็จมากที่สุด (รัตนะ บัวสนธ์, 2554) จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นเป็นปัญหาที่ควรพัฒนาเพื่อให้ความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หลักของการศึกษาในหลักสูตรการศึกษาด้านนี้ คือผู้เรียนจะสามารถจัดการความรู้ในเชิงสหวิทยาการอย่างสร้างสรรค์ โดยใช้ทฤษฎีหลักการวิเคราะห์ สังเคราะห์ การประยุกต์ใช้องค์ความรู้และนวัตกรรมได้อย่างเหมาะสม ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิปพร้อมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีเพื่อศึกษาทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมได้จากการจัดการเรียนการสอนภาคปฏิบัติด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิป

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิปพร้อมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี
2. พัฒนาระบบปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ ด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิปพร้อมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี
3. เปรียบเทียบทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตปริญญาตรี หลังเรียนกับก่อนเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ ด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิปพร้อมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

4. เปรียบเทียบทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหาของนิสิตปริญญาตรี หลังเรียนกับก่อนเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ ด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

5. เปรียบเทียบทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการสื่อสารและร่วมมือทำงานของนิสิตปริญญาตรี หลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ ด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี กับเกณฑ์ร้อยละ 80

ความสำคัญของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้พัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในน้ำ ด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี ซึ่งการใช้เทคนิคห้องปฏิบัติการบนชิพสำหรับการตรวจวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำ มาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการเคมี ระดับปริญญาตรี ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ รายวิชา หัวข้อพิเศษทางเคมีศึกษา เพื่อให้นิสิตได้ปฏิบัติการทดลองทางเคมีวิเคราะห์ผ่านนวัตกรรมที่ผู้เรียนสร้างขึ้น ส่งเสริมการเรียนรู้วิทยาการใหม่ๆ ในการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำและพัฒนาทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม อีกทั้งบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการจัดการเรียนรู้ในห้องปฏิบัติการทดลองวิชาเคมี สำหรับนิสิตระดับปริญญาตรีต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

กลุ่มเป้าหมายที่ศึกษา

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือนิสิตระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 หลักสูตรการศึกษาด้านสัตวศาสตร์ สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชา หัวข้อพิเศษทางเคมีศึกษา และศึกษาในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 ทั้งหมด 22 คน

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ คือ การจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

2. ตัวแปรตาม คือ ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมของนิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี ในการวิจัยครั้งนี้พิจารณาทั้งหมด 3 ด้าน ได้แก่ 1. ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม 2. การคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา 3. การสื่อสารและร่วมมือทำงาน

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 รายวิชา หัวข้อพิเศษทางเคมีศึกษา จำนวน 2 การทดลอง โดยใช้เวลาการทดลองละ 3 ชั่วโมงและทดสอบก่อนและหลังเรียน รวมทั้งสิ้น 9 ชั่วโมง

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. **บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์** หมายถึง แนวทางในการเรียนรายวิชาเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพพร้อมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีทั้งหมด 2 การทดลอง คือ การสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ และการหาปริมาณเหล็กในสารตัวอย่าง โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญได้แก่ ชื่อบทปฏิบัติการ วัตถุประสงค์ของการทดลอง หลักการที่สำคัญในการทดลอง วัสดุอุปกรณ์ วิธีการ รวมไปถึงการบันทึกผลการทดลอง บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ประกอบด้วย 2 การทดลองดังนี้

การทดลองที่ 1 การสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ

การทดลองที่ 2 การหาปริมาณเหล็กในสารตัวอย่างด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพพร้อมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

2. **ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม** หมายถึง ความสามารถในการปรับตัวของผู้เรียนที่จะต้องคิดเป็นทำเป็นแก้ปัญหาได้อย่างเป็นระบบ เรียนรู้ที่จะอยู่และทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างสร้างสรรค์ ในการปฏิบัติการทดลองโดยใช้บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพพร้อมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี โดยการวัดทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมจะต้องวัดและประเมินตามสภาพจริง สามารถวัดได้จากการประเมินกระบวนการทำงานและการประเมินชิ้นงานร่วมกัน การประเมินกระบวนการทำงาน สามารถประเมินจากแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ประกอบด้วย แบบประเมินการออกแบบผลงานและแบบประเมินชิ้นงาน ประเด็นที่ใช้ในการประเมินที่สำคัญของทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 3 ด้านคือ

2.1 **ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม (Creativity and Innovation)** หมายถึง ความสามารถในการปฏิบัติการทดลองปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ การทดลองที่ 1 การสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ และ การทดลองที่ 2 การหาปริมาณเหล็กในสารตัวอย่างด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพพร้อมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี ซึ่งนิสิตจะต้องออกแบบและสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพได้ สามารถประเมินผู้เรียนได้จากแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม การวัดทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมก่อนเรียนและหลังเรียนจะประเมินผู้เรียนจากแบบ

ประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม โดยให้มีเกณฑ์การให้คะแนน ทั้งหมด 8 ด้าน คือ 1) การเกิดความคิดใหม่ๆ 2) ริเริ่มผลิตสิ่งใหม่หรือสร้างนวัตกรรม 3) การนำเสนอความคิด 4) การสร้างชิ้นงานตามการออกแบบ 5) วิธีการสร้างชิ้นงานสามารถทำตามได้ง่าย 6) ความคงรูปของชิ้นงาน 7) ความเหมาะสมของชิ้นงาน และ 8) ความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ เกณฑ์การประเมินเป็นแบบมาตรฐานค่า 4 ระดับ ที่เป็นเกณฑ์ย่อยแบบรูบิก คือ ดีมาก ดี พอใช้ และควรปรับปรุง

2.2 การคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา (Critical Thinking and Problem Solving) หมายถึง ความสามารถในการค้นคว้าข้อมูล และเลือกใช้ข้อมูลได้อย่างเหมาะสม ต่อการปฏิบัติการทดลองปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ การทดลองที่ 1 การสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ และการทดลองที่ 2 การหาปริมาณเหล็กในสารตัวอย่างด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี วัดได้จากแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ในด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา ก่อนจัดการเรียนรู้และหลังจัดการเรียนรู้ โดยมีเกณฑ์การให้คะแนน ที่มีประเด็นการประเมินทั้งหมด 3 ด้าน คือ 1) การค้นคว้าข้อมูล 2) วิธีการแก้ปัญหา และ 3) การให้เหตุผล เกณฑ์การประเมินเป็นแบบมาตรฐานค่า 4 ระดับ ที่เป็นเกณฑ์ย่อยแบบรูบิก คือ ดีมาก ดี พอใช้ และควรปรับปรุง

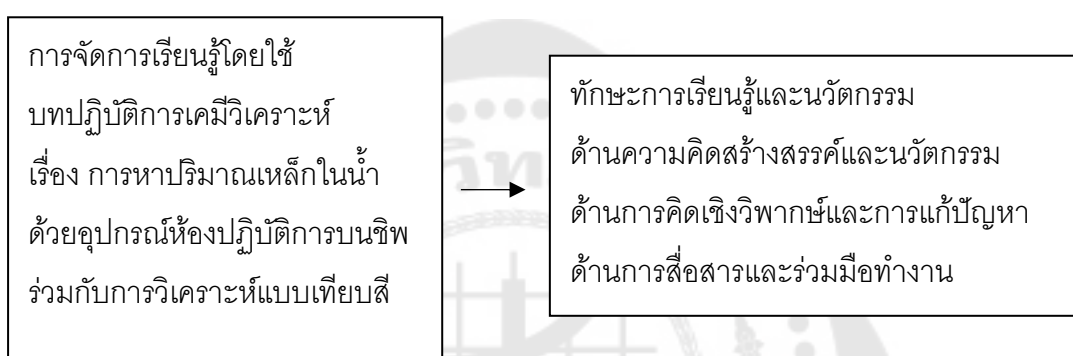
2.3 การสื่อสารและร่วมมือทำงาน (Communication and Collaboration) หมายถึง ความสามารถในการเขียนผลที่ได้จากการทดลองในแบบบันทึกการทดลองปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ การทดลองที่ 1 การสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ และการทดลองที่ 2 การหาปริมาณเหล็กในสารตัวอย่างด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี รวมทั้งสามารถปรับตัวทำงานร่วมกับผู้อื่นได้เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพเพื่อหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี สามารถประเมินผู้เรียนจากแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ที่มีเกณฑ์การให้คะแนนทั้งหมด 3 ด้าน 1) การมีส่วนร่วมในการสนทนาหรืออภิปราย 2) รับฟังความคิดเห็นผู้อื่น และ 3) การใช้ภาษา

3. อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี หมายถึง เครื่องอุปกรณ์ทางเคมีวิเคราะห์ ที่ย่อบริเวณห้องปฏิบัติการทดลองลงมาบนแผ่นหรือแผงวงจรมินิเจอร์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารเคมีที่ต้องการในระดับไมโครลิตร ขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบจากวุ้น ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีโดยวัดค่าความเข้มสีจากโปรแกรม imageJ

4. **นิสิตระดับปริญญาตรี** หมายถึง นิสิตหลักสูตรการศึกษาระดับบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ชั้นปีที่ 4 ที่ลงทะเบียนรายวิชาหัวข้อพิเศษทางเคมีศึกษา ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562

5. **การจัดการเรียนรู้** หมายถึง กระบวนการจัดประสบการณ์ให้กับผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ในภาคปฏิบัติ ในรายวิชาหัวข้อพิเศษทางเคมีศึกษา โดยใช้บทปฏิบัติการเรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

กรอบแนวคิดการวิจัย



สมมติฐานการวิจัย

1. ช่วงความเข้มข้นของสารละลายเหล็กมาตรฐาน และปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง รูปแบบของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ ความเข้มข้นของวุ้น ความเข้มข้นของน้ำตาล อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ มีผลต่อการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

2. บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก

3. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

4. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหาหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

5. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการสื่อสารและร่วมมือทำงานหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80



บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจะขอเสนอเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังหัวข้อต่อไปนี้

1. การศึกษาในศตวรรษที่ 21
2. ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม
3. หลักสูตรการศึกษาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
4. บทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์
5. หลักการของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ
6. การวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำ
7. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การศึกษาในศตวรรษที่ 21

1.1 ความเป็นมาของการศึกษาในศตวรรษที่ 21

ปัจจุบันโลกได้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว อันเนื่องจากการพัฒนาในด้านต่างๆ ที่มีความก้าวหน้า ไปมากอีกทั้งยังมีผลจากความสัมพันธ์ทางเศรษฐกิจ การเมือง เทคโนโลยี และวัฒนธรรมที่เชื่อมโยงทั่วทั้งโลก หรือที่เรียกว่ายุคโลกาภิวัตน์ ในภาษาอังกฤษคือ “Globalization” ซึ่งไม่อาจปฏิเสธได้เกิดผลกระทบตามมาด้วย มนุษย์อยู่ท่ามกลางความเปลี่ยนแปลงในแต่ละวัน ย่อมต้องมีอุปสรรค ปัญหาเกิดขึ้น ดังนั้นทักษะในอดีตที่มนุษย์มี ไม่อาจที่จะนำมาปรับใช้ได้อีกต่อไป มนุษย์จึงจำเป็นต้องเรียนรู้ทักษะใหม่เพื่ออยู่รอดในสังคม (James, 2006) การศึกษาจึงเป็นหลักในการนำมาซึ่งทางออกของปัญหาสังคมไทย ที่เปลี่ยนไปตามโลกในปัจจุบันที่ให้ความสำคัญกับวิทยาการทางวิทยาศาสตร์ อีกทั้งสถานการณ์ทางการเมืองในระดับโลกได้ลดความตึงเครียดลง ประเทศต่างๆ หันมาแข่งขันทางการค้า เทคโนโลยีแทนการสะสมยุทธโศปกรณ์ทางทหาร ในศตวรรษที่ 21 นี้มนุษย์ถือว่าเป็นทรัพยากรที่สำคัญที่สุด ทั่วโลกจึงให้ความสำคัญกับการศึกษาซึ่งเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการผลิตคน เป้าหมายที่สำคัญของไทย มีทั้งหมด 4 มิติ คือ 1. ความมั่นคงทางเศรษฐกิจ 2. ความอยู่ดีมีสุขทางสังคม 3. การยกระดับคุณภาพมนุษย์ด้วยการพัฒนาคนไทยให้เป็นมนุษย์ที่สมบูรณ์ในศตวรรษที่ 21 ควบคู่กับการเป็นคนไทย 4.0 ในโลกที่หนึ่ง และ 4. การรักษาสันติภาพ โดยรัฐต้องเตรียมคนไทย เป็นวาระแรกในการขับเคลื่อนประเทศ แต่ในทางตรงกันข้าม การจัดการศึกษา ยังจัดการศึกษาในรูปแบบเดิมทำให้ผู้เรียนยังไม่สามารถนำความรู้ที่ได้จากการเรียนไปใช้ประโยชน์ต่อได้ มีนักศึกษามากมายที่ได้แสดงวิสัยทัศน์เกี่ยวกับทักษะที่ต้องมีใน

ศตวรรษที่ 21 ดังนั้นการเรียนรู้เนื้อหาวิชาในปัจจุบันควรเป็นการเรียนรู้ที่มาจากการค้นคว้าเองของผู้เรียน (วิจารณ์ พานิช, 2555)

1.2 แนวคิดการศึกษาในศตวรรษที่ 21

โลกของเราในทุกวันนี้พัฒนาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เพราะความก้าวหน้าทางด้านวิทยาการทางวิทยาศาสตร์ และนวัตกรรม ต่างๆ ที่ถูกสร้างสรรค์ขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง หลายท่านคงเคยได้ยินคำว่า Thailand 4.0 ที่เข้ามาบริหารประเทศ โดยมีวิสัยทัศน์ที่ว่า “มั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืน” ที่ต้องการปรับเปลี่ยนลักษณะเศรษฐกิจเป็นเศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม ผลผลิตสินค้าเชิงนวัตกรรม ดังนั้นเมื่อนโยบายในการขับเคลื่อนประเทศเปลี่ยนแปลงไปจึงส่งผลให้กระบวนการในการผลิตคนหรือระบบในการจัดการศึกษาเปลี่ยนแปลงไปด้วย นักวิชาการหลายท่านรวมไปถึงองค์กรที่สำคัญต่างๆ ได้อธิบายเกี่ยวกับการจัดการศึกษาในศตวรรษที่ 21 ดังนี้

Lengrand (1970) ได้สรุปเอาไว้ว่า การจัดการศึกษาในศตวรรษที่ 21 ประกอบด้วย การเรียนรู้ 4 แบบ ได้แก่ การเรียนรู้เพื่อรู้ การเรียนรู้เพื่อปฏิบัติได้ การเรียนรู้ที่จะอยู่ร่วมกัน และการเรียนรู้เพื่อชีวิต ซึ่งการเรียนรู้ทั้งหมดจะถูกเรียกโดยรวมว่า “สี่เสาหลักการศึกษา”

Partnership for 21st Century Skills (2009) ได้สรุปเอาไว้ว่า การเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 จะต้องผสมผสานความรู้ที่หลากหลายและทักษะเฉพาะด้าน เพื่อให้ผู้เรียนประสบความสำเร็จในการดำเนินชีวิต

ห้องวิจัยด้านการศึกษาเขตภาคกลางตอนเหนือในประเทศสหรัฐอเมริกา (North Central Regional Educational Laboratory : NCREL) และกลุ่มเมทรี (Metiri Group) ได้สรุปภายใต้ในชื่อของกรอบแนวคิด “enGauge” (Burkhardt, 2003) ไว้ว่า การศึกษาในศตวรรษที่ 21 นับว่าเป็นการศึกษาที่มีส่วนช่วยสำเร็จในการใช้ชีวิต การเรียนหรือการทำงานในยุคดิจิทัล ซึ่งทักษะที่สำคัญของผู้เรียนที่มีความจำเป็นนั้น ได้ถูกวิจัยจากภาครัฐและภาคอุตสาหกรรม ซึ่งประกอบด้วย 4 ทักษะคือ ความเข้าใจและใช้เทคโนโลยีดิจิทัล (Digital-Age Literacy) ความคิดเชิงนวัตกรรมและสร้างสรรค์ (Inventive Thinking) การสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพ (Effective Communication) และการมีผลิตภาพที่สูง (High Productivity)

Wagner (2008) ผู้เสนอแนวความคิดเกี่ยวกับทักษะที่จะช่วยให้อยู่รอด “Seven Survival Skill” ทุกคนทั่วโลกต้องเรียนรู้เพื่อให้รองรับต่อการทำงานในอนาคต ที่เปลี่ยนไปจากปัจจุบันเป็นอย่างมาก ได้แก่ ทักษะการรู้จักคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา การร่วมมือข้ามเครือข่ายและการเป็นผู้นำโดยอาศัยความสามารถในการจูงใจ ความคล่องตัวและการ

ปรับตัว) ความคิดริเริ่มและทักษะด้านบริหาร การสื่อสารด้วยวาจาและการเขียนที่มีประสิทธิภาพ การเข้าถึงความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูล และความใฝ่รู้-การจินตนาการ

1.3 แนวทางการพัฒนาการจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 สำหรับนิสิตครู

การพัฒนาครูเป็นบุคคลสำคัญในระบบการศึกษาและการพัฒนาประเทศ หากปราศจากครูที่ดีมีคุณภาพย่อมส่งผลกระทบต่อการจัดการศึกษาเพื่อพัฒนานักเรียนไปด้วย (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2548) การพัฒนาวิชาชีพครูจึงเป็นสิ่งที่สำคัญเพื่อให้แน่ใจว่าครูมีการเรียนรู้ และพัฒนาปฏิบัติงานอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงมีการตั้งมาตรฐานการพัฒนาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์ เพื่อใช้รองรับนิสิตครูวิทยาศาสตร์ให้สามารถปรับตัวได้ท่ามกลางความเปลี่ยนแปลงในศตวรรษที่ 21 ดังนี้

National Research Council (1996) ได้กำหนดกรอบในการพัฒนาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์เอาไว้ว่า แนวทางในการพัฒนาวิชาชีพครูวิทยาศาสตร์มีหลายองค์ประกอบดังนี้

1. การจัดประสบการณ์เรียนรู้วิทยาศาสตร์ให้แก่ครู เพื่อให้ได้สำรวจปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ตีความ อธิบายปรากฏการณ์ ตลอดจนแนวคิดที่สอดคล้องในทางวิทยาศาสตร์
2. ประสบการณ์การเรียนรู้ของครูเกิดจากประเด็นปัญหา เหตุการณ์ต่างๆ ในทางวิทยาศาสตร์และสิ่งที่เกิดขึ้นรอบตัว
3. ส่งเสริมให้ครูมีความสามารถเกี่ยวกับการค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้องในทางวิทยาศาสตร์ สื่อการเรียนรู้ต่างๆ รวมไปถึงแหล่งเรียนรู้อื่นๆ ด้วย
4. ครูควรได้รับการกระตุ้นให้รู้จักการทำงานร่วมมือกัน
5. ส่งเสริมความรู้เกี่ยวกับวิธีการสอนวิทยาศาสตร์ โดยสามารถสร้างความรู้ได้ภายในห้องเรียน เช่น การอธิบายและยกตัวอย่าง สามารถเผชิญกับสถานการณ์และปฏิบัติได้จริง
6. ครูควรได้รับโอกาสในการเสนอความคิดเห็น ได้สะท้อนความคิดต่อการปฏิบัติการสอนของตนเอง เพื่อให้ครูมีความเข้าใจ ยอมรับในการปรับปรุงเพื่อพัฒนาความสามารถในด้านการสอน
7. การเตรียมครูพี่เลี้ยง ที่ปรึกษาในด้านต่างๆ หรือผู้มีประสบการณ์ เพื่อให้ครูได้พัฒนาวิชาชีพของตนด้วยการแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับผู้ที่มีประสบการณ์
8. การร่วมมือของบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการพัฒนาวิชาชีพครูจะต้องสัมพันธ์กันทั้ง นักการศึกษา นักวิทยาศาสตร์ ผู้บริหารและผู้สร้างนโยบาย

จากการศึกษาแนวทางการพัฒนาการศึกษาในศตวรรษที่ 21 สำหรับนิสิตครูข้างต้นพบว่าในการพัฒนานิสิตครูเป็นหน้าที่ที่สำคัญเป็นอย่างมาก แนวทางในการส่งเสริมวิชาชีพครูจะต้องจัดประสบการณ์ให้นิสิตครูอย่างเหมาะสม เรียนรู้เหตุการณ์ต่างๆในทางวิทยาศาสตร์และสิ่งที่เกิดขึ้นรอบตัว อีกทั้งนิสิตวิชาชีพครูควรได้รับโอกาสในเพื่อนำไปปรับปรุงและพัฒนาตนเองต่อไป

1.4 ทักษะที่สำคัญในศตวรรษที่ 21

“ทักษะในศตวรรษที่ 21 หรือ ‘21st-Century Skill’ เป็นคำที่คนยังพูดถึงบ่อยขึ้นในปัจจุบัน ในความเป็นจริงแล้วมีนักการศึกษาหลายท่านและเมืองคอร์กอีกหลายองค์ที่ได้กล่าวถึงการศึกษาในศตวรรษที่ 21 ดังนี้

Trilling and Hood (1999) ได้นำเสนอทักษะเจ็ดข้อในการดำรงตนในยุคใหม่ในรูปแบบ “Seven Cs” แสดงดังตาราง

ตาราง 1 ทักษะเจ็ดข้อในการดำรงตนในยุคใหม่

Seven Cs	องค์ประกอบที่สำคัญของทักษะ
1. ทักษะด้านการคิดอย่างมีวิจารณญาณ (Critical thinking and doing)	การแก้ปัญหา การวิจัย การวิเคราะห์ การทำโครงการ
2. ทักษะด้านการสร้างสรรค์ (Creativity)	การสร้างสรรค์ความรู้ การออกแบบวิธีแก้ปัญหา
3. ทักษะด้านการร่วมมือ (Collaboration)	การทำงานเป็นกับผู้อื่น
4. ทักษะด้านความเข้าใจต่างวัฒนธรรม (Cross-cultural Understanding)	การรับรู้ข้อมูลรอบด้าน
5. ทักษะการสื่อสาร (Communication)	การสื่อสารและรู้เท่าทันสื่อ
6. ทักษะคอมพิวเตอร์ (Computing)	การเข้าถึงสารสนเทศและการสื่อสาร
7. ทักษะอาชีพ และการเรียนรู้ (Career and Learning Self-reliance)	การเรียนรู้แบบเจาะลึก การเรียนรู้ตลอดชีวิต

Wagner (2008) จากมหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด (Harvard University) ผู้เสนอแนวความคิดเกี่ยวกับทักษะที่จะช่วยให้อยู่รอด “Seven Survival Skill” ทักษะที่จะช่วยให้เด็กๆ เอาตัวรอดในชีวิตการทำงานวันข้างหน้าได้นั้น มีทั้งหมด 7 ทักษะ แสดงดังตาราง 2

ตาราง 2 ทักษะที่จะช่วยให้อยู่รอด

Seven survival skills	องค์ประกอบที่สำคัญของทักษะ
1. การคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา	มีทักษะในการคิดวิจารณ์ญาณและสามารถถามคำถามที่ถูกต้อง เพื่อให้ถึงสาเหตุของปัญหา
2. การทำงานร่วมกันผ่านเครือข่ายและนำโดยการโน้มน้าว	ความสามารถในการเป็นผู้นำและความสามารถในการโน้มน้าว และทำงานร่วมกันเป็นทีม
3. ความว่องไวและการปรับตัว	ความสามารถในการปรับตัวและรับทักษะใหม่ๆ ได้อย่างรวดเร็วมีความสำคัญต่อความสำเร็จ
4. การริเริ่มและการเป็นผู้ประกอบการ	การคิดริเริ่ม วิเคราะห์เหตุผลและวางแผนการทำงาน
5. การสื่อสารด้วยปากเปล่าและเป็นลายลักษณ์อักษร	การสื่อสารสิ่งที่ต้องการได้อย่างชัดเจนผ่านคำพูด การเขียน หรือการนำเสนอ
6. การเข้าถึงและวิเคราะห์ข้อมูล	ความสามารถในการกรองข้อมูล รู้จักหยิบใช้และเชื่อมโยงข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กัน
7. ความอยากรู้และจินตนาการ	ความอยากรู้และจินตนาการคือกุญแจสำคัญยิ่งในการขับเคลื่อนให้เกิดนวัตกรรมและการแก้ปัญหา

องค์การภาคความร่วมมือทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 หรือ P21 (Partnership for 21st Century Skills, 2009) กำหนดแนวความคิดเพื่อการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 และทักษะในศตวรรษที่ 21 (21st Century skills) ประกอบด้วย 3 ทักษะ แสดงดังตาราง 3

ตาราง 3 กรอบความคิดเพื่อการจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21

ทักษะในศตวรรษที่ 21	องค์ประกอบที่สำคัญของทักษะ
1. ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม	ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมมีองค์ประกอบที่สำคัญอีก 3 ทักษะ คือ 1. ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ซึ่งเป็นทักษะการคิดและการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์ 2. การคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา แสดงออกถึงการใช้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ คิดเชิงระบบเพื่อการแก้ปัญหา 3. การสื่อสารและการร่วมมือทำงาน เป็นทักษะแสดงการสื่อสารที่ชัดเจน ร่วมมือกับผู้อื่นได้
2. ทักษะด้านสารสนเทศ สื่อและเทคโนโลยี	ทักษะด้านสารสนเทศ สื่อและเทคโนโลยี สามารถแบ่งได้อีก 3 ทักษะ คือ 1. การรู้เข้าใจในสารสนเทศ 2. การใช้และจัดการสารสนเทศ 3. การเข้าถึงเทคโนโลยี
3. ทักษะชีวิตและการทำงาน	ทักษะชีวิตและการทำงานเป็นความยืดหยุ่นและความสามารถในการปรับตัวต่อการทำงาน มีความคิดริเริ่ม และการชี้นำตนเอง และมีความเป็นผู้นำและความรับผิดชอบ

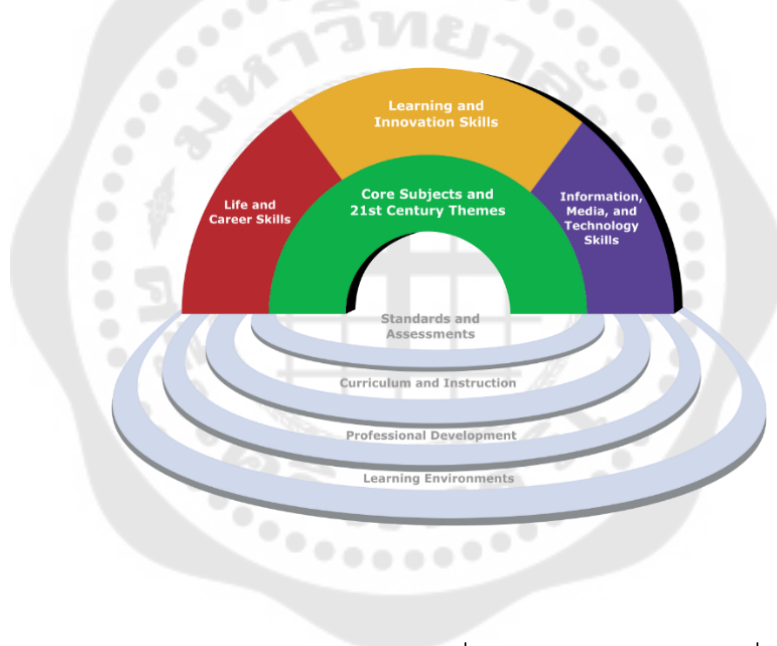
จากการศึกษาผู้วิจัยจึงสรุปได้ว่าการศึกษาในศตวรรษที่ 21 เป็นการศึกษาเพื่อให้ผู้เรียนรู้จักเป็นผู้มีการเรียนรู้ตลอดชีวิต สำหรับการดำรงชีวิตท่ามกลางโลกที่ต้องปรับตัวอย่างรวดเร็ว โดยการจัดการศึกษาจะต้องมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาความสามารถในการปรับตัวของผู้เรียน คิดเป็นทำเป็นแก้ปัญหาได้อย่างเป็นระบบ เรียนรู้ที่จะอยู่และทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างสร้างสรรค์ นั่นหมายความว่าในศตวรรษที่ 21 ผู้เรียนจะต้องมี “ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม” นั้นเอง

2. ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม

ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมเป็นการแสดงออกถึงความสามารถในการกระทำหรือการปฏิบัติอย่างใดอย่างหนึ่งต่อเรื่องต่างๆ แต่ในปัจจุบันได้มีทักษะใหม่ๆ เกิดขึ้นเพื่อตอบสนองต่อด้านต่างๆ ที่เป็นไปอย่างรวดเร็ว ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมเป็นหนึ่งในทักษะที่มีความสำคัญอย่างมากต่อการศึกษาศตวรรษที่ 21 โดยที่มีทั้งนักการศึกษาและองค์กรที่สำคัญหลายองค์กรได้กำหนดให้ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมเป็นทักษะที่สำคัญในศตวรรษที่ 21

2.1 แนวคิดของทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม

องค์กรภาคความร่วมมือทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 หรือ P21 (Partnership for 21st Century Skills, 2009) ซึ่งเป็นองค์กรที่มีจุดประสงค์ในการสร้างความพร้อมของผู้เรียนสหรัฐอเมริกาสำหรับศตวรรษที่ 21 เสนอกรอบความคิดไว้แสดงดังภาพ



ภาพประกอบ 1 กรอบความคิดเพื่อการเรียนรู้ของศตวรรษที่ 21

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

องค์กรภาคความร่วมมือทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 (Partnership for 21st Century Skills, 2009) ได้สรุปเอาไว้ว่า ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมเป็นทักษะในการจัดลำดับผู้เรียนที่ได้รับการเตรียมพร้อมในการทำงานที่ซับซ้อนมากขึ้น โดยมีองค์ประกอบหลัก 3 องค์ประกอบ คือ 1. ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม 2. การคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา และ 3. การสื่อสารและร่วมมือทำงาน

วิจารณ์ พานิช (2555) ได้กล่าวไว้ว่า ทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมเป็นพื้นฐาน และเป็นหัวใจสำคัญของทักษะเพื่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ในศตวรรษที่ 21 เพราะโลกจะยิ่งเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้นเรื่อยๆ และมีความซับซ้อนซ่อนเงื่อนมากขึ้น คนในศตวรรษที่ 21 จึงต้องมีทักษะที่สูงขึ้น มีการเรียนรู้และปรับตัว ในการดำเนินชีวิต โดยมีทักษะย่อยๆ ดังนี้

1. ความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม คือ การประยุกต์ใช้จินตนาการและการประดิษฐ์ มีขั้นตอนกระบวนการ โดยอ้างอิงจากทฤษฎีความรู้

2. การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา คือ การคิดแบบใช้วิจารณญาณและการตัดสินใจและประเมินข้อมูลหลักฐาน การโต้แย้ง การกล่าวอ้างอิง และความน่าเชื่อถือวิเคราะห์เปรียบเทียบและประเมินความเห็นประเด็นหลักๆ สังเคราะห์และเชื่อมโยงระหว่างสารสนเทศกับข้อโต้แย้ง และแก้ปัญหารูปแบบการฝึกแก้ปัญหาที่ไม่คุ้นเคยหลากหลายในแนวทางที่ยอมรับกันทั่วไป รูปแบบการตั้งคำถามสำคัญที่ช่วยทำความเข้าใจในมุมมองต่างๆ เพื่อนำไปสู่ทางออกที่ดีกว่าการใช้เหตุผลอย่างมีประสิทธิภาพ

3. การสื่อสารและการร่วมมือ คือ ความเจริญก้าวหน้าของระบบดิจิทัล และการสื่อสาร ทำให้โลกศตวรรษที่ 21 ต้องมีทักษะในการสื่อสาร ความร่วมมือที่กว้างขวาง

ดังนั้นสรุปได้ว่า ทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรมเป็นความสามารถในการปรับตัวของผู้เรียนที่จะต้องคิดเป็นทำเป็นแก้ปัญหาได้อย่างเป็นระบบ เรียนรู้ที่จะอยู่และทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างสร้างสรรค์ องค์ประกอบที่สำคัญมีทั้งหมด 3 องค์ประกอบ คือ 1. ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม 2. การคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา และ 3. การสื่อสารและร่วมมือทำงาน

2.2 แนวทางการพัฒนาทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมสำหรับนิสิตครู

Andrew (2008) ได้กำหนดลักษณะนิสัยของครู 8 ประการสำหรับการเป็นครูที่มีประสิทธิผลสูงในศตวรรษที่ 21 เอาไว้ดังนี้

1. การปรับตัว (adapting) การศึกษาในยุคนี้ เป็นการศึกษายุคใหม่เน้นการประเมินผลจริง ครูศตวรรษที่ 21 ต้องปรับตัวในการจัดการเรียนรู้ สามารถใช้คอมพิวเตอร์ได้

2. การมีวิสัยทัศน์ (Being Visionary) เป็นองค์ประกอบสำคัญของการเป็นครูในยุคปัจจุบันและอนาคต ครูจะต้องมองภาพรวมทั้งวิชาและ ทำความเข้าใจและนำมาใช้เพื่อการศึกษา เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์แก่ชั้นเรียน

3. ความร่วมมือ (Collaborating) ครูต้องสามารถสร้างความร่วมมือได้ และนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์กับผู้เรียน

4. กล้าคิดกล้าทำ (Taking Risks) ครูต้องมีความกล้าคิด กล้าทำ จากสิ่งเดิม อุทิศตนต่อการเรียนรู้ของนักเรียน กล้ามีวิสัยทัศน์เป็นของตนเอง เพื่อนำมาซึ่งการสร้างสิ่งใหม่ๆ

5. การเรียนรู้ (Learning) ช่วงศตวรรษที่ 21 มีเป้าหมายให้เป็นผู้เรียนรู้ตลอดชีวิต การศึกษาไม่ใช่แค่ในห้องเรียน ครูจะต้องสัมผัสประสบการณ์เพื่อพัฒนาตนเองอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เกิดการเรียนรู้ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบัน

6. การสื่อสาร (Communicating) ครูจะต้องเรียนรู้การสื่อสารหรือการร่วมมือกัน เพื่อนำมาสู่วิธีการอำนวยความสะดวกต่างๆ

7. ต้นแบบทางพฤติกรรม (Modeling Behavior) ครูควรเป็นต้นแบบที่แสดงถึงความอดทน อดกลั้น ตระหนักต่อการอยู่ร่วมกับผู้อื่นบนโลก ยอมรับความคิดเห็นของผู้อื่น

8. ความเป็นผู้นำ (Leading) ความมีภาวะผู้นำของครูถือเป็นเรื่องที่สำคัญต่อความสำเร็จหรือความล้มเหลวของโครงการต่าง ๆ

Simmons (2012) ได้เสนอทักษะในปัจจุบันที่สำคัญสำหรับครูในปัจจุบัน เพื่อเตรียมผู้เรียนมี ทั้งหมด 7 ทักษะดังนี้

1. การจัดการห้องเรียน การจัดการห้องเรียนเป็นความจำเป็นต่อการเรียนรู้ของผู้เรียน มีการสร้างระเบียบกฎเกณฑ์ร่วมกัน ทำให้เกิดความปลอดภัยและไว้วางใจต่อการจัดการเรียนรู้

2. การทำให้บทเรียนสอดคล้องกับชีวิตจริง การเปลี่ยนแปลงต่างๆที่เกิดขึ้นรอบตัวผู้เรียนแสดงให้เห็นว่าผู้เรียนสามารถรับรู้ข้อมูลข่าวสาร ได้ง่ายและสะดวกขึ้น การจัดการเรียนรู้ในปัจจุบันจึงทำได้ยาก ครูจึงต้องทำให้บทเรียนนั้นกลายเป็นเรื่องใกล้ตัวมากขึ้น

3. การคิดเชิงวิพากษ์ ผู้เรียนเป็นผู้มีการเรียนรู้ตลอดชีวิต ครูจึงจะต้องมีความสามารถในการบริหารชั้นเรียนและใช้ศาสตร์การสอนที่ทำให้ผู้เรียนเกิดการคิดขั้นสูง จนกระทั่งผู้เรียนจบการศึกษาในสถานศึกษาไปแต่ใช้แก้ปัญหาในภายภาคหน้าได้

4. ทักษะเทคโนโลยี ครูจะต้องใช้เทคโนโลยีใหม่ๆ เท่าทันอยู่เสมอ เพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาตนเองได้

5. ความเป็นสากล ในปัจจุบันโลกทั้งโลกถูกเชื่อมเข้าหากันด้วยอินเทอร์เน็ต ทำให้โลกทั้งโลกสามารถแลกเปลี่ยนวัฒนธรรมระหว่างประเทศกันได้ง่ายขึ้น ครูจึงต้องมีความเข้าใจในความเป็นไปของแต่ละประเทศ แต่ละวัฒนธรรม และแลกเปลี่ยนเรียนรู้ให้กับผู้เรียน

6. ความร่วมมือระหว่างบุคลากรทางการศึกษา ภายใต้การทดสอบมาตรฐานการศึกษาของรัฐบาล ดังนั้นจึงต้องอาศัยความร่วมมือและการทำงานเป็นที่ร่วมกับผู้อื่น

7. การพัฒนาวิชาชีพ ครูต้องมีการปรับปรุงการปฏิบัติหน้าที่การสอนและการใช้เทคโนโลยีอยู่เสมอ โดยสามารถศึกษาจากการทำวิจัย การสัมมนา และการฝึกอบรม

จากการศึกษาแนวทางการพัฒนาทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมสำหรับนิสิตครูสำหรับศตวรรษที่ 21 พบว่า สิ่งที่ควรพัฒนาให้กับนิสิตวิชาชีพครู เพื่อให้นิสิตสามารถอยู่รอดท่ามกลางความเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในด้านต่างๆ ประกอบด้วย 1. ทักษะการเรียนรู้โดยนิสิตวิชาชีพครูจะต้องซึมซับประสบการณ์และความรู้เพื่อพัฒนาตนเองอย่างต่อเนื่อง เตรียมตนเองให้พร้อมสำหรับการเรียนรู้ในอนาคต เพื่อให้เกิดการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงจากปัจจุบันได้ 2. ทักษะด้านสารสนเทศ สื่อและเทคโนโลยี ครูจะต้องมีความรู้และสามารถใหม่ๆ เพื่อนำมาใช้ประโยชน์เกี่ยวกับการเรียนการสอนได้ มองเห็นศักยภาพของเครื่องมือและวิทยาการสมัยใหม่ที่เกิดขึ้น กล้าคิดริเริ่ม กล้าทำจนนำมาสู่นวัตกรรมใหม่ๆ ได้ และ 3. ทักษะการสื่อสารและความร่วมมือ นิสิตวิชาชีพครูจะต้องเรียนรู้การสื่อสารหรือการร่วมมือกัน เพื่อการทำงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น มีการสื่อสารระหว่างบุคคล เพื่อให้การทำงานร่วมกันเป็นไปอย่างราบรื่น

2.3 การวัดและประเมินผลทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม

การประเมินผลผู้เรียนเป็นหัวข้อหนึ่งที่มีการอภิปรายและโต้แย้งกันเป็นอันมากในวงการการศึกษาในทศวรรษที่ผ่านมา การวัดและประเมินผลผู้เรียนไม่ได้เป็นเรื่องระหว่างผู้สอนและผู้เรียนอีกต่อไป แต่เป็นการสะท้อนคุณภาพของสถาบันการศึกษา ดังนั้นการวัดเฉพาะเนื้อหาวิชาอย่างเดียวไม่สามารถครอบคลุมความสามารถทั้งหมดของผู้เรียนได้ จึงมีการออกแบบวิธีการประเมินผลให้สอดคล้องกับผู้เรียน

องค์กรภาคความร่วมมือทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 (Partnership for 21st Century Skills, 2009) ได้สรุปเอาไว้ว่า การประเมินผู้เรียนควรเป็นการประเมินเพื่อพัฒนา (Formative assessment) เป็นการประเมินกระบวนการที่เกิดขึ้นระหว่างการจัดการเรียนรู้ โดยไม่ต้องรอจนเสร็จสิ้นการเรียนการสอนทุกหน่วยการเรียน เปรียบเสมือนบทสนทนาระหว่างผู้สอนกับผู้เรียน ในขณะที่การประเมินเพื่อสรุปตัดสิน (Summative assessment) มุ่งประเมินผลลัพธ์มากกว่า เช่น ใช้ประเมินว่าวิธีการสอนที่กำลังดำเนินอยู่ตรงกับความต้องการของผู้เรียนหรือไม่ เป็นการสะท้อนพฤติกรรมกรรมการเรียนของผู้เรียนว่าจะนำไปสู่จุดประสงค์การเรียนรู้ที่ตั้งไว้ของแต่ละหน่วยการเรียน หรือเรียกว่าเป็นการประเมินสำหรับการเรียนรู้ (Assessment for learning) ไม่ใช่การประเมินผลการเรียนรู้ (Assessment of learning) ที่สำคัญที่สุดคือการประเมินระหว่างบทเรียนนั้น จะช่วยในการตัดสินใจของผู้สอน ก่อนเริ่มบทเรียนใหม่ ซึ่งการประเมินทั้ง 2 แบบมีความสำคัญทั้งคู่และควรใช้ร่วมกัน

ศศิธร บัวทอง (2560) ได้สรุปเอาไว้ว่า การศึกษาในศตวรรษที่ 21 เป็นการผสมผสานความรู้ที่หลากหลาย ประกอบกับทักษะเฉพาะด้าน ดังนั้นการประเมินในศตวรรษที่ 21 จะต้องเน้นการประเมินเชิงคุณภาพ ประเมินตามสภาพจริง และใช้เครื่องมือในการวัดและประเมินที่หลากหลาย ให้ความสำคัญกับชิ้นงาน เพิ่มผลงานของนักเรียน

บุญชม ศรีสะอาด (2543) ได้สรุปเอาไว้ว่า การวัดทักษะของผู้เรียนเป็นไปเพื่อวัดและประเมินว่า ผู้เรียนสามารถบรรลุได้ตามเป้าหมายดังกล่าวหรือไม่จะต้องอาศัยเครื่องมือหรือแบบทดสอบที่สร้างเพื่อวัดภาคปฏิบัติโดยเฉพาะ เพื่อวัดความสามารถในการปฏิบัติหรือการกระทำของผู้เรียน แบบทดสอบภาคปฏิบัติที่ดีควรวัดทั้งผลงานจากการปฏิบัติ(Product) และวิธีปฏิบัติ (Procedures)

จากการศึกษาแนวคิดที่จะใช้ในการวัดและประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ผู้วิจัยพบว่า เป้าหมายในการวัดทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมจะต้องวัดและประเมินตามสภาพจริง ซึ่งอาศัยการประเมินทั้งกระบวนการทำงานและการประเมินชิ้นงานร่วมกัน

2.3.1 การวัดและประเมินผลตามสภาพจริง

Wiggins (1998) ได้ให้ความหมายเอาไว้ว่า การวัดและประเมินผลตามสภาพจริงจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อดำเนินการวัดและประเมินผลผู้เรียนด้วยการทดสอบจากการให้ปฏิบัติชิ้นงาน โดยชิ้นงานที่มอบหมายนั้นต้องเป็นชิ้นงานที่ผู้เรียนได้ปฏิบัติโดยการใช้ความสามารถที่ได้จากการเรียนรู้และอยู่บนพื้นฐานของความสมเหตุสมผล ซึ่งเป็นการวัดและประเมินผลทางตรง

สุวิมล กฤษศฤงษ์ (2555) ได้ให้ความหมายของการวัดและประเมินผลตามสภาพจริงเอาไว้ว่า เป็นการวัดและประเมินผลที่สอดคล้องกับความสามารถของผู้เรียน หรือลักษณะที่สะท้อนถึงสภาพที่แท้จริง ผลการปฏิบัติงานของผู้เรียนส่วนการงานเป็นสิ่งที่ครูมอบหมายและผู้สอนมีเกณฑ์การประเมินคุณภาพงานของผู้เรียนที่อิงตามความคาดหวังของรายวิชา

จากความหมายข้างต้นผู้วิจัยสรุปได้ว่า การวัดและประเมินผลตามสภาพจริงหมายถึง กระบวนการที่ในการวัดและประเมินผลที่สอดคล้องกับชีวิตจริงของผู้เรียน แสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะของผู้เรียนผ่านการมอบหมายภาระงานหรือชิ้นงาน โดยผู้สอนจะมีการตั้งเกณฑ์การประเมินคุณภาพไว้อย่างชัดเจน

2.3.2 การวัดและประเมินผลการปฏิบัติ

สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา (2553) ได้ให้ความหมายไว้ว่า เป็นการวัดและประเมินผลการเรียนรู้ที่ต้องการให้ผู้เรียนแสดงออกว่ามีความรู้ มีความสามารถด้วยการ

สร้างและผลิตชิ้นงาน รูปแบบที่ใช้ในการวัดและประเมินผู้เรียน มีหลายแบบ เช่น การอภิปราย การออกแบบ การทำโครงงาน การทำการทดลอง เป็นต้น

บุญเชิด ภิญโญอนันตพงษ์ (2521) ได้ให้ความหมายไว้ว่า เป็นวิธีการประเมินที่ครูกำหนดการทำงานหรือกิจกรรมให้ทำ เพื่อให้ได้ข้อมูลสารสนเทศว่า ผู้เรียนพัฒนาการเรียนรู้มากน้อยเพียงใด ซึ่งแตกต่างจากการให้ทำข้อสอบแบบเก่า แสดงให้เห็นว่าผู้เรียนสามารถทำบางสิ่งบางอย่างได้สำเร็จตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพหรือไม่มากน้อยเพียงไรโดยอาศัยดุลยพินิจตัดสินของครูผู้สอน ดังนั้นการประเมินผลการปฏิบัติจึงมีส่วนประกอบสำคัญสองส่วนคือชิ้นงานและเกณฑ์การให้คะแนน

จากความหมายข้างต้นผู้วิจัยสรุปได้ว่าการวัดและประเมินผลการปฏิบัติ เป็นการกระบวนการดำเนินงานเพื่อให้ได้ข้อมูลซึ่งเกี่ยวกับผลงานที่เกิดจาก การเรียนรู้และการปฏิบัติงานของผู้เรียนด้วยการลงมือปฏิบัติหรือสร้างชิ้นงาน ในการประเมินสามารถประเมินจากการปฏิบัติและประเมินผลด้วยเกณฑ์ที่ผู้สอนตั้งไว้

2.3 เครื่องมือที่ใช้วัดทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม

สภาการวิจัยแห่งชาติ (National Research Council) ประเทศสหรัฐอเมริกา (National Research Council, 2011) ได้กล่าวเอาไว้ว่า กระบวนการประเมินต้องสัมพันธ์และเหมาะสมกับการสอนในชั้นเรียน การเลือกใช้วิธีการและเครื่องมือประเมินการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ของการประเมินสามารถสรุปได้ดังตาราง 4

ตาราง 4 การเลือกใช้วิธีการและเครื่องมือประเมินการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ของการประเมิน

ประเด็น	การประเมินเพื่อพัฒนา		สรุปตัดสิน
วัตถุประสงค์	เพื่อปรับปรุงและพัฒนารูปร่างของผู้เรียน	เพื่อตรวจสอบตนเองว่าอยู่ในระดับใด	เพื่อตัดสินระดับความสำเร็จของผู้เรียนตามเกณฑ์มาตรฐาน
กระบวนการ	ครูผู้สอนใช้กระบวนการกิจกรรมการประเมินผ่านกิจกรรมการเรียนรู้	ครูผู้สอนเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ใช้เครื่องมือในการติดตามการเรียนรู้	ครูผู้สอนนำร่องรอยหลักฐานการเรียนรู้ของผู้เรียน
เครื่องมือ	การใช้คำถาม การสังเกต การสัมภาษณ์	แบบรายงานตนเอง	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์แบบประเมิน

บุญชม ศรีสะอาด (2543) ได้สรุปแนวทางของเครื่องมือที่ใช้วัดและประเมินในภาคปฏิบัติไว้ว่า แบบทดสอบภาคปฏิบัติอาจจำแนกได้ 3 ชนิด คือ 1. แบบการจำแนก เป็นแบบวัดที่วัดความสามารถในการจำลักษณะที่จำเป็นของการกระทำหรือผลงานหรือจำแนกสิ่งของ จะทำให้ผู้เรียนทราบถึงความผิดพลาด ความถูกต้องของกระบวนการหรือผลผลิต 2. แบบใช้สถานการณ์จำลอง เป็นการวัดที่จะไม่ใช้สถานการณ์จริง แต่จะจำลองสถานการณ์ที่จะมุ่งวัด 3. แบบใช้ตัวอย่างงาน เป็นการให้ปฏิบัติตามภาวะปกติของการปฏิบัติงานประเภทนั้นๆ การวัดแบบใช้ตัวอย่างงานจะมีความเที่ยงและความเชื่อมั่นมากกว่าแบบอื่นๆ

บุญเขต ภิญโญอนันตพงษ์ (2521) ได้สรุปแนวทางของการประเมินผลตามสภาพจริง สรุปว่าเครื่องมือที่ใช้วัดและประเมินผลสภาพจริงในด้านทักษะ วิธีปฏิบัติและการสร้างสรรค์ผลงาน ได้ดังตาราง 5

ตาราง 5 วิธีการประเมินเป้าหมายทางการศึกษาด้านทักษะ วิธีการปฏิบัติและการสร้างสรรค์ผลงาน

เป้าหมายการประเมิน	วิธีการประเมิน			
	การสื่อสารส่วนบุคคล	ประเมินด้วยการปฏิบัติ	ประเมินด้วยแบบทดสอบ	
			ข้อสอบอัตนัย	ข้อสอบเลือกตอบ
ด้านทักษะ วิธีการปฏิบัติ	- ทักษะความสามารถในการใช้ ถ้อยคำพูด - ประเมินความ รอบรู้ที่จำเป็นต่อ ทักษะการปฏิบัติ	- สังเกต จดบันทึก และประเมินทักษะใน ขณะที่ผู้เรียนกำลัง แสดงหรือลงมือ ปฏิบัติ	- ประเมินความรอบรู้เกี่ยวกับ ความรู้ที่จำเป็นที่สามารถ สร้างสรรค์ผลงานที่มีคุณภาพ	
ด้านการ สร้างสรรค์ ผลงาน	- ความสามารถ ในการปฏิบัติ ตามขั้นตอนการ สร้างผลงาน - คุณลักษณะ ของผลงาน	- สามารถซักถาม ความรู้เกี่ยวกับ วิธีการและความรู้ เกี่ยวกับคุณลักษณะ ของผลงานที่มี	- ประเมินความรอบรู้เกี่ยวกับ ความรู้ที่จำเป็นที่สามารถ สร้างสรรค์ผลงานที่มีคุณภาพ	

ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินผลผู้เรียนตามการปฏิบัติ ซึ่งสอดคล้องกับหลักสูตรและการสอนในศตวรรษที่ 21 โดยในการประเมินเพื่อพัฒนาจะใช้แบบวัดทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมโดยมีการวัดและประเมินทั้ง 3 องค์ประกอบ คือ ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม การคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา การสื่อสารและร่วมมือทำงานและการประเมินเพื่อสรุปตัดสินจะใช้แบบประเมินชิ้นงานโดยเกณฑ์มีเกณฑ์แบบมาตรฐานค่า 4 ระดับ

3. หลักสูตรการศึกษาบัณฑิต

3.1 ข้อมูลทั่วไป

รายละเอียดหลักสูตรการศึกษาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี(5 ปี) เป็นหลักสูตรปรับปรุง พ.ศ.2560 ของคณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมีและคณะศึกษาศาสตร์ เป็นหลักสูตรการศึกษาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี พ.ศ. 2560 ปรับปรุงจากหลักสูตรการศึกษาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี พ.ศ. 2556 โดยจะเริ่มใช้ในปีการศึกษา 2560 ซึ่งหลักสูตรทางวิชาชีพโดยอาชีพคือ คุรุระดับมัธยมศึกษา และคุรุระดับอาชีวศึกษา นักวิชาการทางการศึกษาและเคมี นักวิจัยทางการศึกษาและเคมีหรืออาชีพอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

3.2 โครงสร้างหลักสูตร

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มีภารกิจหลักในการผลิตบัณฑิตด้านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ โดยตระหนักถึงบทบาทในการผลิตบุคลากรทางด้านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ที่มีคุณภาพ เพื่อเป็นบัณฑิตที่มีความเข้มแข็งด้านวิชาการควบคู่กับสมรรถนะในการทำงาน คณะวิทยาศาสตร์จึงออกแบบหลักสูตรในการจัดการเรียนการสอนที่สอดคล้องกัน มาตรฐานสภาวิชาชีพวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ผูกกับการพัฒนา/บ่มเพาะนิสิตตามสมรรถนะเฉพาะ/ค่านิยม (Core value) SCI ซึ่งหมายถึง Scientific Excellence, Corporate and Social Responsibility, International Recognition และ มีความสามารถในการ การสื่อสาร อันมาจากรากฐานของ "ความเป็นครู" เพื่อยกระดับคุณภาพบัณฑิตตามบริบททางสังคมที่เปลี่ยนแปลงด้วยการให้ความรู้ทางวิชาการ ควบคู่กับการเสริมสร้างความสามารถและทักษะการเรียนรู้ ที่พึงมีเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ตลอดชีวิต ปัจจุบันครูต้องมีใบอนุญาตประกอบวิชาชีพ โดยมีคุณสมบัติตามมาตรฐานวิชาชีพทางการศึกษาที่กำหนด

3.2.1 หลักสูตรการศึกษา

ในโครงสร้างหลักสูตรได้ระบุไว้ว่าหมวดวิชาทั้งหมดที่จะต้องเรียนมี 3 หมวดวิชา คือ 1.หมวดวิชาศึกษาทั่วไป โดยเลือกจากกลุ่มวิชาต่าง ๆ ดังนี้ กลุ่มวิชาภาษาและการสื่อสาร

กลุ่มวิชาพลาณามัย กลุ่มวิชาบูรณาการ (วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์) และ กลุ่มวิชาบูรณาการ 2. หมวดวิชาเฉพาะด้าน โดยมี 2 กลุ่มวิชา คือ วิชาชีพครูและวิชาเอก และ 3. หมวดวิชาเลือกเสรี โดยให้เลือกเรียนรายวิชาใดๆ ที่เปิดสอนในมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ยกเว้นวิชาที่เป็นพื้นฐานของวิชาเอก

3.3 แผนการศึกษา

แผนการศึกษาประกอบด้วยข้อมูลด้านการศึกษา จำนวนหน่วยกิต ในแต่ละชั้นปีที่ นิสิตหลักสูตรการศึกษาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี(5 ปี) จะได้รับการศึกษาพบว่ารายวิชา คศ 471 หัวข้อพิเศษทางเคมีศึกษา (CE 471 Special Topic in Chemistry Education) ซึ่งสอนเกี่ยวกับ ทฤษฎีและความก้าวหน้าทางเคมีศึกษา เพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนรู้เนื้อหาที่ทันสมัย จากการศึกษา หลักสูตรการศึกษาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมี พบว่า หลักสูตรมุ่งเน้นให้นิสิตสามารถปรับตัวได้ท่ามกลาง สังคมที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วด้วยการให้ความรู้ทางวิชาการ ควบคู่กับการเสริมสร้าง ความสามารถและทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 โดยเฉพาะทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ที่พึงมีให้กับผู้เรียน ตามนโยบายการศึกษาของชาติ เมื่อศึกษารายวิชาที่นิสิตในหลักสูตรการศึกษาศาสตรบัณฑิตจะได้รับในแต่ละปีการศึกษา จะได้รับการจัดการเรียนการสอนด้วยด้วยบทปฏิบัติการซึ่งถือเป็นนวัตกรรมการเรียนการสอนที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ประกอบการจัดการเรียนรู้ ผู้เรียนสามารถ พัฒนาความรู้ผ่านการทำการทดลอง (ทรงกลด ไบยา, 2558) ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาบทปฏิบัติการ ขึ้นมาเพื่อพัฒนาการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาหัวข้อพิเศษทางเคมีศึกษา

4. บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

4.1 การจัดกิจกรรมในการเรียนการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการ วิทยาศาสตร์

ภพ เลหาไพบูลย์ (2542) ได้แบ่งการเรียนการสอนแบบทดลองไว้ 3 แบบ

1. การทดลองที่มีการควบคุม (Controlled experiments) เป็นการควบคุมตัวแปรที่เกี่ยวข้อง โดยควบคุมตัวแปรอื่นไว้เพียง 2 ตัวแปร คือตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม แล้วทดลองว่าเมื่อตัวแปรอิสระเปลี่ยนไป จะมีผลกระทบต่อตัวแปรตามอย่างไร

2. การทดลองที่เป็นการฝึกหัด (Laboratory excercises) เป็นการฝึกหัดใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เพื่อให้ผู้เรียนได้คุ้นเคย และมีทักษะในการใช้เครื่องมือ บางกิจกรรมออกแบบเพื่อให้เข้าใจ ความรู้ ทฤษฎีวิทยาศาสตร์ โดยครูจะเป็นผู้เตรียมวัสดุ อุปกรณ์และให้คำปรึกษาในการทดลอง

3. การทดลองที่เป็นงานปฏิบัติการ (Laboratory wok) เป็นการทดลองในทางวิทยาศาสตร์อย่างแท้จริง ผู้เรียนทำการทดลองในระดับสูง ผู้เรียนได้กำหนดปัญหา หาวิธีแก้ปัญหา และสรุปผลการทดลองด้วยตนเอง

4.2 ขั้นตอนการเรียนการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

สมจิต สวธนไพบูลย์ (2551) ได้แบ่งขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้แบบทดลอง โดยการใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เป็น 3 ขั้น ดังนี้

ขั้นเตรียมการ : เป็นขั้นที่ครูจะกระตุ้นนักเรียนด้วยปัญหาเพื่อนำผู้เรียนเข้าสู่บทเรียน จากนั้นจึงร่วมกันสรุปปัญหา สร้างตัวแปรการทดลอง เพื่อออกแบบการทดลอง และพิสูจน์ผลการทดลอง ซึ่งควรทำการแบ่งกลุ่มผู้เรียน เพื่อให้ผู้เรียนได้ทำการทดลองอย่างทั่วถึง นอกจากนี้อาจทำการตั้งสมมติฐานเพื่อคาดเดาผลการทดลองล่วงหน้าไว้ด้วย

ขั้นดำเนินการทดลอง : ให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติการทดลองจากการวางแผนการทดลอง โดยครูเป็นผู้คอยควบคุมดูแลอย่างใกล้ชิดเพื่อให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติอย่างทั่วถึง

ขั้นสรุปและประเมินผลการทดลอง : ครูต้องทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยในการพานักเรียนร่วมกันอภิปรายผลการทดลอง โดยเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างกลุ่ม และทำการสรุปกิจกรรม อาจมีการประเมินการทำงานและความร่วมมือของกลุ่มผู้เรียนที่ได้ถูกแบ่งในขั้นตอนทำการทดลองด้วย

ยศวดี ลูติวร (2557) ได้แบ่งขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ด้วยการทดลอง โดยการใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เป็น 3 ขั้น ได้แก่

1. ขั้นตอนวางแผนก่อนการทดลอง เป็นขั้นตั้งสมมติฐานการทดลอง ระบุตัวแปรต้นที่ต้องการศึกษาและควบคุมตัวแปรที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ที่ไม่ได้สนใจ

2. ขั้นทำการทดลอง เป็นขั้นตรวจสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยเริ่มตั้งแต่การออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดวิธีทำการทดลอง ลงมือทำการทดลอง ตลอดไปจนการบันทึกผลการทดลอง

3. ขั้นตีความและสรุปผลการทดลอง เป็นการนำผลการทดลองมาจัดกระทำ เพื่อให้ผลการทดลองอยู่ในรูปแบบที่สามารถสื่อสารได้ เช่น ตาราง ค่าทางสถิติ แล้วทำการสรุปความเชื่อมโยงของตัวแปรที่ถูกศึกษา

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสรุปได้ว่าขั้นตอนในการจัดการเรียนการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ จะมีขั้นตอนการสอน 3 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นกระตุ้นและชักจูงผู้เรียนด้วยปัญหา ขั้นลงมือปฏิบัติการทดลอง และขั้นสรุปตีความผลการทดลอง

4.3 ประโยชน์ของการเรียนการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

บุญชม ศรีสะอาด (2537) ประโยชน์จากการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มีดังนี้

1. ผู้สอนได้เลือกให้ความช่วยเหลือเฉพาะผู้เรียนที่ต้องการ
2. การจัดการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์จัดการเรียนได้ทั้งรายกลุ่มและรายบุคคล
3. ผู้เรียนสะดวกในการศึกษากิจกรรมจากช่องทางที่ตนเองสะดวก
4. ทำให้ผู้เรียนเกิดทักษะกระบวนการแก้ปัญหา จากการเรียนรู้ที่ใช้การแก้ปัญหาด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์
5. สนับสนุนให้ผู้เรียนได้รู้จักการสรุปเพื่อเชื่อมโยงไปสู่ปัญหาและสถานการณ์อื่นๆ
6. ความรู้ที่เกิดขึ้นเป็นความรู้ที่เกิดขึ้นจากการลงมือปฏิบัติของผู้เรียนโดยมีครูช่วยนำทางในการจัดการเรียนรู้
7. ส่งเสริมทักษะการทำงานของผู้เรียน เช่น ทักษะในการสื่อสาร และทักษะในการทำงานเป็นกลุ่ม
8. พัฒนาความคิดและเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน

สมจิต สวธนไพบุลย์ (2551) ได้บอกประโยชน์จากการจัดการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ดังนี้

1. ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ที่เกิดจากการลงมือปฏิบัติด้วยตัวเอง
2. ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ควบคู่กับเกิดทักษะการแสวงหาความรู้ด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์
3. เสริมสร้างทักษะการทำงานแบบนักวิทยาศาสตร์ อันได้แก่การทำงานร่วมกัน และการรับฟังความคิดเห็นที่แตกต่าง
4. ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ จึงก่อให้เกิดความสนุกสนาน และเกิดความกระตือรือร้นที่จะแสวงหาความรู้

ภพ เลหาไพบุลย์ (2542) ได้ให้ประโยชน์จากการจัดการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ไว้ดังนี้

1. ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรงที่เกิดขึ้นจากการทดลอง และได้ฝึกฝนการใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการแก้ปัญหา

2. ผู้เรียนได้ใช้ประสาทสัมผัสในการปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้
3. ผู้เรียนได้สืบค้นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง
4. การเรียนรู้ที่เกิดขึ้นกับผู้เรียนนั้นเกิดขึ้นอย่างยาวนานและแท้จริง
5. ทำให้ผู้เรียนมีความพอใจต่อวิชาวิทยาศาสตร์จากประโยชน์ของการจัดการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่กล่าวมา

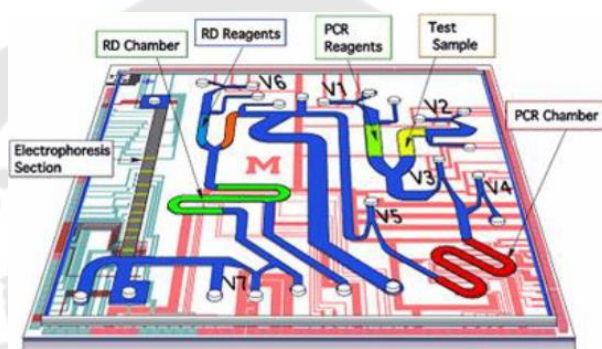
5. หลักการของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ

5.1 ระบบของไหลจุลภาคกับห้องปฏิบัติการบนชิพ

ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์สามารถย่อส่วนห้องปฏิบัติการที่เต็มไปด้วยอุปกรณ์และเครื่องมือมากมายอยู่บนชิพ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เล็ก ๆ ที่มีขนาดเท่า ๆ กับชิบบนมือถือโดยเราเรียกว่า “ห้องปฏิบัติการบนชิพ” หรือ “แล็บออนชิพ”(Lab on Chip) ส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดในระบบของไหลจุลภาคได้แก่ เครือข่ายของท่อขนาดเล็ก (Microchannel) ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่อโยงส่วนต่างๆ ในระบบ ปกติจะเป็นท่อปิดที่มีขนาดตั้งแต่ไมโครเมตรจนกระทั่งขนาดนาโนเมตร และมีทั้งแบบที่มีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมหรือครึ่งวงกลม ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น ในระบบที่มีการปั๊มแบบสนามไฟฟ้า (Electrokinetic Pumping) จะต้องการท่อที่มีความแคบมากกว่า ฟิลเตอร์หรือตัวกรอง (Filter) เป็นส่วนสำคัญในช่วงต้นของระบบที่มีการนำของไหลเข้าสู่ระบบ มีหลายเทคนิคที่นำมาใช้ เช่น การสร้างรูพรุน (Sieve) เพื่อป้องกันไม่ให้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่ารูไหลผ่านไปได้อ หรือการเปลี่ยนพฤติกรรมการไหลแบบ Laminar Flow ไปเป็น Turbulent flow ต้องอาศัยตัวขวาง (Obstructor) การไหลเพื่อให้เกิดการผสมระหว่างการไหล วาล์วเปิดปิดขนาดเล็ก (Microvalve) เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยควบคุมการไหลในท่อด้วยการปิด/เปิดประตูกั้น แบ่งออกเป็นสองชนิดได้แก่ ชนิด Passive และชนิด Active ไมโครวาล์วชนิด Passive นั้นอาศัยความดันที่แตกต่างระหว่างด้านทั้งสองของวาล์วเพื่อควบคุมการเปิด/ปิด ไม่ต้องมีกลไกใดๆ มาขับเคลื่อน แต่ไมโครวาล์วแบบ Active นั้นอาศัยอุปกรณ์ขับเคลื่อนเพื่อควบคุมการทำงานของเหลวในระบบสามารถไหลในท่อไปตามส่วนต่างๆ ได้อาศัยปั๊มขนาดเล็กทั่วไปหรือสามารถเคลื่อนของไหลไปตามท่อโดยไม่ได้อาศัยพลังงานทางกล ไม่มีส่วนใดๆ เคลื่อนไหว แต่อาศัยพลังงานอื่นๆ เช่น แรงตึงผิว การขยายตัวจากพลังงานความร้อน แรงจากสนามไฟฟ้า หรือสนามแม่เหล็ก เป็นต้น ไมโครมิกเซอร์ (Micromixer) เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยผสมสารเคมีเข้าด้วยกันเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา โดยปกติแล้วการผสมในระดับจุลภาคนั้นอาศัยการแพร่ของสาร Microreactor เป็นอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญของระบบที่เป็นบริเวณที่เกิด ปฏิกิริยาทางเคมี มีลักษณะเป็นหลุมหรือช่องขนาดเล็กที่สารผสมกัน ไมโครเซนเซอร์ (Microsensor) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการตรวจวัด (Detection) ในระบบ เช่น เซนเซอร์

สำหรับวัดความเข้มข้นของสารละลาย เช่น เซอร์สำหรับตรวจวัดทางชีวภาพ เช่น เซอร์วัดอัตราการไหล เป็นต้น (นิธิพนธ์ พุทธิรักษา, 2559)

เทคโนโลยีระบบของไหลจุลภาค (microfluidics) คือช่องทางไหลจุลภาค (microchannel) ซึ่งเป็นช่องทางไหลขนาดเล็กสำหรับของเหลวหรือสารละลายประเภทต่างๆ ในระดับไมโครลิตร อุปกรณ์ที่รู้จักดี คือ อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ (Lab on a chip) แสดงตัวอย่างของห้องปฏิบัติการบนชิพดังภาพประกอบ 2 จะเห็นได้ว่าบนชิพนั้นจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ มากมาย โดยมีช่องทางไหลจุลภาคเป็นส่วนเชื่อมต่อให้ทั่วถึงกัน



ภาพประกอบ 2 ตัวอย่างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ

การสร้างช่องทางไหลจุลภาคเพื่อประยุกต์ใช้ในงานวิจัยต่างๆ นั้นนิยมใช้วัสดุพอลิเมอร์ที่เรียกว่า PDMS (Polydimethylsiloxane) สำเนาโครงสร้างช่องทางเดินขนาดเล็กมาจากแม่แบบและนำไปประกบติดกับแผ่นซิลิคอนหรือกระจกด้วยการเชื่อมแผ่นผิวด้วยพลาสมาของออกซิเจน ซึ่งจะก่อให้เกิดการเชื่อมติดกันอย่างถาวรและป้องกันสารละลายไหลออกไปจากช่องทางไหลที่ต้องการ (นิมิตร ชมนาวัง, 2560)

5.2 ความหมายของห้องปฏิบัติการบนชิพ (Lab on a chip)

อดิสว เตือนตรานนท์ และคณะ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (2556) ได้ให้ความหมายว่า เป็นการลดขนาดการทดลองทางห้องปฏิบัติการให้อยู่บนแผ่นชิพ วิทยาการทางวิทยาศาสตร์ นี้จะมีระบบขนส่งนำส่งสารเคมีขนาดเล็กระดับไมโครเมตร เช่น ไมโครปั๊ม ไมโครวาล์ว ท่อขนาดไมโครเมตร รีแอกเตอร์ขนาดเล็ก เป็นต้น

นิธิพนธ์ พุทธิรักษา (2559) ได้ให้ความหมายว่าเป็นการย่อส่วนการทดลองต่างๆ ในห้องปฏิบัติการทั่วไปลงบนอุปกรณ์ขนาดเล็กมากขนาดที่วางบนฝ่ามือ

ธีรเกียรติ์ เกิดเจริญ (2012) ได้ให้ความหมายว่าห้องปฏิบัติการบนชิพเป็นเครื่องมือที่ใช้โครงสร้างพื้นฐานเดียวกันกับไมโครชิพ โดยใช้ปั๊ม คอลัมน์แยก ถังบรรจุสาร คอนเทนเนอร์ สำหรับทำปฏิกิริยา

จากความหมายข้างต้นอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพจึงเป็นอุปกรณ์ทางเคมีวิเคราะห์ ที่ย่อส่วนห้องปฏิบัติการทดลองลงมาบนแผ่นหรือแผงวงจรรขนาดเล็กลง เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารเคมีที่ต้องการในระดับไมโครลิตร

5.3 วิธีการสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพด้วยพอลิเมอร์

การสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพสามารถสร้างได้โดยใช้เทคนิคที่ต่างกัน โดยมีเทคนิคในการสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่น่าสนใจดังนี้

4.3.1 การหล่อแบบจากแม่พิมพ์ (Soft lithography)

เทคนิคการหล่อแบบจากแม่พิมพ์ (Soft lithography) เป็นเทคนิคที่นิยมนำมาใช้ในการประดิษฐ์อุปกรณ์ระดับไมโครจนกระทั่งถึงนาโน เทคนิคนี้ใช้วัสดุในกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่น เช่น Polydimethylsiloxane หรือ PDMS

4.3.2 การพิมพ์ตัวนูนด้วยแม่พิมพ์ร้อน (Hot embossing)

การพิมพ์ตัวนูนด้วยแม่พิมพ์ร้อน หรืออาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเทคนิค imprinting เป็นการทำให้วัสดุละลายจากแผ่นต้นแบบไปสู่พอลิเมอร์โดยการให้ความร้อนแก่แผ่นต้นแบบ เพื่อให้แผ่นต้นแบบมีอุณหภูมิเพิ่มสูงกว่า Polymer's glass transition temperature (Tg) แล้วหลังจากนั้นจึงใช้แรงดันในการกดทับแผ่นพอลิเมอร์เพื่อสร้างลวดลาย เทคนิคนี้จะพิมพ์ตัวนูนด้วยแม่พิมพ์ร้อน คล้ายคลึงกับเทคนิคการหล่อแบบจากแม่พิมพ์ (Soft lithography) เนื่องจากมันต้องใช้แผ่นต้นแบบหรือแม่พิมพ์ แต่ต่างกันตรงที่วัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่แผ่นต้นแบบมักจะเป็นโลหะหรือว่าซิลิกอน และใช้ PMMA, PVC และ PS เป็นต้น

5.3.3 การฉีดขึ้นรูป (Injection molding)

การฉีดขึ้นรูปขึ้นงานวัสดุที่ใช้ขึ้นรูปจะถูกฉีดเข้าไปในเครื่องโดยหลอดฉีด แล้วเพิ่มอุณหภูมิจนสูง อุณหภูมิที่พอลิเมอร์เปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นของยืดหยุ่น คล้ายยาง เมื่อวัสดุเปลี่ยนสถานะแล้วจะถูกฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ที่มีรูปร่างตรงกันข้ามกับผลิตภัณฑ์ แล้วลดอุณหภูมิให้แม่พิมพ์เย็นลงอย่างคงที่จนกระทั่งอุณหภูมิที่ทำให้วัสดุเป็นของแข็ง วัสดุที่ใช้จะเป็นกลุ่มของเทอร์โมพลาสติก เช่น ABS หรือ PP เป็นต้น

จากเทคนิคในการขึ้นรูปห้องปฏิบัติการบนชิพข้างต้นเทคนิคการหล่อแบบจากแม่พิมพ์ (Soft lithography) เป็นเทคนิคที่นิยมนำมาใช้ในการประดิษฐ์อุปกรณ์ระดับไมโครจน

กระทั่งถึงนาโน ซึ่งการขึ้นรูปอุปกรณ์ด้วยเทคนิคนี้มีความสะดวกในการประดิษฐ์ในห้องปฏิบัติการ และเหมาะสมกับวัสดุที่นำมาใช้งาน

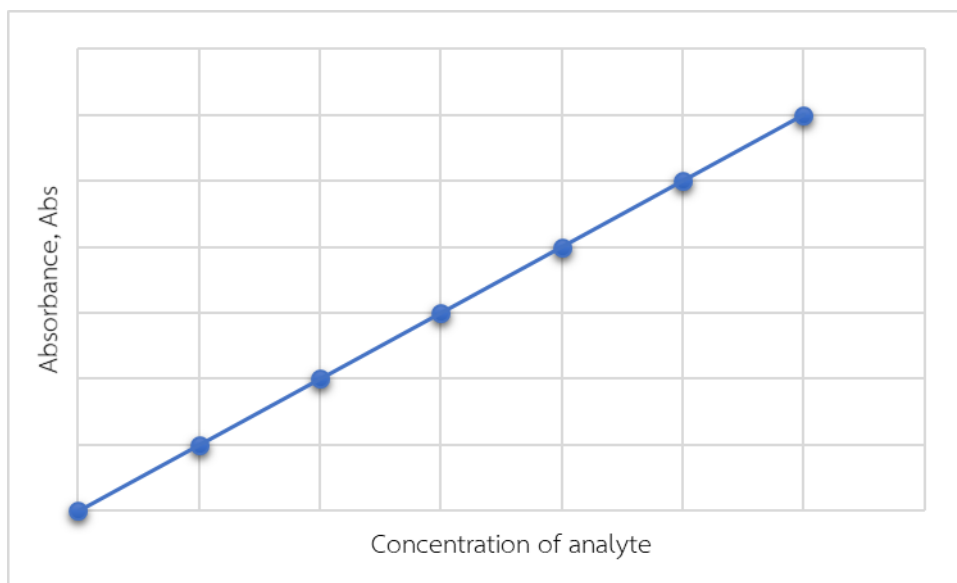
6. การวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำ

6.1 หลักการวิธีการวิเคราะห์แบบเทียบสี

การมองเห็นสีของมนุษย์ เกิดจากแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุนั้นมากระทบตาเรา สีเป็นสมบัติเชิงแสงที่นำมาใช้บรรยายลักษณะภายนอกของวัตถุได้ง่ายที่สุดแบบหนึ่ง การบรรยายลักษณะของสีหรือการวัดค่าสีจึงมีบทบาทสำคัญ แต่มาตรฐานของการบรรยายลักษณะของสีอาจแตกต่างกันได้ จึงกำหนดค่าสีขึ้นเป็นมาตรฐานสากลเพื่อสะดวกในการอ้างอิงสำหรับการบรรยายลักษณะของสีโดยใช้เทคนิค Spectroscopy ด้วยเครื่อง Spectrophotometer อาศัยทฤษฎีที่ว่าวัตถุสีจะสะท้อนคลื่นแสงในย่าน Visible light ตามลักษณะสีบนวัตถุ การวิเคราะห์ทางเคมีด้วยวิธีสเปกโทรสโกปี (spectroscopic method) เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่อาศัยการเกิด interaction ระหว่างรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) กับสสาร (matter) ปัจจุบันการวิเคราะห์โดยวิธีสเปกโทรสโกปีมีขอบเขตที่กว้างขวางมากขึ้น ซึ่งไม่ใช่เพียงเฉพาะแสง (light) แต่ยังหมายรวมพลังงานรูปอื่นๆ ด้วย โดยวิธีสเปกโทรสโกปีจะเกี่ยวข้องกับรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่ช่วงพลังงานแตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีวิธีการวิเคราะห์หลายวิธีโดยถ่วงแบ่งตามการเกิด interaction ระหว่างรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ากับสสารจะแบ่งได้ 4 แบบคือ การดูดกลืน (absorption) การเปล่งออก (emission) การเรืองแสง (fluorescence) และการกระเจิงแสง (scattering) ในอันตรกิริยาแต่ละแบบยังแบ่งเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ได้อีกหลายเทคนิค

6.1.1 การประยุกต์ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ

การทำกราฟมาตรฐานความเข้มข้น “ absorbance (absorbance) เป็นแปรผันตามความเข้มข้นของสารที่สนใจที่สามารถดูดกลืนแสงได้ (absorbing analyte species)” ดังนั้นเมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่สนใจและ absorbance มาพลอต กราฟ จะได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง เรียกว่า calibration curve เมื่อ absorbance (absorbance, A) เป็นแกน y และความเข้มข้น (concentration, C) เป็นแกน x จะได้กราฟเส้นตรงที่มีค่าความชันเท่ากับ ϵb และเมื่อ b เท่ากับ 1 ความชันจึงเท่ากับ ϵ ดังแสดงในภาพ



ภาพประกอบ 3 กราฟความเข้มข้นมาตรฐาน (concentration calibration curve)

จุดประสงค์ที่สำคัญของการทำกราฟความเข้มข้นมาตรฐานเพื่อให้ได้สัญญาณการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือวัดในขณะนั้น เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน (external standard solution) ที่ความเข้มข้นต่างกันตามลำดับ (concentration series) สัญญาณการดูดกลืนแสงที่ได้แปรผันตามความเข้มข้น และที่สำคัญกราฟความเข้มข้นมาตรฐานจะเป็นเครื่องมือในการหาความเข้มข้นของสารที่สนใจในสารตัวอย่าง โดยอาศัยสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน วิธีการสร้างกราฟมาตรฐาน ทำได้โดยนำ standard solution ที่ทราบค่าความเข้มข้นแน่นอน 5-6 ความเข้มข้น มาวัดค่า absorbance จากนั้นพลอตกราฟระหว่างความเข้มข้นกับ absorbance สารตัวอย่างเราไม่ทราบความเข้มข้นของสารที่สนใจ เมื่อนำไปวิเคราะห์ absorbance ที่ความยาวคลื่นเดียวกับวิธีการทำกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน เครื่องมือจะรายงาน absorbance ของสารตัวอย่าง จากนั้นหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างโดยอาศัยสมการเส้นตรง เราจะทราบค่าความเข้มข้นของสารที่สนใจในสารตัวอย่างได้

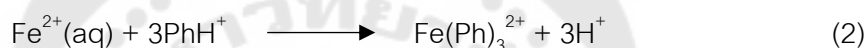
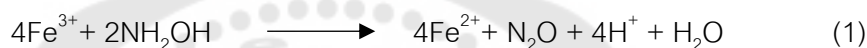
6.1.2 การวิเคราะห์ค่าความเข้มข้น

การวิเคราะห์ความเข้มข้นด้วย รายการคำสั่งอิมเมจเจ คือ ซอฟแวร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ภาพถ่าย พัฒนาโดยสำนักวิจัยของสถาบัน NIMH เพื่อใช้กับเครื่อง MacIntosh และสามารถใช้งานได้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้ง รายการคำสั่ง Java ตั้งแต่เวอร์ชัน 1.4 ขึ้นไป รายการคำสั่ง ImageJ สามารถ เลือกบันทึกในรูปแบบ 8-bit, 16-bit, 32-bit ด้วยโปรแกรม ImageJ

6.2 หลักการในการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำ

6.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณเหล็กด้วยวิธีวัดค่า absorbance

การวิเคราะห์ปริมาณเหล็กด้วยวิธีวัดค่า absorbance ทำได้โดยให้เกิดไอออนเชิงซ้อนที่มีสี (สีแดงถึงส้ม) ระหว่าง Fe^{2+} กับ 1,10-phenanthroline ที่เรียกว่าไอออนเชิงซ้อนเหล็กฟีแนนโทรลีน (Fe-Phen) ซึ่งดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 510 nm โดยควบคุม pH ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ประมาณ pH 3.5 เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดตะกอนเป็น $\text{Fe}(\text{OH})_2$ และจะต้องเติมตัวรีดิวซ์เพื่อทาการรีดิวซ์เหล็กทั้งหมดในสารละลายให้เป็น Fe^{2+} เสียก่อนโดยใช้ $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ สีของไอออนเชิงซ้อนระหว่างเหล็ก(II) กับฟีแนนโทรลีนจะเสถียรได้นาน ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นแสดงด้านล่าง



จากการศึกษาหลักการวิธีการวิเคราะห์แบบเทียบสีพบว่าการสามารถนำมาประยุกต์ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณได้ อีกทั้งผู้วิจัยพัฒนบทปฏิบัติการขึ้นมา เพื่อใช้สำหรับการจัดการเรียนรู้ เรื่องการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำ โดยใช้ รายการคำสั่งอิมเมจในการวิเคราะห์ภาพ เพื่อหาค่าความเข้มสีจากปฏิกริยาที่เกิดขึ้นบนอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพแล้วสร้างกราฟระหว่างค่าความเข้มสีและความเข้มข้นของสารตัวอย่าง

7. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

7.1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ

อดิสร เตือนตรานนท์ และคณะ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (2556) ได้วิจัยเรื่องห้องปฏิบัติการระบบของไหลจุลภาคบนชิพ โดยระบบปฏิบัติการของไหลจุลภาคบนชิพนั้นมีการใช้ปริมาณของสารเคมีระดับนาโนลิตร เพื่อให้การตรวจวัดสารบนแผ่นชิพมีความแม่นยำจึงจำเป็นต้องมีความไวสูงกว่าปกติโดยใช้วัสดุระดับนาโน ได้แก่ ท่อคาร์บอนนาโน ลวดนาโน และอนุภาคนาโน แต่วัสดุนาโนเหล่านี้ก็ยังมีข้อด้อยประสิทธิภาพเช่นมีการหลุดร่อนเมื่อมีการใช้งานผ่านไประยะหนึ่ง ที่มวิจัยจึงแก้ปัญหาโดยการสร้างท่อคาร์บอนนาโนลงบนแผ่นอิเล็กทรอนิกส์โดยตรง นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดบริเวณที่สามารถทำการปลูกให้เป็นไปตามที่กำหนดได้ ด้วยการแก้ปัญหาดังกล่าวนี้จึงทำให้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการระบบของไหลจุลภาคบนชิพสามารถตรวจสอบสารปริมาณน้อยๆได้ดีขึ้น แม่นยำมากขึ้น ความไวสูงขึ้น และใช้ได้นานยิ่งขึ้น

ยศวัต วิจิตร (2557) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องเทคนิค Capillary Electrophoresis เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเรียนรู้ของนิสิตปริญญาตรี ผู้วิจัยได้

พัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพเรื่อง เทคนิค Capillary Electrophoresis โดยใช้ ชุดอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิป (lab on chip) อย่างง่าย สำหรับการสอนในรายวิชาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เกี่ยวกับการแยกสีผสมอาหารด้วยเทคนิค Capillary Electrophoresis คณะผู้วิจัยได้นำบทปฏิบัติการไปทดลองสอนกับนิสิตกลุ่มย่อยที่ไม่ใช่นิสิตกลุ่มตัวอย่างก่อนแล้ว นำข้อมูลมาปรับปรุงแก้ไขก่อนที่จะนำไปทดลองสอนกับนิสิตกลุ่มย่อยจำนวน 30 คน โดยให้นิสิตทดลองเป็นกลุ่ม ๆ เพื่อหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ผลการวิจัยพบว่า นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่อง เทคนิค Capillary Electrophoresis มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

T. A. Davis (2015) ผู้วิจัยใช้เครื่องมือที่ใช้ระบบของไหลจุลภาค ราคาถูก ในการสาธิตการทดลองเรื่องการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า เพื่อใช้ในการเรียนวิชาเคมีเบื้องต้นในโรงเรียนระดับมัธยมศึกษา ผู้วิจัยได้พัฒนากิจกรรมที่มีส่วนช่วยให้มองเห็นภาพของปฏิกิริยาการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า และใช้ชิปที่ทำจาก PDMS และชิปที่ทำจากเจลลาติน นักเรียนได้เรียนรู้หลักการพื้นฐานในวิชาเคมี เช่น เรื่องปฏิกิริยาเคมี ปริมาณสารสัมพันธ์ กฎการอนุรักษ์พลังงานและกฎทรงมวล ซึ่งนักเรียนสามารถนำชุดการทดลองกลับไปที่บ้านได้อีกด้วย จากผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีคะแนนในการตอบคำถามอธิบายกระบวนการของการเกิดปฏิกิริยาการแยกน้ำด้วยไฟฟ้า และนักเรียนมีความสนใจในการเรียนที่คะแนน 4.50.7 และ 4.4 0.9 ตามลำดับ นอกจากนี้นักเรียนยังได้ประโยชน์จากการเรียนรู้เป็นอย่างมาก รวมไปถึงครูผู้สอนก็ได้เพิ่มพูนความรู้ของตน ปรับปรุงการคิดอย่างมีวิจารณญาณและยังเพิ่มความรู้วิทยาศาสตร์ของสังคมด้วย

Wietsma (2018) ได้วิจัยเรื่อง ห้องปฏิบัติการบนชิป : วิทยาศาสตร์ขั้นสูงนำมาใช้ในห้องเรียน ผู้วิจัยได้พัฒนางานวิจัยโดยแบ่งออกเป็นสองส่วนสำคัญคือ การพัฒนาชุดเครื่องมือห้องปฏิบัติการบนชิปและการพัฒนาบทเรียนโดยใช้หลักการของห้องปฏิบัติการบนชิปสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายและในระดับปริญญาตรี ผู้วิจัยได้เลือกหลักการพื้นฐานของระบบของไหลจุลภาค คือ การไหลแบบราบเรียบในตัวปฏิกรณ์รูปตัว H ประสิทธิภาพในการผสมสารในระดับจุลภาค การหยดมวลสารขนาดเล็ก และการดักจับและการนับหยดของสารขนาดเล็ก ผู้วิจัยได้นำชุดเครื่องมือห้องปฏิบัติการบนชิปและบทเรียนไปใช้กับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายพบว่า นักเรียนได้เรียนโดยบูรณาการวิทยาศาสตร์ขั้นสูงในบทเรียนจากการทดลองในนักเรียนจำนวนทั้งหมด 70 คน ค่าเฉลี่ยคะแนนสอบวัดผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนมีค่า 77 เปอร์เซนต์ (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 18 เปอร์เซนต์) ค่าเฉลี่ยคะแนนข้อเขียนโดยให้นักเรียนวาดโครงสร้างของห้องปฏิบัติการบนชิป มีคะแนน 82 เปอร์เซนต์ (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมี

ค่าเท่ากับ 27 เปอร์เซ็นต์) นอกจากนี้นักเรียนและครูผู้สอนยังให้การตอบรับในการใช้ชุดเครื่องมือห้องปฏิบัติการบนชิปทเรียน พบว่าช่วยเพิ่มความเข้าใจหลักการพื้นฐานของระบบของไหลจุลภาคและการทำงานของห้องปฏิบัติการบนชิป อีกทั้งการออกแบบห้องปฏิบัติการบนชิปยังช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความคิดสร้างสรรค์และมีแนวคิดในการแก้ปัญหาใหม่ๆอีกด้วย

7.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำ

Kassem (2013) ได้วิจัยเรื่อง การตรวจวิเคราะห์ทางสเปกโตรโฟโตเมทรีเพื่อหาปริมาณเหล็ก(II) ในธรรมชาติและตัวอย่างอาหาร โดยใช้เทคนิค solid phase extraction ในงานวิจัยใช้ค่าการดูดกลืนสูงสุดที่ 644 นาโนเมตร (molar absorptivity, Sandell's sensitivity, นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบเมื่อไม่ใช้เทคนิคการเตรียมตัวอย่างด้วยการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง โดยวิธีการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ในสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำ ดิน และตัวอย่างพืช มีค่าร้อยละการคืนกลับในช่วง 98.71–101.51%

7.3 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับนักศึกษาวิชาชีพครู

H. A. Davis (2010) ได้วิจัยเรื่อง การเป็นครูนักนวัตกรรม: ความคิดของนักศึกษาวิชาชีพครูเกี่ยวกับเทคโนโลยีและนวัตกรรม งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาความเข้าใจของนิสิตครูต่อแนวความคิดเกี่ยวกับนวัตกรรมในบทบาทผู้เรียน ในรายวิชาจิตวิทยาการศึกษาเบื้องต้น โดยให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์จากการใช้วิทยาการทางวิทยาศาสตร์โดยตรง เช่น การใช้ซอฟต์แวร์การเรียนรู้เกี่ยวกับการเชื่อมต่อแบบไร้สาย และการเรียนรู้โดยใช้ซอฟต์แวร์ช่วยสอน เพื่อให้นิสิตได้พัฒนาการเรียนของตนเอง

Tican (2019) ได้วิจัยเรื่อง ความคิดเห็นของนักศึกษาวิชาชีพครูเกี่ยวกับการทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 ของนักเรียนและครู การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความคิดเห็นของนักศึกษาวิชาชีพครู ซึ่งพบว่า มีความสำคัญเป็นอย่างมากทั้งกับนักเรียนและครู นักศึกษาวิชาชีพครูเห็นว่าทักษะที่สำคัญในบทบาทผู้เรียน ได้แก่ ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ ทักษะการเรียนรู้ด้วยตนเอง ทักษะความร่วมมือ ทักษะความยืดหยุ่นและการปรับตัว และทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม และยังพบว่าทักษะที่สำคัญในฐานะครูผู้สอน ได้แก่ ทักษะการบริหาร ทักษะการใช้วิทยาการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะการสื่อสาร ทักษะการสอนและทักษะความเป็นผู้นำ ผู้วิจัยสรุปว่านอกจากการที่ผู้เรียนเกิดความรู้จากการได้ลงมือปฏิบัติด้วยตนเองแล้ว ความรู้ที่เกิดขึ้นยังเป็นความรู้ที่คงทน นอกจากนี้การสอนด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ยังช่วยพัฒนาทักษะชีวิตด้านการแก้ปัญหาได้อีกด้วย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ โดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ (Lab on a chip) ร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อพัฒนาทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมของนิสิตระดับปริญญาตรี ในการวิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง
2. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล
4. การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

1. การกำหนดประชากรและเลือกกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มเป้าหมายที่ศึกษา

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือนิสิตระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 หลักสูตรการศึกษาด้านสัตวศาสตร์ สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชา รายวิชา หัวข้อพิเศษทางเคมีศึกษา ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 ทั้งหมด 22 คน

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อหาในบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในน้ำสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี ประกอบด้วยบทปฏิบัติการทั้งหมด 2 บทปฏิบัติการได้แก่

การทดลองที่ 1 การสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพโดยใช้ผงวุ้น

การทดลองที่ 2 การหาปริมาณเหล็กในสารตัวอย่างด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 รายวิชา หัวข้อพิเศษทางเคมีศึกษา จำนวน 2 การทดลองและทดสอบก่อนและหลังเรียน รวม 9 ชั่วโมง ดัง

ตาราง 6 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ครั้งที่	เนื้อหา	จำนวนชั่วโมง
1	ทดสอบทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมก่อนเรียนและชี้แจง บทเรียนปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง การหาปริมาณ เหล็กในน้ำ	2
2	การทดลองที่ 1 การสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ โดยใช้ผงวุ้น	3
3	การทดลองที่ 2 การหาปริมาณเหล็กในสารตัวอย่างด้วย อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบ เทียบสี	3
4	ทดสอบทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม	1
	รวม	9

2. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ และแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม

2.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

2.1.1 ผู้วิจัยพัฒนาการทดลอง เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำโดยใช้อุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยดังนี้

- เครื่อง Spectrophotometer
- เครื่องชั่งอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง จากบริษัท Mettler Toledo
- เครื่องกวนสารชนิดให้ความร้อน
- แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic bar)
- ไมโครปิเปตต์ ขนาด 10-100 μL จากบริษัท Biosigma
- ไมโครปิเปตต์ ขนาด 100-1000 μL จากบริษัท Biosigma
- เทอร์โมมิเตอร์
- กล้องสำหรับถ่ายภาพ

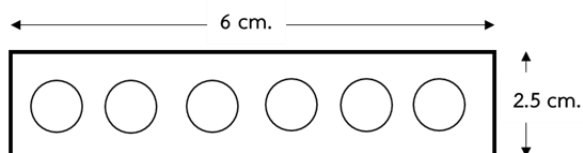
- แผ่นพลาสติก
- เทปพลาสติกใส
- กรรไกร
- กาว
- มีดคัตเตอร์
- หลอดดูดพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร
- กาวแผ่นทรงกลม
- โทรศัพท์สมาร์ทโฟน รุ่น Iphone 7 จากบริษัท Apple
- คอมพิวเตอร์ รุ่น VAIO จากบริษัท Sony
- ผงวุ้น (Agar powder) ตรานางเงือกเกรด AA
- น้ำตาล
- น้ำปราศจากไอออน
- กรด H_2SO_4
- กรด HCl
- แอมโมเนียมไอรอน (III) ซัลเฟต $(NH_4Fe(SO_4)_2) \cdot 12H_2O$
- $NH_2OH \cdot HCl$
- 1,10 – ฟีนันโทโรลีน ($C_{12}H_8N_2$)
- โซเดียมอะซิเตต ($CH_3COONa \cdot 3H_2O$)
- สีส้มอาหาร

2.1.2 ศึกษาเบื้องต้นถึงความเป็นไปได้ของสารละลายมาตรฐานเหล็กเข้มข้น เมื่อลดปริมาณการใช้สารเคมีลง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของปฏิกิริยาระหว่างสารละลายมาตรฐานเหล็กที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.5 และ 5.0 กับออกโทปีแนนโทโรลีน ออกแบบและพัฒนาวีธีวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำโดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ (Lab on a chip) ร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

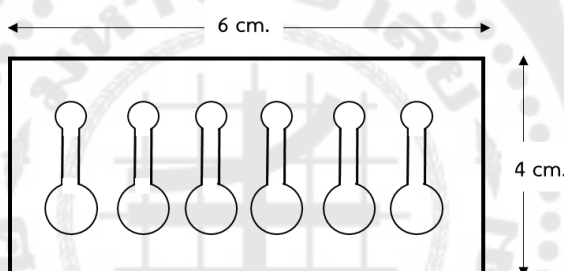
2.1.3 ศึกษาปริมาณของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในช่วง 20-100 ไมโครลิตร เมื่อใช้สารละลายเหล็กมาตรฐานในช่วงความเข้มข้น 0.2, 0.5, 1.0, 2.5 และ 5.0 ppm

2.1.4 ออกแบบอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ ผู้วิจัยได้ออกแบบแม่พิมพ์ห้องปฏิบัติการบนชิพทั้งหมด 3 รูปแบบ อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่พัฒนาขึ้นนั้น สามารถ

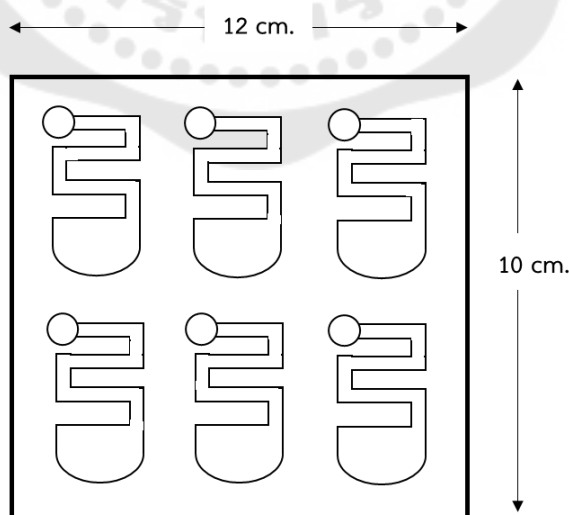
สร้างอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการได้ ผู้วิจัยได้ศึกษาออกแบบอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพอย่างง่าย จากงานวิจัยของ (Morton, 2016) โดยในงานวิจัยได้ออกแบบอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพต่อการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแบบ ผู้วิจัยจึงได้ดัดแปลงรูปแบบอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ ทั้งหมด 3 รูปแบบ แสดงดังภาพ



ภาพประกอบ 4 อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพช่องแบบวงกลม



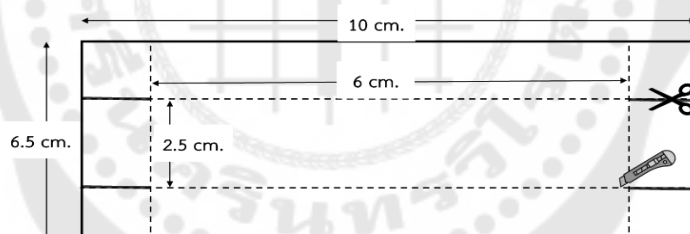
ภาพประกอบ 5 อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพช่องแบบตรง



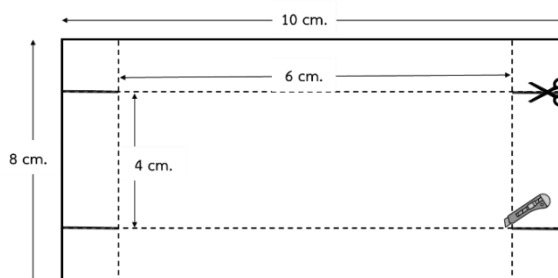
ภาพประกอบ 6 อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพช่องแบบขด

2.1.5 ศึกษาการขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ในกรณีที่ใช้พอลิเมอร์เป็นวัสดุ ตัวอย่างเช่น พอลิเมทิลไซลอกเซน (PDMS) พอลิเมทิลเมทาคริเลต (PMMA) ในการทำอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ การขึ้นรูปจะใช้วิธีการหล่อแบบ(Molding) แต่ถ้าเป็นวัสดุจำพวกแก้วจะใช้วิธีการกัด (Etching) นอกจากนั้นแล้วยังมีวิธีการขึ้นรูปอื่นๆ เช่น การแกะสลัก (Lithography) การกัดด้วยเครื่องกัด (Milling) การหล่อโลหะ (Casting) และการตัด (Cutting) ซึ่งวิธีในการขึ้นรูปสามารถเลือกได้ตามความเหมาะสมระหว่างวัสดุที่ใช้กับวิธีในการขึ้นรูป ผู้วิจัยได้ศึกษาวัสดุและอัตราส่วนที่เหมาะสมพบว่า ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยมวลต่อปริมาตรเป็นความเข้มข้นที่ดีที่สุดสำหรับการขึ้นรูป โดยวิธีการที่ผู้วิจัยเลือกใช้คือการหล่อแบบ (Molding) เพราะสามารถทำได้สะดวก รวดเร็วและราคาถูก (Castillo & Jaime, 2015) โดยมีขั้นตอนดังนี้

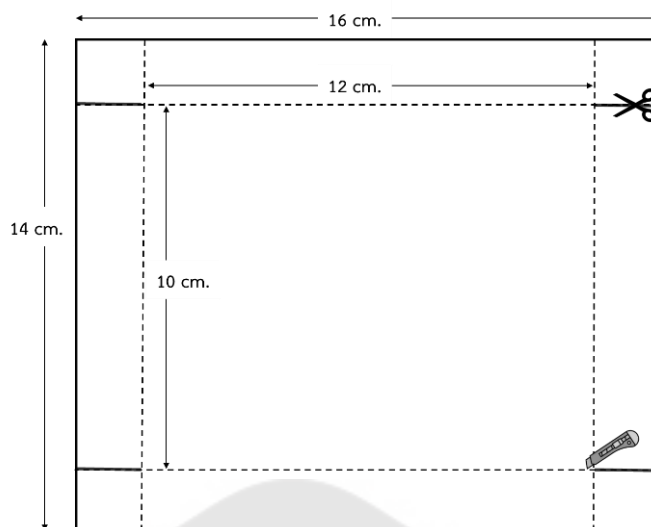
2.1.5.1 นำแผ่นพลาสติกใสขนาด A4 มาตัดให้ได้ขนาดความกว้างและความยาวตามรูปแบบของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่ออกแบบไว้ดังภาพ ใช้กรรไกรตัดแผ่นพลาสติกใสบริเวณเส้นทึบ ส่วนในบริเวณเส้นประให้ใช้มีดคัตเตอร์กรีดเบาๆ ให้เป็นรอย (ระวังอย่าให้แผ่นพลาสติกออกจากกัน)



ภาพประกอบ 7 แม่แบบสำหรับการขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพแบบกลม



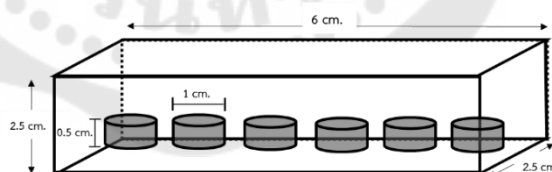
ภาพประกอบ 8 แม่แบบสำหรับการขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพแบบตรง



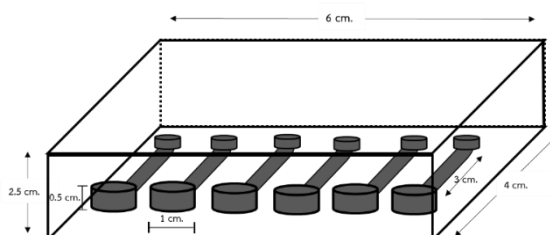
ภาพประกอบ 9 แม่แบบสำหรับการขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพแบบขาด

2.1.5.2 นำแผ่นพลาสติกใสที่เตรียมไว้มาพับบริเวณที่มีรอยกรีด จะได้แผ่นพลาสติกที่มีรูปทรงกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า จากนั้นติดเทปใสบริเวณมุมของแผ่นใสทั้ง 4 มุม ให้เรียบร้อย

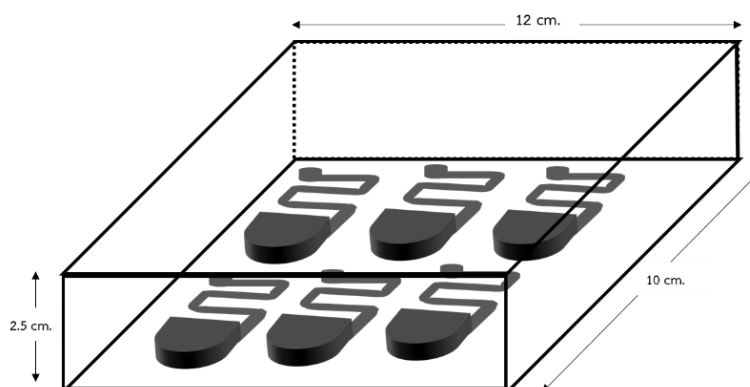
2.1.5.3 ใช้หลอดพลาสติกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 มิลลิเมตร เป็นแม่แบบในการทำช่องของไหลและใช้กาวแผ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 cm. สูง 0.5 cm. เป็นช่องสำหรับบรรจุสาร โดยจะสร้างแม่พิมพ์ที่มีลักษณะตามที่ออกแบบไว้ดังภาพ



ภาพประกอบ 10 แม่แบบ 3 มิติสำหรับการขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพแบบกลม



ภาพประกอบ 11 แม่แบบ 3 มิติสำหรับการขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพแบบตรง



ภาพประกอบ 12 แม่แบบ 3 มิติสำหรับการขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพแบบขาด

2.1.5.4 เมื่อประดิษฐ์แม่แบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว รอให้กาวที่ติดแหว่งจากนั้นจึงใช้แม่แบบในการขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพโดยใช้วุ้นในการขึ้นรูปต่อไป

2.1.6 ศึกษาความเข้มข้นของวุ้นที่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 %w/v การขึ้นรูปของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพจะใช้เทคนิคแม่พิมพ์ (Molding) โดยมีลักษณะต้นแบบดังกล่าวข้างต้น จากนั้นทำการหล่อแบบอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพด้วยวุ้น มีขั้นตอนแสดงดังตาราง 7

ตาราง 7 ขั้นตอนการขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ

ลำดับ	ขั้นตอน
1.	ชั่งน้ำหนักของผงวุ้น และเตรียมผงวุ้นในน้ำกลั่นอัตราส่วนที่เหมาะสม จากนั้นผสมผงวุ้นและน้ำกลั่นทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที
2.	ให้ความร้อนแก่สารละลายที่อุณหภูมิประมาณ 95-100 องศาเซลเซียส ในระหว่างที่ต้มสารละลายควรใช้แท่งคนสารกวนสารละลายจนกว่าผงวุ้นจะละลายหมด
3.	เมื่อสารละลายผงวุ้นละลายหมดแล้ว ให้นำมาลดอุณหภูมิที่อ่างน้ำแข็งจนอุณหภูมิลดลง จากนั้นจึงเทสารละลายที่ได้ลงในแม่แบบที่เตรียมไว้
4.	นำแม่พิมพ์ไปแช่ลงอ่างน้ำแข็งประมาณ 15 นาที หลังจากนั้นให้นำวุ้นออกจากแม่พิมพ์

2.1.7 ศึกษาวัสดุในการสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพว่ามีงานวิจัยจากต่างประเทศจำนวน 2 เรื่องที่ใช้วุ้นเป็นวัสดุในการสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ (Cheng Wei T. Yang, 2010) และ (T. A. Davis, S. L. Athey, 2015) ซึ่งพบว่าลักษณะของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่สร้างขึ้นนั้นสร้างเจลาตินทำให้มีสีเหลืองเข้มค่อนข้างขุ่นเพราะส่วนใหญ่เจลาตินที่ขายตามท้องตลาดมักจะมีสีเข้มแต่การผสม ดังนั้นผู้วิจัยจึงศึกษาอัตราส่วนของผงวุ้นปริมาณน้ำตาล เพื่อหาอัตราส่วนของผงวุ้นที่ทำให้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่สร้างขึ้นมีสีใสและยังคงความแข็งแรง แสดงดังตาราง 8

ตาราง 8 วิธีการศึกษาความเข้มข้นของวุ้น

ลำดับ	ขั้นตอน
1.	ละลายผงวุ้นตามอัตราส่วนต่างๆดังตาราง 4 ลงในน้ำปราศจากไอออน 100 มิลลิลิตร แล้วคนให้สารละลายเข้ากัน จากนั้นทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที
2.	ให้ความร้อนแก่สารละลายผงวุ้นตามอุณหภูมิที่ต้องการศึกษา คนสารละลายตลอดเวลาที่ให้ความร้อน
3.	ค่อยๆทำการเติมน้ำตาลตามอัตราส่วนลงไปในสารละลาย ลงในสารละลายที่กำลังต้มอยู่
4.	ให้ความร้อนแก่สารละลาย เมื่อสารละลายละลายหมดแล้ว ตั้งทิ้งไว้จนสารละลายเริ่มเย็นลง แล้วเทสารละลายลงแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ประมาณ 20 มิลลิลิตรต่อแผ่นชิพ 1 อัน
5.	นำแม่พิมพ์ไปแช่ลงอ่างน้ำแข็งประมาณ 15 นาที หลังจากนั้นให้นำวุ้นออกจากแม่พิมพ์ทันที
6.	เมื่อนำชิพออกจากแม่พิมพ์ สังเกตลักษณะทางกายภาพ ความใสและความคงรูปของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ

2.1.8 ศึกษาความเข้มข้นของน้ำตาลที่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 %w/v โดยใช้ขั้นตอนแสดงดังตาราง 8

2.1.9 ศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการขึ้นรูปแสดงดังตาราง 9

ตาราง 9 ขั้นตอนการขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ

ลำดับ	ขั้นตอน
1.	ชั่งน้ำหนักของผงวุ้น และเตรียมผงวุ้นในน้ำกลั่นที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และ 1.5 จากนั้นผสมผงวุ้นและน้ำกลั่นทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที
2.	ให้ความร้อนแก่สารละลายโดยควบคุมอุณหภูมิประมาณ 85-95 องศาเซลเซียส ในระหว่างที่ต้มสารละลายควรใช้แท่งคนสารกวนสารละลายจนกว่าผงวุ้นจะละลายหมด ใช้เทอร์โมมิเตอร์ในการวัดอุณหภูมิ
3.	เมื่อสารละลายผงวุ้นละลายหมดแล้วให้นำมาลดอุณหภูมิที่อ่างน้ำแข็งจนอุณหภูมิลดลง จากนั้นจึงเทสารละลายที่ได้ลงในแม่แบบที่เตรียมไว้
4.	นำแม่พิมพ์ไปแช่ลงอ่างน้ำแข็งประมาณ 15 นาที หลังจากนั้นให้นำวุ้นออกจากแม่พิมพ์

2.1.10 ตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำที่พัฒนาขึ้น ความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linearity)

ปิเปตต์สารละลายมาตรฐานเหล็กความเข้มข้น 10 ppm จำนวน 20, 50, 100, 250, และ 500 μL ปิเปตต์สารละลาย $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ปิเปตต์สารละลายฟีนานโทรีนปริมาณ 50 μL และ ปิเปตต์สารละลายไฮเดียมอะซิเตดปริมาณ 80 μL ลงในอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ แล้วเติมน้ำกลั่นจนครบปริมาตร 1000 μL สารตัวอย่างที่ใช้ ปริมาตร 100 μL จากนั้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที แล้วทำการวิเคราะห์ร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี จากรายการคำสั่ง imagej ทำการตรวจวัดซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำค่าความเข้มสีที่ได้จากรายการคำสั่งมาสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นตรง (Coefficient of determination, r^2)

ความเที่ยง (Precision)

เป็นการแสดงความใกล้เคียงของผลการวัดที่วัดตัวอย่างเดียวกันซ้ำๆ ทำได้ โดยเตรียมสารละลายเหล็กมาตรฐานเหล็กที่ความเข้มข้น 0.2, 1.0, 5.0 ppm มาวิเคราะห์โดยใช้ อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์ด้วยการเทียบสี โดยใช้สภาวะการทดลองเดียวกันกับการหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ทำการตรวจซ้ำความเข้มข้นละ 5 ครั้ง แล้วคำนวณค่า

ร้อยละความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative standard deviation; RSD) ของค่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ของสารละลายมาตรฐานหลักที่ศึกษา

2.2 การสร้างบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ

2.2.1 เมื่อพัฒนาวิธีการทดลองเรียบร้อยแล้ว จากนั้นผู้วิจัยศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการสร้างบทปฏิบัติการ จากการศึกษาข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัยกำหนดโครงสร้างของบทปฏิบัติการซึ่งบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ประกอบด้วย คำชี้แจง วัตถุประสงค์การทดลอง หลักการ วัสดุและอุปกรณ์ สารเคมี วิธีการทำการทดลอง บันทึกผลการทดลอง สรุปและอภิปรายผลการทดลอง (แสดงดังภาคผนวก ๑)

2.2.2 นำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ทั้ง 2 บทปฏิบัติการเสนออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เพื่อตรวจเบื้องต้น พบว่าได้มีการปรับปรุงแก้คำถำมในบทปฏิบัติการ ในการนำเข้าสู่บทเรียนให้เป็นคำถำมปลายเปิดมากขึ้น เพื่อประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยนิสิตจะได้เสนอความคิดเห็นเกี่ยวกับวิธีการทดลองอิสระมากขึ้น

2.2.3 นำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในน้ำที่สร้างขึ้น เสนอต่ออาจารย์ผู้เชี่ยวชาญ เพื่อดำเนินการประเมินความเหมาะสมและความสอดคล้องของบทปฏิบัติการ ซึ่งผู้เชี่ยวชาญได้ให้ความเห็นในการปรับปรุงบทปฏิบัติการว่า ควรเพิ่มเนื้อหาพื้นฐานให้ครบเพื่อให้ผู้เรียนได้ศึกษาความรู้เบื้องต้นก่อน นิยามคำศัพท์ทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นเนื้อหาใหม่สำหรับผู้เรียน ควรอธิบายให้มีความชัดเจนและอ้างอิงแหล่งข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ ผู้วิจัยจึงแก้ไขโดยการเพิ่มเติมเนื้อหาพื้นฐาน เช่น โครงสร้างทางเคมีของวุ้น ปรับเนื้อหาและนิยามคำศัพท์ทางวิทยาศาสตร์ให้ถูกต้องและอ้างอิงแหล่งข้อมูลที่นำเชื่อถือ

2.2.4 นำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดลองกับนิสิตที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง เพื่อปรับปรุงและแก้ไขกิจกรรม โดยการทดลองกับนิสิตจำนวน 10 คน เพื่อดูความเหมาะสมของกิจกรรมและระยะเวลาที่ใช้ พบว่านิสิตให้ความสนใจในกิจกรรมเป็นอย่างมาก ภาษาที่ใช้ในบทปฏิบัติการเข้าใจง่าย แต่ผู้เรียนต้องการให้บทปฏิบัติการมีความเชื่อมโยงกันมากขึ้น ผู้วิจัยจึงปรับปรุงโดยการเรียงลำดับเนื้อหาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้นโดยเพิ่มรายละเอียดคำชี้แจงให้กับผู้เรียนในบทปฏิบัติการ เพื่อนำบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นไปใช้กับนิสิตกลุ่มตัวอย่างต่อไป โครงสร้างของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่สร้างขึ้นแสดงดังตาราง 10

ตาราง 10 โครงสร้างบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ

การทดลอง	วัตถุประสงค์การเรียนรู้	เวลาที่ใช้
เรื่องที่ 1 การสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพโดยใช้ผงวุ้น	1. ออกแบบและประดิษฐ์แม่พิมพ์อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ 2. ขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพโดยใช้ผงวุ้น	3 ชั่วโมง
เรื่องที่ 2 การหาปริมาณเหล็กในสารตัวอย่าง	1. วิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำตัวอย่าง	3 ชั่วโมง

2.3 วิธีการหาคุณภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ ผู้วิจัยดำเนินการดังนี้

2.3.1 การประเมินคุณภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ โดยผู้เชี่ยวชาญดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

2.3.1.1 การประเมินความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ โดยผู้วิจัยนำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เสนอต่ออาจารย์ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ซึ่งประกอบด้วย ด้านเนื้อหาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 1 ท่าน และด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 2 ท่าน เพื่อพิจารณาองค์ประกอบของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์แบบมาตรฐานค่า 5 ระดับตามแนวคิดของลิเคิร์ท (พวงรัตน์ ทวีรัตน์, 2540) โดยกำหนดระดับความคิดเห็นแต่ละช่วงคะแนนมีความหมายดังนี้

ระดับคะแนน 5 ผลการประเมินอยู่ในระดับมากที่สุด

ระดับคะแนน 4 ผลการประเมินอยู่ในระดับมาก

ระดับคะแนน 3 ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง

ระดับคะแนน 2 ผลการประเมินอยู่ในระดับพอใช้

ระดับคะแนน 1 ผลการประเมินอยู่ในระดับควรปรับปรุง

นำคะแนนการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์มาหาค่าคะแนน โดยให้ความหมายของค่าคะแนนแบ่งเป็นระดับดังนี้

คะแนน 4.51-5.00 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด

คะแนน 3.51-4.51 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก

คะแนน 2.51-3.50 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง

คะแนน 1.51-2.50 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับพอใช้

คะแนน 1.00-1.50 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับควรปรับปรุง

ผู้วิจัยพบว่า ผลการประเมินคุณภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำมีความเหมาะสมมาก (ดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ค)

2.3.1.2 การประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ โดยผู้วิจัยนำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เสนอต่ออาจารย์ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน เพื่อพิจารณาความสอดคล้องของเนื้อหาต่อบทประกอบของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ โดยใช้พิจารณาจากแบบประเมินแบบมาตราส่วนประมาณค่า 3 ระดับ คือ สอดคล้อง ไม่แน่ใจ ไม่สอดคล้อง ซึ่งกำหนดเกณฑ์การพิจารณาดังนี้ (ชูศรี วงศ์รัตน์, 2550)

+1 หมายถึง เมื่อแน่ใจว่าข้อความสอดคล้องตามนิยาม

0 หมายถึง เมื่อไม่แน่ใจว่าข้อความสอดคล้องตามนิยาม

-1 หมายถึง เมื่อแน่ใจว่าข้อความไม่สอดคล้องตามนิยาม

ผู้วิจัยพบว่า ผลการประเมินความสอดคล้องของบทปฏิบัติการ มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่าง 0.67-1.00 (ดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ค)

การหา IOC ของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ และแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม คำนวณจากสูตร

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

เมื่อ IOC แทน ดัชนีความสอดคล้อง

ΣR แทน ผลรวมคะแนนจากผู้เชี่ยวชาญ

2.4 ขั้นตอนการสร้างแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม

ผู้วิจัยได้สร้างแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมประกอบด้วยแบบประเมิน 3 ชุดคือ 1. แบบประเมินการออกแบบผลงาน 2. แบบประเมินชิ้นงาน 3. แบบสังเกตการสื่อสารและร่วมมือทำงาน โดยมีการขั้นตอนดังนี้

2.4.1 ศึกษาวิธีการสร้างแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมจากหนังสือและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการวัดและประเมินผลการเรียนรู้

2.4.2 ในการสร้างแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม โดยผู้วิจัยมี
ต้องการประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมทั้งหมด 3 ด้าน คือ 1. ความคิดสร้างสรรค์และ
นวัตกรรม 2. การคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา 3. การสื่อสารและร่วมมือทำงาน

2.4.3 แบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมที่สร้างขึ้นจะทำการประเมิน
ทั้งหมด 3 ด้าน โดยจำแนกเป็น ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม 8 ข้อ การคิดเชิงวิพากษ์
และการแก้ปัญหา 3 ข้อ และด้านการสื่อสารและร่วมมือทำงาน 3 ข้อ

2.4.4 สร้างแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม โดยดัดแปลงเกณฑ์จาก
EdLeader21 ชุมชนแห่งการเรียนรู้ของผู้เชี่ยวชาญของประเทศสหรัฐอเมริกา ทักษะการเรียนรู้
และนวัตกรรมด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม 8 ข้อ ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้าน
การคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา 3 ข้อ และทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมด้านการสื่อสาร
ร่วมมือทำงาน 3 ข้อ รายละเอียดประเด็นการประเมินแสดงดังตาราง 11

ตาราง 11 เกณฑ์การประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม

การประเมินด้าน	รายการประเมิน	จำนวนข้อ
1. ความคิดสร้างสรรค์ และนวัตกรรม	1.1 การเกิดความคิดใหม่ๆ	1
	1.2 ริเริ่มผลิตสิ่งใหม่หรือสร้างนวัตกรรม	1
	1.3 การนำเสนอความคิด	1
	1.4 สร้างชิ้นงานได้ตามการออกแบบ	1
	1.5 วิธีการสร้างชิ้นงานสามารถทำตามได้ง่าย	1
	1.6 ความคงรูป	1
	1.7 ความเหมาะสมของชิ้นงาน	1
	1.8 ความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์	1
2. การคิดเชิงวิพากษ์ และการแก้ปัญหา	2.1 การค้นคว้าข้อมูล	1
	2.2 วิธีการแก้ปัญหา	1
	2.3 การใช้เหตุผล	1
3. การสื่อสารและ ร่วมมือทำงาน	3.1 มีส่วนร่วมในการสนทนาหรืออภิปราย	1
	3.2 รับฟังผู้อื่น	1
	3.3 การใช้ภาษา	1

2.4.5 ผู้วิจัยกำหนดเกณฑ์การประเมิน คะแนนทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม โดยแบ่งตามระดับทักษะ 4 ระดับ ดังนี้

คะแนน 4 หมายถึง ระดับทักษะดีมาก

คะแนน 3 หมายถึง ระดับทักษะดี

คะแนน 2 หมายถึง ระดับทักษะพอใช้

คะแนน 1 หมายถึง ระดับทักษะควรปรับปรุง

2.4.6 นำแบบวัดทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ไปให้อาจารย์ที่ปรึกษาตรวจสอบความถูกต้องขั้นต้น พบว่า ควรปรับปรุงภาษาที่ใช้ให้เกณฑ์การประเมินมีความชัดเจน ไม่กำกวม เพื่อให้เกณฑ์การประเมินมีรายละเอียดที่ชัดเจนอ่านง่าย และนำไปใช้ในการประเมินนิสิต

2.4.7 นำแบบประเมินเสนอ อาจารย์ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ประกอบด้วย ด้านเนื้อหา บทปฏิบัติการ 1 ท่าน และด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 2 ท่าน เพื่อพิจารณาความชัดเจนของคำถาม และพิจารณาความถูกต้องและเหมาะสมในด้านต่างๆ ผู้เชี่ยวชาญได้ให้คำแนะนำว่า แบบประเมินควรมีเกณฑ์บ่งชี้เชิงปริมาณ เช่น ใช้สถิติทางเคมีวิเคราะห์อันเนื่องมาจากผลการทดลองเข้ามาตัดสินคะแนน เพื่อแบ่งเกณฑ์ในแต่ละระดับทักษะให้สามารถประเมินคะแนนได้เที่ยงตรง

2.5 วิธีการหาคุณภาพแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม

2.5.1 ประเมินความสอดคล้องของทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม และประเด็นที่ใช้ในการประเมิน โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน โดยใช้พิจารณาจากแบบประเมินแบบมาตราส่วนประมาณค่า 3 ระดับ คือ สอดคล้อง ไม่แน่ใจ ไม่สอดคล้อง ซึ่งกำหนดเกณฑ์การพิจารณาดังนี้ (ชูศรี วงศ์รัตน์, 2550)

+1 หมายถึง เมื่อแน่ใจว่าข้อความสอดคล้องตามนิยาม

0 หมายถึง เมื่อไม่แน่ใจว่าข้อความสอดคล้องตามนิยาม

-1 หมายถึง เมื่อแน่ใจว่าข้อความไม่สอดคล้องตามนิยาม

การหา IOC ของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ และแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม คำนวณจากสูตร

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

เมื่อ IOC แทน ดัชนีความสอดคล้อง

ΣR แทน ผลรวมคะแนนจากผู้เชี่ยวชาญ

ผู้วิจัยพบว่า ผลการประเมินความสอดคล้องของบทปฏิบัติการ มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่าง 0.67-1.00 (ดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ค)

2.5.2 ตรวจสอบความเที่ยงของแบบประเมิน นำแบบประเมินที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดลองใช้ (tryout) กับผู้เรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง แล้วทำการหาค่าความเที่ยงของแบบประเมินระหว่างผู้ประเมิน 3 ท่าน (Inter-Rater Reliability: IRR) เพื่อพิจารณาความสอดคล้องกันระหว่างผู้ประเมินต่อแบบประเมิน พบว่า ค่าที่ได้มีค่า 0.9 แสดงว่ามีความเที่ยงของการประเมินสูง จากนั้นนำแบบประเมินมาปรับปรุงอีกครั้งก่อนจะนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลต่อไป

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

แบบแผนการวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองขั้นต้น (Pre-Experimental Research) ที่มีแบบแผนการวิจัยเป็นแบบศึกษากลุ่มเดียววัดสองครั้ง (The One-Group Pretest-Posttest Design) ซึ่งมีรูปแบบวิจัยดังนี้ซึ่งเลือกโดยการเลือกแบบมีรูปแบบวิจัยแสดงดังตาราง 13 (ล้วนสายยศ & อังคณา สายยศ, 2538)

ตาราง 12 รูปแบบวิจัย

กลุ่ม	สอบก่อน	ทดลอง	สอบหลัง
E	T ₁	X	T ₂

โดยที่ E แทน กลุ่มตัวอย่าง

T₁ แทน การทดสอบก่อนเรียน

X แทน การสอนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชีฟร้อมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

T₂ แทน การทดสอบหลังเรียน

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลดังนี้

3.1 ดำเนินการกับนิสิตระดับตรีชั้นปีที่ 4 หลักสูตรการศึกษาระดับบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาหัวข้อพิเศษทางเคมีศึกษา ทั้งหมด 22 คน ทำการวัดและประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

ก่อนเรียนทั้งหมด 8 ด้าน และด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหาที่ก่อนเรียน ทั้งหมด 3 ด้าน โดยเป็นแบบประเมินชุดเดียวกันกับแบบประเมินหลังเรียน ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง

3.2 ดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ จำนวน 2 การทดลอง เป็นเวลารวมทั้งหมด 6 ชั่วโมง แสดงขั้นตอนดังตาราง 13

ตาราง 13 การจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 5 ขั้นตอน

ขั้นตอน การจัดการเรียนรู้	กิจกรรมการเรียนรู้	ผลงานชิ้นงาน	ประเมินผล ด้าน
ขั้นสร้างความสนใจ	ครูใช้ปัญหาสิ่งเจือปนใน น้ำประปาที่มีสีส้มแดงคล้ายสนิม เพื่อกระตุ้นผู้เรียนสร้างคำถาม และให้ผู้เรียนเสนอวิธีวิเคราะห์ หาปริมาณเหล็กในน้ำ	- ข้อมูลที่ได้จากการสืบค้น เกี่ยวกับการวิเคราะห์หา ปริมาณเหล็กในน้ำ - วิธีวิเคราะห์หาปริมาณ เหล็กในน้ำได้	ทักษะการคิด เชิงวิพากษ์ และการ แก้ปัญหา
ขั้นสำรวจและค้นหา	ผู้เรียนรวบรวมข้อมูล และการ สร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบน ชิพ เพื่อให้ได้ข้อมูลเพียงพอที่จะ ใช้ในการออกแบบและสร้าง อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ	- รูปแบบอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการ บนชิพจากหุ่นได้ - อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ	ทักษะ ความคิด สร้างสรรค์ และนวัตกรรม
ขั้นอธิบายและลง ข้อสรุป	ผู้เรียนนำผลการทดลองที่ได้มา วิเคราะห์ร่วมกันในชั้นเรียน และ ลงข้อสรุปร่วมกัน เพื่อปรับปรุง ชิ้นงานที่สร้างขึ้นต่อไป	- ปรับปรุงอุปกรณ์ ห้องปฏิบัติการบนชิพ - ผลการทดลองการออกแบบ และสร้างอุปกรณ์	ทักษะการ สื่อสารและ ร่วมมือทำงาน
ขั้นขยายความรู้	ผู้เรียนนำอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการ บนชิพที่สร้างขึ้น ไปใช้วิเคราะห์ หาปริมาณเหล็กในน้ำเชื่อมโยง ความรู้เดิม	- วิเคราะห์หาปริมาณเหล็กใน น้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการ บนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบ เทียบสี	ทักษะ ความคิด สร้างสรรค์ และนวัตกรรม
ขั้นประเมินผล	ผู้เรียนตรวจสอบความใช้ได้ของ วิธีวิเคราะห์การหาปริมาณ เหล็กในน้ำ ที่ผู้เรียนทำการ ทดลอง เพื่อสะท้อนให้เห็นผล ของการทำการทดลอง	- ค่าความถูกต้องและความ เที่ยงของวิธีวิเคราะห์ เพื่อ ตรวจสอบความใช้ได้ของวิธี วิเคราะห์	ทักษะ ความคิด สร้างสรรค์ และนวัตกรรม

3.3 เมื่อจัดการเรียนรู้แล้ว ดำเนินการวัดและประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา และด้านการ สื่อสารและร่วมมือทำงานหลังเรียน

3.4 นำข้อมูลคะแนนที่ได้จากการประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมทั้งสามด้านมา วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อทดสอบสมมติฐานต่อไป

4. การจัดกระทำข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1. การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการสร้างเครื่องมือวิจัยแสดงดังนี้

การวิเคราะห์ค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในน้ำ และแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม โดยใช้ค่าดัชนีความ สอดคล้อง จากนั้นทำการวิเคราะห์หาค่าความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์โดยใช้ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้สูตรดังนี้

ค่าเฉลี่ย ใช้สูตรดังนี้ (สมบัติ ท้ายเรือคำ, 2552)

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

เมื่อ \bar{X} แทน ค่าเฉลี่ย (Mean)

$\sum X$ แทน ผลรวมของข้อมูลในกลุ่มตัวอย่างหรือประชากร

N แทน จำนวนข้อมูลในกลุ่มตัวอย่าง

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ใช้สูตรดังนี้ (พวงรัตน์ ทวีรัตน์, 2540)

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

เมื่อ $S. D.$ แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\sum X^2$ แทน ผลรวมคะแนนยกกำลังสอง

N แทน จำนวนคะแนน

X แทน คะแนน

2. การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทดสอบสมมติฐานแสดงดังนี้

2.1 คะแนนจากแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม และด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา ก่อนเรียนและหลังเรียน ด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิตกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สถิติ t-test for dependent samples

เปรียบเทียบทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมและด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหาของนิสิตระดับปริญญาตรี ก่อนและหลังที่ได้รับการสอนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ โดยใช้ t-test for dependent samples (พรณี ลีกิจวัฒน์, 2553) (ผลการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ค)

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

df = n-1

เมื่อ t แทน สถิติทดสอบ t-test

ΣD แทน ผลรวมของความแตกต่างระหว่างคะแนนการทดสอบก่อนและหลังใช้บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์

ΣD^2 แทน ผลรวมของความแตกต่างระหว่างคะแนนการทดสอบก่อนและหลังใช้บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์กำลังสอง

N แทน จำนวนนิสิตกลุ่มตัวอย่าง

การทดสอบดังกล่าวใช้ระดับนัยสำคัญที่ .05 เป็นระดับการทดสอบ

2.2 คะแนนจากแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการสื่อสารและร่วมมือทำงาน หลังเรียนเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 80 โดยใช้สถิติ t-test for one sample

เปรียบเทียบทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการสื่อสารและร่วมมือทำงานของนิสิตระดับปริญญาตรี หลังที่ได้รับการสอนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยเกณฑ์ร้อยละ 80 โดยใช้ t-test for one sample (ฉ้วน สายยศ & อังคณา สายยศ, 2538) (ผลการวิเคราะห์แสดงดังภาคผนวก ค)

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s/\sqrt{n}}$$

เมื่อ	t	แทน สถิติทดสอบ t-test
	\bar{X}	แทน เกณฑ์ร้อยละ 80
	S	แทน ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	n	แทน ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง
	μ	แทน ค่าเฉลี่ยของประชากร



บทที่ 4

ผลการศึกษา

การวิเคราะห์ข้อมูลและแปลผลข้อมูล ขอเสนอตามลำดับของสมมติฐานของการวิจัยดังนี้

1. ช่วงความเข้มข้นของสารละลายเหล็กมาตรฐาน และปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง รูปแบบของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชีพ ความเข้มข้นของปูน ความเข้มข้นของน้ำตาล อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ มีผลต่อการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชีพพร้อมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี
2. บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชีพพร้อมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีความเหมาะสมมาก
3. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชีพพร้อมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน
4. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชีพพร้อมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหาหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน
5. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชีพพร้อมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการสื่อสารและร่วมมือทำงานหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80

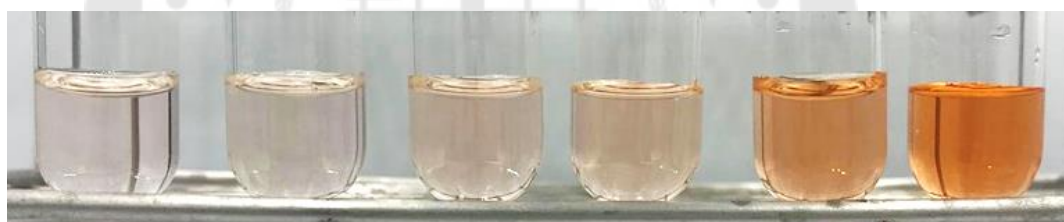
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

สมมติฐานข้อ 1 ช่วงความเข้มข้นของสารละลายเหล็กมาตรฐาน และปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง รูปแบบของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ ความเข้มข้นของวุ้น ความเข้มข้นของน้ำตาล อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ มีผลต่อการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

ผู้วิจัยได้พัฒนาการทดลอง เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ ด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี จึงได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อวิธีวิเคราะห์ดังนี้

1.1 ผลการศึกษาช่วงความเข้มข้นของสารละลายเหล็กมาตรฐาน

ในการศึกษาเบื้องต้นถึงความเป็นไปได้ของสารละลายมาตรฐานเหล็กเข้มข้นเมื่อลดปริมาณการใช้สารเคมีลง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของปฏิกิริยาระหว่างสารละลายมาตรฐานเหล็กที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.5 และ 5.0 กับออคโทพีแนโนไทรลีน เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีส้มแดง แสดงดังภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 สีสารประกอบเชิงซ้อนสารละลายเหล็กมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.1-5.0 mg/L

ผลการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายเหล็กมาตรฐานเบื้องต้นพบว่า เฉดสีที่เกิดขึ้นจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็กที่ความเข้มข้นต่างกัน แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาเป็นวิธีการตรวจวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำ สังเกตได้ว่าสารละลายจะมีเฉดสีเข้มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็กเข้มข้นเพิ่มขึ้น

จากนั้นเมื่อศึกษาช่วงความเข้มข้นของสารละลายเหล็กมาตรฐานในอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพแสดงดังภาพประกอบ 14 โดยศึกษาช่วงความเข้มข้น 0.1-5.0 ppm จากผลการทดลองเห็นได้ว่า ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.5, 1.0, 2.5 และ 5.0 ppm ส่งผลให้ความไวในการวิเคราะห์สูงสุดและค่า r^2 สูงตามไปด้วย แสดงดังตาราง 14 ในงานวิจัยนี้จึงเลือกช่วงความเข้มข้นที่ 0.2, 0.5, 1.0, 2.5 และ 5.0 ppm เป็นช่วงความเข้มข้นที่ใช้ในการทดลองต่อไป



ภาพประกอบ 14 สีของสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากสารละลายเหล็กมาตรฐาน

ตาราง 14 ค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นตรง (Coefficient of determination, r^2)

ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (ppm)	สมการเส้นตรง	ค่า r^2
0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.5	$y = 14.982x + 154.82$	$r^2 = 0.956$
0.2, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0	$y = 15.363x + 108.09$	$r^2 = 0.997$

1.2 ผลการศึกษาปริมาณของสารละลายตัวอย่าง

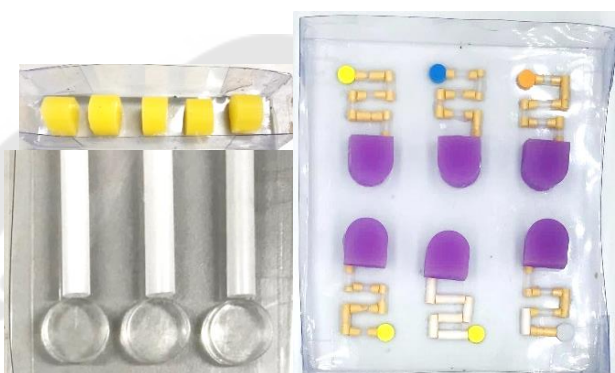
จากผลการศึกษาปริมาณของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก ในช่วง 20-100 ไมโครลิตร เมื่อใช้สารละลายเหล็กมาตรฐานในช่วงความเข้มข้น 0.2, 0.5, 1.0, 2.5 และ 5.0 ppm พบว่า การเพิ่มปริมาณของสารละลายตัวอย่างมีผลทำให้ค่า r^2 มีค่าเพิ่มขึ้นแสดงดังตาราง 15 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของสารละลายตัวอย่างที่ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ให้ค่า r^2 สูงที่สุด ผู้วิจัยจึงเลือกใช้สารละลายตัวอย่างที่ 100 ไมโครลิตรในการใช้ต่อไป

ตาราง 15 สมการเส้นตรง และค่า r^2 ของกราฟมาตรฐานเมื่อใช้ปริมาณของสารละลายตัวอย่าง ในช่วง 20-100 ไมโครลิตร

ปริมาตรของสารตัวอย่าง(μL)	สมการเส้นตรง	ค่า r^2
20	$y = 6.37x + 120.58$	$r^2 = 0.926$
40	$y = 7.04x + 137.78$	$r^2 = 0.966$
60	$y = 8.41x + 114.97$	$r^2 = 0.977$
80	$y = 9.51x + 111.89$	$r^2 = 0.992$
100	$y = 12.61x + 111$	$r^2 = 0.998$

1.3 ผลการศึกษารูปแบบอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยมีจุดมุ่งหมายที่จะพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำที่ง่ายและรวดเร็ว ในการพัฒนาอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ ผู้วิจัยได้ออกแบบแม่พิมพ์ห้องปฏิบัติการบนชิพทั้งหมด 3 รูปแบบเพื่อใช้ในการหาค่าความเข้มข้นด้วยการถ่ายรูปและใช้รายการคำสั่งคอมพิวเตอร์แทนการใช้เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้พลาสติกใสเป็นแม่พิมพ์ต้นแบบและใช้ปูนสำหรับการขึ้นรูปแสดงดังภาพประกอบ 15 เนื่องจากสะดวกในการนำมาจัดการเรียนรู้ในห้องเรียน



ภาพประกอบ 15 แม่พิมพ์จากแผ่นพลาสติกใส

ผู้วิจัยได้ขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพทั้งหมด 3 ลักษณะ ประกอบด้วยส่วนที่เป็นแผ่นพลาสติกใสที่ใช้สำหรับการขึ้นรูป และส่วนที่สอง คือ ส่วนแม่แบบซึ่งเป็นบริเวณที่ภายหลังการขึ้นรูปจะใช้ในการหยดสารละลายลงไป พบว่าค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่วัดได้มีค่าเปลี่ยนแปลงตามลักษณะของรูปแบบชิพ แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพในการผสมสารละลายให้เข้ากัน เนื่องจากลักษณะของท่อผสมในอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ จึงทำให้ปฏิกิริยาการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำที่อาศัยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก(II) กับพีแวนโทโรนีน มีค่าความเข้มข้นเปลี่ยนแปลงไป แสดงดังภาพประกอบ 16, 17 และ 18 จากผลการทดลองพบว่า อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพแบบขดให้ค่า r^2 สูงสุด แสดงดังตาราง 16



ภาพประกอบ 16 อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพแบบกลม



ภาพประกอบ 17 อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการเบนซินแบบตรง



ภาพประกอบ 18 อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการเบนซินแบบขด

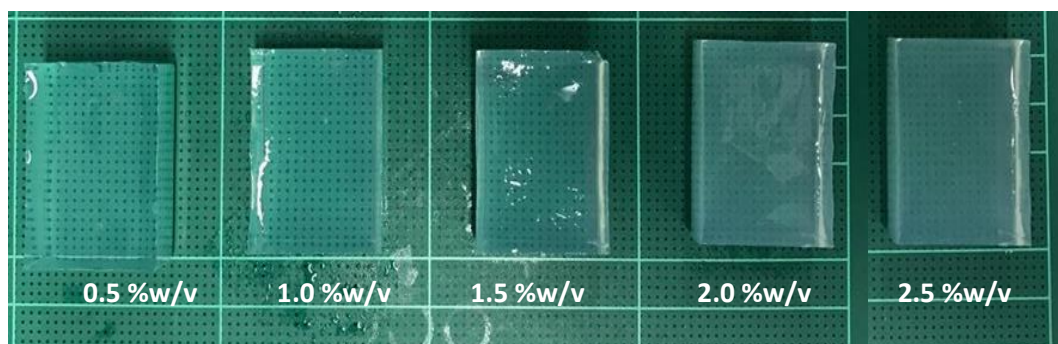
ตาราง 16 ค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นตรง (Coefficient of determination, r^2) จากปฏิกิริยาที่เกิดในอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการเบนซิน

อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการเบนซิน	สมการเส้นตรง	ค่า r^2
แบบกลม	$y = 15.387x + 116.73$	$r^2 = 0.7336$
แบบตรง	$y = 14.982x + 154.82$	$r^2 = 0.956$
แบบขด	$y = 15.363x + 108.09$	$r^2 = 0.997$

1.4 ผลการศึกษาความเข้มข้นของวุ้น

จากการศึกษาความเข้มข้นของวุ้นที่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 %w/v พบว่า ความเข้มข้นในการนำมาขึ้นรูป คือร้อยละ 1.0 %w/v เนื่องจากการก่อตัวเป็นเจลวุ้นมีสีใส คงรูปดี และใช้ผงวุ้นจำนวนน้อยที่สุดที่ใช้ในการขึ้นรูปได้แสดงดังตาราง 17 เนื่องจากที่ 0.5 %w/v

วุ้นเปราะ และแตกหักง่าย แสดงดังภาพประกอบ 19 ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ความเข้มข้นของวุ้นร้อยละ 1.0 %w/v เพื่อศึกษาในการทดลองถัดไป



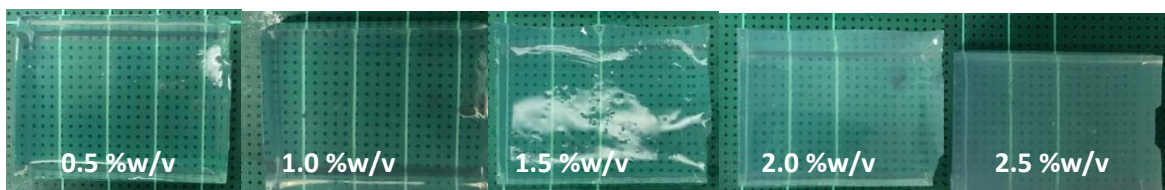
ภาพประกอบ 19 การขึ้นรูปวุ้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5

ตาราง 17 แสดงลักษณะของวุ้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 %w/v

ร้อยละความเข้มข้นผงวุ้น(%w/v)	ลักษณะของวุ้น
0.5	มีสีใส ไม่คงรูป แตกง่าย
1.0	มีสีใส คงรูป
1.5	มีสีใส คงรูปแต่มีฟองอากาศ
2.0	มีลักษณะขุ่น คงรูป
2.5	มีลักษณะขุ่น คงรูป

1.5 ผลการศึกษาความเข้มข้นของน้ำตาล

จากการศึกษาความเข้มข้นของน้ำตาลที่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 %w/v เมื่อนำมาผสมกับสารละลายวุ้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 %w/v พบว่าที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 %w/v ลักษณะของวุ้นที่ได้มีความยืดหยุ่นดีที่สุดในความเข้มข้นที่น้อยที่สุด สามารถใช้ได้ จึงได้ความเข้มข้น แสดงดังภาพประกอบ 20



ภาพประกอบ 20 การขึ้นรูปวุ้นความเข้มข้นของน้ำตาลที่ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 %w/v

1.6 ผลการศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่ใช้

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการเกิดเจล ในการเพิ่มอุณหภูมิระหว่าง 85-100 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของวุ้นมีผลต่ออุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อน โดยที่สารละลายวุ้นความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร อุณหภูมิที่วุ้นเริ่มหลอมเหลวจะอยู่ในช่วง 85-95 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลา 15 นาที ผงวุ้นจะละลายจนหมด จากนั้นทำการลดอุณหภูมิลงจะได้เจลวุ้นที่มีลักษณะใส แสดงดังภาพประกอบ 21 แต่อย่างไรก็ตามถ้าใช้อุณหภูมิสูงขึ้นไป 100 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนจะลดลง แต่วุ้นจะจับตัวเป็นก้อนและเมื่อลดอุณหภูมิลงจะพบว่า มีฟองอากาศอยู่ภายในเจลวุ้นเป็นจำนวนมาก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวุ้นที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 โดยมวลต่อปริมาตร เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ

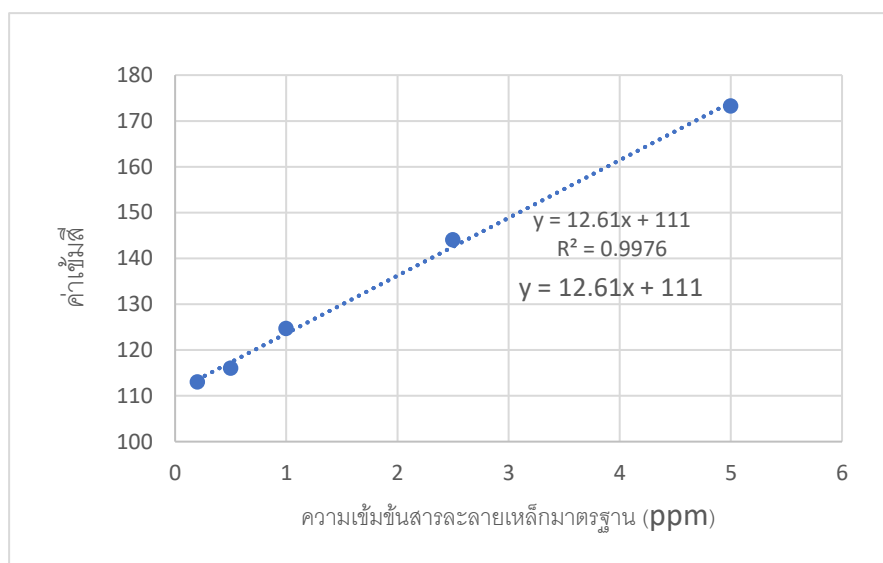


ภาพประกอบ 21 การขึ้นรูปวุ้นความเข้มข้นร้อยละ 1.0 ที่ 85-95 องศาเซลเซียส

1.7 การตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำที่พัฒนาขึ้น

1.7.1 ความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linearity)

จากการทดลองในข้อที่ 1.1 พบว่า ค่าดูดกลืนแสงและปริมาณเหล็กมีความสัมพันธ์เชิงเส้น และกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งสมการเส้นตรง คือ $y = 12.61x + 111$ และมีค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นตรงเท่ากับ 0.998 ดังแสดงในภาพประกอบ 22



ภาพประกอบ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าความเข้มข้น
และความเข้มข้นของสารละลายเหล็กมาตรฐาน

1.7.2 ความเที่ยง (Precision)

เมื่อทดสอบด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพพร้อมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี โดยทดสอบกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก ความเข้มข้น 0.2, 2.5 และ 5.0 ppm เพื่อเป็นตัวแทนของปริมาณเหล็กความเข้มข้นต่ำ กลาง และสูง แต่ละความเข้มข้นทดลองซ้ำ 5 ซ้ำ พบว่าผลการทดลองทุกครั้งให้ผลเช่นเดิม และมีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบด้วยวิธีมาตรฐานดังแสดงผลดังตาราง 18 แสดงว่าอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพพร้อมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีเป็นวิธีวิเคราะห์ที่มีความเที่ยงของวิธีการวิเคราะห์

ตาราง 18 ผลการทดสอบความเที่ยงของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพพร้อมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน เหล็ก (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ผลการวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	ห้องปฏิบัติการบนชิพ	วิธีตรวจวัดสี	%RSD
0.2	0.20 ± 0.01	0.23 ± 0.01	5.15
2.5	2.48 ± 0.17	2.54 ± 0.06	6.92
5.0	5.12 ± 0.23	5.28 ± 0.09	4.31

สมมติฐานข้อที่ 2 บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วย
อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีความ
เหมาะสมมาก

ผู้วิจัยได้พัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วย
อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี เพื่อให้
ผู้เรียนได้ทำการทดลองด้วยตนเอง องค์ประกอบของบทปฏิบัติการประกอบด้วยจุดประสงค์การ
ทดลอง สารเคมีและอุปกรณ์ วิธีการทดลอง ตารางบันทึกผลการทดลองแลสรุปผลการทดลอง
จากนั้นนำไปให้อาจารย์ผู้เชี่ยวชาญประเมินความเหมาะสมของบทปฏิบัติการ พร้อมทั้งนำบท
ปฏิบัติการไปทดลองใช้กับนิสิตที่ไม่ใช่บัณฑิตกลุ่มเป้าหมายที่ศึกษา ซึ่งเป็นนิสิตหลักสูตรการศึกษ
มหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ไม่เคยเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี
วิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์
แบบเทียบสี จำนวน 11 คน ผลจากการนำบทปฏิบัติการไปให้อาจารย์ทางด้านเคมี 1 ท่าน และ
ด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 2 ท่าน ประเมินเพื่อหาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC) พบว่าบท
ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ มีค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาเท่ากับ 1.00 และเมื่อนำไปหาความ
เหมาะสมของบทปฏิบัติการมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.90 แสดงว่ามีความเหมาะสมของบทปฏิบัติการอยู่
ในระดับมากได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงผลดังตาราง 19

ตาราง 19 ค่าคะแนน ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมี
วิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำโดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์
แบบเทียบสี

รายการประเมิน	\bar{X}	S.D.	ระดับความเหมาะสม
1. ด้านคำชี้แจง	3.78	0.44	ระดับมาก
2. ด้านเนื้อหาและทฤษฎี	3.92	0.51	ระดับมาก
3. ด้านกิจกรรมการทดลอง	4.33	0.49	ระดับมาก
4. ด้านการวัดและประเมินผล	3.58	0.67	ระดับมาก
รวม	3.90	0.32	ระดับมาก

สมมติฐานข้อที่ 3 นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผู้วิจัยได้ประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยการประเมินการออกแบบผลงานและชิ้นงานก่อนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ t-test dependent sample แสดงผลดังตาราง 20

ตาราง 20 ผลการเปรียบเทียบคะแนนทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ก่อนและหลังเรียนโดยใช้บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิต

การทดสอบ	n	คะแนน	\bar{X}	S.D.	t	df	p
ก่อนเรียน	5	32	16.40	2.52	5.80	4	.000
หลังเรียน	5	32	28.40	2.28			

*ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตาราง พบว่า คะแนนทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ก่อนเรียนของนิสิตมีคะแนนและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 16.40 และ 2.52 ตามลำดับ เมื่อนิสิตเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น พบว่า คะแนนทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังเรียนของนิสิตมีคะแนนและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 28.40 และ 2.28 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลต่างของคะแนนโดยใช้วิธีการทางสถิติแบบ t-test dependent sample มีค่าเท่ากับ 5.80 ค่าองศาความเป็นอิสระเท่ากับ 4 มีเลขนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .000 ซึ่งน้อยกว่าระดับ .05 แสดงว่า นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี มีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 3

สมมติฐานข้อที่ 4 นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหาหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผู้วิจัยได้ประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหาจากการออกแบบผลงานและ นำคะแนนจากแบบประเมิน ก่อนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์มาเปรียบเทียบผลต่างของคะแนนโดยใช้วิธีการทางสถิติแบบ t-test dependent samples (ชูศรี วงศ์รัตนะ. 2553) ได้ผลดังแสดงในตาราง 21

ตาราง 21 ผลการเปรียบเทียบคะแนนทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา ก่อนและหลังเรียนโดยใช้บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิต

การทดสอบ	n	คะแนน	\bar{X}	S.D.	t	df	p
ก่อนเรียน	5	12	6.8	0.87	6.52	4	.000
หลังเรียน	5	12	9.8	1.35			

*ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตาราง พบว่า คะแนนทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา ก่อนเรียนของนิสิตมีคะแนนและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 6.8 และ 0.87 ตามลำดับ เมื่อนิสิตเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น พบว่า คะแนนทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา หลังเรียนของนิสิตมีคะแนนและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 9.8 และ 1.35 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลต่างของคะแนนโดยใช้วิธีการทางสถิติแบบ t-test dependent sample มีค่าเท่ากับ 6.52 ค่าองศาความเป็นอิสระเท่ากับ 4 มีเลขนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .000 ซึ่งน้อยกว่าระดับ .05 แสดงว่า นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี มีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 4

สมมติฐานข้อที่ 5. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการสื่อสารและร่วมมือทำงาน หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80

ผู้วิจัยได้นำคะแนนจากแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการสื่อสารและร่วมมือทำงาน ก่อนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เมื่อใช้วิธีการทางสถิติแบบ One sample t-test (ชูศรี วงศ์รัตน์. 2553) ได้ผลดังแสดงในตาราง 22

ตาราง 22 ผลการเปรียบเทียบคะแนนทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการสื่อสารและร่วมมือทำงาน ก่อนและหลังเรียนโดยใช้บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิต

การทดสอบ	n	คะแนน	\bar{X}	S.D.	t	df	p
หลังเรียน	5	12	11	1	3.13	4	.03

*ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตาราง พบว่า คะแนนทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการสื่อสารและร่วมมือทำงานเมื่อนิสิตเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น พบว่า คะแนนทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการสื่อสารและร่วมมือทำงาน หลังเรียนของนิสิตมีคะแนนและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 11 และ 1 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบคะแนนของนิสิตโดยใช้วิธีการทางสถิติแบบ One sample t-test มีค่าเท่ากับ 3.13 ค่าองศาความเป็นอิสระเท่ากับ 4 มีเลขนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .03 ซึ่งน้อยกว่าระดับ .05 แสดงว่า นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี มีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการสื่อสารและร่วมมือทำงาน หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 5

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ โดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี และเพื่อศึกษาทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมของนิสิตระดับปริญญาตรีที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ โดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีความมุ่งหมายดังนี้

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำ ด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี
2. พัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ ด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี
3. เปรียบเทียบทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตปริญญาตรี หลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ ด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี
4. เปรียบเทียบทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหาของนิสิตปริญญาตรี หลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ ด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี
5. เปรียบเทียบทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการสื่อสารและร่วมมือทำงานของนิสิตปริญญาตรี หลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ ด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

สมมติฐานการวิจัย

1. ช่วงความเข้มข้นของสารละลายเหล็กมาตรฐาน และปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง รูปแบบของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ ความเข้มข้นของวุ้น ความเข้มข้นของน้ำตาล อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ มีผลต่อการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

2. บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก

3. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

4. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหาหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

5. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการสื่อสารและร่วมมือทำงานหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยดำเนินการวิจัย 3 ขั้นตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การพัฒนาและหาคุณภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี สำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี

1. ศึกษาหลักสูตรการศึกษาระดับบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่เกี่ยวข้องกับการสร้างบทปฏิบัติการเคมี เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

2. ผู้วิจัยลงมือทำการทดลอง เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี และนำผลการทดลองที่ได้มาเป็นแนวทางในการสร้างบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เพื่อใช้ในการส่งเสริมทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมของนิสิตระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 หลักสูตรการศึกษาระดับบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

3. เมื่อพัฒนาวิธีการทดลองเรียบร้อยแล้ว จากนั้นผู้วิจัยกำหนดโครงสร้างและองค์ประกอบของบทปฏิบัติการเคมี มีองค์ประกอบดังนี้ ชื่อเรื่อง วัตถุประสงค์การทดลอง หลักการวัสดุและอุปกรณ์ สารเคมีและสารตัวอย่าง วิธีการทำการทดลอง และบันทึกผลการทดลอง บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ ประกอบด้วย 2 การทดลอง คือ การ

ทดลองที่ 1 การสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพโดยใช้ผงฝุ่น และการทดลองที่ 2 การหาปริมาณเหล็กในสารตัวอย่างด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพพร้อมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

4. ผู้วิจัยนำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ตรวจสอบและนำข้อควรปรับปรุงต่างๆ มาปรับปรุงแก้ไขให้เรียบร้อย จากนั้นนำบทปฏิบัติการ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพพร้อมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เสนออาจารย์ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ พบว่าบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์มีค่าคะแนนความเหมาะสมของบทปฏิบัติการมีค่า 3.90 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.32 พบว่าบทปฏิบัติการมีความเหมาะสมมาก การประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพพร้อมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.67-1.00 และผู้วิจัยได้ปรับปรุงแก้ไขบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์

5. นำบทปฏิบัติการ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพพร้อมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีที่ผ่านการพิจารณา ไปทดลองใช้กับนิสิตกลุ่มย่อยที่ไม่ใช่นิสิตกลุ่มตัวอย่าง เพื่อประเมินความเหมาะสมของบทปฏิบัติการ

ตอนที่ 2 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวัดและประเมินผล

1. การสร้างแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ประกอบด้วยแบบประเมิน 2 ชุด คือ แบบประเมินการออกแบบผลงาน และแบบประเมินชิ้นงาน ดังนี้

1.1 สร้างแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ซึ่งเป็นแบบประเมินดัดแปลงมาจากชุมชนแห่งการเรียนรู้ของผู้เชี่ยวชาญของประเทศสหรัฐอเมริกา (EdLeader21, 2014) องค์ประกอบของการประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมที่ทั้งหมด 3 ด้าน คือ 1. ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม 2. การคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา และ 3. การสื่อสารและร่วมมือทำงาน

1.2 นำแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมเสนออาจารย์ผู้เชี่ยวชาญเพื่อพิจารณาความสอดคล้องของแบบประเมินกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด พบว่ามีค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.67-1.00 จากนั้น ผู้วิจัยจึงปรับปรุงและแก้ไขแบบประเมิน

ตอนที่ 3 การศึกษาทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมของนิสิตระดับปริญญาตรีที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพพร้อมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

ผู้วิจัยได้นำ บทปฏิบัติการ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี ไปใช้กับนิสิตกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนิสิตหลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 จำนวน 22 คน เพื่อศึกษาทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมของนิสิตระดับปริญญาตรีในแต่ละด้านต่อไปนี้

1. ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

1.1 เก็บรวบรวมข้อมูลทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมกับกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็น นิสิตหลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

1.2 ศึกษาทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยใช้บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้น ในด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม เปรียบเทียบคะแนนทักษะของผู้เรียนจากแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ก่อนและหลังจัดการเรียนรู้ โดยใช้วิธีการทางสถิติแบบ t-test for dependent samples

2. ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา

2.1 เก็บรวบรวมข้อมูลทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมกับกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็น นิสิตหลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 22 คน

2.2 นำแบบประเมินไปใช้ศึกษาทักษะด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหาโดยใช้บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้น ในด้าน การคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา เปรียบเทียบคะแนนของผู้เรียนจากแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ก่อนและหลังจัดการเรียนรู้ โดยใช้วิธีการทางสถิติแบบ t-test for dependent samples

3. ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการสื่อสารและร่วมมือทำงาน

3.1 นำแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ที่ได้ ไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็น นิสิตหลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 22 คน

3.2 นำแบบประเมินไปใช้ศึกษาทักษะด้านการสื่อสารและร่วมมือทำงานโดยใช้บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้น ในด้านการสื่อสารและร่วมมือทำงานโดยเปรียบเทียบคะแนนจากแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม หลังการจัดการเรียนรู้เทียบกับเกณฑ์ โดยใช้สถิติแบบ One sample t-test

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี สรุปผลได้ดังนี้

1. การพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพรูปแบบของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพแบบขดมีความเหมาะสมมากที่สุด โดยในการขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพจะใช้วิธีการหล่อแบบจากวุ้น ที่ความเข้มข้นของวุ้น 1% w/v และใช้ความเข้มข้นของน้ำตาลผสมลงไปให้อัตราส่วน 1:1 โดยต้มวุ้นที่ 85-95 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 15 นาที จากผลการทดลองพบว่า อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพสามารถวิเคราะห์สารตัวอย่างได้ในช่วงความเข้มข้น 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 2.5 และใช้ปริมาตรของสารละลายตัวอย่าง เท่ากับ 100 ไมโครลิตร

2. บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก

3. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหาหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

5. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการสื่อสารและร่วมมือทำงานหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ เพื่อส่งเสริมทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมของนิสิตระดับปริญญาตรี โดยอภิปรายผลการวิจัยดังนี้

1. การพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ รูปแบบของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพแบบขดมีความเหมาะสมมากที่สุด โดยในการขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพจะใช้วิธีการหล่อแบบจากวุ้น ที่ความเข้มข้นของวุ้น 1% w/v และใช้ความเข้มข้นของน้ำตาลผสมลงไปอัตราส่วน 1:1 โดยให้ความร้อนที่ 85-95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากผลการทดลองพบว่า อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพสามารถวิเคราะห์สารตัวอย่างได้ในช่วงความเข้มข้น 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 2.5 และใช้ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างเท่ากับ 100 ไมโครลิตร

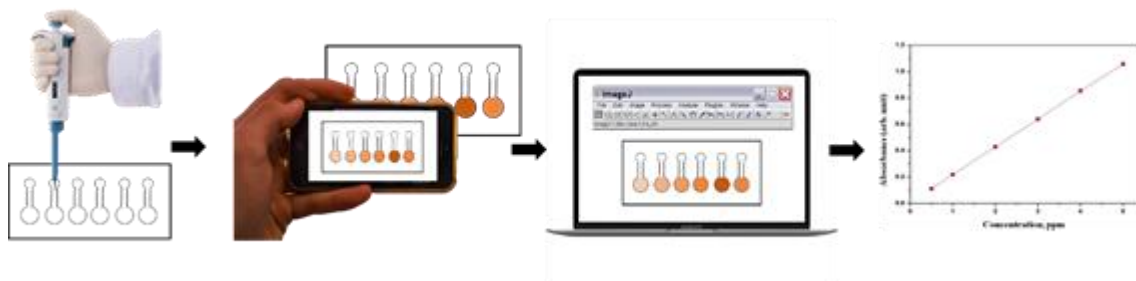
การพัฒนาวิธีวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ โดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (II) อาศัยการเปลี่ยนแปลงสีของสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กกับพีแนโนโทรลีน ผลการทดลองพบว่า การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก(II) สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ในช่วงความเข้มข้น 0.2-5.0 ppm และใช้สารละลายตัวอย่างปริมาตร 100 ไมโครลิตร สารละลายที่ตรวจวิเคราะห์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงแปรผันตามความเข้มข้น โดยเมื่อความเข้มข้นของปริมาณเหล็ก(II) ในสารละลายเพิ่มขึ้นจะเปลี่ยนสีเป็นสีส้มแดงที่มีเฉดสีเข้มขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตด้วยตาเปล่าได้อย่างชัดเจน อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น สามารถสร้างขึ้นได้เองในห้องปฏิบัติการเคมีทั่วไป ใช้วุ้นในการขึ้นรูปด้วยการหล่อแบบซึ่งเป็นเทคนิคพื้นฐานในการนำมาสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ ในการขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพได้ศึกษาความเข้มข้นของวุ้นที่ใช้ในการขึ้นรูปใช้ความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร และผสมน้ำตาลในอัตราส่วนร้อยละ 1 โดยมวลต่อปริมาตร ที่ 85-95 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที ซึ่งสอดคล้องกับ ณิชากัทธ สมบูรณ์ (2557) ที่ได้สรุปเอาไว้ว่า วุ้นเป็นไบโอพอลิเมอร์ธรรมชาติ โมเลกุลภายในสารละลายมีลักษณะไม่เป็นระเบียบ และการกระจายกันอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบนี้ ทำให้เกิดการเชื่อมต่อกันระหว่างสายพอลิเมอร์ด้วยพันธะไฮโดรเจน จนเกิดเป็นเจลวุ้น โดยที่อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน จะขึ้นกับความเข้มข้นของสารที่ใช้ นอกจากนั้นแล้วการผสมน้ำตาลซูโครสลงไปในสารละลายวุ้น ทำให้วุ้นมีความคงรูปมากขึ้น เพราะโดยทั่วไปวุ้นจะเกิดการแยกตัวของน้ำ (syneresis) หลังจากการขึ้นรูปสอดคล้องกับ Lahrech (2005) ที่กล่าวไว้ว่าการแยกตัวของน้ำจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา

การเก็บรักษา และพบว่า การเติมน้ำตาลลงไปในสารละลาย จะทำให้การขับน้ำออกจากก้อนลดลง ทำให้ก้อนมีความคงรูปและเก็บรักษาความคงรูปได้นานขึ้น อีกทั้งสอดคล้องกับ Normand (2011) การผสมน้ำตาล โมเลกุลของน้ำตาลจะสร้างพันธะกับน้ำที่อยู่ในโครงสร้างตาข่ายของเจล ทำให้โครงสร้างขยับชิดกันมากขึ้นเกิดการเชื่อมกันระหว่างโมเลกุลได้ดีขึ้น ส่งผลให้ก้อนมีความแข็งแรง และความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่สร้างขึ้นมีความคงรูป และสามารถนำมาใช้วิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำได้ และการออกแบบอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพรูปแบบขด ยังทำให้การผสมสารจากปฏิกิริยาของเหล็กกับออกโทพีแนโนทอร์สดีขึ้น สอดคล้องกับ รัตติกษณ์ สมแสง (2561) ที่ได้สรุปเอาไว้ว่า จำนวนของท่อผสมสารภายในอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่เพิ่มขึ้น มีส่วนทำให้ประสิทธิภาพในการผสมสารละลายเข้าด้วยกันได้ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในสารตัวอย่าง โดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ ร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้เพียงเท่านั้น

2. บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ทั้งนี้เนื่องมาจาก

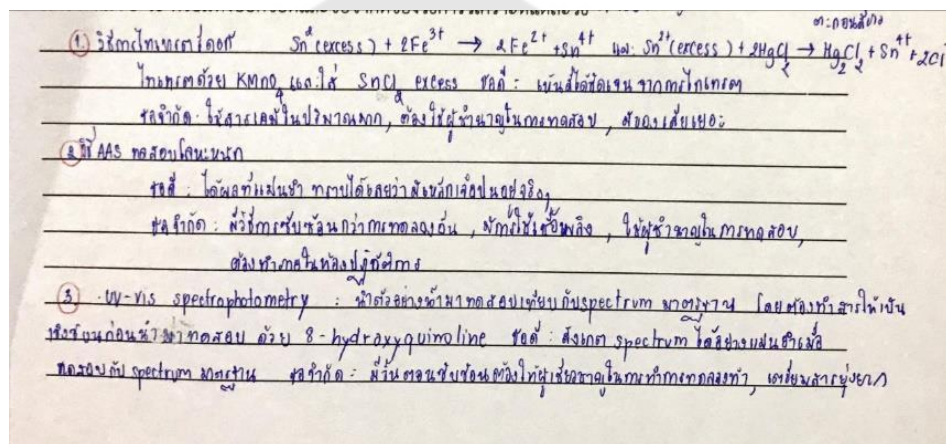
บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี เป็นไปตามสมมติฐานข้อ 2 การสร้างบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาบทปฏิบัติการอย่างเป็นระบบ ศึกษางานวิจัยใหม่ๆที่เกี่ยวข้อง และบทปฏิบัติการเดิมเพื่อวิเคราะห์เนื้อหาหลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง พิจารณาข้อดีและข้อควรปรับปรุงจากบทปฏิบัติการแบบเดิม เพื่อนำมากำหนดวัตถุประสงค์การทดลอง เพื่อส่งเสริมทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมของนิสิตระดับปริญญาตรี บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นได้ทำการปรับปรุงเนื้อหา โดยการนำหลักการไมโครฟลูอิดิกส์ เป็นเนื้อหาที่มีความทันสมัย อาศัยการไหลของของไหลในปริมาณน้อย ระดับไมโครลิตรไปจนถึงพิโคลิตร ที่ไหลผ่านช่องที่มีความกว้างในระดับไมโครเมตร โดยอุปกรณ์ที่ใช้หลักการไมโครฟลูอิดิกส์ ที่นำมาใช้ในบทปฏิบัติการนี้คือ อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ สามารถตรวจวิเคราะห์โดยที่ใช้สารเคมีปริมาณน้อยลง อีกทั้งเพิ่มโอกาสให้ผู้เรียนได้ปฏิบัติการทดลองด้วยตนเองมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ ภิรมย์ เชนประโคน (2560) ที่ได้กล่าวไว้ว่า การปรับปรุงเนื้อหาบทปฏิบัติการให้มีความทันสมัย มาประยุกต์ใช้ในกิจกรรมเรียนรู้และเลือกใช้อุปกรณ์หรือสารที่หาง่ายมาใช้ในการกิจกรรมการทดลอง การนำสิ่งที่อยู่รอบตัวมาใช้ในกิจกรรมการเรียนรู้นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะทำให้ผู้เรียนสนใจการวิทยาศาสตร์มากขึ้น ผู้วิจัยได้ใช้วุ้นเป็นวัสดุในการประดิษฐ์อุปกรณ์

ห้องปฏิบัติการบนชิพ เนื่องจากวงุ่นได้จากธรรมชาติ มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ ทำให้สารคงรูป มีลักษณะแข็ง โดยความแข็งของวงุ่นจะสัมพันธ์กับปริมาณของวงุ่นที่ใช้ ซึ่งสอดคล้องกับ Yang (2010) และ T. A. Davis (2015) ที่ผลิตห้องปฏิบัติการบนชิพ เพื่อใช้ในการสอนปฏิบัติการทดลองเกี่ยวกับของไหลจุลภาค ห้องปฏิบัติการบนชิพที่ผลิตขึ้นนั้นมีราคาถูก ประดิษฐ์ได้ง่าย ใช้การขึ้นรูปโดยการพิมพ์แบบจากแม่แบบ (Soft-lithography) โดยใช้เจลลาติน ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความปลอดภัยต่อผู้เรียน เมื่อนำมาใช้จัดการเรียนรู้ในห้องเรียน แต่จากงานวิจัยทั้งสองเรื่องผู้วิจัยพบว่าการผลิตห้องปฏิบัติการบนชิพจากเจลลาตินนั้น อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่สร้างขึ้นไม่มีความคงรูป และมีความยืดหยุ่นสูงหลังจากการขึ้นรูป ผู้วิจัยจึงพัฒนาอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพให้มีความคงรูปมากขึ้น นอกจากนั้นแล้วในบทปฏิบัติการเดิมการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำต้องใช้ Spectrophotometer ซึ่งเป็นเครื่องมือพื้นฐานในการเรียนปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์โดยแสดงดังภาพประกอบ 22 แต่เมื่อมีการพัฒนาการทดลองในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้สะดวกต่อการจัดการเรียนรู้มากขึ้น สอดคล้องกับ จารุวัฒน์ ชูวิทย์ (2557) ที่ได้พัฒนาการทดลองเรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำตัวอย่างโดยใช้เครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่าย ซึ่งได้สร้างเครื่องวัดการดูดกลืนแสงให้มีราคาถูกลง อีกทั้งยังผลิตได้หลายเครื่องทำให้ได้เครื่องวัด absorbance อย่างง่ายที่เพียงพอต่อจำนวนนิสิต นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ สุริตา ประดับ (2560) ที่พัฒนาเครื่องวัดการดูดกลืนแสงอย่างง่ายจากปฏิกิริยาเคมีด้วยสมาร์ตโฟนร่วมกับการใช้แอปพลิเคชันเป็นตัววิเคราะห์ความเข้มข้น พบว่า การจัดการเรียนรู้ด้วยการใช้สมาร์ตโฟนในการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นเป็นทางเลือกหนึ่งที่ทำให้การจัดการเรียนรู้ในห้องปฏิบัติการทดลองสะดวกและรวดเร็ว ในการใช้ในการจัดการเรียนรู้ยุคปัจจุบัน อีกทั้งการใช้สมาร์ตโฟนซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ผู้เรียนมีอยู่แล้ว ให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากยิ่งขึ้น



ภาพประกอบ 22 แผนภาพการทดลองเรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น

3. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้เนื่องมาจาก บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่สร้างขึ้น มีลักษณะแตกต่างจากบทปฏิบัติการทั่วไป โดยพัฒนาบทปฏิบัติการให้มีรูปแบบสืบเสาะหาความรู้ เพื่อให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในการคิดออกแบบการทดลองมากขึ้น ผู้วิจัยได้ให้สถานการณ์ในเล่มบทปฏิบัติการ เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ปัญหาน้ำประปาที่มีปริมาณเหล็กในน้ำ ผู้เรียนจึงต้องหาวิธีวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำด้วยตนเองแสดงดังภาพประกอบ 23



ภาพประกอบ 23 ผลงานการสืบค้นวิธีวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำของผู้เรียน

เมื่อผู้เรียนมีแนวทางในการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำเรียบร้อยแล้ว ผู้เรียนจะได้ออกแบบและวางแผนการสร้างชิ้นงานตามเงื่อนไขที่วางไว้ แล้วสามารถปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานการสร้างชิ้นงานทำให้ผู้เรียนเกิดความคิดใหม่ๆ ผู้เรียนได้ออกแบบอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ โดยที่รูปแบบอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่ผู้เรียนออกแบบสามารถนำมาใช้ได้จริง แสดงดังภาพประกอบ 24 อีกทั้งผู้เรียนแต่ละกลุ่มยังออกแบบชิ้นงานไม่ซ้ำรูปแบบกัน สอดคล้องกับ พงศกรพรมทา (2561) ที่ให้ความเห็นว่า กระบวนการจัดการเรียนรู้ที่ให้ผู้เรียนเกิดประสบการณ์ตรง ตั้งคำถาม คิด และสร้างชิ้นงานเอง ทำให้เกิดความคิดที่หลากหลาย รู้จักพลิกแพลงให้เข้ากับสถานการณ์ และเมื่อผู้เรียนเจอปัญหาหรือข้อผิดพลาด ผู้เรียนจะต้องแก้ปัญหาและนำชิ้นงานที่สร้างขึ้นไปทำการทดสอบว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ เพื่อพิสูจน์ว่าชิ้นงานที่ผู้เรียนสร้างขึ้นมานั้นใช้ได้จริง



ภาพประกอบ 24 ผลงานอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพก่อนเรียนและหลังเรียน

สอดคล้องกับ ไตรรงค์ เมธีผาติกุล (2561) ที่ให้พัฒนาความริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมของผู้เรียนโดยให้ผู้เรียนสร้างชิ้นงานขึ้น เนื่องจากผู้สอนเสนอสถานการณ์ปัญหาให้กับผู้เรียนในการจัดการเรียนรู้ ในระหว่างการสร้างสรรค์ชิ้นงานยังเปิดโอกาสให้ปรับปรุงแก้ไข เพื่อหาแนวทางในการสร้างชิ้นงานที่ดีที่สุด ในระหว่างการจัดการเรียนรู้ผู้เรียนมีโอกาสในการปรับปรุงชิ้นงานอยู่เสมอ เช่น การปรับปรุงแม่พิมพ์อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ และการให้อิสระกับผู้เรียนในการเลือกใช้อุปกรณ์ประดิษฐ์แม่พิมพ์ อีกทั้งผู้วิจัยยังได้รับความคิดเห็นจากนิสิตที่ผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ โดยนักเรียนคนที่ 1 ได้ให้ความเห็นว่า “รู้สึกชอบการจัดการเรียนรู้ที่ได้ลงมือปฏิบัติการทดลองเอง เพราะได้ใช้ความรู้หลายด้าน ทั้งหลักการไมโครฟลูอิดิกส์ หลักการวิเคราะห์ความเข้มข้นโดยใช้กล้องโทรศัพท์ เพราะตนเองก็มีสมาร์ตโฟนใช้อยู่แล้ว” และยังมีนิสิตคนที่ 2 ให้ความคิดเห็นว่า “รู้สึกตื่นเต้นมาก ที่ตนเองวิเคราะห์สารตัวอย่างได้ถูกต้อง และประดิษฐ์เครื่องมือต่าง ๆ ขึ้นมาด้วยตนเอง” จากความคิดเห็นนี้จะเห็นได้ว่า การทดลองด้วยการใช้สมาร์ตโฟนในการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นแทนการใช้เครื่อง Spectrophotometer เป็นทางเลือกหนึ่งที่ทำให้การเรียนรู้ในห้องปฏิบัติการทดลองสะดวกและรวดเร็วขึ้น สำหรับการจัดการเรียนรู้ในยุคปัจจุบันอีกด้วย

4. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหาหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ทั้งนี้เนื่องมาจาก บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นได้ให้ผู้เรียนสืบค้นเกี่ยวกับปัญหาการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำ ก่อนที่จะนำวิธีการวิเคราะห์เหล่านั้นมาคำนึงถึงข้อดี ข้อจำกัดภายในกลุ่มของตนเอง สอดคล้องกับ สราจิต ชุมของ (2562) ที่ได้ให้

ผู้เรียนศึกษาค้นคว้าข้อมูลด้วยตนเองในเบื้องต้นก่อน เพื่อนำไปสู่วิธีการแก้ปัญหาต่อไป นอกจากนี้ผู้เรียนได้เลือกวิธีการดำเนินงานที่สอดคล้องกับปัญหาที่เกิดขึ้น การแก้ปัญหามองเห็นหลายคนช่วยกันแก้ปัญหา ผู้สอนจึงให้ผู้เรียนทำงานเป็นกลุ่มแสดงดังภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 25 กระบวนการทำงานกลุ่มของผู้เรียน

ทำให้แนวทางในการแก้ปัญหาไม่จำกัดและหลากหลาย ส่งผลให้วิธีการแก้ปัญหานั้นมีประสิทธิภาพ การออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับ จรรยาพงษ์ ชลสินธุ์ (2561) ที่กล่าวไว้ว่า การออกแบบและสร้างชิ้นงานขึ้นมาภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัดที่กำหนด สามารถพัฒนาทักษะการคิดและการแก้ปัญหาขั้นสูงของผู้เรียนได้ บทปฏิบัติการได้เน้นให้ผู้เรียนเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ในการสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ ผู้เรียนจะต้องร่วมกันตัดสินใจว่าต้องใช้วัสดุใดบ้าง ภาพประกอบ 26 แสดงการออกแบบอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพที่ผู้เรียนแต่ละกลุ่มได้ออกแบบขึ้น

รูปแบบของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ	คุณภาพของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ	ขั้นตอนการประดิษฐ์อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ	
		วัสดุที่ใช้	ขั้นตอนการประดิษฐ์อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ
	<ul style="list-style-type: none"> - สล 1000 ML ไพลิน - ใส่น้ำ ๑๓๓๓๓ จิง - สล 1000 ML ไพลิน - ใส่น้ำ ๑๓๓๓๓ จิง - ใส่น้ำ ๑๓๓๓๓ จิง - ใส่น้ำ ๑๓๓๓๓ จิง - ใส่น้ำ ๑๓๓๓๓ จิง 	1) นลอส : ไพลิน ๑๓๓๓๓ จิง 2) นลอส : ไพลิน ๑๓๓๓๓ จิง 3) นลอส : ไพลิน ๑๓๓๓๓ จิง 4) นลอส : ไพลิน ๑๓๓๓๓ จิง 5) นลอส : ไพลิน ๑๓๓๓๓ จิง	1) ใส่น้ำ ๑๓๓๓๓ จิง ↓ 2) ใส่น้ำ ๑๓๓๓๓ จิง ↓ 3) ใส่น้ำ ๑๓๓๓๓ จิง ↓ 4) ใส่น้ำ ๑๓๓๓๓ จิง ↓ 5) ใส่น้ำ ๑๓๓๓๓ จิง

ภาพประกอบ 26 การออกแบบอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพของผู้เรียน

เมื่อผู้เรียนประดิษฐ์ชิ้นงานจริงแล้วเกิดปัญหา ไม่บรรลุตามเป้าหมาย ผู้เรียนจะต้องปรับปรุงชิ้นงาน และหาวิธีการแก้ปัญหาใหม่ขึ้นมา สอดคล้องกับ Brophy (2008) ได้กล่าวว่า การให้นักเรียนได้ทำการตรวจสอบและประเมินการออกแบบและชิ้นงานของตนเอง มีการซ่อมแซม ปรับปรุง หรือทำซ้ำ จะช่วยให้ นักเรียนเข้าใจปัญหามากขึ้นและทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของชิ้นงานที่สร้างขึ้น รวมถึงประสิทธิภาพของวิธีได้อีกด้วย

5. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีสำหรับนิสิตปริญญาตรี มีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการสื่อสารและร่วมมือทำงานหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 80 ทั้งนี้เนื่องมาจาก การปฏิบัติการทดลองโดยใช้บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ โดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี ได้ให้ผู้เรียนปฏิบัติการทดลองเป็นกลุ่ม มีการแบ่งหน้าที่ในการทำงานร่วมกัน เริ่มจากการแบ่งกลุ่มผู้เรียนและให้ผู้เรียนแต่ละกลุ่มช่วยกันวิเคราะห์และวางแผนวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำภายในกลุ่มของตน เมื่อสรุปวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำเรียบร้อยแล้ว ผู้เรียนแต่ละกลุ่มจะร่วมกันออกแบบวิธีการทดลอง เลือกวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง โดยครูทำหน้าที่อำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ จากนั้นผู้เรียนลงมือประดิษฐ์อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบทปฏิบัติการที่ออกแบบไว้ ผู้เรียนมีความกระตือรือร้นในการเรียนรู้และการทำงานร่วมกัน และในระหว่างการประดิษฐ์ชิ้นงาน เมื่อผู้เรียนเจอกับปัญหาในการสร้างชิ้นงานจะทำให้ผู้เรียนสื่อสารระหว่างกันมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ ชนก กานต์ เนตรรัศมี (2562) ที่พบว่า การออกแบบและประดิษฐ์ชิ้นงานทำให้ผู้เรียนมีความกระตือรือร้นในการทำงานมากเป็นพิเศษ ผู้เรียนได้สื่อสารระหว่างกันมากขึ้นเพราะ ผู้เรียนทุกคนต้องมีส่วนร่วมในการทำงานร่วมกัน เพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างดำเนินงาน อีกทั้ง นรพนธ์ คนสูง (2561) ยังได้สรุปไว้ว่า การประดิษฐ์ชิ้นงานทำให้ผู้เรียนให้ความร่วมมือกันมากขึ้น เมื่อเทียบกับกิจกรรมอื่นๆในระหว่างการจัดการเรียนรู้ เพราะการประดิษฐ์ชิ้นงานผู้เรียนต้องปฏิบัติหน้าที่ตามที่ได้รับมอบหมายเพื่อให้การทำงานบรรลุวัตถุประสงค์ และทำให้ผู้เรียนมีเกิดการสื่อสารและการทำงานกับผู้อื่นได้ดีขึ้น

ข้อเสนอแนะ

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ซึ่งอาจจะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจในการวิเคราะห์ทางเคมีวิเคราะห์ โดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี และการนำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ ไปใช้ในโอกาสต่อไปดังนี้

1. ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการพัฒนาวิธีวิเคราะห์โดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ ร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

1.1 การพัฒนาอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพสำหรับการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยได้ใช้วุ้นในการขึ้นรูป ทำให้หลังจากการใช้งานแล้วทุกครั้งต้องนำไปทิ้ง ทำให้สิ้นเปลืองวัสดุอุปกรณ์ ดังนั้น ผู้วิจัยเห็นว่าวุ้นเป็นวัสดุที่นำมาขึ้นรูปใหม่ได้ เพราะสามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างได้เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ ที่ 85-100 องศาเซลเซียส โมเลกุลของสารละลายวุ้นจะเกิดการละลาย และเมื่ออุณหภูมิจึงของสารละลายลดลง จะทำให้เกิดการแข็งตัวกลายเป็นเจลมากขึ้น แต่เมื่อนำไปให้ความร้อนอีกครั้งเจลวุ้นที่จับตัวกันนั้น จะกลายเป็นสารละลายได้อีกครั้ง ดังนั้นผู้วิจัยเห็นว่า การขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพจากวุ้นอาจจะนำมาใช้ซ้ำได้ถ้ามีการขึ้นรูปใหม่

1.2 วิธีวิเคราะห์โดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ ร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี อาจจะนำไปใช้กับการวิเคราะห์เชิงปริมาณของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ เช่น การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนเนตในสารตัวอย่างปูนซีเมนต์ ซึ่งอาศัยการหาปริมาณตามค่า pH ที่ลดลง สามารถวัด absorbance ที่ใช้ได้สำหรับอินดิเคเตอร์นั้นๆ จะทำให้หาปริมาณคาร์บอนเนตได้นั่นเอง

2. ข้อเสนอแนะการใช้บทปฏิบัติการ

การนำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ไปใช้ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำไปใช้ เหมาะกับการให้ผู้เรียนทำงานเป็นกลุ่ม เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ร่วมกัน ทำให้ผู้เรียนทำงานร่วมกับผู้อื่นได้ดี ดังนั้นควรศึกษาว่า การใช้บทปฏิบัติการในการจัดการเรียนรู้ ส่งผลต่อทักษะด้านชีวิตและอาชีพ หรือไม่ เพราะเป็นทักษะที่สำคัญในศตวรรษที่ 21 และยังทำให้เกิดแนวทางในการพัฒนา นิสิตระดับปริญญาตรีต่อไป

บรรณานุกรม

- Andrew, C. (2008). Teaching Skills: What 21st Century Educators Need To Learn To Survive. Retrieved from <https://www.masternewmedia.org/teaching-skills-what-21st-century-educators-need-to-learn-to-survive/>
- Brophy, S. (2008). Advancing Engineering Education in P-12 Classrooms. *Journal of Engineering Education*, 97(3), 369-387.
- Burkhardt, G. (2003). *enGauge 21st Century Skills: Literacy in the Digital Age*. Illinois: The North Central Regional Educational Laboratory and the Metri Group.
- Castillo, L., & Jaime. (2015). *Lab on a Chip Devices*. London: Springer
- Davis, H. A. (2010). Being an Innovative Teacher: Pre-service Teachers' Conceptions of Technology and Innovation. *International Journal of Education*, 2(1), 1-28.
- Davis, T. A. (2015). Electrolysis of Water in the Secondary School Science Laboratory with Inexpensive Microfluidics. *Journal of Chemical Education*, 92(1), 116-119.
doi:10.1021/ed400757m
- Delaney, H. (2019). Education for the 21st Century Placing skills development at the heart of education. *UNICEF Thailand*.
- Evenson, C. (2017). How Technology Has Transformed Education in the 21st Century (Publication no. <https://ctovision.com/technology-transformed-education-21st-century/>).
- James, M. (2006). *The meaning of the 21st Century*. Bangkok: L.T.P.
- Kassem, M. A. (2013). Spectrophotometric determination of iron in environmental and food samples using solid phase extraction. *Food Chemistry*, 141(3), 1941-1946.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.038>
- Lahrech, K. (2005). Sol state formation and melting of agar gels rheological study. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications.*, 358, 205-211.
- Lengrand, P. (1970). *An Introduction to lifelong Education*. France: Unesco.
- Masawat, P. (2011). Determination of Iron(II) in Natural Waters using the Developed Micro-volume Autotitrator. *NU Science Jou*, 8(2), 37-53.

- Morton, J. A. S. (2016). Student-led microfluidics lab practicals: Improving engagement and learning outcomes. *BIOMICROFLUIDICS*, 10(3), 0341171-0341111.
- National Research Council (1996). *National Science Education Standards* Washington,DC: National Academy Press.
- National Research Council. (2011). *Assessing 21st Century Skills*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Normand, V. (2011). Rheological study of the gelation process of agarose based solutions. *Food Biophysics*, 6(4), 450-460.
- Partnership for 21st Century Skills. (2009). *Framework for 21st Century Learning*. United States: Tucson.
- Scleicher, A. (2010). The case for 21st century learning (Publication no. <https://www.oecd.org/general/thecasefor21st-centurylearning.htm>).
- Simmons, C. (2012). Teacher Skills for the 21st Century Retrieved from http://www.ehow.com/list_6593189_teacher-skills-21st-century.html
- Tican, C. (2019). Pre-service Teachers' Opinions about the Use of 21st Century Learner and 21st Century Teacher Skills. *European Journal of Educational Research*, 8(1), 181-197.
- Trilling, B., & Hood, P. (1999). Learning, Technology, and Education Reform in the Knowledge Age. 39(3), 5-18.
- Wagner, T. (2008). *The Global Achievement Gap: Why even our best school don't teach the new survival skills our children need-and what we can do about it*. New York: Basic book.
- Watanabe, L. (2016). The Critical 21st Century Skills every student needs and why (Publication no. <https://www.wabisabilearning.com/blog/skills-every-student-needs>).
- Wietsma, J. J. (2018). Lab-on-a-Chip: Frontier Science in the Classroom. *Journal of Chemical Education*, 95(2), 267-275.
doi:<https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00506>
- Wiggins, G. (1998). *Educational assessment: Designing assessments to inform and*

improve student performance. San Francisco John Wiley.

Yang, C. W. T. (2010). Using Inexpensive Jell-O Chips for Hands-On Microfluidics

Education. *Analytical Chemistry*, 82(13), 5408-5414. doi: 10.1021/ac902926x

จรรยาพงษ์ ชลสินธุ์. (2561). การวิจัยปฏิบัติการเพื่อพัฒนาการจัดการเรียนรู้ เรื่อง ปริมาณสารสัมพันธ์ ตามแนวสะเต็มศึกษาที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ที่ส่งเสริมสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 20(2), 32-46.

จารวัฒน์ ชูรักษ์. (2557). การพัฒนาเครื่องวัดการดูดกลืนแสงและบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์สำหรับ นิสิตระดับปริญญาตรี. (ปริญญาานิพนธ์ (กศ.ม. เคมี)), มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

ชนกกานต์ เนตรวัศมี. (2562). การวิจัยปฏิบัติการเพื่อพัฒนาการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา ที่เน้นกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อส่งเสริมสมรรถนะการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ เรื่อง เคมีสิ่งแวดล้อมของผู้เรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. วารสารพัฒนาการเรียนการสอน มหาวิทยาลัยรังสิต, 13(1), 29-45.

ชูศรี วงศ์รัตน์. (2550). เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย. นนทบุรี: ไทยเนรมิตกิจอินเตอร์ โปรดักส์ฟ.

ณิชากัทธ สมบูรณ์. (2557). สมบัติของเจลผสมระหว่างวุ้นกับเจลาตินปลา. (ปริญญาานิพนธ์ (วท.ม. (วิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ)), มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, ปัตตานี.

ไตรรงค์ เมธีผาติกุล. (2561). การพัฒนาความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรมด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องสภาพสมดุล ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. (การศึกษามหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยนเรศวร. Retrieved from http://www.edu.nu.ac.th/th/news/docs/download/2019_01_09_10_36_59.pdf

ทรงกลด ไบยา. (2558). การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้แบบสร้างความรู้ด้วยตนเอง สำหรับผู้เรียนระดับปริญญาตรี. (ปริญญาานิพนธ์), มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ธัญลักษณ์ สมแสง. (2561). การพัฒนาห้องปฏิบัติการบนชิพสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเอทานอล. (วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ธีรเกียรติ์ เกิดเจริญ. (2012). ห้องปฏิบัติการบนชิพ - Lab on a Chip. Retrieved from <https://www.gotoknow.org/posts/498885>

นรพนธ์ คนสูง. (2561). การพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่องปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

- เคมีเพื่อส่งเสริมแนวคิดทางเคมีและทักษะในศตวรรษที่ 21 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. (ปริญญาณิพนธ์ (กศ.ม. (เคมี)), มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.
- นิธิพนธ์ พุทธรักษา. (2559). ไมโครฟลูอิดิกส์...จากฟิลิกส์ของของไหลในท่อขนาดเล็กจิ๋วสู่นวัตกรรม การวินิจฉัยโรค. Retrieved from http://thep-center.org/src2/views/industrial.php?article_id=15
- นิมิตร ชมนาวัง. (2560). ระบบของไหลจุลภาค(Microfluidics). Retrieved from <https://www.sri.or.th/th/applications--research-highlight/-micro-fluidics.html>
- บุญชม ศรีสะอาด. (2537). การพัฒนาการสอน. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.
- บุญชม ศรีสะอาด. (2543). การวิจัยทางการวัดและประเมินผล. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.
- บุญเชิด ภิญโญอนันตพงษ์. (2521). การวัดและประเมินผลการศึกษา : ทฤษฎีและการประยุกต์. กรุงเทพฯ ภาควิชาพื้นฐานการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.
- พงศกร พรหมทา. (2561). การพัฒนากิจกรรมเสริมศึกษาเรื่องพันธะเคมี : ผ้าฝ้ายกันน้ำเพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. (ปริญญาณิพนธ์. กศ.ม.เคมี), มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.
- พรรณี ลีกิจวัฒน์. (2553). วิธีการวิจัยทางการศึกษา. กรุงเทพฯ: คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พวงรัตน์ ทวีรัตน์. (2540). วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เจริญผล.
- ภพ เลหาไพบุลย์. (2542). แนวการสอนวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิชย์.
- ภิรมย์ เชนประโคน. (2560). พัฒนาการสอนในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ให้ทันสมัยและมีประสิทธิภาพ. Retrieved from <https://il.mahidol.ac.th/th/i-Learning-Clinic/lecturer-and-learning-management-articles/>พัฒนาการสอนในห้องปฏิบัติ
- ยศวดี ลีติวร. (2557). การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องเทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเรียนรู้สำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี. (ปริญญาณิพนธ์), มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. Retrieved from http://ils.swu.ac.th:8991/F?func=service&doc_library=SWU01&local_base=SWU01&doc_number=000386479&sequence=000001&line_number=0001&func_code=D B_RECORDS&service_type=MEDIA
- รัตน์ะ บัวสนธ์. (2554). การวิจัยและพัฒนานวัตกรรมการศึกษา. นครสวรรค์: ริมปิงการพิมพ์.

451 = ED 451 Educational assessment. กรุงเทพฯ ภาควิชาการวัดผลและวิจัย
การศึกษา มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

อดิสร เตือนตรานนท์ และคณะ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. (2556).

ห้องปฏิบัติการของไหลจุลภาคบนชิปที่มีวัสดุนาโนประกอบรวมสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี
อย่างรวดเร็ว. Retrieved from กรุงเทพฯ:

file:///C:/Users/user/Downloads/RSA5380005_full.pdf





ภาคผนวก ก



รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือวิจัย
ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ
อาจารย์ประจำภาควิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
2. อาจารย์ ดร. ชัชฎาภรณ์ พิณฑอง
อาจารย์ประจำภาควิชา เคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกรียงศักดิ์ ส่งศรีโรจน์
อาจารย์ประจำภาควิชา เคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



MF-04-version-2.0

วันที่ 18 ต.ค. 61



หนังสือยืนยันการยกเว้นการรับรอง
คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(เอกสารนี้เพื่อแสดงว่าคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ ได้พิจารณาโครงการวิจัยนี้)

ชื่อโครงการวิจัย : การพัฒนาปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำโดยใช้อุปกรณ์
ห้องปฏิบัติการบนชิพ ร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะการเรียนรู้และ
นวัตกรรมของนิสิตระดับปริญญาตรี

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย : นางสาวปิยธิดา สุภา

หน่วยงานต้นสังกัด : คณะวิทยาศาสตร์

รหัสโครงการวิจัย : SWUEC-G-008/2563X

โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการวิจัยที่เข้าข่ายยกเว้น (Research with Exemption from SWUEC)

วันที่ยืนยัน : 16 มีนาคม 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 16 มีนาคม 2563

(ลงชื่อ).....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทันตแพทย์หญิงณปภา เอี่ยมจิรกุล)
กรรมการและเลขานุการคณะกรรมการจริยธรรม
สำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

หมายเลขรับรอง : SWUEC/X/G-008/2563

(ลงชื่อ).....

(แพทย์หญิงสุรีพร ภัทรสุวรรณ)
ประธานคณะกรรมการจริยธรรม
สำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์



ภาคผนวก ข

ตาราง 1 ผลการประเมินความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง การหาปริมาณ
เหล็กในน้ำ ด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ				
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม	เฉลี่ย
	1	2	3		
1. องค์ประกอบของบทปฏิบัติการมีความชัดเจน	4	4	4	12	4.00
2. คำชี้แจงกะทัดรัด ได้ใจความ ไม่สร้างความสับสน	3	4	3	10	3.33
3. ความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์การทดลองกับเนื้อหา	4	4	4	12	4.00
4. เนื้อหามีความถูกต้องสัมพันธ์กับชื่อบทปฏิบัติการ	4	4	4	12	4.00
5. เนื้อหาครบถ้วน ครอบคลุมในการสร้างความรู้ใหม่ให้แก่ผู้เรียน	4	5	3	12	4.00
6. เนื้อหาชัดเจน ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย	4	4	3	11	3.67
7. ความยากง่ายของเนื้อหามีความเหมาะสม	4	4	4	12	4.00
8. การทดลองสัมพันธ์กับจุดประสงค์การเรียนรู้	4	5	4	13	4.33
9. การทดลองสอดคล้องกับวัยของผู้เรียน	4	5	4	13	4.33
10. การทดลองกระตุ้นให้ผู้เรียนอยากเรียนรู้และเน้นการเรียนรู้ด้วยตนเอง	4	5	4	13	4.33
11. การทดลองส่งเสริมทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม	4	5	4	13	4.33
12. การทดลองเหมาะสมกับเวลาและสภาพแวดล้อมของผู้เรียน	4	5	4	13	4.33
13. การประเมินวัดได้ครอบคลุมจุดประสงค์การเรียนรู้	4	4	4	12	4.00
14. ใช้การวัดและประเมินผลที่มีความหลากหลาย	3	4	3	10	3.33
15. วิธีการวัดและประเมินผลสอดคล้องกับกิจกรรมการทดลอง	3	4	4	11	3.67
16. การวัดและประเมินเน้นการประเมินตามสภาพจริง	2	4	4	10	3.33

ตาราง 2 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในน้ำ ด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ				
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			IOC	การพิจารณา
	1	2	3		
1. ชื่อเรื่องมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
2. เนื้อหาและทฤษฎีสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	+1	0	+1	0.67	ใช้ได้
3. รูปแบบกิจกรรมการทดลองมีความสอดคล้องกับระดับผู้เรียน	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
4. เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีมีความเหมาะสมกับการทดลอง	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
5. กิจกรรมการทดลองมีการเรียงลำดับกิจกรรมการเรียนรู้ได้เหมาะสม เป็นขั้นตอนที่ถูกต้อง	0	+1	+1	0.67	ใช้ได้
6. แบบบันทึกผลการทดลองสอดคล้องกับวิธีการทดลอง	+1	0	+1	0.67	ใช้ได้
7. วิธีการทดลองเหมาะสมกับระยะเวลาที่กำหนด	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
8. วิธีการทดลองใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
9. เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีมีความเหมาะสมกับผู้เรียน	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
10. แบบบันทึกผลการทดลองมีความชัดเจนเข้าใจง่าย	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้

ตาราง 3 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ				
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			IOC	การพิจารณา
	1	2	3		
แบบประเมินการออกแบบผลงาน					
1. ความคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา					
1.1 การค้นคว้าข้อมูล					
สามารถค้นคว้าข้อมูลที่กำหนดได้ หาข้อมูลอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการสร้างชิ้นงาน สรุปผลจาก การศึกษาค้นคว้าได้และอ้างอิงจากแหล่งข้อมูลได้ น่าเชื่อถือ	+1	0	+1	0.67	ใช้ได้
1.2 วิธีการแก้ปัญหา					
สามารถระบุปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการทดลองได้ หา วิธีการแก้ปัญหาได้ ระบุขั้นตอนกระบวนการในการ แก้ปัญหาได้ และตรวจสอบวิธีการว่าได้ดำเนินการ แก้ปัญหาตามแผนที่วางไว้ได้	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
1.3 การใช้เหตุผล					
สามารถอธิบายเหตุผลสัมพันธ์กับปัญหาในการสร้าง ชิพได้ สรุปผลจากการศึกษาค้นคว้าได้ ยกตัวอย่าง เหตุผลในการปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานได้และบอก รายละเอียดอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการสร้างชิ้นงาน	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
2. ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม					
2.1 การเกิดความคิดใหม่ๆ					
ออกแบบแม่พิมพ์อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพได้ รูปแบบของแม่พิมพ์สามารถนำไปใช้ได้จริง บอก รายละเอียดของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพได้ บอกเหตุผลในการเลือกวัสดุในการประดิษฐ์ได้	+1	0	+1	0.67	ใช้ได้

ตาราง 3 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ				
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			IOC	การพิจารณา
	1	2	3		
แบบประเมินการออกแบบผลงาน					
2. ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม					
2.2 ริเริ่มผลิตสิ่งใหม่หรือสร้างนวัตกรรม					
ออกแบบชิ้นงานสามารถนำไปปฏิบัติได้จริงร้อยละ 80 ขึ้นไป การออกแบบชิ้นงานสอดคล้องกับทฤษฎี					
การผสมสารในช่องของไหลที่มีขนาดเล็ก รูปแบบของชิ้นงานที่ออกแบบขึ้น มีความแตกต่างจากตัวอย่างที่กำหนดให้					
	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
2.3 รูปแบบความคิด					
สามารถบอกความสัมพันธ์ระหว่างทฤษฎีกับชิ้นงานที่สร้างขึ้นได้ บอกเหตุผลในการออกแบบและปรับปรุงชิ้นงานได้เป็นเหตุเป็นผล คำนวณหาปริมาณสารเคมีที่ใช้ได้เมื่อต้องลดปริมาณสารเคมีลงได้และอธิบายผลการทดลองได้					
	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
แบบประเมินชิ้นงาน					
1. วิธีการสร้างสรรค์ชิ้นงาน					
1.1 สร้างชิ้นงานได้ตามการออกแบบ					
สร้างชิ้นงานตามขนาดที่กำหนด ใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับชิ้นงาน และเก็บรายละเอียดได้สวยงาม					
	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
1.2 วิธีการสร้างชิ้นงานสามารถทำตามได้ง่าย					
การสร้างชิ้นงานทำได้ตามเงื่อนไขภายในเวลาที่กำหนด ทำซ้ำได้อย่างน้อย 2 ครั้งขึ้นไป วัสดุที่ใช้มีจำนวนพอเหมาะกับงานและสามารถนำไปใช้ได้จริง					
	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้

ตาราง 3 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ				
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			IOC	การพิจารณา
	1	2	3		
แบบประเมินชิ้นงาน					
2. คุณภาพของชิ้นงาน					
2.1 ความคงทน					
สร้างชิ้นงานตามขนาดที่กำหนด ใช้งานได้ตาม วัตถุประสงค์ มีความคงรูป ไม่แตกหัก และเก็บ รายละเอียดได้สวยงาม	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
2.2 ความเหมาะสม					
ชิ้นงานมีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของงาน ขนาดเหมาะสมกับการใช้งาน และสามารถหยุด สารเคมีได้ง่าย	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
2.3 ความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์					
ผลการทดลองมีค่าความถูกต้องสัมพัทธ์ (Relative accuracy) ระหว่าง 90-95	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้



ตาราง 4 คะแนนการประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ ด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

กลุ่มที่	ก่อนเรียน	หลังเรียน
1	15.33	28.67
2	14.67	30.67
3	16.67	29.67
4	20.67	24.67
5	14.67	28.33
รวม	82.00	142.00
ค่าเฉลี่ย	16.40	28.40
S.D.	2.52	2.28

ตาราง 5 คะแนนการประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ ด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

กลุ่มที่	ก่อนเรียน	หลังเรียน
1	7.67	10.67
2	6.00	10.00
3	8.67	10.00
4	5.33	8.33
5	6.33	10.00
รวม	34.00	49.00
ค่าเฉลี่ย	6.80	9.80
S.D.	0.60	0.39

ตาราง 6 คะแนนการประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ ด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

กลุ่มที่	หลังเรียน
1	12
2	11
3	10
4	12
5	10
รวม	55
ค่าเฉลี่ย	11
S.D.	1.00





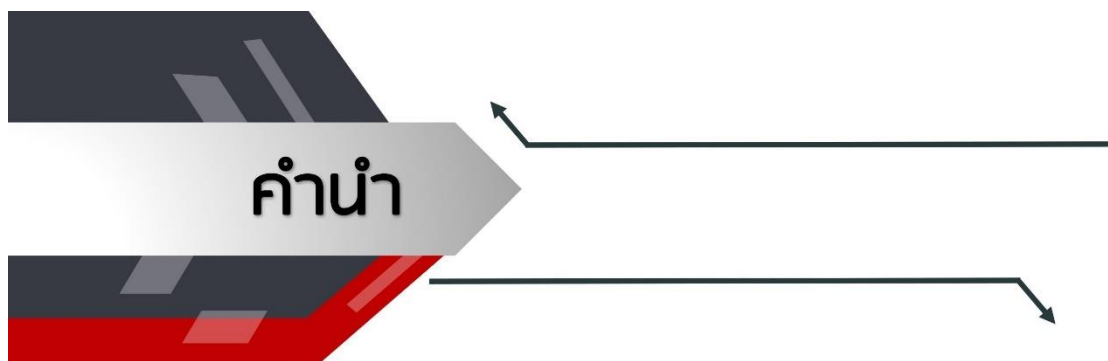
คู่มือปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์

เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำ

ด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชีพ

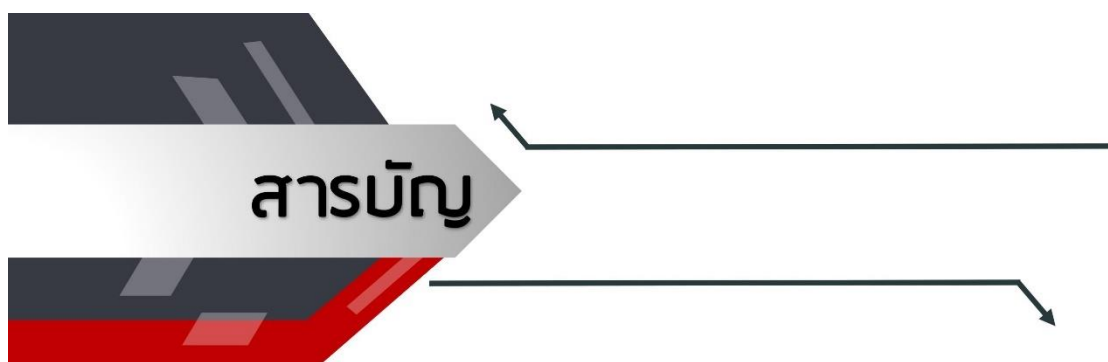
ร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

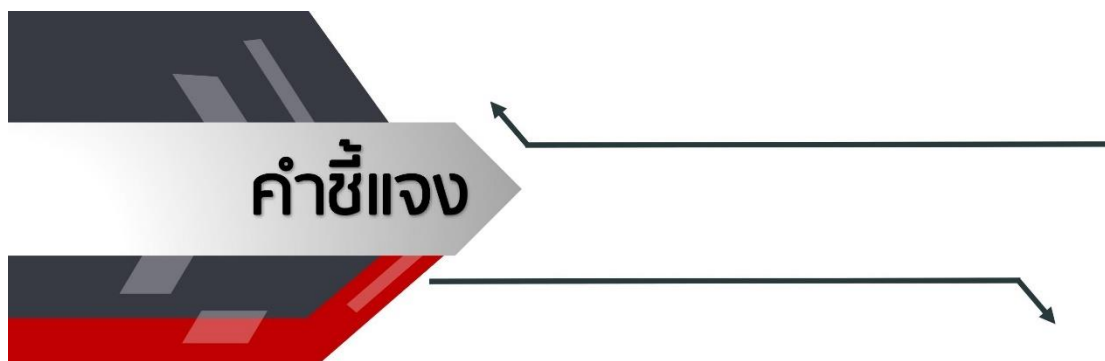


คู่มือบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องการหาปริมาณเหล็กในน้ำด้วยอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชีพ
 ร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการจัดการเรียนรู้รายวิชา หัวข้อพิเศษทางเคมีศึกษา
 สำหรับนิสิตหลักสูตรการศึกษาระดับบัณฑิต สาขาวิชาเคมี โดยแบ่งบทปฏิบัติการออกเป็น 2 การทดลอง ดังนี้
 การทดลองที่ 1 การสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชีพโดยใช้ผงขี้เถ้า
 การทดลองที่ 2 การหาปริมาณเหล็กในสารตัวอย่าง
 ผู้จัดทำหวังว่าคู่มือบทปฏิบัติการเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนิสิต หากมีข้อบกพร่องประการใด หวังว่าจะได้
 รับคำแนะนำจากผู้ใช้ เพื่อจะได้นำมาปรับปรุงแก้ไขให้สมบูรณ์ต่อไป

ผู้จัดทำ
 ปิยธิดา สุภา



เรื่อง	หน้า
คำนำ	ก
สารบัญ	ข
คำชี้แจงเกี่ยวกับทปปฏิบัติกร	ค
กิจกรรมการเรียนรู้	
ชั้นสร้างความสนใจ	1
ชั้นสำรวจและค้นหา	2
ชั้นอธิบายและลงข้อสรุป	11
ชั้นขยายความรู้	14
ชั้นประเมิน	21
บรรณานุกรม	22



- ❖ คู่มือบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ฉบับนี้ เป็นเอกสารสำหรับใช้จัดการเรียนรู้รายวิชา หัวข้อพิเศษทางเคมีศึกษา (Special topics in chemistry education) โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (5E) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้
 - ขั้นที่ 1 สร้างความสนใจ (Engagement)
 - ขั้นที่ 2 สำรวจและค้นหา (Exploration)
 - ขั้นที่ 3 อธิบายและลงข้อสรุป (Explanation)
 - ขั้นที่ 4 ขยายความรู้ (Elaboration)
 - ขั้นที่ 5 ประเมิน (Evaluation)
- ❖ ครูจัดเตรียมคู่มือบทปฏิบัติการ วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่จะใช้ในการทดลอง
- ❖ ครูแจ้งจุดประสงค์การเรียนรู้ให้นักเรียนทราบ
- ❖ ครูแจ้งแนวทางการประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ทั้งหมด 3 ด้านดังนี้
 - ด้านที่ 1 ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
 - ด้านที่ 2 ความคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา
 - ด้านที่ 3 การสื่อสารและร่วมมือทำงาน
 เครื่องมือที่ใช้ในการประเมินประกอบด้วย แบบประเมินการออกแบบผลงานและแบบประเมินชิ้นงาน
- ❖ การจัดชั้นเรียนจัดให้นักเรียนเป็นกลุ่มและกำหนดหน้าที่ของสมาชิกแต่ละคนให้ชัดเจน
- ❖ หากนิสิตเกิดปัญหาขณะทำการทดลองให้ขอคำแนะนำจากครูเพื่อให้เกิดความเข้าใจมากยิ่งขึ้น

1

ขั้นสร้างความสนใจ

คำชี้แจง ให้นักเติมข้อความลงในช่องว่างให้ถูกต้อง



- จากภาพดังกล่าว ให้ระบุสาเหตุของปัญหาน้ำประปาที่เกิดขึ้นว่ามีสิ่งใดเจือปนในน้ำประปา

.....

.....

.....

.....

- นิสิตมีวิธีการวิเคราะห์หาสิ่งเจือปนในน้ำประปาได้อย่างไร พร้อมทั้งบอกข้อดีและข้อจำกัดของวิธีการวิเคราะห์แต่ละวิธี

.....

.....

.....

.....



- เมื่อศึกษาวิธีการวิเคราะห์แล้ว นิสิตจะเลือกวิธีการวิเคราะห์วิธีใดพร้อมให้เหตุผลประกอบ

.....

.....

.....

2 ขั้นสำรวจและค้นหา

❖ ห้องปฏิบัติการบนชิพหรือ Mbc-on-b-dhip

อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพหรือ Lab-on-a-chip เป็นอุปกรณ์ที่ใช้หลักการไมโครฟลูอิดิกส์ สามารถตรวจวิเคราะห์ทางเคมีทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ (Castillo & Jaime, 2015) ห้องปฏิบัติการบนชิพเป็นอุปกรณ์ที่จำลองการทำงานในห้องแล็บไว้บนแผ่นชิพ โดยจะมีท่อขนาดเล็กมาก ท่อนี้เป็นช่องสำหรับให้ของเหลวไหลลงไปตามทาง เพื่อไปผสมกันหรือไปทำปฏิกิริยากันบนชิพ เปรียบเสมือนกับเป็นห้องปฏิบัติการที่ย่อส่วน การทดลองลงแสดงดังภาพประกอบ 1 (สมสกุล ฝ่าจินตามุข , 2547)



ภาพประกอบ 1 ตัวอย่างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ

ที่มา : <https://www.aqdrop.com/>

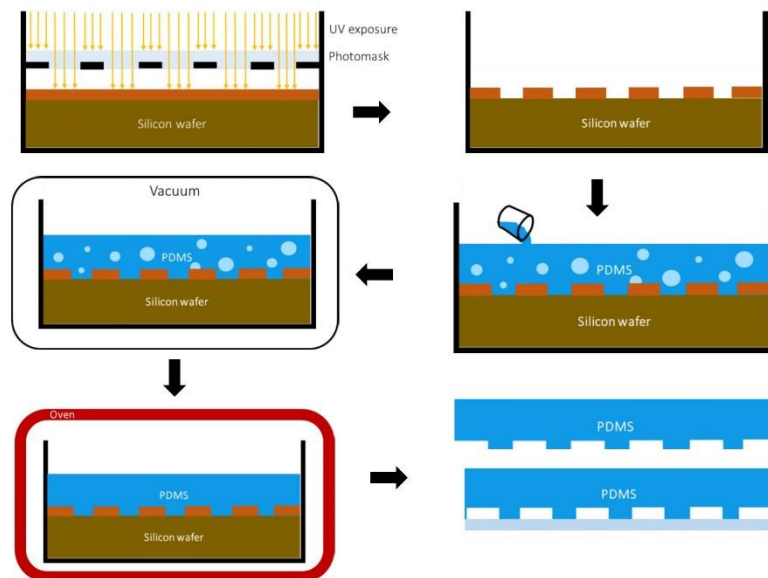
การสร้างห้องปฏิบัติการบนชิพเพื่อประยุกต์ใช้ในงานวิจัยต่าง ๆ นั้น นิยมใช้วัสดุประเภทพอลิเมอร์ เช่น พอลิเมทิลซิลอกเซน (Polydimethylsiloxane) และพอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethyl methacrylate) (นิมิตร ชมนาวัง, 2560) นอกจากนั้นแล้วยังสามารถใช้วัสดุกลุ่มเทอร์โมพลาสติก เช่น อะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอีนสไตรีน (acrylonitrile-butadiene-styrene) หรือ ABS และพอลิโพรพิลีน (Polypopylene) หรือ PP เป็นต้น

2 ขั้นตอนสำรวจและค้นหา

❖ วิธีการสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิปด้วยพอลิเมอร์

การหล่อแบบจากแม่พิมพ์ (Soft lithography)

เทคนิคการหล่อแบบจากแม่พิมพ์ (Soft lithography) เป็นเทคนิคที่นิยมนำมาใช้ในการประดิษฐ์อุปกรณ์ระดับไมโครจนกระทั่งถึงนาโน เทคนิคนี้ใช้วัสดุในกลุ่มอีลาสโตเมอร์ (Elastomer) ซึ่งเป็นวัสดุพอลิเมอร์ ที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่น เช่น พอลิไดเมทิลไซลอกเซน (Polydimethylsiloxane) หรือ PDMS



ภาพประกอบ 2 แสดงขั้นตอนการขึ้นรูปด้วยวิธีหล่อแบบจากแม่พิมพ์

2 ขั้นสำรวจและค้นหา

❖ วุ้น (Agbr)

วุ้นเป็นสารกึ่งเจลในกลุ่มสารไฮโดรคอลลอยด์ที่โมเลกุลสามารถจับกับน้ำ และสามารถละลายน้ำได้ รวมถึงกลายเป็นเจลเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยเมื่อนำมาละลายหรือกระจายตัวอยู่ในน้ำร้อน จะให้สารละลายที่ได้มีความหนืดสูงหรือให้เนื้อสัมผัสกลายเป็นเจลเมื่อทิ้งไว้ให้เย็น ในทางอุตสาหกรรมอาหารมีการนำสารกึ่งเจลชนิดต่างๆ มาใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารอยู่หลายชนิดเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น ความข้นหนืด และความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหาร นอกจากนี้ยังมีการใช้วุ้นหรืออะกาโรสไปใช้งานด้านปฏิบัติการเคมีและจุลินทรีย์



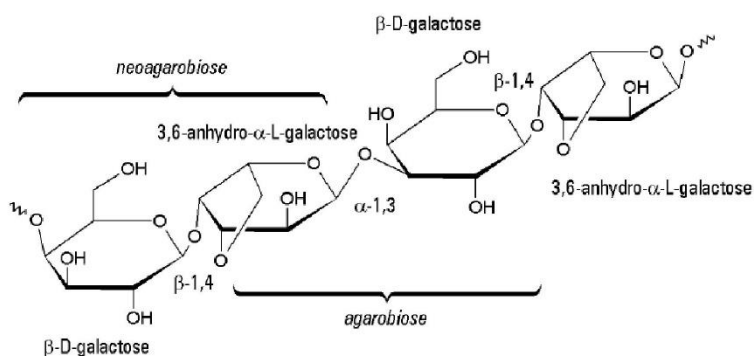
ภาพประกอบ 2 การใช้วุ้นในห้องปฏิบัติการเคมีและจุลินทรีย์

ที่มา : https://www.123rf.com/stock-photo/virus_analytical.html?sti=nafboaj1nbd1oa18ek

วุ้น เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีแดงที่อยู่ในไฟลัม Rhodophyta โครงสร้างทางโมเลกุลของวุ้น ประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides) ที่สำคัญ 2 ชนิด คือ อะกาโรส (Agarose) และอะกาโรเพคติน (Agaropectin)

2 ขั้นสำรวจและค้นหา

อะกาโรส เป็นพอลิเมอร์สายยาวของน้ำตาลกาแลคโตส (Galactose) ประกอบด้วยหน่วยย่อยของน้ำตาลโมเลกุลคู่ (Disaccharides) คืออะกาโรไบโอส (agarobiose) ซึ่งเกิดจาก β -D-galactose เชื่อมต่อกันที่ตำแหน่ง 1-3 และ 3,6-anhydro- α -L-galactose เชื่อมต่อกันที่ตำแหน่ง 1-4 โดยที่ในแต่ละโมเลกุลมีการต่อสลับกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (Glycosidic linkage) สำหรับอะกาโรเพคตินมีโครงสร้างคล้ายอะกาโรส แต่ซับซ้อนกว่า เนื่องจากบางโมเลกุลของ 3,6-anhydro- α -L-galactose จะมีหมู่ซัลเฟตเกาะอยู่ จึงทำให้ถูกแทนที่ด้วย L-galactose sulfate และบางโมเลกุลของ D-galactose ถูกแทนที่ด้วย D-galactose sulfate หรือมีหมู่ไพรูเวตเกาะอยู่เป็นสาเหตุให้พอลิเมอร์เหล่านี้มีประจุ



ภาพประกอบ 2 การใช้วงในท้องปฏิบัติการเคมีและจุลินทรีย์
ที่มา : <https://www.mdpi.com/1420-3049/21/11/1577/html>



❖ สมบัติการละลายของวุ้น

โดยทั่วไปสมบัติการละลายของวุ้นจะไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่จะละลายได้ดีที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสขึ้นไป ร่วมกับการคนสารละลายขณะที่ให้ความร้อนจึงจะทำให้วุ้นมีการละลายอย่างสมบูรณ์ การเกิดเจลของวุ้นจะเกิดขึ้นเมื่อละลายวุ้นที่อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส โครงสร้างโมเลกุลจะอยู่กันเป็นเกลียวที่ไม่เป็นระเบียบมี (Random coil) เมื่ออุณหภูมิของสารละลายวุ้นลดลงจะมีลักษณะเป็นเกลียวคู่ (Double helix) และเมื่ออุณหภูมิต่ำลงอีกปลายสายของแต่ละคู่จะเกิดการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจน จนทำให้การแข็งตัวกลายเป็นเจลมากขึ้นเกิดเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ หากนำวุ้นไปให้ความร้อนอีกครั้งสารพอลิเมอร์ที่จับตัวกันเป็นเกลียวนั้นจะค่อยๆคลายตัวออกจากกันและจะกลับมาอยู่ในลักษณะที่ไม่เป็นระเบียบอีกครั้ง ดังนั้นวุ้นจึงมีคุณสมบัติเป็น thermoreversible gel คือ เจลที่เปลี่ยนกลับเป็นของเหลวเมื่อได้รับความร้อน

❖ ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของเจลวุ้น

ธรรมชาติของเจลวุ้นจะมีลักษณะเนื้อแข็ง ใส เปราะ แตกง่าย และเกิดการแยกตัวของน้ำ (syneresis) ระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากระยะเวลาที่นานขึ้นจะเกิดการหดตัวของร่างแหพอลิเมอร์ซึ่งมีผลต่อการลดช่องว่างที่ใช้สำหรับกักเก็บน้ำ การแยกตัวของน้ำจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา อีกทั้งอุณหภูมิในการหลอมเหลวของเจลวุ้นนั้น จะสัมพันธ์กับความแข็งของเจล น้ำหนักโมเลกุลของวุ้น และระดับความเข้มข้นของวุ้นที่ใช้ ความเข้มข้นของวุ้นที่ใช้ในการเตรียมเจลจะมีผลต่อคุณสมบัติของเจลวุ้น เมื่อใช้ระดับความเข้มข้นของวุ้นสูงขึ้น ความแข็งแรงของเจลวุ้นก็จะเพิ่มตามไปด้วย และนอกจากนี้ความเข้มข้นของวุ้นที่ใช้จะสัมพันธ์กับอุณหภูมิในการเกิดเจลและอุณหภูมิในการหลอมเหลว กล่าวคือเมื่อใช้วุ้นที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น อุณหภูมิในการเกิดเจลและอุณหภูมิในการหลอมเหลวก็จะสูงขึ้นเช่นกัน การผสมสารชนิดอื่นกับวุ้นอาจช่วยในเรื่องของการปรับปรุงให้วุ้นมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น เช่น การเติมน้ำตาลซูโครสลงไปในวุ้นจะช่วยให้การดูดและเก็บรักษาความชื้นของวุ้นดีขึ้น ส่งผลให้เจลวุ้นมีความคงทนในการรักษาลักษณะของเจลวุ้นได้ดีขึ้น



2 ขั้นสำรวจและค้นหา



คำถามชวนคิด

ปัจจัยใดบ้างที่ควรคำนึงถึงในกระบวนการออกแบบและขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิปโดยใช้หุ่น

.....

.....

.....

เมื่อนิสิตสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิปโดยใช้หุ่นแล้วพบปัญหาว่า ชิพที่สร้างขึ้นเปราะและแตกง่าย นิสิตจะมีวิธีการแก้ปัญหาอย่างไร พร้อมทั้งอธิบายวิธีการแก้ปัญหา

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



การทดลองที่ 1 เรื่อง การสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิฟโดยใช้วัน

กลุ่มที่ _____ วันที่ทำการทดลอง _____

รายชื่อสมาชิกกลุ่ม

- | | |
|----------|--------------------|
| 1. _____ | รหัสประจำตัว _____ |
| 2. _____ | รหัสประจำตัว _____ |
| 3. _____ | รหัสประจำตัว _____ |
| 4. _____ | รหัสประจำตัว _____ |
| 5. _____ | รหัสประจำตัว _____ |

เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี

เครื่องมือและอุปกรณ์	สารเคมี
1. เครื่องชั่งอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง	1. ผงวุ้น (Agar powder) ตรานางเจือกเกรด AA
2. เครื่องกวนสารชนิดให้ความร้อน	2. น้ำตาลซูโครส
3. แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic bar)	3. น้ำกลั่น
4. กล้องสำหรับถ่ายภาพ	4. สีมผสมอาหาร 0.01%
5. แผ่นพลาสติก	
6. เทปพลาสติกใส	
7. กรรไกร	
8. กาว	
9. มีดตัดเตอร์	
10. หลอดดูดพลาสติก	
11. กาวแผ่นทรงกลม	



ตอนที่ 1 การออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ

คำชี้แจง ให้ผู้เรียนออกแบบแม่พิมพ์อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ บอกเหตุผลในการเลือกใช้วัสดุ พร้อมทั้งขั้นตอนในการสร้างแม่พิมพ์และคำนวณหาปริมาตรรุ่นที่ใช้

ขั้นตอนการประดิษฐ์แม่พิมพ์

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



2 ขั้นสำรวจและค้นหา



ตอนที่ 2 การขึ้นรูปอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ

1. ชั่งน้ำหนักของผงฝุ่นจำนวน 1 กรัม ในน้ำหนักปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที
2. ให้ความร้อนแก่สารละลายอุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส ในระหว่างที่ต้มสารละลายควรใช้แท่งแก้วคนสาร คนสารละลายจนกว่าผงฝุ่นจะละลายหมดเพื่อไม่ให้ผงฝุ่นติดบริเวณก้นปิกเจอร์
3. เมื่อสารละลายผงฝุ่นละลายหมดแล้ว นำสารละลายที่ได้แช่ที่อ่างน้ำแข็งจนอุณหภูมิของสารละลายลดลง จากนั้นจึงเทสารละลายที่ได้ลงในแม่แบบที่เตรียมไว้
4. นำแม่พิมพ์ไปแช่ลงอ่างน้ำแข็งประมาณ 15 นาที หลังจากนั้นให้แกะฝุ่นออกจากแม่พิมพ์
5. ตรวจสอบคุณภาพของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพโดยสังเกตความคงรูปและการผสมของส่วนผสมอาหารภายในช่องของไหล

บันทึกผลการทดลอง

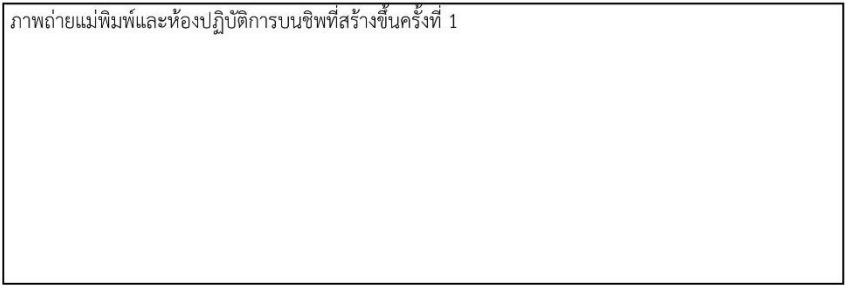
.....

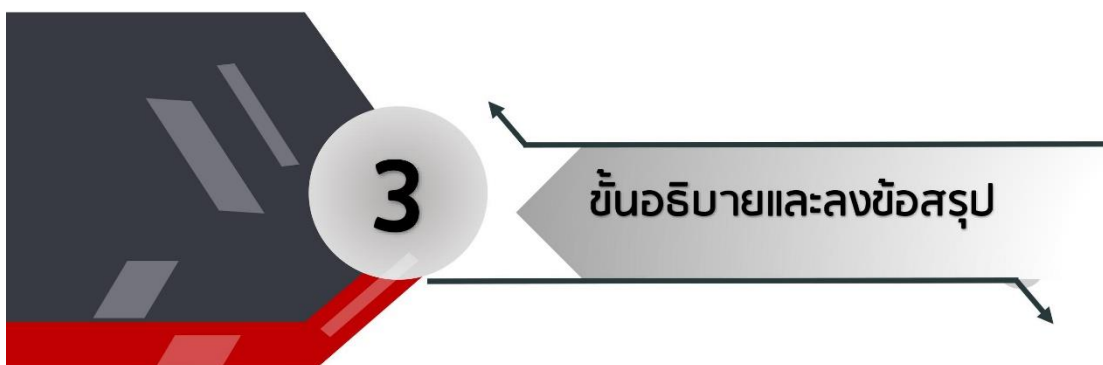
.....

.....

.....

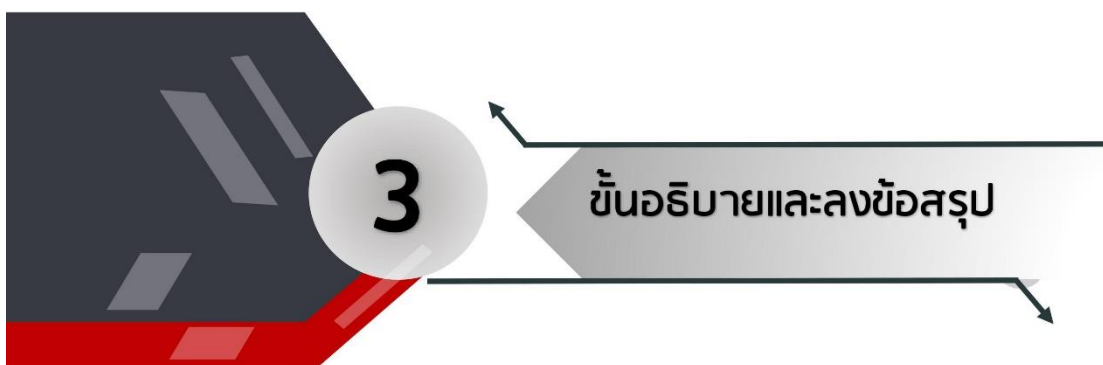
ภาพถ่ายแม่พิมพ์และห้องปฏิบัติการบนชิพที่สร้างขึ้นครั้งที่ 1





เกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชีพ

คุณภาพ	ระดับคะแนน	
1. ความแข็ง	3	ชิ้นงานที่ผลิตขึ้นสามารถแกะออกจากแม่แบบได้ง่าย ชิ้นงานไม่มีรอยแตกหักเกิดขึ้น ช่องที่ให้สารละลายไหลมีร่องที่ชัดเจน
	2	ชิ้นงานที่ผลิตขึ้นสามารถแกะออกจากแม่แบบได้ง่าย ชิ้นงานมีรอยแตกหักเกิดขึ้น 1 ตำแหน่ง ช่องที่ให้สารละลายไหลไม่ชัดเจน 1 ตำแหน่ง
	1	ชิ้นงานที่ผลิตขึ้นสามารถแกะออกจากแม่แบบได้ง่าย ชิ้นงานมีรอยแตกหักเกิดขึ้น 2 ตำแหน่ง ช่องที่ให้สารละลายไหลไม่ชัดเจน 2 ตำแหน่ง
2. ความเหมาะสม	3	ขนาดของชิ้นงานเป็นไปตามขนาดที่กำหนด บรรจุสารเคมีได้ 1000 ไมโครลิตร เก็บรายละเอียดได้เรียบร้อย สวยงาม
	2	ขนาดของชิ้นงานเป็นไปตามขนาดที่กำหนด บรรจุสารเคมีได้ 1000 ไมโครลิตร ไม่เก็บรายละเอียด
	1	ขนาดของชิ้นงานเป็นไปตามขนาดที่กำหนด บรรจุสารเคมีได้น้อยกว่า 1000 ไมโครลิตร ไม่เก็บรายละเอียด



เกณฑ์การประเมิน

คะแนน 5-6 อยู่ในเกณฑ์ ดี

คะแนน 3-4 อยู่ในเกณฑ์ พอใช้

คะแนน 0-2 อยู่ในเกณฑ์ ควรปรับปรุง

ผลการประเมินครั้งที่ 1

คะแนนที่ได้ คะแนน ผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์



กิจกรรมทีมดีเป็นศรีแก่ตัว

คำชี้แจง ให้นิสิตแต่ละกลุ่มช่วยกันระดมความคิด สรุบบัญญาในการสร้างชิ้นงานภายในกลุ่มของตน พร้อมทั้งให้เหตุผลในการปรับปรุงชิ้นงาน

.....

.....

ภาพถ่ายแม่พิมพ์และห้องปฏิบัติการบนชิพหลังจากการปรับปรุงชิ้นงาน

ผลการประเมินครั้งที่ 2

คะแนนที่ได้ คะแนน ผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์



สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

อภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....



การทดลองที่ 2 การหาปริมาณเหล็กในสารตัวอย่าง

วัตถุประสงค์การทดลอง

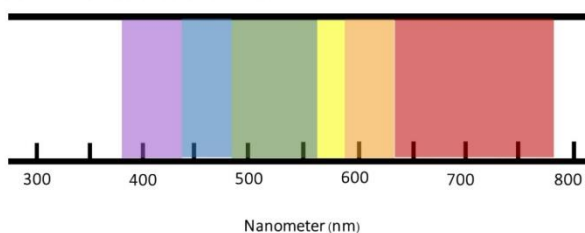
เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำตัวอย่าง

หลักการ

การดูดกลืนแสงของสารในช่วงในช่วง Visible

การมองเห็นสีของมนุษย์ เกิดจากแสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุนั้นมากระทบตาเรา สีเป็นสมบัติเชิงแสงที่นำมาใช้บรรยายลักษณะภายนอกของวัตถุได้ง่ายที่สุดแบบหนึ่ง การบรรยายลักษณะของสีหรือการวัดค่าสีจึงมีบทบาทสำคัญ แต่มาตรฐานของการบรรยายลักษณะของสีอาจแตกต่างกันได้ทำให้ต้องมีข้อกำหนดมาตรฐานกำหนดค่าสีขึ้น เพื่อให้เป็นมาตรฐานสากลเพื่อสะดวกในการอ้างอิงสำหรับการบรรยายลักษณะของสีโดยใช้เทคนิคสเปกโทรสโกปี (Spectroscopy) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) อาศัยทฤษฎีที่ว่าวัตถุมีสีจะดูดซับและสะท้อนคลื่นแสงในย่านที่ตามองเห็น (Visible light) ตามลักษณะสีบนวัตถุ

การวิเคราะห์ทางเคมีด้วยวิธีสเปกโทรสโกปี (spectroscopic method) เป็นวิธีวิเคราะห์ที่อาศัยการเกิดอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) กับสสาร (matter) แสงในย่านที่ตามองเห็น (Visible light) ประกอบด้วยช่วงคลื่นแคบๆ ของสเปกตรัมช่วงแสงที่มีสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งแต่ละช่วงคลื่นจะมีสีเฉพาะที่สามารถมองเห็นด้วยตา โดยมีช่วงคลื่นตั้งแต่ 380 นาโนเมตร ถึง 780 นาโนเมตร แถบสเปกตรัมในช่วงวิซิเบิลแสดงดังภาพ

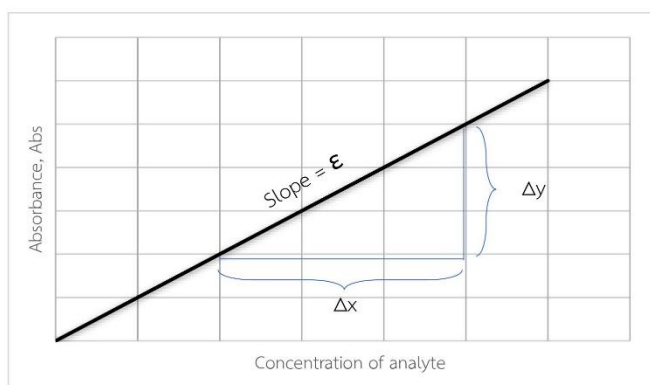


ภาพประกอบ 3 แถบสเปกตรัม

4 ขันขยายความรู้

การประยุกต์ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ

การทำกราฟมาตรฐานความเข้มข้นจากกฎของเบียร์ “ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารที่สนใจที่สามารถดูดกลืนแสงได้ (absorbing analyte species)” ดังนั้นเมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่สนใจและค่าการดูดกลืนแสงมาสร้างกราฟ จะได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง เรียกว่ากราฟมาตรฐาน (calibration curve) เมื่อค่าการดูดกลืนแสง (absorbance, A) เป็นแกน y และความเข้มข้น (concentration, C) เป็นแกน x จะได้กราฟเส้นตรงที่มีค่าความชันเท่ากับ ϵb และเมื่อ b เท่ากับ 1 ความชันจึงเท่ากับ ϵ ดังแสดงในภาพ



ภาพประกอบ 9 กราฟมาตรฐาน (calibration curve)

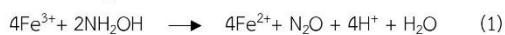
จุดประสงค์ที่สำคัญของการทำกราฟความเข้มข้นมาตรฐานเพื่อให้ได้สัญญาณการดูดกลืนแสงจากเครื่องมือวัดในขณะนั้น เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน (external standard solution) ที่ความเข้มข้นต่างกันตามลำดับ (concentration series) สัญญาณการดูดกลืนแสงที่ได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นตามกฎของเบียร์



และที่สำคัญกราฟความเข้มข้นมาตรฐานจะเป็นเครื่องมือในการหาความเข้มข้นของสารที่สนใจในสารตัวอย่าง โดยอาศัยสมการเส้นตรงของกราฟความเข้มข้นมาตรฐานวิธีการสร้างกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน ทำได้โดยนำสารละลายมาตรฐาน (standard solution) ที่ทราบค่าความเข้มข้นที่แน่นอนอย่างน้อย 5-6 ความเข้มข้น มาวัดค่าการดูดกลืนแสง จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ของแต่ละความเข้มข้นได้เขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสง จะได้กราฟความเข้มข้นมาตรฐาน ส่วนสารตัวอย่างเราไม่ทราบความเข้มข้นของสารที่สนใจ เมื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเดียวกับวิธีการทำกราฟความเข้มข้นมาตรฐาน เครื่องมือจะรายงานค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างไปหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างโดยอาศัยสมการเส้นตรง เราจะทราบค่าความเข้มข้นของสารที่สนใจในสารตัวอย่างได้

การวิเคราะห์ปริมาณเหล็กด้วยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสง

การวิเคราะห์ปริมาณเหล็กด้วยวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสง ทำได้โดยให้เกิดไอออนเชิงซ้อนที่มีสี (สีแดงถึงส้ม) ระหว่าง Fe^{2+} กับ 1,10-phenanthroline ที่เรียกว่าไอออนเชิงซ้อนเหล็กที่แนนโทรลีน (Fe-Phen) ซึ่งดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 nm โดยควบคุม pH ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ประมาณ pH 3.5 เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดตะกอนเป็น $\text{Fe}(\text{OH})_2$ และจะต้องเติมตัวรีดิวซ์เพื่อทำการรีดิวซ์เหล็กทั้งหมดในสารละลายให้เป็น Fe^{2+} เสียก่อนโดยใช้สารละลายไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ (hydroxylamine hydrochloride) สีของไอออนเชิงซ้อนระหว่างเหล็ก (II) กับที่แนนโทรลีนจะเสถียรได้นาน ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นแสดงด้านล่าง



ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นด้วยโปรแกรม ImageJ

1. เปิดโปรแกรม ImageJ > File > Open ภาพที่ต้องการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้น
2. เลือกเมนู Image > Type > 8-bit
3. เลือกเมนู Analysis



เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี

เครื่องมือและอุปกรณ์	สารเคมี
1. เครื่องชั่งอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง	1. น้ำปราศจากไอออน
2. เครื่องกวนสารชนิดให้ความร้อน	2. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H_2SO_4)
	3. กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
	4. แอมโมเนียมไอรอน (III) ซัลเฟต ($NH_4Fe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$)
	5. ไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ ($NH_2OH \cdot HCl$)
	6. 1,10 - ฟิแนนโทรีน ($C_{12}H_8N_2$)
	7. โซเดียมอะซิเตต ($CH_3COONa \cdot 3H_2O$)

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การเตรียมกราฟมาตรฐาน

1. เปิดตสารละลายมาตรฐานเหล็กความเข้มข้น 10 ppm ที่มีปริมาตร 1.00, 2.00, 5.00, 10.00 และ 25.00 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL จำนวน 5 ใบตามลำดับ จากนั้นเปิดตสารละลายไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ ปริมาตร 1.00 mL เปิดตสารละลายฟิแนนโทรีนปริมาตร 5 mL และเปิดตสารละลายโซเดียมอะซิเตตปริมาตร 8.00 mL ลงในขวดวัดปริมาตรที่บรรจุสารละลายมาตรฐานเหล็กทั้ง 5 ขวด แล้วเติมน้ำกลั่นจนครบปริมาตร เขย่าสารให้เข้ากันดีแล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 15 นาที จนสารละลายทุกขวดมีสีคงที่ จะได้สารละลายมาตรฐานเชิงซ้อนระหว่างเหล็กกับฟิแนนโทรีนที่มีเหล็กเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 และ 2.5 ppm ตามลำดับ

2. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 แต่ใช้น้ำกลั่นปริมาตร 50 mL แทนสารละลายมาตรฐานเหล็กไว้เป็นสารละลายแบล็ก

3. นำสารละลายข้อ 1 ที่บรรจุลงในขวดวัดปริมาตรทั้ง 5 ใบ และสารละลายในข้อ 2 ไปวัดค่าความเข้มข้น

4. นำค่าความเข้มข้นที่วัดได้ไปพลอตกราฟกับค่าเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็กที่แตกต่างกันจะได้กราฟมาตรฐานออกมา



ตอนที่ 2 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก

ปิเปตต์สารละลายตัวอย่างเหล็กปริมาตร 10.00 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL จำนวน 3 ขวด แล้วทำตามขั้นตอนข้อที่ 1 แล้วนำไปวัดค่าความเข้มข้นเช่นเดียวกับข้อ 3 นำค่าความเข้มข้นที่ได้ไปเทียบกับกราฟมาตรฐานในข้อ 4 เพื่อคำนวณหาปริมาณเหล็กในน้ำตัวอย่าง หน่วย ppm



กิจกรรมเคมีย่อส่วน

คำชี้แจง ให้นิสิตแต่ละกลุ่มคำนวณหาปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง โดยการลดปริมาตรสารเคมีที่ใช้ให้เหลือไม่เกิน 1000 ไมโครลิตร

ตาราง การเตรียมสารละลายมาตรฐานเหล็กสำหรับทำกราฟมาตรฐานในระดับไมโครสเกล

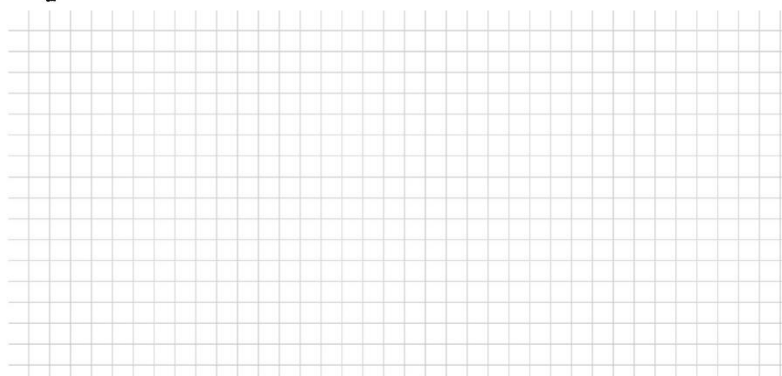
ขวดที่	[Fe ²⁺] (μL)	Hydroxylamine (μL)	1,10-phenanthroline (μL)	Sodium acetate (μL)	ปริมาตรน้ำที่ใช้ (μL)
1					
2					
3					
4					
5					
สาร					
ตัวอย่าง					



บันทึกผลการทดลอง

ปริมาตร (μL)		ความเข้มข้น	
สารละลายมาตรฐาน เหล็ก 10 ppm	สารละลาย ตัวอย่าง	สารละลายผสม	เหล็กในสารละลาย ผสม (ppm)
			ค่าความเข้มข้น

กราฟมาตรฐาน



ดังนั้นความเข้มข้นของเหล็กในสารละลายตัวอย่าง = _____ ppm



สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

อภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

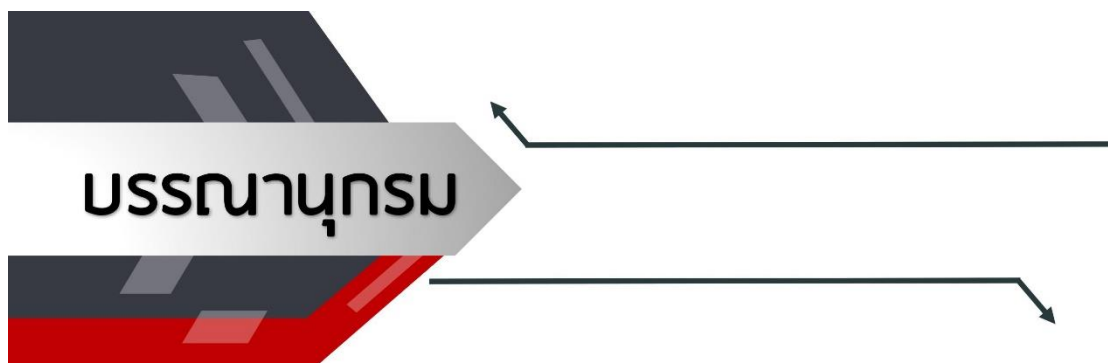
.....



บัตรกิจกรรม

คำชี้แจง จงเขียนเครื่องหมาย \checkmark หน้าข้อที่ถูกต้อง และเขียน \times หน้าข้อที่ผิด

- 1. กฎของเบียร์ (Beer's law) กล่าวว่าแสงที่ถูกดูดกลืนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร
- 2. คิวเวทท์ (cuvette หรือ cell) เป็นภาชนะสำหรับใส่ของเหลวที่จะนำไปวัดความเข้มของแสง มีอยู่แบบเดียวทำจากแก้ว
- 3. วัสดุคุณสมบัติเป็น thermoirreversible gel คือ เจลที่ไม่เปลี่ยนกลับเป็นของเหลวเมื่อได้รับความร้อน
- 4. การสร้างห้องปฏิบัติการบนชิปนิยมใช้วัสดุประเภทพอลิเมอร์
- 5. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารที่สนใจและค่าการดูดกลืนแสงมาสร้างกราฟ จะได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง เรียกว่ากราฟมาตรฐาน (calibration curve)



Brophy, S., Klein, S., Portsmore, M., & Rogers, C. (2008). Advancing Engineering Education in P-12 Classrooms. *Journal of Engineering Education*, 97(3), 369 – 387.

Castillo, L., & Jaime. (2015). Lab on a Chip Devices. London: Springer

EdLeader21. (2014). 4Cs Rubrics: Additional Resources. United States.

Partnership for 21st Century Skills. (2009). Framework for 21st Century Learning. United States: Tucson.

Paolo Zucca. (2016). Agarose and Its Derivatives as Supports for Enzyme Immobilization. *Journal molecules*. 21, 1577.

แมน อมรสิทธิ์ และคณะ. (2558) หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. กรุงเทพฯ : ศูนย์หนังสือ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมสกุล เผ่าจินตามุข. (2547). Lab On Chip ห้องปฏิบัติการตารางนิ้ว. สืบค้นเมื่อ กุมภาพันธ์ 16, 2563, จาก https://www.nectec.or.th/bid/mkt_info_tech_labonchip.html

อดิสร เตื่อนตรานนท์ และคณะ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. (2556). ห้องปฏิบัติการของไหลจุลภาคบนชิปที่มีวัสดุนาโนประกอบรวมสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมีอย่างรวดเร็ว. Retrieved from กรุงเทพฯ: file:///C:/Users/user/Downloads/RSA5380005_full.pdf

แบบประเมินการออกแบบผลงาน

ประเมินกลุ่มที่ ผู้ประเมิน

คำชี้แจง

1. การประเมินจะใช้ผู้ประเมิน 2 ท่านในการสังเกตและให้คะแนน โดยระดับการให้คะแนนจะมีระดับคะแนนเป็น 4, 3, 2 และ 1 แล้วให้คะแนนตามเกณฑ์ที่ระบุไว้ในแต่ละขั้นตอนที่แนบมาพร้อมกับแบบประเมิน
2. ทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องคะแนนแต่ละข้อตามพฤติกรรมที่สังเกตเห็นตรงตามข้อที่กำหนด

ประเมินหน้า	รายการประเมินการออกแบบผลงาน		ผลการประเมิน
ด้านความคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา			
1. การค้นคว้าข้อมูล	4	- สามารถค้นคว้าข้อมูลที่กำหนดได้ - สามารถหาข้อมูลอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการสร้างชิ้นงาน - สามารถสรุปผลจากการศึกษาค้นคว้าได้ - มีการอ้างอิงจากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ	
	3	- สามารถค้นคว้าข้อมูลที่กำหนดให้ได้ - สามารถหาข้อมูลอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการสร้างชิ้นงาน - สามารถสรุปผลจากการศึกษาค้นคว้าได้	
	2	- สามารถค้นคว้าข้อมูลที่กำหนดให้ได้ - สามารถหาข้อมูลอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการสร้างชิ้นงาน	
	1	- สามารถค้นคว้าข้อมูลที่กำหนดให้ได้	
2. วิธีการแก้ปัญหา	4	- สามารถระบุปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการทดลองได้ - สามารถคิดหาวิธีการแก้ปัญหาได้อย่างน้อย 2 วิธี - ระบุขั้นตอนกระบวนการในการแก้ปัญหาได้ - ตรวจสอบวิธีการว่าได้ดำเนินการแก้ปัญหตามแผนที่วางไว้ได้	
	3	- สามารถระบุปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการทดลองได้ - สามารถคิดหาวิธีการแก้ปัญหาได้อย่างน้อย 2 วิธี - ระบุขั้นตอนกระบวนการในการแก้ปัญหาได้	
	2	- สามารถระบุปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการทดลองได้ - สามารถคิดหาวิธีการแก้ปัญหาได้อย่างน้อย 1 วิธี	
	1	- สามารถระบุปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการทดลองได้	

ประเมินหน้า	รายการประเมินการออกแบบผลงาน		ผลการประเมิน
ด้านความคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา			
3. การใช้เหตุผล	4	- สามารถอธิบายเหตุผลสัมพันธ์กับปัญหาในการสร้างชีพได้ - สามารถสรุปผลจากการศึกษาค้นคว้าได้ - ยกตัวอย่างเหตุผลในการปรับปรุงแก้ไขได้อย่างน้อย 2 ข้อ - สามารถบอกรายละเอียดอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการสร้างชิ้นงาน	
	3	- สามารถอธิบายเหตุผลสัมพันธ์กับปัญหาในการสร้างชีพได้ - สามารถสรุปผลจากการศึกษาค้นคว้าได้ - ยกตัวอย่างเหตุผลในการปรับปรุงแก้ไขได้อย่างน้อย 2 ข้อ	
	2	- สามารถอธิบายเหตุผลสัมพันธ์กับปัญหาในการสร้างชีพได้ - สามารถสรุปผลจากการศึกษาค้นคว้าได้	
	1	- สามารถอธิบายเหตุผลสัมพันธ์กับปัญหาในการสร้างชีพได้	
ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม			
1. การเกิดความคิดใหม่ๆ	4	- ออกแบบแม่พิมพ์อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชีพได้ - รูปแบบของแม่พิมพ์สามารถนำไปใช้ได้จริง - บอกรายละเอียดของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชีพได้อย่างน้อย 2 องค์ประกอบ - บอกเหตุผลในการเลือกใช้วัสดุในการประดิษฐ์แม่พิมพ์ได้อย่างน้อย 2 ข้อ	
	3	- ออกแบบแม่พิมพ์อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชีพได้ - รูปแบบของแม่พิมพ์สามารถนำไปใช้ได้จริง - บอกรายละเอียดของอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชีพได้อย่างน้อย 2 องค์ประกอบ	
	2	- ออกแบบแม่พิมพ์อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชีพได้ - รูปแบบของแม่พิมพ์สามารถนำไปใช้ได้จริง	
	1	- ออกแบบแม่พิมพ์อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชีพได้	

ประเมินหน้า	รายการประเมินการออกแบบผลงาน	ผลการประเมิน อยู่ในระดับ
ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม		
2. ริเริ่มผลิตสิ่งใหม่ หรือสร้างนวัตกรรม	4	<ul style="list-style-type: none"> - การออกแบบชิ้นงานสามารถนำไปปฏิบัติได้จริงร้อยละ 80 ขึ้นไป - การออกแบบชิ้นงานสอดคล้องกับทฤษฎีการผสมสารในช่องของไหลที่มีขนาดเล็ก - รูปแบบของชิ้นงานที่ออกแบบขึ้น มีความแตกต่างจากตัวอย่างที่กำหนดให้ - ใช้อุปกรณ์ในการสร้างชิ้นงานหลากหลายและแตกต่างจากกลุ่มอื่น
	3	<ul style="list-style-type: none"> - การออกแบบชิ้นงานสามารถนำไปปฏิบัติได้จริงร้อยละ 80 ขึ้นไป - การออกแบบชิ้นงานสอดคล้องกับทฤษฎีการผสมสารในช่องของไหลที่มีขนาดเล็ก - รูปแบบของชิ้นงานที่ออกแบบขึ้น มีความแตกต่างจากตัวอย่างที่กำหนดให้
	2	<ul style="list-style-type: none"> - การออกแบบชิ้นงานสามารถนำไปปฏิบัติได้จริงร้อยละ 80 ขึ้นไป - การออกแบบชิ้นงานสอดคล้องกับทฤษฎีการผสมสารในช่องของไหลที่มีขนาดเล็ก
	1	<ul style="list-style-type: none"> - การออกแบบชิ้นงานสามารถนำไปปฏิบัติได้จริงร้อยละ 80 ขึ้นไป
3. รูปแบบความคิด	4	<ul style="list-style-type: none"> - บอกความสัมพันธ์ระหว่างทฤษฎีกับชิ้นงานที่สร้างขึ้นได้ - บอกเหตุผลในการออกแบบและปรับปรุงชิ้นงานได้เป็นเหตุเป็นผล - คำนวนหาปริมาณสารเคมีที่ใช้ได้เมื่อต้องลดปริมาณสารเคมีลงได้ - อภิปรายผลการทดลองได้
	3	<ul style="list-style-type: none"> - บอกความสัมพันธ์ระหว่างทฤษฎีกับชิ้นงานที่สร้างขึ้นได้ - บอกเหตุผลในการออกแบบและปรับปรุงชิ้นงานได้เป็นเหตุเป็นผล - คำนวนหาปริมาณสารเคมีที่ใช้ได้เมื่อต้องลดปริมาณสารเคมีลงได้
	2	<ul style="list-style-type: none"> - บอกความสัมพันธ์ระหว่างทฤษฎีกับชิ้นงานที่สร้างขึ้นได้ - บอกเหตุผลในการออกแบบและปรับปรุงชิ้นงานได้เป็นเหตุเป็นผล
	1	<ul style="list-style-type: none"> - บอกความสัมพันธ์ระหว่างทฤษฎีกับชิ้นงานที่สร้างขึ้นได้

แบบประเมินชิ้นงาน

คำชี้แจง

1. การประเมินจะใช้ผู้ประเมิน 2 ท่านในการสังเกตและให้คะแนน โดยระดับการให้คะแนนจะมีระดับคะแนนเป็น 4, 3, 2 และ 1 แล้วให้คะแนนตามเกณฑ์ที่ระบุไว้ในแต่ละขั้นตอนที่แนบมาพร้อมกับแบบประเมิน

ประเมินหน้า	รายการประเมินชิ้นงาน	ผลการประเมิน
ด้านวิธีการสร้างสรรค์ชิ้นงาน		
1. สร้างชิ้นงานได้ตามการออกแบบ	4	- สร้างชิ้นงานตามขนาดที่กำหนด - ใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ - ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับชิ้นงาน - เก็บรายละเอียดได้สวยงาม
	3	- สร้างชิ้นงานตามขนาดที่กำหนด - ใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ - ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับชิ้นงาน
	2	- สร้างชิ้นงานตามขนาดที่กำหนด - ใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์
	1	- สร้างชิ้นงานตามขนาดที่กำหนด
2. วิธีการสร้างชิ้นงานสามารถทำตามได้ง่าย	4	- วิธีการสร้างชิ้นงานทำได้ตามเงื่อนไขภายในเวลาที่กำหนด - ทำซ้ำได้อย่างน้อย 2 ครั้งขึ้นไป - วัสดุที่ใช้มีจำนวนพอเหมาะกับงาน - สามารถนำไปใช้ได้จริง
	3	- วิธีการสร้างชิ้นงานทำได้ตามเงื่อนไขภายในเวลาที่กำหนด - ทำซ้ำได้อย่างน้อย 2 ครั้งขึ้นไป - วัสดุที่ใช้มีจำนวนพอเหมาะกับงาน
	2	- วิธีการสร้างชิ้นงานทำได้ตามเงื่อนไขภายในเวลาที่กำหนด - ทำซ้ำได้อย่างน้อย 2 ครั้งขึ้นไป
	1	- วิธีการสร้างชิ้นงานทำได้ตามเงื่อนไขภายในเวลาที่กำหนด

เกณฑ์ในการประเมินชิ้นงาน

ประเมินหน้า	รายการประเมินชิ้นงาน	ผลการประเมิน
ด้านคุณภาพของชิ้นงาน		
1. ความคงทน	4	- สร้างชิ้นงานตามขนาดที่กำหนด - ใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ - ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับชิ้นงาน - เก็บรายละเอียดได้สวยงาม
	3	- สร้างชิ้นงานตามขนาดที่กำหนด - ใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ - ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับชิ้นงาน
	2	- สร้างชิ้นงานตามขนาดที่กำหนด - ใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์
	1	- สร้างชิ้นงานตามขนาดที่กำหนด
2. ความเหมาะสม	4	- มีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของงาน - ขนาดเหมาะสมกับการใช้งาน - ชิ้นงานสามารถหดยศสารเคมีได้ง่าย - เก็บรายละเอียดได้เรียบร้อย
	3	- มีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของงาน - ขนาดเหมาะสมกับการใช้งาน - ชิ้นงานสามารถหดยศสารเคมีได้ง่าย
	2	- มีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของงาน - ขนาดเหมาะสมกับการใช้งาน
	1	- มีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของงาน

เกณฑ์ในการประเมินชิ้นงาน

ประเมินหน้า	รายการประเมินชิ้นงาน		ผลการประเมิน
ด้านคุณภาพของชิ้นงาน			
1. ความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์	4	ผลการทดลองมีค่าความถูกต้องสัมพัทธ์ (Relative accuracy) ระหว่าง 90-95	
	3	ผลการทดลองมีค่าความถูกต้องสัมพัทธ์ (Relative accuracy) ระหว่าง 96-100	
	2	ผลการทดลองมีค่าความถูกต้องสัมพัทธ์ (Relative accuracy) ระหว่าง 101-110	
	1	ผลการทดลองมีค่าความถูกต้องสัมพัทธ์ (Relative accuracy) ระหว่าง 110 ขึ้นไป	

แบบสังเกตพฤติกรรมการสื่อสารและร่วมมือทำงาน

คำชี้แจง

1. การประเมินจะใช้ผู้ประเมิน 2 ท่านในการสังเกตและให้คะแนน โดยระดับการให้คะแนนจะมีระดับคะแนนเป็น 4, 3, 2 และ 1 แล้วให้คะแนนตามเกณฑ์ที่ระบุไว้ในแต่ละขั้นตอนที่แนบมาพร้อมกับแบบประเมิน
2. ทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องคะแนนแต่ละข้อตามพฤติกรรมที่สังเกตเห็นตรงตามข้อกำหนด

รายการประเมิน	ผลการประเมินอยู่ในระดับ			
	4	3	2	1
1. มีส่วนร่วมในการสนทนาหรืออภิปราย				
2. รับฟังผู้อื่น				
3. การใช้ภาษา				
รวม				
ระดับ				

เกณฑ์การให้คะแนน

ระดับ	ช่วงคะแนน
ปรับปรุง	3-4
พอใช้	5-6
ดี	7-8
ดีมาก	9-12

เกณฑ์การประเมินพฤติกรรมสื่อสารและร่วมมือทำงาน

รายการประเมิน	ระดับทักษะ	คำอธิบาย
1. มีส่วนร่วมในการสนทนาหรืออภิปราย	4	- สมาชิกทุกคนมีส่วนร่วมในการสนทนาหรืออภิปราย - กระตือรือร้นในการเรียนรู้ ซักถามในสิ่งที่สนใจ - ไม่คุยเล่นระหว่างเรียน - แลกเปลี่ยนความรู้และแสดงความคิดเห็นในกลุ่มและระหว่างกลุ่มเป็นประจำ
	3	- สมาชิกทุกคนมีส่วนร่วมในการสนทนาหรืออภิปราย - กระตือรือร้นในการเรียนรู้ ซักถามในสิ่งที่สนใจ - ไม่คุยเล่นระหว่างเรียน
	2	- สมาชิกทุกคนมีส่วนร่วมในการสนทนาหรืออภิปราย - กระตือรือร้นในการเรียนรู้ ซักถามในสิ่งที่สนใจ
	1	- สมาชิกทุกคนมีส่วนร่วมในการสนทนาหรืออภิปราย
2. ความตรงต่อเวลา	4	มีความตรงต่อเวลาอย่างสม่ำเสมอมากกว่าร้อยละ 90 ของการปฏิบัติงาน
	3	มีความตรงต่อเวลาอย่างสม่ำเสมอมากกว่าร้อยละ 70 ของการปฏิบัติงาน
	2	มีความตรงต่อเวลาเป็นส่วนใหญ่มากกว่า ร้อยละ 50 ของการปฏิบัติงาน
	1	มีความตรงต่อเวลาน้อยมาน้อยกว่าร้อยละ 30 ของการปฏิบัติงาน

เกณฑ์การประเมินพฤติกรรมการสื่อสารและร่วมมือทำงาน

รายการประเมิน	ระดับทักษะ	คำอธิบาย
3. การใช้ภาษา	4	มีการใช้คำศัพท์ ไวยากรณ์ ตัวสะกดและเครื่องหมายวรรคตอนได้ ถูกต้องครบถ้วนหรือมีที่ผิดพลาดไม่เกิน 3 แห่ง
	3	มีการใช้คำศัพท์ ไวยากรณ์ ตัวสะกดและเครื่องหมายวรรคตอนได้ดี มีที่ผิดพลาดรวมกันอยู่ระหว่าง 4-5 แห่ง
	2	มีการใช้คำศัพท์ ไวยากรณ์ ตัวสะกดและเครื่องหมายวรรคตอนได้ ถูกต้องพอใช้หรือมีที่ผิดพลาดรวมกันอยู่ระหว่าง 5-8 แห่ง
	1	มีการใช้คำศัพท์ ไวยากรณ์ ตัวสะกดและเครื่องหมายวรรคตอน ผิดพลาดมากกว่า 8 แห่งขึ้นไป

เกณฑ์การประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม

ผู้วิจัยกำหนดการประเมินโดยดัดแปลงการให้คะแนนของ EdLeader21 ชุมชนแห่งการเรียนรู้ของผู้เชี่ยวชาญของสหรัฐอเมริกา (EdLeader21, 2013) โดยแบ่งระดับตามระดับทักษะดังนี้

เกณฑ์การประเมินการออกแบบผลงาน

ระดับทักษะ	ปรับปรุง	พอใช้	ดี	ดีมาก
ช่วงคะแนน	0-5	6-11	12-17	18-24

เกณฑ์การประเมินชิ้นงาน

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

เกณฑ์การประเมินพฤติกรรมการสื่อสารและร่วมมือทำงาน

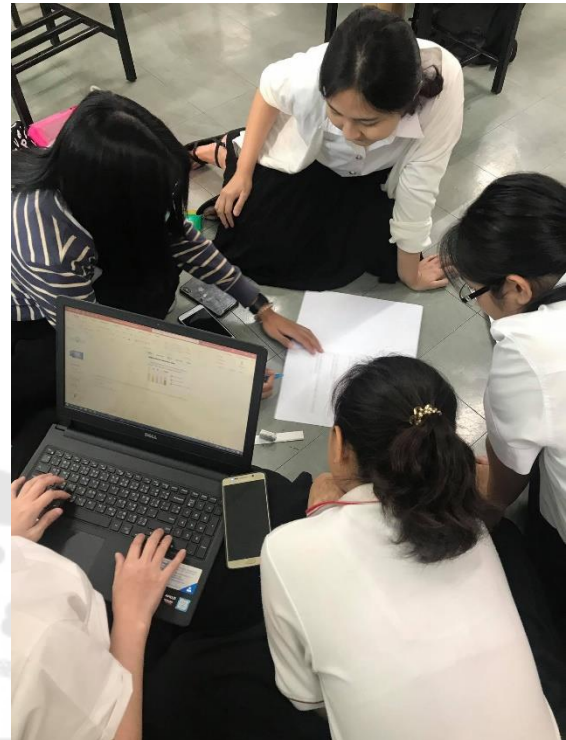
ระดับทักษะ	ปรับปรุง	พอใช้	ดี	ดีมาก
ช่วงคะแนน	0-2	3-5	6-8	9-12

เกณฑ์สรุปผลการประเมินทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม

ระดับทักษะ	ปรับปรุง	พอใช้	ดี	ดีมาก
ช่วงคะแนน	0-15	16-31	32-47	48-64







ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ปิยธิดา สุภา
วัน เดือน ปี เกิด	24 มกราคม 2538
สถานที่เกิด	หนองคาย
วุฒิการศึกษา	การศึกษาระดับบัณฑิต สาขาวิชาเคมี จากมหาวิทยาลัยนเรศวร
ที่อยู่ปัจจุบัน	311 หมู่ 1 ตำบลกอนนาง อำเภอน้ำขุ่น จังหวัดหนองคาย 43110
ผลงานตีพิมพ์	ผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลองแบบสืบเสาะหาความรู้ ที่มีต่อ ทักษะการคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหาของนิสิตครู

