



การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐาน
กระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
สำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี

DEVELOPMENT OF CHEMISTRY LABORATORY ON DETERMINATION OF SUGAR BY
USING PAPER-BASED ANALYTICAL DEVICES WITH COLORIMETRIC METHOD TO

CHANTHALANGSONE KONGKA

การพัฒนาศักยภาพปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐาน
กระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
สำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

DEVELOPMENT OF CHEMISTRY LABORATORY ON DETERMINATION OF SUGAR BY
USING PAPER-BASED ANALYTICAL DEVICES WITH COLORIMETRIC METHOD TO
ENHANCE THE CREATIVITY AND INNOVATION SKILLS FOR UNDERGRADUATE
STUDENTS



CHANTHALANGSONE KONGKA

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

Faculty of Science, Srinakharinwirot University

2020

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนานาบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐาน
กระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
สำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี

ของ

CHANTHALANGSONE KONGKA

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ดรบัณฑิต)

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรรณี ลีกิจวัฒน์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะดา จิตรตั้ง
ประเสริฐ)

ชื่อเรื่อง	การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบ สี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิต ระดับปริญญาตรี
ผู้วิจัย	CHANTHALANGSONE KONGKA
ปริญญา	การศึกษามหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2563
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยรัตน์ ตรีบัณฑิต

การวิจัยครั้งนี้มีความมุ่งหมาย เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรีและศึกษาทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตระดับปริญญาตรี กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย คือ นิสิตหลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ชั้นปีที่ 4 จำนวน 24 คน ปีการศึกษา 2563 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย บทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีและแบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ผลวิจัยพบว่า 1. บทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี มีความเหมาะสมและมีความสอดคล้องในระดับมาก 2. นิสิตที่ได้เรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมี มีทักษะความคิดสร้างสรรค์ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 3. นิสิตระดับปริญญาตรีที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี มีทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังเรียนอยู่ในระดับดีมาก

คำสำคัญ : อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ, ทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม, บทปฏิบัติการเคมี, การหาปริมาณน้ำตาล, การวิเคราะห์แบบเทียบสี

Title DEVELOPMENT OF CHEMISTRY LABORATORY ON
DETERMINATION OF SUGAR BY USING PAPER-BASED
ANALYTICAL DEVICES WITH COLORIMETRIC METHOD TO
ENHANCE THE CREATIVITY AND INNOVATION SKILLS FOR
UNDERGRADUATE STUDENTS

Author CHANTHALANGSONE KONGKA

Degree MASTER OF EDUCATION

Academic Year 2020

Thesis Advisor Assistant Professor Dr. Piyarat Doonbhundit

This research aimed to develop a chemistry laboratory for the determination of sugar by using paper-based analytical devices, along with the colorimetric method to enhance the creativity and innovation skills for undergraduate students. There were 24 research samples, selected by purposive sampling, who were fourth-year for undergraduate students in the Chemistry Education Program at Srinakharinwirot University in the 2020 academic year. The research instruments consisted of chemistry laboratory for the determination of sugar using paper-based analytical devices with the colorimetric method and a creativity and innovation skills assessment form. The results revealed the following: (1) the results of the expert evaluation showed that the quality of the developed laboratory was at a high level; and (2) studying the developed chemistry laboratory on the determination of sugar and using paper-based analysis devices with the colorimetric method enhanced the creativity and innovation skills of undergraduate students, the posttest on creativity skill was higher than the pretest at a significant level of .05, and after studying the developed chemistry laboratory, the posttest results in terms of creativity and innovation skills were at a high level.

Keyword : Chemistry laboratory development, Sugar determination, Paper-based analytical devices, Colorimetric method, Creativity and innovation skills

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจาก ผู้วิจัยได้รับความกรุณาอย่างยิ่งและให้คำแนะนำแนวในการทำวิจัยจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยรัตน์ ครอบรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่ท่านได้เสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือโดยตลอดการทำวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พรณิสี กิจวัฒน์ ที่ให้ความกรุณาเป็นประธานในการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์ตลอดจนให้คำแนะนำต่าง ๆ เพื่อให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ ส่งศรีโรจน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ และอาจารย์ ดร. ชัชฎาภรณ์ พินทอง ที่ให้ความกรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยอย่างดี โดยให้คำแนะนำตลอดจนแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องมือให้ดียิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาคเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้และให้ความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัยเป็นอย่างดีตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณกระทรวงการต่างประเทศโดยกรมความร่วมมือระหว่างประเทศ (Thailand International Cooperation Agency - TICA) ที่สนับสนุนเงินทุนการศึกษาและทุนการวิจัยงานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและสมาชิกในครอบครัวที่ได้สนับสนุนเป็นกำลังใจที่ดีให้แก่ผู้วิจัยเสมอมาจนประสบความสำเร็จในครั้งนี้ ขอขอบคุณกัลยาณมิตรทุกท่านที่ให้การช่วยเหลือกันเสมอมา

CHANTHALANGSONE KONGKA

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	4
ความสำคัญของงานวิจัย	4
ขอบเขตของการวิจัย	4
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	5
กรอบแนวคิดของการวิจัย	6
สมมติฐานในการวิจัย.....	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
1. วิเคราะห์หลักสูตรและเนื้อหาสาระวิชาปฏิบัติการมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	8
2. การวิเคราะห์น้ำตาล.....	9
2.1 น้ำตาล	9
2.2 การวิเคราะห์น้ำตาลเชิงคุณภาพ	10
2.3 การวิเคราะห์น้ำตาลเชิงปริมาณ	12
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์น้ำตาล	14

3. อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ (Paper-based analytical devices; μ PADs) ...	15
3.1 ความหมาย	15
3.2 วิธีการขึ้นรูปอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ	15
3.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ	17
4. ทักษะในศตวรรษที่ 21	18
4.1 กรอบแนวคิดเพื่อการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21	18
4.2 องค์ประกอบของทักษะในศตวรรษที่ 21	19
4.3 ทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม	21
4.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม	26
5. บทปฏิบัติการ	27
5.1 ความหมายของบทปฏิบัติการ	27
5.2 จุดมุ่งหมายในการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์	27
5.3 การจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์	28
5.4 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์	30
5.5 ประโยชน์ของการจัดการเรียนรู้แบบปฏิบัติการ	30
5.6 ขั้นตอนการสร้างบทปฏิบัติการ	31
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการ	33
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ	35
การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง	35
การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	36
การเก็บรวบรวมข้อมูล	50
การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล	53

บทที่ 4 ผลการวิจัย	55
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	55
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	63
ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	63
สมมติฐานในการวิจัย.....	63
วิธีดำเนินการวิจัย.....	64
สรุปผลการวิจัย.....	66
อภิปรายผลการวิจัย	66
ข้อเสนอแนะ	73
บรรณานุกรม	74
ภาคผนวก.....	81
ประวัติผู้เขียน.....	141

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 เปรียบเทียบความหวานของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ	10
ตาราง 2 ระยะเวลาในการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมีเรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้ อุปกรณ์การตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะ ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี	36
ตาราง 3 ขั้นตอนศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำตาลฟรุกโตสมาตรฐานและความเข้ม สี.....	38
ตาราง 4 ศึกษาความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่เหมาะสมในการเตรียมสารละลายเซลิวา นอฟล์.....	38
ตาราง 5 ขั้นตอนศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการรอให้อุปกรณ์ PADs แห้ง	39
ตาราง 6 ขั้นตอนการสร้างกราฟมาตรฐาน	40
ตาราง 7 โครงสร้างบทปฏิบัติการเคมี เรื่องการหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี	44
ตาราง 8 ข้อเสนอแนะและการปรับปรุงแก้ไขบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาล โดยใช้ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี ตามคำแนะนำของ ผู้เชี่ยวชาญ.....	46
ตาราง 9 การประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมออกเป็น 2 การทดลอง	47
ตาราง 10 การประเมินระดับทักษะตามเกณฑ์คะแนน	48
ตาราง 11 เกณฑ์การประเมินเกณฑ์ระดับคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบผลงาน การทำงานอย่างสร้างสรรค์ การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์และการนำเสนอผลงานอย่าง สร้างสรรค์.....	49
ตาราง 12 แบบแผนการทดลอง	51
ตาราง 13 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี	51

ตาราง 14 ผลการเปรียบเทียบคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบการทดลองก่อน
และหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลในโดยใช้อุปกรณ์
ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี 56

ตาราง 15 ผลการประเมินคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยการประเมินด้าน
ความคิดสร้างสรรค์ การทำงานอย่างสร้างสรรค์ การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์และการนำเสนอ
งานอย่างสร้างสรรค์ของนิสิตหลังการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดย
ใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี 58



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดของงานวิจัย	6
ภาพประกอบ 2 โครงสร้างน้ำตาลฟรุคโตส	9
ภาพประกอบ 3 การทดสอบน้ำตาลด้วยโมลิช (Molisch's test)	10
ภาพประกอบ 4 การทดสอบน้ำตาลฟรุคโตสด้วยปฏิกิริยาเซลิวนอฟส์	11
ภาพประกอบ 5 การตรวจวิเคราะห์น้ำตาลซูโครสด้วยเอนไซม์อินเวอร์เทส กลูโคสออกซิเดสและเพอร์ออกซิเดส	13
ภาพประกอบ 6 การตรวจวิเคราะห์น้ำตาลฟรุคโตส ด้วยเอนไซม์ฟรุคโตสดีไฮโดรจีเนส	13
ภาพประกอบ 7 การตรวจวิเคราะห์น้ำตาลกลูโคส ด้วยเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส	14
ภาพประกอบ 8 อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ	15
ภาพประกอบ 9 อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษที่ประดิษฐ์จากการสกรีนด้วยเทียน	16
ภาพประกอบ 10 อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษที่ได้จากการวาดด้วยปากกากันน้ำ	16
ภาพประกอบ 11 กระบวนการประดิษฐ์อุปกรณ์ μ PADs ด้วยวิธีการใช้ตราประทับ ดังรูปภาพ (a) วางกระดาษพาราฟิน (Paraffinized, P-paper) อยู่ข้างบนของกระดาษ (n-paper) รูปภาพ (b) ตราประทับโลหะที่ถูกทำให้ร้อนที่ 150°C และวางลงด้านด้านบนพื้นผิวของกระดาษแล้วใช้แรงกดลง รูปภาพ (c) กระดาษพาราฟินที่ผ่านการใช้ปั๊มโลหะกดลง รูปภาพ (d) อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษที่สร้างขึ้น	17
ภาพประกอบ 12 การออกแบบอุปกรณ์ PADs	37
ภาพประกอบ 13 การทำงานร่วมกันของนิลิต	60
ภาพประกอบ 14 การเลือกวัสดุในการวาดขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของ PADs	61
ภาพประกอบ 15 ตัวอย่างอุปกรณ์ PADs ที่นิลิตประดิษฐ์	61
ภาพประกอบ 16 ตัวอย่างโปสเตอร์ของนิลิต	62
ภาพประกอบ 17 กระบวนการออกแบบวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ PADs ก่อนเรียนและหลังเรียน	68

ภาพประกอบ 18 ผลการออกแบบวิธีการทดลองของนิสิต	70
ภาพประกอบ 19 กระบวนการทำงานกลุ่มของนิสิต	71
ภาพประกอบ 20 ตัวอย่างอุปกรณ์ PADS ก. ก่อนปรับปรุง และ ข. หลังปรับปรุง.....	71
ภาพประกอบ 21 การนำเสนอผลงานของกลุ่มนิสิต	72



บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ในศตวรรษที่ 21 การเปลี่ยนแปลงของโลกส่งผลกระทบทางด้านเศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการเมืองของทุกประเทศอย่างรวดเร็ว (สำนักนโยบายและแผนการศึกษาและสำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2557) ด้วยเหตุผลนี้ ทำให้การศึกษาในปัจจุบันจึงมีการเปลี่ยนแปลงและพัฒนา ซึ่งทำให้รูปแบบการเรียนรู้ก็ต้องเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะด้านศึกษาต้องได้รับการพัฒนาหลักสูตรและการจัดการเรียนรู้เพื่อตอบสนองการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 (Partnership for 21st century Skills, 2009) ทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเป็นทักษะที่จำเป็นต้องนำไปใช้ในการพัฒนาผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 และมีความสำคัญสามอันดับแรกในการทำงานปัจจุบันและอนาคต (World Economic Forum, 2016) เพราะว่า ความคิดสร้างสรรค์เป็นทักษะขั้นสูง เพื่อเตรียมพร้อมในการตัดสินใจและแก้ปัญหา ไม่เพียงแต่จะสร้างคุณลักษณะที่ดีในการใช้ชีวิตและการทำงาน แต่ทักษะความคิดสร้างสรรค์ยังมีบทบาทอย่างมากในการกำหนดคุณภาพชีวิตของคนอีกด้วย ในกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้ว การทำงานที่ทำซ้ำ ๆ กันจะถูกแทนที่ด้วยเครื่องจักรและหุ่นยนต์ หากไม่สามารถพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ ให้มีทักษะความคิดสร้างสรรค์ เพื่อไปสู่งานเชิงสร้างสรรค์ได้ จากที่กล่าวมา ความคิดสร้างสรรค์มีความสำคัญในการพัฒนาศักยภาพของบุคคลมาก ไม่ว่าจะเป็นการดำเนินชีวิต เศรษฐกิจหรือสังคม (สุทธิดา จำรัส, 2020) ดังนั้น ความคิดสร้างสรรค์ คือ กระบวนการคิดของสมองที่สามารถคิดได้หลากหลายและแปลกใหม่จากเดิม โดยสามารถนำมาประยุกต์ทฤษฎีหรือ หลักการได้อย่างรอบคอบและมีความถูกต้อง จนนำไปสู่การคิดค้นและสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่แปลกใหม่จนก้าวไปสู่การสร้างเป็นนวัตกรรม (วีรภัทร จินตะไล, 2560) ความคิดสร้างสรรค์ยังเป็นรากฐานที่สำคัญประการหนึ่งของกระบวนการจัดการนวัตกรรม (กัลยา แก้วมา, 2558) และยังมี ความสำคัญในการขับเคลื่อนและการพัฒนาประเทศอีกด้วย สำหรับนวัตกรรม คือ สิ่งใหม่ที่เกิดจากการใช้ความรู้และความคิดสร้างสรรค์ ซึ่งขั้นตอนของการเกิดนวัตกรรม อย่างแรกจะต้องส่งเสริมให้คนมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ผลงาน จากนั้น จึงนำผลงานมาวิจัยทดลองและพัฒนา นำไปสู่สิ่งประดิษฐ์จนต่อยอดมาเป็นนวัตกรรม ดังนั้น นวัตกรรมจะเกิดขึ้นได้ย่อมมาจากความคิดสร้างสรรค์ของคนที่คิดหลากหลายวิธี เพื่อแก้ไขหรือปรับปรุง สิ่งที่ทำอยู่เดิมให้ดีขึ้นหรือมีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมทั้งคิดค้น ประดิษฐ์สิ่งใหม่ ๆ ขึ้นมา (สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ, 2549)

จากการศึกษาเอกสารเกี่ยวกับหลักสูตรการศึกษาระดับบัณฑิตสาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2560 พบว่าหลักสูตรการศึกษาระดับบัณฑิตมุ่งผลิตบัณฑิตวิชาชีพครู ให้เป็นผู้มีความรู้ทางเคมีและทางการศึกษา มีความสามารถ มีคุณธรรม จริยธรรม จรรยาบรรณปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงได้ โดยบูรณาการความรู้ จัดการเรียนรู้และเสริมสร้างประสบการณ์ให้แก่เยาวชนในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานเป็นบัณฑิตครู เป็นผู้มีความสามารถในการอยู่ในสังคมได้อย่างสร้างสรรค์และเพื่อการดำรงตนให้อยู่ในสังคมอย่างมีคุณภาพ บัณฑิตครูจึงเป็นบุคคลที่สำคัญยิ่งในการพัฒนาคนโดยการพัฒนาศึกษาและคุณภาพชีวิตเยาวชนของประเทศ (มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2560) ดังนั้น บทปฏิบัติการเคมี จึงเป็นการจัดการเรียนรู้ประเภทหนึ่งที่ทำให้ประสบการณ์ตรงแก่นิสิต ซึ่งนิสิตจะต้องได้ผ่านกระบวนการคิดการพิสูจน์และเห็นผลการทดลองด้วยตนเอง ส่งผลให้นิสิตได้ปฏิบัติจริงด้วยตัวเอง ได้ฝึกทักษะการทดลอง จนเกิดเป็นความชำนาญและสามารถแก้ปัญหาได้และยังได้พัฒนาคุณลักษณะความคิดสร้างสรรค์ระดับบุคคลอีกด้วย ดังนั้น การจัดการการเรียนรู้จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาบทปฏิบัติการให้มีความหลากหลาย (ยศวดี จูติวร, 2557)

อุปกรณ์วิเคราะห์แบบฐานกระดาษ (Paper-based analytical devices, PADs) เป็นเครื่องมือที่นำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ (ไตรรงค์ เปลี่ยนแสง, 2019) และเป็นอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ที่พัฒนามาจากกระดาษ สามารถใช้ในการตรวจหาสารต่าง ๆ ได้ ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ บริเวณที่ชอบน้ำ (Hydrophilic region) เป็นส่วนที่สารสามารถเคลื่อนที่ได้และขอบเขตไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic barrier) เป็นขอบเขตที่ช่วยจำกัดพื้นที่การเคลื่อนที่ของสาร (Martinez, 2007) เนื่องจากกระดาษมีคุณสมบัติในการดูดซับสารละลายและเป็นตัวกลางให้สารละลายไหลผ่านตามรูพรุนของกระดาษโดยอาศัยแรงซึมตามรูเล็ก (Capillary force) โดยไม่ต้องอาศัยแรงดึงจากภายนอก ทำให้กระดาษสามารถขนส่งและดึงสารไว้ได้ นอกจากนี้ อุปกรณ์ PADs ยังใช้สารในปริมาณน้อยในหน่วยไมโครลิตร ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถเตรียมง่ายและราคาถูกลง การประดิษฐ์ PADs มีหลายวิธี ได้แก่ การสกรีนด้วยซี่ผึ้ง (เบญจวรรณ นิลวงศ์, 2559) การวาดด้วยปากกา (Wang, 2015) วิธีการปั๊ม (Coltro, 2014) ในปัจจุบัน อุปกรณ์ PADs ได้นำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้หลายด้าน เช่น การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในน้ำ ด้วยวิธีการประดิษฐ์ด้วยปากกา (Wang, 2015) และการพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบแคลเซียมในตัวอย่างน้ำแร่ โดยการใช้สีเทียนวาดรูปวงกลมแล้วนำไปให้ความร้อน เป็นต้น (ไตรรงค์ เปลี่ยนแสง, 2019)

ในปัจจุบันการจัดการเรียนรู้ที่ผ่านมารายวิชา ปฏิบัติการเคมีทั่วไป 1 (คม 190) ในหัวข้อการทดสอบน้ำตาล มีหลายวิธี ได้แก่ การทดสอบโมลิช (Molisch's test) การทดสอบเฟลิ่ง

(Fehling's test) ทดสอบเบเนดิกต์ (Benedict's test) การทดสอบเซลิวานอฟฟ์ (Selivanoff's test) การทดสอบบาร์โฟด์ (Barfoed's test) เป็นต้น (Katoch, 2011; สมจิต ดำริห์อนันต์, 2557) ซึ่งวิธีดังกล่าวเป็นการทดสอบน้ำตาลในเชิงคุณภาพ มีงานวิจัยในการทดสอบน้ำตาลกลูโคสและซูโครสในเชิงคุณภาพ โดยศึกษาผลความเข้มข้นของความร้อนต่อการเกิดปฏิกิริยา เพื่อตรวจสอบองค์ประกอบทั่วไปของนม โดยทดสอบน้ำตาลกลูโคสด้วยสารละลายบาร์โฟด์และทดสอบน้ำตาลซูโครสด้วยสารละลายเซลิวานอฟฟ์ (Rameshbhai et al., 2017) นอกจากนี้การวิเคราะห์น้ำตาลในเชิงปริมาณ ได้แก่ High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ซึ่งเป็นวิธีที่จะต้องใช้เทคนิคเฉพาะและผู้ปฏิบัติงานต้องมีความเชี่ยวชาญ (Ilaslan, 2015) ดังนั้น ด้วยเหตุผลนี้ ผู้วิจัยต้องการพัฒนาทบทปฏิบัติการเคมี ในการตรวจสอบน้ำตาลจากเชิงคุณภาพเป็นการตรวจสอบน้ำตาลในเชิงปริมาณ โดยการวิเคราะห์แบบเทียบสี (Colorimetric method) เพราะเป็นวิธีที่ง่ายและสามารถมองเห็นการเปลี่ยนสีได้ด้วยตาเปล่าโดยใช้การถ่ายรูป จากนั้น จะส่งไปคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ความเข้มของสี โดยใช้โปรแกรม ImageJ ในการวิเคราะห์ ดังนั้นการพัฒนาวิธีการดังกล่าวจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเคมีในการหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้สารละลายเซลิวานอฟฟ์

จากเหตุผลดังกล่าวในข้างต้น ผู้วิจัยจึงต้องการพัฒนาทบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี โดยใช้ปฏิกิริยาเซลิวานอฟฟ์ (Selivanoff's test) เพราะว่า ปฏิกิริยาเซลิวานอฟฟ์มีความจำเพาะเจาะจง ในการตรวจสอบน้ำตาลฟรุกโตส ซึ่งสามารถจำแนกน้ำตาลคีโทส (Ketose) และอัลโดส (Aldose) ได้ เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายเซลิวานอฟฟ์และน้ำตาล น้ำตาลคีโทสจะถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบเฟอพิวรัล (furfural) ได้รวดเร็วและทำปฏิกิริยากับเรโซซินอล (Resorcinol) ที่อยู่ในสารละลายเซลิวานอฟฟ์ แล้วเกิดเป็นสารประกอบสีแดง (Cherry red) ส่วนน้ำตาลอัลโดส (Aldose) จะถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบเฟอพิวรัลได้ช้ากว่า ถ้าต้มสารละลายไปนาน ๆ จะเปลี่ยนเป็นสีชมพูจาง ๆ เท่านั้น ปฏิกิริยานี้จะให้ผลบวกกับน้ำตาลฟรุกโตสและซูโคส (Rameshbhai et al., 2017; Sánchez-Viesca, 2018) สำหรับขั้นตอนการประดิษฐ์อุปกรณ์ PADs จะใช้วิธีการวาดด้วยปากกากันน้ำในการวาดขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำและใช้ไม้บรรทัดวงกลมเป็นแม่แบบในการขึ้นรูป นอกจากนี้วิธีวิเคราะห์ทำได้โดยการหาช่วงที่สามารถตรวจวัดปริมาณน้ำตาลฟรุกโตส จากการสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลฟรุกโตส มาตรฐานกับค่าความเข้มสีที่ได้

จากโปรแกรม ImageJ แล้วนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ในสาขาวิชาเคมี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายของการวิจัยไว้ดังนี้

1. พัฒนารูปแบบปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี สำหรับใช้ในการจัดการเรียนรู้ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี

2. ส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตระดับปริญญาตรี ที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

ความสำคัญของงานวิจัย

บทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี สำหรับใช้ในการจัดการเรียนรู้

ขอบเขตของการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นิสิตระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ลงทะเบียนเรียนในรหัส ศษ 481 หลักสูตรและการสอน วิทยาศาสตร์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 จำนวน 24 คน ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling)

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรต้น คือ การจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

2. ตัวแปรตาม คือ ทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

เก็บข้อมูลการวิจัยในรายวิชา ศษ 481 หลักสูตรและการสอนวิทยาศาสตร์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์การตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี ระยะเวลาที่ใช้ 9 ชั่วโมงเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. บทปฏิบัติการเคมี หมายถึง บทเรียนที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีเพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับใช้ในการจัดการเรียนรู้ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี สำหรับใช้ในการจัดการเรียนรู้ของนิสิตระดับปริญญาตรี มีองค์ประกอบของบทปฏิบัติการได้แก่ ชื่อบทปฏิบัติการเคมี วัตถุประสงค์ หลักการ เครื่องมือและอุปกรณ์ สารเคมี และตัวอย่าง วิธีการทดลองและแบบบันทึกผลการทดลอง บทปฏิบัติการเคมี ประกอบด้วย 2 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 การประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ และการทดลองที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาลผู้วิจัยเตรียมขึ้น

2. ทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หมายถึง ความสามารถของนิสิตระดับปริญญาตรี ซึ่งประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) ความคิดสร้างสรรค์ 2) ทักษะการทำงานอย่างสร้างสรรค์ 3) ทักษะการใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์และ 4) ทักษะการนำเสนอผลงานอย่างสร้างสรรค์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ความคิดสร้างสรรค์ (Think Creatively) คือ การระดมความคิดจากปัญหาเกี่ยวกับการหาปริมาณน้ำตาลที่ทำให้เกิดปัญหาสุขภาพ และการออกแบบอุปกรณ์ PADS ออกแบบวิธีการทดลองการหาปริมาณน้ำตาล ซึ่งการประเมินโดยใช้แบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์

2) ทักษะการทำงานอย่างสร้างสรรค์ (Work Creatively with Others) คือ การทำงานร่วมกันของนิสิตระหว่างการทำงาน ในขั้นตอนการออกแบบและการประดิษฐ์อุปกรณ์ PADS การตรวจสอบคุณภาพอุปกรณ์ PADS การออกแบบวิธีการทดลองที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาลในตัวอย่างและการปฏิบัติการทดลอง ซึ่งประเมินโดยใช้แบบประเมินการทำงาน

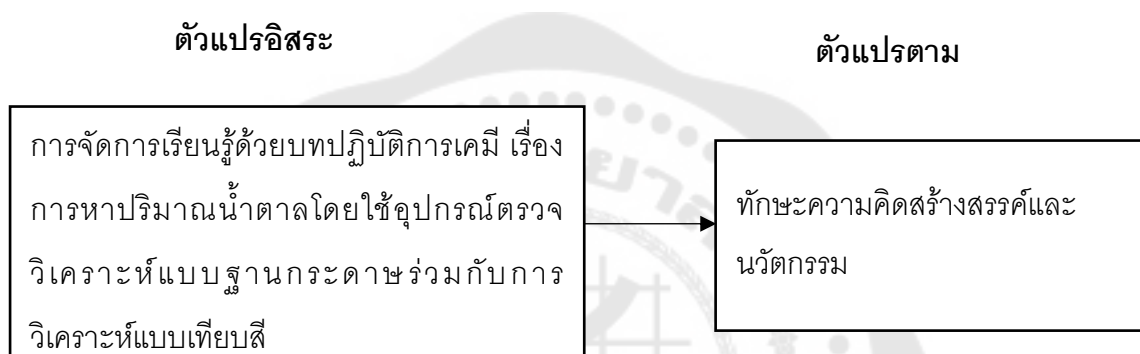
3) ทักษะการใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ (Implement Innovations) คือ อุปกรณ์ PADS ที่พัฒนาขึ้นแล้วนำอุปกรณ์ PADS ไปประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณน้ำตาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการประเมินโดยใช้แบบประเมินการใช้นวัตกรรม

4) ทักษะการนำเสนอผลงานอย่างสร้างสรรค์ คือ การนำเสนอผลสรุป การทดลองที่ 1 การประดิษฐ์อุปกรณ์ PADS และการทดลองที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาลในตัวอย่างนำมาเสนอ งาน ซึ่งประเมินโดยใช้แบบประเมินการนำเสนอผลงาน

3. อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ หมายถึง อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ที่พัฒนามาจากกระดาษ สามารถใช้ในการตรวจหาปริมาณน้ำตาลด้วยสารละลายเซลิวานอฟส์ เนื่องจาก

กระดามีคุณสมบัติในการดูดซับสารละลายและเป็นตัวกลางให้สารละลายไหลผ่านตามรูพรุนของกระดาดโดยอาศัยแรงซึมตามรูเล็ก (Capillary force) โดยไม่ต้องอาศัยแรงดึงดูดจากภายนอก ทำให้กระดาดสามารถขนส่งและตั้งสารไว้ได้ ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ บริเวณที่ชอบน้ำ (Hydrophilic region) เป็นส่วนที่สารสามารถเคลื่อนที่ได้และชอบเขตไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic barrier) เป็นขอบเขตที่สร้างขึ้นเพื่อจำกัดพื้นที่การเคลื่อนที่ของสาร

กรอบแนวคิดของการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดของงานวิจัย

สมมติฐานในการวิจัย

1. บทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาดร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี สำหรับใช้ในการจัดการเรียนรู้ มีความเหมาะสมด้านองค์ประกอบอยู่ในระดับมากขึ้นไป

2. นิสิตระดับปริญญาตรีที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาดร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบผลงาน มีทักษะความคิดสร้างสรรค์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. นิสิตระดับปริญญาตรีที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาดร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม มีทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังเรียนอยู่ในระดับดีขึ้น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. วิเคราะห์หลักสูตรและเนื้อหาสาระวิชาปฏิบัติการเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
 2. วิธีการตรวจวิเคราะห์น้ำตาล
 - 2.1 น้ำตาล
 - 2.2 การตรวจวิเคราะห์น้ำตาลเชิงคุณภาพ
 - 2.3 การตรวจวิเคราะห์น้ำตาลเชิงปริมาณ
 - 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวิเคราะห์น้ำตาล
 3. อุปกรณ์วิเคราะห์แบบฐานกระดาษ
 - 3.1 ความหมาย
 - 3.2 เทคนิคในการสร้างอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ
 - 3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ
4. ทักษะในศตวรรษที่ 21
 - 4.1 กรอบแนวคิดเพื่อการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21
 - 4.2 องค์ประกอบของทักษะในศตวรรษที่ 21
 - 4.3 ทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
 - 4.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์
5. บทปฏิบัติการ
 - 5.1. ความหมายของบทปฏิบัติการ
 - 5.2. จุดมุ่งหมายในการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
 - 5.3. การจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
 - 5.5. ประโยชน์ของการจัดการเรียนรู้แบบปฏิบัติการ
 - 5.4. ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
 - 5.6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการ

1. วิเคราะห์หลักสูตรและเนื้อหาสาระวิชาปฏิบัติการมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

หลักสูตรระดับปริญญาตรีสาขาวิชาเคมี หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2560 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เป็นหลักสูตรระดับปริญญาตรี หลักสูตร 5 ปี โดยกำหนดให้เริ่มใช้หลักสูตรในภาคการศึกษา 2560 ซึ่งมีวัตถุประสงค์ ดังนี้ (มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2560)

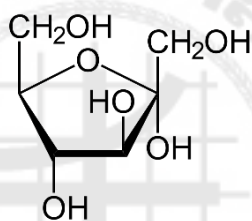
1. เพื่อผลิตบัณฑิตที่มีความรอบรู้ ใฝ่รู้ในวิชาเคมี วิทยาการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง
2. เพื่อให้บัณฑิตสามารถนำองค์ความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการประกอบอาชีพ ตลอดจนศึกษาวิจัยในระดับที่สูงขึ้น
3. เพื่อผลิตบัณฑิตที่มีคุณธรรม จริยธรรม มีจรรยาบรรณต่อวิชาชีพและมีจิตสำนึกรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม

จากการศึกษาเอกสารเกี่ยวกับหลักสูตรระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเคมี หลักสูตรปรับปรุงพ.ศ. 2560 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ผู้วิจัยมีความสนใจในรายวิชา ศษ 481 หลักสูตรและการสอนวิทยาศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วย ศึกษาหลักการ แนวคิดและทฤษฎีของการออกแบบ การใช้ การพัฒนาและการประเมินผล สื่อ นวัตกรรมและเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการสื่อสารการศึกษา การพัฒนาสื่อการเรียนการสอน การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดจากการใช้คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศอย่างมีจริยธรรม ใช้เทคโนโลยี คอมพิวเตอร์และโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อการจัดการเรียนการสอน ดำรง รวบรวมและประยุกต์ใช้แหล่งการเรียนรู้ที่มีอยู่ในชุมชน ตลอดจนเรียนรู้จากประสบการณ์ตรงผ่านแหล่งการเรียนรู้และเครือข่ายการเรียนรู้การจัดทำโครงงานออกแบบและพัฒนาสื่อและนวัตกรรม การเรียนการสอนให้เหมาะสมกับผู้เรียน สิ่งแวดล้อมและสอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้ตามระดับการศึกษาและวิชาเอกอย่างมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐานเพื่อส่งเสริมการพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้ (มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2560:36) เพื่อให้บัณฑิตมีความรู้ ความเข้าใจในหลักการที่เป็นรูปธรรมมากขึ้น ส่งผลให้บัณฑิตสามารถพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมมากขึ้น ผู้วิจัย จึงต้องการที่จะพัฒนาบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ ร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี

2. การวิเคราะห์น้ำตาล

2.1 น้ำตาล

น้ำตาลเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดของคาร์โบไฮเดรต มีรสหวาน ซึ่งให้พลังงานต่อร่างกาย น้ำตาลแบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ ได้แก่ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) น้ำตาลโมเลกุลคู่ (Disaccharide) และน้ำตาลโมเลกุลใหญ่ (Polysaccharide) น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน 3-8 อะตอม ละลายน้ำได้ ร่างกายสามารถดูดซึม น้ำตาลชนิดนี้ไปใช้ได้ทันที เนื่องจากมีขนาดโมเลกุลที่เล็กที่สุดแล้ว มีสูตรโครงสร้างเป็น $(CH_2O)_n$ โดยน้ำตาลสามารถจำแนกตามหมู่ฟังก์ชัน คือ น้ำตาลอัลโดส (Aldose) และคีโตส (Ketose) น้ำตาลอัลโดส ได้แก่ กลูโคส แมนโนส และกาแลคโทส ส่วนน้ำตาลคีโตส ได้แก่ ฟรุคโตส และไซโลส (พจน ศิริบุญลือ, 2555:54)



ภาพประกอบ 2 โครงสร้างน้ำตาลฟรุคโตส

น้ำตาลฟรุคโตส ภาพประกอบ 2 เป็นน้ำตาลที่มีความหวานมากที่สุด พบมากในน้ำผึ้ง ผัก ผลไม้ การย่อยสลายน้ำตาลอ้อย (วรุณีย์ วงศ์นารสิน, 2541) โดยจะพบอยู่ร่วมกับน้ำตาลซูโครสและกลูโคส ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการเผาผลาญอาหารของสิ่งมีชีวิต การละลายของน้ำตาลฟรุคโตสในน้ำมีค่าสูงและละลายได้อย่างรวดเร็ว ถึงแม้ว่าอุณหภูมิจะต่ำ (ปรียา พวงสำลี, 2535) น้ำตาลฟรุคโตสมีความหวานสองเท่าของน้ำตาลซูโครส ในขณะที่แลคโตสมีความหวานเพียงหนึ่งในหกเท่าของน้ำตาลซูโครส อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบความหวานนั้นทำได้ยาก เนื่องจากการรับรู้รสหวานได้นั้นมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ดังแสดงในตาราง 1 สามารถเปรียบเทียบความหวานของน้ำตาลชนิดต่างๆ ได้ดังนี้ (McMurry, 2010)

ตาราง 1 เปรียบเทียบความหวานของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ

ชื่อ	ชนิด	ความหวาน
Lactose	Disaccharide	0.16
Glucose	Monosaccharide	0.75
Sucrose	Disaccharide	1.00
Fructose	Monosaccharide	1.75

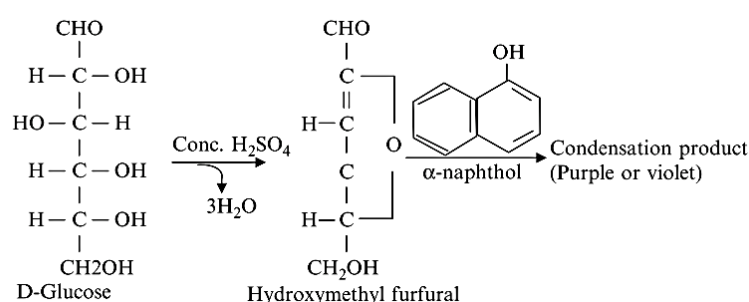
ที่มา: Mc Murry (2010)

2.2 การวิเคราะห์น้ำตาลเชิงคุณภาพ

เป็นการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบตัวอย่างที่ศึกษาว่ามีน้ำตาลหรือไม่ คำตอบจะมีเพียงคำว่า มี หรือ ไม่มี โดยอาจใช้ปฏิกิริยาทางเคมีหรือเครื่องมือที่จำเพาะต่อสิ่งที่ต้องการตรวจสอบ การตรวจวัดของน้ำตาลเชิงคุณภาพมีหลายวิธี ดังนี้ (Katoch, 2011; สมจิต ดำริห์นันต์, 2557)

2.2.1 การทดสอบโมลิชส์ (Molisch's test)

เป็นการทดสอบน้ำตาลทั่วไป โดยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นจะดึงน้ำออกจากน้ำตาล เพนโทสและน้ำตาลเฮกโซส กลายเป็นเฟอร์ฟิวรัลและไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟิวรัล (Hydroxymethyl fufural) สารทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับ α -naphthol ในสารละลายโมลิชส์ได้สารประกอบเชิงซ้อนสีชมพูม่วง ดังสมการต่อไปนี้

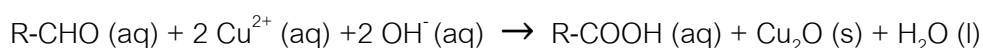


ภาพประกอบ 3 การทดสอบน้ำตาลด้วยโมลิชส์ (Molisch's test)

ที่มา: (Katoch, 2011)

2.2.2 การทดสอบเฟลิง (Fehling's test)

เป็นการทดสอบน้ำตาลรีดิวซ์ หรือทดสอบหมู่อัลดีไฮด์และคีโตนในน้ำตาล สารละลายเฟลิงประกอบด้วยคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต (Copper Sulfate, CuSO_4) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมแทสเซียมทาร์เทรต ($\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) น้ำตาลที่สามารถรีดิวซ์ได้แก่ โมโนแซ็กคาไรด์ แลคโทส และมอลโทส จะเปลี่ยนเป็น CuSO_4 เป็นตะกอนสีแดงอิฐของคิวปรัสออกไซด์ (Cuprous oxide, Cu_2O) ดังสมการต่อไปนี้

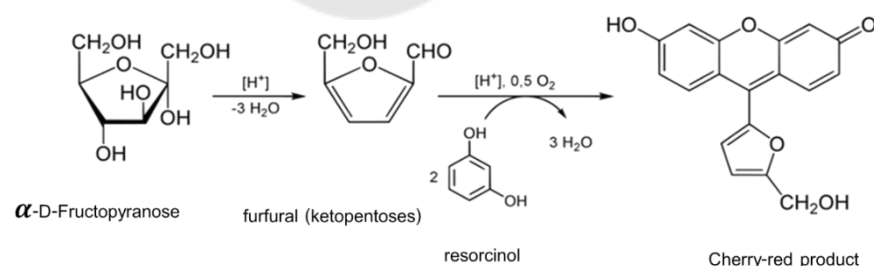


2.2.3 ทดสอบเบเนดิกต์ (Benedict's test)

เป็นการทดสอบน้ำตาลที่มีสมบัติรีดิวซ์ของคาร์โบไฮเดรต โดยหมู่ไฮดรอกซิลที่อะตอมคาร์บอนอะโนเมอริก (Anomeric carbon) ของน้ำตาลสามารถรีดิวซ์ CuSO_4 ในสารละลายเบเนดิกต์ ที่สภาวะร้อนและเป็นด่างอ่อน ทำให้เกิดตะกอนของคิวปรัสออกไซด์ (Cu_2O) สีเขียว เหลือง ส้มหรือแดงอิฐ ขึ้นกับปริมาณของตะกอน

2.2.4 การทดสอบเซลิวานอฟส์ (Selivanoff's test)

เป็นการทดสอบน้ำตาลคีโทส (Ketose) และอัลโดส (Aldose) เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายเซลิวานอฟส์และน้ำตาล น้ำตาลคีโทสจะถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบเฟอพิวรัล (furfural) ได้รวดเร็วและทำปฏิกิริยากับเรโซซินอล (Resorcinol) ที่อยู่ในสารละลายเซลิวานอฟส์ แล้วเกิดเป็นสารประกอบสีแดง (Cherry red) ส่วนน้ำตาลอัลโดส (Aldose) จะถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบเฟอพิวรัลได้ช้ากว่า ถ้าต้มสารละลายไปนาน ๆ จะเปลี่ยนเป็นสีชมพูจาง ๆ เท่านั้น ปฏิกิริยานี้จะให้ผลบวกกับน้ำตาลฟรุกโตสและซูโคส (Rameshbhai et al., 2017; Sánchez-Viesca, 2018)



ภาพประกอบ 4 การทดสอบน้ำตาลฟรุกโตสด้วยปฏิกิริยาเซลิวานอฟส์

ที่มา: <http://jurnalkupintar.blogspot.com/2018/12/selivanoffs-test-for-ketose-sugars.html>

2.2.5. การทดสอบบาร์โฟด์ (Barfoed's test)

เป็นการทดสอบแลคโทสและมอลโทส เนื่องจากโมโนแซ็กคาไรด์จะไม่เกิดปฏิกิริยากับการทดสอบนี้ สารละลายบาร์โฟด์ประกอบด้วยคิวปริกอะซิเตท ($(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu}$) ในกรดอะซิติก ปฏิกิริยาจะเกิดตะกอนของคิวปรัสออกไซด์ Cu_2O

2.3 การวิเคราะห์น้ำตาลเชิงปริมาณ

การวิเคราะห์น้ำตาลเชิงปริมาณเป็นการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบว่าน้ำตาลนั้นมีปริมาณหรือเข้มข้นเท่าไร วิธีวิเคราะห์น้ำตาลเชิงปริมาณมีหลายวิธี โดยทั่วไปนิยมใช้วิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC) และ Enzymatic method

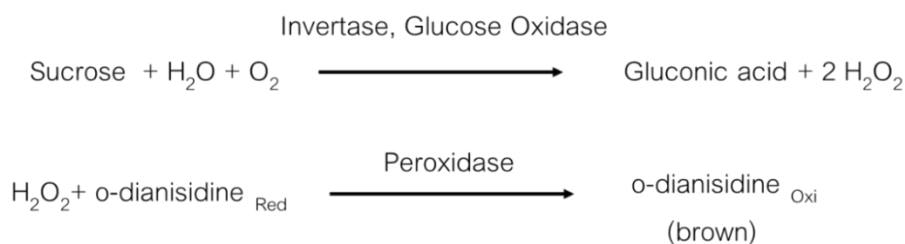
2.3.1 การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC

หลักการของ HPLC คือ การฉีดสารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่ำ ๆ ผ่าน Self-septum ขณะที่มีการปั๊มให้ตัวทำละลายไหลสู่คอลัมน์อย่างต่อเนื่องด้วยอัตราเร็วของการไหลที่เหมาะสม เมื่อสารตัวอย่างผ่านคอลัมน์ที่บรรจุด้วยอนุภาคบรรจุ (Packing material) ที่เหมาะสม จะเกิดการแยกองค์ประกอบต่าง ๆ และถูกชะออกจากคอลัมน์ผ่านเครื่องตรวจวัดและแปรผลเป็นสัญญาณไฟฟ้าเข้าสู่เครื่องบันทึกสัญญาณออกมาเป็นโครมาโทแกรม (Chromatogram) (อรอุมา ศรีชื่นชม, 2545)

2.3.2 การวิเคราะห์ด้วยวิธี Enzymatic method

การวิเคราะห์ด้วยวิธี Enzymatic method เป็นวิธีที่ตรวจวัดน้ำตาลด้วยเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีโดยการใช้โปรแกรม Image J วิธีนี้เป็นวิธีที่มีความจำเพาะต่อสารประกอบ ดังนี้ (Aksorn, 2019; Biscay, 2012; Vasilariou & Georgiou, 2000)

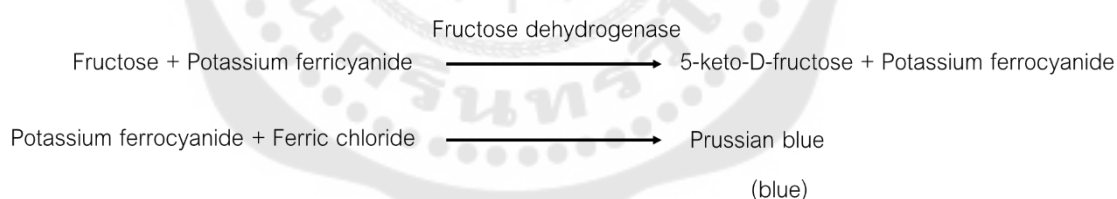
1) การตรวจวิเคราะห์น้ำตาลซูโครส ด้วยการใช้น้ำเอนไซม์ 3 ชนิด ได้แก่ เอนไซม์ อินเวอร์เทส (Invertase) กลูโคสออกซิเดส (Glucose oxidase) และเพอร์ออกซิเดส (peroxidase) ในการเร่งปฏิกิริยา หลังจากนั้นซูโครสจะถูกย่อยสลายเป็นกรดกลูโคนิก (Gluconic acid) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ด้วยเอนไซม์อินเวอร์เทส กลูโคสออกซิเดส และหลังจากนั้น o-dianisidine Red จะถูกออกซิไดซ์เป็นสีน้ำตาลของ o-dianisidineOxi ด้วยเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส ซึ่ง Red และ Oxi ย่อมาจาก Reduction และ Oxidation มีสมการดังนี้



ภาพประกอบ 5 การตรวจวิเคราะห์น้ำตาลซูโครสด้วยเอนไซม์อินเวอร์เทส กลูโคสออกซิเดสและเพอร์ออกซิเดส

ที่มา: Aksorn (2019)

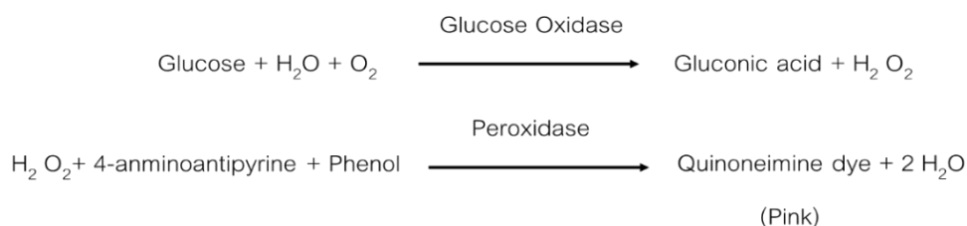
2) การตรวจวิเคราะห์น้ำตาลฟรุกโตส ด้วยเอนไซม์ฟรุกโตสดีไฮโดรจีเนส (Fructose dehydrogenase) เป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยา โดยใช้ฟรุกโตส (Fructose) และโพแทสเซียมเฟอร์ริไซยาไนด์ (Potassium ferricyanide) เป็นสารตั้งต้น ได้ผลิตภัณฑ์ 5-keto-D-fructose และ โพแทสเซียมเฟอร์ริไซยาไนด์ หลังจากนั้น โพแทสเซียมเฟอร์ริไซยาไนด์จะทำปฏิกิริยากับเฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric chloride) ทำให้เกิดปรัสเซียน (Prussian blue) เป็นสีฟ้า มีสมการดังนี้



ภาพประกอบ 6 การตรวจวิเคราะห์น้ำตาลฟรุกโตส ด้วยเอนไซม์ฟรุกโตสดีไฮโดรจีเนส

ที่มา: Aksorn (2019)

3) การตรวจวิเคราะห์น้ำตาลกลูโคส ด้วยเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส (Glucose oxidase) กลูโคสจะถูกออกซิไดซ์ เป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาจะได้ผลิตภัณฑ์ คือ กรดกลูโคนิก (gluconic acid) และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (H_2O_2) หลังจากนั้น ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ จะทำปฏิกิริยากับ 4-aminoantipyrine ได้ผลิตภัณฑ์ สีชมพูของ quinoneimine มีสมการดังนี้



ภาพประกอบ 7 การตรวจวิเคราะห์น้ำตาลกลูโคส ด้วยเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส

ที่มา: Aksorn (2019)

ดังนั้น ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงต้องการหาปริมาณน้ำตาลโดยวิธีตรวจสอบเชิงคุณภาพมาเป็นการหาน้ำตาลในเชิงปริมาณโดยใช้ปฏิกิริยาเซลิวนอฟส์ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยวิธี Colorimetric method สามารถทำได้โดยการสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลมาตรฐานกับค่าความเข้มสีที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรม ImageJ และวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์น้ำตาล

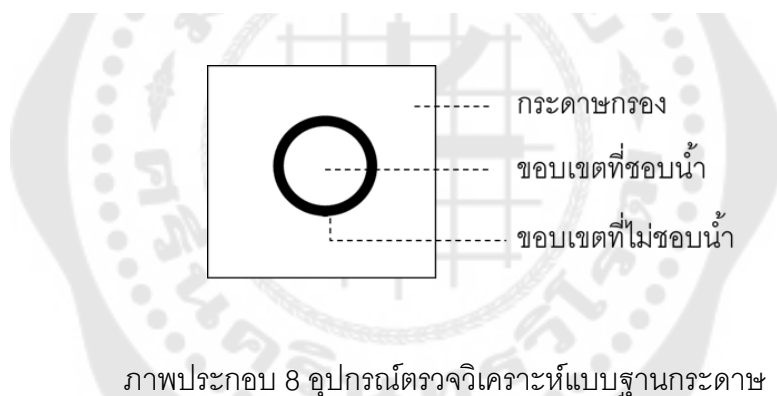
Rameshbhai et al. (2017) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ ผลความเข้มของความร้อนต่อการทดสอบเชิงคุณภาพ เพื่อการตรวจสอบองค์ประกอบทั่วไปของน้ำนม โดยทดสอบน้ำตาลกลูโคสด้วยสารละลายบาร์โฟด์ และทดสอบน้ำตาลซูโครสด้วยสารละลายเซลิวนอฟส์ ผลวิจัยพบว่า น้ำตาลกลูโคส หลังจากต้มจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเข้ม เวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา คือ 3 นาที และน้ำตาลซูโครสจะเปลี่ยนเป็นสีแดงเซอรี เวลาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา คือ 5 นาที

Ilaslan (2015) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์อย่างรวดเร็วเพื่อหาปริมาณกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครสของน้ำอัดลม โดยใช้รามานสเปกโทรสโกปี (Raman Spectroscopy) ได้เตรียมสารละลายน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส แต่ละชนิดในช่วง 0-12% (w / w) ผลวิจัยพบว่า ความชันของค่าการถดถอย (Slope of regression values) ของกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครสมีค่าเท่ากับ 0.967, 0.992 และ 1.008 และค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R^2) มีค่า 0.913, 0.998 และ 0.993 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้ใช้วิธีโครมาโทกราฟีของเหลวประสิทธิภาพสูง (HPLC) เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีการรามาน (Raman method) ค่าสัมประสิทธิ์ของกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส ที่ใช้เครื่อง HPLC คือ 0.913, 0.968 และ 0.910 ตามลำดับ ผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้เป็นวิธีที่รวดเร็วในการประเมินการวิเคราะห์เชิงปริมาณของกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส ในน้ำอัดลม

3. อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ (Paper-based analytical devices; μ PADs)

3.1 ความหมาย

อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษเป็นอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ที่พัฒนามาจากกระดาษ สามารถใช้ในการตรวจหาสารต่าง ๆ ได้ เนื่องจากกระดาษมีคุณสมบัติในการดูดซับสารละลายและเป็นตัวกลางให้สารละลายไหลผ่านตามรูพรุนของกระดาษโดยอาศัยแรงซึมตามรูเล็ก (Capillary force) โดยไม่ต้องอาศัยแรงดึงจากภายนอก ทำให้กระดาษสามารถขนส่งและตั้งสารไว้ได้ นอกจากนี้อุปกรณ์ PADs ยังใช้สารในปริมาณน้อยในหน่วยไมโครลิตร ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ดังภาพประกอบ 8 ได้แก่ บริเวณที่ชอบน้ำเป็นส่วนของสารที่สามารถเคลื่อนที่ได้ (Hydrophilic region) และขอบเขตไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic barrier) เป็นขอบเขตที่สร้างขึ้น เพื่อกำหนดพื้นที่การเคลื่อนที่ของสาร (Martinez, 2007) วิธีนี้จะวิเคราะห์ด้วยการถ่ายภาพในบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาระหว่างสารตัวอย่างกับรีเอเจนต์ แล้วนำไปประมวลผลด้วยโปรแกรม ImageJ ซึ่งจะได้ค่าความเข้มสีออกมา โดยค่าความเข้มสีที่ได้จะแปรผันตรงกับปริมาณสารที่ต้องการวิเคราะห์ในตัวอย่าง

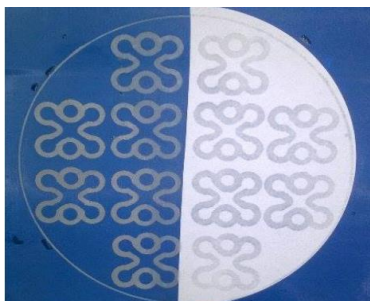


3.2 วิธีการขึ้นรูปอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ

3.2.1 การสกรีนด้วยขี้ผึ้ง (Wax screen printing)

เป็นเทคนิคการสร้างลวดลายแบบฐานกระดาษด้วยการสกรีนขี้ผึ้งลงบนแม่แบบตามที่ต้องการแล้วนำไปให้ความร้อน เพื่อให้ขี้ผึ้งหลอมละลายและซึมลงในเนื้อกระดาษเกิดเป็นส่วนของ Hydrophobic barrier และส่วนบริเวณที่ไม่มีขี้ผึ้งซึมผ่านก็ยังคงสภาพ Hydrophilic region ของกระดาษเช่นเดิม (Chailapakul, 2010) ดังตัวอย่าง ภาพประกอบ 9 อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษที่ประดิษฐ์จากการสกรีนด้วยเทียน ซึ่งมีวิธีการสร้าง คือ ให้ความร้อนแผ่นความร้อน แล้ววางกระดาษกรองลงบนแผ่นความร้อน วางบล็อกทับแบบฐานกระดาษกรองและทำการสกรีนเทียน หลังจากนั้น ยกบล็อกขึ้นแล้วดึงกระดาษกรองออกจากบล็อก (เบญจวรรณนิลวงศ์, 2559) ซึ่งวิธีนี้มีข้อดี คือ ขี้ผึ้งมีราคาถูกสร้างได้ง่ายและสร้างได้ในปริมาณมาก แต่แบบที่

ได้จะมีความคมชัดน้อยส่งผลให้สารละลายรั่วไหลออกนอกขอบเขตที่ไปชอบน้ำได้และมีขั้นตอนในการให้ความร้อนเพื่อให้สีฝังซึมลงกระดาษ (จุฬาลักษณ์ น้อยพวง, 2555)

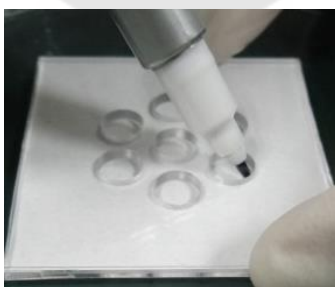


ภาพประกอบ 9 อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษที่ประดิษฐ์จากการสกรีนด้วยเทียน

ที่มา: เบญจวรรณ นิลวงศ์ (2559)

3.2.2. การวาด (Drawing)

เป็นเทคนิคการสร้างลวดลายแบบฐานกระดาษโดยใช้ปากกาที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic property) วิธีนี้ทำได้โดยใช้แม่แบบวางแบบฐานกระดาษและวาดลวดลายลงแบบฐานกระดาษ ดังภาพประกอบ 12 อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษที่ได้จากการวาดด้วยปากกา สามารถสร้างขึ้นด้วยการใช้แม่แบบที่ทำจาก Poly methyl methacrylate (PMMA) วางลงในกระดาษกรองแล้วใช้ปากกา Permanent marker วาดรูปวางกรรมลงในกระดาษรอยหมึกจะเป็นขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำและบริเวณกลางวงกลมเป็นบริเวณเกิดปฏิกิริยา (Wang, 2015)

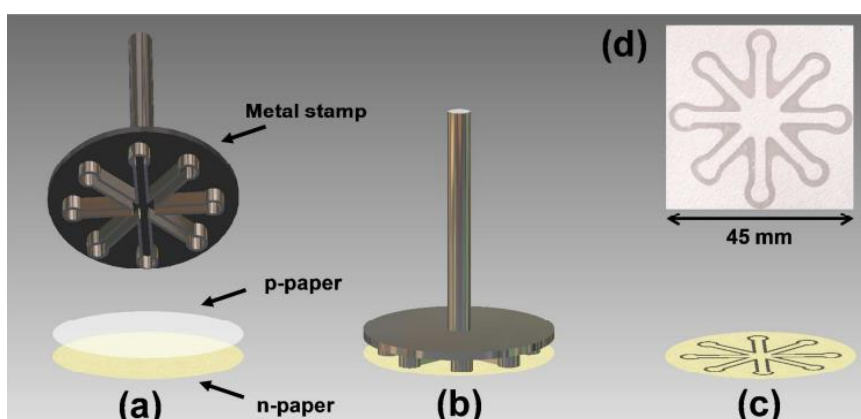


ภาพประกอบ 10 อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษที่ได้จากการวาดด้วยปากกาทันน้ำ

ที่มา: Wang (2015)

3.3.5. วิธีการปั๊ม (Stamping technique)

เป็นเทคนิคที่มีการออกแบบโครงสร้างลงวดลายในตราประทับ โดยใช้สารที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ เพื่อสร้างขอบเขตแบบฐานกระดาษแล้วประทับตราลงบนพื้นผิวของตัวอย่าง ดังภาพประกอบ 13 แสดงกระบวนการประดิษฐ์อุปกรณ์ μ PAD ด้วยวิธีการใช้ตราประทับ วิธีนี้เป็นวิธีที่ต้องออกแบบตราประทับก่อนนำมาใช้งาน (Coltro, 2014)



ภาพประกอบ 11 กระบวนการประดิษฐ์อุปกรณ์ μ PADs ด้วยวิธีการใช้ตราประทับ ดังรูปภาพ (a) วางกระดาษพาราฟิน (Paraffinized, P-paper) อยู่ข้างบนของกระดาษ (n-paper) รูปภาพ (b) ตราประทับโลหะที่ถูกทำให้ร้อนที่ 150°C และวางลงด้านด้านบนพื้นผิวของกระดาษแล้วใช้แรงกดลง รูปภาพ (c) กระดาษพาราฟินที่ผ่านการใช้ปั๊มโลหะกดลง รูปภาพ (d) อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษที่สร้างขึ้น

ที่มา: Coltro (2014)

ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนาเทคนิคการประดิษฐ์อุปกรณ์ PADs โดยวิธีการวาดด้วยปากกาทันน้ำ (Wang, 2015) โดยวาดขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำ วิธีนี้สามารถสร้างขึ้นได้ง่ายมีราคาถูกอีกด้วย

3.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ

ไตรรงค์ เปลี่ยนแสง (2019) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ การพัฒนาเทคนิคการตรวจสอบแคลเซียมในตัวอย่างน้ำแร่ โดยใช้อุปกรณ์ของไหลจุลภาคแบบฐานกระดาษ สำหรับการจัดการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครู อุปกรณ์ μ PADs ประดิษฐ์ด้วยใช้สีเทียนวาดรูปวงกลมขนาด 2 เซนติเมตร ลงในกระดาษ Whatman เบอร์ 1 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็น

เวลา 1 นาที โดยสีเทียนเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ ผลการวิจัยพบว่า สามารถตรวจวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมได้ตั้งแต่ 12.5 mg/L หรือ 12.5 ppm หลังจากนั้นได้ตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดลองที่ได้จากอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับเทคนิคแคลอรีเมตรี โดยกราฟมาตรฐานของสารละลายแคลเซียมเข้มข้น 1.56-50.00 mg/L มีสมการเส้นตรงเป็น $y = 0.0341x + 0.0183$ ($R^2 = 0.9987$) และเทียบกับเทคนิคเฟลมโฟโตเมตรี ซึ่งกราฟมาตรฐานเป็นเส้นตรง ในช่วง 0.39-25.00 mg/L สมการเส้นตรงเป็น $y = 1.2148x + 0.2387$ ($R^2 = 0.9998$) สรุปได้ว่าเทคนิคการวิเคราะห์ที่ต่างกัน 3 เทคนิคมีความสอดคล้องกันโดยปริมาณแคลเซียมที่วัดโดยเทคนิคแคลอรีเมตรี ในตัวอย่างน้ำแร่ 6 ตัวอย่าง มีค่าอยู่ระหว่าง 1.40-56.74 ppm

Aksorn (2019) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์แบบฐานกระดาษเพื่อวิเคราะห์น้ำตาลซูโครส ฟรุคโตสและกลูโคส ด้วยเอนไซม์สำหรับการตรวจสอบคุณภาพในอุตสาหกรรมน้ำตาลด้วยการวิเคราะห์พร้อมกันในอุปกรณ์เดียว โดยประดิษฐ์ μ PAD ด้วยสารละลายกรดโพลิแลคติก (Polylactic acid) ที่มีความเข้มข้น 10 % (w/v) เป็นขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำ ลงบนกระดาษโครมาโทกราฟี โดยผ่าน Patterned screen ผลวิจัยพบว่า น้ำตาลซูโครส เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล น้ำตาลฟรุคโตสเปลี่ยนเป็นสีฟ้า และน้ำตาลกลูโคสเปลี่ยนเป็นสีชมพู และมีค่า $r^2 = 0.9996$ 0.9997 0.9997 ตามลำดับ และได้ประยุกต์ใช้ในตัวอย่างจริง ผลลัพธ์เป็นที่ยอมรับโดยเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC)

4. ทักษะในศตวรรษที่ 21

4.1 กรอบแนวคิดเพื่อการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21

กรอบแนวคิดเพื่อการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 แนวคิดการจัดการเรียนรู้ ในศตวรรษที่ 21 มีความแตกต่างจากการจัดการเรียนรู้ ในศตวรรษที่ผ่านมา มีผู้รู้และนักการศึกษาหลายท่านได้กล่าวถึงกรอบแนวคิดเพื่อการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ไว้ดังนี้

ภาคีเพื่อทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 (Partnership for 21st century Skills, 2009 อ้างถึงใน เพชรศรีรินทร์ ตุ่นคำ, 2559) ได้กล่าวถึง กรอบแนวคิดเพื่อการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ดังนี้

1) วิชาแกน ประกอบด้วย ภาษาอังกฤษ การอ่าน หรือศิลปะการใช้ภาษา ภาษาสำคัญของโลก ศิลปะ คณิตศาสตร์ เศรษฐศาสตร์วิทยาศาสตร์ ภูมิศาสตร์ ประวัติศาสตร์ และการปกครองและหน้าที่พลเมือง

2) แนวคิดสำคัญในศตวรรษที่ 21 ประกอบด้วย จิตสำนึกต่อโลก ความรู้พื้นฐานด้านการเงิน เศรษฐกิจ ธุรกิจ และการเป็นผู้ประกอบการ ความรู้พื้นฐานด้านพลเมือง ด้านสุขภาพ และด้านสิ่งแวดล้อม

3) ทักษะแห่งศตวรรษที่ 21

3.1 ทักษะการเรียนรู้ และนวัตกรรม ประกอบด้วย ความคิดสร้างสรรค์ และนวัตกรรม การคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ไขปัญหา และการสื่อสารและการร่วมมือทำงาน

3.2 ทักษะด้านสารสนเทศ สื่อ และเทคโนโลยี ประกอบด้วย ความรู้พื้นฐานด้านสารสนเทศ ความรู้พื้นฐานด้านสื่อ และความรู้พื้นฐานทางเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ICT)

3.3 ทักษะชีวิตและการทำงาน ประกอบด้วย ความยืดหยุ่นและความสามารถในการปรับตัว ความคิดริเริ่มและการขึ้นนำตนเอง ทักษะทางสังคมและการเรียนรู้ข้ามวัฒนธรรม การเพิ่มผลผลิตและความรับผิดชอบ และความเป็นผู้นำและความรับผิดชอบ

4.2 องค์ประกอบของทักษะในศตวรรษที่ 21

Partnership for 21st century Skills (2009) ได้กล่าวว่าทักษะในศตวรรษที่ 21 ประกอบด้วย

4.2.1 ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม

การเรียนรู้ทฤษฎีสามารถเอาไปเชื่อมโยงกับวิชาอื่น เกิดแรงบันดาลใจในการพัฒนางาน การพัฒนาคุณภาพชีวิตที่เรียกว่าความคิดเชิงสร้างสรรค์นำทฤษฎีความรู้มาสร้างกระบวนการ และวิธีการผลิต สร้างผลงานใหม่ที่เป็นประโยชน์ต่อบุคคลและสังคมที่เรียกนวัตกรรมได้แก่

- 1) ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
- 2) การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา
- 3) ทักษะการสื่อสาร
- 4) การทำงานร่วมกับผู้อื่น

4.2.2. ทักษะด้านสารสนเทศ สื่อ และเทคโนโลยี

เนื่องด้วยในปัจจุบันมีการเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารผ่านทางสื่อและเทคโนโลยีมากมายผู้เรียนจึงต้องมีความสามารถในการแสดงทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณและปฏิบัติงานได้หลากหลายการสร้างทักษะด้านสารสนเทศและเทคโนโลยีเพื่อให้เกิดการเท่าทันไม่ตกอยู่ภายใต้การถูกชักจูงชวนเชื่อ ได้แก่

1. ความรู้ด้านสารสนเทศ
2. ความรู้เกี่ยวกับสื่อ
3. ความรู้ด้านเทคโนโลยี

4. ทักษะด้านชีวิตและอาชีพ

4.2.3 ทักษะด้านชีวิตและอาชีพ

การเรียนรู้ที่จะปรับตัวได้อย่างดีในสภาวะการเปลี่ยนแปลงหรือมีภัยคุกคามได้อย่างชาญฉลาดถือเป็นเรื่องสำคัญในการดำรงชีวิตที่มีทักษะชีวิตในโลกศตวรรษที่ 21 และการคิดสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อตอบสนองการดำรงชีวิตเฉพาะบริบทสภาพแวดล้อมที่ต่างกันนำไปสู่การเผยแพร่เทคนิควิธีการใช้และพัฒนาทักษะให้เกิดเป็นกลยุทธ์การขายเกิดผู้ประกอบการในงานอาชีพต่างๆ ซึ่งเป็นทักษะงานอาชีพ ที่ต้องมีการส่งเสริมให้มีเท่าทันในยุคการเปลี่ยนแปลงของโลกศตวรรษที่ 21 ทักษะชีวิตและทักษะงานอาชีพจึงควรมีการพัฒนาสิ่งต่อไปนี้

1. ความยืดหยุ่นและการปรับตัว
2. การริเริ่มสร้างสรรค์และเป็นตัวของตัวเอง
3. ทักษะทางสังคมและสังคมข้ามวัฒนธรรม
4. การเป็นผู้สร้างหรือผู้ผลิต (Productivity) และความรับผิดชอบ

เชื่อถือได้ (Accountability)

5. ภาวะผู้นำและความรับผิดชอบ (Responsibility)

จากองค์ประกอบของทักษะในศตวรรษที่ 21 ที่กล่าวมา สรุปได้ว่า ทักษะในศตวรรษที่ 21 ประกอบด้วย 1) ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม 2) ทักษะด้านสารสนเทศ สื่อ และเทคโนโลยี 3) ทักษะด้านชีวิตและอาชีพ โดยผู้วิจัยได้ศึกษาทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยใช้บทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้และนวัตกรรมของนิสิตระดับปริญญาตรี

4.2.4 องค์ประกอบของทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม

พรทิพย์ ศิริภักทธราชย์ (2556) กล่าวถึง ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม (Learning and Innovation Skills) ประกอบด้วย

1. ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม (Creativity and Innovation) ซึ่งรวมไปถึงการคิดและการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์แล้วนำความคิดนั้นไปใช้อย่างสร้างสรรค์
2. การคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา (Critical Thinking and Problem Solving) รวมไปถึง การคิดเชิงระบบ การคิดอย่างมีเหตุผล การคิดแก้ปัญหาและการคิดตัดสินใจ

3. การสื่อสารและการร่วมมือ (Communication and Collaboration) จะเน้นการสื่อสาร โดยใช้สื่อรูปแบบต่าง ๆ ที่ชัดเจน มีประสิทธิภาพและการทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างมีประสิทธิภาพ

พุทธสอน เอกชัย (2557) กล่าวว่า ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม (Learning and Innovation Skills ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ ดังนี้

1. ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม (Creativity and Innovation) เป็นความสามารถในการ คิดริเริ่มสร้างสรรค์และทำงานร่วมกับผู้อื่นอย่างสร้างสรรค์

2. การคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา (Critical Thinking and Problem Solving) เป็น ความสามารถในการใช้เหตุผลและคิดอย่างเป็นระบบเพื่อแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. การสื่อสารและการร่วมมือทำงาน (Communication and Collaboration) เป็นความสามารถ ในการสื่อสารอย่างชัดเจนและการร่วมมือกับผู้อื่นอย่างมีประสิทธิภาพ

จากองค์ประกอบของทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ประกอบด้วย 3 ทักษะ คือ ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม การคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา และการสื่อสารและการร่วมมือทำงาน โดยผู้วิจัยได้ศึกษาทักษะ ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยใช้บทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะ ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี

4.3 ทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

4.3.1 ทักษะความคิดสร้างสรรค์

1. ความหมายของความคิดสร้างสรรค์

ความคิดสร้างสรรค์จัดอยู่ในทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ซึ่งเป็น องค์ประกอบหนึ่งในศตวรรษที่ 21 โดยมีความสำคัญกับการจัดการเรียนรู้และนักการศึกษาได้ให้ ความหมายของความคิดสร้างสรรค์ (Creative Thinking) ไว้ดังนี้

ทอร์เรนซ์ (Torrance, 1962)ให้ความหมายของความคิดสร้างสรรค์ว่า เป็นความสามารถของบุคคลในการคิดค้นสิ่งใหม่ ๆ ที่ไม่เคยก่อน ซึ่งเหล่านี้อาจจะเกิดจากการ รวบรวมเอาความรู้ต่าง ๆ ที่ได้จากประสบการณ์แล้วรวบรวมความคิดเป็นสมมติฐานทำการ ทดสอบสมมติฐานแล้วรายงานผลที่ได้รับจากการค้นพบ

วอลลาซและเนแทน (Wallach & Nathan, 1965) ให้ความหมายว่า ความคิดสร้างสรรค์ หมายถึง ความคิดโยงสัมพันธ์ได้ (Association) คนที่มีความคิดสร้างสรรค์ คือ คนที่สามารถคิดอะไรได้อย่างสัมพันธ์เป็นลูกโซ่ เช่น เมื่อเห็นปากกาจะนึกถึงกระดาษดินสอ ขวดหมึก โต๊ะหนังสือ สมุดบันทึก ยิ่งคิดได้มากเท่าใด ก็ยิ่งแสดงถึงศักยภาพด้านความคิดสร้างสรรค์มากขึ้นเท่านั้น

สุคนธ์ สินธพานนท์ (2551) สรุปได้ว่าความคิดสร้างสรรค์ (Creative Thinking) หมายถึง ความสามารถของบุคคลที่แสดงความคิดหลายทิศทางหลายแง่หลายมุมคิด ได้กว้างไกลโดยนำประสบการณ์ที่ผ่านมาเป็นพื้นฐานที่ทำให้เกิดความคิดใหม่อันนำไปสู่การประดิษฐ์คิดค้นพบสิ่งต่าง ๆ แปลกใหม่ ความคิดสร้างสรรค์ประกอบด้วยความคิดริเริ่ม ความคล่องในการคิด ความยืดหยุ่นในการคิดและความละเอียดละออ

จากความหมายข้างต้นผู้วิจัยสรุปได้ว่า ความคิดสร้างสรรค์ หมายถึง ความสามารถของบุคคลในการคิดค้นสร้างสิ่งใหม่ ๆ โดยอาศัยพื้นฐานของสิ่งที่มีอยู่เดิม โดยนำเอาความรู้ ประสบการณ์ มาคิดสิ่งใหม่ ซึ่งประกอบด้วย ความคิดริเริ่ม ความคล่อง ความยืดหยุ่นและความละเอียดละออในการคิด

2. องค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์

นักการศึกษาหลายท่านได้ให้แนวคิดเกี่ยวกับองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ไว้คล้ายคลึงกัน ดังนี้

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2555) องค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์เป็นความคิดที่หลายทิศทาง ซึ่งประกอบด้วย

1. ความคิดริเริ่ม (Originality) มีลักษณะแปลกใหม่แตกต่างจากของเดิมคิดดัดแปลงประยุกต์เป็นความคิดใหม่

2. ความคิดคล่องตัว (Fluency) เป็นความคิดที่มีลักษณะถูกต้องแม่นยำสามารถทำความเข้าใจได้

1) ความคิดด้านถ้อยคำ (Word Fluency) สามารถใช้ถ้อยคำจากความคิดได้เหมาะสมเข้าใจถูกต้อง

2) ความคิดด้านความสัมพันธ์ (Associational Fluency) สามารถแสดงความสัมพันธ์จากสิ่งทีริเริ่มออกมาได้อย่างเหมาะสม

3) ความคิดด้านการแสดงออก (Expressional Fluency) สามารถนำความคิดริเริ่มนั้นมาแสดงออกให้รับรู้หรือเข้าใจได้อย่างรวดเร็ว

4) ความคิดเชิงสร้างสรรค์ (Creative Fluency) เป็นการสร้างความคิดใหม่ให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วแก้ปัญหาเฉพาะหน้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. ความคิดยืดหยุ่น (Flexibility) มีความเป็นอิสระทางความคิดคิดได้หลายทางหลายแบบ

4. ความคิดสวยงามละเอียดละออ (Elaboration) มีความรอบคอบ สวยงาม มีคุณภาพ มีความประณีตในความคิด สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในทุก ๆ ด้าน

Piirto (2011) ได้ให้รายละเอียดเกี่ยวกับองค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์ไว้ดังนี้

1) การคิดสร้างสรรค์ (Think Creativity) คือ การใช้เทคนิคในการสร้างสรรค์ความคิดที่เปิดกว้าง เช่น การระดมสมองสร้างสรรค์สิ่งแปลกใหม่และเสริมสร้างคุณค่าทางความคิดและสติปัญญาและมีความละเอียดรอบคอบต่อการคิดวิเคราะห์และประเมินแนวความคิด เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงและพัฒนางานในเชิงสร้างสรรค์

2) การทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างสร้างสรรค์ (Work Creativity with Others) โดยมุ่งพัฒนาเน้นปฏิบัติและสื่อสารแนวคิดใหม่ ๆ ไปสู่ผู้อื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพเปิดใจกว้างและยอมรับในมุมมองหรือโลกทัศน์ใหม่ ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อระบบการทำงานเป็นผู้นำในการสร้างสรรค์งานรวมทั้งมีความรู้และเข้าใจในสภาพการณ์ ซึ่งอาจเป็นข้อเท็จจริงหรือเป็นข้อจำกัดโดยพร้อมที่จะยอมรับความคิดหรือสภาพการณ์ใหม่ ๆ ที่เกิดขึ้นนั้นได้ สามารถสร้างวิกฤติให้เป็นโอกาสส่งผลต่อและพัฒนางานได้อย่างต่อเนื่อง

3) นวัตกรรมจากการสร้างสรรค์ (Implement Innovations) โดยปฏิบัติเชิงสร้างสรรค์ให้เกิดคุณประโยชน์ต่อการปรับใช้และพัฒนาจากผลแห่งนวัตกรรมที่นำมาใช้

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะวัดความคิดสร้างสรรค์จากแบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยดัดแปลงแบบประเมินมาจาก Piirto (2011) เนื่องจากเป็นกรอบความคิดสร้างสรรค์สำหรับศตวรรษที่ 21 ซึ่งสอดคล้องกับโลกแห่งยุคปัจจุบัน

3. ประเภทของความคิดสร้างสรรค์

อูษณีย์ โพธิสุข (2537) ได้สรุปไว้ว่าความคิดสร้างสรรค์สามารถจำแนกได้ 4 ประเภท ดังนี้

1) ความคิดสร้างสรรค์ประเภทการเปลี่ยนแปลง (Innovation) คือ แนวคิดที่สร้างสรรค์สิ่งใหม่ขึ้น เช่น การประดิษฐ์สิ่งใหม่ ๆ ทฤษฎีใหม่ ๆ หรือเรียกว่า “นวัตกรรม” ที่เป็นการนำเอาสิ่งประดิษฐ์ใหม่มาใช้

2) ความคิดสร้างสรรค์ประเภทการสังเคราะห์ (Synthesis) คือ การรวบรวมแนวคิดจากแหล่งข้อมูลที่แตกต่างกันมารวมเข้ากัน แล้วทำให้เกิดแนวคิดใหม่ขึ้นที่มีคุณค่า

3) ความคิดสร้างสรรค์ประเภทต่อเนื่อง (Extension) เป็นการรวบรวมความคิดระหว่าง ความคิดสร้างสรรค์ประเภทเปลี่ยนแปลง (Innovation) กับความคิดสร้างสรรค์ประเภทการสังเคราะห์ (Synthesis) เข้าด้วยกัน คือ เป็นโครงสร้างที่ได้กำหนดไว้กว้าง ๆ แต่ความต่อเนื่องเป็นรายละเอียดที่จำเป็นในการปฏิบัติงาน

4) ความคิดสร้างสรรค์ประเภทการลอกเลียน (Duplication) เป็นลักษณะการจำลองที่ลอกเลียนแบบจากความสำเร็จอื่นๆ โดยมีการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงให้แตกต่างไปจากเดิม แต่ยังคงแบบเดิมไว้อยู่

4. ประโยชน์ของความคิดสร้างสรรค์

ความคิดสร้างสรรค์มีประโยชน์ต่อตนเองและสังคม ดังนี้
ประโยชน์ต่อตนเอง

1) เป็นการผ่อนคลายอารมณ์ลดความเครียดความคับข้องใจความก้าวร้าวเพราะได้แสดงออกอย่างอิสระทั้งด้านความคิดและการปฏิบัติ

2) มีความสนุกสนานความสุขความเพลิดเพลินและความภูมิใจในการได้คิดได้ทำงาน หรือผลิตชิ้นงานที่แปลกใหม่ จากความสามารถของตนจนประสบความสำเร็จ

3) สร้างนิสัยในการทำงานที่ดีผู้ที่มีความคิดสร้างสรรค์จะเป็นผู้ที่มีความพยายามไม่ท้อถอย มีความอดุสาหะ ขวนขวายในการสร้างสรรค์ตนเองและสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในลักษณะที่เหมาะสม

ประโยชน์ต่อสังคม

1) ทำให้การดำเนินชีวิตของตนมีความสุขสบายมากขึ้นเพราะมีผลงานสร้างสรรค์ของมนุษย์อยู่ตลอดเวลาสิ่งประดิษฐ์อันเกิดจากความคิดสร้างสรรค์ของมนุษย์ เช่น รถยนต์ เครื่องบิน เครื่องจักรรถแทรกเตอร์ เครื่องพิมพ์ เครื่องเก็บผลไม้ โทรศัพท์ โทรศัพท์มือถือ ฯลฯ

2) มีคุณภาพชีวิตที่ดีจากการค้นพบในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทำให้ได้ผลผลิตสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อการมีชีวิตรอยู่ เช่น ด้านการแพทย์การศึกษา การเกษตรด้านโภชนาการการดูแลสุขภาพอนามัย ฯลฯ

3) ช่วยแก้ปัญหาสังคมการที่สภาพสังคมมีการเปลี่ยนแปลงไปอยู่ตลอดเวลาทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ตามมา เช่น สภาพแวดล้อมเป็นพิษปัญหาขาดที่อยู่อาศัยความยากจนการผลิตเครื่องมืออุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ความคิดสร้างสรรค์เป็นส่วนหนึ่งในการช่วยแก้ปัญหา

4) ทำให้สังคมมีความเจริญก้าวหน้าในด้านต่าง ๆ เช่น ด้านการศึกษาด้านเศรษฐกิจด้านการเมืองการปกครองด้านสังคมและวัฒนธรรม ฯลฯ ความคิดสร้างสรรค์ของมนุษย์จะช่วยให้การดำเนินกิจการในด้านต่าง ๆ ดังกล่าวเป็นไปในทางที่เป็นประโยชน์

4.3.2. นวัตกรรม (Innovation)

1. ความหมายของนวัตกรรม

สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (2549) ได้ให้ความหมายไว้ว่า นวัตกรรม หมายถึง สิ่งใหม่ ๆ ที่เกิดจากการใช้ความรู้ และความคิด สร้างสรรค์ที่มีประโยชน์ต่อเศรษฐกิจและสังคม

Mc (2008) ได้ให้ความหมายไว้ว่า นวัตกรรม คือ การทำสิ่งต่าง ๆ ด้วยวิธีการใหม่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทางความคิด กระบวนการการผลิต หรือนวัตกรรม หมายถึง ความคิดริเริ่มที่นำมาประยุกต์ใช้อย่างสัมฤทธิ์ผล

กิดานันท์ มลิทอง (2548) ได้ให้ความหมายไว้ว่า นวัตกรรม เป็นแนวคิด การปฏิบัติหรือสิ่งประดิษฐ์ใหม่ๆ ที่ยังไม่เคยมีใช้มาก่อนหรือเป็นการพัฒนาดัดแปลงจากของเดิมที่มีอยู่แล้วให้ทันสมัยและใช้ได้ผลดียิ่งขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากพัฒนาการของเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงก้าวหน้าอยู่ตลอดเวลาส่งผลให้นำเทคโนโลยีมาใช้ในการปฏิบัติ ประดิษฐ์สิ่งใหม่ หรือพัฒนาสิ่งที่มีอยู่แล้วให้ดีขึ้นและเหมาะสมกับยุคสมัยได้ เมื่อมีการนำนวัตกรรมมาใช้จะช่วยให้การทำงานนั้นได้ผลดีมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงกว่าเดิม ทั้งยังช่วยประหยัดเวลาและแรงงานได้ด้วย

วรภัทร์ ภูเจริญ (2550) ได้ให้ความหมายว่า นวัตกรรมหมายถึง การกระทำใหม่ๆ หรือผลงานใหม่ ๆ

จากความหมายของนวัตกรรมข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า นวัตกรรม หมายถึง แนวคิด วิธีการใหม่ ๆ ที่ยังไม่เคยมีมาก่อน โดยผ่านกระบวนการทดลองแล้วประดิษฐ์เป็น สิ่งใหม่

2. ลักษณะเด่นที่จัดเป็นนวัตกรรม

1) จะเป็นสิ่งใหม่ทั้งหมด หรือ บางส่วนอาจจะเป็นของเก่าที่ใช้ในอดีต แล้วนำมาปรับปรุงใหม่ได้ดียิ่งขึ้น

2) มีการศึกษาทดลอง โดยอาศัยหลักการ ทฤษฎี มาใช้อย่างเป็นระบบ

3) มีการพิสูจน์ด้วยการทดลองหรือวิจัย

4) ยังไม่เป็นส่วนหนึ่งของระบบงานในปัจจุบัน หากว่าสิ่งใหม่นั้นมีการ เผยแพร่จนกลายเป็นที่ยอมรับกัน โดยทั่วไปแล้วไม่ถือว่าเป็นนวัตกรรมแต่จะกลายเป็นเทคโนโลยี

4.3.3 แนวทางการพัฒนาทักษะความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และนวัตกรรม

ความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ (Creative Thinking) เป็นการสร้างความคิดที่มี รูปแบบและลักษณะในแนวความคิดให้เกิดสิ่งประดิษฐ์ใหม่ นวัตกรรมใหม่และมีการพัฒนาที่ แปลกใหม่ที่เป็นประโยชน์และสร้างสรรค์ในสังคม ดังนั้น เพื่อเป็นการพัฒนาทักษะความคิด สร้างสรรค์และนวัตกรรม เป็นการสร้างให้ผู้เรียนแสดงความคิดอย่างเป็นอิสระ ไม่มีขอบเขต หรือ กฎเกณฑ์ในการคิด สร้างให้ผู้เรียนใช้สมาธิ และ สติในการคิดให้อยู่เหนืออารมณ์อยู่เสมอ ยอมรับ ฟังคำตำหนิตามจากคนอื่นได้เพื่อไปปรับปรุง ไม่มุ่งหวังผลกำไรจากความคิด เพิ่มทักษะในการฟัง และหมั่นฝึกฝนความคิดอย่างสม่ำเสมอ เพื่อพัฒนานวัตกรรมให้เกิดขึ้นได้จริง ต้องส่งเสริมความรู้ ความเข้าใจในการคิดเชิงนวัตกรรม เห็นเป้าหมาย วิสัยทัศน์แนวคิดต่อผู้เรียนให้มาก สร้างให้เด็ก เป็นผู้คิดวิเคราะห์เป็น คิดเชิงระบบและความคิดสร้างสรรค์ เป็นต้น เพื่อเด็กจะได้พัฒนาความคิด อย่างต่อเนื่อง และสามารถสร้างนวัตกรรมใหม่ เป็นประโยชน์ต่อสังคม

4. 4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ด้านความคิด สร้างสรรค์และนวัตกรรม

บวร เครือรัตน์ (2560) ได้ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับ การพัฒนารูปแบบการจัดการ การ เรียนรู้เน้นความคิดสร้างสรรค์ สำหรับนักศึกษาปริญญาตรีวิชาความคิดสร้างสรรค์เพื่อการ ออกแบบ กลุ่มเป้าหมายคือ ผู้สอนวิชาความคิดสร้างสรรค์เพื่อการออกแบบ จำนวน 5 คน นักศึกษาชั้นปีที่ 1 ที่เรียนวิชาความคิดสร้างสรรค์เพื่อการออกแบบ จำนวน 100 คน ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2560 จากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ผลการวิจัย พบว่า 1) รูปแบบการจัดการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น มีความ เหมาะสมและมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้สอนจริงได้ ภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด และ 2)

ผลการประเมินประสิทธิภาพรูปแบบการจัดการเรียนรู้ในระดับมาก และผลการประเมินความคิดสร้างสรรค์ของนักศึกษาหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

เจนจิรา มาลาน (2558) ได้พัฒนาชุดฝึกอบรมการคิดแนวข้างที่ส่งผลต่อความคิดสร้างสรรค์ สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยนอร์ท กรุงเทพ ในภาคการศึกษาที่ 2 ปีการศึกษา 2556 จำนวน 32 คน ได้มาโดยเลือกแบบเจาะจง ผลการวิจัย พบว่า 1) ชุดฝึกอบรมการคิดแนวข้างที่ส่งผลต่อความคิดสร้างสรรค์ มีประสิทธิภาพเท่ากับ 83.96/80.47 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 2) ผลความคิดสร้างสรรค์หลังฝึกอบรมสูงกว่าก่อนการฝึกอบรมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และ 3) นักศึกษามีความพึงพอใจต่อชุดฝึกอบรม การคิดแนวข้างที่ส่งผลต่อความคิดสร้างสรรค์ในระดับมากที่สุด ที่ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ =4.70)

5. บทปฏิบัติการ

5.1 ความหมายของบทปฏิบัติการ

พันศักดิ์ สายแสงจันทร์ (2544) ให้ความหมายของบทปฏิบัติการ คือ ชุดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ที่จัดขึ้นโดยเน้นการทดลองเพื่อให้นักเรียนได้ฝึกทักษะการปฏิบัติและการค้นคว้าด้วยตัวเองโดยมีครูเป็นผู้ให้คำแนะนำ

จำรัส อินทลาภาพร (2545) ได้ให้ความหมายของบทปฏิบัติการคือ ชุดกิจกรรมที่เน้นการทดลองทางวิทยาศาสตร์ เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติการด้วยตัวเองโดยมีครูเป็นผู้ให้คำแนะนำอย่างใกล้ชิด

จากความหมายบทปฏิบัติการข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า บทปฏิบัติการ หมายถึง ชุดกิจกรรมที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ เพื่อให้ผู้เรียนได้ความรู้ใหม่โดยผ่านการลงมือปฏิบัติด้วยตัวเองโดยมีผู้สอนเป็นผู้ให้คำแนะนำ

5.2 จุดมุ่งหมายในการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

นักการศึกษาได้กล่าวถึงจุดมุ่งหมายในการจัดการเรียนรู้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ดังนี้

แอนเดอร์สัน (Anderson, 1976) กำหนดจุดมุ่งหมายของการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ดังนี้

1) เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความรู้และความเข้าใจในกิจกรรมของมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์

2) เพื่อปลูกฝังทักษะการสืบสวนสอบสวนซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนสามารถนำทักษะไปใช้แก้ปัญหาอื่น ๆ ได้

3) เพื่อช่วยให้ผู้เรียนเกิดความซาบซึ้งและเลียนแบบบทบาทของนักวิทยาศาสตร์

4) เพื่อช่วยให้ผู้เรียนมีพัฒนาการทั้งทางด้านความรู้สึกลึกซึ้งซึ่งต่อความมีระเบียบของความรู้ทางวิทยาศาสตร์และทางด้านความเข้าใจในธรรมชาติของทฤษฎีและแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์

ฮอฟสไตน์และลูเนตตา (Hofstein, 1982) ได้กำหนดจุดมุ่งหมายของการจัดการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการ ดังนี้

1) เพื่อปลูกฝังให้เกิดความสนใจเจตคติความพึงพอใจ ความใจกว้างและความอยากรู้อยากเห็นในวิชาวิทยาศาสตร์

2) เพื่อพัฒนาความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และความสามารถในการแก้ปัญหา

3) เพื่อส่งเสริมความคิดแบบวิทยาศาสตร์และวิธีการทางวิทยาศาสตร์

4) เพื่อพัฒนาความเข้าใจเกี่ยวกับมโนทัศน์และความสามารถทางสติปัญญา

5) เพื่อพัฒนาความสามารถทางการปฏิบัติ

จากจุดมุ่งหมายที่กล่าวไว้ข้างต้นผู้วิจัยสรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้แบบปฏิบัติการ มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้และความเข้าใจเพื่อพัฒนาความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และมีความสามารถแก้ปัญหาได้

5.3 การจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

สุวัฒน์ นิยมคำ (2517) ได้กล่าวไว้ว่า การจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้แบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์โดยทั่วไปจัดได้เป็น 2 แบบ คือ

1) การทดลองแบบสำเร็จรูป (Structured laboratory) การทดลองแบบนี้ผู้สอนเป็นผู้กำหนดปัญหาบอกวิธีการแก้ปัญหาไว้เสร็จผู้เรียนเพียงแต่ทำตามคำชี้แจงในคู่มือการทดลอง

2) การทดลองแบบไม่กำหนดทิศทาง (Unstructured laboratory) การทดลองแบบนี้ผู้เรียนเป็นผู้ค้นหาคำตอบโดยผู้สอนกำหนดปัญหาให้เมื่อได้แนวทางแล้วจึงแยกย้ายกันทำการทดลองแล้วนำผลที่ได้มาอภิปรายหน้าชั้นอีกครั้งหนึ่งการทดลองแบบนี้เป็นการส่งเสริมสมรรถภาพทางด้านการคิดควรให้ผู้เรียนวางแผนการทดลองก่อนแล้วจึงลงมือทดลองตามแผนที่กำหนดไว้

การจัดการจัดการเรียนรู้ทั้ง 2 แบบ ที่กล่าวมามีความแตกต่างกัน คือ การทดลองแบบสำเร็จรูป ผู้เรียนจะได้รับคำแนะนำหรือบอกให้ทราบถึง วิธีปฏิบัติการทดลองการเก็บรวบรวมข้อมูลและการจัดกระทำข้อมูล ส่วนการทดลองแบบไม่กำหนดทิศทางผู้เรียนจะได้รับคำแนะนำเพียงเล็กน้อยหรือ อาจไม่ได้รับคำแนะนำเลย ผู้เรียนจะมีอิสระที่จะศึกษาปัญหาที่กำหนดให้หรือปัญหาที่ผู้เรียนมีความสนใจตามแนวทางของตนเอง

ภพ เลหาพญุลย์ (2542)ได้แบ่งการจัดการเรียนรู้แบบทดลองไว้ 3 แบบคือ

1) การทดลองที่มีการควบคุม (Controlled experiments) เป็นการทดลองที่ควบคุมตัวแปรที่เกี่ยวข้องโดยควบคุมตัวแปรอื่นเหลือไว้เพียง 2 ตัวแปร คือตัวแปรอิสระและตัวแปรตามแล้วทดลองว่าเมื่อตัวแปรอิสระเปลี่ยนไปจะมีผลกระทบต่อตัวแปรตามอย่างไร

2) การทดลองที่เป็นการฝึกหัด (Laboratory exercises) เป็นการฝึกหัดใช้เครื่องมือภายในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เพื่อให้ผู้เรียนได้คุ้นเคยและมีทักษะในการใช้เครื่องมือบางกิจกรรมออกแบบ เพื่อให้เข้าใจหลักการวิทยาศาสตร์บางอย่างโดยผู้สอนจะเป็นผู้เตรียมวัสดุอุปกรณ์และให้คำแนะนำในการทดลองเพื่อให้ได้ผลลัพธ์

3) การทดลองที่เป็นงานปฏิบัติการ (Laboratory work) เป็นการทดลองในทางวิทยาศาสตร์อย่างแท้จริงผู้เรียนเป็นผู้เริ่มและทำการทดลองโดยใช้ความคิดในระดับสูง ผู้เรียนได้ฝึกปฏิบัติในการกำหนดปัญหาหาวิธีการแก้ปัญหาสรุปผลการทดลองทำให้ผู้เรียนได้คิดอย่างพินิจพิเคราะห์

สุนีย์ เหมะประสิทธิ์ (2543) ได้กำหนดชนิดของวิธีสอนแบบทดลอง โดยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ได้ 3 ชนิด ดังนี้

1) วิธีสอนแบบทดลองตามบทปฏิบัติการหรือตามแบบฝึก (Laboratory approach or Cookbook experiment) โดยมุ่งเน้นให้ผู้เรียนปฏิบัติตามใบงานการทดลอง (Lab sheet) ที่ผู้สอนจัดเตรียมไว้ให้เรียบร้อยโดยมุ่งหวังให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความเข้าใจในข้อเท็จจริงและเน้นการตรวจสอบหลักการ กฎ ทฤษฎี

2) วิธีการสอนแบบทดลองโดยมีการชี้แนะ (Guided experiment) มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้คิดออกแบบการทดลองและดำเนินการทดลองด้วยตนเองโดยมีผู้สอนคอยตั้งคำถามชี้แนะแนวทาง

3) วิธีสอนแบบทดลองที่แท้จริง (Pure experiment) มุ่งเน้นให้ผู้เรียนมีวิธีการคิดทั้งด้านการเลือกกำหนดปัญหา ตั้งสมมติฐานการ ออกแบบการทดลอง ปฏิบัติการทดลองและสรุปผลการทดลองได้ด้วยตนเอง

จากการจัดการจัดการเรียนรู้แบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดการจัดการเรียนรู้แบบปฏิบัติการ โดยให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติตามปฏิบัติการที่ประกอบด้วย การกำหนดปัญหา ตั้งสมมติฐาน หลักการวิธีทดลอง โดยมีผู้สอนช่วยชี้แนะและให้คำปรึกษา

5.4 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

รอมมี (Romey, 1968) ได้แบ่งกิจกรรมการสอนแบบทดลองออกเป็น 3 ขั้น ดังนี้

- 1) ขั้นอธิบายก่อนการทดลอง (Pre-lab dimension) เป็นการตั้งปัญหาถามผู้เรียนเกี่ยวกับการทดลอง ทำการสาธิต เพื่อสร้างความสนใจและให้ความสัมพันธ์บางอย่าง
- 2) ขั้นทำการทดลอง (Lab activity) ในขั้นนี้เป็นการลงมือให้ผู้เรียนทำการทดลองตามแนวที่ได้อธิบายได้ในขั้นก่อนบทบาทของผู้สอนจะอยู่ในฐานะให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจอธิบายร่วมกับผู้เรียนส่วนผู้มีบทบาทสำคัญคือผู้เรียน
- 3) ขั้นอธิบายหลังการทดลอง (Post-lab discussion) หลังจากผู้เรียนได้ทำการทดลองแล้วให้ผู้เรียนเสนอผลการทดลอง ในช่วงนี้สิ่งที่อยู่ในมือผู้สอน คือ ผลการทดลองที่ถูกต้องจากหนังสือจากการทดลองที่ใช้เครื่องมืออย่างดี

ภพ เลหาพญุลย์ (2542) ได้วิเคราะห์ขั้นตอนในการสอนแบบทดลองซึ่งเป็นวิธีการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ดำเนินการศึกษาค้นคว้า ดังนี้ คือ

- 1) ขั้นกำหนดปัญหา เป็นการระบุปัญหาจากความต้องการเสาะแสวงหาคำตอบ
- 2) ขั้นตั้งสมมติฐาน เป็นการคาดคะเนคำตอบที่อาจเป็นไปได้
- 3) ขั้นทดลองและสังเกต เป็นการดำเนินการทดลองและสังเกตผลการทดลอง
- 4) ขั้นสรุปผลการทดลอง ที่ได้จากการทดลองและสังเกตผลการทดลอง

จากขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยสามารถสรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้แบบปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มีการดำเนิน 3 ขั้นตอน คือ ขั้นกำหนดปัญหาและตั้งสมมติฐาน ขั้นทดลอง และขั้นสรุปผล

5.5 ประโยชน์ของการจัดการเรียนรู้แบบปฏิบัติการ

ประโยชน์ของการจัดการเรียนรู้แบบปฏิบัติการ ได้มีนักการศึกษาหลายท่าน กล่าวไว้ดังนี้

ชุตินา วัฒนศิริ (2541) ได้สรุปประโยชน์ของการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ไว้ว่า

- 1) ช่วยเร่งความสนใจและช่วยให้เกิดคำถาม
- 2) ช่วยแก้ปัญหา
- 3) สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปใช้กับสถานการณ์ใหม่
- 4) ช่วยกระตุ้นความสนใจนักเรียนที่เรียนช้า

ดวงเดือน เทศวานิช (2530) ได้สรุปประโยชน์ของการสอนปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ไว้ว่า

- 1) นักเรียนได้รับประสบการณ์ตรงจากการลงมือปฏิบัติการทดลอง
 - 2) นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้อย่างเต็มที่ ทำให้นักเรียนเรียนรู้ด้วยความสนุกสนาน มีความกระตือรือร้นในการเรียนรู้
 - 3) นักเรียนได้เรียนรู้จากของจริงผ่านกระบวนการต่างๆ ได้พิสูจน์ ทดสอบเห็นผลประจักษ์ด้วยตนเอง ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้อย่างแท้จริง เข้าใจและจดจำได้นาน
 - 4) เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ค้นพบหลักวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง
 - 5) ส่งเสริมให้นักเรียนมีความเชื่อจากการพิสูจน์ด้วยการทดลอง
 - 6) ฝึกให้นักเรียนเป็นคนช่างสังเกต และคิดอย่างมีเหตุผลทำให้นักเรียนเกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และมีเจตคติที่ดีต่อ วิทยาศาสตร์และการเรียนวิทยาศาสตร์
- บุญชม ศรีสะอาด (2532) ได้กล่าวไว้ว่าประโยชน์ของการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการมีดังนี้

- 1) ผู้สอนมีอิสระที่จะให้ความช่วยเหลือและสอนแก่ผู้เรียนที่ต้องการความช่วยเหลือ
- 2) การจัดกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สามารถจัดให้กับผู้เรียนเป็นรายบุคคลหรือรายกลุ่มได้
- 3) ผู้เรียนสามารถศึกษากิจกรรมวิธีปฏิบัติจากสื่อที่สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง
- 4) เป็นเทคนิควิธีที่เป็นรากฐานของการแก้ปัญหา
- 5) ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้เรียนรู้การสรุปที่ครอบคลุมและนำการสรุปครอบคลุมไปใช้กับสถานการณ์ใหม่
- 6) เป็นวิธีการเรียนรู้ที่ผู้เรียนสืบเสาะหาความรู้และค้นพบความรู้ด้วยตนเอง

5.6. ขั้นตอนการสร้างบทปฏิบัติการ

ศิริกานต์ ฝาสุข (2543) ได้สรุปขั้นตอนการสร้างและการพัฒนาบทปฏิบัติการ ดังนี้

เมื่อได้ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการแล้ว ผู้วิจัยนำผลการทดลองมาเป็นข้อมูลตั้งต้นในการพัฒนาบทปฏิบัติการ โดยพัฒนาการทดลองให้ครอบคลุมเนื้อหาและตรงตามจุดประสงค์การเรียนรู้

1) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาบทปฏิบัติการและผลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดเพื่อนำมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการ

2) วิเคราะห์คำอธิบายรายวิชาเพื่อกำหนดจุดมุ่งหมายเนื้อหาและกิจกรรมของบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้น

3) กำหนดวัตถุประสงค์แต่ละบท

4) สร้างบทปฏิบัติการโดยมีองค์ประกอบ ชื่อบทปฏิบัติการ เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ (ใบความรู้) หลักการ / ทฤษฎีวัตถุประสงค์ อุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมี วิธีการทดลอง รายงานผลการทดลอง คำถามท้ายการทดลอง

พรทิพย์ วงษ์นาป่า (2548) ได้สรุปขั้นตอนการสร้างและการพัฒนาบทปฏิบัติการดังนี้

1) นำผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มาดำเนินการเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาบทปฏิบัติการต่อไป

2) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหลักสูตรการศึกษา บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ประสิทธิภาพการเรียนรู้ ในด้านที่ต้องการประเมิน ได้แก่ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ความพึงพอใจเป็นต้น

3) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาที่ต้องการนำมาใช้เพื่อพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เพื่อใช้ประกอบในการกำหนดเนื้อหาจุดประสงค์กิจกรรมการวัดและประเมินผลของการสร้างบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

4) กำหนดขอบเขตในการดำเนินการทดลองและลงมือปฏิบัติการทดลองภายในห้อง

5) นำผลการทดลองที่ได้เสนออาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโทและเตรียมสร้างบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

6) สร้างบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์แต่ละบทโดยมีองค์ประกอบ 3 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 คือ ชื่อบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และใบความรู้ประกอบบทปฏิบัติการ

ส่วนที่ 2 คือ บทปฏิบัติการ มีองค์ประกอบคือแนวคิด หรือหลักการ วัตถุประสงค์ การทดลอง เวลาที่ใช้ สมมติฐาน อุปกรณ์และสารเคมี และวิธีการทดลอง

ส่วนที่ 3 คือ รายงานผลการทดลองคำถามท้ายบทปฏิบัติการ ข้อผิดพลาดและข้อเสนอแนะ

จากขั้นตอนการสร้างบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างบทปฏิบัติการเคมี ตามขั้นตอนข้างต้น ที่ประกอบด้วย ข้อบทปฏิบัติการเคมี วัตถุประสงค์ ทฤษฎี อุปกรณ์ เครื่องมือและสารเคมี วิธีการทดลองและแบบบันทึกผลการทดลอง

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการ

ยศวดี ฐิตวร (2557) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟเรซิส สำหรับนิสิตปริญญาตรี ผลการวิจัยพบว่าบทปฏิบัติการเคมี ที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมากและมีค่าประสิทธิภาพ $E1 / E2$ เท่ากับ $80.19/80.44$ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ $E1 / E2$ ไม่น้อยกว่า $80/80$ มีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการและคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และนิสิตมีความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมี เรื่องเทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟเรซิส อยู่ในระดับดีมาก

กรไกร ภูมิไสว (2559) ได้พัฒนาบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เพื่อเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 กลุ่มตัวอย่างได้จากวิธีการสุ่มแบบกลุ่ม จำนวน 87 คน ผลการวิจัย พบว่า 1) บทปฏิบัติการเคมี เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีมีประสิทธิภาพ เท่ากับ $80.53/80.67$ เป็นไปตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ 2) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้รับการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการเคมีกับนักเรียนที่ได้รับการสอนแบบปกติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 3) ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนที่ได้รับการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการเคมีกับนักเรียนที่ได้รับการสอนแบบปกติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 4) นักเรียนที่ได้รับการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการเคมี เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี มีความพึงพอใจในระดับมาก

พรเพชร พานทอง (2560) ได้พัฒนาและหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง สมบัติของธาตุและสารประกอบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนเทพศิลา ผลการศึกษาพบว่า 1. บทปฏิบัติการเคมี เรื่อง สมบัติของธาตุและสารประกอบ ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ ($E1/E2$) เท่ากับ $81.74/82.10$ ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้คือ $80/80$ 2. นักเรียนมี

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนเมื่อเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง สมบัติของธาตุและสารประกอบ สูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.01 3. นักเรียนมีระดับผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ด้านทักษะปฏิบัติการทดลองเมื่อเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง สมบัติของธาตุและสารประกอบ อยู่ในระดับ ดีมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.53 4. นักเรียนมีระดับความพึงพอใจต่อการเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง สมบัติของธาตุและสารประกอบ อยู่ในระดับมากมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.37

นุชนภา พลสรรค์ (2558) ได้พัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง พันธะไอออนิก เพื่อส่งเสริมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนคณะราษฎรบำรุงปทุมธานี จำนวน 32 คน ซึ่งได้มาโดยการเลือกแบบเจาะจง ผลการวิจัยพบว่า 1) บทปฏิบัติการเรื่อง พันธะไอออนิก มี ประสิทธิภาพ E1 /E2 เท่ากับ 81.88/81.04 2) ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อน เรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.01 ($p < 0.01$) 3) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่อง พันธะไอออนิก หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ.01 ($p < 0.01$) 4) นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการเรียนโดยใช้บทปฏิบัติการ เรื่อง พันธะไอออนิก อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.05)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้ทำการวิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

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

การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ นิสิตระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชา ศษ 481 หลักสูตรและการสอนวิทยาศาสตร์ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 จำนวน 24 คน ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling)

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อหาในบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์การตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์ และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี ประกอบด้วยบทปฏิบัติการทั้งหมด 2 บทปฏิบัติการ ได้แก่ การทดลองที่ 1 การประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ และการทดลองที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาล

ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง

ทำการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์การตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี กับกลุ่มเป้าหมายในวันที่ 15-16 ตุลาคม ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 ในช่วงโม่งเรียนรายวิชา ศษ 481 หลักสูตรและการสอนวิทยาศาสตร์ เวลาที่ใช้ 9 ชั่วโมง รายละเอียดการจัดการเรียนรู้ ดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 ระยะเวลาในการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมีเรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์การตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี

สัปดาห์	กิจกรรมการเรียนรู้	จำนวนชั่วโมง
1	ชี้แจงบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์การตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี และทำการทดสอบทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมก่อนเรียนแล้วจัดการเรียนรู้ด้วย การทดลองที่ 1 การประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ	3
2	การทดลองที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาล	4
3	ทดสอบหลังเรียนด้วยการออกแบบการทดลอง	2
รวม		9

การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย บทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี และแบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

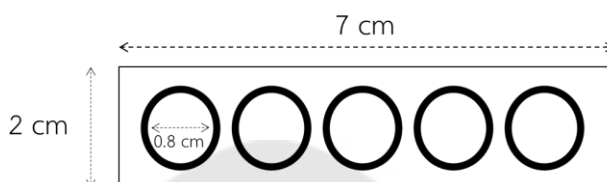
1. การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการพัฒนาวิธีการทดลองเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี มีดังนี้

1.1 การพัฒนาวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐาน

กระดาษ

1) ออกแบบรูปแบบอุปกรณ์ PADs ที่มีความกว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 7 เซนติเมตรและเนื้อที่บริเวณเกิดปฏิกิริยามีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 ตารางเซนติเมตร จำนวน 5 วงกลมลงในอุปกรณ์ PADs ดังภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 การออกแบบอุปกรณ์ PADs

2) การประดิษฐ์อุปกรณ์ PADs โดยนำกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 แล้วใช้ปากกา Permanent marker สีดำ ยี่ห้อ Sakura เป็นขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำวาดเป็นรูปวงกลมที่ได้ออกแบบไว้ในข้อ 1 ลงในกระดาษ 5 วง ซึ่งวงกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 เซนติเมตร หลังจากนั้นพักทิ้งไว้ให้แห้ง 1 นาที พลิกกระดาษขึ้นมาอีกด้าน แล้ววาดเป็นรูปวงกลมทับใส่จุดเดิม แล้วติดเทปใสด้านหลังของอุปกรณ์ PADs สนิท

3). การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของอุปกรณ์ PADs โดยการสังเกตได้ด้วยตาเปล่า สีของหมึกที่วาดจะต้องสม่ำเสมอทั้งด้านหน้าและด้านหลังของ PADs ไม่มีการขาดหายของหมึกในเส้นขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำ

นอกจากนี้ตรวจสอบอุปกรณ์ PADs ตรวจสอบได้จากการหยดสีผสมอาหารสีแดง จำนวน 8 μL ลงบนอุปกรณ์ PADs ซึ่งสีผสมอาหารจะต้องไม่มีรอยรั่วของสีที่ซึมออกมาด้านนอกวงกลม

1.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นร้อยละของสารละลายน้ำตาลฟรุคโตส มาตรฐานและความเข้มข้นสี

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายน้ำตาลฟรุคโตส มาตรฐานและความเข้มข้นสีมีขั้นตอนดังนี้

ตาราง 3 ขั้นตอนศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำตาลฟรุกโตสมาตรฐานและความเข้มข้น

ลำดับ	ขั้นตอน
1	เตรียมสารละลายน้ำตาลฟรุกโตสมาตรฐานความเข้มข้นร้อยละ 1, 2, 4, 6, 8 และ 10 % (w/v) ตามลำดับ ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 5 ml
2	ปิเปตต์สารละลายเซลิวานอฟส์ 3 M จำนวน 8 μ L ลงในอุปกรณ์ PADs ที่เตรียมไว้ รอให้อุปกรณ์ PADs แห้ง หลังจากนั้น ปิเปตต์สารละลายเซลิวานอฟส์ ซ้ำอีกครั้ง หนึ่งแล้วรอให้อุปกรณ์ PADs แห้ง
3	ปิเปตต์สารละลายน้ำตาลฟรุกโตสมาตรฐานความเข้มข้นร้อยละ 1, 2, 4, 6, 8 และ 10 % (w/v) จำนวน 8 μ L ใส่ลงใน PADs แล้วนำไปต้มในปิกเกอร์ที่อุณหภูมิ 95°C ต้มจนกว่าอุปกรณ์ PADs จนกว่าสีที่เกิดจะเต็มวงกลม

1.3 ศึกษาความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่เหมาะสมในการเตรียมสารละลายเซลิวานอฟส์

การศึกษาความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่เหมาะสมในการเตรียมสารละลายเซลิวานอฟส์ แสดงขั้นตอนดังในตาราง 4

ตาราง 4 ศึกษาความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่เหมาะสมในการเตรียมสารละลายเซลิวานอฟส์

ลำดับ	ขั้นตอน
1	เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 1,2,3,4 และ 5 M
2	ใช้ปิกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร ซึ่งเรโซซินอล 0.1 % (w/v) จำนวน 5 ครั้ง จากนั้นนำเรโซซินอลที่ซังไว้จะละลายในกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 1, 2, 3, 4 และ 5 M ตามลำดับ
3	ปิเปตต์สารละลายเซลิวานอฟส์ที่มีความเข้มข้นของไฮโดรคลอริก 1, 2, 3, 4 และ 5 M จำนวน 8 μ L ใส่ลงในอุปกรณ์ PADs ที่เตรียมไว้ให้ครบ

ตาราง 4 (ต่อ)

ลำดับ	ขั้นตอน
	ตามลำดับ รอให้อุปกรณ์ PADs แห้ง หลังจากนั้นปีเปตต์สารละลายเซลลิวนอฟส์ ซ้ำอีกครั้งหนึ่งแล้วรอให้แห้ง
4	ปีเปตต์สารละลายฟรุกโตสมาตรฐานที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 % (w/v) จำนวน 8 μ L ใส่ลงในอุปกรณ์ PADs
5	นำเอาอุปกรณ์ PADs ไปต้มในปิกเกอร์ ที่ อุณหภูมิ 95 °C สังเกตการเปลี่ยนสีที่เกิดขึ้นจนกว่าสีจะเต็มวง จากนั้นนำ PADs ออกจากปิกเกอร์แล้วนำไปถ่ายรูปในกล่องดำด้วยกล้องโทรศัพท์ แล้ววิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Image J โดยเลือกบริเวณภายในวงกลมและทำซ้ำ 3 ครั้ง
6	สร้างกราฟระหว่างค่าความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกและค่าความเข้มสีที่ได้จากการวิเคราะห์ในโปรแกรม ImageJ

1.4 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการรอให้อุปกรณ์ PADs แห้ง

ทำการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการรอให้อุปกรณ์ PADs แห้ง ในเวลา 2, 3 และ 5 นาที โดยมีขั้นตอนดังนี้

ตาราง 5 ขั้นตอนศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการรอให้อุปกรณ์ PADs แห้ง

ลำดับ	ขั้นตอน
1	ปีเปตต์สารละลายเซลลิวนอฟส์ 3 M จำนวน 8 μ L ลงในอุปกรณ์ PADs ที่เตรียมไว้ให้ครบแต่ละวงกลมตามลำดับ รอให้อุปกรณ์ PADs แห้ง หลังจากนั้นปีเปตต์สารละลายเซลลิวนอฟส์ 3 M ตามลำดับซ้ำอีกครั้งหนึ่ง
2	ปีเปตต์สารละลายฟรุกโตสมาตรฐานความเข้มข้นร้อยละ 2, 4, 6, 8 และ 10 % (w/v) จำนวน 8 μ L ใส่ลงใน PADs ที่ได้จากข้อที่ 1 รอให้อุปกรณ์ PADs เวลา 2, 3 และ 5 นาที

ตาราง 5 (ต่อ)

ลำดับ	ขั้นตอน
3	นำเอาอุปกรณ์ PADS ไปต้มที่อุณหภูมิ 95 °C รอจนกว่าสีจะเกิดขึ้นเต็มวง โดยการทำซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นถ่ายภาพ PADS ในกล่องดำด้วยกล้องโทรศัพท์ เอารูปที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าความเข้มสีด้วยโปรแกรม Image J
4	สร้างการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลฟรุคโตสมาตรฐานกับค่าความเข้มสีที่ได้จากการวิเคราะห์ในโปรแกรม Image J

1.5 การตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์พัฒนาขึ้นโดยการประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณน้ำตาลในตัวอย่าง

1.5.1 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (linearity)

การศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลและความเข้มสี แสดงขั้นตอนดังตาราง 6

ตาราง 6 ขั้นตอนการสร้างกราฟมาตรฐาน

ลำดับ	ขั้นตอน
1	ปิเปตต์สารละลายเซลลิวนอฟเข้มข้น 3 M จำนวน 8 μ L ลงในอุปกรณ์ PADS ที่เตรียมไว้ให้ครบแต่ละวงกลมตามลำดับ รอให้อุปกรณ์ PADS แห้ง หลังจากนั้น ปิเปตต์สารละลายเซลลิวนอฟ 3 M ตามลำดับ ซ้ำอีกครั้งหนึ่งแล้วรอให้อุปกรณ์ PADS แห้ง
2	ปิเปตต์สารละลายฟรุคโตสมาตรฐานความเข้มข้นร้อยละ 2, 4, 6, 8 และ 10 % (w/v) จำนวน 8 μ L ลงในอุปกรณ์ PADS ที่ได้จากข้อที่ 1
3	นำเอาอุปกรณ์ PADS ไปต้มที่อุณหภูมิ 95 °C รอจนกว่าสีจะเกิดขึ้นเต็มวง โดยการทำซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นถ่ายภาพ PADS ในกล่องดำด้วยกล้องโทรศัพท์ เอารูปที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าความเข้มสีด้วยโปรแกรม Image J
4	นำเอาค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลฟรุคโตสมาตรฐานกับค่าความเข้มสีที่ได้จากการวิเคราะห์ในโปรแกรม ImageJ แล้วนำค่าที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

1.5.2 การประเมินความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ (Accuracy)

คือความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์แสดงความใกล้เคียงกันระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์นั้น เปรียบเทียบกับค่าจริง หรือค่าอ้างอิงที่เป็นที่ยอมรับ โดยเตรียมสารละลายน้ำตาลมาตรฐานที่ความเข้มข้น 3 และ 5 % (w/v) แล้วนำเอาค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มาคำนวณหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนจากสูตร

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{|\text{ค่าจากการทดลอง} - \text{ค่าที่ยอมรับหรือค่าจริง}|}{\text{ค่าที่ยอมรับหรือค่าจริง}} \times 100$$

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการพัฒนาบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี มีดังนี้

1. การประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษผู้วิจัยได้ออกแบบรูปแบบแล้วประดิษฐ์อุปกรณ์ PADS จากนั้นนำมาตรวจสอบคุณภาพ ผลการมาตรวจสอบคุณภาพ พบว่า สีของหมึกที่วาดมีความสม่ำเสมอทั้งด้านหน้าและด้านหลังของ PADS ซึ่งไม่มีการขาดหายของหมึกในเส้นขอบเขตที่ไม่ขอบน้ำและสีผสมอาหารไม่มีรอยรั่วซึมออกมาด้านนอกวงกลม จากนั้นนำอุปกรณ์ดังกล่าวมาใช้ในการทดลองครั้งต่อไป ในส่วนการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทดลองผู้วิจัยได้ศึกษาดังนี้

2. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นร้อยละของน้ำตาลฟรุคโตสมาตรฐานและความเข้มสีผลการทดลองพบว่า ความเข้มสีที่เปลี่ยนแปลงนั้นมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสีที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นของน้ำตาลฟรุคโตสมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในช่วงร้อยละ 2-10 % (w/v)

3. ศึกษาความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่เหมาะสมในการเตรียมสารละลายเซลิวานอฟส์ ผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่เหมาะสมในการเตรียมสารละลายเซลิวานอฟส์ คือ 3 M

4. การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการรอให้อุปกรณ์ PADS แห้ง เวลา คือ 2, 3 และ 5 นาที ผลการทดลองพบว่า เวลาที่เหมาะสมในการรอให้อุปกรณ์ PADS แห้ง คือ 5 นาที

5. การตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์พัฒนาขึ้นโดยการการประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณน้ำตาลในตัวอย่าง คือ

1) การหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (linearity) ผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของน้ำตาลและค่าความเข้มข้นมีความสัมพันธ์เชิงเส้น ซึ่งสมการเส้นตรง คือ $y = 2.4019x + 123.73$ และมีค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นตรงเฉลี่ย เท่ากับ 0.9981 (รายละเอียดผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ง)

จากผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมทั้งหมดในข้างต้น ผู้วิจัยได้นำข้อมูลผลการทดลองไปใช้ในการสร้างบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อการสร้างเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การสร้างบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาล โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี สำหรับใช้ในการจัดการเรียนรู้ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี ผู้วิจัยดำเนินการดังนี้

2.1 ศึกษาโครงสร้างหลักสูตร รายวิชาและการพัฒนาผลการเรียนรู้ในด้านต่าง ๆ ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560 ผู้วิจัยมีความสนใจในรายวิชา ศษ 481 หลักสูตรและการสอน วิทยาศาสตร์ ชั้นปีที่ 4 โดยต้องการพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีของนิสิตระดับปริญญาตรี สาขาวิชาเคมี ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2.2 ลงมือทำการทดลองและนำผลการทดลองเป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดขอบเขตของการทดลอง เพื่อสร้างและพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการตรวจวัดแบบเทียบ โดยการกำหนดโครงสร้างและองค์ประกอบของบทปฏิบัติการเคมี ที่ประกอบด้วย ชื่อบทปฏิบัติการเคมี คำนำ สารบัญ คำชี้แจง วัตถุประสงค์การเรียนรู้ ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง หลักการ เครื่องมือและอุปกรณ์ สารเคมีและสารตัวอย่าง วิธีการทดลอง แบบบันทึกผลการทดลอง และการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (5E) โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 สร้างความสนใจ: ผู้สอนให้สถานการณ์เกี่ยวกับโรคเบาหวานแล้วให้นิสิตระบุสาเหตุของโรคเบาหวาน

ขั้นที่ 2 สำรวจและค้นหา: ผู้สอนแนะนำให้นิสิตอ่านข้อมูลเกี่ยวกับน้ำตาล และบอกข้อดีและข้อเสียให้ตารางให้ถูกต้อง และให้นิสิตศึกษาที่มาและการขึ้นรูปของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษแล้วเลือกวิธีการขึ้นรูปอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษที่ดีที่สุด หลังจากนั้น ให้นิสิตปฏิบัติการทดลองที่ 1 การประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐาน

กระดาศ ที่ประกอบด้วย ขั้นตอนการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาศ การประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาศและการตรวจสอบคุณภาพ

ขั้นที่ 3 อธิบายและลงข้อสรุป: ผู้สอนแนะนำให้นิสิตอธิบายและสรุปผลการประดิษฐ์อุปกรณ์ PADs พร้อมเหตุผลประกอบในการปรับปรุงการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาศ

ขั้นที่ 4 ขยายความรู้: ผู้สอนทำการทดสอบก่อนเรียนโดยให้นิสิตออกแบบการทดลองที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาลในตัวอย่าง หลังจากนั้นให้นิสิตปฏิบัติการทดลอง

ขั้นที่ 5 ขั้นประเมิน: ผู้สอนแนะนำให้นิสิตออกแบบและสร้างทำโปสเตอร์เพื่อนำเสนอผลงานการทดลอง หลังจากนั้นผู้สอนทำการทดสอบหลังเรียนด้วยการให้นิสิตออกแบบการทดลองที่ 2 อีกครั้งหนึ่ง

2.4 ดำเนินการสร้างคู่มือปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาศร่วมกับการตรวจวัดแบบเทียบสี ประกอบด้วย การทดลองที่ 1 การประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาศและการทดลองที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาล

2.5 นำบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลที่สร้างไว้ เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ เพื่อดำเนินการตรวจสอบคุณภาพ 2 ประเด็น คือ ประเมินความเหมาะสมและความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาโดยพิจารณาความสอดคล้องของบทปฏิบัติการ เพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องในด้านต่าง ๆ

2.6 นำบทปฏิบัติการเคมีที่ผ่านการปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดลองกับนิสิตที่ไม่ใช่กลุ่มเป้าหมาย เพื่อปรับปรุงและแก้ไขกิจกรรม โดยการทดลองใช้ ในเดือน มีนาคม ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 จำนวน 22 คน ชั้นปีที่ 4 หลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิต พบว่านิสิตให้ความสนใจในกิจกรรมเป็นอย่างมาก ภาษาที่ใช้ในบทปฏิบัติการเข้าใจง่าย แต่ผู้เรียนต้องการให้บทปฏิบัติการมีความเชื่อมโยงกันมากขึ้น ผู้วิจัยจึงปรับปรุงโดยการเรียงลำดับเนื้อหาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้นโดย เพิ่มรายละเอียดคำชี้แจงให้กับผู้เรียนในบทปฏิบัติการเพื่อนำบทปฏิบัติการที่สร้างขึ้นไปใช้กับนิสิตกลุ่มตัวอย่างต่อไป โครงสร้างของบทปฏิบัติการเคมี ที่พัฒนาขึ้น แสดงดังตาราง 7

ตาราง 7 โครงสร้างบทปฏิบัติการเคมี เรื่องการหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์
แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเปียบสี

การทดลอง	วัตถุประสงค์การเรียนรู้	เวลาที่ใช้
การทดลองที่ 1		
การประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจ วิเคราะห์แบบฐานกระดาษ	ออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ แบบฐานกระดาษ	3 ชม
การทดลองที่ 2		
การหาปริมาณน้ำตาล	ออกแบบการทดลองและหาปริมาณน้ำตาล	6 ชม

**2.3 วิธีการหาคุณภาพของบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาล
โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ ร่วมกับการตรวจวัดแบบเปียบสี
สำหรับใช้ในการจัดการเรียนรู้ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของ
นิสิตระดับปริญญาตรี ผู้วิจัยดำเนินการดังนี้**

2.3.1 การประเมินด้านความเหมาะสมด้านองค์ประกอบของบทปฏิบัติการเคมี
เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยผู้วิจัยนำบทปฏิบัติการเคมีที่พัฒนาแล้วเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ 3
ท่าน ซึ่งประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา 1 ท่าน คือ รองศาสตราจารย์ ดร. เกรียงศักดิ์ ส่งศรี
โรจน์ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 2 ท่าน ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ พรพิ
สุทธิมาศและ อาจารย์ ดร. ชัชฎาภรณ์ พิณฑทอง เพื่อพิจารณาองค์ประกอบของบทปฏิบัติการเคมี
แบบมาตรฐานประมาณค่า 5 ระดับ ตามแนวคิดของลิเคิร์ท (พวงรัตน์ ทวีรัตน์, 2540) โดยกำหนด
ระดับความคิดเห็นแต่ละช่วงคะแนนมีความหมายดังนี้

- 5 หมายถึง มีความเหมาะสมในระดับมากที่สุด
- 4 หมายถึง มีความเหมาะสมในระดับมาก
- 3 หมายถึง มีความเหมาะสมในระดับปานกลาง
- 2 หมายถึง มีความเหมาะสมในระดับน้อย
- 1 หมายถึง มีความเหมาะสมในระดับน้อยที่สุด

นำคะแนนที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน มาหาค่าเฉลี่ยผลการประเมินคุณภาพของบท
ปฏิบัติการเคมี และแปลคะแนนค่าเฉลี่ยโดยใช้เกณฑ์การประเมิน ดังนี้

- ค่าเฉลี่ย 4.51-5.00 หมายถึง มีความเหมาะสมมากที่สุด
- ค่าเฉลี่ย 3.51-4.50 หมายถึง มีความเหมาะสมมาก

ค่าเฉลี่ย 2.51-3.50 หมายถึง มีความเหมาะสมปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.51-2.50 หมายถึง มีความเหมาะสมน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00-1.50 หมายถึง มีความเหมาะสมน้อยที่สุด

ผลประเมินความเหมาะสมด้านองค์ประกอบของบทปฏิบัติการเคมี โดย ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พบว่า มีความเหมาะสมในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.29 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.28 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค)

2.3.2 การประเมินด้านความสอดคล้องของบทปฏิบัติการเคมีโดยผู้วิจัยนำบทปฏิบัติการเคมี เสนอผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ซึ่งประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาบทปฏิบัติการเคมี 1 ท่าน คือ รองศาสตราจารย์ ดร. เกรียงศักดิ์ ส่งศรีโรจน์ และผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 2 ท่าน ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศและ อาจารย์ ดร. ชัชฎาภรณ์ พินทอง เพื่อพิจารณาความสอดคล้อง โดยใช้แบบประเมินแบบมาตราส่วนประมาณค่า 3 ระดับ คือ สอดคล้อง ไม่แน่ใจ ไม่สอดคล้อง ซึ่งกำหนดเกณฑ์การพิจารณาดังนี้

คะแนน +1 หมายถึง เมื่อแน่ใจว่าข้อความนั้นตรงกับคุณลักษณะของบทปฏิบัติการเคมี

คะแนน 0 หมายถึง เมื่อไม่แน่ใจว่าข้อความนั้นตรงกับคุณลักษณะของบทปฏิบัติการเคมี

คะแนน -1 หมายถึง เมื่อแน่ใจว่าข้อความนั้นไม่ตรงกับคุณลักษณะของบทปฏิบัติการเคมี

ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของบทปฏิบัติการเคมี พบว่ามีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา โดยมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่าง 0.67-1.00 (ดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ค) โดยใช้สูตร ดังนี้

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

เมื่อ IOC แทน ดัชนีความสอดคล้องระหว่างผู้เชี่ยวชาญ

$\sum R$ แทน ผลรวมคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

N แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

2.3.3 นำคู่มือบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการตรวจวัดแบบเทียบสี มาปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน แสดงดังตาราง 8

ตาราง 8 ข้อเสนอแนะและการปรับปรุงแก้ไขบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาล โดยใช้ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

ข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ	การปรับปรุงแก้ไข
1. ควรเพิ่มสารบัญญัติและบรรณานุกรมในคู่มือบทปฏิบัติการเคมี	แก้ไขโดย ใส่สารบัญญัติและบรรณานุกรมในคู่มือบทปฏิบัติการเคมี
2. ควรเพิ่มวัตถุประสงค์ให้สอดคล้องกับการทดลองในคู่มือบทปฏิบัติการเคมี	แก้ไขโดย กำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ให้สอดคล้องกับการทดลองในคู่มือบทปฏิบัติการเคมี
3. แก้ไขการสะกดคำผิดให้ถูกต้องและปรับคำชี้แจงโดยการขยายความให้ละเอียดมากขึ้น	แก้ไขโดย แก้ไขการสะกดใหม่ให้ถูกต้องและปรับคำชี้แจงโดยการขยายความให้ละเอียดมากขึ้น
4. ควรปรับสำนวนประโยคให้ชัดเจนมากขึ้น และควรปรับรายละเอียดการบันทึกผลการทดลองเคมี ให้สอดคล้องกับแบบประเมิน	แก้ไขโดย การปรับสำนวนประโยคให้ชัดเจน และปรับรายละเอียดการบันทึกผลการทดลองเคมี ให้สอดคล้องกับแบบประเมิน
5. ควรขยายคำศัพท์ทางวิทยาศาสตร์ที่ยังไม่ชัดเจน	แก้ไขโดย ขยายคำศัพท์ทางวิทยาศาสตร์และเพิ่มเนื้อหาในการอธิบายให้ชัดเจน
6. ควรเพิ่มเกณฑ์การประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมในคู่มือบทปฏิบัติการเคมี เพื่อเป็นแนวทางให้นักเรียนได้ศึกษาระหว่างการปฏิบัติการทดลอง	แก้ไขโดย เพิ่มเกณฑ์การประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมในคู่มือบทปฏิบัติการเคมี เพื่อให้นักเรียนได้ศึกษาระหว่างการปฏิบัติการทดลอง

2.3.4 นำคู่มือบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วนำไปทดลองใช้กับนิสิตระดับปริญญาตรี จำนวน 22 คน ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง ที่มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โดยการเลือกแบบเจาะจง

2.4 ขั้นตอนการสร้างแบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

ผู้วิจัยได้สร้างแบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมทั้งหมดประกอบด้วย 4 ด้าน ได้แก่ 1. ความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบผลงาน 2. การทำงานอย่างสร้างสรรค์ 3. การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ และ 4. การนำเสนอผลงานอย่างสร้างสรรค์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.4.1 ศึกษาวิธีการสร้างแบบประเมินจากหนังสือและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

2.4.2 สร้างแบบประเมินทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยดัดแปลงเกณฑ์การประเมินมาจาก Standards Rebrics for Creativity for 21st century Skills การประเมินรวมทั้งหมด 24 ข้อ ประเมินทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบผลงาน 4 ข้อ โดยการเปรียบเทียบคะแนนก่อนเรียนกับหลังเรียน ด้านการทำงานอย่างสร้างสรรค์ 3 ข้อ การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ 9 ข้อ และการนำเสนอผลงานอย่างสร้างสรรค์ 8 ข้อ ซึ่งเป็นการประเมินหลังเรียน แสดงดังตาราง 9

ตาราง 9 การประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมออกเป็น 2 การทดลอง

การทดลองที่	ด้านทักษะ	หัวข้อการประเมิน	วัดและประเมินผล
การทดลองที่ 1			
การประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ	ความคิดสร้างสรรค์	3	ทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน
การทดลองที่ 2	ความคิดสร้างสรรค์	1	ทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน
การหาปริมาณน้ำตาล	การทำงานอย่างสร้างสรรค์	4	ทดสอบหลังเรียน

ตาราง 9 (ต่อ)

การทดลองที่	ด้านทักษะ	หัวข้อการ ประเมิน	วัดและ ประเมินผล
	การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์	5	
	การนำเสนอผลงานอย่างสร้างสรรค์	5	
จำนวนหัวข้อการประเมินทั้งหมด		18	

เกณฑ์การประเมินระดับทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้กำหนดระดับคะแนนเป็นแบบมาตราประมาณค่า 4 ระดับ โดยกำหนดระดับการประเมินระดับทักษะตามเกณฑ์คะแนนแสดงดังตาราง 10

ตาราง 10 การประเมินระดับทักษะตามเกณฑ์คะแนน

ระดับทักษะ	ปรับปรุง	พอใช้	ดี	ดีมาก
คะแนน	1	2	3	4

ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการประเมินโดยการสรุปผลการประเมินในด้านความคิดสร้างสรรค์ การทำงานอย่างสร้างสรรค์ การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ และการนำเสนอผลงานอย่างสร้างสรรค์ ดังนี้

- 1) หาค่าเฉลี่ยของคะแนนรวมจากครูผู้สอน 3 ท่าน
- 2) เทียบคะแนนเฉลี่ยกับเกณฑ์การสรุปผลประเมิน

เกณฑ์ระดับคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

1) ความคิดสร้างสรรค์ วัดจากการออกแบบการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษและการออกแบบการทดลองในการหาปริมาณน้ำตาลในตัวอย่างโดยมีหัวข้อการประเมินทั้งหมด 4 ข้อ คิดเป็นคะแนนเต็ม 16 คะแนน

2) การทำงานอย่างสร้างสรรค์ ประเมินจากการดำเนินกิจกรรมเป็นกลุ่ม โดยมีหัวข้อการประเมินทั้งหมด 4 ข้อ คิดเป็นคะแนนเต็ม 16 คะแนน

3) การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ ประเมินจากคุณภาพของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษและการทดลองหาปริมาณน้ำตาล โดยมีหัวข้อการประเมินทั้งหมด 5 ข้อ คิดเป็นคะแนนเต็ม 20 คะแนน

4) การนำเสนอผลงานอย่างสร้างสรรค์ ประเมินจากการนำเสนอผลงานโดยมีหัวข้อการประเมินย่อยทั้งหมด 5 ข้อ คิดเป็นคะแนนเต็ม 20 คะแนน

เกณฑ์การประเมินเกณฑ์ระดับทักษะความคิดอย่างสร้างสรรค์ การทำงานอย่างสร้างสรรค์ การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์และการนำเสนอผลงานอย่างสร้างสรรค์ได้แบ่งระดับทักษะเป็นช่วงคะแนนแสดงดังตาราง 11

ตาราง 11 เกณฑ์การประเมินเกณฑ์ระดับคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบผลงาน การทำงานอย่างสร้างสรรค์ การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์และการนำเสนอผลงานอย่างสร้างสรรค์

ความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบผลงาน				
ระดับ	ปรับปรุง	พอใช้	ดี	ดีมาก
ช่วงคะแนน	0.00 – 4.00	4.01 – 8.00	8.01- 12.00	12.01 – 16.00
การทำงานอย่างสร้างสรรค์				
ช่วงคะแนน	0.00 – 4.00	4.01 – 8.00	8.01- 12.00	12.01 – 16.00
การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์				
ช่วงคะแนน	0.00 – 5.00	5.01 – 10.00	10.01 – 15.00	15.01- 20.00
การนำเสนอผลงานอย่างสร้างสรรค์				
ช่วงคะแนน	0.00 – 5.00	5.01 – 10.00	10.01 – 15.00	15.01- 20.00
เกณฑ์การประเมินรวมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม				
ช่วงคะแนน	0.00 – 18.00	18.01 – 36.00	36.01 – 54.00	54.01- 72.00

ในส่วนคะแนนเฉลี่ยทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ จะนำมาเปรียบเทียบกับระหว่างคะแนนก่อนกับหลังการจัดการเรียนรู้ ส่วนคะแนนด้านความคิดสร้างสรรค์ การทำงานอย่างสร้างสรรค์ การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์และการนำเสนอผลงานอย่างสร้างสรรค์ จะศึกษาคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน

2.5 วิธีการหาคุณภาพแบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ดำเนินตามขั้นตอนต่อไปนี้

การประเมินด้านความสอดคล้องของแบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ โดยผู้วิจัยนำบทปฏิบัติการเคมี เสนอผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ซึ่งประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาบทปฏิบัติการเคมี 1 ท่านและผู้เชี่ยวชาญด้านเคมีศึกษา 2 โดยใช้แบบประเมินแบบมาตราส่วนประมาณค่า 3 ระดับ คือ สอดคล้อง ไม่แน่ใจ ไม่สอดคล้อง ซึ่งกำหนดเกณฑ์การพิจารณา

คะแนน + 1 หมายถึง เมื่อแน่ใจว่าข้อความสอดคล้องกับคุณลักษณะตามนิยาม

คะแนน 0 หมายถึง เมื่อไม่แน่ใจว่าข้อความสอดคล้องกับคุณลักษณะตามนิยาม

คะแนน -1 หมายถึง เมื่อแน่ใจว่าข้อความไม่สอดคล้องกับคุณลักษณะตามนิยาม

ผลการประเมินความสอดคล้องของประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่าง 0.67-1.00 (ดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก ค) โดยใช้สูตรดังนี้

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

เมื่อ IOC แทน ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์

$\sum R$ แทน ผลรวมคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

N แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

2. นำแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม มาปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านแล้วไปทดลองใช้กับกลุ่มเป้าหมาย

การเก็บรวบรวมข้อมูล

แบบแผนการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยใช้รูปแบบการวิจัยเชิงทดลองขั้นต้น (Pre-Experimental Research) โดยใช้แบบแผนการทดลองกลุ่มเดียว ทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน (One-Group Pretest-Posttest Design) แสดงในตารางดังนี้ (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ, 2538)

ตาราง 12 แบบแผนการทดลอง

กลุ่มเป้าหมาย	ทดสอบก่อนเรียน	ทดลอง	ทดสอบหลังเรียน
E	T ₁	X	T ₂

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการทดลอง

E แทน กลุ่มเป้าหมาย

T₁ แทน ทดสอบก่อนเรียน

T₂ แทน ทดสอบหลังเรียน

X แทน การดำเนินการทดลอง

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลตามขั้นตอนดังนี้

1) ดำเนินการกับนิสิตระดับปริญญาตรี ชั้นปี 4 ระดับปริญญาตรี สาขาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ซึ่งได้จากการเลือกแบบเจาะจง จำนวน 24 คน แล้วทำการทดสอบก่อนเรียนด้วยแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง

2) ดำเนินการจัดการเรียนรู้สัปดาห์ที่ 1 ด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเปียบ จำนวน 2 การทดลอง เวลาทั้งหมด 9 ชั่วโมง แสดงขั้นตอนดังตาราง 13

ตาราง 13 ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้สัปดาห์ที่ 1 ด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเปียบ

สัปดาห์ที่/ เวลา	กิจกรรมการเรียนรู้	ผลงาน	การวัดและ ประเมินผล
สัปดาห์ที่ 1 1 ชั่วโมง 30 นาที	ขั้นที่ 1 สร้างความสนใจ 1. ผู้สอนใช้ปัญหาโรคเบาหวาน เพื่อให้ผู้เรียนสามารถระบุสาเหตุของปัญหาได้ 2. ทำการทดสอบก่อนเรียน	1. ข้อมูลที่ได้จากการอ่านและสืบค้น เกี่ยวกับการปัญหาโรคเบาหวาน 2. ทักษะความคิดสร้างสรรค์และการทำงานอย่างสร้างสรรค์	ความคิด สร้างสรรค์

ตาราง 13 (ต่อ)

สัปดาห์ที่/ เวลา	กิจกรรมการเรียนรู้	ผลงาน	การวัดและ ประเมินผล
สัปดาห์ที่ 1 1 ชั่วโมง 30 นาที	ขั้นที่ 2 สืบค้นและค้นหา 1. นิสิตศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับน้ำตาลและสรุปข้อดีและข้อเสีย เพื่อบอกปฏิกิริยาที่ใช้ในการหาปริมาณน้ำตาลได้ 2. นิสิตศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการขึ้นรูปอุปกรณ์ PADS เพื่อเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุดและดำเนินการทดลองที่ 1 การประดิษฐ์อุปกรณ์ PADS 3. นิสิตออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์ PADS โดยบอกเหตุผลในการเลือกใช้วัสดุ ตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของอุปกรณ์ μPADs 4. ทำการทดสอบหลังเรียน	1.ปฏิกิริยาที่ใช้ในการหาปริมาณน้ำตาล 2. เลือกวิธีการขึ้นรูปอุปกรณ์ PADS ที่เหมาะสมที่สุด 2. อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ	ความคิดสร้างสรรค์
สัปดาห์ที่ 2 30 นาที	ขั้นที่ 3 อธิบายและลงข้อสรุป 1. นิสิตร่วมกันอธิบาย สรุปผลการประดิษฐ์อุปกรณ์ PADS พร้อมบอกเหตุผลประกอบในการปรับปรุงการประดิษฐ์อุปกรณ์ PADS 2. ทำการทดสอบหลังเรียนด้วยการเขียน flow chart	1. ผลการประดิษฐ์อุปกรณ์ PADS 2. ทักษะความคิดสร้างสรรค์ และการทำงานอย่างสร้างสรรค์	1. ความคิดสร้างสรรค์ 2. การทำงานอย่างสร้างสรรค์
สัปดาห์ที่ 3 1 ชั่วโมง 30 นาที	ขั้นที่ 4 ขยายความรู้ 1. นิสิตช่วยกันระดมความคิดปรับปรุงการออกแบบการทดลองในการเตรียมกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของน้ำตาลและความเข้มสี โดยการเขียนขั้นตอนการทดลอง flow chart 2. นิสิตปฏิบัติการทดลองการหาปริมาณน้ำตาลในตัวอย่างและสรุปผลการทดลอง ขั้นที่ 5 ประเมินผล 1. นิสิตระดมความคิดออกแบบและสร้างโปสเตอร์เพื่อนำเสนอผลงานการทดลองการหาปริมาณน้ำตาล	2. การออกแบบและสร้างโปสเตอร์	3. การนำเสนอผลงานอย่างสร้างสรรค์

3) เมื่อจัดการเรียนรู้แล้วดำเนินการวัดและประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ และนวัตกรรม ในด้านความคิดสร้างสรรค์ การทำงานอย่างสร้างสรรค์ การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ และการนำเสนอผลงานอย่างสร้างสรรค์

4) นำข้อมูลที่ได้จากการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ทั้ง 4 ด้าน มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อทดสอบสมมติฐานต่อไป

การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์คุณภาพของบทปฏิบัติการเคมี

การวิเคราะห์หาค่าความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีและแบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยใช้ค่าดัชนีความสอดคล้อง จากนั้น วิเคราะห์หาค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของบทปฏิบัติการเคมี โดยใช้ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้สูตรดังนี้

1) การหาค่าคะแนนเฉลี่ยของคะแนนจากแบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยคำนวณจากสูตร (ชูศรี วงศ์รัตน์, 2546) ใช้สูตรดังนี้

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

เมื่อ $\bar{X}$ แทน คะแนนเฉลี่ย

$\sum X$ แทน ผลรวมคะแนนทั้งหมด

N แทน จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

2) การคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) การหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนจากแบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม คำนวณจากสูตร (ชูศรี วงศ์รัตน์, 2546) ดังนี้

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

เมื่อ S.D. แทน ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนนแต่ละตัวยกกำลังสอง

$(\sum X)^2$ แทน ผลรวมของคะแนนแต่ละคนในกลุ่มตัวอย่างยกกำลังสอง

N แทน จำนวนกลุ่มนิสิต

3) สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน คือ การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคะแนนระหว่างก่อนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี โดยใช้สถิติ t-test for dependent samples คำนวณจากสูตร (พรณี ลีกิจวัฒน์, 2553)

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

เมื่อ $df = n-1$

t แทน ค่าสถิติที่ใช้ในการพิจารณาใน t-Distribution

D แทน ความแตกต่างของคะแนน

$\sum D$ แทน ผลรวมของผลต่างระหว่างคะแนนก่อนกับหลังเรียนด้วยบท

ปฏิบัติการเคมี

$(\sum D)^2$ แทน ผลรวมของกำลังสองผลต่างระหว่างคะแนนก่อนกับหลัง

เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี

n แทน จำนวนกลุ่มนิสิต

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูลและแปลผลข้อมูล ผู้วิจัยเสนอตามลำดับสมมติฐานของการวิจัยดังนี้
สมมติฐานข้อที่ 1 บทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์ และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี สำหรับใช้ในการจัดการเรียนรู้ มีความเหมาะสมด้านองค์ประกอบในระดับดีขึ้น

สมมติฐานข้อที่ 2 นิสิตระดับปริญญาตรีที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี มีทักษะความคิดสร้างสรรค์ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สมมติฐานข้อที่ 3 นิสิตระดับปริญญาตรีที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี มีทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังเรียนอยู่ในระดับดีขึ้น

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

สมมติฐานข้อที่ 1 บทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์ และนวัตกรรม สำหรับใช้ในการจัดการเรียนรู้ของนิสิตระดับปริญญาตรีมีความเหมาะสมด้านองค์ประกอบอยู่ในระดับดีขึ้น

ผู้วิจัยได้พัฒนาบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลในโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์ และนวัตกรรม ซึ่งประกอบด้วยจุดประสงค์การ ทดลอง สารเคมีและอุปกรณ์ วิธีการทดลอง ตารางบันทึกผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง จากนั้นนำไปให้อาจารย์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านเคมี 1 ท่าน และด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 2 ท่าน เพื่อประเมินความเหมาะสมและประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC) ของบทปฏิบัติการ แล้วนำบทปฏิบัติการเคมีไปทดลองใช้กับนิสิตที่ไม่ใช่นิสิตกลุ่มเป้าหมาย จำนวน 22 คน ซึ่งเป็นนิสิตระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ผลการประเมิน พบว่า บทปฏิบัติการเคมี มีค่าความเหมาะสมค่าเฉลี่ยเท่ากับ

4.29 แสดงว่าบทปฏิบัติการมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก (แสดงผลดังตารางภาคผนวก ค) และสอดคล้อง (IOC) อยู่ระหว่าง 0.67-1.00

ผลการประเมินความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลในโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน พบว่า องค์ประกอบของบทปฏิบัติการได้แก่ ด้านคำชี้แจง ด้านเนื้อหาและทฤษฎี ด้านกิจกรรมการทดลองและด้านการวัดและการประเมินผล ผ่านเกณฑ์ประเมินและมีความเหมาะสมในระดับมาก สำหรับการประเมินความสอดคล้อง (IOC) ของบทปฏิบัติการ พบว่า องค์ประกอบของบทปฏิบัติการได้แก่ ด้านจุดประสงค์ ด้านเนื้อหา ด้านการใช้ภาษา ด้านกิจกรรมการเรียนรู้ และด้านการประเมินผล ผ่านเกณฑ์การประเมิน ซึ่งผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญจะไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้น จึงทำให้ผลการประเมินความเหมาะสมและความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC) ของบทปฏิบัติการผ่านเกณฑ์การประเมิน

สมมติฐานข้อที่ 2. นิสิตระดับปริญญาตรีที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์ด้านการออกแบบผลงาน มีทักษะความคิดสร้างสรรค์ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผู้วิจัยได้ประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยการประเมินความคิดสร้างสรรค์ ซึ่งประเมินจากการออกแบบอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษก่อนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี แล้วทำการวิเคราะห์ทางสถิติแบบ t-test dependent sample แสดงผลดังตาราง 14

ตาราง 14 ผลการเปรียบเทียบคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบการทดลองก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลในโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

การทดสอบ	จำนวนกลุ่ม	คะแนนเต็ม	$\bar{X}$	S.D.	t	df	p
ก่อนเรียน	5	16	6.6	1.2	7.96	4	0.001
หลังเรียน	5	16	12	1.41			

* P < 0.05

จากตารางที่ 14 พบว่า คะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์ ก่อนเรียนของนิสิตมีคะแนน 6.6 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.2 เมื่อนิสิตได้เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลในโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น พบว่า คะแนนทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์หลังเรียนของนิสิตมีคะแนน 12 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.41 เมื่อเปรียบเทียบคะแนนผลต่างโดยใช้วิธีการทางสถิติแบบ t-test dependent sample มีค่า t เท่ากับ 7.96 ค่าองศาความเป็นอิสระเท่ากับ 4 มี เลขนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 ซึ่งน้อยกว่าระดับ .05 แสดงว่า นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลในโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีทักษะความคิดสร้างสรรค์ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2

นอกจากนี้ ผลการประเมินในเชิงคุณภาพของทักษะความคิดสร้างสรรค์ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน สรุปได้ดังนี้

ในขั้นตอนแรก ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบก่อนเรียนโดยให้นิสิตออกแบบวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ PADs แต่ว่า นิสิตยังไม่สามารถออกแบบได้ จึงส่งผลให้คะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์ก่อนเรียนน้อย หลังจากนั้นผู้วิจัย ได้ทำการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมี ซึ่งเป็นรูปแบบสืบเสาะที่ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 สร้างความสนใจ: ผู้สอนให้สถานการณ์เกี่ยวกับโรคเบาหวานแล้วให้นิสิตระบุสาเหตุของโรคเบาหวาน

ขั้นที่ 2 สำรวจและค้นหา: ผู้สอนแนะนำให้นิสิตอ่านข้อมูลเกี่ยวกับน้ำตาลและบอกข้อดีและข้อเสียใส่ตารางให้ถูกต้องและให้นิสิตศึกษาที่มาและการขึ้นรูปของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษแล้วเลือกวิธีการขึ้นรูปอุปกรณ์ PADs ดีที่สุด หลังจากนั้นให้นิสิตปฏิบัติการทดลองที่ 1 การประดิษฐ์อุปกรณ์ PADs ที่ประกอบด้วย ขั้นตอนการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ การประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษและการตรวจสอบคุณภาพ

ขั้นที่ 3 อธิบายและลงข้อสรุป: ผู้สอนแนะนำให้นิสิตอธิบายและสรุปผลการประดิษฐ์อุปกรณ์ PADs พร้อมเหตุผลประกอบในการปรับปรุงการประดิษฐ์อุปกรณ์ PADs

ขั้นที่ 4 ขยายความรู้: ผู้สอนทำการทดสอบก่อนเรียนโดยให้นิสิตออกแบบการทดลองที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาลในตัวอย่าง หลังจากนั้น ให้นิสิตปฏิบัติการทดลอง

ขั้นที่ 5 ขั้นประเมิน: นิสิตได้ออกแบบและสร้างทำโปสเตอร์ เพื่อนำเสนอผลงานการทดลอง หลังจากนั้นผู้สอนทำการทดสอบหลังเรียนด้วยการให้นิสิตออกแบบการทดลองที่ 2 อีกครั้งหนึ่ง

ดังนั้น ในการจัดการเรียนรู้ในแต่ละขั้นตอนทำให้นิสิตสามารถออกแบบการประดิษฐ์อุปกรณ์ PADs และออกแบบการทดลองที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาลในตัวอย่าง จึงส่งผลให้ทักษะความคิดสร้างสรรค์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

สมมติฐานข้อที่ 3 นิสิตระดับปริญญาตรีที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม มีทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังเรียนอยู่ในระดับมากขึ้นไป

ผู้วิจัยได้ประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยการประเมินความคิดสร้างสรรค์ การทำงานอย่างสร้างสรรค์ การทำงานอย่างสร้างสรรค์ การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ การนำเสนออย่างสร้างสรรค์ของนิสิตที่ได้เรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี หลังเรียนแล้วทำการวิเคราะห์ผล แสดงผลดังตาราง 15

ตาราง 15 ผลการประเมินคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยการประเมินด้านความคิดสร้างสรรค์ การทำงานอย่างสร้างสรรค์ การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์และการนำเสนออย่างสร้างสรรค์ของนิสิตหลังการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

องค์ประกอบของทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม	จำนวนกลุ่ม	คะแนนเต็ม	$\bar{X}$	ระดับความเหมาะสม
1. ความคิดสร้างสรรค์	5	16	12.00	ดี
2. การทำงานอย่างสร้างสรรค์	5	16	15.20	ดีมาก
3. การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์	5	20	15.86	ดีมาก
4. การนำเสนออย่างสร้างสรรค์	5	20	18.46	ดีมาก
คะแนนรวม		72	61.52	ดีมาก

จากตารางที่ 15 คะแนนการประเมินคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบผลงาน การทำงานอย่างสร้างสรรค์ การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์และการนำเสนอผลงานอย่างสร้างสรรค์ของนิสิต หลังการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับ การวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม พบว่า ทักษะความคิดสร้างสรรค์ มีคะแนนเท่ากับ 12.00 ซึ่งอยู่ในระดับดี ทักษะการทำงานอย่างสร้างสรรค์ การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์และการนำเสนอผลงานอย่างสร้างสรรค์มีคะแนนเท่ากับ 15.20, 15.86 และ 18.46 ตามลำดับอยู่ในระดับดีมากและมีคะแนนรวมเฉลี่ยทั้ง 4 องค์ประกอบเท่ากับ 61.52 แสดงว่า ผลการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมอยู่ในระดับดีมาก

ผลการประเมินในเชิงคุณภาพของทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับ การวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สามารถสรุปในแต่ละองค์ประกอบได้ดังนี้

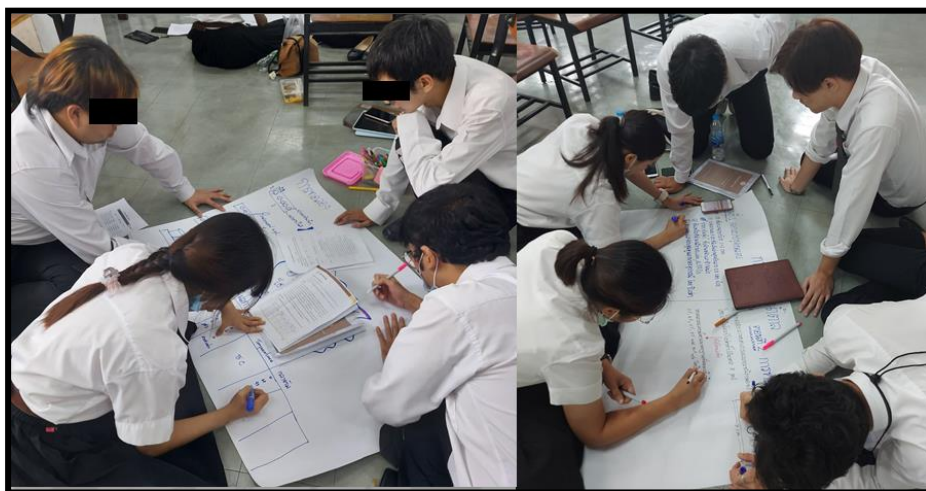
1. ทักษะความคิดสร้างสรรค์

จากการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ พบว่า นิสิตสามารถออกแบบอุปกรณ์ PADS เช่น ออกแบบ วาดรูปแบบอุปกรณ์ PADS และบอกชื่อวัสดุที่มีคุณสมบัติกันน้ำได้ ในการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำได้ นอกจากนี้ นิสิตได้ออกแบบอุปกรณ์ PADS ได้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนด เช่น ความกว้าง ความยาว เส้นผ่าเส้นผ่านศูนย์กลางและถ่ายภาพประกอบครบทุกประเด็น และนิสิตได้ออกแบบวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ PADS โดยระบุการออกแบบ การวาดรูปขอบเขตไม่ชอบน้ำ ติดเทปใสและตัดอุปกรณ์ตรวจ PADS และการออกแบบวิธีการทดลองที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาลโดยระบุสารละลายที่ใช้ในการทดลอง อุณหภูมิ การถ่ายภาพและการวิเคราะห์ได้ทุกกลุ่ม

2. การทำงานอย่างสร้างสรรค์

จากการประเมินการทำงานในขั้นตอน การออกแบบวิธีการขึ้นรูปอุปกรณ์ PADS การตรวจสอบคุณภาพอุปกรณ์ PADS การออกแบบวิธีการทดลองที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาลและการปฏิบัติการทดลองได้ พบว่า นิสิตทุกกลุ่มช่วยกันทำงาน สามารถปฏิบัติตามกิจกรรมได้ตามที่กำหนด เช่น การออกแบบวิธีการขึ้นรูปอุปกรณ์ PADS การตรวจสอบคุณภาพอุปกรณ์ PADS การออกแบบวิธีการทดลองที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาลและการปฏิบัติการทดลองได้ แต่ว่า มีนิสิตหนึ่งไม่สามารถช่วยกันปฏิบัติการทดลองได้ทันเวลาที่กำหนด เนื่องจากว่า นิสิตกลุ่มไม่สามารถ

ประดิษฐ์อุปกรณ์ PADS ไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนด ทำให้เนื้อที่เกิดปฏิกิริยาน้อยเกินไป ซึ่งทำให้มีเนื้อที่ไม่พอในการบัจจุสารละลายแล้วทำให้สารละลายรั่วซึมออกมาด้านนอก หลังจากนั้นนิสิตไปปรับปรุงอุปกรณ์ PADS เพื่อใช้ในการทดลอง จึงทำให้เข้าสู่ผลให้ส่งงานไม่ทันเวลาที่กำหนด นอกจากนี้ นิสิต แสดงภาพประกอบการทำงานของนิสิต



ภาพประกอบ 13 การทำงานร่วมกันของนิสิต

3. นวัตกรรมจากการสร้างสรรค์

ในขั้นตอนการประดิษฐ์อุปกรณ์ PADS นิสิตได้เลือกปากกาทันน้ำวาดขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำ ซึ่งเป็นวัสดุที่กันน้ำมากที่สุด เมื่อนำไปวาดสังเกตเห็นว่า สามารถกันน้ำได้ เส้นขอบเขตมีความสม่ำเสมอทั้งด้านหน้าและด้านหลัง ไม่มีรอยรั่วของสีผสมอาหารซึมออกมาด้านนอกของขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำ ซึ่งแตกต่างจาก เทียนไขและสีเทียนสังเกตเห็นว่า ขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำมีขนาดใหญ่เกินไป และไม่สะดวกในการใช้งาน ซึ่งไม่เหมาะสมกับเงื่อนไขที่ผู้สอนกำหนดให้ เมื่อนำมาตรวจสอบคุณภาพของอุปกรณ์ PADS ที่พัฒนาขึ้น พบว่า ขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำโดยใช้เทียนไขและสีเทียนวาดไม่สามารถกันน้ำได้ ทำให้สีผสมอาหารที่ใช้ในการตรวจสอบนั้นรั่วซึมออกมาข้างนอกวงกลม แสดงดังภาพประกอบ 14

คของอุปกรณ์ในการ มดขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำ	ภาพประกอบ	ข้อดี
เทียนไข		ราคาถูก, ทนไฟ
ปากกาทำน้ำ		กินน้ำได้ดี
สีเทียน		ราคาถูก, ทนไฟ

ภาพประกอบ 14 การเลือกวัสดุในการวาดขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของ PADs

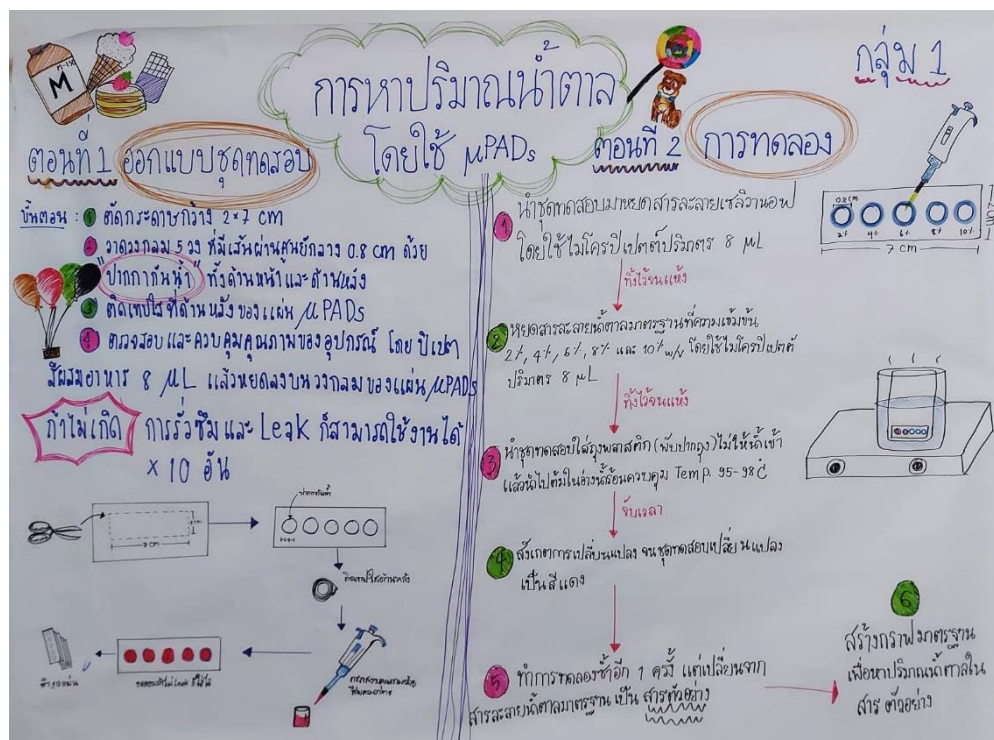
ดังนั้น การประเมินการทำงานร่วมกัน พบว่า นิสิต 4 กลุ่ม สามารถประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษได้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนด เช่น ความกว้าง ความยาว เส้นผ่าเส้นผ่านศูนย์กลางเนื้อที่เกิดปฏิกิริยาและมีความเหมาะสมอีกด้วย ส่วนอีกหนึ่งกลุ่มไม่สามารถประดิษฐ์อุปกรณ์ PADs ได้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนด โดยเฉพาะเนื้อที่เกิดปฏิกิริยาของอุปกรณ์ PADs น้อยเกินไป เมื่อนำมาตรวจสอบคุณภาพ พบว่า มีรอยร้าวของสีผสมอาหารซึมออกมาด้านนอกวงกลม เมื่อนิสิตนำไปใช้ในการปริมาณน้ำตาลจะทำให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนได้ แสดงภาพอุปกรณ์ PADs ที่นิสิตประดิษฐ์



ภาพประกอบ 15 ตัวอย่างอุปกรณ์ PADs ที่นิสิตประดิษฐ์

4. การนำเสนออย่างสร้างสรรค์

ผู้วิจัยให้นิสิตสร้างโปสเตอร์ที่ประกอบด้วย 2 หัวข้อหลัก คือ ขั้นตอนการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษและขั้นตอนการนำเสนอผลการทดลองการหาปริมาณน้ำตาล พบว่า นิสิตทุกกลุ่มสามารถสร้างโปสเตอร์ที่ประกอบด้วย หัวข้อ รายละเอียดรูปภาพประกอบและสรุปได้อย่างครบถ้วน ซึ่งมีลักษณะเด่นชัด ข้อความกระชับ ขนาดตัวหนังสือพอดีและชวนให้ติดตาม นอกจากนี้ ขณะพูดนำเสนอสามารถโน้มน้าวผู้ฟังได้ดี แสดงท่าทางและพูดด้วยน้ำเสียงที่เหมาะสมอีกด้วย แสดงภาพประกอบโปสเตอร์ของนิสิต



ภาพประกอบ 16 ตัวอย่างโปสเตอร์ของนิสิต

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยมุ่งพัฒนานาบทปฏิบัติการเคมีเรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี ซึ่งผลการทดลองได้ดังนี้

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

1. พัฒนานาบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี สำหรับใช้ในการจัดการเรียนรู้ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตระดับปริญญาตรี
2. ส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตระดับปริญญาตรี

สมมติฐานในการวิจัย

1. นาบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี สำหรับใช้ในการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตระดับปริญญาตรี มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก
2. นิสิตระดับปริญญาตรีที่เรียนด้วยนาบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม มีทักษะความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบผลงานหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
3. นิสิตระดับปริญญาตรีที่เรียนด้วยนาบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม มีทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังเรียนอยู่ในระดับดีขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัย 3 ขั้นตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การพัฒนาวิธีการทดลองและบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี

1. ศึกษาหลักสูตรการศึกษาระดับบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒที่เกี่ยวข้องกับการสร้างบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

2. ผู้วิจัยลงมือทำการทดลอง เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม และนำผลการทดลองที่ได้มาเป็นแนวทางในการสร้างบทปฏิบัติการเคมี เพื่อใช้ในการส่งเสริมทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมของ นิสิตระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาเคมี หลักสูตรการศึกษาระดับบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

3. เมื่อพัฒนาวิธีการทดลองเรียบร้อยแล้ว จากนั้นผู้วิจัยกำหนดโครงสร้างและองค์ประกอบของบทปฏิบัติการเคมี มีองค์ประกอบดังนี้ ชื่อเรื่อง วัตถุประสงค์การทดลอง หลักการวัสดุและอุปกรณ์ สารเคมีและสารตัวอย่าง วิธีการทำการทดลอง และบันทึกผลการทดลอง บทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีประกอบด้วย 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 การประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษและการทดลองที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

4. นำบทปฏิบัติการเคมีให้อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโทตรวจสอบ และปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำที่เรียบร้อยแล้ว จากนั้นนำบทปฏิบัติการเสนอต่ออาจารย์ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ พบว่า บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.29 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.28 การประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของบทปฏิบัติการเคมี มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.67- 1.00 และผู้วิจัยได้ปรับปรุงแก้ไขบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์

ตอนที่ 2 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวัดและประเมินผล

1. การสร้างแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ประกอบด้วยแบบประเมิน 2 ชุด คือ แบบประเมินการออกแบบผลงานและแบบประเมินผลงาน ดำเนินการ ดังนี้

1.1 สร้างแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ซึ่งเป็นแบบประเมินแบบมาตรประมาณค่า (Rating Scale) 4 ระดับ โดยดัดแปลงเกณฑ์การประเมินมาจาก Creativity for 21st Century Skills โดยได้ปรับเกณฑ์การประเมินประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ได้แก่ 1. ความคิดอย่างสร้างสรรค์ 2. การทำงานอย่างสร้างสรรค์ 3. การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ และ 4. การนำเสนอผลงานอย่างสร้างสรรค์

1.2 นำแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่านเพื่อพิจารณาความสอดคล้อง พบว่า มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.67-1.00 จากนั้นจึงปรับปรุงและแก้ไขแบบประเมินตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

ตอนที่ 3 การศึกษาทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตระดับปริญญาตรี ที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

ผู้วิจัยได้ศึกษาประสิทธิผลของบทปฏิบัติการเคมี ในด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยนำแบบประเมินได้ไปใช้กับกลุ่มเป้าหมายซึ่งเป็นนิสิตระดับปริญญาตรีหลักสูตรการศึกษาด้านสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2563 จำนวน 24 คน เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ด้านความคิดสร้างสรรค์

1.1 เก็บรวบรวมข้อมูลทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์กับกลุ่มเป้าหมาย

1.2 ศึกษาทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมโดยใช้แบบประเมินที่พัฒนาขึ้นแล้วเปรียบเทียบกับคะแนนก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ในกลุ่มเป้าหมายโดยใช้สถิติแบบ t-test for dependent samples

2. ด้านการทำงานอย่างสร้างสรรค์ การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์และการนำเสนอผลงานอย่างสร้างสรรค์

2.1 นำแบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ที่ได้ไปใช้กับกลุ่มเป้าหมาย หลังจากนั้นเปรียบเทียบกับเกณฑ์หลังการจัดการเรียนรู้

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนามาตรปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี สรุปผลได้ดังนี้

1. บทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับใช้ในการจัดการเรียนรู้ของนิสิตระดับปริญญาตรีมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก

2. นิสิตระดับปริญญาตรีที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณโดยใช้ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม มีทักษะความคิดสร้างสรรค์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. นิสิตระดับปริญญาตรีที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม มีทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังเรียนอยู่ในระดับดีมาก

อภิปรายผลการวิจัย

การพัฒนามาตรปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี สรุปผลได้ดังนี้

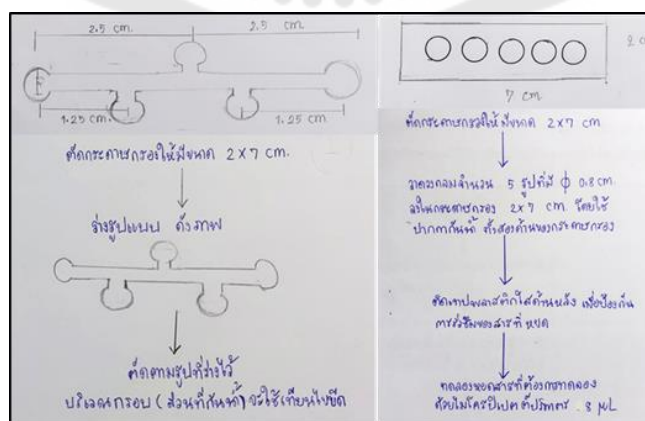
1. บทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก เนื่องจาก บทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเป็นไปตามสมมติฐานข้อ 1 เพราะว่า การสร้างบทปฏิบัติการเคมี ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างบทปฏิบัติการเคมีตามขั้นตอนการสร้างและพัฒนามาตรปฏิบัติการตาม สิริ กานต์ ผาสุข (2543) ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยใหม่ๆที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวิเคราะห์น้ำตาลในเชิงคุณภาพและปริมาณ ซึ่งได้ออกแบบให้เชื่อมโยงกับบทปฏิบัติการเคมีเดิม โดยวิเคราะห์เนื้อหาหลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง พิจารณาข้อดีและข้อควรปรับปรุง โดยกำหนดวัตถุประสงค์ของการทดลอง เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตระดับปริญญาตรี บท

ปฏิบัติการเคมีที่พัฒนาขึ้นมีองค์ประกอบ คือ ชี้อบรมปฏิบัติการเคมี วัตถุประสงค์ หลักการ เครื่องมือและอุปกรณ์ สารเคมีและสารตัวอย่าง วิธีการทดลอง และแบบบันทึกผลการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปิยธิดา สุภา (2562) ที่ได้พัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในน้ำโดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ ร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมของนิสิตระดับปริญญาตรี และผกาวรรณ กลางชมภู (2561) ที่ได้พัฒนาบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาฟอกขาวสีของคริสตอลไวโอเล็ตในสารละลายเบส โดยใช้เครื่องตรวจวัดชนิด PEDD เพื่อศึกษาประสิทธิภาพผลการเรียนของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ผลวิจัยพบว่า บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่สร้างนั้นไปตามหลักการ ทฤษฎี ซึ่งมีความเหมาะสมด้านองค์ประกอบในระดับมาก นอกจากนี้บทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นได้ผ่านการตรวจสอบความถูกต้อง แกะไขจุดบกพร่องตามคำแนะนำ ประเมินความเหมาะสมและความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของบทปฏิบัติการเคมีจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ซึ่งประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 1 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านศึกษา 2 ท่าน พบว่า ผลการประเมินความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ซึ่ง สอดคล้องกับงานวิจัยของ ยศวดี วิจิตร (2557) ที่ได้พัฒนาบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโตรโฟรีซิสสำหรับนิสิตปริญญาตรี ผลการวิจัยพบว่า บทปฏิบัติการเคมีนี้ได้ผ่านการตรวจสอบความถูกต้อง ความเหมาะสมในด้านต่าง ๆ และแก้ไขจุดบกพร่อง จากประธานและกรรมการควบคุมปฏิญาณนิพนธ์ ได้ผ่านการประเมินความเหมาะสมและความเที่ยงตรง เชิงเนื้อหาของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์จากผู้เชี่ยวชาญ โดยผลการประเมินความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด และภาพรวมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์มีค่าดัชนี ความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.67 - 1.00 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ พิษญา เจริญผล (2561) ที่ได้พัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่เน้นเทคนิคการเรียนรู้ร่วมกันเพื่อส่งเสริมทักษะการใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ และความสามารถในการทำงานเป็นทีมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 พบว่า การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ผ่านการตรวจพิจารณาและปรับปรุงแก้ไขคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ มีความสอดคล้องของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ด้านความเหมาะสมของเนื้อหา ความสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ ลำดับขั้นตอนการจัดกิจกรรมการทดลอง และส่วนประกอบอื่น ๆ ในระดับดีมาก จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ทำให้บทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์

แบบฐานกระดาดเข้าร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี่ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก

2. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาดเข้าร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี่ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี มีทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมด้านความคิดสร้างสรรค์ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เนื่องจากบทปฏิบัติการเคมีที่พัฒนาขึ้นเป็นรูปแบบกระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (5E) โดยให้นิสิตมีส่วนร่วมในการออกแบบการทดลอง โดยผู้วิจัยให้นิสิตออกแบบวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาดและออกแบบวิธีการทดลองสำหรับการหาปริมาณน้ำตาลในตัวอย่าง ตามเงื่อนไขที่กำหนดให้ พบว่า ในขั้นตอนการออกแบบวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาด นิสิตไม่สามารถออกแบบได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด ดังภาพประกอบ 16 ก. ก่อนเรียน หลังจากนั้น ผู้วิจัยได้จัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมีที่พัฒนาขึ้น จึงทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในการปฏิบัติตัวจริง เกิดความคิดใหม่ๆ ทำให้นิสิตแต่ละกลุ่มร่วมกันระดมความคิดปรับปรุงกระบวนการออกแบบวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาด หลังจากนั้น ผู้วิจัยได้ทำการประเมินอีกครั้งหนึ่ง พบว่า นิสิตสามารถออกแบบรูปแบบอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาดและสามารถออกแบบวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาดได้ตามที่กำหนดดังภาพประกอบ 16 ข. หลังเรียน ดังนั้น จึงส่งผลให้คะแนนทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงดังภาพประกอบ

17



ก. ก่อนเรียน

ข. หลังเรียน

ภาพประกอบ 17 กระบวนการออกแบบวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ PADs ก่อนเรียนและหลังเรียน

นอกจากนี้การออกแบบวิธีการทดลองดังกล่าว ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ พงศกร พรมทา (2561) ที่ได้จัดการเรียนรู้ด้วยการพัฒนากิจกรรมเสริมศึกษา เรื่อง พันธะเคมี: ผ้า ผ้ายกน้ำ โดยให้ผู้เรียนออกแบบการทดลองและประดิษฐ์ชิ้นงาน ผลวิจัยพบว่า นักเรียนมีทักษะ ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม หลังเรียนอยู่ในระดับดีมาก และสอดคล้องกับงานวิจัยของ

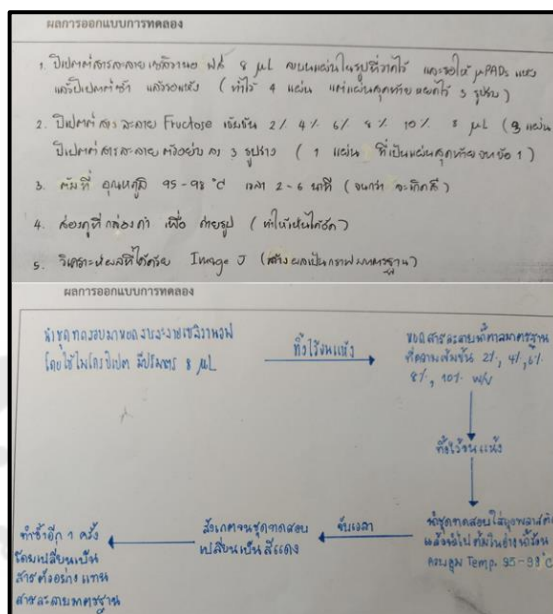
พัชรินทร์ บัวสิน (2561) ที่ได้จัดเรียนรู้ตามแนวคิดวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคม และสิ่งแวดล้อม สามารถช่วยกระตุ้นให้นักเรียนเพิ่มระดับความสามารถในความคิด สร้างสรรค์ โดยเปิดโอกาสให้นักเรียนได้วางแผน ค้นหาข้อมูล รวบรวมข้อมูล อภิปราย สรุป ตลอดจนนำเสนอข้อมูลด้วยตนเองและยังฝึกให้นักเรียนเชื่อมโยงความรู้กับมิติอื่น ๆ ได้

3. นิสิตระดับปริญญาตรีที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณ น้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อ ส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม มีทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลัง เรียนอยู่ในระดับดีขึ้นไป ซึ่งประกอบด้วย 4 องค์ประกอบได้แก่ ความคิดสร้างสรรค์ การทำงาน อย่างสร้างสรรค์ การทำงานอย่างสร้างสรรค์ การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ การนำเสนองาน อย่างสร้างสรรค์ เนื่องจากเหตุผลดังนี้

3.1 ด้านความคิดสร้างสรรค์

นิสิตระดับปริญญาตรีที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณ น้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อ ส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม มีทักษะความคิดสร้างสรรค์ เนื่องจากว่า ผู้วิจัยให้ นิสิตออกแบบวิธีการทดลองสำหรับการหาปริมาณน้ำตาลในตัวอย่าง หลังจากนั้น ได้ทำการ จัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นและให้นิสิตปฏิบัติการทดลอง พบว่า นิสิตได้ผ่าน ปฏิบัติการทดลอง ทำให้มีความเข้าใจขั้นตอนการทดลองที่ประกอบด้วย วิธีการทดลอง การบันทึก ผล สรุปและอธิบายผลการทดลอง ดังภาพประกอบ 18 ดังนั้น จึงส่งผลให้นิสิตมีคะแนนความคิด สร้างสรรค์อยู่ในระดับดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ วิทวัส จำปาทอง (2562) ที่จัดการเรียนรู้ด้วย กิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ พบว่า นิสิต วิชาชีพครูกลุ่มเป้าหมายมีทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมหลังเรียนอยู่ในระดับดีมาก และ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ธนอมขวัญ บุญลย์ธนสาร (2561) ได้จัดการเรียนรู้โดยใช้ชุดกิจกรรมตาม แนวสะเต็มศึกษา เรื่อง พันธะเคมี เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านการเรียนรู้ และนวัตกรรม ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่า นักเรียนได้มีโอกาสในฝึกทักษะมากกว่าการจัดการเรียนรู้แบบ ปกติ นักเรียนได้มีโอกาส ในการระดมความคิดนำเสนอชิ้นงานที่สนใจ การวางแผน การออกแบบ

และการประดิษฐ์ชิ้นงาน การออกแบบการนำเสนอชิ้นงาน รวมถึงนักเรียนยังได้ฝึกทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม



ภาพประกอบ 18 ผลการออกแบบวิธีการทดลองของนิสิต

3.2 การทำงานอย่างสร้างสรรค์

นิสิตระดับปริญญาตรีที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี มีคะแนนทักษะด้านการทำงานอย่างสร้างสรรค์อยู่ในระดับดีมาก เนื่องจากว่า ผู้วิจัยให้นิสิตแบ่งหน้าที่รับผิดชอบให้สมาชิกทุกคนในกลุ่ม ในขณะการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการได้เน้นให้นิสิตได้เรียนรู้แบบกลุ่มด้วยระยะเวลาที่จำกัด รวมถึงผู้วิจัยให้เวลาในการปรึกษาวางแผนการทำงานระหว่างสมาชิกในกลุ่ม พบว่า นิสิตมีความตั้งใจในการทำงาน ให้ความสนใจ และปรึกษากันระหว่างทำงาน นอกจากนี้ นิสิตยังให้ความร่วมมือในการทำงานและยังส่งงานตามเวลาที่กำหนดอีกด้วย จากข้อมูลดังกล่าวส่งผลให้นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี มีคะแนนทักษะด้านการทำงานอย่างสร้างสรรค์อยู่ในระดับดีมาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ นรพนธ์ คนสูง (2561) ได้จัดเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษา พบว่า กิจกรรมสะเต็มช่วยให้ผู้เรียนทำงานเป็นกลุ่ม และให้ความร่วมมือในการทำงานเป็นอย่างดี พร้อมทั้งได้ฝึกการทำงานร่วมกับผู้อื่นอยู่ตลอดเวลา การทำงานกลุ่มร่วมกันของกลุ่มนิสิตแสดงดังภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 19 กระบวนการทำงานกลุ่มของนิสิต

3.3 การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์

นิสิตระดับปริญญาตรีที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม มีคะแนนทักษะด้านการใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์อยู่ในระดับดีมาก เนื่องจากว่า ผู้วิจัยให้นิสิตประดิษฐ์อุปกรณ์ PADs พบว่า นิสิตสามารถประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษได้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนด เช่น ความกว้าง ความยาว เส้นผ่าเส้นผ่านศูนย์กลางและถ่ายภาพประกอบครบทุกประเด็น และสามารถเลือกใช้ปากกาทึบในการวาดขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ PADs ได้ แต่ในกระบวนการประดิษฐ์ นิสิตได้มีการปรับปรุงวิธีการประดิษฐ์ชิ้นงานพร้อมทั้งตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งผู้วิจัยได้ประเมินจากคุณภาพของชิ้นงาน หลังจากนั้น ให้นิสิตนำอุปกรณ์ PADs ที่พัฒนาขึ้นมาประยุกต์ใช้ไปใช้ในการทดลองที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาลในตัวอย่างที่เตรียมขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อรุษา เตียวตระกูล (2560) ที่ได้พัฒนาอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์บนกระดาษในการตรวจวัดไนโตรเจนและไนเตรทในตัวอย่างเขม่าดินปืน การพัฒนาอุปกรณ์ PADs ของนิสิตแสดงดังภาพประกอบ 20



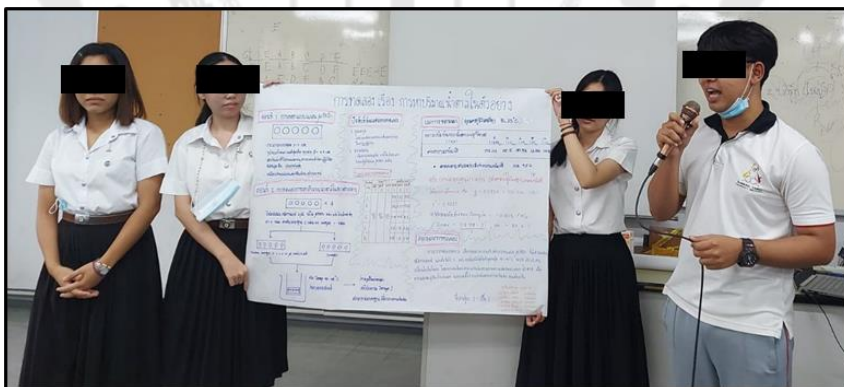
ก. อุปกรณ์ μ PADs ก่อนปรับปรุง

ข. อุปกรณ์ μ PADs หลังปรับปรุง

ภาพประกอบ 20 ตัวอย่างอุปกรณ์ PADs ก. ก่อนปรับปรุง และ ข. หลังปรับปรุง

3.4 การนำเสนอผลงานอย่างสร้างสรรค์

นิสิตระดับปริญญาตรีที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีมีคะแนนทักษะด้านการนำเสนอผลงานอย่างสร้างสรรค์อยู่ในระดับดีมาก เนื่องจากว่า ผู้วิจัยกำหนดให้นิสิตทุกกลุ่ม ต้องมีส่วนร่วมในการนำเสนอ โดยการนำเสนอขั้นตอนการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษและขั้นตอนการนำเสนอผลการทดลองการหาปริมาณน้ำตาลโดยให้นิสิตสร้างโปสเตอร์ที่ประกอบด้วย หัวข้อ รายละเอียด รูปภาพประกอบและสรุป รวมทั้งรูปแบบการนำเสนอสอดคล้องกับเนื้อหา การใช้ภาษาได้ถูกต้องและชัดเจน และด้านการมีปฏิสัมพันธ์กับผู้ฟัง ผลการนำเสนอพบว่า นิสิตทุกคนมีความกล้าแสดงออก ซึ่งทุกคนจะต้องได้อธิบายงานของกลุ่มตัวเอง นอกจากนี้นิสิตยังเข้าใจผลการทดลองได้ชัดเจนและละเอียดพร้อมทั้งวิจารณ์ข้อผิดพลาดที่เกิดจากการทดลอง จึงส่งผลให้แต่ละกลุ่มนำเสนอผลงานได้ดี ทำให้นิสิตมีคะแนนทักษะด้านการนำเสนอผลงานอย่างสร้างสรรค์อยู่ในระดับดีมาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ ญัฐสุริกันต์ คำชู (2561) ที่จัดการเรียนรู้ด้วยการพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาเคมี พบว่า การนำเสนอผลงานแต่ละกลุ่มมีรูปแบบการนำเสนอที่หลากหลายสามารถสร้างความสนใจจากเพื่อนได้ดีช่วยให้พัฒนาคิดสร้างสรรค์ได้ การนำเสนอผลงานดังภาพประกอบ 21



ภาพประกอบ 21 การนำเสนอผลงานของกลุ่มนิสิต

ข้อเสนอแนะ

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ซึ่งอาจจะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจทำการศึกษาในครั้งต่อไป ดังนี้

1. ข้อเสนอแนะทั่วไป

1.1 การจัดเรียนรู้ด้วยด้วยบทปฏิบัติการเคมีผู้สอนทำหน้าที่เป็นเพียงผู้ให้การสนับสนุนและควบคุมการทำกิจกรรมไปตามเวลาที่กำหนด

1.2 การนำบทปฏิบัติการเคมีไปใช้ เหมาะกับการจัดการเรียนรู้เป็นกลุ่ม เพื่อให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ร่วมกันในการทำงาน

1.3 ในการทดลอง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเปียบสี ควรมีการปรับปรุงวิธีการให้ความร้อนแก่อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ



บรรณานุกรม

- Aksorn, J. (2019). Development of the simultaneous colorimetric enzymatic detection of sucrose, fructose and glucose using a microfluidic paper-based analytical device. *Talanta*, 207, 120302. doi:<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.120302>
- Anderson, O. R. (1976). *The Experience of Science: A New Perspective for Laboratory Teaching*: Teachers College Press, Teachers College, Columbia University.
- Biscay, J. (2012). Amperometric fructose sensor based on ferrocyanide modified screen-printed carbon electrode. *Talanta*, 88, 432-438. doi:<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2011.11.013>
- Chailapakul, O. (2010). A low-cost, simple, and rapid fabrication method for paper-based microfluidics using wax screen-printing. *Analyst*. doi:10.1039/c0an00406e
- Coltro, W. K. T. (2014). A handheld stamping process to fabricate microfluidic paper-based analytical devices with chemically modified surface for clinical assays. *RSC Advances*. doi: 10.1039/C4RA07112C
- Hofstein, A., & Lunetta, V. (1982). The Role of the Laboratory in Science Teaching: Neglected Aspects of Research. *Review of Educational Research*, 52(2), 201-217. doi:10.2307/1170311
- Ilaslan, K. (2015). Rapid analysis of glucose, fructose and sucrose contents of commercial soft drinks using Raman spectroscopy.
- Katoch, R. (2011). Carbohydrate Estimations. In: *Analytical Techniques in Biochemistry and Molecular Biology*. Springer: New York, NY. doi:https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9785-2_5
- Martinez, A. W. (2007). Patterned paper as a platform for inexpensive, low-volume, portable bioassays. *Angewandte Chemie (International ed. in English)*, 46(8), 1318-1320. doi:10.1002/anie.200603817
- Mc, K. (2008). *The Truth About Innovation*. London, UK: Prentice Hall.
- Mc Murry, J. (2010). *Organic Chemistry* Retrieved from <https://www.academia.edu/37217149/McMurry> -

[_Organic_Chemistry.PDF?fbclid=IwAR2BUBqZG83hUkcXQgfkjQEZN4JOd30GNYXBNk-k7LNemmsfQofpAG8KQ](#)

- Partnership for 21st century Skills. (2009). P21 Framework Definitions (Reports - Descriptive). (ED519462). <http://www.p21.org>
- Piirto, J. (2011). Creativity for 21st Century Skills: How to Embed Creativity Into the Classroom. Department of Education, Ashland University: Sense Publishers. doi:DOI: 10.1007/978-94-6091-463-8
- Rameshbhai, C. P., Vilasrao, K. P., Dharin, J., Patel, S. I., Shaikh, A. I., & Aparnathi, K. D. (2017). Effect of Intensity of Heating on Qualitative Tests for the Detection of Common Adulterants in Milk. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(8), 2864-2871. doi:10.20546/ijcmas.2017.608.342
- Romey, W. D. (1968). *Inquiry techniques for teaching science*. Englewood Cliffs (N.J.) Prentice-Hall.
- Sánchez-Viesca, F. (2018). Reactivities Involved in the Seliwanoff Reaction *Modern Chemistry*, Vol. 6, No. 1, 2018, pp. 1-5. doi:10.11648/j.mc.20180601.11
- Torrance, E. P. (1962). *Guiding creative talent*. Englewood Cliffs, NJ, US: Prentice-Hall, Inc.
- Vasilarou, A.-M. G., & Georgiou, C. A. (2000). Enzymatic spectrophotometric reaction rate determination of glucose in fruit drinks and carbonated beverages. An analytical chemistry laboratory experiment for food science-oriented students. *Journal of Chemical Education*, 77(10), 1327. doi:DOI: 10.1021/ed077p1327
- Wallach, M. A., & Nathan, K. (1965). *Modes of thinking in young children: A study of the creativity-intelligence distinction*. Oxford, England: Holt, Rinehart & Winston.
- Wang, M. (2015). Fabrication of a Paper-Based Microfluidic Device To Readily Determine Nitrite Ion Concentration by Simple Colorimetric Assay. *Journal of Chemical Education*, 92(4), 733-736. doi:10.1021/ed500644m
- World Economic Forum. (2016). *The future of jobs: Employment, skills and workforce strategy for the fourth industrial revolution*. Paper presented at the Global challenge insight report. Geneva: World Economic Forum.

- กรไกร ภูมิไสว. (2559). การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง ปฏิกิริยาที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เพื่อเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ชั้นบูรณาการของ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.
- กัลยา แก้วมา. (2558). ผู้บริหารกับบทบาทการส่งเสริมการสร้างสร้งสรรค์องค์ความรู้ในองค์กร. วารสารวิชาการการตลาดและการจัดการ.
- กิดานันท์ มลิทอง. (2548). เทคโนโลยีและการสื่อสารเพื่อการศึกษา กรุงเทพฯ: คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จำรัส อินทลาภาพร. (2545). การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์นม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย.
- จุฬาลักษณ์ น้อยพ่วง. (2555). การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษ สำหรับตรวจวัดระดับกลูโคสจากเลือดครบส่วน ด้วยหลักการเคมีไฟฟ้า. จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เจนจิรา มาลาน. (2558). การพัฒนาชุดฝึกอบรมการคิดแนวข้างที่ส่งผลต่อความคิดสร้างสรรค์ สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี. วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม
- ชุตินา วัฒนศิริ. (2541). การสอนวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนมัธยมศึกษา. กรุงเทพฯ: ภาควิชา หลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ชูศรี วงศ์ตันนะ. (2546). เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย. กรุงเทพฯ: เทพเนรมิตกิจอินเตอร์ โปรดเรส ซิฟ.
- ณัฐสุริกันต์ คำชู. (2561). การพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่อง สารละลาย : เจลพลังงานสูงเพื่อพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.
- ดวงเดือน เทศวานิช. (2530). หลักการสอนทั่วไป. กรุงเทพฯ: ภาควิชาหลักสูตรและการสอนวิทยาลัยครูพระนคร.
- ไตรรงค์ เปลี่ยนแสง. (2019). การพัฒนาและประยุกต์ใช้เทคนิคการตรวจสอบแคลเซียมในตัวอย่างน้ำแร่สำหรับการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาครู. *The Golden Teak: Humanity and Social Science Journal*, 25(2), 66-77.
- ถนอมขวัญ วิบูลย์นสาร. (2561). การพัฒนาชุดกิจกรรมตามแนวสะเต็มศึกษา เรื่องพันธะเคมี เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ. Retrieved from <http://ir->

thesis.swu.ac.th/dspace/bitstream/123456789/482/1/gs591110141.pdf

นรพนธ์ คนสูง. (2561). การพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่องปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อส่งเสริมแนวคิดทางเคมีและทักษะในศตวรรษที่ 21 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย.

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ. Retrieved from [http://ir-](http://ir-thesis.swu.ac.th/dspace/bitstream/123456789/485/1/gs601110143.pdf)

thesis.swu.ac.th/dspace/bitstream/123456789/485/1/gs601110143.pdf

นุชนา พลสรค์. (2558). การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง พันธะไอออนิกเพื่อส่งเสริมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา ปี ที่ 4 โรงเรียนคณะราษฎรบำรุงปทุมธานี. การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ.

บวร เครือรัตน์. (2560). การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนการสอนเน้นความคิดสร้างสรรค์สำหรับนักศึกษาปริญญาตรีวิชาความคิดสร้างสรรค์เพื่อการออกแบบ.

บุญชม ศรีสะอาด. (2532). การวิจัยเบื้องต้น. มหาสารคาม: อภิชาติการพิมพ์.

เบญจวรรณ นิลวงศ์. (2559). การพัฒนาวิธีวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำดื่มของโรงเรียนในเขตจังหวัดนครศรีธรรมราชด้วยอุปกรณ์ของไหลจุลภาคบนกระดาษ.

ปิยธิดา สุภา. (2562). การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในน้ำโดยใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการบนชิพ ร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีเพื่อส่งเสริมทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมของนิสิตระดับปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

ผกาวรรณ กลางชมภู. (2561). การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมี เรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาฟอกจางสีของคริสตอลไวโอเลตในสารละลายเบส โดยใช้เครื่องตรวจวัดชนิด PEDD เพื่อศึกษาประสิทธิภาพทางการเรียนของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

พงศกร พรหมทา. (2561). การพัฒนากิจกรรมสเต็มศึกษาเรื่องพันธะเคมี : ผ้าฝ้ายก้นน้ำเพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย.

(ปริญานิพนธ์ .วท.ม.เคมี), มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

พจน์ ศรีบุญลือ. (2555). ตำราชีวเคมี. กรุงเทพฯ ภาควิชาชีวเคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พรทิพย์ วงษ์นาป่า. (2548). การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่องการสกัดและแยกสารประกอบแทนนินจาก ผลมังคุดสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จังหวัดจันทบุรี. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

พรทิพย์ ศิริภัทราชัย. (2556). สะเต็มศึกษากับการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 (STEM Education and 21st Century Skills Development). . วารสารนักบริหาร *ExecutiveJournal*, 33(2).

- พรเพชร พานทอง. (2560). รายงานผลการพัฒนาบทปฏิบัติการเคมี เรื่องสมบัติของธาตุและสารประกอบสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนเทพลีลา.
- พรธนี ลีกิจวัฒน์. (2553). วิธีการวิจัยทางการศึกษา. กรุงเทพฯ: คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พวงรัตน์ ทวีรัตน์. (2540). วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์เจริญผล.
- พัชรินทร์ บัวสิน. (2561). ผลของการจัดการเรียนรู้อตามแนวคิดวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สังคม และสิ่งแวดล้อมที่มีต่อความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มหาวิทยาลัยรังสิต.
- พันศักดิ์ สายแสงจันทร์. (2544). การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่อง เทคนิคการแยกสารสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.
- พิชญา เจริญผล. (2561). การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่เน้นเทคนิคการเรียนรู้ร่วมกันเพื่อส่งเสริมทักษะการใช้อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ และความสามารถในการทำงานเป็นทีมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ. Retrieved from <http://ir-ithesis.swu.ac.th/dspace/bitstream/123456789/121/1/gs591130134.pdf>
- พุทธสอน เอกชัย. (2557). แนวโน้มการเสริมสร้างทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 สำหรับนักศึกษาผู้ใหญ่. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ศูนย์ส่งเสริมการพัฒนานวัตกรรม ตำราและเอกสารทางวิชาการ คณะครุศาสตร์.
- เพชรศิรินทร์ ตุ่นคำ. (2559). การพัฒนาชุดกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาเคมี เรื่อง สารชีวโมเลกุล : โปรตีนและลิพิดเพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. (ปริญญาานิพนธ์ กศ.ม. เคมี), บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.
- ภพ เลหาพบุลย์ (2542). แนวการสอนวิทยาศาสตร์ (3 ed.). กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.
- มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2555). การคิดสร้างสรรค์เพื่อการจัดการคุณค่า. กรุงเทพฯ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. (2560). มคอ. 2 หลักสูตรการศึกษาระดับบัณฑิต สาขาวิชาเคมี (5 ปี) (หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2560)
- ยศวดี จูติวร. (2557). การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องเทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟเรซิส เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเรียนรู้สำหรับนิสิตปริญญาตรี. (ปริญญาานิพนธ์ กศ.ม.เคมี), บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

- ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. (2538). เทคนิคการวิจัยทางการศึกษา. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาสน.
- วรภัทร์ ภูเจริญ. (2550). การบริหารนวัตกรรมอย่างยั่งยืนและพอเพียง. กรุงเทพฯ: อริยชน.
- วิทวัส จำปาทอง. (2562). การพัฒนานักกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหล
จุลภาคฐานกระดาษเรื่อง สารละลายกรด-เบส เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์และ
นวัตกรรม สำหรับนิสิตวิชาชีพอคร. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ ฯ
- วีรภัทร จินตะไล. (2560). การสร้างกิจกรรมนาฏศิลป์พัฒนาความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนชั้น
ประถมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนวัดตาลเอน (โคกนาขลุ่ยปทุม). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ,
กรุงเทพฯ. Retrieved from http://thesis.swu.ac.th/swuthesis/Art_Ed/Weerapat_J.pdf
- ศิริกานต์ ผาสุข. (2543). การพัฒนาทปฏิบัติการวิชาเคมีผลิตภัณฑ์ธรรมชาติเรื่องการสกัดและแยก
องค์ประกอบทางเคมีจากพืชสมุนไพรในท้องถิ่นสำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร ของสถาบัน
ราชภัฏ. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สมจิต ดำริห์อนันต์. (2557). ปฏิบัติการชีวเคมี *Biochemistry laboratory* (พิมพ์ครั้งที่ 1 ed.).
กรุงเทพฯ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- สำนักนโยบายและแผนการศึกษาและสำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา. (2557). บทวิเคราะห์
การศึกษาไทยในโลกศตวรรษที่ 21. วารสารวิจัยการศึกษา สำนักงานเลขาธิการสภา
การศึกษา, 2.
- สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ. (2549). สูดยอดนวัตกรรมไทย. กรุงเทพฯ ฯ สำนักงานนวัตกรรม
แห่งชาติกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- สุคนธ์ สินธพานนท์. (2551). พัฒนาทักษะการคิด-พิชิตการสอน. กรุงเทพฯ ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- สุทธิดา จำรัส. (2020). การประยุกต์ใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมองแบบพกพาในการวัดความคิด
สร้างสรรค์ของผู้เรียนที่เรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มแบบเปิดและแบบมีโครงสร้าง. วารสาร
หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้ ปีที่ 5, 11(1).
doi:<<http://ejournals.swu.ac.th/index.php/JSTEL/article/view/12363/10342>>
- สุนีย์ เหมะประสิทธิ์. (2543). เอกสารคำสอนวิชา ปถ 421: วิทยาศาสตร์สำหรับครูประถม ภาควิชา
หลักสูตรและการสอน มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ
- สุวัฒน์ นิยมคำ. (2517). การสอนวิทยาศาสตร์แบบพัฒนาความคิด. กรุงเทพฯ: วัฒนาพานิช.
- อรอุมา ศรีชื่นชม. (2545). การวิเคราะห์หาชนิดและน้ำตาลในลูกหว่า. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรอุษา เตียววระกุล. (2560). การวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนและไนเตรทในเขม่าดินปืนบนอุปกรณ์

แบบกระดาศ. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 4(5), ISSN 2408 - 1248
อุษณีย์ โพธิ์สุข. (2537). สร้างลูกให้เป็นอัจฉริยะ. กรุงเทพฯ: ผู้จัดการ.





ภาคผนวก





**หนังสือยืนยันการยกเว้นการรับรอง
คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**

(เอกสารนี้เพื่อแสดงว่าคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ ได้พิจารณาโครงการวิจัยนี้)

ชื่อโครงการวิจัย : พัฒนาศักยภาพการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลในเครื่องดื่มโดยใช้อุปกรณ์การวิเคราะห์
บนกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี สำหรับใช้ในการจัดการเรียนรู้ของนิสิตระดับ
ปริญญาตรี

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย : นางสาวจันทะลึงสอน กองกา

หน่วยงานต้นสังกัด : คณะวิทยาศาสตร์

รหัสโครงการวิจัย : SWUEC-G-015/2563X

โครงการวิจัยนี้เป็นโครงการวิจัยที่เข้าข่ายยกเว้น (Research with Exemption from SWUEC)

วันที่ยืนยัน : 15 มกราคม 2563

ยืนยันโดย : คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

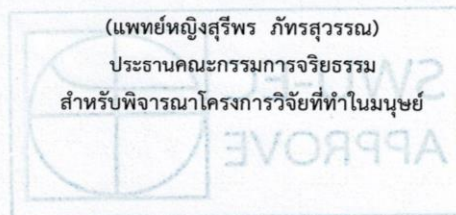
คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ดำเนินการ
รับรองโครงการวิจัยตามแนวทางหลักจริยธรรมการวิจัยในคนที่เป็นสากล ได้แก่ Declaration of Helsinki, the
Belmont Report, CIOMS Guidelines และ the International Conference on Harmonization in Good Clinical
Practice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

ออกให้ ณ วันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2563

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

หมายเลขรับรอง : SWUEC/X/G-015/2563

(ลงชื่อ).....
(แพทย์หญิงสุรีพร ภัทรสุวรรณ)
ประธานคณะกรรมการจริยธรรม
สำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์





ภาคผนวก ข
รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือการวิจัย

รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือการวิจัย

ด้านเนื้อหาบทปฏิบัติการเคมี

1. รองศาสตราจารย์ ดร. เกรียงศักดิ์ ส่งศรีโรจน์

อาจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ

อาจารย์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2. อาจารย์ ดร. ชัชฎาภรณ์ พิณฑอง

อาจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ





ภาคผนวก ค

ผลการประเมินเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ

ผลการประเมินความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีเพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี

การแปลความหมาย ใช้ค่าเฉลี่ยคะแนน โดยแบ่งออกเป็น 5 ระดับ คือ

ค่าเฉลี่ย 4.51-5.00 หมายถึง มีความเหมาะสมมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.51-4.50 หมายถึง มีความเหมาะสมมาก

ค่าเฉลี่ย 2.51-3.50 หมายถึง มีความเหมาะสมปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.51-2.50 หมายถึง มีความเหมาะสมน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00-1.50 หมายถึง มีความเหมาะสมน้อยที่สุด

ตาราง 1 ผลการประเมินความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะ ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี โดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความเหมาะสม
	1	2	3				
1.ด้านคำชี้แจง							
1.1 องค์ประกอบของบทปฏิบัติการมีความชัดเจน	4	4	4	12	4.00	0	มาก
1.2 คำชี้แจงกะทัดรัด ได้ใจความ ไม่สร้างความสับสน	4	4	3	11	3.67	0.57	มาก
1.3 ความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์การทดลองกับเนื้อหา	5	4	5	14	4.67	0.57	มากที่สุด
2. ด้านเนื้อหาและทฤษฎี							
2.1 เนื้อหามีความถูกต้องสัมพันธ์กับชื่อบทปฏิบัติการ	5	5	5	15	5.00	0	มากที่สุด
2.2 เนื้อหาครบถ้วน ครอบคลุมในการสร้างความรู้ใหม่ให้ผู้เรียน	4	4	4	12	4.00	0	มาก

ตาราง 1 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความ เหมาะสม
	ญ						
	1	2	3				
2.3 เนื้อหาชัดเจน ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย	4	4	3	11	3.67	0.57	มาก
2.4 ความยากง่ายของเนื้อหา มีความเหมาะสม	4	4	4	12	4.00	0	มาก
3. ด้านกิจกรรมการทดลอง							
3.1 การทดลองสัมพันธ์กับจุดประสงค์การเรียนรู้	5	4	5	14	4.67	0.57	มากที่สุด
3.2 การทดลองสอดคล้องกับวัยผู้เรียน	5	4	5	14	4.67	0.57	มากที่สุด
3.3 การทดลองกระตุ้นให้ผู้เรียนอยากเรียนรู้และเน้นการเรียนรู้ด้วยตัวเอง	5	4	4	13	4.33	0.57	มาก
3.4 การทดลองส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม	4	4	4	12	4.00	0	มาก
3.5 การทดลองเหมาะสมกับเวลาและสภาพแวดล้อมของผู้เรียน	4	4	4	12	4.00	0	มาก
4. ด้านการวัดและการประเมินผล							
4.1 การประเมินวัดได้ครอบคลุมจุดประสงค์การเรียนรู้	5	4	4	13	4.33	0.57	มาก
4.2 ใช้การวัดและการประเมินที่มีความหลากหลาย	5	4	5	14	4.67	0.57	มากที่สุด
4.3 วิธีการวัดและการประเมินผลสอดคล้องกับกิจกรรมการทดลอง	5	4	4	13	4.33	0.57	มาก
3.5 การวัดและการประเมินเน้นการประเมินตามสภาพจริง	5	4	5	14	4.67	0.57	มากที่สุด
ค่าความเหมาะสมเฉลี่ย					4.29	0.28	มาก

ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาและค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC)
ของบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบ
ฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์
และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี

ตาราง 2 การประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาล
 โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะ
 ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			IOC	การพิจารณา
	1	2	3		
1. ด้านจุดประสงค์					
1.1 จุดประสงค์สอดคล้องกับสาระการเรียนรู้	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
1.2 จุดประสงค์สอดคล้องกับตัวชี้วัด	+1	+1	+1	1.00	ปรับปรุง
1.3 จุดประสงค์สอดคล้องกับกิจกรรมการเรียนรู้	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
1.4 จุดประสงค์สอดคล้องกับเนื้อหา	+1	0	+1	0.67	ใช้ได้
2. ด้านเนื้อหา					
2.1 เนื้อหาถูกต้องและครอบคลุม	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
2.2 มีการจัดลำดับเนื้อหาที่เหมาะสม	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
2.3 เนื้อหาเหมาะสมกับเวลาที่กำหนด	0	+1	+1	0.67	ใช้ได้
2.4 เนื้อหาเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
3. ด้านการใช้ภาษา					
3.1 ใช้ภาษาเข้าใจง่าย	+1	0	+1	0.67	ใช้ได้
3.2 ความถูกต้องของการใช้ภาษา	0	+1	+1	0.67	ใช้ได้
3.3 ภาษาที่ใช้เหมาะสมกับวัยของผู้เรียน	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
3.4 ภาษาที่ใช้ส่งเสริมให้ผู้เรียนใช้ภาษาที่ถูกต้อง	+1	0	+1	0.67	ใช้ได้
4. ด้านกิจกรรมการเรียนรู้					
4.1 บทปฏิบัติการเคมีสอดคล้องกับจุดประสงค์	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้

ตาราง 2 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			IOC	การพิจารณา
	1	2	3		
4.2 บทปฏิบัติการเคมีสอดคล้องกับเนื้อหา	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
4.3 บทปฏิบัติการเคมีสอดคล้องกับการประเมิน	0	+1	+1	0.67	ใช้ได้
4.4 บทปฏิบัติการเคมีสอดคล้องกับทักษะด้านการเรียนรู้และนวัตกรรม	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
4.5 การจัดลำดับบทปฏิบัติการเคมีมีความเหมาะสม	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
ด้านการประเมินผล					
5.1 การประเมินผลสอดคล้องกับจุดประสงค์	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
5.2 การประเมินผลสอดคล้องกับเหมาะสมกับเนื้อหา	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้
5.3 การประเมินผลเหมาะสมกับวัยของผู้เรียน	+1	+1	+1	1.00	ใช้ได้

**ผลการประเมินความสอดคล้องของแบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์
และนวัตกรรม โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน**

ตาราง 3 ผลการประเมินความสอดคล้องขององค์ประกอบแบบประเมินทักษะความคิด สร้างสรรค์
และนวัตกรรม

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			IOC	การพิจารณา
	1	2	3		
ความคิดสร้างสรรค์ (การออกแบบผลงาน)					
1. ใช้เทคนิคที่หลากหลายในการออกแบบอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ เช่น ออกแบบ วาดรูปแบบอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษและบอกชื่อวัสดุที่มีคุณสมบัติกันน้ำได้ ในการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำ	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
2. ออกแบบอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษได้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนด เช่น ความกว้าง ความยาว เส้นผ่าเส้นผ่านศูนย์กลาง และถ่ายภาพประกอบครบทุกประเด็น	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
3. ออกแบบวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ โดยระบุ การออกแบบ วาดรูปขอบเขตไม่ชอบน้ำ ติดเทปใสและตัดอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
4. ออกแบบวิธีการทดลองที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาลโดยระบุสารละลายที่ใช้ในการทดลอง อุณหภูมิ การถ่ายภาพและการวิเคราะห์ได้ครบทุกประเด็น	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
5. ประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษได้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนด และถ่ายภาพประกอบ	+1	+1	+1	1	ใช้ได้

ตาราง 3 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			IOC	การพิจารณา
	1	2	3		
การทำงานอย่างสร้างสรรค์					
1. พัฒนาและสื่อสารความคิดใหม่ไปสู่สมาชิก ภายในกลุ่มอย่างมีประสิทธิภาพโดยมีส่วนร่วมใน มีการสนทนา อภิปราย กระตือรือร้นในการเรียนรู้ และซักถามระหว่างการเรียนครบทุกประเด็น	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
2. การแสดงบทบาทของตนเองต่องานที่ได้รับ มอบหมาย	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
3. ส่งงานตรงต่อเวลา	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
4. การปฏิบัติกิจกรรมเช่น การออกแบบวิธีการขึ้น รูปอุปกรณ์ PADs การตรวจสอบคุณภาพอุปกรณ์ PADs การออกแบบวิธีการทดลองที่ 2 การหา ปริมาณน้ำตาลและการปฏิบัติการทดลองได้ครบ ทุกประเด็น	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์					
1. บันทึกอุณหภูมิ (3 ครั้ง) และบันทึกเวลา (3 ครั้ง) ในขณะที่ต้มน้ำอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐาน กระดาษสำหรับการสร้างกราฟมาตรฐาน	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
2. บอกค่าความเข้มสี (Gray value) การทดลอง 3 ซ้ำ บอกค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และสร้างกราฟมาตรฐานครบ ทุกประเด็น	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
3. บันทึกอุณหภูมิ บันทึกเวลา บอกค่าความเข้มสี (Gray value) บอกค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และบอกค่า ปริมาณน้ำตาลในตัวอย่างสำหรับการหาปริมาณ น้ำตาลในตัวอย่างครบทุกประเด็น	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
4. ชิ้นงานที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถนำมาใช้ได้จริง	+1	+1	+1	1	ใช้ได้

ตาราง 3 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			IOC	การพิจารณา
	1	2	3		
4. ชิ้นงานที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถนำมาใช้ได้จริง	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
5. บอกรับปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองได้ครบถ้วน เช่น อุณหภูมิ เวลาในการรอแห้ง ปริมาณของ สารละลายและบริเวณที่สารเคลื่อนที่ได้ครบทุก ประเด็น	+1	0	+1	0.67	ใช้ได้
การนำเสนออย่างสร้างสรรค์					
1. ส่วนประกอบของโปสเตอร์ที่ดีประกอบด้วย หัวข้อ รายละเอียด รูปภาพประกอบ และสรุป ครบถ้วน 4 ประเด็น	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
2. โปสเตอร์มีลักษณะเด่นชัด ข้อความกระชับ ขนาดตัวหนังสือพอดี และชวนให้ติดตาม	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
3. การใช้ภาษาได้ถูกต้องและชัดเจน	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
4. การพูดนำเสนองาน	+1	+1	+1	1	ใช้ได้
5. การนำเสนอผลงานตรงต่อเวลาที่กำหนด	+1	+1	+1	1	ใช้ได้

ผลการประเมินคะแนนหลังเรียนทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม ที่จัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี

ตาราง 4 คะแนนการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ หลังการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี

กลุ่มที่	คะแนนเต็ม	หลังเรียน	คะแนนเฉลี่ย	S.D.	ระดับความเหมาะสม
1	16	10	12	1.41	ดีมาก
2	16	13			
3	16	13			
4	16	13			
5	16	11			

ตาราง 5 คะแนนการประเมินทักษะการทำงานอย่างสร้างสรรค์ หลังการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี

กลุ่มที่	คะแนนเต็ม	หลังเรียน	คะแนนเฉลี่ย	S.D.	ระดับความเหมาะสม
1	16	15	15.20	0.83	ดีมาก
2	16	16			
3	16	16			
4	16	14			
5	16	15			

ตาราง 6 คะแนนการประเมินทักษะการใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ หลังการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับ การวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี

กลุ่มที่	คะแนนเต็ม	หลังเรียน	คะแนนเฉลี่ย	S.D.	ระดับความเหมาะสม
1	20	18			
2	20	17.66			
3	20	14.33	15.86	1.93	ดีมาก
4	20	13.66			
5	20	15.66			

ตาราง 7 คะแนนการประเมินทักษะการนำเสนออย่างสร้างสรรค์หลังการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับ การวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี

กลุ่มที่	คะแนนเต็ม	หลังเรียน	คะแนนเฉลี่ย	S.D.	ระดับความเหมาะสม
1	20	18.66			
2	20	18.33			
3	20	19.5	18.46	0.77	ดีมาก
4	20	17.33			
5	20	18.5			



ภาคผนวก ง

รายละเอียดและภาพประกอบผลการพัฒนาบทปฏิบัติการเคมี
เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์
แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี

อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย มีดังนี้

อุปกรณ์

- 1) ไม้บรรทัดวงกลม
- 2) กระดาษกรอง เบอร์ 4
- 3) แผ่นสไลด์
- 4) ไตร่เป่าผม
- 5) กล้องสื่อดำสำหรับถ่ายภาพรูป
- 6) เต้าไฟฟ้า สำหรับให้ความร้อน
- 7) เทปพลาสติกใส
- 8) ปากกา Permanent marker สีดำ ยี่ห้อ Sakura
- 9) ไมโครปิเปตต์ ขนาด 2-10 ไมโครลิตร ยี่ห้อ Biosigma
- 10) โทรศัพท์สมาร์ทโฟน
- 11) คอมพิวเตอร์
- 12) เทอร์โมมิเตอร์
- 13) ถูร้อน

สารเคมี

- 1) กรดไฮโดรคลอริก 37 % (Hydrochloric acid: HCl)
- 2) เรโซซินอล (Resorcinol)
- 3) น้ำตาลฟรุคโตสมาตรฐาน (fructose: $C_6H_{12}O_6$)

ผลการพัฒนาบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์
ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะ
ความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม สำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี

1. ผลการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ

จากผลการประดิษฐ์อุปกรณ์ PADS พบว่า อุปกรณ์ PADS ที่พัฒนาขึ้นมีความ
กว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 7 เซนติเมตรและเนื้อที่บริเวณเกิดปฏิกิริยามีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 cm
ตารางเซนติเมตร จำนวน 5 วงกลม ดังภาพประกอบ 1 จากนั้นได้นำอุปกรณ์ PADS มาตรวจสอบ
คุณภาพด้วยการสังเกตได้ด้วยตาเปล่า พบว่า สีของหมึกที่วาดมีความสม่ำเสมอทั้งด้านหน้าและ
ด้านหลังของ PADS ซึ่งไม่มีการขาดหายของหมึกในเส้นขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำและสีผสมอาหารไม่มี
รอยรั่วซึมออกมาด้านนอกวงกลม ดังภาพประกอบ 2 จากนั้น นำอุปกรณ์ดังกล่าวมาใช้ในการ
ทดลองครั้งต่อไป



ภาพประกอบ 1 อุปกรณ์ PADS ที่พัฒนาขึ้น

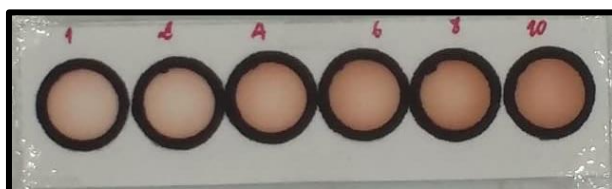


ภาพประกอบ 2 ผลการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษที่พัฒนาขึ้น

2. ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นร้อยละของน้ำตาลฟรุคโต โตสมาตรฐานและความเข้มสี

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลฟรุคโต
สมาตรฐานและความเข้มสี ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลฟรุคโต
สมาตรฐานที่ร้อยละความเข้มข้น 1, 2, 4, 6, 8 และ 10 % (w/v) กับสารละลายสารละลายเซลิวา
นอฟล์ ผลการทดลอง พบว่า สีที่เกิดขึ้นเป็นสีแดง ดังแสดงในภาพประกอบ 24 สีที่เกิดขึ้นมี
แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลฟรุคโตสมาตรฐาน เมื่อ
ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลฟรุคโตสเพิ่มขึ้น สีที่เกิดขึ้นก็จะเข้มขึ้นด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นถึง
ความเป็นไปได้ที่จะสามารถพัฒนาเป็นวิธีการหาปริมาณน้ำตาล หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ใช้ ความ

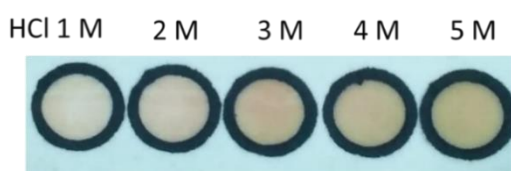
เข้มข้นของสารละลายน้ำตาลฟรุคโตสมาตรฐานที่ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 % (w/v) โดยพิจารณาช่วงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ที่ให้ ค่า r^2 สูง ในการทดลองต่อมา



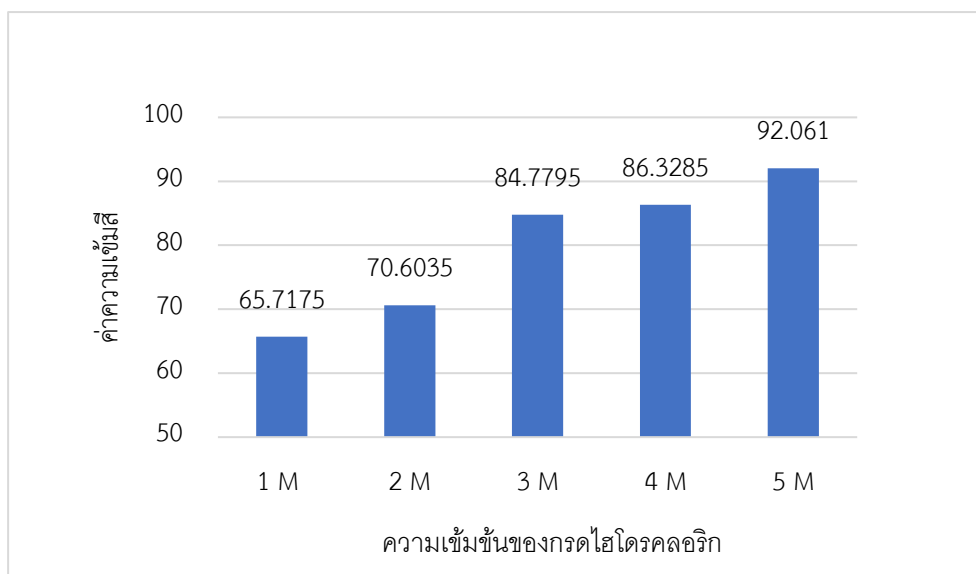
ภาพประกอบ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำตาลฟรุคโตสมาตรฐานที่ความเข้มข้น 1, 2, 4, 6, 8 และ 10 % (w/v)

3. ผลการศึกษาความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่เหมาะสมในการเตรียมสารละลายเซลิวานอฟส์

ในการศึกษาความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่เหมาะสมในการเตรียมสารละลายเซลิวานอฟส์ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1, 2, 3, 4 และ 5 M กับสารละลายน้ำตาลฟรุคโตสมาตรฐานที่ความร้อยละเข้มข้น 5 % (w/v) ผลการทดลองพบว่า สีที่เกิดขึ้นเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกในช่วงความเข้มข้นที่ 1-5 M เพราะว่า กรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1 และ 2 M มีความเข้มสีที่จาง ส่วนความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ 4 และ 5 M มีสีที่เข้มกว่าแต่เมื่อนำมาใช้ในการทดลอง พบว่าทำให้กระดาศชาด อีกเหตุผลหนึ่ง พบว่าค่าความเข้มสีที่ได้จากการวิเคราะห์ในโปรแกรม ImageJ ในภาพประกอบ 5 ค่าความเข้มสีของของกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้นที่ 3 และ 4 มีค่า 84.7795 และ 86.3285 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้เลือกความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่เหมาะสมในการเตรียมสารละลายเซลิวานอฟส์คือ 3 M ในการเตรียมสารละลายเซลิวานอฟส์ในการทดลองต่อมา



ภาพประกอบ 4 ความเข้มข้นสีของกรดไฮโดรคลอริก



ภาพประกอบ 5 กราฟความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 1-5 M

4. ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการรอให้อุปกรณ์ PADs แห้ง

จากการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการรอให้อุปกรณ์ PADs แห้ง ในเวลา 2, 3 และ 5 นาที ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการเตรียมสารละลายน้ำตาลฟรุคโตสมาตรฐานที่ร้อยละความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 % (w/v) กับสารละลายเซลิวนอฟส์เข้มข้น 3 M ผลการทดลองพบว่า เวลาที่เหมาะสมในการรอให้อุปกรณ์ PADs แห้ง คือ 5 นาที โดยส่งผลให้ค่า r^2 สูงที่สุด ดังแสดงในตาราง 8

ตาราง 8 ค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นตรง (r^2)

ความเข้มข้น ของน้ำตาลฟรุคโตส %(w/v)	เวลารอให้ อุปกรณ์ PADs แห้ง (นาที)	สมการเส้นตรง	ค่า r^2
2, 4, 6, 8 ,10	2	$y = 4.565x + 111.26$	$r^2 = 0.9928$
	3	$y = 2.5638x + 118.99$	$r^2 = 0.9948$
	5	$y = 5.9933x + 120.74$	$r^2 = 0.9963$

4.1 การตรวจสอบประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์พัฒนาขึ้นโดยการการประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณน้ำตาลในตัวอย่าง

1) ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (linearity)

จากการทดลองหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง พบว่า ความเข้มข้นของน้ำตาล และค่าความเข้มสีมีความสัมพันธ์เชิงเส้น ซึ่งสมการเส้นตรง คือ $y = 2.4019x + 123.73$ และมีค่าสัมประสิทธิ์เชิงเส้นตรงเท่ากับ 0.9981





ภาคผนวก จ

คู่มือบทปฏิบัติการเคมีและแบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม



คู่มือบทปฏิบัติการเคมี

เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์
แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คำนำ

คู่มือบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ ร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีเพื่อส่งเสริมทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม สำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการจัดการเรียนรู้สำหรับนิสิตหลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี วิชาหลักสูตรและการสอนวิทยาศาสตร์ รหัสวิชา CE481 โดยแบ่งบทปฏิบัติการออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 การประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษและการทดลองที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาลในตัวอย่าง ใช้เวลาทำกิจกรรม 3 ครั้ง ครั้งละ 3 ชั่วโมง ผู้จัดทำหวังว่าคู่มือบทปฏิบัติการเล่มนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อการเรียนรู้ของนิสิต

ผู้จัดทำ

จันทะลึงสอน กองกา

นิสิตระดับปริญญาโท

หลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

สารบัญ

เรื่อง.....	หน้า
คำนำ.....	ก
สารบัญ.....	ข
คำแนะนำเกี่ยวกับบทปฏิบัติการ.....	ค
กิจกรรมการเรียนรู้	
ชั้นสร้างความสนใจ.....	2
ชั้นสำรวจและค้นหา.....	3
ชั้นอธิบายและลงข้อสรุป.....	20
ชั้นขยายความรู้.....	21
ชั้นประเมิน.....	28
บรรณานุกรม.....	30

คำแนะนำ

คู่มือบทปฏิบัติการเคมีฉบับนี้เป็นเอกสารสำหรับใช้จัดการเรียนรู้ โดยใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ (5E) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- ขั้นที่ 1 สร้างความสนใจ (Engagement)
- ขั้นที่ 2 สำรวจและค้นหา (Exploration)
- ขั้นที่ 3 อธิบายและลงข้อสรุป (Explanation)
- ขั้นที่ 4 ขยายความรู้ (Elaboration)
- ขั้นที่ 5 ประเมิน (Evaluation)

สำหรับผู้สอน

1. จัดเตรียมคู่มือบทปฏิบัติการเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้
2. ผู้สอนแบ่งกลุ่มออกเป็น 5 กลุ่ม กลุ่มละ 4-5 คน
3. ให้นิสิตทำแบบทดสอบก่อนเรียน เพื่อประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
4. ผู้สอนแจกคู่มือบทปฏิบัติการเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดการเรียนรู้ให้นิสิตศึกษา และแนะนำวิธีใช้ เพื่อนิสิตจะได้ปฏิบัติได้อย่างถูกต้อง
5. หลังจากนิสิตทำบทปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี ครูได้ทำการประเมินหลังเรียน (Posttest)

สำหรับนิสิต

1. นิสิตอ่านคำแนะนำให้เข้าใจ ก่อนลงมือทำปฏิบัติการทดลอง
2. นิสิตศึกษาคู่มือบทปฏิบัติการเคมีตามขั้นตอนในคู่มือที่จัดไว้ให้
3. หากนิสิตยังไม่เข้าใจในการปฏิบัติกิจกรรมใด ให้กลับไปศึกษาอีกครั้งหรือสอบถามครูเพิ่มเติม เพื่อให้เกิดความเข้าใจมากขึ้น
4. เมื่อนิสิตศึกษาและทำปฏิบัติการทดลองแล้วให้เขียนรายงานผลการทดลองลงในคู่มือบทปฏิบัติการเคมี พร้อมทั้งสรุปและอภิปรายผลการทดลอง

บทปฏิบัติการเคมี

เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐาน
กระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีเพื่อส่งเสริมทักษะความคิด
สร้างสรรค์และนวัตกรรมสำหรับนิสิตปริญญาตรี

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. เพื่อประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ
2. เพื่อหาปริมาณน้ำตาลในตัวอย่าง

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

เมื่อเรียนจบปฏิบัติการแล้ว นิสิตจะสามารถ

1. ประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษได้
2. หาปริมาณน้ำตาลในตัวอย่างได้

1 ขั้นสร้างความสนใจ

🕒 15 นาที

คำชี้แจง ให้นิสิตอ่านบทความเกี่ยวกับโรคเบาหวานจากข้อมูลต่อไปนี้ แล้วระบุสาเหตุของโรคเบาหวาน



“โรคเบาหวาน เป็นโรคเรื้อรังในกลุ่มโรคไม่ติดต่อรักษาไม่หายขาดและสามารถถ่ายทอดทางพันธุกรรมได้ เป็นปัญหาทางสาธารณสุขที่สำคัญของทั่วโลก จากรายงานของสมาพันธ์เบาหวานนานาชาติ (International diabetes Federation: IDF) ในปี พ.ศ. 2558 พบจำนวนผู้ป่วยเบาหวานทั่วโลกประมาณ 415 ล้านคน คาดว่าจะมีผู้ป่วยเบาหวานเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากกว่า 645 ล้านคน ในปี พ.ศ. 2588 (Diabetes-prevention, 2015) รวมถึงประเทศไทยมีอัตราการเสียชีวิตจาก

โรคเบาหวานต่อจำนวนประชากรหนึ่งแสนคน ในปี พ.ศ. 2555, พ.ศ. 2556 และพ.ศ. 2557 เท่ากับ 12.06, 14.93 และ 17.53 คน ตามลำดับ (กรมควบคุมโรคกระทรวงสาธารณสุข, 2557) เมื่อเป็นเบาหวานและไม่ได้รับการดูแลรักษาที่ถูกต้องจะก่อให้เกิดภาวะแทรกซ้อนในหลายระบบ ของร่างกาย ได้แก่ จอตาผิดปกติ โรคไตเรื้อรัง โรคหลอดเลือดหัวใจและหลอดเลือดสมอง และ ภาวะแทรกซ้อนที่เท้า และขา ส่งผลกระทบต่อวิถีการดำรงชีวิต การเศรษฐกิจของผู้ป่วยและครอบครัว นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ป่วยเบาหวานที่ได้รับการวินิจฉัยมานานกว่า 15 ปี ประมาณร้อยละ 2 จะมีความพิการทางสายตา มากกว่าครึ่งของผู้ป่วยเบาหวานพบความผิดปกติของปลายระบบประสาท ตลอดจนผู้ป่วยเบาหวานมีความเสี่ยงต่อโรคหลอดเลือดหัวใจและสมองสูงเป็น 2 ถึง 4 เท่าเมื่อเทียบกับคนปกติ (รศ.พญ.เยาวรัตน์ ปรปักษ์ขาม, 2549)

1 ขั้นสร้างความสนใจ

คำชี้แจง ให้นักเรียนระบุสาเหตุของโรคเบาหวานอย่างน้อย 2 ประเด็นและนิสิตสามารถค้นหาข้อมูลเพิ่มเติมในมือโทรศัพท์ได้เพื่อช่วยในการระบุสาเหตุ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2 ขั้นสำรวจและค้นหา

 40 นาที

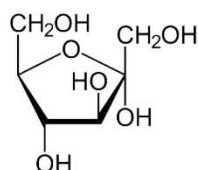
คำชี้แจง ให้นักเรียนอ่านข้อมูลเกี่ยวกับน้ำตาลและบอกข้อดีและข้อเสียใส่ตารางให้ถูกต้อง

1. น้ำตาล

น้ำตาลเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดของคาร์โบไฮเดรต มีรสหวาน ซึ่งให้พลังงานต่อร่างกาย น้ำตาลแบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ ได้แก่ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) น้ำตาลโมเลกุลคู่ (Disaccharide) และน้ำตาลโมเลกุลใหญ่ (Polysaccharide) น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน 3-8 อะตอม ละลายน้ำได้ ร่างกายสามารถดูดซึมน้ำตาลชนิดนี้ไปใช้ได้ทันที เนื่องจากมีขนาดโมเลกุลที่เล็กที่สุดแล้ว มีสูตรโครงสร้างเป็น $(CH_2O)_n$ โดยน้ำตาลสามารถจำแนกตามหมู่ฟังก์ชัน คือ น้ำตาลอัลโดส (Aldose) และคีโตส (Ketose) น้ำตาลอัลโดส ได้แก่ กลูโคส แมนโนส และ

2 ขั้นสำรวจและค้นหา

กาแลคโทส ส่วนน้ำตาลซีโทส ได้แก่ ฟรุคโตส และไซโลส (พจน์ ศรีบุญลือ, 2555)



ภาพประกอบ 7 โครงสร้างน้ำตาลฟรุคโตส

น้ำตาลฟรุคโตส (ภาพประกอบ 7) เป็นน้ำตาลที่มีความหวานมากที่สุด พบมากในน้ำผึ้ง ผักผลไม้ การย่อยสลายน้ำตาลอ้อย (วรุณีย์ วงศ์นาสารสิน, 2541) โดยจะพบอยู่ร่วมกับน้ำตาลซูโครสและกลูโคส ซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีบทบาทสำคัญในกระบวนการเผาผลาญอาหารของสิ่งมีชีวิต การละลายของน้ำตาลฟรุคโตสในน้ำมีค่าสูงและละลายได้อย่างรวดเร็ว ถึงแม้ว่าอุณหภูมิจะต่ำ (ปรียา พวงสาลี, 2535) น้ำตาลฟรุคโตสมีความหวานสองเท่าของน้ำตาลซูโครส ในขณะที่แลคโตสมีความหวานเพียงหนึ่งในหกเท่าของน้ำตาลซูโครส อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบความหวานนั้นทำได้ยาก เนื่องจากการรับรู้รสหวานได้นั้นมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ดังแสดงในตาราง 1 สามารถเปรียบเทียบความหวานของน้ำตาลชนิดต่างๆ ได้ดังนี้ (Mc Murry, 2010)

ตาราง 1 เปรียบเทียบความหวานของน้ำตาลชนิดต่างๆ

ชื่อ	ชนิด	ความหวาน
Lactose	Disaccharide	0.16
Glucose	Monosaccharide	0.75
Sucrose	Disaccharide	1.00
Fructose	Monosaccharide	1.75

ที่มา: (Mc Murry, 2010)

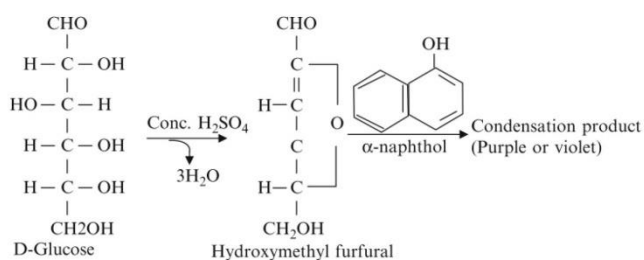
2 ขั้นสำรวจและค้นหา

1.1. การวิเคราะห์น้ำตาลเชิงคุณภาพ

เป็นการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบว่าตัวอย่างที่ศึกษามีน้ำตาลหรือไม่ คำตอบจะมีเพียงคำว่า มี หรือ ไม่มี โดยอาจใช้ปฏิกิริยาทางเคมีหรือเครื่องมือที่จำเพาะต่อสิ่งที่ต้องการตรวจสอบ การตรวจวัดของน้ำตาลเชิงคุณภาพมีหลายวิธี ดังนี้ (Katoch, 2011; สมจิต คำรื้อนนต์, 2559)

1.1.1 การทดสอบโมลิสซ์ (Molisch's test)

เป็นการทดสอบน้ำตาลทั่วไป โดยกรดซัลฟิวริกเข้มข้นจะดึงน้ำออกจากน้ำตาลเพนโทส และน้ำตาลเฮกโซส กลายเป็นเฟอร์ฟิวรัลและไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟิวรัล (Hydroxymethyl furfural) สารทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับ α -naphthol ในสารละลายโมลิสซ์ได้สารประกอบเชิงซ้อนสีชมพูม่วง ดังสมการต่อไปนี้

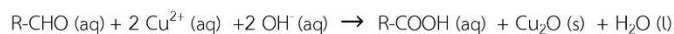


ภาพประกอบ 8 การทดสอบน้ำตาลด้วยโมลิสซ์ (Molisch's test)

ที่มา: (Katoch, 2011)

1.1.2 การทดสอบเฟลิง (Fehling's test)

เป็นการทดสอบน้ำตาลรีดิวซ์ หรือทดสอบหมู่อัลดีไฮด์และคีโตนในน้ำตาล สารละลายเฟลิงประกอบด้วยคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต (Copper Sulfate, CuSO_4) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมแทสเซียมทาร์เทรต ($\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) น้ำตาลที่สามารถรีดิวซ์ ได้แก่ โมโนแซ็กคาไรด์ แลคโทส และมอลโทส จะเปลี่ยนเป็น CuSO_4 เป็นตะกอนสีแดงอิฐของคิวปรัสออกไซด์ (Cuprous oxide, Cu_2O) ดังสมการต่อไปนี้



2

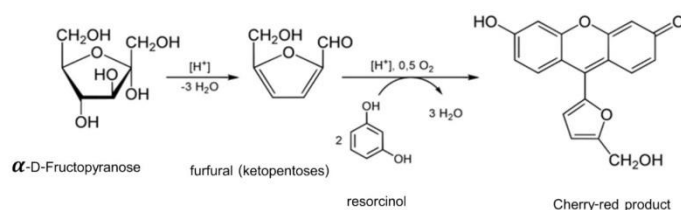
ขั้นสำรวจและค้นหา

1.1.3 ทดสอบเบนดิคต์ (Benedict's test)

เป็นการทดสอบน้ำตาลรีดิคัล โดยหมู่ไฮดรอกซิลที่อะตอมคาร์บอนอะโนเมอร์ริก (Anomeric carbon) ของน้ำตาลสามารถรีดิคัล CuSO_4 ในสารละลายเบนดิคต์ ที่สภาวะร้อนและเป็นด่างอ่อน ทำให้เกิดตะกอนของคิวปรัสออกไซด์ (Cu_2O) สีเขียว เหลือง ส้มหรือแดงอิฐ ขึ้นกับปริมาณของน้ำตาล

1.1.4 การทดสอบเซลิวานอฟฟ์ (Selivanoff's test)

เป็นการทดสอบน้ำตาลคีโทส (Ketose) และอัลโดส (Aldose) เมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายเซลิวานอฟฟ์และน้ำตาล น้ำตาลคีโทสจะถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบเฟอฟูรัล (furfural) ได้รวดเร็วและทำปฏิกิริยากับเรโซซินอล (Resorcinol) ที่อยู่ในสารละลายเซลิวานอฟฟ์ แล้วเกิดเป็นสารประกอบสีแดง (Cherry red) ส่วนน้ำตาลอัลโดส (Aldose) จะถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบเฟอฟูรัลได้ช้ากว่า ถ้าต้มสารละลายไปนานๆจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูจางๆ เท่านั้น ปฏิกิริยานี้จะให้ผลบวกกับน้ำตาลฟรุกโตสและซูโคส (Rameshbhai et al., 2017; Sánchez-Viesca, 2018)



ภาพประกอบ 1 การทดสอบน้ำตาลฟรุกโตสด้วยปฏิกิริยาเซลิวานอฟฟ์

ที่มา: <http://jurnal.kupintar.blogspot.com/2018/12/selivanoffs-test-for-ketose-sugars.html>

1.2 การวิเคราะห์น้ำตาลเชิงปริมาณการวิเคราะห์น้ำตาลเชิงปริมาณ

เป็นการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบว่าน้ำตาลนั้นมีปริมาณหรือความเข้มข้นเท่าไร วิธีวิเคราะห์น้ำตาลเชิงปริมาณมีหลายวิธี โดยทั่วไปนิยมใช้วิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC) โดยมีหลักการ คือ การฉีดสารตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่ำ ๆ ผ่าน Self-septum ขณะที่มีการปั๊มให้ตัวทำละลายไหลสู่คอลัมน์อย่างต่อเนื่องด้วยอัตราเร็วของการไหลที่เหมาะสมเมื่อสารตัวอย่างผ่านคอลัมน์ที่บรรจุด้วยอนุภาคบรรจุ (Packing material) ที่เหมาะสมจะเกิดการแยกองค์ประกอบต่าง ๆ และถูกชะออกจากคอลัมน์ผ่านสู่เครื่องตรวจวัดและแปลผลเป็นสัญญาณไฟฟ้าเข้าสู่เครื่องบันทึกสัญญาณออกมาเป็นโครมาโทแกรม (Chromatogram) (อรอุมา ศรีชื่นชม, 2545)

2 ขั้นสำรวจและค้นหา

กิจกรรม

คำชี้แจง ให้นักสืบออกวิธีการวิเคราะห์น้ำตาลเชิงคุณภาพและสืบค้นข้อมูลวิธีการวิเคราะห์เชิงปริมาณด้วยโทรศัพท์มือถือพร้อมทั้งบอกข้อดีและข้อเสียในตารางต่อไปนี้

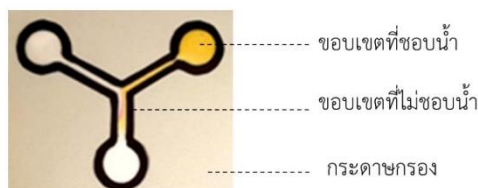
วิธีการวิเคราะห์น้ำตาลเชิงคุณภาพ	ข้อดี	ข้อเสีย
ตัวอย่าง การทดสอบโมลลิช (Molisch's test)	ทดสอบน้ำตาลทุกชนิด	ไม่สามารถระบุชนิดของน้ำตาล
วิธีการวิเคราะห์เชิงปริมาณ	ข้อดี	ข้อเสีย

2 ขั้นสำรวจและค้นหา

คำชี้แจง ให้นักศึกษาที่มาและการขึ้นรูปของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษแล้ว
เลือกวิธีการขึ้นรูปอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษที่ดีที่สุด จากข้อมูลดังต่อไปนี้

2. อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ (Paper-based analytical devices, PADs)

อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษเป็นอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ที่พัฒนามาจากกระดาษ
สามารถใช้ในการตรวจหาสารต่าง ๆ ได้ เนื่องจากกระดาษมีคุณสมบัติในการดูดซับสารละลายและเป็น
ตัวกลางให้สารละลายไหลผ่านตามรูพรุนของกระดาษโดยอาศัยแรงดึงดูดตามรูเล็ก (Capillary force) โดยไม่
ต้องอาศัยแรงดึงดูดจากภายนอก ทำให้กระดาษสามารถขนส่งและดึงสารไว้ได้ นอกจากนี้อุปกรณ์ PADs ยัง
ใช้สารในปริมาณน้อยในหน่วยไมโครลิตร ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน ดังภาพประกอบ 1 ได้แก่ ขอบเขตที่
ชอบน้ำเป็นส่วนที่สารสามารถเคลื่อนที่ได้และขอบเขตไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic barrier) เป็นสิ่งกีดขวาง
ขวางเพื่อจำกัดพื้นที่การเคลื่อนที่ของสาร (Whitesides, 2007) วิธีนี้จะวิเคราะห์ด้วยการถ่ายภาพใน
บริเวณที่เกิดปฏิกิริยาระหว่างสารตัวอย่างกับรีเอเจนต์ แล้วนำไปประมวลผลด้วยโปรแกรม ImageJ ซึ่งจะได้
ค่าความเข้มสีออกมา โดยค่าความเข้มสีที่ได้จะแปรผันตรงกับปริมาณสารที่ต้องการวิเคราะห์ในตัวอย่าง



ภาพประกอบ 1 อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ
ที่มา: (Akyazi, 2016).

คำถาม

นิสิตคิดว่าจากการทดลองข้างต้นเป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพหรือเชิงปริมาณ

คำตอบ

.....

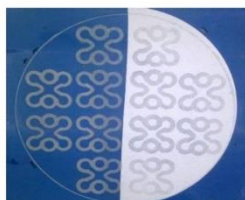
2 ขั้นสำรวจและค้นหา

2.1 วิธีการขึ้นรูป PADs

ในปัจจุบันนี้ มีการพัฒนาเทคนิคการสร้าง PADs ขึ้นมาหลายเทคนิคด้วยกัน เช่น วิธีขึ้นลายนูน (Embossing หรือ Cut-and Stack) การพิมพ์ลายโดยใช้วัสดุพอลิเมอร์ (Waghvani, 2019) การพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ (Ink jet printing) การสกรีนด้วยซีฟี่ง (Wax screen printing) และการวาดด้วยปากกากันน้ำ (Wang, 2015)

2.1.1 การสกรีนด้วยซีฟี่ง (Wax screen printing)

เป็นเทคนิคการสร้างลวดลายแบบฐานกระดาษด้วยการสกรีนซีฟี่งลงบนแม่แบบตามที่ต้องการแล้วนำไปให้ความร้อน เพื่อให้ซีฟี่งหลอมละลายและซึมลงในเนื้อกระดาษเกิดเป็นส่วนของ Hydrophobic และส่วนบริเวณที่ไม่มีซีฟี่งซึมผ่านก็ยังคงสภาพ Hydrophilic ของกระดาษ เช่นเดิม (Chailapakul, 2010) ดังตัวอย่าง ภาพประกอบ 4 อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษที่ประดิษฐ์จากการสกรีนด้วยเทียน ซึ่งมีวิธีการสร้าง คือ ให้ความร้อนแผ่นความร้อน แล้ววางกระดาษกรองลงบนแผ่นความร้อน วางบล็อกทับแบบฐานกระดาษกรองและทำการสกรีนเทียนหลังจากนั้นยกบล็อกขึ้นแล้วดึงกระดาษกรองออกจากบล็อก (เบญจวรรณ นิลวงศ์, 2559) ซึ่งวิธีนี้มีข้อดี คือ ซีฟี่งมีราคาถูก สร้างได้ง่ายและสร้างได้ในปริมาณมาก แต่แบบที่ได้จะมีความคมชัดน้อยส่งผลให้สารละลายรั่วไหลออกนอกขอบเขตที่ไปซอบน้ำได้และมีขั้นตอนในการให้ความร้อนเพื่อให้ซีฟี่งซึมลงกระดาษ (จุฬาลักษณ์ น้อยพ่วง, 2555)



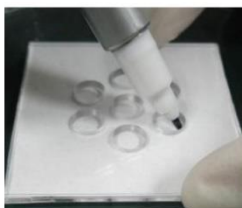
ภาพประกอบ 4 อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษที่ประดิษฐ์จากการสกรีนด้วยเทียน

ที่มา: เบญจวรรณ นิลวงศ์ (2559)

2 ขั้นสำรวจและค้นหา

2.1.2 การวาดด้วยปากกา (Drawing)

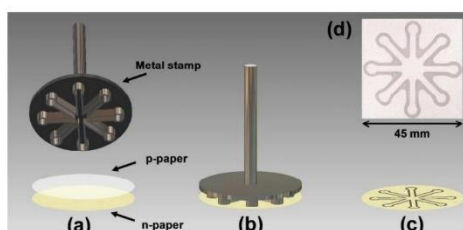
เป็นเทคนิคการสร้างลวดลายแบบฐานกระดาษโดยใช้ปากกาที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) วิธีนี้ทำได้โดยใช้แม่แบบวางแบบฐานกระดาษและวาดลวดลายลงแบบฐานกระดาษตัวอย่างภาพประกอบ 5 แสดงการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษที่ได้จากการวาดด้วยปากกานั้น สามารถสร้างขึ้นด้วยการใช้แม่แบบ วางลงในกระดาษกรองแล้วใช้ปากกา Permanent marker pen วาดรูปลงในกระดาษรอยหมึกจะเป็นขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำและบริเวณกลางวงกลมเป็นบริเวณเกิดปฏิกิริยา ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่มีราคาถูก สร้างได้ง่าย แต่สร้างต้องใช้แม่แบบในการวาด (Wang, 2015)



ภาพประกอบ 5 อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์บนกระดาษที่ได้จากการวาดด้วยปากกานั้นน้ำ
ที่มา: Wang (2015)

2.1.3 วิธีการใช้ตราประทับ (Stamping technique)

เป็นเทคนิคที่มีการออกแบบโครงสร้างลวดลายในตราประทับ โดยใช้สารที่มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ เพื่อสร้างขอบเขตแบบฐานกระดาษแล้วประทับตราลงบนพื้นผิวของตัวอย่าง ดังภาพประกอบ 6 แสดงกระบวนการประดิษฐ์อุปกรณ์ μ PAD ด้วยวิธีการใช้ตราประทับ วิธีนี้เป็นวิธีที่ต้องออกแบบตราประทับก่อนนำมาใช้งาน (Coltro, 2014)



ภาพประกอบ 6 กระบวนการประดิษฐ์อุปกรณ์ PADS ด้วยวิธีการใช้ตราประทับ ดังรูปภาพ (a) วางกระดาษพาราฟิน (Paraffinized, P-paper) อยู่ข้างบนของกระดาษ (n-paper) รูปภาพ (b) ตราประทับโลหะที่ถูกทำให้ร้อนที่ 150 ° C และวางลงด้านด้านบนพื้นผิวของกระดาษแล้วใช้แรงกดลง รูปภาพ (c) กระดาษพาราฟินที่ผ่านการใช้ปั๊มโลหะกดลง รูปภาพ (d) อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษที่สร้างขึ้น

ที่มา: Coltro (2014)

คำชี้แจง ให้นิสิตเลือกวิธีการขึ้นรูปอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษที่ดีที่สุดพร้อมทั้งให้เหตุผล

วิธีการขึ้นรูป	เหตุผลที่เลือก

2 ขั้นสำรวจและค้นหา

การทดลองที่ 1 การประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ



1 ชั่วโมง 30 นาที

กลุ่มที่.....วันที่ทำการทดลอง.....

ชื่อผู้รายงาน

- 1.....รหัสสี.....หน้าที่ได้รับมอบ.....
- 2.....รหัสสี.....หน้าที่ได้รับมอบ.....
- 3.....รหัสสี.....หน้าที่ได้รับมอบ.....
- 4.....รหัสสี.....หน้าที่ได้รับมอบ.....
- 5.....รหัสสี.....หน้าที่ได้รับมอบ.....

เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี

เครื่องมือและอุปกรณ์	สารเคมี
1. ไม้บรรทัดวงกลม 2. กรรไกร 3. คัตเตอร์ 4. กระดาษกรอง เบอร์ 4 5. เทปพลาสติกใส 6. ปากกาน้ำ เขียนไข และสีเขียน 7. ไมโครปิเปตต์ ขนาด 2-10 ไมโครลิตร 8. โพรศัพท์มือถือ	1. สีผสมอาหาร 0.01%

2 ขั้นสำรวจและค้นหา

ตอนที่ 1 การประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์

คำชี้แจง ให้นักเรียนออกแบบรูปแบบ วาดรูปแบบและวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบ
ฐานกระดาษ พร้อมทั้งบอกเหตุผลในการเลือกใช้วัสดุ โดยมีเงื่อนไขดังนี้

- 1) ออกแบบรูปแบบอุปกรณ์ PADS ที่มีความกว้าง 2 เซนติเมตร ความยาว 7 เซนติเมตร
และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 เซนติเมตร จำนวน 5 อัน ลงในอุปกรณ์ PADS 1 แผ่น
- 2) หลังจากนั้นให้วาดรูปที่นักเรียนได้ออกแบบรูปแบบอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐาน
กระดาษลงในตาราง

บันทึกผลการทดลอง

1. ให้นักเรียนวาดรูปแบบอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษใส่ตารางต่อไปนี้

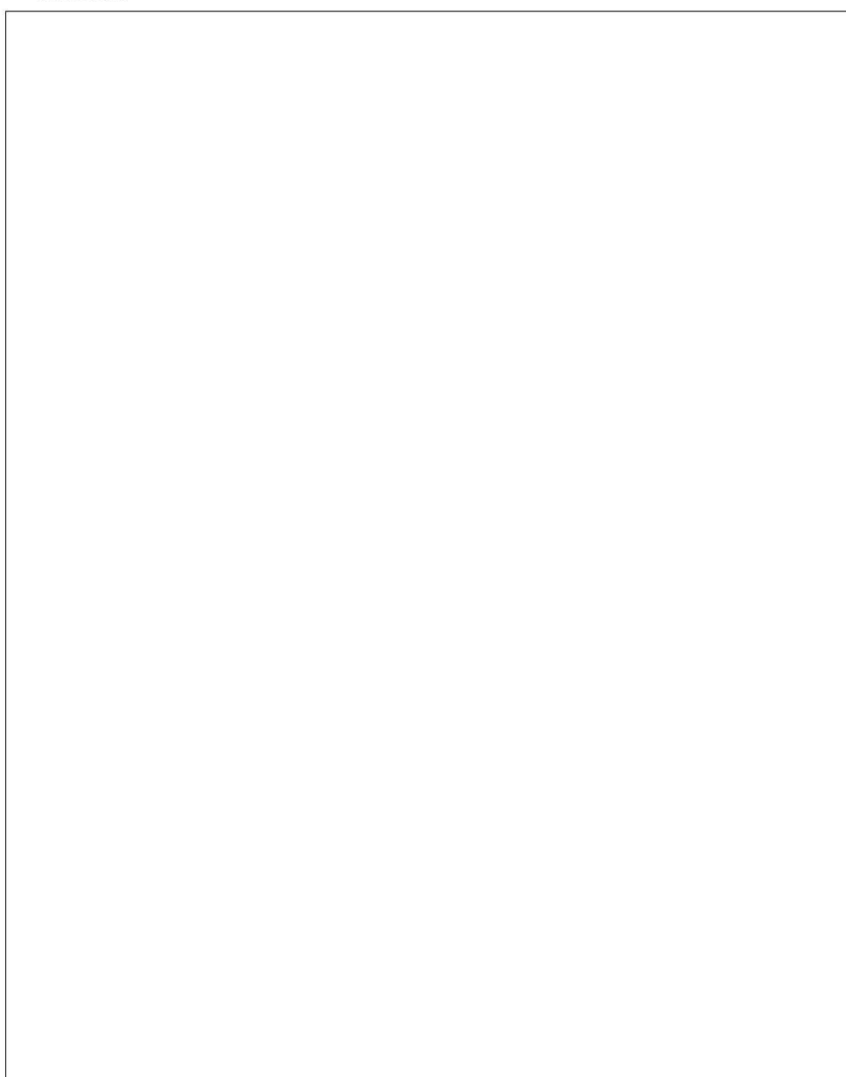
--	--

2. ให้นักเรียนบอกชื่อวัสดุที่คุณสมบัติกันน้ำได้ ในการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำ

2

ขั้นสำรวจและค้นหา

3. ให้นักเรียนแสดงขั้นตอนการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษโดยการเขียน flow chart



2 ขั้นสำรวจและค้นหา

4. ให้นิสิตประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษตามการเขียน flow chart หลังจากนั้นถ่ายภาพประกอบ บอกข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์ที่ใช้ใส่ตารางต่อไปนี้ พร้อมทั้งเลือกวิธีและวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษที่เหมาะสมที่สุด

ชนิดของอุปกรณ์ในการกำหนดขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำ	ภาพประกอบ	ข้อดี	ข้อเสีย
เทียนไข			
ปากกากันน้ำ			
สีเทียน			

- จากผลการทดลองให้นิสิตเลือกชนิดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการกำหนดขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำโดยการเติมคำตอบใส่ช่องว่างให้สมบูรณ์
 - วัสดุที่ใช้ในสร้างขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำที่เหมาะสมที่สุด คือ
 - บอกเหตุผลในการเลือกวิธีการขึ้นรูปอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ คือ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2

ขั้นสำรวจและค้นหา

2. ให้นักศึกษาใช้วัสดุสำหรับสร้างขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำมาสร้างตามทีออกแบบไว้และทำซ้ำจำนวน 10 อัน แล้วถ่ายภาพอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษที่สร้างเสร็จลงในตารางต่อไปนี้

ตอนที่ 2 การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของอุปกรณ์

คำชี้แจง ให้นักศึกษาตรวจสอบคุณภาพของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษที่นักศึกษาประดิษฐ์ขึ้น หลังจากนั้นติดภาพอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษที่ได้ตรวจสอบคุณภาพเสร็จลงในตาราง ตามเงื่อนไขที่กำหนดให้ดังนี้

- 1) ให้นักศึกษาหยดสีผสมอาหารสีแดงจำนวน 8 ไมโครลิตร ลงบน PADS ต่อ 1 อัน
- 2) สังเกตการรั่วซึมของสีผสมอาหารสีที่ออกมาด้านนอกของอุปกรณ์ PADS

2

ขั้นสำรวจและค้นหา

คำชี้แจง ให้นิสิตบันทึกผลการตรวจสอบคุณภาพและถ่ายภาพประกอบอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษที่ได้ตรวจสอบคุณภาพเสร็จใส่ตารางต่อไปนี้

ผลการตรวจสอบคุณภาพ	
ด้านหน้าอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ	ด้านหลังอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ
ถ่ายภาพประกอบ	ถ่ายภาพประกอบ

2

ขั้นสำรวจและค้นหา

คำชี้แจง ให้นิสิตศึกษาเกณฑ์การประเมินอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ (ประเมินผลงาน) เพื่อเป็นแนวทางในการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ

ระดับทักษะ	ปรับปรุง	พอใช้	ดี	ดีมาก
คะแนน	1	2	3	4

คุณภาพของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ		
ระดับทักษะ	1. ประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษได้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนด เช่น ความกว้าง ความยาว เส้นผ่าเส้นผ่านศูนย์กลางและถ่ายภาพประกอบครบทุกประเด็น	ผลการประเมิน
4	- ประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษได้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนด เช่น ความกว้าง ความยาว เส้นผ่าเส้นผ่านศูนย์กลางและถ่ายภาพประกอบได้ 4 ประเด็น	
3	- ประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษได้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนด เช่น ความกว้าง ความยาว เส้นผ่าเส้นผ่านศูนย์กลางและถ่ายภาพประกอบได้ 3 ประเด็น	
2	- ประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษได้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนด เช่น ความกว้าง ความยาว เส้นผ่าเส้นผ่านศูนย์กลางและถ่ายภาพประกอบได้ 2 ประเด็น	
1	- ประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษได้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนด เช่น ความกว้าง ความยาว เส้นผ่าเส้นผ่านศูนย์กลางและถ่ายภาพประกอบได้ 1 ประเด็น	
ระดับทักษะ	2. ขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษสามารถกันน้ำได้ เส้นขอบเขตมีความสม่ำเสมอทั้งด้านหน้าและด้านหลัง	ผลการประเมิน
4	- ขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษสามารถกันน้ำได้ ขนาดของขอบเขตมีความสม่ำเสมอทั้งด้านหน้าและด้านหลัง	
3	- ขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษสามารถกันน้ำได้ ขนาดของขอบเขตมีความสม่ำเสมอเพราะด้านหน้า	

2	- ขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษสามารถกันน้ำได้ ขนาดของขอบเขตมีความสม่ำเสมอเพราะด้านหลัง	
1	- ขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำของอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษสามารถกันน้ำได้ ขนาดของขอบเขตไม่มีความสม่ำเสมอทั้งด้านหน้าและด้านหลัง	
ระดับทักษะ	3. ไม่มีรอยรั่วของสีผสมอาหารซึมออกมาด้านนอกของขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำ	ผลการประเมิน
4	- ไม่มีรอยรั่วของสีผสมอาหารซึมออกมาด้านนอกของขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำทั้ง 5 วงกลม	
3	- ไม่มีรอยรั่วของสีผสมอาหารซึมออกมาด้านนอกของขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำทั้ง 4 วงกลม	
2	- ไม่มีรอยรั่วของสีผสมอาหารซึมออกมาด้านนอกของขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำทั้ง 3 วงกลม	
1	- ไม่มีรอยรั่วของสีผสมอาหารซึมออกมาด้านนอกของขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำทั้ง 1-2 วงกลม	
ระดับทักษะ	4. ประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษได้ครบตามกำหนด	ผลการประเมิน
4	- ประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษได้มากกว่า 6 ชิ้น ขึ้นไป และถ่ายภาพประกอบ	
3	- ประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษได้ 5 ชิ้นและถ่ายภาพประกอบ	
2	- ประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษได้ 4 ชิ้นและถ่ายภาพประกอบ	
1	- ประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษได้ 1-3 ชิ้นและถ่ายภาพประกอบ	

ผลการประเมิน

- คะแนนที่ได้ คะแนน
- ผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์

3 ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป

คำชี้แจง ให้นักเรียนอธิบาย สรุปผลการประดิษฐ์อุปกรณ์ PADs พร้อมเหตุผลประกอบในการปรับปรุงการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ

3.1 อธิบายผลการประดิษฐ์อุปกรณ์ PADs

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3.2 ให้นักเรียนระบุประเด็นและเหตุผลที่ต้องปรับปรุงการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษในครั้งต่อไป

ประเด็นที่ต้องปรับปรุง	อธิบายเหตุผลที่ต้องปรับปรุง	ผลการปรับปรุง

4 ขันขยายความรู้

การทดลองที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาลในตัวอย่าง

กลุ่มที่.....วันที่ทำการทดลอง.....

ชื่อผู้รายงาน

- 1.....รหัสสิต.....หน้าที่รับผิดชอบ.....
- 2.....รหัสสิต.....หน้าที่รับผิดชอบ.....
- 3.....รหัสสิต.....หน้าที่รับผิดชอบ.....
- 4.....รหัสสิต.....หน้าที่รับผิดชอบ.....
- 5.....รหัสสิต.....หน้าที่รับผิดชอบ.....

คำชี้แจง ให้นักศึกษาออกแบบการทดลองในการเตรียมกราฟมาตรฐานและทำการทดลองในการทดลองที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาลในตัวอย่าง

เครื่องมือและอุปกรณ์	สารเคมี
1. แผ่นสไลด์	1. กรดไฮโดรคลอริก 37 %
2. ไดรเป้าผม	(Hydrochloric acid: HCl)
3. กล้องสื่อดำ สำหรับถ่ายภาพ	2. เรโซซินอล (Resorcinol)
4. เทปพลาสติกใส	3. น้ำตาลฟรุคโตสมาตรฐาน
5. ไมโครปิเปตต์ ขนาด 2-10 ไมโครลิตร	(Fructose: $C_6H_{12}O_6$)
6. โตรศัพท์มือถือ	

4 ขันขยายความรู้

1. วิธีการเตรียมสารละลายเซลลิวานอฟส์

- 1) สารละลายเซลลิวานอฟส์: ชั่ง Resorcinol 0.1 % โดยมวลต่อปริมาตร ละลายใน HCl 3 M ปริมาตร 100 mL
- 2) เตรียมสารละลายน้ำตาลฟรุกโตสมาตรฐาน ความเข้มข้นร้อยละ 2, 4, 6, 8 และ 10 โดยมวลต่อปริมาตร

2. วิธีการทดลอง

- 1) เปิดเตาละลายเซลลิวานอฟเข้มข้น 3 โมลต่อลิตร จำนวน 8 ไมโครลิตร ลงในอุปกรณ์ PADS ที่เตรียมไว้ให้ครบแต่ละวงกลมตามลำดับ รอให้อุปกรณ์ PADS แห้ง หลังจากนั้นเปิดเตาละลายเซลลิวานอฟ 3 โมลต่อลิตร ตามลำดับ ซ้ำอีกครั้งหนึ่งแล้วรอให้อุปกรณ์ PADS แห้ง
- 2) เปิดเตาละลายฟรุกโตสมาตรฐานความเข้มข้นร้อยละ 2, 4, 6, 8 และ 10 โดยมวลต่อปริมาตร จำนวน 8 ไมโครลิตร ลงในอุปกรณ์ PADS ที่ได้จากข้อที่ 1
- 3) นำเอาอุปกรณ์ PADS ไปต้มที่อุณหภูมิ 95°C หลังจากนั้นรอนจนเกิดสีเต็มวง ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นถ่ายรูป PADS ในกล้องดำด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือ เอารูปที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าความเข้มสีด้วยโปรแกรม ImageJ
- 4) นำเอาค่าความเข้มสีของสารละลายน้ำตาลฟรุกโตสมาตรฐานกับค่าความเข้มสีที่ได้จากการวิเคราะห์ในโปรแกรม ImageJ แล้วนำค่าที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

3. บันทึกผลการทดลอง

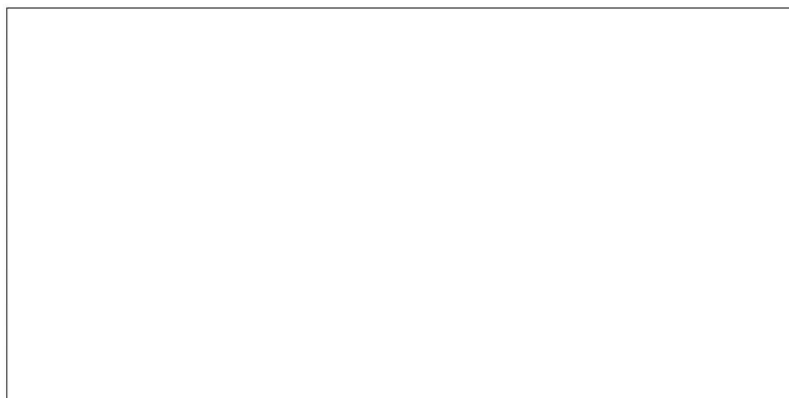
- 1) บันทึกอุณหภูมิและจับเวลาในขณะที่ให้ความร้อนอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษลงในตาราง

ลำดับ	Fructose (%w/v)	อุณหภูมิ (°C)			เวลาดำ (นาทีก)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	2						
2	4						
3	6						

4	8						
	10						

4 ขันขยายความรู้

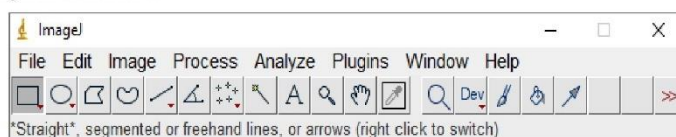
2) ให้นิสิตถ่ายรูปภาพอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษที่ได้จากการทดลองลงในช่องว่างดังนี้



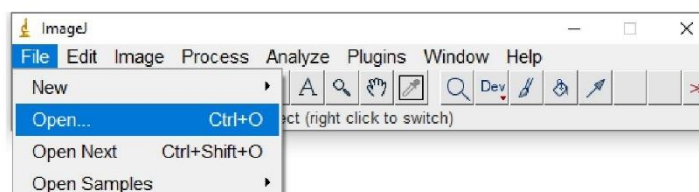
3) นำอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษที่ต้มแล้วมาวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม ImageJ โดยมีขั้นตอนดังนี้

โปรแกรม ImageJ เป็นโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์ความเข้มของสี สามารถดาวน์โหลดฟรีจาก <http://rsb.info.nih.gov/ij/index.html> ของสถาบันวิจัย National Institute of Mental Health (NIMH) ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีวิธีวิเคราะห์ดังนี้

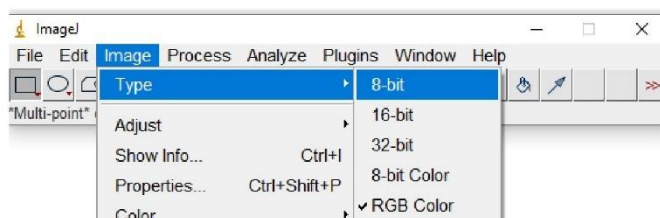
3.1 เปิดโปรแกรม ImageJ หน้าต่างของโปรแกรม มีเฉพาะส่วนที่เป็นเมนูคำสั่งและไอคอนสัญลักษณ์เครื่องมือวัด



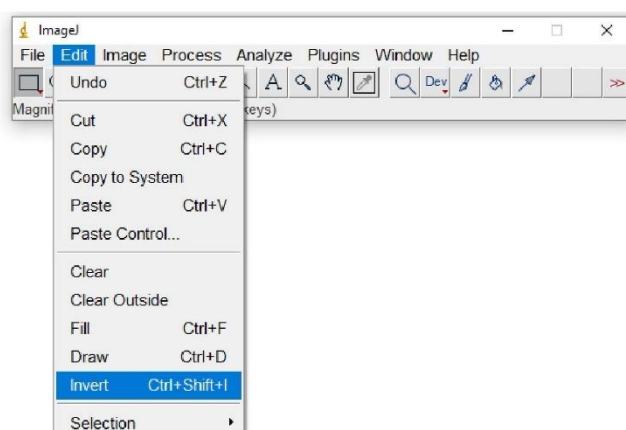
3.2 เปิดไฟล์ภาพที่ต้องการวิเคราะห์เข้าไปที่ File > Open เลือกรูปภาพ



3.3 หลังจากนั้นเข้าไปที่ Image > Type > 8-bit

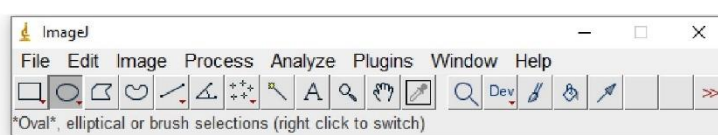


3.4 เข้าไปที่ Edit > Invert

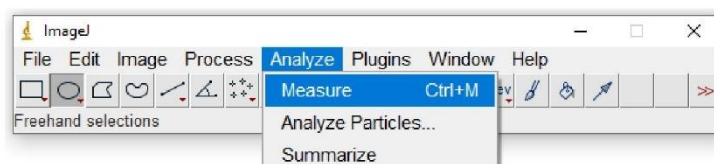


4 ขันขยายความรู้

3.5 เลือก Oval แล้วไปเลือกพื้นที่ที่ต้องการวิเคราะห์



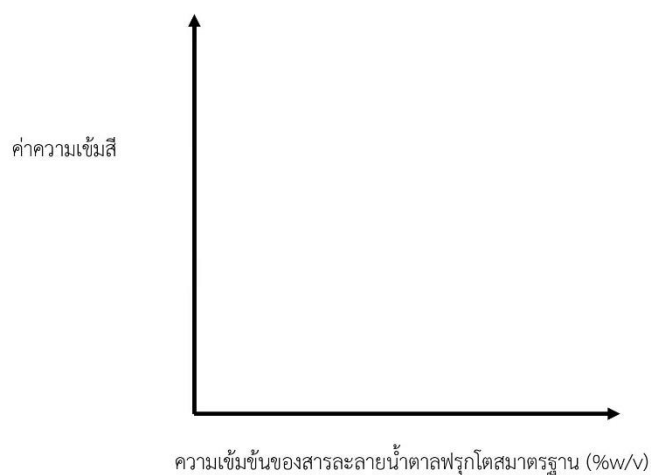
3.6 จากนั้นเข้าไปที่ Analyze>Measure



4. หลังจากนั้นวิเคราะห์รูปภาพอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษด้วยโปรแกรม ImageJ แล้วให้บันทึกผลลงในตารางดังนี้

ลำดับ	Fructose (%w/v)	ค่าความเข้มสี (Gray value)			เฉลี่ย ($\bar{X}$)	SD
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	2					
2	4					
3	6					
4	8					
5	10					

5. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลฟรุคโตสมาตรฐานกับค่าความเข้มสีที่ได้จากการวิเคราะห์ในโปรแกรม ImageJ



สมการเส้นตรงคือ..... r^2 =.....

6. การประยุกต์ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

คำชี้แจง ให้นักศึกษาทำการปฏิบัติการทดลองเหมือนกับขั้นตอนการเตรียมสร้างกราฟมาตรฐาน แล้ววิเคราะห์รูปภาพอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษด้วยโปรแกรม ImageJ และบันทึกลงในตาราง แล้วนำค่าความเข้มสีของตัวอย่างที่ได้จากการวิเคราะห์ในโปรแกรม ImageJ นำมาคำนวณหาค่า x โดยนำค่าที่ได้มาแทนใส่ค่า y จากสมการที่ได้จากกราฟมาตรฐาน แล้วคำนวณหาค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน

6.1 ผลการทดลอง

คำชี้แจง ให้นักศึกษาถ่ายภาพอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษประกอบใส่ช่องว่าง

4 ขันขยายความรู้

ตารางบันทึกผลการทดลอง

การทดลองครั้งที่	อุณหภูมิ (°C)	เวลาดัม (นาท)	ค่าความเข้มสี (Gray value)	เฉลี่ย (X)	SD
ครั้งที่ 1					
ครั้งที่ 2					
ครั้งที่ 3					

6.2 การประเมินความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ (Accuracy)

คือความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์แสดงถึงความใกล้เคียงกันระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์นั้นเปรียบเทียบกับค่าจริง หรือค่าอ้างอิงที่เป็นที่ยอมรับ โดยเตรียมสารละลายน้ำตาลมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 3 โดยมวลต่อปริมาตร แล้วนำเอาค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มาคำนวณหาร้อยละความคลาดเคลื่อนจากสูตร

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = \frac{|\text{ค่าจากการทดลอง} - \text{ค่าที่ยอมรับหรือค่าจริง}|}{\text{ค่าที่ยอมรับหรือค่าจริง}} \times 100$$

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4

ขั้นขยายความรู้

7. ให้นักสืบบอกปัจจัยที่มีผลต่อการทดลองและให้บอกเหตุผลประกอบ

ลำดับ	ปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง	เหตุผล

8. สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5

ขั้นตอนการประเมิน



2 ຂັ້ນມູນ

9. ให้นิสิตระดมความคิดออกแบบและสร้างทำปสเตอร์เพื่อนำเสนอผลงานการทดลองการหาปริมาณน้ำตาล

This image shows a full page of primary-ruled notebook paper. It features multiple sets of horizontal dashed lines for writing, separated by solid horizontal lines. Vertical solid lines on both sides define left and right margins. The entire page is white and contains no text or other markings.

บรรณานุกรม

- Akyazi, T. (2016). Fluidic flow delay by ionogel passive pumps in microfluidic paper-based analytical devices. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 233, 402-408. doi:<https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.04.116>
- Chailapakul, O. (2010). A low-cost, simple, and rapid fabrication method for paper-based microfluidics using wax screen-printing. *Analyst*. doi:10.1039/c0an00406e
- Coltro, W. K. T. (2014). A handheld stamping process to fabricate microfluidic paper-based analytical devices with chemically modified surface for clinical assays. *RSC Advances*. doi: 10.1039/C4RA07112C
- Katoch, R. (2011). Carbohydrate Estimations. In: Analytical Techniques in Biochemistry and Molecular Biology. Springer: New York, NY. doi:https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9785-2_5
- Mc Murry, J. (2010). *Organic Chemistry* Retrieved from https://www.academia.edu/37217149/McMurry_-_Organic_Chemistry.PDF?fbclid=IwAR2BUBqZG83hUkcnXXQgfkjQEZn4Jod30GNYXBNk-k7LNemmsfQofpAG8KQ
- Rameshbhai, C. P., Vilasrao, K. P., Dharin, J., Patel, S. I., Shaikh, A. I., & Aparnathi, K. D. (2017). Effect of Intensity of Heating on Qualitative Tests for the Detection of Common Adulterants in Milk. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(8), 2864-2871. doi:10.20546/ijcmas.2017.608.342
- Sánchez-Viesca, F. (2018). Reactivities Involved in the Seliwanoff Reaction. *Modern Chemistry*, Vol. 6, No. 1, 2018, pp. 1-5. doi:10.11648/j.mc.20180601.11
- Waghwan, B. (2019). Development of Microfluidic Paper Based Analytical Device for Detection of Phosphate in water. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 8 (2278-3075).
- Wang, M. (2015). Fabrication of a Paper-Based Microfluidic Device To Readily Determine Nitrite Ion Concentration by Simple Colorimetric Assay. *Journal of Chemical Education*, 92(4), 733-736. doi:10.1021/ed500644m
- Whitesides. (2007). Patterned paper as a platform for inexpensive, low-volume, portable bioassays. *Angewandte Chemie (International ed. in English)*, 46(8), 1318-1320. doi:10.1002/anie.200603817

- จุฬาลักษณ์ น้อยพ่วง. (2555). การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ของไหลจุลภาคฐานกระดาษสำหรับตรวจวัดระดับกลูโคสจากเลือดครบส่วน ด้วยหลักการเคมีไฟฟ้า. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เบญจวรรณ นิลวงศ์. (2559). การพัฒนาวิธีวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำดื่มของโรงเรียนในเขตจังหวัดนครศรีธรรมราชด้วยอุปกรณ์ของไหลจุลภาคบนกระดาษ.
- ปรียา พวงสำลี. (2535). การตรวจสอบสภาวะกระบวนการผลิตสำหรับแยกน้ำตาลฟรุคโตสจาก น้ำอ้อย โดยวิธีโครมาโตกราฟีฟลักซ์ ชนิดแลกเปลี่ยนประจุ เทคโนโลยีชีวภาพ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ ฯ.
- พจน์ ศรีบุญลือ. (2555). ตำราชีวเคมี. กรุงเทพฯฯ ภาควิชาชีวเคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- รศ.พญ.เยาวรัตน์ ปรีกษ์ขาม. (2549). โรคเบาหวานในคนไทย. สำนักงานพัฒนาระบบข้อมูลข่าวสารสุขภาพ.
- วรุณีย์ วงศ์ธนาสารสิน. (2541). สารให้ความหวานแทนน้ำตาลในเครื่องดื่ม. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ, 21-22.
- สมจิต ดำริห์อนันต์. (2559). ปฏิบัติการชีวเคมี (*Biochemistry laboratory*). กรุงเทพฯฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- อรอุมา ศรีชื่นชม. (2545). การวิเคราะห์หาชนิดและน้ำตาลในลูกหว้า. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ตัวอย่างแบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

เกณฑ์การประเมินทักษะด้านการคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

การพัฒนาศักยภาพการคิด เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์การวิเคราะห์แบบฐาน
กระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสี เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม
สำหรับนิสิตปริญญาตรี

แบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมได้ปรับมาจาก Creativity for 21st Century Skills (Jane Piirto, 2011) ประกอบด้วย แบบประเมินการออกแบบผลงาน แบบประเมินทักษะการทำงานอย่างสร้างสรรค์ การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์ การนำเสนอผลงานอย่างสร้างสรรค์ และแบบประเมินผลงาน โดยเกณฑ์แสดงดังต่อไปนี้

เกณฑ์คะแนนการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม

ความคิดสร้างสรรค์				
ระดับ	ปรับปรุง	พอใช้	ดี	ดีมาก
ช่วงคะแนน	0.00 – 4.00	4.01 – 8.00	8.01- 12.00	12.01 – 16.00
การทำงานอย่างสร้างสรรค์				
ช่วงคะแนน	0.00 – 4.00	4.01 – 8.00	8.01- 12.00	12.01 – 16.00
การใช้นวัตกรรมอย่างสร้างสรรค์และประเมินผลงาน				
ช่วงคะแนน	0.00 – 5.00	5.01 – 10.00	10.01 – 15.00	15.01- 20.00
การนำเสนอผลงานอย่างสร้างสรรค์				
ช่วงคะแนน	0.00 – 5.00	5.01 – 10.00	10.01 – 15.00	15.01- 20.00
เกณฑ์การประเมินรวมทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม				
ช่วงคะแนน	0.00 –18.00	18.01 – 36.00	36.01 – 54.00	54.01- 72.00

แบบประเมินการออกแบบผลงาน
ประเมินกลุ่มที่ ผู้ประเมิน

คำชี้แจง การประเมินจะใช้ผู้ประเมิน 3 ท่าน ในการให้คะแนน แล้วให้คะแนนตามเกณฑ์ที่ระบุไว้ในแต่ละขั้นตอนที่แนบมาพร้อมกับแบบประเมินโดยระดับการให้คะแนนแสดงดังนี้

ระดับทักษะ	ปรับปรุง	พอใช้	ดี	ดีมาก
คะแนน	1	2	3	4

ความคิดสร้างสรรค์		
ระดับทักษะ	1. ใช้เทคนิคที่หลากหลายในการออกแบบอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ เช่น ออกแบบ วาดรูปแบบอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษและบอกชื่อวัสดุที่มีคุณสมบัติกันน้ำได้ ในการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำ	ผลการประเมิน
4	- ออกแบบ วาดรูปแบบอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษและระบุชื่อวัสดุที่มีคุณสมบัติกันน้ำได้ ในการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำได้ 4 ข้อ	
3	- ออกแบบ วาดรูปแบบอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษและระบุชื่อวัสดุที่มีคุณสมบัติกันน้ำได้ ในการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำได้ 3 ข้อ	
2	- ออกแบบ วาดรูปแบบอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษและระบุชื่อวัสดุที่มีคุณสมบัติกันน้ำได้ ในการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำได้ 2 ข้อ	
1	- ออกแบบ วาดรูปแบบอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษและระบุชื่อวัสดุที่มีคุณสมบัติกันน้ำได้ ในการขึ้นรูปขอบเขตที่ไม่ชอบน้ำได้ 1 ข้อ	
ระดับทักษะ	2. ออกแบบอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษได้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนด เช่น ความกว้าง ความยาว เส้นผ่าเส้นผ่านศูนย์กลางและถ่ายภาพประกอบครบทุกประเด็น	ผลการประเมิน
4	- ออกแบบอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษได้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนด เช่น ความกว้าง ความยาว เส้นผ่าเส้นผ่านศูนย์กลางและถ่ายภาพประกอบได้ 4 ประเด็น	
3	- ออกแบบอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษได้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนด เช่น ความกว้าง ความยาว เส้นผ่าเส้นผ่านศูนย์กลางและถ่ายภาพประกอบได้ 3 ประเด็น	
2	- ออกแบบอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษได้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนด เช่น ความกว้าง ความยาว เส้นผ่าเส้นผ่านศูนย์กลางและถ่ายภาพประกอบได้ 2 ประเด็น	

1	- ออกแบบอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษได้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนด เช่น ความกว้าง ความยาว เส้นผ่าเส้นผ่านศูนย์กลางและถ่ายภาพประกอบได้ 1 ประเด็น	
ระดับทักษะ	3. ออกแบบวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ โดยระบุ การออกแบบ วาดรูปขอบเขตไม่ชอบน้ำ ติดเทปใสและตัดอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ	ผลการประเมิน
4	- ออกแบบวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ โดยระบุ การออกแบบ วาดรูปขอบเขตไม่ชอบน้ำ ติดเทปใสและตัดอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ 4 ประเด็น	
3	- ออกแบบวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ โดยระบุ การออกแบบ วาดรูปขอบเขตไม่ชอบน้ำ ติดเทปใสและตัดอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ 3 ประเด็น	
2	- ออกแบบวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ โดยระบุ การออกแบบ วาดรูปขอบเขตไม่ชอบน้ำ ติดเทปใสและตัดอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ 2 ประเด็น	
1	- ออกแบบวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ โดยระบุ การออกแบบ วาดรูปขอบเขตไม่ชอบน้ำ ติดเทปใสและตัดอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบฐานกระดาษ 1 ประเด็น	
ระดับทักษะ	4. ออกแบบวิธีการทดลองที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาลโดยระบุสารละลายที่ใช้ในการทดลอง อุณหภูมิ การถ่ายภาพและการวิเคราะห์ได้ครบทุกประเด็น	ผลการประเมิน
4	- ออกแบบวิธีการทดลองที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาลโดยระบุสารละลายที่ใช้ในการทดลอง อุณหภูมิ การถ่ายภาพและการวิเคราะห์ได้ 4 ประเด็น	
3	- ออกแบบวิธีการทดลองที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาลโดยระบุสารละลายที่ใช้ในการทดลอง อุณหภูมิ การถ่ายภาพและการวิเคราะห์ได้ 3 ประเด็น	
2	- ออกแบบวิธีการทดลองที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาลโดยระบุสารละลายที่ใช้ในการทดลอง อุณหภูมิ การถ่ายภาพและการวิเคราะห์ได้ 2 ประเด็น	
1	- ออกแบบวิธีการทดลองที่ 2 การหาปริมาณน้ำตาลโดยระบุสารละลายที่ใช้ในการทดลอง อุณหภูมิ การถ่ายภาพและการวิเคราะห์ได้ 1 ประเด็น	

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	Miss Chanthalangsone Kongka
วัน เดือน ปี เกิด	25 November 2532
สถานที่เกิด	Savannakhet, LAO.PDR
วุฒิการศึกษา	Bachelor degree of Chemistry National University of Laos
ที่อยู่ปัจจุบัน	Xayyamoungkhoun Village, Outhomphone District, Savannakhet Province, LAO.PDR
ผลงานตีพิมพ์	การพัฒนาศักยภาพปฏิบัติการเคมี เรื่อง การหาปริมาณน้ำตาลโดยใช้อุปกรณ์ ตรวจวิเคราะห์บนกระดาษร่วมกับการวิเคราะห์แบบเทียบสีเพื่อส่งเสริม ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี