

การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส  
เพื่อศึกษาประสิทธิภาพผลการเรียนรู้สำหรับนิสิตปริญญาตรี



ปริญญาานิพนธ์  
ของ  
ยศวดี จูติวร

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

เมษายน 2557

การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส  
เพื่อศึกษาประสิทธิภาพผลการเรียนรู้สำหรับนิสิตปริญญาตรี



ปริญญาานิพนธ์  
ของ  
ยศวดี จูติวร

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

เมษายน 2557

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส  
เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเรียนรู้สำหรับนิสิตปริญญาตรี



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

เมษายน 2557

ยศวดี จิตวิธ. (2557). การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอเล็กโทรโฟรีซิส เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเรียนรู้สำหรับนิสิตปริญญาตรี. ปริญญาโท กศ.ม. (เคมี). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: อาจารย์ ดร.ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ, อาจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ดรบัณฑิต.

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอเล็กโทรโฟรีซิส สำหรับนิสิตปริญญาตรี และศึกษาประสิทธิภาพการเรียนรู้ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอเล็กโทรโฟรีซิส ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอเล็กโทรโฟรีซิส ของนิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ที่พัฒนาขึ้น การประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ พบว่าบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก และมีค่าประสิทธิภาพ  $E_1/E_2$  เท่ากับ 80.19/80.44 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์  $E_1/E_2$  ไม่น้อยกว่า 80/80 เมื่อนำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับนิสิตปริญญาตรีชั้นปีที่ 3 หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชา ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2 รหัสวิชา คม 390 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556 จำนวน 22 คน ที่ได้มาจากการสุ่มแบบเจาะจง พบว่านิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอเล็กโทรโฟรีซิส มีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอเล็กโทรโฟรีซิส และคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และนิสิตมีความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอเล็กโทรโฟรีซิส อยู่ในระดับมาก

DEVELOPMENT OF ANALYTICAL LABORATORIES ON CHROMATOGRAPHY AND  
ELECTROPHORESIS TO STUDY LEARNING EFFICIENCY  
FOR UNDERGRADUATE STUDENTS



Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Master of Education Degree in Chemistry  
At Srinakharinwirot University

April 2014

Yotwadee Thitivorn. (2014). *Development of Analytical Laboratories on Chromatography and Electrophoresis to Study Learning Efficiency for Undergraduate Students*. Master thesis, M.Ed. (Chemistry). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Dr. Piyada Jittangprasert, Dr. Piyarat Dornbundit.

This study aimed to develop analytical laboratories on chromatography and electrophoresis for undergraduate students and study learning efficiency of students on learning achievement in chromatography and electrophoresis, integrated science process skills and satisfaction on analytical laboratories on chromatography and electrophoresis. The evaluating result from the experts showed that the developed analytical laboratories was ranked in high score level. The analytical laboratories efficiency  $E_1/E_2$  was 80.19/80.44 that satisfied the criteria of 80/80. The developed analytical laboratories was used by 22 students in third year undergraduate in chemistry who enrolled in analytical chemistry laboratory II (CH390) course in the first semester of the academic year 2013 at Srinakharinwirot University. Sampling group was chosen using a purposive sampling approach. The results revealed that learning achievement in chromatography and electrophoresis and integrated science process skills of students after studying analytical laboratories on chromatography and electrophoresis were significantly higher at .05 level and satisfaction on analytical laboratories on chromatography and electrophoresis was good level.

ปริญญาานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟเรซิส  
เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเรียนรู้สำหรับนิสิตปริญญาตรี

ของ

ยศวดี จูติวร

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คนบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.....ที่ปรึกษาหลัก .....ประธาน

(อาจารย์ ดร.ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ)

(รองศาสตราจารย์ ดร.พรรณี ลีกิจวัฒน์)

.....ที่ปรึกษาร่วม .....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ดรบัณฑิต)

(อาจารย์ ดร.ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ดรบัณฑิต)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีณา เสียงเพราะ)

## ประกาศคุณูปการ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความกรุณาเป็นอย่างดีจากอาจารย์ ดร.ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ ประธานควบคุมปริญญาานิพนธ์ ที่ท่านได้เสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะต่าง ๆ และความช่วยเหลือที่เป็นประโยชน์ตลอดการทำวิจัยในครั้งนี้ และอาจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ดร.บัณฑิต กรรมการควบคุมปริญญาานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา และชี้แนะแนวทางในแก้ปัญหา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.พรรณี ลีกิจวัฒน์ ที่ให้ความกรุณาเป็นประธานในการสอบปากเปล่าปริญญาานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีณา เสียงเพราะ ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการในการสอบปากเปล่าปริญญาานิพนธ์ ตลอดจนให้คำแนะนำต่าง ๆ เพื่อให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พ.อ.หญิง ดร.อลิสสา เสนามนตรี อาจารย์ ดร. นवलละออ รัตนวิมานวงศ์ และอาจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ สงศรีโรจน์ ที่ให้ความกรุณาเป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ โดยชี้ข้อบกพร่องและให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงแก้ไขเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.เข้ม พุ่มสะอาด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อใช้ในการทดลองเรื่อง เทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้การทดลองสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดวิชาความรู้ ให้ความเมตตา และความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา และขอขอบคุณนิสิตปริญญาตรีชั้นปีที่ 3 และ 4 สาขาวิชาเคมี ปีการศึกษา 2556 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ได้อำนวยความสะดวกและให้ความร่วมมือในการดำเนินการวิจัย ทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณกัลยาณมิตรทุก ๆ ท่าน ที่อยู่เคียงข้างกันเสมอมาทั้งในยามสุขและทุกข์ คอยให้กำลังใจ และความช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดมา

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่ชาย ที่ให้การสนับสนุนในด้านการศึกษายเป็นอย่างดีเสมอมา และมอบความรัก ความเอาใจใส่ ตลอดจนเป็นกำลังใจสำคัญที่ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในครั้งนี้ คุณค่าและประโยชน์ของปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดา มารดา และครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทั้งปวงให้แก่ผู้วิจัย

ยศวดี ลีติวร



## สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
ความสำคัญของการวิจัย.....	4
ขอบเขตของการวิจัย.....	4
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	8
สมมติฐานในการวิจัย.....	8
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี	
หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2554 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.....	9
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการแยกสาร.....	10
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์.....	17
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน.....	24
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์.....	31
เอกสารที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจ.....	36
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์.....	40
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	45
การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง.....	45
การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	46
การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	84
การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	85
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	92
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	92

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	98
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	98
สมมติฐานในการวิจัย.....	98
วิธีดำเนินการวิจัย.....	99
สรุปผลการวิจัย.....	104
อภิปรายผลการวิจัย.....	105
ข้อเสนอแนะ.....	113
บรรณานุกรม.....	114
ภาคผนวก.....	122
ภาคผนวก ก รายนามผู้เชี่ยวชาญและหนังสือขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ.....	123
ภาคผนวก ข ผลการประเมินเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ.....	129
ภาคผนวก ค ผลการหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิค โครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟเรซิส.....	161
ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และค่าความ เชื่อมั่นของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	165
ภาคผนวก จ ผลคะแนนสอบของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง.....	181
ภาคผนวก ฉ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	198
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	256

## บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 ระยะเวลาในการเรียนการสอนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส.....	46
2 ระยะเวลาการเคลื่อนที่ของรงควัตถุและภูมิภาคเคลื่อนที่.....	49
3 การเปรียบเทียบสีของรงควัตถุที่แยกได้ในสภาวะกรด-เบส.....	50
4 ระยะเวลาการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐาน และภูมิภาคเคลื่อนที่ และค่า $R_f$ จากการทดลองโดยใช้ภูมิภาคเคลื่อนที่ A และ B.....	53
5 ระยะเวลาการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐาน และภูมิภาคเคลื่อนที่ และค่า $R_f$ จากการทดลองโดยใช้ภูมิภาคเคลื่อนที่ C และ D.....	54
6 ระยะเวลาการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐาน สารตัวอย่าง และภูมิภาคเคลื่อนที่ และค่า $R_f$ จากการแยกแบบ 2 มิติ.....	57
7 สีของสารมาตรฐานและสารตัวอย่างเมื่อพ่นด้วยสารเคมี.....	58
8 ตำแหน่งและระยะเวลาการเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าของสารละลายปอชิง 4 อาร์ ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 50 โวลต์.....	63
9 ตำแหน่งและระยะเวลาการเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าของสารละลายเมทิลีนบลู ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 50 โวลต์.....	64
10 การเคลื่อนที่ของสารตัวอย่างที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ.....	65
11 ค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส	70
12 ค่าความยากง่าย และค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์.....	76
13 การวิจัยแบบ One group pretest posttest design.....	84
14 ค่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของนิสิตทั้งหมดที่ทำแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ของนิสิตปริญญาตรี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 30 คน.....	93

## บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
15 ผลการเปรียบเทียบผลต่างของคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง.....	94
16 ผลการเปรียบเทียบผลต่างของคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง.....	95
17 ค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย และระดับความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิสของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง.....	96
18 ผลการประเมินความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน.....	130
19 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ฯ ในการทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน.....	132
20 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ฯ ในการทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน.....	135
21 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ฯ ในการทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กโทรโฟรีซิสขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน.....	138
22 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบระหว่างเรียนการทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน.....	141
23 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบระหว่างเรียนการทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน.....	142

## บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
24 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบระหว่างเรียนการทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน.....	143
25 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบระหว่างเรียนการทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน.....	144
26 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบระหว่างเรียนการทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน.....	145
27 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบระหว่างเรียนการทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน.....	146
28 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน.....	147
29 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน.....	151
30 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน.....	153

## บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
31 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ฯ ในการทดลองที่ 1 การแยกวงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน.....	155
32 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ฯ ในการทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน.....	157
33 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ฯ ในการทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน.....	159
34 ผลการหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟี และเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ ที่นำไปทดลองใช้กับนิสิตปริญญาตรี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 10 คน.....	162
35 ผลการหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟี และเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ ที่นำไปทดลองใช้กับนิสิตปริญญาตรี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 30 คน.....	163
36 ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) และค่าความเชื่อมั่น ( $\alpha$ ) ของแบบทดสอบระหว่างเรียนการทดลองที่ 1 การแยกวงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ.....	166
37 ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) และค่าความเชื่อมั่น ( $\alpha$ ) ของแบบทดสอบระหว่างเรียนการทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ.....	167
38 ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) และค่าความเชื่อมั่น ( $\alpha$ ) ของแบบทดสอบระหว่างเรียนการทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม.....	168

## บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
39 ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) และค่าความเชื่อมั่น ( $r_{tt}$ ) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส.....	169
40 ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) และค่าความเชื่อมั่น ( $\alpha$ ) ของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ.....	173
41 ผลการวิเคราะห์ค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความเชื่อมั่น ( $\alpha$ ) ของแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ๕ ในการทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ.....	175
42 ผลการวิเคราะห์ค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความเชื่อมั่น ( $\alpha$ ) ของแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ๕ ในการทดลองที่ 2 การแยกรงควัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ....	177
43 ผลการวิเคราะห์ค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความเชื่อมั่น ( $\alpha$ ) ของแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ๕ ในการทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กโทรโฟรีซิสขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม	179
44 คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ของนิสิตกลุ่มตัวอย่างก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส.....	182
45 ค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย จากแบบทดสอบระหว่างเรียน บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง.....	184
46 คะแนนจากแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิตกลุ่มตัวอย่างหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส.....	185
47 คะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนิสิตกลุ่มตัวอย่างก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส.....	187

## บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
48 ค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย จากการตรวจแบบบันทึกผล การทดลองปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง.....	189
49 คะแนนจากแบบบันทึกผลการทดลองปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิตกลุ่ม ตัวอย่าง.....	190
50 ค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความพึงพอใจต่อบท ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ฯ ในการทดลองที่ 1 การแยกวงค์วัตถุในใบผักคะน้า ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ ของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง.....	192
51 ค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความพึงพอใจต่อบท ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ฯ ในการทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิค โครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ ของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง.....	194
52 ค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความพึงพอใจต่อบท ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ฯ ในการทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม ของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง.....	196



## บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	8
2 ลักษณะของกระดาษโครมาโทกราฟีและระยะการขีดเส้นแนว.....	47
3 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของรงควัตถุแต่ละชนิดที่สามารถแยกได้ในใบผักคะน้า.....	49
4 ตำแหน่งที่หยดสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง.....	52
5 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐานและสารตัวอย่างในการแยกด้วยวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 1 คือ คลอโรฟอร์มกับเฮกเซน (อัตราส่วน 3 : 1 โดยปริมาตร) ....	55
6 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐานและสารตัวอย่างในการแยกด้วยวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 2 คือ คลอโรฟอร์มกับอะซิโตน (อัตราส่วน 9 : 1 โดยปริมาตร) ....	56
7 ลักษณะด้านบนของแม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูป (a) และลักษณะด้านข้างของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่ทำจาก PDMS (b) .....	59
8 ลักษณะด้านบนของแม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูป.....	60
9 ลักษณะด้านข้างของแม่พิมพ์ ประกอบด้วยช่องทางการเคลื่อนที่ของสารละลาย (A) และหลุมสำหรับใส่สารละลายอิเล็กทรอนิกส์และขั้วไฟฟ้า (B) .....	61
10 ลักษณะด้านข้างของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่ทำจาก PDMS.....	61
11 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกำลังต่ำที่สร้างขึ้น.....	67

# บทที่ 1

## บทนำ

### ภูมิหลัง

วิทยาศาสตร์เป็นเรื่องของการเรียนรู้เกี่ยวกับธรรมชาติ โดยมนุษย์ใช้กระบวนการสังเกต สืบสวนตรวจสอบ และการทดลองเกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติและนำผลมาประมวลเพื่อหาข้อสรุป เป็นหลักการ แนวคิดและทฤษฎี ดังนั้นการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์จึงมุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้เป็นผู้เรียนรู้ และค้นพบด้วยตนเองมากที่สุด ตั้งแต่วัยเริ่มแรกก่อนเข้าเรียน เมื่ออยู่ในสถานศึกษา และเมื่อออกจากสถานศึกษาเพื่อไปประกอบอาชีพแล้ว (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2546: 3) การพัฒนากำลังคนให้สามารถใช้ภูมิปัญญาเพื่อศึกษา วิจัยค้นคว้าความรู้ใหม่ สิ่งประดิษฐ์ใหม่ ตลอดจนการรู้จักประยุกต์สิ่งต่าง ๆ เพื่อความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของบ้านเมืองนั้น จึงต้องให้การศึกษาโดยจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ ตั้งแต่เริ่มเข้าประถมศึกษา จนกระทั่งจบชั้นอุดมศึกษาเพื่อให้ได้ทั้งความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ อันเป็นเครื่องมือสำคัญที่ทำให้ผู้เรียนได้ศึกษาค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเอง ประกอบกับเป็นผู้มีเจตคติทางวิทยาศาสตร์ที่ดี มีคุณธรรมเพื่อเป็นพลเมืองดีต่อไป (พิมพันธ์ เดชะคุปต์. 2545: 78) การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่ดีและได้ผล ควรเป็นการเรียนการสอนที่ผู้เรียนได้เรียนรู้จากการมีปฏิสัมพันธ์กับสื่อการเรียนการสอน ประเภทใดประเภทหนึ่ง จนเกิดการรับรู้ การคิด และการกระทำซึ่งนำไปสู่การสรุปหรือการค้นพบด้วยตัวเอง (ภพ เลหาไพบูลย์. 2542: 240) การเรียนรู้ที่ผู้เรียนค้นพบความรู้ด้วยตนเอง เป็นการเรียนรู้ที่ยึดหลักการจัดการเรียนรู้ตามแนวทฤษฎีการสร้างความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism) ซึ่งเป็นกระบวนการปฏิสัมพันธ์ภายในสมองและทางสังคม ที่ผู้เรียนต้องจัดกระทำกับข้อมูล หรือประสบการณ์ต่าง ๆ ที่รับเข้ามา และสร้างความหมายให้กับสิ่งนั้นด้วยตนเอง ดังนั้นผู้เรียนจะต้องได้ลงมือปฏิบัติงานจริง โดยเปิดโอกาสให้ผู้เรียนเรียนรู้จากประสบการณ์ตรง มีการปฏิสัมพันธ์กับสื่อ วัสดุ อุปกรณ์ หรือข้อมูลต่าง ๆ และสามารถจัดกระทำ ศึกษา สืบสวน วิเคราะห์ ทดลองกับสิ่งนั้น ๆ จนเกิดเป็นความรู้ความเข้าใจขึ้น พร้อมกับมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคม การร่วมมือ การแลกเปลี่ยนความรู้ ความคิด และประสบการณ์ระหว่างผู้เรียนกับผู้เรียน และบุคคลอื่น ๆ เพื่อช่วยให้นักเรียนของผู้เรียนหลากหลายยิ่งขึ้น (ทิตินา แชมมณี. 2555: 90-96)

การทดลองเป็นวิธีการเรียนการสอนประเภทหนึ่งที่ทำให้ประสบการณ์ตรงแก่ผู้เรียน โดยผ่านกระบวนการพิสูจน์ ตรวจสอบ และเห็นผลการทดลองด้วยตนเอง ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดี มีความเข้าใจ สามารถจดจำการเรียนรู้ได้นาน และเป็นการสอนที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้เรียนรู้และพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ อีกทั้งได้พัฒนาคุณลักษณะนิสัยการใฝ่รู้ด้วย (ทิตินา แชมมณี.

2554: 28) ดังนั้น การทดลองจึงเป็นวิธีการสอนที่มีประโยชน์และมีความสำคัญต่อการเรียนการสอน วิทยาศาสตร์เป็นอย่างยิ่ง บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เป็นกิจกรรมการทดลองที่เกี่ยวข้องกับความรู้ทาง วิทยาศาสตร์ ที่จัดเพื่อให้ผู้เรียนได้ฝึกทักษะกระบวนการอันเป็นหัวใจของวิทยาศาสตร์ ผู้เรียนจะได้มี โอกาสปฏิบัติการร่วมกันในขณะที่ทำการทดลอง มีโอกาสที่จะได้สัมผัสและรู้วิธีใช้อุปกรณ์ของ วิทยาศาสตร์ (อรอุมา ละมุล. 2541: 14) การเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการเป็นเทคนิควิธีที่เป็น รากฐานของการแก้ปัญหา ให้ผู้เรียนสืบเสาะหาความรู้ และค้นพบความรู้ด้วยตนเอง ทำให้ผู้เรียน สามารถศึกษากิจกรรม วิธีปฏิบัติจากสื่อที่สามารถเรียนได้ด้วยตนเอง ช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้การสรุป ครอบคลุม และการใช้การสรุปครอบคลุมในสถานการณ์ใหม่ ๆ ส่งเสริมให้ผู้เรียนเพิ่มพูนความสามารถ ในการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น มีทักษะในด้านต่าง ๆ มากขึ้น ตลอดจนช่วยพัฒนาเจตคติ ทางวิทยาศาสตร์ (บุญชม ศรีสะอาด. 2541: 69)

จากการศึกษาเอกสารเกี่ยวกับหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2554 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ผู้วิจัยมีความสนใจในรายวิชา ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2 รหัสวิชา คม 390 ซึ่งเป็นการทดลองที่สอดคล้องกับรายวิชา คม 351 ได้แก่ การแยกสารโดยวิธีการสกัด การวิเคราะห์เชิงคุณภาพโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบกระดาษและแบบเยื่อบาง การวิเคราะห์เชิง คุณภาพและเชิงปริมาณโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบแลกเปลี่ยนไอออน แก๊ส และของเหลว สมรรถนะสูง (มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2554: 54) เนื่องจากเทคนิคการแยกสารเป็นเทคนิคหนึ่ง ทางเคมีวิเคราะห์ที่มีความสำคัญ สามารถนำมาใช้ในการแยกสารผสมที่มีองค์ประกอบซับซ้อนให้เป็น สารบริสุทธิ์ได้ โดยผู้วิจัยสนใจพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ในเรื่องการแยกสารโดยใช้เทคนิคโคร- มาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ และเทคนิคอิเล็กโทรโฟเรซิส เนื่องจากเป็นเทคนิคที่สามารถทำการทดลองได้ภายในห้องปฏิบัติการทั่วไป โดยไม่จำเป็นต้องใช้ เครื่องมือราคาแพง และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแยกสารประเภทต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับ ชีวิตประจำวันได้ โดยเมื่อทำการศึกษาเอกสารเกี่ยวกับบทปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคดังกล่าวใน ระดับปริญญาตรี พบว่ามีการนำเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษมาใช้แยกสารตัวอย่างที่พบใน ชีวิตประจำวัน เช่น การพิสูจน์เอกลักษณ์สีผสมอาหารในเครื่องดื่ม (นินนาท์ โชติบริบูรณ์. 2545: 89- 93) การแยกกรดนิวคลีอิก (นพดล ศุภระกาญจน์. 2551: 31-36) การแยกกรดอะมิโนโดยใช้ เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบกระดาษ (ฉติมา รุกขไชยศิริกุล. 2547: 187-189) และการแยกองค์ประกอบ ของน้ำหมักสีดำโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบกระดาษ (วัชรวิ ชาติกิตติคุณวงศ์. 2542: 256) เป็นต้น อย่างไรก็ตามการทดลองเหล่านี้ใช้วัสดุภาคเคลื่อนที่ซึ่งมีตัวทำละลายอินทรีย์เป็นองค์ประกอบใน ปริมาณมากทำให้ส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นพัฒนาบท ปฏิบัติการเรื่องการแยกสารโดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ ที่ลดปริมาณการใช้ตัวทำ

ละลายอินทรีย์และประยุกต์ใช้สำหรับการแยกสารที่พบในชีวิตประจำวัน สำหรับเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง พบว่านำมาใช้แยกสารผสมต่าง ๆ เช่น การแยกของผสมของเบนซิลและเบนโซอินด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีและการทำเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบางเพื่อตรวจสอบองค์ประกอบของยาแก้ปวด (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2555: ออนไลน์) การพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารเพรดนิโซโลนและเดกซาเมทาโซนในยาแผนโบราณ (นินนาท์ โชติบริบูรณ์. 2545: 94-99) และการวิเคราะห์ชนิดของสารตัวอย่างโดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง (มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2555: 77-87) เป็นต้น จากการศึกษาพบว่าทปฏิบัติการทั้งหมดล้วนเป็นการทดลองด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 1 มิติ เท่านั้น ยังไม่มีบทปฏิบัติการใดนำเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถแยกสารที่มีความสามารถในการเคลื่อนที่ใกล้เคียงกันได้มาใช้ในการเรียนการสอนในระดับปริญญาตรี ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจพัฒนาบทปฏิบัติการเรื่องการแยกสารโดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ และสุดท้ายเทคนิคคือเด็กโทรไฟรีซิสยังไม่พบว่าปรากฏอยู่ในบทปฏิบัติการใดในการเรียนการสอนในรายวิชา ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2 รหัสวิชา คม 390 โดยเทคนิคดังกล่าวมีการเรียนการสอนเฉพาะในรายวิชาบรรยายเท่านั้น ผู้วิจัยจึงสนใจพัฒนาบทปฏิบัติการเรื่องการแยกสารโดยใช้เทคนิคคือเด็กโทรไฟรีซิส เพื่อให้นิสิตมีความเข้าใจในหลักการแยกสารพื้นฐานของเทคนิคคือเด็กโทรไฟรีซิสมากยิ่งขึ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคคือเด็กโทรไฟรีซิส ประกอบด้วย 3 การทดลอง คือ การแยกกรดไขมันในผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ และการสร้างอุปกรณ์คือเด็กโทรไฟรีซิสขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม โดยคาดว่าบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นจะทำให้นิสิตมีความรู้ ความเข้าใจในหลักการของเทคนิคการแยกสารทั้ง 3 เทคนิคที่กล่าวมา ส่งผลให้นิสิตมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนดีขึ้น สามารถพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และทำให้นิสิตมีความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคคือเด็กโทรไฟรีซิส อยู่ในระดับมากได้

### ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคคือเด็กโทรไฟรีซิส ที่มีประสิทธิภาพสำหรับนิสิตปริญญาตรี
2. เพื่อศึกษาประสิทธิผลการเรียนรู้ของนิสิตปริญญาตรีที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคคือเด็กโทรไฟรีซิส ประกอบด้วย 3 ด้าน ดังนี้

2.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟี และเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

2.2 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ

2.3 ความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

### ความสำคัญของการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ได้พัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ซึ่งประกอบด้วย เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษที่ใช้วัสดุภาคเคลื่อนที่ในปริมาณน้อย เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ ที่ยังไม่เคยปรากฏในปฏิบัติการโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบางในระดับปริญญาตรีมาก่อน และเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิสซึ่งเป็นปฏิบัติการใหม่ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เป็นครั้งแรกในรายวิชา ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2 รหัสวิชา คม 390 ซึ่งบทปฏิบัติการทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้นักศึกษามีความรู้ ความเข้าใจในหลักการแยกสารด้วยเทคนิคทั้ง 3 เทคนิคมากขึ้น เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ บทปฏิบัติการอื่นๆ สำหรับนิสิตปริญญาตรีต่อไป

### ขอบเขตของการวิจัย

#### ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นิสิตปริญญาตรีชั้นปีที่ 3 หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชา ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2 (Analytical chemistry laboratory II) รหัสวิชา คม 390 (CH 390) ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556 จำนวน 3 กลุ่ม ๆ ละ 22 - 24 คน รวมทั้งหมด 68 คน

#### กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นิสิตปริญญาตรีชั้นปีที่ 3 หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชา ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2 รหัสวิชา คม 390 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556 จำนวน 22 คน ที่ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจงตามความสะดวกมา 1 กลุ่ม จากทั้งหมด 3 กลุ่ม

## ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ คือ บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส
2. ตัวแปรตาม คือ ประสิทธิภาพการเรียนรู้ ประกอบด้วย 3 ด้าน ได้แก่
  - 2.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส
  - 2.2 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ
  - 2.3 ความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

## เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อหาในบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส สำหรับนิสิตปริญญาตรี ประกอบด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 3 การทดลอง ได้แก่

- การทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ
- การทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ
- การทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กโทรโฟรีซิสขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม

## ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556 ในช่วงเรียนรายวิชา ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2 รหัสวิชา คม 390 ของนิสิตปริญญาตรีชั้นปีที่ 3 หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 3 บทปฏิบัติการ ๆ ละ 3 ชั่วโมง รวม 9 ชั่วโมง ทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนอย่างละ 2 ชั่วโมง รวมทั้งหมด 13 ชั่วโมง

## นิยามศัพท์เฉพาะ

1. **บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์** หมายถึง บทเรียนในรายวิชาเคมีวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส สำหรับนิสิตปริญญาตรี โดยมีองค์ประกอบของบทปฏิบัติการ ได้แก่ ชื่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ วัตถุประสงค์ หลักการ เครื่องมือและอุปกรณ์ สารเคมีและสารตัวอย่าง วิธีการทดลอง และแบบบันทึกผลการทดลอง บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ประกอบด้วย 3 การทดลอง ดังนี้

- การทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ
- การทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ
- การทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กโทรโฟรีซิสขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม

**2. ประสิทธิภาพการเรียนรู้** หมายถึง ผลของการจัดการเรียนรู้ด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส สำหรับนิสิตปริญญาตรี ซึ่งจะพัฒนาผู้เรียนในด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

**3. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส** หมายถึง ความรู้ความสามารถทางการเรียนในด้านการประมวลความรู้ของผู้เรียน ซึ่งเกิดมาจากสมรรถภาพทางสมองของผู้เรียน หรือการจัดกระบวนการเรียนการสอนสามารถวัดได้จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยเป็นแบบทดสอบแบบปรนัย 5 ตัวเลือก ที่ครอบคลุมพฤติกรรมกรรมการเรียนรู้ด้านพุทธิพิสัย 4 ระดับ คือ

3.1 **ความรู้-ความจำ (Knowledge)** หมายถึง ความสามารถของสมองที่เก็บสะสมเรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส หรือประสบการณ์ที่ได้รับรู้มาไว้ในสมองอย่างถูกต้องแม่นยำ

3.2 **ความเข้าใจ (Comprehension)** หมายถึง ความสามารถในการอธิบายหลักการทฤษฎี ขั้นตอนการทดลอง และแปลความหมายข้อมูลในเรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

3.3 **การนำไปใช้ (Application)** หมายถึง ความสามารถในการนำความรู้จากบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ไปแก้ปัญหาในสถานการณ์ใหม่ ซึ่งอาจคล้ายคลึงกับสถานการณ์ที่เคยพบมาก่อน

3.4 **การวิเคราะห์ (Analysis)** หมายถึง ความสามารถในการแยกแยะข้อมูลจากการทดลอง เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส สามารถเชื่อมโยงเหตุ วิธีการ และผลการทดลองได้

**4. ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ** หมายถึง พฤติกรรมความสามารถในด้านการคิด การปฏิบัติแบบวิทยาศาสตร์ เพื่อใช้ในการแสวงหาความรู้ หรือแก้ปัญหาอย่างมีระบบแบบแผน สามารถวัดได้จากแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการแบบอัตนัย และทำการตรวจผลการปฏิบัติการจากแบบบันทึกผลการทดลองปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เพื่อกระตุ้นกระบวนการคิดในทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ จำนวน 3 ทักษะ คือ

4.1 **ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร** หมายถึง ความสามารถในการระบุว่าตัวแปรที่ศึกษา ตัวแปรใดเป็นตัวแปรต้น ตัวแปรตามและตัวแปรที่ต้องควบคุมในสมมติฐาน

4.1.1 ตัวแปรต้น หรือตัวแปรอิสระ คือ ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรที่สนใจทำการศึกษาคือ เป็นตัวแปรที่ต้องการทดลองดูว่าจะก่อให้เกิดผลเช่นไร

4.1.2 ตัวแปรตาม คือ ตัวแปรที่สนใจทำการศึกษาคือ เป็นตัวแปรที่เป็นผลเนื่องมาจากตัวแปรต้น เมื่อตัวแปรต้นเปลี่ยน ตัวแปรตามก็จะเปลี่ยนไปด้วย

4.1.3 ตัวแปรควบคุม คือ ตัวแปรอื่น ๆ ที่ไม่ได้สนใจทำการศึกษาคือ แต่สามารถส่งผลกระทบต่อตัวแปรตามในขณะนั้นได้ จึงต้องควบคุมให้คงที่

4.2 ทักษะการทดลอง หมายถึง ความสามารถในการดำเนินการตรวจสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้โดยลงมือทำการทดลอง เริ่มตั้งแต่การออกแบบการทดลอง การปฏิบัติตามขั้นตอนที่ออกแบบไว้ ตลอดจนการใช้วัสดุอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง และการบันทึกผลการทดลอง ในการทดลองประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

4.2.1 การออกแบบการทดลอง หมายถึง การวางแผนการทดลองก่อนลงมือทดลองจริง เพื่อกำหนดวิธีการทดลอง ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนดควบคุมตัวแปร อุปกรณ์ หรือ สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

4.2.2 การปฏิบัติการทดลอง หมายถึง การปฏิบัติการทดลอง เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส อย่างเป็นขั้นตอนโดยใช้เทคนิควิธีที่เหมาะสม

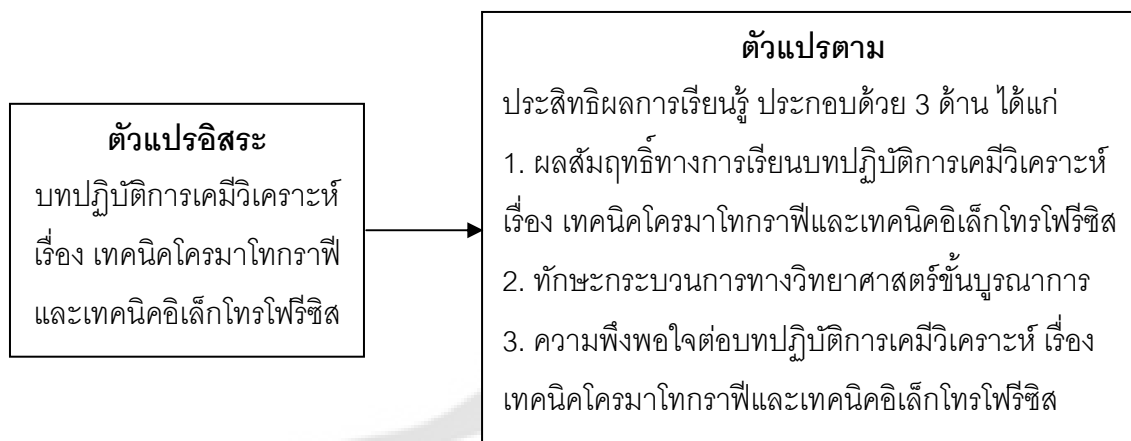
4.2.3 การบันทึกผลการทดลอง หมายถึง การบันทึกผล การวิเคราะห์ผลข้อมูล และสรุปผลการทดลองที่ได้จากการทดลอง เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

4.3 ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป หมายถึง ความสามารถในการบอกความหมายของข้อมูลที่ได้จัดกระทำ และอยู่ในรูปแบบที่สามารถใช้ในการสื่อความหมายได้ ซึ่งอยู่ในรูปตารางและรูปภาพ รวมทั้งความสามารถในการบอกความหมายของข้อมูลในเชิงสถิติ และสามารถลงข้อสรุปโดยการนำเอาความหมายของข้อมูลได้ทั้งหมด สรุปให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ต้องการศึกษาภายในขอบเขตของการทดลอง เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

**5. ความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส** หมายถึง อารมณ์ ความรู้สึกที่แสดงออกว่าพอใจ หรือประทับใจต่อการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ซึ่งสามารถสังเกตได้จากการแสดงออกทางพฤติกรรม โดยวัดได้จากแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ



## กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

## สมมติฐานในการวิจัย

1. บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส สำหรับนิสิตปริญญาตรี มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์  $E_1/E_2$  ไม่น้อยกว่า 80/80
2. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิภาพการเรียนรู้ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
3. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิภาพการเรียนรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
4. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิภาพการเรียนรู้ด้านความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส อยู่ในระดับมาก

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย และนำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2554 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการแยกสาร
3. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
4. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
5. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
6. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจ
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

#### 1. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2554 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2554 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เป็นหลักสูตรระดับปริญญาตรี หลักสูตร 4 ปี โดยกำหนดให้เริ่มใช้หลักสูตร ในภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2555 (มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2554: 6) ซึ่งมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อผลิตบัณฑิตที่มีความรอบรู้ ใฝ่รู้ในวิชาเคมี วิทยาการทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง
2. เพื่อให้บัณฑิตสามารถนำองค์ความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการประกอบอาชีพ ตลอดจนงานศึกษาวิจัยในระดับที่สูงขึ้น
3. เพื่อผลิตบัณฑิตที่มีคุณธรรม จริยธรรม มีจรรยาบรรณต่อวิชาชีพและมีจิตสำนึกรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม

จากการศึกษาเอกสารเกี่ยวกับหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2554 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ผู้วิจัยมีความสนใจในรายวิชา ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2 รหัสวิชา คม 390 จากคำอธิบายรายวิชา เป็นการทดลองที่สอดคล้องกับรายวิชา คม 351 ได้แก่ การแยกสารโดยวิธีการสกัด การวิเคราะห์เชิงคุณภาพโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบกระดาษและแบบเยื่อบาง การวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบแลกเปลี่ยนไอออน แก๊ส

และของเหลวสมรรถนะสูง (มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2554: 54) ซึ่งผู้วิจัยสนใจที่จะพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ในเรื่องการแยกสารโดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง และเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส เพื่อให้บัณฑิตมีความรู้ ความเข้าใจในหลักการที่เป็นรูปธรรมมากขึ้น ส่งผลให้บัณฑิตมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในเรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ และเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิสดีขึ้น สามารถพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และทำให้บัณฑิตมีความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส อยู่ในระดับมากได้

## 2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการแยกสาร

เทคนิคการแยกสาร (Separation techniques) เป็นกระบวนการแยกสารผสมให้ได้สารที่บริสุทธิ์ สามารถทำได้โดยวิธีทางกายภาพและทางเคมี เช่น การกรอง (Filtration) การกลั่น (Distillation) การตกตะกอน (Precipitation) การสกัด (Extraction) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) โครมาโทกราฟี (Chromatography) และอิเล็กโทรโฟรีซิส (Electrophoresis) เป็นต้น (ธวัชชัย ศรีวิบูลย์. 2551: 1-2) ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงเทคนิคการแยกสาร 3 เทคนิค คือ เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ (Paper Chromatography) เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง (Thin Layer Chromatography) และเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส (Electrophoresis) ดังนี้

### 2.1 เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ

โครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษเป็นเทคนิคทางโครมาโทกราฟีแบบแผ่นเรียบ (Planar Chromatography) โดยมีกลไกการแยกแบบแบ่งส่วน (Partition) เกิดขึ้นบนแผ่นกระดาษ ซึ่งประกอบไปด้วยเส้นใยของเซลลูโลสทำหน้าที่เป็นตัวค้ำจุน (Support) มีน้ำซึ่งถูกดูดซับอยู่ในแผ่นกระดาษทำหน้าที่เป็นวัฏภาคนิ่ง (Stationary phase) สำหรับวัฏภาคเคลื่อนที่ (Mobile phase) มีสถานะเป็นของเหลว ซึ่งอาจเป็นตัวทำละลายบริสุทธิ์ หรือตัวทำละลายผสมที่เป็นเนื้อเดียวกัน (ธวัชชัย ศรีวิบูลย์. 2551: 143)

ดังนั้นสารที่มีสภาพขั้วมากจะเกิดอันตรกิริยากับวัฏภาคนิ่งได้ดี จึงเคลื่อนที่ได้ช้าหรืออาจไม่เคลื่อนที่เลย ในขณะที่สารที่มีสภาพขั้วน้อยจะเกิดอันตรกิริยากับวัฏภาคนิ่งได้น้อยและสามารถละลายในวัฏภาคเคลื่อนที่ได้มาก จึงทำให้เคลื่อนที่ไปบนกระดาษได้ดีกว่าสารที่มีขั้วมาก โดยระยะทางที่สารเคลื่อนที่ได้ สามารถแสดงได้ในเทอมของ Retardation factor ( $R_f$ ) ซึ่งหาได้จากสูตร (ธวัชชัย ศรีวิบูลย์. 2551: 140-141) ดังแสดง

$$R_f = \frac{\text{ระยะทางที่สารตัวอย่างเคลื่อนที่}}{\text{ระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่เคลื่อนที่}}$$

จากการค้นคว้างานวิจัยในประเทศที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ มีดังนี้

พันศักดิ์ สายแสงจันทร์ (2544: 48-50) ได้วิจัยเรื่อง การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง เทคนิคการแยกสาร สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ผู้วิจัยได้นำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น 5 การทดลอง คือ วิธีแยกของแข็งปนของแข็ง วิธีแยกของแข็งปนของเหลว วิธีแยกของเหลวปนของเหลว วิธีแยกของเหลวปนแก๊ส และวิธีโครมาโทกราฟีแบบกระดาษ ไปทดลองสอนกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2544 โรงเรียนคงทองวิทยา จังหวัดนครปฐม จำนวน 40 คน พบว่าบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 คือ 81.19/80.33 คะแนนเฉลี่ยการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ในทุกด้านของการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน กล่าวคือ นักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นทั้งในด้านความรู้-ความจำ ความเข้าใจ การนำไปใช้ และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

พรทิพย์ วงษ์นาป่า (2548: 139-146) ได้วิจัยเรื่อง การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง การสกัดและแยกสารประกอบแทนไทน์จากผลมังคุด สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จังหวัดจันทบุรี ผู้วิจัยได้แยกสารประกอบแทนไทน์ให้บริสุทธิ์โดยใช้โครมาโทกราฟีแบบกระดาษ และนำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นไปใช้ทดลองสอนกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2547 โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดจันทบุรี จำนวน 60 คน แบ่งเป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม กลุ่มละ 30 คน พบว่า นักเรียนกลุ่มทดลองที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมีผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ด้านความรู้สูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุม นักเรียนกลุ่มทดลองที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีความสามารถด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และนักเรียนกลุ่มทดลองที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีเจตคติต่อบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ก่อนเรียนและหลังเรียนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หรือกล่าวได้ว่า นักเรียนมีเจตคติต่อบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สูงขึ้น

เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษได้นำไปใช้ในการเรียนการสอนในระดับปริญญาตรี เช่น การพิสูจน์เอกลักษณ์สีผสมอาหารในเครื่องดื่ม (นินนาท์ โชติบริบูรณ์. 2545: 89-93) การแยกรงควัตถุสังเคราะห์แสง (นพดล ศุภระกาญจน์. 2551: 31-36) การแยกกรดอะมิโนโดยใช้เทคนิคโคร-

มาโทกราฟีแบบกระดาษ (ธิตีมา รุกชไชยศิริกุล. 2547: 187-189) และการแยกองค์ประกอบของน้ำหมึกสีดำโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบกระดาษ (วัชรวิ ชาติกิตติคุณวงศ์. 2542: 256) เป็นต้น

จากการค้นคว้างานวิจัยต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ มีดังนี้

คณะผู้จัดพิมพ์วารสาร Journal of Chemical Education (Journal's Editorial staff. 2000: 176A-176B) ได้วิจัยเรื่อง การใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษสำหรับการแยกน้ำหมึกผสมเป็นการทดลองที่ออกแบบมาให้มีความสนุกสนาน สวยงาม เพื่อดึงดูดให้นักเรียนเกิดความสนใจในวิชาเคมี สามารถทำการทดลองที่บ้าน หรือในห้องปฏิบัติการได้ โดยวิทยภาคหนึ่งเป็นกระดาษกรองกาแฟ ส่วนวิทยภาคเคลื่อนที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น น้ำ แอลกอฮอล์ฆ่าเชื้อ (70% ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์) น้ำส้มสายชู ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดในครัวเรือน หรือสารละลายผสมของผลิตภัณฑ์ที่กล่าวมาข้างต้น สารตัวอย่างที่นำมาแยกคือ น้ำหมึกสีดำจากปากกา หรือน้ำหมึกที่ละลายน้ำได้ เมื่อทำการแยกสารชนิดต่าง ๆ ที่ผสมอยู่ในน้ำหมึกจะเกิดการแยกให้เห็น แล้วทำการสังเกตสีและหาค่า  $R_f$

เบิร์ดวิสเทล และสเปนซ์ (Birdwhistell; & Spence. 2002: 847) ได้วิจัยเรื่อง การแยกสีเคลือบบนลูกอมช็อคโกแลต ยี่ห้อ M&M โดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นนำไปใช้กับนิสิตมหาวิทยาลัยโลโยลา ที่ลงเรียนในรายวิชา ปฏิบัติการเคมีทั่วไป 1 ในการทดลองต้องเตรียมสารละลายตัวอย่างสีเคลือบบนลูกอม โดยใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำผสมเอทานอลในอัตราส่วน 1:1 แล้วทำการแยกสารตัวอย่างด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ โดยมีวิทยภาคเคลื่อนที่เป็นสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.10 โดยมวลต่อปริมาตร นำไปส่องแสงฟลูออเรสเซนส์เพื่อสังเกตสีและหาค่า  $R_f$  เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับสีย้อมอาหารมาตรฐานเพื่อระบุว่าสารที่แยกได้จากสีเคลือบบนลูกอมช็อคโกแลตมีสารชนิดใดบ้าง

ชาร์มา แมคโคน และมาร์คโว (Sharma; McKone; & Markow. 2011: 24-28) ได้วิจัยเรื่อง ประวัติความเป็นมาของสีย้อมอาหาร การนำไปใช้และการระบุชนิดของสีย้อมอาหาร โดยได้กล่าวถึงประวัติและวิวัฒนาการในปัจจุบัน โครงสร้างและชื่อทั่วไปของสีย้อมอาหารที่ผ่านการรับรองขององค์การอาหารและยาของประเทศสหรัฐอเมริกา 7 ชนิด คือ Erthyrosine B, Allura red, Tartrazine, Sunset yellow, Brilliant blue, Indigo carmine และ Fast green และสีย้อมอาหารที่ใช้นอกประเทศสหรัฐอเมริกาอีก 7 ชนิด คือ Amaranth, Patent blue V, Green S, Ponceau 4R, Ponceau SX, Carmoisine และ Quinoline yellow ผู้วิจัยได้นำข้อมูลดังกล่าวมาใช้เป็นภูมิหลังในการเรียนการสอนปฏิบัติการทดลองในรายวิชาเคมีทั่วไป หรือเคมีอินทรีย์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ในเรื่องเกี่ยวกับการระบุชนิดของสีย้อม โดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษและ

เทคนิคอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี สำหรับเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษเป็นการหาค่า  $R_f$  ของสีผสมอาหารทั้ง 14 ชนิด โดยใช้วัฏภาคหนึ่งเป็นกระดาษกรองวอทแมน เบอร์ 1 และวัฏภาคเคลื่อนที่เป็นสารละลายเกลือเข้มข้นร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ ผู้วิจัยพบว่าเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ เป็นเทคนิคที่ใช้ปริมาณสารตัวอย่างน้อย สามารถแยกสารผสมได้หลายชนิด สามารถทำการทดลองได้สะดวก รวดเร็ว ราคาถูก อีกทั้งยังสามารถนำเทคนิคนี้ไปใช้แยกสารที่สนใจที่พบในชีวิตประจำวันได้ เช่น น้ำหมักปากกา สีย้อม รงควัตถุ เป็นต้น แสดงให้เห็นว่าเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษไม่ได้สามารถแยกได้เฉพาะสารเคมี หรือสารอันตรายเท่านั้น แต่สามารถนำมาประยุกต์ใช้แยกสารที่เราสามารถพบได้ในชีวิตประจำวันทั่วไป และเป็นเทคนิคการแยกสารพื้นฐานที่นิสิตควรรู้จัก อย่างไรก็ตามการทดลองเหล่านี้ใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ซึ่งมีตัวทำละลายอินทรีย์เป็นองค์ประกอบในปริมาณมากทำให้เกิดของเสียเป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมด้วย ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงสนใจพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ โดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ในปริมาณน้อยสำหรับการแยกรงควัตถุในใบผักคะน้า เพื่อลดปริมาณของเสียและลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับมนุษย์และสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการทดลองอีกด้วย

## 2.2 เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ

โครมาโทกราฟีแบบเยื่อบางเป็นเทคนิคทางโครมาโทกราฟีแบบแผ่นเรียบชนิดหนึ่ง กลไกการแยกสารเป็นการดูดซับ (Adsorption) โดยขึ้นอยู่กับความสามารถในการกระจายตัวของสารในวัฏภาคหนึ่งและวัฏภาคเคลื่อนที่ซึ่งเป็นตัวทำละลายบริสุทธิ์ หรือตัวทำละลายผสมที่เป็นเนื้อเดียวกัน วัฏภาคหนึ่งเป็นของแข็งดูดซับ (Sorbent) เคลือบเป็นแผ่นบาง ๆ บนแผ่นกระจก แผ่นพลาสติก หรือแผ่นอะลูมิเนียม เป็นต้น สารที่นำมาใช้เป็นของแข็งดูดซับมีหลายชนิด เช่น ซิลิกาเจล อะลูมินา ซีโลไลท์ ผงเซลลูโลส เป็นต้น (ธวัชชัย ศรีวิบูลย์, 2551: 157-158) โดยทั่วไปการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง มักนิยมทำเป็นมิติเดียว (One dimension) นั่นคือใช้วัฏภาคหนึ่งและวัฏภาคเคลื่อนที่เพียงชนิดเดียวเท่านั้น เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์สารผสมที่มีค่า  $R_f$  ใกล้เคียงกันมาก หรือมีค่าเท่ากัน อาจทำให้พิสูจน์ได้ยากว่าสารผสมนั้นมีองค์ประกอบใดบ้าง ดังนั้นวิธีที่สามารถทำให้การแยกและการพิสูจน์ทำได้ดีขึ้น มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น คือ การทำแบบ 2 มิติ (Two dimension) ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้วัฏภาคหนึ่งเพียงชนิดเดียวแต่ใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ 2 ชนิด โดยหลังจากที่ผ่านการแยกโดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 1 แล้ว ต้องทำให้วัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 1 ระเหยไปจนแผ่นเยื่อบางแห้งก่อน จึงทำการแยกโดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 2 โดยทิศทางการเคลื่อนที่ของวัฏภาคเคลื่อนที่

ชนิดที่ 2 จะต้องตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 1 (ธวัชชัย ศรีวิบูลย์. 2551: 145-147)

จากการค้นคว้างานวิจัยต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ มีดังนี้

คริสป์ และวิลเลียมสัน (Crisp; & Williamson. 1999: 1691-1692) ได้วิจัยเรื่อง การแยกสารพอลิอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: PAHs) โดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ (2D-TLC) เป็นการทดลองที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นสำหรับการเรียนการสอนในระดับปริญญาตรีปี 2 มหาวิทยาลัยแอตแลนติก ที่ลงทะเลเบียนเรียนในรายวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม จำนวน 30 คน การทดลองนี้ใช้เวลา 3 ชั่วโมง นิสิตในแต่ละกลุ่มจะได้ตัวอย่างดินที่มี PAHs 2 ชนิด นำไปสกัดด้วยเทคนิคซอกซ์เลต (Soxhlet extraction) และแยกสารด้วยเทคนิค 2D-TLC เทียบกับสารมาตรฐาน PAHs แผ่น TLC ที่ใช้ทำมาจากอะลูมินัมออกไซด์ผสมกับเซลลูโลสที่เติมหมู่อะซิติก ขนาด 10 × 10 ตารางเซนติเมตร วัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 1 คือ เฮกเซนผสมกับคลอโรฟอร์ม ในอัตราส่วน 98:2 โดยปริมาตร วัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 2 คือ เมทานอลผสมกับอีเทอร์และน้ำกลั่น ในอัตราส่วน 4:4:1 โดยปริมาตร เมื่อทำการแยกทั้ง 2 มิติเสร็จแล้ว จึงนำแผ่น TLC ไปส่องแสงอัลตราไวโอเล็ตความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร พบว่านิสิตที่ได้ทำการทดลองที่พัฒนาขึ้นมีความรู้สึกในทางบวกต่อการทดลองและรู้สึกภูมิใจที่สามารถปฏิบัติการวิเคราะห์ที่เหมือนจริงได้

คลาร์ก (Clark. 2007: 1186-1187) ได้วิจัยเรื่อง การวิเคราะห์และระบุชนิดของสีย้อมที่เป็นอินดิเคเตอร์กรด-เบส (Acid-base indicator dyes) โดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง ผู้วิจัยได้พัฒนาแล้วนำไปทดลองใช้กับนิสิตมหาวิทยาลัยคริสโตเฟอร์นิวพอร์ต ที่ลงทะเลเบียนเรียนในรายวิชา ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ (Chem 322L) นิสิตได้รับสารตัวอย่างซึ่งเป็นสารผสมของสีย้อมที่เป็นอินดิเคเตอร์กรด-เบส และทำการแยกโดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง โดยมีวัฏภาคหนึ่งเป็นซิลิกาเจล วัฏภาคเคลื่อนที่หนึ่งเป็นสารละลาย 1-โพรพานอล ผสมกับสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นร้อยละ 28 ในอัตราส่วน 6:1 โดยปริมาตร จากนั้นสังเกตสีและหาค่า  $R_f$  แล้วนำแผ่น TLC ไปชะด้วยสารละลายเบส (pH  $\cong$  9-10) และสารละลายกรด (pH < 1) สังเกตสีพร้อมทั้งเปรียบเทียบกับสีย้อมมาตรฐาน การทดลองนี้ทำให้นิสิตมีการตัดสินใจด้วยหลักเหตุและผล ใช้วิธีทางวิทยาศาสตร์ ตั้งแต่การได้รับข้อมูล นำข้อมูลมาวิเคราะห์ เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดลองกับข้อมูลที่ให้มา และระบุผลว่าสารตัวอย่างคืออะไร

วาล์เวอร์เด ดิส และวิกโนลล์ (Valverde; This; & Vignolle. 2007: 1505-1507) ได้วิจัยเรื่อง การหาปริมาณรงควัตถุสังเคราะห์แสงในถั่วแขก (Green beans) ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบางและใช้เครื่องวัดความเข้ม (Densitometer) สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณ โดยทำการสกัดรงควัตถุ

วัตถุจากถั่วแขก นำสารสกัดที่ได้ไปแยกด้วยเทคนิค TLC โดยใช้วัฏภาคหนึ่งคือ ซิลิกาเจล และวัฏภาคเคลื่อนที่เป็นไซโคลเฮกเซนผสมกับอะซีโตนและไดเอทิลลามีน ในอัตราส่วน 10 : 4 : 1 โดยปริมาตร จากโครมาโทแกรม พบว่าสามารถแยกรงควัตถุได้ 8 ชนิด คือ neoxantin, violaxanthin, 5,6-epoxy lutein, lutein, chlorophyll b, chlorophyll a, pheophytin a,  $\alpha$  และ  $\beta$  carotenes และ origin แต่ไม่สามารถแยกได้อย่างสมบูรณ์ พบปริมาณ pheophytin a มากที่สุด ผู้วิจัยจึงได้ทำการแยกรงควัตถุด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ โดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 1 และ 2 เหมือนกันคือ ไซโคลเฮกเซนผสมกับอะซีโตนและไดเอทิลลามีน ในอัตราส่วน 10 : 4 : 1 โดยปริมาตร จากโครมาโทแกรม พบว่าสามารถแยกรงควัตถุแต่ละชนิดได้ดีแม้จะเกิดการสลายตัวเพียงเล็กน้อย โดยพบรงควัตถุ 7 ชนิด คือ 5,6-epoxy lutein, lutein, chlorophyll b, chlorophyll a, pheophytin a,  $\alpha, \beta$  carotenes และ พบ pheophytin b ซึ่งไม่สามารถแยกได้ถ้าใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 1 มิติ การทดลองดังกล่าว นักเรียนใช้เวลาในการสกัด แยกรงควัตถุ และหาปริมาณรงควัตถุ ประมาณ 50 นาที เป็นการทดลองที่สะดวก รวดเร็ว และประหยัด สามารถนำวิธีการทดลองไปใช้ในการแยกรงควัตถุหรือสีอื่นได้

การแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบางเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ที่ราคาไม่แพง นิยมใช้ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ ตรวจการดำเนินไปของปฏิกิริยา ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารระหว่างกระบวนการแยกสารในขั้นตอนต่างๆ ใช้ยืนยันชนิดของสาร และสามารถตรวจหาจำนวนองค์ประกอบในของผสมได้ (รัชณี ตันตะพานิชกุล. 2550: 49) จึงได้มีการพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในการประกอบการเรียนการสอน เช่น การแยกของผสมของเบนซิลและเบนโซอินด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟี และการทำเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบางเพื่อตรวจสอบองค์ประกอบของยาแก้ปวด (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2555: ออนไลน์) การพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารเพรดนิโซโลนและเดกซาเมทาโซนในยาแผนโบราณ (นินนาท์ ไซติบริบูรณ์. 2545: 94-99) การวิเคราะห์ชนิดของสารตัวอย่างโดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง (มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2555: 77-87) เป็นต้น

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ ผู้วิจัยพบว่า เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ เป็นเทคนิคการแยกสารที่สะดวก ใช้เวลาในการทดลองน้อย สามารถแยกสารได้หลายชนิด เช่น รงควัตถุ สีผสมสารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ เป็นต้น อย่างไรก็ตามในประเทศไทย บทปฏิบัติการที่ใช้ในการเรียนการสอนล้วนเป็นบทปฏิบัติการที่ใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 1 มิติ เท่านั้น ยังไม่มีบทปฏิบัติการใดนำเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ มาใช้ในการเรียนการสอนระดับปริญญาตรี ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงสนใจพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่องเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ สำหรับแยกวัตถุกันเสียที่นิยมใช้ในอาหารและเครื่องสำอาง ได้แก่ กรดซาลิไซลิก กรดเบนโซอิก กรด



พาราไฮดรอกซีเบนโซอิก และเบนโซฟีโนน เพื่อให้มีคุณสมบัติความเข้าใจมากยิ่งขึ้นในการนำเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ มาประยุกต์ใช้ในการแยกสารผสมในกรณีที่มีค่า  $R_f$  ใกล้เคียงกันได้

### 2.3 เทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

อิเล็กโทรโฟรีซิสเป็นเทคนิคการแยกสาร โดยอาศัยความแตกต่างของความเร็วในการเคลื่อนที่ภายใต้สนามไฟฟ้า สารที่มีประจุแต่ละชนิดเคลื่อนที่ได้เร็วหรือช้าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความสามารถเฉพาะตัวในการเคลื่อนที่ภายใต้สนามไฟฟ้า (Electrophoretic mobility) และปริมาณพลังงานไฟฟ้า นอกจากนี้ความเร็วในการเคลื่อนที่ก็ยังขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่างโมเลกุล ความสามารถในการแตกตัวของสาร ความหนืด อุณหภูมิ และค่าไดอิเล็กทริกของบัฟเฟอร์ที่ใช้ (ลีลมา สุนทรสุข. 2550: 13)

เทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิสมีหลายชนิด เช่น อิเล็กโทรโฟรีซิสแบบกระดาษ (Paper electrophoresis) อิเล็กโทรโฟรีซิสแบบเซลลูโลสอะซีเตต (Cellulose acetate electrophoresis) อิเล็กโทรโฟรีซิสแบบเจลแป้ง (Starch gel electrophoresis) แคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส (Capillary electrophoresis) เป็นต้น (อาภัสสรฯ สมิตต์. 2537: 2-5) และจากความก้าวหน้าทางด้านนาโนเทคโนโลยีประเภทต่าง ๆ เช่น เทคโนโลยีชีวภาพนาโน (Nanobiotechnology) อิเล็กทรอนิกส์นาโน (Nanoelectronics) นาโนไบโอเซ็นเซอร์ (Nanobiosensor) เป็นต้น จึงมีการพัฒนาเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิสในรูปแบบระบบของไหลจุลภาค (Microfluidic system) หรือห้องปฏิบัติการบนชิพ (Lab on a chip) ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการวิเคราะห์ในระดับไมโคร (Micro total analysis system) ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้สารตัวอย่างในปริมาณน้อยและวิเคราะห์ได้รวดเร็ว

จากการค้นคว้างานวิจัยต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง เทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีดังนี้

เชีย สวีเนีย และโอดอม (Chia; Sweeney; & Odom. 2011: 461-464) ได้วิจัยเรื่อง เคมีในระบบของไหลจุลภาค โดยผู้วิจัยสร้างระบบของไหลจุลภาคด้วยเทคนิค Soft lithography แล้วผู้วิจัยได้นำระบบของไหลจุลภาคที่สร้างขึ้นไปสาธิตการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) โดยนำไปใช้ในการทดลองวิชาเคมีทั่วไป 3 การทดลอง ดังนี้ การทดลองที่ 1 เป็นการสังเกตการไหลแบบราบเรียบที่ผิวหน้าของสีย้อมสีแดงกับสีน้ำเงินพบว่า สีย้อมทั้งสองชนิดมีการไหลแบบราบเรียบโดยไม่มีการผสมกัน การทดลองที่ 2 เป็นการศึกษาปฏิกิริยากรด-เบส พบว่าบริเวณตรงกลางของท่อขนาดเล็กจะมีสีชมพูเกิดขึ้น เนื่องจากเกิดการผสมกันของกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.05 โมลาร์ กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.10 โมลาร์ สารละลายฟีนอล์ฟทาลีนจึงเปลี่ยนสี แสดงให้เห็นว่าเป็นการไหลแบบราบเรียบ และการทดลองที่ 3 เป็นการศึกษาปฏิกิริยาการตกตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนตโดยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 25 มิลลิโมลาร์ จะทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ พบว่ามีตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนตเกิดขึ้นในท่อขนาดเล็ก

ไม่ใช่แค่บริเวณผิวหนังของของเหลวเท่านั้น เพราะเมื่อสารผสมกันจะเกิดการกระจายข้ามผิวหนังอย่างช้า ๆ เกิดเป็นตะกอน ถ้าอัตราการไหลลดลงจะยิ่งทำให้เกิดการกระจายเกิดตะกอนมากยิ่งขึ้น จากการศึกษาทดลองที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการทดลองที่นิสิตสามารถเห็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในระบบของไหลได้ เป็นการทดลองที่ไม่ซับซ้อน ราคาไม่แพง ซึ่งนิสิตสามารถสร้างระบบของไหลจุลภาคด้วยตนเองได้

ธีรสงค์ และแมคเคลน (Teerasong; & McClain. 2011: 465-467) ได้วิจัยเรื่อง การสร้างอุปกรณ์ระบบของไหลจุลภาคสำหรับการแยกสีย้อมด้วยเทคนิคอิเล็กโทรโฟเรซิส เพื่อนำไปใช้ในบทปฏิบัติการระดับปริญญาตรี จากการทดลอง พบว่าเมื่อนำอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาทำการแยกสารละลายผสมระหว่างสีย้อมสีแดงกับสีน้ำเงิน โดยใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 7.4 สีย้อมสีแดงเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าบวกได้เร็วกว่าสีย้อมสีน้ำเงิน เนื่องจากประจุของสีย้อมทั้งสองชนิดมีค่าเท่ากันคือ -2 แต่สีย้อมสีแดงมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าจึงมีมวลโมเลกุลน้อยกว่า ทำให้มีความสามารถเฉพาะตัวในการเคลื่อนที่ภายใต้สนามไฟฟ้าดีกว่าสีย้อมสีน้ำเงิน ผู้วิจัยกล่าวว่าการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการทดลองที่เหมาะสมในการแนะนำให้นิสิตปริญญาตรีได้รู้จักกับระบบของไหลจุลภาค และยังเปิดโอกาสให้นิสิตได้ลงมือสร้างอุปกรณ์ด้วยตนเอง

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง เทคนิคอิเล็กโทรโฟเรซิส ผู้วิจัยพบว่าเทคนิคอิเล็กโทรโฟเรซิสเป็นเทคนิคการแยกสารที่ใช้ปริมาณสารน้อย การแยกใช้เวลารวดเร็ว วิธีการสร้างระบบของไหลจุลภาคทำได้ง่าย ประกอบกับการศึกษาคำอธิบายในรายวิชา ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2 รหัสวิชา คม 390 พบว่า ในบทปฏิบัติการยังไม่มีทดลองเกี่ยวกับเทคนิคอิเล็กโทรโฟเรซิส ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคอิเล็กโทรโฟเรซิส ที่สามารถทำการทดลองได้ภายใน 3 ชั่วโมง เพื่อให้นิสิตมีความเข้าใจในหลักการแยกสารพื้นฐานของเทคนิคอิเล็กโทรโฟเรซิสมากขึ้น

### 3. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

#### 3.1 ความหมายของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

อรอุมา ละมุล (2541: 14) ได้ให้ความหมายไว้ว่า บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์หมายถึง กิจกรรมการทดลองที่เกี่ยวข้องกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ที่จัดเพื่อให้ผู้เรียนได้ฝึกทักษะกระบวนการอันเป็นหัวใจของวิทยาศาสตร์ ผู้เรียนจะได้มีโอกาสปฏิบัติการร่วมกันในขณะที่ทำการทดลอง มีโอกาสที่จะได้สัมผัสและรู้จักวิธีใช้อุปกรณ์ของวิทยาศาสตร์ โดยมีผู้สอนเป็นผู้ให้คำแนะนำ

ภพ เลหาไพบูลย์ (2542: 167-168) ได้ให้ความหมายไว้ว่า การสอนแบบทดลอง (Experimental method) หมายถึง การสอนเพื่อจัดประสบการณ์ในการทดลอง และการปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ให้กับผู้เรียน เกิดประสบการณ์ในการทำงานตามขั้นตอนของกระบวนการวิทยาศาสตร์

เพื่อให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในเนื้อหาวิชาวิทยาศาสตร์ที่เป็นข้อเท็จจริง กฎ หลักการ หรือทฤษฎีได้ถูกต้อง เป็นการทดลองเพื่อทดสอบสิ่งที่ทราบคำตอบ เป็นการปฏิบัติการเพื่อเสาะแสวงหาความรู้ใหม่ เน้นการหาแนวทางในการแก้ปัญหา หรือค้นหาคำตอบได้ด้วยตนเอง

พรทิพย์ วงษ์นาป่า (2548: 48) ได้ให้ความหมายไว้ว่า บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ หมายถึง กิจกรรมหรือการทดลองที่สร้างขึ้นเพื่อมุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้สร้างองค์ความรู้จากการได้ทดลองด้วยตนเองโดยมีผู้สอนเป็นเพียงผู้ให้คำแนะนำ พร้อมทั้งมุ่งให้ผู้เรียนเกิดความสามารถด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ความสามารถในการทดลอง การนำความรู้และความสามารถที่เกิดขึ้นไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมหรือท้องถิ่นของตนได้

วารีย์ บุญลือ (2550: 13) ได้ให้ความหมายไว้ว่า บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์หมายถึง การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ผู้เรียนได้ปฏิบัติจริง เน้นทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และเน้นทักษะปฏิบัติของผู้เรียน เช่น ทักษะการใช้เครื่องมือ ทักษะการสังเกตทดลองด้วยตนเองอย่างชำนาญ คล่องแคล่วและปลอดภัย การจัดทำรายงานการทดลองโดยผู้สอนมีบทบาทเป็นที่ปรึกษาเท่านั้น

สกล ชุขันธิน (2553: 40) ได้ให้ความหมายไว้ว่า บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์หมายถึง กิจกรรมหรือชุดปฏิบัติการทดลองที่เกี่ยวข้องกับความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนมีความเข้าใจเนื้อหาวิทยาศาสตร์ โดยการลงมือปฏิบัติดำเนินการทดลองด้วยตนเอง เป็นการพิสูจน์หรือหาคำตอบที่ผู้เรียนตั้งสมมติฐาน แล้ววางแผนการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐาน ช่วยให้ผู้เรียนมีความเข้าใจเนื้อหาวิทยาศาสตร์ภายใต้คำแนะนำช่วยเหลืออย่างใกล้ชิดของผู้สอน

จากความหมายที่กล่าวไว้ข้างต้น ผู้วิจัยสรุปได้ว่า บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์หมายถึง การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีการปฏิบัติการทดลอง ซึ่งผู้เรียนจะได้รับประสบการณ์ตรงในการลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง โดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อพิสูจน์ข้อเท็จจริงตามหลักทฤษฎี

### 3.2 จุดมุ่งหมายในการเรียนการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

นักการศึกษาได้กล่าวถึงจุดมุ่งหมายในการเรียนการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ดังนี้ แอนเดอร์สัน (Anderson, 1976: 60-79) ได้กำหนดจุดมุ่งหมายของการเรียนการสอนโดยใช้ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ดังนี้

1. เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความรู้และความเข้าใจในกิจกรรมของมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์
2. เพื่อปลูกฝังทักษะการสืบสวนสอบสวน ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนสามารถนำทักษะไปใช้แก้ปัญหาอื่น ๆ ได้
3. เพื่อช่วยให้ผู้เรียนเกิดความซาบซึ้งและเลียนแบบบทบาทของนักวิทยาศาสตร์

4. เพื่อช่วยให้ผู้เรียนมีพัฒนาการทั้งทางด้านความรู้สึกรับรู้ซึ่งต่อความมีระเบียบของ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และทางด้านความเข้าใจในธรรมชาติของทฤษฎีและแบบจำลองทาง วิทยาศาสตร์

ฮอฟสเตนและลูเนตตา (Hofstien; & Lunetta. 1982: 203) ได้กำหนดจุดมุ่งหมายของ การเรียนการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ดังนี้

1. เพื่อปลูกฝังให้เกิดความสนใจ เจตคติ ความพึงพอใจ ความมีใจกว้าง และความ อยากรู้อยากเห็นในวิชาวิทยาศาสตร์
2. เพื่อพัฒนาความคิดริเริ่มสร้างสรรค์และความสามารถในการแก้ปัญหา
3. เพื่อส่งเสริมความคิดแบบวิทยาศาสตร์ และวิธีการทางวิทยาศาสตร์
4. เพื่อพัฒนาความเข้าใจเกี่ยวกับมโนทัศน์ และความสามารถทางสติปัญญา
5. เพื่อพัฒนาความสามารถทางการปฏิบัติ

จากจุดมุ่งหมายที่กล่าวไว้ข้างต้น ผู้วิจัยสรุปได้ว่า การเรียนการสอนบทปฏิบัติการ วิทยาศาสตร์มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในวิทยาศาสตร์มากยิ่งขึ้น พัฒนาความคิดริเริ่ม สร้างสรรค์ พัฒนาทักษะการปฏิบัติ และพัฒนาความสามารถในการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีทาง วิทยาศาสตร์ ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความคิดแบบวิทยาศาสตร์

### 3.3 การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

สัวด์มภ์ นิยมคำ (2517: 142-144) ได้กล่าวไว้ว่า การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนบท ปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ โดยทั่วไปจัดได้เป็น 2 แบบ คือ

1. การทดลองแบบสำเร็จรูป (Structured laboratory) การทดลองแบบนี้ผู้สอนเป็นผู้ กำหนดปัญหา บอกวิธีการแก้ปัญหาไว้เสร็จ ผู้เรียนเพียงแต่ทำตามคำชี้แจงในคู่มือการทดลอง
2. การทดลองแบบไม่กำหนดทิศทาง (Unstructured laboratory) การทดลองแบบนี้ ผู้เรียนเป็นผู้ค้นหาคำตอบโดยผู้สอนกำหนดปัญหาให้ เมื่อได้แนวทางแล้วจึงแยกย้ายกันทำการทดลอง แล้วนำผลที่ได้มาอภิปรายหน้าชั้นอีกครั้งหนึ่ง การทดลองแบบนี้เป็นการส่งเสริมสมรรถภาพทางด้าน ความคิดควรให้ผู้เรียนวางแผนการทดลองก่อนแล้วจึงลงมือทดลองตามแผนที่กำหนดไว้

การจัดการเรียนการสอนทั้ง 2 แบบที่กล่าวมามีความแตกต่างกันคือ การทดลองแบบ สำเร็จรูปผู้เรียนจะได้รับคำแนะนำหรือบอกให้ทราบถึงวิธีปฏิบัติการทดลอง การเก็บรวบรวมข้อมูลและ การจัดการกระทำข้อมูล ส่วนการทดลองแบบไม่กำหนดทิศทางผู้เรียนจะได้รับคำแนะนำเพียงเล็กน้อยหรือ อาจไม่ได้รับคำแนะนำเลย ผู้เรียนจะมีอิสระที่จะศึกษาปัญหาที่กำหนดให้ หรือปัญหาที่ผู้เรียนมีความ สนใจตามแนวทางของตนเอง

ภพ เลหาห์ไพบูลย์ (2542: 169-170) ได้แบ่งการเรียนการสอนแบบทดลองไว้ 3 แบบ คือ

1. การทดลองที่มีการควบคุม (Controlled experiments) เป็นการทดลองที่ควบคุมตัวแปรที่เกี่ยวข้อง โดยควบคุมตัวแปรอื่น เหลือไว้เพียง 2 ตัวแปร คือตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม แล้วทดลองว่าเมื่อตัวแปรอิสระเปลี่ยนไป จะมีผลกระทบต่อตัวแปรตามอย่างไร

2. การทดลองที่เป็นการฝึกหัด (Laboratory exercises) เป็นการฝึกหัดใช้เครื่องมือภายในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เพื่อให้ผู้เรียนได้คุ้นเคยและมีทักษะในการใช้เครื่องมือ บางกิจกรรมออกแบบเพื่อให้เข้าใจหลักการวิทยาศาสตร์บางอย่าง โดยผู้สอนจะเป็นผู้เตรียมวัสดุอุปกรณ์และให้คำแนะนำในการทดลองเพื่อให้ได้ผลลัพธ์

3. การทดลองที่เป็นงานปฏิบัติการ (Laboratory work) เป็นการทดลองในทางวิทยาศาสตร์อย่างแท้จริง ผู้เรียนเป็นผู้เริ่มและทำการทดลองโดยใช้ความคิดในระดับสูง ผู้เรียนได้ฝึกปฏิบัติในการกำหนดปัญหา หาวิธีการแก้ปัญหา สรุปผลการทดลอง ทำให้ผู้เรียนได้คิดอย่างพินิจพิจารณา

นอกจากนี้ สุนีย์ เหมะประสิทธิ์ (2543: 87-88) ได้กำหนดชนิดของวิธีสอนแบบทดลองโดยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ไว้ 3 ชนิด คือ

1. วิธีสอนแบบทดลองตามบทปฏิบัติการ หรือตามแบบฝึก (Laboratory approach or Cookbook experiment) โดยมุ่งเน้นให้ผู้เรียนปฏิบัติตามใบงานการทดลอง (Lab sheet) ที่ผู้สอนจัดเตรียมไว้ให้เรียบร้อย โดยมุ่งหวังให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความเข้าใจในข้อเท็จจริง และเน้นการตรวจสอบหลักการ กฎ ทฤษฎี

2. วิธีการสอนแบบทดลองโดยมีการชี้แนะ (Guided experiment) มุ่งเน้นให้ผู้เรียนได้คิดออกแบบการทดลองและดำเนินการทดลองด้วยตนเอง โดยมีผู้สอนคอยตั้งคำถามชี้แนะแนวทาง

3. วิธีสอนแบบทดลองที่แท้จริง (Pure experiment) มุ่งเน้นให้ผู้เรียนมีวิธีการคิดทั้งด้านการเลือก กำหนดปัญหา ตั้งสมมติฐาน การออกแบบการทดลอง ปฏิบัติการทดลองและสรุปผลการทดลองได้ด้วยตนเอง

จากการจัดการเรียนการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดการเรียนการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์แบบการทดลองสำเร็จรูป โดยผู้เรียนลงมือทำการทดลองตามคู่มือปฏิบัติการทดลอง ที่มีการตั้งปัญหา หลักการ วิธีการทดลอง วิธีการแก้ปัญหา กำหนดไว้ให้ โดยมีผู้สอนเป็นผู้ชี้แนะแนวทางและให้คำปรึกษา

### 3.4 ขั้นตอนการเรียนการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

รอมมี (Romey. 1968: 125) ได้แบ่งกิจกรรมการสอนแบบทดลองออกเป็น 3 ขั้น ดังนี้

1. ขั้นอภิปรายก่อนการทดลอง (Pre-lab discussion) ในขั้นนี้จะมีการตั้งปัญหาถามผู้เรียนเกี่ยวกับการทดลอง ทำการสาธิตเพื่อสร้างความสนใจและให้ความสัมพันธ์บางอย่าง

2. ขั้นทำการทดลอง (Lab activity) ในขั้นนี้เป็นการลงมือให้ผู้เรียนทำการทดลองตามแนวที่ได้อภิปรายไว้ในขั้นก่อน บทบาทของผู้สอนจะอยู่ในฐานะให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจ อภิปรายร่วมกับผู้เรียน ส่วนผู้มีบทบาทสำคัญ คือ ผู้เรียน

3. ขั้นอภิปรายหลังการทดลอง (Post-lab discussion) หลังจากผู้เรียนได้ทำการทดลองแล้ว ให้ผู้เรียนเสนอผลการทดลองในช่วงนี้ สิ่งที่อยู่ในมือผู้สอนคือ ผลการทดลองที่ถูกต้องจากหนังสือ จากการทดลองที่ใช้เครื่องมืออย่างดีหรือจากผู้สอน ข้อมูลและผลการทดลองชุดนี้มีไว้เพื่อเปรียบเทียบกับของผู้เรียนว่าการทดลองของผู้เรียนเป็นอย่างไร นอกจากนี้ผู้สอนอาจจะให้ความรู้ที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม

ภพ เลาหไพบูลย์ (2542: 168-169) ได้วิเคราะห์ขั้นตอนในการสอนแบบทดลองไว้ 4 ขั้นตอน ซึ่งเป็นวิธีการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าดังนี้ คือ

1. ขั้นกำหนดปัญหา เป็นการระบุปัญหาจากความต้องการเสาะแสวงหาคำตอบ
2. ขั้นตั้งสมมติฐาน เป็นการคาดคะเนคำตอบที่อาจเป็นไปได้
3. ขั้นทดลองและสังเกต เป็นการดำเนินการทดลองและสังเกตผลการทดลอง
4. ขั้นสรุปผลการทดลอง เป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลองและการสังเกตผล

จากขั้นตอนการเรียนการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยสรุปได้ว่าการเรียนการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์จะมีการดำเนิน 3 ขั้นตอน คือ ขั้นอภิปรายก่อนการทดลอง ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนได้กำหนดปัญหาและตั้งสมมติฐาน ขั้นดำเนินการทดลอง และขั้นอภิปรายหลังการทดลอง

### 3.5 ประโยชน์ของการเรียนการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

บุญชม ศรีสะอาด (2541: 69) ได้กล่าวไว้ว่า ประโยชน์ของการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการมีดังนี้

1. ผู้สอนมีอิสระที่จะให้ความช่วยเหลือและสอนแก่ผู้เรียนที่ต้องการความช่วยเหลือ
2. การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สามารถจัดให้กับผู้เรียนเป็นรายบุคคลหรือรายกลุ่มได้
3. ผู้เรียนสามารถศึกษากิจกรรม วิธีปฏิบัติจากสื่อที่สามารถเรียนได้ด้วยตนเอง
4. เป็นเทคนิควิธีที่เป็นรากฐานของการแก้ปัญหา
5. ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้เรียนรู้การสรุปที่ครอบคลุม และนำการสรุปครอบคลุมไปใช้กับสถานการณ์ใหม่ ๆ
6. เป็นวิธีการเรียนรู้ที่ผู้เรียนสืบเสาะหาความรู้ และค้นพบความรู้ด้วยตนเอง

7. ส่งเสริมให้ผู้เรียนเพิ่มพูนความสามารถในการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น มีทักษะในด้านต่าง ๆ มากขึ้น

8. ช่วยพัฒนาเจตคติเชิงวิทยาศาสตร์

ภพ เลหาไพบูลย์ (2542: 170-171) ได้กล่าวสรุปประโยชน์ของการสอนบทปฏิบัติการ วิทยาศาสตร์ ดังนี้

1. ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรง และมีโอกาสได้ฝึกทักษะการทดลอง และใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการแก้ปัญหา

2. ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการสอน และได้เรียนโดยผ่านประสาทสัมผัสหลาย ๆ ด้านโดยตรง

3. เป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ค้นพบหลักการวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง เนื่องจากผู้เรียนเป็นผู้ออกแบบการทดลอง ทำการทดลองโดยได้สืบเสาะหาความรู้ วิเคราะห์หาเหตุผล ทดสอบสมมติฐานสรุปผล และวัดผลการปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง

4. ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างแท้จริงและจดจำได้นาน

5. ทำให้ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์และต่อการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์

จากประโยชน์ของการเรียนการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยสรุปได้ว่า การเรียนการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มีประโยชน์ต่อผู้เรียน เปิดโอกาสให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง ฝึกการปฏิบัติที่เป็นขั้นเป็นตอน พัฒนาความคิดในการด้านการแก้ปัญหา การคิดริเริ่มสร้างสรรค์และพัฒนาการคิดแบบวิทยาศาสตร์ ส่งเสริมให้ผู้เรียนค้นพบองค์ความรู้ใหม่ด้วยตนเอง

### 3.6 ขั้นตอนการสร้างบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

ศิริกานต์ ผาสุข (2543: 201-206) ได้สรุปขั้นตอนการสร้างและการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ดังนี้

1. เมื่อได้ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการแล้ว ผู้วิจัยนำผลการทดลองมาเป็นข้อมูลตั้งต้นในการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ โดยพัฒนาการทดลองให้ครอบคลุมเนื้อหาและตรงตามจุดประสงค์การเรียนรู้

2. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และผลที่ได้จากการทดลองทั้งหมด เพื่อนำมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

3. วิเคราะห์คำอธิบายรายวิชาเพื่อกำหนดจุดมุ่งหมาย เนื้อหา และกิจกรรมของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่จะพัฒนาขึ้น

4. กำหนดวัตถุประสงค์ของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์แต่ละบท

5. สร้างบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ โดยมีองค์ประกอบ ดังนี้

- ชื่อบทปฏิบัติการ
- เอกสารประกอบบทปฏิบัติการ (ใบความรู้)
- หลักการ/ทฤษฎี
- วัตถุประสงค์
- อุปกรณ์/เครื่องมือและสารเคมี
- วิธีการทดลอง
- รายงานผลการทดลอง
- คำถามท้ายการทดลอง

พรทิพย์ วงษ์นาป่า (2548: 103-105) ได้สรุปขั้นตอนการสร้างและการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ดังนี้

1. นำผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มาดำเนินการเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ต่อไป
2. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหลักสูตรการศึกษา บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ประสิทธิภาพการเรียนรู้ในด้านที่ต้องการประเมิน ได้แก่ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ความพึงพอใจ เป็นต้น
3. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาที่ต้องการนำมาใช้เพื่อพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เพื่อใช้ประกอบในการกำหนดเนื้อหา จุดประสงค์ กิจกรรม การวัดและประเมินผลของการสร้างบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
4. กำหนดขอบเขตในการดำเนินการทดลอง และลงมือปฏิบัติการทดลองภายในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ตามขั้นตอนของบทปฏิบัติการ เพื่อนำมาสร้างเป็นบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
5. นำผลการทดลองที่ได้เสนอต่อประธานและกรรมการที่ปรึกษาปริญญาโท และเตรียมสร้างบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
6. สร้างบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์แต่ละบท โดยมีองค์ประกอบ 3 ส่วน คือ
  - ส่วนที่ 1 คือ ชื่อบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และใบความรู้ประกอบบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์
  - ส่วนที่ 2 คือ บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ มีองค์ประกอบคือ แนวคิดหรือหลักการ วัตถุประสงค์การทดลอง เวลาที่ใช้ สมมติฐาน อุปกรณ์และสารเคมี และวิธีการทดลอง
  - ส่วนที่ 3 คือ รายงานผลการทดลอง คำถามท้ายบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ข้อผิดพลาดและข้อเสนอแนะ



จากขั้นตอนการสร้างบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ตามขั้นตอนดังกล่าว โดยในแต่ละบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์มีองค์ประกอบ คือ ชื่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ วัตถุประสงค์ หลักการ เครื่องมือและอุปกรณ์ สารเคมี และสารตัวอย่าง วิธีการทดลอง และแบบบันทึกผลการทดลอง

#### 4. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

##### 4.1 ความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

สำหรับความหมายของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน มีหลายท่านได้ให้ความหมายไว้ดังนี้

พวงรัตน์ ทวีรัตน์ (2529: 29) ได้ให้ความหมายไว้ว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหมายถึง คุณลักษณะรวมถึงความรู้ ความสามารถของบุคคลอันเป็นผลมาจากการเรียนการสอน หรือมวลประสบการณ์ทั้งปวงที่บุคคลได้รับจากการเรียนการสอนทำให้บุคคลเกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในด้านต่าง ๆ ของสมรรถภาพสมอง

ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ (2543: 146) ได้ให้ความหมายไว้ว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหมายถึง ความรู้ ทักษะ และสมรรถภาพสมองด้านต่างๆ ของผู้เรียนที่มีต่อการเรียนแต่ละวิชา ซึ่งวัดได้จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์ (2545: 9) ได้ให้ความหมายไว้ว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหมายถึง ขนาดของความสำเร็จที่ได้จากกระบวนการเรียนการสอน

ศิริชัย กาญจนวาสี (2548: 162) ได้ให้ความหมายไว้ว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหมายถึง ผลการเรียนรู้ตามแผนที่กำหนดไว้ล่วงหน้า อันเกิดจากกระบวนการเรียนการสอนในช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่งผ่านทางแบบสอบผลสัมฤทธิ์ ดังนั้นแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์จึงเป็นแบบสอบที่ใช้วัดผลการเรียนรู้ที่เกิดขึ้น จากกิจกรรมการเรียนการสอนที่ผู้สอนได้จัดขึ้นเพื่อการเรียนรู้นั้น

ขุนทอง คล้ายทอง (2554: 53) ได้ให้ความหมายไว้ว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหมายถึง ความรู้ความสามารถในการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ของบุคคลจนทำให้เกิดผลสำเร็จทั้งด้านตัวความรู้ วิทยาศาสตร์ และกระบวนการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์

จากความหมายที่กล่าวไว้ข้างต้น ผู้วิจัยสรุปได้ว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหมายถึง ความรู้ความสามารถทางการเรียนในด้านการประมวลความรู้ของผู้เรียน ซึ่งเกิดมาจากสมรรถภาพทางสมองของผู้เรียน หรือการจัดกระบวนการเรียนการสอน ซึ่งสามารถวัดได้จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

## 4.2 แนวทางในการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

การวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจะต้องมีการจัดทำอย่างเป็นระบบ และต้องสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ที่ได้กำหนดไว้ โดยใช้ข้อสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ซึ่งบลูมและคณะ (พิชิต ฤทธิ์จรูญ. 2553: 31-36; ไชติกา ภาชีผล. 2554: 42-52) ได้แบ่งการประเมินพฤติกรรมการเรียนรู้ด้านพุทธิพิสัยของผู้เรียน ออกเป็น 6 ระดับ โดยเรียงตามลำดับขั้นตอนการเกิดพฤติกรรมจากขั้นต่ำสุดถึงขั้นสูงสุด คือ ความรู้-ความจำ ความเข้าใจ การนำไปใช้ การวิเคราะห์ การสังเคราะห์ และการประเมินค่า ดังนี้

1. ความรู้-ความจำ (Knowledge) หมายถึง ความสามารถของสมองที่เก็บสะสมเรื่องต่าง ๆ หรือประสบการณ์ที่ได้รับมาไว้ในสมองอย่างถูกต้องแม่นยำ แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

1.1 ความรู้ในเรื่องเฉพาะ เป็นสมรรถภาพทางสมองขั้นต่ำสุด แบ่งเป็น 2 ข้อ คือ

1.1.1 ความรู้เกี่ยวกับศัพท์และนิยาม เป็นความสามารถในการบอกความหมายของคำและสัญลักษณ์ต่าง ๆ

1.1.2 ความรู้เกี่ยวกับกฎและความจริง เป็นความสามารถในการบอกกฎ สูตร ทฤษฎี และข้อเท็จจริงต่าง ๆ

1.2 ความรู้ในวิธีดำเนินการ เป็นความรู้ในเรื่องของวิธีการ และการจัดระเบียบจำแนกเป็น 5 ลักษณะ คือ

1.2.1 ความรู้เกี่ยวกับระเบียบแบบแผน เป็นความสามารถในการบอกรูปแบบการปฏิบัติ และแบบฟอร์มหรือระเบียบที่เหมาะสมในการปฏิบัติซึ่งเป็นที่ยอมรับของคนส่วนใหญ่

1.2.2 ความรู้เกี่ยวกับลำดับขั้นและแนวโน้ม เป็นความสามารถในการบอกขั้นตอนก่อนหลัง และทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสิ่งต่างๆ หรือปรากฏการณ์ต่าง ๆ

1.2.3 ความรู้เกี่ยวกับการจัดประเภท เป็นความสามารถในการจัดจำแนก จัดหมวดหมู่ ความเหมือนและความแตกต่างตามคุณลักษณะ คุณสมบัติ และหน้าที่ของสิ่งต่างๆ หรือปรากฏการณ์ต่าง ๆ

1.2.4 ความรู้เกี่ยวกับเกณฑ์ เป็นความสามารถในการบอกเกณฑ์ หลักการในการตรวจสอบ และวินิจฉัยข้อเท็จจริงต่าง ๆ

1.2.5 ความรู้เกี่ยวกับวิธีการ เป็นความสามารถในการบอกเทคนิค กระบวนการ และวิธีการสืบเสาะหาความรู้ในอันที่จะให้ได้มาของผลลัพธ์ที่ต้องการ

1.3 ความรู้รวบยอดในเรื่อง เป็นความรู้เกี่ยวกับข้อสรุปลักษณะสามัญของสิ่งของต่าง ๆ แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

1.3.1 ความรู้เกี่ยวกับหลักวิชาและการขยายหลักวิชา เป็นความสามารถในการสรุปใจความสำคัญของเรื่องและนำหลักหรือความรู้ที่ได้ไปอภิปรายเรื่องอื่น ๆ ที่คล้ายคลึงกันได้

1.3.2 ความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีและโครงสร้าง เป็นความสามารถในการนำหลักวิชาหลาย ๆ วิชา ซึ่งอยู่ในสกุลเดียวกันมาสัมพันธ์กันจนได้เป็นโครงสร้างของเนื้อความใหม่ในเรื่องเดียวกันได้

2. ความเข้าใจ (Comprehension) หมายถึง ความสามารถในการจับใจความสำคัญของเรื่อง สามารถถ่ายทอดเรื่องราวเดิมออกมาเป็นภาษาของตนเองได้โดยที่ยังมีความหมายเดิม แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

2.1 การแปลความ เป็นความสามารถในการถอดความหมายจากภาษาหนึ่งไปสู่ภาษาหนึ่งได้

2.2 การตีความ เป็นความสามารถในการสรุปความ การแปลความ มองภาพส่วนรวมมาเป็นใจความสั้น ๆ อย่างได้ใจความ

2.3 การขยายความ เป็นความสามารถในการเสริมแต่ง หรือขยายแนวความคิดให้กว้างไปจากข้อมูลเดิมอย่างสมเหตุสมผล ซึ่งต้องอาศัยการแปลความและการตีความประกอบกันจึงจะสามารถขยายความได้

3. การนำไปใช้ (Application) หมายถึง ความสามารถในการนำหลักวิชาไปใช้แก้ปัญหาในสถานการณ์ใหม่ ซึ่งอาจคล้ายคลึงกับสถานการณ์ที่เคยพบมาก่อน

4. การวิเคราะห์ (Analysis) หมายถึง ความสามารถในการแยกแยะพิจารณาดูรายละเอียดของสิ่งต่าง ๆ หรือเรื่องราวต่าง ๆ ออกเป็นส่วนย่อย ๆ ว่าสิ่งนั้น ๆ ประกอบด้วยอะไรบ้าง มีความสำคัญอย่างไร การวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ คือ

4.1 การวิเคราะห์ความสำคัญ เป็นความสามารถในการค้นหาจุดสำคัญหรือหัวใจของเรื่อง ค้นหาสาเหตุ ผลลัพธ์ และจุดมุ่งหมายสำคัญของเรื่องราวต่าง ๆ

4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ เป็นความสามารถในการค้นหาความเกี่ยวข้องที่สัมพันธ์กันของสิ่งต่าง ๆ

4.3 การวิเคราะห์หลักการ หมายถึง เป็นความสามารถในการค้นหาว่า การที่โครงสร้างและระบบของวัตถุ สิ่งของ เรื่องราวต่าง ๆ ที่ร่วมกันอยู่ในสภาพเช่นนั้นได้เพราะยึดหลักการอะไร

5. การสังเคราะห์ (Synthesis) หมายถึง ความสามารถในการผสมผสานเรื่องราวหรือสิ่งต่าง ๆ เข้าด้วยกันเพื่อสร้างเป็นสิ่งใหม่อีกรูปแบบหนึ่ง แบ่งเป็น 3 ลักษณะ คือ

5.1 การสังเคราะห์ข้อความ เป็นความสามารถในการสังเคราะห์ข้อความโดยการเขียน การวิพากษ์วิจารณ์ หาข้อยุติบางประการ

5.2 การสังเคราะห์แผนงาน เป็นความสามารถในการกำหนดแนวทางการทำงาน วางแผน ออกแบบ เขียนโครงการต่าง ๆ ให้สอดคล้องกับข้อมูลและจุดมุ่งหมายที่วางไว้

5.3 การสังเคราะห์ความสัมพันธ์ เป็นความสามารถในการนำเอานามธรรมย่อย ๆ มาจัดระบบข้อเท็จจริง มาผสมผสานเป็นสิ่งใหม่ที่แปลกไปจากเดิม

6. การประเมินค่า (Evaluation) หมายถึง ความสามารถในการพิจารณาตัดสิน หรือ ลงข้อสรุปเกี่ยวกับคุณค่าของเนื้อหา และวิธีการต่าง ๆ โดยอาศัยเกณฑ์และมาตรฐานที่วางไว้ แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

6.1 การประเมินค่าโดยอาศัยเกณฑ์ภายใน เป็นความสามารถในการที่จะตัดสิน เหตุการณ์โดยใช้เนื้อหาสาระในเหตุการณ์นั้นเป็นเกณฑ์ในการตัดสิน

6.2 การประเมินค่าโดยอาศัยเกณฑ์ภายนอก เป็นความสามารถในการตัดสิน เหตุการณ์โดยใช้เกณฑ์ที่ไม่ได้ปรากฏตามเหตุการณ์นั้น ๆ แต่ใช้เกณฑ์ที่กำหนดขึ้นมาใหม่ อาจเป็น เกณฑ์ที่สังคมกำหนดไว้

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมี วิเคราะห์ที่ครอบคลุมพฤติกรรมการเรียนรู้ด้านพุทธิพิสัย 4 ระดับ คือ ความรู้-ความจำ ความเข้าใจ การ นำไปใช้ และการวิเคราะห์ เพื่อศึกษาประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการ เคมีวิเคราะห์

#### 4.3 ความหมายของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ (2543: 20) ได้ให้ความหมายไว้ว่า แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหมายถึง แบบทดสอบที่มุ่งวัดเนื้อหาวิชาเรียนที่ผ่านมาแล้วว่านักเรียนมีความรู้ ความสามารถเพียงใด

ศิริชัย กาญจนวาสี (2548: 162) ได้ให้ความหมายไว้ว่า แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทาง การเรียนหมายถึง แบบทดสอบที่ใช้วัดผลการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการเรียนการสอนที่ผู้สอนได้ จัดขึ้นเพื่อการเรียนรู้นั้น สิ่งที่มุ่งวัดจึงเป็นสิ่งที่ผู้เรียนได้เรียนรู้ภายใต้สถานการณ์ที่กำหนดขึ้น ซึ่ง อาจจะเป็นความรู้หรือทักษะบางอย่าง อันบ่งบอกถึงสถานภาพการเรียนรู้ที่ผ่านมา หรือสภาพการ เรียนรู้ที่บุคคลนั้นได้รับ

วรวัฒน์ ทิพจ้อย (2551: 51) ได้ให้ความหมายไว้ว่า แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง แบบทดสอบที่มุ่งตรวจสอบความรู้ ทักษะและสมรรถภาพด้านต่างๆ ที่เกิดจากการใช้สมอง เป็นกลไกในการเรียนรู้ของนักเรียนที่ผ่านมาในอดีตมีความรู้ความสามารถมากน้อยเพียงใด

พิชิต ฤทธิ์จัญญ (2553: 96) ได้ให้ความหมายไว้ว่า แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหมายถึง แบบทดสอบที่ใช้วัดความรู้ ทักษะ และความสามารถทางวิชาการที่ผู้เรียนได้เรียนรู้มาแล้วว่าบรรลุผลสำเร็จตามจุดประสงค์ที่กำหนดไว้เพียงใด

โชติกา ภาชีผล (2554: 2) ได้ให้ความหมายไว้ว่า แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหมายถึง แบบทดสอบที่มุ่งวัดสมรรถภาพด้านสมอง มุ่งวัดสมรรถนะสูงสุด อันบ่งบอกถึงสภาพการเรียนรู้ที่ได้รับจากการเรียนการสอน

จากความหมายที่กล่าวไว้ข้างต้น ผู้วิจัยสรุปได้ว่า แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหมายถึง แบบทดสอบที่ใช้ในการวัดความรู้ ทักษะ ความสามารถทางการเรียนในด้านการประมวลความรู้ของผู้เรียนที่ได้ผ่านการเรียนการสอนมาแล้ว

#### 4.4 ประเภทของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท (พิชิต ฤทธิ์จัญญ. 2553: 96; โชติกา ภาชีผล. 2554: 2) คือ

1. แบบทดสอบที่ครูสร้างขึ้น (Teacher-made test) หมายถึง แบบทดสอบที่ผู้สอนได้สร้างขึ้นเพื่อวัดผลสัมฤทธิ์เฉพาะกลุ่มผู้เรียนที่สอน ทำให้วัดได้ตรงตามจุดมุ่งหมายที่ผู้สอนต้องการ โชติกา ภาชีผล (2554: 2) ได้กล่าวว่า โดยทั่วไปแบบทดสอบที่ผู้สอนสร้างขึ้นเองจะมี 2 ชนิด คือ แบบทดสอบที่ใช้วัดระหว่างการเรียนการสอน (Formative test) เพื่อตรวจสอบความก้าวหน้าของผู้เรียน และนำผลมาใช้เพื่อปรับปรุงการสอนของผู้สอนและปรับปรุงการเรียนของผู้เรียน อีกชนิด คือ แบบทดสอบที่ใช้วัดหลังสิ้นสุดการเรียนการสอน (Summative test) เพื่อนำผลการวัดไปใช้ในการสรุปหรือตัดสินผลการเรียนของผู้เรียน โดยลักษณะแบบทดสอบสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ (พิชิต ฤทธิ์จัญญ. 2553: 96)

1.1 แบบทดสอบอัตนัย (Subjective or essay test) เป็นแบบทดสอบที่กำหนดคำถามหรือปัญหาให้ แล้วให้ผู้ตอบเขียนโดยแสดงความรู้ ความคิด เจตคติ ได้อย่างเต็มที่

1.2 แบบทดสอบปรนัย หรือแบบให้ตอบสั้นๆ (Objective test or short answer) เป็นแบบทดสอบที่กำหนดให้ผู้สอบเขียนคำตอบสั้นๆ หรือมีคำตอบให้เลือกแบบจำกัดคำตอบ (Restricted response type) ผู้ตอบไม่มีโอกาสแสดงความรู้ ความคิดได้อย่างกว้างขวางเหมือนแบบทดสอบอัตนัย แบบทดสอบชนิดนี้แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1.2.1 แบบทดสอบถูก-ผิด (True-false) เป็นแบบทดสอบที่จำกัดคำตอบให้ผู้ตอบตัดสินใจเลือกตอบเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งจากตัวเลือก 2 ตัว ตัวเลือกอาจอยู่ในรูป ถูกหรือผิด ใช่หรือไม่ใช่ จริงหรือเท็จ เป็นต้น แบบทดสอบนี้สามารถนำไปใช้วัดพฤติกรรมการเรียนรู้ในชั้นไม่ลึกซึ้ง คือ วัดได้ในขั้นความรู้-ความจำ โดยเฉพาะเกี่ยวข้องกับความจริง นิยาม หรือหลักการต่าง ๆ

1.2.2 แบบทดสอบจับคู่ (Matching) เป็นแบบทดสอบแบบเลือกตอบอีกชนิดหนึ่ง ให้ผู้ตอบจับคู่ระหว่างข้อคำถามกับตัวเลือกชุดหนึ่งที่ตรงกัน หรือสัมพันธ์กันตามเกณฑ์อย่างใดอย่างหนึ่ง แบบทดสอบแบบจับคู่จะประกอบด้วยชุดคำถามซึ่งมักจะอยู่ทางซ้ายมือ และชุดคำตอบที่อยู่ทางขวามือ เหมาะสำหรับนำไปใช้วัดพฤติกรรมการเรียนรู้ในชั้นความจำเกี่ยวกับข้อเท็จจริง

1.2.3 แบบทดสอบเติมคำ (Completion type) เป็นแบบทดสอบประเภทให้ตอบสั้น ๆ โดยให้ผู้ตอบหาคำตอบและเติมคำตอบลงในช่องว่างที่กำหนดให้ ลักษณะของแบบทดสอบจะเขียนเป็นประโยคคำถาม หรือประโยคบอกเล่าที่มีข้อความไม่สมบูรณ์โดยเว้นช่องว่างไว้เพื่อให้เติมคำ หรือข้อความให้ถูกต้องสมบูรณ์

1.2.4 แบบทดสอบเลือกตอบ (Multiple choice) เป็นแบบทดสอบที่ให้ผู้ตอบเลือกคำตอบที่ถูกต้อง เหมาะสมที่สุด ดีที่สุด จากตัวเลือกที่กำหนดไว้ให้ รูปแบบคำถามจะมี 3 แบบ คือ คำถามเดี่ยว คำถามเป็นชุดแต่ตัวเลือกคงที่ และคำถามสถานการณ์ ส่วนตัวเลือกมักจะถูกกำหนดให้มี 3-5 ตัวเลือกซึ่งขึ้นอยู่กับความยากง่ายของคำถามและระดับชั้นเรียน

2. แบบทดสอบมาตรฐาน (Standard test) หมายถึง แบบทดสอบที่สร้างขึ้นจากผู้เชี่ยวชาญในแต่ละสาขาวิชาหรือจากผู้สอนวิชานั้น แต่ผ่านการทดลองหาคุณภาพหลายครั้งจนกระทั่งมีคุณภาพดีพอจึงสร้างเกณฑ์ปกติของแบบทดสอบนั้น สามารถใช้เป็นหลักและเปรียบเทียบผลเพื่อประเมินค่าของการเรียนการสอนในเรื่องใดๆ ก็ได้ แบบทดสอบมาตรฐานจะมีคู่มือดำเนินการสอบบอกถึงวิธีการดำเนินการสอบและยังมีมาตรฐานในด้านการแปลผลคะแนนด้วย (ลัวัน สายยศ; และอังคณา สายยศ. 2543: 146)

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ขึ้นเอง โดยเป็นแบบทดสอบปรนัยแบบเลือกตอบ 5 ตัวเลือก ซึ่งวัดพฤติกรรมการเรียนรู้ 4 ระดับ คือ ความรู้-ความจำ ความเข้าใจ การนำไปใช้ และการวิเคราะห์ สำหรับใช้เป็นเครื่องมือวัดผล

#### 4.5 ขั้นตอนการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีขั้นตอนในการดำเนินการ (พิชิต ฤทธิ-จรรยา. 2553: 97-99; โชติกา ภาชีผล. 2554: 31-41) ดังนี้

1. วิเคราะห์หลักสูตรการศึกษา เพื่อวิเคราะห์เนื้อหาและพฤติกรรมที่เป็นจุดมุ่งหมายปลายทางของหลักสูตร ช่วยให้ผู้สอนมีความเข้าใจว่าจะสร้างข้อสอบวัดผู้เรียนเกี่ยวกับเนื้อหาเรื่องอะไร สมรรถภาพทางด้านบ้างใด

2. กำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยต้องสอดคล้องกับเนื้อหาที่เรียนจะทำให้ทราบว่าผู้เรียนจะสามารถแสดงพฤติกรรมอะไรบ้าง ในสถานการณ์ใด และมีเกณฑ์ใดในการยอมรับว่าผู้เรียนบรรลุจุดประสงค์การเรียนรู้ การกำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ต้องแปลงเป็นคุณลักษณะที่ต้องการ

วัดให้เป็นพฤติกรรมที่วัดได้ หรือที่เรียกว่า จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม ต้องกำหนดให้ชัดเจนว่าต้องการ วัดพฤติกรรมการเรียนรู้ชั้นใดใน 6 ชั้น ตามทฤษฎีของบลูมและคณะ

### 3. กำหนดชนิดของข้อสอบและแนวทางการสร้าง มี 2 ขั้นตอน ดังนี้

3.1 ผู้ออกข้อสอบต้องศึกษาหลักสูตรและจุดประสงค์การเรียนรู้ เพื่อพิจารณาตัดสินใจเลือกชนิดข้อสอบให้มีความเหมาะสมสอดคล้องกับเนื้อหา สมรรถภาพ จุดประสงค์การเรียนรู้ที่ต้องการวัดและเหมาะสมกับวัยของผู้เรียน ศึกษาหลักการและวิธีเขียนข้อสอบให้มีความรู้ความเข้าใจ

3.2 สร้างตารางวิเคราะห์ข้อสอบ (Table of specification) มีลักษณะเป็นตาราง 2 ทางที่แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมกับเนื้อหาวิชาที่ต้องการจะวัด โดยระบุเนื้อหาลงในตารางวิเคราะห์หลักสูตรทางแนวนอนด้านซ้าย ส่วนจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมที่ต้องการวัด จะอยู่ในตารางตามแนวตั้ง และวิเคราะห์ว่าในแต่ละเนื้อหามีจุดมุ่งหมายเชิงพฤติกรรมอยู่ในระดับใด

4. การเขียนข้อสอบ โดยผู้ออกข้อสอบต้องกำหนดแบบแผนข้อสอบ และลงมือเขียนข้อสอบตามรายละเอียดที่กำหนดไว้ในตารางวิเคราะห์หลักสูตร โดยให้สอดคล้องกับเนื้อหา และจุดประสงค์การเรียนรู้

5. การตรวจทานข้อสอบ เพื่อตรวจสอบว่าข้อสอบที่เขียนไว้มีความถูกต้องเหมาะสมสอดคล้องกับจุดประสงค์และพฤติกรรมที่ต้องการวัดหรือไม่ มีความสมบูรณ์ครบถ้วนตามรายละเอียดที่กำหนดไว้ในตารางวิเคราะห์หลักสูตรหรือไม่ ผู้ออกข้อสอบต้องพิจารณาบทวนตรวจทานข้อสอบอีกครั้ง หรือให้ผู้อื่นตรวจสอบก่อนที่จะจัดพิมพ์และนำไปใช้ต่อไป

6. เมื่อตรวจทานข้อสอบเสร็จแล้วให้พิมพ์ข้อสอบทั้งหมด จัดทำเป็นแบบทดสอบฉบับทดลอง โดยมีคำชี้แจงหรือคำอธิบายวิธีตอบแบบทดสอบและจัดวางรูปแบบการพิมพ์ให้เหมาะสม

7. นำข้อสอบที่สร้างขึ้น ไปทดลองใช้กับกลุ่มที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับกลุ่มที่ต้องการสอบจริง แล้วนำผลการสอบมาวิเคราะห์และปรับปรุงข้อสอบให้มีคุณภาพ วิธีนี้เป็นวิธีการตรวจสอบคุณภาพของแบบทดสอบก่อนนำไปใช้จริง โดยสภาพการปฏิบัติจริงของการทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมักไม่ค่อยมีการทดลองสอบและวิเคราะห์ข้อสอบ ส่วนใหญ่นำแบบทดสอบไปใช้ทดสอบแล้วจึงวิเคราะห์ข้อสอบเพื่อปรับปรุงข้อสอบและนำไปใช้ในครั้งต่อไป

8. จากผลการวิเคราะห์ข้อสอบ หากพบว่าข้อสอบข้อใดไม่มีคุณภาพหรือมีคุณภาพไม่ดีพอ อาจจะต้องตัดทิ้งหรือปรับปรุงแก้ไขข้อสอบให้มีคุณภาพดีขึ้น แล้วจึงจัดทำเป็นแบบทดสอบฉบับจริงที่จะนำไปทดสอบกับกลุ่มเป้าหมายต่อไป

## 5. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

ภพ เลหาไพบูลย์ (2542: 14) กล่าวว่า วิธีการหนึ่งที่ได้มาซึ่งความรู้ทางวิทยาศาสตร์คือ การค้นคว้าทดลอง นักวิทยาศาสตร์ที่ทำงานตามขั้นตอนของวิธีการทางวิทยาศาสตร์นั้นจะประสบความสำเร็จหรือล้มเหลว ขึ้นอยู่กับความสามารถและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของแต่ละคน ซึ่งเป็นกระบวนการทางปัญญา

### 5.1 ความหมายของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

แอนเดอร์สัน (Anderson. 1976: 4) ได้ให้ความหมายไว้ว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง กระบวนการที่นักวิทยาศาสตร์ใช้ในการแสวงหาความรู้ที่สำคัญ คือ กระบวนการนี้จะเกิดสลับซับซ้อนในแต่ละบุคคล ทำให้เกิดพัฒนาการทางด้านสติปัญญา

พจน ะเพียรชัย (2517: 49) ได้ให้ความหมายไว้ว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง พฤติกรรมของคนที่แสดงออกถึงความสามารถในการสังเกต การวัด การบันทึกข้อมูลและสื่อความหมายการจัดกระทำกับข้อมูล การแปลความหมายข้อมูล การสรุป การสร้างสมมติฐานและการออกแบบดำเนินการทดลองการคำนวณและทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างมิติ

ภพ เลหาไพบูลย์ (2542: 14) ได้ให้ความหมายไว้ว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง พฤติกรรมที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติและฝึกฝนความคิดอย่างมีระบบในขณะที่ทำการทดลอง เช่น ฝึกการสังเกต การบันทึกข้อมูล การตั้งสมมติฐานและการทำการทดลอง เป็นต้น

พิมพันธ์ เดชะคุปต์ (2545: 9) ได้ให้ความหมายไว้ว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง ความชำนาญและความสามารถในการใช้การคิดเพื่อค้นหาความรู้รวมทั้งการแก้ปัญหา

จากความหมายที่กล่าวไว้ข้างต้น ผู้วิจัยสรุปได้ว่า ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง พฤติกรรมความสามารถในด้านการคิด การปฏิบัติแบบวิทยาศาสตร์ เพื่อใช้ในการแสวงหาความรู้ หรือแก้ปัญหามีระบบแบบแผน

### 5.2 ประเภทของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

นักการศึกษาวิทยาศาสตร์ของสมาคมอเมริกันเพื่อความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ (The American association for the advancement of science : AAAS) ได้จำแนกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไว้ 13 ทักษะ โดยแบ่งเป็น 2 ประเภท (ภพ เลหาไพบูลย์. 2542: 14-29; พิมพันธ์ เดชะคุปต์. 2545: 9-13) ดังนี้

1. ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐาน (Basic science process skill) มี 8 ทักษะ ดังนี้

1.1 ทักษะการสังเกต (Observation) หมายถึง ความสามารถในการใช้ประสาทสัมผัสอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างรวมกัน ได้แก่ ตา หู จมูก ลิ้น และกายสัมผัส เข้าไปสัมผัส



โดยตรงกับวัตถุ หรือปรากฏการณ์ต่าง ๆ เพื่อค้นหาข้อมูลที่เป็นรายละเอียดของสิ่งนั้นๆ โดยไม่ใช้ประสบการณ์และความคิดเห็นของผู้สังเกตลงไปใน การเสนอข้อมูล ข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะและสมบัติของสิ่งที่สังเกต ซึ่งไม่สามารถระบุออกมาเป็นตัวเลขแสดงปริมาณพร้อมหน่วยวัดมาตรฐานได้ ข้อมูลที่บอกรายละเอียดเกี่ยวกับปริมาณโดยการคาดประมาณและบอกหน่วยมาตรฐานได้ หรือเป็นข้อมูลที่ได้จากการสังเกตการปฏิสัมพันธ์ของสิ่งนั้นกับสิ่งอื่น จะช่วยให้สังเกตครอบคลุมข้อมูลได้มากยิ่งขึ้น

1.2 ทักษะการวัด (Measurement) หมายถึง ความสามารถในการใช้เครื่องมือวัดหาปริมาณของสิ่งต่าง ๆ ออกเป็นตัวเลขที่แน่นอนได้อย่างเหมาะสมถูกต้อง โดยมีหน่วยกำกับเสมอ รวมถึงความสามารถในการเลือกใช้เครื่องมือได้เหมาะสมกับสิ่งที่ต้องการวัด

1.3 ทักษะการคำนวณ (Using numbers) หมายถึง ความสามารถในการบวก ลบ คูณ หารหรือจัดกระทำกับตัวเลขที่แสดงค่าปริมาณของสิ่งใดสิ่งหนึ่ง ซึ่งได้จากการสังเกต การวัด การทดลองโดยตรง หรือจากแหล่งอื่น ทั้งนี้ตัวเลขที่นำมาคำนวณจะต้องแสดงค่าปริมาณในหน่วยเดียวกันกับตัวเลขใหม่ที่ได้จากการคำนวณ จะช่วยสื่อความหมายได้ตรงตามที่ต้องการและชัดเจนยิ่งขึ้น

1.4 ทักษะการจำแนกประเภท (Classification) หมายถึง ความสามารถในการจัดจำแนกหรือเรียงลำดับวัตถุ หรือสิ่งที่อยู่ในปรากฏการณ์ต่าง ๆ ออกเป็นหมวดหมู่ โดยมีเกณฑ์ในการจัดจำแนก เกณฑ์ดังกล่าวอาจใช้ความเหมือน ความแตกต่างกัน หรือความสัมพันธ์อย่างใดอย่างหนึ่ง โดยจัดสิ่งที่มีสมบัติบางประการร่วมกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน การจัดจำแนกประเภทอาจทำได้หลายแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้จำแนกอาจใช้เกณฑ์ที่กำหนดมาให้ หรือใช้เกณฑ์ที่กำหนดขึ้นเอง และขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการจัดจำแนกเป็นหลัก

1.5 ทักษะการหาความสัมพันธ์ระหว่างสเปสกับสเปสและสเปสกับเวลา (Space/space relationship and space/time relationship) หมายถึง ความสามารถในการระบุความสัมพันธ์ระหว่าง 2 มิติ กับ 3 มิติ สิ่งที่อยู่หน้ากระจกเงากับภาพที่ปรากฏในกระจกเงาจะเป็นซ้ายขวาของกันและกันอย่างไร ตำแหน่งที่อยู่ของวัตถุหนึ่งกับอีกวัตถุหนึ่ง การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่อยู่ของวัตถุกับเวลา หรือสเปสของวัตถุที่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลา เช่น ความสามารถในการวาดรูป 3 มิติของวัตถุจริงทั่วไปได้ บอกจำนวนเส้นสมมาตรของรูป 2 มิติและระนาบสมมาตรของรูป 3 มิติได้ บอกความสัมพันธ์ระหว่างรูป 2 มิติและรูป 3 มิติได้ เป็นต้น

1.6 ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล (Organizing data and communication) หมายถึง ความสามารถในการนำข้อมูลที่ได้จากการสังเกต การวัด การทดลอง และจากแหล่งอื่นที่มีข้อมูลอยู่แล้วมาจัดกระทำใหม่โดยอาศัยวิธีต่าง ๆ เช่น การจัดเรียงลำดับ การจัดแยก

ประเภท การคำนวณหาค่าใหม่ เป็นต้น เพื่อให้ผู้อื่นเข้าใจความหมายของข้อมูลมากขึ้น อาจนำเสนอในรูปของการเขียนบรรยาย สัญลักษณ์ สมการ แผนภาพ แผนภูมิ แผนที่ รูปภาพ ตาราง กราฟ เป็นต้น

1.7 ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล (Inferring) หมายถึง ความสามารถในการอธิบายข้อมูลที่มีอยู่อย่างมีเหตุผลโดยอาศัยความรู้หรือประสบการณ์เดิมมาช่วย ข้อมูลที่มีอาจได้จากการสังเกต การวัด หรือการทดลอง คำอธิบายนั้นเป็นสิ่งที่ได้จากความรู้ หรือประสบการณ์เดิมของผู้สังเกตที่พยายามโยงบางส่วนของความรู้ หรือประสบการณ์เดิมให้มาสัมพันธ์กับข้อมูลที่ตนเองมีอยู่

1.8 ทักษะการพยากรณ์ (Prediction) หมายถึง ความสามารถในการทำนายหรือคาดคะเนสิ่งที่จะเกิดขึ้นล่วงหน้า โดยอาศัยการสังเกตปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น ๆ หลักการ กฎ หรือทฤษฎีที่มีอยู่แล้วในเรื่องนั้น ๆ มาช่วยในการอธิบาย หรือคาดคะเนสิ่งที่จะเกิดขึ้น การพยากรณ์อาจทำได้ภายในขอบเขตของข้อมูลที่ศึกษาและภายนอกขอบเขตของข้อมูลที่ศึกษา และการทำนายจะถูกต้องหรือไม่ ก็ต้องอาศัยการตรวจสอบโดยการทดลองเพื่อนำผลการทดลองมายืนยัน

2. ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ (Integrated science process skills) มี 5 ทักษะ ดังนี้

2.1 ทักษะการตั้งสมมติฐาน (Formulating hypothesis) หมายถึง ความสามารถในการให้ข้อสรุป หรือคำอธิบายซึ่งเป็นคำตอบล่วงหน้าก่อนที่จะดำเนินการทดลอง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในเรื่องนั้น ๆ ต่อไป สมมติฐานเป็นข้อความที่แสดงการคาดคะเนซึ่งอาจเป็นข้อสรุป หรือข้อความที่แสดงความสัมพันธ์ที่คาดคะเนว่าจะเกิดขึ้นระหว่างตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม ข้อความของสมมติฐานนี้สร้างขึ้นโดยอาศัยการสังเกตประกอบกับความรู้ ประสบการณ์เดิมเป็นพื้นฐาน การคาดคะเนคำตอบที่คิดล่วงหน้านี้ยังไม่เป็นหลักการ กฎ หรือทฤษฎีมาก่อน ข้อความของสมมติฐานต้องสามารถทำการตรวจสอบโดยการทดลองและแก้ไขเมื่อมีความรู้ใหม่ได้

2.2 ทักษะการกำหนดนิยามเชิงปฏิบัติการ (Defining operationally) หมายถึง ความสามารถในการกำหนดความหมายและขอบเขตของคำ หรือตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำการศึกษา ให้เข้าใจตรงกัน สามารถสังเกตและวัดได้ คำนิยามเชิงปฏิบัติการที่เป็นความหมายของศัพท์เฉพาะควรเป็นภาษาง่าย ๆ ชัดเจนไม่กำกวม ระบุสิ่งที่สังเกตได้ และระบุการกระทำซึ่งอาจเป็น การวัด การทดสอบ การทดลองไว้ด้วย

2.3 ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร (Identifying and controlling variables) หมายถึง ความสามารถในการระบุว่าตัวแปรที่ศึกษา ตัวแปรใดเป็นตัวแปรต้น ตัวแปรตามและตัวแปรที่ต้องควบคุมในสมมติฐานหนึ่ง ๆ หรือปรากฏการณ์หนึ่ง

ตัวแปรต้น หรือตัวแปรอิสระ (Independent variable) คือ ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรที่สนใจทำการศึกษา เป็นตัวแปรที่ต้องการทดลองดูว่าจะก่อให้เกิดผลเช่นไร

ตัวแปรตาม (Dependent variable) คือ ตัวแปรที่สนใจทำการการศึกษา เป็นตัวแปรที่เป็นผลเนื่องมาจากตัวแปรต้น เมื่อตัวแปรต้นเปลี่ยน ตัวแปรตามก็จะเปลี่ยนไปด้วย

ตัวแปรควบคุม (Controlled variable) คือ ตัวแปรอื่น ๆ ที่ไม่ได้สนใจทำการการศึกษาแต่สามารถส่งผลต่อตัวแปรตามในขณะนั้นได้ จึงต้องควบคุมให้คงที่

2.4 ทักษะการทดลอง (Experimenting) หมายถึง ความสามารถในการดำเนินการตรวจสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้โดยลงมือทำการทดลอง เริ่มตั้งแต่การออกแบบการทดลอง การปฏิบัติตามขั้นตอนที่ออกแบบไว้ ตลอดจนการใช้วัสดุอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง และการบันทึกผลการทดลองในการทดลองประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

2.4.1 การออกแบบการทดลอง หมายถึง การวางแผนการทดลองก่อนที่จะลงมือทำการทดลองจริง เพื่อกำหนดวิธีการทดลอง ซึ่งเกี่ยวกับการกำหนด ควบคุมตัวแปร อุปกรณ์ หรือสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

2.4.2 การปฏิบัติการทดลอง หมายถึง การลงมือปฏิบัติการทดลองจริง

2.4.3 การบันทึกผลการทดลอง หมายถึง การจดบันทึกผลข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งอาจเป็นผลจากการสังเกต การวัด และอื่นๆ

2.5 ทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป (Interpreting data and conclusion) หมายถึง ความสามารถในการบอกความหมายของข้อมูลที่ได้จัดกระทำ และอยู่ในรูปแบบที่ใช้ในการสื่อความหมายแล้ว ซึ่งอาจอยู่ในรูปตาราง กราฟ แผนภูมิ หรือรูปภาพ รวมทั้งความสามารถในการบอกความหมายของข้อมูลในเชิงสถิติ และสามารถลงข้อสรุปโดยการนำเอาความหมายของข้อมูลได้ทั้งหมด สรุปให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรที่ต้องการศึกษาภายในขอบเขตของการทดลองนั้น ๆ

จากประเภทของทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่กล่าวไว้ข้างต้น ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจำนวน 3 ทักษะ คือ ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร ทักษะการทดลอง และทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป

### 5.3 ประเภทของแบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

ภพ เลหาไพบูลย์ (2542: 343-347) ได้กล่าวไว้ว่า การปฏิบัติการทดลองเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการเรียนการสอน จึงไม่ควรประเมินผลพฤติกรรมด้านความรู้ความคิดเท่านั้น แต่ควรประเมินผลพฤติกรรมด้านการปฏิบัติด้วย ซึ่งสามารถประเมินด้วยวิธีการ ดังนี้

1. การสังเกตพฤติกรรมขณะปฏิบัติการ เป็นการประเมินพฤติกรรมของผู้เรียนในด้านทักษะปฏิบัติการ การดำเนินการทดลอง เทคนิคการทดลองต่าง ๆ การสังเกตผลการทดลอง การแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่พบได้อย่างเหมาะสม การวัดผลโดยการสังเกตนี้ อาจมีปัญหายุ่งยาก กล่าวคือ ผู้สอน

จะต้องวัดผลการปฏิบัติของผู้เรียนพร้อมกับการสอนไปด้วย ประกอบกับจำนวนผู้เรียนในชั้นมีจำนวนมาก แต่ละคนอาจจะทำกิจกรรมต่าง ๆ ในเวลาเดียวกัน ทำให้ผู้สอนไม่สามารถสังเกตได้อย่างทั่วถึง

2. การตรวจจากรายงานผลการปฏิบัติการ รายงานผลการปฏิบัติการสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถของผู้ปฏิบัติการหลายด้าน เช่น การสังเกตและจดบันทึก การใช้ภาษาเพื่อสื่อความหมาย การจัดกระทำและนำเสนอข้อมูล การแปลความหมายข้อมูลและการลงสรุป ความถูกต้องของผลการทดลอง เป็นต้น

3. การสอบภาคปฏิบัติ เป็นการสอบปฏิบัติการ โดยผู้สอนกำหนดการทดลองไว้ อาจเป็นการทดลองที่เคยทำมาแล้ว หรือกำหนดขึ้นมาใหม่ซึ่งอาจไม่เคยทำมาก่อน เพื่อเน้นการแก้ปัญหา ผู้เรียนแต่ละคนก็จะมีวิธีการทดลอง การแก้ไขปัญหาที่แตกต่างกันออกไป

นอกจากนี้การประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ยังสามารถวัดได้จากแบบทดสอบอัตนัย โดยธรรมชาติของแบบทดสอบอัตนัยจะเป็นแบบทดสอบที่ให้ผู้ตอบสามารถตอบได้อย่างอิสระตามความคิด ความเข้าใจของตนเอง โดยการเขียนบรรยาย หรือแสดงความคิดเห็น วิพากษ์เหตุการณ์ต่าง ๆ เป็นการวัดความสามารถของผู้เรียนในการสร้างแนวคิดได้ แบบทดสอบอัตนัยแบ่งออกเป็น 2 แบบ (ภพ เลาหไพบูลย์. 2542: 360-361; โชติกา ภาชีผล. 2554: 4-5) ดังนี้

1. แบบจำกัดขอบเขตในการตอบ (Restricted response question) เป็นแบบสอบถามที่เฉพาะเจาะจง ให้ตอบเพียงสั้น ๆ มีการกำหนดแนวทางในการตอบค่อนข้างตายตัว แบบทดสอบนี้จะมีอิสระในการตอบ การแสดงความรู้ ความสามารถ และความคิดของผู้ตอบน้อยมาก

2. แบบไม่จำกัดขอบเขตในการตอบ (Unrestricted response question) เป็นแบบทดสอบที่เปิดโอกาสให้ผู้ตอบแสดงความคิดเห็น บรรยาย อภิปราย มีอิสระในการตอบคำถามได้อย่างเต็มที่ตามความสามารถ ตามทักษะในการสังเคราะห์ และการประเมินผลของตน และเป็นการวัดความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ มักใช้กับนักศึกษาในระดับสูง

ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นทักษะทางปัญญา เพราะเป็นการทำงานของสมอง ดังนั้นการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นกระบวนการคิดนั้น ผู้สอนจึงควรฝึกให้ผู้เรียนได้คิด โดยใช้คำถามกระตุ้นให้คิด คำถามต่าง ๆ ก็จะช่วยเพิ่มพูนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ประเภทต่าง ๆ (พิมพันธ์ เดชะคุปต์. 2545: 98) ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทดสอบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ โดยใช้แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการแบบอัตนัย เพื่อกระตุ้นกระบวนการคิดในทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการจำนวน 3 ทักษะ คือ ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร ทักษะการทดลอง และทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป และทำการตรวจผลการปฏิบัติการจากแบบบันทึกผลการทดลองปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ด้วย

## 6. เอกสารที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจ

### 6.1 ความหมายของความพึงพอใจ

กิติมา ปรีดีดิลก (2529: 321) ได้ให้ความหมายไว้ว่า ความพึงพอใจหมายถึง ความรู้สึกพึงพอใจในงานที่ทำ เมื่องานนั้นให้ประโยชน์ตอบแทนทั้งทางด้านวัตถุและทางด้านจิตใจ ซึ่งสามารถตอบสนองความต้องการพื้นฐานของเขาได้

ธีรารัง อุดมไพจิตรกุล (2546: 73) ได้ให้ความหมายไว้ว่า ความพึงพอใจหมายถึง ความรู้สึกที่แสดงออกและสามารถสังเกตเห็นได้ ความพึงพอใจเกิดขึ้นได้เมื่อความต้องการได้รับการตอบสนอง ทำให้มีความรู้สึกทางบวกเป็นผลให้มีความสุข เพราะสำเร็จตามที่มุ่งหวัง

จินตวีร์ โยสีดา (2554: 41) ได้ให้ความหมายไว้ว่า ความพึงพอใจหมายถึง ความรู้สึกพอใจ ชอบใจ หรือประทับใจต่อสิ่งต่าง ๆ ที่ได้รับและสามารถตอบสนองความต้องการของมนุษย์ ซึ่งจะสังเกตจากพฤติกรรมที่แสดงออกมา

วอลเลอ์สเตน (กณกวรรณ กอกหวาน. 2554: 49-50; อ้างอิงจาก Wallerstein. 1971. Dictionary of Psychology. pp. 256) ได้ให้ความหมายไว้ว่า ความพึงพอใจหมายถึง ความรู้สึกที่เกิดขึ้นเมื่อได้รับผลสำเร็จตามความมุ่งหมาย ความพึงพอใจเป็นกระบวนการทางจิตวิทยาไม่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน แต่สามารถคาดคะเนได้ว่ามีหรือไม่มีจากการสังเกตพฤติกรรมของคนเท่านั้น การที่จะทำให้คนเกิดความพึงพอใจต้องมีปัจจัยและองค์ประกอบที่เป็นสาเหตุของความพึงพอใจ

จากความหมายที่กล่าวไว้ข้างต้น ผู้วิจัยสรุปได้ว่า ความพึงพอใจหมายถึง อารมณ์ ความรู้สึกที่แสดงออกว่าพอใจ หรือประทับใจต่อสิ่งเร้าต่าง ๆ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากการแสดงออกทางพฤติกรรม

### 6.2 ทฤษฎีการสร้างความพึงพอใจ

ทฤษฎีการสร้างความพึงพอใจมีหลายทฤษฎี แต่ทฤษฎีที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดคือ ทฤษฎีความต้องการตามลำดับขั้นของมาสโลว์ (สุภาภิญญา อ้นบางใบ. 2554: 45-46; อ้างอิงจาก Maslow. 1970. Motivation and Personality. pp. 35-51) ซึ่งได้ตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับความต้องการของมนุษย์ไว้ดังนี้

1. มนุษย์มีความต้องการอยู่ตลอดเวลา เมื่อความต้องการใดได้รับการตอบสนองแล้ว ก็เกิดความต้องการอย่างอื่นไปเรื่อย ๆ ไม่จบสิ้น

2. ความต้องการที่ไม่ได้รับการตอบสนองจะยังเป็นแรงจูงใจให้เกิดพฤติกรรมนั้น ส่วนความต้องการที่ได้รับการตอบสนองแล้วจะไม่เป็นแรงจูงใจต่อไป

3. ความต้องการของมนุษย์จะเรียงเป็นลำดับขั้นตามความสำคัญ ซึ่งมาสโลว์ได้สร้างทฤษฎีความต้องการตามลำดับขั้นของมนุษย์จากขั้นต่ำสุดไปสูงสุด จำนวน 5 ขั้นดังนี้

3.1 ความต้องการทางด้านร่างกาย (Physiological needs) เป็นความต้องการในขั้นพื้นฐานของมนุษย์เป็นสิ่งที่จำเป็นในการดำรงชีวิต ได้แก่ อาหาร อากาศ ที่อยู่อาศัย เครื่องนุ่งห่ม ยา วัคซีน เป็นต้น ถ้ามนุษย์ไม่ได้รับการตอบสนองในขั้นนี้ก็จะไม่มีความต้องการในขั้นถัดไป

3.2 ความต้องการด้านความปลอดภัย หรือด้านความมั่นคง (Security or safety needs) ถ้าความต้องการทางด้านร่างกายได้รับการตอบสนองตามสมควรแล้วมนุษย์จะต้องการในขั้นสูงต่อไปคือ เป็นความรู้สึกที่ต้องการความปลอดภัย หรือความมั่นคงในปัจจุบันและอนาคต เช่น ความเป็นธรรมในการทำงาน ความปลอดภัยในเงินเดือนและการถูกไล่ออก สวัสดิการด้านที่อยู่อาศัยและการรักษาพยาบาล เป็นต้น

3.3 ความต้องการทางด้านสังคม (Social or belonging needs) เมื่อความต้องการทางด้านร่างกายและความปลอดภัย หรือความมั่นคงได้รับการตอบสนองแล้ว ความต้องการทางด้านสังคมก็จะเริ่มเป็นสิ่งจูงใจที่สำคัญต่อพฤติกรรมของบุคคล เป็นความต้องการที่จะให้สังคมยอมรับเป็นสมาชิกและได้รับการยอมรับจากสังคม ได้รับความเป็นมิตรและความรักจากเพื่อน

3.4 ความต้องการที่จะได้รับการยอมรับนับถือ (Esteem needs) ความต้องการด้านนี้เป็นความต้องการระดับสูง ต้องการให้บุคคลอื่นยกย่องสรรเสริญ ความอยากเด่นในสังคม รวมถึงความเชื่อมั่นในตนเอง ความรู้ความสามารถ ความเป็นอิสระและเสรีภาพ

3.5 ความต้องการความสำเร็จในชีวิต (Self actualization) เป็นความต้องการในระดับสูงสุดของมนุษย์ ซึ่งเป็นความต้องการที่อยากจะทำให้เกิดความสำเร็จในทุกสิ่งทุกอย่างตามความนึกคิดของตนเอง

จากทฤษฎีการสร้างความพึงพอใจที่กล่าวไว้ข้างต้น ผู้วิจัยสรุปได้ว่า ทฤษฎีความต้องการตามลำดับขั้นของมาสโลว์ มี 5 ขั้น ซึ่งในแต่ละขั้นจะมีระดับความต้องการที่แตกต่างกันไป โดยบุคคลใดที่ได้รับการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานแล้วก็จะมีความต้องการในลำดับขั้นที่สูงขึ้นไปอย่างไม่มีความสิ้นสุด

### 6.3 วิธีการสร้างความพึงพอใจต่อการเรียนการสอน

ศุภสิริ โสมาเกตต์ (2544: 53) ได้กล่าวไว้ว่า ในการเรียนการสอนความพึงพอใจเป็นสิ่งสำคัญที่กระตุ้นให้ผู้เรียนทำงานที่ได้รับมอบหมาย หรือที่ต้องการปฏิบัติให้บรรลุผลตามจุดประสงค์ ผู้สอนจึงต้องคำนึงถึงความพอใจในการเรียนรู้ของผู้เรียน การทำให้ผู้เรียนเกิดความพึงพอใจในการเรียนรู้หรือปฏิบัติตาม มีแนวคิดพื้นฐานที่ต่างกัน ดังนี้

1. ความพึงพอใจนำไปสู่การปฏิบัติงาน การตอบสนองความต้องการของผู้ปฏิบัติงานจนเกิดความพึงพอใจ จะทำให้เกิดแรงจูงใจในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานที่สูงกว่าผู้ที่ไม่ได้รับการตอบสนอง

2. ผลการปฏิบัติงานนำไปสู่ความพึงพอใจ ความสัมพันธ์ระหว่างความพึงพอใจและผลการปฏิบัติงานจะถูกเชื่อมโยงด้วยปัจจัยอื่น ๆ ผลการปฏิบัติงานที่ดีจะนำไปสู่ผลตอบแทนที่เหมาะสม ซึ่งในที่สุดจะนำไปสู่การตอบสนองของความพึงพอใจ ผลการปฏิบัติงานย่อมได้รับการตอบสนองในรูปของรางวัล หรือผลตอบแทน

บลูม (Bloom. 1976: 72-74) ได้กล่าวไว้ว่า ถ้าสามารถจัดการเรียนการสอนให้ผู้เรียนได้ทำพฤติกรรมตามที่ตนเองต้องการ ก็คาดหวังว่าผู้เรียนทุกคนได้เตรียมใจสำหรับกิจกรรมที่ตนเองเลือก แล้วด้วยความกระตือรือร้น ความแตกต่างของความพร้อมด้านจิตใจจะเห็นได้ชัดเจนจากการปฏิบัติของผู้เรียนต่องานที่เป็นวิชาบังคับกับวิชาเลือก หรือสิ่งนอกสถานศึกษาที่ผู้เรียนอยากเรียน เช่น การขับรถยนต์ การเล่นเกม เกมส หรือสิ่งที่ผู้เรียนอาสาสมัครและสามารถตัดสินใจได้โดยเสรีในการเรียน เป็นต้น การมีความกระตือรือร้น ความพึงพอใจและมีความสนใจเมื่อเริ่มเรียน จะทำให้ผู้เรียนเรียนได้เร็วและมีความสำเร็จสูง

สกินเนอร์ (ณัฐิกา วงษาชาติ. 2551: 31; อ้างอิงจาก Skinner. 1972. Beyond Freedom and Dignity. pp. 120) ได้กล่าวไว้ว่า เสรีภาพและความภาคภูมิใจจะเป็นผลของการนำไปสู่ความเป็นคน เสรีภาพในความหมายของสกินเนอร์หมายถึง ความเป็นอิสระจากการควบคุม และการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม โดยทำให้อำนาจการควบคุมลดลงจนบุคคลเกิดความรู้สึกว่าตนไม่ได้ถูกควบคุม หรือแสดงพฤติกรรมใดๆ ที่เนื่องมาจากความกดดันภายนอก และสกินเนอร์ได้อ้างคำกล่าวของจอง-จาคว รุสโซ (Jean-Jacques Rousseau) ที่แสดงความคิดเห็นเดียวกันจากหนังสือเอมีล (Emile) โดยให้ข้อคิดว่า ครูจงทำให้เด็กเกิดความเชื่อว่าเขาอยู่ในความควบคุมของตนเองแม้ว่าผู้ควบคุมที่แท้จริงคือครู ไม่มีวิธีการใดดีไปกว่าการให้เขาได้แสดงความรู้สึกว่าเขามีอิสรภาพ ครูควรปล่อยให้เด็กได้ทำเฉพาะสิ่งที่เขาอยากทำ แต่เขาควรจะทำเฉพาะสิ่งที่ครูต้องการให้เขาทำเท่านั้น

จากวิธีการสร้างความพึงพอใจต่อการเรียนการสอนที่กล่าวไว้ข้างต้น ผู้วิจัยสรุปได้ว่า การเรียนการสอนที่สร้างความพึงพอใจให้กับผู้เรียน ควรเป็นการเรียนการสอนที่ให้ผู้เรียนได้มีการเรียนรู้โดยปราศจากการควบคุม หรือแรงกดดันภายนอก ให้ผู้เรียนรู้สึกที่สามารถควบคุมตนเองได้ เมื่อผู้เรียนมีความพึงพอใจในการเรียนก็จะส่งผลให้ผู้เรียนสามารถตอบสนองพฤติกรรมได้ตามต้องการ

#### 6.4 วิธีการวัดความพึงพอใจ

ลัวัน สายยศ และอังคณา สายยศ (2536: 3-4) และ สุรพล พยอมแย้ม (2548) ได้เสนอวิธีการวัดความพึงพอใจไว้ดังนี้

1. การสังเกต เป็นวิธีวัดความพึงพอใจโดยการสังเกตพฤติกรรมของบุคคลเป้าหมายที่แสดงออกต่อสิ่งใดสิ่งหนึ่ง ซึ่งแสดงออกด้วยการพูดจา กริยา ท่าทาง แล้วนำไปอนุมานว่าบุคคลมีความพึงพอใจต่อสิ่งนั้น วิธีนี้ต้องอาศัยการกระทำอย่างจริงจังและสังเกตอย่างมีระเบียบแบบแผน

2. การรายงานตนเอง เป็นการวัดโดยการให้บุคคลเล่าความรู้สึกที่มีต่อสิ่งนั้นออกมา ซึ่งสามารถที่จะกำหนดค่าของคะแนนความพึงพอใจได้

3. การสัมภาษณ์ เป็นการวัดโดยการซักถามกลุ่มบุคคลที่ใช้เป็นตัวอย่างในการศึกษา วิธีนี้สามารถวัดความพึงพอใจได้โดยตรงซึ่งต้องอาศัยเทคนิคและวิธีการที่ดีจึงจะได้ข้อมูลที่เป็นจริง

4. การใช้แบบสอบถาม ผู้ออกแบบสอบถามได้สร้างแบบสอบถามขึ้น เพื่อต้องการจะทราบความคิดเห็น สามารถกระทำได้ในลักษณะกำหนดคำตอบให้เลือก หรือตอบคำถามอิสระ ซึ่งคำถามดังกล่าวอาจถามความพอใจในด้านต่างๆ

ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สร้างแบบสอบถามวัดความพึงพอใจโดยใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) ดังนั้นผู้วิจัยจึงขอกล่าวเฉพาะแบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า ซึ่งมีรูปแบบการวัด 3 รูปแบบ คือ แบบของเธอร์สโตน แบบของออสกู๊ด และแบบของลิเคิร์ต ดังนี้

1. วิธีของเธอร์สโตน (Thurstone. 1970: 128) คือ การให้ผู้ตอบตัดสินข้อความที่แสดงถึงความพึงพอใจต่อสิ่งหนึ่งว่าเห็นด้วยหรือไม่เห็นด้วยในข้อความเหล่านั้นมากน้อยเพียงใด โดยให้กลุ่มผู้ตัดสินพิจารณาว่าข้อความที่เสนอนั้น ควรจะอยู่ตรงไหนเมื่อแบ่งความคิดเห็นทั้งหมด ตั้งแต่เห็นด้วยมากที่สุดไปจนถึงไม่เห็นด้วยมากที่สุดออกเป็น 11 กลุ่มเท่าๆ กัน เมื่อกลุ่มผู้ตัดสินใจได้พิจารณาตัดสินหมดทุกข้อความแล้วก็นำแต่ละค่ามาหาสเกลนั้นคือ หาตำแหน่งมัธยฐานของแต่ละสเกลสำหรับวัดความพึงพอใจต่อไป

2. วิธีวัดทัศนคติโดยใช้ความหมายทางภาษาของออสกู๊ด (Osgood. 1957: 189) คือ การวัดความหมายของมโนทัศน์ในรูปความหมายของคุณศัพท์ โดยให้บุคคลทำเครื่องหมายแสดงความเห็นลงในสเกลซึ่งอยู่ระหว่างคำคุณศัพท์ที่มีความหมายสอดคล้องกับคุณศัพท์ในแต่ละสเกลอย่างไร้ความหมายแต่เห็นแล้วรอกความเห็นลงในสเกล

3. วิธีวัดของลิเคิร์ต (Likert. 1970: 150-151) คือ การนำเอาข้อความที่จะใช้วัดไปให้ผู้ตอบลงความเห็นว่ามีความรู้สึกต่อข้อความเหล่านั้นอย่างไรบ้าง เห็นด้วยอย่างยิ่ง เห็นด้วย ไม่แน่ใจ ไม่เห็นด้วย หรือไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง แล้วมีการกำหนดคะแนนให้อาจเป็น 5, 4, 3, 2, หรือ 1 ตามลำดับ หากเป็นข้อความในทางบวก จากนั้นนำข้อความทั้งหมดไปวิเคราะห์หาค่าอำนาจจำแนก (Item analysis) โดยเลือกข้อความที่สามารถจำแนกกลุ่มที่มีความพึงพอใจที่ดีและความพึงพอใจที่ไม่ดีเพื่อนำไปใช้วัดความพึงพอใจต่อไป

ในงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สร้างแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ



## 7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

งานวิจัยในประเทศที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ มีดังนี้

อรอุมา ละมุล (2541: 109-110) ได้วิจัยเรื่อง การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติในการดูดซับโลหะหนัก ที่ใช้สอนในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 พบว่าบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 โดยมีค่าร้อยละคะแนนเฉลี่ยจากการตอบคำถามบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ในแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกับแบบทดสอบวัดทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เท่ากับ 80.27/80.11 และนักเรียนมีเจตคติต่อการเรียนโดยใช้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นในระดับดีมาก โดยมีค่าเฉลี่ย คือ 4.18 หรือร้อยละ 83.60

ศิริกานต์ ผาสุก (2543: 233-235) ได้วิจัยเรื่อง การพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาเคมีผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ เรื่อง การสกัดและแยกองค์ประกอบทางเคมีจากสมุนไพรในท้องถิ่น สำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์ของสถาบันราชภัฏ โดยใช้พืชสมุนไพรที่สกัดน้ำมันหอมระเหยและสเตอรอยด์ นำผลการทดลองที่ได้จากห้องปฏิบัติการมาพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการเพื่อการเรียนการสอน 8 บทปฏิบัติการ ผลการวิจัยพบว่า ค่าดัชนีความสอดคล้อง ระหว่างวัตถุประสงค์กับเนื้อหา วัดดูประสงค์กับวิธีการทดลอง และวัตถุประสงค์กับคำถามทำรายการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.56 - 1.00 ซึ่งสูงกว่า 0.5 แสดงว่าบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพนำไปใช้ในการเรียนการสอนได้

นงนาถ จินดาวัฒน์ (2544: บทคัดย่อ) ได้วิจัยเรื่อง การพัฒนาบทปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมศึกษา เรื่อง ระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด รายวิชา ว 102 วิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างบทปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมศึกษาและหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการ และเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนก่อนและหลังเรียนโดยใช้บทปฏิบัติการ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยคือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนอัสสัมชัญธนบุรี ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2543 จำนวน 45 คน ซึ่งได้มาโดยการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย ผลการวิจัยพบว่า บทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ 83.0/79.69 ซึ่งมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดไว้ การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน ปรากฏว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังจากเรียนบทปฏิบัติการสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

พรยมล บัวศิริ (2546: 90-92) ได้วิจัยเรื่อง การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง สารและสมบัติของสาร สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 3 ผู้วิจัยได้นำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ จำนวน 8 บทปฏิบัติการ ที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอนกับนักเรียนช่วงชั้นที่ 3 โรงเรียนท่ามะกาวิทยาคม อำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี ที่เรียนอยู่ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2546 จำนวน 30 คน พบว่าบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 75/75 โดยมีค่าร้อยละคะแนนเฉลี่ยจากการ

ตอบคำถามทำยบทปฏิบัติการระหว่างเรียนต่อค่าร้อยละคะแนนเฉลี่ยของผลการเรียนรู้ด้านความรู้หลังเรียนเท่ากับ 77.75/79.33 นักเรียนมีผลการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ด้านความรู้-ความจำ ด้านความเข้าใจ ด้านกระบวนการเสาะแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และด้านการนำความรู้และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ไปใช้หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 มีผลการเรียนรู้ด้านทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้น และมีเจตคติต่อบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ในด้านความรู้สึกรู้สึกนึกคิดต่อบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ด้านการแสดงออกต่อกิจกรรมการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และการเห็นประโยชน์ของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สูงขึ้น

รัชนีกร ฤทธิรงค์ (2546: 81-82) ได้วิจัยเรื่อง การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และเจตคติต่อสิ่งแวดล้อมของนักเรียนระดับชั้นปีที่ 3 กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนวัดหอมเกร็ด ตำบลหอมเกร็ด อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2545 จำนวน 50 คน แบ่งเป็นกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง กลุ่มละ 25 คน และทำการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสิ่งแวดล้อมและเจตคติต่อสิ่งแวดล้อมของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ระหว่างกลุ่มทดลองที่ได้รับการสอนโดยใช้บทปฏิบัติการในค่ายอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและกลุ่มควบคุมที่ได้รับการเรียนรู้ตามปกติ พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสิ่งแวดล้อมของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการในค่ายอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่ได้รับการเรียนรู้ตามปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และเจตคติต่อสิ่งแวดล้อมของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการเรียนรู้โดยใช้บทปฏิบัติการในค่ายอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมกับกลุ่มควบคุมที่ได้รับการเรียนรู้ตามปกติมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 หรือกล่าวได้ว่า มีเจตคติต่อสิ่งแวดล้อมเป็นทางบวก

ธนวรรณ โสมน้อย (2548: 71-74) ได้วิจัยเรื่อง การพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสีย้อมผ้า สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา ผู้วิจัยได้นำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์จำนวน 5 บทปฏิบัติการ ที่พัฒนาขึ้นไปทดลองสอนกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่กำลังศึกษาอยู่ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2546 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม) กรุงเทพมหานคร จำนวน 10 คน พบว่านักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเรื่อง การใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสีย้อมผ้า มีคะแนนเฉลี่ยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และมีคะแนนเฉลี่ยทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์สูงกว่าร้อยละ 80 เมื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ยทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์โดยรวมทุกบท จะมีคะแนนเฉลี่ยร้อยละ 94.33 และนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยเจตคติที่มีต่อบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดี เมื่อแยกเจตคติของนักเรียนที่มีต่อบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เป็นรายด้าน พบว่า นักเรียนมี

ความรู้สึกรู้สึกนึกคิดต่อบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ การแสดงออกต่อกิจกรรมการเรียนรู้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ การเห็นประโยชน์ของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์อยู่ในระดับดี

วารีย์ บุญลือ (2550: 66-68) ได้วิจัยเรื่อง การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่องการปลูกพืชแบบไฮโดรพอนิกส์ สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 3 โดยนำบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ จำนวน 5 บทปฏิบัติการที่พัฒนาไปทดลองสอนกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 1 โรงเรียนจุฬาราชวิทยาลัยปทุมธานี จำนวน 30 คน พบว่าบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่ผู้วิจัยพัฒนามีประสิทธิภาพ 84.38/80.50 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนดไว้ นักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้น พบว่ามีคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน มีคะแนนทักษะปฏิบัติการวิทยาศาสตร์หลังเรียนอยู่ในระดับดีมาก และนักเรียนมีความตระหนักรู้เกี่ยวกับปัญหาการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในสิ่งแวดล้อมหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สูงกว่าก่อนเรียน

รวรวัฒน์ ทิพจ้อย (2551: 94-96) ได้วิจัยเรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยทดลองสอนใช้บทปฏิบัติการ 5 บทปฏิบัติการ ที่พัฒนาขึ้นกับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2551 โรงเรียนเซนต์ดอมินิก กรุงเทพมหานคร จำนวน 40 คน พบว่า บทปฏิบัติการมีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 ได้ค่าเท่ากับ 80.26/80.71 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีค่ามากกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70

สกล ชูขันธิน (2553: 92-95) ได้วิจัยเรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาคารย์ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก ผลการวิจัยพบว่าบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสียที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ 80.26/80.71 เป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 เมื่อนำบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับนักเรียน พบว่านักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 มีคะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และได้ศึกษาเจตคติต่อทรัพยากรน้ำ พบว่า คะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบวัดเจตคติต่อทรัพยากรน้ำหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

งานวิจัยต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ มีดังนี้

เกเบิล รับบา และฟรานซ์ (Gable; Rubba; & Franz. 1977: 503-511) ได้วิจัยเรื่อง ผลของการสอนและประสบการณ์ของการฝึกสอนที่มีต่อทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยทดลองกับนักศึกษาครู แผนกวิชาประถมศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนวิชาฟิสิกส์ จำนวน 58 คน ผลการวิจัยพบว่า นักศึกษาครูที่ได้รับการฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในห้องปฏิบัติการมีผลสัมฤทธิ์ในทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงกว่าผู้ที่ไม่ได้รับการฝึก

กอห์ ทอห์ และไชน์ (Goh; Toh; & Chia. 1989: 430-432) ได้วิจัยเรื่อง การประยุกต์การสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยได้พัฒนากรอบแนวคิดในการวิจัยมาใช้ในการสอนบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และนำมาทดลองกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนในประเทศสิงคโปร์ จำนวน 164 คน ซึ่งมาจากโรงเรียน 2 แห่ง โรงเรียนละ 2 ห้องเรียน ได้มาจากการสุ่มอย่างง่าย โดย 1 ห้องจะเป็นกลุ่มควบคุม และอีก 1 ห้องจะเป็นกลุ่มทดลอง ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มทดลองที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นของโรงเรียนทั้ง 2 แห่ง มีคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงกว่ากลุ่มควบคุม แสดงว่า การพัฒนาบทปฏิบัติการทำให้นักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้น

วีล เทลเลอร์ และโรเจอร์ (Veal; Taylor; & Rogers. 2009: 393-398) ได้วิจัยเรื่อง การสะท้อนความคิดของตนเองเพื่อเพิ่มทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในการเรียนปฏิบัติการเคมีทั่วไป ผู้วิจัยได้ทดลองกับนิสิตปริญญาตรีปี 1 สาขาพยาบาล โดยแบ่งนิสิตออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มทดลอง จำนวน 17 คน ซึ่งเรียนในภาคฤดูร้อน ในปี 2006 และกลุ่มควบคุม จำนวน 39 คน ที่เรียนในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2006 ผลการวิจัยพบว่า นิสิตกลุ่มทดลองที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีคะแนนทักษะการสังเกต การใช้ตะเกียงบนเส้น การใช้ปิเปต สูงกว่ากลุ่มควบคุมที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และเมื่อนำคะแนนสอบของกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุมมาเปรียบเทียบกัน พบว่ากลุ่มทดลองมีคะแนนสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับ .05

ฟากายโตะและคนอื่น ๆ (Fakayode; et al. 2012: 109-113) ได้วิจัยเรื่อง การเรียนแบบสืบเสาะหาความรู้แบบชี้แนะแนวทางในปฏิบัติการเครื่องมือวิเคราะห์ เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในอาหารบางชนิด โดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปีแบบเปลวไฟ (FAAS) เพื่อต้องการกระตุ้นบทบาทของนิสิตในการทดลอง ปรับปรุงการคิดเชิงวิพากษ์ และความสามารถในการแก้ปัญหา ผู้วิจัยได้ทดลองกับนิสิตปริญญาตรี ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชา ปฏิบัติการเครื่องมือวิเคราะห์ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2010 จำนวน 11 คน อายุระหว่าง 20-33 ปี โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม แล้วให้เรียนบทปฏิบัติการด้วยวิธีสืบเสาะหาความรู้แบบชี้แนะแนวทาง ผลการวิจัยพบว่านิสิต

จำนวน 9 ใน 11 คน รู้สึกตื่นเต้นกับการทดลอง มีความสนุกในการทดลองที่ได้ร่วมกันทำงานเป็นกลุ่ม และเห็นว่าเป็นวิธีการที่น่าสนใจกว่าการอ่านคู่มือการทดลอง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์พบว่าบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และทักษะปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนได้



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

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

#### การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

##### ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นิสิตปริญญาตรีชั้นปีที่ 3 หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชา ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2 รหัสวิชา คม 390 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556 จำนวน 3 กลุ่ม ๆ ละ 22 - 24 คน รวมทั้งหมด 68 คน

##### กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นิสิตปริญญาตรีชั้นปีที่ 3 หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชา ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2 รหัสวิชา คม 390 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556 จำนวน 22 คน ที่ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจงตามความสะดวกมา 1 กลุ่ม จากทั้งหมด 3 กลุ่ม

##### เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อหาในบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับนิสิตปริญญาตรี ประกอบด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 3 บทปฏิบัติการ ได้แก่

การทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ

การทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ

การทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม

##### ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ คือ ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556 ในช่วงโมงเรียนรายวิชา ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2 รหัสวิชา คม 390 ของนิสิตปริญญาตรีชั้นปีที่ 3 หลักสูตรวิทยาศา-

ศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 3 บทปฏิบัติการ ๆ ละ 3 ชั่วโมง รวม 9 ชั่วโมง ทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนอย่างละ 2 ชั่วโมง รวมทั้งหมด 13 ชั่วโมง รายละเอียดการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ระยะเวลาในการเรียนการสอนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

ครั้งที่	เนื้อหา	จำนวนชั่วโมง
1	ทดสอบก่อนเรียน พร้อมชี้แจงรายละเอียดการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส	2
2	การทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ	3
3	การทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกัมเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ	3
4	การทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กโทรโฟรีซิสขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม	3
5	ทดสอบหลังเรียน	2
<b>รวม</b>		<b>13</b>

### การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

1. บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส
2. แบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์
3. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส
4. แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ
5. แบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

## ขั้นตอนการทดลองในห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ผู้วิจัยดำเนินการดังนี้

ผู้วิจัยได้ลงมือทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ทั้งหมด 3 การทดลอง ดังนี้

### การทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ

ผู้วิจัยได้พัฒนาการทดลอง โดยใช้วัสดุภาคเคลื่อนที่ในปริมาณน้อย สำหรับการแยกรงควัตถุในใบผักคะน้า เพื่อลดปริมาณของเสียและลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับมนุษย์และสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการทดลองด้วย ซึ่งได้ดัดแปลงมาจากบทปฏิบัติการชีวเคมี เรื่อง การสกัด การแยก และการศึกษาสเปกตรัมของรงควัตถุในพืช (มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2549: 42-44) โดยดำเนินการตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

#### ตอนที่ 1 การสกัดรงควัตถุจากใบผักคะน้า

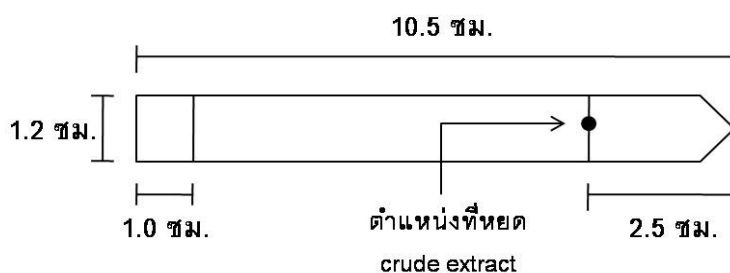
1.1 ชั่งใบผักคะน้าหนักประมาณ 2.5 กรัม บันทึกรับน้ำหนักที่แน่นอน ชักเป็นชิ้นเล็ก ๆ ใส่ครกบด บดจนละเอียด จากนั้นเติมอะซิโตนปริมาตร 15 มิลลิลิตร แล้วบดต่อจนได้สารละลายสีเขียวเข้ม

1.2 เติมโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัสประมาณ 2 กรัม

1.3 กรองสารละลายสีเขียวเข้มที่ได้ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 โดยเก็บสารละลายที่ผ่านการกรองในปิпетต์ขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นจึงนำไประเหยอะซิโตน โดยวางทิ้งไว้ในตู้ดูดควันประมาณ 15 นาที หรือจนเห็นสารสกัดมีสีเขียวเข้มขึ้น เรียกสารสกัดในขั้นนี้ว่า crude extract

#### ตอนที่ 2 การแยกรงควัตถุใน crude extract โดยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ

2.1 เตรียมกระดาษโครมาโทกราฟี จำนวน 3 แผ่น โดยตัดกระดาษโครมาโทกราฟีขนาด  $10.5 \times 1.2$  ซม. ชิดเส้นแนวด้านซ้ายห่างจากกระดาษระยะ 1.0 ซม. และเส้นแนวด้านขวาห่างจากกระดาษระยะ 2.5 ซม. แล้วตัดมุมเป็นปลายแหลมรูปตัววี (V) ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 ลักษณะของกระดาษโครมาโทกราฟีและระยะการขีดเส้นแนว



2.2 เตรียมวัตถุดิบที่ โดยผสมปิโตรเลียมอีเทอร์กับอะซิโตน (อัตราส่วน 9 : 1 โดยปริมาตร) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ ผสมให้เข้ากันจากนั้นเทวัตถุดิบที่เตรียมไว้ ใส่ในหลอดทดลอง จำนวน 3 หลอด หลอดละ 2 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางห่ออลูมิเนียมฟอยล์ แล้วตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 20 นาที เพื่อให้ภายในหลอดทดลองอิ่มตัวด้วยไอของวัตถุดิบที่

2.3 หยด crude extract ที่ได้จากตอนที่ 1 ลงบนกระดาษโครมาโทกราฟีในข้อ 2.1 ทั้ง 3 แผ่น โดยใช้หลอดหยดหยดลงตรงกลางบริเวณตำแหน่งเส้นด้านรูปตัววีที่กำหนดไว้ ทำการหยดซ้ำอีกครั้ง เพื่อให้จุดมีสีเขียวเข้ม โดยการหยดซ้ำแต่ละครั้งควรรอให้สีแห้งก่อน

2.4 นำกระดาษโครมาโทกราฟีทั้ง 3 แผ่น ใส่ลงในหลอดทดลองที่เตรียมไว้ในข้อ 2.2 โดยวางลงในแนวตรง เพื่อให้แนวการเคลื่อนที่ของวัตถุดิบที่อยู่ในระดับเดียวกัน จากนั้นปิดด้วยจุกยางห่ออลูมิเนียมฟอยล์จนกระทั่งวัตถุดิบที่เคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งเส้นแนวด้านบน จึงนำกระดาษโครมาโทกราฟีออก ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง แล้วทำการระบุหมายเลข 1 2 และ 3 ลงบนกระดาษแต่ละแผ่น

2.5 บันทึกผลการทดลอง โดยสังเกตแถบสีของรงควัตถุที่แยกได้ พร้อมทั้งวัดระยะทางที่รงควัตถุเคลื่อนที่ และระยะทางที่วัตถุดิบที่เคลื่อนที่ เพื่อคำนวณหาค่า  $R_f$

### ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบสีของรงควัตถุที่แยกได้ในสภาวะกรด-เบส

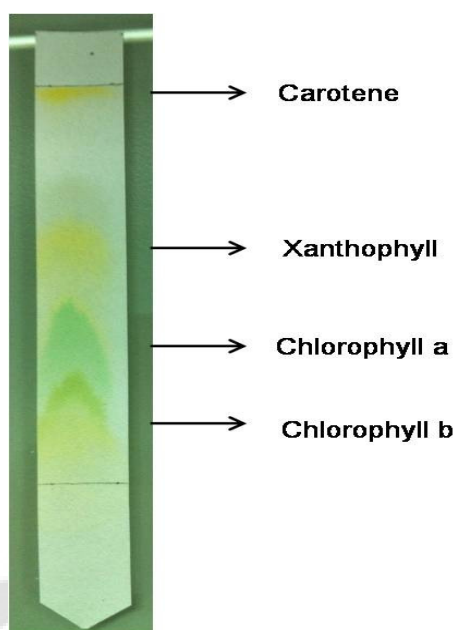
3.1 นำกระดาษโครมาโทกราฟีหมายเลข 1 และ 2 มาวางบนแผ่นกระจก แล้วหยดสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ตามลำดับจนทั่วแผ่น ในขณะที่กระดาษโครมาโทกราฟีหมายเลข 3 ไม่มีการหยดสารใดๆ เพื่อใช้เป็นสีของรงควัตถุอ้างอิง วางทิ้งไว้ให้แห้ง สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้น บันทึกผล

3.2 เปรียบเทียบสีของรงควัตถุแต่ละชนิดในสภาวะปกติ สภาวะกรดและเบส

### ผลการทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ

#### 1. การสกัดและแยกรงควัตถุจากใบผักคะน้า

การสกัดรงควัตถุจากใบผักคะน้าหนัก 2.5028 กรัม ด้วยอะซิโตนจะได้ crude extract ซึ่งเป็นสารละลายสีเขียวเข้ม เมื่อนำไปแยกด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบกระดาษ โดยใช้วัตถุดิบที่เป็นสารละลายผสมระหว่างปิโตรเลียมอีเทอร์กับอะซิโตน ในอัตราส่วน 9 : 1 โดยปริมาตร พบว่าสามารถแยกรงควัตถุได้ 4 ชนิด ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพประกอบ 3 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองในตาราง 2 เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองจากสารมาตรฐาน พบว่าแถบสารที่มีสีเหลืองเข้มและมีค่า  $R_f$  เท่ากับ 0.97 คือ Carotene แถบสารที่มีสีเหลืองและมีค่า  $R_f$  เท่ากับ 0.61 คือ Xanthophyll แถบสารที่มีสีเขียวเข้มและมีค่า  $R_f$  เท่ากับ 0.34 คือ Chlorophyll a แถบสารที่มีสีเขียวแกมเหลืองและมีค่า  $R_f$  เท่ากับ 0.17 คือ Chlorophyll b



ภาพประกอบ 3 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของรงควัตถุแต่ละชนิดที่สามารถแยกได้ในใบผักคะน้า

ตาราง 2 ระยะทางการเคลื่อนที่ของรงควัตถุและวัฏภาคเคลื่อนที่

สีของรงควัตถุ ที่แยกได้	ระยะทางในการเคลื่อนที่ (ซม.)		$R_f$	ชนิดของรงควัตถุ ที่แยกได้*
	วัฏภาคเคลื่อนที่	ระยะทางที่ รงควัตถุเคลื่อนที่		
สีเหลืองเข้ม	7.0	6.8	0.97	Carotene
สีเหลือง	7.0	4.3	0.61	Xanthophyll
สีเขียวเข้ม	7.0	2.4	0.34	Chlorophyll a
สีเขียวแกมเหลือง	7.0	1.2	0.17	Chlorophyll b

\* ใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองของสารมาตรฐานที่ทำกรทดลองภายใต้สภาวะเดียวกัน

จากการทดลองสรุปได้ว่า การแยกรงควัตถุจากใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ โดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่เป็นสารละลายผสมระหว่างปิโตรเลียมอีเทอร์กับอะซิโตน ใน

อัตราส่วน 9 : 1 โดยปริมาตร สามารถแยกรงควัตถุได้ 4 ชนิด คือ Carotene, Xanthophyll, Chlorophyll a และ Chlorophyll b โดยรงควัตถุที่มีค่า  $R_f$  มากที่สุด คือ Carotene เนื่องจาก Carotene มีสภาพขั้วต่ำทำให้เกิดการกระจายตัวในวัฏภาคเคลื่อนที่ได้ดีกว่าจึงเคลื่อนที่ได้เร็ว ในขณะที่ Chlorophyll b มีค่า  $R_f$  ต่ำที่สุด เนื่องจาก Chlorophyll b มีสภาพขั้วสูงทำให้เกิดการกระจายตัวในวัฏภาคคงที่ได้ดีกว่าจึงเคลื่อนที่ได้ช้า

## 2. การเปรียบเทียบสีของรงควัตถุที่แยกได้ในสภาวะกรด-เบส

จากตาราง 3 แสดงการเปรียบเทียบสีของรงควัตถุที่แยกได้ในสภาวะกรด-เบส พบว่า Carotene และ Xanthophyll เมื่ออยู่ในสภาวะกรด-เบส ไม่มีการเปลี่ยนสีของรงควัตถุ ในขณะที่ Chlorophyll a และ b จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีเมื่ออยู่ในสภาวะกรดเท่านั้น โดย Chlorophyll a เกิดการเปลี่ยนสีของรงควัตถุจากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวแกมน้ำตาล สำหรับ Chlorophyll b เกิดการเปลี่ยนสีของรงควัตถุจากสีเขียวแกมเหลืองเป็นสีเขียวแกมเหลืองเข้ม

ตาราง 3 การเปรียบเทียบสีของรงควัตถุที่แยกได้ในสภาวะกรด-เบส

ชนิดของรงควัตถุ	สีของรงควัตถุ		
	สภาวะปกติ	สภาวะกรด	สภาวะเบส
Carotene	สีเหลืองเข้ม	สีเหลืองเข้ม	สีเหลืองเข้ม
Xanthophyll	สีเหลือง	สีเหลือง	สีเหลือง
Chlorophyll a	สีเขียวเข้ม	สีเขียวแกมน้ำตาล	สีเขียวเข้ม
Chlorophyll b	สีเขียวแกมเหลือง	สีเขียวแกมเหลืองเข้ม	สีเขียวแกมเหลือง

จากการทดลองสรุปได้ว่า เมื่อนำรงควัตถุทั้ง 4 ชนิด ที่แยกได้มาเปรียบเทียบสีในสภาวะกรด-เบส พบว่า Carotene และ Xanthophyll เมื่ออยู่ในสภาวะกรด-เบส ไม่มีการเปลี่ยนสีของรงควัตถุ ในขณะที่ Chlorophyll a เมื่ออยู่ในสภาวะกรดเกิดการเปลี่ยนสีของรงควัตถุจากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวแกมน้ำตาล สำหรับ Chlorophyll b เกิดการเปลี่ยนสีของรงควัตถุจากสีเขียวแกมเหลืองเป็นสีเขียวแกมเหลืองเข้ม เนื่องจากคลอโรฟิลล์เมื่ออยู่ในสภาวะกรดจะเกิดการแทนที่แมกนีเซียมอะตอมในคลอโรฟิลล์ด้วยไฮโดรเจนทำให้เกิดโมเลกุลสีน้ำตาลของฟีโอฟทิน สำหรับในสภาวะเบสพบว่า Chlorophyll a และ Chlorophyll b ไม่เกิดการเปลี่ยนสีของรงควัตถุเนื่องจากไฟทอลเรซินิดิวจะถูกไฮโดรไลสได้โมเลกุลคลอโรฟิลไลด์ซึ่งมีสีเขียวเช่นเดียวกับคลอโรฟิลล์

## การทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ

ผู้วิจัยได้พัฒนาการทดลอง โดยดัดแปลงมาจากบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง การวิเคราะห์ชนิดของสารตัวอย่างโดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง (มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2555: 77-87) โดยดำเนินการตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

### ตอนที่ 1 การเตรียมแผ่นโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง

1.1 ทำความสะอาดแผ่นกระจกขนาด  $9.0 \times 9.0$  ซม. ด้วยน้ำสะอาด แล้วเช็ดให้แห้งด้วยสำลีชุบอะซิโตน

1.2 ผสมซิลิกาเจลกับน้ำกลั่น (อัตราส่วน 1 : 2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) โดยชั่งซิลิกาหนัก 50 กรัม ในปีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 125 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจนสารละลายมีลักษณะเป็นของเหลวข้นคล้ายแป้งเปียก

1.3 นำแผ่นกระจกมาจุ่มลงในปีกเกอร์ที่บรรจุซิลิกาเจลในข้อ 1.2 จากนั้นนำกระจกที่เคลือบด้วยซิลิกา ซึ่งเรียกว่า แผ่น TLC ไปอบที่อุณหภูมิ  $105^{\circ}\text{C}$  นาน 20 นาที นำออกมาวางทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

### ตอนที่ 2 การศึกษาระบบของวัฏภาคเคลื่อนที่ที่เหมาะสม

2.1 การศึกษาระบบของวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 1 โดยเปรียบเทียบความสามารถในการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐาน 4 ชนิด ได้แก่ กรดเบนโซอิก กรดซาลิไซลิก กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก และเบนโซฟีโนน ในวัฏภาคเคลื่อนที่ที่ต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่

2.1.1 วัฏภาคเคลื่อนที่ A ประกอบด้วย คลอโรฟอร์มกับเฮกเซน (อัตราส่วน 3 : 1 โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในปีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วปิดฝาทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที

2.1.2 วัฏภาคเคลื่อนที่ B ประกอบด้วย ไฮโคลเฮกเซนกับกรดอะซิติก (อัตราส่วน 9 : 1 โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในปีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วปิดฝาทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที

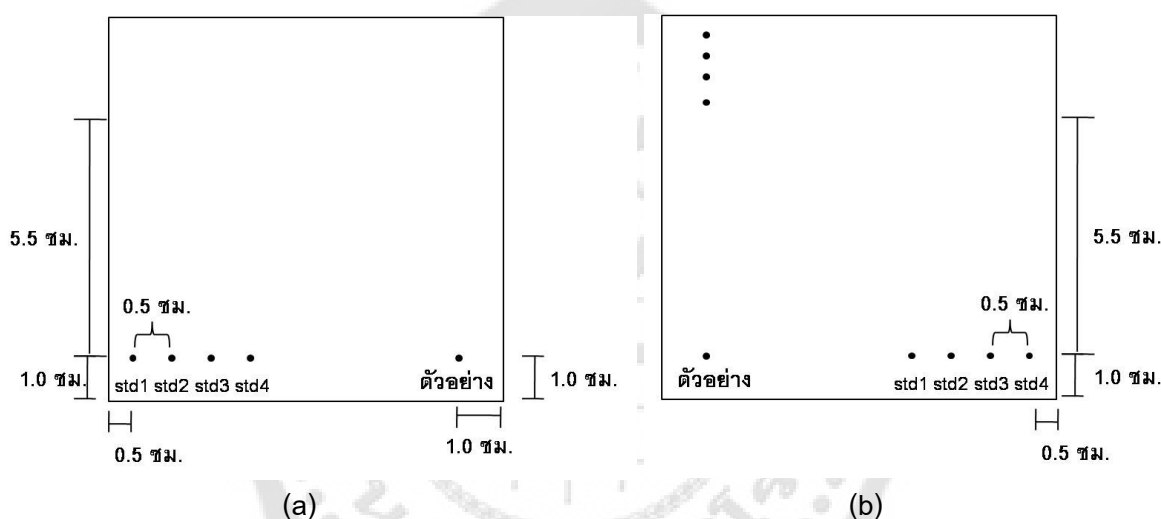
2.2 การศึกษาระบบของวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 2 โดยเปรียบเทียบความสามารถในการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐาน 4 ชนิด ได้แก่ กรดเบนโซอิก กรดซาลิไซลิก กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก และเบนโซฟีโนน ในวัฏภาคเคลื่อนที่ที่ต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่

2.2.1 วัฏภาคเคลื่อนที่ C ประกอบด้วย คลอโรฟอร์มกับอะซิโตน (อัตราส่วน 19 : 1 โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในปีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วปิดฝาทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที

2.2.2 วัฏภาคเคลื่อนที่ D ประกอบด้วย คลอโรฟอร์มกับอะซิโตน (อัตราส่วน 9 : 1 โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วปิดฝาทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที

### ตอนที่ 3 การแยกสารตัวอย่าง

3.1 ในการแยกด้วยวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 1 ใช้หลอดแคพิลลารีหยดสารตัวอย่างและสารมาตรฐาน 4 ชนิด ได้แก่ กรดเบนโซอิก กรดซาลิไซลิก กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก และเบนโซฟีโนน โดยตำแหน่งที่หยดสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง แสดงดังภาพประกอบ 4 (a) และกำหนดให้ระยะทางการเคลื่อนที่ของวัฏภาคเคลื่อนที่เท่ากับ 5.5 ซม.



ภาพประกอบ 4 ตำแหน่งที่หยดสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง

(a) ตำแหน่งที่หยดสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง สำหรับวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 1

(b) ตำแหน่งที่หยดสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง สำหรับวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 2

3.2 ในการแยกด้วยวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 2 หมุนแผ่น TLC  $90^\circ$  ตามเข็มนาฬิกา หยดสารมาตรฐานทั้ง 4 ชนิด ซึ่งตำแหน่งของสารมาตรฐาน แสดงดังภาพประกอบ 4 (b) โดยกำหนดให้ระยะทางการเคลื่อนที่ของวัฏภาคเคลื่อนที่เท่ากับ 5.5 ซม.

3.3 เมื่อแยกสารด้วยวัฏภาคเคลื่อนที่ทั้ง 2 ชนิดแล้ว จะนำไปตรวจวิเคราะห์ โดยการนำแผ่น TLC ไปส่องในกล่องที่มีแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ต จากนั้นให้วงตำแหน่งของสารที่ปรากฏ

บนแผ่น TLC ทั้งหมด พร้อมทั้งวัดระยะทางการเคลื่อนที่ของสารและภูมิภาคเคลื่อนที่ เพื่อคำนวณหา  
ค่า  $R_f$

3.4 นำแผ่น TLC ไปพ่นบาง ๆ ด้วยสารละลายเฟอริคคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก  
ต่อปริมาตร บันทึกลีของสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง

3.5 นำแผ่น TLC ไปพ่นซ้ำด้วยสารละลายโพแทสเซียมเฟอริคไซยาไนด์เข้มข้นร้อยละ 1  
โดยน้ำหนักต่อปริมาตร บันทึกลีของสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง

## ผลการทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ

### 1. การศึกษาระบบของภูมิภาคเคลื่อนที่ที่เหมาะสม

1.1 การศึกษาระบบของภูมิภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 1 โดยเปรียบเทียบความสามารถใน  
การเคลื่อนที่ของสารมาตรฐาน 4 ชนิด ได้แก่ กรดเบนโซอิก กรดซาลิไซลิก กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก  
และเบนโซฟีโนน ในภูมิภาคเคลื่อนที่ที่ต่างกัน 2 ชนิด ได้ผลการทดลองดังแสดงในตาราง 4

ตาราง 4 ระยะทางการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐาน และภูมิภาคเคลื่อนที่ และค่า  $R_f$  จากการทดลองโดย  
ใช้ภูมิภาคเคลื่อนที่ A และ B

ชนิดของสารละลาย	ภูมิภาคเคลื่อนที่ A*		ภูมิภาคเคลื่อนที่ B*	
	ระยะทางที่ สารเคลื่อนที่ (ซม.)	$R_f$	ระยะทางที่ สารเคลื่อนที่ (ซม.)	$R_f$
ภูมิภาคเคลื่อนที่	5.5	1.00	5.5	1.00
สารมาตรฐานกรดเบนโซอิก	0.9	0.16	0.8	0.15
สารมาตรฐานกรดซาลิไซลิก	0.4	0.07	0.3	0.05
สารมาตรฐานกรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก	0.5	0.09	0.4	0.07
สารมาตรฐานเบนโซฟีโนน	3.5	0.64	1.1	0.20

\* ภูมิภาคเคลื่อนที่ A : คลอโรฟอร์มกับเฮกเซน (อัตราส่วน 3 : 1 โดยปริมาตร)

\* ภูมิภาคเคลื่อนที่ B : ไซโคลเฮกเซนกับกรดอะซิติก (อัตราส่วน 9 : 1 โดยปริมาตร)

จากตาราง 4 พบว่าเมื่อทำการทดลองโดยใช้ภูมิภาคเคลื่อนที่ A ซึ่งเป็นสารละลาย  
ผสมระหว่างคลอโรฟอร์มกับเฮกเซน ในอัตราส่วน 3 : 1 โดยปริมาตร สารมาตรฐานทั้ง 4 ชนิด ได้แก่

กรดเบนโซอิก กรดซาลิไซลิก กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก และเบนโซฟีโนน มีค่า  $R_f$  เท่ากับ 0.16, 0.07, 0.09 และ 0.64 ตามลำดับ สำหรับการทดลองโดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ B ซึ่งเป็นสารละลายผสมระหว่างไซโคลเฮกเซนกับกรดอะซิติก ในอัตราส่วน 9 : 1 โดยปริมาตร สารมาตรฐานทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ กรดเบนโซอิก กรดซาลิไซลิก กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก และเบนโซฟีโนน มีค่า  $R_f$  เท่ากับ 0.15, 0.05, 0.07 และ 0.20 ตามลำดับ

จากการเปรียบเทียบความสามารถในการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐาน 4 ชนิด ในการทดลองโดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ A และ B พบว่าเมื่อใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ A สารมาตรฐานทั้ง 4 ชนิด มีค่า  $R_f$  สูงกว่าการทดลองโดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ B และสามารถแยกเบนโซฟีโนนออกจากสารมาตรฐานชนิดอื่น ๆ ได้อย่างชัดเจน ดังนั้น วัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 1 ที่มีความเหมาะสมในการทดลอง คือ คลอโรฟอร์มกับเฮกเซน ในอัตราส่วน 3 : 1 โดยปริมาตร

1.2 การศึกษาระบบของวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 2 โดยเปรียบเทียบความสามารถในการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐาน 4 ชนิด ได้แก่ กรดเบนโซอิก กรดซาลิไซลิก กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก และเบนโซฟีโนน ในวัฏภาคเคลื่อนที่ที่ต่างกัน 2 ชนิด ได้ผลการทดลองดังแสดงในตาราง 5

ตาราง 5 ระยะทางการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐาน และวัฏภาคเคลื่อนที่ และค่า  $R_f$  จากการทดลองโดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ C และ D

ชนิดของสารละลาย	วัฏภาคเคลื่อนที่ C*		วัฏภาคเคลื่อนที่ D*	
	ระยะทางที่สารเคลื่อนที่ (ซม.)	$R_f$	ระยะทางที่สารเคลื่อนที่ (ซม.)	$R_f$
วัฏภาคเคลื่อนที่	5.5	1.00	5.5	1.00
สารมาตรฐานกรดเบนโซอิก	0.5	0.09	1.1	0.20
สารมาตรฐานกรดซาลิไซลิก	0.2	0.04	0.8	0.14
สารมาตรฐานกรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก	2.6	0.47	3.2	0.58
สารมาตรฐานเบนโซฟีโนน	3.4	0.62	4.2	0.76

\* วัฏภาคเคลื่อนที่ C : คลอโรฟอร์มกับอะซิโตน (อัตราส่วน 19 : 1 โดยปริมาตร)

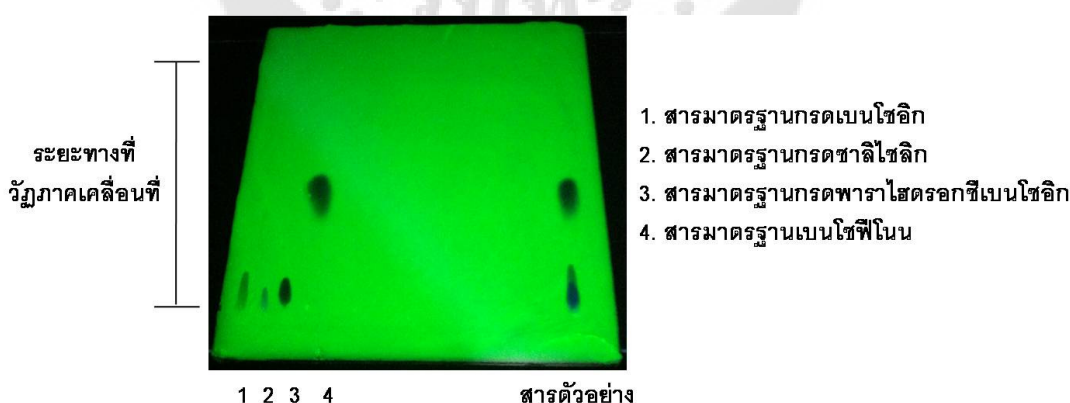
\* วัฏภาคเคลื่อนที่ D : คลอโรฟอร์มกับอะซิโตน (อัตราส่วน 9 : 1 โดยปริมาตร)

จากตาราง 5 พบว่าเมื่อทำการทดลองโดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ C ซึ่งเป็นสารละลายผสมระหว่างคลอโรฟอร์มกับอะซิโตน ในอัตราส่วน 19 : 1 โดยปริมาตร สารมาตรฐานทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ กรดเบนโซอิก กรดซาลิไซลิก กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก และเบนโซฟีโนน มีค่า  $R_f$  เท่ากับ 0.09, 0.04, 0.47 และ 0.62 ตามลำดับ สำหรับการทดลองโดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ D ซึ่งเป็นสารละลายผสมระหว่างคลอโรฟอร์มกับอะซิโตน ในอัตราส่วน 9 : 1 โดยปริมาตร สารมาตรฐานทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ กรดเบนโซอิก กรดซาลิไซลิก กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก และเบนโซฟีโนน มีค่า  $R_f$  เท่ากับ 0.20, 0.14, 0.58 และ 0.76 ตามลำดับ

จากการเปรียบเทียบความสามารถในการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐาน 4 ชนิด ในการทดลองโดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ C และ D พบว่าเมื่อทดลองโดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ D สารมาตรฐานทั้ง 4 ชนิด มีค่า  $R_f$  สูงกว่าการทดลองโดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ C ดังนั้น วัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 2 ที่มีความเหมาะสมในการทดลอง คือ คลอโรฟอร์มกับอะซิโตน ในอัตราส่วน 9 : 1 โดยปริมาตร เนื่องจากสามารถแยกสารมาตรฐานกรดเบนโซอิก กรดซาลิไซลิก เบนโซฟีโนน และกรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก ออกจากกันได้อย่างชัดเจน และการเพิ่มความเข้มข้นของวัฏภาคเคลื่อนที่จะทำให้มีความสามารถในการชะสารเพิ่มมากขึ้น สารก็จะสามารถแยกออกจากกันได้ดีขึ้น

## 2. การแยกสารตัวอย่าง

2.1 การแยกสารตัวอย่าง ซึ่งเป็นสารละลายผสมของสารมาตรฐานกรดเบนโซอิก กรดซาลิไซลิก กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก และเบนโซฟีโนน ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ ในการแยกด้วยวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 1 ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพประกอบ 5

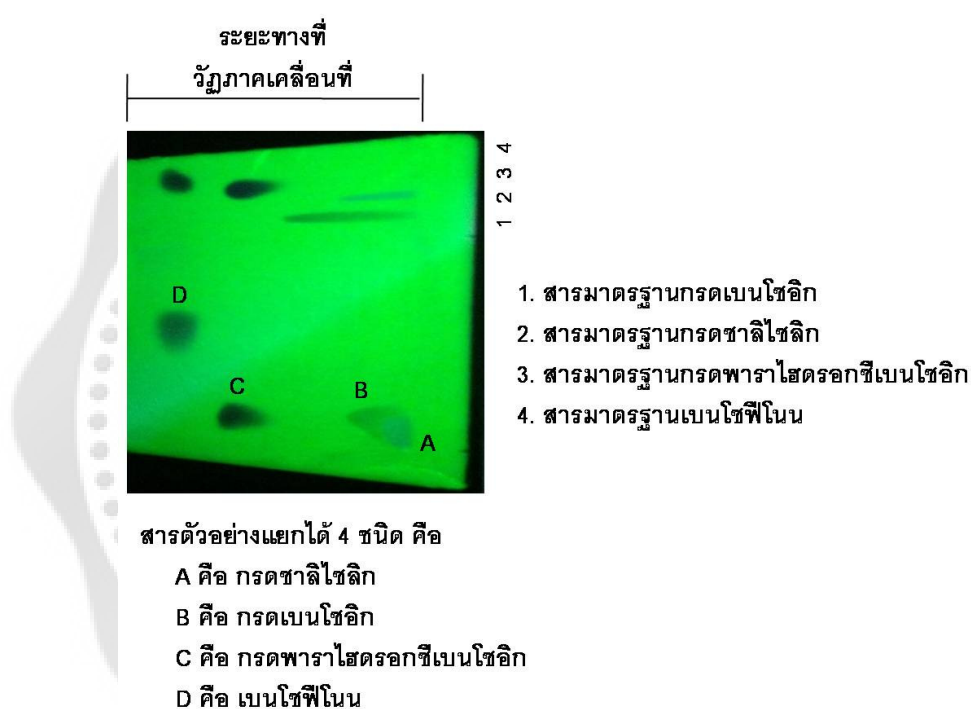


ภาพประกอบ 5 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐานและสารตัวอย่างในการแยกด้วยวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 1 คือ คลอโรฟอร์มกับเฮกเซน (อัตราส่วน 3 : 1 โดยปริมาตร)



จากภาพประกอบ 5 พบว่าเมื่อทำการทดลองแยกโดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 1 คือ คลอโรฟอร์มกับเฮกเซน ในอัตราส่วน 3 : 1 โดยปริมาตร สารตัวอย่างเกิดการเคลื่อนที่แยกออกเป็น 2 จุด และเมื่อเทียบตำแหน่งกับสารมาตรฐานพบว่า จุดสารที่เคลื่อนที่ได้ระยะทางมากกว่าน่าจะเป็นสาร เบนโซฟีโนน สำหรับจุดสารที่เคลื่อนที่ได้ระยะทางน้อยกว่าไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นสารชนิดใด จึงต้อง ทำการทดลองแยกด้วยวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 2 ต่อไป

สำหรับการแยกสารตัวอย่างด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบางในมิติที่ 2 โดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 2 ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐานและสารตัวอย่างในการแยกด้วย วัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 2 คือ คลอโรฟอร์มกับอะซิโตน (อัตราส่วน 9 : 1 โดยปริมาตร)

จากภาพประกอบ 6 พบว่าเมื่อทำการทดลองแยกในมิติที่ 2 โดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ ชนิดที่ 2 คือ คลอโรฟอร์มกับอะซิโตน ในอัตราส่วน 9 : 1 โดยปริมาตร สารตัวอย่างเกิดการเคลื่อนที่ แยกออกเป็น 4 จุด ซึ่งสามารถระบุได้ว่าเป็นสารชนิดใด โดยนำค่า  $R_f$  ของสารตัวอย่างไปเปรียบเทียบกับค่า  $R_f$  ของสารมาตรฐาน สำหรับระยะทางการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐาน สารตัวอย่าง และวัฏภาค เคลื่อนที่ และค่า  $R_f$  จากการแยกแบบ 2 มิติ แสดงดังตาราง 6

ตาราง 6 ระยะทางการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐาน สารตัวอย่าง และภูมิภาคเคลื่อนที่ และค่า  $R_f$  จากการแยกแบบ 2 มิติ

ชนิดของสารละลาย	การแยกในมิติที่ 1		การแยกในมิติที่ 2	
	ระยะทางที่		ระยะทางที่	
	สารเคลื่อนที่ (ซม.)	$R_f$	สารเคลื่อนที่ (ซม.)	$R_f$
ภูมิภาคเคลื่อนที่	5.5	1.00	5.5	1.00
สารมาตรฐานกรดเบนโซอิก	0.7	0.13	1.3	0.24
สารมาตรฐานกรดซาลิไซลิก	0.3	0.05	0.8	0.15
สารมาตรฐานกรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก	0.5	0.09	3.2	0.58
สารมาตรฐานเบนโซฟีโนน	2.7	0.49	4.8	0.87
สารตัวอย่างที่แยกได้มี 4 ชนิด				
A = กรดซาลิไซลิก	0.4	0.07	0.5	0.09
B = กรดเบนโซอิก	0.7	0.13	1.0	0.18
C = กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก	0.4	0.07	3.3	0.60
D = เบนโซฟีโนน	2.8	0.51	4.9	0.89

จากตาราง 6 เมื่อนำค่า  $R_f$  ของสารที่แยกได้ในมิติที่ 1 และมิติที่ 2 เทียบกับค่า  $R_f$  ของสารมาตรฐานพบว่า สาร A ที่มีค่า  $R_f$  ในมิติที่ 1 และ 2 เท่ากับ 0.07 และ 0.09 คือ กรดซาลิไซลิก สาร B ที่มีค่า  $R_f$  ในมิติที่ 1 และ 2 เท่ากับ 0.13 และ 0.18 คือ กรดเบนโซอิก สาร C ที่มีค่า  $R_f$  ในมิติที่ 1 และ 2 เท่ากับ 0.07 และ 0.60 คือ กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก และสาร D ที่มีค่า  $R_f$  ในมิติที่ 1 และ 2 เท่ากับ 0.51 และ 0.89 คือ เบนโซฟีโนน

จากการทดลองสรุปได้ว่า การแยกสารตัวอย่างด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ พบว่าในการแยกด้วยภูมิภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 1 สามารถแยกเบนโซฟีโนนออกจากสารชนิดอื่นได้ เนื่องจากเบนโซฟีโนนเป็นสารที่มีขั้วต่ำทำให้ถูกดูดซับกับภูมิภาคคงที่ได้น้อยจึงสามารถเคลื่อนที่ตามภูมิภาคเคลื่อนที่ได้เร็ว จึงมีค่า  $R_f$  มาก ในขณะที่สารชนิดอื่นเป็นสารที่มีขั้วมากกว่าทำให้ถูกดูดซับ

ไว้ที่อุณหภูมิคงที่ได้ไม่นานจึงเคลื่อนที่ตามวัฏภาคเคลื่อนที่ได้ช้าและไม่สามารถแยกได้ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของวัฏภาคเคลื่อนที่ในมิติที่ 2 โดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่เป็นคลอโรฟอร์มกับอะซิโตน ในอัตราส่วน 9 : 1 โดยปริมาตร จะทำให้สารที่มีขั้วเคลื่อนที่ตามวัฏภาคเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น จึงสามารถแยกสารชนิดอื่น ๆ ออกมาได้ คือ กรดเบนโซอิก กรดซาลิไซลิก และกรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก

2.2 การเปรียบเทียบสีที่เกิดจากการทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่เหมาะสมเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสี โดยนำแผ่น TLC ไปพ่นด้วยสารละลายเฟอริกคลอไรด์เข้มข้นเข้มข้น 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และพ่นซ้ำด้วยสารละลายโพแทสเซียมเฟอริกไซยาไนด์เข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ได้ผลการทดลองดังแสดงในตาราง 7

ตาราง 7 สีของสารมาตรฐานและสารตัวอย่างเมื่อพ่นด้วยสารเคมี

ชนิดของสารละลาย	สีที่ปรากฏเมื่อพ่นด้วยสาร	
	5% FeCl <sub>3</sub>	5% FeCl <sub>3</sub> + 1% K <sub>3</sub> Fe(CN) <sub>6</sub>
สารมาตรฐานกรดเบนโซอิก	ไม่มีสี	ไม่มีสี
สารมาตรฐานกรดซาลิไซลิก	สีม่วง	สีน้ำเงิน
สารมาตรฐานกรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก	ไม่มีสี	สีฟ้า
สารมาตรฐานเบนโซฟีโนน	ไม่มีสี	ไม่มีสี
สารตัวอย่างที่แยกได้มี 4 ชนิด		
A = กรดซาลิไซลิก	สีม่วง	สีน้ำเงิน
B = กรดเบนโซอิก	ไม่มีสี	ไม่มีสี
C = กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก	ไม่มีสี	สีฟ้า
D = เบนโซฟีโนน	ไม่มีสี	ไม่มีสี

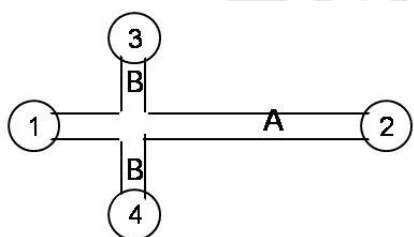
จากตาราง 7 พบว่าเมื่อพ่นแผ่น TLC ด้วยสารละลายเฟอริกคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร สารมาตรฐานกรดซาลิไซลิกและสารตัวอย่าง A จะเปลี่ยนเป็นสีม่วง ในขณะที่สารชนิดอื่นจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสี และเมื่อพ่นซ้ำด้วยสารละลายโพแทสเซียมเฟอริกไซยาไนด์เข้มข้น

ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าสารมาตรฐานกรดซาลิไซลิกและสารตัวอย่าง A จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน สำหรับสารมาตรฐานกรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิกและสารตัวอย่าง C จะเปลี่ยนเป็นสีฟ้า ในขณะที่สารมาตรฐานกรดเบนโซอิก เบนโซฟีโนน สารตัวอย่าง B และ D จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสี

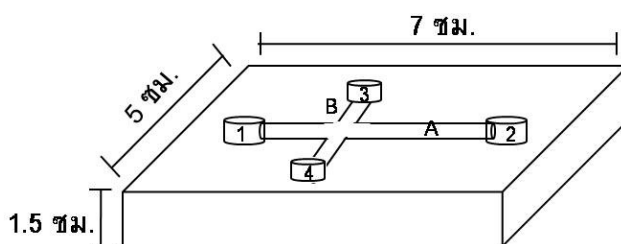
จากการทดลองสรุปได้ว่า เมื่อนำแผ่น TLC ไปพ่นด้วยสารละลายเฟอริคคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่ากรดซาลิไซลิกเปลี่ยนเป็นสีม่วง และเมื่อพ่นซ้ำด้วยสารละลายโพแทสเซียมเฟอริคไซยาไนด์เข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน สำหรับกรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิกเปลี่ยนเป็นสีฟ้า ในขณะที่กรดเบนโซอิกและเบนโซฟีโนนไม่มีการเปลี่ยนแปลงสี

### การทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม

จากการศึกษาของวิจัยของเซีย สวีเนีย และโอดอม (Chia; Sweeney; & Odom. 2011: 461-464) และธีรสงค์ และแมคแคลน (Teerasong; & McClain. 2011: 465-467) ผู้วิจัยได้สร้างแม่พิมพ์ (Mold) มีลักษณะแสดงดังภาพประกอบ 7a ประกอบด้วยการเคลื่อนที่ของสารละลาย 2 ช่อง คือ ช่องทางการเคลื่อนที่สำหรับการแยก (A) และช่องทางการใส่สารตัวอย่าง (B) ทำจากหลอดพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 มม. ยาว 5.0 ซม. และ 3.0 ซม. ตามลำดับ และหลุมสำหรับใส่สารละลายและขั้วไฟฟ้าที่ปลายทั้งสองด้านทำจากหลอดพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.0 มม. สูง 0.4 ซม. หลอดพลาสติกทุกชิ้นบรรจุดินน้ำมันให้เต็ม เพื่อใช้เป็นแม่พิมพ์สำหรับการนำไปใช้สร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กต่อไป



(a)

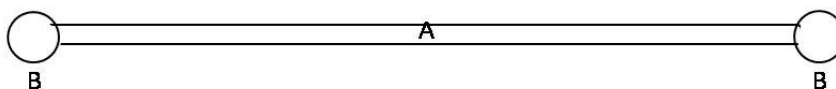


(b)

ภาพประกอบ 7 ลักษณะด้านบนของแม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูป (a) และลักษณะด้านข้างของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่ทำจาก PDMS (b)

นำแม่พิมพ์ที่ได้มาขึ้นรูปโดยสร้างจากพอลิไดเมทิลไซลอกเซน (Polydimethylsiloxane: PDMS) ได้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กดังแสดงในภาพประกอบ 7b เมื่อนำไปทำการทดลองโดยเติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 250 มิลลิโมลาร์ (pH 7.0) ลงไปในหลุมที่ 1 และ 2 จากนั้นจุ่มขั้วไฟฟ้าแกรไฟต์ และให้ความต่างศักย์ 50 โวลต์ พบว่าสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในช่องทางการเคลื่อนที่ A ได้ เนื่องจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่สร้างขึ้นเองนี้เป็นแบบกำลังต่ำ สามารถให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าได้ในช่วง 0 - 50 โวลต์เท่านั้น ส่งผลให้มีพลังงานไฟฟ้าไม่สูงพอที่จะทำให้สารละลายบัฟเฟอร์เคลื่อนที่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงแก้ปัญหาโดยการหยดสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ลงไปให้เต็มช่องทางการเคลื่อนที่ A และ B จากนั้นจึงหยดสารตัวอย่าง คือ สารละลายปองโซ 4 อาร์ เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ลงไปในหลุมตำแหน่งที่ 3 และหยดสารละลายบัฟเฟอร์ลงไปในหลุมตำแหน่งที่ 4 แล้วให้ความต่างศักย์ 50 โวลต์ พบว่าสารตัวอย่างเกิดการเคลื่อนที่เข้าไปในช่องทางการเคลื่อนที่ B อย่างช้า ๆ แต่เมื่อสารเคลื่อนที่มาถึงจุดตัดระหว่างช่องทางการเคลื่อนที่ A และ B พบว่าสารตัวอย่างเกิดการแพร่เข้าไปในช่องทางการเคลื่อนที่ A

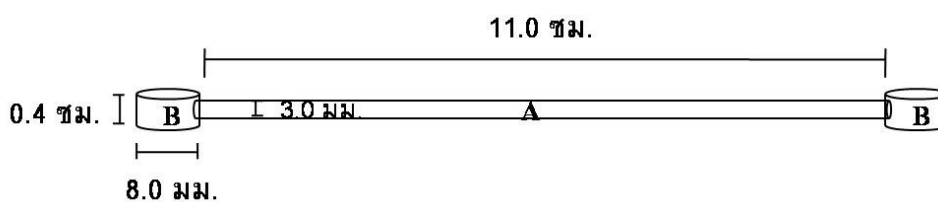
จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการสร้างแม่พิมพ์แบบใหม่ที่มีลักษณะแสดงดังภาพประกอบ 8 ประกอบด้วยช่องทางการเคลื่อนที่ของสารละลาย (A) และหลุมสำหรับใส่สารละลายอิเล็กโทรไลต์และขั้วไฟฟ้าที่ปลายทั้งสองด้าน (B) สำหรับการใส่สารตัวอย่างจะใส่บริเวณกึ่งกลางของช่องทางการเคลื่อนที่ A ซึ่งแม่พิมพ์ดังกล่าวนำมาใช้สำหรับการสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กลำดับแรก โดยดำเนินการตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้



ภาพประกอบ 8 ลักษณะด้านบนของแม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูป

## ตอนที่ 1 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่ทำจากพอลิไดเมทิลไซลอกเซน (PDMS)

1.1 เตรียมแม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูป ลักษณะแสดงดังภาพประกอบ 9 ประกอบด้วยช่องทางการเคลื่อนที่ของสารละลาย (A) ทำจากหลอดพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 มม. ยาว 12.0 ซม. และหลุมสำหรับใส่สารละลายอิเล็กโทรไลต์และขั้วไฟฟ้าที่ปลายทั้งสองด้าน (B) ทำจากหลอดพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.0 มม. ยาว 0.4 ซม. หลอดพลาสติกทุกชิ้นบรรจุดินน้ำมันให้เต็มเพื่อใช้เป็นแม่พิมพ์สำหรับการนำไปใช้สร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กต่อไป



ภาพประกอบ 9 ลักษณะด้านข้างของแม่พิมพ์ ประกอบด้วยช่องทางการเคลื่อนที่ของสารละลาย (A) และหลุมสำหรับใส่สารละลายอิเล็กโทรไลต์และขั้วไฟฟ้า (B)

1.2 เตรียมเบ้าหล่อ โดยนำแผ่นกระจกขนาด  $1.5 \times 13.5$  ซม. มาหุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ขนาด  $5.5 \times 17.0$  ซม. ให้มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมที่มีความสูงประมาณ 1.5 ซม. จากนั้นนำแม่พิมพ์ที่สร้างไว้มาวางลงตรงกลางของแผ่นกระจก

1.3 ผสม silicone elastomer base และ silicone elastomer curing agent (อัตราส่วน 25 : 1 โดยน้ำหนัก) โดยชั่ง base น้ก 25 กรัม ผสมกับ curing agent น้ก 1 กรัม ในถ้วยพลาสติก ผสมให้เข้ากัน เทสารผสมทั้งหมดลงในหลอดทดลองแล้วนำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที เพื่อกำจัดฟองอากาศที่อยู่ในซิลิโคน

1.4 นำซิลิโคนที่ได้ เทลงบนแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ในข้อ 1.2 แล้วนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ  $70^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นแกะ PDMS ออกจากแม่พิมพ์

1.5 นำ PDMS มาเจาะรูที่กึ่งกลางของช่องทางการเคลื่อนที่ของสารละลาย เพื่อใช้สำหรับใส่สารตัวอย่าง ลักษณะแสดงดังภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 10 ลักษณะด้านข้างของอุปกรณ์อิเล็กโทรไฟรีซิสขนาดเล็กที่ทำจาก PDMS

## ตอนที่ 2 การศึกษาการเคลื่อนที่ของสารด้วยเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

2.1 หยดสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 250 มิลลิโมลาร์ (pH 7.0) ลงไปในช่อง A และ B ให้เต็ม และต่อแท่งแกรไฟต์เข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยกำหนดให้ใช้ความต่างศักย์ 50 โวลต์ จากนั้นจุ่มขั้วไฟฟ้าแกรไฟต์ลงไปในหลุม B ทั้ง 2 ช่อง

2.2 หยดสารละลายปองโซ 4 อาร์ เข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1 ไมโครลิตร ลงไปในช่องสำหรับใส่สารตัวอย่างพร้อมทั้งเปิดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและทำการจับเวลา เป็นเวลา 15 นาที

2.3 สังเกตการเคลื่อนที่ของสารและบันทึกระยะทางที่สารเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแคโทด (ขั้วลบ ; สายไฟสีดำ) และขั้วแอโนด (ขั้วบวก ; สายไฟสีแดง) ที่ระยะเวลา 5, 10 และ 15 นาที ตามลำดับ

2.4 ทำการทดลองซ้ำอีก 1 ครั้ง

2.5 ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.1 - 2.4 โดยเปลี่ยนเป็นสารละลายเมทิลีนบลู เข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ แทนสารละลายปองโซ 4 อาร์

**หมายเหตุ :** ก่อนเริ่มทำการทดลองทุกครั้งให้ล้างอุปกรณ์อิเล็กโทรโฟรีซิสขนาดเล็กด้วยน้ำกลั่น 1-2 ครั้ง โดยหยดน้ำกลั่นลงไปในช่อง A และ B ให้เต็ม แล้วดูดทิ้ง จากนั้นล้างด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 250 มิลลิโมลาร์ (pH 7.0) 1-2 ครั้ง

## ตอนที่ 3 การแยกสารตัวอย่าง

3.1 หยดสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 250 มิลลิโมลาร์ (pH 7.0) ลงไปในช่อง A และ B ให้เต็ม และต่อแท่งแกรไฟต์เข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยกำหนดให้ใช้ความต่างศักย์ 50 โวลต์ จากนั้นจุ่มขั้วไฟฟ้าแกรไฟต์ลงไปในหลุม B ทั้ง 2 ช่อง

3.2 หยดสารตัวอย่างปริมาตร 1 ไมโครลิตร ลงไปในช่องสำหรับใส่สารตัวอย่างพร้อมทั้งเปิดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและทำการจับเวลา เป็นเวลา 15 นาที

3.3 สังเกตการแยกของสารตัวอย่างที่ระยะเวลา 5, 10 และ 15 นาที ตามลำดับ

3.4 ทำการทดลองซ้ำอีก 1 ครั้ง

3.5 ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.1 - 3.4 โดยเปลี่ยนความต่างศักย์ที่ใช้เป็น 40 และ 10 โวลต์

**หมายเหตุ :** ก่อนเริ่มทำการทดลองทุกครั้งให้ล้างอุปกรณ์อิเล็กโทรโฟรีซิสขนาดเล็กด้วยน้ำกลั่น 1-2 ครั้ง โดยหยดน้ำกลั่นลงไปในช่อง A และ B ให้เต็ม แล้วดูดทิ้ง จากนั้นล้างด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 250 มิลลิโมลาร์ (pH 7.0) 1-2 ครั้ง







### ผลการทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม

#### 1. การศึกษาการเคลื่อนที่ของสารด้วยเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์

##### 1.1 การศึกษาการเคลื่อนที่ของสารละลายปองโซ 4 อาร์ ด้วยเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์

ได้ผลการทดลองดังแสดงในตาราง 8

ตาราง 8 ตำแหน่งและระยะทางการเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าของสารละลายปองโซ 4 อาร์ ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 50 โวลต์







ครั้งที่	เวลา (นาที)	ภาพแสดงการเคลื่อนที่ของสาร	ระยะทางที่สารเคลื่อนที่ เข้าหาขั้วไฟฟ้า (ซม.)	
			ขั้วแคโทด	ขั้วแอโนด
1	5		0	1.2
	10		0.1	2.0
	15		0.3	2.8
2	5		0	1.1
	10		0.1	1.7
	15		0.2	2.5

จากตาราง 8 พบว่าภายใต้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 50 โวลต์ สารละลายปองโซ 4 อาร์ จะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าแอโนดซึ่งเป็นขั้วบวก และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 10 และ 15 นาที สารละลายปองโซ 4 อาร์ จะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าแอโนดมากขึ้นตามลำดับ



1.2 การศึกษาการเคลื่อนที่ของสารละลายเมทิลีนบลูด้วยเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส  
ได้ผลการทดลองดังแสดงในตาราง 9

ตาราง 9 ตำแหน่งและระยะทางการเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าของสารละลายเมทิลีนบลู ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 50 โวลต์

ครั้งที่	เวลา (นาท)	ภาพแสดงการเคลื่อนที่ของสาร	ระยะทางที่สารเคลื่อนที่ เข้าหาขั้วไฟฟ้า (ซม.)	
			ขั้วแคโทด	ขั้วแอโนด
1	5		1.3	0.5
	10		2.8	1.0
	15		5.5	2.2
2	5		1.5	0.5
	10		3.1	1.3
	15		5.5	1.9

จากตาราง 9 พบว่าภายใต้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 50 โวลต์ สารละลายเมทิลีนบลูจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าแคโทดซึ่งเป็นขั้วลบ และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 10 และ 15 นาที สารละลายเมทิลีนบลูจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าแคโทดมากขึ้นตามลำดับ










จากผลการศึกษาการเคลื่อนที่ของสารละลายปองโซ 4 อาร์ และสารละลายเมทิลีนบลูด้วยเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิสภายใต้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 50 โวลต์ พบว่าสารละลายปองโซ 4 อาร์เคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าแอโนด (ขั้วบวก) และสารละลายเมทิลีนบลูเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าแคโทด (ขั้วลบ) เนื่องจากสารละลายปองโซ 4 อาร์ เมื่ออยู่ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 250 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 7.0 แตกตัวให้ประจุลบ ดังนั้นเมื่ออยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าสารที่มีประจุลบจึงเกิดการเคลื่อนที่เข้า

หาข้าวไฟฟ้าที่มีประจุบวก ในขณะที่สารละลายเมทิลีนบลูเมื่ออยู่ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 250 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 7.0 แยกตัวให้ประจุบวก ดังนั้นเมื่ออยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าสารที่มีประจุบวกจึงเกิดการเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าที่มีประจุลบนั่นเอง

## 2. การแยกสารตัวอย่าง

การแยกสารตัวอย่าง ซึ่งเป็นสารละลายผสมระหว่างสารละลายปองโซ 4 อาร์ กับ สารละลายเมทิลีนบลูด้วยเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ ได้ผลการทดลองดัง แสดงในตาราง 10

ตาราง 10 การเคลื่อนที่ของสารตัวอย่างที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ

ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)	เวลา (นาท)	ภาพแสดงการเคลื่อนที่ของสารตัวอย่าง
50	5	 +
	10	 +
	15	 +
40	5	 +
	10	 +
	15	 +
10	5	 +
	10	 +
	15	 +

จากตาราง 10 พบว่าภายใต้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 50 โวลต์ เมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที สารตัวอย่างซึ่งมีสีม่วงเกิดการเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าแคโทดและแอโนดเล็กน้อย เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที สารตัวอย่างเกิดการแยกมากขึ้น โดยสารละลายปอซโซ 4 อาร์ ซึ่งมีสีแดงเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าแอโนด ส่วนสารละลายเมทิลีนบลูซึ่งมีสีน้ำเงินเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าแคโทด และเมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที สารตัวอย่างเกิดการแยกที่ชัดเจน สำหรับการทดลองภายใต้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 40 โวลต์ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที สารตัวอย่างซึ่งมีสีม่วงเกิดการเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าแคโทดและแอโนดเล็กน้อย เมื่อเวลาผ่านไป 10 และ 15 นาที ตามลำดับ สารตัวอย่างเกิดการแยกมากขึ้น โดยสารละลายปอซโซ 4 อาร์ ซึ่งมีสีแดงเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าแอโนด ในขณะที่สารละลายเมทิลีนบลูซึ่งมีสีน้ำเงินเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าแคโทด แต่การเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าแต่ละชนิดมีระยะทางการเคลื่อนที่น้อยกว่าการใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 50 โวลต์ สำหรับการทดลองภายใต้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 โวลต์ พบว่าสารตัวอย่างไม่เกิดการแยก ถึงแม้จะทดลองจนกระทั่งผ่านไป 15 นาทีแล้วก็ตาม ยังคงเห็นเป็นสารละลายสีม่วง ซึ่งเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าในระยะทางเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

จากการทดลองสรุปได้ว่า การแยกสารตัวอย่าง ซึ่งเป็นสารละลายผสมระหว่างสารละลายปอซโซ 4 อาร์ กับสารละลายเมทิลีนบลูด้วยเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ พบว่าภายใต้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 50 โวลต์ เมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที สารตัวอย่างเกิดการแยกอย่างชัดเจน โดยสารละลายปอซโซ 4 อาร์ ซึ่งมีสีแดงเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าแอโนด ในขณะที่สารละลายเมทิลีนบลูซึ่งมีสีน้ำเงินเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าแคโทด เนื่องจากสารที่มีประจุต่างกันจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าต่างชนิดกัน เมื่อลดความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็น 40 โวลต์ พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที สารตัวอย่างสามารถเกิดการแยกได้เช่นกัน แต่ระยะทางการเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าแต่ละชนิดน้อยกว่าการใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 50 โวลต์ และเมื่อลดความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็น 10 โวลต์ พบว่าสารตัวอย่างไม่สามารถแยกได้ ยังคงเห็นเป็นสารละลายสีม่วงเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้า เป็นผลเนื่องจากการลดความต่างศักย์ไฟฟ้ามีผลทำให้พลังงานไฟฟ้าน้อยลง สารแต่ละชนิดจึงเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าได้ช้าลง ความสามารถในการแยกจึงลดลงด้วย

จากการสร้างอุปกรณ์อิเล็กโทรโฟรีซิสขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสมในงานวิจัยนี้ จะสามารถทำการทดลองได้ภายใต้ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุด คือ 50 โวลต์ เนื่องจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่สร้างขึ้นนี้เป็นแบบกำลังต่ำ สามารถให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าได้ในช่วง 0 - 50 โวลต์ เท่านั้น ลักษณะแสดงดังภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกำลังต่ำที่สร้างขึ้น

การทดลองแยกสารผสมด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กภายใต้ความต่างศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0 - 50 โวลต์ มีพลังงานไฟฟ้าไม่สูงพอที่จะทำให้สารเกิดการเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว ประสิทธิภาพในการแยกสารผสมจึงลดลงด้วย ดังนั้น เพื่อให้การทดลองแยกสารผสมด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กมีประสิทธิภาพในการแยกมากยิ่งขึ้น ควรพัฒนาแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงให้มีพลังงานไฟฟ้าสูงขึ้น

**ขั้นตอนในการสร้างบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ ผู้วิจัยดำเนินการดังนี้**

1. ศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2554 เพื่อศึกษาโครงสร้างหลักสูตร รายวิชา และการพัฒนาผลการเรียนรู้ในด้านต่าง ๆ ผู้วิจัยมีความสนใจในรายวิชาที่อยู่ในหมวดวิชาเฉพาะในรายวิชา ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2 รหัสวิชา คม 390 โดยต้องการพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ในเรื่องการแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบกระดาษ เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ และเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีความสอดคล้องกับคำอธิบายในรายวิชาดังกล่าว

2. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหลักการของบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ วิธีการสร้างบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และศึกษารายละเอียดของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2

3. ผู้วิจัยลงมือทำการทดลองและนำผลการทดลองในห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ได้นำเสนอในข้างต้น มาเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการกำหนดขอบเขตการดำเนินการทดลองของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์แต่ละบท เพื่อสร้างและพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิค

โครมาโทกราฟีและเทคนิค อิเล็กโทรโฟรีซิส เพื่อใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพการเรียนรู้สำหรับนิสิตปริญญาตรีชั้นปีที่ 3 หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

4. กำหนดโครงสร้างและองค์ประกอบของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ โดยในแต่ละบทปฏิบัติการ มีรายละเอียดดังนี้

- ชื่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์
- วัตถุประสงค์
- หลักการ
- เครื่องมือและอุปกรณ์
- สารเคมีและสารตัวอย่าง
- วิธีการทดลอง
- แบบบันทึกผลการทดลอง

5. นำผลการทดลองในห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ โครงสร้างและองค์ประกอบของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ในแต่ละบทปฏิบัติการที่กำหนดไว้เรียบร้อยแล้วเสนอต่อประธานและกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ เพื่อดำเนินการตรวจสอบ พิจารณาความถูกต้องและความเหมาะสมในด้านต่าง ๆ

6. นำข้อเสนอแนะที่ได้มาดำเนินการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง

7. สร้างบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ประกอบด้วย 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 การแยกวงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ

การทดลองที่ 2 การแยกควัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ

การทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กโทรโฟรีซิสขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม

8. สร้างแบบบันทึกผลการทดลองปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ โดยให้มีเนื้อหาสอดคล้องและเหมาะสมกับบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เพื่อกระตุ้นกระบวนการคิดในทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการในด้านทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป

9. จัดทำแบบบันทึกแนวทางในการบันทึกผลการทดลองของแต่ละบทปฏิบัติการ

10. นำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิสแบบบันทึกผลการทดลองปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ และแบบบันทึกแนวทางในการบันทึกผลการทดลองที่สร้างไว้เรียบร้อยแล้วเสนอต่อประธานและกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ เพื่อดำเนินการตรวจสอบ พิจารณาความถูกต้องและความเหมาะสมในด้านต่าง ๆ

11. นำข้อเสนอแนะที่ได้มาดำเนินการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง

**วิธีการหาคุณภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ผู้วิจัยดำเนินการดังนี้**

1. ประเมินคุณภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยผู้เชี่ยวชาญ ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1.1 การประเมินความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยผู้วิจัยนำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ซึ่งประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านเคมีศึกษา 1 ท่าน เพื่อพิจารณาองค์ประกอบของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์โดยใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ตามแนวคิดของลิเคิร์ท (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2543: 117) โดยกำหนดระดับความคิดเห็นแต่ละช่วงคะแนนมีความหมายดังนี้

ระดับคะแนน 5 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก

ระดับคะแนน 4 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับดี

ระดับคะแนน 3 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับปานกลาง

ระดับคะแนน 2 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับพอใช้

ระดับคะแนน 1 หมายถึง ผลการประเมินอยู่ในระดับควรปรับปรุง

นำคะแนนการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์จากผู้เชี่ยวชาญมาหาค่าคะแนนเฉลี่ย โดยให้ความหมายของค่าเฉลี่ยเป็น 5 ระดับ ดังนี้

คะแนนเฉลี่ย 4.51 - 5.00 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด

คะแนนเฉลี่ย 3.51 - 4.50 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก

คะแนนเฉลี่ย 2.51 - 3.50 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง

คะแนนเฉลี่ย 1.51 - 2.50 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับพอใช้

คะแนนเฉลี่ย 1.00 - 1.50 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับควรปรับปรุง

ผลการประเมินความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ได้ผลสรุปดังแสดงในตาราง 11 (ดูรายละเอียดในตาราง 18 ภาคผนวก ข)

ตาราง 11 ค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความเหมาะสมของบทปฏิบัติการ เคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความเหมาะสม
1. วัตถุประสงค์ของการทดลองมีความชัดเจนและเป็นไปได้	5.00	1.67	มากที่สุด
2. วัตถุประสงค์ของการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	5.00	1.67	มากที่สุด
3. หลักการของการทดลองมีความเป็นไปได้ในการนำไปปฏิบัติจริง	5.00	1.67	มากที่สุด
4. หลักการของการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	5.00	1.67	มากที่สุด
5. หลักการของการทดลองครอบคลุมความรู้ที่ผู้เรียนควรได้รับ	4.33	2.02	มาก
6. หลักการของการทดลองทำให้ผู้เรียนเข้าใจวิธีการทดลองมากขึ้น	4.00	1.33	มาก
7. การออกแบบการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	4.67	2.13	มากที่สุด
8. การทดลองมีลำดับขั้นตอนที่เหมาะสม	4.67	2.13	มากที่สุด
9. การทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษมีความเหมาะสม	4.67	2.13	มากที่สุด
10. การทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ มีความเหมาะสม	4.33	2.60	มาก
11. การทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กโทรโฟรีซิสขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสมมีความเหมาะสม	4.33	2.60	มาก

ตาราง 11 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความเหมาะสม
12. วิธีการทดลองมีความเหมาะสมที่จะนำไปสู่การ บรรลุวัตถุประสงค์ของการทดลอง	4.33	2.02	มาก
13. ระยะเวลาในการทดลองมีความเหมาะสม	4.33	2.02	มาก
14. การทดลองส่งเสริมให้เกิดแรงจูงใจในการเรียน	4.67	2.13	มากที่สุด
15. การทดลองทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในหลักการ และทฤษฎี	4.00	1.33	มาก
16. การทดลองนี้ได้ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการลงมือ ศึกษา ค้นคว้า และทดลองด้วยตนเอง	4.67	2.13	มากที่สุด
17. การทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ใน ชีวิตประจำวันได้	4.33	2.02	มาก
18. ความถูกต้องของภาษา	4.33	2.02	มาก
19. ขนาดของตัวอักษรและภาพประกอบมีความ เหมาะสม	4.33	2.02	มาก
20. รูปแบบของการทดลองมีความเหมาะสม	4.33	2.02	มาก
<b>ภาพรวม</b>	<b>4.52</b>	<b>1.97</b>	<b>มากที่สุด</b>

จากตาราง 11 แสดงค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟเรซิส จากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พบว่าภาพรวมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ มีค่าคะแนนเฉลี่ยความเหมาะสมเท่ากับ 4.52 และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.97 แสดงว่า องค์ประกอบของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด

1.2 การประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ โดยผู้วิจัย นำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ซึ่งเป็นชุดเดียวกับผู้เชี่ยวชาญที่ประเมินความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เพื่อพิจารณาความสอดคล้องของเนื้อหา



องค์ประกอบของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ โดยใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 3 ระดับคือ สอดคล้อง ไม่น่าใจ ไม่น่าใจ ซึ่งกำหนดเกณฑ์การพิจารณา (ชูศรี วงศ์รัตน์, 2553: 73) ดังนี้

คะแนน +1 หมายถึง เมื่อแน่ใจว่าข้อความสอดคล้องกับคุณลักษณะตามนิยาม

คะแนน 0 หมายถึง เมื่อไม่แน่ใจว่าข้อความสอดคล้องกับคุณลักษณะตามนิยาม

คะแนน -1 หมายถึง เมื่อแน่ใจว่าข้อความไม่สอดคล้องกับคุณลักษณะตามนิยาม

ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ทั้ง 3 การทดลอง จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.67 - 1.00 (ดูรายละเอียดในตาราง 19 - 21 ภาคผนวก ข)

จากข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ พบว่าบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ควรปรับปรุงเนื้อหาในแต่ละบทปฏิบัติการให้มีเนื้อหาที่ครอบคลุมประเด็นสำคัญ และมีความชัดเจน ปรับปรุงการใช้ภาษาให้ผู้เรียนเข้าใจในหลักการ และวิธีการทดลองมากยิ่งขึ้น โดยผู้วิจัยนำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์มาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้ คือ เรียบเรียงเนื้อหาในส่วนของหลักการให้มีความถูกต้องและชัดเจนมากยิ่งขึ้น เพิ่มเติมเนื้อหาให้ครอบคลุมกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้ และปรับสำนวนภาษาในวิธีการทดลองให้มีความชัดเจน ผู้เรียนจะได้เข้าใจในขั้นตอนการทดลองและสามารถปฏิบัติตามการทดลองได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

2. การหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยนำไปทดลองสอนกับนิสิตกลุ่มย่อยที่ไม่ใช่นิสิตกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนิสิตปริญญาตรี หลักสูตรการศึกษาระดับบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ไม่เคยเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

2.1 นำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ผ่านการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่านแล้ว ไปทดลองสอนกับนิสิตกลุ่มย่อยที่ไม่ใช่นิสิตกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 3 คน ทำการทดสอบทีละคน โดยให้นิสิตอ่านบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เพื่อดูความชัดเจนในการใช้ภาษา เนื้อหา และขั้นตอนในการทดลอง ตลอดจนความเหมาะสมขององค์ประกอบของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ โดยการสังเกตจากผู้วิจัยและการสอบถามความคิดเห็นของนิสิต พบว่า บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์มีเนื้อหาที่ครอบคลุมกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้ และสอดคล้องกับวิธีการทดลอง ทำให้นิสิตเข้าใจวิธีการทดลองในแต่ละขั้นตอนว่าทำเพื่อจุดประสงค์ใด การอธิบายวิธีการทดลองในบางข้อมีความซับซ้อนและไม่ชัดเจน ประกอบกับการใช้ภาษาที่เข้าใจยาก ผู้วิจัยจึงได้นำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์มาปรับปรุงแก้ไขตาม

ข้อเสนอแนะของนิสิต ดังนี้ คือ ในด้านวิธีการทดลองผู้วิจัยได้เรียบเรียงขั้นตอนการทดลองใหม่ให้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น และปรับเปลี่ยนการใช้ภาษาให้ผู้เรียนอ่านเข้าใจได้ง่าย

2.2 นำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ผ่านการปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 1 ไปทดลองสอนกับนิสิตกลุ่มย่อยที่ไม่ใช่ นิสิตกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 10 คน โดยให้นิสิตทำการทดลองเป็นกลุ่ม ๆ ละ 2 คน นิสิตทำการทดลองตามบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ทำแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส เพื่อหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์จาก  $E_1$  และ  $E_2$  โดยที่

$E_1$  หมายถึง ค่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของนิสิตทั้งหมดที่ทำแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์

$E_2$  หมายถึง ค่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของนิสิตทั้งหมดที่ทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

จากการนำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ไปทดลองสอนกับนิสิตกลุ่มย่อยที่ไม่ใช่ นิสิตกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 10 คน พบว่า นิสิตทำแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ได้คะแนนเฉลี่ยร้อยละ 78.68 และทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ได้คะแนนเฉลี่ยร้อยละ 79.33 สรุปได้ว่า บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิภาพ  $E_1/E_2$  เท่ากับ 78.68/79.33 (ดูรายละเอียดในตาราง 34 ภาคผนวก ค) ผู้วิจัยจึงได้นำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ไปปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 2 โดยเพิ่มเติมเนื้อหาให้มีความละเอียดและชัดเจนมากยิ่งขึ้น เพิ่มเติมและเรียบเรียงขั้นตอนการทดลองใหม่ และปรับปรุงสำนวนภาษาที่ใช้ให้ชัดเจนและถูกต้องเพื่อให้ผู้เรียนสามารถอ่านและปฏิบัติตามการทดลองได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

2.3 นำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ผ่านการปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 2 ไปทดลองสอนกับนิสิตกลุ่มย่อยที่ไม่ใช่ นิสิตกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน โดยให้นิสิตทำการทดลองเป็นกลุ่ม ๆ ละ 2 คน โดยทำการทดลองตามบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ทำแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส เพื่อหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ให้เป็นไปตามเกณฑ์  $E_1/E_2$  ไม่น้อยกว่า 80/80 โดยใช้คะแนนทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์และคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

จากการนำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ไปทดลองสอนกับนิสิตที่ไม่ใช่นิสิตกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน พบว่า นิสิตทำแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ได้คะแนนเฉลี่ยร้อยละ 80.19 และทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ได้คะแนนเฉลี่ยร้อยละ 80.44 สรุปได้ว่า บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิภาพ  $E_1/E_2$  เท่ากับ 80.19/80.44 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์  $E_1/E_2$  ไม่น้อยกว่า 80/80 (ดูรายละเอียดในตาราง 35 ภาคผนวก ค)

### ขั้นตอนในการสร้างแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ผู้วิจัยดำเนินการสร้างดังนี้

1. ศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2554 เพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะและพฤติกรรมที่หลักสูตรต้องการให้นิสิตได้รับ
2. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ และการสร้างแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์
3. จัดทำตารางวิเคราะห์ข้อสอบ โดยแสดงความสัมพันธ์ของจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมกับเนื้อหาวิชาของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ นำข้อมูลที่ได้มาสร้างแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ โดยแบ่งเป็นบทปฏิบัติการละ 10 ข้อ จำนวน 3 บทปฏิบัติการ รวมทั้งหมด 30 ข้อ ซึ่งเป็นแบบทดสอบอัตนัย เพื่อวัดพฤติกรรมการเรียนรู้ 4 ด้านคือ ความรู้-ความจำ ความเข้าใจ การนำไปใช้ และการวิเคราะห์
4. จัดทำแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์
5. นำแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์และแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่สร้างไว้เรียบร้อยแล้วเสนอต่อประธานและกรรมการควบคุมปริญญาพันธ์ เพื่อดำเนินการตรวจสอบ พิจารณาความถูกต้องและความเหมาะสมในด้านต่าง ๆ
6. นำข้อเสนอแนะที่ได้มาดำเนินการปรับปรุง แก้ไขจุดบกพร่อง

### วิธีการหาคุณภาพของแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ผู้วิจัยดำเนินการดังนี้

1. ประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ โดยผู้วิจัยนำแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ซึ่งเป็นชุดเดียวกับผู้เชี่ยวชาญที่ประเมินความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เพื่อพิจารณาความสอดคล้องของข้อคำถาม โดยใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 3 ระดับคือ สอดคล้อง ไม่น่าใจ ไม่สอดคล้อง ซึ่งกำหนดเกณฑ์การพิจารณา (ชูศรี วงศ์รัตน์, 2553: 73) ดังนี้

คะแนน +1 หมายถึง เมื่อแน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับคุณลักษณะตามนิยาม  
 คะแนน 0 หมายถึง เมื่อไม่แน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับคุณลักษณะตามนิยาม  
 คะแนน -1 หมายถึง เมื่อแน่ใจว่าข้อคำถามไม่สอดคล้องกับคุณลักษณะตามนิยาม  
 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ทั้ง 3 การทดลอง จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.67 - 1.00 (ดูรายละเอียดในตาราง 22 - 24 ภาคผนวก ข)

จากข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ พบว่าแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ควรปรับปรุงข้อคำถามให้มีความสอดคล้องกับพฤติกรรมการเรียนรู้ที่ต้องการวัดมากขึ้น และให้ครอบคลุมเนื้อหา ปรับปรุงการใช้ภาษาเพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจในข้อคำถาม โดยผู้วิจัยนำแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์มาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้ คือ แก้ไขข้อคำถามให้มีความสอดคล้องกับหลักการและพฤติกรรมการเรียนรู้ที่ต้องการวัด โดยใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย ไม่กำกวม ปรับปรุงให้ข้อคำถามเป็นประโยคที่กระชับได้ใจความ

2. ประเมินคุณภาพของแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ โดยผู้วิจัยนำแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ซึ่งเป็นชุดเดียวกับผู้เชี่ยวชาญที่ประเมินความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา โดยใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 3 ระดับคือ สอดคล้อง ไม่แน่ใจ ไม่สอดคล้อง ซึ่งกำหนดเกณฑ์การพิจารณา (ชูศรีวงศ์รัตน์, 2553: 73) ดังนี้

คะแนน +1 หมายถึง เมื่อแน่ใจว่าเกณฑ์การพิจารณาคำตอบเหมาะสม

คะแนน 0 หมายถึง เมื่อไม่แน่ใจว่าเกณฑ์การพิจารณาคำตอบเหมาะสม

คะแนน -1 หมายถึง เมื่อแน่ใจว่าเกณฑ์การพิจารณาคำตอบไม่เหมาะสม

ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ทั้ง 3 การทดลอง จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.67 - 1.00 (ดูรายละเอียดในตาราง 25 - 27 ภาคผนวก ข)

จากข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ พบว่าแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ควรปรับปรุงคำตอบให้มีความถูกต้องและสอดคล้องกับข้อคำถาม ปรับปรุงเกณฑ์การให้คะแนน โดยผู้วิจัยนำแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์มาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้ คือ ปรับปรุงคำตอบของแต่ละข้อให้มีความถูกต้องและครอบคลุมทุกประเด็นที่ถาม พร้อมทั้งปรับเกณฑ์การให้คะแนนในแต่ละข้อให้มีความเหมาะสมตามความยากง่ายของข้อคำถาม

3. นำแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ผ่านการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ไปทดลองใช้กับนิสิตกลุ่มย่อยที่ไม่ใช่ นิสิตกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนิสิตปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่เคยเรียนเนื้อหาเรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิค อิเล็กโทรโฟรีซิส จำนวน 30 คน เพื่อวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย ( $p$ ) และค่าอำนาจจำแนก ( $r$ ) ของ ข้อสอบเป็นรายข้อ โดยคัดเลือกข้อสอบไว้ จำนวน 15 ข้อ แบ่งเป็นบทปฏิบัติการละ 5 ข้อ จำนวน 3 บทปฏิบัติการ ซึ่งมีค่าความยากง่ายและค่าอำนาจจำแนก ดังแสดงในตาราง 12

ตาราง 12 ค่าความยากง่าย และค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์

แบบทดสอบระหว่างเรียน บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ การทดลองที่	ค่าความยากง่าย	ค่าอำนาจจำแนก
1	0.60 - 0.74	0.20 ขึ้นไป
2	0.63 - 0.80	0.23 ขึ้นไป
3	0.70 - 0.80	0.20 ขึ้นไป
<b>ภาพรวม</b>	0.60 - 0.80	0.20 ขึ้นไป

จากตาราง 12 พบว่าแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ในการทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ มีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.60 - 0.74 และมีค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป (ดูรายละเอียดในตาราง 36 ภาคผนวก ง) การทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ มีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.63 - 0.80 และมีค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.23 ขึ้นไป (ดูรายละเอียดในตาราง 37 ภาคผนวก ง) และการทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กโทรโฟรีซิสขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม มีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.80 และมีค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป (ดูรายละเอียดในตาราง 38 ภาคผนวก ง)

4. นำแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ได้คัดเลือกไว้จำนวน 15 ข้อ แบ่งเป็นบทปฏิบัติการละ 5 ข้อ จำนวน 3 บทปฏิบัติการ มาวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นโดยใช้สูตรหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัค พบว่าแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ในการ

ทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.58 การทดลองที่ 2 การแยกควัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.68 และการทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์ อิเล็กโทรโฟรีซิสขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.50 (ดูรายละเอียดในตาราง 36 - 38 ภาคผนวก ง)

### **ขั้นตอนในการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ผู้วิจัยดำเนินการสร้างดังนี้**

1. ศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษา สาขาวิชาเคมี ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2554 เพื่อวิเคราะห์หลักสูตร จุดประสงค์การเรียนรู้ เนื้อหา และพฤติกรรมการเรียนรู้ที่ต้องการวัด

2. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

3. จัดทำตารางวิเคราะห์ข้อสอบ โดยแสดงความสัมพันธ์ของจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมกับเนื้อหาวิชาที่ต้องการวัด นำมาสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เป็นข้อสอบปรนัยแบบเลือกตอบ 5 ตัวเลือก โดยแบ่งเป็นบทปฏิบัติการละ 20 ข้อ จำนวน 3 บทปฏิบัติการ รวมทั้งหมด 60 ข้อ ซึ่งวัดพฤติกรรมการเรียนรู้ 4 ระดับ คือ ความรู้-ความจำ ความเข้าใจ การนำไปใช้ และการวิเคราะห์ โดยแต่ละข้อมีตัวเลือกที่เป็นคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงคำตอบเดียว และมีเกณฑ์การให้คะแนนในแต่ละข้อ คือ ถ้าตอบคำถามถูกต้องได้ 1 คะแนน ถ้าตอบคำถามไม่ถูกต้องหรือไม่ตอบได้ 0 คะแนน

4. นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ที่สร้างไว้เรียบร้อยแล้วเสนอต่อประธานและกรรมการควบคุมปริญญาโท เพื่อดำเนินการตรวจสอบ พิจารณาความถูกต้องและความเหมาะสมในด้านต่าง ๆ

5. นำข้อเสนอนี้ที่ได้มาดำเนินการปรับปรุง แก้ไขจุดบกพร่อง

### **วิธีการหาคุณภาพของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ผู้วิจัยดำเนินการดังนี้**

1. ประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยผู้วิจัยนำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ซึ่งเป็นชุดเดียวกับผู้เชี่ยวชาญที่ประเมินความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เพื่อพิจารณาความสอดคล้องและความเหมาะสมของข้อคำถาม โดย

ใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 3 ระดับคือ สอดคล้อง ไม่แน่ใจ ไม่สอดคล้อง ซึ่งกำหนดเกณฑ์การพิจารณา (ชูศรี วงศ์รัตน์. 2553: 73) ดังนี้

คะแนน +1 หมายถึง เมื่อแน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับคุณลักษณะตามนิยาม

คะแนน 0 หมายถึง เมื่อไม่แน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับคุณลักษณะตามนิยาม

คะแนน -1 หมายถึง เมื่อแน่ใจว่าข้อคำถามไม่สอดคล้องกับคุณลักษณะตามนิยาม

ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.67 - 1.00 (ดูรายละเอียดในตาราง 28 ภาคผนวก ข)

จากข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ พบว่าแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ควรปรับปรุงข้อคำถามให้มีความสอดคล้องกับพฤติกรรมการณ์การเรียนรู้ที่ต้องการวัดมากขึ้นและครอบคลุมเนื้อหา ปรับปรุงตัวเลือกเพื่อให้มีความยากง่ายที่มีความเหมาะสม และควรใช้ภาษาที่ทำให้ผู้เรียนเข้าใจในข้อคำถามโดยผู้วิจัยนำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้ คือ ปรับปรุงข้อคำถามให้มีความสอดคล้องกับหลักการและพฤติกรรมการณ์การเรียนรู้ที่ต้องการวัด ปรับปรุงตัวเลือกให้มีความถูกต้องและเหมาะสมโดยไม่ยากหรือง่ายเกินไป โดยปรับปรุงข้อคำถามและตัวเลือกให้ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย ไม่กำกวม และเป็นประโยคที่กระชับได้ใจความ

2. นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ที่ผ่านการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ไปทดลองใช้กับนิสิตกลุ่มย่อยที่ไม่ใช่นิสิตกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนิสิตปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่เคยเรียนเนื้อหาเรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส จำนวน 30 คน เพื่อวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของข้อสอบเป็นรายข้อ โดยคัดเลือกข้อสอบไว้ จำนวน 30 ข้อ แบ่งเป็นบทปฏิบัติการละ 10 ข้อ จำนวน 3 บทปฏิบัติการ ซึ่งมีค่าความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.30 - 0.80 และค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป (ดูรายละเอียดในตาราง 39 ภาคผนวก ง)

3. นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ที่ได้คัดเลือกไว้จำนวน 30 ข้อ มาวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ โดยใช้สูตร KR-20 ของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน (Kuder-Richardson) พบว่าแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.83 (ดูรายละเอียดในตาราง 39 ภาคผนวก ง)

### ขั้นตอนในการสร้างแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้น บูรณาการ ผู้วิจัยดำเนินการสร้างดังนี้

1. ศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2554 เพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะ พฤติกรรมที่หลักสูตรต้องการให้บัณฑิตได้รับ
2. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และการสร้างแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์
3. จัดทำตารางวิเคราะห์ข้อสอบ โดยแสดงความสัมพันธ์ของจุดประสงค์เชิงพฤติกรรมกับ เนื้อหาวิชาของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ นำข้อมูลที่ได้มาสร้างแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ จำนวน 20 ข้อ ซึ่งเป็นแบบทดสอบอัตนัย ที่กระตุ้นกระบวนการคิดใน ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ จำนวน 3 ทักษะ คือ ทักษะการกำหนดและควบคุม ตัวแปร ทักษะการทดลอง และทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป
4. จัดทำแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ
5. นำแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการและแบบประเมิน คำตอบของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการที่สร้างไว้เรียบร้อยแล้ว เสนอต่อประธานและกรรมการควบคุมปริญญาพันธ์ เพื่อดำเนินการตรวจสอบ พิจารณาความถูกต้อง และความเหมาะสมในด้านต่าง ๆ
6. นำข้อเสนอนี้ที่ได้มาดำเนินการปรับปรุง แก้ไขจุดบกพร่อง

### วิธีการหาคุณภาพของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้น บูรณาการ ผู้วิจัยดำเนินการดังนี้

1. ประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ โดยผู้วิจัยนำแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ซึ่งเป็นชุดเดียวกับผู้เชี่ยวชาญที่ประเมินความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เพื่อพิจารณาความสอดคล้องของข้อคำถามกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด โดยใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 3 ระดับคือ สอดคล้อง ไม่แน่ใจ ไม่สอดคล้อง ซึ่งกำหนดเกณฑ์การพิจารณา (ชูศรี วงศ์รัตน์. 2553: 73) ดังนี้

- คะแนน +1 หมายถึง เมื่อแน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด
- คะแนน 0 หมายถึง เมื่อไม่แน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด
- คะแนน -1 หมายถึง เมื่อแน่ใจว่าข้อคำถามไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด



ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.67 - 1.00 (ดูรายละเอียดในตาราง 29 ภาคผนวก ข)

จากข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ พบว่าแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ควรปรับปรุงข้อคำถามให้มีความสอดคล้องกับหลักการและวิธีการทดลองในแต่ละบทปฏิบัติการ และครอบคลุมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการที่ต้องการวัด โดยผู้วิจัยนำแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการมาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้ คือ ปรับปรุงข้อคำถามให้มีความสอดคล้องกับหลักการและนิยามศัพท์เฉพาะมากยิ่งขึ้น ปรับปรุงข้อคำถามให้มีความยากง่ายที่เหมาะสมและกระตุ้นกระบวนการคิดในทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการมากยิ่งขึ้น

2. ประเมินคุณภาพของแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ โดยผู้วิจัยนำแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ซึ่งเป็นชุดเดียวกับผู้เชี่ยวชาญที่ประเมินความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา โดยใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 3 ระดับคือ สอดคล้อง ไม่แน่ใจ ไม่สอดคล้อง ซึ่งกำหนดเกณฑ์การพิจารณา (ชูศรี วงศ์รัตนะ, 2553: 73) ดังนี้

คะแนน +1 หมายถึง เมื่อแน่ใจว่าเกณฑ์การพิจารณาคำตอบเหมาะสม

คะแนน 0 หมายถึง เมื่อไม่แน่ใจว่าเกณฑ์การพิจารณาคำตอบเหมาะสม

คะแนน -1 หมายถึง เมื่อแน่ใจว่าเกณฑ์การพิจารณาคำตอบไม่เหมาะสม

ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.67 - 1.00 (ดูรายละเอียดในตาราง 30 ภาคผนวก ข)

จากข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ พบว่าแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ควรปรับปรุงคำตอบให้มีความถูกต้องและครอบคลุมกับข้อคำถาม ปรับปรุงเกณฑ์การให้คะแนน โดยผู้วิจัยนำแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการมาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้ คือ ปรับปรุงคำตอบของแต่ละข้อให้มีความถูกต้องและครอบคลุมทุกประเด็นที่ถาม พร้อมทั้งปรับเกณฑ์การให้คะแนนในแต่ละข้อให้มีความเหมาะสมตามความยากง่ายของข้อคำถาม

3. นำแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการที่ผ่านการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ไปทดลองใช้กับนิสิตกลุ่มย่อยที่ไม่ใช่ นิสิตกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนิสิต

ปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่เคยเรียนเนื้อหาเรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส จำนวน 30 คน เพื่อวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของข้อสอบเป็นรายข้อ โดยคัดเลือกข้อสอบไว้ จำนวน 15 ข้อ แบ่งเป็นทักษะละ 5 ข้อ จำนวน 3 ทักษะ ซึ่งมีค่าความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.40-0.78 และค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป (ดูรายละเอียดในตาราง 40 ภาคผนวก ง)

4. นำแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการที่ได้คัดเลือกไว้ จำนวน 15 ข้อ มาวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นโดยใช้สูตรหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัค พบว่าแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.56 (ดูรายละเอียดในตาราง 40 ภาคผนวก ง)

### ขั้นตอนในการสร้างแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ผู้วิจัยดำเนินการสร้างดังนี้

1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจ และการสร้างแบบสอบถามวัดความพึงพอใจ

2. กำหนดวัตถุประสงค์ เนื้อหา และเกณฑ์ในการวัดความพึงพอใจ

3. สร้างแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยแบ่งเป็นบทปฏิบัติการละ 20 ข้อ จำนวน 3 บทปฏิบัติการ รวมทั้งหมดเป็น 60 ข้อ เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 อันดับ ที่มีระดับความพึงพอใจ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย น้อยที่สุด โดยกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

ระดับความพึงพอใจ 5 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด

ระดับความพึงพอใจ 4 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

ระดับความพึงพอใจ 3 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง

ระดับความพึงพอใจ 2 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย

ระดับความพึงพอใจ 1 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อยที่สุด

นำค่าคะแนนเฉลี่ยที่ได้จากแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ แปลความหมายของค่าเฉลี่ยเป็น 5 ระดับ ดังนี้

คะแนนเฉลี่ย 4.51 - 5.00 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด

คะแนนเฉลี่ย 3.51 - 4.50 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

คะแนนเฉลี่ย 2.51 - 3.50 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง

คะแนนเฉลี่ย 1.51 - 2.50 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย

คะแนนเฉลี่ย 1.00 - 1.50 หมายถึง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อยที่สุด

4. นำแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ ที่สร้างไว้เรียบร้อยแล้วเสนอต่อประธานและกรรมการควบคุมปริญญาพันธ์ เพื่อดำเนินการตรวจสอบ พิจารณาความถูกต้องและความเหมาะสมในด้านต่าง ๆ

5. นำข้อเสนอแนะที่ได้มาดำเนินการปรับปรุง แก้ไขจุดบกพร่อง

### **วิธีการหาคุณภาพของแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ ผู้วิจัยดำเนินการดังนี้**

1. ประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ โดยผู้วิจัยนำแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ซึ่งเป็นชุดเดียวกับผู้เชี่ยวชาญที่ประเมินความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เพื่อพิจารณาความสอดคล้องของข้อคำถามกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด โดยใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 3 ระดับ คือ สอดคล้อง ไม่แน่ใจ ไม่สอดคล้อง ซึ่งกำหนดเกณฑ์การพิจารณา (ชูศรี วงศ์รัตน์, 2553: 73) ดังนี้

คะแนน +1 หมายถึง เมื่อแน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด

คะแนน 0 หมายถึง เมื่อไม่แน่ใจว่าข้อคำถามสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด

คะแนน -1 หมายถึง เมื่อแน่ใจว่าข้อคำถามไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมที่ต้องการวัด

ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.67 - 1.00 (ดูรายละเอียดในตาราง 31 - 33 ภาคผนวก ข)

จากข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ พบว่าแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ มีข้อคำถามบางข้อที่มีความคล้ายคลึงกัน และควรปรับปรุงการใช้ภาษา โดยผู้วิจัยนำแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ มาปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้ คือ ข้อคำถามใดที่มีความคล้ายคลึงกันผู้วิจัยจะเปลี่ยนข้อคำถามหรือเลือกข้อคำถามมาใช้เพียงข้อเดียว และปรับสำนวนภาษาให้ผู้เรียนเข้าใจง่าย กระชับได้ใจความ

2. นำแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ ที่ผ่านการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ไปทดลองใช้กับนิสิตกลุ่มย่อยที่ไม่ใช่นิสิตกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนิสิตปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่เคยเรียนเนื้อหาเรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 30 คน และคัดเลือกแบบสอบถามไว้ จำนวน 45 ข้อ แบ่งเป็นบทปฏิบัติการละ 15 ข้อ จำนวน 3 บทปฏิบัติการ มาวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นโดยใช้สูตรหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค พบว่าแบบสอบถามวัด

ความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ในการทดลองที่ 1 การแยกวงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.88 (ดูรายละเอียดในตาราง 41 ภาคผนวก ง) การทดลองที่ 2 การแยกวงควัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.90 (ดูรายละเอียดในตาราง 42 ภาคผนวก ง) และการทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.92 (ดูรายละเอียดในตาราง 43 ภาคผนวก ง)

### แบบแผนการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ซึ่งมีแบบแผนการวิจัยดังต่อไปนี้

1. การทดสอบสมมติฐานข้อที่ 1 บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับนิสิตปริญญาตรี มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์  $E_1/E_2$  ไม่น้อยกว่า 80/80 โดยทำการทดลองกับนิสิตปริญญาตรี หลักสูตรการศึกษาระดับบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ไม่เคยเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 30 คน โดยใช้คะแนนทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์และคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ เป็นเครื่องมือวัดโดยที่

$E_1$  หมายถึง ค่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของนิสิตทั้งหมดที่ทำแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ได้คะแนนไม่น้อยกว่าร้อยละ 80

$E_2$  หมายถึง ค่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของนิสิตทั้งหมดที่ทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ ได้คะแนนไม่น้อยกว่าร้อยละ 80

2. การทดสอบสมมติฐานข้อที่ 2 นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และสมมติฐานข้อที่ 3 นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 มีรูปแบบการวิจัยที่มีกลุ่มเดียวและมีการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน (One group pretest posttest design) (พวงรัตน์ ทวีรัตน์. 2543: 60) ดังตาราง 13

ตาราง 13 การวิจัยแบบ One group pretest posttest design

กลุ่ม	สอบก่อน	ทดลอง	สอบหลัง
E	T <sub>1</sub>	X	T <sub>2</sub>

- เมื่อ E แทน กลุ่มทดลอง (Experiment group)
- X แทน การเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส
- T<sub>1</sub> แทน การทดสอบก่อนเรียนโดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส และแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ
- T<sub>2</sub> แทน การทดสอบหลังเรียนโดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส และแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ

3. การทดสอบสมมติฐานข้อที่ 4 นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส อยู่ในระดับมาก มีรูปแบบการวิจัยที่มีกลุ่มเดียวและมีการวัดเฉพาะหลังเรียน

### การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลตามขั้นตอนดังนี้

- ดำเนินการสุ่มนิสิตปริญญาตรีชั้นปีที่ 3 หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชา ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2 รหัสวิชา คม 390 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556 จำนวน 22 คน โดยการสุ่มแบบเจาะจงเพื่อเป็นกลุ่มตัวอย่าง
- ทดสอบก่อนเรียนกับนิสิตกลุ่มตัวอย่างโดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส และแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ (คู่มือตัวอย่างแบบทดสอบในภาคผนวก ข)

3. ดำเนินการสอนนิสิตกลุ่มตัวอย่างด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส จำนวน 3 บทปฏิบัติการ เป็นเวลารวม 9 ชั่วโมง ภายหลังจากเรียนจบในแต่ละบทปฏิบัติการจะให้นิสิตทำแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ และส่งแบบบันทึกผลการทดลองปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ภายใน 1 สัปดาห์ หลังเรียนจบ (ดูตัวอย่างบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์และแบบทดสอบในภาคผนวก ข)

4. เมื่อนิสิตกลุ่มตัวอย่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ครบทั้ง 3 บทปฏิบัติการ ทำการทดสอบหลังเรียนโดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส (ดูตัวอย่างแบบทดสอบและแบบสอบถามในภาคผนวก ข)

5. นำคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และคะแนนหลังเรียนจากแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิค อิเล็กโทรโฟรีซิส มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อทดสอบสมมติฐานต่อไป

### **การจัดกระทำข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล**

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1. การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อพัฒนาเครื่องมือวิจัย ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1.1 การวิเคราะห์หาค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส แบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ แบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ แบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยใช้ค่าดัชนีความสอดคล้อง

1.2 การวิเคราะห์หาค่าความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยใช้สถิติการหาค่าเฉลี่ย

1.3 การวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของแบบทดสอบระหว่างเรียนนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส และแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ

1.4 การวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยใช้สูตร KR-20 ของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน

1.5 การวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบระหว่างเรียนนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยใช้สูตรหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค

2. การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทดสอบสมมติฐาน ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

2.1 การวิเคราะห์คะแนนจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส และแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิตกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สถิติ t - test for dependent samples

2.2 การวิเคราะห์คะแนนจากแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส หลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิตกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สถิติหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล มีดังนี้

3.1 สถิติพื้นฐาน

3.1.1 การหาค่าคะแนนเฉลี่ยของแบบทดสอบระหว่างเรียนนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส (ชูศรี วงศ์รัตน์. 2553: 106) คำนวณจากสูตร

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

เมื่อ  $\bar{X}$  แทน ค่าเฉลี่ยของคะแนน

$\Sigma X$  แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

$N$  แทน จำนวนคนทั้งหมด

3.1.2 การหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส (ชูศรี วงศ์รัตน์. 2553: 106) คำนวณจากสูตร

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

เมื่อ S.D. แทน ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$(\Sigma X)^2$  แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมดยกกำลังสอง

$\Sigma X^2$  แทน ผลรวมของคะแนนแต่ละตัวยกกำลังสอง

$N$  แทน จำนวนคนทั้งหมด

### 3.2 สถิติที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

3.2.1 การหาค่าดัชนีความสอดคล้องของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส แบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ แบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ แบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส (ชูศรี วงศ์รัตน์. 2553: 73) คำนวณจากสูตร

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

เมื่อ IOC แทน ดัชนีความสอดคล้อง

$\Sigma R$  แทน ผลรวมคะแนนของการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญ

$N$  แทน จำนวนผู้เชี่ยวชาญ



3.2.2 การหาค่าความยากง่าย (Difficulty index : p) และค่าอำนาจจำแนก (Discrimination Index : r) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยใช้เทคนิค 50% และวิเคราะห์ข้อสอบเป็นรายข้อ (Item analysis) (พิชิต ฤทธิจรรยา. 2553: 140-141) คำนวณจากสูตร

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

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

เมื่อ p แทน ค่าความยากง่ายของคำถามแต่ละข้อ  
 r แทน ค่าอำนาจจำแนก  
 $P_H$  แทน จำนวนคนที่ตอบถูกในกลุ่มสูง  
 $P_L$  แทน จำนวนคนที่ตอบถูกในกลุ่มต่ำ  
 n แทน จำนวนคนในกลุ่มสูงหรือกลุ่มต่ำ

3.2.3 การหาค่าความยากง่าย (Difficulty index : p) และค่าอำนาจจำแนก (Discrimination Index : r) ของแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ และแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ โดยใช้เทคนิค 50% และวิเคราะห์ข้อสอบเป็นรายข้อ (พิชิต ฤทธิจรรยา. 2553: 147) คำนวณจากสูตร

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

$$r = P_H - P_L$$

เมื่อ p แทน ค่าความยากง่ายของคำถามแต่ละข้อ  
 r แทน ค่าอำนาจจำแนก  
 $P_H$  แทน สัดส่วนของคะแนนที่ผู้สอบในกลุ่มสูงตอบถูก  
 $P_L$  แทน สัดส่วนของคะแนนที่ผู้สอบในกลุ่มต่ำตอบถูก

3.2.4 การหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยใช้สูตร KR-20 ของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน (พิชิต ฤทธิจัญญ. 2553: 157) คำนวณจากสูตร

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

- เมื่อ  $r_{tt}$  แทน ค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ  
 $n$  แทน จำนวนข้อของแบบทดสอบ  
 $S^2$  แทน ความแปรปรวนของคะแนนรวมทั้งฉบับ  
 $p$  แทน สัดส่วนของคนทำถูกในแต่ละข้อ  
 $q$  แทน สัดส่วนของคนทำผิดในแต่ละข้อ ( $q = 1-p$ )

3.2.5 การหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัค (พิชิต ฤทธิจัญญ. 2553: 158) คำนวณจากสูตร

$$\alpha = \frac{n}{n-1} \left\{ 1 - \frac{\sum S_i^2}{S^2} \right\}$$

- เมื่อ  $\alpha$  แทน ค่าสัมประสิทธิ์ความเชื่อมั่น  
 $n$  แทน จำนวนข้อของแบบสอบถาม  
 $\sum S_i^2$  แทน ผลรวมของคะแนนความแปรปรวนเป็นรายข้อ  
 $S^2$  แทน คะแนนความแปรปรวนของแบบสอบถามทั้งฉบับ

### 3.3 สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

3.3.1 การทดสอบสมมติฐานข้อที่ 1 เป็นการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ใช้สูตร  $E_1/E_2$  (เสาวนีย์ สิกขาบัณฑิต. 2528: 294-295) คำนวณจากสูตร

$$E_1 = \frac{\sum X_1}{n} \times 100$$

$$E_2 = \frac{\sum X_2}{n} \times 100$$

เมื่อ	$E_1$ หมายถึง	ค่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของนิสิตทั้งหมดที่ทำแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ได้คะแนนไม่น้อยกว่าร้อยละ 80
	$E_2$ หมายถึง	ค่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของนิสิตทั้งหมดที่ทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ได้คะแนนไม่น้อยกว่าร้อยละ 80
	$\sum X_1$ แทน	คะแนนรวมจากแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์
	$\sum X_2$ แทน	คะแนนรวมจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส
	n แทน	จำนวนนิสิตทั้งหมด
	A แทน	คะแนนเต็มรวมของแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์
	B แทน	คะแนนเต็มรวมของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

3.3.2 การทดสอบสมมติฐานข้อที่ 2 และ 3 เป็นข้อมูลที่ได้จากการทดสอบนิสิตกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นผลต่างของคะแนนก่อนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส จากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส และแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ โดยใช้สถิติ t-test for dependent samples (ชูศรี วงศ์รัตน์. 2553: 87) คำนวณจากสูตร

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

เมื่อ	t	แทน	ค่าที่ใช้พิจารณาแจกแจงแบบที่
	$\sum D$	แทน	ผลรวมของความแตกต่างระหว่างคะแนนการทดสอบก่อนและหลังใช้บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์
	$\sum D^2$	แทน	ผลรวมของความแตกต่างระหว่างคะแนนการทดสอบก่อนและหลังใช้บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์แต่ละตัวยกกำลังสอง
	n	แทน	จำนวนนิสิตกลุ่มตัวอย่าง

การทดสอบดังกล่าวใช้ระดับนัยสำคัญที่ .05 เป็นระดับในการทดสอบ

3.3.3 การทดสอบสมมติฐานข้อที่ 4 เป็นข้อมูลที่ได้จากการทดสอบนิสิตกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นคะแนนหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส จากแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส คำนวณจากสูตรหาค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลและการแปลผลข้อมูล ผู้วิจัยเสนอตามสมมติฐานของการวิจัย ดังนี้

สมมติฐานข้อที่ 1 บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส สำหรับนิสิตปริญญาตรี มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์  $E_1/E_2$  ไม่น้อยกว่า 80/80

สมมติฐานข้อที่ 2 นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สมมติฐานข้อที่ 3 นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สมมติฐานข้อที่ 4 นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส อยู่ในระดับมาก

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัย 2 ขั้นตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การพัฒนาและหาคุณภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส สำหรับนิสิตปริญญาตรี

สมมติฐานข้อที่ 1 บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส สำหรับนิสิตปริญญาตรี มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์  $E_1/E_2$  ไม่น้อยกว่า 80/80

ผู้วิจัยได้พัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส และนำไปทดลองใช้กับนิสิตกลุ่มย่อยที่ไม่ใช่นิสิตกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนิสิตปริญญาตรีหลักสูตรการศึกษาระดับบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ไม่เคยเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส จำนวน 30 คน เพื่อหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังแสดงในตาราง 14

ตาราง 14 ค่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของนิสิตทั้งหมดที่ทำแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ของนิสิตปริญญาตรี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 30 คน

การทดสอบ	บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์			ค่าร้อยละรวม ( $E_1$ )	ค่าร้อยละ ( $E_2$ )
	การทดลองที่	การทดลองที่	การทดลองที่		
	1	2	3		
ระหว่างเรียน	80.21	80.37	80.00	80.19	-
หลังเรียน	-	-	-	-	80.44

จากตาราง 14 พบว่านิสิตทำแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ได้คะแนนเฉลี่ยร้อยละ 80.19 และทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ได้คะแนนเฉลี่ยร้อยละ 80.44 จึงสรุปได้ว่า บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิภาพ  $E_1/E_2$  เท่ากับ  $80.19/80.44$  ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์  $E_1/E_2$  ไม่น้อยกว่า  $80/80$  และเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1 (ดูรายละเอียดในตาราง 35 ภาคผนวก ค)

**ตอนที่ 2 การศึกษาประสิทธิผลการเรียนรู้ของนิสิตปริญญาตรีที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส**

ผู้วิจัยได้นำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ที่มีประสิทธิภาพ  $E_1/E_2$  เท่ากับ  $80.19/80.44$  ซึ่งเป็นไปตามที่ตั้งไว้ ไปสอนนิสิตปริญญาตรีชั้นปีที่ 3 หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชา ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2 รหัสวิชา คม 390 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556 จำนวน 22 คน เพื่อศึกษาประสิทธิผลการเรียนรู้ของนิสิตปริญญาตรีตามสมมติฐาน ดังต่อไปนี้

**สมมติฐานข้อที่ 2 นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05**

ผู้วิจัยได้นำคะแนนจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยบท

ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์มาทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลต่างของคะแนนโดยใช้วิธีการทางสถิติแบบ t - test for dependent samples (ชูศรี วงศ์รัตน์. 2553: 87) ได้ผลดังแสดงในตาราง 15

ตาราง 15 ผลการเปรียบเทียบผลต่างของคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง

การทดสอบ	n	คะแนนเต็ม	$\bar{X}$	S.D.	t	df	p
ก่อนเรียน	22	30	9.82	3.10	-23.444*	21	.000
หลังเรียน	22	30	24.95	2.46			

\* ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตาราง 15 พบว่าคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ก่อนเรียนของนิสิตมีค่าคะแนนเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 9.82 และ 3.10 ตามลำดับ เมื่อนิสิตเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น พบว่าคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส หลังเรียนของนิสิตมีค่าคะแนนเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 24.95 และ 2.46 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลต่างของคะแนนโดยใช้วิธีการทางสถิติแบบ t - test for dependent samples ได้ค่าเท่ากับ -23.444 ค่าองศาความเป็นอิสระเท่ากับ 21 มีเลขนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .000 ซึ่งน้อยกว่า .05 แสดงว่า นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2 (ดูรายละเอียดในตาราง 44 ภาคผนวก จ)

สมมติฐานข้อที่ 3 นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผู้วิจัยได้นำคะแนนจากแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์มาทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลต่างของคะแนนโดยใช้วิธีการทางสถิติแบบ t - test for dependent samples (ชูศรี วงศ์รัตน์. 2553: 87) ได้ผลดังแสดงในตาราง 16

ตาราง 16 ผลการเปรียบเทียบผลต่างของคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง

การทดสอบ	n	คะแนนเต็ม	$\bar{X}$	S.D.	t	df	p
ก่อนเรียน	22	32	10.61	3.79	-17.010*	21	.000
หลังเรียน	22	32	25.36	3.32			

\* ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตาราง 16 พบว่าคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการก่อนเรียนของนิสิตมีค่าคะแนนเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 10.61 และ 3.79 ตามลำดับ เมื่อนิสิตเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น พบว่าคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการหลังเรียนของนิสิตมีค่าคะแนนเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 25.36 และ 3.32 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลต่างของคะแนนโดยใช้วิธีการทางสถิติแบบ t - test for dependent samples ได้ค่าเท่ากับ -17.010 ค่าองศาความเป็นอิสระเท่ากับ 21 มีเลขนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .000 ซึ่งน้อยกว่า .05 แสดงว่า นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 3 (ดูรายละเอียดในตาราง 47 ภาคผนวก จ)



สมมติฐานข้อที่ 4 นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส อยู่ในระดับมาก

ผู้วิจัยได้นำคะแนนจากแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส หลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์มาทำการวิเคราะห์ ได้ผลดังแสดงในตาราง 17

ตาราง 17 ค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย และระดับความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง

บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
การทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ	4.09	0.69	มาก
การทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ	4.23	0.68	มาก
การทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กโทรโฟรีซิสขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม	4.15	0.74	มาก
<b>ภาพรวม</b>	<b>4.16</b>	<b>0.70</b>	<b>มาก</b>

จากตาราง 17 พบว่าคะแนนจากแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส หลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิตในการทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ มีค่าคะแนนเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 4.09 และ 0.69 ตามลำดับ (ดูรายละเอียดในตาราง 50 ภาคผนวก จ) การทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ มีค่าคะแนนเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 4.23 และ 0.68 ตามลำดับ (ดูรายละเอียดในตาราง 51 ภาคผนวก จ) และการทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กโทรโฟรีซิสขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม มีค่าคะแนนเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 4.15 และ 0.74 ตามลำดับ (ดูรายละเอียดในตาราง 52 ภาคผนวก จ) สำหรับคะแนนโดย

ภาพรวมจากแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟี และเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีค่าคะแนนเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 4.16 และ 0.70 ตามลำดับ แสดงว่า นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส อยู่ในระดับมาก ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 4



## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส และเพื่อศึกษาประสิทธิภาพผลการเรียนรู้ของนิสิตปริญญาตรีที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ในด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ซึ่งสรุปสาระสำคัญและผลการวิจัยได้ดังนี้

#### ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ที่มีประสิทธิภาพสำหรับนิสิตปริญญาตรี
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพผลการเรียนรู้ของนิสิตปริญญาตรีที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ประกอบด้วย 3 ด้าน ดังนี้
  - 2.1 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส
  - 2.2 ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ
  - 2.3 ความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

#### สมมติฐานในการวิจัย

1. บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส สำหรับนิสิตปริญญาตรี มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์  $E_1/E_2$  ไม่น้อยกว่า 80/80
2. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิภาพผลการเรียนรู้ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส อยู่ในระดับมาก

### วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัย 2 ขั้นตอน ดังนี้

#### ตอนที่ 1 การพัฒนาและหาคุณภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส สำหรับนิสิตปริญญาตรี

1. ศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2554 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหลักการบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ วิธีการสร้างบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และศึกษารายละเอียดของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2

2. ผู้วิจัยลงมือทำการทดลอง เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ในห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ และนำผลการทดลองในห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ได้ มาเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการกำหนดขอบเขตการดำเนินการทดลองของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์แต่ละบท เพื่อสร้างและพัฒนาเป็นบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส เพื่อใช้ในการศึกษาประสิทธิผลการเรียนรู้สำหรับนิสิตปริญญาตรีชั้นปีที่ 3 หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

3. ผู้วิจัยนำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ พบว่าภาพรวมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ มีค่าคะแนนเฉลี่ยความเหมาะสมเท่ากับ 4.52 และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.97 แสดงว่า องค์ประกอบของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ทั้ง 3 การทดลอง จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.67 - 1.00 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข) และผู้วิจัยได้ปรับปรุงแก้ไขบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้ คือ เรียบเรียงเนื้อหาในส่วนของหลักการให้มีความถูกต้องและชัดเจนมากยิ่งขึ้น เพิ่มเติมเนื้อหาให้ครอบคลุมกับ

วัตถุประสงค์การเรียนรู้ และปรับสำนวนภาษาในวิธีการทดลองให้มีความชัดเจน ผู้เรียนจะได้เข้าใจในขั้นตอนการทดลองและสามารถปฏิบัติตามการทดลองได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

4. นำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ที่ผ่านการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ไปทดลองใช้กับนิสิตกลุ่มย่อยที่ไม่ใช่นิสิตกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนิสิตปริญญาตรี หลักสูตรการศึกษาระดับบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ไม่เคยเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส เพื่อหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ให้เป็นไปตามเกณฑ์  $E_1/E_2$  ไม่น้อยกว่า 80/80 โดยนำไปทดลองใช้กับนิสิตที่ไม่ใช่นิสิตกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 3 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 จำนวน 3 คน ครั้งที่ 2 จำนวน 10 คน และครั้งที่ 3 จำนวน 30 คน (ดูตัวอย่างบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ในภาคผนวก ฉ)

5. ผู้วิจัยหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ตามสูตร  $E_1/E_2$  (เสาวนีย์ สิกขา-บัณฑิต. 2528: 294-295) โดยนำคะแนนจากแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ทั้ง 3 การทดลอง และคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ของนิสิตกลุ่มย่อยที่ไม่ใช่นิสิตกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน มาคิดเป็นค่าร้อยละของคะแนนเฉลี่ยของนิสิตทั้งหมดที่ทำแบบทดสอบ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค)

## **ตอนที่ 2 การศึกษาประสิทธิผลการเรียนรู้ของนิสิตปริญญาตรีที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส**

ผู้วิจัยได้นำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ที่มีประสิทธิภาพ  $E_1/E_2$  เท่ากับ 80.19/80.44 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์  $E_1/E_2$  ไม่น้อยกว่า 80/80 ไปใช้กับนิสิตกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนิสิตปริญญาตรีชั้นปีที่ 3 หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชา ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2 รหัสวิชา คม 390 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556 จำนวน 22 คน เพื่อศึกษาประสิทธิผลการเรียนรู้ของนิสิตปริญญาตรีในแต่ละด้าน ดังต่อไปนี้

1. ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

1.1 การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.1.1 ศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2554 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและการสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

1.1.2 สร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ซึ่งเป็นข้อสอบปรนัยแบบเลือกตอบ 5 ตัวเลือก จำนวน 60 ข้อ โดยแบ่งเป็นบทปฏิบัติการละ 20 ข้อ จำนวน 3 บทปฏิบัติการ ซึ่งวัดพฤติกรรมกรรมการเรียนรู้ 4 ด้านคือ ความรู้-ความจำ ความเข้าใจ การนำไปใช้ และการวิเคราะห์

1.1.3 นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน เพื่อพิจารณาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน พบว่ามีค่าดัชนีความสอดคล้อง อยู่ระหว่าง 0.67 - 1.00 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข) และผู้วิจัยได้ปรับปรุงแก้ไขแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้ คือ ปรับปรุงข้อคำถามให้มีความสอดคล้องกับหลักการและพฤติกรรมกรรมการเรียนรู้ที่ต้องการวัด ปรับปรุงตัวเลือกให้มีความถูกต้องและเหมาะสมโดยไม่ยากหรือง่ายเกินไป โดยปรับปรุงข้อคำถามและตัวเลือกให้ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย ไม่กำกวม และเป็นประโยคที่กระชับ ได้ใจความ

1.1.4 นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ที่ผ่านการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ไปทดลองใช้กับนิสิตกลุ่มย่อยที่ไม่ใช่นิสิตกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนิสิตปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่เคยเรียนเนื้อหาเรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส จำนวน 30 คน เพื่อวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของข้อสอบเป็นรายข้อ โดยคัดเลือกข้อสอบไว้ จำนวน 30 ข้อ แบ่งเป็นบทปฏิบัติการละ 10 ข้อ จำนวน 3 บทปฏิบัติการ ซึ่งมีค่าความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.30 - 0.80 และค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ง)

1.1.5 นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ที่ได้คัดเลือกไว้จำนวน 30 ข้อ มาวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบทั้งฉบับ โดยใช้สูตร KR-20 ของคูเดอร์-ริชาร์ดสัน พบว่าแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.83 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ง)

1.2 ศึกษาประสิทธิภาพการเรียนรู้ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้คะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์

เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มาวิเคราะห์โดยใช้สถิติ t - test for dependent samples (ดูตัวอย่างแบบทดสอบในภาคผนวก ฉ)

## 2. ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ

2.1 การสร้างแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1.1 ศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2554 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และการสร้างแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์

2.1.2 สร้างแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ซึ่งเป็นข้อสอบอัตนัย จำนวน 20 ข้อ โดยแบ่งเป็น 3 ทักษะ คือ ทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร ทักษะการทดลอง และทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป

2.1.3 นำแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน เพื่อพิจารณาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา พบว่ามีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.67 - 1.00 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข) และผู้วิจัยได้ปรับปรุงแก้ไขแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ และแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้ คือ ปรับปรุงข้อความคำถามให้มีความสอดคล้องกับหลักการและนิยามศัพท์เฉพาะมากยิ่งขึ้น ปรับปรุงคำตอบให้มีความถูกต้องและครอบคลุมทุกประเด็นที่ถาม พร้อมทั้งปรับเกณฑ์การให้คะแนนในแต่ละข้อให้มีความเหมาะสมตามความยากง่ายของข้อความคำถาม

2.1.4 นำแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการที่ผ่านการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ไปทดลองใช้กับนิสิตกลุ่มย่อยที่ไม่ใช่นิสิตกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนิสิตปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่เคยเรียนเนื้อหาเรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส จำนวน 30 คน เพื่อวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) ของข้อสอบเป็นรายข้อ โดยคัดเลือกข้อสอบไว้ จำนวน 15 ข้อ แบ่งเป็นทักษะละ 5 ข้อ จำนวน 3 ทักษะ ซึ่งมีค่าความยากง่าย (p) อยู่ระหว่าง 0.40 - 0.78 และค่าอำนาจจำแนก (r) ตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ง)

2.1.5 นำแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการที่ได้คัดเลือกไว้จำนวน 15 ข้อ มาวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นโดยใช้สูตรหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัค พบว่าแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.56 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ง)

2.2 ศึกษาประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้คะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนจากแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติ t - test for dependent samples (ดูตัวอย่างแบบทดสอบในภาคผนวก ฉ)

3. ด้านความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

3.1 การสร้างแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความพึงพอใจ และการสร้างแบบสอบถามวัดความพึงพอใจ

3.1.2 สร้างแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส แบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 อันดับ จำนวน 60 ข้อ โดยแบ่งเป็นบทปฏิบัติการละ 20 ข้อ จำนวน 3 บทปฏิบัติการ

3.1.3 นำแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน เพื่อพิจารณาความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบสอบถามวัดความพึงพอใจ พบว่ามีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.67 - 1.00 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข) และผู้วิจัยได้ปรับปรุงแก้ไขแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้ คือ ข้อคำถามใดที่มีความคล้ายคลึงกันผู้วิจัยจะเปลี่ยนข้อคำถามหรือเลือกข้อคำถามมาใช้เพียงข้อเดียว และปรับสำนวนภาษาให้ผู้เรียนเข้าใจง่าย กระชับได้ใจความ

3.1.4 นำแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ที่ผ่านการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ไปทดลองใช้กับนิสิตกลุ่มย่อยที่ไม่ใช่ นิสิตกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนิสิตปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่เคยเรียนเนื้อหาเรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส จำนวน 30 คน และคัดเลือกแบบสอบถามไว้ จำนวน 45 ข้อ แบ่งเป็นบทปฏิบัติการละ 15 ข้อ จำนวน 3 บทปฏิบัติการ มาวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นโดยใช้สูตรหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัค พบว่าแบบสอบถาม



วัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ในการทดลองที่ 1 การแยกวงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.88 การทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.90 และการทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.92 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ง)

3.2 ศึกษาประสิทธิภาพการเรียนรู้ด้านความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ ของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้คะแนนหลังเรียน จากแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ มาวิเคราะห์โดยใช้สถิติค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ดูตัวอย่างแบบสอบถามในภาคผนวก จ)

### สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูล สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับนิสิตปริญญาตรี มีประสิทธิภาพ  $E_1/E_2$  เท่ากับ 80.19/80.11 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์  $E_1/E_2$  ไม่น้อยกว่า 80/80
2. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ มีประสิทธิภาพการเรียนรู้ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
3. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ มีประสิทธิภาพการเรียนรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05
4. นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ มีประสิทธิภาพการเรียนรู้ด้านความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ อยู่ในระดับมาก

## อภิปรายผลการวิจัย

จากการพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส และการศึกษาประสิทธิภาพการเรียนรู้ของนิสิตปริญญาตรีที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

### 1. การพัฒนาและหาคุณภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส สำหรับนิสิตปริญญาตรี

**สมมติฐานข้อที่ 1** บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส สำหรับนิสิตปริญญาตรี มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์  $E_1/E_2$  ไม่น้อยกว่า 80/80

ผลการวิจัยพบว่า บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส สำหรับนิสิตปริญญาตรี มีประสิทธิภาพ  $E_1/E_2$  เท่ากับ 80.19/80.44 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์  $E_1/E_2$  ไม่น้อยกว่า 80/80 และเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1 ทั้งนี้อาจเป็นผลสืบเนื่องมาจาก

**ประการแรก** บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ตามขั้นตอนการสร้างและพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ของศิริกานต์ ผาสุษ (2543: 201-206) และพรทิพย์ วงษ์นาป่า (2548: 103-105) กล่าวคือ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบกระดาษ เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ และเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส สำหรับนิสิตปริญญาตรี ทั้งในประเทศและต่างประเทศ และลงมือทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ แล้วนำผลข้อมูลที่ได้มาพัฒนาการทดลองให้ครอบคลุมเนื้อหาและจุดประสงค์การเรียนรู้ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2554 ซึ่งมีความสอดคล้องกับคำอธิบายในรายวิชา ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2 รหัสวิชา คม 390 นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้คำนึงถึงความเหมาะสม ระยะเวลา ตลอดจนอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลองอีกด้วย และจากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยได้สร้างบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่มีองค์ประกอบ คือ ชื่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ วัตถุประสงค์ หลักการ เครื่องมือและอุปกรณ์ สารเคมีและสารตัวอย่าง วิธีการทดลอง และแบบบันทึกผลการทดลอง ซึ่งผู้เรียนได้ลงมือทำการทดลองตามคู่มือปฏิบัติการทดลอง ที่มีหลักการ วิธีการทดลอง วิธีการแก้ปัญหาที่กำหนดไว้ให้ โดยมีผู้สอนเป็นผู้ชี้แนะแนวทางและให้คำปรึกษา ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พรทิพย์ วงษ์นาป่า (2548: 158) ที่ได้พัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่อง การสกัดและแยกสารประกอบแซนโทนจากผลมังคุด ผู้วิจัยได้แยกสารประกอบแซนโทนให้บริสุทธิ์โดยใช้โครมาโทกราฟีแบบกระดาษ โดยนำข้อมูลจากการทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มาสร้างบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นไปตามหลักการทฤษฎี และกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยในแต่ละบทปฏิบัติการ ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1

ใบความรู้ประกอบบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ส่วนที่ 2 บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และส่วนที่ 3 คือ เอกสารรายงานผลการทดลอง สรุปผลการทดลอง และคำถามท้ายบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ซึ่งจะเห็นว่าทุกส่วนประกอบมีความเหมาะสม ชัดเจนและต่อเนื่องเป็นลำดับทำให้บทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก สามารถนำไปใช้สอนกับนักเรียนเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนได้คิดเป็นและปฏิบัติเป็น

**ประการที่สอง** ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ โครงสร้างและองค์ประกอบของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นได้ผ่านการตรวจสอบความถูกต้อง ความเหมาะสมในด้านต่าง ๆ และแก้ไขข้อบกพร่องจากประธานและกรรมการควบคุมปริญญาโท นอกจากรูปแบบปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ได้ผ่านการประเมินความเหมาะสมและความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ซึ่งประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านเคมีศึกษา 1 ท่าน โดยผลการประเมินความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด และภาพรวมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์มีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.67 - 1.00 จากนั้นนำบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ไปทดลองใช้กับนิสิตกลุ่มย่อยที่ไม่ใช่นิสิตกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 3 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ทดลองสอนกับนิสิตกลุ่มย่อยที่ไม่ใช่นิสิตกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 3 คน โดยทดสอบที่ละคน เพื่อดูความชัดเจนในการใช้ภาษา เนื้อหา และขั้นตอนในการทดลอง ตลอดจนความเหมาะสมขององค์ประกอบของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ และนำมาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง ครั้งที่ 2 ทดลองสอนกับนิสิตกลุ่มย่อยที่ไม่ใช่นิสิตกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 10 คน โดยให้นิสิตทำการทดลองเป็นกลุ่ม ๆ ละ 2 คน เพื่อดูแนวโน้มประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ และปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง และครั้งที่ 3 ทดลองสอนกับนิสิตกลุ่มย่อยที่ไม่ใช่นิสิตกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน โดยให้นิสิตทำการทดลองเป็นกลุ่ม ๆ ละ 2 คน เพื่อหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สกต ชุขันธิน (2553: 108) ที่ได้พัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย ซึ่งผ่านการตรวจพิจารณาและแก้ไขทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ โดยผลการประเมินคุณภาพบทปฏิบัติการอยู่ในระดับดี จากนั้นผู้วิจัยได้นำบทปฏิบัติการดังกล่าวไปทดลองสอนกับนักเรียนที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มตัวอย่างซึ่งมีความสามารถเก่ง ปานกลาง และอ่อน จำนวน 3 ครั้ง ครั้งที่ 1 ทดลองสอนกลุ่มย่อยกับนักเรียน 3 คน เพื่อตรวจสอบการรับรู้ข้อมูลพื้นฐานทั้งหมดในบทปฏิบัติการแล้วนำข้อมูลต่าง ๆ มาปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 1 จากนั้นทดลองสอนกลุ่มย่อยครั้งที่ 2 กับนักเรียน 9 คน เพื่อปรับปรุงสืบเนื่องจากครั้งที่ 1 และทดสอบผลการเรียนรวมทั้งสัมภาระณ์ และสังเกตพฤติกรรมผู้เรียน แล้วนำข้อมูลต่าง ๆ มาปรับปรุงแก้ไขครั้งที่ 2 และครั้งสุดท้ายทดลองสอนกับนักเรียน

30 คน เพื่อหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการพบว่า มีค่าเท่ากับ 80.26/80.71 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 ที่กำหนด

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ทำให้บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟี และเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส สำหรับนิสิตปริญญาตรี มีประสิทธิภาพ  $E_1/E_2$  เท่ากับ 80.19/80.44 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์  $E_1/E_2$  ไม่น้อยกว่า 80/80 และมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนสำหรับนิสิตปริญญาตรีได้

## 2. การศึกษาประสิทธิผลการเรียนรู้ของนิสิตปริญญาตรีที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

**สมมติฐานข้อที่ 2** นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผลการวิจัยพบว่า นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2 ทั้งนี้อาจเป็นผลสืบเนื่องมาจาก

**ประการแรก** บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ  $E_1/E_2$  เท่ากับ 80.19/80.44 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์  $E_1/E_2$  ไม่น้อยกว่า 80/80 และมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนเพื่อพัฒนาประสิทธิผลการเรียนรู้ของผู้เรียน โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในหลักการ และทฤษฎีทางเทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิสมากยิ่งขึ้น ซึ่งมีหลักการที่สอดคล้องกับการเรียนเนื้อหาในภาคบรรยายของผู้เรียน และเชื่อมโยงความรู้เข้ากับชีวิตประจำวัน ทำให้ผู้เรียนเกิดความสนใจที่จะเรียนรู้ ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติการทดลอง บันทึกผลการทดลอง สรุปและอภิปรายผลการทดลองด้วยตนเอง และสามารถแก้ไขปัญหาด้วยวิธีคิดแบบวิทยาศาสตร์ได้ ความรู้ที่ผู้เรียนได้รับจากการปฏิบัติการทดลอง สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับความรู้เดิมของผู้เรียนได้ ส่งผลให้ผู้เรียนค้นพบความรู้ใหม่ได้ด้วยตนเอง ซึ่งสอดคล้องกับแนวความคิดของ ภพ เลาหไพบูลย์ (2542: 170-171) ที่กล่าวไว้ว่าการเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ค้นพบหลักการวิทยาศาสตร์ด้วยตนเอง เนื่องจากผู้เรียนเป็นผู้ทำการทดลองโดยได้สืบเสาะหาความรู้ วิเคราะห์หาเหตุผล ทดสอบสมมติฐานสรุปผล และวัดผลการปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง ผู้เรียนจึงเกิดการเรียนรู้อย่างแท้จริงและจดจำได้นาน และสอดคล้องกับงานวิจัยของ พันศักดิ์ สายแสงจันทร์ (2544: 103) ที่พัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง เทคนิคการแยกสาร จำนวน 5 การทดลอง คือ วิธีแยกของแข็งปนของแข็ง

วิธีแยกของแข็งปนของเหลว วิธีแยกของเหลวปนของเหลว วิธีแยกของเหลวปนแก๊ส และวิธีโครมาโทกราฟีแบบกระดาษ เมื่อนำไปทดลองสอนกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2544 โรงเรียนคงทองวิทยา จังหวัดนครปฐม จำนวน 40 คน พบว่า นักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นทั้งในด้านความรู้-ความจำ ความเข้าใจ การนำไปใช้ กว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 เนื่องจากการเรียนด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มุ่งเน้นให้นักเรียนต้องปฏิบัติการทดลองด้วยตนเองทุกขั้นตอน ทำให้นักเรียนสามารถแก้ปัญหา หรือคิดค้นคำตอบได้ด้วยตนเองโดยใช้การทดลองเป็นศูนย์กลาง

**ประการที่สอง** บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส นอกจากจะเป็นการจัดการเรียนการสอนที่ให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรงจากการลงมือปฏิบัติการทดลองด้วยตนเองแล้ว ยังเป็นการจัดการเรียนการสอนที่ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ร่วมกับผู้อื่นโดยทำการทดลองเป็นกลุ่ม ๆ ละ 2 คน ซึ่งทำให้ผู้เรียนมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกับผู้ร่วมทำการทดลอง ผู้เรียนได้ร่วมกันปฏิบัติการทดลอง ปรีกษาและแก้ไขปัญหาด้วยวิธีทางวิทยาศาสตร์ และเกิดการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ต่าง ๆ ซึ่งสอดคล้องกับแนวความคิดของทิสนา แชมมณี (2555: 90-96) ที่กล่าวไว้ว่า การเปิดโอกาสให้ผู้เรียนเรียนรู้จากประสบการณ์ตรง มีการปฏิสัมพันธ์กับสื่อ วัสดุ อุปกรณ์ หรือข้อมูลต่าง ๆ และสามารถจัดกระทำ ศึกษา สืบค้น วิเคราะห์ ทดลองกับสิ่งนั้น ๆ จนเกิดเป็นความรู้ความเข้าใจ พร้อมกับมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคม การร่วมมือ การแลกเปลี่ยนความรู้ ความคิด และประสบการณ์ระหว่างผู้เรียนกับผู้เรียน และบุคคลอื่น ๆ จะช่วยให้การเรียนรู้ของผู้เรียนหลากหลายยิ่งขึ้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของ วรวัฒน์ ทิพจ้อย (2551: 108-109) ที่ได้พัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย และจัดให้ผู้เรียนปฏิบัติการทดลองเป็นกลุ่ม ๆ ละ 5 คน โดยทดลองสอนกับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2551 โรงเรียนเซนต์ดอมินิก กรุงเทพมหานคร จำนวน 40 คน พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เนื่องจากนักเรียนได้มีโอกาสวางแผนการทำงานร่วมกัน ปรีกษาหารือ แลกเปลี่ยนความคิดเห็น และช่วยเหลือซึ่งกันและกันภายใต้กรอบการทำงานอย่างมีระบบ

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ทำให้นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**สมมติฐานข้อที่ 3** นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผลการวิจัยพบว่า นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 3 ทั้งนี้อาจเป็นผลสืบเนื่องมาจาก

**ประการแรก** บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส เป็นการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีการปฏิบัติการทดลอง ซึ่งผู้วิจัยดำเนินการจัดการเรียนการสอนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์แบบการทดลองสำเร็จรูป โดยผู้เรียนลงมือทำการทดลองด้วยตนเองตามคู่มือปฏิบัติการทดลอง ที่มีการตั้งปัญหา หลักการ วิธีการทดลอง วิธีการแก้ปัญหา กำหนดไว้ให้ และผู้เรียนได้บันทึกผลและสรุปผลการทดลองด้วยตนเอง การเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ผู้เรียนจะได้รับประสบการณ์ตรงในการลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง โดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อพิสูจน์ข้อเท็จจริงตามหลักทฤษฎี ซึ่งจะพัฒนาความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ พัฒนาความสามารถในการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีทางวิทยาศาสตร์ ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีความคิดแบบวิทยาศาสตร์ได้ ตลอดจนพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการได้ ซึ่งสอดคล้องกับแนวความคิดของบุญชม ศรีสะอาด (2541: 69) ที่กล่าวไว้ว่า การเรียนการสอนด้วยบทปฏิบัติการเป็นเทคนิควิธีที่เป็นรากฐานของการแก้ปัญหา ให้ผู้เรียนสืบเสาะหาความรู้ และค้นพบความรู้ด้วยตนเอง ช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้การสรุปครอบคลุม และการใช้การสรุปครอบคลุมในสถานการณ์ใหม่ ๆ ส่งเสริมให้ผู้เรียนเพิ่มพูนความสามารถในการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น มีทักษะในด้านต่าง ๆ มากขึ้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธนวรรณ โสมน้อย (2548: 79) ที่พัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสีย้อมผ้า สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา ไปทดลองสอนกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่กำลังศึกษาอยู่ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2546 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม) กรุงเทพมหานคร จำนวน 10 คน พบว่า นักเรียนที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีคะแนนเฉลี่ยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 เนื่องจากนักเรียนได้เริ่มจากการกำหนดปัญหา ตั้งสมมติฐาน การรวบรวมข้อมูล ลงมือปฏิบัติการทดลอง บันทึกผลและสรุปผลการทดลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง ตอบคำถามท้ายการทดลองด้วยตนเองทั้งหมด ช่วยให้นักเรียนได้รับประสบการณ์ตรง และได้ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ ด้วยตนเอง ทำให้นักเรียนได้รับทั้งความรู้และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เป็นผลให้

นักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สูงขึ้น และสอดคล้องกับงานวิจัยของวิล เทลเลอร์ และโรเจอร์ (Veal; Taylor; & Rogers. 2009: 393-398) ได้วิจัยเรื่อง การสะท้อนความคิดของตนเองเพื่อเพิ่มทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ในการเรียนปฏิบัติการเคมีทั่วไป ผู้วิจัยได้ทดลองกับนิสิตปริญญาตรีปี 1 สาขาพยาบาล โดยแบ่งนิสิตออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ผลการวิจัยพบว่า นิสิตกลุ่มทดลองที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีคะแนนทักษะการสังเกต การใช้ตะเกียงบุนเสน การใช้ปิเปต สูงกว่ากลุ่มควบคุมที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ตามลำดับ

**ประการที่สอง** บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟเรซิส ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีขั้นตอนการทดลองที่ช่วยพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ตั้งแต่วิธีการทดลอง การบันทึกผลการทดลอง การสรุปและอภิปรายผลการทดลอง ขณะทำการทดลองผู้เรียนได้ฝึกปฏิบัติการใช้อุปกรณ์และเครื่องมืออย่างถูกต้อง ได้ทำการทดลองอย่างเป็นขั้นตอน และรู้จักการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า การบันทึกผลการทดลอง การสรุปและอภิปรายผลการทดลองของผู้เรียนสามารถสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถของผู้เรียนหลายด้าน เช่น การสังเกตและจดบันทึก การใช้ภาษาเพื่อสื่อความหมาย ความสามารถในการระบุตัวแปรที่ศึกษา การจัดกระทำและนำเสนอข้อมูล การแปลความหมายข้อมูลและการลงข้อสรุป ความถูกต้องของผลการทดลอง เป็นต้น ซึ่งการปฏิบัติการทดลองและเขียนรายงานผลการทดลองส่งในแต่ละบทปฏิบัติการจะเป็นการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดกระบวนการคิดวิเคราะห์ และช่วยเพิ่มพูนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานแนวความคิดของภพ เลหาไพบูลย์ (2542: 343-347) ที่กล่าวไว้ว่า การปฏิบัติการทดลองเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการเรียนการสอน จึงไม่ควรประเมินผลพฤติกรรมด้านความรู้ความคิดเท่านั้น แต่ควรประเมินผลพฤติกรรมด้านการปฏิบัติด้วย ซึ่งสามารถประเมินด้วยวิธีการสังเกตพฤติกรรมขณะปฏิบัติการ การตรวจจากรายงานผลการปฏิบัติการ และการสอบภาคปฏิบัติ และสอดคล้องกับงานวิจัยของสกล ชุขันธิน (2553: 111) ซึ่งได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ เรื่อง การบำบัดน้ำเสีย สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาคารย์ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 เนื่องจากผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรงจากการปฏิบัติการทดลอง การบันทึกและสรุปผลการทดลอง และการตอบคำถามท้ายการทดลอง จึงส่งผลให้เกิดการสังสมพฤติกรรมกรเรียนรู้ด้านต่างๆ อันนำไปสู่การพัฒนาความคิด และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์อย่างต่อเนื่อง จนสามารถแสดงออกได้โดยอัตโนมัติ

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ทำให้นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**สมมติฐานข้อที่ 4** นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส อยู่ในระดับมาก

ผลการวิจัยพบว่า นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส อยู่ในระดับมาก ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 4 ทั้งนี้อาจเป็นผลสืบเนื่องมาจาก

**ประการแรก** บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส เป็นการทดลองที่มีเนื้อหาที่น่าสนใจและแปลกใหม่ มีความสอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ตามคำอธิบายรายวิชา ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2 รหัสวิชา คม 390 มีความเหมาะสมกับนิสิตระดับปริญญาตรี บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นได้เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติการทดลองด้วยตนเอง ได้รู้จักวิธีใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง ผู้เรียนได้มีปฏิสัมพันธ์กับผู้ร่วมงานภายในกลุ่ม เกิดการแลกเปลี่ยนทางความคิดกับผู้อื่น ผู้เรียนรู้สึกกระตือรือร้นในการเรียนรู้ และทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในหลักการ และทฤษฎีการแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิสมากยิ่งขึ้น ผู้เรียนจึงเกิดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ซึ่งสอดคล้องกับแนวความคิดของศุภสิริ โสมาเกตู (2544: 53) ที่กล่าวไว้ว่า การตอบสนองของความต้องการของผู้ปฏิบัติงานจนเกิดความพึงพอใจ จะทำให้เกิดแรงจูงใจในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานที่สูงกว่าผู้ที่ไม่ได้รับการตอบสนอง และสอดคล้องกับงานวิจัยของ จินตวีร์ โยสีดา (2554: 64-65) ได้พัฒนาชุดกิจกรรมสืบเสาะหาความรู้ เรื่อง ไบโอดีเซล สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย แล้วนำไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนคลองขามวิทยาคาร ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2554 จำนวน 30 คน พบว่า นักเรียนกลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจต่อการใช้ชุดกิจกรรมอยู่ในระดับมาก เนื่องจากผู้สอนเปิดโอกาสให้ผู้เรียนมีอิสระในการคิด และลงมือปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ ด้วยตนเอง และสอดคล้องกับงานวิจัยของฟากาโยเดและคนอื่น ๆ (Fakayode; et al. 2012: 109-113) ได้วิจัยเรื่อง การเรียนแบบสืบเสาะหาความรู้แบบชี้แนะแนวทางในปฏิบัติการเครื่องมือวิเคราะห์ เรื่อง การหาปริมาณเหล็กในอาหารบางชนิด โดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปีแบบเปลวไฟ (FAAS) เพื่อต้องการกระตุ้นบทบาทของนิสิตในการทดลอง ปรับปรุงการคิดเชิงวิพากษ์ และความสามารถในการแก้ปัญหา ผู้วิจัยได้ทดลองกับนิสิตปริญญาตรีที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชา



ปฏิบัติการเครื่องมือวิเคราะห์ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2010 จำนวน 11 คน ผลการวิจัยพบว่านิสิตจำนวน 9 ใน 11 คน รู้สึกตื่นเต้นกับการทดลอง มีความสนุกในการทดลองที่ได้ร่วมกันทำงานเป็นกลุ่ม และเห็นว่าเป็นวิธีการที่น่าสนใจว่าการอ่านคู่มือการทดลอง

**ประการที่สอง** บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส เป็นการทดลองที่เกี่ยวข้องกับสารที่พบในชีวิตประจำวัน ได้แก่ การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ การแยกวุ้นกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ และการสร้างอุปกรณ์อิเล็กโทรโฟรีซิสขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิสไม่ได้สามารถแยกได้เฉพาะสารเคมี หรือสารอันตรายเท่านั้น แต่สามารถนำมาประยุกต์ใช้แยกสารที่เราสามารถพบได้ในชีวิตประจำวันทั่วไป ทำให้ผู้เรียนเกิดความสนใจที่จะเรียนรู้ สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการแยกสารชนิดอื่นๆ ได้ และสามารถสร้างอุปกรณ์อิเล็กโทรโฟรีซิสขนาดเล็กได้ด้วยตนเอง ส่งผลให้ผู้เรียนมีความพึงพอใจต่อการปฏิบัติการทดลองมากยิ่งขึ้น ตลอดจนเห็นความสำคัญเทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอัมพร กรุดวงษ์ (2548: 72) ได้พัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง พลังงานความร้อน สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 4 และได้นำไปทดลองสอนกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2547 จำนวน 30 คน ผลการวิจัยพบว่า เจตคติของนักเรียนต่อบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มีพัฒนาการสูงขึ้นตามลำดับและสูงกว่าระดับดี เนื่องจากการเรียนด้วยบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ หรือแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้ และสอดคล้องกับงานวิจัยของวารีย์ บุญลือ (2550: 72) ได้พัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง การปลูกพืชแบบไฮโดรพอนิกส์ สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 3 แล้วนำไปทดลองสอนกับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 1 โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย ปทุมธานี ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2548 จำนวน 30 คน ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีความตระหนักเกี่ยวกับปัญหาการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในสิ่งแวดล้อมหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน เนื่องจากการให้ความรู้ และได้ลงมือปฏิบัติ เรียนรู้เกี่ยวกับสิ่งรอบตัว ทำให้นักเรียนเกิดความประทับใจ เห็นคุณค่าของสิ่งแวดล้อมและเกิดความตระหนักเกี่ยวกับปัญหาการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในสิ่งแวดล้อม

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ทำให้นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส มีประสิทธิผลการเรียนรู้ด้านความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส อยู่ในระดับมาก

## ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ซึ่งอาจเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้และการวิจัยในครั้งต่อไป ดังนี้

### 1. ข้อเสนอแนะทั่วไป

1.1 ในการทดลองแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ ควรทำการทดลองเทียบกับสารมาตรฐานในสภาวะการทดลองเดียวกัน เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

1.2 การแยกสารผสมด้วยเทคนิคอิเล็กโตรโฟรีซิสในระบบการแยกขนาดเล็กที่สร้างจากพอลิไดเมทิลไซลอกเซน ควรพัฒนาแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้มีกำลังสูงขึ้น เพื่อให้การแยกสารผสมมีประสิทธิภาพมากขึ้น

### 2. ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในครั้งต่อไป

2.1 ควรทำการศึกษาประสิทธิผลการเรียนรู้ของนิสิตปริญญาตรี ที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโตรโฟรีซิส ในด้านอื่น ๆ เช่น ความคิดเชิงวิทยาศาสตร์ เจตคติทางวิทยาศาสตร์ เป็นต้น

2.2 จากการพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโตรโฟรีซิส พบว่านิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการที่พัฒนาขึ้นมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการสูงขึ้น ดังนั้น เพื่อให้นิสิตมีการพัฒนาความรู้ในรายวิชาเคมีวิเคราะห์ และทักษะในด้านต่าง ๆ เช่น ทักษะกระบวนการแสวงหาความรู้ ทักษะกระบวนการคิด และทักษะกระบวนการกลุ่ม เป็นต้น จึงควรมีการพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ไปประยุกต์ใช้ในเนื้อหาอื่น ๆ เช่น การตรวจวิเคราะห์สารในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณด้วยเทคนิคอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี เป็นต้น



## บรรณานุกรม

- กณกวรรณ กอกหวาน. (2554). การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจในการเรียนวิชาภาษาไทยเรื่องสำนวนไทยของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์มัลติมีเดียประเภทสถานการณ์จำลอง. ปรินูญานินพนธ์ กศ.ม. (เทคโนโลยีการศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- กิติมา ปรีดีดีลก. (2529). เอกสารคำสอนการบริหารและการนิเทศการศึกษาเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: ภาควิชาบริหารการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ขุนทอง คล้ายทอง. (2554). การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในวิชาเคมี 1 และความสามารถในการคิดแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือโดยใช้เทคนิคการแข่งขันระหว่างกลุ่มและแบบวัฏจักรการเรียนรู้ 7 ชั้น. ปรินูญานินพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- จินตวิรี โยสีดา. (2554). การพัฒนาชุดกิจกรรมสืบเสาะหาความรู้เรื่องไบโอดีเซลสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. สารนิพนธ์ (กศ.ม. (เคมี)). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี. (2555). โครมาโทกราฟี. สืบค้นเมื่อ 2 กันยายน 2555, จาก [http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course\\_info/2302275/chapter9.pdf](http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course_info/2302275/chapter9.pdf)
- ชูศรี วงศ์รัตนะ. (2553). เทคนิคการเขียนเค้าโครงการวิจัย : แนวทางสู่ความสำเร็จ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ไทเนรมิตกิจ อินเตอร์ โปรเกรสซิฟ.
- โชติกา ภาษีผล. (2554). การสร้างและพัฒนาเครื่องมือในการวัดและประเมินผลการศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐิกา วงษาวดี. (2551). ผลการเรียนรู้และความพึงพอใจ วิชาทัศนศิลป์ ของนักเรียนช่วงชั้นที่ 2 ด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์มัลติมีเดียที่สร้างมโนทัศน์ก่อนการเรียน. ปรินูญานินพนธ์ กศ.ม. (เทคโนโลยีการศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- ทิสนา แชมมณี. (2554). 14 วิธีสอนสำหรับครูมืออาชีพ. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- \_\_\_\_\_. (2555). *ศาสตร์การสอน : องค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ*. พิมพ์ครั้งที่ 15. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธนวรรณ โสมน้อย. (2548). *การพัฒนาบทปฏิบัติการเรื่องการใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายสีย้อมผ้า สำหรับ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษา*. สารนิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา : การสอนสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- ธวัชชัย ศรีวิบูลย์. (2551). *เทคนิคการแยก*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- ธำรง อุดมไพจิตรกุล. (2546). *จิตวิทยาสำหรับนักเศรษฐศาสตร์*. กรุงเทพฯ: ม.ป.พ.
- ธิดิมา รุกขไชยศิริกุล. (2547). *ปฏิบัติการอินทรีย์เคมี 1*. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง. สืบค้นเมื่อ 21 สิงหาคม 2555, จาก [http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM327\(47\)/cm327\(ch222\)-10.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM327(47)/cm327(ch222)-10.pdf)
- นงนาถ จินดาวัฒน์. (2544). *การพัฒนาบทปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมศึกษา เรื่อง ระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด รายวิชา ว 102 วิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ศึกษาศาสตร์ (สิ่งแวดล้อมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. สืบค้นเมื่อ 20 กันยายน 2555, จาก <http://www.thaithesis.org/detail.php?id=45641>
- นพดล สุระกาญจน์. (2551). *ปฏิบัติการชีววิทยา 1*. พิมพ์ครั้งที่ 2. สงขลา: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- นินนาท์ โชติบริบูรณ์. (2545). *ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ภารกิจเอกสารและตำรา กลุ่มงานส่งเสริมและประกันคุณภาพการศึกษา มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- บุญชม ศรีสะอาด. (2541). *พัฒนาการสอน*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ชมรมเด็ก.
- พจน์ สะเพียรชัย. (2517). *พัฒนาการวัดผล*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์เจริญพัฒน์.
- พรทิพย์ วงษ์นาป่า. (2548). *การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่อง การสกัดและแยกสารประกอบแทนโตนจาก ผลมังคุดสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จังหวัดจันทบุรี*. วิทยานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- พรยมล บัวศิริ. (2546). *การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่อง สารและสมบัติของสาร สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 3*. วิทยานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- พวงรัตน์ ทวีรัตน์. (2529). *การสร้างและพัฒนาแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์*. กรุงเทพฯ: สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

- \_\_\_\_\_. (2543). *วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์*. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ: สำนักทดสอบทางการศึกษาและจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- พันศักดิ์ สายแสงจันทร์. (2544). *การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่องเทคนิคการแยกสาร สำหรับนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1*. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- พิชิต ฤทธิจรรยา. (2553). *หลักการวัดและประเมินผลการศึกษา*. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ: แฮ้าส์ ออฟ เคอร์มิสท์.
- พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์. (2545). *พฤติกรรมกรรมการสอนวิทยาศาสตร์*. กรุงเทพฯ: พัฒนาคุณภาพวิชาการ (พว.).
- ภพ เลหาไพบูลย์. (2542). *แนวการสอนวิทยาศาสตร์*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.
- มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ คณะวิทยาศาสตร์. (2549). *ปฏิบัติการชีวเคมี*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยฯ.
- \_\_\_\_\_. (2554). *รายละเอียดของหลักสูตร หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2554*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยฯ.
- \_\_\_\_\_. (2555). *ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยฯ.
- รัชนี ตันทะพานิชกุล. (2550). *ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 3*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- รัชนีกร ฤดีรัตน์. (2546). *การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและเจตคติต่อสิ่งแวดล้อมของนักเรียน ระดับช่วงชั้นที่ 3 โดยใช้บทปฏิบัติการในค่ายอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม*. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- ล้วน สายยศ; และ อังคณา สายยศ. (2536). *เทคนิคการวิจัยทางการศึกษา*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ.
- \_\_\_\_\_. (2543). *เทคนิคการวัดผลการเรียนรู้*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาสน์.
- ลีณา สุนทรสุข. (2550). *ตำราแคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส = Capillary Electrophoresis*. กรุงเทพฯ: คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- วรวัฒน์ ทิพจ้อย. (2551). *การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2*. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

- วัชรีย์ ชาติกิตติคุณวงศ์. (2542). *ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง. สืบค้นเมื่อ 21 สิงหาคม 2555, จาก [http://e-book.ram.edu/e-book/c/CH334\(H\)/ch334\(h\)-12.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/c/CH334(H)/ch334(h)-12.pdf)
- วารีย์ บุญลือ. (2550). *การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เรื่องการปลูกพืชแบบไฮโดรพอนิกส์สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 3*. ปรินญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- ศิริกานต์ ผาสุข. (2543). *การพัฒนาบทปฏิบัติการวิชาเคมีผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ เรื่อง การสกัดและแยกองค์ประกอบทางเคมีจากพืชสมุนไพรในท้องถิ่น สำหรับหลักสูตรวิทยาศาสตร์ของสถาบันราชภัฏ*. ปรินญานิพนธ์ กศ.ด. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- ศิริชัย กาญจนวาสี. (2548). *ทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม*. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศุภสิริ โสมาเกตต์. (2544). *การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ในการเรียนและความพึงพอใจในการเรียนภาษาอังกฤษ ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ระหว่างการเรียนรู้โดยโครงการกับการเรียนรู้ตามคู่มือครู*. วิทยานิพนธ์ กศ.ม. (การประถมศึกษา). มหาสารคาม: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. ถ่ายเอกสาร.
- สกล ชุขันธ์อิน. (2553). *การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจนเพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาคารย์*. ปรินญานิพนธ์ กศ.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2546). *การจัดสาระการเรียนรู้กลุ่มวิทยาศาสตร์ หลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน*. กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- สุกาญจนา ชันบางใบ. (2554). *ผลสัมฤทธิ์และความพึงพอใจในการเรียนของนักเรียนช่วงชั้นที่ 3 ที่มีระดับความสามารถทางการเรียนแตกต่างกัน จากการใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์มัลติมีเดีย 2 รูปแบบ*. ปรินญานิพนธ์ กศ.ม. (เทคโนโลยีการศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- สุนีย์ เหมะประสิทธิ์. (2543). *เอกสารคำสอนวิชา ปถ 421 : วิทยาศาสตร์สำหรับครูประถม*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาหลักสูตรและการสอน มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

- สุรพล พยอมแย้ม. (2548). *จิตวิทยาสัมพันธ์ภาพ*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุวัฒน์ นิยมคำ. (2517). *การสอนวิทยาศาสตร์แบบพัฒนาความคิด*. กรุงเทพฯ: วัฒนาพานิช.
- เสาวนีย์ สิกขาบัณฑิต. (2528). *เทคโนโลยีทางการศึกษา*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาครุศาสตร์  
อุตสาหกรรมและวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- อรอุมา ละมุล. (2541). *การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง ความสามารถของวัสดุธรรมชาติ  
ในการดูดซับโลหะหนักที่ใช้สอนในวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สำหรับนักเรียนระดับชั้น  
มัธยมศึกษาปีที่ 6*. ปรินญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- อัมพร กรุดวงษ์. (2548). *การพัฒนาบทปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เรื่อง "พลังงานความร้อน" สำหรับ  
นักเรียนช่วงชั้นที่ 4 จังหวัดนครปฐม*. ปรินญานิพนธ์ กศ.ม. (วิทยาศาสตร์ศึกษา). กรุงเทพฯ:  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2556, จาก  
[http://thesis.swu.ac.th/swuthesis/Sci\\_Ed/Amporn\\_K.pdf](http://thesis.swu.ac.th/swuthesis/Sci_Ed/Amporn_K.pdf)
- อาภัสสรา ชมิดท์. (2537). *เทคนิคอิเล็กทรอนิกส์*. กรุงเทพฯ: ไร่เขียว.
- Anderson, O. Roger. (1976). *The Experience of Science : A New Perspective for  
Laboratory Teaching*. New York: Teachers College Press Columbia University.
- Birdwhistell, Kurt R.; & Spence, Thomas G. (2002). A New Glow on the Chromatography of  
M&M Candies. *Journal of Chemical Education*. 79(7): 84.
- Bloom, Benjamin S. (1976). *Human Characteristics and School Learning*. New York:  
McGraw-Hill.
- Chia, Matthew C.; Sweeney, Christina M.; & Odom, Teri W. (2011). Chemistry in  
Microfluidic Channels. *Journal of Chemical Education*. 88(4): 461-464.
- Clark, Daniel D. (2007). Analysis and Identification of Acid–Base Indicator Dyes by Thin-  
Layer Chromatography. *Journal of Chemical Education*. 84(7): 1186-1187.
- Crisp, Geoffrey T.; & Williamson, Natalie M. (1999). Separation of Polyaromatic  
Hydrocarbons Using 2-Dimensional Thin-Layer Chromatography. *Journal of  
Chemical Education*. 76(12): 1691-1692.

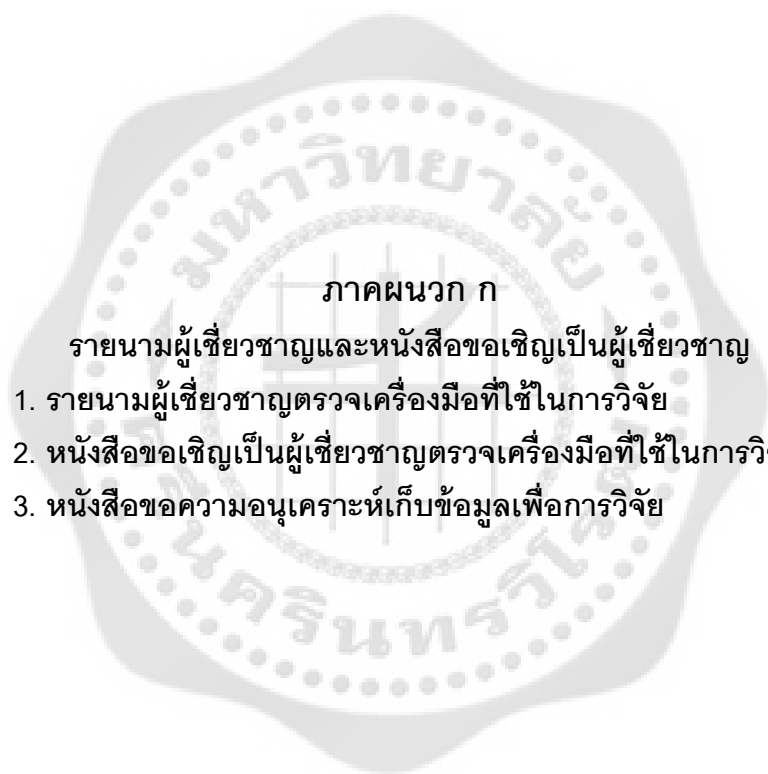


- Fakayode, Sayo O.; et al. (2012). Determination of Fe Content of Some Food Items by Flame Atomic Absorption Spectroscopy (FAAS): A Guided-Inquiry Learning Experience in Instrumental Analysis Laboratory. *Journal of Chemical Education*. 89(1): 109-113.
- Gable, Dorothy L.; Rubba, Peter A.; & Franz, Judy R. (1977). The Effect of Early Teaching and Training Experience on Physics Achievement, Attitude to Wards Science and Science Teaching, and Process Skills Proficiency. *Science Education*. 61(4): 503-511.
- Goh, N. K.; Toh, K. A.; & Chia, L. S. (1989). Use of Modified Laboratory Instruction for Improving Science Process Skills Acquisition. *Journal of Chemical Education*. 66(5): 430-432.
- Hofstein, Avi.; & Lunetta, Vincent N. (1982). The Roles of the Laboratory in Science Teaching: Neglected Aspects of Research. *Review of Education Research*. 52(2): 201-217.
- Journal's Editorial Staff. (2000). The Write Stuff: Using Paper Chromatography to Separate an Ink Mixture. *Journal of Chemical Education*. 77(2): 176A-176B.
- Likert, Rene. (1970). *A Technique for the Measurement of Attitude*. Chicago: Rand McNally.
- Osgood, Charles E.; George, I. Suci.; & Percy, H. Tannenbaum. (1957). *The Measurement of Attitude*. Urbana: University of Illinois Press.
- Romey, William D. (1968). *Inquiry Techniques for Teaching Science*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Sharma, Vinita.; McKone, Harold T.; & Markow, Peter G. (2011). A Global Perspective on the History, Use and Identification of Synthetic Food Dyes. *Journal of Chemical Education*. 88(1): 24-28.
- Teerasong, Saowapak.; & McClain, Robert L. (2011). A Student-Made Microfluidic Device for Electrophoretic Separation of Food Dyes. *Journal of Chemical Education*. 88(4): 465-467.
- Thurstone, L. L. (1970). *Theory and Measurement, Attitude*. New York: John Wiley and Sons.

- Valverde, Juan.; This, Hervé.; & Vignolle, Marc. (2007). Quantitative Determination of Photosynthetic Pigments in Green Beans Using Thin-Layer Chromatography and a Flatbed Scanner as Densitometer. *Journal of Chemical Education*. 84(9): 1505-1507.
- Veal, William R.; Taylor, Dawne.; & Rogers, Amy L. (2009). Using Self-Reflection to Increase Science Process Skills in the General Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*. 86(3): 393-398.







ภาคผนวก ก

รายนามผู้เชี่ยวชาญและหนังสือขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

1. รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
2. หนังสือขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. หนังสือขอความอนุเคราะห์เก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย

## รายนามผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

### ผู้เชี่ยวชาญด้านเคมีศึกษา

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พ.อ.หญิง ดร.อลิสา เสนามนตรี อาจารย์ประจำภาควิชาชีวเคมี  
วิทยาลัยแพทยศาสตร์พระมงกุฎเกล้า

### ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์

1. อาจารย์ ดร.นवलละออ รัตนวิมานวงศ์ อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
2. อาจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ ส่งศรีโรจน์ อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



ที่ ศธ 0519.12/๒๕๙๙



บัณฑิตวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
สุขุมวิท 23 กรุงเทพฯ 10110

๑๔ มิถุนายน 2556

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พ.อ.หญิง ดร.อลิสา เสนามนตรี

เนื่องด้วย นางสาวศวดี ฐิติวร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปฏิญานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องเทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเรียนรู้สำหรับนิสิตปริญญาตรี” โดยมี อาจารย์ ดร.ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ และ อาจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ตรีบัณฑิต เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปฏิญานิพนธ์ ในกรณีนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือดังนี้ 1) บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2) แบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการฯ 3) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฯ 4) แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และ 5) แบบทดสอบวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการฯ

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นางสาวศวดี ฐิติวร และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0-2649-5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อนิสิต โทรศัพท์ 086-820-3668



## บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โทร. 15664

ที่ ศธ 0519.12/๒๕๖๘ วันที่ ๑๔ มิถุนายน 2556

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ดร.นवलละอ อรรถวิมานวงศ์

เนื่องด้วย นางสาวศวดี จิตติวร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องเทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเรียนรู้สำหรับนิสิตปริญญาตรี” โดยมี อาจารย์ ดร.ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ และ อาจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ดร.บัณฑิต เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ในกรณีนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือดังนี้ 1) บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2) แบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการฯ 3) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฯ 4) แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และ 5) แบบทดสอบวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการฯ

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นางสาวศวดี จิตติวร และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0-2649-5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 086-820-3668



## บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โทร. 15664

ที่ ศธ 0519.12/๒๖๗๗ วันที่ ๒๔ มิถุนายน 2556

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญ

เรียน ดร. เกரியงค์ดี ส่งศรีโรจน์

เนื่องด้วย นางสาวศวดี รุติวร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญาานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องเทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเรียนรู้สำหรับนิสิตปริญญาตรี” โดยมี อาจารย์ ดร.ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ และ อาจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ตรีบัณฑิต เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ในกรณีนี้ บัณฑิตวิทยาลัยขอเรียนเชิญท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบเครื่องมือดังนี้ 1) บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 2) แบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการฯ 3) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฯ 4) แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และ 5) แบบทดสอบวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการฯ

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญให้ นางสาวศวดี รุติวร และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0-2649-5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อนิสิต โทรศัพท์ 086-820-3668





## บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โทร. 15664

ที่ ศธ 0519.12/๖๖๐ วันที่ ๒๕ มิถุนายน 2556

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน หัวหน้าภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

เนื่องด้วย นางสาวศวดี ฐิติวร นิสิตระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญาานิพนธ์ เรื่อง “การพัฒนาบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์เรื่องเทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเรียนรู้สำหรับนิสิตปริญญาตรี” โดยมี อาจารย์ ดร.ปิยะดา จิตรตั้งประเสริฐ และ อาจารย์ ดร.ปิยรัตน์ ตรีบัณฑิต เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ในการนี้ นิสิตมีความจำเป็นต้องเก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย โดยขอใช้สถานที่ เพื่อใช้แบบทดสอบแบบสอบถาม และบทปฏิบัติการวิเคราะห์ กับนิสิตระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 จำนวน 1 ห้องเรียนเป็นกลุ่มทดลอง และระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 3 เป็นกลุ่มตัวอย่าง สาขาวิชาวิทยาศาสตร์-เคมี ในระหว่างเดือนกรกฎาคม - เดือนกันยายน 2556

จึงเรียนมาเพื่อขอความอนุเคราะห์ให้ นางสาวศวดี ฐิติวร ได้เก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย และขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0-2649-5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อนิสิต โทรศัพท์ 086-820-3668

## ภาคผนวก ข

### ผลการประเมินเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยโดยผู้เชี่ยวชาญ

1. ผลการประเมินความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส
2. ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส
3. ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์และแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์
4. ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส
5. ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการและแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ
6. ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

ตาราง 18 ผลการประเมินความเหมาะสมของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟี และเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ				
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม	$\bar{X}$
	1	2	3		
1. วัตถุประสงค์ของการทดลองมีความชัดเจนและเป็นไปได้	5	5	5	15	5.00
2. วัตถุประสงค์ของการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	5	5	5	15	5.00
3. หลักการของการทดลองมีความเป็นไปได้ในการนำไปปฏิบัติจริง	5	5	5	15	5.00
4. หลักการของการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	5	5	5	15	5.00
5. หลักการของการทดลองครอบคลุมความรู้ที่ผู้เรียนควรได้รับ	5	4	4	13	4.33
6. หลักการของการทดลองทำให้ผู้เรียนเข้าใจวิธีการทดลองมากขึ้น	4	4	4	12	4.00
7. การออกแบบการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	5	4	5	14	4.67
8. การทดลองมีลำดับขั้นตอนที่เหมาะสม	4	5	5	14	4.67
9. การทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษมีความเหมาะสม	5	4	5	14	4.67
10. การทดลองที่ 2 การแยกวุ้นกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ มีความเหมาะสม	5	3	5	13	4.33

ตาราง 18 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ				
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม	$\bar{X}$
	1	2	3		
11. การทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ฟรี- ซีขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสมมีความ เหมาะสม	5	3	5	13	4.33
12. วิธีการทดลองมีความเหมาะสมที่จะนำไปสู่การ บรรลุวัตถุประสงค์ของการทดลอง	4	4	5	13	4.33
13. ระยะเวลาในการทดลองมีความเหมาะสม	4	4	5	13	4.33
14. การทดลองส่งเสริมให้เกิดแรงจูงใจในการเรียน	5	5	4	14	4.67
15. การทดลองทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจในหลักการ และทฤษฎี	4	4	4	12	4.00
16. การทดลองนี้ได้ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการลงมือ ศึกษา ค้นคว้า และทดลองด้วยตนเอง	5	5	4	14	4.67
17. การทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ใน ชีวิตประจำวันได้	4	5	4	13	4.33
18. ความถูกต้องของภาษา	4	5	4	13	4.33
19. ขนาดของตัวอักษรและภาพประกอบมีความ เหมาะสม	4	4	5	13	4.33
20. รูปแบบของการทดลองมีความเหมาะสม	4	4	5	13	4.33

ตาราง 19 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ฯ ในการทดลองที่ 1 การแยกวงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ					การพิจารณา
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม	IOC	
	1	2	3			
<b>1. วัตถุประสงค์</b>						
1.1 วัตถุประสงค์มีความสอดคล้องกับเนื้อหา	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
1.2 วัตถุประสงค์มีความชัดเจนสามารถประเมินผลได้จริง	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
<b>2. หลักการ</b>						
2.1 หลักการมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
2.2 หลักการถูกต้องและครอบคลุมเนื้อหา	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
2.3 หลักการมีความต่อเนื่องเป็นลำดับขั้นตอน	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
2.4 หลักการมีเนื้อหาที่ครอบคลุมการทดลอง	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้
2.5 หลักการมีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
2.6 หลักการเขียนโดยใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย ไม่กำกวม	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้

ตาราง 19 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ					การพิจารณา
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม	IOC	
	1	2	3			
<b>3. เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี</b>						
3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี มีความเหมาะสมกับการ ทดลอง	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี มีความเหมาะสมกับระดับ ผู้เรียน	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
<b>4. วิธีการทดลอง</b>						
4.1 วิธีการทดลองมีความ สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และหลักการ	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4.2 วิธีการทดลองได้เรียงลำดับ เป็นขั้นตอนที่ถูกต้อง	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4.3 วิธีการทดลองมีความ เหมาะสมกับระดับของผู้เรียน	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4.4 วิธีการทดลองมีความ เหมาะสมกับระยะเวลาที่ กำหนด	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4.5 วิธีการทดลองเขียนโดยใช้ ภาษาที่เข้าใจง่าย ไม่กำกวม	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4.6 วิธีการทดลองส่งเสริมให้ผู้เรียน สามารถคิดและปฏิบัติแบบ วิทยาศาสตร์	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้

ตาราง 19 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ				รวม	IOC	การพิจารณา
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่						
	1	2	3				
<b>5. แบบบันทึกผลการทดลอง</b>							
5.1 แบบบันทึกผลการทดลองมี ความสอดคล้องกับวิธีการ ทดลอง	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
5.2 แบบบันทึกผลการทดลองมี ความชัดเจน เข้าใจง่าย	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	

ตาราง 20 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ๔ ในการทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ					การพิจารณา
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม	IOC	
	1	2	3			
<b>1. วัตถุประสงค์</b>						
1.1 วัตถุประสงค์มีความสอดคล้องกับเนื้อหา	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
1.2 วัตถุประสงค์มีความชัดเจนสามารถประเมินผลได้จริง	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
<b>2. หลักการ</b>						
2.1 หลักการมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
2.2 หลักการถูกต้องและครอบคลุมเนื้อหา	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้
2.3 หลักการมีความต่อเนื่องเป็นลำดับขั้นตอน	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
2.4 หลักการมีเนื้อหาที่ครอบคลุมการทดลอง	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้
2.5 หลักการมีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
2.6 หลักการเขียนโดยใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย ไม่กำกวม	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้



ตาราง 20 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ					การพิจารณา
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม	IOC	
	1	2	3			
<b>3. เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี</b>						
3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี มีความเหมาะสมกับการ ทดลอง	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี มีความเหมาะสมกับระดับ ผู้เรียน	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
<b>4. วิธีการทดลอง</b>						
4.1 วิธีการทดลองมีความ สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และหลักการ	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4.2 วิธีการทดลองได้เรียงลำดับ เป็นขั้นตอนที่ถูกต้อง	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้
4.3 วิธีการทดลองมีความ เหมาะสมกับระดับของผู้เรียน	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4.4 วิธีการทดลองมีความ เหมาะสมกับระยะเวลาที่ กำหนด	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4.5 วิธีการทดลองเขียนโดยใช้ ภาษาที่เข้าใจง่าย ไม่กำกวม	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4.6 วิธีการทดลองส่งเสริมให้ผู้เรียน สามารถคิดและปฏิบัติแบบ วิทยาศาสตร์	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้

ตาราง 20 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ				รวม	IOC	การพิจารณา
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่						
	1	2	3				
<b>5. แบบบันทึกผลการทดลอง</b>							
5.1 แบบบันทึกผลการทดลองมี ความสอดคล้องกับวิธีการ ทดลอง	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
5.2 แบบบันทึกผลการทดลองมี ความชัดเจน เข้าใจง่าย	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	

ตาราง 21 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ๔ ในการทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ					การพิจารณา
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม	IOC	
	1	2	3			
<b>1. วัตถุประสงค์</b>						
1.1 วัตถุประสงค์มีความสอดคล้องกับเนื้อหา	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้
1.2 วัตถุประสงค์มีความชัดเจนสามารถประเมินผลได้จริง	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้
<b>2. หลักการ</b>						
2.1 หลักการมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้
2.2 หลักการถูกต้องและครอบคลุมเนื้อหา	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้
2.3 หลักการมีความต่อเนื่องเป็นลำดับขั้นตอน	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้
2.4 หลักการมีเนื้อหาที่ครอบคลุมการทดลอง	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้
2.5 หลักการมีความเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้
2.6 หลักการเขียนโดยใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย ไม่กำกวม	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้

ตาราง 21 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ					การพิจารณา
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม	IOC	
	1	2	3			
<b>3. เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี</b>						
3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี มีความเหมาะสมกับการ ทดลอง	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี มีความเหมาะสมกับระดับ ผู้เรียน	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
<b>4. วิธีการทดลอง</b>						
4.1 วิธีการทดลองมีความ สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และหลักการ	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้
4.2 วิธีการทดลองได้เรียงลำดับ เป็นขั้นตอนที่ถูกต้อง	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4.3 วิธีการทดลองมีความ เหมาะสมกับระดับของผู้เรียน	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4.4 วิธีการทดลองมีความ เหมาะสมกับระยะเวลาที่ กำหนด	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4.5 วิธีการทดลองเขียนโดยใช้ ภาษาที่เข้าใจง่าย ไม่กำกวม	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4.6 วิธีการทดลองส่งเสริมให้ผู้เรียน สามารถคิดและปฏิบัติแบบ วิทยาศาสตร์	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้

ตาราง 21 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ					การพิจารณา
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม	IOC	
	1	2	3			
<b>5. แบบบันทึกผลการทดลอง</b>						
5.1 แบบบันทึกผลการทดลองมี ความสอดคล้องกับวิธีการ ทดลอง	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
5.2 แบบบันทึกผลการทดลองมี ความชัดเจน เข้าใจง่าย	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้

ตาราง 22 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบระหว่างเรียนการทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ				รวม	IOC	การพิจารณา
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่						
	1	2	3				
1	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
2	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
3	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
4	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้	
5	+1	+1	0	2	0.67	ใช้ได้	
6	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
7	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
8	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
9	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
10	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	

ตาราง 23 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบระหว่างเรียนการทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ				IOC	การพิจารณา
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม		
	1	2	3			
1	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้
2	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
3	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้
5	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้
6	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
7	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้
8	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
9	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
10	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้

ตาราง 24 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบระหว่างเรียนการทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ				IOC	การพิจารณา
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม		
	1	2	3			
1	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้
2	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้
3	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
5	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
6	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
7	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
8	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
9	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้
10	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้



ตาราง 25 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบระหว่างเรียนการทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ				รวม	IOC	การพิจารณา
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่						
	1	2	3				
1	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
2	0	+1	+1	2	0.67	ใช้ได้	
3	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
4	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
5	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
6	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
7	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
8	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้	
9	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
10	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	

ตาราง 26 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบระหว่างเรียนการทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ				IOC	การพิจารณา
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม		
	1	2	3			
1	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้
2	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
3	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
5	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
6	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
7	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
8	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
9	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
10	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้

ตาราง 27 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบระหว่างเรียนการทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ				IOC	การพิจารณา
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม		
	1	2	3			
1	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
2	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
3	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
5	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
6	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
7	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
8	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
9	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
10	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้

ตาราง 28 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟี และเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

การ ทดลอง ที่	ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ				รวม	IOC	การพิจารณา
		ผู้เชี่ยวชาญท่านที่						
		1	2	3				
	1	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	2	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้	
	3	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	4	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	5	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	6	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	7	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	8	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
1	9	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	10	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	11	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	12	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	13	0	+1	+1	2	0.67	ใช้ได้	
	14	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	15	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	16	0	+1	+1	2	0.67	ใช้ได้	
	17	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	

ตาราง 28 (ต่อ)

การ ทดลอง ที่	ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ					IOC	การพิจารณา
		ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม			
		1	2	3				
1	18	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้	
	19	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	20	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
2	21	0	+1	+1	2	0.67	ใช้ได้	
	22	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	23	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้	
	24	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้	
	25	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	26	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	27	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	28	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	29	+1	+1	0	2	0.67	ใช้ได้	
	30	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	31	0	+1	+1	2	0.67	ใช้ได้	
	32	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	33	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	34	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	35	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	36	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	

ตาราง 28 (ต่อ)

การ ทดลอง ที่	ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ					IOC	การพิจารณา
		ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม			
		1	2	3				
2	37	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	38	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	39	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	40	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
3	41	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้	
	42	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	43	0	+1	+1	2	0.67	ใช้ได้	
	44	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	45	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้	
	46	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	47	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้	
	48	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	49	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	50	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	51	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	52	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้	
	53	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	54	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	55	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	

ตาราง 28 (ต่อ)

การ ทดลอง ที่	ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ					IOC	การพิจารณา
		ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม			
		1	2	3				
	56	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	57	0	+1	+1	2	0.67	ใช้ได้	
3	58	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้	
	59	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	60	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	

ตาราง 29 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

การทดลองที่	ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ					IOC	การพิจารณา
		ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม	IOC		
		1	2	3				
1	1	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	2	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	3	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้	
	4	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	5	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	6	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
2	1	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	2	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	3	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	4	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	5	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้	
	6	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
3	1	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	2	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	3	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้	
	4	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	5	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	6	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	



ตาราง 29 (ต่อ)

การทดลองที่	ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ					IOC	การพิจารณา
		ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม			
		1	2	3				
3	7	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้	
	8	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	

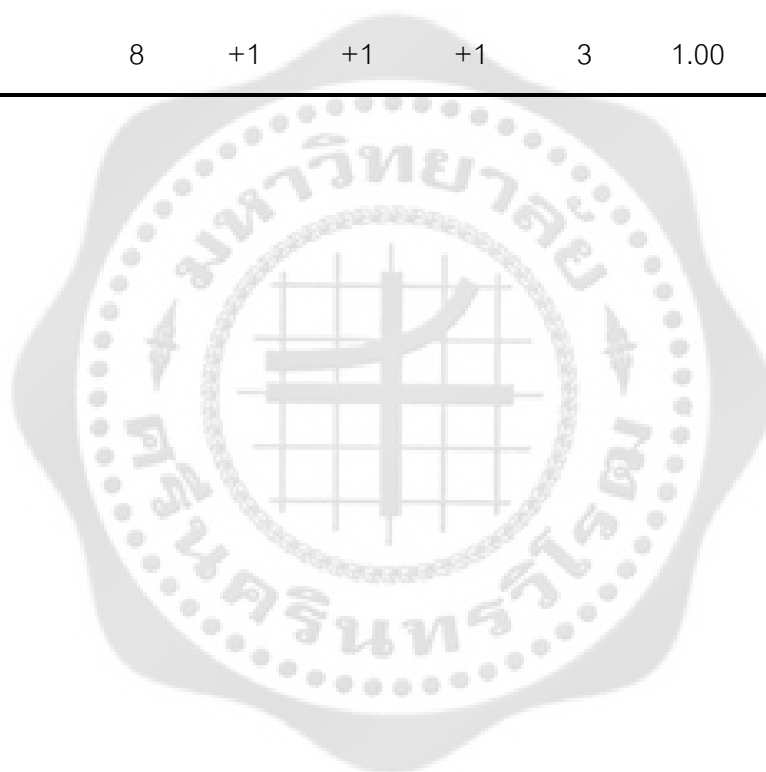


ตาราง 30 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบประเมินคำตอบของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน

การทดลองที่	ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ					IOC	การพิจารณา
		ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม	IOC		
		1	2	3				
1	1	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	2	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	3	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	4	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้	
	5	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	6	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้	
2	1	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	2	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	3	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	4	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้	
	5	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	6	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
3	1	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	2	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	3	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	4	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	5	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	

ตาราง 30 (ต่อ)

การทดลองที่	ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ					IOC	การพิจารณา
		ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม			
		1	2	3				
	6	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
3	7	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	
	8	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้	

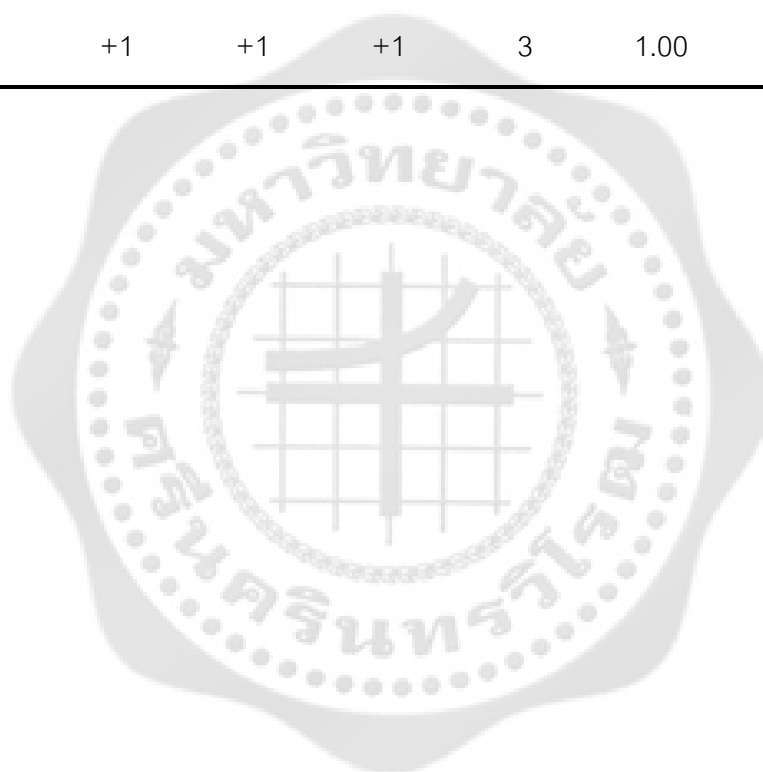


ตาราง 31 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ฯ ในการทดลองที่ 1 การแยกองค์-วัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ				IOC	การพิจารณา
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม		
	1	2	3			
1	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
2	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
3	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
5	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
6	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
7	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
8	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
9	+1	0	+1	2	0.67	ใช้ได้
10	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
11	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
12	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
13	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
14	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
15	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
16	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
17	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้

ตาราง 31 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ					การพิจารณา
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม	IOC	
	1	2	3			
18	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
19	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
20	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้

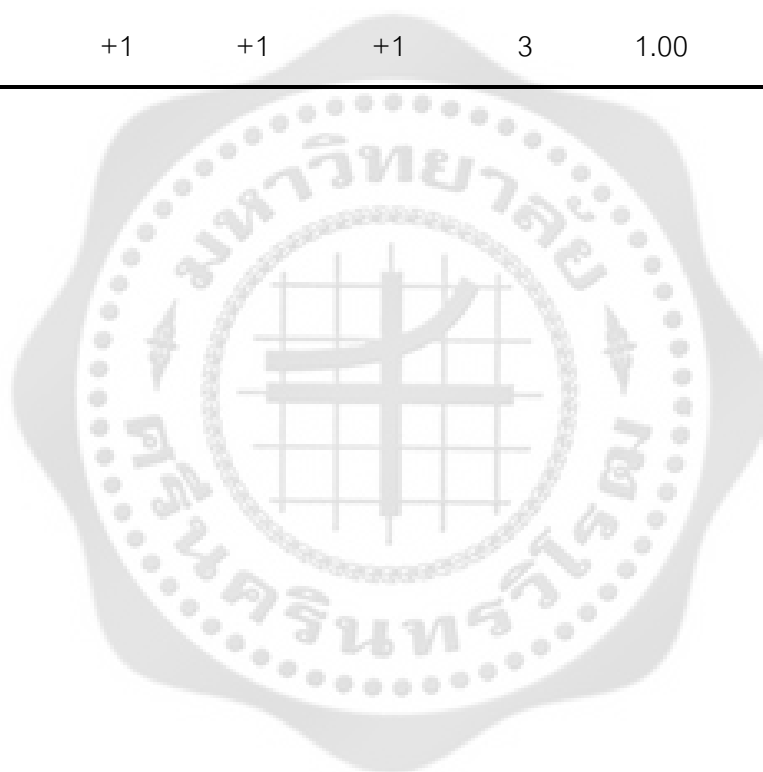


ตาราง 32 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ๕ ในการทดลองที่ 2 การแยกวัตถุดิบเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ				IOC	การพิจารณา
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม		
	1	2	3			
1	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
2	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
3	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
5	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
6	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
7	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
8	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
9	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
10	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
11	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
12	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
13	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
14	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
15	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
16	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
17	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้

ตาราง 32 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ					การพิจารณา
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม	IOC	
	1	2	3			
18	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
19	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
20	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้



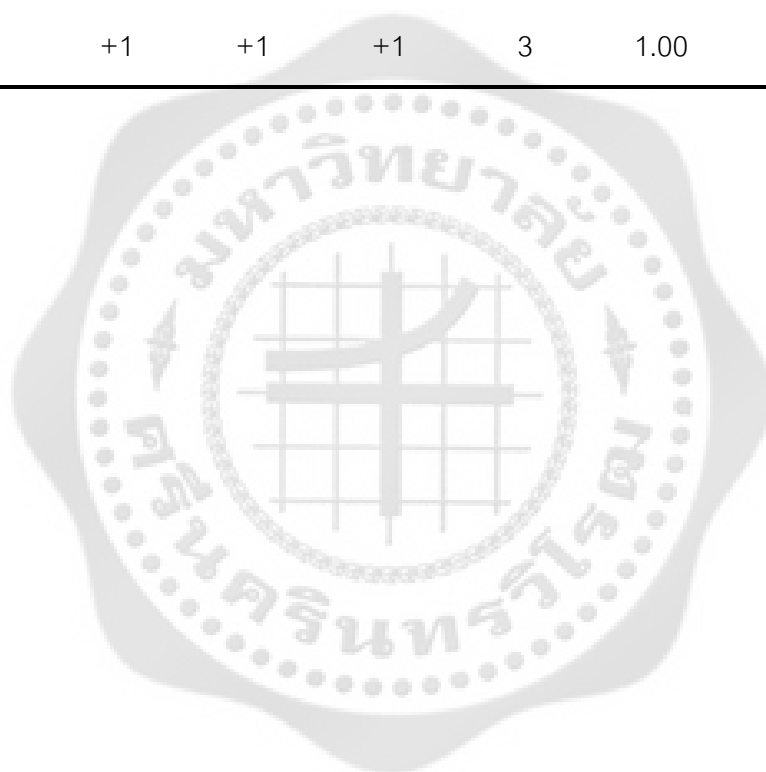
ตาราง 33 ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา และค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ๗ ในการทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ				IOC	การพิจารณา
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม		
	1	2	3			
1	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
2	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
3	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
4	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
5	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
6	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
7	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
8	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
9	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
10	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
11	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
12	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
13	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
14	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
15	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
16	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
17	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้



ตาราง 33 (ต่อ)

ข้อที่	ผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญ					การพิจารณา
	ผู้เชี่ยวชาญท่านที่			รวม	IOC	
	1	2	3			
18	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
19	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้
20	+1	+1	+1	3	1.00	ใช้ได้





ภาคผนวก ค

ผลการหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์  
เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

ตาราง 34 ผลการหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ที่นำไปทดลองใช้กับนิสิตปริญญาตรี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 10 คน

นิสิตคนที่	คะแนน ระหว่างเรียน การทดลองที่ 1 (8 คะแนน)	คะแนน ระหว่างเรียน การทดลองที่ 2 (9 คะแนน)	คะแนน ระหว่างเรียน การทดลองที่ 3 (9 คะแนน)	คะแนน ผลสัมฤทธิ์ ทางการเรียน (30 คะแนน)
1	5.00	8.00	9.00	20
2	7.00	7.00	9.00	24
3	6.50	5.00	8.00	27
4	6.00	4.00	6.00	26
5	5.00	9.00	6.00	26
6	6.00	9.00	6.00	23
7	7.00	6.00	6.00	24
8	7.00	6.00	6.00	25
9	8.00	7.00	7.00	21
10	6.00	9.00	8.00	22
<b>รวม</b>	63.50	70.00	71.00	238
$\bar{X}$	6.35	7.00	7.10	23.80
S.D.	0.94	1.76	1.29	2.30
E	79.38	77.78	78.89	79.33
$E_1 = 78.68$				$E_2 = 79.33$
$E_1/E_2 = 78.68/79.33$				

ตาราง 35 ผลการหาประสิทธิภาพของบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ที่นำไปทดลองใช้กับนิสิตปริญญาตรี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จำนวน 30 คน

นิสิตคนที่	คะแนน ระหว่างเรียน การทดลองที่ 1 (8 คะแนน)	คะแนน ระหว่างเรียน การทดลองที่ 2 (9 คะแนน)	คะแนน ระหว่างเรียน การทดลองที่ 3 (9 คะแนน)	คะแนน ผลสัมฤทธิ์ ทางการเรียน (30 คะแนน)
1	6.50	8.00	7.00	23
2	8.00	8.00	8.00	25
3	8.00	6.00	8.00	26
4	8.00	6.00	7.00	21
5	4.50	4.00	5.00	16
6	7.00	9.00	9.00	29
7	8.00	9.00	9.00	28
8	8.00	9.00	9.00	30
9	3.00	4.00	5.00	13
10	5.50	9.00	9.00	27
11	8.00	9.00	7.00	29
12	8.00	7.00	8.00	25
13	8.00	9.00	9.00	30
14	2.50	4.00	5.00	15
15	8.00	8.00	9.00	29
16	5.50	8.00	8.00	26
17	8.00	9.00	9.00	29
18	6.00	9.00	8.00	28

ตาราง 35 (ต่อ)

นิสิตคนที่	คะแนน ระหว่างเรียน การทดลองที่ 1 (8 คะแนน)	คะแนน ระหว่างเรียน การทดลองที่ 2 (9 คะแนน)	คะแนน ระหว่างเรียน การทดลองที่ 3 (9 คะแนน)	คะแนน ผลสัมฤทธิ์ ทางการเรียน (30 คะแนน)
19	2.50	3.00	5.00	14
20	8.00	9.00	9.00	30
21	4.50	4.00	3.00	16
22	7.00	9.00	9.00	28
23	2.50	5.00	3.00	15
24	7.00	9.00	8.00	26
25	8.00	9.00	9.00	30
26	8.00	9.00	8.00	30
27	8.00	9.00	6.00	27
28	2.50	4.00	5.00	14
29	8.00	4.00	4.00	18
30	6.00	8.00	8.00	27
<b>รวม</b>	192.50	217.00	216.00	724
$\bar{X}$	6.42	7.23	7.20	24.13
S.D.	2.04	2.16	1.94	5.95
E	80.21	80.37	80.00	80.44
$E_1 = 80.19$			$E_2 = 80.44$	
$E_1/E_2 = 80.19/80.44$				

## ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก  
และค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์
2. ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส
3. ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ
4. ผลการวิเคราะห์ค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

ตาราง 36 ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย ( $p$ ) ค่าอำนาจจำแนก ( $r$ ) และค่าความเชื่อมั่น ( $\alpha$ ) ของแบบทดสอบระหว่างเรียนการทดลองที่ 1 การแยกทรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ

ข้อที่	$P_H$	$P_L$	$P_H + P_L$	$P_H - P_L$	$p$	$r$	การพิจารณา	ข้อที่เลือก
1	0.90	0.67	1.57	0.23	0.78	0.23	ใช้ได้	-
2	0.37	0.07	0.43	0.30	0.22	0.30	ใช้ได้	-
3	1.00	1.00	2.00	0.00	1.00	0.00	ตัดทิ้ง	-
4	0.93	0.87	1.80	0.07	0.90	0.07	ตัดทิ้ง	-
5	1.00	0.48	1.48	0.52	0.74	0.52	ใช้ได้	✓
6	0.90	0.52	1.42	0.38	0.71	0.38	ใช้ได้	✓
7	0.78	0.42	1.20	0.37	0.60	0.37	ใช้ได้	✓
8	0.63	0.37	1.00	0.27	0.50	0.27	ใช้ได้	-
9	0.87	0.53	1.40	0.33	0.70	0.33	ใช้ได้	✓
10	0.83	0.63	1.47	0.20	0.73	0.20	ใช้ได้	✓

#### หมายเหตุ

ข้อสอบที่คัดเลือกไว้จำนวน 5 ข้อ มีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.60 - 0.74 ค่าอำนาจจำแนกมีค่าตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป และวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นได้เท่ากับ 0.58

ตาราง 37 ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย ( $p$ ) ค่าอำนาจจำแนก ( $r$ ) และค่าความเชื่อมั่น ( $\alpha$ ) ของแบบทดสอบระหว่างเรียนการทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ

ข้อที่	$P_H$	$P_L$	$P_H + P_L$	$P_H - P_L$	$p$	$r$	การพิจารณา	ข้อที่เลือก
1	0.70	0.57	1.27	0.13	0.63	0.13	ตัดทิ้ง	-
2	0.90	0.73	1.63	0.17	0.82	0.17	ตัดทิ้ง	-
3	0.87	0.57	1.43	0.30	0.72	0.30	ใช้ได้	✓
4	1.00	0.93	1.93	0.07	0.97	0.07	ตัดทิ้ง	-
5	1.00	0.60	1.60	0.40	0.80	0.40	ใช้ได้	✓
6	1.00	1.00	2.00	0.00	1.00	0.00	ตัดทิ้ง	-
7	0.83	0.43	1.27	0.40	0.63	0.40	ใช้ได้	✓
8	0.70	0.40	1.10	0.30	0.55	0.30	ใช้ได้	-
9	0.77	0.53	1.30	0.23	0.65	0.23	ใช้ได้	✓
10	1.00	0.53	1.53	0.47	0.77	0.47	ใช้ได้	✓

#### หมายเหตุ

ข้อสอบที่คัดเลือกไว้จำนวน 5 ข้อ มีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.63 - 0.80 ค่าอำนาจจำแนกมีค่าตั้งแต่ 0.23 ขึ้นไป และวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นได้เท่ากับ 0.68



ตาราง 38 ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย ( $p$ ) ค่าอำนาจจำแนก ( $r$ ) และค่าความเชื่อมั่น ( $\alpha$ ) ของแบบทดสอบระหว่างเรียนการทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กลำดับสำหรับการแยกสารผสม

ข้อที่	$P_H$	$P_L$	$P_H + P_L$	$P_H - P_L$	$p$	$r$	การพิจารณา	ข้อที่เลือก
1	0.90	0.57	1.47	0.33	0.73	0.33	ใช้ได้	✓
2	0.93	0.67	1.60	0.27	0.80	0.27	ใช้ได้	✓
3	0.90	0.83	1.73	0.07	0.87	0.07	ตัดทิ้ง	-
4	1.00	0.60	1.60	0.40	0.80	0.40	ใช้ได้	✓
5	0.80	0.73	1.53	0.07	0.77	0.07	ตัดทิ้ง	-
6	0.80	0.60	1.40	0.20	0.70	0.20	ใช้ได้	-
7	0.93	0.80	1.73	0.13	0.87	0.13	ตัดทิ้ง	-
8	0.80	0.60	1.40	0.20	0.70	0.20	ใช้ได้	✓
9	0.93	0.53	1.47	0.40	0.73	0.40	ใช้ได้	-
10	0.93	0.47	1.40	0.46	0.70	0.46	ใช้ได้	✓

#### หมายเหตุ

ข้อสอบที่คัดเลือกไว้จำนวน 5 ข้อ มีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.70 - 0.80 ค่าอำนาจจำแนกมีค่าตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป และวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นได้เท่ากับ 0.50

ตาราง 39 ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (r) และค่าความเชื่อมั่น ( $r_{ct}$ ) ของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟี และเทคนิคอิเล็กโทรโฟเรซิส

การทดลองที่	ข้อที่	$P_H$	$P_L$	$P_H + P_L$	$P_H - P_L$	p	r	การพิจารณา	ข้อที่เลือก
	1	14	9	23	5	0.77	0.33	ใช้ได้	✓
	2	13	7	20	6	0.67	0.40	ใช้ได้	-
	3	8	8	16	0	0.53	0.00	ตัดทิ้ง	-
	4	15	13	28	2	0.93	0.13	ตัดทิ้ง	-
	5	12	9	21	3	0.70	0.20	ใช้ได้	✓
	6	12	4	16	8	0.53	0.53	ใช้ได้	✓
	7	11	9	20	2	0.67	0.13	ตัดทิ้ง	-
	8	5	3	8	2	0.27	0.13	ตัดทิ้ง	-
1	9	13	4	17	9	0.57	0.60	ใช้ได้	✓
	10	9	5	14	4	0.47	0.27	ใช้ได้	-
	11	7	3	10	4	0.33	0.27	ใช้ได้	✓
	12	14	9	23	5	0.77	0.33	ใช้ได้	✓
	13	9	4	13	5	0.43	0.33	ใช้ได้	-
	14	6	3	9	3	0.30	0.20	ใช้ได้	✓
	15	14	6	20	8	0.67	0.53	ใช้ได้	✓
	16	7	4	11	3	0.37	0.20	ใช้ได้	✓
	17	7	3	10	4	0.33	0.27	ใช้ได้	-
	18	8	4	12	4	0.40	0.27	ใช้ได้	✓

ตาราง 39 (ต่อ)

การ ทดลอง ที่	ข้อ ที่	$P_H$	$P_L$	$P_H + P_L$	$P_H - P_L$	p	r	การ พิจารณา	ข้อที่ เลือก
1	19	9	8	17	1	0.57	0.07	ตัดทิ้ง	-
	20	15	14	29	1	0.97	0.07	ตัดทิ้ง	-
2	21	6	2	8	4	0.27	0.27	ใช้ได้	-
	22	9	6	15	3	0.50	0.20	ใช้ได้	✓
	23	8	5	13	3	0.43	0.20	ใช้ได้	-
	24	14	8	22	6	0.73	0.40	ใช้ได้	✓
	25	7	3	10	4	0.33	0.27	ใช้ได้	✓
	26	6	6	12	0	0.40	0.00	ตัดทิ้ง	-
	27	9	4	13	5	0.43	0.33	ใช้ได้	✓
	28	7	4	11	3	0.37	0.20	ใช้ได้	✓
	29	5	5	10	0	0.33	0.00	ตัดทิ้ง	-
	30	9	5	14	4	0.47	0.27	ใช้ได้	✓
	31	7	3	10	4	0.33	0.27	ใช้ได้	-
	32	9	7	16	2	0.53	0.13	ตัดทิ้ง	-
	33	9	5	14	4	0.47	0.27	ใช้ได้	-
	34	7	2	9	5	0.30	0.33	ใช้ได้	✓
	35	10	8	18	2	0.60	0.13	ตัดทิ้ง	-
	36	9	1	10	8	0.33	0.53	ใช้ได้	✓
	37	14	5	19	9	0.63	0.60	ใช้ได้	✓
	38	6	2	8	4	0.27	0.27	ใช้ได้	-

ตาราง 39 (ต่อ)

การทดลองที่	ข้อที่	$P_H$	$P_L$	$P_H + P_L$	$P_H - P_L$	p	r	การพิจารณา	ข้อที่เลือก
2	39	4	4	8	0	0.27	0.00	ตัดทิ้ง	-
	40	11	2	13	9	0.43	0.60	ใช้ได้	✓
3	41	9	5	14	4	0.47	0.27	ใช้ได้	✓
	42	14	10	24	4	0.80	0.27	ใช้ได้	✓
	43	8	4	12	4	0.40	0.27	ใช้ได้	-
	44	9	9	18	0	0.60	0.00	ตัดทิ้ง	-
	45	15	14	29	1	0.97	0.07	ตัดทิ้ง	-
	46	11	10	21	1	0.70	0.07	ตัดทิ้ง	-
	47	4	4	8	0	0.27	0.00	ตัดทิ้ง	-
	48	8	4	12	4	0.40	0.27	ใช้ได้	-
	49	14	10	24	4	0.80	0.27	ใช้ได้	✓
	50	14	9	23	5	0.77	0.33	ใช้ได้	✓
	51	3	2	5	1	0.17	0.07	ตัดทิ้ง	-
	52	12	11	23	1	0.77	0.07	ตัดทิ้ง	-
	53	10	5	15	5	0.50	0.33	ใช้ได้	✓
	54	12	9	21	3	0.70	0.20	ใช้ได้	✓
	55	13	7	20	6	0.67	0.40	ใช้ได้	✓
	56	13	9	22	4	0.73	0.27	ใช้ได้	✓
57	10	4	14	6	0.47	0.40	ใช้ได้	-	
58	8	6	14	2	0.47	0.13	ตัดทิ้ง	-	

ตาราง 39 (ต่อ)

การ ทดลอง ที่	ข้อ ที่	$P_H$	$P_L$	$P_H + P_L$	$P_H - P_L$	$p$	$r$	การ พิจารณา	ข้อที่ เลือก
3	59	13	9	22	4	0.73	0.27	ใช้ได้	✓
	60	15	6	21	9	0.70	0.60	ใช้ได้	✓

**หมายเหตุ**

ข้อสอบที่คัดเลือกไว้จำนวน 30 ข้อ มีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.30 - 0.80 ค่าอำนาจ  
จำแนกมีค่าตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป และวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นได้เท่ากับ 0.83



ตาราง 40 ผลการวิเคราะห์ค่าความยากง่าย ( $p$ ) ค่าอำนาจจำแนก ( $r$ ) และค่าความเชื่อมั่น ( $\alpha$ ) ของแบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ

การทดลอง ที่	ข้อที่	$P_H$	$P_L$	$P_H + P_L$	$P_H - P_L$	$p$	$r$	การ พิจารณา	ข้อที่ เลือก
1	1	0.83	0.47	1.30	0.37	0.65	0.37	ใช้ได้	✓
	2	1.00	0.87	1.87	0.13	0.93	0.13	ตัดทิ้ง	-
	3	0.78	0.49	1.27	0.29	0.63	0.29	ใช้ได้	✓
	4	0.78	0.53	1.31	0.24	0.66	0.24	ใช้ได้	✓
	5	0.75	0.53	1.28	0.22	0.64	0.22	ใช้ได้	✓
	6	0.67	0.44	1.11	0.22	0.56	0.22	ใช้ได้	✓
2	1	0.70	0.20	0.90	0.50	0.45	0.50	ใช้ได้	✓
	2	0.73	0.33	1.07	0.40	0.53	0.40	ใช้ได้	✓
	3	0.93	0.63	1.57	0.30	0.78	0.30	ใช้ได้	✓
	4	0.83	0.57	1.40	0.27	0.70	0.27	ใช้ได้	✓
	5	0.77	0.57	1.33	0.20	0.67	0.20	ใช้ได้	✓
	6	1.00	0.98	1.98	0.02	0.99	0.02	ตัดทิ้ง	-
3	1	0.89	0.62	1.51	0.27	0.76	0.27	ใช้ได้	✓
	2	0.60	0.20	0.80	0.40	0.40	0.40	ใช้ได้	✓
	3	0.71	0.49	1.20	0.22	0.60	0.22	ใช้ได้	✓
	4	0.80	0.53	1.33	0.27	0.67	0.27	ใช้ได้	-
	5	0.44	0.36	0.80	0.09	0.40	0.09	ตัดทิ้ง	-
	6	0.63	0.40	1.03	0.23	0.52	0.23	ใช้ได้	✓
	7	0.92	0.78	1.70	0.14	0.85	0.14	ตัดทิ้ง	-

ตาราง 40 (ต่อ)

การทดลอง ที่	ข้อที่	$P_H$	$P_L$	$P_H + P_L$	$P_H - P_L$	$p$	$r$	การ พิจารณา	ข้อที่ เลือก
3	8	0.87	0.60	1.47	0.27	0.73	0.27	ใช้ได้	✓

#### หมายเหตุ

ข้อสอบที่คัดเลือกไว้จำนวน 15 ข้อ มีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.40 - 0.78 ค่าอำนาจ  
จำแนกมีค่าตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป และวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นได้เท่ากับ 0.56



ตาราง 41 ผลการวิเคราะห์ค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความเชื่อมั่น ( $\alpha$ ) ของแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ฯ ในการทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ข้อที่เลือก
1. นิสิตคิดว่าวัตถุประสงค์ในการทดลองมีความชัดเจนและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด	4.23	0.50	-
2. นิสิตคิดว่าวัตถุประสงค์ในการทดลองสามารถลงมือปฏิบัติได้จริงมากน้อยเพียงใด	4.30	0.53	✓
3. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้มีเนื้อหาที่สัมพันธ์กับทฤษฎีที่ได้เรียนมาก่อนหน้านี้ในระดับใด	4.43	0.63	✓
4. นิสิตคิดว่าเนื้อหาในการทดลองนี้มีความเหมาะสมกับระดับปริญญาตรีมากน้อยเพียงใด	4.30	0.60	-
5. นิสิตคิดว่าการจัดลำดับหลักการมีความต่อเนื่องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด	4.27	0.58	✓
6. นิสิตคิดว่าเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้มีความเหมาะสมกับการทดลองอยู่ในระดับใด	4.27	0.58	✓
7. นิสิตคิดว่าวิธีการทดลองมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และหลักการมากน้อยเพียงใด	4.30	0.60	-
8. นิสิตคิดว่าวิธีการทดลองมีลำดับขั้นตอนที่เข้าใจง่ายมากน้อยเพียงใด	4.13	0.63	✓
9. นิสิตคิดว่าวิธีการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับปริญญาตรีมากน้อยเพียงใด	4.13	0.63	✓
10. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้มีระยะเวลาในการทดลองที่เหมาะสมอยู่ในระดับใด	4.10	0.66	✓
11. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้มีความแปลกใหม่น่าสนใจอยู่ในระดับใด	4.13	0.78	-



ตาราง 41 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ข้อที่เลือก
12. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ทำให้นิสิตเข้าใจใน หลักการแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบ เยื่อกระดาษอยู่ในระดับใด	4.10	0.61	✓
13. การทดลองนี้ทำให้นิสิตรู้สึกกระตือรือร้นในการ เรียนรู้มากน้อยเพียงใด	4.07	0.69	✓
14. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ได้ส่งเสริมให้นิสิตทำงาน ร่วมกันเป็นกลุ่มมากน้อยเพียงใด	4.07	0.64	✓
15. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ได้ส่งเสริมให้นิสิตได้ลง มือศึกษา ค้นคว้า และทดลองด้วยตนเองอยู่ใน ระดับใด	4.03	0.67	✓
16. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ ในชีวิตประจำวันได้มากน้อยเพียงใด	3.93	0.69	-
17. นิสิตคิดว่าได้รับประโยชน์จากการปฏิบัติการ ทดลองนี้มากน้อยเพียงใด	4.10	0.55	✓
18. จากการทดลองทำให้นิสิตเห็นความสำคัญของ เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษมากน้อย เพียงใด	4.07	0.58	✓
19. นิสิตรู้สึกประทับใจที่ได้ทำการทดลองแยกรงค- วัตถุจากใบผักคะน้าด้วยตนเองอยู่ในระดับใด	4.13	0.63	✓
20. การทดลองนี้ทำให้นิสิตรู้สึกชอบการปฏิบัติการ ทดลองมากน้อยเพียงใด	4.17	0.59	✓
<b>ค่าเฉลี่ย</b>	4.16	0.62	

**หมายเหตุ**

แบบสอบถามที่คัดเลือกไว้จำนวน 15 ข้อ นำไปวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นได้เท่ากับ 0.88

ตาราง 42 ผลการวิเคราะห์ค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความเชื่อมั่น ( $\alpha$ ) ของแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ฯ ในการทดลองที่ 2 การแยกวัตถุดิบเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ข้อที่เลือก
1. นิสิตคิดว่าวัตถุประสงค์ในการทดลองมีความชัดเจนและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด	4.20	0.55	-
2. นิสิตคิดว่าวัตถุประสงค์ในการทดลองสามารถลงมือปฏิบัติได้จริงมากน้อยเพียงใด	4.33	0.55	✓
3. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้มีเนื้อหาที่สัมพันธ์กับทฤษฎีที่ได้เรียนมาก่อนหน้านี้ในระดับใด	4.30	0.65	✓
4. นิสิตคิดว่าเนื้อหาในการทดลองนี้มีความเหมาะสมกับระดับปริญญาตรีมากน้อยเพียงใด	4.23	0.68	-
5. นิสิตคิดว่าการจัดลำดับหลักการมีความต่อเนื่องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด	4.20	0.55	✓
6. นิสิตคิดว่าเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้มีความเหมาะสมกับการทดลองอยู่ในระดับใด	4.23	0.68	✓
7. นิสิตคิดว่าวิธีการทดลองมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และหลักการมากน้อยเพียงใด	4.33	0.55	-
8. นิสิตคิดว่าวิธีการทดลองมีลำดับขั้นตอนที่เข้าใจง่ายมากน้อยเพียงใด	4.17	0.53	✓
9. นิสิตคิดว่าวิธีการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับปริญญาตรีมากน้อยเพียงใด	4.23	0.57	✓
10. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้มีระยะเวลาในการทดลองที่เหมาะสมอยู่ในระดับใด	4.10	0.55	✓
11. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้มีความแปลกใหม่น่าสนใจอยู่ในระดับใด	3.97	0.61	-

ตาราง 42 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ข้อที่เลือก
12. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ทำให้นิสิตเข้าใจใน หลักการแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบ เยื่อบาง 2 มิติ อยู่ในระดับใด	4.03	0.61	✓
13. การทดลองนี้ทำให้นิสิตรู้สึกกระตือรือร้นในการ เรียนรู้มากน้อยเพียงใด	4.10	0.61	✓
14. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ได้ส่งเสริมให้นิสิตทำงาน ร่วมกันเป็นกลุ่มมากน้อยเพียงใด	4.10	0.61	✓
15. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ได้ส่งเสริมให้นิสิตได้ลง มือศึกษา ค้นคว้า และทดลองด้วยตนเองอยู่ใน ระดับใด	4.23	0.57	✓
16. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ ในชีวิตประจำวันได้มากน้อยเพียงใด	4.17	0.65	-
17. นิสิตคิดว่าได้รับประโยชน์จากการปฏิบัติการ ทดลองนี้มากน้อยเพียงใด	4.10	0.40	✓
18. จากการทดลองทำให้นิสิตเห็นความสำคัญของ เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ มาก น้อยเพียงใด	4.10	0.55	✓
19. นิสิตรู้สึกประทับใจที่ได้ทำการทดลองแยกวัตถุดิบ เสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ ด้วยตนเองอยู่ในระดับใด	4.27	0.64	✓
20. การทดลองนี้ทำให้นิสิตรู้สึกชอบการปฏิบัติการ ทดลองมากน้อยเพียงใด	4.33	0.55	✓
<b>ค่าเฉลี่ย</b>	4.19	0.58	

**หมายเหตุ**

แบบสอบถามที่คัดเลือกไว้จำนวน 15 ข้อ นำไปวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นได้เท่ากับ 0.90

ตาราง 43 ผลการวิเคราะห์ค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าความเชื่อมั่น ( $\alpha$ ) ของแบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ๗ ในการทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ข้อที่เลือก
1. นิสิตคิดว่าวัตถุประสงค์ในการทดลองมีความชัดเจนและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด	4.07	0.64	-
2. นิสิตคิดว่าวัตถุประสงค์ในการทดลองสามารถลงมือปฏิบัติได้จริงมากน้อยเพียงใด	4.13	0.68	✓
3. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้มีเนื้อหาที่สัมพันธ์กับทฤษฎีที่ได้เรียนมาก่อนหน้านี้ในระดับใด	4.27	0.74	✓
4. นิสิตคิดว่าเนื้อหาในการทดลองนี้มีความเหมาะสมกับระดับปริญญาตรีมากน้อยเพียงใด	4.13	0.68	-
5. นิสิตคิดว่าการจัดลำดับหลักการมีความต่อเนื่องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด	4.20	0.61	✓
6. นิสิตคิดว่าเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้มีความเหมาะสมกับการทดลองอยู่ในระดับใด	4.10	0.66	✓
7. นิสิตคิดว่าวิธีการทดลองมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และหลักการมากน้อยเพียงใด	4.20	0.71	-
8. นิสิตคิดว่าวิธีการทดลองมีลำดับขั้นตอนที่เข้าใจง่ายมากน้อยเพียงใด	4.13	0.73	✓
9. นิสิตคิดว่าวิธีการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับปริญญาตรีมากน้อยเพียงใด	4.17	0.59	✓
10. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้มีระยะเวลาในการทดลองที่เหมาะสมอยู่ในระดับใด	4.07	0.64	✓
11. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้มีความแปลกใหม่น่าสนใจอยู่ในระดับใด	3.90	0.71	-

ตาราง 43 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ข้อที่เลือก
12. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ทำให้นิสิตเข้าใจในหลักการแยกสารด้วยด้วยเทคนิคแคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส อยู่ในระดับใด	4.17	0.53	✓
13. การทดลองนี้ทำให้นิสิตรู้สึกกระตือรือร้นในการเรียนรู้มากน้อยเพียงใด	4.00	0.74	✓
14. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ได้ส่งเสริมให้นิสิตทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มมากน้อยเพียงใด	4.13	0.97	✓
15. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ได้ส่งเสริมให้นิสิตได้ลงมือศึกษา ค้นคว้า และทดลองด้วยตนเองอยู่ในระดับใด	4.07	0.87	✓
16. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้มากน้อยเพียงใด	4.00	0.83	-
17. นิสิตคิดว่าได้รับประโยชน์จากการปฏิบัติการทดลองนี้มากน้อยเพียงใด	4.03	0.81	✓
18. จากการทดลองทำให้นิสิตเห็นความสำคัญของเทคนิคแคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิสมากน้อยเพียงใด	4.07	0.69	✓
19. นิสิตรู้สึกประทับใจที่ได้ทำการทดลองแยกสารด้วยเทคนิคแคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส ด้วยตนเองอยู่ในระดับใด	4.20	0.76	✓
20. การทดลองนี้ทำให้นิสิตรู้สึกชอบการปฏิบัติการทดลองมากน้อยเพียงใด	4.10	0.76	✓
<b>ค่าเฉลี่ย</b>	<b>4.11</b>	<b>0.72</b>	

**หมายเหตุ**

แบบสอบถามที่คัดเลือกไว้จำนวน 15 ข้อ นำไปวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่นได้เท่ากับ 0.92



ภาคผนวก จ

ผลคะแนนสอบของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง

1. คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟี และเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง
2. คะแนนจากแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง
3. คะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง
4. คะแนนจากแบบบันทึกผลการทดลองปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง
5. คะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

ตาราง 44 คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส ของนิสิตกลุ่มตัวอย่างก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

นิสิตคนที่	คะแนนก่อนเรียน (30 คะแนน)	คะแนนหลังเรียน (30 คะแนน)	D	D <sup>2</sup>
1	9	26	17	289
2	10	26	16	256
3	11	25	14	196
4	15	26	11	121
5	11	27	16	256
6	12	28	16	256
7	14	29	15	225
8	14	28	14	196
9	13	24	11	121
10	5	23	18	324
11	6	25	19	361
12	5	26	21	441
13	6	26	20	400
14	12	24	12	144
15	9	24	15	225
16	7	24	17	289
17	10	25	15	225
18	6	24	18	324
19	12	24	12	144

ตาราง 44 (ต่อ)

นิสิตคนที่	คะแนนก่อนเรียน (30 คะแนน)	คะแนนหลังเรียน (30 คะแนน)	D	D <sup>2</sup>
20	12	26	14	196
21	10	22	12	144
22	7	17	10	100
<b>รวม</b>	216	549	333	5233
$\bar{X}$	9.82	24.95	15.14	237.86
S.D.	3.10	2.46	3.03	93.17



ตาราง 45 ค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย จากแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง

นิสิตจำนวน	คะแนน ระหว่างเรียน	คะแนน ระหว่างเรียน	คะแนน ระหว่างเรียน	คะแนนรวม
22 คน	การทดลองที่ 1 (8 คะแนน)	การทดลองที่ 2 (9 คะแนน)	การทดลองที่ 3 (9 คะแนน)	3 การทดลอง (26 คะแนน)
$\bar{X}$	5.27	5.95	7.68	18.91
S.D.	1.77	1.65	1.49	3.79

จากตาราง 45 พบว่าคะแนนจากแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิตในการทดลองที่ 1 การแยกวงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ มีค่าคะแนนเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 5.27 และ 1.77 ตามลำดับ การทดลองที่ 2 การแยกวงควัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ มีค่าคะแนนเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 5.95 และ 1.65 ตามลำดับ และการทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม มีค่าคะแนนเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 7.68 และ 1.49 ตามลำดับ สำหรับคะแนนโดยภาพรวมจากแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์มีค่าคะแนนเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 18.91 และ 3.79 ตามลำดับ แสดงว่า นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ มีความรู้ความสามารถทางการเรียนในบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ (ดูรายละเอียดในตาราง 46)

ตาราง 46 คะแนนจากแบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิตกลุ่มตัวอย่างหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

นิสิตคนที่	คะแนน ระหว่างเรียน การทดลองที่ 1 (8 คะแนน)	คะแนน ระหว่างเรียน การทดลองที่ 2 (9 คะแนน)	คะแนน ระหว่างเรียน การทดลองที่ 3 (9 คะแนน)	คะแนนรวม 3 การทดลอง (26 คะแนน)
1	6.50	5.00	8.00	19.50
2	3.00	5.00	9.00	17.00
3	6.50	6.00	7.00	19.50
4	6.50	7.00	9.00	22.50
5	7.50	6.00	8.00	21.50
6	7.50	7.00	9.00	23.50
7	6.00	6.00	6.00	18.00
8	8.00	8.00	9.00	25.00
9	5.00	9.00	7.00	21.00
10	4.50	8.00	4.00	16.50
11	2.00	5.00	7.00	14.00
12	6.00	5.00	9.00	20.00
13	3.00	3.00	5.00	11.00
14	4.50	4.00	7.00	15.50
15	4.00	3.00	6.00	13.00
16	4.00	7.00	9.00	20.00
17	6.00	8.00	9.00	23.00
18	5.50	7.00	9.00	21.50

ตาราง 46 (ต่อ)

นิสิตคนที่	คะแนน ระหว่างเรียน การทดลองที่ 1 (8 คะแนน)	คะแนน ระหว่างเรียน การทดลองที่ 2 (9 คะแนน)	คะแนน ระหว่างเรียน การทดลองที่ 3 (9 คะแนน)	คะแนนรวม 3 การทดลอง (26 คะแนน)
19	8.00	7.00	9.00	24.00
20	2.50	5.00	7.00	14.50
21	4.00	6.00	7.00	17.00
22	5.50	4.00	9.00	18.50
รวม	116.00	131.00	169.00	416.00
$\bar{X}$	5.27	5.95	7.68	18.91
S.D.	1.77	1.65	1.49	3.79

ตาราง 47 คะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการของนิสิตกลุ่มตัวอย่างก่อนเรียน และหลังเรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์

นิสิตคนที่	คะแนนก่อนเรียน (32 คะแนน)	คะแนนหลังเรียน (32 คะแนน)	D	D <sup>2</sup>
1	7.00	26.00	19.00	361.00
2	10.50	29.00	18.50	342.25
3	14.00	25.00	11.00	121.00
4	19.50	27.00	7.50	56.25
5	7.50	24.00	16.50	272.25
6	14.00	29.00	15.00	225.00
7	10.50	30.00	19.50	380.25
8	14.50	29.00	14.50	210.25
9	11.00	29.00	18.00	324.00
10	14.50	22.00	7.50	56.25
11	9.50	26.00	16.50	272.25
12	7.00	28.00	21.00	441.00
13	5.00	24.00	19.00	361.00
14	15.50	26.00	10.50	110.25
15	5.50	24.00	18.50	342.25
16	13.00	26.00	13.00	169.00
17	11.00	27.00	16.00	256.00
18	12.50	23.00	10.50	110.25
19	9.00	20.00	11.00	121.00

ตาราง 47 (ต่อ)

นิสิตคนที่	คะแนนก่อนเรียน (32 คะแนน)	คะแนนหลังเรียน (32 คะแนน)	D	D <sup>2</sup>
20	6.00	16.00	10.00	100.00
21	10.00	24.00	14.00	196.00
22	6.50	24.00	17.50	306.25
<b>รวม</b>	233.50	558.00	324.50	5133.80
$\bar{X}$	10.61	25.36	14.75	233.35
S.D.	3.79	3.32	4.07	115.53

ตาราง 48 ค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย จากการตรวจแบบบันทึกผลการทดลองปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง

นิสิตจำนวน 22 คน	คะแนน การทดลองที่ 1 (10 คะแนน)	คะแนน การทดลองที่ 2 (10 คะแนน)	คะแนน การทดลองที่ 3 (10 คะแนน)	คะแนนรวม 3 การทดลอง (30 คะแนน)
$\bar{X}$	9.68	9.77	9.68	29.14
S.D.	0.42	0.43	0.52	1.14

จากตาราง 48 พบว่าคะแนนจากการตรวจแบบบันทึกผลการทดลองปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิตในการทดลองที่ 1 การแยกวงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ มีค่าคะแนนเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 9.68 และ 0.42 ตามลำดับ การทดลองที่ 2 การแยกวัตุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ มีค่าคะแนนเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 9.77 และ 0.43 ตามลำดับ และการทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม มีค่าคะแนนเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 9.68 และ 0.52 ตามลำดับ สำหรับคะแนนโดยภาพรวมจากการตรวจแบบบันทึกผลการทดลองปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์มีค่าคะแนนเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยเท่ากับ 29.14 และ 1.14 ตามลำดับ แสดงว่า นิสิตที่เรียนด้วยบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟี และเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ ในทักษะการกำหนดและควบคุมตัวแปร ทักษะการทดลอง และทักษะการตีความหมายข้อมูลและลงข้อสรุป (ดูรายละเอียดในตาราง 49)

ตาราง 49 คะแนนจากแบบบันทึกผลการทดลองปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง

นิสิตคนที่	คะแนน การทดลองที่ 1 (10 คะแนน)	คะแนน การทดลองที่ 2 (10 คะแนน)	คะแนน การทดลองที่ 3 (10 คะแนน)	คะแนนรวม 3 การทดลอง (30 คะแนน)
1	10.00	10.00	10.00	30.00
2	10.00	10.00	10.00	30.00
3	10.00	10.00	10.00	30.00
4	9.50	9.00	10.00	28.50
5	8.50	9.00	9.50	27.00
6	9.50	10.00	10.00	29.50
7	10.00	10.00	10.00	30.00
8	9.50	10.00	10.00	29.50
9	10.00	10.00	10.00	30.00
10	9.50	9.00	8.50	27.00
11	9.50	10.00	9.00	28.50
12	10.00	10.00	10.00	30.00
13	9.00	10.00	9.00	28.00
14	10.00	10.00	10.00	30.00
15	10.00	10.00	10.00	30.00
16	10.00	10.00	10.00	30.00
17	10.00	10.00	10.00	30.00
18	9.00	9.00	9.50	27.50
19	10.00	10.00	9.00	29.00
20	10.00	10.00	10.00	30.00

ตาราง 49 (ต่อ)

นิสิตคนที่	คะแนน การทดลองที่ 1 (10 คะแนน)	คะแนน การทดลองที่ 2 (10 คะแนน)	คะแนน การทดลองที่ 3 (10 คะแนน)	คะแนนรวม 3 การทดลอง (30 คะแนน)
21	9.50	10.00	10.00	29.50
22	9.50	9.00	8.50	27.00
<b>รวม</b>	213.00	215.00	213.00	641.00
$\bar{X}$	9.68	9.77	9.68	29.14
S.D.	0.42	0.43	0.52	1.14



ตาราง 50 ค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมี  
วิเคราะห์ ๓ ในการทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อ  
กระดาษ ของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. นิสิตคิดว่าวัตถุประสงค์ในการทดลองสามารถ ลงมือปฏิบัติได้จริงมากน้อยเพียงใด	4.27	0.63	มาก
2. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้มีเนื้อหาที่สัมพันธ์กับ ทฤษฎีที่ได้เรียนมาก่อนหน้านี้หรือไม่อยู่ในระดับใด	4.27	0.63	มาก
3. นิสิตคิดว่าการจัดลำดับหลักการมีความต่อเนื่อง และเหมาะสมมากน้อยเพียงใด	4.05	0.72	มาก
4. นิสิตคิดว่าเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง นี้มีความเหมาะสมกับการทดลองอยู่ในระดับใด	4.05	0.72	มาก
5. นิสิตคิดว่าวิธีการทดลองมีลำดับขั้นตอนที่เข้าใจ ง่ายมากน้อยเพียงใด	4.05	0.65	มาก
6. นิสิตคิดว่าวิธีการทดลองมีความเหมาะสมกับ ระดับปริญญาตรีมากน้อยเพียงใด	4.18	0.80	มาก
7. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้มีระยะเวลาในการทดลอง ที่เหมาะสมอยู่ในระดับใด	4.00	0.69	มาก
8. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ทำให้นิสิตเข้าใจใน หลักการแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบ เยื่อกระดาษอยู่ในระดับใด	4.23	0.61	มาก
9. การทดลองนี้ทำให้นิสิตรู้สึกกระตือรือร้นในการ เรียนรู้มากน้อยเพียงใด	3.95	0.72	มาก
10. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ได้ส่งเสริมให้นิสิตทำงาน ร่วมกันเป็นกลุ่มมากน้อยเพียงใด	3.86	0.77	มาก

ตาราง 50 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
11. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ได้ส่งเสริมให้นิสิตได้ลงมือศึกษา ค้นคว้า และทดลองด้วยตนเองอยู่ในระดับใด	3.82	0.73	มาก
12. นิสิตคิดว่าได้รับประโยชน์จากการปฏิบัติการทดลองนี้มากน้อยเพียงใด	4.09	0.75	มาก
13. จากการทดลองทำให้นิสิตเห็นความสำคัญของเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษมากน้อยเพียงใด	4.09	0.53	มาก
14. นิสิตรู้สึกประทับใจที่ได้ทำการทดลองแยกรงควัตถุจากใบผักคะน้าด้วยตนเองอยู่ในระดับใด	4.18	0.66	มาก
15. การทดลองนี้ทำให้นิสิตรู้สึกชอบการปฏิบัติการทดลองมากน้อยเพียงใด	4.23	0.75	มาก
<b>ค่าเฉลี่ย</b>	4.09	0.69	มาก

ตาราง 51 ค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ฯ ในการทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ ของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. นิสิตคิดว่าวัตถุประสงค์ในการทดลองสามารถลงมือปฏิบัติได้จริงมากน้อยเพียงใด	4.23	0.61	มาก
2. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้มีเนื้อหาที่สัมพันธ์กับทฤษฎีที่ได้เรียนมาก่อนหน้านี้หรือไม่อยู่ในระดับใด	4.32	0.65	มาก
3. นิสิตคิดว่าการจัดลำดับหลักการมีความต่อเนื่องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด	4.23	0.75	มาก
4. นิสิตคิดว่าเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้มีความเหมาะสมกับการทดลองอยู่ในระดับใด	4.18	0.66	มาก
5. นิสิตคิดว่าวิธีการทดลองมีลำดับขั้นตอนที่เข้าใจง่ายมากน้อยเพียงใด	4.27	0.70	มาก
6. นิสิตคิดว่าวิธีการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับปริญญาตรีมากน้อยเพียงใด	4.27	0.63	มาก
7. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้มีระยะเวลาในการทดลองที่เหมาะสมอยู่ในระดับใด	4.09	0.68	มาก
8. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ทำให้นิสิตเข้าใจในหลักการแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ อยู่ในระดับใด	4.41	0.59	มาก
9. การทดลองนี้ทำให้นิสิตรู้สึกกระตือรือร้นในการเรียนรู้มากน้อยเพียงใด	4.23	0.61	มาก
10. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ได้ส่งเสริมให้นิสิตทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มมากน้อยเพียงใด	3.91	0.68	มาก

ตาราง 51 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
11. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ได้ส่งเสริมให้นิสิตได้ลงมือศึกษา ค้นคว้า และทดลองด้วยตนเองอยู่ในระดับใด	4.09	0.81	มาก
12. นิสิตคิดว่าได้รับประโยชน์จากการปฏิบัติการทดลองนี้มากน้อยเพียงใด	4.32	0.72	มาก
13. จากการทดลองทำให้นิสิตเห็นความสำคัญของเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ มากน้อยเพียงใด	4.32	0.72	มาก
14. นิสิตรู้สึกประทับใจที่ได้ทำการแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติด้วยตนเองอยู่ในระดับใด	4.32	0.65	มาก
15. การทดลองนี้ทำให้นิสิตรู้สึกชอบการปฏิบัติการทดลองมากน้อยเพียงใด	4.27	0.77	มาก
<b>ค่าเฉลี่ย</b>	<b>4.23</b>	<b>0.68</b>	<b>มาก</b>

ตาราง 52 ค่าคะแนนเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมี  
วิเคราะห์ ๓ ในการทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม  
ของนิสิตกลุ่มตัวอย่าง

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. นิสิตคิดว่าวัตถุประสงค์ในการทดลองสามารถ ลงมือปฏิบัติได้จริงมากน้อยเพียงใด	4.00	0.76	มาก
2. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้มีเนื้อหาที่สัมพันธ์กับ ทฤษฎีที่ได้เรียนมาก่อนหน้านี้ในระดับใด	4.18	0.66	มาก
3. นิสิตคิดว่าการจัดลำดับหลักการมีความต่อเนื่อง และเหมาะสมมากน้อยเพียงใด	4.27	0.70	มาก
4. นิสิตคิดว่าเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง นี้มีความเหมาะสมกับการทดลองอยู่ในระดับใด	4.09	0.87	มาก
5. นิสิตคิดว่าวิธีการทดลองมีลำดับขั้นตอนที่เข้าใจ ง่ายมากน้อยเพียงใด	4.18	0.66	มาก
6. นิสิตคิดว่าวิธีการทดลองมีความเหมาะสมกับ ระดับปริญญาตรีมากน้อยเพียงใด	4.05	0.65	มาก
7. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้มีระยะเวลาในการทดลอง ที่เหมาะสมอยู่ในระดับใด	4.27	0.77	มาก
8. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ทำให้นิสิตเข้าใจใน หลักการแยกสารด้วยเทคนิคแคปิลลารีอิเล็กทรอนิกส์- โทรโพริซิสอยู่ในระดับใด	4.18	0.80	มาก
9. การทดลองนี้ทำให้นิสิตรู้สึกกระตือรือร้นในการ เรียนรู้มากน้อยเพียงใด	4.18	0.73	มาก
10. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ได้ส่งเสริมให้นิสิตทำงาน ร่วมกันเป็นกลุ่มมากน้อยเพียงใด	4.00	0.82	มาก

ตาราง 52 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
11. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ได้ส่งเสริมให้นิสิตได้ลงมือศึกษา ค้นคว้า และทดลองด้วยตนเองอยู่ในระดับใด	4.18	0.66	มาก
12. นิสิตคิดว่าได้รับประโยชน์จากการปฏิบัติการทดลองนี้มากน้อยเพียงใด	4.14	0.83	มาก
13. จากการทดลองทำให้นิสิตเห็นความสำคัญของเทคนิคแคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิสมากน้อยเพียงใด	4.09	0.68	มาก
14. นิสิตรู้สึกประทับใจที่ได้ทำการแยกสารด้วยเทคนิคแคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิสด้วยตนเองอยู่ในระดับใด	4.23	0.69	มาก
15. การทดลองนี้ทำให้นิสิตรู้สึกชอบการปฏิบัติการทดลองมากน้อยเพียงใด	4.27	0.77	มาก
<b>ค่าเฉลี่ย</b>	4.15	0.74	มาก

ภาคผนวก จ  
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. บทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส
2. แบบทดสอบระหว่างเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์
3. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส
4. แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นบูรณาการ
5. แบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

## การทดลองที่ 1

### การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ
2. เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษสำหรับการแยกรงควัตถุในใบผักคะน้า
3. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบสีของรงควัตถุที่แยกได้ในสภาวะกรด-เบส

#### หลักการ

โครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ (Paper Chromatography : PC) คือ เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบแผ่นเรียบ (Planar Chromatography) ที่ใช้สำหรับแยกสารผสมออกจากกัน โดยอาศัยหลักการกระจายตัว (Distribution) ที่แตกต่างกันของสารในวัฏภาคคงที่ (Stationary Phase) และวัฏภาคเคลื่อนที่ (Mobile Phase)

สารแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการกระจายตัวแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอันตรกิริยาของสารกับวัฏภาคทั้งสอง โดยมีกลไกการแยกแบบแบ่งส่วน (Partition) และการกระจายตัวจะเกิดขึ้นบนแผ่นกระดาษที่มีเส้นใยของเซลลูโลสบริสุทธิ์ (Cellulose Fiber) เป็นส่วนประกอบ ทำหน้าที่เป็นตัวค้ำจุน (Support) โดยปกติในกระดาษจะมีน้ำอยู่ประมาณ 6-12% ซึ่งทำหน้าที่เป็นวัฏภาคคงที่ สำหรับวัฏภาคเคลื่อนที่จะใช้ตัวทำละลายที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านวัฏภาคคงที่ด้วยแรงแคพิลลารี (Capillary action) และทำหน้าที่ชะสารตัวอย่างให้เคลื่อนที่ผ่านวัฏภาคคงที่ด้วยแรงขับของวัฏภาคเคลื่อนที่ เรียกว่า Driving force

เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษสามารถแบ่งระบบการแยกสารตามคุณสมบัติของวัฏภาคคงที่และวัฏภาคเคลื่อนที่ได้ 2 ระบบ ดังนี้

1. ระบบ Normal Phase คือ ระบบที่วัฏภาคคงที่เป็นสารที่มีขั้วสูงกว่าวัฏภาคเคลื่อนที่ เช่น ระบบที่ใช้น้ำเป็นวัฏภาคคงที่ ซึ่งเกาะอยู่บนเส้นใยของเซลลูโลสอันเป็นส่วนประกอบหลักของกระดาษ ดังนั้น วัฏภาคเคลื่อนที่จึงเป็นสารที่มีขั้วต่ำกว่าน้ำ เช่น ปิโตรเลียมอีเทอร์กับอะซิโตน อัตราส่วน 9 : 1 โดยปริมาตร เป็นต้น เนื่องจากวัฏภาคคงที่เป็นน้ำ ซึ่งมีคุณสมบัติของความมีขั้วสูง ทำให้สามารถเกิดอันตรกิริยากับสารที่มีขั้วได้ดีกว่าสารที่ไม่มีขั้ว ดังนั้น สารที่มีขั้วจึงเคลื่อนที่ได้ช้า หรืออาจไม่เคลื่อนที่เลย ในกรณีที่เพิ่มความมีขั้วของวัฏภาคเคลื่อนที่จากปิโตรเลียมอีเทอร์กับอะซิโตน อัตราส่วน 9 : 1 เป็นร้อยละ 1 : 1 โดยปริมาตร จะทำให้ความสามารถในการชะสารตัวอย่างของวัฏภาคเคลื่อนที่สูงขึ้น



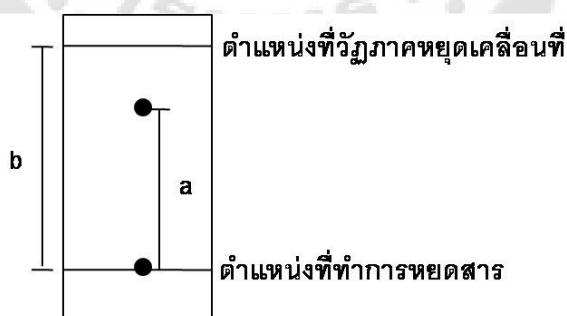
2. ระบบ Reversed Phase คือ ระบบที่วัฏภาคคงที่เป็นสารที่มีขั้วต่ำกว่าวัฏภาคเคลื่อนที่ ดังนั้น วัฏภาคเคลื่อนที่จึงเป็นสารที่มีขั้วสูง เช่น น้ำกับเมทานอล อัตราส่วน 7 : 3 โดยปริมาตร เป็นต้น การเตรียมวัฏภาคคงที่ในระบบนี้ สามารถทำได้ด้วยการนำกระดาษมาไล่น้ำออกไปก่อน แล้วจึงนำมาเคลือบ หรือชุบด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วต่ำ เช่น ยางลาเท็กซ์ น้ำมัน น้ำมันซิลิโคน เป็นต้น เนื่องจากวัฏภาคคงที่มีขั้วต่ำ จึงทำให้เกิดอันตรกิริยากับสารที่ไม่มีขั้วได้ดีกว่าสารที่มีขั้ว ดังนั้น สารที่ไม่มีขั้วจึงเคลื่อนที่ได้ช้า ในกรณีที่ลดความมีขั้วของวัฏภาคเคลื่อนที่ จะทำให้ความสามารถในการชะสาร ตัวอย่างของวัฏภาคเคลื่อนที่สูงขึ้น

#### การคำนวณค่า Retardation factor

Retardation factor ( $R_f$ ) คือ ค่าที่แสดงถึงความสามารถในการเคลื่อนที่ของสาร ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรดังแสดง

$$\text{Retardation factor } (R_f) = \frac{\text{ระยะทางที่สารเคลื่อนที่}}{\text{ระยะทางที่วัฏภาคเคลื่อนที่เคลื่อนที่}}$$

การวัดระยะทางที่สารตัวอย่างเคลื่อนที่ (a) ให้วัดที่ตำแหน่งกึ่งกลางของหยดสารตัวอย่าง จากตำแหน่งเริ่มต้นถึงตำแหน่งที่เคลื่อนที่มาถึง สำหรับระยะทางที่วัฏภาคเคลื่อนที่ (b) จะเริ่มวัดจากตำแหน่งเริ่มต้นเมื่อวัฏภาคเคลื่อนที่เริ่มพาสารตัวอย่างให้เคลื่อนที่จนถึงตำแหน่งที่วัฏภาคเคลื่อนที่หยุดเคลื่อนที่ ซึ่งเรียกว่า Solvent front ดังแสดงในรูปที่ 1

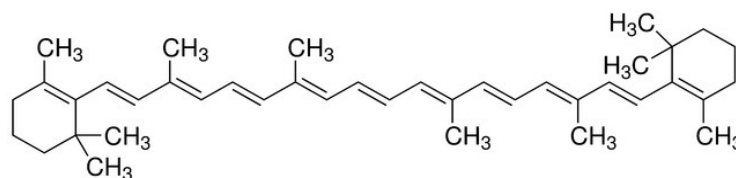


รูปที่ 1 การวัดระยะทางการเคลื่อนที่ของสารตัวอย่างและวัฏภาคเคลื่อนที่

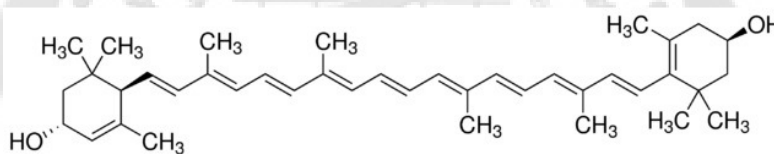
$R_f$  เป็นค่าเฉพาะตัวของสารแต่ละชนิด ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ และตัวทำละลายชนิดหนึ่งๆ ซึ่งหาได้จากการทดลองเท่านั้น การคำนวณค่า  $R_f$  จะทำให้สามารถระบุชนิดของสารตัวอย่างได้ โดยการเทียบกับสารมาตรฐาน อย่างไรก็ตามสารบางชนิดอาจมีค่า  $R_f$  ใกล้เคียงกันมาก จึงไม่สามารถใช้ค่า  $R_f$

ที่ได้จากการทดลองเพียงครั้งเดียวในการระบุชนิดของสารตัวอย่าง ควรทำการทดลองหลายครั้งโดยเปลี่ยนภูมิภาคเคลื่อนที่และเทียบกับสารมาตรฐาน ถ้าได้ค่า  $R_f$  ของสารตัวอย่างและสารมาตรฐานเท่ากันในทุกสภาวะการทดลองจึงยืนยันได้ว่าเป็นสารชนิดเดียวกัน

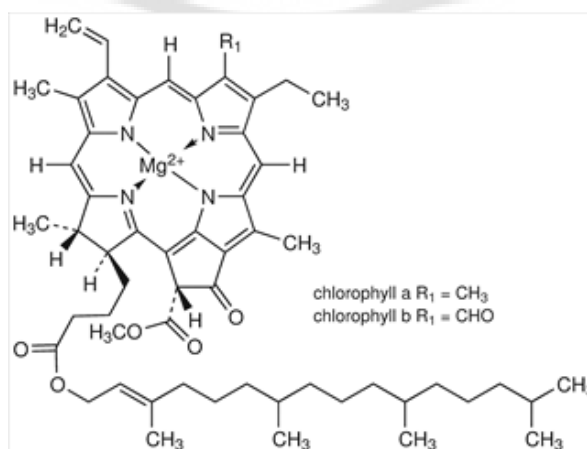
ในการทดลองนี้จะเป็นการแยกรงควัตถุจากใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ รงควัตถุชนิดใดที่มีขั้วมากจะเกิดอันตรกิริยากับภูมิภาคคงที่ได้มาก จึงเคลื่อนที่ตามภูมิภาคเคลื่อนที่ได้น้อย โครงสร้างของ Carotene Xanthophyll และ Chlorophyll แสดงดังรูปที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ



รูปที่ 2 โครงสร้างของแคโรทีน



รูปที่ 3 โครงสร้างของแซนโทฟิลล์



รูปที่ 4 โครงสร้างของคลอโรฟิลล์

เมื่อแยกรงควัตถุจากใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษแล้ว ทำการสังเกตสีและคำนวณค่า  $R_f$  ของรงควัตถุแต่ละชนิดที่แยกได้เทียบกับข้อมูลอ้างอิงในตารางที่ 1 และเปรียบเทียบสีของรงควัตถุแต่ละชนิดเมื่ออยู่ในสภาวะกรด-เบส

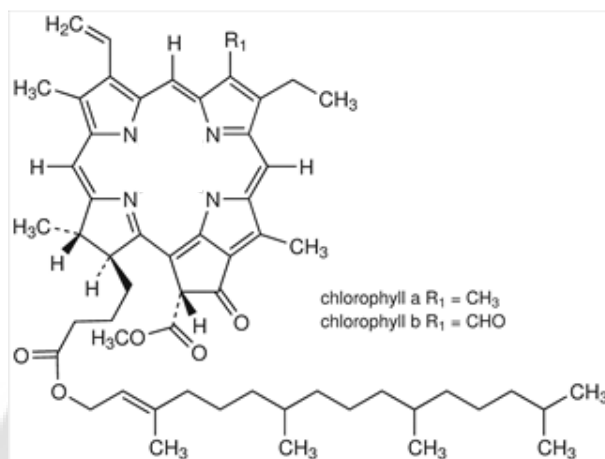
ตารางที่ 1 สีของรงควัตถุแต่ละชนิดที่สามารถพบได้ในใบผักคะน้าและข้อมูลค่า  $R_f$  ที่แยกบนกระดาษโครมาโทกราฟี

ชนิดของรงควัตถุ	สีของรงควัตถุ	$R_f^*$
Carotene	สีส้มแกมเหลือง (Yellow-orange)	0.97
Xanthophyll	สีเหลือง (Yellow)	0.51
Chlorophyll a	สีเขียวแกมน้ำเงิน (Bright green-blue green)	0.24
Chlorophyll b	สีเขียวแกมเหลือง (Yellow green to olive green)	0.10

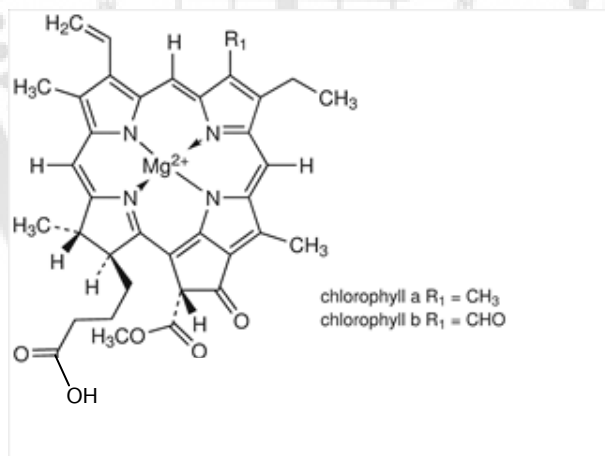
\* ค่า  $R_f$  ในสภาวะการแยกที่ประกอบด้วยวัฏภาคคงที่คือ น้ำ และวัฏภาคเคลื่อนที่คือ บีโตรเลียมอีเทอร์กับอะซิโตน อัตราส่วน 9 : 1 โดยปริมาตร

เมื่อรงควัตถุอยู่ในสภาวะกรด หรือเบส จะทำให้โครงสร้างทางเคมีของรงควัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น คลอโรฟิลล์ (ดังแสดงในรูปที่ 4) เมื่ออยู่ในสภาวะกรดจะเกิดการแทนที่แมกนีเซียมอะตอมในคลอโรฟิลล์ด้วยไฮโดรเจนทำให้เกิดโมเลกุลสีน้ำตาลของฟีโอไฟทิน (Pheophytin) ดังแสดงในรูปที่ 5 จึงทำให้คลอโรฟิลล์เปลี่ยนเป็นสีเขียวแกมเหลืองเข้ม สำหรับในสภาวะเบส ไฟทอลเรซิดิวจะถูกไฮโดรไลส์ได้โมเลกุลคลอโรฟิลไลด์ (Chlorophyllide) ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งมีสีเขียวเช่นเดียวกับคลอโรฟิลล์ การเปลี่ยนแปลงสีของคลอโรฟิลล์สามารถพบได้ในชีวิตประจำวัน เช่น การต้มผักใบเขียวน้ำต้มผักจะมีสีเขียวเพียงเล็กน้อยเพราะคลอโรฟิลล์ไม่ละลายน้ำ ขณะที่ผักใบเขียวอยู่ในน้ำเดือดจะมีเขียวสดอยู่ระยะหนึ่งและจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมเหลือง เนื่องจากอากาศที่แทรกอยู่ระหว่างเซลล์จะถูกดันออกมาจึงเห็นสีของคลอโรฟิลล์ชัดขึ้น ต่อมาเซลล์ของผักจะแตกทำให้สารที่อยู่ภายในแวคิวโอล (vacuole) รวมทั้งกรดอินทรีย์จะแพร่ไปทั่วเซลล์และละลายในน้ำต้มผัก กรดเหล่านี้จะเปลี่ยนคลอโรฟิลล์ไปเป็นฟีโอไฟทิน สีเขียวของคลอโรฟิลล์จึงถูกเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของฟีโอไฟทิน และเมื่อรวมกับรงควัตถุสีเหลืองและสีแดงภายในเซลล์จะทำให้เห็นผักเป็นสีเขียวอมเหลือง การเปิดฝามื้อระหว่างที่ต้มผักจะทำให้กรดระเหยออกไปทำให้ผักคงสีเขียวไว้ได้ดีกว่า ถ้าต้มผักในสารละลายต่าง

เช่น เติมผงฟู (Baking soda) หรือ โซดา (Sodium bicarbonate) ลงในน้ำต้มผักจะช่วยให้ผักคงสีเขียวไว้ได้ เพราะคลอโรฟิลล์จะเปลี่ยนไปเป็นคลอโรฟิลไลด์ แต่การต้มผักที่ pH สูง จะทำให้วิตามินบางชนิดถูกทำลายได้



รูปที่ 5 แสดงโครงสร้างของฟีโอฟทิน



รูปที่ 6 โครงสร้างของคลอโรฟิลไลด์

## เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง
2. กรวยกรอง
3. กระบอกตวง ขนาด 10 มิลลิลิตร
4. ปีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร
5. หลอดทดลอง ขนาด  $16 \times 150$  มิลลิเมตร
6. หลอดหยด
7. กระดาษกรอง เบอร์ 1
8. กระดาษโครมาโทกราฟี
9. ขาตั้งและโอรัง
10. ครกบด
11. จุกยางห่ออลูมิเนียมฟอยล์

## สารเคมีและสารตัวอย่าง

1. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 0.1 โมลาร์
2. โซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส (anh.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.1 โมลาร์
4. ปิโตรเลียมอีเทอร์
5. อะซีโตน ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ )
6. ไบคะน้ำ

## วิธีการทดลอง

การทดลองแบ่งเป็น 3 ตอน ดังนี้

### ตอนที่ 1 การสกัดตรงควัตถุจากใบผักคะน้า

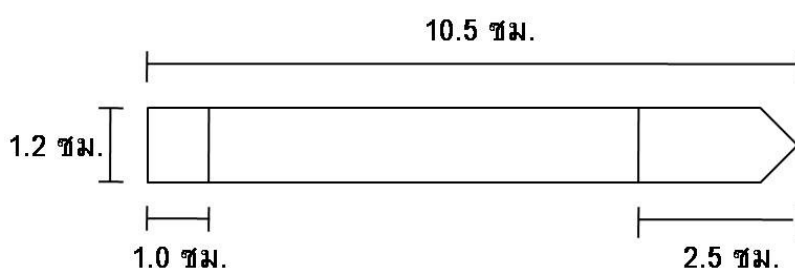
1.1 ชั่งใบผักคะน้าหนักประมาณ 2.5 กรัม บั่นทีมน้ำหนักที่แน่นอน ชักเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ครกบด บดจนละเอียด จากนั้นเติมอะซีโตนปริมาตร 15 มิลลิลิตร แล้วบดต่อจนได้สารละลายสีเขียวเข้ม

1.2 เติมโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัสประมาณ 2 กรัม

1.3 กรองสารละลายสีเขียวเข้มที่ได้ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 โดยเก็บสารละลายที่ผ่านการกรองในปิកเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นจึงนำไประเหยอะซิโตน โดยวางทิ้งไว้ในตู้ดูดควัน ประมาณ 15 นาทีหรือจนเห็นสารสกัดมีสีเข้มขึ้น เรียกสารสกัดในขั้นนี้ว่า crude extract

## ตอนที่ 2 การแยกรงควัตถุใน crude extract โดยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ

2.1 เตรียมกระดาษโครมาโทกราฟี จำนวน 3 แผ่น โดยตัดกระดาษโครมาโทกราฟี ขนาด  $10.5 \times 1.2$  ซม. ชีดเส้นแนวด้านซ้ายห่างจากกระดาษระยะ 1.0 ซม. และเส้นแนวด้านขวาห่างจากกระดาษระยะ 2.5 ซม. แล้วตัดมุมเป็นปลายแหลมรูปตัววี (V) ดังรูปที่ 5



### รูปที่ 5 ลักษณะของกระดาษโครมาโทกราฟีและระยะการขีดเส้นแนว

2.2 เตรียมวัสดุภาคเคลื่อนที่ โดยผสมปิโตรเลียมอีเทอร์กับอะซิโตน (อัตราส่วน 9:1 โดยปริมาตร) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ในปิกเกอร์ ผสมให้เข้ากัน จากนั้นเทวัสดุภาคเคลื่อนที่ที่เตรียมไว้ใส่ในหลอดทดลอง จำนวน 3 หลอด หลอดละ 2 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกยางห่ออลูมิเนียมฟอยล์ แล้วตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 20 นาที เพื่อให้ภายในหลอดทดลองอิ่มตัวด้วยไอของวัสดุภาคเคลื่อนที่

2.3 หยด crude extract ที่ได้จากตอนที่ 1 ลงบนกระดาษโครมาโทกราฟีในข้อ 2.1 ทั้ง 3 แผ่น โดยใช้หลอดหยดหยดลงบนตำแหน่งเส้นแนวด้านรูปตัววีที่กำหนดไว้ ทำการหยดซ้ำอีกครั้ง เพื่อให้จุดมีสีเขียวเข้ม โดยการหยดซ้ำแต่ละครั้งควรรอให้สีแห้งก่อน

2.4 นำกระดาษโครมาโทกราฟีทั้ง 3 แผ่น ใส่ลงในหลอดทดลองที่เตรียมไว้ในข้อ 2.2 โดยวางลงในแนวตรง เพื่อให้แนวการเคลื่อนที่ของวัสดุภาคเคลื่อนที่อยู่ในระดับเดียวกัน จากนั้นปิดด้วยจุกยางห่ออลูมิเนียมฟอยล์รอจนกระทั่งวัสดุภาคเคลื่อนที่เคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งเส้นแนวด้านบน จึงนำกระดาษโครมาโทกราฟีออก ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง แล้วทำการระบุหมายเลข 1 2 และ 3 ลงบนกระดาษแต่ละแผ่น

2.5 บันทึกผลการทดลอง โดยสังเกตแถบสีของรงควัตถุที่แยกได้ พร้อมทั้งวัดระยะทางที่รงควัตถุเคลื่อนที่ และระยะทางที่ภูมิภาคเคลื่อนที่เคลื่อนที่ เพื่อคำนวณหาค่า  $R_f$

### ตอนที่ 3 การเปรียบเทียบสีของรงควัตถุที่แยกได้ในสภาวะกรด-เบส

3.1 นำกระดาษโครมาโทกราฟีหมายเลข 1 และ 2 มาวางบนแผ่นกระจก แล้วหยดสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ตามลำดับ จนทั่วแผ่น ในขณะที่กระดาษโครมาโทกราฟีหมายเลข 3 ไม่มีการหยดสารใดๆ เพื่อใช้เป็นสีของรงควัตถุอ้างอิง วางทิ้งไว้ให้แห้ง สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้น บันทึกผล

3.2 เปรียบเทียบสีของรงควัตถุแต่ละชนิดในสภาวะปกติ สภาวะกรดและเบส



ชื่อ.....รหัสนิสิต.....กลุ่มที่.....

**แบบบันทึกผลการทดลอง**  
**การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ**

1. การสกัดรงควัตถุจากใบผักคะน้า

น้ำหนักของใบผักคะน้า ..... กรัม

น้ำหนักของไซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส..... กรัม

2. การแยกรงควัตถุใน crude extract โดยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ

2.1 ภาพแสดงตำแหน่งการเคลื่อนที่ของรงควัตถุแต่ละชนิดที่สามารถแยกได้ในใบผักคะน้า





## 2.2 ระยะทางการเคลื่อนที่ของรวงควัดและภูมิภาคเคลื่อนที่

สีของรวงควัด ที่แยกได้	ระยะทางในการเคลื่อนที่ (ซม.)		$R_f$	ชนิดของรวงควัด ที่แยกได้*
	ภูมิภาคเคลื่อนที่	ระยะทางที่ รวงควัดเคลื่อนที่		

\*ใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงในตารางที่ 1

## 3. การเปรียบเทียบสีของรวงควัดที่แยกได้ในสภาวะกรด-เบส

ชนิดของรวงควัด	สีของรวงควัด		
	สภาวะปกติ	สภาวะกรด	สภาวะเบส

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง



## การทดลองที่ 2

### การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ

#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเทคนิคการแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ
2. เพื่อศึกษากระบวนการแยกสารตัวอย่างด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ และเปรียบเทียบค่า  $R_f$
3. เพื่อศึกษาความแตกต่างระหว่างการแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบางกับเทคนิคการแยกสารแบบอื่นๆ

#### หลักการ

โครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง (Thin - layer Chromatography : TLC) คือ เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบแผ่นเรียบเทคนิคหนึ่งที่ใช้สำหรับแยกสารผสมออกจากกัน โดยอาศัยหลักการกระจายตัวที่แตกต่างกันของสารในวัฏภาคคงที่และวัฏภาคเคลื่อนที่ กลไกการแยกที่เกิดขึ้นนี้เป็นกลไกแบบดูดซับ (Adsorption) โดยประสิทธิภาพของการแยกขึ้นอยู่กับชนิด ขนาดอนุภาค และความหนาของตัวดูดซับ (Adsorbent) ที่ใช้เป็นวัฏภาคคงที่ องค์ประกอบของวัฏภาคเคลื่อนที่

วัฏภาคคงที่ คือ สารที่ทำหน้าที่ดูดซับสารที่ต้องการแยกไว้ ซึ่งจะเคลือบเป็นแผ่นบางบนตัวค้ำจุน (Solid Support) เช่น แผ่นกระจก แผ่นพลาสติก แผ่นอลูมิเนียม เป็นต้น สารที่นิยมนำมาใช้เป็นวัฏภาคคงที่มีทั้งที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น เซลลูโลส แป้ง เป็นต้น และสารอนินทรีย์ เช่น ซิลิกาเจล อะลูมินา เป็นต้น สำหรับวัฏภาคเคลื่อนที่จะทำหน้าที่ชะสารตัวอย่างให้เคลื่อนที่ผ่านวัฏภาคคงที่

เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบางสามารถแบ่งระบบการแยกสารตามคุณสมบัติของวัฏภาคคงที่และวัฏภาคเคลื่อนที่ได้ 2 ระบบ ดังนี้

1. ระบบ Normal Phase คือ ระบบที่วัฏภาคคงที่เป็นสารที่มีขั้วสูงกว่าวัฏภาคเคลื่อนที่ ดังนั้นวัฏภาคเคลื่อนที่จึงต้องเป็นสารที่มีขั้วต่ำ เช่น การใช้วัฏภาคคงที่เป็นซิลิกาเจล หรืออะลูมินา โดยเคลือบไว้บนตัวค้ำจุน และใช้วัฏภาคเคลื่อนที่เป็นเฮกเซน เป็นต้น เนื่องจากตัวดูดซับมีขั้วจะสามารถดูดซับสารที่มีขั้วได้ดีกว่าสารที่ไม่มีขั้ว ดังนั้น สารที่มีขั้วจึงเคลื่อนที่ได้ช้า การเพิ่มความมีขั้วของวัฏภาคเคลื่อนที่จะทำให้ความแรงในการชะสารของวัฏภาคเคลื่อนที่สูงขึ้น

2. ระบบ Reversed Phase คือ ระบบที่วัฏภาคคงที่เป็นสารที่มีขั้วต่ำกว่าวัฏภาคเคลื่อนที่ ดังนั้นวัฏภาคเคลื่อนที่จึงต้องเป็นสารที่มีขั้วสูง โดยส่วนใหญ่นิยมใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำกับตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น การใช้วัฏภาคคงที่เป็น C8 หรือ C18 เคลือบไว้บนตัวค้ำจุน และวัฏภาค

เคลื่อนที่เป็นสารละลายผสมระหว่างน้ำ : อะซิโตนไทรโอส อัตราส่วน 7 : 3 โดยปริมาตร เป็นต้น เนื่องจากตัวดูดซับไม่มีขั้วจะสามารถดูดซับสารที่ไม่มีขั้วได้ดีกว่าสารที่มีขั้ว ดังนั้น สารที่ไม่มีขั้วจึงเคลื่อนที่ได้ช้า ความสามารถในการชะสารจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวทำละลายอินทรีย์ หรือลดความมีขั้วของวัฏภาคเคลื่อนที่นั่นเอง

วิธีการเคลือบวัฏภาคคงที่บนตัวค้ำจุนสามารถทำได้ 3 วิธี คือ

1. การเคลือบแบบจุ่ม (Dipping) เหมาะสำหรับการเคลือบแผ่นค้ำจุนขนาดเล็ก
2. การเคลือบแบบแผ่นเพลทเคลื่อนที่ (Moving plate) เหมาะสำหรับแผ่นค้ำจุนขนาดกลาง โดยการเทสารละลายหนืดของวัฏภาคคงที่ที่เตรียมได้ใส่ลงในช่องภาชนะที่อยู่บนเครื่องเคลือบ แล้วค่อย ๆ เลื่อนแผ่นค้ำจุนด้านใต้ผ่านสารละลายหนืด

3. การเคลือบแบบเครื่องเคลือบ (Moving spreader) เหมาะสำหรับแผ่นค้ำจุนขนาดใหญ่ โดยนำแผ่นกระจกมาวางเรียงในรางยัด จากนั้นเทสารละลายหนืดของวัฏภาคคงที่ลงในช่องภาชนะที่อยู่บนเครื่องเคลือบ (Spreader) แล้วค่อย ๆ เลื่อนเครื่องเคลือบผ่านแผ่นค้ำจุน

การตรวจวัดเพื่อหาตำแหน่งต่างๆ ของสารที่แยกได้ สามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารที่ต้องการวิเคราะห์ ดังนี้

1. วิธีตรวจสอบหาตำแหน่งด้วยตาเปล่า ใช้สำหรับสารที่ต้องการวิเคราะห์มีสี
2. วิธีดูกลิ่นแสงอัลตราไวโอเล็ต ใช้สำหรับสารที่ต้องการวิเคราะห์เป็นสารไม่มีสีทำให้ไม่สามารถสังเกตการเคลื่อนที่หรือตำแหน่งของสารด้วยสายตาได้โดยตรง แต่สารสามารถดูกลิ่นแสงอัลตราไวโอเล็ต ก็อาจตรวจสอบตำแหน่งของสารได้โดยการนำไปส่องคลื่นแสงอัลตราไวโอเล็ต

3. วิธีการพ่นสารเคมี หรือการใช้ปฏิกิริยาทางเคมีสำหรับสารตัวอย่างที่สามารถทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่เหมาะสมเกิดเป็นอนุพันธ์ หรือสารประกอบชนิดใหม่ที่เกิดสีได้ เช่น การฉีดพ่นนินไฮดริน (Ninhydrin) บนแผ่นโครมาโทแกรมสำหรับตรวจวิเคราะห์กรดอะมิโน หรือการฉีดพ่นสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตสำหรับตรวจวิเคราะห์น้ำตาล เป็นต้น

**โครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ (Two dimensional Thin - Layer Chromatography ; 2D - TLC)**

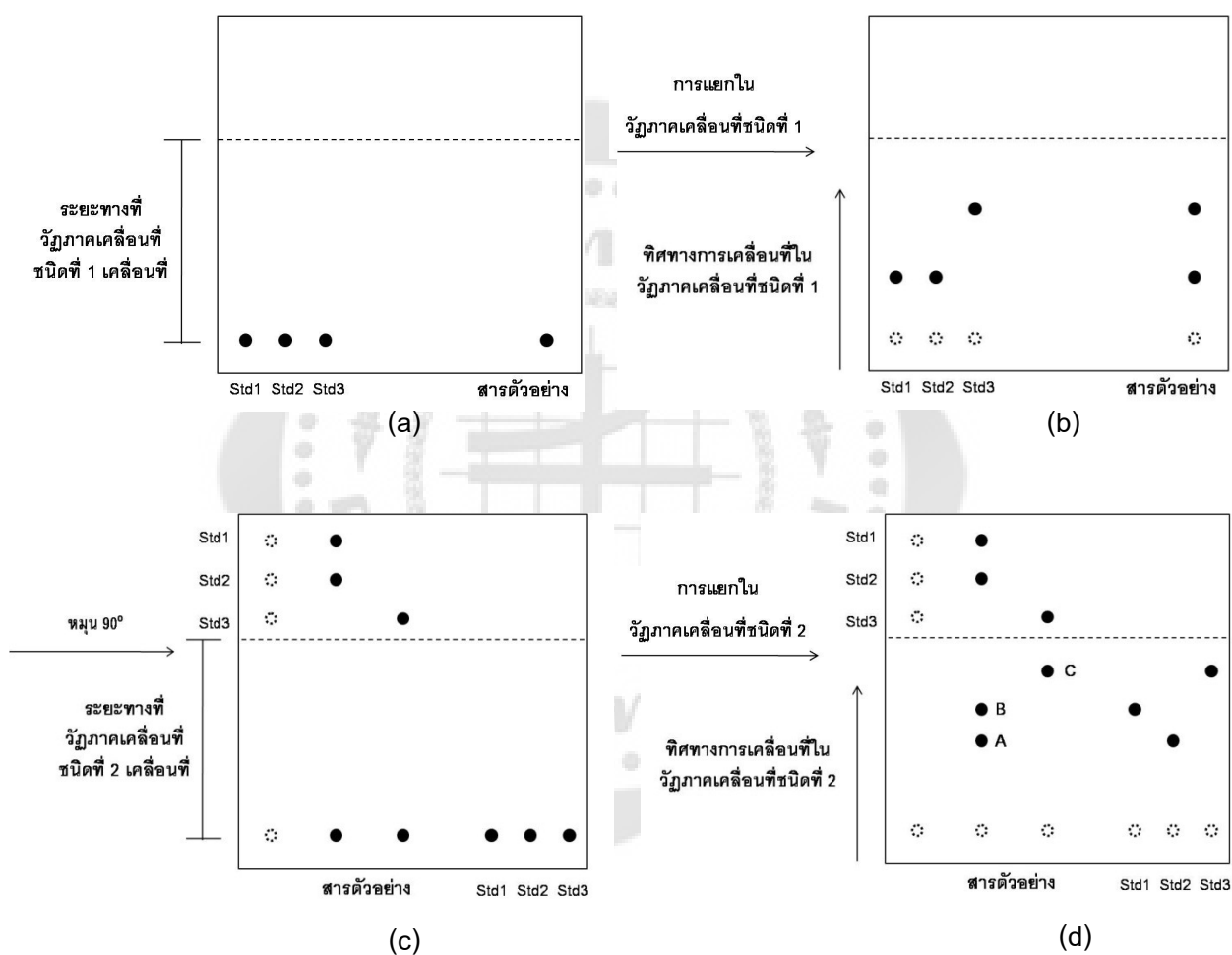
โครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ เป็นเทคนิคการแยกที่ใช้สำหรับวิเคราะห์สารตัวอย่างที่มีค่า  $R_f$  ใกล้เคียงกันมาก ไม่สามารถแยกได้อย่างสมบูรณ์โดยใช้การแยกแบบ 1 มิติ การใช้เทคนิคแบบ 2 มิติ จะทำให้การแยกและการพิสูจน์ทำได้ดีขึ้น มีความถูกต้องมากขึ้นและยังคงใช้หลักการเดียวกับโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบางประเภท 1 มิตินั่นเอง

ขั้นตอนการแยกด้วยโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบางประเภท 2 มิติ ทำได้ดังนี้

(1) ทำการหยดสารมาตรฐานและสารตัวอย่างลงบนแผ่น TLC แสดงดังรูป 1a แล้วนำมาแยกภายใต้หลักการเดียวกับเทคนิค TLC 1 มิติ จะได้ผลการทดลองดังแสดงในรูป 1b

(2) เมื่อแยกครั้งแรกเสร็จแล้วนำแผ่น TLC ออกมาวางไว้ให้วัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 1 แห้ง

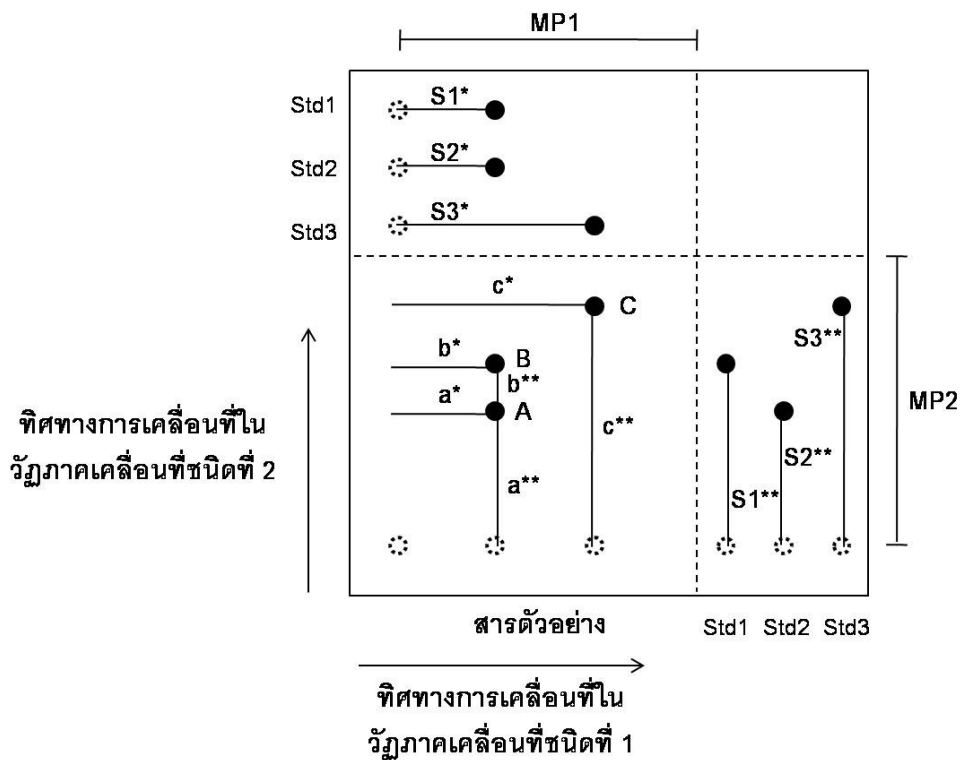
(3) หมุนแผ่น TLC มุม  $90^{\circ}$  ตามเข็มนาฬิกา แสดงดังรูป 1c แล้วทำการแยกด้วยวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 2 โดยยังคงใช้หลักการเดียวกับแบบ 1 มิติ จะได้ผลการทดลองดังแสดงในรูป 1d



รูปที่ 1 การแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ

- (a) ตำแหน่งเริ่มต้นของสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง สำหรับการแยกในมิติที่ 1
- (b) ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง ในการแยกด้วยวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 1
- (c) ตำแหน่งเริ่มต้นของสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง สำหรับการแยกในมิติที่ 2
- (d) ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง ในการแยกด้วยวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 2

เมื่อแยกสารมาตรฐานและสารตัวอย่างด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ จะได้ผลการทดลองดังแสดงในรูป 1d พบว่าสารตัวอย่างประกอบด้วยสาร A, B และ C การระบุว่าเป็นสารชนิดใดต้องนำค่า  $R_f$  ในแต่ละมิติของสารตัวอย่างกับสารมาตรฐานมาเทียบกัน ซึ่งการวัดระยะทางการเคลื่อนที่ของสารในเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ แสดงดังรูปที่ 2 โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้



รูปที่ 2 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง A, B และ C ที่แยกด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ

1. การวัดระยะทางการเคลื่อนที่ของสารสำหรับการแยกในมิติที่ 1
  - 1.1 วัดระยะทางที่สารมาตรฐานเคลื่อนที่ ( $S1^*$ ,  $S2^*$ ,  $S3^*$ ) โดยให้วัดที่ตำแหน่งกึ่งกลางของหยดสารมาตรฐาน จากตำแหน่งเริ่มต้นถึงตำแหน่งที่เคลื่อนที่มาถึง
  - 1.2 วัดระยะทางที่สารตัวอย่างเคลื่อนที่ ( $a^*$ ,  $b^*$ ,  $c^*$ ) โดยให้วัดที่ตำแหน่งกึ่งกลางของหยดสารตัวอย่าง จากตำแหน่งเริ่มต้นถึงตำแหน่งที่เคลื่อนที่มาถึง
  - 1.3 วัดระยะทางที่ภูมิภาคชนิดที่ 1 เคลื่อนที่ (MP1) โดยให้วัดจากตำแหน่งเริ่มต้นเมื่อภูมิภาคเคลื่อนที่เริ่มพาสารตัวอย่างให้เคลื่อนที่จนถึงตำแหน่งที่ภูมิภาคเคลื่อนที่หยุดเคลื่อนที่
  - 1.4 คำนวณหาค่า  $R_f$  ของสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง

## 2. การวัดระยะเวลาทางการเคลื่อนที่ของสารสำหรับการแยกในมิติที่ 2

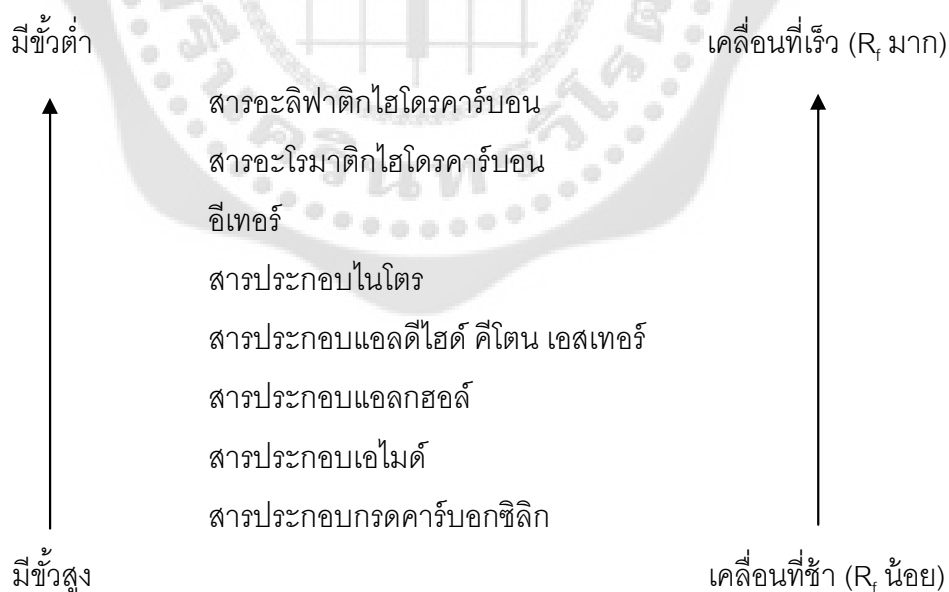
2.1 วัดระยะทางที่สารมาตรฐานเคลื่อนที่ ( $S1^{**}$ ,  $S2^{**}$ ,  $S3^{**}$ ) โดยให้วัดที่ตำแหน่งกึ่งกลางของหยดสารมาตรฐาน จากตำแหน่งเริ่มต้นถึงตำแหน่งที่เคลื่อนที่มาถึง

2.2 วัดระยะทางที่สารตัวอย่างเคลื่อนที่ ( $a^{**}$ ,  $b^{**}$ ,  $c^{**}$ ) โดยให้วัดที่ตำแหน่งกึ่งกลางของหยดสารตัวอย่าง จากตำแหน่งเริ่มต้นถึงตำแหน่งที่เคลื่อนที่มาถึง

2.3 วัดระยะทางที่ภูมิภาคชนิดที่ 2 เคลื่อนที่ (MP2) โดยให้วัดจากตำแหน่งเริ่มต้นเมื่อภูมิภาคเคลื่อนที่เริ่มพาสารตัวอย่างให้เคลื่อนที่จนถึงตำแหน่งที่ภูมิภาคเคลื่อนที่หยุดเคลื่อนที่

2.4 คำนวณหาค่า  $R_f$  ของสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง

ในการทดลองนี้จะใช้การแยกระบบ Normal Phase ซึ่งมีซิลิกาเจลเป็นภูมิภาคคงที่เคลือบบนแผ่นกระจก และภูมิภาคเคลื่อนที่ 2 ชนิด คือ คลอโรฟอร์มกับเฮกเซนและคลอโรฟอร์มกับอะซิโตน เพื่อทำการแยกสารตัวอย่างแบบ 2 มิติ สารอินทรีย์ที่นำมาใช้ในการทดลองนี้เป็นวัตถุกันเสีย (Preservative) ที่นิยมใช้ในอาหารและเครื่องสำอาง ได้แก่ กรดซาลิไซลิก, กรดเบนโซอิก, กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก และเบนโซฟีโนน สารชนิดใดที่มีขั้วมากจะถูกดูดซับไว้ที่ภูมิภาคคงที่ได้มาก จึงเคลื่อนที่ตามภูมิภาคเคลื่อนที่ได้น้อย สารประเภทต่างๆ สามารถนำมาจัดเรียงลำดับการเคลื่อนที่และสภาพขั้วได้ดังนี้



เนื่องจากสารอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นสารไม่มีสีจึงไม่สามารถสังเกตการเคลื่อนที่หรือตำแหน่งของสารด้วยสายตาได้โดยตรง ดังนั้นการตรวจสอบตำแหน่งของสารจึงทำได้โดยนำไปส่องในกล่องที่มีแสงอัลตราไวโอเล็ต เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาหาค่า  $R_f$

### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กล้องที่มีแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ต
2. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
3. ตู้อบ
4. กระจกนาฬิกา
5. กระบอกตวงขนาด 5, 50 และ 250 มิลลิลิตร
6. แท่งแก้ว
7. ปีกเกอร์ขนาด 250 และ 1000 มิลลิลิตร
8. แผ่นกระจกขนาด  $9.0 \times 9.0$  ซม
9. สำลี
10. หลอดแคพิลลารี

### สารเคมีและสารตัวอย่าง

1. กรดซาลิไซลิก ( $C_7H_6O_3$ )
2. กรดเบนโซอิก ( $C_6H_5COOH$ )
3. กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก ( $HO(C_6H_4)CO_2H$ )
4. เบนโซฟีโนน ( $C_{13}H_{10}O$ )
5. คลอโรฟอร์ม ( $CHCl_3$ )
6. ซิลิกาเจล ( $SiO_2$ )
7. สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เข้มข้น 5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ( $5\% FeCl_3$ )
8. สารละลายโพแทสเซียมเฟอร์ริกไซยาไนด์เข้มข้น 1% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ( $1\% K_3[Fe(CN)_6]$ )
9. น้ำกลั่น
10. อะซีโตน ( $C_3H_6O$ )
11. เฮกเซน ( $C_6H_{14}$ )
12. สารตัวอย่างคือ สารละลายผสมของสารมาตรฐานกรดซาลิไซลิก, กรดเบนโซอิก, กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก และเบนโซฟีโนน



## วิธีการทดลอง

การทดลองแบ่งเป็น 2 ตอน ดังนี้

### ตอนที่ 1 การเตรียมแผ่นโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบางและวัฏภาคเคลื่อนที่

1.1 ทำความสะอาดแผ่นกระจกขนาด  $9.0 \times 9.0$  ซม. ด้วยน้ำสะอาด แล้วเช็ดให้แห้งด้วยสำลีชุบอะซิโตน

1.2 ผสมซิลิกาเจลกับน้ำกลั่น (อัตราส่วน 1 : 2.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) โดยชั่งซิลิกาเจลหนัก 50 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 125 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจนสารละลายมีลักษณะเป็นของเหลวข้นคล้ายแป้งเปียก

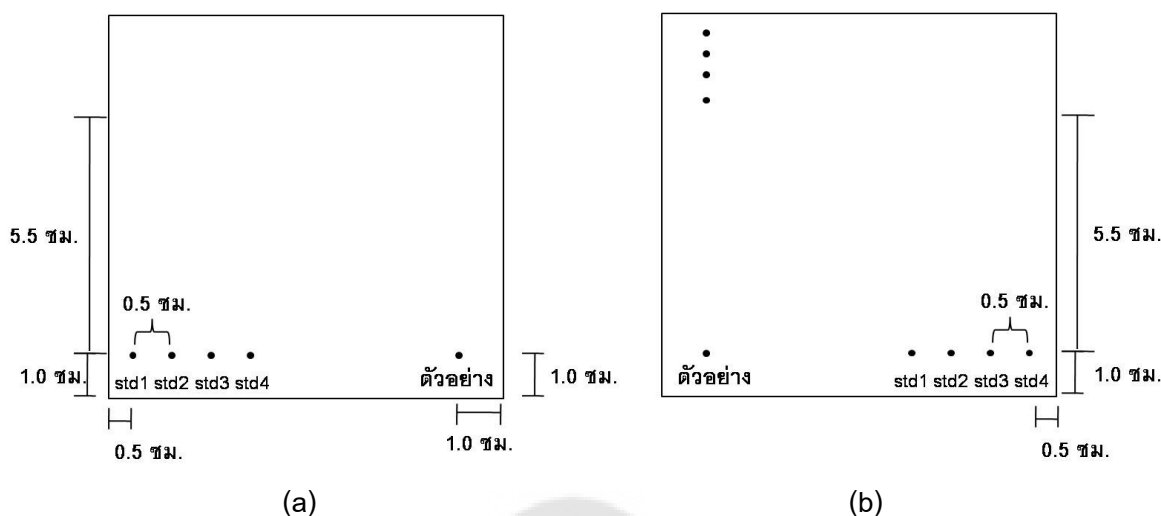
1.3 นำแผ่นกระจกมาจุ่มลงในบีกเกอร์ที่บรรจุซิลิกาเจลในข้อ 1.2 จากนั้นนำกระจกที่เคลือบด้วยซิลิกาเจล ซึ่งเรียกว่า แผ่น TLC ไปอบที่อุณหภูมิ  $105^{\circ}\text{C}$  นาน 20 นาที นำออกมาวางทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

1.4 เตรียมวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 1 โดยผสมคลอโรฟอร์มกับเฮกเซน (อัตราส่วน 3 : 1 โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วปิดฝาทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที

1.5 เตรียมวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 2 โดยผสมคลอโรฟอร์มกับอะซิโตน (อัตราส่วน 9 : 1 โดยปริมาตร) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน แล้วปิดฝาทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที

### ตอนที่ 2 การแยกสารตัวอย่าง

2.1 ในการแยกด้วยวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 1 ใช้หลอดแคพิลลารีหยดสารมาตรฐาน 4 ชนิด ได้แก่ กรดเบนโซอิก กรดซาลิไซลิก เบนโซฟีโนน และกรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก โดยให้ตำแหน่งของสารมาตรฐานห่างจากขอบด้านล่าง 1.0 ซม. และตำแหน่งของสารมาตรฐานชนิดแรกห่างจากขอบด้านซ้าย 0.5 ซม. ส่วนตำแหน่งของสารมาตรฐานที่เหลือห่างกัน 0.5 ซม. สำหรับตำแหน่งที่หยดสารตัวอย่างให้ห่างจากขอบด้านล่าง 1.0 ซม. และห่างจากขอบด้านขวา 1.0 ซม. ดังรูปที่ 1 (a) โดยกำหนดให้ระยะทางการเคลื่อนที่ของวัฏภาคเคลื่อนที่เท่ากับ 5.5 ซม.



## รูปที่ 2 ตำแหน่งที่หยดสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง

(a) ตำแหน่งที่หยดสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง สำหรับวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 1

(b) ตำแหน่งที่หยดสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง สำหรับวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 2

**หมายเหตุ:** เนื่องจากสารไม่มีสี ดังนั้นหลังการหยดสารลงบนแผ่น TLC ควรนำไปส่องด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต เพื่อตรวจสอบปริมาณสาร หรือความเข้มข้นที่หยดลงไปว่าเหมาะสมหรือไม่ และในการหยดซ้ำควรรอให้สารแห้งก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้ตำแหน่งที่หยดสารมีการขยายกว้างเกินไป

2.2 นำแผ่น TLC ไปวางในปีกเกอร์ที่อิมมัวด้วยวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 1 โดยวางลงตรงๆ ปิดฝา แล้วรอจนวัฏภาคเคลื่อนที่เคลื่อนมาจนถึงตำแหน่งที่ต้องการ (5.5 ซม.) จากนั้นจึงนำแผ่น TLC ออกจากปีกเกอร์ ชีดเส้นหรือทำตำแหน่งที่วัฏภาคเคลื่อนที่เคลื่อนไปถึงและทิ้งไว้ให้แห้ง นำไปส่องในกล่องที่มีแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ต สังเกตตำแหน่งการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง บันทึกผล

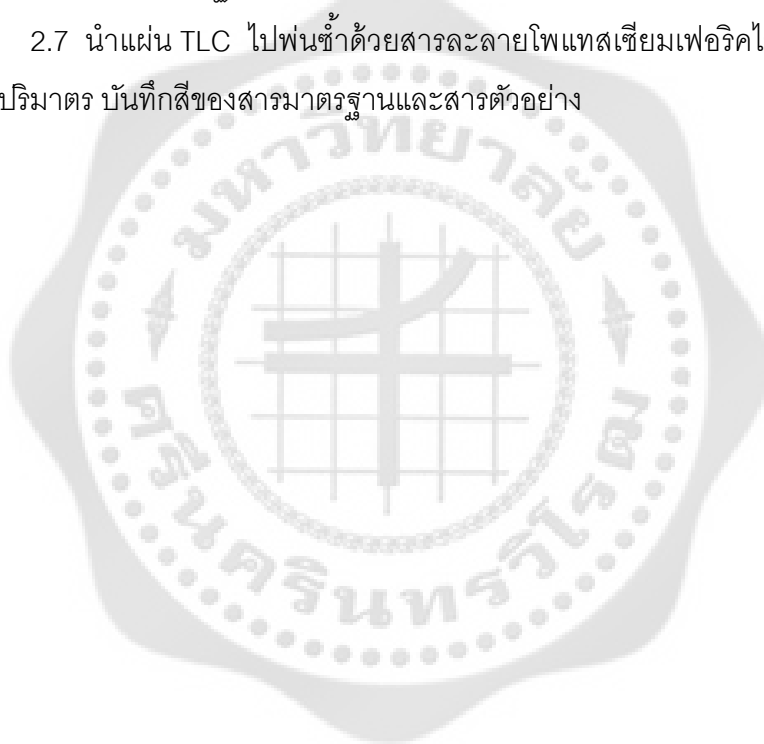
2.3 ในการแยกด้วยวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 2 หมุนแผ่น TLC  $90^{\circ}$  ตามเข็มนาฬิกา หยดสารมาตรฐานทั้ง 4 ชนิด โดยตำแหน่งของสารมาตรฐานห่างจากขอบด้านล่าง 1.0 ซม. และตำแหน่งของสารมาตรฐานชนิดแรกห่างจากขอบด้านขวา 0.5 ซม. ส่วนตำแหน่งของสารมาตรฐานที่เหลือห่างกัน 0.5 ซม. ดังรูปที่ 1 (b) โดยกำหนดให้ระยะทางการเคลื่อนที่ของวัฏภาคเคลื่อนที่เท่ากับ 5.5 ซม.

2.4 ทำการแยกด้วยวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 2 โดยนำแผ่น TLC มาวางลงในบีกเกอร์ที่ อิ่มตัวด้วยวัฏภาคเคลื่อนที่ชนิดที่ 2 ปิดฝา รอจนวัฏภาคเคลื่อนที่เคลื่อนที่มาจนถึงตำแหน่งที่ต้องการ (5.5 ซม.) จากนั้นจึงนำแผ่น TLC ออกจากบีกเกอร์ ชีดเส้นหรือทำตำแหน่งที่วัฏภาคเคลื่อนที่เคลื่อนที่ ไปถึงและทิ้งไว้ให้แห้ง

2.5 นำแผ่น TLC ที่แห้งแล้วไปส่องในกล่องที่มีแหล่งกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ต จากนั้นให้วงตำแหน่งของสารที่ปรากฏบนแผ่น TLC ทั้งหมด พร้อมทั้งวัดระยะทางการเคลื่อนที่ของสาร และวัฏภาคเคลื่อนที่ เพื่อคำนวณหา  $R_f$

2.6 นำแผ่น TLC ไปพ่นบาง ๆ ด้วยสารละลายเฟอริกคลอไรด์เข้มข้น 5% โดยนำหนัก ต่อปริมาตร บันทึกสีของสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง

2.7 นำแผ่น TLC ไปพ่นซ้ำด้วยสารละลายโพแทสเซียมเฟอริกไซยาไนด์เข้มข้น 1% โดยนำหนักต่อปริมาตร บันทึกสีของสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง



ชื่อ.....รหัสனிสิต.....กลุ่มที่.....

**แบบบันทึกผลการทดลอง**  
**การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ**

1. ภาพแสดงตำแหน่งการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง

การแยกสารในมิติที่ 1

วัฏภาคเคลื่อนที่คือ.....

การแยกสารในมิติที่ 2

วัฏภาคเคลื่อนที่คือ.....



2. ระยะทางการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐาน สารตัวอย่าง และภูมิภาคเคลื่อนที่ และค่า  $R_f$  จากการแยกแบบ 2 มิติ

ชนิดของสารละลาย	การแยกในมิติที่ 1		การแยกในมิติที่ 2	
	ระยะทางที่ สารเคลื่อนที่ (ซม.)	$R_f$	ระยะทางที่ สารเคลื่อนที่ (ซม.)	$R_f$
ภูมิภาคเคลื่อนที่				
สารมาตรฐานกรดเบนโซอิก				
สารมาตรฐานกรดซาลิไซลิก				
สารมาตรฐานเบนโซฟีโนน				
สารมาตรฐานกรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก				
สารตัวอย่างที่ได้จากการแยก.....ชนิด				

## 3. ตารางแสดงสีของสารมาตรฐานและสารตัวอย่างเมื่อพ่นด้วยสารเคมี

ชนิดของสารละลาย	สีที่ปรากฏเมื่อพ่นด้วยสาร	
	5% FeCl <sub>3</sub>	5% FeCl <sub>3</sub> + 1% K <sub>3</sub> Fe(CN) <sub>6</sub>
สารมาตรฐานกรดเบนโซอิก		
สารมาตรฐานกรดซาลิไซลิก		
สารมาตรฐานเบนโซฟีโนน		
สารมาตรฐานกรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก		
สารตัวอย่างที่ได้จากการแยก.....ชนิด		

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

### การทดลองที่ 3

## การสร้างอุปกรณ์อิเล็กโทรโฟรีซิสขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการการแยกสารด้วยเทคนิคแคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส
2. เพื่อศึกษาการสร้างและกระบวนการแยกสารพื้นฐานด้วยอุปกรณ์อิเล็กโทรโฟรีซิสขนาดเล็ก
3. สามารถประยุกต์ความรู้เกี่ยวกับเทคนิคแคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิสไปใช้ในชีวิตประจำวันได้

### หลักการ

แคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส (Capillary Electrophoresis : CE) เป็นเทคนิคการแยกที่อาศัยความแตกต่างในการเคลื่อนที่ของสารแต่ละชนิดภายใต้สนามไฟฟ้า กล่าวคือสารที่มีขนาดและจำนวนประจุแตกต่างกันจะเคลื่อนที่ได้เร็วหรือช้าไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับความสามารถเฉพาะตัวของสารในการเคลื่อนที่ภายใต้สนามไฟฟ้าและความเข้มของสนามไฟฟ้า สารที่มีประจุสูงจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าสารที่มีประจุน้อยและสารที่มีขนาดเล็กจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าสารที่มีขนาดใหญ่ จะเห็นได้ว่าการแยกโดยวิธีนี้ไม่ต้องมีวัฏภาคคงที่ ไอออนของสารตัวอย่างจะเคลื่อนที่ได้โดยอาศัยแรงดึงดูดทางไฟฟ้า ทำให้ไม่ต้องใช้หลักการแยกสารผสมด้วยกระบวนการแบ่งส่วน (Partition) ของสารระหว่างวัฏภาคคงที่และวัฏภาคเคลื่อนที่เหมือนในเทคนิคโครมาโทกราฟี

ในการแยกสารด้วยเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส เมื่อให้ความต่างศักย์ที่ขั้วไฟฟ้าซึ่งจุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ไอออนจะเคลื่อนที่ด้วยแรงไฟฟ้า (Electric force :  $F_E$ ) ซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณของจำนวนประจุบนพื้นผิวของไอออน ( $q$ ) กับความเข้มของสนามไฟฟ้า ( $E$ ) ดังสมการ 3.1

$$F_E = qE \quad \dots\dots\dots 3.1$$

ซึ่งการแยกภายในสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะมีแรงต้านการเคลื่อนที่ของไอออนเกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงเสียดทาน (Frictional force :  $F_F$ ) เกิดขึ้นระหว่างไอออนที่กำลังเคลื่อนที่กับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ดังสมการ 3.2

$$F_F = v f \quad \dots\dots\dots 3.2$$

เมื่อ  $v$  คือ อัตราการเคลื่อนที่ หรือความเร็วของไอออน และ  $f$  คือ สัมประสิทธิ์การเสียดทาน (Frictional coefficient) ซึ่งขึ้นอยู่กับรัศมีของไอออน ( $r$ ) เมื่อพิจารณากรณีอนุภาคเป็นทรงกลม และความหนืดของ

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ( $\eta$ ) เมื่อความแรงของสนามไฟฟ้าคงที่ แรงไฟฟ้าและแรงเสียดทานจะมีค่าเท่ากัน ดังสมการ 3.3

$$qE = v(6\pi\eta r) \quad \dots\dots\dots 3.3$$

ดังนั้นสารต่างชนิดกันจะเคลื่อนที่ภายใต้สนามไฟฟ้าด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นกับความสามารถเฉพาะตัวในการเคลื่อนที่ภายใต้สนามไฟฟ้า (Electrophoretic mobility :  $\mu_e$ ) ดังสมการ 3.4

$$v = \mu_e E \quad \dots\dots\dots 3.4$$

ดังนั้น

$$qE = \mu_e E(6\pi\eta r) \quad \dots\dots\dots 3.5$$

$$\mu_e = \frac{q}{6\pi\eta r} \quad \dots\dots\dots 3.6$$

จากสมการ 3.6 เห็นได้ว่า ความสามารถเฉพาะตัวในการเคลื่อนที่ภายใต้สนามไฟฟ้าขึ้นอยู่กับจำนวนประจุรัศมีของสาร และความหนืดของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ดังนั้นสารที่มีขนาดเล็กและมีจำนวนประจุสูงเมื่ออยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดเดียวกันจะสามารถเคลื่อนที่ภายใต้สนามไฟฟ้าได้ดีกว่าสารที่มีขนาดใหญ่และมีจำนวนประจุน้อย

นอกจากจำนวนประจุและขนาดของสารแล้ว ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของสารภายใต้สนามไฟฟ้า เช่น ขั้วไฟฟ้า บัฟเฟอร์หรือสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า อุณหภูมิ ขนาดของช่องทางการเคลื่อนที่ และการขีดสารตัวอย่าง เป็นต้น แต่ในการทดลองนี้จะกล่าวถึงบางปัจจัยที่มีผลต่อการแยก ได้แก่

#### - บัฟเฟอร์ หรือสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Buffer or electrolyte solution)

ค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์จะมีผลต่อการแตกตัวของสารบางชนิด เช่น กรดอ่อนหรือเบสอ่อน โดยสารเหล่านี้จะแตกตัวให้ประจุได้ไม่เท่ากันที่ค่า pH ต่างกัน ขนาดและผลรวมของประจุจึงมีค่าแตกต่างกัน ส่งผลต่อความสามารถในการเคลื่อนที่ภายใต้สนามไฟฟ้าของสาร นอกจากนี้การเปลี่ยนความแรงของบัฟเฟอร์โดยการเปลี่ยนความเข้มข้น หรือชนิดของบัฟเฟอร์ ก็จะส่งผลต่อการไหลแบบอิเล็กโทรออสโมติกและความสามารถในการเคลื่อนที่ของสารภายใต้สนามไฟฟ้าเช่นกัน โดย

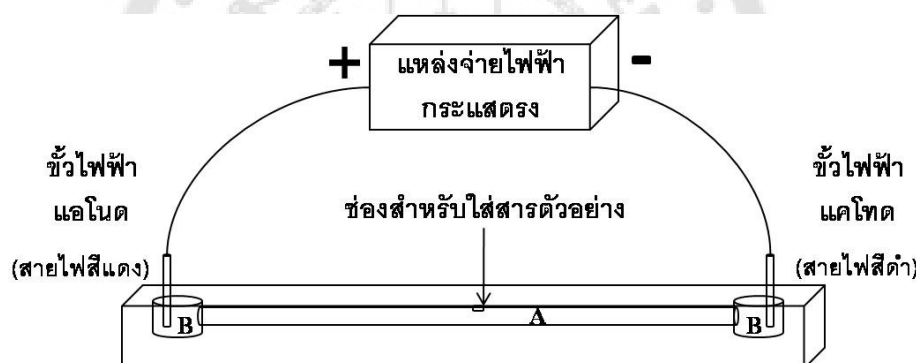


บัฟเฟอร์ที่ดีควรมีความจุบัฟเฟอร์สูง ค่า pH ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง มีความสามารถในการเคลื่อนที่ภายใต้สนามไฟฟ้าใกล้เคียงกับสาร และไม่รบกวนการแยกสาร

#### - ความต่างศักย์ไฟฟ้า (Voltage)

ถ้าความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้สารเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าได้เร็วขึ้น รวมทั้งทำให้การแพร่ของสารลดลง ใช้เวลาในการวิเคราะห์ที่สั้นลง อย่างไรก็ตามการใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงจะทำให้เกิดความร้อนจูล (Joule heating) เพิ่มขึ้น ดังนั้นในการวิเคราะห์แต่ละครั้งควรปรับความต่างศักย์ไฟฟ้าให้เหมาะสม

ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาหลักการแยกสารพื้นฐานด้วยเทคนิคแคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส ในระบบการแยกขนาดเล็กที่สร้างจากพอลิไดเมทิลซิลอกเซน (Polydimethylsiloxane : PDMS) ประกอบด้วยช่องทางการเคลื่อนที่ของสารละลาย (A) และช่องสำหรับใส่สารละลายอิเล็กโทรไลต์และขั้วไฟฟ้า (B) ซึ่งภายในจะบรรจุสารละลายบัฟเฟอร์ไว้ และมีขั้วไฟฟ้าชนิดแกรไฟต์จุ่มอยู่ในช่อง B ทั้งสองช่อง แสดงดังรูปที่ 1

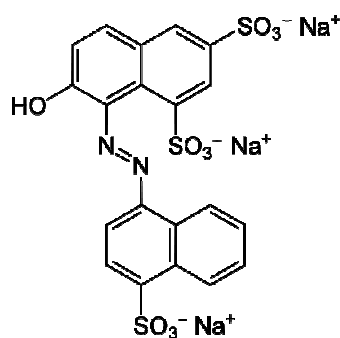


รูป 1 ลักษณะของอุปกรณ์อิเล็กโทรโฟรีซิสขนาดเล็ก

โดย A คือ ช่องทางการเคลื่อนที่ของสารละลาย

B คือ ช่องสำหรับใส่สารละลายอิเล็กโทรไลต์และขั้วไฟฟ้า

เมื่อหยดสารตัวอย่างลงไปในห้องสำหรับใส่สารตัวอย่างและให้ศักย์ไฟฟ้าเข้าไปในอุปกรณ์อิเล็กโทรโฟรีซิส สารที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันจะแยกออกจากกันและเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าตามความยาวของช่อง A โดยในการทดลองจะศึกษาการเคลื่อนที่ภายใต้สนามไฟฟ้าของสารละลายปองโซ 4อาร์ (Ponceau 4 R) และสารละลายเมทิลีนบลู (Methylene Blue) ซึ่งมีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2 พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์แยกสารตัวอย่างผสม



(a)



(b)

รูป 2 โครงสร้างของ (a) สารละลายปองโซ 4 อาร์ (M.W. 604.48 g/mol)  
และ (b) สารละลายเมทิลีนบลู (M.W. 319.85 g/mol)

### เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องซั่ง 4 ตำแหน่ง
2. เครื่องหมุนเหวี่ยง
3. ตู้อบ
4. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (Voltage power supply)
5. กระจกชั่งตวง ขนาด 10 ไมโครลิตร
6. ดินน้ำมัน
7. ถ้วยพลาสติก
8. แท่งแก้ว
9. แผ่นกระจกขนาด 1.5 × 13.5 ซม.
10. ไม้ดินสอดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 มม. (แกรไฟต์)
11. หลอดพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 มม.
12. หลอดพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.0 มม.
13. อลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 5.5 × 17.0 ซม.

## สารเคมีและสารตัวอย่าง

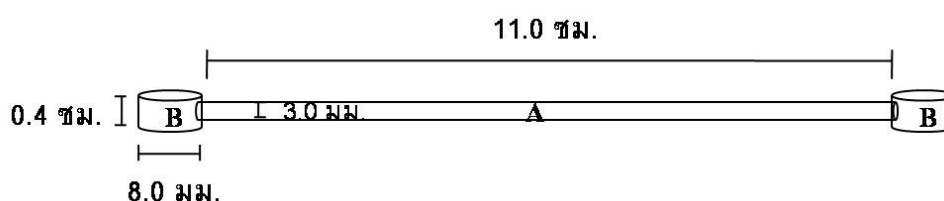
1. สารละลายปองโซ 4 อาร์ เข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์
2. สารละลายเมทิลีนบลู เข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์
3. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 250 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 7.0
4. ยางซิลิโคน (Silicone elastomer base และ silicone elastomer curing agent )
5. สารตัวอย่างคือ สารละลายผสมระหว่างสารละลายปองโซ 4 อาร์ กับสารละลายเมทิลีนบลู

## วิธีการทดลอง

การทดลองแบ่งเป็น 3 ตอน ดังนี้

### ตอนที่ 1 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่ทำจากพอลิไดเมทิลไซ-ลอกเซน (PDMS)

1.1 เตรียมแม่พิมพ์ (Mold) สำหรับขึ้นรูป ลักษณะแสดงดังรูปที่ 3 ประกอบด้วยช่องทางการเคลื่อนที่ของสารละลาย (A) ทำจากหลอดพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 มม. ยาว 12.0 ซม. และช่องสำหรับใส่สารละลายอิเล็กทรอนิกส์และขั้วไฟฟ้าที่ปลายทั้งสองด้าน (B) ทำจากหลอดพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.0 มม. ยาว 0.4 ซม. หลอดพลาสติกทุกชิ้นบรรจุดินน้ำมันให้เต็ม เพื่อใช้เป็นแม่พิมพ์สำหรับการนำไปใช้สร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กต่อไป



รูป 3 ลักษณะด้านข้างของแม่พิมพ์ โดย A คือ ช่องทางการเคลื่อนที่ของสารละลาย และ B คือ ช่องสำหรับใส่สารละลายอิเล็กทรอนิกส์และขั้วไฟฟ้า

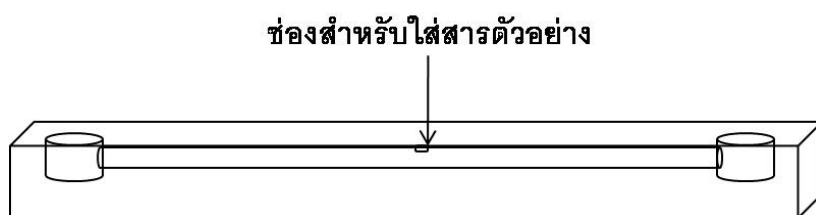
1.2 เตรียมเบ้าหล่อ โดยนำแผ่นกระจกขนาด 1.5 × 13.5 ซม. มาหุ้มด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 5.5 × 17.0 ซม. ให้มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมที่มีความสูงประมาณ 1.5 ซม. จากนั้นนำแม่พิมพ์ที่สร้างไว้มาวางลงตรงกลางของแผ่นกระจก

1.3 ผสม silicone elastomer base และ silicone elastomer curing agent (อัตราส่วน 25 : 1 โดยน้ำหนัก) โดยชั่ง baseหนัก 25 กรัม ผสมกับ curing agentหนัก 1 กรัม ในถ้วย

พลาสติก ผสมให้เข้ากัน เทสารผสมทั้งหมดลงในหลอดทดลองแล้วนำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 3,200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที เพื่อกำจัดฟองอากาศที่อยู่ในซิลิโคน

1.4 นำซิลิโคนที่ได้ เทลงบนแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ในข้อ 1.2 แล้วนำเข้าสู่ตู้อบที่อุณหภูมิ  $70^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นแกะ PDMS ออกจากแม่พิมพ์

1.5 นำ PDMS มาเจาะรูที่กึ่งกลางของช่องทางการเคลื่อนที่ของสารละลาย เพื่อใช้สำหรับใส่สารตัวอย่าง ลักษณะแสดงดังรูปที่ 4



รูป 4 ลักษณะด้านข้างของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่ทำจาก PDMS

## ตอนที่ 2 การศึกษาการเคลื่อนที่ของสารด้วยเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก

2.1 หยดสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 250 มิลลิโมลาร์ (pH 7.0) ลงไปในช่อง A และ B ให้เต็ม และต่อใส่ดินสอด่เข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง โดยกำหนดให้ใช้ความต่างศักย์ 50 โวลต์ จากนั้นจุ่มใส่ดินสอด่ลงไปในช่องสำหรับใส่สารละลายบัฟเฟอร์และขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 ช่อง

2.2 หยดสารละลายปองโซ 4 อาร์เข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1 ไมโครลิตร ลงไปในช่องสำหรับใส่สารตัวอย่างพร้อมทั้งเปิดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและทำการจับเวลา เป็นเวลา 15 นาที โดยขั้นตอนนี้ต้องทำอย่างรวดเร็ว

2.3 สังเกตการเคลื่อนที่ของสารและบันทึกระยะทางที่สารเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแคโทด (ขั้วลบ ; สายไฟสีดำ) และขั้วแอโนด (ขั้วบวก ; สายไฟสีแดง) ที่ระยะเวลา 5, 10 และ 15 นาที ตามลำดับ

2.4 ทำการทดลองอีก 1 ครั้ง

2.5 ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.1 – 2.4 โดยเปลี่ยนเป็นสารละลายเมทิลีนบลูเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ แทนสารละลายปองโซ 4 อาร์

**หมายเหตุ :** ก่อนเริ่มทำการทดลองทุกครั้งให้ล้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กด้วยน้ำกลั่น 1-2 ครั้ง โดยหยดน้ำกลั่นลงไปในช่อง A และ B ให้เต็ม แล้วดูดทิ้ง จากนั้นล้างด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 250 มิลลิโมลาร์ (pH 7.0) 1-2 ครั้ง

### ตอนที่ 3 การแยกสารตัวอย่างด้วยเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส

3.1 หยดสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 250 มิลลิโมลาร์ (pH 7.0) ลงไปในช่อง A และ B ให้เต็ม และต่อไส้ดินสอด่เข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง โดยกำหนดให้ใช้ความต่างศักย์ 50 โวลต์ จากนั้นจุ่มไส้ดินสอด่ลงในช่องสำหรับใส่สารละลายบัฟเฟอร์และขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 ช่อง

3.2 หยดสารตัวอย่างปริมาตร 1 ไมโครลิตร ลงไปในช่องสำหรับใส่สารตัวอย่างพร้อมทั้งเปิดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและทำการจับเวลา เป็นเวลา 15 นาที โดยขั้นตอนนี้ต้องทำอย่างรวดเร็ว

3.3 สังเกตการแยกของสารตัวอย่างที่ระยะเวลา 5, 10 และ 15 นาที ตามลำดับ

3.4 ทำการทดลองอีก 1 ครั้ง โดยเปลี่ยนความต่างศักย์ที่ใช้เป็น 10 โวลต์

**หมายเหตุ :** ก่อนเริ่มทำการทดลองทุกครั้งให้ล้างอุปกรณ์อิเล็กโทรโฟรีซิสขนาดเล็กด้วยน้ำกลั่น 1-2 ครั้ง โดยหยดน้ำกลั่นลงในช่อง A และ B ให้เต็ม แล้วดูดทิ้ง จากนั้นล้างด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 250 มิลลิโมลาร์ (pH 7.0) 1-2 ครั้ง



ชื่อ.....รหัสนิสิต.....กลุ่มที่.....

### แบบบันทึกผลการทดลองที่ 3

#### การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม

1. ตารางแสดงตำแหน่งและระยะทางการเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าของสารละลายปองโซ 4 อาร์ ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 50 โวลต์

ครั้งที่	เวลา (นาที)	ภาพแสดงการเคลื่อนที่ของสาร	ระยะทางที่สารเคลื่อนที่ เข้าหาขั้วไฟฟ้า (ซม.)	
			ขั้วแคโทด	ขั้วแอโนด
1	5			
	10			
	15			
2	5			
	10			
	15			

2. ตารางแสดงตำแหน่งและระยะทางการเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าของสารละลายเมทิลีนบลู ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 50 โวลต์

ครั้งที่	เวลา (นาที)	ภาพแสดงการเคลื่อนที่ของสาร	ระยะทางที่สารเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้า (ซม.)	
			ขั้วแคโทด	ขั้วแอโนด
1	5			
	10			
	15			
2	5			
	10			
	15			

3. ตารางแสดงการเคลื่อนที่ของสารตัวอย่างที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ

ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)	เวลา (นาที)	ภาพแสดงการเคลื่อนที่ของสารตัวอย่าง
50	5	
	10	
	15	

ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)	เวลา (นาที)	ภาพแสดงการเคลื่อนที่ของสารตัวอย่าง
10	5	
	10	
	15	

สรุปและอภิปรายผลการทดลอง





ชื่อ-นามสกุล..... รหัสนิสิต ..... กลุ่มที่ .....

**แบบทดสอบระหว่างเรียนการทดลองที่ 1**  
**การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ**

**คำชี้แจง :** ให้นิสิตตอบคำถามดังข้อต่อไปนี้

1. จงระบุชนิดของวัสดุภาคคงที่และวัสดุภาคเคลื่อนที่ที่ใช้ในการทดลองนี้
  
2. จากการทดลองสามารถแยกรงควัตถุได้ที่ชนิด อะไรบ้าง พร้อมทั้งเรียงลำดับค่า  $R_f$  ของรงควัตถุที่แยกได้จากค่ามากที่สุดไปน้อยที่สุด
  
3. เมื่อนำรงควัตถุที่แยกได้ไปทดสอบด้วยสารละลายกรด รงควัตถุชนิดใดเกิดการเปลี่ยนแปลงสี เพราะเหตุใด
  
4. ถ้าต้องการให้ค่า  $R_f$  ของ Chlorophyll b ในการทดลองนี้มีค่าเพิ่มขึ้น นิสิตสามารถปรับเปลี่ยนปัจจัยใดได้บ้าง โดยกำหนดให้ระยะทางการเคลื่อนที่ของวัสดุภาคเคลื่อนที่เท่าเดิม
  
5. เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษในระบบ Normal Phase และ Reversed Phase มีวัสดุภาคคงที่และวัสดุภาคเคลื่อนที่แตกต่างกันอย่างไร

ชื่อ-นามสกุล..... รหัสนิสิต ..... กลุ่มที่ .....

**แบบทดสอบระหว่างเรียนการทดลองที่ 2**  
**การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ**

**คำชี้แจง :** ให้นิสิตตอบคำถามดังข้อต่อไปนี้

1. จงอธิบายหลักการแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ ในระบบ Normal phase
2. ปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการแยกของสาร (บอกมา 2 ข้อ)
3. การแยกวัตถุกันเสียในมิติที่ 1 วัตถุกันเสียใดมีค่า  $R_f$  มากที่สุด เพราะเหตุใด
4. ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของวัฏภาคเคลื่อนที่ในการแยกมิติที่ 2 กรดซาลิไซลิกจะมีค่า  $R_f$  เปลี่ยนไปอย่างไร พร้อมอธิบายเหตุผล
5. ถ้าเปลี่ยนระบบการแยกเป็นแบบ Reversed phase จะส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของเบนโซฟีโนนอย่างไร

ชื่อ-นามสกุล..... รหัสนิสิต ..... กลุ่มที่ .....

**แบบทดสอบระหว่างเรียนการทดลองที่ 3**  
**การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม**

**คำชี้แจง :** ให้นิสิตตอบคำถามดังข้อต่อไปนี้

1. จงอธิบายหลักการแยกสารด้วยเทคนิคแคปิลลารีอิเล็กทรอนิกส์
2. สารที่มีประจุลบและสารที่มีประจุบวกจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าชนิดใด
3. จากการทดลองสารละลายเมทิลีนบลูจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าชนิดใด เพราะเหตุใด
4. สารผสมประกอบด้วยสาร A และ B ซึ่งมีขนาดเท่ากัน แต่สาร A มีประจุ -1 ส่วนสาร B มีประจุ -3 สารชนิดใดจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าได้เร็วกว่า
5. ถ้าสารผสมประกอบด้วยสาร 2 ชนิด ที่มีประจุเท่ากัน แต่ขนาดต่างกันจะสามารถแยกด้วยเทคนิคแคปิลลารีอิเล็กทรอนิกส์ได้หรือไม่ เพราะเหตุใด



ชื่อ-นามสกุล..... รหัสนิสิต ..... กลุ่มที่ .....

**แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์  
เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส**

**คำชี้แจง:**

1. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฉบับนี้ ได้กำหนดหน่วยการเรียนรู้ไว้ทั้งหมด 3 การทดลอง อันประกอบไปด้วยเนื้อหาเกี่ยวกับ
  - การทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ
  - การทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ
  - การทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กโทรโฟรีซิสขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม
2. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนฉบับนี้ทุกข้อคำถามเป็นคำถามชนิดปรนัย 5 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ โดยกำหนดให้ใช้เวลาในการทำแบบทดสอบฉบับนี้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. ให้นิสิตทำเครื่องหมายกากบาท (X) ลงในกระดาษคำตอบที่แนบไว้หลังแบบทดสอบ โดยกำหนดให้นิสิตเลือกคำตอบข้อที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว
4. ห้ามเปิดแบบทดสอบก่อนเวลาที่กำหนดและนิสิตสามารถออกจากห้องสอบได้หลังผ่านไป 30 นาที
5. เมื่อหมดเวลาในการทำข้อสอบ ให้นิสิตหยุดทำข้อสอบทันที

**แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนบทปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์  
เรื่อง เทคนิคโครมาโทกราฟีและเทคนิคอิเล็กโทรโฟรีซิส**

**คำชี้แจง:** ให้นักศึกษาทำเครื่องหมายกากบาท (X) เลือกคำตอบที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

**การทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ**

1. เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษอาศัยหลักการในการแยกสารแบบใด
  - ก. การกระจายตัวที่แตกต่างกันของสารในวัฏภาคคงที่และวัฏภาคเคลื่อนที่
  - ข. การเกิดอันตรกิริยาที่เหมือนกันของสารในวัฏภาคคงที่และวัฏภาคเคลื่อนที่
  - ค. การเกิดอันตรกิริยาที่เหมือนกันของไอออนในวัฏภาคคงที่และวัฏภาคเคลื่อนที่
  - ง. การเกิดปฏิกิริยาเคมีที่แตกต่างกันของสารในวัฏภาคคงที่และวัฏภาคเคลื่อนที่
  - จ. การแพร่ผ่านเข้าไปในรูพรุนที่แตกต่างกันของสารในวัฏภาคคงที่และวัฏภาคเคลื่อนที่
2. การแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ พบว่าน้ำจัดเป็นวัฏภาคคงที่ซึ่งมีคุณสมบัติมีขั้วสูง ดังนั้นวัฏภาคเคลื่อนที่ที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในระบบนี้ควรมีคุณสมบัติอย่างไร
  - ก. มีคุณสมบัติความมีขั้วสูงกว่าน้ำ
  - ข. มีคุณสมบัติความมีขั้วเท่ากับน้ำ
  - ค. มีคุณสมบัติความมีขั้วต่ำกว่าน้ำ
  - ง. มีคุณสมบัติเฉื่อย ไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น
  - จ. มีคุณสมบัติความมีขั้วปานกลาง และสามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำได้
3. วัฏภาคคงที่ (Stationary Phase) ในระบบ Normal Phase กับ Reversed Phase แตกต่างกันอย่างใด
  - ก. ระบบ Normal Phase วัฏภาคคงที่จะมีขั้วต่ำ ดูดซับสารที่มีขั้วได้ดี ส่วนระบบ Reversed Phase วัฏภาคคงที่จะมีขั้วสูง ดูดซับสารที่ไม่มีขั้วได้ดี
  - ข. ระบบ Normal Phase วัฏภาคคงที่จะมีขั้วต่ำ ดูดซับสารที่ไม่มีขั้วได้ดี ส่วนระบบ Reversed Phase วัฏภาคคงที่จะมีขั้วสูง ดูดซับสารที่มีขั้วได้ดี
  - ค. ระบบ Normal Phase วัฏภาคคงที่จะมีขั้วต่ำ ดูดซับสารที่มีขั้วได้ไม่ดี ส่วนระบบ Reversed Phase วัฏภาคคงที่จะมีขั้วสูง ดูดซับสารที่ไม่มีขั้วได้ดี
  - ง. ระบบ Normal Phase วัฏภาคคงที่จะมีขั้วสูง ดูดซับสารที่ไม่มีขั้วได้ดี ส่วนระบบ Reversed Phase วัฏภาคคงที่จะมีขั้วต่ำ ดูดซับสารที่มีขั้วได้ดี
  - จ. ระบบ Normal Phase วัฏภาคคงที่จะมีขั้วสูง ดูดซับสารที่มีขั้วได้ดี ส่วนระบบ Reversed Phase วัฏภาคคงที่จะมีขั้วต่ำ ดูดซับสารที่ไม่มีขั้วได้ดี

4. การแยกสารด้วยเทคนิค PC ระบบ Normal Phase สารที่มีค่า  $R_f$  ต่ำมีลักษณะเป็นอย่างไร
- สารที่มีสภาพขั้วต่ำ ซึ่งจะเกิดอันตรกิริยากับวัฏภาคเคลื่อนที่ได้ดีทำให้เคลื่อนที่เร็ว
  - สารที่มีสภาพขั้วสูง ซึ่งจะเกิดอันตรกิริยากับวัฏภาคเคลื่อนที่ได้ดีทำให้เคลื่อนที่เร็ว
  - สารที่มีสภาพขั้วต่ำ ซึ่งจะเกิดอันตรกิริยากับวัฏภาคคงที่ได้ดีทำให้เคลื่อนที่ช้า
  - สารที่มีสภาพขั้วสูง ซึ่งจะเกิดอันตรกิริยากับวัฏภาคคงที่ได้ดีทำให้เคลื่อนที่ช้า
  - สารที่มีสภาพขั้วต่ำ ซึ่งจะเกิดอันตรกิริยากับวัฏภาคคงที่ได้ดีทำให้เคลื่อนที่เร็ว
5. ถ้าลดความมีขั้วของวัฏภาคเคลื่อนที่ระบบ Reversed Phase จะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของสารตามข้อใด
- สารที่มีขั้วเคลื่อนที่ได้ช้าลง ค่า  $R_f$  จะมากขึ้น
  - สารที่มีขั้วเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น ค่า  $R_f$  จะน้อยลง
  - สารที่ไม่มีขั้วเคลื่อนที่ได้ช้าลง ค่า  $R_f$  จะมากขึ้น
  - สารที่ไม่มีขั้วเคลื่อนที่ได้ช้าลง ค่า  $R_f$  จะน้อยลง
  - สารที่ไม่มีขั้วเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น ค่า  $R_f$  จะมากขึ้น
6. สารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ประกอบไปด้วยสาร 3 ชนิด เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษผ่านไป 30 นาที พบว่า สารชนิดที่ 1 สามารถเคลื่อนที่ได้ 1.2 ซม. สารชนิดที่ 2 สามารถเคลื่อนที่ได้ 2.3 ซม. และสารชนิดที่ 3 สามารถเคลื่อนที่ได้ 3.0 ซม. นิสิตคิดว่าสารชนิดใดกระจายตัวในวัฏภาคเคลื่อนที่ได้มากที่สุด ตามลำดับ
- สารชนิดที่ 1 > สารชนิดที่ 2 > สารชนิดที่ 3
  - สารชนิดที่ 2 > สารชนิดที่ 1 > สารชนิดที่ 3
  - สารชนิดที่ 3 > สารชนิดที่ 1 > สารชนิดที่ 2
  - สารชนิดที่ 2 > สารชนิดที่ 3 > สารชนิดที่ 1
  - ข้อมูลไม่เพียงพอ
7. ถ้าเปลี่ยนวัฏภาคคงที่เป็นสารที่ไม่มีขั้ว ส่วนวัฏภาคเคลื่อนที่มีขั้วสูง รงควัตถุชนิดใดที่ได้จากใบผักคะน้าจะเคลื่อนที่ได้เร็วที่สุดและน้อยที่สุดตามลำดับ
- Chlorophyll a, Carotene
  - Chlorophyll b, Carotene
  - Chlorophyll b, Xanthophyll
  - Chlorophyll b, Chlorophyll a
  - Carotene, Chlorophyll b

8. จากการทดลองแยกรงควัตถุในห้องปฏิบัติการโดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษพบว่า รงควัตถุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่เฉพาะตัว ทำให้สามารถแยกออกเป็นแถบสีที่แตกต่างกัน การยืนยันว่าแถบสีดังกล่าวเป็นสารชนิดใดต้องพิจารณาจากหลายๆ ข้อมูล ยกเว้น ข้อใด

- ก. สี  
ข. ค่า  $R_f$   
ค. ขนาดของแถบสี  
ง. ระยะทางการเคลื่อนที่  
จ. ใช้ระบบการทดลองเดียวกัน
9. ถ้าต้องการทราบว่ารงควัตถุที่แยกได้จากสารตัวอย่างเป็นคลอโรฟิลล์ เอ จริงหรือไม่ นิสิตควรปฏิบัติเช่นไรจึงจะถูกต้องที่สุด

- ก. สังเกตจากสีที่ได้จากการแยก สีเดียวกันแสดงว่าเป็นสารเดียวกัน  
ข. เปรียบเทียบค่า  $R_f$  ที่ได้กับสารมาตรฐานคลอโรฟิลล์ เอ  
ค. พิจารณาจากระยะทางการเคลื่อนที่ของตัวทำละลาย  
ง. ทดลองแยกสารตัวอย่างซ้ำ โดยใช้หลายๆ สภาวะ  
จ. ทดลองแยกสารตัวอย่างคู่กับสารมาตรฐานคลอโรฟิลล์ เอ ในสภาวะการแยกเดียวกัน
10. ในการทดลองแยกรงควัตถุ ในระบบที่มีวัฏภาคคงที่เป็นน้ำ ถ้าปรับสภาวะของวัฏภาคเคลื่อนที่ของปิโตรเลียมอีเทอร์กับอะซีโตนจากอัตราส่วน 9 : 1 เป็น 7 : 3 โดยปริมาตร ข้อความใดกล่าวถูกต้อง

- ก. Carotene จะมีค่า  $R_f$  ลดลง  
ข. Xanthophyll จะมีค่า  $R_f$  ลดลง  
ค. Chlorophyll a จะมีค่า  $R_f$  ลดลง  
ง. Carotene จะเคลื่อนที่ในวัฏภาคเคลื่อนที่ได้ช้าลง  
จ. Chlorophyll b จะเคลื่อนที่ในวัฏภาคเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น

## การทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียดด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ

11. กลไกการแยกสารด้วยเทคนิค TLC เป็นแบบใด

- ก. แบบ Adsorption โดยสารแต่ละชนิดจะถูกดูดซับได้แตกต่างกันบนวัฏภาคคงที่  
ข. แบบ Partition โดยสารแต่ละชนิดจะกระจายตัวในวัฏภาคคงที่และวัฏภาคเคลื่อนที่แตกต่างกัน  
ค. แบบ Adsorption โดยสารแต่ละชนิดมีความสามารถในการแพร่ผ่านเข้าไปในรูพรุนแตกต่างกัน  
ง. แบบ Partition โดยสารแต่ละชนิดมีความสามารถในการแพร่ผ่านเข้าไปในรูพรุนของวัฏภาคคงที่แตกต่างกัน  
จ. แบบ Adsorption โดยสารแต่ละชนิดจะถูกดูดซับได้แตกต่างกันบนวัฏภาคเคลื่อนที่

12. ข้อใดกล่าวถึงเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ ได้ถูกต้อง

- ก. การแยกสารโดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่ 2 ชนิด
- ข. ทิศทางการเคลื่อนที่ของวัฏภาคเคลื่อนที่ในมิติที่ 1 และ 2 จะตั้งฉากกัน
- ค. วัฏภาคเคลื่อนที่ในมิติที่ 1 จะเคลื่อนจากด้านบนสู่ด้านล่าง สำหรับวัฏภาคเคลื่อนที่ในมิติที่ 2 จะเคลื่อนจากด้านล่างสู่ด้านบน
- ง. ข้อ ก และ ข ถูก
- จ. ข้อ ก และ ค ถูก

13. ปัจจัยใดที่ส่งผลต่อค่า  $R_f$  ของสาร

- |                                       |                              |
|---------------------------------------|------------------------------|
| 1. ชนิดของวัฏภาคคงที่                 | 4. ขนาดของวัฏภาคคงที่        |
| 2. อุณหภูมิขณะทำการทดลอง              | 5. ชนิดของตัวค้ำจุน          |
| 3. การอิมมิดด้วยไอของวัฏภาคเคลื่อนที่ | 6. ปริมาณของวัฏภาคเคลื่อนที่ |

- ก. 1, 3 และ 5
- ข. 1, 4 และ 5
- ค. 2, 3 และ 4
- ง. 2, 4, 5 และ 6
- จ. 3, 4, 5 และ 6

14. ข้อใดกล่าวถึงหลักการแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษกับโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบางได้ถูกต้องที่สุด

- ก. ประสิทธิภาพของการแยกสารตัวอย่างขึ้นอยู่กับวัฏภาคเคลื่อนที่
- ข. โครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษสามารถแยกสารได้ดีกว่าโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง
- ค. ใช้หลักการแยกสารโดยอาศัยหลักการกระจายตัวที่แตกต่างกันระหว่างวัฏภาคคงที่และวัฏภาคเคลื่อนที่
- ง. วัฏภาคคงที่ของโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษมีความเป็นขั้วต่ำ ส่วนโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบางมีความเป็นขั้วสูง
- จ. โครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษมีกลไกการแยกแบบ Adsorption ส่วนโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบางมีกลไกการแยกแบบ Partition

15. ค่า  $R_f$  ของสารมาตรฐานและสารตัวอย่างที่ได้มาจากการทดลองที่มีสภาวะแตกต่างกันสามารถนำมาเทียบกันได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

- ก. ได้ เพราะค่า  $R_f$  เป็นค่าคงที่ของสารแต่ละชนิดไม่มีการเปลี่ยนแปลง
- ข. ได้ เพราะทำการทดลองโดยใช้วัฏภาคคงที่และวัฏภาคเคลื่อนที่เหมือนกัน
- ค. ไม่ได้ เพราะค่า  $R_f$  เป็นค่าเฉพาะตัวของสารที่สภาวะการทดลองหนึ่ง ๆ
- ง. ข้อ ก และ ข ถูก
- จ. ไม่มีข้อใดถูก



16. ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของวัฏภาคเคลื่อนที่ในระบบ Normal Phase จะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของสารตามข้อใด

- ก. สารที่ไม่มีขั้วเคลื่อนที่ได้ช้าลง ค่า  $R_f$  จะมากขึ้น
- ข. สารที่ไม่มีขั้วเคลื่อนที่ได้ช้าลง ค่า  $R_f$  จะน้อยลง
- ค. สารที่มีขั้วเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น ค่า  $R_f$  จะน้อยลง
- ง. สารที่มีขั้วเคลื่อนที่ได้ช้าลง ค่า  $R_f$  จะมากขึ้น
- จ. สารที่มีขั้วเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น ค่า  $R_f$  จะมากขึ้น

17. จากการทดลองแยกสารในมิติที่ 1 ที่ทำในห้องปฏิบัติการให้ผลการทดลองเป็นอย่างไร

- ก. สามารถแยกเบนซีนออกจากสารผสมได้
- ข. สามารถแยกกรดเบนโซอิกออกจากกรดซาลิไซลิกได้
- ค. ไม่สามารถแยกเบนซีนออกจากกรดซาลิไซลิกได้
- ง. ไม่สามารถแยกกรดเบนโซอิกออกจากเบนซีนได้
- จ. สามารถแยกสารทั้ง 3 ชนิด ออกจากกันได้

18. ถ้าแยกสารผสมระหว่าง Ethanamide กับ Acetophenone ด้วยเทคนิค TLC ระบบ Normal Phase ผลการทดลองข้อใดกล่าวได้ถูกต้อง

- ก. Acetophenone มีค่า  $R_f$  สูงกว่า Ethanamide เพราะมีสภาพขั้วต่ำกว่า
- ข. Acetophenone มีค่า  $R_f$  สูงกว่า Ethanamide เพราะมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่า
- ค. Ethanamide มีค่า  $R_f$  สูงกว่า Acetophenone เพราะมีสภาพขั้วสูงกว่า
- ง. Ethanamide มีค่า  $R_f$  สูงกว่า Acetophenone เพราะถูกดูดซับในวัฏภาคคงที่ได้น้อย
- จ. Ethanamide มีค่า  $R_f$  สูงกว่า Acetophenone เพราะเกิดการกระจายในวัฏภาคเคลื่อนที่ได้น้อย

19. ชนิดของวัฏภาคคงที่และวัฏภาคเคลื่อนที่ในข้อใดเป็นระบบ Reversed Phase

- ก. วัฏภาคคงที่คือ C18 วัฏภาคเคลื่อนที่คือ  $\text{CHCl}_3$  : Hexane
- ข. วัฏภาคคงที่คือ C18 วัฏภาคเคลื่อนที่คือ  $\text{H}_2\text{O}$  : Acetonitrile
- ค. วัฏภาคคงที่คือ ซิลิกาเจล วัฏภาคเคลื่อนที่คือ  $\text{CHCl}_3$  : Hexane
- ง. วัฏภาคคงที่คือ ซิลิกาเจล วัฏภาคเคลื่อนที่คือ  $\text{H}_2\text{O}$  : Acetonitrile
- จ. ข้อ ค และ ง ถูก

20. ในการทดลองถ้าเปลี่ยนวฏภาคคงที่เป็น C18 และเปลี่ยนวฏภาคเคลื่อนที่ให้มีขั้วสูงขึ้นกรดเบนโซอิกและเบนโซฟีโนนจะเคลื่อนที่เป็นอย่างไร

- ก. เบนโซฟีโนนจะเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น
- ข. กรดเบนโซอิกจะไม่เคลื่อนที่
- ค. กรดเบนโซอิกจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าเบนโซฟีโนน
- ง. กรดเบนโซอิกจะเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าเบนโซฟีโนน
- จ. กรดเบนโซอิกและเบนโซฟีโนนจะไม่เคลื่อนที่

### การทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม

21. เทคนิคแคปิลลารีอิเล็กทรอนิกส์หลักการแยกสารตามข้อใด

- ก. ความสามารถในการแพร่ผ่านเข้าไปในรูพรุนที่แตกต่างกันของสารแต่ละชนิด
- ข. การเกิดอันตรกิริยาที่ต่างกันของไอออนในวฏภาคคงที่และวฏภาคเคลื่อนที่
- ค. การเกิดปฏิกิริยาเคมีที่แตกต่างกันของสารแต่ละชนิดภายใต้สนามไฟฟ้า
- ง. ความแตกต่างในการกระจายตัวของสารแต่ละชนิดภายใต้สนามไฟฟ้า
- จ. ความแตกต่างในการเคลื่อนที่ของสารแต่ละชนิดภายใต้สนามไฟฟ้า

22. ลักษณะการเคลื่อนที่ภายใต้สนามไฟฟ้าของไอออนที่มีประจุต่างกันและขนาดไม่เท่ากันในตัวกลางชนิดหนึ่งเมื่อทำการแยกสารด้วยเทคนิคแคปิลลารีอิเล็กทรอนิกส์จะเป็นอย่างไร

- ก. สารประจุบวกขนาดใหญ่จะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแอโนดได้เร็วกว่าสารประจุบวกขนาดเล็ก
- ข. สารประจุบวกขนาดใหญ่จะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแคโทดได้เร็วกว่าสารประจุบวกขนาดเล็ก
- ค. สารประจุลบขนาดเล็กจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแอโนดได้เร็วกว่าสารประจุลบขนาดใหญ่
- ง. สารประจุลบขนาดเล็กจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแคโทดได้เร็วกว่าสารประจุลบขนาดใหญ่
- จ. สารประจุลบขนาดใหญ่จะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแอโนดได้เร็วกว่าสารประจุลบขนาดเล็ก

23. ข้อใดกล่าวถูกต้องเกี่ยวกับค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ที่ใช้ในเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์ที่ค่า pH ต่างกัน

- ก. ค่า pH ต่างกันจะไม่มีผลต่อรัศมีของสาร
- ข. ค่า pH ต่างกันจะไม่มีผลต่อผลรวมของประจุ
- ค. ค่า pH ต่างกันจะทำให้สารมีความเข้มข้นไม่เท่ากัน
- ง. ค่า pH ต่างกันจะทำให้สารแตกตัวให้ประจุได้ไม่เท่ากัน
- จ. ค่า pH ต่างกันจะทำให้สารแตกตัวให้ประจุได้เท่ากัน

24. การเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจะมีผลต่อความสามารถในการเคลื่อนที่ภายใต้สนามไฟฟ้าตามข้อใด

- ก. การเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าจะทำให้สารเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าได้เร็วขึ้น
- ข. การลดหรือเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าจะไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของสาร
- ค. การเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าจะทำให้การแพร่ของสารเพิ่มมากขึ้น
- ง. การลดความต่างศักย์ไฟฟ้าจะทำให้สารแตกตัวให้ประจุน้อยลง
- จ. การเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าจะทำให้สารแตกตัวให้ประจุมากขึ้น

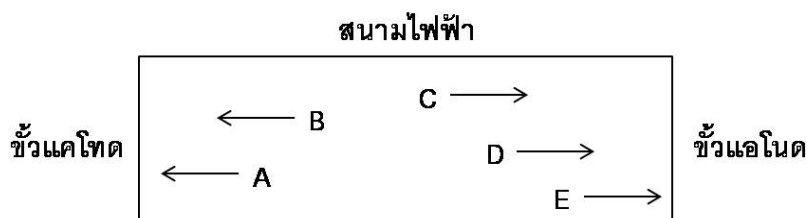
25. จากการทดลองสารละลายเมทิลีนบลูจะมีประจุอะไร และเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าชนิดใด เพราะเหตุใด

- ก. ขั้วแคโทด เพราะสารละลายเมทิลีนบลูมีประจุเป็นลบจึงเคลื่อนเข้าหาขั้วบวก
- ข. ขั้วแคโทด เพราะสารละลายเมทิลีนบลูมีประจุเป็นบวกจึงเคลื่อนเข้าหาขั้วลบ
- ค. ขั้วแอโนด เพราะสารละลายเมทิลีนบลูมีประจุเป็นลบจึงเคลื่อนเข้าหาขั้วบวก
- ง. ขั้วแอโนด เพราะสารละลายเมทิลีนบลูมีประจุเป็นบวกจึงเคลื่อนเข้าหาขั้วลบ
- จ. ไม่เคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าเพราะสารละลายเมทิลีนบลูมีประจุเป็นกลาง

26. สารผสมประกอบด้วยสาร A และ B มีประจุเป็น +2 และสาร A มีขนาดเล็กกว่าสาร B จะสามารถแยกด้วยเทคนิคอิเล็กโทรโฟเรซิสได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

- ก. แยกไม่ได้ เพราะสาร A และ B เป็นสารที่มีขนาดไม่เท่ากัน
- ข. แยกไม่ได้ เพราะสาร A และ B เป็นสารที่มีประจุเป็นบวกเหมือนกัน
- ค. แยกได้ เพราะสาร A มีขนาดเล็กกว่าสาร B
- ง. แยกได้ เพราะสาร A และ B เป็นสารที่มีประจุเป็น +2 เหมือนกัน
- จ. แยกได้ เพราะสาร A และ B เป็นสารที่มีประจุเป็นบวกและมีขนาดไม่เท่ากัน

จากรูปที่กำหนดให้จงตอบคำถามในข้อ 27-28



27. จากรูป กำหนดให้สาร C และ D มีจำนวนประจุเท่ากัน ดังนั้นสาร D จะมีลักษณะตรงตามข้อใด
- สารที่มีประจุเป็นลบและมีขนาดเล็กกว่าสาร C
  - สารที่มีประจุเป็นบวกและมีขนาดใหญ่กว่าสาร C
  - สารจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน
  - สารที่มีประจุเป็นบวกและเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน
  - ไม่มีข้อใดถูก
28. จากรูปข้อใดกล่าวถูกต้อง
- สาร A และ B คือสารที่มีประจุเป็นลบ
  - สาร C, D และ E คือสารที่มีประจุเป็นบวก
  - ถ้าสาร C และ D มีจำนวนประจุเท่ากัน ดังนั้น สาร D จึงมีขนาดใหญ่กว่า
  - ถ้าสาร A และ B มีขนาดเท่ากัน ดังนั้น สาร B จึงเป็นสารที่มีจำนวนประจุสูงกว่า
  - ถ้าสาร D และ E มีขนาดเท่ากัน ดังนั้น สาร E จึงเป็นสารที่มีจำนวนประจุสูงกว่า
29. ข้อใดส่งผลต่อความสามารถในการเคลื่อนที่ของสารภายใต้สนามไฟฟ้า
- การเพิ่มปริมาตรของสารละลายบัฟเฟอร์ที่ใช้
  - การเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าจาก 10 โวลต์ เป็น 40 โวลต์
  - การเปลี่ยนชนิดของขั้วไฟฟ้าจากแกรไฟต์เป็นแพลตตินัม
  - การควบคุมให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าคงที่ตลอดการทดลอง
  - การสลับสายไฟสีแดงให้เป็นขั้วแคโทดและสายไฟสีดำให้เป็นขั้วแอโนด
30. ทำไมจึงสามารถแยกสารละลายปอซโซ 4 อาร์ และสารละลายเมทิลีนบลูในตัวอย่างสารผสมด้วยเทคนิคอิเล็กโทรโฟเรซิสได้
- สารผสมประกอบด้วยสารที่มีขั้วสูงและขั้วต่ำ
  - สารผสมประกอบด้วยสารที่มีประจุและขนาดที่แตกต่างกัน
  - สารผสมประกอบด้วยสารที่มีสีและค่าการละลายที่แตกต่างกัน
  - สารผสมประกอบด้วยสารที่มีฤทธิ์ความเป็นกรด-เบสที่แตกต่างกัน
  - สารผสมประกอบด้วยสารที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ขั้วไฟฟ้าแตกต่างกัน
-

ชื่อ-นามสกุล..... รหัสนิสิต ..... กลุ่มที่ .....

## แบบทดสอบวัดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นบูรณาการ

คำชี้แจง : ให้นิสิตตอบคำถามดังข้อต่อไปนี้

การทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ

1. การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ ตัวแปรต้นและตัวแปรตามคืออะไร

2. ถ้านิสิตต้องการแยกรงควัตถุในผักโขม นิสิตจะออกแบบการทดลองอย่างไร

3. ถ้านิสิตต้องการเปรียบเทียบสีของรงควัตถุแต่ละชนิดที่แยกได้ในสภาวะปกติ สภาวะกรด-เบส นิสิตจะออกแบบการทดลองอย่างไร

### กำหนดให้

ตาราง แสดงสีของรงควัตถุแต่ละชนิดที่สามารถพบได้ในใบผักคะน้าและข้อมูลการแยกบนกระดาษโครมาโทกราฟี

สีของรงควัตถุที่แยกได้	ระยะทางในการเคลื่อนที่ (ซม.)		ชนิดของรงควัตถุที่แยกได้
	ภูมิภาคเคลื่อนที่	รงควัตถุเคลื่อนที่	
สีเหลืองเข้ม	12	10.5	Carotene
สีเขียวเข้ม	12	5.2	Chlorophyll a
สีเขียวแกมเหลือง	12	4.7	Chlorophyll b
สีเหลืองอ่อน	12	8.7	Xanthophyll

4. จากข้อมูลในตารางให้หาคำนวณค่า  $R_f$  ของรงควัตถุแต่ละชนิดและเรียงลำดับความมีขั้วของรงควัตถุที่แยกได้จากมากไปน้อยตามลำดับ

5. จากตารางในข้อ 4 ให้หาคำนวณผลการทดลองที่ได้

## การทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ

6. การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ ตัวแปรต้นและตัวแปรตามคืออะไร

7. การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบางในมิติที่ 1 และ 2 ตัวแปรต้นชนิดใดที่เปลี่ยนไป

8. การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ มีลำดับขั้นตอนการทดลองอย่างไรบ้าง

### กำหนดให้

ตาราง แสดงระยะทางการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐานและภูมิภาคเคลื่อนที่ และค่า  $R_f$  จากการแยกด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง

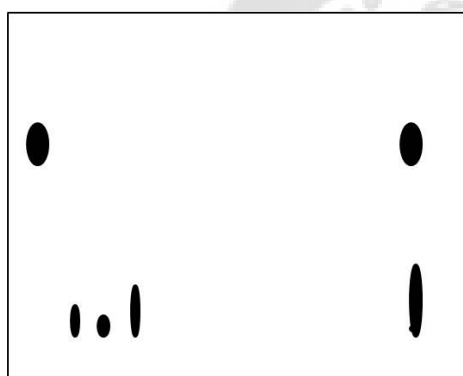
ชนิดของสารละลาย	ระยะทางที่สารเคลื่อนที่ (ซม.)	$R_f$
ภูมิภาคเคลื่อนที่	5.5	1.00
กรดเบนโซอิก	0.9	0.16
กรดซาลิไซลิก	0.5	0.09
เบนโซฟีโนน	5.2	0.95
กรดพาราไฮดรอกซีเบนโซอิก	3.2	0.58

\*ภูมิภาคคงที่คือ ซิลิกาเจล

\*ภูมิภาคเคลื่อนที่คือ คลอโรฟอร์มกับอะซิโตน (อัตราส่วน 9 : 1 โดยปริมาตร)

9. จากตาราง ถ้าต้องการให้กรดเบนโซอิกเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น นิสิตจะมีวิธีการทดลองอย่างไร

10. จากรูป การแยกสารตัวอย่างด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบางในมิติที่ 1 สามารถสรุปผลการทดลองได้อย่างไร



Std. A B C D

สารตัวอย่าง

การทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม

กำหนดให้

ตาราง แสดงเวลาและระยะทางที่สารละลายปองไซ 4 อาร์ เคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 50 โวลต์

สารตัวอย่าง	เวลา (นาที)	ระยะทางที่สารเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้า (ซม.)
สารละลายปองไซ 4 อาร์	5	3.0
	10	4.6
	15	6.9



11. จากข้อมูลในตารางให้หีสิตระบุน่าอะไรคือตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุม

12. ถ้าต้องการทราบว่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามีผลต่อระยะทางในการเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าหรือไม่ ต้องควบคุมตัวแปรใดในการทดลอง

13. การแยกสารผสมด้วยเทคนิคแคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิสในการทดลองนี้มีขั้นตอนอย่างไร



### กำหนดให้

ตาราง แสดงเวลาและระยะทางที่สาร A (ประจุ -1) และสาร B (ประจุ -3 และมีขนาดเล็กกว่าสาร A) เคลื่อนที่เข้าหาขั้วแอโนดที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 50 โวลต์

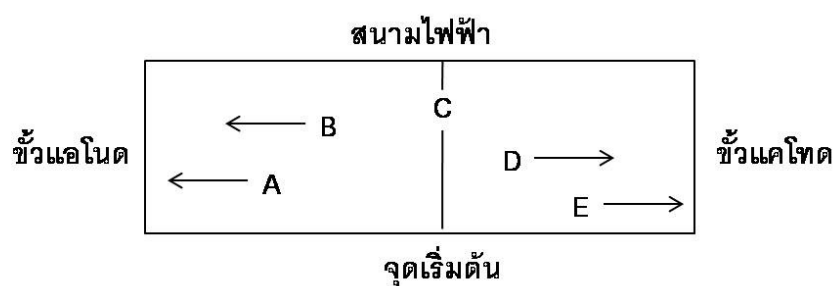
สารตัวอย่าง	เวลา (นาที)	ระยะทางที่สารเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแอโนด (ซม.)
สาร A	5	2.5
	10	4.3
	15	5.2

สาร B	5	3.3
	10	5.6
	15	7.9

14. จากตารางนิติตสามารถสรุปและอภิปรายผลการทดลองได้อย่างไร

จากรูปที่กำหนดให้จงตอบคำถามในข้อ 15

ในการแยกสารผสม 5 ชนิดที่มีขนาดเท่ากัน แต่มีประจุต่างกันดังนี้  $-1$ ,  $-2$ ,  $0$ ,  $+1$  และ  $+3$  โดยใช้เทคนิคแคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส ได้ผลการทดลองดังแสดง



15. จากรูปให้นิติตอภิปรายผลการทดลองว่าเพราะเหตุใดสาร E จึงเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าได้เร็วกว่าสาร D

**แบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อการทดลองที่ 1**  
**การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ**

1. เพศ  ชาย  หญิง

2. อายุ.....ปี

3. ระดับชั้นการศึกษา.....สาขาวิชา.....กลุ่มผู้เรียน.....

**คำชี้แจง :**

โปรดอ่านข้อความต่อไปนี้แล้วทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับระดับความพึงพอใจที่มีต่อการทดลองที่ 1 การแยกรงควัตถุในใบผักคะน้าด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษ โดยระดับความพึงพอใจ 5 = มากที่สุด, 4 = มาก, 3 = ปานกลาง, 2 = น้อย, 1 = น้อยที่สุด

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
1. นิสิตคิดว่าวัตถุประสงค์ในการทดลองสามารถลงมือปฏิบัติได้จริงมากน้อยเพียงใด					
2. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้มีเนื้อหาที่สัมพันธ์กับทฤษฎีที่ได้เรียนมาก่อนหน้านี้ในระดับใด					
3. นิสิตคิดว่าการจัดลำดับหลักการมีความต่อเนื่องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด					
4. นิสิตคิดว่าเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้มีความเหมาะสมกับการทดลองอยู่ในระดับใด					
5. นิสิตคิดว่าวิธีการทดลองมีลำดับขั้นตอนที่เข้าใจง่ายมากน้อยเพียงใด					
6. นิสิตคิดว่าวิธีการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับปริญญาตรีมากน้อยเพียงใด					
7. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้มีระยะเวลาในการทดลองที่เหมาะสมอยู่ในระดับใด					

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
8. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ทำให้นิสิตเข้าใจในหลักการแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษอยู่ในระดับใด					
9. การทดลองนี้ทำให้นิสิตรู้สึกกระตือรือร้นในการเรียนรู้มากน้อยเพียงใด					
10. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ได้ส่งเสริมให้นิสิตทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มมากน้อยเพียงใด					
11. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ได้ส่งเสริมให้นิสิตได้ลงมือศึกษา ค้นคว้า และทดลองด้วยตนเองอยู่ในระดับใด					
12. นิสิตคิดว่าได้รับประโยชน์จากการปฏิบัติการทดลองนี้มากน้อยเพียงใด					
13. จากการทดลองทำให้นิสิตเห็นความสำคัญของเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อกระดาษมากน้อยเพียงใด					
14. นิสิตรู้สึกประทับใจที่ได้ทำการทดลองแยกรงควัตถุจากใบผักคะน้าด้วยตนเองอยู่ในระดับใด					
15. การทดลองนี้ทำให้นิสิตรู้สึกชอบการปฏิบัติการทดลองมากน้อยเพียงใด					

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ .....

.....

.....

.....

.....

**แบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อการทดลองที่ 2**  
**การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ**

1. เพศ  ชาย  หญิง

2. อายุ.....ปี

3. ระดับชั้นการศึกษา.....สาขาวิชา.....กลุ่มผู้เรียน.....

**คำชี้แจง :**

โปรดอ่านข้อความต่อไปนี้แล้วทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับระดับความพึงพอใจที่มีต่อการทดลองที่ 2 การแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ โดยระดับความพึงพอใจ 5 = มากที่สุด, 4 = มาก, 3 = ปานกลาง, 2 = น้อย, 1 = น้อยที่สุด

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
1. นิสิตคิดว่าวัตถุประสงค์ในการทดลองสามารถลงมือปฏิบัติได้จริงมากน้อยเพียงใด					
2. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้มีเนื้อหาที่สัมพันธ์กับทฤษฎีที่ได้เรียนมาก่อนหน้านี้ในระดับใด					
3. นิสิตคิดว่าการจัดลำดับหลักการมีความต่อเนื่องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด					
4. นิสิตคิดว่าเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้มีความเหมาะสมกับการทดลองอยู่ในระดับใด					
5. นิสิตคิดว่าวิธีการทดลองมีลำดับขั้นตอนที่เข้าใจง่ายมากน้อยเพียงใด					
6. นิสิตคิดว่าวิธีการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับปริญญาตรีมากน้อยเพียงใด					
7. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้มีระยะเวลาในการทดลองที่เหมาะสมอยู่ในระดับใด					

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
8. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ทำให้นิสิตเข้าใจในหลักการแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ อยู่ในระดับใด					
9. การทดลองนี้ทำให้นิสิตรู้สึกกระตือรือร้นในการเรียนรู้มากน้อยเพียงใด					
10. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ได้ส่งเสริมให้นิสิตทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มมากน้อยเพียงใด					
11. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ได้ส่งเสริมให้นิสิตได้ลงมือศึกษา ค้นคว้า และทดลองด้วยตนเองอยู่ในระดับใด					
12. นิสิตคิดว่าได้รับประโยชน์จากการปฏิบัติการทดลองนี้มากน้อยเพียงใด					
13. จากการทดลองทำให้นิสิตเห็นความสำคัญของเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ มากน้อยเพียงใด					
14. นิสิตรู้สึกประทับใจที่ได้ทำการแยกวัตถุกันเสียด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง 2 มิติ ด้วยตนเองอยู่ในระดับใด					
15. การทดลองนี้ทำให้นิสิตรู้สึกชอบการปฏิบัติการทดลองมากน้อยเพียงใด					

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ .....

.....

.....

.....

.....

**แบบสอบถามวัดความพึงพอใจต่อการทดลองที่ 3**  
**การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โทรโพริซิซขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม**

1. เพศ  ชาย  หญิง

2. อายุ.....ปี

3. ระดับชั้นการศึกษา.....สาขาวิชา.....กลุ่มผู้เรียน.....

**คำชี้แจง :**

โปรดอ่านข้อความต่อไปนี้แล้วทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับระดับความพึงพอใจที่มีต่อการทดลองที่ 3 การสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กสำหรับการแยกสารผสม โดยระดับความพึงพอใจ 5 = มากที่สุด, 4 = มาก, 3 = ปานกลาง, 2 = น้อย, 1 = น้อยที่สุด

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
1. นิสิตคิดว่าวัตถุประสงค์ในการทดลองสามารถลงมือปฏิบัติได้จริงมากน้อยเพียงใด					
2. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้มีเนื้อหาที่สัมพันธ์กับทฤษฎีที่ได้เรียนมาก่อนหน้านี้ในระดับใด					
3. นิสิตคิดว่าการจัดลำดับหลักการมีความต่อเนื่องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด					
4. นิสิตคิดว่าเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองนี้มีความเหมาะสมกับการทดลองอยู่ในระดับใด					
5. นิสิตคิดว่าวิธีการทดลองมีลำดับขั้นตอนที่เข้าใจง่ายมากน้อยเพียงใด					
6. นิสิตคิดว่าวิธีการทดลองมีความเหมาะสมกับระดับปริญญาตรีมากน้อยเพียงใด					
7. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้มีระยะเวลาในการทดลองที่เหมาะสมอยู่ในระดับใด					

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ				
	5	4	3	2	1
8. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ทำให้นิสิตเข้าใจในหลักการแยกสารด้วยเทคนิคแคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิสอยู่ในระดับใด					
9. การทดลองนี้ทำให้นิสิตรู้สึกกระตือรือร้นในการเรียนรู้มากน้อยเพียงใด					
10. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ได้ส่งเสริมให้นิสิตทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มมากน้อยเพียงใด					
11. นิสิตคิดว่าการทดลองนี้ได้ส่งเสริมให้นิสิตได้ลงมือศึกษา ค้นคว้า และทดลองด้วยตนเองอยู่ในระดับใด					
12. นิสิตคิดว่าได้รับประโยชน์จากการปฏิบัติการทดลองนี้มากน้อยเพียงใด					
13. จากการทดลองทำให้นิสิตเห็นความสำคัญของเทคนิคแคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิสมากน้อยเพียงใด					
14. นิสิตรู้สึกประทับใจที่ได้ทำการแยกสารด้วยเทคนิคแคปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิสด้วยตนเองอยู่ในระดับใด					
15. การทดลองนี้ทำให้นิสิตรู้สึกชอบการปฏิบัติการทดลองมากน้อยเพียงใด					

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ .....

.....

.....

.....

.....





ประวัติย่อผู้วิจัย

## ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ - ชื่อสกุล	นางสาวยศวี ลีติวร
วันเดือนปีเกิด	29 มิถุนายน พ.ศ. 2531
สถานที่เกิด	อำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	181/11 หมู่ 3 ตำบลเสม็ด อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี 20000
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2549	มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนพนัสพิทยาคาร จังหวัดชลบุรี
พ.ศ. 2553	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จังหวัดกรุงเทพมหานคร
พ.ศ. 2557	การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จังหวัดกรุงเทพมหานคร