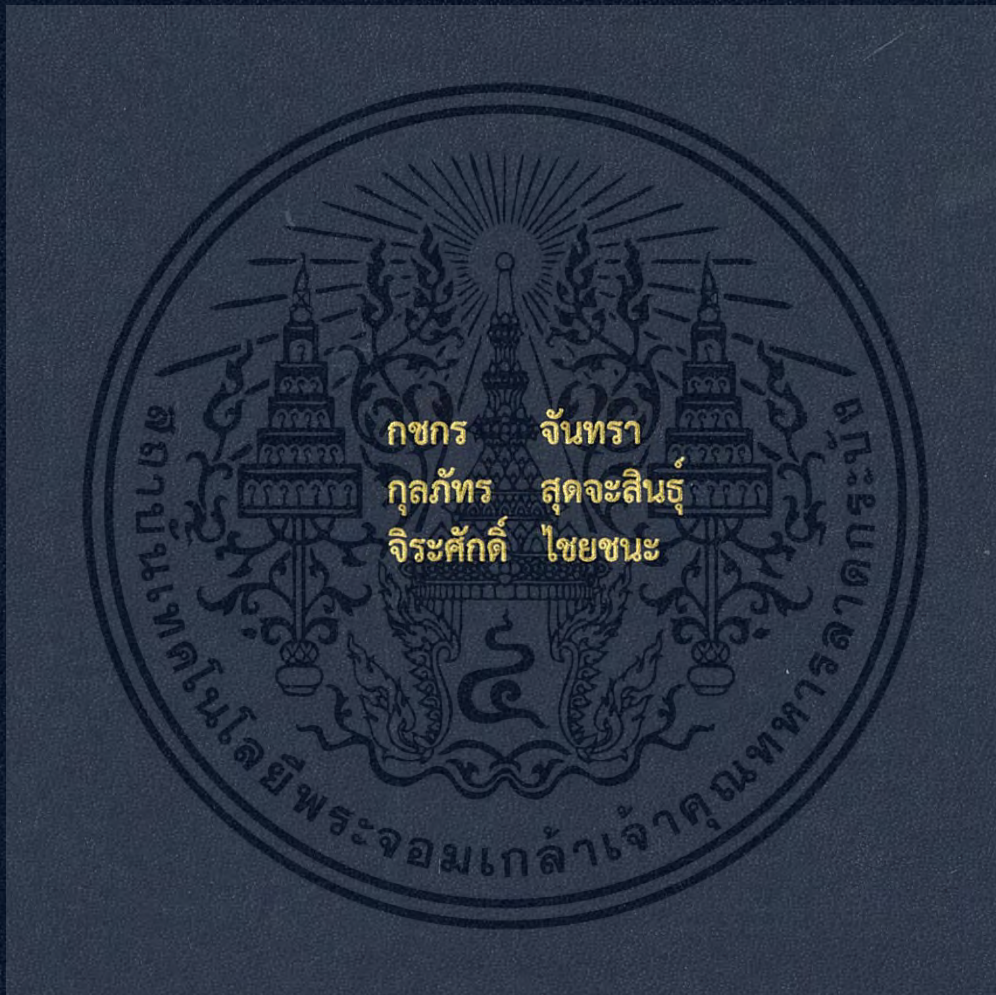


การพัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษสำหรับวิเคราะห์ฟอสเฟต

DEVELOPMENT OF PAPER-TEST KIT FOR
DETERMINATION OF PHOSPHATE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การพัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษสำหรับวิเคราะห์ฟอสเฟต

DEVELOPMENT OF PAPER-TEST KIT FOR
DETERMINATION OF PHOSPHATE



T149182



2058
ก/ช/อ/ว

เลขหมู่..... 2058
เลขทะเบียน..... 149182
วันเดือนปี..... 29 ส.ค. 2561

b. 44880551
l.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF PAPER-TEST KIT FOR
DETERMINATION OF PHOSPHATE



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRY CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษสำหรับวิเคราะห์ฟอสเฟต		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกชกร	จันทรา	รหัสนักศึกษา 55050552
	นางสาวกุลภัทร	สุดจะสินธุ์	รหัสนักศึกษา 55050580
	นายจิระศักดิ์	ไชยชนะ	รหัสนักศึกษา 55050602
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2558		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดโดยใช้โซล-เจลเจือด้วยน้ำยาเคมีผสมสำหรับการตรวจวัดเชิงปริมาณของฟอสเฟต น้ำยาเคมีผสมประกอบด้วย (3.00 %w/v) สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต 2.00 มิลลิลิตร : (1.0 M) สารละลายกรดซิงค์ 20.00 มิลลิลิตร : (0.148 %w/v) สารละลายโปแทสเซียมแอนติโมนีทาร์เทรต 1.00 มิลลิลิตร หยตสารละลายโซล-เจลเจือด้วยน้ำยาเคมีผสม ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตรลงบนกระดาษกรองอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที หยตกรดแอสคอร์บิก ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตรลงบนจุดทดสอบ อบอุ่นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงหยตสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร รอให้แห้ง เป็นเวลา 60 นาที บันทึกภาพจุดสีด้วยเครื่องสแกน ประมวลผลผลความเข้มแสง ด้วยโปรแกรม Image J™ และคำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสงได้ความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างความเข้มแสงกับความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟตเป็นไปตามสมการเส้นตรงคือ $y = 34.096x + 1.8795$ ($R^2 = 0.946$)

คำสำคัญ: กรดซิงค์ กรดแอสคอร์บิก จุดสี โซล-เจล น้ำยาเคมีผสม ฟอสเฟต

Title	Development of Paper-Test Kit for Determination of Phosphate		
Students	Miss Kochakorn	Chantra	Student ID 55050552
	Miss Kunlapat	Sudjasin	Student ID 55050580
	Mr. Jirasak	Chaichana	Student ID 55050602
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkun's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2015		
Advisor	Asst. Prof. Dr. Wiboon Praditweangkum		

Abstract

Optimization of paper-test kit using sol-gel doped mix reagent for quantitative analysis of phosphate has been developed. The mix reagent contains (3.00 %w/v) ammonium molybdate 2.00 mL : (1.0 M) citric acid 20.00 mL : (0.148 %w/v) potassium antimony tartrate 1.00 mL. Each 10.00 μ L of sol-gel solution doped mix reagent is dropped on a filter paper, baked at a temperature of 80 °c for 30 minutes. Then 10.00 μ L of ascorbic acid is dropped on the reagent spot and baked at a temperature of 80 °c for 10 minutes. A 10.00 μ L of standard phosphate solution is then dropped on and waiting to dry for 60 minutes. The color of tested spot is recorded by a scanner. The intensity of light is evaluated by using the Image J™ program and the euclidean distance can be calculated. The relationship between the euclidean distance and the concentration of phosphate is evaluated as the linear equation $y = 34.096x + 1.8795$ ($R^2 = 0.946$).

Keywords: Citric acid, Ascorbic acid, Spot test, Sol-gel, Mix reagent, Phosphate

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีต้องขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่คอยให้คำปรึกษาดูแลอย่างใกล้ชิดและให้ข้อเสนอแนะ ข้อคิดเห็น ตลอดจนพิจารณาตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของการจัดทำโครงการพิเศษจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เขิงชั้น และ ผศ.ดร.เสาวภาคย์ อีราทรง กรรมการในการสอบโครงการพิเศษ ที่กรุณาตรวจสอบและแก้ไข พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะต่างๆ และข้อคิดเห็นเพื่อให้โครงการพิเศษฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ทุกท่านของภาควิชาเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกเป็นอย่างดี ในการจัดหาอุปกรณ์ สารเคมี และห้องปฏิบัติการในการวิจัย

ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้ได้รับการศึกษา ตลอดจนคอยเลี้ยงดูและอบรมสั่งสอน และเป็นกำลังใจเป็นแรงผลักดันในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงเพื่อนๆ และบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวมา ผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

กชกร จันทรา
กุลภัทร สุดจะสินธุ์
จิระศักดิ์ ไชยชนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของมาวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 กระบวนการเกิดโซล-เจล.....	3
2.1.1 ปฏิกริยาไฮโดรไลซิส.....	5
2.1.2 ปฏิกริยาควบแน่น.....	7
2.2 ฟอสฟอรัส.....	7
2.3 วิธีการตรวจวัดปริมาณฟอสเฟต.....	8
2.3.1 สารเคมีที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์หาฟอสเฟต.....	8
2.4 โปรแกรมอิมเมจเจ.....	12
2.5 ระบบสี.....	12
2.6 ชุดทดสอบภาคสนามอย่างง่าย.....	14
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	16
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์.....	16
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	17
3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง.....	18
3.3.1 ศึกษาลักษณะและรูปร่างชุดทดสอบบนกระดาษ.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.2 ศึกษาระบบโซล-เจลเจือด้วยน้ำยาเคมีผสมบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด.....	19
3.3.3 ศึกษาการรายงานผลค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance RGB).....	20
3.3.4 ศึกษาการหาปริมาณฟอสเฟตด้วยกรดซัลฟิวริกเทียบกับวิธีการหาปริมาณฟอสเฟตโดยการใช้กรดซिटริก.....	20
3.3.5 ศึกษาปริมาณความเข้มข้นกรดซिटริกที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด.....	21
3.3.6 ศึกษาและเปรียบเทียบระหว่างการรอเวลาแอสคอร์บิกแห้งที่อุณหภูมิห้องกับการอบแอสคอร์บิกที่เวลาต่างๆบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด.....	22
3.3.7 ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของกรดซिटริกในน้ำยาเคมีผสมบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด.....	22
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	23
4.1 ศึกษาลักษณะและรูปร่างชุดทดสอบบนกระดาษ.....	23
4.2 ศึกษาระบบโซล-เจลเจือกับน้ำยาเคมีผสมบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด.....	24
4.3 ศึกษาการรายงานผลค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance RGB).....	25
4.4 ศึกษาการหาปริมาณฟอสเฟตด้วยกรดซัลฟิวริกเทียบกับวิธีการหาปริมาณฟอสเฟตโดยการใช้กรดซिटริก.....	26
4.4.1 การหาปริมาณฟอสเฟตด้วยกรดซัลฟิวริก.....	26
4.4.2 การหาปริมาณฟอสเฟตโดยการใช้กรดซिटริก.....	28
4.5 ศึกษาปริมาณความเข้มข้นกรดซिटริกที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด.....	29
4.5.1 ทดสอบกรดซिटริกที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์.....	29
4.5.2 ทดสอบกรดซिटริกที่ความเข้มข้น 2 โมลาร์.....	29
4.5.3 ทดสอบกรดซिटริกที่ความเข้มข้น 3 โมลาร์.....	29
4.6 ศึกษาและเปรียบเทียบระหว่างการรอเวลาแอสคอร์บิกแห้งที่อุณหภูมิห้องกับการอบแอสคอร์บิกที่เวลาต่างๆบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด.....	30
4.6.1 ทดสอบการรอเวลาแอสคอร์บิกแห้งที่อุณหภูมิห้อง.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6.2 ทดสอบการอบแอสคอร์บิกที่เวลาต่างๆ.....	31
4.7 ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของกรดซิตริกในน้ำยาเคมีผสมบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบ จุด.....	32
4.8 ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of detection: LOD) และขีดจำกัดของการวัดเชิง ปริมาณ (Limit of Quantitation: LOQ).....	33
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	34
เอกสารอ้างอิง.....	36
ภาคผนวก.....	37
ภาคผนวก ก.....	38
ภาคผนวก ข.....	40
ภาคผนวก ค.....	41
ภาคผนวก จ.....	43
ภาคผนวก ฉ.....	44
ภาคผนวก ช.....	46
ภาคผนวก ซ.....	48
ภาคผนวก ฌ.....	50
ภาคผนวก ฎ.....	52
ภาคผนวก ฏ.....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ข.1 แสดงค่าความเข้มข้น ค่าความแตกต่างความเข้มข้น และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของระบบโซล-เจลเจือกับน้ำยาเคมีผสม.....	40
ค.1 แสดงค่าความเข้มข้น ค่าความแตกต่างความเข้มข้น และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของกรรายงานผลค่าความแตกต่างความเข้มข้นในเทอมค่าความแตกต่างความเข้มข้น.....	41
ง.1 แสดงค่าความเข้มข้น ค่าความแตกต่างความเข้มข้น และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของการหาปริมาณฟอสเฟตโดยใช้กรดซัลฟิวริกบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด	42
จ.1 แสดงค่าความเข้มข้น ค่าความแตกต่างความเข้มข้น และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของการหาปริมาณฟอสเฟตโดยใช้กรดซิตริก.....	43
ฉ.1 แสดงค่าความเข้มข้น ค่าความแตกต่างความเข้มข้น และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของการทดสอบกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 2.5 โมลาร์ และกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 1, 2, 3 โมลาร์.....	44
ช.1 แสดงค่าความเข้มข้น ค่าความแตกต่างความเข้มข้น และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของการทดสอบเวลาการรอแอสคอร์บิกแห้งที่อุณหภูมิห้องในเวลาต่างๆ คือ 30, 60 และ 90 นาที	46
ช.1 แสดงค่าความเข้มข้น ค่าความแตกต่างความเข้มข้น และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของการทดสอบเวลาการอบแอสคอร์บิกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสในเวลาต่างๆ คือ 5, 10, 15 และ 20 นาที.....	48
ฌ.1 แสดงค่าความเข้มข้น ค่าความแตกต่างความเข้มข้น และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของการทดสอบปริมาณกรดซิตริกในน้ำยาเคมีผสมปริมาตร 5, 10, 15 และ 20 มิลลิลิตร.....	50
ญ.1 แสดงค่าความเข้มข้น ค่าความแตกต่างความเข้มข้น และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดด้วยชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดที่ได้ผลดีที่สุด	52
ฎ.1 ตารางแสดงการคำนวณหาขีดจำกัดของการตรวจพบและขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณของชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดในระบบโซล-เจลเจือด้วยน้ำยาเคมีผสม	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
2.1 แสดงการเปลี่ยนสถานะเกิด sol-gel.....	4
2.2 กระบวนการโซล-เจล.....	4
2.3 การแสดงค่า pH ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสารละลาย.....	5
2.4 ผลของ pH ต่ออัตราการสลายตัวและเวลาการเกิดของเจล.....	7
2.5 โปรแกรมอิมเมจ (ImageJ).....	12
2.6 แสดงแผนภาพสีแบบ RGB.....	13
2.7 แสดงแผนภาพสีแบบ CMYK.....	13
2.8 อุปกรณ์ในการตรวจวัดฟอสเฟต.....	15
4.1 การเปลี่ยนแปลงสีชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด.....	24
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตกับความแตกต่างความเข้มแสง.....	25
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายฟอสเฟตกับความแตกต่างความเข้มแสงของการรายงานค่าความเข้มแสง.....	26
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตกับความแตกต่างความเข้มแสงโดยใช้วิธีมาตรฐาน.....	27
4.5 ผลจากการทิ้งไว้ 1 คืนเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานลงบนแผ่นชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด.....	28
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตกับความแตกต่างความเข้มแสงโดยใช้กรดซิดริก.....	29
4.7 รูปแสดงการเปรียบเทียบสีและลักษณะจุดบนชุดทดสอบบนกระดาษระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีที่ใช้กรดซิดริก.....	29
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกับค่าความแตกต่างความเข้มแสงที่ใช้กรดซิดริกที่จำนวน 1,2 และ 3 โมลาร์ เทียบกับวิธีมาตรฐานที่ใช้กรดซัลฟิวริก 2.5 โมลาร์.....	30
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตกับความแตกต่างความเข้มแสงโดยใช้กรดซิดริกในสภาวะกรดแอสคอบิกแห้งที่อุณหภูมิห้องในเวลา 30, 60 และ 90 นาที.....	31
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตกับความแตกต่างความเข้มแสงในสภาวะอบกรดแอสคอบิกที่เวลาต่างๆ.....	32
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตกับความแตกต่างความเข้มแสงโดยใช้กรดซิดริกในปริมาณต่างๆ.....	33
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตกับความแตกต่างความเข้มแสง ที่มีสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดด้วยชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดที่ได้ผลดีที่สุด.....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
ก.1 หน้าต่างโปรแกรม Image J™ และการเรียกวัดหน้าต่างความเข้มแสง.....	39
ก.2 หน้าต่างโปรแกรม Image J™ และการวัด Red Green และ Blue.....	40
ก.3 หน้าต่างโปรแกรม Image J™ และแสดงค่า Red Green และ Blue.....	40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของมาวิจัย

น้ำจัดเป็นองค์ประกอบหลักของร่างกายมนุษย์ เป็นสิ่งที่ทำให้ร่างกายสดชื่นและระบบหล่อเลี้ยงต่างๆ ทำให้ร่างกายทำงานได้อย่างปกติ น้ำส่วนใหญ่ที่ร่างกายได้รับเกิดจากการดื่มเข้าไป จากพฤติกรรมการดื่มน้ำในปัจจุบันจะพบความแตกต่างกันของคนในชุมชนเมืองและชนบท โดยในชนบทอาจมีการบริโภคน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติหรือการร่อนน้ำฝนไว้ดื่ม แตกต่างจากการดื่มน้ำของคนชุมชนเมืองที่อาศัยการดื่มน้ำโดยเพิ่มความสะอาดให้กับน้ำโดยการกรอง หรือการใช้สารเคมีเข้าไปเติมเพื่อเพิ่มความสะอาดให้กับน้ำ ทำให้ธุรกิจเกี่ยวกับน้ำบรรจุขวดเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว คุณภาพของน้ำที่ได้จากแหล่งต่างๆ จะมีการทดสอบและปรับปรุงคุณภาพที่แตกต่างกันออกไป เช่น ชุดทดสอบสารละลาย ชุดทดสอบซัลเฟตชนิดต่างๆ เป็นต้น ซึ่งชุดทดสอบแต่ละแบบมีความสามารถในการตรวจวัดตัวอย่างที่หลากหลายและแตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ของผู้พัฒนา เช่น การวัดค่าออกซิเจนของน้ำ การหาค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือตรวจหาโลหะที่อยู่ในน้ำ การใช้ชุดทดสอบบางครั้งสามารถวัดได้โดยตรงหรือต้องอาจต้องเตรียมตัวอย่างซึ่งอาจเกิดความยุ่งยากหรือซับซ้อนเกิดขึ้น ดังนั้น หากนำชุดทดสอบที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมาใช้ในภาคสนามจึงเป็นเรื่องที่ลำบาก ชุดทดสอบที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไปที่ผลิตขึ้นจากผู้ผลิตโดยตรง เป็นชุดทดสอบที่ออกแบบมาเพื่อตรวจวัดสารในเชิงคุณภาพวิเคราะห์ โดยบอกได้เพียงว่าสารตัวอย่างเป็นสารประเภทใดหรือเป็นสารอันตรายหรือไม่ หรือมีปริมาณเท่าใด แต่บอกได้เพียงความเข้มข้นหรือปริมาณกว้างๆ เท่านั้น โดยรายงานออกมาในรูปของแถบสี ซึ่งไม่สามารถที่จะระบุเจาะจงไปได้ว่าสารที่เราตรวจสอบมีปริมาณหรือความเข้มข้นอยู่เท่าใด

จากที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้เห็นช่องว่างของชุดทดสอบโดยสามารถเติมเต็มช่องว่างนั้นและสามารถนำมาพัฒนาได้ เนื่องจากไม่มีชุดทดสอบที่ระบุความเข้มข้นของสารตัวอย่างได้อย่างแม่นยำสำหรับงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาชุดทดสอบภาคสนามที่ใช้ซัลเฟตที่ไม่ซับซ้อนคือกระดาษกรองสำหรับการตรวจวัดในเชิงปริมาณวิเคราะห์และสามารถวิเคราะห์สารในปริมาณต่ำๆ ได้ โดยใช้ตัวรีเอเจนต์กรดแอสคอบิกในการตรวจวัดหาปริมาณฟอสเฟตจะเกิดเป็นสารประกอบสีฟ้าขึ้นซึ่งเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากตัวรีเอเจนต์กรดแอสคอบิกมีความจำเพาะต่อการตรวจหาปริมาณฟอสเฟตและมีตัวรบกวนในปฏิกิริยาน้อย นอกจากนี้ยังมีการใช้กรดซิตริกแทนกรดซัลฟิวริกในการเตรียมสารเคมีผสมซึ่งเป็นกรดที่นิยมใช้ การเลือกใช้กรดซิตริกเป็นกรดที่หาได้ในท้องตลาดทั่วไป อยู่ในรูปของแข็งซึ่งอาจนำไปพัฒนาเป็นชุดทดสอบที่อยู่ในรูปของของแข็งได้ในอนาคต นอกจากนี้การใช้กรดซิตริกเพื่อเปรียบเทียบความเสถียรระหว่างกรดซิตริกและกรดซัลฟิวริก อีกทั้งยังศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้กรดซิตริกแทนกรดซัลฟิวริกอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษสำหรับวิเคราะห์เชิงปริมาณของฟอสเฟต โดยใช้กรดซिटริกแทนกรดซัลฟิวริก

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาหลักการและระบบที่เหมาะสมสำหรับชุดทดสอบบนกระดาษ โดยศึกษาการใช้กรดทดแทนกันได้ในระหว่างกรดซัลฟิวริกที่เป็นที่นิยมกับกรดซिटริก ศึกษาระยะเวลาที่ทำให้โซลเจลแห้งโดยการอบที่เวลาต่างๆ เพื่อหาเวลาที่เหมาะสม รวมทั้งการเอาโซล-เจลไปหยดด้วยสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเพื่อดูแนวโน้มกราฟความเข้มข้นที่ปรากฏบนกระดาษ แล้วหาค่าความเป็นไปได้ในการนำไปพัฒนาสำหรับใช้เป็นชุดทดสอบบนกระดาษที่สะดวกต่อไป

ขั้นตอนการดำเนินงานมีดังนี้

- 1.3.1 สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- 1.3.2 ศึกษาหลักการความเป็นไปได้และระบบที่ใช้ชุดทดสอบบนกระดาษ
- 1.3.3 ออกแบบชุดทดสอบบนกระดาษสำหรับตรวจหาปริมาณฟอสเฟต
- 1.3.4 ศึกษาการใช้กรดซिटริกแทนกรดซัลฟิวริกในการเตรียมโซลเจลสำหรับชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด สำหรับวิเคราะห์เชิงปริมาณของฟอสเฟต
- 1.3.5 ตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบหาปริมาณฟอสเฟตบนกระดาษที่นิยมใช้กัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟตโดยใช้กรดซिटริกแทนกรดซัลฟิวริกได้

1.5 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ช่วงเวลา									
	พ.ศ.2558					พ.ศ.2559				
	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	
1.ศึกษาข้อมูล ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง										
2.ออกแบบวิธีการทดลอง										
3.ดำเนินการทดลอง										
4.วิเคราะห์ตัวอย่าง										
5.สรุปและรายงานผล										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการเกิดโซล-เจล (Sol-gel process) [1]

กระบวนการผลิตโดยวิธีโซล-เจล เป็นกระบวนการผลิตที่มีประโยชน์หลายอย่างในการผลิตเซรามิกและแก้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุที่ต้องการความบริสุทธิ์สูง โดยทั่วไปกระบวนการโซล-เจลเป็นกระบวนการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวที่เรียกว่า “โซล (Sol)” ซึ่งส่วนมากอยู่ในรูปของสารแขวนลอยที่มีขนาดอนุภาคประมาณ 0.1-1 ไมครอน เชื่อมโยงกันเป็นของแข็งที่เรียกว่า “เจล (Gel)” โดยปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาการเกิดโซล-เจล คือ ค่าความเป็นกรด-เบสของตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลของน้ำและสารตั้งต้น อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา เป็นต้น

ขั้นตอนแรกของการทำโซล-เจล คือ สารตั้งต้น (Precursor) สารที่นิยมใช้ในกระบวนการโซล-เจล เป็นสารประกอบโลหะและกึ่งโลหะที่ล้อมรอบด้วยลิแกนด์ที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา เช่น Metal Alkoxide เป็นสารตั้งต้นที่มีความนิยมสูง เนื่องจากทำปฏิกิริยากับน้ำได้ดี เช่น เตตระเอทิลออร์โทซิลิเกต (Tetraethyl orthosilicate ; TEOS) และ เตตระเมทิลออร์โทซิลิเกต (Tetramethyl orthosilicate ; TMOS) ส่วน อัลคอกไซด์ชนิดอื่น เช่น Aluminate, Titanate และ Borate มีใช้กันแพร่หลายโดยมักจะใช้ร่วมกับ TEOS เช่น $\text{Si}(\text{OR})_4$ ซึ่ง R คือ C_2H_5 (TEOS), CH_3 (TMOS) หรือ C_3H_7 จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ดังสมการ (1)

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis)



เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส จะเกิดอนุภาคคอลลอยด์ขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ในสารละลาย และสามารถเกิดการเชื่อมโยงของโมเลกุล จึงเรียกปฏิกิริยาดังกล่าวว่า ปฏิกิริยาควบแน่น (Condensation) ดังสมการ (2) หรือ (3)

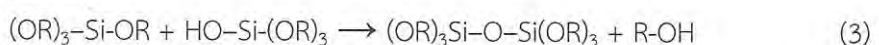
ปฏิกิริยาควบแน่น (Condensation)

Water condensation



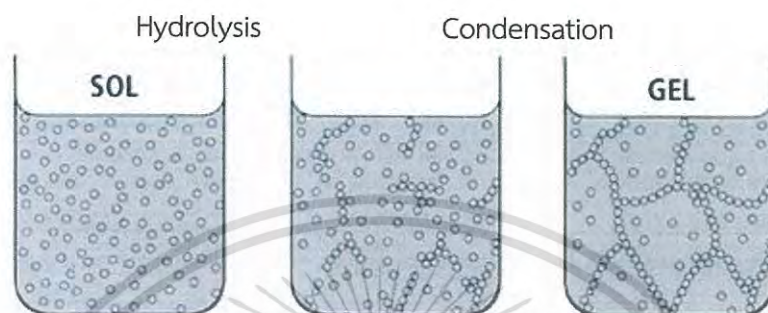
หรือ

Alcohol condensation



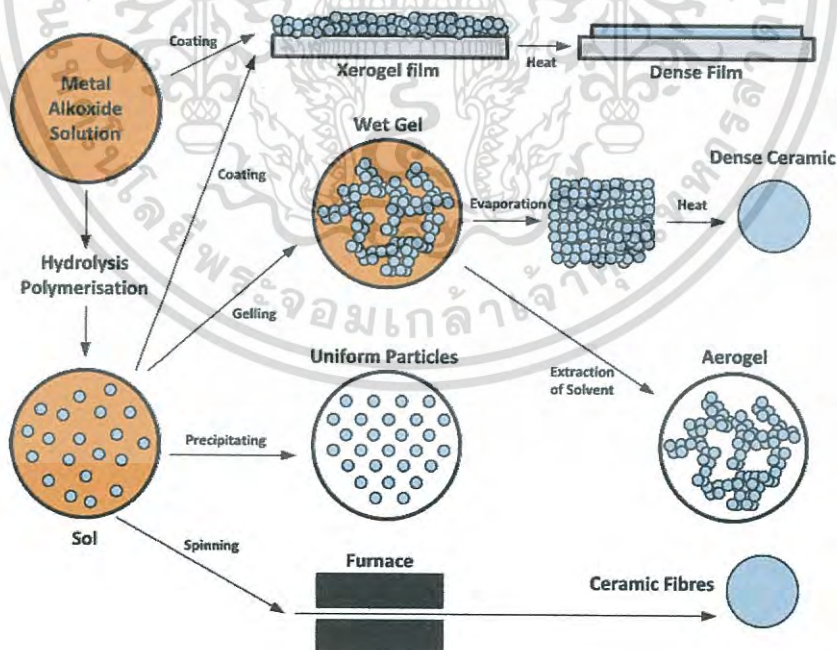
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากปฏิกิริยาควบแน่นจะได้ผลผลิตออกมาคือ น้ำ และ แอลกอฮอล์ เกิดจากกระบวนการเกิดสร้างสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ จากสารที่มีโมเลกุลเล็ก สารประกอบที่เกิดขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาควบแน่นต่อไปจนกลายเป็น Silica Network อยู่ในสภาวะที่เรียกว่า “เจล (Gel)” จะเกิดภายใต้สภาวะต่างๆ เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ ความดัน เป็นต้น จึงเรียกปฏิกิริยาดังกล่าวว่า ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization)



รูปที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนสถานะเกิด sol-gel [3]

ในกระบวนการผลิตทั้งจากภาวะที่เป็น โซล หรือ เจล เมื่อเข้าสู่ภาวะทำให้แห้งจะได้ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ เช่น เส้นใย (Fiber) แอโรเจล (Aerogel) ซีโรเจล (Xerogel) เม็ดผง (Powder) และ ฟิล์มเคลือบ (Coating film) เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมอื่นๆต่อไป

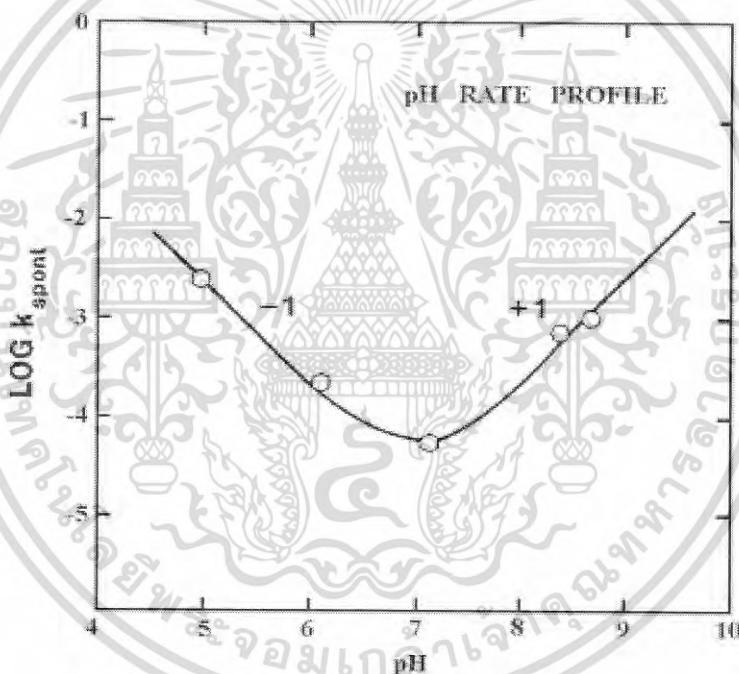


รูปที่ 2.2 กระบวนการโซล-เจล [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) [2]

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) จะแบ่งช่วงการเกิดปฏิกิริยาเป็น 3 ช่วง pH คือ pH น้อยกว่า 2, pH ช่วงระหว่าง 2-7 และ pH มากกว่า 7 อย่างไรก็ตามแม้จะใช้ค่า pH ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะเกิดขึ้นโดยการถูกนิวคลีโอไฟล์ (Nucleophilic) ของออกซิเจนที่มีอยู่ในน้ำในอะตอมซิลิกอนแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นของน้ำกับซิลิกอนมีความสมบูรณ์ต่อปฏิกิริยา และแอลกอฮอล์จะเป็นตัวช่วยให้เกิดการรวมตัวได้ดีขึ้น ซึ่งเกิดจากผลพลอยได้ (by-product) ทั้งในระบบตัวเร่งปฏิกิริยากรดและเบส แสดงได้ดังสมการที่ (4)

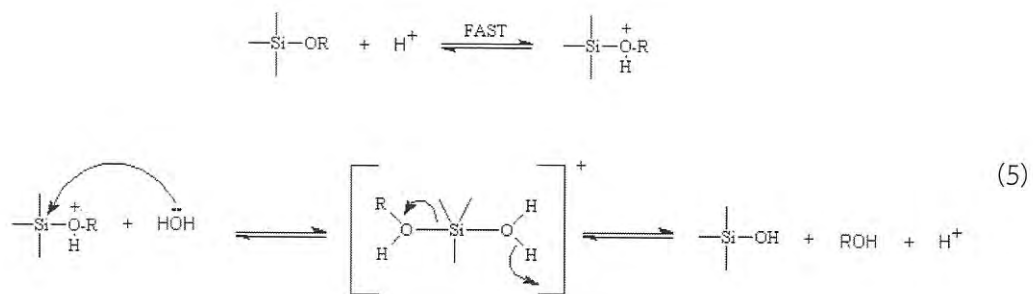


รูปที่ 2.3 การแสดงค่า pH ต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสารละลาย [2]

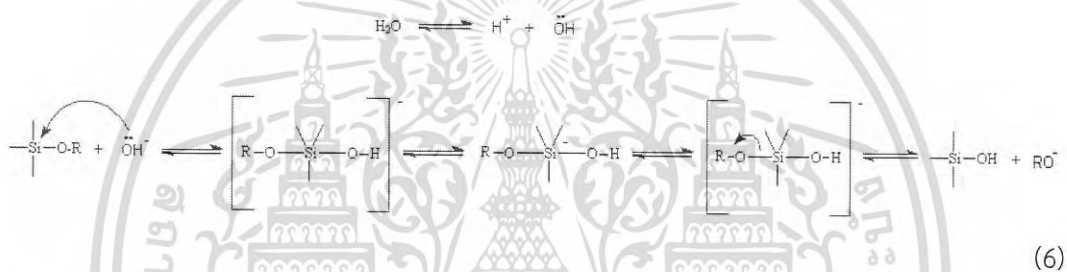
ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) สามารถเกิดเองได้โดยปราศจากตัวเร่งปฏิกิริยา แต่สามารถเกิดได้เร็วและสมบูรณ์ได้ เมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ในกระบวนการโซล-เจล ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid; HCl) และ แอมโมเนียม (Ammonium; NH_4^+) และยังมีตัวเร่งชนิดอื่น เช่น กรดอะซิติก (Acetic acid; CH_3COOH) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide; KOH), เอมีน (Amines) หรือ โพแทสเซียมฟลูออไรด์ (Potassium fluoride; KF) นอกจากนี้อัตราการเกิดและขอบเขตของการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) โดยจะขึ้นอยู่กับความแรงและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยากรดหรือเบส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลไกการเกิดปฏิกิริยาของตัวเร่งกรด S_N2 -type



กลไกการเกิดปฏิกิริยาของตัวเร่งเบส S_N2 -type

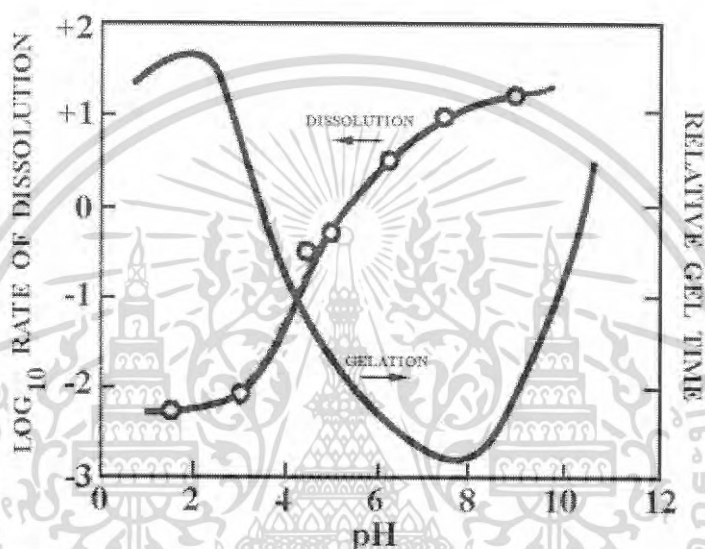


พบว่ากรดแก่ทุกลักษณะการทำงานคล้ายในขณะที่กรดอ่อนแอกำเป็นต้องมีปฏิกิริยาครั้งอีกต่อไปเพื่อให้บรรลุในระดับเดียวของการเกิดปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ปฏิกิริยาควบแน่น (Condensation) [2]

ปฏิกิริยาการควบแน่นเป็นการเชื่อมโยงโมเลกุลขนาดเล็กเข้าด้วยกันโดยอาศัยพันธะซิลอกเซน (Siloxane bond) โดยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นกับช่วง pH ที่แตกต่างกัน โดยการสลายตัว (Dissolution) จะเกิดในช่วง pH ต่ำ ระหว่างค่า pH 2-8 ถ้า pH มากกว่า 7 การละลายจะลดลง การเกิดเจล (Gelation) ในสภาวะเบส หรือ pH มากกว่า 7 จะเกิดการรวมตัวกันของอนุภาคเกิดเป็นเจลได้มากขึ้น และจะเกิดเช่นเดียวกับช่วง pH 2-6 ผลของค่า pH ที่มีผลต่ออัตราการละลายและเวลาในการเกิดเจลแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ผลของ pH ต่ออัตราการสลายตัวและเวลาการเกิดของเจล [2]

2.2 ฟอสฟอรัส (Phosphorus) [5]

ฟอสเฟตเป็นธาตุที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์ เช่นเดียวกับไนโตรเจน ถ้ามีปริมาณมากจะส่งผลต่อระบบสิ่งแวดล้อม ทำให้พืชพืชน้ำเติบโตเร็ว และช่วยในการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินซึ่งหากบริเวณน้ำที่มีสาหร่ายเหล่านี้จะมีผลเสียต่อ สุขภาพ ส่วนมากจะมาจากการปล่อยน้ำเสีย น้ำซักล้างลงแหล่งน้ำในแม่น้ำโดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.01-0.1 พีพีเอ็ม ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร) [4]

ฟอสฟอรัสในรูปของแข็งมักจะอยู่ในรูปของหินและตะกอน แต่ในกรณีที่ละลายอยู่ในน้ำมักจะจับตัวอยู่ในรูปของ ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และไฮโดรเจนฟอสเฟต (HPO_4^{2-}) ฟอสฟอรัสที่พบในแหล่งน้ำมีอยู่หลายรูปด้วยกัน รูปของฟอสฟอรัสที่พบมาก และเกี่ยวข้องกับระบบนิเวศของแหล่งน้ำได้แก่ phosphate (PO_4^{3-}) soluble organic phosphorus และ particulate organic phosphorus

ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำธรรมชาติ และแหล่งน้ำเสีย สามารถพบได้ในรูปของแข็งหรือสารแขวนลอย และสารละลาย แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Inorganic

1.1 ออโรฟอสเฟต (Orthophosphate) หรือ ฟอสฟอรัสละลายน้ำ (Soluble Reactive Phosphorus) เป็นสารประกอบฟอสฟอรัสที่ละลายได้ดีในน้ำ จัดเป็นแหล่งฟอสฟอรัสที่มีความสำคัญต่อแปลงกักตุนพืชสำหรับนำไปใช้เพื่อการเจริญเติบโต ได้แก่

- Trisodium Phosphate (Na_3PO_4)
- Disodium Phosphate (Na_2HPO_4)
- Monosodium Phosphate (NaH_2PO_4)
- Diammonium Phosphate ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$)

1.2 โพลีฟอสเฟต (Polyphosphate) เป็นสารประกอบฟอสฟอรัสที่พบมากในแหล่งน้ำเสียที่มาจากส่วนผสมของสารซักล้าง และทำความสะอาดต่างๆ ทั้งจากครัวเรือน และโรงงานอุตสาหกรรม เมื่อแตกตัวจะได้สารออโรฟอสเฟตออก ได้แก่

- Sodium Hexametaphosphate ($\text{Na}_3(\text{PO}_4)_6$)
- Sodium Triphosphate ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$)
- Tetrasodium Pyrophosphate ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$)

สารออโรฟอสเฟต เมื่อถูกไฮโดรไลซิสในน้ำจะได้สารกลับไปเป็นออโรฟอสเฟต (Orthophosphate)

2. Organic bound phosphate

2.1 อินทรีย์ฟอสเฟต (Organic Phosphate) เป็นสารประกอบชีวภาพที่ได้จากการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุทั้งในพืช และในสัตว์ ได้แก่

- Nucleic Acid
- Phospholipids
- Sugar Phosphate

2.3 วิธีการตรวจวัดปริมาณฟอสเฟต [7]

การวิเคราะห์ด้วยการเปรียบเทียบความเข้มของสี (Colorimetric method) [6]

การวิเคราะห์ด้วยการเปรียบเทียบความเข้มของสี วิธีนี้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการ การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะต้องทำให้เกิดสีในตัวอย่างน้ำด้วยการเติมสารเคมีที่จำเพาะลงไปตามวิธีการ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะทำให้สารประกอบที่เป็นตัวแปรคุณภาพน้ำเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีเกิดขึ้น ซึ่งความเข้มของสีจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณสารที่มีในตัวอย่างแล้วนำไปวัดกับเครื่องดูดกลืนแสง เปรียบเทียบกับค่าการดูดกลืนของสารละลายมาตรฐานที่รู้ความเข้มข้นที่แน่นอน โดยการตรวจวัดหาปริมาณฟอสเฟตต้องอาศัยการเกิดสีของสารประกอบเชิงซ้อน และขั้นตอนการวัดปริมาณฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำ (Orthophosphate) โดยวิธี colorimetric method ซึ่งมี 3 วิธีคือ

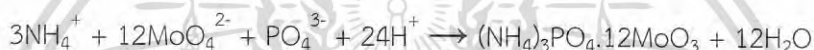
- 1) Vanadomolyb - do phosphate acid method
- 2) Stannous Chloride method
- 3) Ascobic acid method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้ง 3 วิธีนี้มีหลักการในการวิเคราะห์ที่เหมือนกัน ต่างกันที่สาร รีดิวซ์ (reducer) ที่ใช้ในการทำให้เกิดสีไม่เหมือนกัน คือ Orthophosphate ทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียมโมลิบเดต ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด จะได้สารประกอบเชิงซ้อนแอมโมเนียมฟอสโพลิบเดต ซึ่งทำให้เกิดสีเหลือง แต่สีที่เกิดขึ้นยังไม่ชัดเจน ต้องเติมสาร reducer ของแต่ละวิธีข้างต้น และทำการวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำ

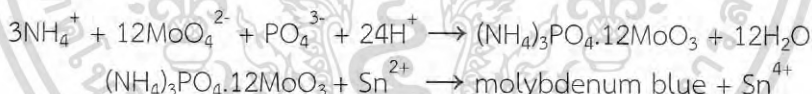
1. Vanadomolybdophosphoric acid method

วิธีนี้วิเคราะห์โดยนำสารละลายที่ต้องการตรวจวัดไปทำปฏิกิริยากับสารละลาย ammonium molybdate และ ammonium metavanadate ภายในสภาวะที่เป็นกรด หากมีฟอสฟอรัสอยู่จะได้สารประกอบเชิงซ้อนสีเหลือง ซึ่งสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ในช่วงความยาวคลื่น 400-490 nm วิธีนี้มีความไวน้อยกว่า molybdenum blue ประมาณ 1 ใน 10 แต่มีเสถียรภาพของสีที่เกิดขึ้นดีกว่า และมีการรบกวนจากไอออนอื่นน้อยกว่า วิธีนี้จึงเหมาะที่จะใช้วิเคราะห์ตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสูง เช่น พืช ปุ๋ย และอาหารสัตว์ เป็นต้น ดังสมการ



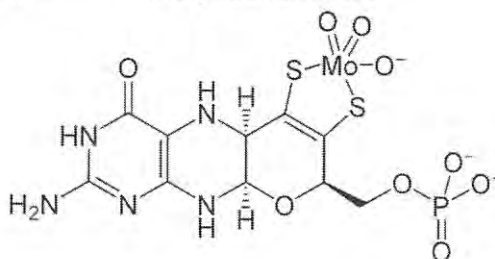
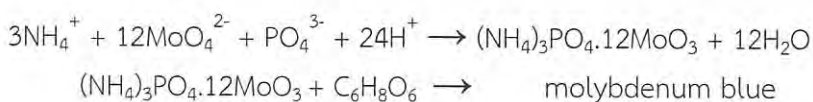
2. Stannous-chloride method

ปฏิกิริยากับสารละลาย แอมโมเนียมโมลิบเดต (ammonium molybdate) ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด จะได้สารประกอบเชิงซ้อน molybdophosphoric acid เป็นสารเชิงซ้อนสีเหลือง จากนั้นรีดิวซ์สารประกอบเชิงซ้อนนี้ด้วย SnCl_2 เพื่อให้ได้สารประกอบ molybdenum blue ที่มีสีฟ้า และนำไปตรวจวัดในช่วงความยาวคลื่นที่ 690 nm



3. Ascorbic-acid method [8]

Ammonium molybdate และ antimony potassium tartrate ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด จะได้สารประกอบเชิงซ้อน molybdophosphoric acid สีเหลือง จากนั้นรีดิวซ์สารประกอบเชิงซ้อนนี้ด้วย ascorbic-acid ได้ molybdenum blue สีฟ้า ในช่วงความยาวคลื่น 840-880 nm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 สารเคมีที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์หาฟอสเฟต

แอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium Molybdate) [9]

คุณสมบัติทางเคมี

โครงสร้าง :



ชื่อเรียก : Ammonium heptamolybdate tetrahydrate, Molybdic acid ammonium salt tetrahydrate, Ammonium paramolybdate

สูตรโมเลกุล : $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

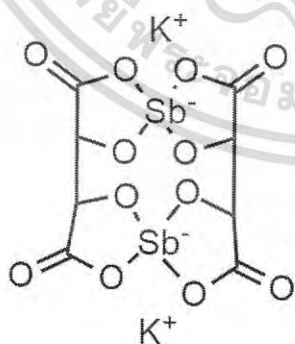
น้ำหนักโมเลกุล : 1235.86 g/mol

สถานะ : ผลึกสีขาวถึงเหลือง

แอนติโมนีโพแทสเซียมทาร์เตรต (Antimony potassium tartrate) [10]

คุณสมบัติทางเคมี

โครงสร้าง :



ชื่อเรียก : Potassium antimonyl tartrate, Emetic tartar, Tartar emetic

สูตรโมเลกุล : $\text{K}_2\text{Sb}_2(\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6)_2$

น้ำหนักโมเลกุล : 667.87 g/mol

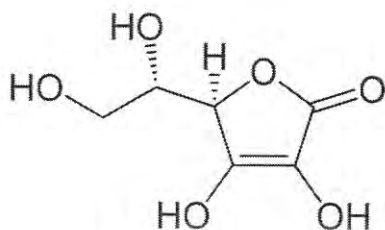
สถานะ : ผลึกสีขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอสคอร์บิก เอซิด (Ascorbic acid) [11]

คุณสมบัติทางเคมี

โครงสร้าง :



ชื่อเรียก : วิตามินซี, L-ascorbate

สูตรโมเลกุล : $C_6H_8O_6$

น้ำหนักโมเลกุล : 176.1 กรัม/โมล

สถานะ : ผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น

- มีความคงตัวในสารละลายที่เป็นกรด แต่หากเป็นด่าง ความร้อน และออกซิเดชันเมื่อสัมผัสกับอากาศจะทำให้เปลี่ยนแปลงโครงสร้างได้ง่าย

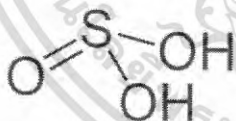
- ละลายได้ดีในน้ำ และแอลกอฮอล์ ไม่ละลายในตัวทำละลาย เช่น ไขมัน โคลิฟอร์ม อีเทอร์ ไบโตรเลียมอีเทอร์ และเบนซีน เป็นต้น โลหะที่เป็นตัวกระตุ้นการละลายได้ดี ได้แก่ เหล็ก และทองแดง

- วิตามินซีสามารถทำปฏิกิริยากับโลหะได้หลายชนิดกลายเป็นเกลือของวิตามินซี

กรดซัลฟิวริก (Sulfuric) [12]

คุณสมบัติทางเคมี

โครงสร้าง :



ชื่อเรียก : ซัลฟิวริก (Sulfuric), เอซิด มิสต์ (Sulfuric Mist), ไฮโดรเจนซัลเฟต (Hydrogen Sulfate), ซัลเฟอร์ เอซิด (Sulfur acid), ซัลฟิวริก เอซิด (Sulfuric acid) และ สเปนต์ (Spent)

สูตรโมเลกุล : H_2SO_4

น้ำหนักโมเลกุล : 98.08 กรัม/โมล

สถานะ : ของเหลวไม่มีสี มีกลิ่นฉุน

- เป็นสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกรดแก่ ละลายในน้ำได้ นิยมใช้มากในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิ อุตสาหกรรมเหมืองแร่ อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมฟอกย้อม และกระบวนการบำบัดและปรับปรุงน้ำเสีย รวมไปถึงนำมาใช้ในห้องปฏิบัติการ

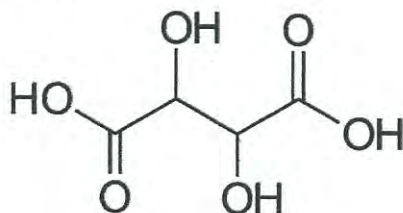
- เนื่องจากกรดซัลฟิวริกจัดเป็นกรดแก่จึงมีฤทธิ์ในการกัดกร่อนโลหะต่างๆได้ดี และเมื่อการสัมผัสเกิดจากกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นจะทำให้เกิดออกไซด์ของกำมะถัน และไฮโดรเจนซึ่งพร้อมจะลุกไหม้หรือระเบิดได้หากมีความร้อน และประกายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดซิตริก (Citric acid) [13]

คุณสมบัติทางเคมี

โครงสร้าง :



ชื่อเรียก : กรดซิตริก (citric acid)

สูตรโมเลกุล : $C_6H_{10}O_8$

น้ำหนักโมเลกุล : 192.124 กรัม/โมล

สถานะ : ของแข็ง กรดอินทรีย์ (organic acid) เป็นกรดอ่อน (weak acid)

- พบธรรมชาติในอาหารหลายชนิด เช่น พืชตระกูลส้ม (citrus) มะม่วง

2.4 โปรแกรมอิมเมจเจ (ImageJ) [14]



รูปที่ 2.5 โปรแกรมอิมเมจเจ (ImageJ) [14]

โปรแกรม ImageJ คือ โปรแกรมวิเคราะห์ขนาดของวัตถุบนภาพถ่าย เป็นโปรแกรมที่ดาวน์โหลดฟรีของสถาบันวิจัย National Institute of Mental Health (NIMH) ประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้กับเครื่องแมคอินทอชหรือพีซีธรรมดา (Personal Computer) เป็นโปรแกรมที่มีประโยชน์อย่างมากในงานวิจัย ที่จำเป็นต้องวัดระยะหรือพื้นที่ของวัตถุบนภาพที่ถ่ายจากกล้อง microscope หรือ Scanning electron microscope (SEM) สามารถเปิดภาพเพื่อใช้ในการวิเคราะห์พร้อมๆกันหลายภาพได้ในเวลาเดียวกัน สามารถคำนวณสัดส่วนพื้นที่ และพื้นที่ของวัตถุบนภาพได้ ในหน่วย pixel ของรูปนั้น หรือ หน่วยพื้นที่ตามมาตรฐาน เช่น ตารางมิลลิเมตร วัดระยะความยาวของวัตถุบนภาพวัดความหนาแน่นของรูปภาพ แล้วแสดงในรูปแบบแผนภูมิแท่ง จัดทำค่าต่างๆในรูปสถิติได้ นอกจากนี้ความสามารถดังกล่าวแล้วเจ้าโปรแกรมตัวนี้ยังสามารถทำให้เราเข้าไปดูกราฟค่าความอึมตัวของสีอย่างกราฟ RGB Color หรือเข้าไปดู Histogram ของรูปภาพได้แบบเจาะลึก ได้อีกด้วย

2.5 ระบบสี (Color Mode) [15]

ระบบการแทนค่าสีที่ใช้ในงานกราฟิก สีที่ใช้ในงานด้านกราฟิกทั่วไป มี 4 ระบบ คือ RGB, CMYK, HSB และ LAB แต่นิยมใช้ด้วยกัน 2 ระบบคือ RGB และ CMYK ซึ่งเหมาะกับงานคนละประเภทกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.RGB มีแนวคิดมาจากการผสมแสงสีหลัก 3 สีเข้าด้วยกัน คือ แดง (RED) เขียว (GREEN) และน้ำเงิน (BLUE) ซึ่งเมื่อผสมกันจะทำให้เกิดสีจำนวนมากและเมื่อนำมารวมกันที่ความเข้มสูงสุดจะได้สีขาว เมื่อนำมาผสมผสานกันทำให้เกิดสีต่าง ๆ บนจอคอมพิวเตอร์มากถึง 16.7 ล้านสี ซึ่งใกล้เคียงกับสีที่ตาเรามองเห็นปกติ สีที่ได้จากการผสมสีขึ้นอยู่กับความเข้มของสี โดยถ้าสีมีความเข้มมาก เมื่อนำมาผสมกันจะทำให้เกิดเป็นสีขาว จึงเรียกระบบสีนี้ว่าแบบ Additive หรือการผสมสีแบบบวกส่วนใหญ่การใช้สีลักษณะนี้จะใช้ในอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับแสง เช่นจอภาพ กล้องดิจิทัล เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2.6

RGB



รูปที่ 2.6 แสดงแผนภาพสีแบบ RGB [15]

2.CMYK เป็นระบบสีที่ใช้กับเครื่องพิมพ์ที่พิมพ์ออกทางกระดาษหรือวัสดุผิวเรียบอื่น ๆ ซึ่งประกอบด้วย สีหลัก 4 สี คือ สีฟ้า (Cyan), สีม่วงแดง (Magenta), สีเหลือง (Yellow) และสีดำ (Black) เมื่อนำมาผสมกันจะเกิดสีเป็นสีดำ แต่จะไม่ดำสนิท เนื่องจากหมึกพิมพ์มีความไม่บริสุทธิ์ จึงเป็นการผสมสีแบบลบ (Subtractive) หลักการเกิดสีของระบบนี้ คือ หมึกสีหนึ่งจะดูด กลืนแสงจากสีหนึ่งแล้วสะท้อนกลับออกมาเป็นสีต่าง ๆ เช่น สีฟ้าดูดกลืนแสงของสีม่วงแล้วสะท้อนออกมาเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งจะสังเกตได้ว่าสีที่สะท้อนออกมาจะเป็นสีหลัก ของระบบ RGB การเกิดสีในระบบนี้จึงตรงข้ามกับการเกิดสีในระบบ RGB แสดงดังรูปที่ 2.7

CMYK



รูปที่ 2.7 แสดงแผนภาพสีแบบ CMYK [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ชุดทดสอบภาคสนามอย่างง่าย [4]

ชุดทดสอบภาคสนามอย่างง่าย โดยทั่วไปมีจุดประสงค์เพื่อใช้สำหรับการทดสอบหรือการวิเคราะห์สารที่ได้ในภาคสนามอย่างง่ายและรวดเร็ว สำหรับผู้ใช้ที่ทำการสำรวจวิจัยในภาคสนาม ชุดทดสอบสารภาคสนามอย่างง่าย จึงต้องมีสมบัติต่างๆที่เป็น จุดเด่น คือ ใช้งานง่าย ไม่จำเป็นต้องมีความชำนาญ พกพาได้สะดวก ใช้เวลาทดสอบน้อย วัสดุได้ทันที สามารถเก็บไว้ใช้เป็นเวลานาน ราคาถูก มีความไวตามที่ต้องการ ถูกต้องแม่นยำ

ชุดทดสอบสารภาคสนามอย่างง่าย มีจุดเด่นและข้อดีคือใช้ในการทดสอบสารอย่างรวดเร็วในภาคสนาม เพื่อให้ได้ผลทดสอบทันที เพื่อการทดสอบตัวอย่างจำนวนมาก เพื่อให้สามารถทดสอบสารในสภาวะจริง เนื่องจากการทดสอบที่ทำในห้องปฏิบัติการ จำเป็นต้องมีการเก็บตัวอย่างและเติมสารคงตัว (preservative) ตามความจำเป็น จึงไม่ใช่การทดสอบสภาวะจริง ชุดทดสอบภาคสนามอย่างง่ายส่วนใหญ่จึงมีไว้สำหรับใช้ในการคัดกรอง (screening) และไม่สามารถใช้ในการทดสอบที่ต้องการความแม่นยำสูง จึงทำให้ชุดทดสอบมี จุดอ่อน คือ ความถูกต้องแม่นยำน้อยกว่าวิธีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ความไวต่อยกกว่าวิธีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ มีข้อจำกัดด้านตัวอย่างที่ทดสอบได้ เช่น ใช้ได้เฉพาะตัวอย่างที่ไม่สลับซับซ้อน

เนื่องจากชุดทดสอบสารภาคสนามอย่างง่าย มีทั้งจุดเด่นและจุดอ่อน จึงควรใช้ชุดทดสอบชนิดนี้ตามความเหมาะสม ลักษณะของงาน และความถูกต้องแม่นยำที่ต้องการ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

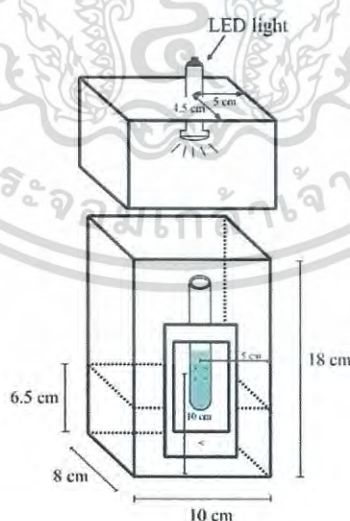
J. Murphy and J.P. Riley [16] การพัฒนาเป็นน้ำยาเคมีตัวเดียวเพื่อหาปริมาณฟอสเฟตในน้ำ (A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters) ในงานวิจัยกล่าวถึงการวัดปริมาณฟอสเฟตในน้ำ โดยการทำผสมสารละลายในการหาปริมาณฟอสเฟตเข้าด้วยกัน คือ ammonium molybdate, ascorbic acid และ antimony เป็นน้ำยาเคมี ซึ่งน้ำยาเคมีนี้จะตอบสนองอย่างรวดเร็วด้วยฟอสเฟตไอออนเกิดเป็นสารประกอบสีฟ้า-ม่วง antimony and phosphorus ในอัตราส่วน 1:1 สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นมีความเสถียรมาก และเป็นไปตามกฎของเบียร์ (Beer's law) สามารถวัดความเข้มข้นของฟอสเฟตได้น้อยถึง 2 µg/ml เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีใช้ (stannous chloride method) เกิดข้อผิดพลาดน้อยกว่า 1%

Strickland, J.D.H., and Parsons. [8] การวิเคราะห์หาปริมาณของฟอสฟอรัสที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา (Determination of reactive phosphorus) จากวิธีการได้กล่าวถึงการทดลองให้หาปริมาณฟอสเฟตที่ทำปฏิกิริยาแล้วเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนฟอสโพลิมอลิพดิเบต (phosphomolybdate complex) ที่มีสีฟ้า โดยถ้าเราใช้ stannous chloride เป็นตัวรีดิวซ์จะทำให้เกิดตัวรบกวนน้อยกว่าวิธีการอื่น โดยการทำน้ำยาเคมีผสมในอัตราส่วน 2:5:2:1 ของ ammonium molybdate : sulphuric acid : ascorbic acid : potassium antimonyl-tartrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L. Drummond and W. Maher. [17] การตรวจวัดฟอสเฟตในสารละลายโดยการทำให้ อยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนโมลิบดีนัม บลู โดยการตรวจสอบหาสภาวะใหม่ที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ของฟอสเฟต (Determination of phosphorus in aqueous solution via formation of the phosphoantimonymolybdenum blue complex Re-examination of optimum conditions for the analysis of phosphate) จากงานวิจัยกล่าวถึงสภาวะที่ทดสอบขึ้นใหม่ในการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟตโดยการใช้วิธีการทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสีเหลือง (phosphoantimonymolybdic acid method) และนำมารีดิวซ์ด้วยแอสคอร์บิก เอซิด (ascorbic acid) มีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาให้เกิดปฏิกิริยาที่เร็วขึ้นกว่าวิธีเดิมของ Murphy and Riley โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบฉีดไหล (flow-injection analysis) และการปรับค่าความเข้มข้นของ molybdate pH, antimony และ ตัวรีดิวซ์ (แอสคอร์บิก เอซิด)

Nuntaporn Moonrungsee, Somkid Pencharee, Jaroon Jakmune. [18] การวิเคราะห์ด้วยการเปรียบเทียบความเข้มของสีโดยใช้กล้องโทรศัพท์ในการตรวจวัดปริมาณฟอสเฟตในดิน (Colorimetric analyzer based on mobile phone camera for determination of available phosphorus in soil) เป็นการการวิเคราะห์ความเข้มของการเกิดสีที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ (orthophosphate form) กับสารตั้งต้น แอมโมเนียมโมลิบเดต (ammonium molybdate) และ แอนติโมนีโพแทสเซียมทาร์เทรต (potassium antimonyl tartrate) จะได้สารประกอบเชิงซ้อนสีเหลือง phosphomolybdic acid แล้วจึงนำไปรีดิวซ์ด้วยแอสคอร์บิก เอซิด (ascorbic acid) เกิดเป็น molybdenum blue นำไปตรวจวัดสีจากโปรแกรมที่พัฒนามาใช้ในโทรศัพท์มือถือได้ โดยใช้หลักการวิเคราะห์ RGB ของรูปภาพ อุปกรณ์ในการตรวจวัดโดยใช้แสงจากหลอดไฟ LED ในกล่องที่ปิดสนิทเพื่อควบคุมในเกิดความถูกต้องและแม่นยำในการวัดซึ่งมีราคาถูกและสามารถใช้งานได้รวดเร็ว



รูปที่ 2.8 อุปกรณ์ในการตรวจวัดฟอสเฟต [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

1. แอมโมเนียมโมลิบเดต (Ammonium molybdate; A.R. grade)
2. กรดซิตริก (Citric acid; A.R. grade– Carlo Erba)
3. กรดซัลฟูริก (Sulphuric acid; A.R. grade)
4. กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid; A.R. grade – Carlo Erba)
5. โพแทสเซียมแอนติโมนีทาร์เทรต (Potassium antimony Tartrate; A.R. grade – Carlo Erba)
6. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Potassium dihydrogen Phosphate; A.R. grade – Carlo Erba)
7. เตตระเอทิลออร์โทซิลิเกต (Tetraethyl orthosilicate; A.R. grade – Acros organic)
8. ไตริตัน เอ็กซ์100 (Triton™ X-100)
9. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid; A.R. grade – Fluka)
10. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water – Milli Q)

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Analysis balance)
2. เครื่องสแกนเนอร์ (F4280)
3. กระจกกรอง (Advantec No.2)
4. เครื่องกวนแม่เหล็กพร้อมแท่งกวน (Magnetic stirrer)
5. เครื่องแก้ว (Glassware laboratory)
6. ไมโครปิเปตขนาด 2-20 ไมโครลิตร (Micropipette)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 3.2.1 ศึกษาลักษณะและรูปร่างชุดทดสอบบนกระดาษ
 - 3.2.1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน
 - 3.2.1.2 การเตรียมน้ำยาเคมีผสม
 - 3.2.1.3 การเตรียมสารละลายโซล-เจล
 - 3.2.1.4 ชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด
- 3.2.2 ศึกษากระบวนการโซล-เจลเจือด้วยน้ำยาเคมีผสมบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด
- 3.2.3 ศึกษาการรายงานผลค่าความแตกต่างความเข้มแสง
- 3.2.4 ศึกษาการหาปริมาณฟอสเฟตโดยวิธีการใช้กรดซัลฟิวริกเทียบกับวิธีการหาปริมาณฟอสเฟตโดยการใช้กรดซิตริก
 - 3.2.4.1 การหาปริมาณฟอสเฟตโดยวิธีการใช้กรดซัลฟิวริก
 - 3.2.4.1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน
 - 3.2.4.1.2 การเตรียมสารละลายโซล-เจล
 - 3.2.4.1.3 ชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด
 - 3.2.4.2 การหาปริมาณฟอสเฟตโดยการใช้กรดซิตริก
- 3.2.5 ศึกษาปริมาณความเข้มข้นกรดซิตริกที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด
 - 3.2.5.1 ทดสอบกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์
 - 3.2.5.2 ทดสอบกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 2 โมลาร์
 - 3.2.5.3 ทดสอบกรดซิตริกที่ความเข้มข้น 3 โมลาร์
- 3.2.6 ศึกษาและเปรียบเทียบระหว่างเวลาการรอเวลาแอสคอร์บิกแห้งที่อุณหภูมิห้องกับการอบแอสคอร์บิกที่เวลาต่างๆบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด
 - 3.2.6.1 ทดสอบการรอเวลาแอสคอร์บิกแห้งที่อุณหภูมิห้อง
 - 3.2.6.2 ทดสอบการอบแอสคอร์บิกที่เวลาต่างๆ
- 3.2.7 ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของกรดซิตริกในน้ำยาเคมีผสมบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.3.1 ศึกษาลักษณะและรูปร่างชุดทดสอบบนกระดาษ

3.3.1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

1) สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.10 โมลาร์

ตวงสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 8.20 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน

หมายเหตุ การเติมกรดลงในขวดวัดปริมาตรนั้น จะต้องมิน้ำอยู่ในขวดวัดปริมาตรในปริมาณที่เล็กน้อยก่อนเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนของกรดกับน้ำ

2) สารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 50 มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร

ชั่งโปแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.2197 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นเทใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

3) สารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 0.50 มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร

ปิเปตสารละลายฟอสเฟตความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร จำนวน 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

4) สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต

ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตเข้มข้น 0.50 มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร จำนวน 0.00, 0.50, 1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 12.00, 16.00 และ 20.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่มีความเข้มข้น 0.00, 0.0025, 0.005, 0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 และ 0.10 มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร

3.3.1.2 การเตรียมน้ำยาเคมีผสม

1) สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดตความเข้มข้น 3.00 %w/v

ชั่งแอมโมเนียมโมลิบเดต 15 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น เทใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน เก็บไว้ในขวดพลาสติกไม่ถูกแสง

2) สารละลายกรดซिटริกความเข้มข้น 1 โมลาร์

ชั่งกรดซिटริก 4.80 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

3) สารละลายกรดแอสคอร์บิกความเข้มข้น 5.40 %w/v

ชั่งกรดแอสคอร์บิก 27 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากันเก็บในขวดพลาสติก (ถ้าไม่แช่แข็งอยู่ได้ 1 อาทิตย์) ควรเตรียมแล้วใช้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) สารละลายโปแทสเซียมแอนติโมนีทาร์เทรตความเข้มข้น 0.148 %w/v
ซึ่งโปแทสเซียมแอนติโมนีทาร์เทรต 0.37 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น เทใส่ขวดวัด
ปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากันเก็บในขวดพลาสติก

5) น้ำยาเคมีผสม

ผสมสารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต, กรดซिटริกและโปแทสเซียมแอนติโมนีทาร์
เทรต ตามสัดส่วนคือ 2:20:1 มิลลิลิตร (ใช้ภายใน 6 ชั่วโมง)

3.3.1.3 การเตรียมสารละลายโซล-เจลเจือด้วยน้ำยาเคมีผสม

ปิเปตสารละลายเตตระเอทิลออร์โทซิลิเกต 2.00 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์พลาสติก
ขนาด 10.00 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.10 โมลาร์ 1.00 มิลลิลิตร
น้ำยาเคมีผสม 2.00 มิลลิลิตร จากนั้นหยดไตรตันเอ็กซ์100[®] ลงในบีกเกอร์เดิม 7 หยด แล้วปั่นกวน
สารละลายจนเป็นเนื้อเดียวกัน (homogenous) ใช้เวลา 30 นาที จะได้สารละลายโซล-เจลเจือด้วย
น้ำยาเคมีผสม

3.3.1.4 ชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

หยดสารละลายโซล-เจลเจือด้วยน้ำยาเคมีผสมที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1.3 ปริมาตร
10.00 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองเบอร์ 2 จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
เป็นเวลา 30 นาที

ทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนบนกระดาษ โดยหยดกรดแอสคอร์บิกที่เตรียมได้จากข้อ
3.3.1.2 ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที
หยดสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 0, 0.0025, 0.005, 0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08
และ 0.10 มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณที่หยดสารละลายโซล-
เจลเอาไว้ ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

3.3.2 ศึกษาาระบบโซล-เจลเจือด้วยน้ำยาเคมีผสมบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

ทำการเตรียมชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดในระบบโซล-เจลเจือด้วยน้ำยาเคมีผสม
เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.3 จากนั้น เมื่อสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำมาหยดลงบนกระดาษกรอง
เบอร์ 2 ปริมาตรจุดละ 10.00 ไมโครลิตร จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็น
เวลา 30 นาทีจะได้ชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดระบบโซล-เจลเจือด้วยน้ำยาเคมีผสม

ทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด โดยหยดกรดแอสคอร์บิกที่เตรียม
ได้จากข้อ 3.3.1.2 จำนวน 10.00 ไมโครลิตร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา
10 นาทีหยดสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 0, 0.0025, 0.005, 0.01, 0.02, 0.04,
0.06, 0.08 และ 0.10 มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร ปริมาณ 10.00 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณที่หยด
สารละลายโซล-เจลเอาไว้ ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง บันทึกผลด้วยเครื่องสแกนเนอร์ จากนั้น นำภาพที่
ได้มาบันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วยโปรแกรม Image JTM นำค่าความเข้มแสงดังกล่าวมาพลอต
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต กับความแตกต่างความเข้ม
แสง (Euclidean distance; ED) จากสมการทางคณิตศาสตร์ หรือเรียกว่า “สมการเชิงเส้นแบบยู
คลิด”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$ED = \sqrt{(\Delta IR)^2 + (\Delta IG)^2 + (\Delta IB)^2} \quad (1)$$

โดยที่ Δ คือ ผลต่างของแสงที่จุด blank กับค่าความเข้มแสง

ณ จุดเกิดปฏิกิริยากับฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

R คือ ค่าความเข้มสีแดง

G คือ ค่าความเข้มสีเขียว

B คือ ค่าความเข้มสีน้ำเงิน

หมายเหตุ แสงสีขาวจะประกอบด้วยแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน ซึ่งมีค่าความเข้มแสงสูงสุดเท่ากับ 255, 255, 255 (R, G, B) และแสงสีดำจะมีค่าความเข้มแสงต่ำสุดเท่ากับ 0, 0, 0

3.3.3 ศึกษาการรายงานผลค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance RGB)

นำค่าความเข้มแสงที่ได้จากโปรแกรม Image JTM มาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตกับความแตกต่างความเข้มแสงจากสมการ

$$ED = \sqrt{(\Delta IR)^2 + (\Delta IG)^2 + (\Delta IB)^2}$$

3.3.4 ศึกษาการหาปริมาณฟอสเฟตด้วยกรดซัลฟิวริกเทียบกับวิธีการหาปริมาณฟอสเฟตโดยใช้กรดซิดริก

3.3.4.1 การหาปริมาณฟอสเฟตด้วยกรดซัลฟิวริก

3.3.4.1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

1) สารละลายกรดซัลฟิวริก

ตวงกรดซัลฟิวริก 140 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรที่มีน้ำกลั่นอยู่ 600-700 มิลลิลิตร จากนั้นปรับจนได้ปริมาตร 1 ลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น เก็บไว้ในขวดแก้ว

2) สารละลายมาตรฐานอื่นๆ

สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.10 โมลาร์และสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต เตรียมได้จากข้อ 3.3.1.1 และ เตรียมน้ำยาเคมีผสมได้จากข้อ 3.3.1.2

3.3.4.1.2 การเตรียมสารละลายโซล-เจลเจือด้วยน้ำยาเคมีผสม

สามารถเตรียมได้จากข้อ 3.3.1.3

3.3.4.1.3 ชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

หยดสารละลายโซล-เจลเจือด้วยน้ำยาเคมีผสมที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.4.1.2 ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองเบอร์ 2 จากนั้นรอโซลเจลแห้งสนิทประมาณ 1 ชั่วโมง ทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนบนกระดาษ โดยหยดกรดแอสคอร์บิกที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1.2 ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร จากนั้นรอแอสคอร์บิกแห้ง เป็นเวลาประมาณ 30 นาที หยดสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 0, 0.0025, 0.005, 0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 0.10 มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณที่หยดสารละลายโซล-เจลเอาไว้ ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีด้วยเครื่องสแกนเนอร์ โดยปรับความละเอียดที่ 300 ppi (pixel per inch) นำภาพที่ได้มาบันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วยโปรแกรม Image JTM โดยปรับค่าความสว่างที่ 60 และนำค่าที่ได้มาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มชั้นสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตกับความเข้มแสง (Euclidean distance; ED)

3.2.4.2 การหาปริมาณฟอสเฟตโดยการใช้กรดซิดริก

ทำเช่นเดียวกันกับข้อ 3.3.4.1 แต่เปลี่ยนจากกรดซัลฟิวริกเป็นกรดซิดริกแทนโดยใช้สัดส่วนในน้ำยาเคมีผสมเป็น สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต, กรดซิดริกและ โปแทสเซียมแอนติโมนีทาร์เทรต เท่ากับ 2:5:1 มิลลิลิตร

3.3.5 ศึกษาปริมาณความเข้มข้นกรดซิดริกที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

3.3.5.1 ทดสอบกรดซิดริกที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์

ชั่งกรดซิดริก 4.80 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นเตรียมน้ำยาเคมีผสมตามข้อ 3.3.1.2 เมื่อได้น้ำยาเคมีผสมแล้วก็นำมาเตรียมโซล-เจลตามข้อ 3.3.1.3 จะได้โซล-เจลเจือด้วยน้ำยาเคมีผสมจากนั้นนำมาหยดลงบนกระดาษกรองเบอร์ 2 ปริมาตรจุดละ 10.00 ไมโครลิตร แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีที่จะได้ชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดระบบโซล-เจลเจือด้วยน้ำยาเคมีผสม

ทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด โดยหยดกรดแอสคอร์บิกที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1.2 ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง เป็นเวลาประมาณ 30 นาทีจากนั้นหยดสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 0, 0.0025, 0.005, 0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 และ 0.10 มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณที่หยดสารละลายโซล-เจลเอาไว้ ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง บันทึกผลด้วยเครื่องสแกนเนอร์ จากนั้น นำภาพที่ได้มาบันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วยโปรแกรม Image JTM นำค่าความเข้มแสงดังกล่าวมาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มชั้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต กับความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance; ED)

3.3.5.2 ทดสอบกรดซิดริกที่ความเข้มข้น 2 โมลาร์

ทำเช่นเดียวกันกับข้อ 3.3.5.1 โดยชั่งกรดซิดริก 9.60 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ก็จะได้สารละลายกรดซิดริกที่มีความเข้มข้น 2 โมลาร์

3.3.5.3 ทดสอบกรดซิดริกที่ความเข้มข้น 3 โมลาร์

ทำเช่นเดียวกันกับข้อ 3.3.5.1 โดยชั่งกรดซิดริก 14.40 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ก็จะได้สารละลายกรดซิดริกที่มีความเข้มข้น 3 โมลาร์

3.3.6 ศึกษาและเปรียบเทียบระหว่างการรอเวลาแอสคอร์บิกแห้งที่อุณหภูมิห้องกับการอบแอสคอร์บิกที่เวลาต่างๆบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

3.3.6.1 ทดสอบการรอเวลาแอสคอร์บิกแห้งที่อุณหภูมิห้อง

ทำการเตรียมชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดในระบบโซล-เจลเจือด้วยน้ำยาเคมีผสม เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.3 และทำการหยดลงบนกระดาษกรองเบอร์ 2 ปริมาตรจุดละ 10.00 ไมโครลิตร จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

ทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด โดยหยดกรดแอสคอร์บิกที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1.2 ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร จากนั้นทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที แล้วหยดสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 0, 0.0025, 0.005, 0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 และ 0.10 มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณที่หยดสารละลายโซล-เจลเอาไว้ ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง บันทึกผลด้วยเครื่องสแกนเนอร์ จากนั้น นำภาพที่ได้มาบันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วยโปรแกรม Image JTM นำค่าความเข้มแสงที่ได้มาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตกับความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance; ED)

3.3.6.2 ทดสอบการอบแอสคอร์บิกที่เวลาต่างๆ

ทำการเตรียมชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดเช่นเดียวกันกับข้อ 3.3.2.1 และทำการทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด โดยหยดกรดแอสคอร์บิกที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1.2 ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตรแล้วนำไปอบที่เวลาต่างๆคือ 5, 10, 15 และ 20 นาที ตามลำดับ จากนั้น หยดสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 0, 0.0025, 0.005, 0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 และ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณที่หยดสารละลายโซล-เจลเอาไว้ ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง บันทึกผลด้วยเครื่องสแกนเนอร์ จากนั้น นำภาพที่ได้มาบันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วยโปรแกรม Image JTM นำค่าความเข้มแสงที่ได้มาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตกับความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance; ED)

3.3.7 ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของกรดซิตริกในน้ำยาเคมีผสมบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

เตรียมน้ำยาเคมีผสมตามข้อ 3.3.1.2 โดยให้สัดส่วนของกรดซิตริกเป็น 5, 10, 15 และ 20 มิลลิตรตามลำดับ จากนั้นทำการเตรียมชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดเช่นเดียวกันกับข้อ 3.3.2.1 บันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วยโปรแกรม Image JTM นำค่าความเข้มแสงที่ได้มาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตกับความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance; ED)

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 ศึกษาลักษณะและรูปร่างชุดทดสอบบนกระดาษ

ทำการศึกษาลักษณะชิ้นงานกระดาษกรอง โดยนำกระดาษกรองเบอร์ 2 มาหยดด้วยสารละลายโซล-เจลเจือด้วยน้ำยาเคมีผสม ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่า บริเวณพื้นผิวของกระดาษกรองที่หยดสารละลายโซล-เจล นั้น สามารถดูดซับสารละลายโซล-เจลไว้ได้ทั้งหมดแบบแห้งสนิท โดยมีการแพร่และดูดซับบนกระดาษกรองเป็นวงกลมในทุกทิศทางอย่างสมมาตร บริเวณที่หยดสารละลายโซล-เจล สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปมีลักษณะเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10.00 มิลลิเมตร และสามารถมองเห็นสีเหลืองซึ่งเป็นขอบเขตของการหยดสารละลายโซล-เจลที่แพร่ผ่านไปได้ชัดเจน

เมื่อนำกระดาษทดสอบที่เตรียมจุดรีเอเจนต์ไว้แล้วหยดกรดแอสคอร์บิกลงไปบริเวณที่หยดสารละลายโซล-เจล ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เมื่อทำการหยดด้วยสารมาตรฐานฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆกัน ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร แล้วทิ้งไว้ให้แห้งประมาณ 60 นาที ทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนบนกระดาษบันทึกการเปลี่ยนแปลงของสีของชุดทดสอบบนกระดาษด้วยการสแกน พบว่าสีที่เกิดขึ้นมีสีฟ้าอ่อน ลักษณะที่ได้คือสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตแพร่เป็นวงกลมในทุกทิศทางบนจุดที่ทำการหยดสารละลายโซล-เจลไว้ อย่างเป็นสมมาตรเช่นเดียวกัน



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงสีชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

(ก) ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต 0 - 0.02 มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร

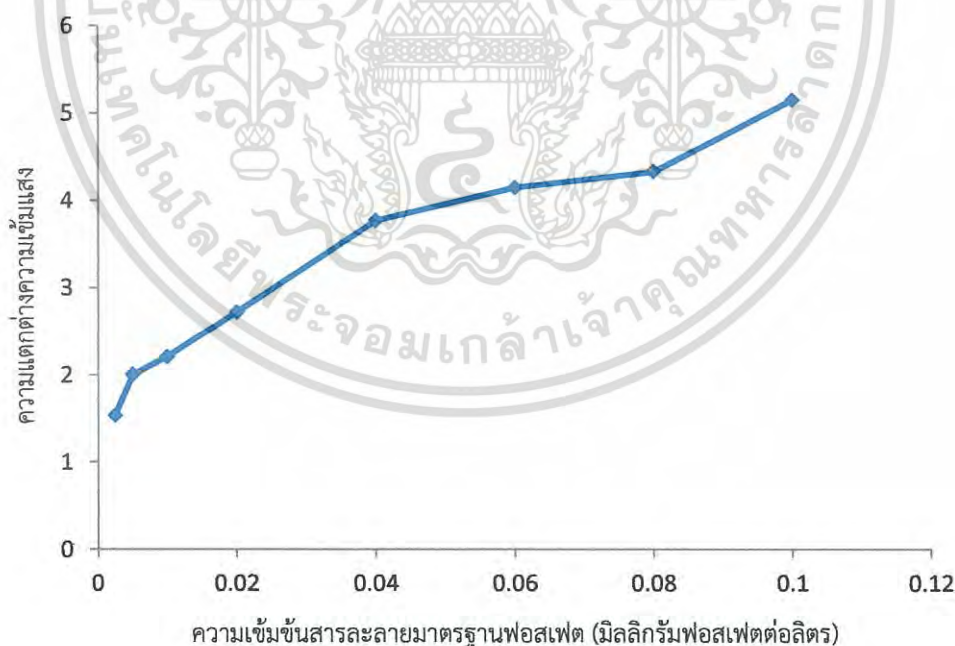
(ข) ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต 0.04 - 0.1 มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดนั้นสามารถควบคุมการแพร่กระจายโซล-เจลได้ดี เนื่องจากชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดสามารถควบคุมปริมาณสารละลายโซล-เจลที่หยดลงบนกระดาษ จึงสามารถจำกัดขอบเขตของการแพร่ของโซล-เจลได้

4.2 ศึกษาาระบบโซล-เจลเจือกับน้ำยาเคมีผสมบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

ทดสอบโดยการเตรียมชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดในระบบโซล-เจลเจือด้วยน้ำยาเคมีผสม เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.3 จากนั้น นำมาหยดรีเอเจนต์ลงบนกระดาษกรองปริมาตรจุดละ 10.00 ไมโครลิตร แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด โดยหยดกรดแอสคอร์บิกที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1.2 ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร และนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาทีหยดสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 0, 0.0025, 0.005, 0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 และ 0.10 มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณที่หยดสารละลายโซล-เจลเอาไว้ทิ้งไว้ประมาณ 60 นาที บันทึกผลด้วยเครื่องสแกนเนอร์ จากนั้น นำภาพที่ได้มาบันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วยโปรแกรม Image JTM นำค่าความเข้มแสงดังกล่าวมาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต กับความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance; ED) จากสมการทางคณิตศาสตร์ หรือเรียกว่า “สมการเชิงเส้นแบบยูคลิด” จะได้สมการเชิงเส้นตรงคือ $y = 34.096x + 1.8795$ โดยสภาวะดังกล่าวให้แนวโน้มที่ดีโดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.946 กราฟแสดงความสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต กับความแตกต่างความเข้มแสง (ภาคผนวก ข.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

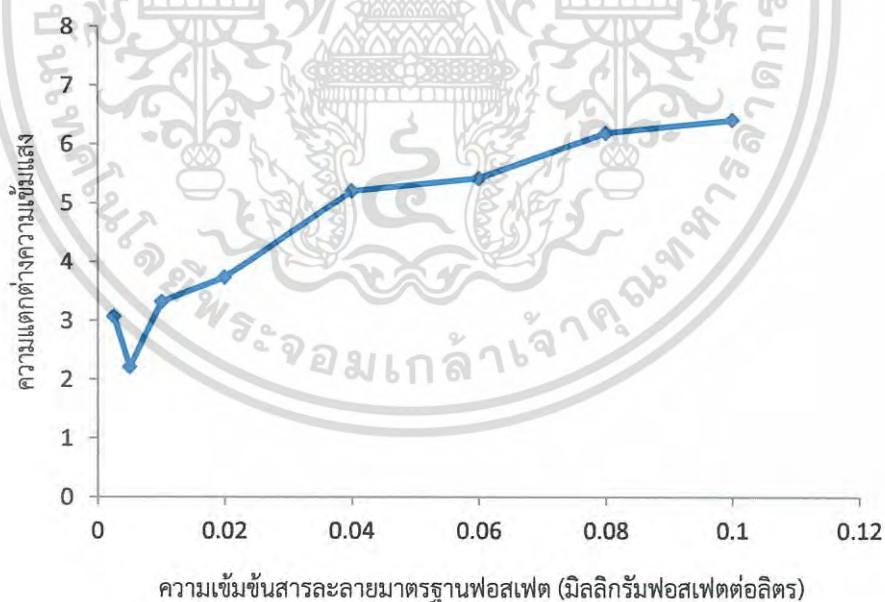
สำหรับชุดทดสอบบนกระดาษระบบโซล-เจลเจือกับน้ำยาเคมีผสม จุดทดสอบมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10.00 มิลลิเมตรและสามารถมองเห็นขอบเขตของโซล-เจลที่หยดเอาไว้ เมื่อหยดแอสคอบิกและสารมาตรฐานฟอสเฟตเกิดสารเชิงซ้อนภายในบริเวณขอบเขตของจุดทดสอบโซล-เจล

4.3 ศึกษาการรายงานผลค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance, ED)

จากข้อมูลที่ได้เป็นการรายงานผลค่าความเข้มแสงของจุดสีบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดในเทอมของค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) ทางคณิตศาสตร์นั้นรู้จักกันในชื่อ “สมการเชิงเส้นแบบยูคลิด” ซึ่งแสดงสมการ

$$ED = \sqrt{(\Delta IR)^2 + (\Delta IG)^2 + (\Delta IB)^2}$$

โดยที่ Δ คือ ผลต่างของแสงที่จุด blank กับค่าความเข้มแสง ณ จุดเกิดปฏิกิริยากับฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆกัน
 R คือ ค่าความเข้มสีแดง
 G คือ ค่าความเข้มสีเขียว
 B คือ ค่าความเข้มสีน้ำเงิน



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายฟอสเฟตกับความแตกต่างความเข้มแสงของการรายงานค่าความเข้มแสง (ภาคผนวก ค.)

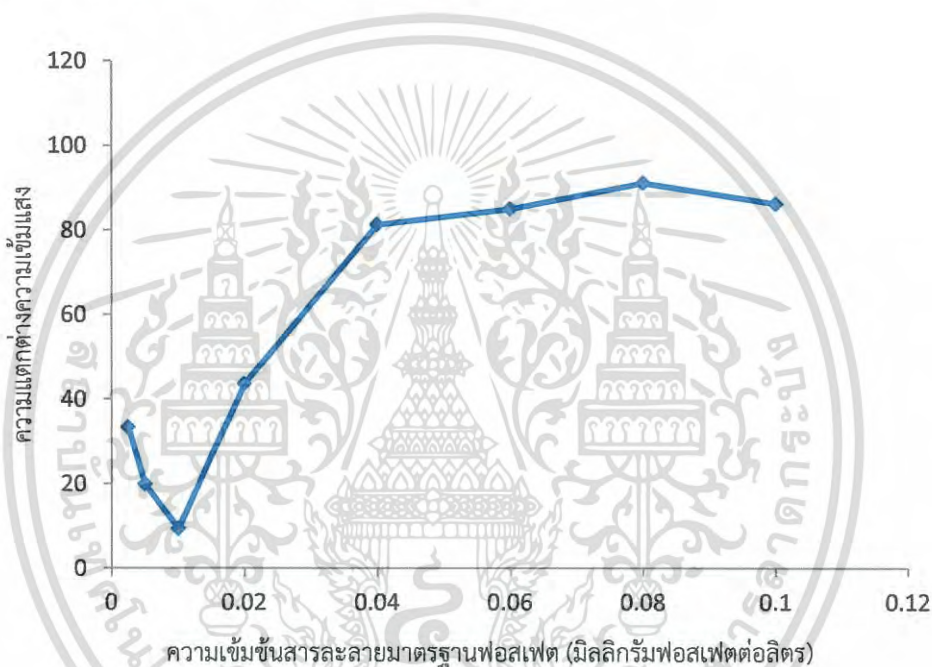
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 จากกราฟความสัมพันธ์ จะได้สมการเชิงเส้นตรง คือ $y = 40.434x + 2.8411$ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.9103 โดยจะพบว่าเป็นการรายงานผลจากความแตกต่างความเข้มแสง ซึ่งพบว่าความเป็นเส้นตรงของกราฟ สามารถนำมาใช้อธิบายผลการทดลองได้

4.4 ศึกษาการหาปริมาณฟอสเฟตด้วยกรดซัลฟิวริกเทียบกับวิธีการหาปริมาณฟอสเฟตโดยการใช้กรดซिटริก

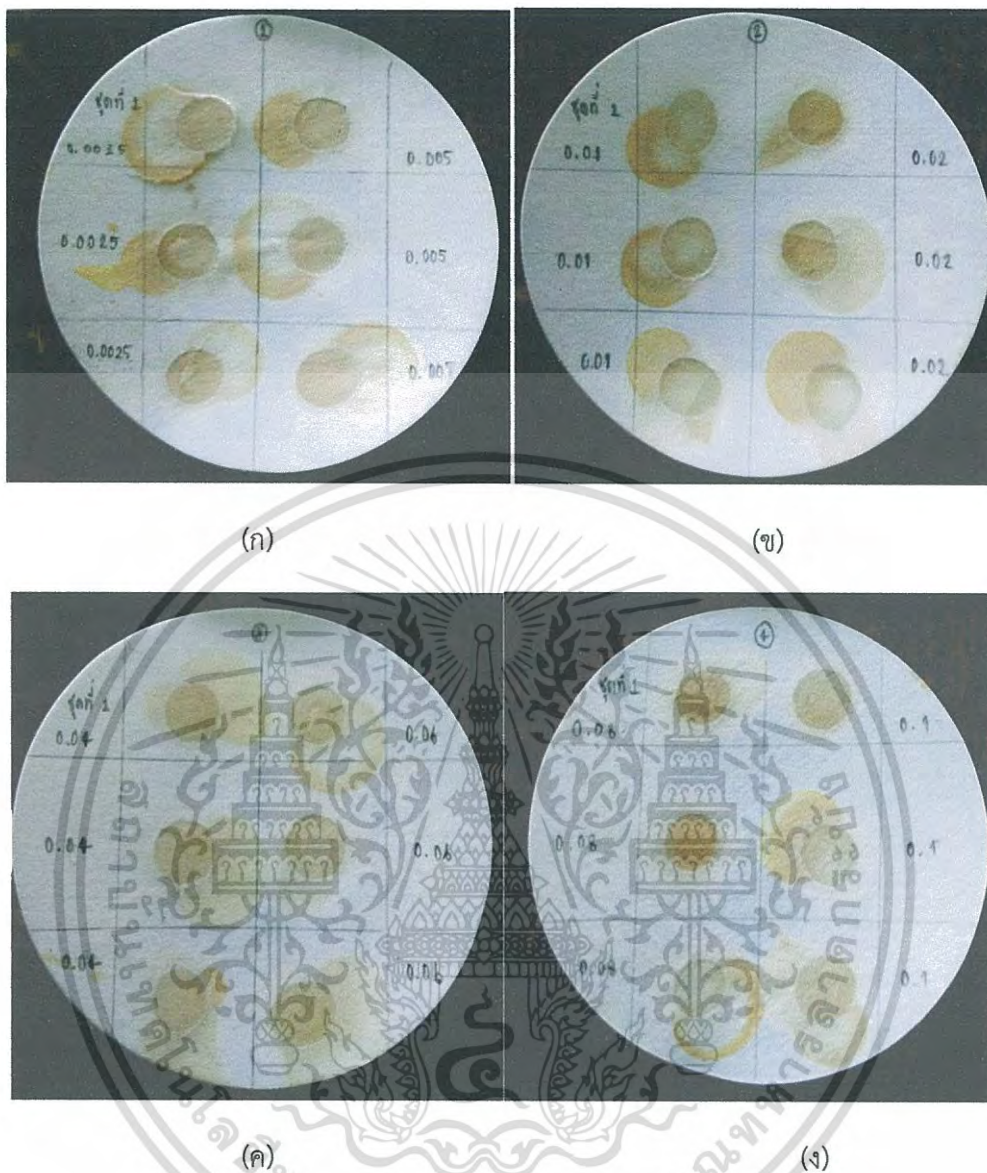
4.4.1 การหาปริมาณฟอสเฟตด้วยกรดซัลฟิวริก

จากการใช้วิธีมาตรฐานในการหาปริมาณฟอสเฟต ดำเนินการทดลองและบันทึกผลการทดลองตามข้อ 3.3.4.1 ผลการทดลองที่ได้ แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตกับความแตกต่างความเข้มแสงโดยใช้วิธีมาตรฐาน (ภาคผนวก ง.)

จากกราฟได้สมการเส้นตรงคือ $y = 793.39x + 24.771$ และให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.772 แต่จากการใช้วิธีมาตรฐานบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดแล้วพบว่าผลที่ได้ไม่ดีเท่าที่ควร กรดที่ใช้เป็นกรดแก่ คือ กรดซัลฟิวริก ทำให้เมื่อทิ้งผลไว้นานเกินไปอาจกัดกระดาษชุดทดสอบ ดังรูปที่แสดงในรูปที่ 4.5



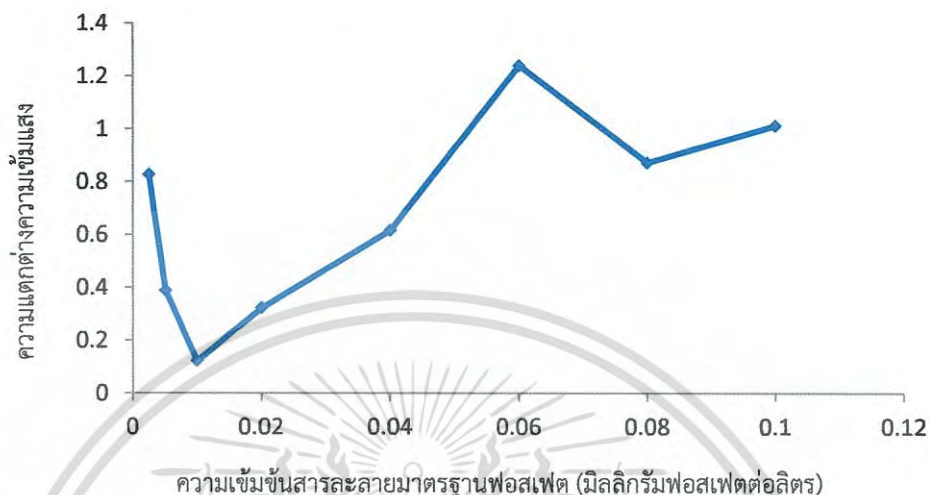
รูปที่ 4.5 ผลจากการทิ้งไว้ 1 คืนเมื่อใช้กรดซัลฟิวริกซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานลงบนแผ่นชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

- (ก) ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต 0.0025 – 0.005 มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร
- (ข) ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต 0.01 – 0.02 มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร
- (ค) ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต 0.04 – 0.06 มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร
- (ง) ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต 0.08 – 0.1 มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

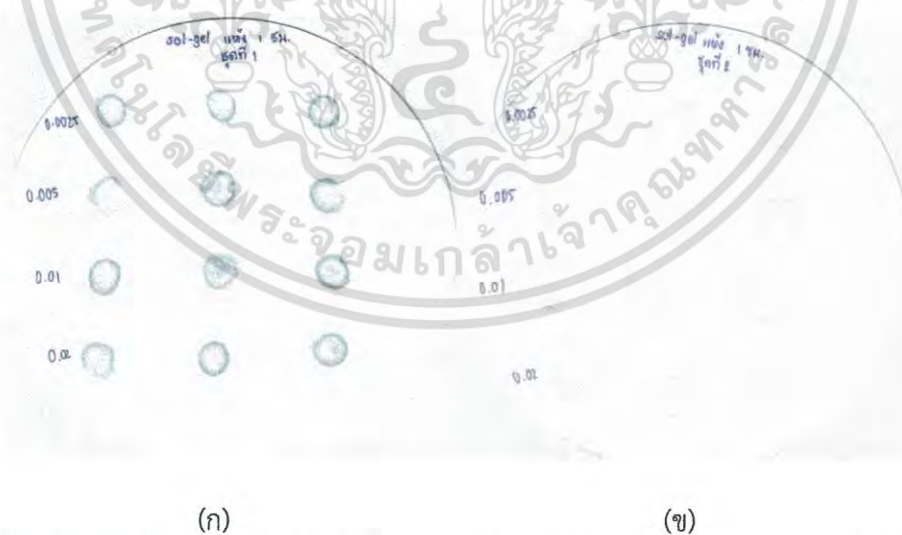
4.4.2 การหาปริมาณฟอสเฟตโดยใช้กรดซิดริก

จากข้อมูลที่ได้ข้างต้นจึงได้ทดลองใช้กรดซิดริกแทนกรดซัลฟิวริก โดยทดลองใช้สภาวะทุกอย่างเช่นเดียวกับวิธีที่ใช้กรดซัลฟิวริกเพื่อดูความเป็นไปได้ในวิธีนี้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตกับความแตกต่างความเข้มแสงโดยใช้กรดซิดริก (ภาคผนวก จ.)

จากกราฟได้สมการเส้นตรงคือ $y = 7.0766x + 0.394$ และให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.4724 โดยถ้าเทียบการเกิดสีบนชุดทดสอบบนกระดาษก็พบว่าสามารถเกิดสารเชิงซ้อนและให้สีฟ้าเช่นเดียวกันกับวิธีมาตรฐานแต่อาจไม่ชัดเจนมากนัก



รูปที่ 4.7 รูปแสดงการเปรียบเทียบสีและลักษณะจุดบนชุดทดสอบบนกระดาษระหว่างวิธีมาตรฐานกับวิธีที่ใช้กรดซิดริก

(ก) ลักษณะจุดและสีที่เกิดขึ้นบนชุดทดสอบบนกระดาษเมื่อใช้วิธีมาตรฐาน

(ข) ลักษณะจุดและสีที่เกิดขึ้นบนชุดทดสอบบนกระดาษเมื่อใช้วิธีที่ใช้กรดซิดริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลที่ได้นั้น ทำให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการใช้กรดซิดริกแทนกรดซัลฟิวริก เนื่องจากการใช้กรดซัลฟิวริกยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องของการกัดกระดาชบนชุดสอบอยู่ และเนื่องจากวิธีการหาปริมาณฟอสเฟตด้วยวิธีมาตรฐานนั้น เป็นการวัดปริมาณฟอสเฟตด้วยวิธีเปรียบเทียบความเข้มของสี (Colorimetric method) ดังนั้นเมื่อนำมาทดสอบด้วยระบบโซล-เจล บนกระดาช ทำให้ประสิทธิภาพในการวัดลดลง จึงได้ทดลองใช้กรดซิดริกแทน เนื่องจากกรดซิดริกเป็นของแข็งซึ่งมีความเสถียรมากกว่ากรดตัวอื่นๆที่อยู่ในรูปของสารละลาย

4.5 ศึกษาปริมาณความเข้มข้นกรดซิดริกที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาชุดทดสอบบนกระดาชแบบจุด

4.5.1 ทดสอบกรดซิดริกที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์

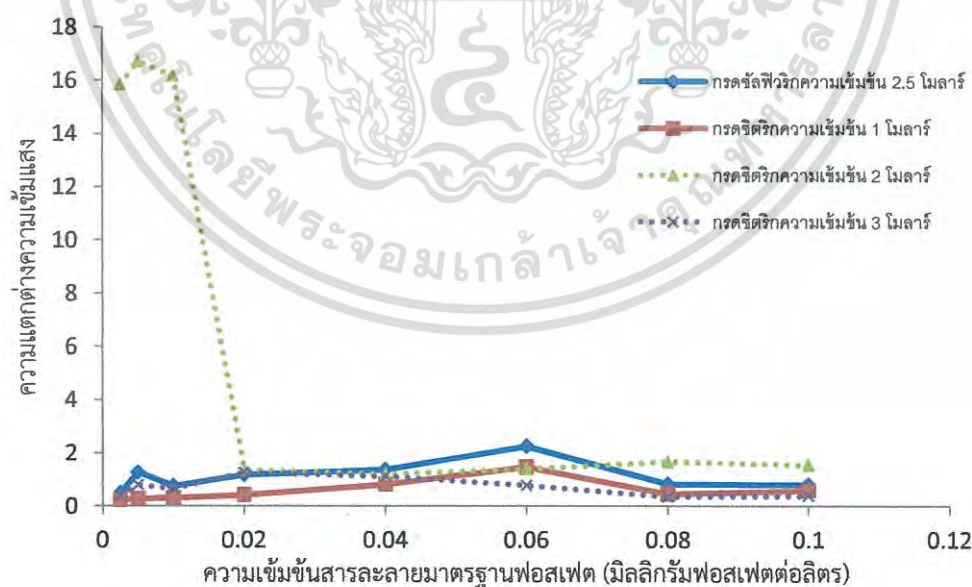
ทำการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อชุดทดสอบเพื่อหาปริมาณฟอสเฟตโดยใช้กรดซิดริก เริ่มจากการหาความเข้มข้นของกรดซิดริกที่เหมาะสม โดยดำเนินการตามข้อ 3.3.5.1 ทดสอบการใช้กรดซิดริก 1 โมลาร์ ผลการทดลองแสดงตามรูปที่ 4.8

4.5.2 ทดสอบกรดซิดริกที่ความเข้มข้น 2 โมลาร์

หาความเข้มข้นของกรดซิดริกที่เหมาะสม โดยดำเนินการตามข้อ 3.3.5.2 ทดสอบการใช้กรดซิดริก 2 โมลาร์ ผลการทดลองแสดงตามรูปที่ 4.8

4.5.3 ทดสอบกรดซิดริกที่ความเข้มข้น 3 โมลาร์

หาความเข้มข้นของกรดซิดริกที่เหมาะสม โดยดำเนินการตามข้อ 3.3.5.3 ทดสอบการใช้กรดซิดริก 3 โมลาร์ ผลการทดลองแสดงตามรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกับค่าความแตกต่างความเข้มแสงที่ใช้กรดซิดริกที่จำนวน 1, 2 และ 3 โมลาร์ เทียบกับวิธีมาตรฐานที่ใช้กรดซัลฟิวริก 2.5 โมลาร์ (ภาคผนวก ฉ.)

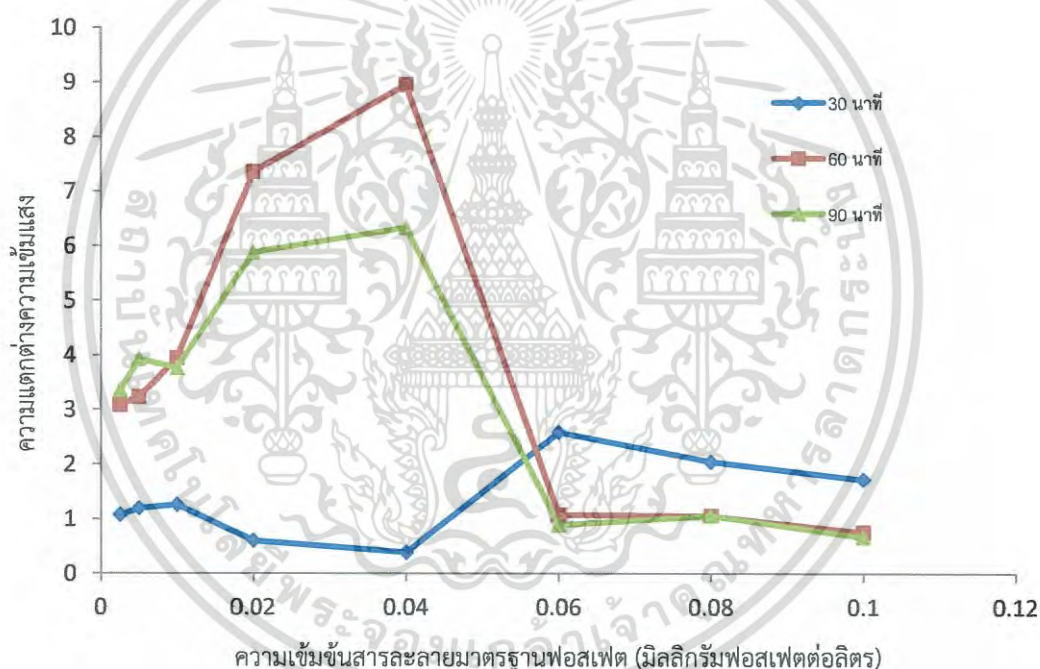
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่อทดลองโดยใช้ความเข้มข้นของกรดซิตริกที่ปริมาณต่าง ๆ นั้น จะสังเกตได้ว่าปริมาณความเข้มข้นที่กรดซิตริก 1 โมลาร์ มีลักษณะแนวโน้มของกราฟไปในทิศทางเดียวกันกับกราฟของวิธีมาตรฐาน ดังนั้นในเบื้องต้นจึงเลือกสภาวะดังกล่าวที่กรดซิตริก 1 โมลาร์ เพื่อทำการหาสภาวะอื่นๆต่อไป

4.6 ศึกษาและเปรียบเทียบระหว่างการรอเวลาแอสคอรบิกแห้งที่อุณหภูมิห้องกับการอบแอสคอรบิกที่เวลาต่างๆบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

4.6.1 ทดสอบการรอเวลาแอสคอรบิกแห้งที่อุณหภูมิห้อง

จากการทดลองเมื่อหยดสารละลายโซล-เจลที่เจือด้วยน้ำยาเคมีผสมแล้วทำการอบที่ 80°C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำการหยดสารละลายกรดแอสคอบิก แล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องที่เวลาต่างๆ ได้ผลดังรูปที่ 4.9

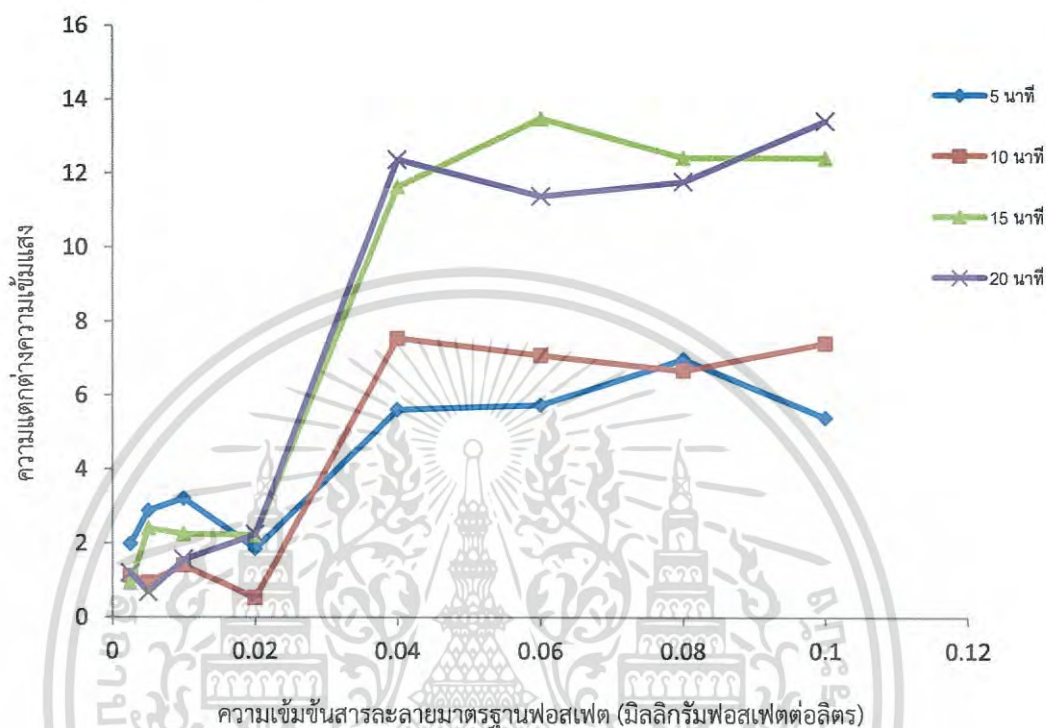


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตกับความแตกต่างความเข้มแสงโดยใช้กรดซิตริกในสภาวะกรดแอสคอบิกแห้งที่อุณหภูมิห้องในเวลา 30, 60 และ 90 นาที (ภาคผนวก ข.)

จากรูปที่ 4.9 พบว่าผลการทดลองที่ได้ไม่มีความสัมพันธ์กันกับค่าความเข้มข้นของปริมาณสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ดังนั้นสภาวะที่ปล่อยให้สารละลายกรดแอสคอรบิกแห้งเองที่อุณหภูมิห้องอาจไม่เป็นผล ซึ่งอาจต้องใช้ความร้อนเข้ามาช่วย

4.6.2 ทดสอบการอบแอสคอร์บิกที่เวลาต่างๆ

เมื่อทำการปล่อยให้สารละลายกรดแอสคอร์บิกแห้งที่อุณหภูมิห้องไม่เป็นผลจึงได้ทดลองอบกรดแอสคอร์บิกที่อุณหภูมิ 80 °c ที่เวลาต่างๆ ได้ผลดังรูปที่ 4.10

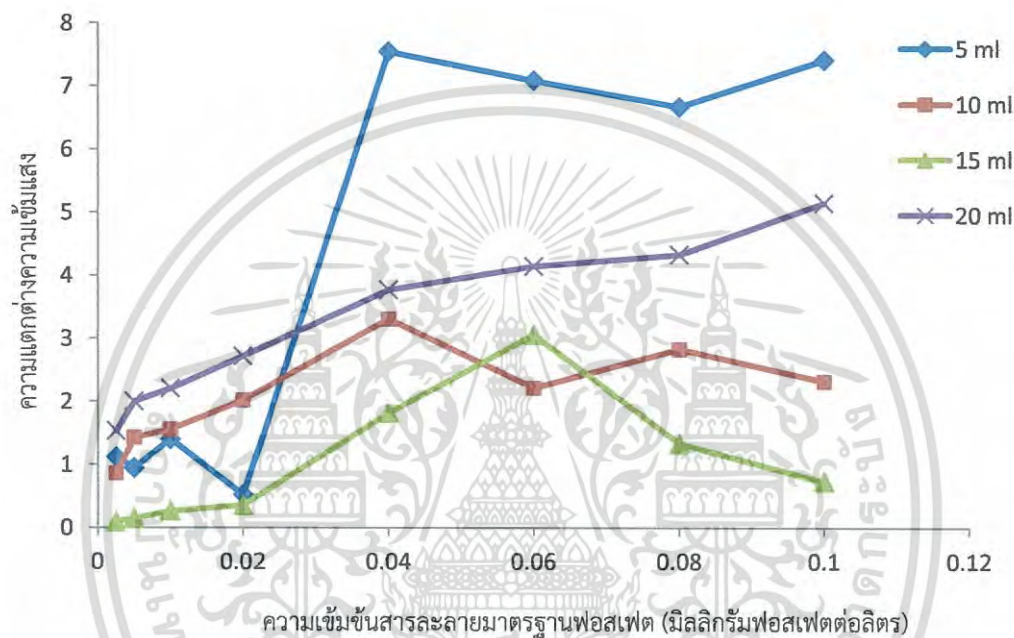


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตกับความแตกต่างความเข้มแสงในสภาวะอบกรดแอสคอร์บิกที่เวลาต่างๆ (ภาคผนวก ข.)

จากผลการทดลองเปรียบเทียบทั้งสองสภาวะ คือ รอบกรดแอสคอร์บิกแห้งที่อุณหภูมิห้องกับการอบกรดแอสคอร์บิกที่เวลาต่างๆ พบว่าจากการทดลองโดยการอบแอสคอร์บิกนั้นสามารถให้ผลความเป็นเส้นตรงของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารมาตรฐานฟอสเฟตกับความแตกต่างค่าความเข้มแสงนั้นดีขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ ทำให้สามารถเลือกใช้สภาวะการอบกรดแอสคอร์บิกเป็นเวลา 10 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากแนวโน้มที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนัก และเพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการทดสอบ

4.7 ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของกรดซิตริกในน้ำยาเคมีผสมบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

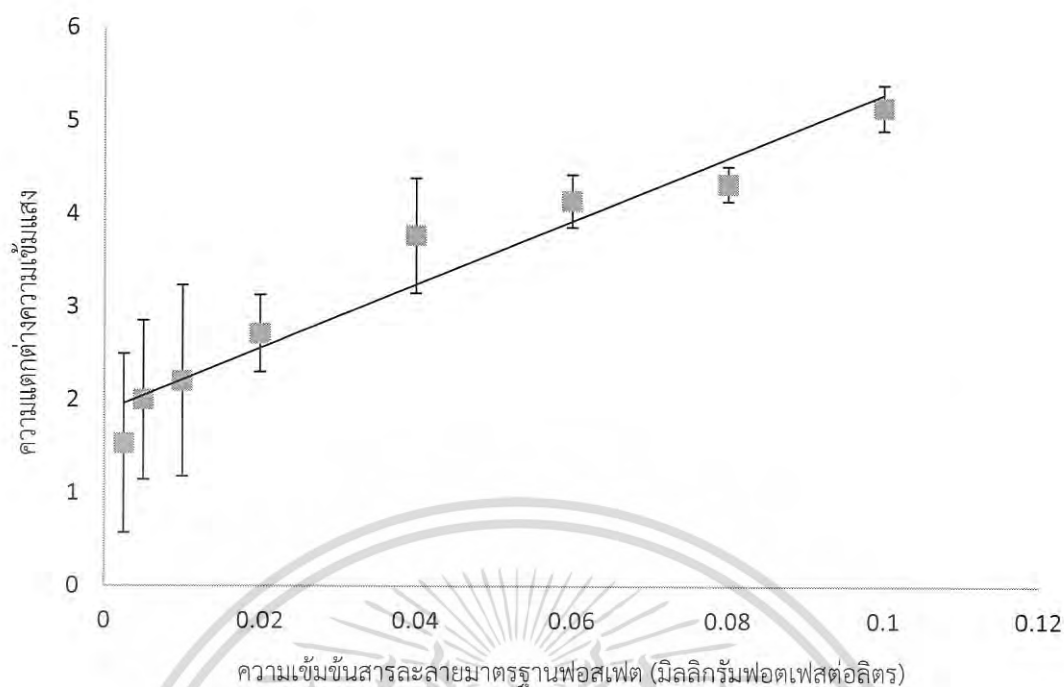
เพื่อเป็นการทดสอบว่าปริมาณของกรดซิตริกที่นำมาใช้แทนกรดซัลฟิวริกนั้นสามารถทำปฏิกิริยาได้มากเกินพอสำหรับการทดสอบหาปริมาณฟอสเฟตหรือไม่ จึงได้ทำการเปรียบเทียบปริมาณต่างๆที่ใช้ของกรดซิตริก ในการผสมลงไปในน้ำยาเคมีผสม ได้แก่ 5, 10, 15 และ 20 มิลลิลิตร ได้ผลการทดลองดังรูป 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตกับความแตกต่างความเข้มแสงโดยใช้กรดซิตริกในปริมาณต่างๆ (ภาคผนวก ฉ.)

จากผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.11 นั้น จะเห็นได้ว่าปริมาณของกรดซิตริกที่เหมาะสมนั้นคือ 20 มิลลิลิตร ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจคือ 0.946 และมีแนวโน้มของกราฟที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงได้เลือกสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการตรวจวัดปริมาณฟอสเฟตบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด ได้แก่ การเลือกใช้กรดซิตริก 1 โมลาร์ จำนวน 20 มิลลิลิตร ผสมลงไปในน้ำยาเคมีผสมที่ประกอบไปด้วยสารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต, และ โปแทสเซียมแอนติโมนิฮาร์เทรต เพื่อผสมลงไปในสารละลายโซล-เจล หลังการปั่นกวน 30 นาที ทำการหยดสารละลายโซล-เจลเจ็ด้วยน้ำยาเคมีผสมลงในกระดาษกรองปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร แล้วนำไปอบเป็นเวลา 30 นาที ทำการทดสอบหาปริมาณฟอสเฟตหยดกรดแอสคอร์บิกกลวงบริเวณสารละลายโซล-เจลปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร อบ 10 นาที จากนั้นก็หยดสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต เก็บภาพด้วยเครื่องสแกนเนอร์เพื่อตรวจวัดค่าสีด้วยโปรแกรม Image JTM นำค่าความแตกต่างความเข้มแสงที่ได้มาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสงกับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต ซึ่งจากการทดลองด้วยสภาวะทั้งหมดที่กล่าวมานั้น พบว่ากราฟความสัมพันธ์ที่ให้แนวโน้มที่ดีที่สุดคือผลในรูปที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตกับความแตกต่างความเข้มแสง ที่มีสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดด้วยชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดที่ได้ผลดีที่สุด (ภาคผนวก ก.)

จากกราฟให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 0.946 และได้สมการเส้นตรง คือ $y=34.096x+ 1.8795$ ดังนั้นจึงได้เลือกสภาวะดังกล่าวให้เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดสอบหาปริมาณสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

4.8 ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of detection: LOD) และขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation: LOQ)

ศึกษาขีดจำกัดของการตรวจพบและขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณของชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดในระบบโซล-เจลเจือด้วยน้ำยาเคมีผสม จากรูปที่ 4.1.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตกับค่าความเข้มแสง พบว่าได้สมการเชิงเส้นตรง คือ $y=34.096x + 1.8795$ และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.946 แสดงผลการคำนวณในภาคผนวก ก.

จากการคำนวณค่า LOD ขีดจำกัดของการตรวจพบ ได้เท่ากับ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร และ LOQ ขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณได้เท่ากับ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

สรุปและข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของจุดสีบนกระดาษสำหรับตรวจวัดฟอสเฟตโดยใช้โซล-เจลเจือด้วยน้ำยาเคมีผสม ได้ออกแบบสำหรับสร้างชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด โดยมีแอสคอร์บิกเป็นตัวรีดิวซ์ เกิดสารเชิงซ้อนที่มีสีฟ้ากับฟอสเฟต ซึ่งได้พัฒนาวิธีมาจากการตรวจวัดฟอสเฟตด้วยความเข้มข้นของสี (Colorimetric method) ที่ใช้กรดซัลฟิวริก แต่เนื่องจากกรดซัลฟิวริกนั้นไม่เสถียร มีความเป็นกรดแก่ และมีผลต่อชุดทดสอบบนกระดาษ คือ เมื่อทิ้งไว้จะกัดกระดาษ ดังนั้นจึงได้พัฒนาวิธีมาใช้กรดซिटริกแทน เนื่องจากกรดซिटริกมีลักษณะเป็นกรดอ่อน และสามารถหาได้ง่าย จากการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีดังกล่าวเพื่อทำให้ได้ผลการทดสอบที่มีแนวโน้มดีที่สุด โดยการเตรียมชุดทดสอบด้วยสารละลายโซล-เจลเจือด้วยน้ำยาเคมีผสมซึ่งประกอบด้วย ความเข้มข้น 3.00%w/v ของสารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต 2.00 มิลลิลิตร : ความเข้มข้น 19.20%w/v ของสารละลายกรดซिटริก 20.00 มิลลิลิตร : ความเข้มข้น 0.148%w/v ของสารละลายโปแทสเซียมแอนติโมนีทาร์เทรต 1.00 มิลลิลิตร หยดลงบนกระดาษกรองปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที หยดกรดแอสคอร์บิกปริมาตร 10.00 ไมโครลิตรลงบริเวณจุดทดสอบจากนั้นรอต่ออีกครั้งเป็นเวลา 10 นาที ทดสอบหยดสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ 0.0025, 0.005, 0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08 และ 0.10 มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร รอแห้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วเก็บภาพด้วยเครื่องสแกนเนอร์ โดยปรับค่าความละเอียดการสแกนเท่ากับ 300 ppi (pixel per inch) ตรวจวัดค่าความเข้มแสงด้วยโปรแกรม Image J™ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าสภาวะดังกล่าวให้แนวโน้มความเป็นเส้นตรงที่ดีที่สุดคือ (R^2) เท่ากับ 0.946 ได้สมการเชิงเส้นตรงคือ $y = 34.096x + 1.8795$ และ คำนวณค่า LOD, LOQ ได้เท่ากับ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ในการศึกษาวิจัยได้มุ่งเน้นพัฒนาระบบสำหรับสร้างชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด โดยพัฒนาจากวิธีที่ใช้กรดซัลฟิวริกในการตรวจวัดฟอสเฟต และการใช้กรดซिटริกแทนกรดซัลฟิวริก จากการศึกษาคิดว่าอาจมีปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลต่อการตรวจวัด หากต้องการใช้วิธีนี้ในการลงตัวอย่าง ยังจำเป็นต้องพัฒนาวิธีต่อไป เพื่อลดข้อจำกัดต่างๆในการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงอาจมีกรดตัวอื่นๆที่อาจสามารถให้ผลการทดสอบที่ดีขึ้น แต่ด้วยข้อจำกัดของสารเคมีผู้ทดสอบจึงเลือกกรดที่สามารถหาได้ง่าย เป็นกรดอ่อน เพื่อใช้ทำการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Brinker C. J. and Sherer G. W. 1990. "Sol-Gel Science" Academic Press, San Diego.
- [2] Mauritz, K. Sol-Gel Chemistry. [Online]. Available : <http://in.ncu.edu.tw/stchian/g/ch848/related/set1/The%20Sol-gel%20Gateway%20%20Educational%20materials.files/solgel.htm>.
- [3] Sol-gel [Online]. Available : http://www.uk-finishing.org.uk/N-COAT70/sol_gel.htm
- [4] หน่วยนวัตกรรมเทคโนโลยี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2549. ชุดทดสอบภาคสนามอย่างง่าย. [Online]. Available : http://www.sc.mahidol.ac.th/tha/research/webtestkit/when_front.html.
- [5] Siamchemidotcom. ฟอสฟอรัส. [Online]. Available : <http://www.siamchemi.com/ฟอสฟอรัส/>
- [6] แหล่งการเรียนรู้เรื่องประมง. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. [Online]. Available : <http://www.aquatoyou.com/index.php/2013-05-16-04-06-08/842-2013-05-16-04-53-15>.
- [7] Veschetti, E. 2009. Methods for nitrate ammonium and total phosphorus. [Slide]. Rome : Istituto Superiore di Sanità.
- [8] Strickland, J.D.H., and Parsons, T.R. 1968. Determination of reactive phosphorus. In: A Practical Handbook of Seawater Analysis. Fisheries Research Board of Canada, Bulletin 167, 49-56.
- [9] Wikipedia, the free encyclopedia. 2016. Ammonium heptamolybdate. [Online]. Available : https://en.wikipedia.org/wiki/Ammonium_heptamolybdate.
- [10] Wikipedia, the free encyclopedia. 2016. Antimony potassium tartrate. [Online]. Available : https://en.wikipedia.or/wiki/Antimony_potassium_tartrate.
- [11] Siamchemidotcom. Ascorbic acid. [Online]. Available : <http://www.siamchemi.com/วิตามินซี>.
- [12] World chemical group. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric). [Online]. Available : <http://www.worldchemical.co.th/th/product-detail-113-กรดซัลฟิวริก.html/>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. 2547. ตารางการใช้วัตถุเจือปนอาหาร แนนท้าย ประกาศ เรื่อง ข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร. **Citric acid**. [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1339/citric-acid>.
- [14] Chanya Chuenarrom. 2558. **ImageJ Program**. [Online]. Available : <http://comdigest.blogspot.com/2015/10/imagej.html>.
- [15] อินฟินิตี้ คัลเลอร์ พรินติ้ง. **Color Mode**. [Online]. Available : www.infinityprinting.co.th.
- [16] Murphy J. and Riley J.P. 1962. "A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters." *Analytica Chimica Acta*. Volume 27 : 31-36
- [17] Drummond L. and Maher W. 1995. "Determination of phosphorus in aqueous solution via formation of the phosphoantimonymolybdenum blue complex Re-examination of optimum conditions for the analysis of phosphate" *Analytica Chimica Acta*. 302 : 69-74
- [18] Nuntaporn Moonrungssee, Somkid Pencharee and Jaroon Jakmune. 2015. "Colorimetric analyzer based on mobile phone camera for determination of available phosphorus in soil." *Talanta*. 136 : 204-209.

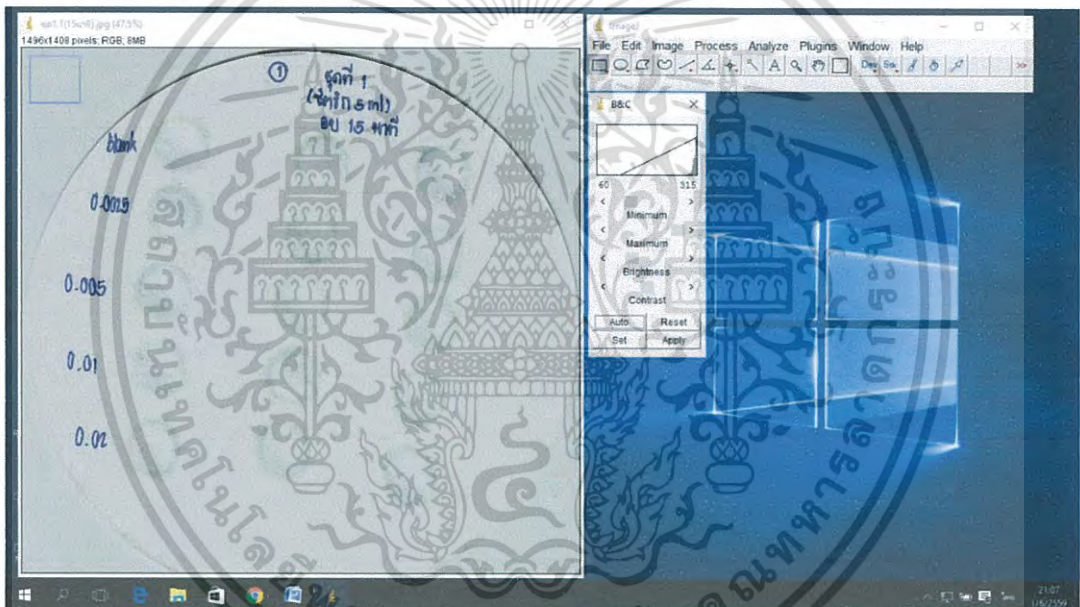


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

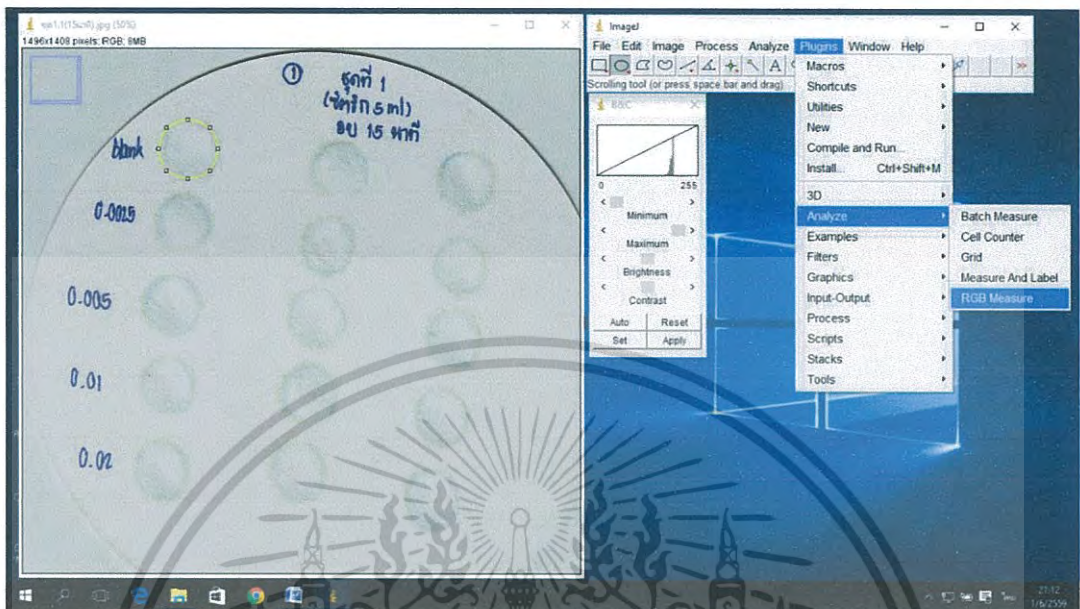
การบันทึกค่าความเข้มแสงจากโปรแกรม Image JTM ขั้นตอนและวิธีการใช้โปรแกรม

1. ลงโปรแกรม Image JTM โดยสามารถโหลดโปรแกรมได้จาก <http://software.thaiware.com/7658-ImageJ-Download.html> และลงโปรแกรมตามขั้นตอน
2. เปิดโปรแกรม Image JTM จากนั้นกด CTRL+H เพื่อเปิดรูปภาพที่ต้องการ
3. ปรับค่าลดความเข้มแสงที่ได้จากการสแกนลงโดยกด CTRL+SHIFT+C จากนั้นลดค่า Brightness ลง ให้มีค่าเท่ากับ 60
4. คลิกเมาส์ ซ้าย+SHIFT ลากวงกลมให้ได้อัตราส่วนของค่า W และ H ที่เท่ากัน โดยใช้ อัตราส่วน 300:300 เพื่อวัดความเข้มแสงโดยจะวัดเป็นพื้นที่ๆ กำหนด

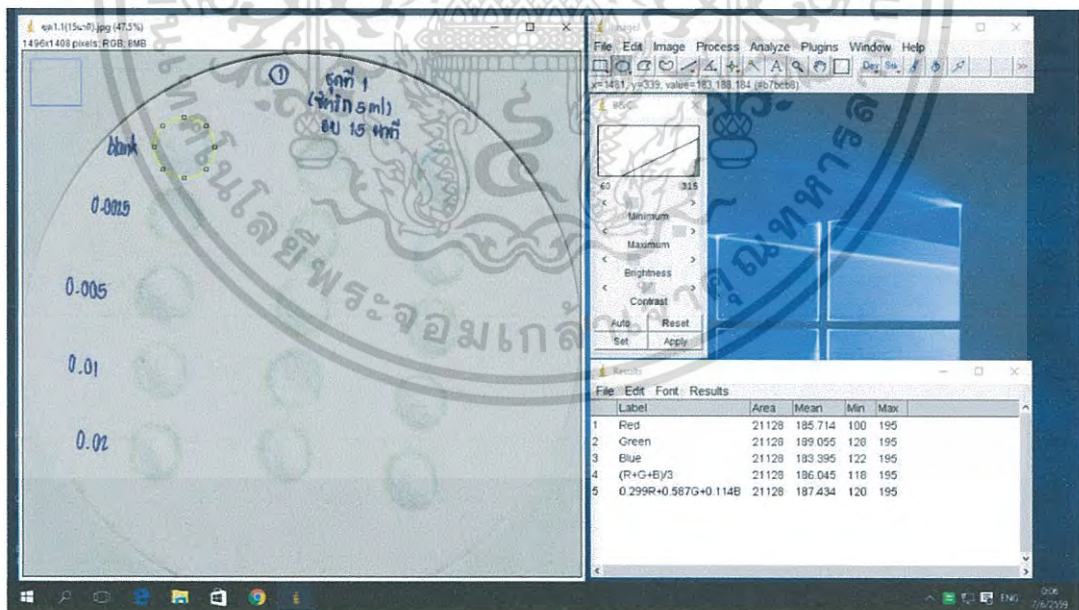


รูปที่ ก.1 หน้าต่างโปรแกรม Image JTM และการเรียกวัดหน้าต่างความเข้มแสง

5. เมื่อกำหนดวงกลมที่บริเวณที่ต้องการวัด Red Green และ Blue โดยเลือก Plugins---> Analyze---> RGB Measure จะได้ค่า Red Green และ Blue



รูปที่ ก.2 หน้าต่างโปรแกรม Image JTM และการวัด Red Green และ Blue



รูปที่ ก.3 หน้าต่างโปรแกรม Image JTM และแสดงค่า Red Green และ Blue

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิง จากรูปที่ 4.2 หน้า 25

ตาราง ข.1 แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ของระบบโซล-เจลเจือกับน้ำยาเคมีผสม

ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร)	ระบบโซล-เจลเจือกับน้ำยาเคมีผสม			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	190.50±0.80	191.14±0.75	186.98±0.72	*
0.0025	191.36±0.82	191.95±0.74	187.97±0.60	1.74±0.10
0.005	191.56±0.41	192.15±0.40	188.35±0.68	2.02 ±0.85
0.01	191.63±0.54	192.16±0.51	188.59±0.74	2.22 ±1.03
0.02	192.07±0.15	192.61±0.13	188.65±0.44	2.73±0.41
0.04	192.08±0.38	192.37±0.35	190.18±0.41	3.77±0.62
0.06	192.32±0.20	192.60±0.21	190.41±0.15	4.15±0.28
0.08	192.41±0.08	192.69±0.05	190.55±0.17	4.33±0.19
0.10	192.95±0.12	193.23±0.09	191.00±0.22	5.15±0.24

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญญาณของ blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสง โดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) และ %RSD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิง จากรูปที่ 4.3 หน้า 26

ตาราง ค.1 แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของการรายงานผลค่าความแตกต่างความเข้มแสงในเทอมค่าความแตกต่างความเข้มแสง

ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร)	การรายงานผลค่าความแตกต่างความเข้มแสง			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	189.63±0.99	190.31±0.95	186.46±1.28	*
0.0025	191.32±0.55	191.93±0.49	188.45±0.81	3.07±1.07
0.005	190.89±0.52	191.52±0.52	187.83±0.17	2.25±0.65
0.01	191.43±0.55	191.99±0.53	188.69±0.51	3.33±0.99
0.02	191.75±0.35	192.30±0.34	188.81±0.37	3.74±0.60
0.04	192.35±0.07	192.65±0.04	190.24±0.21	5.21±0.19
0.06	192.41±0.37	192.71±0.34	190.45±0.41	5.42±0.64
0.08	192.88±0.20	193.18±0.19	190.88±0.22	6.19±0.32
0.10	193.02±0.12	193.32±0.11	191.01±0.15	6.42±0.21

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญญาณของ blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสง โดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) และ %RSD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

ภาคผนวก ง.

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิง จากรูปที่ 4.4 หน้า 27

ตาราง ง.1 แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของการหาปริมาณฟอสเฟตโดยใช้กรดซัลฟิวริกบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร)	หาปริมาณฟอสเฟตโดยใช้กรดซัลฟิวริก			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	207.36±27.70	205.77±29.95	201.39±36.14	*
0.0025	223.96±1.78	223.96±1.78	223.96±1.79	33.40±3.07
0.005	199.74±32.29	194.45±39.75	186.89±50.43	61.10±42.77
0.01	203.55±27.23	200.28±31.86	194.78±39.64	51.27±28.07
0.02	187.07±26.98	183.72±29.57	175.65±35.42	63.14±20.76
0.04	167.95±0.46	161.19±3.32	146.06±6.90	81.34±6.67
0.06	167.27±1.44	158.67±1.25	143.09±3.09	85.04±2.41
0.08	164.66±4.22	155.00±5.76	138.85±6.86	91.18±9.88
0.10	168.09±1.86	158.30±3.16	140.97±4.74	86.30±5.89

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญญาณของ blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสง โดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) และ %RSD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

ภาคผนวก จ.

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิง จากรูปที่ 4.6 หน้า 29

ตาราง จ.1 แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ของการหาปริมาณฟอสเฟตโดยใช้กรดซิดริก

ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร)	หาปริมาณฟอสเฟตโดยใช้กรดซิดริก			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	190.67±0.23	191.55±0.21	187.52±0.22	*
0.0025	190.12±0.54	191.00±0.51	187.26±0.58	0.93±0.84
0.005	190.79±0.66	191.69±0.58	187.86±0.65	1.09±0.38
0.01	190.70±0.56	191.45±0.56	187.44±0.85	1.09±0.24
0.02	190.71±0.58	191.63±0.51	187.83±0.71	1.01±0.42
0.04	190.84±0.61	191.77±0.56	188.07±0.70	1.20±0.35
0.06	191.40±0.40	192.18±0.36	188.30±0.49	1.25±0.71
0.08	191.17±0.26	192.03±0.26	188.04±0.17	0.89±0.35
0.10	191.20±0.53	192.01±0.51	188.25±0.42	1.17±0.62

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญญาณของ blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสง โดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) และ %RSD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

ภาคผนวก ฉ.

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิง จากรูปที่ 4.8 หน้า 30

ตาราง ฉ.1 แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของการทดสอบกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 2.5 โมลาร์ และกรดซिटริกที่ความเข้มข้น 1, 2, 3 โมลาร์

ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร)	ทดสอบกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้น 2.5 โมลาร์			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	187.86±0.65	189.55±0.60	184.39±0.47	*
0.0025	187.80±0.29	189.75±0.26	184.85±0.44	0.63±0.46
0.005	188.46±0.52	190.25±0.35	185.28±0.70	1.33±0.85
0.01	187.90±0.95	189.27±0.87	183.69±0.95	1.46±1.01
0.02	188.54±0.39	190.28±0.42	185.03±0.92	1.41±0.75
0.04	188.67±0.13	190.30±0.07	185.21±0.16	1.39±0.08
0.06	189.10±0.98	190.75±0.56	185.85±1.00	2.32±1.40
0.08	187.29±1.63	189.38±1.17	184.97±1.04	2.06±1.25
0.10	188.36±0.57	189.95±0.48	184.89±0.56	1.13±0.48
ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร)	ทดสอบกรดซิทริกที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	190.49±0.27	191.35±0.25	140.67±0.21	*
0.0025	190.27±0.32	191.32±0.30	188.06±0.54	47.40±0.54
0.005	190.58±0.29	191.57±0.26	188.31±0.41	47.64±0.41
0.01	190.54±0.59	191.64±0.49	188.23±0.61	47.57±0.61
0.02	190.65±0.40	191.66±0.34	188.39±0.29	47.73±0.30
0.04	190.99±0.19	191.93±0.19	188.44±0.38	47.78±0.38
0.06	191.35±0.28	192.29± 0.24	188.89±0.38	48.24±0.38
0.08	190.71±0.28	191.72±0.24	188.01±0.29	47.34±0.29
0.10	190.26±0.36	191.10±0.38	187.67±0.35	47.01±0.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ. (ต่อ)

ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร)	ทดสอบกรดซิดริกที่ความเข้มข้น 2 โมลาร์			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	191.92±0.17	192.45±0.18	187.84±0.21	*
0.0025	200.33±0.64	152.67±0.68	197.85±0.74	15.85±1.19
0.005	200.78±0.22	201.87±0.26	198.41±0.25	16.70±0.41
0.01	200.53±0.93	201.62±0.89	198.02±0.70	16.18±1.43
0.02	190.78±0.24	191.91±0.28	188.36±0.29	1.42±0.23
0.04	190.97±0.25	192.07±0.25	188.49±0.15	1.25±0.22
0.06	190.99±0.03	192.07±0.03	188.80±0.12	1.40±0.06
0.08	190.44±0.20	191.71±0.11	188.08±0.11	1.67±0.20
0.10	190.56±0.28	191.78±0.20	188.16±0.38	1.61±0.24
ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร)	ทดสอบกรดซิดริกที่ความเข้มข้น 3 โมลาร์			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	191.13±0.26	192.00±0.28	187.29±0.14	*
0.0025	190.86±0.32	191.79±0.31	187.48±0.31	0.61±0.28
0.005	191.44±0.12	192.34±0.10	187.95±0.08	0.80±0.15
0.01	190.62±0.25	191.60±0.23	187.23±0.08	0.66±0.32
0.02	191.56±0.21	192.48±0.15	188.38±0.38	1.27±0.44
0.04	191.55±0.66	192.37±0.58	188.27±0.72	1.39±0.80
0.06	191.20±0.67	192.21±0.57	188.04±0.75	1.34±0.39
0.08	190.82±0.12	191.83±0.13	187.38±0.12	0.40±0.12
0.10	190.97±0.34	191.87±0.30	187.62±0.25	0.63±0.14

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญญาณของ blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสง โดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) และ %RSD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิง จากรูปที่ 4.9 หน้า 31

ตาราง ข.1 แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของการทดสอบเวลาการรอแอสคอร์บิกแห้งที่อุณหภูมิห้องในเวลาต่างๆ คือ 30, 60 และ 90 นาที

ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร)	ทดสอบเวลาการรอแอสคอร์บิกแห้งที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	190.05±0.52	191.84±0.28	188.56±0.19	*
0.0025	189.25±0.83	191.13±0.61	188.67±0.81	1.44±0.90
0.005	189.05±0.19	191.22±0.39	188.77±0.65	1.41±0.21
0.01	188.94±0.76	191.28±0.55	188.74±0.72	1.55±0.77
0.02	189.62±0.69	191.71±0.70	188.96±0.97	1.47±0.32
0.04	189.85±1.36	191.83±1.08	188.89±1.29	1.85±1.18
0.06	191.30±0.46	193.04±0.19	190.48±0.28	2.61±0.48
0.08	190.95±0.75	192.82±0.29	190.12±0.26	2.15±0.53
0.10	190.96±0.31	192.76±0.29	189.70±0.55	1.74 ±0.66
ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร)	ทดสอบเวลาการรอแอสคอร์บิกแห้งที่อุณหภูมิห้อง 60 นาที			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	189.82±0.66	192.06±0.41	189.45±0.29	*
0.0025	188.28±1.10	191.68±0.25	186.80±0.57	3.33±0.12
0.005	187.91±2.40	191.53±1.32	186.89±1.44	3.58±2.68
0.01	187.82±0.87	191.45±0.44	186.10±0.34	4.01±0.76
0.02	185.81±2.18	189.26±1.66	183.95±2.03	7.40±3.33
0.04	184.19±1.41	188.39±1.33	183.52±1.36	8.99±2.22
0.06	190.60±0.39	192.77±0.16	189.64±0.52	1.24±0.27
0.08	190.52±0.43	192.71±0.26	189.89±0.26	1.07±0.54
0.10	190.43±0.30	192.39±0.42	189.14±0.51	1.02±0.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. (ต่อ)

ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร)	ทดสอบเวลาการรอแอสคอร์บิกแห้งที่อุณหภูมิห้อง 90 นาที			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	190.63±0.60	192.21±0.11	189.30±0.28	*
0.0025	188.42±0.82	191.69±0.15	186.82±0.37	3.47±0.22
0.005	188.26±0.59	191.68±0.17	186.21±0.66	4.02±0.22
0.01	187.81±0.34	191.39±0.30	186.94±0.22	3.80±0.18
0.02	186.97±0.34	190.45±0.38	185.04±0.75	5.90±0.79
0.04	186.56±0.82	190.05±0.45	184.94±0.87	6.39±0.97
0.06	190.86±0.14	192.79±0.03	189.93±0.37	0.95±0.23
0.08	190.73±0.53	192.78±0.31	190.19±0.43	1.18±0.55
0.10	190.56±0.19	192.47±0.07	189.91±0.17	0.70±0.15

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญญาณของ blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสง โดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) และ %RSD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

ภาคผนวก ข.

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิง จากรูปที่ 4.10 หน้า 32

ตาราง ข.1 แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ของการทดสอบเวลาการอบแอสคอร์บิกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสในเวลาต่างๆ คือ 5, 10, 15 และ 20 นาที

ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร)	ทดสอบเวลาการอบแอสคอร์บิกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	187.03±0.64	190.15±0.39	185.87±0.76	*
0.0025	188.52±0.78	190.96±0.41	186.91±0.61	2.00±1.04
0.005	189.24±0.53	191.37±0.36	187.27±0.90	2.94±0.95
0.01	189.33±0.78	191.71±0.50	187.49±0.66	3.24±1.07
0.02	188.36±0.22	191.06±0.23	186.79±0.34	1.87±0.39
0.04	190.51±0.62	192.38±0.37	189.66±0.38	5.61±0.79
0.06	190.80±0.37	192.37±0.26	189.59±0.52	5.75±0.65
0.08	191.41±0.47	192.82±0.25	190.61±0.29	6.98±0.59
0.10	190.23±0.36	192.16±0.04	189.73±0.07	5.41±0.22
ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร)	ทดสอบเวลาการอบแอสคอร์บิกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	185.10±0.99	189.19±0.65	183.71±0.55	*
0.0025	184.25±0.84	188.59±0.58	183.30±0.97	1.68±1.68
0.005	184.42±0.84	188.68±0.67	183.29±0.55	1.43±0.56
0.01	185.10±1.03	189.72±0.94	184.65±1.24	1.65±1.65
0.02	185.18±0.72	189.32±0.86	184.22±1.57	1.97±0.35
0.04	189.70±1.10	191.60±0.69	189.18±0.86	7.56±1.50
0.06	189.45±0.83	191.44±0.64	188.84±0.94	7.09±1.38
0.08	189.15±0.26	191.41±0.24	188.53±0.58	6.68±0.62
0.10	189.69±1.04	191.72±0.50	188.96±0.73	7.43±1.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. (ต่อ)

ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร)	ทดสอบเวลาการอบแอสคอร์บิกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	183.68±1.40	187.95±1.06	183.45±0.88	*
0.0025	184.39±1.33	188.51±1.04	183.63±1.60	2.20±1.20
0.005	185.16±1.49	189.32±1.10	184.76±1.12	2.67±1.83
0.01	185.30±0.36	189.30±0.08	184.25±0.04	2.27±0.29
0.02	185.64±0.32	189.54±0.11	184.48±0.22	2.74±0.27
0.04	191.08±1.07	193.32±39.89	190.66±0.98	11.64±1.71
0.06	192.27±0.46	194.29±0.44	191.70±0.28	13.50±0.66
0.08	191.56±0.77	193.87±0.67	191.02±0.50	12.43±1.11
0.10	191.57±0.45	193.87±0.37	191.01±1.08	12.43±1.05
ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร)	ทดสอบเวลาการอบแอสคอร์บิกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	187.57±0.17	190.45±4.32	188.28±0.28	*
0.0025	188.53±0.57	191.07±0.37	188.62±0.43	1.22±0.75
0.005	188.09±0.60	190.88±0.33	188.27±0.46	0.90±0.57
0.01	188.78±0.67	139.67±0.79	188.75±1.08	2.03±0.74
0.02	189.24±0.22	191.66±0.23	189.17±0.36	2.26±0.42
0.04	179.59±0.45	184.69±26.13	180.77±1.23	12.39±1.39
0.06	180.46±0.64	185.13±0.34	181.16±0.42	11.39±0.80
0.08	180.22±1.17	185.02±1.02	180.86±1.45	11.78±2.11
0.10	178.76±1.34	184.54±0.97	180.04±1.21	13.44±2.02

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญญาณของ blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสง โดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) และ %RSD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิง จากรูปที่ 4.11 หน้า 33

ตาราง ฉ.1 แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ของการทดสอบปริมาณกรดซิตริกในน้ำยาเคมีผสมปริมาตร 5, 10, 15 และ 20 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร)	กรดซิตริกในน้ำยาเคมีผสมปริมาตร 5 มิลลิลิตร			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	185.10±0.99	189.19±0.65	183.71±0.55	*
0.0025	184.25±0.84	188.59±0.58	183.30±0.97	1.68±0.63
0.005	184.42±0.84	188.68±0.67	183.29±0.55	1.43 ±0.56
0.01	186.00±1.03	189.72±0.94	184.65±1.24	1.65±1.65
0.02	185.18±0.72	189.32±0.86	184.22±1.57	1.97±0.35
0.04	189.70±1.10	191.60±0.69	189.18±0.86	7.56±1.50
0.06	189.45±0.83	191.44±0.64	188.84±0.94	7.09±1.38
0.08	189.15±0.26	191.41±0.24	188.53±0.58	6.68±0.62
0.10	189.69±1.04	191.72±0.50	188.96±0.73	7.43±1.33
ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร)	กรดซิตริกในน้ำยาเคมีผสมปริมาตร 10 มิลลิลิตร			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	191.27±0.25	191.99±0.23	189.42±0.27	*
0.0025	191.70±0.08	192.52±0.04	189.95±0.23	0.88±0.18
0.005	192.09±0.37	192.73±0.30	190.33±0.55	1.44±0.72
0.01	192.24±0.22	192.87±0.17	190.26±0.52	1.60±0.46
0.02	192.47±0.05	193.08±0.08	190.64±0.14	2.03±0.09
0.04	189.19±0.41	190.79±0.48	187.15±0.53	3.32±0.78
0.06	189.90±0.33	191.34±0.30	187.80±0.75	2.23±0.84
0.08	189.80±0.80	191.19±0.80	187.14±0.91	2.88±1.37
0.10	190.14±0.21	191.61±0.19	187.43±0.49	2.33±0.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ณ. (ต่อ)

ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร)	กรดซिटริกในน้ำยาเคมีผสมปริมาตร 15 มิลลิลิตร			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	190.95±0.36	191.84±0.30	188.23±0.51	*
0.0025	191.00±0.36	191.87±0.33	188.31±0.36	0.60±0.11
0.005	190.95±0.34	191.84±0.32	188.09±0.41	0.59±0.24
0.01	190.75±0.42	191.67±0.38	188.29±0.46	0.67±0.40
0.02	190.73±0.32	191.59±0.30	188.10±0.49	0.73±0.15
0.04	189.84±0.78	190.77±0.80	187.26±0.87	1.83±1.40
0.06	189.05±0.42	190.06±0.50	186.63±0.27	3.07±0.64
0.08	190.11±0.36	191.01±0.33	187.60±0.29	1.34±0.56
0.10	190.40±0.74	191.37±0.68	188.10±0.95	1.27±0.91
ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร)	กรดซิทริกในน้ำยาเคมีผสมปริมาตร 20 มิลลิลิตร			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	190.50±0.80	191.14±0.75	186.99±0.72	*
0.0025	191.36±0.82	191.95±0.74	187.97±0.60	1.74±0.96
0.005	191.56±0.41	192.15±0.39	188.35±0.68	2.02±0.86
0.01	191.63±0.54	192.16±0.51	188.59±0.74	2.22± 1.03
0.02	192.07±0.15	192.61±0.13	188.65±0.44	2.73±0.41
0.04	192.08±0.38	192.38±0.35	190.18±0.41	3.78±0.62
0.06	192.32±0.20	192.60±0.21	190.41±0.15	4.15±0.28
0.08	192.41±0.08	192.69±0.05	190.55±0.17	4.33±0.19
0.10	192.95±0.12	193.23±0.09	191.00±0.22	5.15±0.24

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญญาณของ blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสง โดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) และ %RSD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ญ.

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิง จากรูปที่ 4.12 หน้า 34

ตาราง ญ.1 แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ของสถานะที่เหมาะสมในการตรวจวัดด้วยชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดที่ได้ผลดีที่สุด

ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร)	สถานะที่เหมาะสมในการตรวจวัดด้วยชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดที่ได้ผลดีที่สุด			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	190.50±0.80	191.14±0.75	186.98±0.72	*
0.0025	191.36±0.82	191.95±0.74	187.97±0.60	1.74±0.10
0.005	191.56±0.41	192.15±0.40	188.35±0.68	2.02±0.85
0.01	191.63±0.54	192.16±0.51	188.59±0.74	2.22±1.03
0.02	192.07±0.15	192.61±0.13	188.65±0.44	2.73±0.41
0.04	192.08±0.38	192.37±0.35	190.18±0.41	3.77±0.62
0.06	192.32±0.20	192.60±0.21	190.41±0.15	4.15±0.28
0.08	192.41±0.08	192.69±0.05	190.55±0.17	4.33±0.19
0.10	192.95±0.12	193.23±0.09	191.00±0.22	5.15±0.24

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญญาณของ blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสง โดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) และ %RSD คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

ภาคผนวก ก.

การคำนวณขีดจำกัดของการตรวจพบ (LOD) และขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (LOQ)

ศึกษาขีดจำกัดของการตรวจพบและขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณของชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดในระบบโซล-เจลเจือด้วยน้ำยาเคมีผสม จากรูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟตกับค่าความเข้มแสง พบว่าได้สมการเชิงเส้นตรงคือ $y = 34.096x + 1.8795$ และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.946

จากสมการเชิงเส้นสามารถคำนวณหาขีดจำกัดของการตรวจพบและขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณได้ โดยค่าในการคำนวณแสดงดังตาราง ก.1

ตาราง ก.1 ตารางแสดงการคำนวณหาขีดจำกัดของการตรวจพบและขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณของชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดในระบบโซล-เจลเจือด้วยน้ำยาเคมีผสม

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิกรัมฟอสเฟตต่อลิตร)	y_i	\hat{y}_i	$y_i - \hat{y}_i$	$(y_i - \hat{y}_i)^2$
0.0025	1.54	1.96	-0.43	0.1843
0.005	2.00	2.05	-0.05	0.0023
0.01	2.21	2.22	-0.01	0.0002
0.02	2.72	2.56	0.16	0.0248
0.04	3.77	3.24	0.53	0.2766
0.06	4.15	3.93	0.22	0.0488
0.08	4.33	4.60	-0.28	0.0768
0.10	5.15	5.29	-0.14	0.0192

โดยที่ y_i คือ ค่าสัญญาณที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด

\hat{y}_i คือ ค่าสัญญาณที่ควรเป็น โดยคำนวณจากสมการเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. (ต่อ)

จากตารางที่ ก.1 เมื่อได้ค่าผลรวมของผลต่างของสัญญาณที่อ่านได้จากเครื่องมือตรวจวัด และค่าสัญญาณที่ควรเป็นยกกำลังสอง นำค่าผลรวมดังกล่าวมาคำนวณหาค่า S_b

$$S_b = \sqrt{\frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n-2}} \quad (2)$$

จากสมการที่ 2 สามารถคำนวณค่า S_b เท่ากับ 0.3248 ซึ่งสามารถคำนวณขีดจำกัดของการตรวจพบและขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณได้ จากสมการ

$$LOD = Y_b + 3S_b \quad (3)$$

$$LOQ = Y_b + 10S_b \quad (4)$$

จากสมการคำนวณค่า LOD และ LOQ ได้ขีดจำกัดของการตรวจพบเท่ากับ 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร และขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณเท่ากับ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

