

การพัฒนาชุดทดสอบภาคสนามเพื่อวิเคราะห์ซัลเฟต
ในดินเหนียวที่ทำให้เกิดคราบขาวในอิฐ

DEVELOPMENT OF TEST KIT FOR DETERMINATION
OF SULFATE IN CLAY THAT CAUSE SCUMMING
IN BRICK MANUFACTURE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเอกสารฉบับนี้
ปีการศึกษา 2561 ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF TEST KIT FOR DETERMINATION
OF SULFATE IN CLAY THAT CAUSE SCUMMING
IN BRICK MANUFACTURE



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABAN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ **ACADEMIC YEAR 2018** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การพัฒนาชุดทดสอบภาคสนามเพื่อวิเคราะห์ซัลเฟตในดินเหนียว
ที่ทำให้เกิดคราบขาวในอิฐ

Development of Test Kit for Determination of Sulfate in
Clay that Causc Scumming in Brick Manufacture

ชื่อนักศึกษา

นางสาวรสมาลี พวงพุดมี รหัสนักศึกษา 58050535
นางสาวสุปราณี ส่องแสง รหัสนักศึกษา 58050560

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี


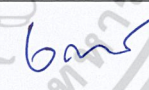
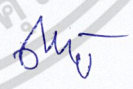
ปีการศึกษา

2561

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. ญัฐวุฒิ เชียงชั้น

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
(เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.เสาวภาคย์ อีราทรง กรรมการ	
ผศ.ดร.ญัฐวุฒิ เชียงชั้น กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาชุดทดสอบภาคสนามเพื่อวิเคราะห์ซัลเฟตในดินเหนียว ที่ทำให้เกิดคราบขาวในอิฐ		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวรสมาลี	พวงพุดมี	รหัสนักศึกษา 58050535
	นางสาวสุปราณี	ส่องแสง	รหัสนักศึกษา 58050560
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2561		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เขิงชั้น		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ นำเสนอการพัฒนาชุดทดสอบภาคสนามสำหรับตรวจวัดซัลเฟตในดินที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอิฐ หลักการตรวจวัดอาศัยการทำปฏิกิริยาระหว่างไอออนของซัลเฟตกับแบเรียมคลอไรด์ และติดตามผลิตภัณฑ์สีชมพูที่เกิดขึ้น ชุดทดสอบประกอบด้วย (1) ขวดพลาสติกขนาดเล็ก (2) คาร์ทริดจ์สำหรับทำปฏิกิริยา และ (3) แผ่นแถบสีมาตรฐาน โดยขวดพลาสติกใช้เพื่อบรรจุและสกัดตัวอย่างดินโดยมีน้ำเป็นตัวสกัด ภายในคาร์ทริดจ์ บรรจุวัสดุ 4 ชั้น เรียงตามลำดับจากบนลงล่างดังต่อไปนี้: ผงถ่าน ผงคลอไรด์ กระจดาชกรอง (Whatman™ เบอร์ 4) และสำลี เมื่อหยดสารละลายที่ได้จากการสกัดลงในคาร์ทริดจ์ สารละลายจะเคลื่อนที่ผ่านชั้นผงถ่านเพื่อกำจัดสีและทำให้สารละลายดินใสขึ้น แล้วจึงไหลผ่านชั้นคลอไรด์ เกิดการทำปฏิกิริยา ได้เป็นสารละลายผลิตภัณฑ์สีชมพู ไหลเข้าสู่ชั้นกระจดาชกรองและถูกดูดซับไว้บนชั้นสำลี ซึ่งจะนำไปเทียบกับแผ่นแถบสีมาตรฐาน แล้วสังเกตด้วยตาเปล่าเพื่อประเมินหาค่าความเข้มข้นของซัลเฟตในตัวอย่างดินต่อไป

ได้ทำการหาสภาวะการทดลองที่เหมาะสมโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่าได้สภาวะที่เหมาะสมดังนี้: น้ำหนักของผงคลอไรด์ เท่ากับ 0.008 กรัม และเวลาในการทำปฏิกิริยา คือ 5 นาที เมื่อทำการทดสอบเบื้องต้นด้วยชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้น พบว่าน้ำหนักตัวอย่างดินที่เหมาะสม คือ 0.24 กรัม ปริมาตรของสารสกัด (น้ำ) และเวลาที่ใช้ในการสกัดเท่ากับ 4.5 มิลลิลิตร และ 5 นาที ตามลำดับ ยังพบว่าชุดทดสอบนี้ สามารถตรวจวัดซัลเฟตได้ในช่วงความเข้มข้นตั้งแต่ 0 ถึง 400 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตาม ยังคงต้องทำการศึกษากับตัวอย่างดิน จำนวนตัวอย่างเพิ่มเติมในขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ คำสำคัญ : ชุดทดสอบภาคสนาม, ซัลเฟต, ดิน, อิฐ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Development of Test Kit for Determination of Sulfate in Clay that Causc Scumming in Brick Manufacture	
Students	Miss Rosemary Pongputh	Student ID 58050535
	Miss Suprani Songsaeng	Student ID 58050560
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)	
Department	Chemistry	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2018	
Advisor	Asst. Prof. Dr. Nathawut Choengchan	

Abstract

This work demonstrates development of a test kit for analysis of sulfate in clay for brick manufacturing. Detection principle is based on the reaction of sulfate ion and barium chloranilate where a pink-colored product is monitored. The test kit is composed of (i) a mini-plastic bottle, (ii) a reaction cartridge and (iii) a standard colorimetric chart. The plastic bottle is employed for extraction of sulfate ion from sample by using water as an extractant. The reaction cartridge is designed to fill with four layers of materials which are (from top to bottom): charcoal powder, chloranilate powder, filter paper (Whatman™ No.4) and cotton wool. After dropping of sample extract from the plastic bottle into the cartridge, the extracted solution flowed through the charcoal for decolorization. Sulfate ion in the extract then reacted with chloranilate and the pink-colored solution of product was trapped in the cotton wool. The color in the wool was finally compared to the standard colorimetric chart by naked eye detection for semi-quantitative analysis of sulfate in clay.

The opimal conditions for detection were studied by UV-Vis spectrophotometer. The suitable conditions were summarized as the followings: weight of chloranilate = 0.008 g and reaction time = 5 min. The developed kit was preliminarily tested. It was observed that the suitable weight of soil, the extractant volume and the extraction time were: 0.24 g, 4.5 mL and 5 min, respectively. This kit was applicable for detection

of sulfate in the concentration range of 0 - 400 mg L⁻¹. However, further study on large numbers of samples will be carried out in the next work.

Keywords : Test kit, Sulfate, Clay, Brick



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเรื่องนี้ สำเร็จได้ด้วยดีเพราะได้รับคำแนะนำต่างๆ จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ เชิงชั้น อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ อีกทั้งยังช่วยตรวจทานโครงการพิเศษฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ซึ่งทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวภาคย์ ธีราทรง ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบโครงการพิเศษในครั้งนี้ ตลอดจนให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้โครงการพิเศษฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ หน่วยวิจัยเคมีวิเคราะห์เชิงประยุกต์ และขอขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ทุกท่านในภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบพระคุณ ดร.อาจณรงค์ เมธาวิสรเสริญ ตลอดจนนักศึกษาปริญญาโทและปริญญาเอกทุกท่านในหน่วยวิจัยเคมีวิเคราะห์เชิงประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่คอยให้คำปรึกษา ชี้แนะ แนวทางในการดำเนินงานตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งการดำเนินงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา และขอบคุณเพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจ และอยู่เคียงข้างตลอดมา

สุดท้ายนี้ทางผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการพิเศษฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ในด้านการศึกษา แก่ผู้ที่สนใจ และหากมีความผิดพลาดประการใดทางคณะผู้จัดทำก็ขออภัย ณ โอกาสนี้

รสมาลี พวงพุดิ

สุปราณี ส่องแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป	ฉ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 กระบวนการผลิตอิฐมอญ.....	3
2.1.1 ขั้นตอนการผลิตอิฐมอญ	3
2.1.2 ประเภทของอิฐมอญ	4
2.1.3 ลักษณะของอิฐมอญ	6
2.2 การเกิดคราบขาวบนอิฐ	6
2.3 องค์ประกอบของดินที่ใช้ในการผลิตอิฐ.....	6
2.4 หลักการตรวจวัด.....	7
2.4.1 หลักการตรวจวัดด้วยตาเปล่า และชุดทดสอบภาคสนาม (Test Kit).....	7
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	10
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์	10
3.1.1 สารเคมี.....	10
3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือตรวจวัด.....	11
3.2 การเตรียมสารละลาย.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน	12
3.2.2 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์	13
3.2.3 การเตรียมผงแบเรียมคลอไรด์	14
3.3 การศึกษาปฏิกิริยาที่ใช้ในการตรวจวัด	14
3.4 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการตรวจวัด	15
3.4.1 การศึกษาปริมาณแบเรียมคลอไรด์ที่เหมาะสม	15
3.4.2 การศึกษาอิทธิพลของการกรองตะกอนก่อนการตรวจวัด	16
3.4.3 การศึกษาเวลาในการตรวจวัด	17
3.5 การศึกษาออกแบบชุดทดสอบภาคสนาม	18
3.5.1 อุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาน	18
3.5.2 อุปกรณ์ตรวจวัดในคอลัมน์ขนาดเล็ก	20
3.6 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดหาปริมาณซัลเฟต โดยใช้ชุดทดสอบภาคสนาม	20
3.6.1 ศึกษาอิทธิพลของการใส่กระดาษกรองในคอลัมน์	20
3.6.2 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณสำลี	21
3.6.3 ศึกษาอิทธิพลของการใส่เอทานอลและ โปแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต	22
3.6.4 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา	23
3.6.5 ศึกษาอิทธิพลของ pH	23
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	24
4.1 การศึกษาปฏิกิริยาที่ใช้ตรวจวัด	24
4.2 ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการตรวจวัด	25
4.2.1 ศึกษาปริมาณ Barium chloranilate ที่เหมาะสม	25
4.2.2 ศึกษาอิทธิพลของการกรองตะกอนก่อนการตรวจวัด	27
4.2.3 ศึกษาเวลาในการตรวจวัด	28
4.3 การออกแบบชุดทดสอบภาคสนาม	29
4.3.1 อุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาน	29
4.3.2 อุปกรณ์ตรวจวัดในคอลัมน์ขนาดเล็ก	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดหาปริมาณซัลเฟต โดยใช้ชุดทดสอบภาคสนาม	34
4.4.1 ศึกษาอิทธิพลของการใส่กระดาษกรองในคอลัมน์	34
4.4.2 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณสำลี	35
4.4.3 ศึกษาอิทธิพลของการใส่เอทานอลและ โฟแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต	37
4.4.4 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา	38
4.4.5 ศึกษาอิทธิพลของ pH	39
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	41
5.1 สรุปผลการวิจัย	41
5.2 ข้อเสนอแนะ	41
เอกสารอ้างอิง	42
ภาคผนวก	44
ภาคผนวก ก	45
ภาคผนวก ข	46
ภาคผนวก ค	48
ภาคผนวก ง	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความต้านแรงอัดและการดัดของอิฐมอญตันตาม มอก.77-2545	5
2.2 การดัดของอิฐมอญตาม มอก.153-2540	5
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	10
4.1 ผลการทดลองแสดมปีครั้งที่ 1	31
4.2 ผลการทดลองแสดมปีครั้งที่ 2	31



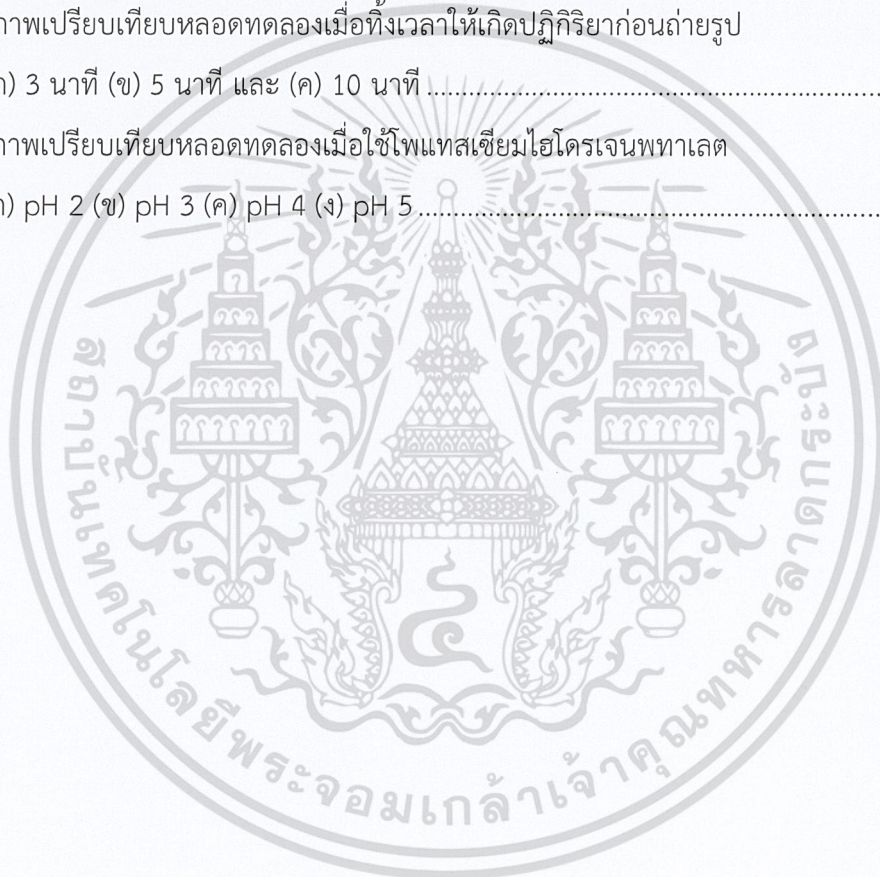
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบลักษณะของอิฐมอญ	4
3.1 ลวดลายอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาศ.....	18
3.2 ตำแหน่งที่ทำการวัดของอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาศ	19
4.1 รูปภาพแสดงผลของการทดลอง (ก) รูปถ่ายสารละลายที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ตามความเข้มข้นของซัลเฟต (ข) แสดงสเปกตรัมของสารละลาย $\lambda_{max} = 530 \text{ nm}$	24
4.2 รูปภาพสีสารละลายเมื่อใช้แบเรียมคลอไรด์ที่ปริมาณแตกต่างกัน (ก) 0.001 กรัม (ข) 0.004 กรัม (ค) 0.008 กรัม (ง) 0.01 กรัม	25
4.3 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตเมื่อใช้ $\text{BaC}_6\text{Cl}_2\text{O}_4$ ปริมาณต่างๆ	26
4.4 ภาพการเปรียบเทียบสเปกตรัมของสารละลาย (ก) สเปกตรัมของสารละลายที่ไม่ผ่านการกรอง ก่อนการตรวจวัด (ข) สเปกตรัมของสารละลายที่ผ่านการกรองก่อนการตรวจวัด	27
4.5 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตเมื่อใช้เวลาในการตรวจวัดต่างกัน.....	28
4.6 รูปภาพลวดลายอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาศ	29
4.7 รูปภาพผลการทดลองพบว่าหาปริมาณสารตัวอย่างที่เหมาะสม (ก) 10 ไมโครลิตร (ข) 20 ไมโครลิตร (ค) 30 ไมโครลิตร (ง) 40 ไมโครลิตร (จ) 50 ไมโครลิตร.....	30
4.8 ภาพแสดงตำแหน่งที่วัดลวดลายอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาศ	31
4.9 ภาพอุปกรณ์ตรวจวัดที่ออกแบบ (ก) ส่วนใส่คอลัมน์ขนาดเล็กเจาะช่องด้านหน้าเพื่อสังเกตสีที่ เกิดขึ้นภายในหลอด (ข) ส่วนตรวจวัดเจาะช่องด้านหน้าในระดับเดียวกับช่องด้านขวาที่ใช้สังเกตสี เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบสีกับแถบสีได้ (ค) ที่เก็บอุปกรณ์ภายใน ได้แก่ ขวดเตรียมตัวอย่าง หลอดทดลองขนาดเล็ก	32
4.10 ขวดเตรียมตัวอย่าง	33
4.11 หลอดทดลองขนาดเล็ก (ก) ชั้นของสำลี (ข) ชั้นของแบเรียมคลอไรด์กับกระดาศกรอง	33
4.12 วงล้อสีมาตรฐาน.....	34
4.13 ภาพเปรียบเทียบคอลัมน์เมื่อใส่กระดาศกรอง (ก) กับไม่ใส่กระดาศกรอง (ข).....	34
4.14 ภาพเปรียบเทียบหลอดทดลองที่ใช้สำลีความหนาแน่นระดับแตกต่างกัน (ก) สำลีที่มีความหนาแน่น 0.067 กรัมต่อมิลลิลิตร (ข) สำลีที่มีความหนาแน่น 0.100 กรัมต่อมิลลิลิตร (ค) สำลีที่มีความหนาแน่น 0.200 กรัมต่อมิลลิลิตร.....	36

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 ภาพเปรียบเทียบอุปกรณ์ที่ใช้น้ำหนักสำลีแตกต่างกัน (ก) สำลีหนัก 0.10 กรัม (ข) สำลีหนัก 0.15 กรัม (ค) สำลีหนัก 0.20 กรัม.....	36
4.16 ภาพเปรียบเทียบสีของหลอดทดลองเมื่อ (ก) ใส่สารละลายมาตรฐานซัลเฟตเท่านั้น (ข) ใส่สารละลายมาตรฐานซัลเฟต, เอทานอลและบัฟเฟอร์ pH 4 (ค) ใส่สารละลายมาตรฐานซัลเฟตกับบัฟเฟอร์ pH 4 เท่านั้น	37
4.17 ภาพเปรียบเทียบหลอดทดลองเมื่อทิ้งเวลาให้เกิดปฏิกิริยาก่อนถ่ายรูป (ก) 3 นาที (ข) 5 นาที และ (ค) 10 นาที	38
4.18 ภาพเปรียบเทียบหลอดทดลองเมื่อใช้โพแทสเซียมไฮโครเจนซัลเฟต (ก) pH 2 (ข) pH 3 (ค) pH 4 (ง) pH 5.....	40



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
SO_4^{2-}	ซัลเฟตไอออน
$\text{BaC}_6\text{Cl}_2\text{O}_4$	แบเรียมคลอแลนนิเลต
KHP	โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต
mL	มิลลิลิตร
μL	ไมโครลิตร
ppm	มิลลิกรัมต่อลิตร
g	กรัม
nm	นาโนเมตร
λ_{max}	ความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการผลิตอิฐมอญมีอยู่ในหลายแหล่งของประเทศไทย โดยการผลิตอิฐมอญพบว่า ปัญหาหลัก คือ การเกิดคราบขาวหรือ สกัม (scum) บนผิวอิฐหลังการเผา ทำให้อิฐที่ผลิตไม่ได้คุณภาพตามที่ต้องการ เสียราคา และไม่เป็นที่ต้องการของตลาด เนื่องจากเมื่อนำอิฐไปใช้การก่อสร้าง จะทำให้ปูนที่ฉาบหลุดออก หรือในกรณีที่ต้องการแสดงผิวและสีสันทันของอิฐตามธรรมชาติ คราบขาว จะทำให้สีสันทันของอิฐไม่สวยงาม การเกิดคราบขาวในอิฐมีสาเหตุหลักจากเกลือที่ละลายน้ำเจือปนมาในเนื้อดินเหนียวที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอิฐ เมื่อนำอิฐไปใช้และเจอกับความชื้น น้ำจะพาเกลือในอิฐ ให้ละลายออกมาอยู่บนผิวหน้าของอิฐเกิดเป็นคราบสีขาว เกลือในดินส่วนใหญ่ที่พบจะอยู่ในรูปของ เกลือซัลเฟต ดังนั้นการตรวจวัดปริมาณซัลเฟตไอออนในดินที่จะนำมาผลิตอิฐก่อสร้างจึงเป็นทางเลือก เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ดินที่มีปริมาณซัลเฟตสูง ทำให้โอกาสในการเกิดคราบขาวลดลง

วิธีที่นิยมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตในดิน คือวิธีการวัดความขุ่น (Turbidimetric Method) โดยการตกตะกอนด้วยแบเรียมคลอไรด์ให้อยู่ในรูปแบเรียมซัลเฟต เกิดจากการเติมแบเรียมคลอไรด์มากเกินไป ลงในสารละลายดินตัวอย่างที่ผ่านการกรองแล้ว ซึ่งแบเรียมไอออนจะทำปฏิกิริยากับซัลเฟตไอออนเกิดเป็นตะกอนแบเรียมซัลเฟต ตกตะกอนเป็นคอลลอยด์อยู่ในสารละลาย จากนั้นนำไปวัดค่าความขุ่น (Turbidity) ของตะกอน ซึ่งสามารถใช้เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer ที่มีอยู่ตามห้องปฏิบัติการทั่วไปได้ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการวัดความขุ่น มีข้อจำกัดคือ จะต้องทำในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่สามารถพกพาไปใช้งานภาคสนามได้

ดังนั้น ในโครงการวิจัยนี้ จึงมีความสนใจที่จะออกแบบพัฒนาชุดทดสอบภาคสนามสำหรับวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตไอออนในดินก่อนที่จะนำมาผลิตอิฐ โดยอาศัยการดูความเข้มสีที่เกิดขึ้นของปฏิกิริยาระหว่างแบเรียมคลอไรด์กับซัลเฟตไอออน ซึ่งจะทำการปฏิกิริยากันในคอลัมน์ขนาดเล็ก และตรวจวัดจากการเปรียบเทียบสีที่เกิดขึ้นกับแถบสีมาตรฐาน ชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นนี้ มีข้อดีคือ ทำได้สะดวก รวดเร็ว มีน้ำหนักเบา และสามารถพกพานำไปทดสอบใช้งานนอกห้องปฏิบัติการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาชุดทดสอบภาคสนามสำหรับตรวจวัดปริมาณซัลเฟตในดินที่สามารถพกพาไปใช้งานข้างนอกได้สำหรับหาปริมาณซัลเฟตไอออนในดิน สะดวก รวดเร็ว
2. เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดหาปริมาณซัลเฟตไอออนด้วยชุดทดสอบ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาปฏิกิริยาที่ใช้ในการตรวจวัด
3. ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการตรวจวัด
4. ออกแบบชุดทดสอบภาคสนาม
5. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดหาปริมาณซัลเฟตไอออนโดยใช้ชุดทดสอบภาคสนาม
6. สรุปผลและเผยแพร่งานวิจัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ชุดทดสอบภาคสนามที่ออกแบบสามารถวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตไอออนในดินที่จะนำมาผลิตอิฐก่อสร้างได้สะดวก รวดเร็ว และสามารถนำไปใช้งานภาคสนามได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตอิฐมอญ [1]

อิฐมอญ (Brick) เป็นวัสดุก่อสร้างที่นิยมใช้กันมานานตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ผลิตมาจากการนำดินเหนียว ทราย ชี้เถ้าแกลบ และน้ำ ผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้ววดให้เป็นเนื้อเดียวกัน ใส่แบบพิมพ์ก้อนสี่เหลี่ยมตามขนาดที่ต้องการแล้วทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นนำไปเผาเพื่อให้ได้วัสดุที่คงรูป และมีความแข็งแรง ความคงทน

ปัจจัยสำคัญในการผลิตอิฐมอญ คือ การเลือกดินเหนียว ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอิฐมอญ จะต้องคำนึงถึง ความเหนียวของดินเพื่อให้ขึ้นรูปได้ง่าย อุณหภูมิในการเผาอยู่ที่ 950 - 1100 °C เพื่อให้อิฐมีความแข็งไม่มีการหดตัวหรือผิทรูปมากเกินไป

2.1.1 ขั้นตอนการผลิตอิฐมอญ [5] [10] [11] [13]

ขั้นตอนที่ 1 การเลือกดินที่จะนำมาผลิตอิฐ ลักษณะดินที่ใช้จะต้องมีสีแดงดำเป็นดินเหนียวปนดินร่วนมีทรายปนเล็กน้อย ก่อนนำไปใช้ตากลมไว้ 1 - 2 เดือน เพื่อที่จะทำให้ดินอ่อนและเหนียวยิ่งขึ้น ถ้าดินแข็งต้องนำเข้าเครื่องบดก่อนจะผสมเพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นใช้แกลบหรือชี้เถ้าผสมในอัตราส่วนไม่เกิน 25 % ถ้ามากกว่านี้จะได้อิฐที่เปราะไม่แข็งแรง

ขั้นตอนที่ 2 การหมักดิน นำดินลงหมักในบ่อดินที่เตรียมไว้ เทน้ำลงไปที่ดินจนดินชุ่มน้ำแล้วนำชี้เถ้าแกลบมาโรยบนดินที่เตรียมไว้ให้ทั่ว หนาประมาณ 1 - 2 ซม. แล้วทิ้งไว้ 1 คืน

ขั้นตอนที่ 3 การขึ้นรูปแผ่นอิฐ ทำได้ 2 วิธี คือ แบบที่ผลิตด้วยมือและแบบที่ใช้เครื่องจักร แบบที่ผลิตด้วยมือ หรือทำด้วยแรงคน จะต้องมีแม่พิมพ์ หรือแบบ อาจจะทำด้วยไม้หรือโลหะ ทำการอัดดินลงไปแบบ จากนั้นใช้ไม้หรือมือปาดให้ด้านบนเรียบเสมอกัน จึงนำแบบออก (พื้นล่างของแม่พิมพ์จะใช้ชี้เถ้าโรยไว้เพื่อป้องกันอิฐติดกับพื้น) นำอิฐไปผึ่งให้แห้งหมาดๆ แล้วตกแต่งให้เรียบร้อยก่อนจะนำเข้าเตาเผา

แบบที่ใช้เครื่องจักร ตักดินใส่เข้าไปในเครื่องอัดให้เต็มอยู่เสมอ เครื่องจะปั่นผสมดินให้เข้ากันจนดินละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันแล้วดินจะไหลออกมาตามท่อเข้าสู่หัวพิมพ์อิฐออกมาเป็นตัวอิฐขนาดเท่ากันทุกแผ่น มีผิวเรียบ จากนั้นนำไปผึ่งให้หมาดและแห้งด้วยอากาศ และนำเข้าเตาเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 4 การตากอิฐให้แห้งก่อนเข้าเตาเผา ถ้านำอิฐที่ยังเปียกอยู่เข้าเตาเผาทันที จะทำให้ความชื้นที่ผิวออกเร็วเกินไป ทำให้อิฐแตกเพราะหดตัวเร็ว อิฐที่รีดออกมาจึงจะต้องตากแดดให้แห้ง โดยจะใช้เวลาประมาณ 2 - 3 วัน เมื่ออิฐแห้งแล้วจะทำการถ่ายตัวอิฐออกมา และเก็บเข้าเตาเผา

ขั้นตอนที่ 5 การตั้งอิฐมอลู จะต้องให้คนที่มีความชำนาญในการตั้งอิฐทำ เพราะถ้าหากให้คนที่ไม่เคยทำ อาจทำให้อิฐที่เผาแล้วไม่สุก และสิ้นเปลืองแคลบ และใช้ระยะเวลาในการเผา การตั้งอิฐจะต้องให้มีช่องไฟด้านล่าง เพื่อให้ไฟผ่านเข้าไปได้ และต้องตั้งอิฐให้ตรงเสมอกันอิฐที่เผาจะได้ไม่ล้นและสุกสม่ำเสมอ

ขั้นตอนที่ 6 การเผาอิฐ ตั้งอิฐในเตาเผา โดยใช้ผนังสังกะสี หรืออลูมิเนียมเป็นกำแพงปิดเตา ด้านบนใส่แคลบให้เต็มเตาเผา ปิดเตา และจุดเตาเผา โดยจุดไฟรอบเตาเพื่อให้อิฐสุกพร้อมกัน นอกจากนี้ต้องคอยเติมแคลบอย่าให้แคลบหมดเพราะอิฐจะไม่สุก และเกลี่ยขี้เถ้าอยู่เสมอเพื่อให้มีช่องไฟผ่านไปเผาอิฐตลอด หากไม่เกลี่ยขี้เถ้าจะทำให้การเผาอิฐช้า ใช้เวลานาน และสิ้นเปลืองแคลบ การเผาอิฐจะใช้เวลาประมาณ 7 - 10 วัน

ขั้นตอนที่ 7 การเปิดกำแพง เมื่ออิฐสุกแล้วทำการเปิดกำแพงที่ปิดเตา โดยจะต้องดูให้ดีว่าอิฐสุกหรือยัง จากนั้นทยอยเปิดเตาทีละด้าน จะไม่ดับไฟในเตาเผาทันทีที่ต้องปล่อยให้ไฟค่อยๆ ดับ เพราะอิฐที่อยู่ด้านในสุดจะสุกช้ากว่าอิฐที่อยู่ด้านนอก

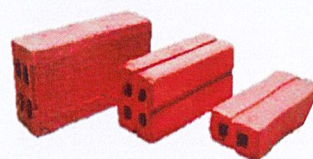
ขั้นตอนที่ 8 การเคลียร์เตาเผาอิฐ เมื่ออิฐสุกหมดแล้วนำอิฐที่สุกออกจากเตา นำขี้เถ้าที่เหลืออยู่มาเก็บไว้อีกที่หนึ่ง ขี้เถ้าต้องไม่มีเศษอิฐและเอาแคลบออกให้หมด เพราะต้องนำขี้เถ้าที่ได้จากการเผาอิฐไปใช้ทำอิฐมอลูต่อไป

2.1.2 ประเภทของอิฐมอลู [6]

อิฐมอลูที่ผลิตโดยทั่วไปมีหลายแบบหลายขนาด โดยจะแยกตามลักษณะภายนอกของอิฐเป็นส่วนใหญ่ อิฐที่ผลิตด้วยมือ หรือทำด้วยแรงคน เรียกว่า อิฐมอลูต้น มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมตันทั้งสี่ด้าน และแบบที่ใช้เครื่องจักร เรียกว่า อิฐมอลูรู มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม มีรูที่ด้านแคบของอิฐ โดยจะมีทั้งแบบด้านละสี่รู และสองรู



ก.อิฐมอลูต้น



ข.อิฐมอลูรู

รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบลักษณะของอิฐมอลู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น เมื่อมีการเรียงหน้าปกไปบนคอมพิวเตอร์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ที่มา <https://www.itsubboonsong.com>)

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ) ได้กำหนดให้ผู้ประกอบการผลิตอิฐมอญ ขึ้นทะเบียน และในประเทศไทยมีการกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ของอิฐมอญ ทั้งหมด 2 มาตรฐานคือ มอก.77-2545 อิฐมอญตัน หรืออิฐก่อสร้างสามัญก่อผนังรับน้ำหนัก [11] และ มอก.153-2540 อิฐมอญรูขนาดต่างๆ หรืออิฐมอญกลวงก่อผนังไม่รับน้ำหนัก

ตารางที่ 2.1 ความต้านแรงอัดและการดูดกลืนน้ำของอิฐมอญตันตาม มอก.77-2545

ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงอัดต่ำสุด MPa		การดูดกลืนน้ำสูงสุด %	
	เฉลี่ย 5 ก้อน	แต่ละก้อน	เฉลี่ย 5 ก้อน	แต่ละก้อน
ก	21.0	17.0	17.0	20.0
ข	17.0	15.0	22.0	25.0
ค	10.0	9.0	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด

ตารางที่ 2.2 การดูดกลืนน้ำของอิฐมอญรูตาม มอก.153-2540

ชั้นคุณภาพ	การดูดกลืนน้ำสูงสุด %	
	เฉลี่ย 5 ก้อน	แต่ละก้อน
ก	10	12
ข	14	16
ค	20	24

(ที่มา <https://www.xn12cxbj1c5b5dkcc5ezjpci.com/15864741>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ลักษณะของอิฐมอญ [9]

อิฐมอญที่เผาสุกแล้วสามารถแบ่งออกเป็น 4 ลักษณะ ตามลักษณะทางกายภาพของเนื้ออิฐ
ลักษณะที่ 1 เป็นอิฐที่มีคุณภาพดีที่สุด คือ อิฐสุกทั่วทั้งก้อน มีสีเหลืองปนแดง เนื้อแกร่ง
 รูปร่างและขนาดสม่ำเสมอเท่ากันทั้งก้อน เวลาเคาะมีเสียงกังวาน

ลักษณะที่ 2 คือ อิฐสุกทั่วทั้งก้อน แต่รูปร่างบิดและผิวอาจมีรอยร้าวอยู่บ้างเล็กน้อย

ลักษณะที่ 3 คือ อิฐสุกไม่ทั่วทั้งก้อน มีสีเหลืองซีดจางหรืออาจจะมีสีดำปน อิฐจะแข็งตัวไม่
 เท่ากันทั้งก้อน รูปร่างและขนาดบิดเบี้ยวไม่สม่ำเสมอ เวลาเคาะมีเสียงดังทึบ

ลักษณะที่ 4 คือ อิฐที่เผาจนสุกเกินไป มีสีคล้ำดำ รูปร่างและขนาดไม่สม่ำเสมอ พบรอย
 แตกร้าวลึก

2.2 การเกิดคราบขาวบนอิฐ [2]

การเกิดคราบขาว หรือที่เรียกว่า สกัม (scum) เกิดจากเกลือที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น แคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) แมกนีเซียมซัลเฟต (MgSO_4) เจือปนมาในเนื้อดินเหนียวที่ใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตอิฐ หลังการขึ้นรูปแล้วอิฐยังมีความชื้นอยู่ เกลือเหล่านี้จะอยู่ในรูปของสารละลายในเนื้อดินภายในก้อนอิฐ ในขั้นตอนของการตากแห้ง สารละลายเหล่านี้จะปะปนมากับน้ำตามรูพรุนของดินขึ้นมายังพื้นผิวและตกผลึกสะสมอยู่ที่ผิวหน้าของอิฐ การที่อิฐถูกทำให้แห้งอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดคราบเกลือมากยิ่งขึ้น เมื่อนำดินไปเผา เกลือเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับสารประกอบบริเวณผิวอิฐ ทำให้ผิวของอิฐเปลี่ยนเป็นสีขาวจนถึงสีครีม สีที่เปลี่ยนไปนี้จะเกิดเกือบทุกด้านของอิฐ ยกเว้นด้านที่วางติดกับพื้นเนื่องจากน้ำไม่สามารถระเหยออกได้ เหมือนผิวอิฐด้านที่สัมผัสกับอากาศโดยตรง

2.3 องค์ประกอบของดินที่ใช้ในการผลิตอิฐ [12]

1. ดินเหนียว เป็นวัตถุดิบในการผลิตอิฐมอญ ดินที่ใช้จะต้องเป็นดินเหนียวที่มีทรายปนอยู่ในอัตราส่วนที่เหมาะสมไม่มากจนเกินไป และจะต้องไม่มีกรวด ดินเหนียวมีคุณสมบัติช่วยให้เม็ดดินเกาะกันเป็นก้อน ขึ้นรูปได้ง่าย แต่ถ้าดินที่มีดินเหนียวปนมากเกินไป ก็จะหดตัว ทำให้อิฐแตกร้าวเมื่อนำไปผึ่งให้แห้ง วิธีการแก้ คือ การผสมทรายเพิ่มขึ้น

2. ทราย มีคุณสมบัติในการป้องกันการแตกร้าวและการหดตัว ถ้าหากดินที่ใช้มีทรายปนมากเกินไป อิฐจะเปราะและแตกหักได้ง่าย

3. แกลบ เป็นส่วนผสมที่สำคัญในการทำอิฐ มีคุณสมบัติช่วยให้ดินเกาะกันแน่นทำให้อิฐที่ได้ไม่เปราะแตกหักง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

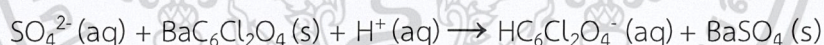
4. น้ำ ความสำคัญของน้ำในการผลิตอิฐก็คือ เป็นตัวประสานให้ดินและแกลบเข้ากันได้ดี ขณะทำการนวดดิน หรือปั้นดินสำหรับอัดลงพิมพ์ทำอิฐ น้ำไม่มีส่วนผสมที่ตายตัว สำหรับผู้ผลิตที่ชำนาญสามารถรู้ได้โดยประสบการณ์ว่าจะต้องใช้น้ำมากหรือน้อยในการผสมเพื่อให้เกิดความพอดี

2.4 หลักการตรวจวัด

2.4.1 หลักการตรวจวัดด้วยตาเปล่า และชุดทดสอบภาคสนาม (Test Kit)

การปนเปื้อนของสารประกอบซัลเฟตในแหล่งดิน เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นทั่วทุกภูมิภาคในประเทศไทย สารประกอบซัลเฟตเหล่านี้ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ และชุดเครื่องมือตรวจวัดซัลเฟตในปัจจุบันที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดนั้น มีขนาดใหญ่ ราคาสูง ไม่สะดวกสำหรับการพกพา จึงเกิดแนวคิดที่จะพัฒนา “ชุดทดสอบภาคสนามสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตไอออน” ขึ้นมา โดยชุดทดสอบดังกล่าว จะต้องสามารถวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตในดินก่อนจะนำมาใช้สร้างผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการผลิตอิฐที่ใช้ดินเป็นวัตถุดิบหลัก มีจุดเด่นคือ จะต้องทดสอบหาปริมาณซัลเฟตในภาคสนามได้รวดเร็ว และได้ผลทดสอบทันที

หลักการตรวจวัดปริมาณซัลเฟตไอออนในดินนั้น ใช้หลักการวัดความเข้มข้นของสารละลายที่เกิดขึ้นด้วยตาเปล่า โดยใช้ปฏิกิริยาระหว่างแบเรียมคลอไรด์ (BaCl₂) กับซัลเฟต (SO₄²⁻) ทำให้เกิดตะกอนของแบเรียมซัลเฟต (BaSO₄) และปลดปล่อยแอสิด-คลอไรด์ (HCl) ที่มีสีแดงม่วงออกมา ผลที่ได้จึงเห็นสีของสารละลายเป็นสีแดงม่วง



ความเข้มข้นของสารละลายที่เกิดขึ้น เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของซัลเฟต ซึ่งสามารถสังเกตเห็นด้วยตาเปล่าได้ ดังนั้นจึงสามารถนำมาเทียบกับแถบสีมาตรฐานที่จะทำขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบสี ทำให้รู้ความเข้มข้นของซัลเฟตในดินก่อนที่จะนำมาใช้งานได้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มัทธนา ส่งเสริมมงคล [3] ได้ศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตของตัวอย่างน้ำผิวดิน โดยเทคนิคการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก และเทคนิคยูวี วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี ใช้วิธีการตกตะกอนซัลเฟตด้วยแบเรียมคลอไรด์ โดยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี ใช้วัดการดูดกลืนแสงและวัดปริมาณซัลเฟตของตัวอย่างเทียบกับกราฟมาตรฐาน ส่วนเทคนิคการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก ใช้วิธีชั่งน้ำหนักตะกอนซัลเฟตและคำนวณเป็นปริมาณที่มีในตัวอย่าง ผลของการศึกษาเปรียบเทียบ สรุปได้ว่าเทคนิคการวิเคราะห์โดยน้ำหนักวิเคราะห์ได้เฉพาะตัวอย่างที่มีซัลเฟตตั้งแต่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นไปใช้เวลานานในการวิเคราะห์และต้องใช้ปริมาตรมากกว่า 100 มิลลิลิตร ขณะที่เทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี สามารถวิเคราะห์ได้กับตัวอย่างที่มีซัลเฟตตั้งแต่ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อย ดังนั้นจึงเลือกใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี ซึ่งมีปริมาณซัลเฟตระหว่างน้อยกว่า 1 ถึง 133 มิลลิกรัมต่อลิตร

อุดมลักษณ์ รัตนอำพล [4] ทำการวิเคราะห์ซัลเฟตในตัวอย่างน้ำบาดาลระหว่างวิธี Automated Methylthymol Blue และ Turbidimetric method ซึ่ง Automated Methylthymol Blue ทำได้โดยการให้ซัลเฟตไอออนทำปฏิกิริยากับแบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2) ในสถานะที่เป็นกรด เกิดเป็นแบเรียมซัลเฟต แบเรียมที่เหลือจะทำปฏิกิริยากับ Methylthymol Blue ในสถานะที่เป็นเบส เกิดคีเลต (Chelate) ที่มีสีน้ำเงิน Methylthymol Blue ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาจะมีสีเทา ซึ่งจะมีปริมาณที่สมมูลกับซัลเฟตในสารละลาย และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของ Methylthymol Blue ที่เหลือ ที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร ส่วนวิธี Turbidimetric method เป็นการวัดค่าความขุ่นของสารละลาย เมื่อนำแบเรียมคลอไรด์มาทำปฏิกิริยากับซัลเฟต เกิดตะกอนแบเรียมซัลเฟต จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารแขวนลอยแบเรียมซัลเฟตที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร เปรียบเทียบผลทั้งสองวิธีพบว่าปริมาณซัลเฟตที่มีค่าในช่วง 1 - 32 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ผลการวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด และให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.690 สำหรับวิธี Automated Methylthymol Blue และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.724 สำหรับวิธี Automated Methylthymol Blue จึงสรุปได้ว่าผลการวิเคราะห์ทั้งสองวิธีเชื่อถือได้

H. N. S. Schafer [14] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตในซีเถ้า และวัตถุดับที่คล้ายกัน โดยการทำปฏิกิริยากับแบเรียมคลอไรด์ที่เตรียมใน 80 % isopropyl alcohol และปลดปล่อยคลอไรด์ไอออนออกมา จากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสง

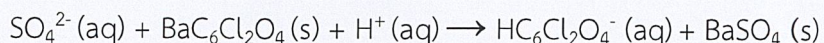
J. L. Lambert และคณะ [15] ทำงานวิจัยเกี่ยวกับปฏิกิริยาระหว่างแบเรียมไวโอเลต (Barium Violurate) กับซัลเฟตไอออนที่ pH 6.0 - 6.2 ซึ่งซัลเฟตจะไปแทนที่ไวโอเลตไอออน และปลดปล่อยไวโอเลตไอออนออกมา วัดค่าการดูดกลืนแสงได้ที่ 520 นาโนเมตร โดยกำจัดแคทไอออนที่รบกวนการเกิดปฏิกิริยาออกด้วยเทคนิคไอออนเอ็กซ์เชนจ์

J. L. Lambert และคณะ [16] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการใช้วิธีการตรวจวัดสีในการวิเคราะห์ซัลเฟตในแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยใช้สีย้อมโธเรียมบอเรต-อะมารันท์ (Thorium borate-amaranth dye) ทำปฏิกิริยากับซัลเฟต จะปลดปล่อยสีย้อมออกมาและตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อม แต่วิธีนี้มีตัวรบกวนที่สำคัญมากคือฟลูออไรด์, ฟอสเฟต และไบคาร์บอเนตไอออน กำจัดโดยการใส่แลนทานัมไอออน (Lanthanum ion) และคอลลิมันแคทไอออนเอ็กซ์เชนจ์แบบกรดอ่อน (Weak acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R. J. Bertolacini และคณะ [17] ได้เสนอเทคนิคใหม่ในการตรวจวัดซัลเฟตด้วยสีจากปฏิกิริยาระหว่างแบเรียมคลอไรด์กับซัลเฟตไอออนที่ pH 4 ในสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ 50% และพบว่าเกิดการปล่อยแอสิต-คลอไรด์ไอออนที่มีสีแดงม่วงออกมา



ซึ่งปริมาณของแอสิต-คลอไรด์ไอออนจะแปรผันตรงกับปริมาณของซัลเฟต โดยก่อนการวิเคราะห์ได้มีการกำจัดตัวรบกวนที่เป็นแคทไอออนออกด้วยคอลัมน์ไอออนเอ็กซ์เชนจ์ (ion exchange) และทำปฏิกิริยาที่ pH 4 ในสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ 50% จะช่วยลดค่าการละลายของแบเรียมซัลเฟตและแบเรียมคลอไรด์ลง และเพิ่มความไวในการวิเคราะห์ให้สามารถวิเคราะห์ซัลเฟตไอออนที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ เทคนิคนี้สามารถนำไปใช้ในการตรวจวัดซัลเฟตในน้ำและซัลเฟอร์ในผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมได้สำเร็จ

R. W. Klipp และคณะ [18] ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์หาซัลเฟอร์ในแนปธา (Naphthas) โดยใช้การเผาแนปธาใน ASTM Lamp combustion ทำให้เกิดกรดซัลฟิวริกขึ้นและตรวจวัดกรดซัลฟิวริกด้วยการนำไปทำปฏิกิริยากับแบเรียมคลอไรด์แล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยใช้บัพเฟอร์เป็นสารผสมระหว่างเกลือโซเดียมอะซิเตตกับอะซิติก-แอสิต

D. Nacapricha และคณะ [19] ได้ทำงานวิจัยเรื่องการตรวจวัดปริมาณปรอทจากกระดูกสัน โดยใช้อุปกรณ์ที่ทำจากกระดาษ โดยออกแบบลดขนาดกระดาษเป็นรูปดัมเบลยาว 60 มิลลิเมตร ด้านหนึ่งเป็นวงกลมสำหรับใส่สารตัวอย่าง อีกด้านหนึ่งเป็นส่วนปลายสำหรับ waste เริ่มจากการใช้สารโพลีเมอร์ที่กั้นน้ำในการพิมพ์ลาย จากนั้นหยดรีเอเจนต์ลงไปบนกระดาษให้เต็ม ทิ้งไว้ให้แห้งแล้วหยดสารตัวอย่างที่ได้จากการกระดูกสันลงบนช่องใส่สารตัวอย่าง ทิ้งไว้ให้สารไหลไปทำปฏิกิริยากับรีเอเจนต์ทำให้เกิดสี ความยาวของแถบสีจะยาวตามปริมาณ analyte ที่มีในสารตัวอย่าง วัดเทียบกับสเกลด้านข้าง ก็จะสามารถ ระบุปริมาณของปรอทในสารตัวอย่างได้

J. W. Butler และคณะ [20] ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการตรวจวัดซัลเฟตด้วยการไทเทรตกับบาโธริน (Bathorin) สังเกตสีและวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย UV-Visible Spectrophotometer จุดยุติ (End point) ซึ่งบาโธรินมีโธริน (Thorin) เป็นอินดิเคเตอร์ภายในตัวเองอยู่แล้ว (Self-indicator) เทคนิคนี้ไม่จำเป็นต้องกำจัดตัวรบกวนด้วยคอลัมน์ไอออนเอ็กซ์เชนจ์และมีขีดจำกัดในการตรวจวัด (Detection limit) ซัลเฟตอยู่ที่ 1 - 2 ไมโครกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

ตารางที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อสารเคมี	สูตรเคมี	ความบริสุทธิ์ (%)	ยี่ห้อและประเทศผู้ผลิต
แบเรียมคลอราเนท ไตรไฮเดรต (Barium Chloranilate Trihydrate)	$BaC_6Cl_2O_4 \cdot 3H_2O$	97.0	TCL, Tokyo
โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (Potassium hydrogen phthalate)	$C_5H_5KO_4$	99.8	Carlo Erba, Franc
โพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulfat)	K_2SO_4	99.0	Rankem, India
เอทานอล (Ethanol)	C_2H_5OH	99.0	Carlo Erba, Franc
กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)	HCl	37.0	Merck, Thailand
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)	NaOH	98.0	Rankem, India

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือตรวจวัด

1. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)
2. บีกเกอร์ (Beaker)
3. หลอดทดลอง (Test tube)
4. ที่วางหลอดทดลอง (Test tube rack)
5. ขวดสีชา (Amber round bottle)
6. โกร่งบดยาเซรามิก (Mortar)
7. กระจกนาฬิกา (Watch glass)
8. แท่งแก้วคนสาร (Glass rod)
9. ช้อนตักสารสแตนเลส (Stainless Spatula)
10. กรวยแก้ว (Glass funnel)
11. ทุบสาร (Pestle)
12. ปากคีบ (Forceps)
13. ขวดฉีดน้ำกลั่น (Wash bottle)
14. กระบอกฉีดยา ขนาด 3 มิลลิลิตร (Syringe)
15. สำลี
16. นาฬิกาจับเวลา
17. ไมโครปิเปต (Micropipette)
18. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร
19. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 125 มิลลิเมตร
20. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง – Ohaus, PA214
21. เครื่องวัด pH – Mettler Toledo, FEP20
22. เครื่องเขย่าสาร – Vortex, Genie 2, USA
23. เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ – Jasco V360, USA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมสารละลาย

3.2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

3.2.1.1 สารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (Stock solution)

ซิงโครแพนเนียมซัลเฟต 0.1000 กรัม ใส่ลงในปิเกตอร์ละลายด้วยน้ำกลั่นจนของแข็งละลายหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตร ขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร คำนวณความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟต

$$w/v \text{ ppm} = \frac{\text{น้ำหนักตัวถูกละลาย (mg)}}{\text{ปริมาตรของสารละลาย (mL)}} \times 10^6$$

3.2.1.2 สารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 37.50 มิลลิลิตร (ปริมาตรได้จากการคำนวณโดยอิงกับค่าความเข้มข้นที่ standardized แล้ว) ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร คำนวณปริมาตรสารละลายมาตรฐาน Sulfate ดังสมการที่แสดงไว้ด้านล่าง

$$\text{ปริมาตร (mL)} = \frac{300 \text{ mg/mL} \times 50 \text{ mL}}{C \text{ mg/L}}$$

เมื่อ C คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟต 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (Stock solution)

3.2.1.3 สารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร ได้สารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.4 สารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 12.50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร ได้สารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2.1.5 สารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 6.25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร ได้สารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2.1.6 สารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 2.50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร ได้สารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2.1.7 สารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1.25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร ได้สารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2.1.8 สารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 0.125 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร ได้สารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2.2 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์

3.2.2.1 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (ความเข้มข้น 0.5 M)

ปิเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 12 M ปริมาตร 0.2083 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ความเข้มข้น 0.5 M)

ซังโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1000 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

3.2.2.3 สารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต pH 2, 3, 4 และ pH 5 (ความเข้มข้น 0.5 M)

ซังโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต 1.0211 กรัม ใส่ลงในปิ๊กเกอร์ ละลายด้วยน้ำกลั่น เทใส่ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร เทสารละลายใส่ในปิ๊กเกอร์ นำไปวัดด้วยเครื่องวัด pH meter ให้ได้ pH 2, 3, 4 และ 5 ปรับ pH ด้วยการเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.5 M หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 M ทีละน้อยลงในสารละลาย

3.2.3 การเตรียมผงแบรียมคลอไรด์

บดแบรียมคลอไรด์ให้เป็นผงละเอียด ด้วยโกร่งบดยาเซรามิก (Mortar) แล้วเก็บไว้ในขวดสีชา (Amber round bottle)

3.3 การศึกษาปฏิกิริยาที่ใช้ในการตรวจวัด

1. ซังผงแบรียมคลอไรด์ ไตรไฮเดรต 0.0150 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลอง
2. ปิเปตเอทานอล (C_2H_5OH) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง
3. ปิเปตสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) pH 4 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง
4. ปิเปตน้ำกลั่น ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง
5. นำสารละลายที่ผสมแล้วในหลอดทดลองไปปั่นด้วยเครื่อง Vortex จับเวลา 5 นาที
6. ตั้งทิ้งไว้ให้สารละลายตกตะกอน
7. ใช้ปิเปตดูดสารละลายส่วนที่ใส ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร ใส่ควิวเวท
8. เมื่อเวลารอบ 10 นาที ตั้งแต่เริ่มทำการปั่นผสมสารละลายเข้าด้วยกัน จึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ในช่วงการดูดกลืนแสง 400-800 นาโนเมตร โดยที่ λ_{max} เท่ากับ 530 นาโนเมตร
9. ทำการทดลองซ้ำอีก 1 ครั้ง
10. ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนน้ำกลั่นในข้อที่ 4 เป็นสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 1, 10, 20, 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าการใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตกับค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{\max} เท่ากับ 530 นาโนเมตร เพื่อศึกษาความเป็นเส้นตรงของปฏิกิริยา

3.4 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการตรวจวัด

3.4.1 การศึกษาปริมาณแบรียมคลอไรด์ที่เหมาะสม

3.4.1.1 แบรียมคลอไรด์ 0.0010 กรัม

ชั่งผงแบรียมคลอไรด์ 0.0010 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลอง ปิดเตอทานอล (C_2H_5OH) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ปิดเตอทานอลบัพเฟอร์โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) pH 4 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และปิดเตอน้ำกลั่น ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง นำสารละลายที่ผสมแล้วในหลอดทดลองไปปั่นด้วยเครื่อง Vortex จับเวลา 5 นาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้สารละลายตกตะกอน 5 นาที ปิดเตอทานอลด้านบนที่มีความใส ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร ใส่ควเวท และทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ในช่วงการดูดกลืนแสง 400 - 800 นาโนเมตร เมื่อเวลาครบ 10 นาที (ตั้งแต่เริ่มทำการปั่นสารละลายและตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนกระทั่งกดปุ่มเริ่มการทำงานของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์) ทำซ้ำอีก 1 ครั้ง โดยใช้น้ำกลั่นเป็นสารตัวอย่าง จากนั้นทำการทดลองซ้ำทั้งหมดด้วยสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 1, 10, 20, 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตรแทน สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตกับค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{\max} เท่ากับ 530 นาโนเมตร

3.4.1.2 แบรียมคลอไรด์ 0.0040 กรัม

ชั่งผงแบรียมคลอไรด์ 0.0040 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลอง ปิดเตอทานอล (C_2H_5OH) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ปิดเตอทานอลบัพเฟอร์โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) pH 4 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และปิดเตอน้ำกลั่น ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง นำสารละลายที่ผสมแล้วในหลอดทดลองไปปั่นด้วยเครื่อง Vortex จับเวลา 5 นาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้สารละลายตกตะกอน 5 นาที ปิดเตอทานอลด้านบนที่มีความใส ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร ใส่ควเวท และทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ในช่วงการดูดกลืนแสง 400 - 800 นาโนเมตร เมื่อเวลาครบ 10 นาที (ตั้งแต่เริ่มทำการปั่นสารละลายและตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนกระทั่งกดปุ่มเริ่มการทำงานของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์) ทำซ้ำอีก 1 ครั้ง โดยใช้น้ำกลั่นเป็นสารตัวอย่าง จากนั้นทำการทดลองซ้ำทั้งหมดด้วยสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 1, 10, 20, 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตรแทน สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความ

เอกสารเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตกับค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{\max} เท่ากับ 530 นาโนเมตรด้านการคำนวณค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.3 แบริยมคลอราไนเลต 0.0080 กรัม

ซึ่งผงแบริยมคลอราไนเลต 0.0080 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลอง ปิดเตอทานอล (C_2H_5OH) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ปิดเตสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) pH 4 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และปิดเตน้ำกลั่น ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง นำสารละลายที่ผสมแล้วในหลอดทดลองไปปั่นด้วยเครื่อง Vortex จับเวลา 5 นาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้สารละลายตกตะกอน 5 นาที ปิดเตสารละลายด้านบนที่มีความใส ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร ใส่ควเวท และทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ในช่วงการดูดกลืนแสง 400 - 800 นาโนเมตร เมื่อเวลาครบ 10 นาที (ตั้งแต่เริ่มทำการปั่นสารละลายและตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนกระทั่งกดปุ่มเริ่มการทำงานของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์) ทำซ้ำอีก 1 ครั้ง โดยใช้น้ำกลั่นเป็นสารตัวอย่าง จากนั้นทำการทดลองซ้ำทั้งหมดด้วยสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 1, 10, 20, 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตรแทน สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตกับค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{max} เท่ากับ 530 นาโนเมตร

3.4.1.4 แบริยมคลอราไนเลต 0.0100 กรัม

ซึ่งผงแบริยมคลอราไนเลต 0.0100 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลอง ปิดเตอทานอล (C_2H_5OH) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ปิดเตสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) pH 4 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร และปิดเตน้ำกลั่น ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง นำสารละลายที่ผสมแล้วในหลอดทดลองไปปั่นด้วยเครื่อง Vortex จับเวลา 5 นาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้สารละลายตกตะกอน 5 นาที ปิดเตสารละลายด้านบนที่มีความใส ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร ใส่ควเวท และทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ในช่วงการดูดกลืนแสง 400 - 800 นาโนเมตร เมื่อเวลาครบ 10 นาที (ตั้งแต่เริ่มทำการปั่นสารละลายและตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนกระทั่งกดปุ่มเริ่มการทำงานของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์) ทำซ้ำอีก 1 ครั้ง โดยใช้น้ำกลั่นเป็นสารตัวอย่าง จากนั้นทำการทดลองซ้ำทั้งหมดด้วยสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 1, 10, 20, 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตรแทน สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตกับค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{max} เท่ากับ 530 นาโนเมตร

3.4.2 การศึกษาอิทธิพลของการกรองตะกอนก่อนการตรวจวัด

3.4.2.1 ไม่กรองสารละลายก่อนตรวจวัด

ซึ่งผงแบริยมคลอราไนเลต 0.0080 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลอง ปิดเตอทานอล (C_2H_5OH) ปริมาตร 5.0 มิลลิลิตร ปิดเตสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) pH 4 ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร และปิดเตน้ำกลั่น ปริมาตร 4.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอด

นำสารละลายที่ผสมแล้วในหลอดทดลองไปปั่นด้วยเครื่อง Vortex หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้สารละลายตกตะกอน 5 นาที ปิดสารละลายด้านบนที่มีความใส ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร ใส่คิวเวท และทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ในช่วงการดูดกลืนแสง 400 - 800 นาโนเมตร เมื่อเวลาครบ 10 นาที (ตั้งแต่เริ่มทำการปั่นสารละลายและตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนกระทั่งกดปุ่มเริ่มการทำงานของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์) ทำซ้ำอีก 1 ครั้งโดยใช้น้ำกลั่นเป็นสารตัวอย่าง จากนั้นทำการทดลองซ้ำทั้งหมดด้วยสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 10, 20, 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตรแทน สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตกับค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{\max} เท่ากับ 530 นาโนเมตร

3.4.2.2 กรองสารละลายก่อนตรวจวัด

ชั่งผงแบเรียมคลอไรด์ 0.0080 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลอง ปิดเตอทานอล (C_2H_5OH) ปริมาตร 5.0 มิลลิลิตร ปิดสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) pH 4 ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร และปิดน้ำกลั่น ปริมาตร 4.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง นำสารละลายที่ผสมแล้วในหลอดทดลองไปปั่นด้วยเครื่อง Vortex จับเวลา 5 นาที หลังจากนั้นนำไปกรองตะกอนด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 ปิดสารละลายที่ผ่านการกรองแล้ว ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร ใส่คิวเวท และทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ในช่วงการดูดกลืนแสง 400 - 800 นาโนเมตร เมื่อเวลาครบ 10 นาที (ตั้งแต่เริ่มทำการปั่นสารละลายและนำมากรองจนกระทั่งกดปุ่มเริ่มการทำงานของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์) ทำซ้ำอีก 1 ครั้งโดยใช้น้ำกลั่นเป็นสารตัวอย่าง จากนั้นทำการทดลองซ้ำทั้งหมดด้วยสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 10, 20, 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตรแทน สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตกับค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{\max} เท่ากับ 530 นาโนเมตร

3.4.3 การศึกษาเวลาในการตรวจวัด

ชั่งผงแบเรียมคลอไรด์ 0.0080 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลอง ปิดเตอทานอล (C_2H_5OH) ปริมาตร 5.0 มิลลิลิตร ปิดสารละลายบัฟเฟอร์โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) pH 4 ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร และปิดน้ำกลั่น ปริมาตร 4.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง นำสารละลายที่ผสมแล้วในหลอดทดลองไปปั่นด้วยเครื่อง Vortex จับเวลา 1 นาที หลังจากนั้นนำไปกรองตะกอนด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 ปิดสารละลายที่ผ่านการกรองแล้ว ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร ใส่คิวเวท และทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ในช่วงการดูดกลืนแสง 400 - 800 นาโนเมตร เมื่อเวลาครบ 6 นาที (ตั้งแต่เริ่มทำการปั่นสารละลายและนำมากรองจนกระทั่งกดปุ่มเริ่มการทำงานของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์) ทำซ้ำอีก 1

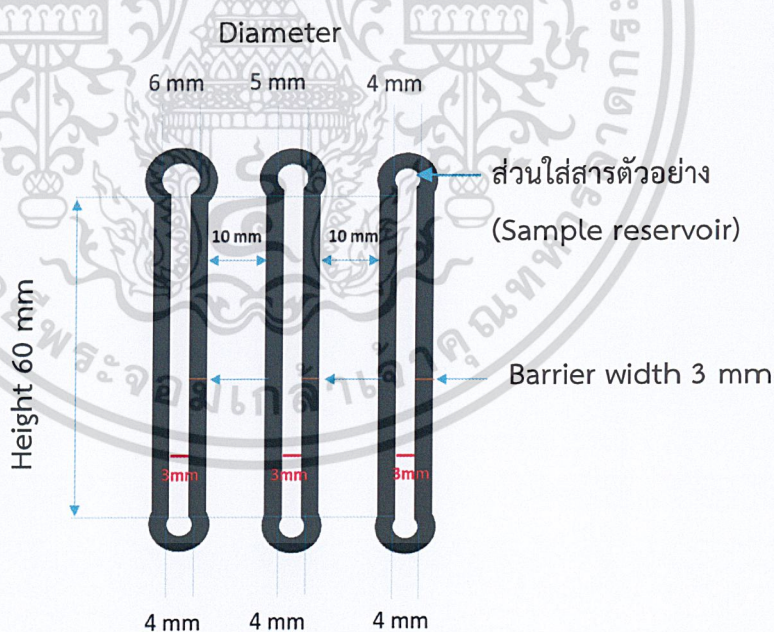
ครั้งโดยใช้น้ำกลั่นเป็นสารตัวอย่าง จากนั้นทำการทดลองซ้ำทั้งหมดด้วยสารละลายมาตรฐานซัลเฟต ความเข้มข้น 10, 20, 100, 200 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตรแทน สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตกับค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{\max} เท่ากับ 530 นาโนเมตร ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด แต่เปลี่ยนระยะเวลาในการปั่นด้วยเครื่อง Vortex จากเวลา 1 นาที เป็นเวลา 2, 3, 4 และ 5 นาที และทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ในช่วงการดูดกลืนแสง 400 - 800 นาโนเมตร เมื่อเวลาครบ 7, 8, 9 และ 10 นาที ตามลำดับ

3.5 การศึกษาออกแบบชุดทดสอบภาคสนาม

3.5.1 อุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาด

3.5.1.1 การออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาด

1. ใช้โปรแกรม PowerPoint ในการออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาด
2. วาดอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาดให้มีขนาดดังรูปที่ 3.1
3. นำอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาดที่ออกแบบไปสั่งทำตราปั๊มที่ร้านรับทำตรายางและใช้หมึกเติมแทนประทับตรากันน้ำได้ ตราหมึก สีดำ เติมเข้าไปในตรายาง



รูปที่ 3.1 ลวดลายอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาด

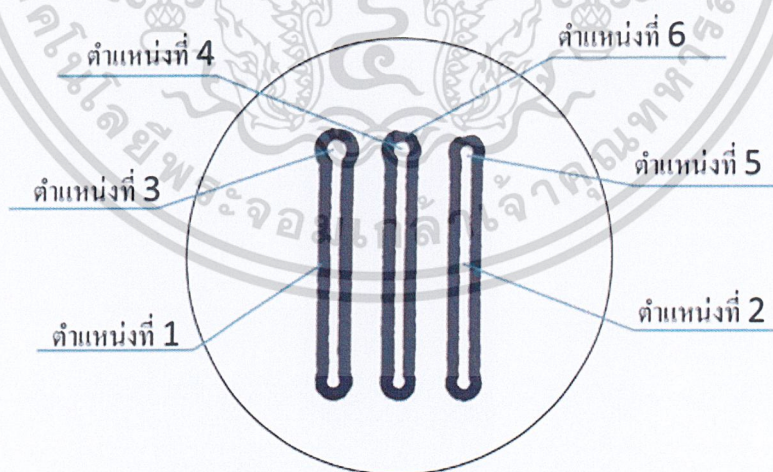
3.5.1.2 การศึกษาปริมาณสารตัวอย่างที่เหมาะสมบนอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาด

1. ปั๊มตรายางที่มีลวดลายลงบนกระดาดทรง Whatmam เบอร์ 1 ขนาดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เส้นผ่าศูนย์กลาง 125 มิลลิเมตร ทิ้งไว้ให้แห้ง ไม่ว่ากรณเหตุ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเปิดเผยถึงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำกระดาษกรองมาวางบนกระดาษฟิวส์ และปิเปตสารละลายน้ำสี สีสแดง 10 ไมโครลิตร ใส่ลงในช่องใส่สารตัวอย่างทั้ง 3 ลาย
3. ทิ้งไว้ให้แห้ง สังเกตระยะทางการไหลของสารละลายน้ำสี สีสแดง
4. ทำซ้ำ ข้อ 1 - 3 แต่เปลี่ยนปริมาตรสารละลายน้ำสี สีสแดงเป็น 20, 30, 40, และ 50 ไมโครลิตร
5. นำกระดาษกรองทั้งหมดไปถ่ายรูปลงในสตูดิโอ

3.5.1.3 การศึกษาความถูกต้องของการแสดมบี

1. การบีบลวดลายลงบนกระดาษกรองเป็นการทำด้วยมือซึ่งน้ำหนักมือของผู้ที่ทำการบีบลายในแต่ละครั้งจะไม่เท่ากัน จึงได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของลวดลายโดยการวัดขนาดของลวดลายหลังการบีบ โดยเลือกตัวอย่างมา 5 แผ่น ทำการวัดขนาด 6 ตำแหน่ง ได้แก่
 - ตำแหน่งที่ 1 ความกว้างของ hydrophobic barrier ที่จุดกึ่งกลางของ pattern ขนาด 3 มิลลิเมตร
 - ตำแหน่งที่ 2 ความกว้างของ hydrophilic channel ที่จุดกึ่งกลางของ pattern ขนาด 3 มิลลิเมตร
 - ตำแหน่งที่ 3 เส้นผ่านศูนย์กลางของ hydrophilic sample area ขนาด 6 มิลลิเมตร
 - ตำแหน่งที่ 4 เส้นผ่านศูนย์กลางของ hydrophilic sample area ขนาด 5 มิลลิเมตร
 - ตำแหน่งที่ 5 เส้นผ่านศูนย์กลางของ hydrophilic sample area ขนาด 4 มิลลิเมตร
 - ตำแหน่งที่ 6 ความกว้างของ hydrophobic barrier ที่ sample area ขนาด 3 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งที่ทำการวัดของอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษ

2. คำนวณหา ค่าเฉลี่ย (\bar{x}), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 อุปกรณ์ตรวจวัดในคอลัมน์ขนาดเล็ก

3.5.2.1 การออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดในคอลัมน์ขนาดเล็ก

การออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดเป็นการออกแบบเพื่อให้สามารถเทียบสีของสารละลายกับแถบสีมาตรฐานได้ง่าย ให้มีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วนครบ คือส่วนเตรียมตัวอย่าง ส่วนเกิดปฏิกิริยา และส่วนตรวจวัด

1. ใช้โปรแกรม PowerPoint ในการออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดในคอลัมน์ขนาดเล็ก
2. ออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดในคอลัมน์ขนาดเล็กให้สามารถใช้งานง่ายและ พกพาสะดวก มีพื้นที่เก็บอุปกรณ์ต่างๆ พร้อมฝาปิดมิดชิด

3.6 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดหาปริมาณซัลเฟตโดยใช้ชุดทดสอบภาคสนาม

3.6.1 ศึกษาอิทธิพลของการใส่กระดาษกรองในคอลัมน์

3.6.1.1 การทดลองใส่กระดาษกรองในคอลัมน์ขนาดเล็ก

1. ชั่งสำลี 0.10 กรัม ใส่ลงในกระบอกฉีดยา ขนาด 3 มิลลิลิตร บรรจุให้ได้ความสูง 1.00 มิลลิลิตร
2. ใส่กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 ที่ตัดเป็นวงกลมชิ้นเล็กๆ ให้เท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอกฉีดยา
3. ชั่งผงแบเรียมคลอไรด์ 0.0080 กรัม ใส่ลงในกระบอกฉีดยา
4. ชั่งสำลี 0.10 กรัม ใส่ลงในกระบอกฉีดยา บรรจุให้ได้ความสูง 1.00 มิลลิลิตร
5. นำกระบอกฉีดยามาวางในช่องใส่คอลัมน์ของกล่องอุปกรณ์ตรวจวัด
6. บีบน้ำกลั่น ปริมาตร 4.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในกระบอกฉีดยา
7. ทำซ้ำข้อ 1 - 6 แต่เปลี่ยนเป็นใช้สารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 10, 50, 100, 200, 300 และ 400 มิลลิลิตร แทนน้ำกลั่น
8. นำกระบอกฉีดยาไปถ่ายรูปสีที่เกิดขึ้นในสตูดิโอ

3.6.1.2 การทดลองโดยไม่ใส่กระดาษกรองในคอลัมน์ขนาดเล็ก

1. ชั่งสำลี 0.10 กรัม ใส่ลงในกระบอกฉีดยา ขนาด 3 มิลลิลิตร บรรจุให้ได้ความสูง 1.00 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ชั่งผงแบเรียมคลอไรด์ 0.0080 กรัม ใส่ลงในกระบอกฉีดยา

3. ชั่งสำลี 0.10 กรัม ใส่ลงในกระบอกฉีดยา บรรจุให้ได้ความสูง 1.00 มิลลิลิตร
4. นำกระบอกฉีดยามาวางในช่องใส่คอลัมน์ของกล่องอุปกรณ์ตรวจวัด
5. ปิเปตน้ำกลั่น ปริมาตร 4.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในกระบอกฉีดยา
6. ทำซ้ำข้อ 1 - 5 แต่เปลี่ยนเป็นใช้สารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 10, 50, 100, 200, 300 และ 400 มิลลิลิตร แทนน้ำกลั่น
7. นำกระบอกฉีดยาไปถ่ายรูปลี่ที่เกิดขึ้นในสตูดิโอ

3.6.2 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณสำลี

3.6.2.1 การเลือกความหนาแน่นของสำลีที่เหมาะสม

1. ชั่งสำลี 0.10 กรัม ใส่ลงในกระบอกฉีดยา ขนาด 3 มิลลิลิตร บรรจุให้ได้ความสูง 1.00 มิลลิลิตร
2. ใส่กระดาษกรอง Whatmam เบอร์ 4 ที่ตัดเป็นวงกลมชิ้นเล็กๆ ให้เท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอกฉีดยา
3. ชั่งผงแบเรียมคลอไรด์ 0.0080 กรัม ใส่ลงในกระบอกฉีดยา
4. ชั่งสำลี 0.10 กรัม ใส่ลงในกระบอกฉีดยา บรรจุให้ได้ความสูง 1.00 มิลลิลิตร
5. นำกระบอกฉีดยามาวางในช่องใส่คอลัมน์ของกล่องอุปกรณ์ตรวจวัด
6. ปิเปตน้ำกลั่น ปริมาตร 4.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในกระบอกฉีดยา
7. ทำซ้ำข้อ 1 - 6 แต่เปลี่ยนเป็นใช้สารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 10, 50, 100, 200, 300 และ 400 มิลลิลิตร แทนน้ำกลั่น
8. นำกระบอกฉีดยาไปถ่ายรูปลี่ที่เกิดขึ้นในสตูดิโอ
9. ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด แต่เปลี่ยนความสูงของปริมาณสำลีในข้อ 1 เป็น 0.50 และ 1.50 มิลลิลิตร

3.6.2.2 การเลือกน้ำหนักของสำลีที่เหมาะสม

1. ชั่งสำลี 0.10 กรัม ใส่ลงในกระบอกฉีดยา ขนาด 3 มิลลิลิตร บรรจุให้ได้ความสูง 1.00 มิลลิลิตร
2. ใส่กระดาษกรอง Whatmam เบอร์ 4 ที่ตัดเป็นวงกลมชิ้นเล็กๆ ให้เท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอกฉีดยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ชั่งผงแบเรียมคลอไรด์ 0.0080 กรัม ใส่ลงในกระบอกฉีดยา
4. ชั่งสำลี 0.10 กรัม ใส่ลงในกระบอกฉีดยา บรรจุให้ได้ความสูง 1.00 มิลลิเมตร
5. นำกระบอกฉีดยามาวางในช่องใส่คอลัมน์ของกล่องอุปกรณ์ตรวจวัด
6. บีบน้ำก้น ปริมาตร 4.0 มิลลิเมตร ใส่ลงในกระบอกฉีดยา
7. ทำซ้ำข้อ 1 - 6 แต่เปลี่ยนเป็นใช้สารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 10, 50, 100, 200, 300 และ 400 มิลลิเมตร แทนน้ำก้น
8. นำกระบอกฉีดยาไปถ่ายรูปลี่ที่เกิดขึ้นในสตูดิโอ
9. ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด แต่เปลี่ยนน้ำหนักและความสูงของปริมาณสำลีในข้อ 1 เป็นสำลี 0.15 กรัม ความสูง 1.50 มิลลิเมตร, สำลี 0.20 กรัม ความสูง 2.00 มิลลิเมตร

3.6.3 ศึกษาอิทธิพลของการใส่เอทานอลและ โทแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต

3.6.3.1 ศึกษาอิทธิพลของการใส่ทั้งเอทานอลและ โทแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต

1. เตรียมกระบอกฉีดยาเหมือน 3.6.1.1 ข้อที่ 1 - 5
2. บีบเอทานอล 99.9 % มา 5.0 มิลลิเมตร, บีบโทแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตมา 0.50 มิลลิเมตร และน้ำก้น ปริมาตร 4.0 มิลลิเมตร ใส่ลงในขวดเตรียมตัวอย่าง
3. เขย่าขวดตัวอย่างให้ผสมเข้ากัน และหยดลงกระบอกฉีดยาที่เตรียมไว้
4. ทำซ้ำข้อ 1 - 3 แต่เปลี่ยนเป็นใช้สารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 10, 50, 100, 200, 300 และ 400 มิลลิเมตร แทนน้ำก้น
5. นำกระบอกฉีดยาไปถ่ายรูปลี่ที่เกิดขึ้นในสตูดิโอ และทำซ้ำ 2 ครั้ง

3.6.3.2 ศึกษาอิทธิพลของการใส่โทแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตเพียงอย่างเดียว

1. เตรียมกระบอกฉีดยาเหมือน 3.6.1.1 ข้อที่ 1 - 5
2. บีบโทแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตมา 0.50 มิลลิเมตร และน้ำก้น ปริมาตร 4.0 มิลลิเมตร ใส่ลงในขวดเตรียมตัวอย่าง
3. เขย่าขวดตัวอย่างให้ผสมเข้ากัน และหยดลงกระบอกฉีดยาที่เตรียมไว้
4. ทำซ้ำข้อ 1 - 3 แต่เปลี่ยนเป็นใช้สารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 10, 50, 100, 200, 300 และ 400 มิลลิเมตร แทนน้ำก้น
5. นำกระบอกฉีดยาไปถ่ายรูปลี่ที่เกิดขึ้นในสตูดิโอ และทำซ้ำ 2 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.4 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

1. เตรียมกระบอกฉีดยาเหมือน 3.6.1.1 ข้อที่ 1 - 5
2. บีบเปิดโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตมา 0.50 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น ปริมาตร 4.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดเตรียมตัวอย่าง
3. เขย่าขวดตัวอย่างให้ผสมเข้ากัน และหยดลงกระบอกฉีดยาที่เตรียมไว้
4. จับเวลา 3 นาที ก่อนจะนำกระบอกฉีดยาไปถ่ายรูปในสตูดิโอ
5. ทำซ้ำข้อ 1 - 4 แต่เปลี่ยนเป็นใช้สารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 10, 50, 100, 200, 300 และ 400 มิลลิลิตร แทนน้ำกลั่น
6. ทำซ้ำทั้งหมด โดยเปลี่ยนเวลาจาก 3 นาทีเป็น 5 นาที และ 10 นาที

3.6.5 ศึกษาอิทธิพลของ pH

1. เตรียม โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.05 โมลต่อลิตร ในการปรับ pH ให้เท่ากับ 2, 3, 4, และ 5 ตามลำดับ
2. เตรียมกระบอกฉีดยาเหมือน 3.6.1.1 ข้อที่ 1 - 5
3. บีบเปิดโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลตที่ pH 2 มา 0.50 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น ปริมาตร 4.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดเตรียมตัวอย่าง
4. เขย่าขวดตัวอย่างให้ผสมเข้ากัน และหยดลงกระบอกฉีดยาที่เตรียมไว้
5. นำกระบอกฉีดยาไปถ่ายรูปในสตูดิโอ
6. ทำซ้ำข้อ 1 - 5 แต่เปลี่ยนเป็นใช้สารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 10, 50, 100, 200, 300 และ 400 มิลลิลิตร แทนน้ำกลั่น
7. ทำซ้ำทั้งหมด โดยเปลี่ยนเป็นโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต pH 2 เป็น pH 3, 4, และ 5 ตามลำดับ

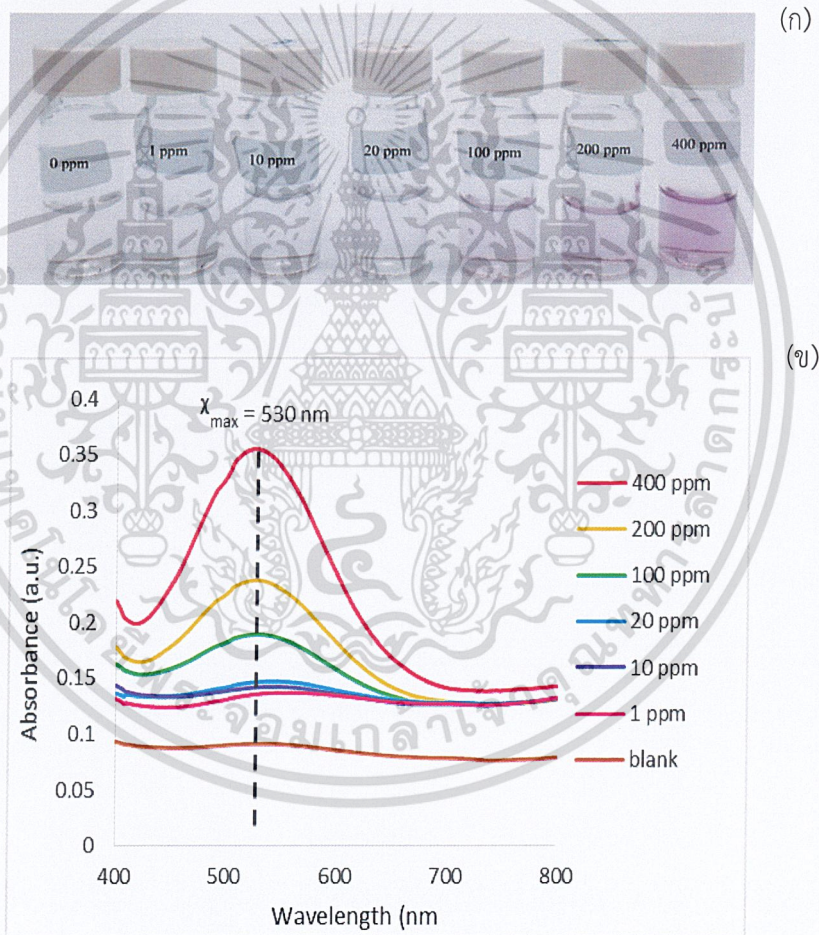
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การศึกษาปฏิกิริยาที่ใช้ตรวจวัด

ศึกษาปฏิกิริยาที่ใช้ตรวจวัด โดยการผสมสารละลายโพแทสเซียมซัลเฟตซึ่งเป็นสารมาตรฐานกับแบเรียมคลอไรด์จะได้ตะกอนแบเรียมซัลเฟต และมีแอสิต-คลอไรด์ไอออนเกิดขึ้น ทำให้สารละลายมีสีชมพูม่วง และยังมีซัลเฟตไอออนมากสีของสารละลายก็จะเข้มขึ้น ดังรูปที่ 4.1 (ก)



รูปที่ 4.1 รูปภาพแสดงผลของการทดลอง (ก) รูปถ่ายสารละลายที่มีความเข้มข้นตามความเข้มข้นของซัลเฟต (ข) แสดงสเปกตรัมของสารละลาย $\lambda_{max} = 530 \text{ nm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อศึกษาสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นพบว่าได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1 (ข) โดยค่าความยาวคลื่นที่สารละลายดูดกลืนแสงได้มากที่สุดคือ 530 นาโนเมตร เมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตเพิ่มขึ้น พบว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังกล่าวเพิ่มขึ้นด้วย

4.2 ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการตรวจวัด

4.2.1 ศึกษาปริมาณ Barium chloranilate ที่เหมาะสม

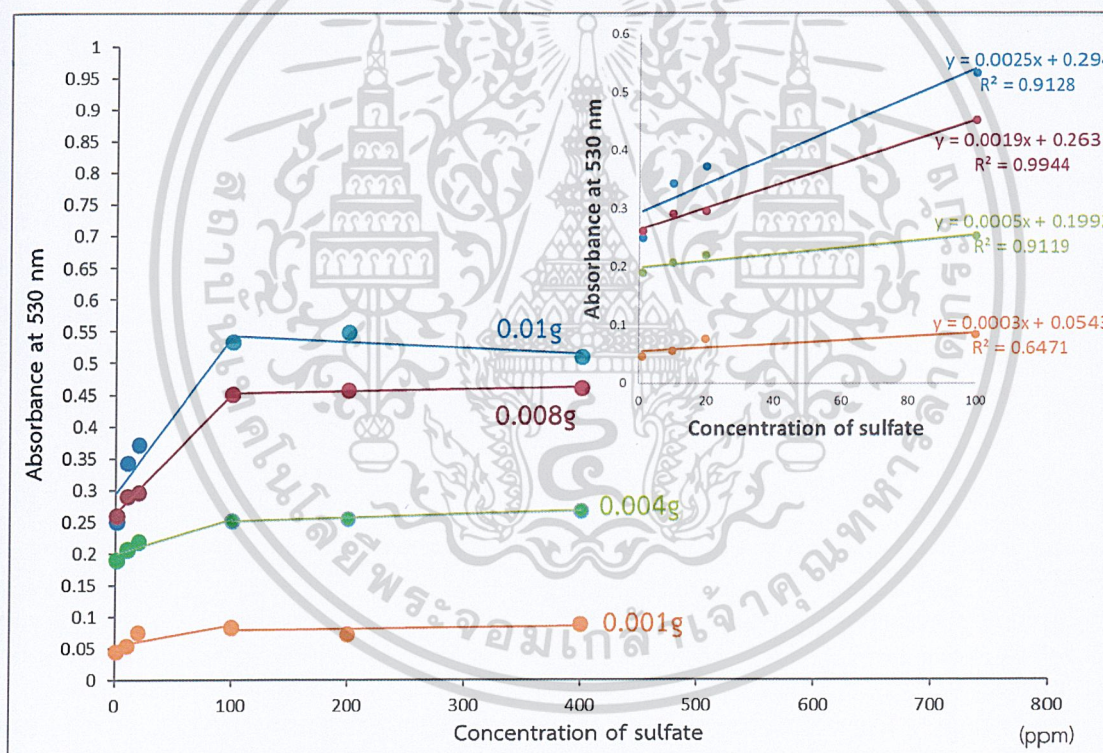
ได้ทำการศึกษาปริมาณแบเรียมคลอราไนเลตที่เหมาะสม โดยน้ำหนักที่ศึกษา ได้แก่ 0.001 กรัม, 0.004 กรัม, 0.008 กรัม และ 0.01 กรัม โดยนำค่าการละลายของแบเรียมคลอราไนเลตในสารละลาย 50% เอทานอล และจำนวนโมลของซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร มาคำนวณ จะได้น้ำหนักของแบเรียมคลอราไนเลตที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับซัลเฟตเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่ากับใช้ แบเรียมคลอราไนเลต 0.008 กรัม โดยประมาณ (0.0079 กรัม) ผลการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.2 (ก - ง)



รูปที่ 4.2 รูปภาพสีสารละลายเมื่อใช้แบเรียมคลอราไนเลตที่ปริมาณแตกต่างกัน (ก) 0.001 กรัม (ข) 0.004 กรัม (ค) 0.008 กรัม (ง) 0.01 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลที่ได้ พบว่า เมื่อใช้แบเรียมคลอไรด์ 0.008 กรัม ทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานซัลเฟตเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเหลือตะกอนแบเรียมคลอไรด์เพียงเล็กน้อย ดังแสดงในรูป 4.2 (ค) เนื่องจากใช้แบเรียมคลอไรด์มากกว่าจุดสมมูลที่คำนวณได้ (0.0079 กรัม) จึงเหลือแบเรียมคลอไรด์ที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับซัลเฟตไอออนตกตะกอนอยู่ด้านล่าง ความเข้มข้นของสีของสารละลายจะเข้มข้นตามปริมาณแบเรียมคลอไรด์ที่ใช้ เมื่อใช้แบเรียมคลอไรด์ 0.001 กรัม ทำปฏิกิริยากับซัลเฟตไอออน สังเกตได้ว่าสีที่ได้จะจางมาก และที่ซัลเฟตความเข้มข้นตั้งแต่ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นต้นไป จะสังเกตความแตกต่างของสีได้ไม่ชัดเจน ดังแสดงในรูป 4.2 (ก) ส่วนการใช้แบเรียมคลอไรด์ 0.01 กรัม ทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานซัลเฟตตั้งแต่ 1 - 400 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเห็นได้ว่ามีตะกอนของแบเรียมคลอไรด์ในทุกความเข้มข้น ดังแสดงในรูป 4.2 (ง) เพราะคลอไรด์ 0.01 กรัม เป็นน้ำหนักที่เกินจุดสมมูลตามที่คำนวณไว้



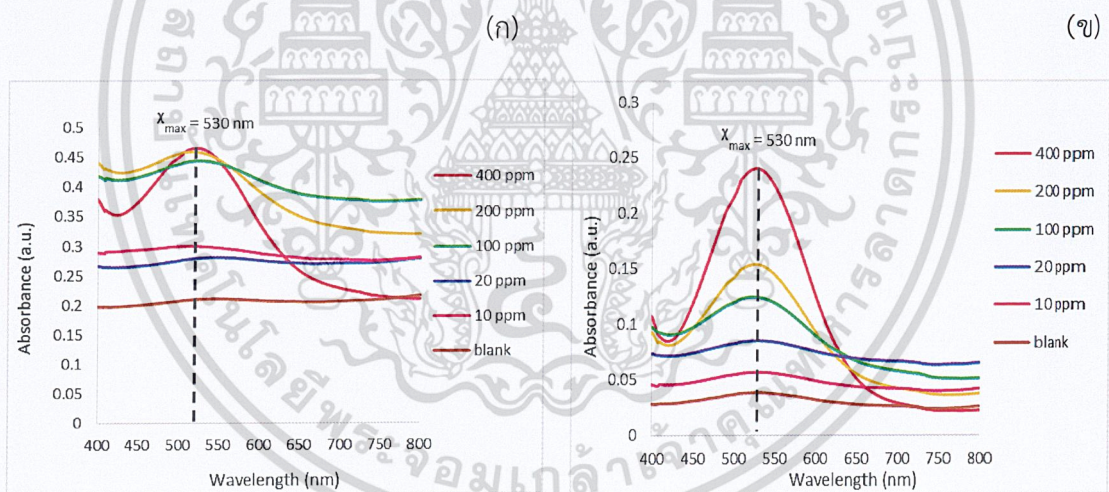
รูปที่ 4.3 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตเมื่อใช้ $BaCl_2$ ปริมาณต่างๆ

จากกราฟมาตรฐานดังรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อน้ำหนักของแบเรียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นค่าการดูดกลืนแสงก็เพิ่มขึ้นด้วย โดยที่น้ำหนักแบเรียมคลอไรด์ 0.008 กรัม มีค่าความเป็นเส้นตรง (R^2) มากที่สุด และค่าการดูดกลืนแสงของแบเรียมเมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักแบเรียมคลอไรด์เอกสาร 0.008 กรัม กับ 0.01 กรัม มีความแตกต่างกันน้อยกว่า เมื่อเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงระหว่างค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักแบเรียมคลอไรด์ที่เหลือ เช่นเดียวกับความเข้มข้นของสีสารละลายจากรูปที่ 4.2 (ค) และรูปที่ 4.2 (ง) เมื่อใช้แบเรียมคลอไรด์หนัก 0.008 กรัม และ 0.01 กรัม ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของสีสารละลายไม่แตกต่างกันมากเมื่อมองด้วยตาเปล่า ดังนั้นจึงเลือกใช้แบเรียมคลอไรด์หนัก 0.008 กรัม สำหรับการพัฒนาชุดทดสอบในขั้นตอนต่อไป

4.2.2 ศึกษาอิทธิพลของการกรองตะกอนก่อนการตรวจวัด

ในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างแบเรียมคลอไรด์กับซัลเฟตไอออนจะเกิดตะกอนแบเรียมซัลเฟตขึ้นทุกครั้ง และยังมีตะกอนของแบเรียมคลอไรด์ที่หลงเหลือ ซึ่งจะรบกวนการตรวจวัดทำให้ Baseline สูงขึ้น ในการตรวจวัดที่ผ่านมาจะตั้งสารละลายทิ้งไว้ให้ตกตะกอนก่อนจะนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ซึ่งใช้เวลานานและยังพบว่าสเปกตรัมที่ได้มี Baseline สูง ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ก) อาจเป็นเพราะใช้เวลาตั้งสารละลายทิ้งไว้ให้ตกตะกอนไม่นานพอ แต่หากทำการตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนหมดก็จะใช้เวลานานเกินไป วิธีการรอให้ตกตะกอนตามธรรมชาติจึงไม่เหมาะสม ดังนั้นจึงทำการกรองสารละลายก่อนการตรวจวัด และได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.4 (ข)



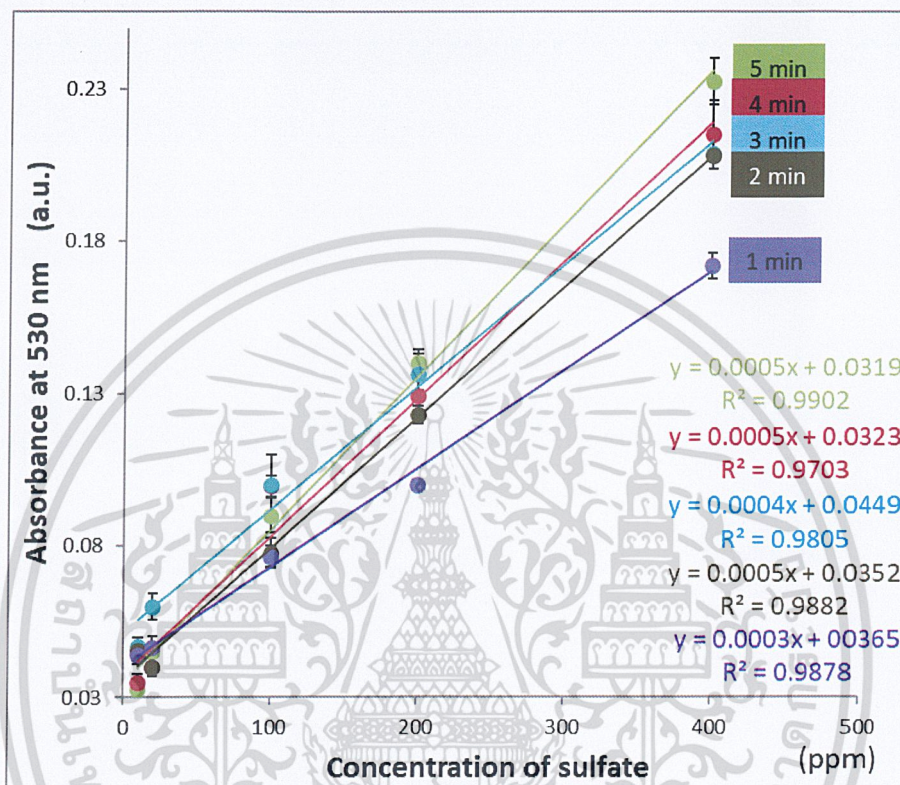
รูปที่ 4.4 ภาพการเปรียบเทียบสเปกตรัมของสารละลาย (ก) สเปกตรัมของสารละลายที่ไม่ผ่านการกรองก่อนการตรวจวัด (ข) สเปกตรัมของสารละลายที่ผ่านการกรองก่อนการตรวจวัด

เมื่อกรองสารละลายก่อนการตรวจวัดแล้ว พบว่า Baseline ต่ำลง สเปกตรัมของสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่างๆ เห็นชัดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.4 (ข) เมื่อเทียบกับสเปกตรัมของสารละลายที่ไม่ผ่านการกรองดังรูปที่ 4.4 (ก) ดังนั้นในการศึกษาหัวข้อต่อไปจึงเสนอให้มีการกรองก่อนการตรวจวัดทุกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ศึกษาเวลาในการตรวจวัด

เพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการตรวจวัด นอกจากลดเวลาในการกรองแล้ว ยังสามารถลดระยะเวลาในการผสมสารละลายเข้าด้วยกันได้ โดยศึกษาในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ 1 ถึง 5 นาที พบว่า ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตเมื่อใช้เวลาในการตรวจวัดต่างกัน

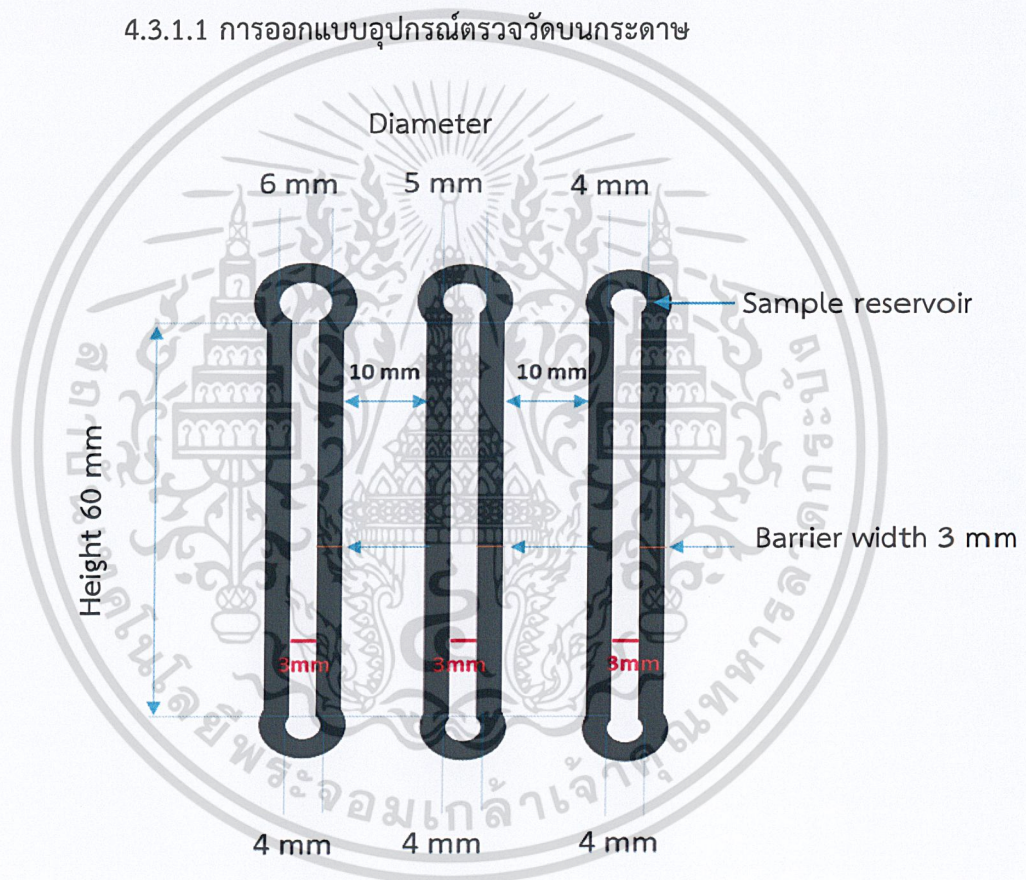
จากกราฟมาตรฐาน พบว่าเมื่อใช้เวลาในการผสมลดลง ความไวในการวิเคราะห์ก็จะลดลง พิจารณาจากความชันของกราฟมาตรฐานที่ลดลง เมื่อศึกษาด้วยสารละลายมาตรฐานซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ พบว่าเมื่อเวลาในการผสมน้อย ค่าการดูดกลืนแสงไม่ค่อยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะเห็นความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเวลาในการผสมแตกต่างกัน ดังนั้นจึงเลือกระยะเวลาในการผสมสารละลาย 5 นาทีเป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุด

4.3 การออกแบบชุดทดสอบภาคสนาม

4.3.1 อุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษ

ในการวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตในดิน ชุดอุปกรณ์ทดสอบที่ทำมาจากกระดาษจะสามารถใช้งานได้ง่าย และพกพาสะดวก ดังนั้นกระดาษจึงเป็นตัวเลือกแรกที่จะนำมาออกแบบเป็นชุดอุปกรณ์ตรวจวัด โดยอ้างอิงจากงานวิจัย [19] ที่ได้มีการใช้ Reaction Band-Length หรือการวัดระยะทางที่เกิดปฏิกิริยาของสารตัวอย่าง และนำมาสร้างเป็นกราฟมาตรฐานเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย โดยใช้ปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสีและวัดระยะทางของแถบสีที่เกิดได้ด้วยตาเปล่า

4.3.1.1 การออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษ



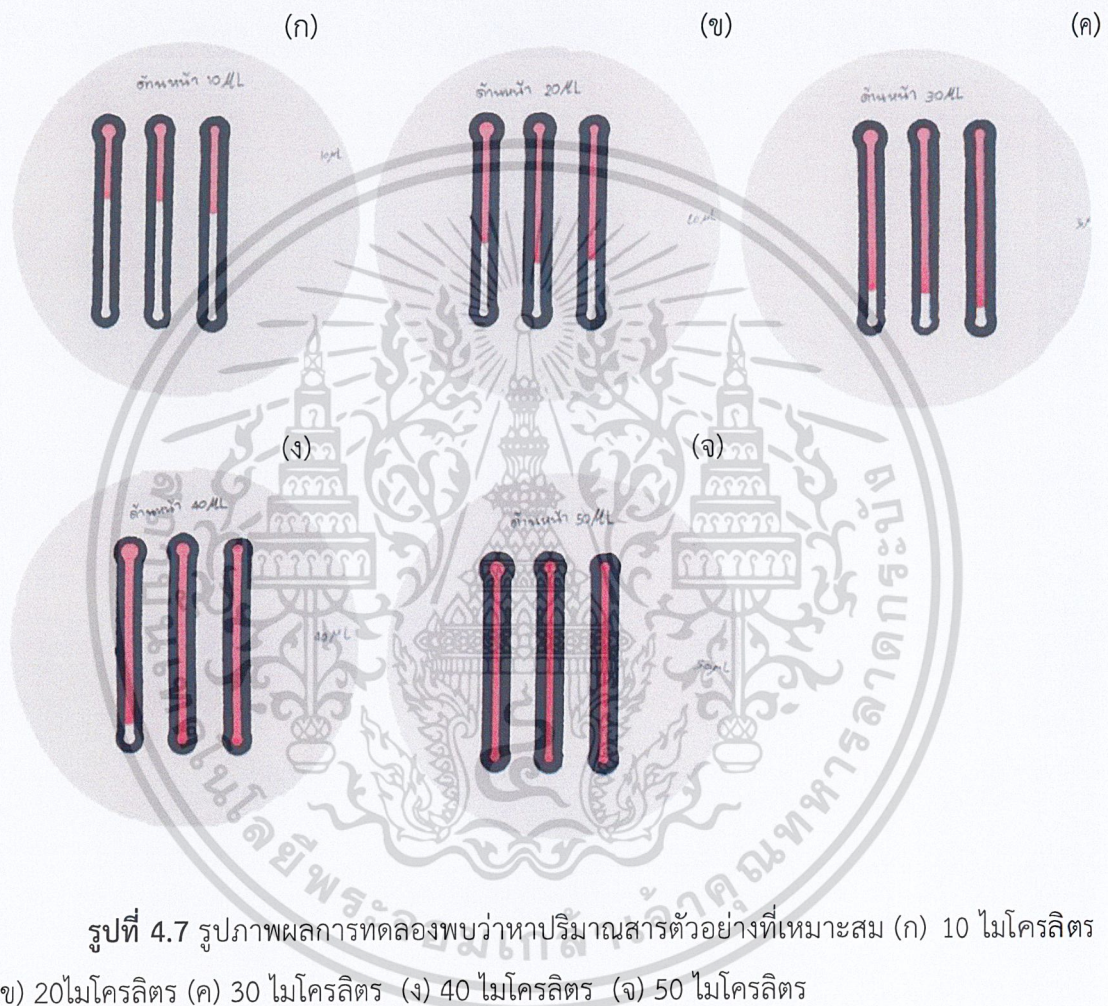
รูปที่ 4.6 รูปภาพลวดลายอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษ

ลวดลายที่ออกแบบจะมีรูปร่างคล้ายดัมเบล โดยปลายด้านหนึ่งเป็นส่วนใส่สารตัวอย่าง (Sample Reservoir) มีรูปร่างวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4, 5 และ 6 มิลลิเมตร ตามลำดับ ปลายอีกด้านหนึ่งเป็นส่วนทิ้งสาร (Waste) มีรูปร่างวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตรเท่ากัน ส่วนท่อยาว (Hydrophilic Channel) ระหว่างปลายทั้งสองด้านมีความกว้าง 3 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตร เส้นขอบของลวดลาย (Hydrophobic Barrier) หนา 3 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.2 ศึกษาปริมาณสารตัวอย่างที่เหมาะสมในการตรวจวัด

ในการหาปริมาณสารตัวอย่างที่เหมาะสมในการตรวจวัด ต้องการให้สารตัวอย่างไหลผ่านท่อ (Hydrophilic Channel) เพื่อให้สารตัวอย่างทำปฏิกิริยากับรีเอเจนต์บนส่วนท่อ ยาวได้ทั้งหมด ทำการศึกษาโดยหยดสารละลายสีแดง ในช่วงปริมาตรตั้งแต่ 10 – 50 ไมโครลิตร ลงบนอุปกรณ์การตรวจวัดบนกระดาษที่ออกแบบไว้ พบว่า ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.7 (ก – จ)

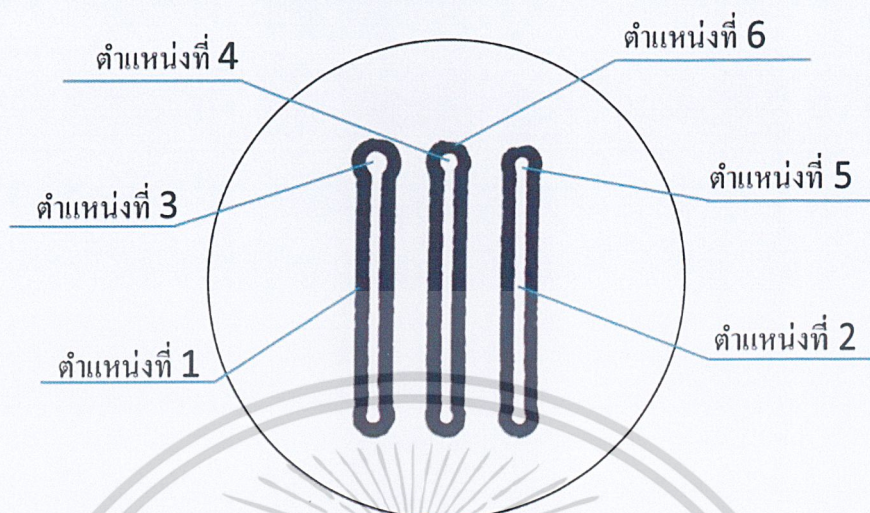


รูปที่ 4.7 รูปภาพผลการทดลองพบว่าหาปริมาณสารตัวอย่างที่เหมาะสม (ก) 10 ไมโครลิตร (ข) 20ไมโครลิตร (ค) 30 ไมโครลิตร (ง) 40 ไมโครลิตร (จ) 50 ไมโครลิตร

จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณสารตัวอย่างที่เหมาะสมในการตรวจวัดบนลวดลายนี้ เท่ากับ 50 ไมโครลิตร เพราะสารละลายน้ำสีสามารถไหลไปจนสุดปลายอีกด้านของลวดลายได้ทั้ง 3 ลาย ดังรูปที่ 4.7 (จ) แต่หากต้องการใช้ลายที่ 2 หรือ 3 เท่านั้นในการตรวจวัด (ส่วนใส่สารตัวอย่างมี เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร และ 4 มิลลิเมตร) สามารถใช้สารตัวอย่างเพียง 40 ไมโครลิตร ดังรูปที่ 4.7 (ง) แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากสารที่ใช้ทำปฏิกิริยา คือ แบริยมคลอราไนเลต ไม่สามารถละลายได้ ทำให้ไม่สามารถรีบบนกระดาษได้ ดังนั้น อุปกรณ์การตรวจวัดบนสารละลาย อาจไม่เหมาะสม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จึงได้ดำเนินการออกแบบชุดทดสอบใหม่ ดังจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.3 ศึกษาความถูกต้องของการสแตมป์



รูปที่ 4.8 ภาพแสดงตำแหน่งที่วัดผลลายอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษ

ตำแหน่งที่ 1 ความกว้างของ hydrophobic barrier ที่จุดกึ่งกลางของ pattern
 ตำแหน่งที่ 2 ความกว้างของ hydrophilic channel ที่จุดกึ่งกลางของ pattern
 ตำแหน่งที่ 3 เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของ hydrophilic sample area ขนาด 6 มิลลิเมตร
 ตำแหน่งที่ 4 เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของ hydrophilic sample area ขนาด 5 มิลลิเมตร
 ตำแหน่งที่ 5 เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของ hydrophilic sample area ขนาด 4 มิลลิเมตร
 ตำแหน่งที่ 6 ความกว้างของ hydrophobic barrier ที่ sample area

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองสแตมป์ครั้งที่ 1

ตำแหน่งที่	ขนาดจริง (มิลลิเมตร.)	ขนาดที่วัดได้ (มิลลิเมตร.)
1	3	3.37±0.35
2	3	2.63±0.40
3	6	5.90±0.42
4	5	4.60±0.42
5	4	3.40±0.42
6	3	2.80±0.45

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองสแตมป์ครั้งที่ 2

ตำแหน่งที่	ขนาดจริง (มิลลิเมตร.)	ขนาดที่วัดได้ (มิลลิเมตร.)
1	3	3.00±0.00
2	3	3.00±0.00
3	6	6.00±0.00
4	5	4.90±0.22
5	4	4.00±0.00
6	3	3.10±0.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

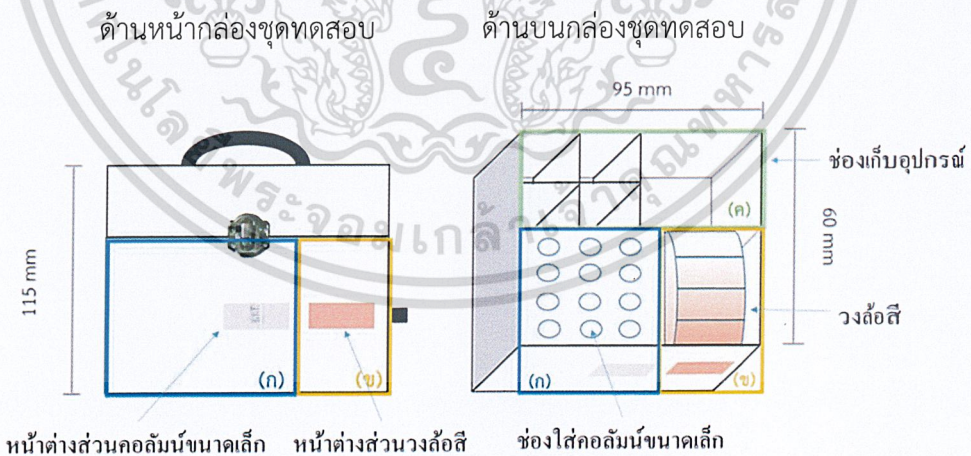
จากตารางผลการทดลองแสดมภ์ ในการทดสอบแต่ละครั้งวัดขนาดทั้งหมด 5 ตัวอย่าง แต่ในตำแหน่งที่ 1 และ 2 นั้น ใน 1 ตัวอย่างมี 3 ลาย ดังนั้นจึงมีค่า $n = 15$ ในขณะที่ตำแหน่งอื่นมีค่า $n = 5$ จะเห็นได้ว่า การแสดมภ์ครั้งที่ 2 มีความถูกต้องมากกว่าครั้งที่ 1 อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากการฝึกฝนทำให้ในการแสดมภ์ครั้งที่ 2 สามารถแสดมภ์ได้ดีกว่าครั้งที่ 1 แต่เนื่องจากรีเอเจนต์ที่ใช้คือแบเรียมคลอไรด์ซึ่งเป็นของแข็งและปฏิกิริยาที่ใช้ตรวจวัดจำเป็นต้องใช้แบเรียมคลอไรด์ในสภาวะของแข็ง ไม่สามารถละลายให้กลายเป็นสารละลายได้ ทำให้ไม่สามารถใช้การวัดระยะทางบนกระดาษได้ เนื่องจากวิธีการวัดระยะทางบนกระดาษเหมาะกับปฏิกิริยาที่ใช้รีเอเจนต์และสารตัวอย่างเป็นของเหลวทั้งหมดมากกว่า ดังนั้นจึงได้ออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดรูปแบบอื่นต่อไป

4.3.2 อุปกรณ์ตรวจวัดในคอลัมน์ขนาดเล็ก

แนวคิดในการออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดในคอลัมน์ขนาดเล็กมาจากการใช้รีเอเจนต์เป็นของแข็ง และไม่สามารถใช้การตรวจวัดบนกระดาษที่ออกแบบในหัวข้อ 4.3.1 ได้ จึงออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดแบบใหม่ให้เหมาะสมกับการใช้งาน

4.3.2.1 การออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัด

ได้ออกแบบกล่องชุดทดสอบแสดมภ์ดังรูปที่ 4.9 โดยรูปซ้ายมือ เป็นรูปที่มองจากด้านหน้า และรูปขวามือเป็นรูปที่มองจากด้านบน โดยอุปกรณ์ที่จะบรรจุในกล่องชุดทดสอบมีดังต่อไปนี้



หน้าต่างส่วนคอลัมน์ขนาดเล็ก หน้าต่างส่วนวงล้อสี ช่องใส่คอลัมน์ขนาดเล็ก

รูปที่ 4.9 ภาพอุปกรณ์ตรวจวัดที่ออกแบบ (ก) ส่วนใส่คอลัมน์ขนาดเล็กเจาะช่องด้านหน้า เพื่อสังเกตสีที่เกิดขึ้นภายในคอลัมน์ (ข) ส่วนตรวจวัดเจาะช่องด้านหน้าในระดับเดียวกับช่องด้านขวาที่ใช้สังเกตสี เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบสีกับแถบสีได้ (ค) ที่เก็บอุปกรณ์ภายใน ได้แก่

เอกสารเตรียมตัวอย่าง คอลัมน์ขนาดเล็ก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ภายในกล่องชุดทดสอบ

1. ขวดเตรียมตัวอย่าง

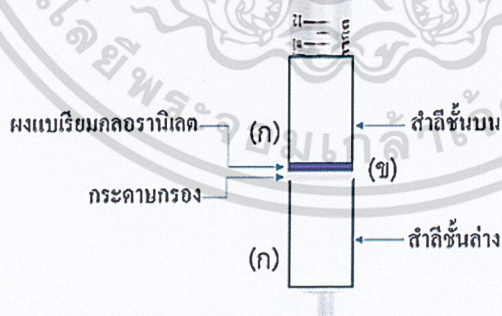
ขวดเตรียมตัวอย่างเป็นดังรูปที่ 4.10 โดยเป็นขวดบีบขนาดปริมาตร 5 มิลลิลิตร สำหรับหยดสาร โดยจะผสมดินและตัวทำละลายไว้ในขวด เขย่าให้เข้ากันแล้วหยดสารลงในคอลัมน์ขนาดเล็ก โดยเก็บขวดเตรียมตัวอย่างไว้ที่ด้านหลังของกล่องอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.9 (ค)



รูปที่ 4.10 ขวดเตรียมตัวอย่าง

2. คอลัมน์ขนาดเล็ก

คอลัมน์ขนาดเล็กเป็นส่วนที่ใช้สำหรับกรองสารละลายตัวอย่างและสำหรับให้สารทำปฏิกิริยากัน โดยตัวคอลัมน์นี้ดัดแปลงมาจากกระบอกฉีดยา ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ภายในคอลัมน์นี้ ประกอบไปด้วย สำลีสันบนและสันล่าง ปริมาตรของสำลีสันละ 1 มิลลิลิตร ดังแสดงในรูป 4.11 (ก) สันกลางคือผงแบเรียมคลอไรด์หนัก 0.008 กรัม และกระดาษกรองดังแสดงในรูป 4.11 (ข)



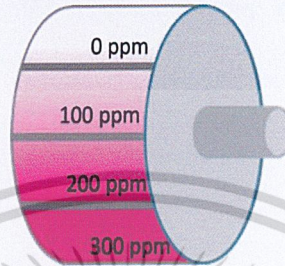
รูปที่ 4.11 คอลัมน์ขนาดเล็ก (ก) ชั้นของสำลีสัน (ข) ชั้นของแบเรียมคลอไรด์หนักกับกระดาษกรอง

เมื่อต้องการใช้ชุดทดสอบ ให้นำคอลัมน์ขนาดเล็กออกมาใส่ไว้ในช่องด้านหน้าของกล่องชุดทดสอบ ซึ่งจะตรงกับหน้าต่างด้านหน้ากล่องดังแสดงในรูปที่ 4.9 (ก) ทำให้สามารถสังเกตการ

เปลี่ยนแปลงสีได้ง่าย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วงล้อสีมาตรฐาน

ออกแบบแถบสีมาตรฐานเป็นวงล้อทรงกระบอกที่มีแกนหมุนตรงกลาง และติดแถบสีพร้อมระดับความเข้มข้นที่วงล้อนี้ รูปวงล้อสีมาตรฐาน แสดงดังรูปที่ 4.11 โดยติดตั้งไว้ด้านข้างส่วนใส่คอลัมน์ขนาดเล็ก ตรงกับช่องหน้าต่างด้านหน้า ดังแสดงในรูปที่ 4.9 (ข) เพื่อให้สามารถหมุนวงล้อสีมาตรฐานเปรียบเทียบกับคอลัมน์ขนาดเล็กด้านข้างได้



รูปที่ 4.12 วงล้อสีมาตรฐาน

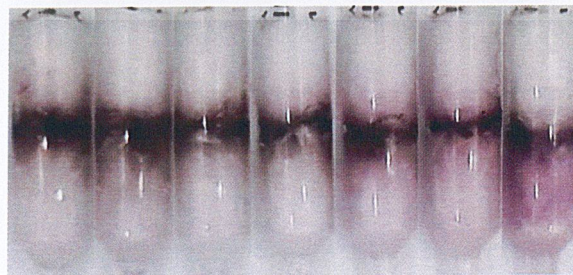
4.4 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดหาปริมาณซัลเฟตโดยใช้ชุดทดสอบภาคสนาม

4.4.1 ศึกษาอิทธิพลของการใส่กระดาษกรองในคอลัมน์

ศึกษาอิทธิพลของการใส่กระดาษกรองในคอลัมน์ โดยใส่กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 ที่ตัดเป็นวงกลมขนาดพอดีกับคอลัมน์ ใส่ลงไประหว่างสำลีชั้นล่างและผงแบเรียมคลอไรด์ เปรียบเทียบกับคอลัมน์ที่ไม่ใส่กระดาษกรองในคอลัมน์ พบว่าได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.13 (ก - ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.13 ภาพเปรียบเทียบคอลัมน์เมื่อใส่กระดาษกรอง (ก) กับไม่ใส่กระดาษกรอง (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลอง พบว่าการใส่กระดาษกรองทำให้ผงแบเรียมคลอไรด์ไม่กระจายตัวลงมาปนกับสำลีชั้นล่าง ดังรูปที่ 4.13 (ก) ซึ่งผงแบเรียมคลอไรด์ที่ปนในสำลีชั้นล่างส่งผลให้สีที่เกิดมีสีแดงม่วงปนดำดังรูปที่ 4.13 (ข) รบกวนสีที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงเสนอให้ใช้กระดาษกรองในทุกการทดลองของหัวข้อการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจหาปริมาณซัลเฟตโดยใช้ชุดทดสอบภาคสนาม

4.4.2 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณสำลี

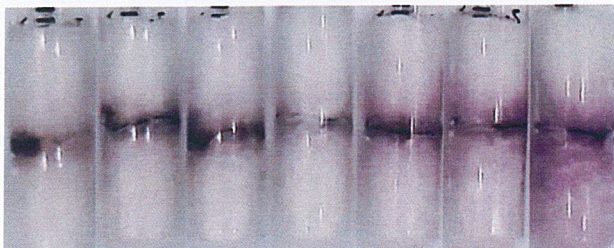
4.4.2.1 การศึกษาความหนาแน่นของสำลีที่เหมาะสม

ได้ทำการศึกษาความหนาแน่นของสำลี 3 ค่า 0.067, 0.100 และ 0.200 กรัมต่อมิลลิลิตร โดยใส่สำลีลงในคอลัมน์ 0.100 กรัมเท่ากัน แต่เปลี่ยนระดับความสูงของสำลีตามสเกลของกระบอกฉีดยาเป็น 0.50, 1.00 และ 1.50 มิลลิลิตรตามลำดับ

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.14 เมื่อเปรียบเทียบสีที่เกิดขึ้นในคอลัมน์ที่มีความหนาแน่นของสำลีต่างกันแล้ว พบว่า สีสันสำลีที่มีความหนาแน่น 0.100 กรัมต่อมิลลิลิตร มีสีที่ชัดเจนมากที่สุดดังรูปด้านล่าง เนื่องจากสำลีที่มีความหนาแน่นน้อยเกินไปทำให้มีรูพรุนที่ใหญ่ สารละลายจึงไหลผ่านไปอย่างรวดเร็ว หลงเหลือสีติดค้างอยู่บนสำลีชั้นล่างน้อย ส่วนสำลีที่มีความหนาแน่นมากเกินไป ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างก้อนสำลีและผนังคอลัมน์ ซึ่งทำให้สารละลายไหลผ่านไปอย่างรวดเร็วเช่นกัน จึงเสนอให้ใช้ความหนาแน่นที่เหมาะสมที่สุดคือ 0.100 กรัมต่อมิลลิลิตร ในหัวข้อถัดไป

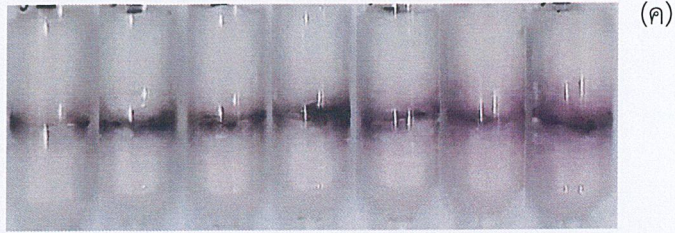


(ก)



(ข)

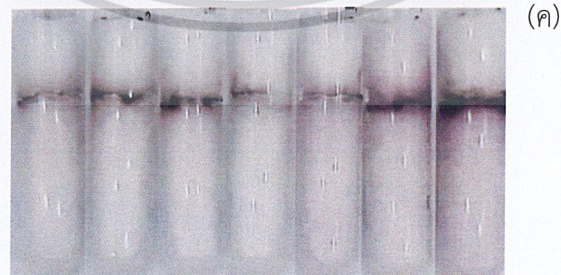
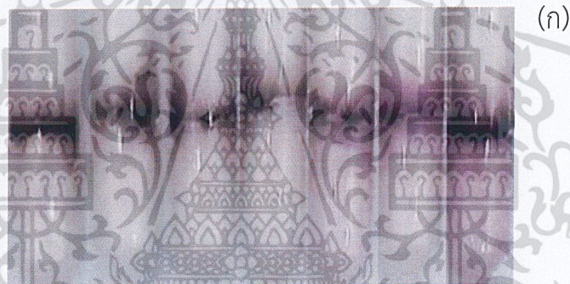
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ภาพเปรียบเทียบคอลัมน์ที่ใช้สำหรับความหนาแน่นระดับแตกต่างกัน (ก) สำลีที่มีความหนาแน่น 0.067 กรัมต่อมิลลิลิตร (ข) สำลีที่มีความหนาแน่น 0.100 กรัมต่อมิลลิลิตร (ค) สำลีที่มีความหนาแน่น 0.200 กรัมต่อมิลลิลิตร

4.4.2.2 ศึกษาอิทธิพลของน้ำหนักและความสูงของสำลี

ได้ทำการศึกษาน้ำหนักของสำลี 3 ค่า ได้แก่ 0.10, 0.15 และ 0.20 กรัม โดยใช้ความหนาแน่น 0.1 กรัมต่อมิลลิลิตร พบว่าเมื่อใช้สำลิมากขึ้น สีที่เกิดขึ้นจางลง ดังรูปผลการทดลองในรูปที่ 4.15 (ก - ค)



รูปที่ 4.15 ภาพเปรียบเทียบอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับน้ำหนักสำลีแตกต่างกัน (ก) สำลีนหนัก 0.10 กรัม

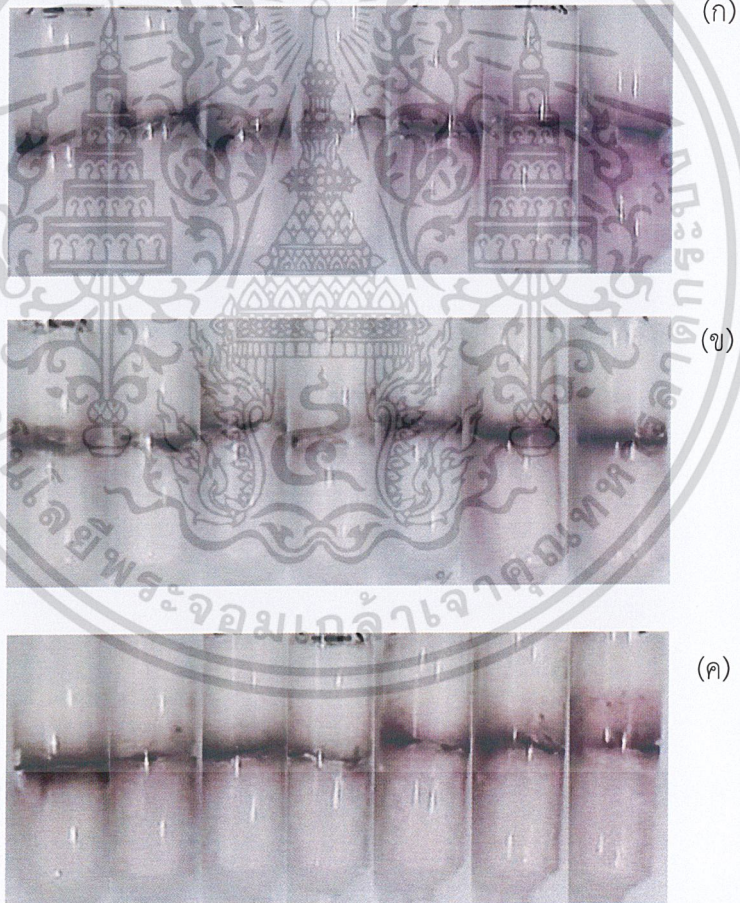
(ข) สำลีนหนัก 0.15 กรัม (ค) สำลีนหนัก 0.20 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองเห็นได้ว่าสำลีหนัก 0.1 กรัม ให้สีที่ชัดเจนที่สุด เนื่องจากเมื่อน้ำหนักและความสูงของสำลีเพิ่มขึ้น พื้นที่ในการดูดซึมสารละลายก็มากขึ้น ทำให้เมื่อใช้ปริมาณสารที่เท่ากันแต่กลับเกิดสีจางลง ดังนั้นจึงเสนอให้ทุกการทดลองในหัวข้อการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจหาปริมาณซัลเฟตโดยใช้ชุดทดสอบภาคสนามใช้ปริมาณสำลีหนัก 0.1 กรัม ความหนาแน่น 0.1 กรัมต่อมิลลิลิตร

4.4.3 ศึกษาอิทธิพลของการใส่เอทานอลและ โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต

ได้ทำการศึกษามลของการใส่เอทานอลและบัฟเฟอร์โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต โดยใส่สารละลายมาตรฐานซัลเฟตลงในชุดทดสอบแรก จากนั้นเปรียบเทียบกับชุดทดสอบที่ 2 ซึ่งใส่สารละลายมาตรฐานซัลเฟต, เอทานอลและบัฟเฟอร์ และชุดทดสอบที่ 3 ซึ่งใส่สารละลายมาตรฐานซัลเฟตและบัฟเฟอร์ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.16 (ก - ค)



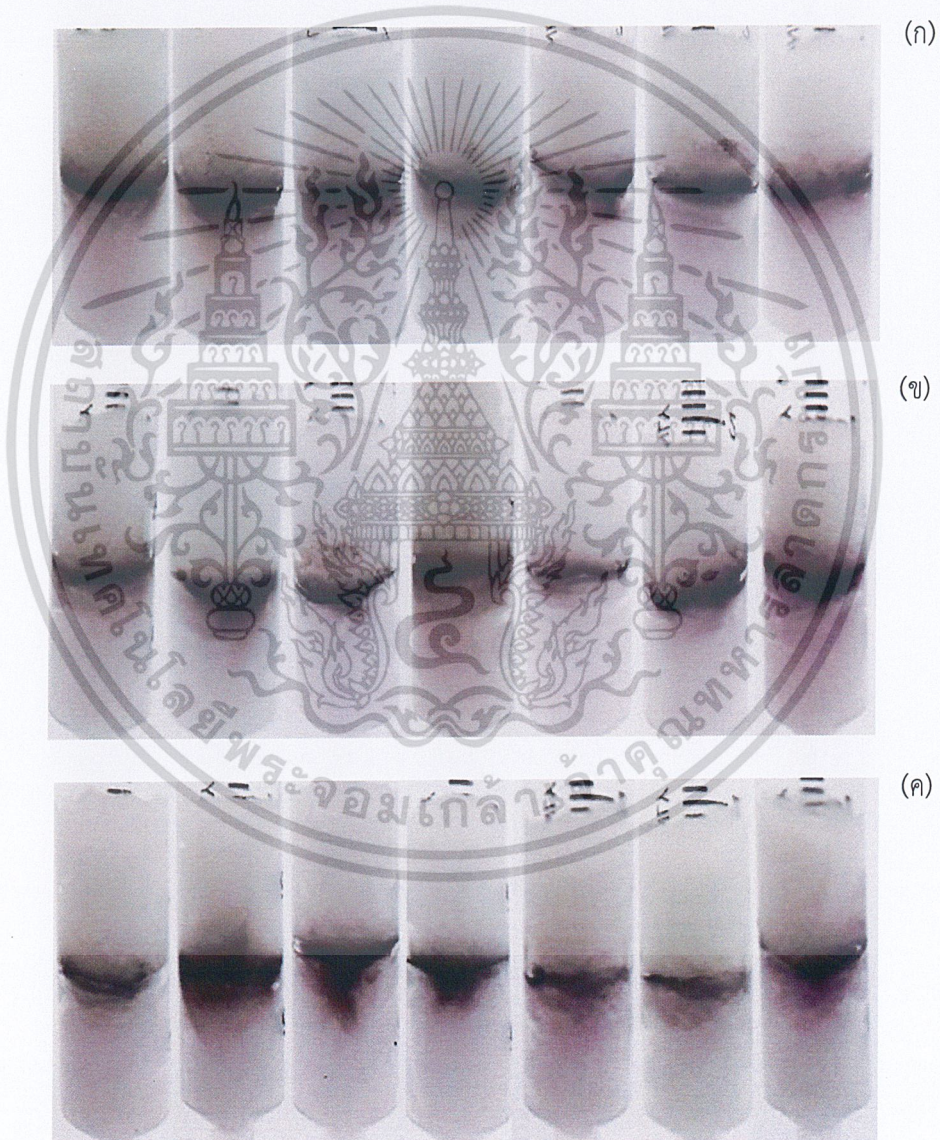
รูปที่ 4.16 ภาพเปรียบเทียบสีของคอลัมน์ เมื่อ (ก) ใส่สารละลายมาตรฐานซัลเฟตเท่านั้น (ข) ใส่สารละลายมาตรฐานซัลเฟต, เอทานอลและบัฟเฟอร์ pH 4 (ค) ใส่สารละลายมาตรฐานซัลเฟต

กับบัฟเฟอร์ pH 4 เท่านั้น
เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ศรีสะเกษ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อใส่เอทานอลลงในสารตัวอย่าง ทำให้สีที่เกิดขึ้นจางลง เนื่องจากเอทานอลทำให้ความสามารถในการละลายของแบเรียมคลอไรด์ลดลง [17] ดังนั้นจึงเสนอให้ไม่ใส่เอทานอลในชุดทดสอบภาคสนาม และได้ทำการศึกษาผลของ pH ในหัวข้ออื่นต่อไป

4.4.4 ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

ในการศึกษาระยะเวลา ทำการทดลองโดย หลังหยดสารละลายตัวอย่างแล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3, 5 และ 10 นาที ตามลำดับ จากนั้นสังเกตสีที่เกิดขึ้น พบว่าได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.17 (ก - ค)

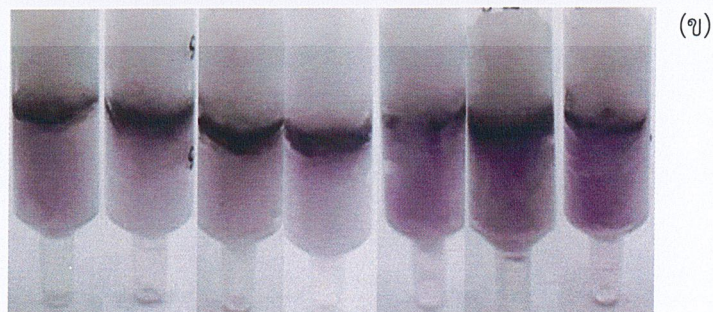


รูปที่ 4.17 ภาพเปรียบเทียบคอลัมน์ เมื่อทิ้งเวลาให้เกิดปฏิกิริยาก่อนถ่ายรูป (ก) 3 นาที เอกสา (ข) 5 นาที และ (ค) 10 นาที การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

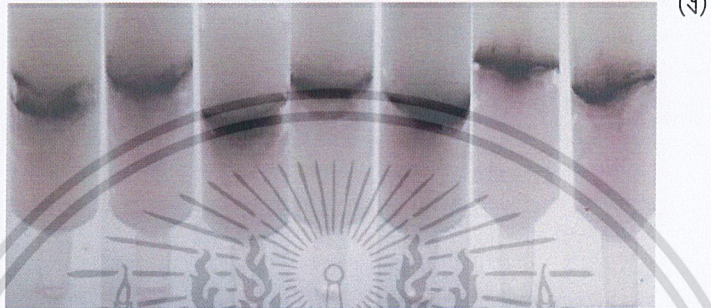
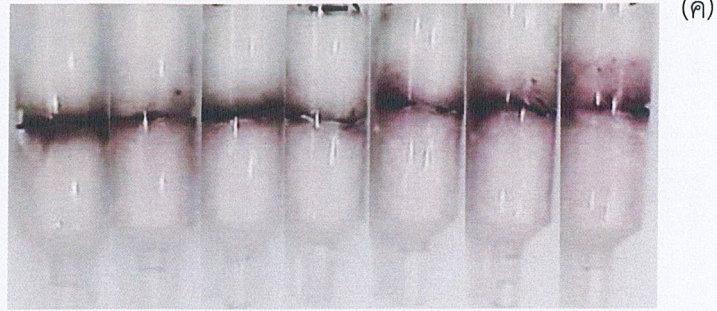
จากผลการทดลองพบว่า เมื่อตั้งทิ้งไว้ 3 นาที แล้วถ่ายรูป สีที่เกิดขึ้นไม่ชัดเจนจึงมองแทบไม่เห็นสี แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้นานขึ้นเห็นสีชัดเจนขึ้น ส่วนที่เวลา 5 และ 10 นาที มองไม่เห็นความแตกต่าง จึงเสนอให้ใช้เวลาตั้งทิ้งไว้ 5 นาที ก่อนทำการถ่ายรูปในกล้องถ่ายรูป ในหัวข้อการทดลองถัดไป เนื่องจากเป็นระยะเวลาที่เร็วที่สุดที่ทำให้เกิดสีชัดเจน

4.4.5 ศึกษาอิทธิพลของ pH

ในการศึกษา pH ได้ทำการศึกษาทั้งหมด 4 ค่า ได้แก่ pH 2, 3, 4 และ 5 พบว่า คอลัมน์ที่ pH 2 เห็นสีเข้มมากที่สุดดังรูปที่ 4.18 (ก) เนื่องจากคอลัมน์ที่ pH 2 และ pH 3 ได้ทำการปรับ pH ของบัฟเฟอร์ ด้วยกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร เมื่อผสมกับสารละลายมาตรฐานซัลเฟตและหยดลงคอลัมน์ คลอไรด์ในสารละลายตัวอย่างสามารถเกิดปฏิกิริยากับแบเรียมคลอไรด์ได้เช่นกัน ทำให้สีเข้มขึ้น สังเกตได้จากหลอดทดลองชุดแรกดังรูปที่ 4.18 (ก) และคอลัมน์ชุดที่ 2 ดังรูปที่ 4.18 (ข) ซึ่งเป็น blank แต่เห็นสีเข้มมากกว่าคอลัมน์ที่ pH อื่นๆ ส่วนคอลัมน์ที่ pH 5 ทำการปรับ pH ของบัฟเฟอร์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร สีที่เกิดขึ้นจางลงมากจากรูปที่ 4.18 (ง) เมื่อเทียบกับคอลัมน์ที่ pH อื่นๆ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ pH 3 สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีได้ง่ายกว่าที่ pH อื่นๆ ดังนั้นในชุดทดสอบจึงควรที่จะใส่บัฟเฟอร์ pH 3 ลงไปด้วย เพื่อเพิ่มความเข้มสีให้สังเกตได้ง่ายมากยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ภาพเปรียบเทียบหลอดทดลองเมื่อใช้โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (ก) pH 2
(ข) pH 3 (ค) pH 4 (ง) pH 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบชุดทดสอบ และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์แบบใหม่ในการตรวจวัดหาปริมาณซัลเฟตไอออนดินที่ใช้ผลิตอิฐก่อสร้าง ซึ่งใช้หลักการตรวจวัดด้วยตาเปล่า เพื่อสังเกตความเข้มข้นที่เกิดขึ้นของปฏิกิริยาระหว่างแบเรียมคลอไรด์กับซัลเฟตไอออน และวิธีการที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถลดปริมาณการใช้สารเคมีเมื่อเทียบกับวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตไอออนแบบเดิมที่มีอยู่ ชุดทดสอบภาคสนามขึ้นนี้อาจจะยังไม่เสร็จสมบูรณ์เนื่องจากต้องทำการสร้างแถบสีมาตรฐานให้ครบทุกความเข้มข้นที่ต้องการก่อน แต่ในงานวิจัยขึ้นนี้ได้ทำการทดลองหาเงื่อนไขและสภาวะที่เหมาะสมกับชุดทดสอบขึ้นนี้ ได้แก่ ใช้สำลี 0.1 กรัม โดยมีความหนาแน่นของสำลีที่ 0.1 กรัมต่อมิลลิลิตร เติมน้ำแบเรียมคลอไรด์ 0.008 กรัม และใส่กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 ไว้ด้านล่างรีเอเจนท์ สารตัวอย่างทำการใส่บัฟเฟอร์ pH 3 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ผสมกับสารตัวอย่างซัลเฟตที่ได้จากดิน 4 มิลลิลิตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลอง ผงตะกอนของแบเรียมคลอไรด์คือตัวรบกวนหลักที่ทำให้สีที่เกิดขึ้น มีสีคล้ำ และสังเกตได้ยาก รวมถึงวิธีการผลิตคอลัมน์ขนาดเล็ก ในขั้นตอนการบรรจุสำลีและรีเอเจนท์ ต้องใช้เวลาในการเตรียมการซึ่งเป็นเวลาส่วนใหญ่ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กระบวนการผลิตอิฐมอญ. [Online]. Available : <https://www.itdang2009.com/16991038>. accessed : 1 May 2019.
- [2] สิริพรรณ นิลไพรัช. การเกิดคราบของอิฐมอญ. [Online]. Available : <http://www.material.chula.ac.th/RADIO48/March/radio3-3.htm>. accessed : 7 May 2019.
- [3] มัณฑนา ส่งเสริมมงคล. 2551. การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์หาซัลเฟตด้วยเทคนิคการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก และเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี. กรุงเทพฯ : กองวิเคราะห์ และตรวจสอบทรัพยากรธรณี.
- [4] อุดมลักษณ์ รัตนอำพล. 2540. การศึกษาเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาซัลเฟตในตัวอย่างน้ำบาดาล โดยวิธี Automated Methylthymol Blue และ Turbidimetric method Automated. ห้องสมุดทรัพยากรธรณี.
- [5] ขั้นตอนการผลิตอิฐมอญ. [Online]. Available : <https://www.itsareerungraeng.com/15746410>. accessed : 2 May 2019.
- [6] ประเภทของอิฐมอญ. [Online]. Available : <https://www.scgbuildingmaterials.com/th/LivingIdea/NewBuild/Brick-VS-AAC-Block.aspx>. accessed : 2 May 2019.
- [7] ภาพอิฐมอญต้นและอิฐมอญรู. [Online]. Available : <https://www.itsubboonsong.com>. accessed : 2 May 2019.
- [8] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ). มอก.ของอิฐมอญในประเทศไทย. [Online]. Available : <https://www.xn-12cxbj1c5b5dkcc5ezjpci.com/15864418D>. accessed : 7 May 2019.
- [9] ลักษณะของอิฐมอญที่ดี. [Online]. Available : <https://pbundeetaweasab.weebly.com/3588364036033626361736103633360536363586362935913629363600361736293597.html>. accessed : 5 May 2019.
- [10] วิธีการทำอิฐมอญ. [Online]. Available : <https://sirin51382518.wordpress.com>. accessed : 3 May 2019.
- [11] โรงงานอิฐมอญพงษ์เจษฎา. 2560. วิธีทำอิฐมอญ. [Online]. Available : <http://www.pongjadesada.com/42/>. accessed : 3 May 2019.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] ผ่อง อินทุลักษณะ. 2529. **วัตถุดิบในการผลิตอิฐ**. [Online]. Available : file:///C:/Users/User/Downloads/Documents/1254851346_05.pdf. accessed : 4 May 2019.
- [13] มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน อิฐมอญ. 2547. **อิฐมอญ**. [Online]. Available : http://www.material.chula.ac.th/RAD48/March/radio3-2.htm. accessed : 7 May 2019.
- [14] H. N. S. Schafer. 1967. “An Improved Spectrophotometric Method for the Determination of Sulfate with Barium Chloranilate as Applied to Coal Ash and Related Materials”. *Analytical chemistry*, 39 : 1719-1726
- [15] J. L. Lambert and I. Ramasamy. 1975. “Colorimetric Determination of Sulfate in Water with Barium Violurate”. *Analytical chemistry acta*, 76 : 460-463
- [16] J. L. Lambert, S. K. Yasuda, and M. P. Grotheer. 1955. “Colorimetric Determination of Sulfate Ion”. *Analytical chemistry*, 27 : 800-801
- [17] R. J. Bertolacini and J. E. Barney. 1957 “Colorimetric Determination of Sulfate with Barium Chloranilate”. *Analytical chemistry*, 29 : 281-283
- [18] R. W. Klipp and J. E. Barney. 1959. “Determination of Sulfur Traces in Naphthas by Lamp Combustion and Spectrophotometry”. *Analytical chemistry*, 31 : 596-597
- [19] D. Nacapricha, K. Uraisin, N. Ratanawimarnwong, P. Saetear, P. Wilairat, S. Buking and W. Tiyapongpattana. 2018. “Microfluidic Paper-based Analytical Device for Quantification of Lead Using Reaction Band-length for Identification of Bullet Hole and Its Potential for Estimating Firing Distance”. *Analytical science*, 34 : 83-89
- [20] J. W. Butler and D. N. Locke. 1975. “Photometric End Point Detection of The Bathorin Titration of Sulfates”. *Journal of Environmental Science and Health*, 11 : 79-92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานซัลเฟต ความเข้มข้น 1 - 400 ppm ที่ $\lambda_{\text{max}} = 530 \text{ nm}$ จากการทดสอบปฏิกิริยาระหว่าง barium chloranilate กับ sulfate ions อ้างอิงจากรูปที่ 4.1

ตารางที่ ก.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานซัลเฟต ความเข้มข้น 1 - 400 ppm

ความเข้มข้นของ K_2SO_4 (ppm)	Absorbance (nm)
Blank	0.091
1	0.136
10	0.142
20	0.147
100	0.189
200	0.238
400	0.354

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานซัลเฟต ความเข้มข้น 1 – 400 ppm ที่ $\lambda_{\max} = 530 \text{ nm}$ จากการศึกษาปริมาณ Barium chloranilate ที่เหมาะสม อ้างอิงจากรูปที่ 4.2

ตารางที่ ข.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานซัลเฟต ความเข้มข้น 1 – 400 ppm ของ Barium chloranilate 0.001 กรัม

ความเข้มข้น ของ K_2SO_4 (ppm)	Absorbance (nm)		Average	SD	%RSD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2			
Blank	0.032	0.035	0.0335	0.0021	6.33
1	0.046	0.044	0.0450	0.0014	3.14
10	0.053	0.056	0.0545	0.0021	3.89
20	0.078	0.074	0.0760	0.0028	3.72
100	0.081	0.086	0.0835	0.0035	4.23
200	0.071	0.074	0.0725	0.0021	2.93
400	0.085	0.089	0.0870	0.0028	3.25

ตารางที่ ข.2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานซัลเฟต ความเข้มข้น 1 – 400 ppm ของ Barium chloranilate 0.004 กรัม

ความเข้มข้น ของ K_2SO_4 (ppm)	Absorbance (nm)		Average	SD	%RSD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2			
Blank	0.153	0.165	0.1590	0.0085	5.34
1	0.190	0.191	0.1905	0.0007	0.37
10	0.203	0.210	0.2065	0.0049	2.40
20	0.211	0.228	0.2195	0.0120	5.48
100	0.253	0.251	0.2520	0.0014	0.56
200	0.244	0.266	0.2550	0.0156	6.10
400	0.272	0.263	0.2675	0.0064	2.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานซัลเฟต ความเข้มข้น 1 - 400 ppm ของ Barium chloranilate 0.008 กรัม

ความเข้มข้น ของ K_2SO_4 (ppm)	Absorbance (nm)		Average	SD	%RSD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2			
Blank	0.225	0.210	0.2175	0.0106	4.88
1	0.261	0.260	0.2605	0.0007	0.27
10	0.284	0.298	0.2910	0.0099	3.40
20	0.280	0.312	0.2960	0.0226	7.64
100	0.444	0.459	0.4515	0.0106	2.35
200	0.459	0.456	0.4575	0.0021	0.46
400	0.457	0.463	0.4600	0.0042	0.92

ตารางที่ ข.4 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานซัลเฟต ความเข้มข้น 1 - 400 ppm ของ Barium chloranilate 0.0100 กรัม

ความเข้มข้น ของ K_2SO_4 (ppm)	Absorbance (nm)		Average	SD	%RSD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2			
Blank	0.324	0.347	0.3355	0.0163	4.85
1	0.262	0.239	0.2505	0.0163	6.49
10	0.349	0.338	0.3435	0.0078	2.26
20	0.380	0.365	0.3725	0.0106	2.85
100	0.530	0.537	0.5335	0.0049	0.93
200	0.524	0.574	0.5490	0.0354	6.44
400	0.508	0.511	0.5095	0.0021	0.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานซัลเฟต ความเข้มข้น 1 – 400 ppm

ที่ $\lambda_{\max} = 530 \text{ nm}$ จากการศึกษาอิทธิพลของการกรองตะกอนก่อนการตรวจวัดอ้างอิงจากรูปที่ 4.4

ตารางที่ ค.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานซัลเฟต ความเข้มข้น 1 – 400 ppm
เมื่อไม่กรองตะกอนแล้วตรวจวัด

ความเข้มข้น ของ K_2SO_4 (ppm)	Absorbance (nm)		Average	SD	%RSD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2			
Blank	0.225	0.210	0.2176	0.0110	5.05
10	0.284	0.298	0.2910	0.0106	3.63
20	0.312	0.280	0.2958	0.0224	7.58
100	0.459	0.444	0.4513	0.0106	2.35
200	0.459	0.456	0.4577	0.0022	0.49
400	0.457	0.463	0.4599	0.0038	0.83

ตารางที่ ค.2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานซัลเฟต ความเข้มข้น 1 – 400 ppm
เมื่อกรองตะกอนก่อนตรวจวัด

ความเข้มข้น ของ K_2SO_4 (ppm)	Absorbance (nm)		Average	SD	%RSD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2			
Blank	0.038	0.038	0.0383	0	0
10	0.057	0.057	0.0567	0	0
20	0.085	0.085	0.0854	0	0
100	0.114	0.124	0.1190	0.0077	6.456
200	0.141	0.153	0.1474	0.0085	5.790
400	0.226143	0.240	0.2329	0.0095	4.097

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานซัลเฟต ความเข้มข้น 1 – 400 ppm
ที่ $\lambda_{\max} = 530 \text{ nm}$ ศึกษาเวลาในการตรวจวัด อ้างอิงจากรูปที่ 4.5

ตารางที่ ง.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานซัลเฟต ความเข้มข้น 1 – 400 ppm
เมื่อป่น 1 นาที

ความเข้มข้น ของ K_2SO_4 (ppm)	Absorbance (nm)		Average	SD	%RSD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2			
Blank	0.036	0.038	0.0370	0.0014	3.82
10	0.046	0.042	0.0440	0.0028	6.43
20	0.044	0.049	0.0465	0.0035	7.60
100	0.074	0.079	0.0765	0.0035	4.62
200	0.100	0.100	0.1000	0.0000	0.00
400	0.169	0.175	0.1720	0.0042	2.47

ตารางที่ ง.2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานซัลเฟต ความเข้มข้น 1 – 400 ppm
เมื่อป่น 2 นาที

ความเข้มข้น ของ K_2SO_4 (ppm)	Absorbance (nm)		Average	SD	%RSD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2			
Blank	0.021	0.020	0.0205	0.0007	3.45
10	0.044	0.047	0.0455	0.0021	4.66
20	0.039	0.041	0.0400	0.0014	3.54
100	0.074	0.081	0.0775	0.0049	6.39
200	0.121	0.125	0.1230	0.0028	2.30
400	0.207	0.209	0.2080	0.0014	0.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.3 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานซัลเฟต ความเข้มข้น 1 – 400 ppm เมื่อป็น 3 นาที

ความเข้มข้น ของ K_2SO_4 (ppm)	Absorbance (nm)		Average	SD	%RSD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2			
0	0.03	0.032	0.0310	0.0014	4.56
10	0.045	0.049	0.0470	0.0028	6.02
20	0.057	0.063	0.0600	0.0042	7.07
100	0.107	0.093	0.1000	0.0099	9.90
200	0.131	0.142	0.1365	0.0078	5.70
400	0.208	0.210	0.2090	0.0014	0.68

ตารางที่ ง.4 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานซัลเฟต ความเข้มข้น 1 – 400 ppm เมื่อป็น 4 นาที

ความเข้มข้น ของ K_2SO_4 (ppm)	Absorbance (nm)		Average	SD	%RSD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2			
Blank	0.015	0.015	0.0150	0.0000	0.00
10	0.033	0.037	0.0350	0.0028	8.08
20	0.038	0.042	0.0400	0.0028	7.07
100	0.098	0.101	0.0995	0.0021	2.13
200	0.121	0.137	0.1290	0.0113	8.77
400	0.204	0.226	0.2150	0.0156	7.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.5 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานซัลเฟต ความเข้มข้น 1 – 400 ppm เมื่อป้อน 5 นาที

ความเข้มข้น ของ K_2SO_4 (ppm)	Absorbance (nm)		Average	SD	%RSD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2			
Blank	0.021	0.023	0.0220	0.0014	6.43
10	0.032	0.033	0.0325	0.0007	2.18
20	0.046	0.044	0.0450	0.0014	3.14
100	0.086	0.094	0.0900	0.0057	6.29
200	0.138	0.142	0.1400	0.0028	2.02
400	0.227	0.238	0.2325	0.0078	3.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้