

การพัฒนาวิธีวิเคราะห์ซัลเฟต

DEVELOPMENT OF SULFATE ANALYSIS METHOD



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF SULFATE ANALYSIS METHOD

CHOTIKA YINGYONG
NICHAPAT MONGKOL

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาวิธีวิเคราะห์ซัลเฟต
ชื่อนักศึกษา	นางสาวโชติกา ยิ่งยง รหัสนักศึกษา 63050316 นางสาวณิชชาภัทร มงคล รหัสนักศึกษา 63050319
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2566
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ซัลเฟตด้วยการหาพื้นที่ของฝ้าตะกอนแบเรียมซัลเฟตที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างซัลเฟตกับแบเรียมไนเตรต ในหลุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.60 เซนติเมตร สูง 2.50 เซนติเมตร ของเพลทจำนวน 24 หลุม แล้วตรวจวัดพื้นที่ฝ้าตะกอนที่เกิดขึ้นโดยบันทึกภาพด้วยโทรศัพท์มือถือแล้วประมวลผลค่าพื้นที่ของฝ้าตะกอนด้วยโปรแกรม ImageJ ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการตรวจวัด ได้แก่ อัตราส่วนปริมาตรระหว่างสารละลายซัลเฟตกับสารละลายแบเรียมไนเตรต ความเข้มข้นของสารละลายแบเรียมไนเตรต ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา ได้กราฟมาตรฐานที่พลอตระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตกับพื้นที่ของฝ้าตะกอนในสภาวะเหมาะสมมีสมการเส้นตรง $y = 0.0143x + 0.0051$ และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.9795

คำสำคัญ : ซัลเฟต, แบเรียมไนเตรต, โปรแกรม ImageJ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Development of Sulfate Analysis method
Students	Miss. Chotika Yingyong Student ID 63050316 Miss. Nichapat Mongkol Student ID 63050319
Degree	Bachelor of Science (Environment Chemistry)
Department	Chemistry
School	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2023
Advisor	Asst. Prof. Dr. Wiboon Praditwengkurm

Abstract

The aim of this special project is to develop the sulfate analysis method by determining area of barium sulfate cluster suspended on solution surface which is formed by a reaction between sulfate and barium nitrate in reaction holes (each hole dimension: 1.60-cm diameter and 2.50-cm height) of a 24-well plate. The barium sulfate suspended cluster was photographed by using a mobile phone and then the area was evaluated by using ImageJ program. Various factors affecting the measurement were investigated including volume ratio between sulfate and barium nitrate solution, concentration of barium nitrate solution, concentration of hydrochloric acid, concentration of sodium chloride, and reaction period. With optimal condition, the calibration graph can be plotted between concentrations of sulfate standard solution and area of suspended barium sulfate cluster with a linear equation of $y = 0.0143x + 0.0051$ and coefficient of determination of (r^2) of 0.9795.

Keywords : Sulfate, Barium nitrate, ImageJ program.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับการอนุเคราะห์และสนับสนุนอย่างดียิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ความรู้ ข้อคิด ข้อเสนอแนะ และปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ จนกระทั่งโครงการพิเศษนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี กลุ่มของข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน ประธานกรรมการ และ ดร.กฤษณัฐ สุวรรณรัตน์ กรรมการสอบโครงการพิเศษที่ได้อนุเคราะห์ในการให้ความรู้และเสนอแนะที่เกี่ยวกับโครงการพิเศษทั้งในด้านความรู้แนวคิดและการแก้ปัญหาที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงาน

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ในห้องปฏิบัติการเคมีชั้น 5 อาคารสำนักงานคณบดี คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์ สารเคมี และให้คำปรึกษา ตลอดจนถึงเจ้าหน้าที่ท่านอื่น ๆ ที่อำนวยความสะดวกให้ตลอดการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณบิดามารดาที่คอยสนับสนุนตลอดการทำโครงการพิเศษ ทั้งการให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา และงบประมาณอุปกรณ์ จนสามารถทำโครงการพิเศษนี้ผ่านไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคน ที่คอยให้กำลังใจ การแลกเปลี่ยนความรู้และข้อเสนอแนะต่างๆ ในการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณสมาชิกทุกคนที่เพียรพยายาม อดทน ทุ่มเทหาความรู้และไม่ย่อท้อตลอดการทำโครงการพิเศษนี้จนสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี กลุ่มของข้าพเจ้าหวังว่าโครงการพิเศษนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่ต้องการหาความรู้เพิ่มเติมหรือใช้ในการศึกษาต่อ

โชติกา ยั่งยืน

ณิชภัทร มงคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญรูป.....	ฉ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ซัลเฟต (Sulfate).....	3
2.1.1 ซัลเฟต (Sulfate).....	3
2.1.2 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid).....	3
2.2 แบเรียมไนเตรต (Barium Nitrate).....	4
2.3 น้ำประปา (Water Supply).....	4
2.4 น้ำดื่ม (Drinking Water).....	4
2.5 น้ำแร่ (Mineral Water).....	5
2.6 การถ่ายภาพด้วยกล้องมือถือ.....	6
2.7 โปรแกรม ImageJ.....	6
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.8.1 การวิเคราะห์ซัลเฟตโดยการไทเทรต.....	7
2.8.2 การวิเคราะห์ซัลเฟตโดยการวัดความขุ่น.....	7
2.8.3 การวิเคราะห์ซัลเฟตโดยการใช้เครื่องมือ.....	7
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	8
3.1 สารเคมี.....	8
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

3.3	การเตรียมสารละลาย	8
3.3.1	การเตรียมสารละลายมาตรฐานซัลเฟต	8
3.3.2	การเตรียมสารละลายแบเรียมไนเตรต	9
3.3.3	การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก	9
3.4	วิธีดำเนินการทดลอง	10
3.4.1	ศึกษาอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในการทดลอง	10
3.4.2	ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายแบเรียมไนเตรตที่เหมาะสมในการทดลอง	10
3.4.3	ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการทดลอง	10
3.4.4	ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ในการทดลอง	11
3.4.5	ศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง	11
3.5	การประเมินคุณลักษณะวิธี	11
3.5.1	การสร้างกราฟมาตรฐาน	11
3.5.2	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD)	12
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล		13
4.1	วิธีการใช้โปรแกรม ImageJ ในการประมวลหาพื้นที่ผิวดตะกอน	13
4.2	ผลการศึกษาอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในการทดลอง	15
4.3	ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายแบเรียมไนเตรตที่เหมาะสมในการทดลอง	16
4.4	ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการทดลอง	17
4.5	ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ในการทดลอง	18
4.6	ผลการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง	19
4.7	ผลการศึกษาประเมินคุณลักษณะวิธี	19
4.7.1	การสร้างกราฟมาตรฐาน	19
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ		21
5.1	สรุปผลการวิจัย	21
5.2	ข้อเสนอแนะ	21
เอกสารอ้างอิง		22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่ามาตรฐานคุณภาพคุณลักษณะทางเคมีของน้ำประปา (mg/l)	4
2.2 ค่ามาตรฐานคุณภาพคุณลักษณะทางเคมีของน้ำดื่ม	5
2.3 ค่ามาตรฐานคุณภาพคุณลักษณะของน้ำแร่	5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 ตัวอย่างภาพถ่ายและตำแหน่งโฟกัสในการถ่ายภาพ.....	9
4.1 หน้าโปรแกรม ImageJ ที่ใช้ในการหาพื้นที่ของฝ้ายตะกอน.....	13
4.2 การตั้งค่าสเกล.....	14
4.3 การเลือกฝ้ายตะกอนที่ต้องการจะวิเคราะห์พื้นที่.....	14
4.4 ค่าพื้นที่ของฝ้ายตะกอนที่วิเคราะห์ได้.....	14
4.5 ผลการศึกษาอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 0.4 – 10.0 มิลลิโมลาร์ กับสารละลายแบเรียมไนเตรตความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์.....	15
4.6 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายแบเรียมไนเตรต ที่ทำปฏิกิริยา กับสารละลายมาตรฐานซัลเฟต.....	16
4.7 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกช่วงความเข้มข้น 0.001 – 0.1 โมลาร์ ที่ผสมอยู่กับสารแบเรียมไนเตรตความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์.....	17
4.8 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ช่วงความเข้มข้นร้อยละ 0.5 – 4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่ผสมอยู่กับสารละลายแบเรียมไนเตรตความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ และสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.01 โมลาร์.....	18
4.9 ผลการศึกษาระยะเวลาการเกิดตะกอนของการทำปฏิกิริยากันระหว่างสารละลาย มาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 1 – 7 มิลลิโมลาร์ กับสารละลายแบเรียมไนเตรตความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ที่มีสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ และสารละลาย โซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ผสมอยู่.....	19
4.10 กราฟมาตรฐานซัลเฟตสร้างจากการทดลองที่สภาวะเหมาะสมที่ได้จากการศึกษาทั้งหมด..	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญต่อชีวิตคน พืช และสัตว์เนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และเป็นองค์ประกอบสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย เพราะน้ำสามารถใช้ในการบริโภคและอุปโภค เพื่อดื่มกิน ประกอบอาหาร ชำระล้างร่างกาย ทำความสะอาด การเกษตร ฯลฯ [1] น้ำที่ผ่านการกรองโดยวิธีธรรมชาติ เป็นน้ำที่บริสุทธิ์มากกว่าโดยวิธีอื่น แต่อย่างไรก็ตามก็ยังมีแร่ธาตุต่าง ๆ ที่ละลายอยู่บ้าง ตามสิ่งที่มีน้ำนั้นไหลผ่าน เช่น น้ำในลำธาร น้ำนิ่งในทะเลสาบ และที่ผ่านชั้นดินชั้นหินในดิน และแร่ธาตุที่ละลายน้ำบางชนิดก็เป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ ถ้าได้รับในปริมาณที่มากเกินไปซึ่งไม่ปลอดภัยต่อการนำมาใช้บริโภคอุปโภคในชีวิตประจำวัน เช่น ซัลเฟต หรือสารประกอบซัลเฟต มักพบในน้ำผิวดินทั่วไปและในบ่อ ซัลเฟตที่เกิดขึ้นในบ่อมีสาเหตุจากการย่อยสลายพืชน้ำ, ดิน และหินแบคทีเรียชนิด Sulfur-Reducing Bacteria (SRB) [2] ตามที่องค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) กำหนดค่ามาตรฐานซัลเฟต ต้องไม่เกิน 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าได้รับในปริมาณมากอาจทำให้ท้องร่วงได้ [3] ซึ่งสามารถแก้ปัญหาหรือควบคุมได้โดยการกรองแบบออสโมซิสย้อนกลับผ่านเยื่อเมมเบรน (Reverse Osmosis: RO) ที่สามารถกรองได้ละเอียดถึง 0.0001 ไมครอน กรองได้ถึงไอออนและโมเลกุลของสารละลายที่อยู่ในน้ำ [4] และการกรองผ่านเรซินเป็นการช่วยลดปัญหาการสะสมของหินปูนที่ผสมมากับน้ำ ลดการเกิดตะกอนในน้ำ ลดความกระด้างของน้ำ [5] หรือสามารถนำตัวอย่างไปตรวจสอบวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟต ซึ่งในการวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตมีการตรวจสอบและวิเคราะห์หลากหลายวิธี เช่น การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก (Gravimetric analysis) [6] การไทเทรต (Titration) การวิเคราะห์หาปริมาณ โดยใช้หน่วยเป็นปริมาตร (Volumetric (Titrimetric) analysis) [7],[8] วิธีการแก้ปัญหาหรือควบคุมที่กล่าวไว้ข้างต้นเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและนิยมใช้ แต่มีค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์ สารเคมีที่สูงรวมไปถึงต้องมีความชำนาญในการวิเคราะห์

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ซัลเฟต โดยการสังเกตขนาดพื้นที่ของฝ้าตะกอนซัลเฟตที่อยู่ในรูปของแบเรียมซัลเฟต ในเพลทใส่สาร (Cell culture plate) ปริมาณ 400 ไมโครลิตร แล้วนำมาประยุกต์เปรียบเทียบพื้นที่ของฝ้าตะกอนแล้ววิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ImageJ ด้วยรูปที่ได้จากการถ่ายด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือ โดยปรับให้กล้องมีเส้นตารางจากนั้นปรับกล้องเป็นโหมดถ่ายภาพบุคคล แล้วจึงปรับเป็นแสงไฟคอนทราสต์ วางจุดโฟกัสให้อยู่จุดกึ่งกลางของหลุมเพลทที่ต้องการถ่ายให้อยู่แนวระนาบที่จุดโฟกัสขึ้นเป็นสี่เหลี่ยม จากนั้นนำรูปที่ได้นำเข้าคอมพิวเตอร์หรือแล็ปท็อป แล้วจึงนำไปวิเคราะห์พื้นที่ของตะกอนด้วยโปรแกรม ImageJ และนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นซัลเฟตจากกราฟมาตรฐาน การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาวิธีวิเคราะห์ซัลเฟตสำหรับการหาปริมาณของซัลเฟตในน้ำที่ใช้ในการอุปโภคและบริโภค โดยตรวจวัดจากฝ้าตะกอนขาวที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างซัลเฟตกับแบเรียมไนเตรทด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือ แล้วนำผลไปวิเคราะห์หาพื้นที่ด้วยโปรแกรม ImageJ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) พัฒนาวิธีวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณซัลเฟตในน้ำอย่างง่ายด้วยกล้องโทรศัพท์มือถือ โดยตรวจวัดจากฝ้าตะกอนขาวที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างซัลเฟตกับแบเรียมไนเตรทแล้วนำผลไปวิเคราะห์หาพื้นที่ด้วยโปรแกรม ImageJ
- 2) เพื่อหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายที่ทำให้ปฏิกิริยากันพอดีจนเกิดฝ้าตะกอน
- 3) ศึกษาหาสภาวะเหมาะสมของความเข้มข้น กรด เบส โดยสังเกตจากการตกตะกอน
- 4) หาช่วงเวลาที่เหมาะสมของการเกิดฝ้าตะกอนแบเรียมไนเตรท

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตอย่างง่ายในน้ำที่ใช้ในการอุปโภคและบริโภค
2. ประหยัดเวลา และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์
3. ลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากการวิเคราะห์ซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาวิธีวิเคราะห์ซัลเฟต โดยใช้วิธีการถ่ายรูปจากกล้องโทรศัพท์มือถือ แล้วนำไปประมวลผลด้วยโปรแกรม ImageJ ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิดและทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพร้อมกับการกำหนดกรอบแนวคิดในการวิจัย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาดังนี้

2.1 ซัลเฟต (Sulfate)

2.1.1 ซัลเฟต (Sulfate)

ซัลเฟต (Sulfate) เป็นเกลือที่เกิดขึ้นจากกรดซัลฟิวริกทำปฏิกิริยากับสารเคมีอื่น ซัลเฟตสังเคราะห์ มีสองชนิดหลัก ได้แก่ โซเดียมลอริลซัลเฟต (Sodium lauryl sulphate : SLS) และโซเดียมลอเรทซัลเฟต (Sodium laureth sulfate : SLES) ผลิตจากแหล่งปิโตรเลียมและพืช เช่น มะพร้าวและน้ำมันปาล์ม มักพบในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดและผลิตภัณฑ์ของใช้ส่วนตัว เช่น แชมพู และมีการใช้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้มาตั้งแต่ปี 1930 ซัลเฟตสามารถดึงดูตังน้ำมันและน้ำได้จึงเกาะติดกับน้ำและน้ำมันหรือสิ่งสกปรก และหลุดออกจากเส้นผม ผิวหนัง และพื้นผิวได้ ซัลเฟตทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวหรือสารที่ช่วยลดแรงตึงผิวของของเหลว เช่น น้ำมันและน้ำ ช่วยให้กระจายตัวได้ง่ายขึ้นการใช้งานหลักของ SLS และ SLES คือการสร้างฟองและขจัดน้ำมันและสิ่งสกปรก [9]

2.1.2 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid)

กรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid) หรือ กรดกำมะถัน, ไฮโดรเจนซัลเฟต เป็นสารเคมีพื้นฐานมีฤทธิ์เป็นกรดแก่ ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน ละลายในน้ำได้ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ เช่น ปุ๋ย ไทเทเนียม โลหะ แบตเตอรี่ สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และในภาคอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมเหมืองแร่ อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมฟอกย้อม ปรับปรุงคุณภาพน้ำเสีย และใช้ในห้องปฏิบัติการ [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 แบเรียมไนเตรต (Barium Nitrate)

แบเรียมไนเตรต (Barium Nitrate) เรียกอีกอย่างว่า แบเรียมไดไนเตรต, ไนโตรบาไรต์ หรือเกลือแบเรียม เป็นสารประกอบอนินทรีย์และเป็นสารออกซิไดซ์ที่ดี เเผาไหม้ได้โดยมีเปลวไฟสีเขียว ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมดอกไม้ไฟ มีลักษณะเป็นผลึกแข็งสีขาว เป็นสารประกอบที่ไม่ติดไฟ แต่ช่วยเพิ่มการเผาไหม้ขององค์ประกอบที่ติดไฟได้ เมื่อสัมผัสกับไฟหรือความร้อนเป็นเวลานานอาจเกิดการระเบิดได้ [11]

2.3 น้ำประปา (Water Supply)

น้ำประปา คือ น้ำที่ได้จากธรรมชาติผ่านการสูบ การขุดเจาะ จากน้ำผิวดิน น้ำดิบ และน้ำเข้าสู่กระบวนการผลิตหรือการกรอง เนื่องจากน้ำที่มีการขุดเจาะ หรือสูบขึ้นมาเป็นน้ำที่มาจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้อาจมีแร่ธาตุที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย และเป็นการกรองเอาเชื้อโรค สิ่งสกปรกที่ผสมเจือปนอยู่ในน้ำออก เพื่อให้ได้ประปาที่สะอาดพอที่จะสามารถอุปโภค บริโภค ได้โดยไม่ต้องกลัวว่าที่ใช้นั้นจะเป็นอันตรายต่อร่างกาย [12]

ตารางที่ 2.1 ค่ามาตรฐานคุณภาพคุณลักษณะทางเคมีของน้ำประปา [13]

รายการ	ค่ามาตรฐานไม่เกิน (mg/l)
ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด (total dissolved solids)	600
เหล็ก (Fe)	0.3
แมงกานีส (Mn)	0.4
ทองแดง (Cu)	2.0
สังกะสี (Zn)	3.0
ความกระด้างทั้งหมด (total hardness) as CaCO ₃	300
ซัลเฟต (SO ₄)	250
คลอไรด์ (Cl)	250
ฟลูออไรด์ (F)	1.0
ไนเตรต (NO ₃) as NO ₃	50

2.4 น้ำดื่ม (Drinking Water)

น้ำดื่ม คือ น้ำที่ผลิตจากแหล่งน้ำที่มีคุณภาพดี ผ่านการรับรองแล้ว และอาจผ่านกระบวนการที่ทำให้มีคุณภาพดีขึ้น โดยผู้ผลิตต้องพยายามให้ผ่านขั้นตอนน้อยที่สุด เพื่อให้ได้น้ำดื่มที่มีคุณภาพมาตรฐานที่กำหนด [14]

ตารางที่ 2.2 ค่ามาตรฐานคุณภาพคุณลักษณะทางเคมีของน้ำดื่ม [15]

รายการ	ค่ามาตรฐานไม่เกิน (mg/l)
ปริมาณของแข็งทั้งหมด	500
เหล็ก (Fe)	0.3
เหล็ก (Fe)	0.3
แมงกานีส (Mn)	0.05
ทองแดง (Cu)	1.0
สังกะสี (Zn)	5
ความกระด้าง	100
ซัลเฟต (SO ₄)	250
คลอไรด์ (Cl)	250
ไนเตรต (NO ₃) คำนวณเป็น ไนโตรเจน	4.0

2.5 น้ำแร่ (Mineral Water)

น้ำแร่ คือน้ำจากธรรมชาติที่มีอยู่ใต้ดินเท่านั้น ไม่สามารถเติมแต่งหรือผสมขึ้นมาได้ น้ำแร่จะมีแร่ธาตุต่างๆ เป็นส่วนประกอบมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชั้นหินที่น้ำไหลผ่าน น้ำแร่ธรรมชาติแต่ละแหล่งจะมีแร่ธาตุที่แตกต่างกัน ซึ่งแร่ธาตุที่พบเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม โพแทสเซียม ไบคาร์บอเนต คลอไรด์ เหล็ก และซัลเฟต ส่วนแร่ธาตุอื่นๆ ที่พบในปริมาณน้อยได้แก่ ฟลูออไรด์ ซีลีเนียม แมงกานีส

น้ำแร่ที่สามารถนำมาบริโภคได้ต้องมีคุณภาพเหมาะสมที่จะบริโภคได้อย่างปลอดภัยตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยน้ำแร่ที่ดีต้องมีคุณลักษณะใส ไม่มีตะกอน ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีแร่ธาตุในปริมาณที่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน ไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและมีปริมาณสารปนเปื้อนอื่น ได้แก่ กัมมันตภาพรังสีเช่น รังสีแอลฟา เบต้า และสารพิษพวกไซยาไนด์ ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน [16]

ตารางที่ 2.3 ค่ามาตรฐานคุณภาพคุณลักษณะของน้ำแร่ [17]

รายการ	ค่ามาตรฐานไม่เกิน (mg/l)
ปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมด (total dissolved solids)	500
เหล็ก (Fe)	0.5
แมงกานีส (Mn)	0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ค่ามาตรฐานคุณภาพคุณลักษณะของน้ำแร่ [17] ต่อ

ทองแดง (Cu)	1.0
สังกะสี (Zn)	5.0
ไนเตรต (NO ₃)	45
ซัลเฟต (SO ₄)	200
คลอไรด์ (Cl)	200
ฟลูออไรด์ (F)	1.0

2.6 การถ่ายภาพด้วยกล้องมือถือ

การถ่ายภาพด้วยกล้องมือถือ ในยุคนี้หลายคนให้ความสำคัญกับการถ่ายภาพ เพื่ออัปโหลดลงบนโซเชียลและเก็บไว้เป็นความทรงจำในการเดินทางไปยังสถานที่ต่าง ๆ เช่น ร้านอาหาร หรือมุมโปรดที่ตอบโจทย์ไลฟ์สไตล์การใช้ชีวิตได้เป็นอย่างดี ทั้งในปัจจุบันการถ่ายรูปสวย ๆ ก็ไม่จำเป็นต้องพึ่งกล้องตัวใหญ่ ๆ หรือจ้างช่างถ่ายรูปเสมอไป เพราะสิ่งใกล้ตัวอย่างโทรศัพท์มือถือมันได้กลายมาเป็นสิ่งสำคัญและเป็นตัวช่วยที่ได้ในการถ่ายรูปสวย ๆ เพราะยุคนี้โทรศัพท์มือถือมีฟังก์ชันการถ่ายภาพที่หลากหลายมากยิ่งขึ้นทั้งยังรองรับการถ่ายภาพได้หลายรูปแบบ มีฟีเจอร์รองรับการถ่ายภาพ ไม่ว่าจะเป็นการซูม โหมดถ่ายภาพบุคคล โหมดถ่ายภาพกลางคืน [18] โดยฟีเจอร์เหล่านี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการถ่ายภาพเพื่อนำไปวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ได้

2.7 โปรแกรม ImageJ

โปรแกรม ImageJ คือ โปรแกรมวิเคราะห์ขนาดของวัตถุบนภาพถ่ายของสถาบันวิจัย National Institute of Mental Health (NIMH) ประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้กับเครื่องแมคอินทอช หรือพีซีธรรมดา (Personal Computer) ที่มีโปรแกรม Java ตั้งแต่เวอร์ชัน 1.4 ขึ้นไป ImageJ เป็นโปรแกรมที่มีประโยชน์อย่างมากในงานวิจัย ที่จำเป็นต้องวัดระยะหรือพื้นที่ของวัตถุบนภาพที่ถ่ายจากกล้อง microscope หรือ Scanning electron microscope (SEM) ImageJ ทำงานโดยใช้คำสั่ง Analyze, Process และคำสั่งอื่นๆ บันทึกไฟล์ในรูปแบบ 8-bit, 16-bit, 32-bit และไฟล์ที่ตัวโปรแกรมอ่านได้ต้องบันทึกเป็นไฟล์ TIFF, GIF, JPEG, BMP, DICOM, FITS หรือ RAW

ImageJ สามารถเปิดภาพเพื่อใช้ในการวิเคราะห์พร้อม ๆ กันหลายภาพได้ในเวลาเดียวกัน สามารถคำนวณสัดส่วนพื้นที่ และพื้นที่ของวัตถุบนภาพได้ ในหน่วย pixel ของรูปนั้น หรือ หน่วยเอกสารนี้พื้นที่ตามมาตรฐาน เช่น ตารางมิลลิเมตร วัดระยะความยาวของวัตถุบนภาพ วัดความหนาแน่นของภาพ ไม่ว่าจะเป็นรูปภาพ แล้วแสดงในรูปแบบแผนภูมิแท่ง จัดทำค่าต่าง ๆ ในรูปสถิติได้เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ImageJ สามารถกำหนด Scale, Rotate, Flips ภาพ ชุมภาพ และเปิดภาพพร้อมกันหลายภาพได้ ข้อดีของ ImageJ คือ การที่เป็นโปรแกรมแจกฟรี (freeware) และอนุญาตให้ผู้ใช้แก้ไขตัวโปรแกรมและหา Plugin อื่น ๆ เพื่อมาช่วยแก้ไขปัญหาในการวิเคราะห์ภาพ โดยสามารถศึกษาได้ในเว็บไซต์ของ ImageJ ในหมวด Plugin ที่มีการพัฒนามาให้ดาวน์โหลดใช้ได้ และหากต้องการแก้ไข code เอง ก็สามารถทำได้โดยการโหลดโปรแกรม BBEEdit ซึ่งเป็นตัว edit code หรือโปรแกรม ANT ซึ่งเป็น Build Tool อีกหนึ่งตัวช่วยในการแก้ไข [19]

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 การวิเคราะห์ซัลเฟตโดยการไทเทรต

Deirdre Belle-Oudry ได้อธิบายการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของซัลเฟตในน้ำโดยการไทเทรตด้วย EDTA แบบทางอ้อม โดยตัวอย่างน้ำจะได้รับการบำบัดด้วยแบเรียมคลอไรด์ที่มากเกินไปเพื่อตกตะกอนไอออนซัลเฟตให้เป็น $BaSO_4$ จากนั้นแบเรียมไอออนที่ไม่มีการตกตะกอนจะถูกไทเทรตด้วย EDTA [20]

2.8.2 การวิเคราะห์ซัลเฟตโดยการวัดความขุ่น

Breitlauch, K., & Cheng, C. ได้เสนอวิธีการหาซัลเฟตโดยการเติม $BaCl_2$ ลงในตัวอย่างที่มีซัลเฟต จะได้ตะกอน $BaSO_4$ ออกมา ทำการวัดความขุ่นด้วยเครื่องวัดความขุ่น วิธีการนี้สามารถใช้ในการหาซัลเฟตจากน้ำฝนได้ [21]

2.8.3 การวิเคราะห์ซัลเฟตโดยใช้เครื่องมือ

Morais IP ได้ทำการหาปริมาณซัลเฟตในน้ำธรรมชาติด้วยวิธี turbidimetric flow-injection โดยใช้การตรวจจับด้วยสเปกโตรโฟโตเมตริก สารที่ใช้เป็นตัวตกตะกอนคือสารละลายแบเรียมคลอไรด์ 7.0% w/v ที่เตรียมในโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 0.10% w/v สารละลายซัลเฟตความเข้มข้น 100 mg/L ในกรดไนตริก 0.07 M ถูกผสมกับตัวอย่างก่อนฉีดเข้าลูบเพื่อปรับค่า detection limit, pH และป้องกันการรบกวนของประจุลบบางชนิด ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของผลลัพธ์อยู่ระหว่าง 1.4 ถึง 3.0% และสอดคล้องกับผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีอ้างอิง ตัวอย่างที่อยู่ในช่วงความเข้มข้น 10-120 $mgSO_4^{2-}/L$ สามารถวิเคราะห์ได้ในอัตรา 40/h. ค่า detection limit คือ 5 $mgSO_4^{2-}/L$ [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. โซเดียมซัลเฟต (ACS – For analysis, CARLO ERBA Reagents, Italy)
2. โซเดียมคลอไรด์ (Analytical reagent grade, European Distribution Center, Belgium)
3. ไฮโดรคลอริก (Analytical reagent grade, CARLO ERBA Reagent, Italy)
4. แบริยมไนเตรด (ACS – For analysis, CARLO ERBA Reagent, Italy)
5. น้ำกลั่น (บริษัท ก้าวหน้าเคมีคอล จำกัด, ประเทศไทย)

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (BSA2245-CW, Sartorius, ประเทศไทย)
2. ไมโครปิเปต 100 ไมโครลิตร
3. ไมโครปิเปต 1000 ไมโครลิตร
4. ปิเปตสเกล ขนาด 5 มิลลิลิตร
5. แท่งแก้วคนสาร
6. ปีกเกอร์ ขนาด 25 มิลลิลิตร
7. ปีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร
8. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร
9. ขวดสีชา ขนาด 500 มิลลิลิตร
10. ถาดหลุมพลาสติก (Cell culture plate) ขนาด 24 หลุม
11. กระดาษแข็งสีดำ
12. แล็ปท็อป (Lenovo IdeaPad Gaming 3 15IHU6)
13. กระจกบอทวง ขนาด 100 มิลลิลิตร
14. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 500 มิลลิลิตร
15. กระจกบอทวง ขนาด 100 มิลลิลิตร

3.3 การเตรียมสารละลาย

3.3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เตรียมสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งโซเดียมซัลเฟต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดเบตสิ่งเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.1776 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร เตรียมสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 3.0, 5.0, 7.0, 9.0 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ โดยปิเปตจากสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ที่ปริมาตร 0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1.5, 2.5, 3.5, 4.5 และ 5.0 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

3.3.2 การเตรียมสารละลายแบเรียมไนเตรท

เตรียมสารละลายแบเรียมไนเตรทความเข้มข้น 25 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งแบเรียมไนเตรท 0.1633 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร

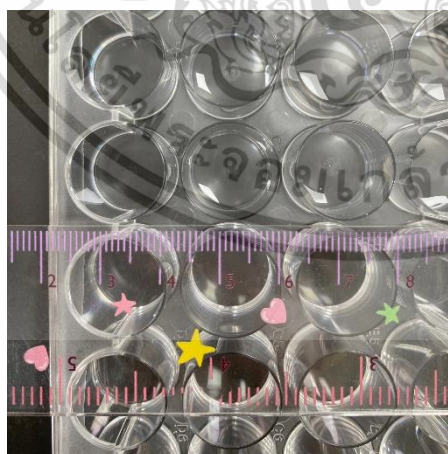
เตรียมสารละลายแบเรียมไนเตรทความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งแบเรียมไนเตรท 0.3266 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร

เตรียมสารละลายแบเรียมไนเตรทความเข้มข้น 75 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งแบเรียมไนเตรท 0.4900 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร

เตรียมสารละลายแบเรียมไนเตรทความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งแบเรียมไนเตรท 0.6534 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร

3.3.3 การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 โมลาร์ โดยตวงกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 12 โมลาร์ ปริมาตร 83.3 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างภาพถ่ายและตำแหน่งไฟกัสในการถ่ายภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีดำเนินการทดลอง

3.4.1 ศึกษาอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในการทดลอง

1. ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 3.0, 5.0 และ 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 200, 300 และ 400 ไมโครลิตร ใส่ลงในภาดหลุมพลาสติก
2. ดูดสารละลายแบเรียมไนเตรตความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ด้วยไมโครปิเปต ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงภาดหลุมที่เตรียมไว้ในข้อ 1 (ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ)
3. เขย่าให้เข้ากันแล้วนำภาดหลุมมาวางบนกระดาษสีดำ จากนั้นตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 25-30 นาที
4. ใช้โทรศัพท์มือถือถ่ายภาพฝ้าตะกอนที่ลอยอยู่ โดยถ่ายโฟกัสที่ตะกอน
5. นำภาพไปประมวลผลหาพื้นที่ของฝ้าตะกอน ด้วยโปรแกรม ImageJ

3.4.2 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายแบเรียมไนเตรตที่เหมาะสมในการ

ทดลอง

1. ใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 3.0, 5.0 และ 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ใส่ลงในภาดหลุม
2. ดูดสารละลายแบเรียมไนเตรตความเข้มข้น 25, 50, 75 และ 100 มิลลิโมลาร์ด้วยไมโครปิเปต ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงภาดหลุมที่เตรียมไว้ในข้อ 1 (ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ)
3. เขย่าให้เข้ากันแล้วนำภาดหลุมมาวางบนกระดาษสีดำ จากนั้นตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 25-30 นาที
4. ใช้โทรศัพท์มือถือถ่ายภาพฝ้าตะกอนที่ลอยอยู่ โดยถ่ายโฟกัสที่ตะกอน
5. นำภาพไปประมวลผลหาพื้นที่ของฝ้าตะกอน ด้วยโปรแกรม ImageJ

3.4.3 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการทดลอง

1. ชั่งแบเรียมไนเตรต 0.3266 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 0.0125, 0.125, 0.625 และ 1.25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรที่มีสารละลายแบเรียมอยู่ ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 1.0, 3.0, 5.0 และ 7 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ใส่ลงในภาดหลุม
3. ปิเปตสารละลายแบเรียมไนเตรตความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ที่มีสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.001, 0.01, 0.05 และ 0.1 โมลาร์ ที่เตรียมจากข้อ 1 ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในภาดหลุมที่เตรียมไว้ในข้อ 2 (ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ)

4. เขย่าให้เข้ากันแล้วนำภาดหลุมมาวางบนกระดาษสีดำ จากนั้นตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 25-30 นาที

5. ใช้โทรศัพท์มือถือถ่ายภาพฝ้าตะกอนที่ลอยอยู่ โดยถ่ายโฟกัสที่ตะกอน ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำภาพไปประมวลผลหาพื้นที่ของฝ้าตะกอน ด้วยโปรแกรม ImageJ

3.4.4 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชั่งโซเดียมคลอไรด์ 0.12, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น ใส่ลงขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิตร ที่มีสารละลายแบเรียมไนเตรตความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ และสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 1.0, 3.0, 5.0 และ 7 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ใส่ลงในภาดหลุม

3. ปิเปตสารละลายแบเรียมไนเตรตความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ที่มีสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1, 2, 3 และ 4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่เตรียมได้จากข้อ 1 ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในภาดหลุมที่เตรียมไว้ในข้อ 2 (ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ)

4. เขย่าให้เข้ากันแล้วนำภาดหลุมมาวางบนกระดาษสีดำ จากนั้นตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 25-30 นาที

5. ใช้โทรศัพท์มือถือถ่ายภาพฝ้าตะกอนที่ลอยอยู่ โดยถ่ายไฟก๊สที่ละหลุม

6. นำภาพไปประมวลผลหาพื้นที่ของฝ้าตะกอน ด้วยโปรแกรม ImageJ

3.4.5 ศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 1.0, 3.0, 5.0 และ 7 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ใส่ลงในภาดหลุม

2. ปิเปตสารละลายแบเรียมไนเตรตความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ที่มีสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในภาดหลุมที่เตรียมไว้ในข้อ 1 (ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ)

3. เขย่าให้เข้ากันแล้วนำภาดหลุมมาวางบนกระดาษสีดำ จากนั้นตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 นาที

4. ใช้โทรศัพท์มือถือถ่ายภาพฝ้าตะกอนที่ลอยอยู่ โดยถ่ายไฟก๊สที่ละหลุม

5. นำภาพไปประมวลผลหาพื้นที่ของฝ้าตะกอน ด้วยโปรแกรม ImageJ

3.5 การประเมินคุณลักษณะวิธี

3.5.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 0.6, 0.8, 1.0, 3.0, 5.0 และ 7.0 มิลลิโมลาร์ เอกสารนี้ ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ใส่ลงในภาดหลุม การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปิเปตสารละลายแบรียมไนเตรตความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ที่มีสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในภาตหลุมที่เตรียมไว้ในข้อ 1 (ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ)
3. เขย่าให้เข้ากันแล้วนำภาตหลุมมาวางบนกระดาษสีดำ จากนั้นตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที
4. ใช้โทรศัพท์มือถือถ่ายภาพฝ้ายตะกอนที่ลอยอยู่ โดยถ่ายโฟกัสที่ตะกอน
5. นำภาพไปประมวลผลหาพื้นที่ของฝ้ายตะกอน ด้วยโปรแกรม ImageJ

3.5.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD)

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือค่าที่ใช้แสดงความแม่นยำของการทดลองซ้ำหลายๆครั้ง (ค่าที่บอกถึงค่าที่วัดได้อยู่ห่างไกลจากค่าเฉลี่ยมากเท่าใด)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ທີ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

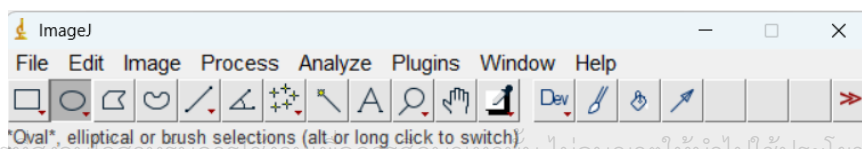
โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาวิธีวิเคราะห์ซัลเฟตด้วยการหาพื้นที่ของฝ้าตะกอนที่เกิดขึ้น สำหรับใช้วิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟตในน้ำอุปโภคและบริโภค โดยในการทดลองนี้จะเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างสารละลายซัลเฟตกับสารละลายแบเรียมไนเตรต ซึ่งมีสมการการเกิดปฏิกิริยาดังนี้



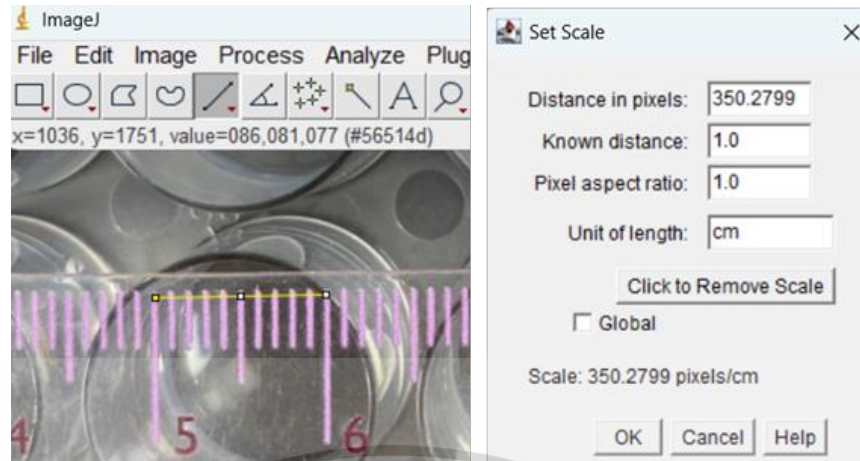
ทำการทดลองในภาชนะหลอดขนาด 24 หลุม แต่ละหลุมจะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.60 เซนติเมตร สูง 2.5 เซนติเมตร เกิดฝ้าตะกอนแบเรียมซัลเฟตเป็นผลิตภัณฑ์ ทำให้มีกลุ่มตะกอนลอยอยู่ด้านบนของสารละลาย และสารละลายมีสีขาวขุ่น ใช้โทรศัพท์มือถือถ่ายภาพกลุ่มฝ้าตะกอนที่ลอยอยู่ด้านบนสารละลายในแต่ละหลุม และนำไปประมวลผลหาพื้นที่ด้วยโปรแกรม ImageJ ได้ทำการศึกษาสภาพที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 วิธีการใช้โปรแกรม ImageJ ในการประมวลผลหาพื้นที่ฝ้าตะกอน

ในการประมวลผลหาพื้นที่ของฝ้าตะกอน จะใช้โปรแกรม ImageJ สำหรับการถ่ายรูปฝ้าตะกอนแต่ละรูป จะใช้ไม้บรรทัดวางแนบไปด้วย เพื่อที่จะใช้ในการตั้งค่าสเกลในโปรแกรม เมื่อได้รูปแล้วให้อัพโหลดรูปลงบนแล็ปท็อปหรือคอมพิวเตอร์ จากนั้นเปิดโปรแกรม ImageJ ขึ้นมาคลิกที่คำว่า File เลือก open จากนั้นเลือกรูปที่ต้องการหาพื้นที่ ใช้เครื่องมือที่มีสัญลักษณ์เส้นตรง ลากเส้นลงบนไม้บรรทัดที่ถ่ายมาพร้อมกับหลุมให้ได้ 1 เซนติเมตร จากนั้นไปที่ Analyze เลือก Set Scale ปรับค่า Know distance เป็น 1 และปรับ Unit of length เป็น cm จากนั้นกด ok (รูปที่ 4.2) จะใช้เครื่องมือที่มีสัญลักษณ์วงกลมในการหาพื้นที่ ใช้เครื่องมือลากคลุมฝ้าตะกอนที่ต้องการจะวิเคราะห์ สามารถคลิกขวาที่เครื่องมือเพื่อปรับเปลี่ยนเครื่องมือให้สอดคล้องกับรูปร่างของฝ้าตะกอน (รูปที่ 4.3) ทำการวิเคราะห์โดยไปที่เมนู Analyze เลือก Measure หรือสามารถกด Ctrl M บนแป้นพิมพ์ จะปรากฏหน้าต่าง Results แสดงค่าพื้นที่ที่วิเคราะห์ได้ (รูปที่ 4.4) นำค่าที่วิเคราะห์ได้ไปสร้างกราฟมาตรฐาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.1 หน้าโปรแกรม ImageJ ที่ใช้ในการหาพื้นที่ของฝ้าตะกอน
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกสิ่งที่มีให้เห็นแต่กลับมองไม่เห็น และตยอยังคงเงาของเอกสารที่ทุกสิ่งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การตั้งค่าสเกล



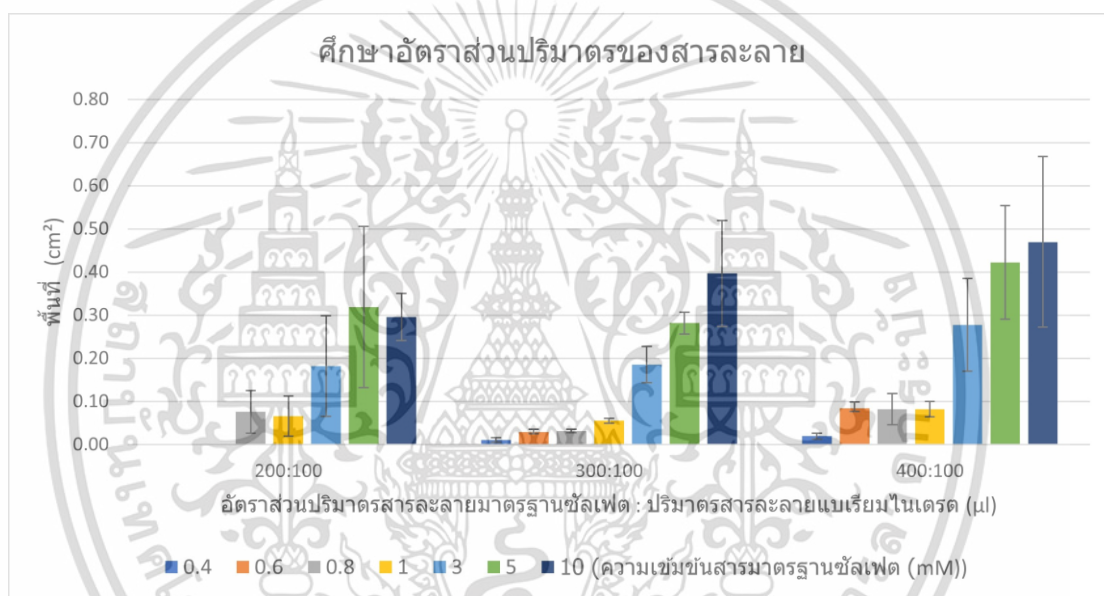
รูปที่ 4.3 การเลือกฝ้ายตะกอนที่ต้องการจะวิเคราะห์พื้นที่

	Area	Mean	Min	Max
1	0.081	61.148	38	150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิใช้รูปที่ 4.4 ค่าพื้นที่ของฝ้ายตะกอนที่วิเคราะห์ได้ สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการศึกษาอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในการทดลอง

ทำการศึกษาอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในการวิเคราะห์ซัลเฟตด้วยการหาพื้นที่ของฝ้าตะกอน โดยเปิดสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 3.0, 5.0 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 200, 300 และ 400 ไมโครลิตร ใส่ลงในภาดหลุมพลาสติก จากนั้นทำการเปิดสารละลายแบเรียมไนเตรต ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในภาดหลุมที่ได้เตรียมไว้ ทำทั้งหมด 3 ซ้ำ เขย่าสารละลายให้เข้ากันและตั้งไว้เป็นเวลา 25 นาที ทำการถ่ายภาพตะกอนด้วยโทรศัพท์มือถือ โดยถ่ายโฟกัสที่หลุม จากนั้นนำภาพไปประมวลผลเป็นพื้นที่ของตะกอนด้วยโปรแกรม ImageJ



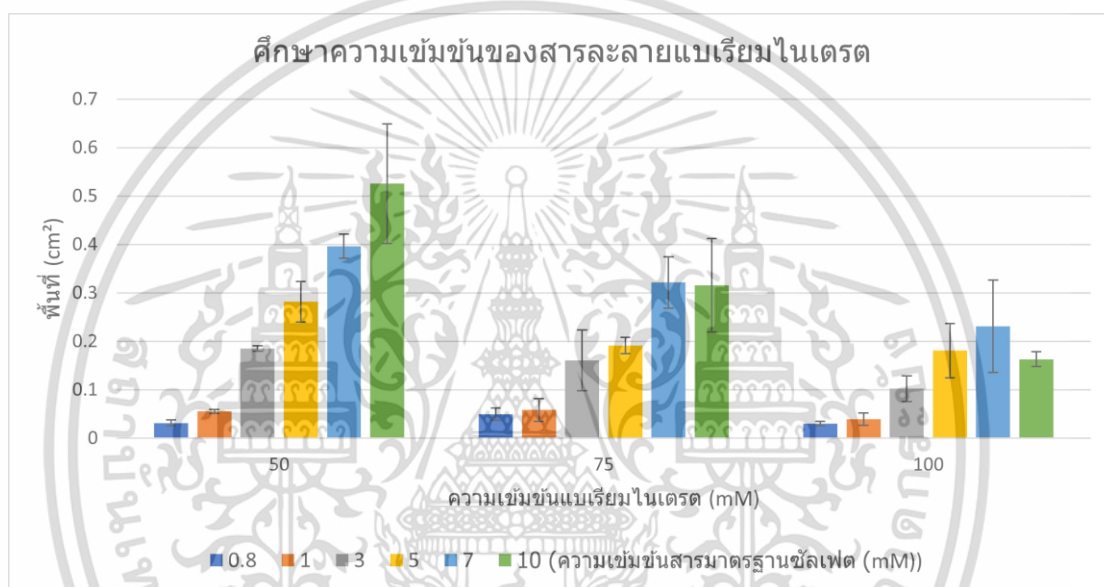
รูปที่ 4.5 ผลการศึกษาอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 0.4 – 10.0 มิลลิโมลาร์ กับสารละลายแบเรียมไนเตรตความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชุดอัตราส่วนปริมาตรกับพื้นที่ของฝ้าตะกอน ซึ่งกราฟแท่งแต่ละสีแสดงถึงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตที่เกิดฝ้าตะกอน จะเห็นได้ว่าชุดอัตราส่วน 300:100 แสดงช่วงความเข้มข้นที่เกิดตะกอนได้กว้างกว่าชุดอัตราส่วน 200:100 กราฟมีแนวโน้มความเป็นเส้นตรงมากกว่าชุดอัตราส่วน 200:100 และ 400:100 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีความแม่นยำมากกว่าอัตราส่วน 200:100 และ 400:100 ดังนั้นสรุปได้ว่าการทดลองวิเคราะห์ซัลเฟตจะเลือกใช้อัตราส่วนปริมาตรสารละลายมาตรฐานซัลเฟต 300 ไมโครลิตร ต่อปริมาตรสารละลายแบเรียมไนเตรต 100 ไมโครลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายแบเรียมไนเตรดที่เหมาะสมในการทดลอง

ทำการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายแบเรียมไนเตรดที่ใช้ในการวิเคราะห์ซัลเฟตด้วยการหาพื้นที่ของตะกอน โดยเปิดสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 3.0, 5.0 และ 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ใส่ลงในภาดหลุม จากนั้นเปิดสารละลายแบเรียมไนเตรดความเข้มข้น 25, 50, 75 และ 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในภาดหลุมที่เตรียมไว้ เขย่าให้สารละลายผสมเข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ 25 นาที ทำการถ่ายภาพตะกอนด้วยโทรศัพท์มือถือ โดยถ่ายโฟกัสที่ตะกอน นำภาพที่ถ่ายได้ไปประมวลผลหาพื้นที่ของฝ้าตะกอนด้วยโปรแกรม ImageJ

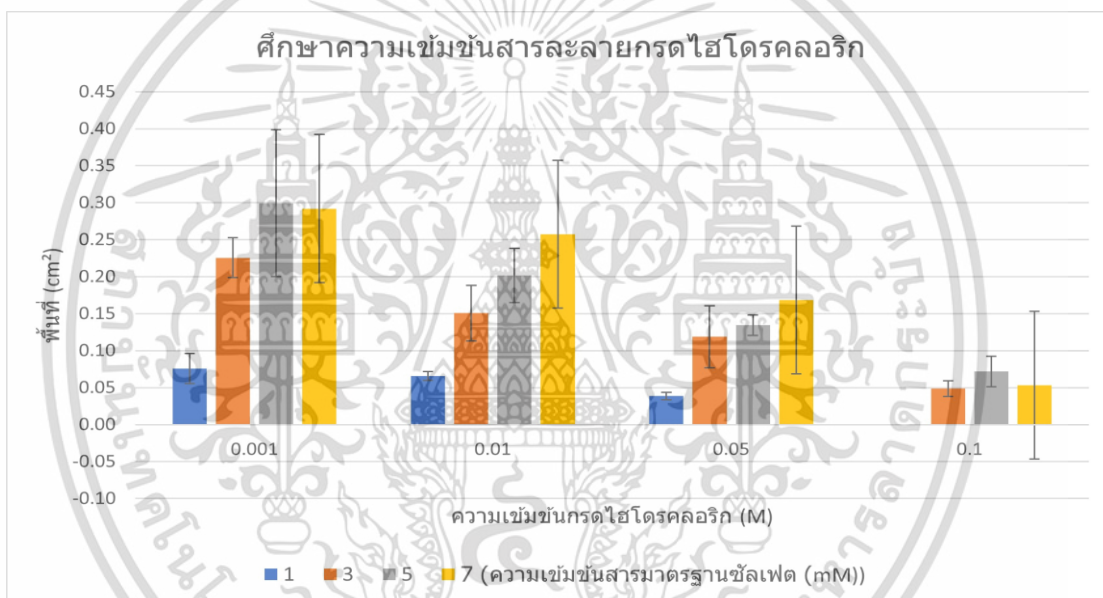


รูปที่ 4.6 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายแบเรียมไนเตรด ที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานซัลเฟต

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแบเรียมไนเตรดกับสารละลายมาตรฐานซัลเฟต ซึ่งกราฟแท่งแต่ละสีแสดงถึงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตที่เกิดฝ้าตะกอน ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงมากกว่าความเข้มข้น 75 และ 100 มิลลิโมลาร์ และที่ความเข้มข้นของสารละลายแบเรียมไนเตรดที่ 50 มิลลิโมลาร์ สามารถเห็นพื้นที่ของฝ้าตะกอนได้ชัดเจนมากกว่า ดังนั้นในการทดลองนี้จะเลือกสภาวะความเข้มข้นสารละลายแบเรียมไนเตรดที่ 50 มิลลิโมลาร์

4.4 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้ทดลองใส่กรดไฮโดรคลอริกเพื่อเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ช่วยปรับสภาพให้เหมาะกับการตะกอน และป้องกันการตกตะกอนร่วมของคาร์บอกเนต และไฮดรอกไซด์ โดยทำการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการวิเคราะห์ซัลเฟตด้วยการหาพื้นที่ของฝ้าตะกอน โดยปีเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 1.0, 3.0, 5.0 และ 7.0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ใส่ลงในภาดหลุม จากนั้นปีเปตสารละลายแบรียมไนเตรตความเข้มข้น 50 mM ที่มีสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.001, 0.01, 0.05 และ 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในภาดหลุมที่ได้เตรียมไว้ เขย่าให้สารละลายผสมเข้ากันและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที ทำการถ่ายภาพฝ้าตะกอนด้วยโทรศัพท์มือถือ โดยถ่ายไฟฟ้สที่ละหลุม นำภาพที่ถ่ายได้ไปประมวลผลหาพื้นที่ของฝ้าตะกอนด้วยโปรแกรม ImageJ



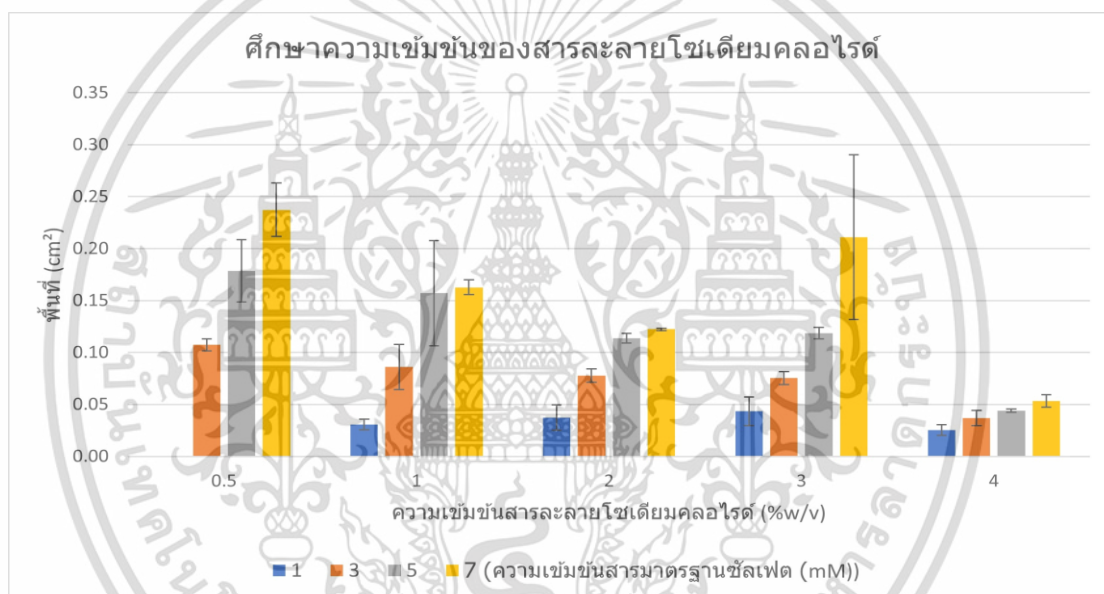
รูปที่ 4.7 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกช่วงความเข้มข้น 0.001 – 0.1 โมลาร์ ที่ผสมอยู่กับสารแบรียมไนเตรตความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกกับพื้นที่ของฝ้าตะกอน ซึ่งกราฟแท่งแต่ละสีแสดงถึงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตที่เกิดฝ้าตะกอน จะเห็นได้ว่าสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ กราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง และขนาดพื้นที่ของฝ้าตะกอนเห็นได้ชัดเจนมากกว่าความเข้มข้น 0.05 มิลลิโมลาร์ ดังนั้นสรุปได้ว่า ในการทดลองวิเคราะห์ซัลเฟตจะเลือกใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้ทดลองใส่โซเดียมคลอไรด์เพื่อเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ช่วยเพิ่มไอออนให้การตกตะกอนแยกตัวออกมาได้มากขึ้น โดยทำการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ซัลเฟตด้วยการหาพื้นที่ของตะกอน โดยเปิดสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 1.0, 3.0, 5.0 และ 7.0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ใส่ลงในภาตหลุม จากนั้นเปิดสารละลายแบรียมไนเตรตความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ที่มีสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5, 1, 2, 3 และ 4 โดยปริมาตรต่อน้ำหนัก ที่เตรียมได้จากข้อ 1 ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในภาตหลุมที่เตรียมไว้ เขย่าสารละลายให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ 25 นาที ทำการถ่ายภาพตะกอนด้วยโทรศัพท์มือถือ โดยถ่ายโฟกัสที่ละหลุม นำภาพที่ถ่ายได้ไปประมวลผลหาพื้นที่ด้วยโปรแกรม ImageJ



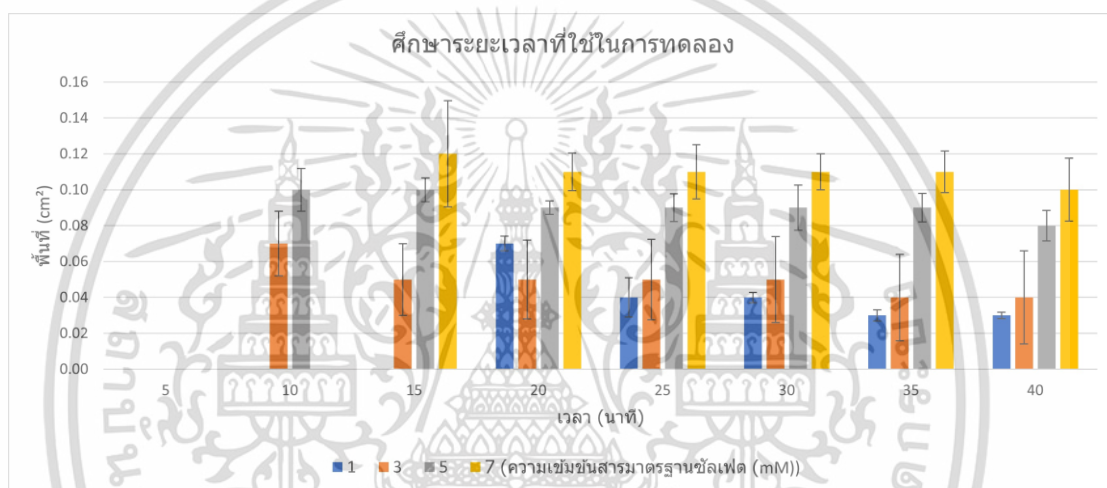
รูปที่ 4.8 ผลการศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ช่วงความเข้มข้นร้อยละ 0.5 – 4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่ผสมอยู่กับสารละลายแบรียมไนเตรตความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ และสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.01 โมลาร์

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์กับพื้นที่ของตะกอน ซึ่งกราฟแท่งแต่ละสีแสดงถึงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตที่เกิดฝ้าตะกอน จะเห็นได้ว่าสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร กราฟมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ พื้นที่ของตะกอนมีขนาดใหญ่และมองเห็นได้ง่ายกว่าความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรในการทดลองวิเคราะห์ซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง

ทำการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ซัลเฟตด้วยการหาพื้นที่ของฝ้าตะกอน โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 1.0, 3.0, 5.0 และ 7.0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ใส่ลงในภาดหลุม จากนั้นปิเปตสารละลายแบเรียมไนเตรตความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ที่มีสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในภาดหลุมที่เตรียมไว้ เขย่าให้สารละลายผสมเข้ากัน และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 5, 10, 15, 20, 30, 35 และ 40 นาที ทำการถ่ายภาพตะกอนด้วยโทรศัพท์มือถือ โดยถ่ายโฟกัสที่หลุม นำภาพที่ถ่ายได้ไปประมวลผลหาพื้นที่ด้วยโปรแกรม ImageJ



รูปที่ 4.9 ผลการศึกษาระยะเวลาการเกิดตะกอนของการทำปฏิกิริยากันระหว่างสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 1 – 7 มิลลิโมลาร์ กับสารละลายแบเรียมไนเตรตความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ที่มีสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ผสมอยู่

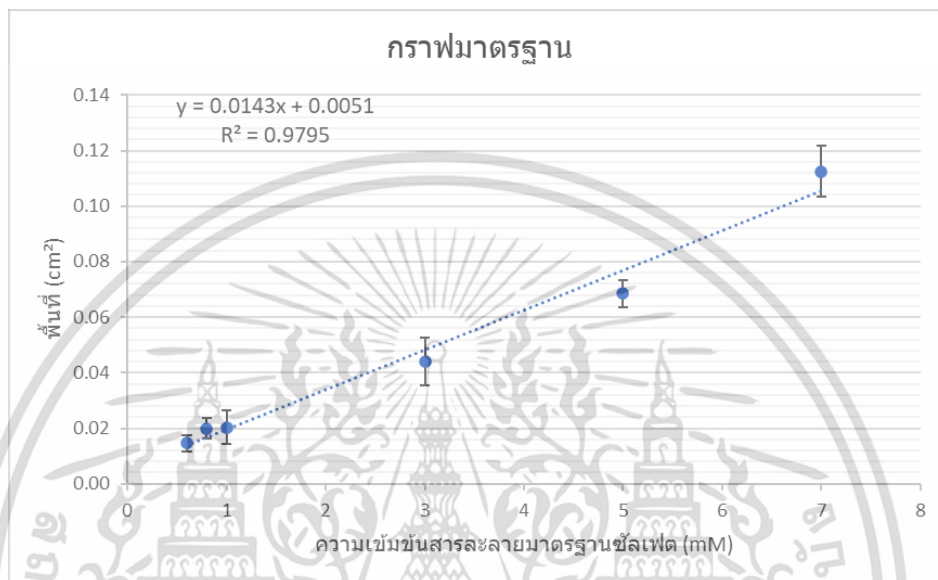
จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา กับพื้นที่ของฝ้าตะกอน ซึ่งกราฟแท่งแต่ละสีแสดงถึงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตที่เกิดฝ้าตะกอน จะเห็นได้ว่าเวลา 25 นาที – 40 นาที ค่าพื้นที่เริ่มคงที่ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เหมาะสม ในการทดลองนี้จะเลือกใช้ระยะเวลาที่ 30 นาที

4.7 ผลการศึกษาการประเมินคุณลักษณะวิธี

4.7.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน

ทำการสร้างมาตรฐานจากสถานะที่เหมาะสมที่ได้ศึกษามาเพื่อใช้วิเคราะห์ซัลเฟตด้วยการหาพื้นที่ของฝ้าตะกอน โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้น 0.6, 0.8, 1.0, 3.0, 5.0 และ 7.0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 300 ไมโครลิตร ใส่ลงในภาดหลุม จากนั้นปิเปตสารละลายแบเรียมไนเตรต

ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ ที่มีสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ และ สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในถาดหลุมที่เตรียมไว้ เขย่าให้สารละลายผสมเข้ากัน และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 30 นาที ทำการ ถ่ายภาพตะกอนด้วยโทรศัพท์มือถือ โดยถ่ายโฟกัสที่ตะกอน นำภาพที่ถ่ายได้ไปประมวลผลหาพื้นที่ ด้วยโปรแกรม ImageJ



รูปที่ 4.10 กราฟมาตรฐานซัลเฟตสร้างจากการทดลองที่สภาวะเหมาะสมที่ได้จากการศึกษาทั้งหมด

จากกราฟมาตรฐานซัลเฟต แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตกับพื้นที่ของฝ้าตะกอน โดยทำการทดลองที่สภาวะเหมาะสม ได้กราฟมาตรฐานที่มีสมการเส้นตรง $y = 0.0143x + 0.0051$ และมีค่า $r^2 = 0.9795$ ดังนั้นกราฟมาตรฐานมีความแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานซัลเฟตช่วง 0.8 – 7.0 มิลลิโมลาร์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยเรื่องการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ซัลเฟต โดยการหาพื้นที่ของฝ้าตะกอนที่เกิดขึ้น จากปฏิกิริยาระหว่างซัลเฟตกับแบเรียมไนเตรทเกิดเป็นตะกอนขาวแบเรียมซัลเฟตในหลุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.60 เซนติเมตร สูง 2.5 เซนติเมตร ของเพลทจำนวน 24 หลุม มีสารละลายมาตรฐานซัลเฟตที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.6 – 7.0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตรตั้งแต่ 200 – 400 ไมโครลิตร กับสารละลายแบเรียมไนเตรทที่ทำปฏิกิริยากัน ระยะเวลาในการทดลอง 25 – 30 นาที โดยบันทึกเป็นภาพถ่ายตะกอนด้วยโทรศัพท์มือถือและประมวลผลด้วยโปรแกรม ImageJ จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนปริมาตรสารละลายมาตรฐานซัลเฟตที่เหมาะสมอยู่ที่ 300 ไมโครลิตร ต่อปริมาตรสารละลายแบเรียมไนเตรท 100 ไมโครลิตร ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ และในสภาวะกรด เบส โดยมีสารละลายมาตรฐานซัลเฟตความเข้มข้นตั้งแต่ 1.0 – 7.0 มิลลิโมลาร์ ที่มีสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นตั้งแต่ 0.001 – 0.1 โมลาร์ และ สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 – 4.0 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 100 ไมโครลิตร พบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกอยู่ที่ 0.01 โมลาร์ และสารละลายโซเดียมคลอไรด์อยู่ที่ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร กราฟมาตรฐานที่ได้มีสมการเชิงเส้น $y = 0.0143x + 0.0051$ และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีใจ (r^2) เท่ากับ 0.9795

ดังนั้นจึงสรุปการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ซัลเฟตได้ว่าการวิเคราะห์หาฝ้าตะกอนขาวแบเรียมซัลเฟตด้วยวิธีการบันทึกภาพด้วยโทรศัพท์มือถือแล้วประมวลผลค่าพื้นที่ของฝ้าตะกอนด้วยโปรแกรม ImageJ นั้นมีแนวโน้มที่จะสามารถวิเคราะห์ซัลเฟตได้ แต่ต้องนำไปพัฒนาและต่อยอดให้ได้สภาวะที่เหมาะสมและคงที่เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ซัลเฟตในตัวอย่างที่สนใจ เช่น น้ำดื่ม น้ำประปา น้ำแร่ น้ำบาดาล ดิน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ImageJ เนื่องจากเครื่องมือ Elliptical Selections tool ในโปรแกรมมีขนาดใหญ่ ไม่สามารถแยกช่องว่างที่เกิดจากตะกอนไม่จับตัวกันได้ ทำให้ต้องคลุมพื้นที่ทั้งหมด จึงทำให้ค่าพื้นที่ของฝ้าตะกอนคลาดเคลื่อนได้

2. ในการต่อยอดของการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ซัลเฟต แนะนำให้ใช้โปรแกรม Desing of experiments หรือ DOE เพื่อช่วยในการออกแบบการทดลอง

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2566. ทรัพยากรน้ำ. [online]. เข้าถึงได้จาก http://www.rmuti.ac.th/user/thanyaphak/Web%20EMR/Web%20IS%20Environment%20gr.3/page5_tem.htm
- [2] บริษัท ซี-ฟอร์ม จำกัด. 2566. สิ่งปนเปื้อนในน้ำ. [online]. เข้าถึงได้จาก <https://c-formth.com/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1/20450>
- [3] กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2562. คู่มือมาตรฐานน้ำดื่มประเทศไทย. [online]. เข้าถึงได้จาก http://bgsf.dmsc.moph.go.th/bgsfWeb/index.php/sdm_downloads/water_handbook/
- [4] บริษัท พล วอเตอร์ จำกัด. 2566. Reverse osmosis. [online]. เข้าถึงได้จาก <https://www.pholwater.com/content/25830/reverse-osmosis-ro>
- [5] บริษัท มิตรนิรันดร์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด. 2565. สารกรองเรซิน Cation Resin คืออะไร จำเป็นต้องมีหรือไม่เมื่อทำระบบกรองน้ำ. [online]. เข้าถึงได้จาก https://mitrwater.com/cation-resin/#khunsmbati_Cation_Resin_mi_xari_bang
- [6] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. 2563. การหาปริมาณซัลเฟต. [online]. เข้าถึงได้จาก https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=6171
- [7] ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหาร. 2566. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ. [online]. เข้าถึงได้จาก <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/7368/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%B2%E0%B8%B0%E0%B8%AB%E0%B9%8C%E0%B9%80%E0%B8%8A%E0%B8%B4%E0%B8%87%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B4%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%93>
- [8] กองหอสมุดและศูนย์สารสนเทศ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2563. วิธีการหาปริมาณซัลเฟต (Sulphate) ในสารตัวอย่าง มีวิธีการใดบ้าง?. [online]. เข้าถึงได้จาก <https://siweb.dss.go.th/index.php/th/search-form/1446-sulphate>
- [9] MedicineNet. 2023. What Is Sulfate Used For?. [online]. https://www.medicinenet.com/what_is_sulfate_used_for/article.htm
- [10] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2566. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric Acid). [online]. เข้าถึงได้จาก <http://reg3.diw.go.th/haz/wp-content/uploads/2018/11/Sulfuric-Acid-by-PIK.pdf>

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเนื้อหาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่แบบสงวนเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

- [11] BYJU'S. 2023. What is Barium nitrate?. [online].
<https://byjus.com/chemistry/barium-nitrate/>
- [12] บริษัท มิตรนิรันดร์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด. 2566. ระบบน้ำประปา คืออะไร มีกี่ประเภท แบ่งออกเป็นอะไรบ้าง สรุปข้อมูลน่ารู้มาแล้วที่นี่ !. [online]. เข้าถึงได้จาก
<https://www.mittwater.com/what-tap-water-system/>
- [13] แหล่งรวมเครื่องมือวิทยาศาสตร์ และอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการ. 2557. มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค. [online]. เข้าถึงได้จาก
<https://www.promotionsci.com/%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B8%90%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%84%E0%B8%B8%E0%B8%93%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%9E%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%9B%E0%B8%B2/>
- [14] หมอชาวบ้าน. 2537. น้ำดื่มและเกลือแร่. [online]. เข้าถึงได้จาก
<https://www.doctor.or.th/article/detail/3445>
- [15] กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. 2562. คู่มือมาตรฐานน้ำดื่มประเทศไทย. [online]. เข้าถึงได้จาก
<https://www.kanpho.go.th/new/downloads/%E0%B8%84%E0%B8%B9%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B8%90%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%94%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%97%E0%B8%A8%E0%B9%84%E0%B8%97%E0%B8%A2.pdf>
- [16] SciSpec. 2564. รู้จักกับน้ำแร่. [online]. เข้าถึงได้จาก
<https://www.scispec.co.th/learning/index.php/blog/elemental/mineral-water>
- [17] Rejuvis CO.,LTD. 2565. น้ำแร่ธรรมชาติ ICELANDIC GLACIAL กับค่า TDS ต่ำเป็นความสะอาดที่หาที่ไหนไม่ได้. [online]. เข้าถึงได้จาก
<https://www.rejuvis.co.th/%E0%B8%82%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A3/189-%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B9%81%E0%B8%A3%E0%B9%88%E0%B8%98%E0%B8%A3%E0%B8%A3%E0%B8%A1%E0%B8%8A%E0%B8%B2%E0%B8%95%E0%B8%B4-icelandic-glacial-%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%84%E0%B9%88%E0%B8%B2-tds-%E0%B8%95%E0%B9%88%E0%B8%B3%E0%B9%80%E0%B8%9B%E0%B9%87/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด

[E0%B8%99%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%AA%E0%B8%B0%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%94%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%AB%E0%B8%B2%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B9%84%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B9%84%E0%B8%A1%E0%B9%88%E0%B9%84%E0%B8%94%E0%B9%89](https://www.promotions.co.th/%E0%B8%AA%E0%B8%B3%E0%B8%A3%E0%B8%A7%E0%B8%88%E0%B8%95%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%94/%E0%B8%AA%E0%B8%B4%E0%B8%99%E0%B8%84%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%97%E0%B8%B1%E0%B9%88%E0%B8%A7%E0%B9%84%E0%B8%9B/online-shopping-experiences/mobile-photography-techniques-getting-beautiful-photos.html)

- [18] Promotions. 2565. เทคนิคการถ่ายภาพด้วยมือถือ ได้รูปสวยปังเหมือนจ้างช่างถ่ายภาพ. [online]. เข้าถึงได้จาก <https://promotions.co.th/%E0%B8%AA%E0%B8%B3%E0%B8%A3%E0%B8%A7%E0%B8%88%E0%B8%95%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%94/%E0%B8%AA%E0%B8%B4%E0%B8%99%E0%B8%84%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%97%E0%B8%B1%E0%B9%88%E0%B8%A7%E0%B9%84%E0%B8%9B/online-shopping-experiences/mobile-photography-techniques-getting-beautiful-photos.html>
- [19] ComDigest. 2558. ImageJ 1: โปรแกรม ImageJ คืออะไร. [online]. เข้าถึงได้จาก <https://comdigest.blogspot.com/2015/10/imagej.html>
- [20] ACS Publications. 2008. Quantitative Analysis of Sulfate in Water by Indirect EDTA Titration. [online]. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ed085p1269>
- [21] Journal of Emerging Technologies and Innovative Research. 2021. Determination of Sulphate in Water sample by turbidimetry technique. [online]. <https://www.jetir.org/papers/JETIR2105664.pdf>
- [22] National Library of Medicine. 2001. Determination of sulfate in natural and residual waters by turbidimetric flow-injection analysis. [online]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11234853/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่...27.....เดือน.....พฤษภาคม.....พ.ศ...2566..

ข้าพเจ้า นางสาวโชติกา ยั่งยืน รหัสประจำตัว 63050316

นางสาวณิชาทิพร มงคล รหัสประจำตัว 63050319

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชา เคมี

ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา เรื่อง

ชื่อภาษาไทย การพัฒนาวิธีวิเคราะห์ซัลเฟต

ชื่อภาษาอังกฤษ Development of Sulfate Analysis method

ปีการศึกษา 2566

เป็นผลงานวิจัยที่มิได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักษรวินิจฉัย 0.80% หรือโปรแกรม Turnitin.....%

ลงชื่อ..... โจติกา ยั่งยืน.....

ลงชื่อ..... นิชาทิพร มงคล.....

ลงชื่อ.....

(นางสาวโจติกา ยั่งยืน)

(นางสาวณิชาทิพร มงคล)

()

นักศึกษา

นักศึกษา

นักศึกษา

ข้าพเจ้า ศ. / รศ. / ผศ. / ดร. / อ..... วิบูลย์ ประดิษฐ์เนียงคำ..... อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษาของนักศึกษาข้างต้น แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ..... วิบูลย์.....

ลงชื่อ.....

ลงชื่อ.....

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้