

การพัฒนาวิธีวิเคราะห์คลอไรด์

DEVELOPMENT OF METHOD FOR DETERMINATION
OF CHLORIDE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

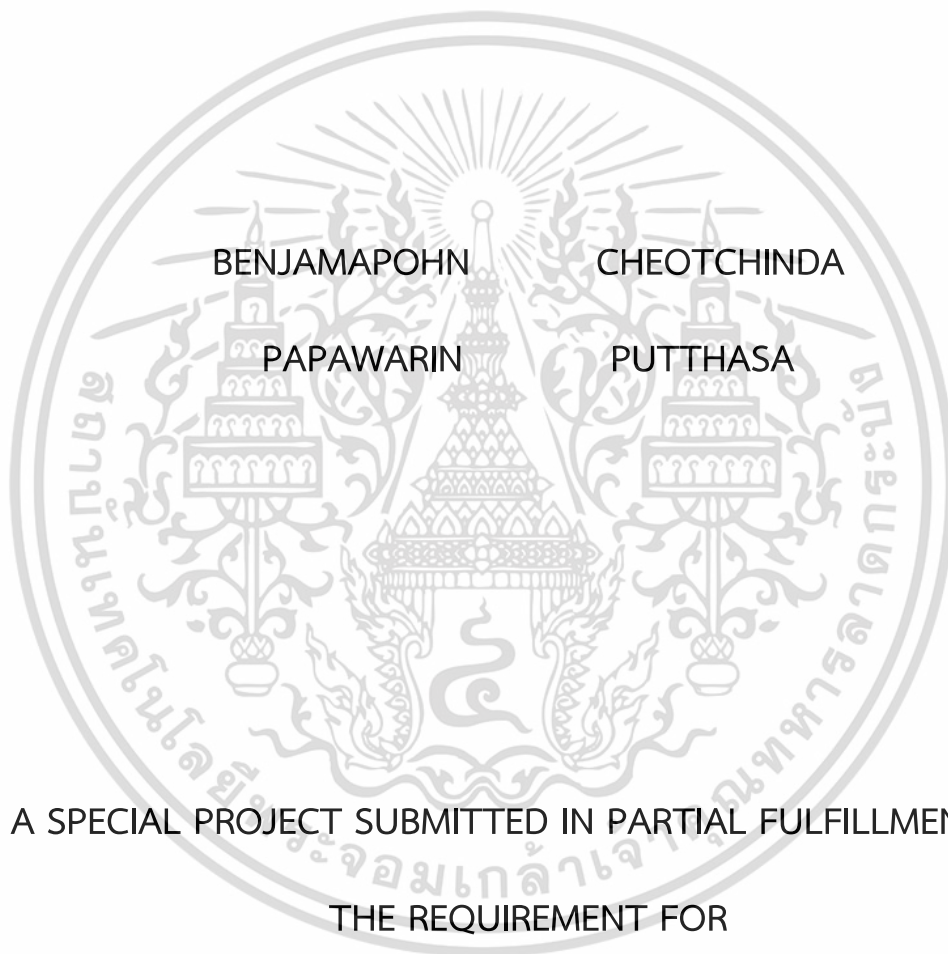
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF METHOD FOR DETERMINATION
OF CHLORIDE



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

ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาวิธีวิเคราะห์คลอไรด์		
	Development of Method for Determination of Chloride		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวเบญจมาภรณ์	เฉิดจินดา	รหัสนักศึกษา 62050299
	นางสาวปภาวรินทร์	พุทธสะ	รหัสนักศึกษา 62050300
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2565		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วิบูลย์	ประดิษฐ์เวียงคำ	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ในน้ำเกลือนอร์มอลซาลินและน้ำปลา โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างคลอไรด์กับซิลเวอร์ไนเตรทเกิดเป็นตะกอนซิลเวอร์คลอไรด์ แล้ววัดความสูงของตะกอนสัมพันธ์กับปริมาณคลอไรด์ ทำการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและศึกษาผลของสารรบกวนต่าง ๆ ที่มีต่อการเกิดตะกอนซิลเวอร์คลอไรด์ ได้สภาวะที่เหมาะสมโดยทำการผสมสารมาตรฐาน/ตัวอย่างคลอไรด์กับรีเอเจนต์คือสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 750 มิลลิโมลาร์ในกรดไนตริก 1 โมลาร์ ทำการปั่นเหวี่ยงหลอดขนาดไมโครสำหรับเกิดปฏิกิริยาด้วยเครื่องมือเหวี่ยงเป็นเวลา 3 นาที ปล่องทิ้งไว้ให้เกิดการตกตะกอนเป็นเวลา 5 นาที แล้ววัดความสูงของตะกอน สร้างกราฟมาตรฐานโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอไรด์กับความสูงของตะกอน ได้ประยุกต์วิธีการที่พัฒนาขึ้นสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเกลือคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำเกลือนอร์มอลซาลินและน้ำปลา พบว่าผลการวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ที่ได้จากทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($n=4$)

คำสำคัญ : เกลือคลอไรด์, น้ำเกลือนอร์มอลซาลิน, น้ำปลา, ซิลเวอร์ไนเตรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Development of Method for Determination of Chloride
Student	Miss Benjamapohn Cheotchinda Student ID 62050299 Miss Papawarin Puttasa Student ID 62050300
Degree	Beachelor of Science (Industrial Chemistry)
Department	Chemistry
School	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2022
Advisor	Asst.Prof.Dr. Wiboon Praditweangkum

Abstract

This special project studied to develop a method for analyzing chloride content in normal saline and fish sauce by the reaction between chloride and silver nitrate to form silver chloride precipitate. The height of silver chloride sediment is measured relative to the chloride content. The method optimization and substances affecting silver chloride precipitation were studied. The developed method was optimized by mixing the chloride standard/sample with the reagent of 750 mM silver nitrate in 1 M nitric acid solution, spinning the microvessel for precipitation reaction by a centrifuge for 3 minutes, allowing it to stand for precipitation for 5 minutes, then measuring the height of the sediment. The calibration curve was plotted between the chloride concentration and the precipitate height. The developed method was applied for the determination of chloride salt in normal saline solution and fish sauce samples and found that the results of chloride content from both methods were not significantly different at the 95% confidence level (n=4).

Keywords: Chloride salt, Normal saline solution, Fish sauce, Silver nitrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยในเรื่อง การพัฒนาวิธีวิเคราะห์คลอไรด์ ครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดีจาก ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ อาจารย์ที่ปรึกษาวิจัยที่ให้คำแนะนำ เอื้อเพื่อเอกสารต่าง ๆ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เขิงชั้น ประธานกรรมการ และ รศ.ดร.เสาวภาคย์ อีราทร กรรมการสอบโครงการพิเศษ ที่ให้ความอนุเคราะห์แนะนำแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ รวมทั้งแนวคิดที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีชั้น 5 อาคารวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ชั้น 2 อาคารจุฬารภรณ์วลัยลักษณ์ 1 ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้านการจัดหาอุปกรณ์และสารเคมี ตลอดจนเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่ดีตลอดมา คุณป้าแม่บ้านที่ดูแลความสะอาดห้องปฏิบัติการ และบิดา-มารดาที่เป็นกำลังใจและแรงผลักดันในการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้ กลุ่มของข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการทำวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้อื่นสืบต่อไป และสำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น กลุ่มของข้าพเจ้าขอน้อมรับความผิดไว้แต่เพียงผู้เดียว

เบญจมาภรณ์ เฉิดจินดา

ปภาวรินทร์ พุทธสะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride).....	4
2.1.1 คุณสมบัติทางเคมี.....	4
2.1.3 การผลิตโซเดียมคลอไรด์	5
2.1.4 ประเภทของเกลือ.....	5
2.1.5 ประโยชน์ของโซเดียมคลอไรด์	5
2.1.6 อันตรายต่อสุขภาพอนามัย	6
2.1.7 ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่ควรได้รับในแต่ละวัน	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2	น้ำเกลือ	7
2.3	น้ำปลา	7
2.4	การไทเทรตของปฏิกิริยาตกตะกอน.....	8
2.5	การตรวจวัดปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในอาหาร.....	8
2.5.1	การวัดปริมาณคลอไรด์ด้วยวิธีอาร์เจนโตเมตริก.....	8
2.5.2	การตรวจวัดโซเดียมไอออนผ่านอิเล็กโทรดแบบเจาะจงไอออน.....	9
2.5.2.1	การวัดปริมาณโซเดียมผ่านการเติมสารมาตรฐานหลายครั้ง (MSA)	9
2.5.2.2	การตรวจวัดปริมาณโซเดียมโดยตรง.....	9
2.6	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.6.1	การวิเคราะห์โซเดียมในรูปของคลอไรด์ในขอสมะเขือเทศและขอสปรุงรส.....	10
2.6.2	การไทเทรตโซเดียมคลอไรด์ในขอส	10
2.6.3	หาปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในขอสมะเขือเทศ โดยกระบวนการไทเทรต.....	11
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย		14
3.1	สารเคมีอุปกรณ์.....	14
3.1.1	สารเคมี.....	14
3.1.2	อุปกรณ์.....	14
3.2	การเตรียมสารละลาย.....	15
3.2.1	สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์	15
3.2.2	สารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรท.....	16
3.2.3	กรดไนตริก	17
3.3	วิธีการทดลอง	17
3.3.1	ศึกษาความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรทที่ส่งผลต่อความสูงตะกอน	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2	ศึกษาวิธีการผสมสาร.....	18
3.3.3	ศึกษาความเข้มข้นของกรดไนตริกที่ส่งผลต่อความสูงของตะกอน.....	18
3.3.4	ศึกษาเวลาในการเหวี่ยงสารที่ส่งผลต่อความสูงของตะกอน.....	19
3.3.5	ศึกษาความแรงในการเหวี่ยงสารละลาย.....	19
3.3.6	ศึกษาสารรบกวนที่มีผลต่อการวิเคราะห์.....	19
3.3.7	การประเมินคุณลักษณะของวิธี.....	22
3.3.8	การวิเคราะห์คลอไรด์ในตัวอย่างน้ำเกลือและน้ำปลา.....	24
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....		27
4.1	ศึกษาความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรทที่ส่งผลต่อความสูงของตะกอน.....	27
4.2	ศึกษาวิธีการผสม.....	29
4.3	ศึกษาความเข้มข้นของกรดไนตริกที่ส่งผลต่อความสูงของตะกอน.....	29
4.4	ศึกษาเวลาในการเหวี่ยงสารที่ส่งผลต่อความสูงของตะกอน.....	31
4.5	ศึกษาความแรงในการเหวี่ยงสารละลาย.....	33
4.6	ศึกษาสารรบกวนที่มีผลต่อการวิเคราะห์.....	34
4.6.1	กรดกลูตามิก.....	34
4.6.2	โซเดียมซัลเฟต.....	36
4.6.3	ไนเตรท.....	37
4.6.4	โมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต.....	38
4.6.5	โซเดียมฟลูออไรด์.....	39
4.7	การประเมินคุณลักษณะของวิธี.....	41
4.7.1	การสร้างกราฟมาตรฐาน.....	41
4.7.2	ความเที่ยง (Precision).....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.3 การคำนวณหาร้อยละของการคืนกลับ (%recovery).....	43
4.8 การวิเคราะห์คลอไรต์ในตัวอย่างน้ำเกลือและน้ำปลา.....	45
4.8.1 การวิเคราะห์คลอไรต์ด้วยวิธีวัดความสูงของตะกอนที่พัฒนาขึ้น	47
4.8.2 การไทเทรตโดยการวัดศักย์ไฟฟ้า.....	47
4.9 การทดสอบด้วย Paired t-Test	50
4.9.1 ผลการศึกษาเพื่อเทียบตัวอย่างของทั้งสองวิธี	50
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	53
5.1 สรุปผลการวิจัย	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	54
เอกสารอ้างอิง	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณโซเดียมที่ควรได้รับต่อวัน	6
2.2 ปริมาณของสารตัวอย่างที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์คลอไรด์	11
2.3 การไทเทรตสารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ 5 มิลลิลิตร ปริมาณตัวอย่างและผลลัพธ์	12
2.4 น้ำหนักตัวอย่างและผลลัพธ์ในการหาปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในซอสมะเขือเทศ 3 ครั้ง	13
3.1 การเตรียมสารละลายในการทดสอบสารบกวาน	21
3.2 การเตรียมสารละลายในการสร้างกราฟมาตรฐาน	22
4.1 ความสูงของตะกอนในการสร้างกราฟมาตรฐาน	41
4.2 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation; %RSD)	43
4.3 การคำนวณร้อยละของการคืนกลับของน้ำเกลือ	44
4.3 การคำนวณร้อยละของการคืนกลับของน้ำปลา	44
4.5 ปริมาณคลอไรด์ของน้ำเกลือที่วัดได้โดยวิธีการวัดความสูงของตะกอนที่พัฒนาขึ้น	46
4.6 ปริมาณคลอไรด์ของน้ำปลาที่วัดได้โดยวิธีการวัดความสูงของตะกอนที่พัฒนาขึ้น	46
4.7 ศึกษาการไทเทรตตัวอย่างน้ำเกลือ	47
4.8 ศึกษาการไทเทรตตัวอย่างน้ำปลา	49
4.9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเกลือคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำเกลือ	51
4.10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเกลือคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำปลา	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของโซเดียมคลอไรด์	4
4.1 กราฟแสดงความสูงของตะกอนเมื่อใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	28
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตะกอนเมื่อใส่กรดไนตริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	30
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตะกอน เมื่อเหวี่ยงในระยะเวลาต่าง ๆ	32
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตะกอน เมื่อปรับความแรงระดับ 10, 30, 50, 70 และ 90 ($\times 1000 \mu/\text{min}$).....	33
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตะกอน เมื่อใส่กรดกลูตามิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	34
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตะกอน เมื่อใส่โซเดียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ...	36
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตะกอน เมื่อใส่ไนเตรทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	37
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตะกอน เมื่อใส่ฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	38
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตะกอน เมื่อใส่ฟลูออไรด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	39
4.10 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยของตะกอน (เซนติเมตร) กับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (มิลลิโมลาร์)	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำเกลือออร์มอลซาไลน์ คือน้ำเกลือที่ผ่านการฆ่าเชื้อมาแล้ว เป็นอุปกรณ์ปฐมพยาบาลเบื้องต้นที่นำมาทำ ความสะอาดแผลจากอุบัติเหตุที่ไม่รุนแรงมากนัก ล้างดวงตาเวลาฝุ่นเข้าตา ใช้บ้วนปากเพื่อลดการอักเสบของแผล ร้อนใน ใช้ล้างทำความสะอาดสิ่งสกปรกหรือเช็ดคอนแทคเลนส์ก่อนสวมใส่บนดวงตา และใช้ล้างจมูกเพื่อชำระล้าง แบคทีเรียในโพรงจมูก โดยผู้ใช้สามารถทำได้ด้วยตนเอง เพราะน้ำเกลือสามารถหาซื้อได้ง่าย ตามร้านขายยาทั่วไป แต่ไม่ว่าอย่างไร เราควรศึกษาวิธีการทำความสะอาดด้วยน้ำเกลืออย่างถูกต้องและเหมาะสม [2] โดยข้อระวังใน การใช้น้ำเกลือ ผู้ใช้ควรอ่านฉลากบนผลิตภัณฑ์ก่อนใช้ทุกครั้งและควรบันทึกวันที่เปิดใช้งานขวดน้ำเกลือล้างแผล เพราะน้ำเกลือสามารถปนเปื้อนแบคทีเรียหลังจากเปิดใช้ขวดภายใน 24 ชั่วโมง [1] น้ำเกลือมีระดับความเข้มข้นที่ แตกต่างกัน ซึ่งแบ่งประเภทการใช้งานให้เหมาะสมกับสภาพการณ์ในช่วงนั้น ๆ ซึ่ง น้ำเกลือสำหรับล้างแผลนั้นจะมี เฉพาะโซเดียมคลอไรด์ผสมอยู่ในน้ำ ในปริมาณความเข้มข้นที่ 0.90 เปอร์เซ็นต์ ส่วนน้ำเกลือที่ใช้ฉีดเข้าหลอดเลือด นั้นจะมีหลายชนิด ทั้งชนิดที่มีน้ำตาลเด็กซ์โทรสโมโนไฮเดรต และแบบไม่มีน้ำตาล ส่วนปริมาณโซเดียมก็จะมีทั้ง ปริมาณความเข้มข้นที่ 0.45 เปอร์เซ็นต์ และ 0.90 เปอร์เซ็นต์ และยังมีคลอไรด์ผสมอยู่ด้วย นอกจากนี้ น้ำเกลือที่ ฉีดเข้าเส้นบางสูตรก็อาจจะมีส่วนผสมอื่น ๆ อีก เช่น โซเดียมแลคเตท โพแทสเซียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ ไตไฮเดรต เป็นต้น ซึ่งทั้งนี้แพทย์ก็จะเลือกใช้ น้ำเกลือแต่ละชนิดที่เหมาะสมให้กับผู้ป่วยแต่ละรายตามแต่ละโรค และข้อบ่งชี้ในการใช้ [5]

น้ำปลาเป็นผลิตภัณฑ์ปรุงรสที่เป็นของเหลว ซึ่งได้จากการหมักปลากับเกลือและน้ำให้มีรสชาติเค็มและ กลิ่นที่ชวนรับประทาน ซึ่งน้ำปลาเป็นส่วนผสมสำคัญในการปรุงอาหารของคนไทยและใช้ในอีกหลายประเทศใน เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ น้ำปลาเกิดจากการหมักของปลาสดกับเกลือโดยแบคทีเรียภายในลำไส้ปลาจะย่อยโปรตีน ในตัวปลาให้เป็นกรดอะมิโนในน้ำปลา ซึ่งน้ำปลาจะแบ่ง เป็น 3 ประเภทคือ น้ำปลาแท้ น้ำปลาจากสัตว์น้ำอื่น ๆ และน้ำปลาผสม

โดยปริมาณโซเดียมที่แนะนำต่อวัน คือ ไม่ควรกินโซเดียมเกิน 2,300 มิลลิกรัม/วัน หรือควรกินเกลือไม่ เกินวันละ 6 กรัม หรือ 1 ช้อนชา หรือเทียบกับน้ำปลาไม่เกินวันละ 4 ช้อนชา [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบัน โรงงานอุตสาหกรรมใช้วัตถุบิที่นำมาผลิตน้ำปลาแตกต่างกันจึงทำให้มีปริมาณโซเดียมที่ต่างกันและต้องปิดฉลากระบุปริมาณโซเดียมให้ถูกต้องตามกฎหมาย เพื่อให้มั่นใจในคุณภาพของน้ำปลา จึงมีการตรวจสอบวิเคราะห์ปริมาณของโซเดียมทำให้เราสามารถควบคุมปริมาณโซเดียมได้ ซึ่งวิธีการวิเคราะห์โซเดียมนิยมใช้วิธีอาร์เจนโตเมตริกเป็นการไทเทรตที่ใช้สารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) เป็นไทเทรนต์ ซึ่งสามารถตกตะกอนกับแอนไอออน (Cl^-) ที่ต้องการหาปริมาณได้โดยแบ่งได้ 2 แบบ คือ

1) แบบทางตรง เป็นการนำสารละลายแอนไอออนตัวอย่างมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) จากบิวเรตต์

2) แบบทางอ้อม เป็นการเติมสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) จากบิวเรตต์ลงไปในการละลายแอนไอออนตัวอย่าง ให้มีปริมาณที่มากเกินไปและทราบปริมาณที่แน่นอน ปริมาณที่มากเกินไปสามารถหาได้โดยการทำการไทเทรตแบบย้อนกลับหรือแบคไทเทรชันกับสารละลายมาตรฐานของเกลือไทโอไซยาเนต (SCN^-) [14]

ในโครงการพิเศษเล่มนี้ ได้ทำการพัฒนาวิธีวิเคราะห์อย่างง่าย โดยสามารถสังเกตปริมาณตะกอนเพื่อทำการตรวจสอบปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ โดยการทำให้ปฏิกิริยาระหว่างคลอไรด์กับซิลเวอร์ไนเตรทในหลอดทดลองขนาดเล็ก แล้ววัดความสูงของตะกอนสัมพันธ์กับปริมาณคลอไรด์แทนวิธีการชั่งน้ำหนัก โดยการหาปริมาณคลอไรด์ในตัวอย่งน้ำเกลือและน้ำปลา รวมทั้งทำการศึกษาตัวรบกวนที่มีผลต่อการตกตะกอนของซิลเวอร์คลอไรด์ จากนั้นตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีเทียบกับวิธีมาตรฐานการไทเทรตด้วยการวัดค่าศักย์ไฟฟ้า

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาวิธีวิเคราะห์หาปริมาณเกลือคลอไรด์จากการอาศัยการเกิดการตกตะกอนระหว่างคลอไรด์กับซิลเวอร์ไนเตรท และวัดความสูงของตะกอนสัมพันธ์กับปริมาณคลอไรด์ในตัวอย่งน้ำเกลือ และน้ำปลา

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาวิธีวิเคราะห์คลอไรด์อย่างง่าย โดยดัดแปลงจากวิธีการไทเทรตที่ใช้ปริมาณสารละลายในระดับมิลลิลิตร มาเป็นการวัดความสูงของตะกอนในหลอดขนาดเล็กที่ใช้สารละลายในระดับไมโครลิตร โดยได้ทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อหาปริมาณตะกอนของซิลเวอร์คลอไรด์ โดยการวัดความสูงของตะกอนแทนการชั่งน้ำหนัก โดยมีขอบเขตของงานวิจัยดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) หาสมภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนคลอไรด์ด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทโดยวัดความสูงแทนการชั่งน้ำหนัก
- 2) ศึกษาสารรบกวนที่มีผลต่อการวิเคราะห์คลอไรด์โดยการตกตะกอนกับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ได้แก่ กรดกลูตามิก ซัลเฟต ไนเตรท ฟอสเฟต และฟลูออไรด์
- 3) ตรวจสอบคุณลักษณะของวิธีที่พัฒนาขึ้น และตรวจสอบความถูกต้องของวิธีที่พัฒนาขึ้นโดยเทียบกับวิธีมาตรฐานการไทเทรตด้วยการวัดค่าศักย์ไฟฟ้า

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1) ศึกษาหาข้อมูลงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 2) วางแผนการทดลอง
- 3) จัดเตรียมสารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง
- 4) ศึกษาหาสมภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเกลือคลอไรด์โดยวิธีการตกตะกอนและวัดความสูงของตะกอน
- 5) ศึกษาสารรบกวนที่มีผลต่อการเกิดตะกอนของวิธีที่พัฒนาขึ้น
- 6) นำวิธีที่พัฒนาได้ไปใช้วิเคราะห์คลอไรด์ในตัวอย่างน้ำเกลือและน้ำปลาเทียบกับวิธีการไทเทรตโดยการวัดค่าศักย์ไฟฟ้า

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้วิธีการวิเคราะห์เกลือคลอไรด์โดยการวัดความสูงของตะกอนแทนการชั่งน้ำหนักของตะกอนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างคลอไรด์กับซิลเวอร์ไนเตรท ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่สะดวกรวดเร็ว ใช้เครื่องมือที่ไม่ยุ่งยาก อุปกรณ์มีขนาดเล็กระดับไมโครลิตร ใช้สารเคมีปริมาณน้อยในการวิเคราะห์จึงช่วยลดการเกิดของเสีย รวมไปถึงประหยัดค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride)

โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride) หรือ เกลือแกง เป็นสารประกอบเคมีที่เป็นส่วนประกอบหลักในเกลือ สามารถรับประทานได้ เกลือแกงถูกใช้ในหลายด้าน เช่น เป็นเครื่องปรุงรส ใช้ในการถนอมอาหาร และมีบทบาทอย่างมากในอุตสาหกรรมอาหาร โดยโซเดียมคลอไรด์มีโครงสร้างของผลึกเป็นของแข็ง รูปลูกบาศก์ ใสไม่มีสี มีโซเดียมไอออนสลับกับคลอไรด์ไอออนเป็นแถวทั้งสามมิติมีลักษณะคล้ายตาข่ายโดยที่แต่ละไอออนจะมีไอออนต่างชนิดล้อมรอบอยู่ 6 ไอออน [16] ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของโซเดียมคลอไรด์ [16]

2.1.1 คุณสมบัติทางเคมี [15]

- 1) เป็นผลึก สีขาว ไม่มีกลิ่น
- 2) จุดเดือดอยู่ที่ 1,465 องศาเซลเซียส
- 3) จุดหลอมเหลวอยู่ที่ 800 องศาเซลเซียส
- 4) เมื่อสัมผัสกับความร้อนสูง จะทำให้เกิดไอระเหยมีฤทธิ์ระคายเคือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การจัดเก็บ [15]

- 1) เก็บในที่แห้งและเย็น มีการระบายอากาศเพียงพอ
- 2) หลีกเลี่ยงการหายใจเข้าไป การสัมผัสสูดดมและผิวหนัง

2.1.3 การผลิตโซเดียมคลอไรด์ [21]

การผลิตโซเดียมคลอไรด์หรือเกลือแกง เป็นสารประกอบที่ประกอบด้วยธาตุ Na และ Cl มีสูตรเป็น NaCl มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว รสชาติเค็ม ผลึกเป็นแบบทรงลูกบาศก์ มีจุดหลอมเหลว 801 องศาเซลเซียส ละลายน้ำได้ดี เกลือแกงแบ่งตามวิธีการผลิตมี 2 ประเภทคือ เกลือสินเธาว์ และเกลือสมุทร

2.1.4 ประเภทของเกลือ [21]

1) เกลือสินเธาว์ (Rock Salt)

ได้มาจากการสูบน้ำเค็มจากใต้ดินขึ้นมา หรือการอัดน้ำลงไปใต้ดินที่มีหินเกลือใต้ดิน หลังจากนั้นนำมาต้มและเคี้ยวให้แห้งเป็นเกล็ดเล็ก ๆ แต่เกลือสินเธาว์ไม่มีไอโอดีน จึงไม่เหมาะแก่การบริโภค หรือถ้าจะนำมาใช้ทำอาหารมักนำมาใช้กับเมนูอาหารที่ต้องใช้เกลือในปริมาณมาก ๆ เช่น การหมักเนื้อสัตว์

2) เกลือสมุทร (Sea Salt)

ได้จากการนำน้ำทะเลมาตากแดดให้น้ำทะเลระเหยออกไปจนเหลือเพียงผลึกสีขาว ในเกลือสมุทรมีไอโอดีนตามธรรมชาติผสมอยู่ สามารถบริโภคได้

2.1.5 ประโยชน์ของโซเดียมคลอไรด์ [17]

1) ด้านอุตสาหกรรมอาหาร ในผลิตภัณฑ์อาหารมีการใช้เกลือหลากหลายรูปแบบ ทั้งในรูปแบบการเก็บรักษา การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารรูปแบบใหม่จากการหมักรวมทั้งผลิตไปเป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรส เช่น น้ำปลา ปลาร้า กะปิ อาหารกระป๋อง อาหารหมักดอง และน้ำเกลี่ยยังถูกใช้เป็นสารเพิ่มความเย็นในอุตสาหกรรมน้ำแข็งมาเป็นเวลานานก่อนที่มนุษย์จะรู้จักใช้สารเพิ่มความเย็นตัวอื่น [17]

2) ด้านการแพทย์ โซเดียมคลอไรด์จะอยู่ในรูปแบบน้ำเกลือ หรือ สารละลายน้ำเกลือ เป็นสารละลายที่มีส่วนผสมของเกลือโซเดียมคลอไรด์ในน้ำ ใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างทางการแพทย์ เช่น ให้ความสะดวกแก่แผล ให้ความชุ่มชื้นกับตา ช่วยในการเอาเลนส์สัมผัสออกจากตา สามารถให้ทางหลอดเลือดดำเพื่อแก้ไขภาวะขาดน้ำเช่นที่เกิดจากกระเพาะและลำไส้อักเสบหรือภาวะเลือดเป็นกรดคีโตนจากเบาหวาน นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับใช้ผสมยาต่างๆ ก่อนฉีดเข้าร่างกายได้ด้วย [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 อันตรายต่อสุขภาพอนามัย [19]

- 1) หากสัมผัสทางผิวหนัง : การสัมผัสถูกผิวหนังทำให้ระคายเคือง การสัมผัสเป็นเวลานานจะทำให้ปวดแสบปวดร้อนและแผลไหม้
- 2) หากสัมผัสถูกตา : การสัมผัสถูกตา ทำให้เกิดการระคายเคือง ต่อตา ตาแดง เจ็บตา
- 3) หากสัมผัสทางหายใจ : การหายใจเข้าไปจะทำให้เกิดการระคายเคืองจมูกและ คอ, ปอด
- 4) การก่อมะเร็ง ความผิดปกติ อื่นๆ : สารนี้ถูกรายงานว่าเป็นสารไม่ก่อให้เกิดมะเร็งโดย NTP, IARC, OSHA และการสัมผัสกับสารเป็นระยะเวลาสั้นหรือการสัมผัสสารซ้ำ จะทำให้เกิดแผลพุพอง
- 5) หากบริโภคโซเดียมเกินปริมาณที่ร่างกายต้องการ : จะก่อให้เกิดการเสื่อมของไต เพราะไตทำหน้าที่ขับโซเดียม เมื่อไตทำงานได้ลดลงจะทำให้มีการคั่งของเกลือ มีการบวม น้ำ ส่งผลให้ความดันโลหิตสูงและเกิดโรคไต โรคหัวใจและหลอดเลือดตามมาได้

2.1.7 ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่ควรได้รับในแต่ละวัน [12]

เมื่อพิจารณาจากสถาบันโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล พบว่าความต้องการโซเดียมมีความแตกต่างกันไปในแต่ละคน ขึ้นกับเพศ อายุ และสภาวะของร่างกาย ตามตารางที่ 2.1 ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ปริมาณโซเดียมที่ควรได้รับต่อวัน [12]

อายุ (ปี)	ความต้องการโซเดียม (มิลลิกรัม)	
	เพศชาย	เพศหญิง
9-12	400-1,175	350-1,100
13-15	500-1,500	400-1,250
16-18	525-1,600	425-1,275
13-30	500-1,475	400-1,200
31-70	475-1,450	400-1,200
มากกว่า 70	400-1,200	350-1,050
หญิงตั้งครรภ์		เพิ่ม 50-200
หญิงให้นมบุตร		เพิ่ม 125-350

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 น้ำเกลือ

น้ำเกลือถือเป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์ทางการแพทย์ โดยน้ำเกลือถูกนำไปใช้ทางการแพทย์นั้น จะไม่ได้เป็นแค่ น้ำผสมน้ำเกลือเท่านั้น แต่ยังมีน้ำเกลือประเภทที่ผสมแร่ธาตุต่างๆ เข้าไปในสัดส่วนที่พอดีกับความเข้มข้นของน้ำในร่างกาย น้ำเกลือเป็นส่วนผสมระหว่างน้ำ และเกลือแร่ชนิดต่างๆ ที่อาจมีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย เราแบ่งตามความเข้มข้นของน้ำเกลือได้ดังนี้ [18]

- 1) น้ำเกลือชนิดนอร์มอลซอลิน (Normal Saline Solution: NSS) คือ น้ำเกลือแบบธรรมดา ความเข้มข้นอยู่ที่ 0.9 % เป็นค่าที่เท่ากับเกลือที่อยู่ในกระแสเลือดของคนทั่วไป [4]
- 2) 5% เดกซ์โทรสใน 1/3 นอร์มอลซอลิน (5% Dextrose in 1/3 NSS) เป็นการผสมระหว่างน้ำตาลเดกซ์โทรสที่มีความเข้มข้น 5% ร่วมกับน้ำเกลือความเข้มข้น 0.3 % ซึ่งน้อยกว่าน้ำเกลือธรรมดา [4]
- 3) 5% เดกซ์โทรสในนอร์มอลซอลิน (5% Dextrose in NSS: 5% D/NSS) เป็นการผสมระหว่างน้ำเกลือธรรมดากับน้ำตาลเดกซ์โทรส 5 % [4]
- 4) 5% เดกซ์โทรส (5% Dextrose in water: 5%D/W) เป็นน้ำเกลือที่มีส่วนผสมของน้ำตาลเดกซ์โทรสอยู่ด้วย ซึ่งอยู่ในระดับความเข้มข้น 5% โดยไม่มีส่วนผสมของเกลือแร่ [4]

ถึงแม้ว่าน้ำเกลือจะมีความปลอดภัย แต่ก็มีระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ซึ่งแบ่งประเภทการใช้งานให้เหมาะสมกับสภาพการณ์ในช่วงนั้น ๆ

2.3 น้ำปลา

น้ำปลาเป็นผลิตภัณฑ์ปรุงรสที่เป็นของเหลว ซึ่งได้จากการหมักปลากับเกลือและน้ำให้มีรสชาติเค็มและกลิ่นที่ชวนรับประทาน ซึ่งน้ำปลาเป็นส่วนผสมสำคัญในการปรุงอาหารของคนไทยและใช้ในอีกหลายประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ น้ำปลาเกิดจากการหมักของปลาสดกับเกลือโดยแบคทีเรียภายในลำไส้ปลาจะย่อยโปรตีนในตัวปลาให้เป็นกรดอะมิโนในน้ำปลา [5] ซึ่งน้ำปลาจะแบ่งเป็น 3 ประเภทคือ

- 1) น้ำปลาแท้ ได้จากการหมักปลาหรือกากปลา ซึ่งชนิดของปลาที่ใช้ทำน้ำปลา น้ำปลาส่วนมากทำจากปลาน้ำเค็มประมาณร้อยละ 92-96 ของน้ำปลาที่ผลิตในประเทศไทย น้ำปลาชั้นดีมักทำจากปลากระตัก (บางแห่งเรียกว่า ปลาไส้ตัน ปลามะลิ ปลาหัวอ่อนหัวแบน) ปลาหลังเขียว ปลาอกกะแล บางแห่งอาจใช้ปลาหลายชนิดละกันไป เช่นปลาแป้น (ปลาตะโกขาว) ปลาทรายแดง ปลาทรายขาว ปลาข้างเหลือง (ปลาข้างแดง ปลากะพงเหลืองขมิ้น) ตลอดจนปลาทุที่มีขนาดเล็ก สำหรับปลาน้ำจืดนั้นส่วนใหญ่ ใช้ปลาสร้อยทำ [6]

- 2) น้ำปลาจากสัตว์น้ำอื่น ๆ เช่น กุ้ง หมึก หอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) น้ำปลาผสม เกิดจากการนำน้ำปลาแท้หรือน้ำปลาจากสัตว์น้ำอื่นๆ มาเจือจางด้วยสารที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค (ซึ่งต้องมี ไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำปลา มากกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร)

โดยปริมาณโซเดียมที่แนะนำต่อวัน คือ ไม่ควรกินโซเดียมเกิน 2,300 มิลลิกรัม/วัน หรือควรกินเกลือไม่เกินวันละ 6 กรัม หรือ 1 ช้อนชา หรือเทียบกับน้ำปลาไม่เกิน 4 ช้อนชา ก็เพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย [10]

2.4 การไทเทรตของปฏิกิริยาตกตะกอน [22]

การไทเทรตของปฏิกิริยาการตกตะกอน นิยมใช้สารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) เป็นไทเทรนต์ ที่เรียกว่า Argentometric titration เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณแอนไอออน ในสารตัวอย่าง เช่น Cl^- Br^- และ I^- โดยใช้เครื่อง pH meter ที่สามารถวัดค่ามิลลิโวลต์ได้ ทำการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าขณะไทเทรตด้วย Ag^+ จะเริ่มเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ และจะเปลี่ยนแปลงมากขึ้นเมื่อถึงจุดสมมูล และหลังจากนั้นจะเปลี่ยนแปลงน้อยลงจนศักย์ไฟฟ้าเริ่มคงที่ ซึ่งในการทดลองนี้จะเป็นการวิเคราะห์หาเฮไลด์ไอออน ได้แก่ Cl^- Br^- และ I^- ในสารละลายผสม และใช้ Combination Silver Electrode เพียงขั้วเดียวในการวัดศักย์ไฟฟ้า

2.5 การตรวจวัดปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในอาหาร [20]

2.5.1 การวัดปริมาณคลอไรด์ด้วยวิธีอาร์เจนโตเมตริก [20]

การไทเทรตแบบอาร์เจนโตเมตริก เป็นวิธีการนำซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) มาใช้เป็น ไทเทรนต์ โดยเป็นวิธีที่ใช้ทั่วไปในห้องปฏิบัติการอาหารและเป็นวิธีการไทเทรตที่เป็นที่ยอมรับมากที่สุด โดย ซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) จะตกตะกอนโดยแยกตัวออกจากสารละลายเมื่อทำปฏิกิริยากับ Cl^- ไอออน และเมื่อคลอไรด์ที่มีทั้งหมดถูกทำลายไปเมื่อทำปฏิกิริยากับ Ag^+ ค่าศักย์ไฟฟ้าในสถานะไทเทรตก็จะเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการสะสมของ Ag^+ ไอออนที่ละลายอยู่ในตัวอย่างสารละลาย ปฏิกิริยานี้จะเป็นตัวบ่งชี้ให้สิ้นสุดการไทเทรต และกระตุ้นการคำนวณปริมาณเกลือ (ตามเงื่อนไขที่ว่าคลอไรด์ทั้งหมดในตัวอย่างสารได้มาจาก NaCl) แม้ว่าการวัดปริมาณคลอไรด์จะทำได้รวดเร็วและไม่ต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะทางใดๆ แต่วิธีนี้จะใช้ไม่ได้กับโซเดียมไอออนที่ได้มาจากธาตุทางเคมีอื่นๆ ที่ไม่ใช่ NaCl ตามที่ระบุไว้ข้างต้น นั้นหมายความว่า วิธีนี้อาจไม่เหมาะกับการวิเคราะห์เกลือในทุกประเภท แม้ว่าจะได้ผลในหลาย ๆ กรณีก็ตาม ตัวอย่างการใช้งานเครื่องมือที่กล่าวถึงเป็นการใช้เครื่องไทเทรตจาก METTLER TOLEDO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การตรวจวัดโซเดียมไอออนผ่านอิเล็กโทรดแบบเจาะจงไอออน [20]

โดยวิธีนี้จะเลือกดำเนินการผ่านเทคนิคการเติมสารมาตรฐานหลายครั้งหรือดำเนินการโดยตรงก็ได้ เมื่อใช้รวมกันแล้ว วิธีที่ใช้เครื่องไทเทรตวัดปริมาณเกลือหรือใช้อิเล็กโทรดแบบเจาะจงไอออนนั้นจะดำเนินการได้ง่าย เชื่อถือได้ และตรงไปตรงมา รวมถึงอาศัยเพียงเครื่องมือมาตรฐานทั่วไปในห้องปฏิบัติการเท่านั้น

2.5.2.1 การวัดปริมาณโซเดียมผ่านการเติมสารมาตรฐานหลายครั้ง (MSA) [20]

การเติมสารมาตรฐานหลายครั้งจะช่วยตรวจจับโซเดียมภายในเมทริกซ์ของตัวอย่างได้แม้ในปริมาณที่น้อยถึง 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร ($4.7 \cdot 10^{-6}$ M) สารละลายมาตรฐานโซเดียมเพียงปริมาณเล็กน้อยจะถูกจ่ายลงในสารตัวอย่างต่อเนื่องหลายครั้งเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียม ความต่างศักย์ที่ได้จากสารมาตรฐานที่เพิ่มเข้าไปในปริมาณที่กำหนดไว้ชัดเจนจะใช้เพื่อระบุความเข้มข้นของโซเดียมในตัวอย่างสาร และประเมินซ้ำตามสมการ Nernst ข้อสำคัญคือการตรวจวัดโดยใช้ MSA จะสามารถกระทำได้ใกล้ชิดจำกัดการตรวจจับโดยเครื่องมือจะให้ความถูกต้องแม่นยำที่สูงแต่จะส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิด้วย ผู้ปฏิบัติงานต้องทราบความหนาแน่นของสารตัวอย่างเพื่อจะได้เตรียมตัวอย่างสารให้เหมาะสมและเพื่อใช้ปริมาณตัวอย่างสารอย่างคุ้มค่า

ตัวอย่างการใช้งานเครื่องมือที่กล่าวถึงเป็นการใช้งานเครื่องวิเคราะห์โซเดียม Easy Na หรือเครื่องไทเทรตรุ่น Excellence (รวมถึงระบบอัตโนมัติ) จาก METTLER TOLEDO

2.5.2.2 การตรวจวัดปริมาณโซเดียมโดยตรง [20]

ระดับโซเดียมในอาหารซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะอยู่ในสารละลายชนิดน้ำจะสามารถวัดได้โดยตรงโดยการใช้ ISE ร่วมกับเครื่องไทเทรตหรือไอออนมิเตอร์ ความแม่นยำจะขึ้นอยู่กับการใช้กราฟมาตรฐานเพื่อระบุความเข้มข้นของตัวอย่างสารภายใต้เงื่อนไขที่ว่า การตอบสนองของอิเล็กโทรดของตัวอย่างสารและสารละลายมาตรฐานนั้นเท่ากัน ชุดสารเจือจางมาตรฐานโซเดียมจะใช้เพื่อจุดประสงค์นี้

เมื่อใช้วิธี MSA ค่าศักย์ที่ตรวจจับได้จะมีสัดส่วนสอดคล้องกับค่ากัมมันตภาพของไอออนในสารละลาย รวมถึงสอดคล้องกับความเข้มข้นของสารละลายด้วย ภายหลังจากการตรวจวัดปริมาณ เครื่องมือที่ใช้ร่วมด้วยจะสามารถคำนวณความเข้มข้นของไอออนของตัวอย่างสารและแสดงผลได้โดยอัตโนมัติ

เครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์นี้คือไอออนมิเตอร์ที่ใช้คู่กับอิเล็กโทรดแบบเจาะจงไอออนจาก METTLER TOLEDO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 การวิเคราะห์โซเดียมในรูปของคลอไรด์ในซอสมะเขือเทศและซอสปรุงรส [23]

จาก Thermo. Titr. Application Note เลขที่ H-058 [23] ห้องปฏิบัติการ Metrohm ได้ทำการตรวจหาโซเดียมในรูปของคลอไรด์ในซอสมะเขือเทศ ซอสปรุงรส และผลิตภัณฑ์อาหารที่คล้ายกัน โดยหลักการคือ การไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน AgNO_3 ไปยังจุดสิ้นสุดการคายความร้อนจุดเดียว (กำหนดปริมาณโซเดียมสมมุติให้ทั้งหมดเป็นโซเดียมคลอไรด์) กำหนดรีเอเจนต์ดังนี้ ไทแทรนต์: ซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) 0.1 โมลาร์, ตัวปรับค่า pH: กรดไนตริก (HNO_3) 5 โมลาร์ ต่อมากำหนดพารามิเตอร์ในการทดลองคือ อัตราการหยดไทแทรนต์ 2 มิลลิลิตรต่อนาที, ความเร็วของเครื่องปั่นกวนเป็น 7, ระยะเวลาการปั่นกวนก่อนเริ่มไทเทรต 25 วินาที, มีจำนวนจุดสิ้นสุดของการคายความร้อนเท่ากับ 1, Data Smoothing factor (DSF) เท่ากับ 50 มีการเตรียมตัวอย่าง คือ ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 0.5-2.0 กรัมลงในภาชนะสำหรับการไทเทรตที่แห้ง สะอาด และเติมน้ำที่ผ่านการกำจัดไอออน (deionized water) 30 มิลลิลิตร และเติมกรดไนตริก (HNO_3) 5 โมลาร์ 1 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) 0.1 โมลาร์ ประมาณ 3.0-5.0 มิลลิลิตรในการปรับสารตัวอย่างเพื่อให้ได้ไทเทรต หมายเหตุ เนื่องจากข้อบังคับการติดฉลากอาหารต้องการผลลัพธ์แสดงเป็น มิลลิกรัมของโซเดียมต่อ 100 มิลลิลิตร (แทนที่จะเป็น มิลลิกรัมของโซเดียมต่อ 100 กรัม) จึงจำเป็นต้องคำนวณความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์

2.6.2 การไทเทรตโซเดียมคลอไรด์ในซอส [24]

SI Analytic a xylem brand [24] ได้ทำวิจัยเกี่ยวกับ การไทเทรตโซเดียมคลอไรด์ในซอสมายองเนส ซอสมะเขือเทศ ซอสมันส์ตาร์ด ซอสสลัด ทำได้โดยการไทเทรตด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) 0.1 โมลาร์ โดยต้องทำให้คลอไรด์ออกจากตัวอย่างก่อน สารตัวอย่างจะต้องกระจายอย่างละเอียดที่สุดเท่าที่จะทำได้ การเตรียมตัวอย่างจึงสำคัญมาก โดยผลลัพธ์จะคำนวณเป็น เปอร์เซ็นต์โซเดียมคลอไรด์

โดยใช้เครื่องมือดังนี้ Titrator: TL5000, TL7000, TL7750 หรือ TL7800 ใช้อิเล็กโทรด ซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl) 62 หรือ ซิลเวอร์คลอไรด์ (AGCl) 62 RG ใช้สายเคเบิล L 1 A , ใช้เครื่องปั่นกวน TM235หรือใกล้เคียง, ปีกเกอร์ 150 มิลลิลิตร, แท่งแม่เหล็ก 30 มิลลิเมตร

กำหนดรีเอเจนต์ดังนี้ ซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) 0.1 โมลาร์, กรดไนตริก (HNO_3) 4 โมลาร์, สารละลายโพตัสไอโอดีนแอลกอฮอล์ 0.5%, สารละลายอิเล็กโทรไลต์ L2114 (KNO_3 2 โมลาร์ + KCl 0.001 โมลาร์) สำหรับ ซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl) 62, น้ำกลั่น (หมายเหตุ รีเอเจนต์ทั้งหมดควรเป็นเกรดวิเคราะห์หรือดีกว่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การไทเทรตสามารถทำได้กับตัวอย่างที่มีปริมาณคลอไรด์ไม่กี ppm-100% แต่ปริมาณของสารตัวอย่างต้องปรับตามตารางที่ 2.2 ดังนี้

ตารางที่ 2.2 ปริมาณของสารตัวอย่างที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์คลอไรด์ [24]

ปริมาณคลอไรด์ [%]	ตัวอย่าง [กรัม]
น้อยกว่า 0.1	มากกว่า 10
0.1-1.0	1-10
1-10	0.1-2.0
10-50	0.05-0.1
50-100	0.05

2.6.3 หาปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในซอสมะเขือเทศ โดยกระบวนการไทเทรตแบบทำให้ตกตะกอน [25]

METTLER TOLEDO [25] ได้ทำการศึกษาปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในซอสมะเขือเทศ โดยกระบวนการไทเทรตแบบทำให้ตกตะกอน โดยวิธีการหนึ่งที่ใช้บ่อยที่สุดในการตรวจสอบปริมาณโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) คือ ปฏิกิริยาการตกตะกอนกับซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO₃) ในตัวกลางที่เป็นกรด และผลลัพธ์จะคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ของโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โดยมีปฏิกิริยา ดังนี้



ต่อมาหาค่าเพื่อกำหนดมาตรฐานการไทเทรต (Standardization) ซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO₃) 0.1 โมลาร์ โดยการไทเทรตสารละลายโซเดียมคลอไรด์มาตรฐาน (NaCl) 0.1 โมลาร์ เติมสารละลายมาตรฐาน 5 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์สำหรับการไทเทรตโดยใช้ปิเปต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการไทเทรตด้วยมือที่มีการกำหนดจุดสมมูลด้วยสายตา ให้เติมน้ำปราศจากไอออน 40 มิลลิลิตร และสารละลายอินดิเคเตอร์โพแทสเซียมไดโครเมตแบบอิมิตัว 2-3 หยด วางปิกเกอร์ไว้ใต้บิวเรตต์และเริ่มการไทเทรตโดยค่อย ๆ เติมไทเทรนต์ลงในสารละลายสำหรับการไทเทรตโซเดียมคลอไรด์มาตรฐานภายใต้การไทเทรตแบบบ่นกวน จนกระทั่งถึงจุดสมมูลที่เห็นได้จากการเปลี่ยนสีจากสีเหลือง เป็นสีแดงส้ม และจดบันทึกปริมาณที่ใช้คำนวณ ในการทดลองนี้จะใช้ทั้ง 2 วิธี คือ การไทเทรตด้วยมือแล้วกำหนดจุดสมมูลด้วยสายตา และการไทเทรตแบบอัตโนมัติโดยใช้เครื่องไทเทรต METTLER TOLEDO แล้ววัดค่าด้วย pH Meter ที่วัดค่ามิลลิโวลต์ได้

ตัวอย่างการคำนวณ

1) การกำหนด titer ทดลองซ้ำ 3 ครั้งโดยการไทเทรตสารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ 5 มิลลิลิตร ปริมาณตัวอย่างและผลลัพธ์แสดงใน ตารางที่ 2.3 ต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 การไทเทรตสารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ 5 มิลลิลิตร ปริมาณตัวอย่างและผลลัพธ์ [25]

No.	M	VEQ	t
1	5 mL	5.050 mL	0.9901
2	5 mL	5.062 mL	0.9878
3	5 mL	5.041 mL	0.9919

นำมาคำนวณดังนี้ :

$$C = \frac{1}{cst \cdot z} = \frac{1}{0.1 \text{ mol/L} \cdot 1} = 10 \frac{\text{L}}{\text{mol}}$$

$$t = \frac{m}{VEQ \cdot c \cdot C} = \frac{5 \text{ ml}}{5.050 \text{ ml} \cdot 0.1 \text{ mol/L} \cdot 10 \text{ L/mol}} = 0.9901$$

ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Srel)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทำซ้ำทั้ง 3 ครั้ง :

Mean : 0.9899

S : 0.0021

Srel : 0.21%

2) การวัดปริมาณโซเดียมคลอไรด์

ทำการวัดตัวอย่างซอสมะเขือ 3 ครั้ง เพื่อหาปริมาณโซเดียมคลอไรด์ แสดงน้ำหนักตัวอย่างและผลลัพธ์

ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 น้ำหนักตัวอย่างและผลลัพธ์ในการหาปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในซอสมะเขือเทศ 3 ครั้ง [25]

No.	m	VEQ	R
1	1.367 g	7.553 ml	3.196 %
2	1.268 g	7.058 ml	3.180 %
3	1.166 g	6.422 ml	3.186 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

- 1) โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, NaCl, เกรดวิเคราะห์, Fisherchemical, Belgium)
- 2) ซิลเวอร์ไนเตรท (Silver nitrate, AgNO₃, เกรดวิเคราะห์, Carlo erba, France)
- 3) กรดไนตริก (Nitric acid, HNO₃, เกรดวิเคราะห์, Panreac Applichem, Spain)
- 4) กรดซิตริก (Citric acid, C₆H₁₀O₈, เกรดวิเคราะห์, Carlo erba)
- 5) กรดกลูตามิก (Glutamic acid, C₅H₉NO₄, Thermo scientific, China)
- 6) โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate, Na₂SO₄, เกรดวิเคราะห์, Carlo erba)
- 7) ไนเตรท (Nitrate, NO₃⁻, เกรดวิเคราะห์, Carlo erba)
- 8) โมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต (Monopotassium phosphate, KH₂PO₄, เกรดวิเคราะห์, Carlo erba)
- 9) โซเดียมฟลูออไรด์ (Sodium fluoride, NaF, เกรดวิเคราะห์, Carlo erba)
- 10) น้ำปราศจากไอออน (Deionized water, DI)

3.1.2 อุปกรณ์

- 1) เครื่องเหวี่ยงสาร (Centrifuge, EBA 8S, Hettich)
- 2) เครื่องวัดศักย์ไฟฟ้า (654 pH Meter, Metrohm, Switzerland)
- 3) ขั้ว Combination Ag electrode ที่ประกอบด้วยขั้วเงินและขั้วอ้างอิง
- 4) ไมโครปิเปตปริมาตร 10-100 ไมโครลิตร (Pipette SL-100PL, METTLER TOLEDO)
- 5) ไมโครปิเปตปริมาตร 20-200 ไมโครลิตร (IKA PETTE 20-200µL, IKA, Germany)
- 6) ไมโครปิเปตปริมาตร 100-1000 ไมโครลิตร (Pipette SL-1000XLS, METTLER TOLEDO)
- 7) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Sartorius MC 1 Analytic AC 201 S – scientific promotion Co., LTD.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 8) ปีกเกอร์ขนาด 25, 50 และ 100 มิลลิลิตร
- 9) ขวดวัดปริมาตร 25, 50 และ 100 มิลลิลิตร
- 10) ปิเปตขนาด 1, 5 และ 10 มิลลิลิตร
- 11) หลอดทดลอง
- 12) แท่งแก้วคนสาร
- 13) กระจกบอทวง
- 14) ไม้บรรทัด
- 15) แสตนด์ บิวเรตต์ และบิวเรตต์แคมป์

3.2 การเตรียมสารละลาย

3.2.1 สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์

สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1,000 มิลลิโมลาร์

ชั่งโซเดียมคลอไรด์ 1.4610 กรัม ใส่ลงปีกเกอร์แล้วละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน เทใส่ขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดบอทปริมาตร ผสมให้เข้ากัน

สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1,000 มิลลิโมลาร์ ที่เตรียมไว้ มา 2.5 มิลลิลิตร ใส่ลงขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดบอทปริมาตร ผสมให้เข้ากัน

สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 200 มิลลิโมลาร์

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1,000 มิลลิโมลาร์ ที่เตรียมไว้ มา 5 มิลลิลิตร ใส่ลงขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดบอทปริมาตร ผสมให้เข้ากัน

สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1,000 มิลลิโมลาร์ ที่เตรียมไว้ ปริมาตร 7.5 มิลลิลิตร ใส่ลงขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดบอทปริมาตร ผสมให้เข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 400 มิลลิโมลาร์

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1,000 มิลลิโมลาร์ ที่เตรียมไว้ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดบอกปริมาตร ผสมให้เข้ากัน

สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 500 มิลลิโมลาร์

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1,000 มิลลิโมลาร์ ที่เตรียมไว้ปริมาตร 12.5 มิลลิลิตร ใส่ลงขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดบอกปริมาตร ผสมให้เข้ากัน

3.2.2 สารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรท

สารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 1000 มิลลิโมลาร์

ชั่งซิลเวอร์ไนเตรท 4.25 กรัม ใส่ลงปิกรเกอร์แล้วละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน เทใส่ขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดบอกปริมาตร ผสมให้เข้ากัน

สารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์

ปิเปตสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 1000 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 18.75 มิลลิลิตร ใส่ลงขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดบอกปริมาตร ผสมสารให้เข้ากัน

สารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 500 มิลลิโมลาร์

ปิเปตสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 16.70 มิลลิลิตร ใส่ลงขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดบอกปริมาตร ผสมสารให้เข้ากัน

สารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 250 มิลลิโมลาร์

ปิเปตสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 500 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 12.50 มิลลิลิตร ใส่ลงขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดบอกปริมาตร ผสมสารให้เข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 กรดไนตริก

กรดไนตริกความเข้มข้น 3 โมลาร์

ปิเปตกรดไนตริกเข้มข้นมา 4.7 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดบอกปริมาตร ผสมให้เข้ากัน

กรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลาร์

ปิเปตกรดไนตริกความเข้มข้น 3 โมลาร์ ปริมาตร 3.33 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 6.67 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

กรดไนตริกความเข้มข้น 0.5 โมลาร์

ปิเปตกรดไนตริกความเข้มข้น 3 โมลาร์ ปริมาตร 1.67 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 8.33 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

กรดไนตริกความเข้มข้น 0.05 โมลาร์

ปิเปตกรดไนตริกความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ศึกษาความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรทที่ส่งผลต่อความสูงตะกอน

- 1) ปิเปตสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 50, 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 150 ไมโครลิตร อย่างละหลอด
- 2) ปิเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 250, 500, 750 และ 1000 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 180 ไมโครลิตร ลงในหลอดที่ใส่สารละลายโซเดียมคลอไรด์แต่ละความเข้มข้นไว้ (ทดลองที่ละความเข้มข้น)
- 3) นำหลอดทดลองใส่เครื่อง Centrifuge ปรับความแรงระดับ $50(\times 1000 \mu/\text{min})$ เป็นเวลา 5 นาที
- 4) เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำหลอดทดลองมาเคาะเพื่อให้ตะกอนที่ติดข้างหลอดหลุดออกมา
- 5) ตั้งทิ้งไว้จับเวลาวัดความสูงของตะกอนเมื่อเวลาผ่านไป 1, 5, 10, 15 และ 20 นาที
- 6) ทำการทดลองข้อ 1 – 5 ซ้ำ 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ศึกษาวิธีการผสมสาร

แบบใส่สารละลายทีเดียว

- 1) ปิเปตสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 50, 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 150 ไมโครลิตร อย่างละหลอด
- 2) ปิเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 180 ไมโครลิตร ลงในหลอดที่ใส่สารละลายโซเดียมคลอไรด์แต่ละความเข้มข้นไว้ (ทดลองที่ละความเข้มข้น)
- 3) นำหลอดทดลองใส่เครื่อง Sonicate จับเวลา 5 นาที
- 4) เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำหลอดทดลองออกมาตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีแล้ววัดความสูงของตะกอน

แบบแบ่งใส่สารละลาย

- 1) ปิเปตสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 50, 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 150 ไมโครลิตร อย่างละหลอด
- 2) นำหลอดทดลองใส่เครื่อง Sonicate จับเวลา 1 นาที
- 3) จากนั้นนำออกมาใส่สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ แล้วใส่เครื่อง Sonicate จับเวลา 5 นาที
- 4) เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำหลอดทดลองออกมาตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีแล้ววัดความสูงของตะกอน

3.3.3 ศึกษาความเข้มข้นของกรดไนตริกที่ส่งผลต่อความสูงของตะกอน

- 1) ปิเปตสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 50, 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 150 ไมโครลิตร อย่างละหลอด
- 2) ปิเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ที่ผสมกับกรดไนตริกความเข้มข้น 0.05, 0.50, 1 และ 3 โมลาร์ ปริมาตร 180 ลงในหลอดทดลองที่ใส่สารละลายโซเดียมคลอไรด์แต่ละความเข้มข้นไว้ (ทดลองที่ละความเข้มข้น)
- 3) นำหลอดทดลองใส่เครื่อง Centrifuge ปรับความแรงระดับ 50 ($\times 1000 \mu/\text{min}$) เป็นเวลา 5 นาที
- 4) เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำหลอดทดลองมาเคาะเพื่อให้ตะกอนที่ติดข้างหลอดหลุดออกมา
- 5) ตั้งทิ้งไว้จับเวลาวัดความสูงของตะกอนเมื่อเวลาผ่านไป 1, 5, 10, 15 และ 20 นาที
- 6) ทำการทดลองข้อ 1 – 5 ซ้ำ 3 ครั้ง
- 7) ทำการทดลองข้อ 1 – 5 ซ้ำ โดยไม่เติมกรดไนตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 ศึกษาเวลาในการเหวี่ยงสารที่ส่งผลต่อความสูงของตะกอน

- 1) ปิเปตสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 50, 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 150 ไมโครลิตร อย่างละหลอด
- 2) ปิเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ที่ผสมกับกรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 180 ไมโครลิตร ลงในหลอดที่ใส่สารละลายโซเดียมคลอไรด์แต่ละความเข้มข้นไว้
- 3) นำหลอดทดลองใส่เครื่อง centrifuge ปรับความแรงระดับ 10, 30, 50, 70 และ 90 ($\times 1000 \mu\text{min}$) ใช้เวลาในการเหวี่ยง 1, 3, 5, 7 และ 10 นาที สำหรับทุก ๆ ความแรง
- 4) เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำหลอดทดลองมาเคาะเพื่อให้ตะกอนที่ติดข้างหลอดหลุดออกมา
- 5) ตั้งทิ้งไว้จับเวลาวัดความสูงของตะกอนเมื่อเวลาผ่านไป 1, 5, 10, 15 และ 20 นาที
- 6) ทำการทดลองข้อ 1 – 5 ซ้ำ 3 ครั้ง

3.3.5 ศึกษาความแรงในการเหวี่ยงสารละลาย

- 1) ปิเปตสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 50, 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 150 ไมโครลิตร อย่างละหลอดด้วยไมโครปิเปต
- 2) ปิเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ที่ผสมกับกรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 180 ไมโครลิตร ลงในหลอดที่ใส่สารละลายโซเดียมคลอไรด์แต่ละความเข้มข้นไว้
- 3) นำหลอดทดลองใส่เครื่อง centrifuge ปรับความแรงระดับ 10, 30, 50, 70 และ 90 ($\times 1000 \mu\text{min}$) ทุกความแรงใช้เวลาในการเหวี่ยง 3 นาที
- 4) เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำหลอดทดลองมาเคาะเพื่อให้ตะกอนที่ติดข้างหลอดหลุดออกมา
- 5) ตั้งทิ้งไว้จับเวลาวัดความสูงของตะกอนเมื่อเวลาผ่านไป 1, 5, 10, 15 และ 20 นาที
- 6) ทำการทดลองข้อ 1 – 5 ซ้ำ 3 ครั้ง

3.3.6 ศึกษาสารรบกวนที่มีผลต่อการวิเคราะห์

3.3.6.1 ศึกษาความเข้มข้นของกรดกลูตามิกที่ส่งผลต่อความสูงตะกอน

วิธีการเตรียมกรดกลูตามิกความเข้มข้น 0.75 %w/v

เนื่องจากกรดกลูตามิกมีค่าการละลาย 7.5 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร

- 1) ชั่งกรดกลูตามิก 0.0375 กรัม แล้วนำไปละลายในน้ำปราศจากไอออน 5 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดที่ 1

- 1) ปิเปตสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1000 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 45 ไมโครลิตร
- 2) ปิเปตน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 105 ไมโครลิตร
- 3) ปิเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ที่ผสมกับกรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 180 ไมโครลิตร

ชุดที่ 2

- 1) ปิเปตสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1000 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 45 ไมโครลิตร
- 2) ปิเปตกรดกลูตามิกความเข้มข้น 0.75 %w/v ปริมาตร 10 ไมโครลิตร
- 3) ปิเปตน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 95 ไมโครลิตร
- 4) ปิเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ที่ผสมกับกรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 180 ไมโครลิตร
- 5) ทำข้อ 1-4 ซ้ำ โดยเปลี่ยนปริมาตรกรดกลูตามิกเป็น 20, 40 และ 80 ไมโครลิตรและเปลี่ยนปริมาตรน้ำปราศจากไอออนเป็น 85, 65 และ 25 ไมโครลิตร ตามลำดับ
- 6) ปิเปตสารเสร็จแล้วนำหลอดทดลองใส่เครื่อง Centrifuge ปรับความแรงระดับ 10 ($\times 1000\mu\text{/min}$) เป็นเวลา 3 นาที
- 7) เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำหลอดทดลองมาเคาะจำนวน 50 ครั้ง เพื่อให้ตะกอนที่ติดข้างหลอดหลุดออกมา
- 8) ตั้งทิ้งไว้จับเวลาวัดความสูงของตะกอนเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที

หมายเหตุ

- 1) ชุดที่ 1 ทำซ้ำ 12 ครั้ง
- 2) ชุดที่ 2 – 5 ทำซ้ำ 4 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 การเตรียมสารละลายในการทดสอบสารบวกัน

สารละลาย (ไมโครลิตร)	หลอดที่ 1	หลอดที่ 2	หลอดที่ 3	หลอดที่ 4
NaCl 1000 มิลลิโมลาร์	45	45	22.5	22.5
Deionized water	102.5	100	90	52.5
สารที่ใช้เป็นตัวบวกัน	2.5	5	37.5	75
AgNO ₃ 750 mM + HNO ₃ 1 M	180			

- 1) ปิเปตสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1000 มิลลิโมลาร์ ใส่หลอดทดลอง ปริมาตร 45 ไมโครลิตร และปริมาตร 22.5 ไมโครลิตร ตามตารางที่ 3.1
- 2) ปิเปตน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 102.5, 100, 90 และ 52.5 ไมโครลิตร ตามตาราง 3.1
- 3) ปิเปตสารละลายซัลเฟตความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 2.5, 5, 37.5 และ 75 ไมโครลิตร ตามตารางที่ 3.1
- 4) ปิเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ที่ผสมกับกรดไนตริก ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 180 ไมโครลิตรทุกหลอด
- 5) ทำการทดลองข้อ 1 – 4 ซ้ำ หลอดละ 4 ครั้ง
- 6) ทำการทดลองข้อ 1 – 5 โดยเปลี่ยนสารบวกันเป็น ไนเตรท ฟอสเฟต และฟลูออไรด์ ปริมาตร 2.5, 5, 37.5 และ 75 ไมโครลิตร ตามตารางที่ 3.1 โดยมีขั้นตอนการเตรียมสารบวกันแต่ละชนิด ตามหัวข้อที่ 3.3.6.2 – 3.3.6.5

3.3.6.2 ซัลเฟต

กำหนดในน้ำมีซัลเฟตไม่เกิน 250 มิลลิกรัมต่อลิตร

การเตรียมซัลเฟตความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ซิงโครเนียมซัลเฟต 0.0148 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออน 10 มิลลิลิตร

3.3.6.3 ไนเตรท

กำหนดในน้ำมีไนเตรทไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

การเตรียมไนเตรทความเข้มข้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

ซิงโครเนียมไนเตรท 0.0274 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออน 100 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6.4 ฟอสเฟต

กำหนดในน้ำมีฟอสเฟตไม่เกิน $0.31 \text{ mgPO}_4^{3-}/\text{L}$ หรือประมาณ $1 \text{ KH}_2\text{PO}_4/\text{L}$

การเตรียมโมโนโพแทสเซียมฟอสเฟตความเข้มข้น $40 \text{ mgPO}_4^{3-}/\text{L}$

ชั่งโมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต 0.0040 กรัม ลงในบีกเกอร์ และละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตมา 10 มิลลิลิตร ใส่ลงขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดบอกปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน

3.3.6.5 ฟลูออไรด์

กำหนดในน้ำมีฟลูออไรด์ไม่เกิน 0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร

การเตรียมฟลูออไรด์ความเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่งฟลูออไรด์ 0.0088 กรัม ลงในบีกเกอร์ และละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตมา 10 มิลลิลิตร ใส่ลงขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดบอกปริมาตร เขย่าให้เข้ากัน

หมายเหตุ สารรบกวนแต่ละชนิดต้องทำ Blank (ไม่ใช่ NaCl)

3.3.7 การประเมินคุณลักษณะของวิธี

3.3.7.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน

ตารางที่ 3.2 การเตรียมสารละลายในการสร้างกราฟมาตรฐาน

สารละลาย (ไมโครลิตร)	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (มิลลิโมลาร์)							
	20mM	50mM	100mM	200mM	300mM	400mM	500mM	600mM
NaCl 1000 mM	30	75	150	300	450	600	750	900
DI water	1470	1425	1350	1200	1050	900	750	600
AgNO ₃ 750 mM + HNO ₃ 1 M	180							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) ปิเปตสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1000 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 30, 75, 150, 300, 450, 600, 750 และ 900 ไมโครลิตร ตามตารางที่ 3.2 ลงในบีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร (ปริมาตรละ 1 ใบ)
- 2) ปิเปตน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 1470, 1425, 1350, 1200, 1050, 900, 750 และ 600 ไมโครลิตร ตามตารางที่ 3.2 ลงในบีกเกอร์แต่ละใบในข้อ 1. แล้วคนให้เข้ากัน
- 3) ปิเปตสารละลายในบีกเกอร์แต่ละใบที่เตรียมไว้ ปริมาตร 150 ไมโครลิตร ใส่หลอดทดลอง
- 4) ปิเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ที่ผสมกับกรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 180 ไมโครลิตร ทุกหลอด
- 5) นำหลอดทดลองใส่เครื่อง Centrifuge ปรับความแรงระดับ 10 ($\times 1000 \mu/\text{min}$) เป็นเวลา 3 นาที
- 6) เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำหลอดทดลองเคาะจำนวน 50 ครั้ง เพื่อให้ตะกอนที่ติดข้างหลอด หลุดออกมา
- 7) ตั้งทิ้งไว้จับเวลาวัดความสูงของตะกอนเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที
- 8) ทำการทดลองข้อ 1 – 7 ซ้ำ โดยทำความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ละ 3 ซ้ำ

3.3.7.2 ความเที่ยงของวิธี (Precision)

ค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation, %RSD) หรือค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน หากมีค่าน้อยกว่า 5% แสดงว่าผลการวิเคราะห์มีความเที่ยงสูง สามารถยอมรับได้ตามมาตรฐานการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ความแปรผัน สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\%RSD = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100$$

เมื่อ SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; SD)

\bar{x} คือ ค่าเฉลี่ยผลการวิเคราะห์ (Mean; \bar{x})

3.3.7.3 ร้อยละการคืนกลับ (Recovery)

สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ค่าร้อยละการคืนกลับ} = \frac{(\text{ค่าจากตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐาน}) - (\text{ค่าจากตัวอย่างที่ไม่เติม})}{\text{ค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เติม}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.8 การวิเคราะห์คลอไรต์ในตัวอย่างน้ำเกลือและน้ำปลา

3.3.8.1 การวิเคราะห์คลอไรต์ด้วยวิธีวัดความสูงของตะกอนที่พัฒนาขึ้น

3.3.8.1.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเกลือ

- 1) ปิเปตตัวอย่างน้ำเกลือ ปริมาตร 150 ไมโครลิตร
- 2) ปิเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ที่ผสมกับ กรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 180 ไมโครลิตร
- 3) นำหลอดทดลองใส่เครื่อง Centrifuge ปรับความแรงระดับ 10 ($\times 1000 \mu/\text{min}$) เป็นเวลา 3 นาที
- 4) เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำหลอดทดลองเคาะจำนวน 50 ครั้ง เพื่อให้ตะกอนที่ติดข้างหลอด หลุดออกมา
- 5) ตั้งทิ้งไว้จับเวลาวัดความสูงของตะกอนเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที
- 6) ทำการทดลองข้อ 1 – 5 ซ้ำ ตัวอย่างละ 3 ครั้ง

3.3.8.1.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำปลา

- 1) ปิเปตตัวอย่างน้ำปลา ปริมาตร 10 ไมโครลิตร
- 2) ปิเปตน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 140 ไมโครลิตร
- 3) ปิเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ที่ผสมกับกรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 180 ไมโครลิตร
- 4) นำหลอดทดลองใส่เครื่อง Centrifuge ปรับความแรงระดับ 10 ($\times 1000 \mu/\text{min}$) เป็นเวลา 3 นาที
- 5) เมื่อครบเวลาที่กำหนด นำหลอดทดลองเคาะจำนวน 50 ครั้ง เพื่อให้ตะกอนที่ติดข้างหลอด หลุดออกมา
- 6) ตั้งทิ้งไว้จับเวลาวัดความสูงของตะกอนเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที
- 7) ทำการทดลองข้อ 1 – 6 ซ้ำ ตัวอย่างละ 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.8.2 การวิเคราะห์คลอไรด์ด้วยวิธีมาตรฐานการไทเทรตด้วยการวัดค่าศักย์ไฟฟ้า

3.3.8.2.1 การเทียบมาตรฐานสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท

- 1) ปิเปตสารละลายไซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1000 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตรลงในปิกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร และปิเปตน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 9 มิลลิลิตรผสมให้เข้ากัน
- 2) ปิเปตสารละลายที่เตรียมในปิกเกอร์ออกมา ปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ลงในปิกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 3) เติมกรดไนตริกความเข้มข้น 3 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร
- 4) ปั่นกวนสารละลายในปิกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นกวนแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)
- 5) ไทเทรตกับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ เพื่อหาจุดยุติของค่าศักย์ไฟฟ้าโดยการวัด
- 6) อ่านค่าที่ได้จากเครื่อง pH meter แล้วบันทึกผล

3.3.8.2.2 การไทเทรตตัวอย่างน้ำเกลือ

- 1) ปิเปตน้ำเกลือ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงปิกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 2) จากนั้นเติมน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ลงในปิกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 3) เติมกรดไนตริกความเข้มข้น 3 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร
- 4) ปั่นกวนสารละลายในปิกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นกวนแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)
- 5) ไทเทรตกับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ เพื่อหาจุดยุติของค่าศักย์ไฟฟ้าโดยการวัด
- 6) อ่านค่าที่ได้จากเครื่อง pH meter แล้วบันทึกผล

3.3.8.2.3 การไทเทรตตัวอย่างน้ำปลา

- 1) ปิเปตน้ำปลา ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ลงปิกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้น เติมน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 9.8 มิลลิลิตร
- 2) ปิเปตสารจากข้อ 1. ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ลงในปิกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 3) เติมกรดไนตริกความเข้มข้น 3 โมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) ปั่นกวนสารละลายในปิกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ให้เข้ากันด้วยเครื่องปั่นกวนแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)
- 5) ไทเทรตกับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ เพื่อหาจุดยุติของค่าศักย์ไฟฟ้าโดยการวัด
- 6) อ่านค่าที่ได้จากเครื่อง pH meter แล้วบันทึกผล

3.3.8.3 การทดสอบด้วย Paired t-Test

สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$T_{cal} = \frac{d}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

- เมื่อ d คือ ค่าเฉลี่ยของความแตกต่างระหว่างผลที่ได้จาก 2 วิธีที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ
- S คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่าง
- N คือ จำนวนตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

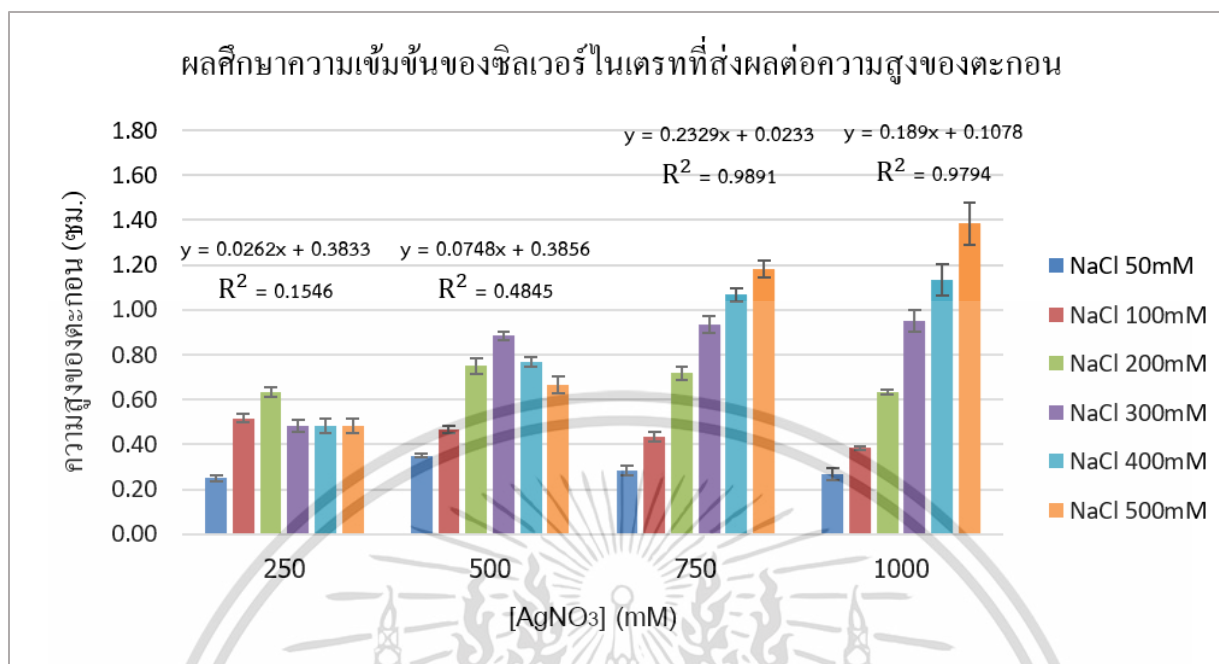
โครงการพิเศษนี้ศึกษาการพัฒนาวิธีวิเคราะห์คลอไรด์และตรวจหาปริมาณตะกอนซิลเวอร์คลอไรด์จากการวัดความสูงของตะกอน ซึ่งมีสมการเกิดปฏิกิริยาเคมีดังนี้ $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{AgCl}(\text{s})$ โดยหลอดทดลองที่ใช้มีลักษณะเป็นหลอดพลาสติกสีขาวขุ่นขนาดเล็กและมีฝาปิด เมื่อหยดสารละลายลงในหลอดแล้วนำไปใส่เครื่อง Centrifuge เพื่อให้สารละลายเข้ากัน จากนั้นนำไปวัดปริมาณความสูงของตะกอนที่เกิดขึ้น ซึ่งมีลักษณะสีขาวขุ่นที่จับตัวกันเป็นก้อนแต่เมื่อเวลาผ่านไปสีของตะกอนจะเปลี่ยนไปเป็นสีเทา แล้วทำการจับเวลารอให้ตะกอนตกลงไปรวมกันที่ก้นหลอดเพื่อวัดความสูงของตะกอนที่แตกต่างกันตามหัวข้อที่ศึกษา ทำให้ได้ผลการศึกษาเป็นดังต่อไปนี้



4.1 ศึกษาความเข้มข้นของซิลเวอร์ในเตรทที่ส่งผลต่อความสูงของตะกอน

ศึกษาเพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ในเตรทที่เหมาะสมในการทดลอง โดยการใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 50, 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 150 ไมโครลิตร อย่างละหลอด ตามด้วยปิเปตสารละลายซิลเวอร์ในเตรทความเข้มข้น 250, 500, 750 และ 1000 มิลลิโมลาร์ ลงในหลอดทดลองที่ใส่สารละลายโซเดียมคลอไรด์แต่ละความเข้มข้นไว้ (ทดลองที่ละความเข้มข้น) นำหลอดทดลองใส่เครื่อง Centrifuge เพื่อเหวี่ยงให้สารเข้ากัน โดยปรับความแรงของเครื่องระดับ 50 ($\times 1000 \mu/\text{min}$) เป็นเวลา 5 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนดให้นำหลอดทดลองมาเคาะเพื่อให้ตะกอนที่ติดข้างหลอดหลุดออกมา จากนั้นตั้งทิ้งไว้จับเวลาวัดความสูงของตะกอนเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที ตะกอนที่เกิดขึ้นมีลักษณะสีขาวขุ่นจับตัวกันเป็นก้อนเล็ก ๆ จากนั้นนำค่าที่วัดได้ด้วยไม้บรรทัดมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตะกอนกับเวลา เมื่อใช้สารละลายซิลเวอร์ในเตรทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสูงของตะกอน

เมื่อใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 250 500 750 และ 1000 มิลลิโมลาร์

จากรูปที่ 4.1 เมื่อใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 250 มิลลิโมลาร์ พบว่าความสูงของตะกอน เวลาใด ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นจนถึง 200 มิลลิโมลาร์ และลดลงจนคงที่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 300, 400 และ 500 มิลลิโมลาร์ ส่วนเมื่อใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 500 มิลลิโมลาร์ พบว่าความสูงของตะกอนเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นจนถึง 300 มิลลิโมลาร์ และลดลงเรื่อย ๆ เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ลดลง

เมื่อใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 และ 1000 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ พบว่าความสูงของตะกอนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และสังเกตค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ พบว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้้นั้นน้อยกว่าและใกล้เคียงกันมากกว่าเมื่อใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 1000 มิลลิโมลาร์ ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ศึกษาวิธีการผสม

ศึกษาวิธีการผสมด้วยการSonicate การใช้หัวตีต และการใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงเพื่อวัดปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น โดยการผสมแบบSonicate แบ่งวิธีการใส่สารทดลองเป็น 2 แบบได้แก่ แบบใส่สารละลายที่เดียวและแบบแบ่งใส่ สำหรับแบบใส่สารละลายที่เดียวใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 50, 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 150 ไมโครลิตร อย่างละหลอด จากนั้นปิเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 180 ไมโครลิตร ลงในหลอดที่ใส่สารละลายโซเดียมคลอไรด์แต่ละความเข้มข้นไว้ (ทดลองที่ละความเข้มข้น) ต่อกันนำหลอดทดลองใส่เครื่อง Sonicate จับเวลา 5 นาที ตะกอนที่เกิดขึ้นมีลักษณะสีขาวขุ่นจับตัวกันเพียงเล็กน้อย ส่วนใหญ่ฟุ้งกระจายเต็มหลอดทดลอง จึงตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีเพื่อให้ตะกอนตกลงมารวมกันที่ก้นหลอดแต่ไม่เป็นผล ทำให้ไม่สามารถวัดความสูงของตะกอนได้

ส่วนแบบแบ่งใส่สารละลายใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 50, 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 150 ไมโครลิตร อย่างละหลอด จากนั้นนำใส่เครื่อง Sonicate จับเวลา 1 นาที แล้วนำออกมาใส่สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 180 ไมโครลิตร แล้วนำกลับไปใส่เครื่อง Sonicate อีกครั้ง จับเวลา 5 นาที ตะกอนที่เกิดขึ้นมีลักษณะสีขาวขุ่นจับตัวกันเพียงเล็กน้อยและฟุ้งกระจายเช่นเดียวกันกับแบบแรก จึงตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีเพื่อให้ตะกอนตกลงมารวมกันที่ก้นหลอดแต่ไม่เป็นผล ทำให้ไม่สามารถวัดความสูงของตะกอนได้เช่นกัน จึงไม่เลือกใช้วิธีการผสมแบบ Sonicate จากนั้นได้ทดลองทำการผสมด้วยวิธีการตีตนี้ และการใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง พบว่าแบบใช้หัวตีตอย่างเดียวตะกอนมีลักษณะฟุ้งกระจาย ไม่จับกันเป็นกลุ่ม ทำให้วัดความสูงของตะกอนได้ยากกว่า ส่วนการใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงแล้วเคาะตะกอนมีลักษณะจับตัวกันเป็นกลุ่ม ทำให้สามารถวัดตะกอนได้ง่ายกว่าแบบใช้หัวตีตอย่างเดียว จึงเลือกใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงในการทดลอง

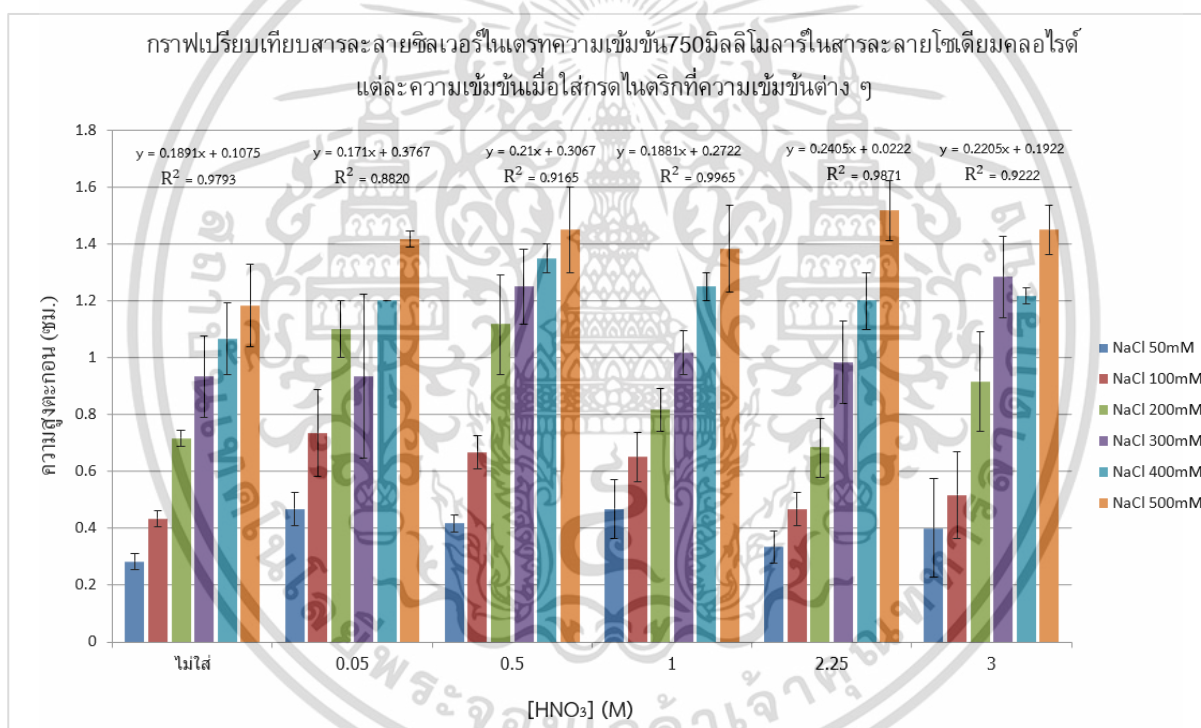
4.3 ศึกษาความเข้มข้นของกรดไนตริกที่ส่งผลต่อความสูงของตะกอน

ศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของกรดไนตริกที่ส่งผลต่อความสูงของตะกอน โดยใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 50, 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 150 ไมโครลิตร อย่างละหลอด ต่อกันปิเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ที่ผสมกรดไนตริกความเข้มข้น 0.05, 0.5, 1, 2.25 และ 3 โมลาร์ ปริมาตร 180 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลองที่ใส่สารละลายโซเดียมคลอไรด์แต่ละความเข้มข้นไว้ (ทดลองที่ละความเข้มข้น) จากนั้นนำหลอดทดลองใส่เครื่อง Centrifuge ปรับความแรงระดับ 50 ($\times 1000 \mu/\text{min}$) เป็นเวลา 5 นาที ตะกอนที่เกิดขึ้นมีลักษณะสีขาวขุ่นติดข้างหลอดเป็นเส้นตรงตามแนวความสูงของหลอดทดลอง นำมาเคาะเพื่อให้ตะกอนหลุดลงมารวมกันที่ก้นหลอด ตั้งทิ้งไว้จับเวลาวัดความสูงของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะกอนเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที จากนั้นนำค่าที่วัดได้ด้วยไม้บรรทัดมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตะกอนแบบเติมกรดไนตริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และไม้เติมกรดไนตริกกับเวลา

พบว่าความสูงของตะกอนที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงตามความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ยกเว้นที่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์ ในกรดไนตริกความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ที่มีความสูงของตะกอนลดลงก่อนที่ความเข้มข้นต่อไปจะเพิ่มขึ้น และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 400 มิลลิโมลาร์ ในกรดไนตริกความเข้มข้น 3 โมลาร์ ที่มีความสูงของตะกอนสูงเท่ากับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์ ในกรดไนตริกความเข้มข้น 3 โมลาร์และเพิ่มสูงขึ้นที่สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 500 มิลลิโมลาร์ ในกรดไนตริกความเข้มข้น 3 โมลาร์



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตะกอนเมื่อใส่กรดไนตริกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.2 เมื่อพิจารณาค่าความสูงของตะกอน พบว่าแบบไม้เติมกรดไนตริกค่าความสูงของตะกอนมีแนวโน้มความสูงที่ต่ำกว่าแบบเติมกรดไนตริก และเมื่อเติมกรดไนตริกลงไปทำให้ตะกอนเร็วขึ้นจึงได้ค่าความสูงของตะกอนที่สูงกว่าแบบไม้เติมกรดไนตริก จึงสามารถวัดค่าความสูงของตะกอนด้วยไม้บรรทัดได้ง่ายขึ้น ดังนั้นเราจึงเลือกเติมกรดไนตริกในการทดลอง

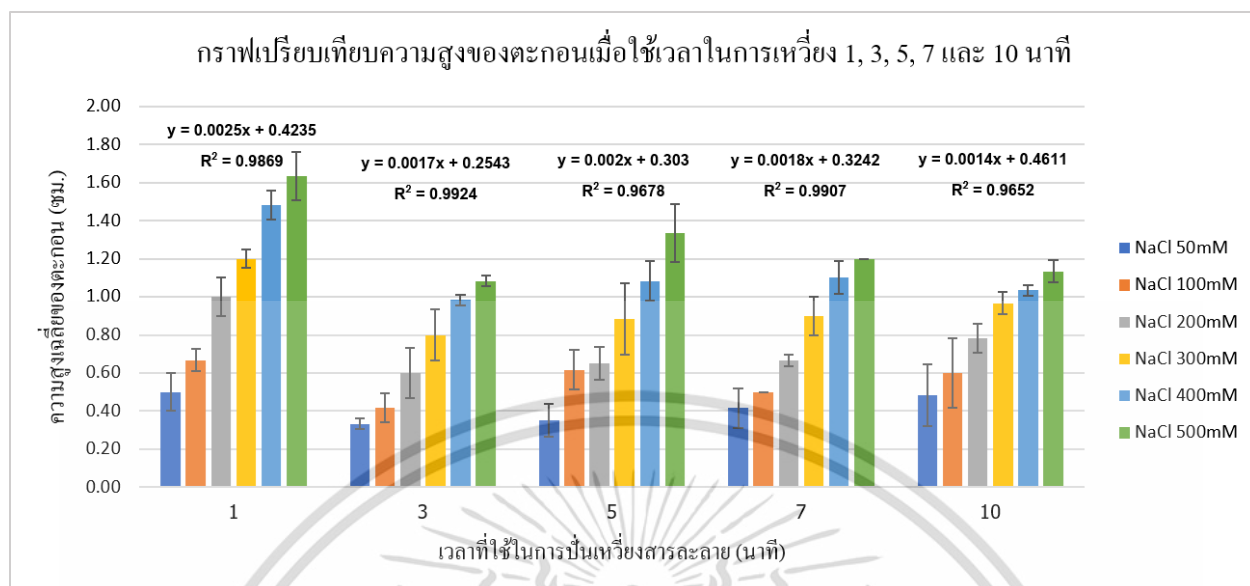
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่าความเข้มข้นของกรดไนตริกที่น้อยกว่า 1 โมลาร์ พล็อตกราฟยังไม่เป็นเส้นตรง และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูง ในขณะที่ใช้กรดไนตริกที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ พล็อตกราฟได้สมการเส้นตรงและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยลง และเมื่อใช้ความเข้มข้นของกรดไนตริกที่มากกว่า 1 โมลาร์ คือ 2.25 และ 3 โมลาร์ ได้ผลการทดลองคือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มากกว่าแบบใส่กรดไนตริก 1 โมลาร์ ดังนั้นจึงเลือกใช้กรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ในการทดลอง

4.4 ศึกษาเวลาในการเหวี่ยงสารที่ส่งผลต่อความสูงของตะกอน

ศึกษาเพื่อหาเวลาในการเหวี่ยงสารที่ส่งผลต่อความสูงของตะกอนอย่างเหมาะสม โดยใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 50, 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 150 ไมโครลิตร อย่างละหลอด ต่อมาปิเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ที่ผสมกรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 180 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลองที่ใส่สารละลายโซเดียมคลอไรด์แต่ละความเข้มข้นไว้ (ทดลองที่ละความเข้มข้น) จากนั้นนำหลอดทดลองใส่เครื่อง Centrifuge ปรับความแรงระดับ 10, 30, 50, 70 และ 90 ($\times 1000 \mu/\text{min}$) ใช้เวลาในการเหวี่ยง 1, 3, 5, 7 และ 10 นาที (เวลาที่กำหนดใช้กับความแรงทุกระดับ เช่น หากปรับความแรงระดับ 10 ($\times 1000 \mu/\text{min}$) ใช้เวลาในการเหวี่ยง 1, 3, 5, 7 และ 10 นาที และหากปรับความแรงระดับ 30 ($\times 1000 \mu/\text{min}$) ใช้เวลาในการเหวี่ยง 1, 3, 5, 7 และ 10 นาที ที่ความแรงระดับอื่นก็ทำเช่นกัน) ตะกอนที่เกิดขึ้นติดข้างหลอดเป็นเส้นตรงให้นำมาเคาะออกเพื่อให้ตะกอนหลุดลงมารวมกันที่ก้นหลอด ตั้งทิ้งไว้จับเวลาวัดความสูงของตะกอนเมื่อเวลาผ่าน 1, 5, 10, 15 และ 20 นาที จากนั้นนำค่าที่วัดได้จากไม้บรรทัด มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยของตะกอนกับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เมื่อใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ณ เวลาใด ๆ ดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



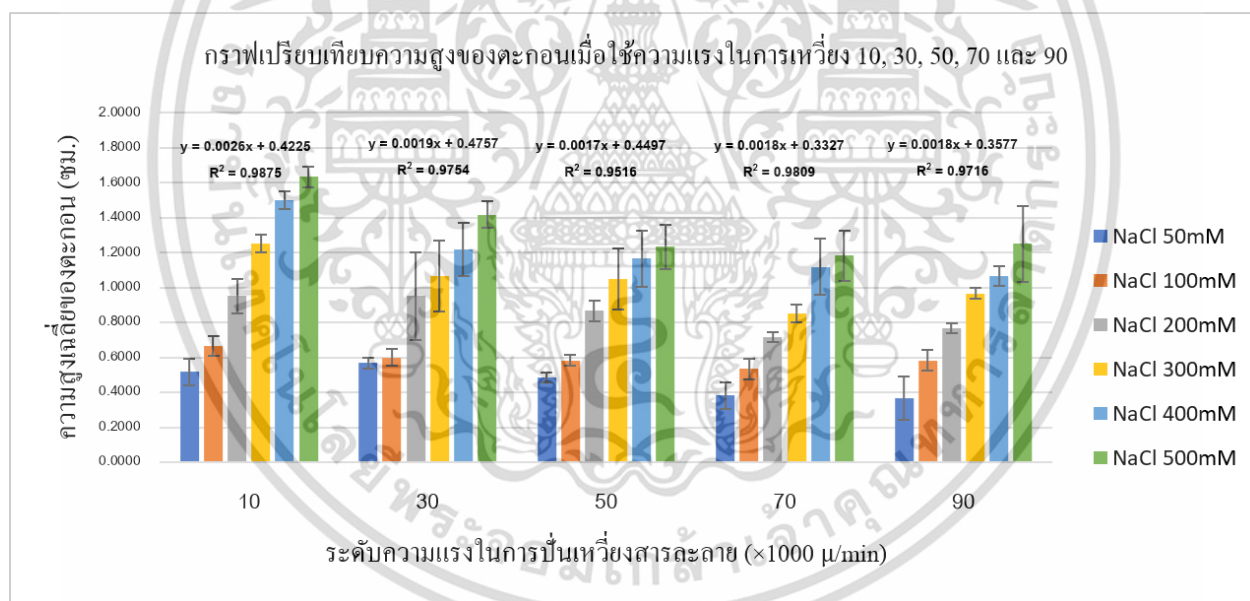
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตะกอน เมื่อใช้เวลาในการเหวี่ยง 1, 3, 5, 7 และ 10 นาที

จากรูปที่ 4.3 เมื่อพิจารณาความสูงเฉลี่ยของตะกอน พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ นอกจากนี้ค่าความผันแปร (R^2) ที่คำนวณได้ใกล้เคียง 1 มากที่สุดคือเวลา 3 นาที ดังนั้นจึงเลือกเป็นเวลา 3 นาทีในการปั่นเหวี่ยงสารละลายในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ศึกษาความแรงในการเหวี่ยงสารละลาย

ศึกษาเพื่อหาความแรงของเครื่อง Centrifuge ที่เหมาะสมที่สุดในการเหวี่ยงสารละลาย โดยใช้ไมโครปิเปตดูดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 50, 100, 200, 300, 400 และ 500 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 150 ไมโครลิตร อย่างละหลอด ต่อมาปิเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ที่ผสมกรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 180 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลองที่ใส่สารละลายโซเดียมคลอไรด์แต่ละความเข้มข้นไว้ (ทดลองที่ละความเข้มข้น) จากนั้นนำหลอดทดลองใส่เครื่อง Centrifuge ปรับความแรงระดับ 10, 30, 50, 70 และ 90 ($\times 1000 \mu/\text{min}$) เป็นเวลา 3 นาที ตะกอนที่เกิดขึ้นติดข้างหลอดเป็นเส้นตรงให้นำมาเคาะออกเพื่อให้ตะกอนหลุดลงมารวมกันที่ก้นหลอด ตั้งทิ้งไว้จับเวลาวัดความสูงของตะกอนเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที จากนั้นนำค่าที่วัดได้จากไม้บรรทัดมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตะกอนกับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ณ เวลาใด ๆ โดยแบ่งตามความแรง ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตะกอน เมื่อปรับความแรงระดับ 10, 30, 50, 70 และ 90 ($\times 1000 \mu/\text{min}$)

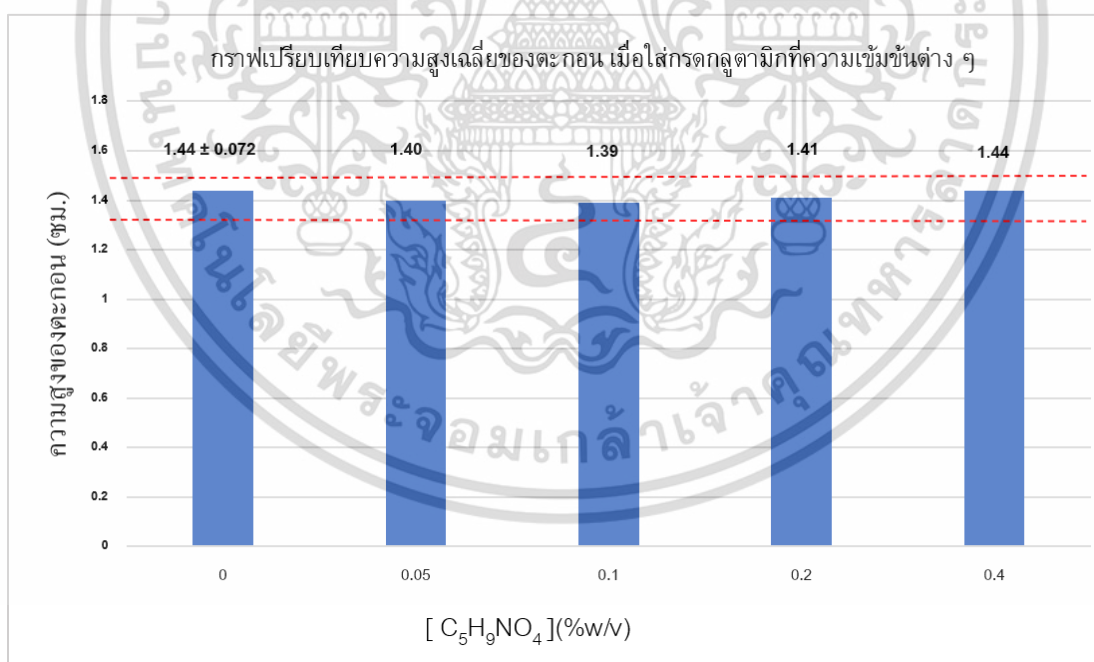
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 เมื่อพิจารณาความสูงเฉลี่ยของตะกอน พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ค่าความแปรผัน (R^2) ณ เวลาใด ๆ ที่คำนวณได้จากสมการเส้นตรงเมื่อใช้ความแรงระดับ 50 ($\times 1000 \mu/\text{min}$) พบว่าแนวโน้มเข้าใกล้ความเป็นเส้นตรงมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับความแรงระดับอื่น ๆ สำหรับระดับความแรงที่มีค่าความแปรผัน (R^2) ณ เวลาใด ๆ เข้าใกล้ความเป็นเส้นตรงมากที่สุดนั่นคือระดับ 10 ($\times 1000 \mu/\text{min}$) ซึ่งมีค่า 0.9875 ดังนั้นจึงเลือก ความแรงระดับ 10 ($\times 1000 \mu/\text{min}$)ใช้ในการทดลอง

4.6 ศึกษาสารบวกรวมที่มีผลต่อการวิเคราะห์

4.6.1 กรดกลูตามิก

จากการทดลองเพื่อศึกษาความเข้มข้นของกรดกลูตามิกที่ส่งผลต่อความสูงของตะกอน แบ่งวิธีการเตรียมสารละลายเป็น 5 ชุด โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1000 มิลลิโมลาร์ กรดกลูตามิกความเข้มข้น 0.75 %w/v น้ำปราศจากไอออน และสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ที่ผสมกรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ พบว่า ชุดที่ 1 เมื่อไม่ใส่กรดกลูตามิกความสูงเฉลี่ยของตะกอนที่เกิดขึ้นเท่ากับ 1.4375 เซนติเมตร และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0742 ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยของตะกอน เมื่อใส่กรดกลูตามิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองศึกษาความเข้มข้นของกรดกลูตามิกที่ส่งผลต่อความสูงของตะกอน พบว่าค่าเฉลี่ยความสูงของตะกอนของสารมาตรฐานเท่ากับ 1.4375 เซนติเมตร ดังนั้นชุดที่เติมกรดกลูตามิกไม่ควรเบี่ยงเบนเกิน 5 เปอร์เซ็นต์ โดยคำนวณดังนี้

$$5\%RSD = 1.4375 \pm 0.07188 = 1.37 - 1.51 \text{ เซนติเมตร}$$

ดังนั้น ความสูงของตะกอนในชุดที่ใส่กรดกลูตามิก ควรวัดค่าความสูงของตะกอนได้ ในช่วง 1.37 ถึง 1.51 เซนติเมตร จึงจะสรุปได้ว่ากรดกลูตามิกไม่มีผลต่อความสูงของตะกอน เมื่อวัดค่าความสูงของตะกอนแล้วนำมาคำนวณร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ตามสูตร

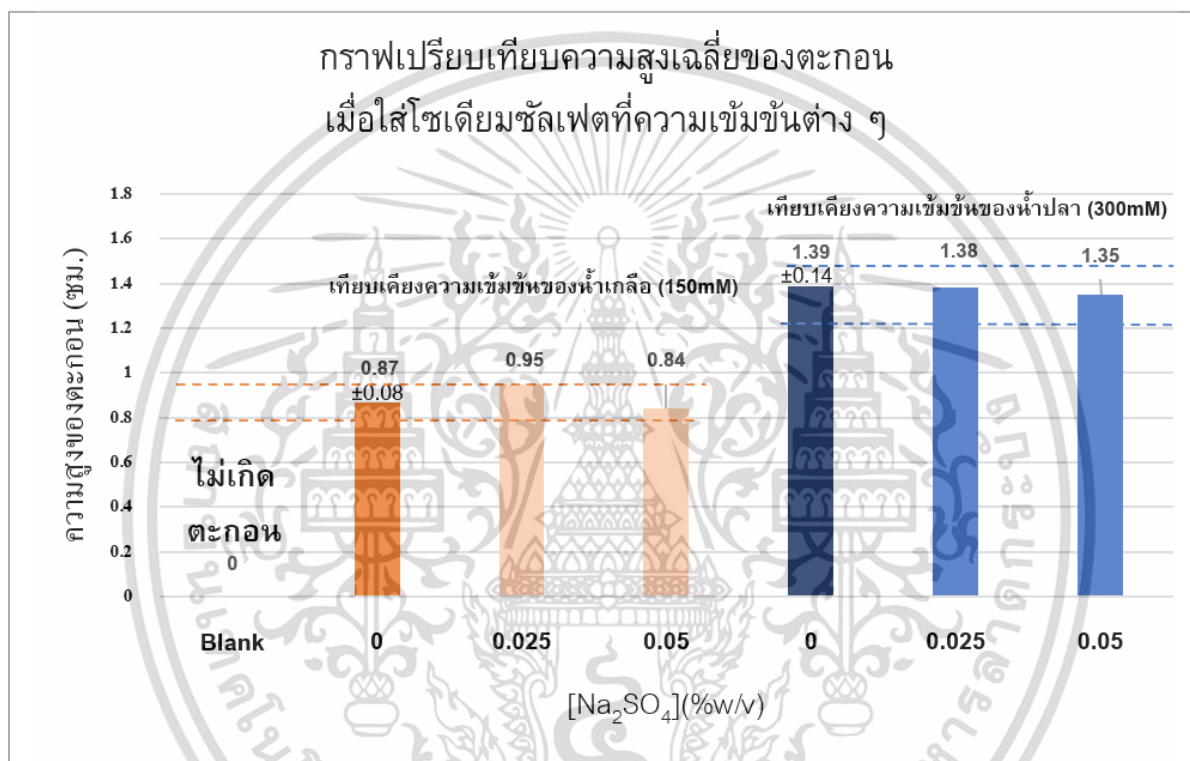
$$\begin{aligned} \%RSD &= \frac{SD}{\bar{x}} \times 100 \\ &= \frac{0.0742}{1.4375} \times 100 \\ &= 5.16 \end{aligned}$$

ค่า %RSD อยู่ในช่วง 5 เปอร์เซ็นต์และวัดค่าความสูงของตะกอนได้ ในช่วง 1.37 ถึง 1.51 เซนติเมตร จึงสรุปผลการทดลองได้ว่าความเข้มข้นของกรดกลูตามิกไม่มีผลต่อความสูงของตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 โซเดียมซัลเฟต

จากการทดลองศึกษาสารบวกร่างต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเกิดตะกอน เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 1000 มิลลิโมลาร์ น้ำปราศจากไอออน สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ที่ผสมกรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ และสารบวกร่างโซเดียมซัลเฟต ทำให้ได้ผลการทดลองดังนี้

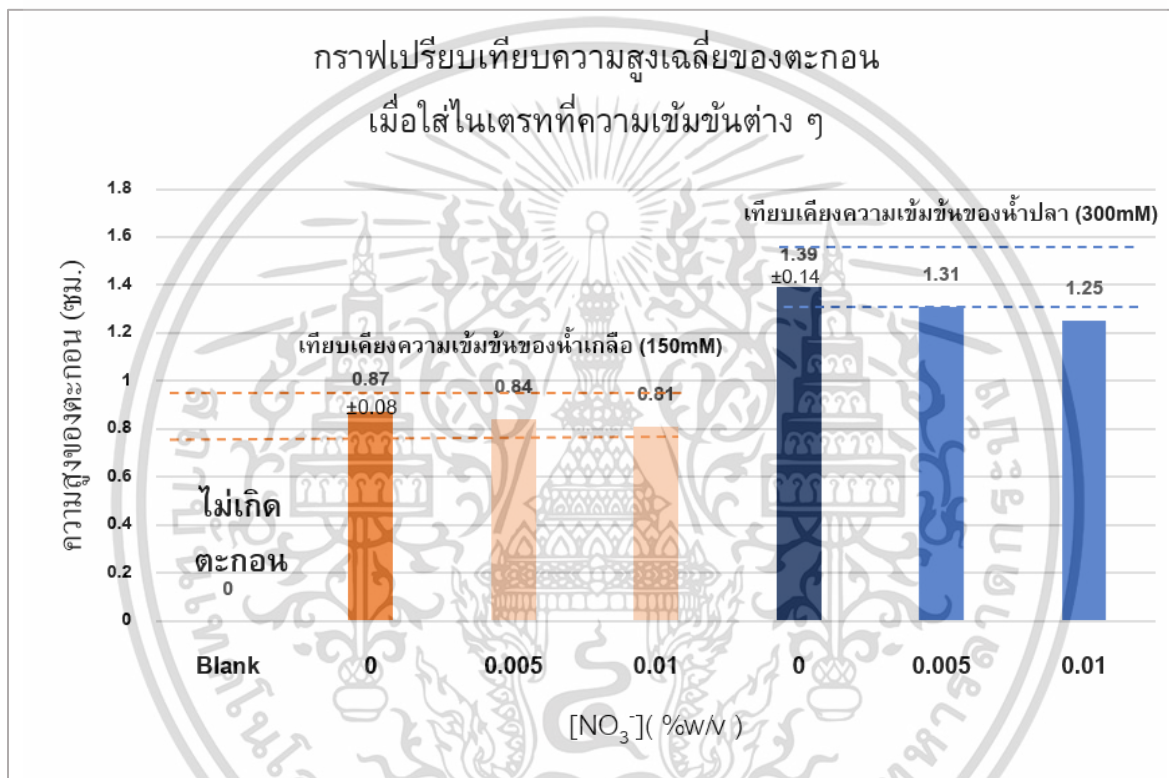


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยของตะกอน เมื่อใส่โซเดียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.3 ไนเตรท

จากการทดลองศึกษาสารบวกรวมต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเกิดตะกอน เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 1000 มิลลิโมลาร์ น้ำปราศจากไอออน สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ที่ผสมกรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ และสารบวกรวมไนเตรท ทำให้ได้ผลการทดลองดังนี้

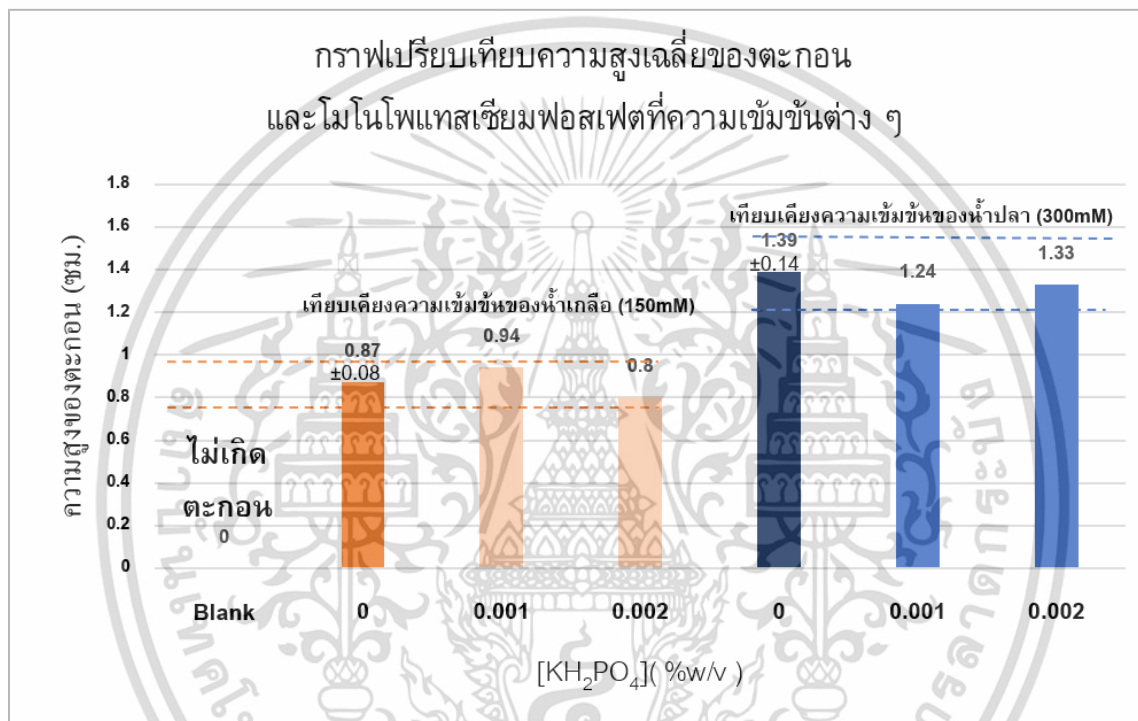


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยของตะกอน เมื่อใส่ไนเตรทที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.4 โมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต

จากการทดลองศึกษาสารรบกวนต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเกิดตะกอน เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 1000 มิลลิโมลาร์ น้ำปราศจากไอออน สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ที่ผสมกรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ และสารรบกวนโมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต ทำให้ได้ผลการทดลองดังนี้

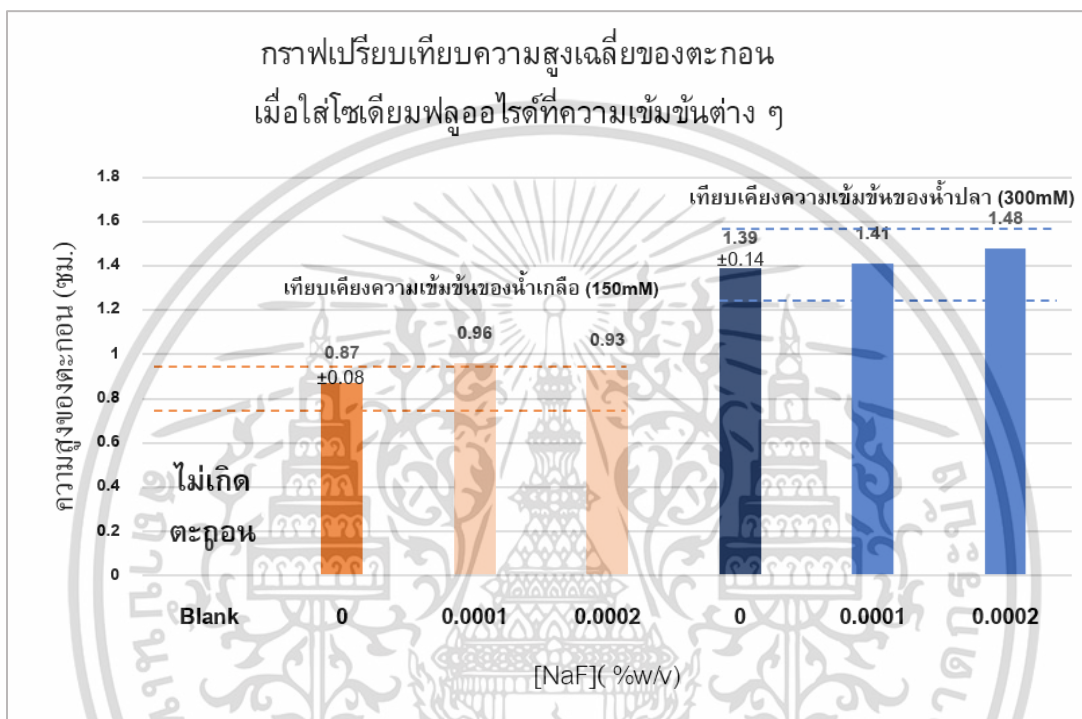


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยของตะกอน เมื่อใส่ฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.5 โซเดียมฟลูออไรด์

จากการทดลองศึกษาสารรบกวนต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเกิดตะกอน เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 1000 มิลลิโมลาร์ น้ำปราศจากไอออน สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ที่ผสมกรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ และสารรบกวนโซเดียมซัลเฟต ทำให้ได้ผลการทดลองดังนี้



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยของตะกอน เมื่อใส่โซเดียมฟลูออไรด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

นำค่าความสูงที่วัดได้มาหาค่า %RSD จากการทดลองศึกษาสารรบกวนต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเกิดตะกอน พบว่าค่าเฉลี่ยความสูงของตะกอนของสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์ (เทียบเคียงกับความเข้มข้นของน้ำปลา) เท่ากับ 1.39 เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยความสูงของตะกอนของสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 150 มิลลิโมลาร์ (เทียบเคียงกับความเข้มข้นของน้ำเกลือออร์มอลชาไลน์) เท่ากับ 0.87 เซนติเมตรดังนั้นชุดที่เติมสารรบกวนชนิดต่าง ๆ ไม่ควรเบี่ยงเบนเกิน 5 เปอร์เซ็นต์ หรือ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยคำนวณดังนี้

ที่ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์

$$5\%RSD = 1.39 \pm 0.0695 = 1.3205 - 1.4595 \text{ เซนติเมตร}$$

$$10\%RSD = 1.39 \pm 0.1390 = 1.2510 - 1.5290 \text{ เซนติเมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 150 มิลลิโมลาร์

$$5\%RSD = 0.87 \pm 0.044 = 0.8265 - 0.9135 \text{ เซนติเมตร}$$

$$10\%RSD = 0.87 \pm 0.087 = 0.7830 - 0.9570 \text{ เซนติเมตร}$$

ดังนั้น ความสูงของตะกอนในชุดที่ใส่สารรบกวนชนิดต่าง ๆ ควรวัดค่าความสูงของตะกอนได้ ในช่วงที่ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์ คือ 1.2510 ถึง 1.5290 เซนติเมตร และ ในช่วงที่ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 150 มิลลิโมลาร์ คือ 0.7830 คือ 0.9570 เซนติเมตร

จึงจะสรุปได้ว่าสารรบกวนชนิดต่าง ๆ ไม่มีผลต่อความสูงของตะกอน เมื่อวัดค่าความสูงของตะกอนแล้วนำมาคำนวณร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ตามสูตร

ที่ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์ (เทียบเคียงความเข้มข้นของน้ำปลา) :

$$\begin{aligned} \%RSD &= \frac{SD}{\bar{x}} \times 100 \\ &= \frac{0.0644}{1.39} \times 100 \\ &= 4.6331 \end{aligned}$$

ที่ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 150 มิลลิโมลาร์ (เทียบเคียงความเข้มข้นของน้ำเกลือ) :

$$\begin{aligned} \%RSD &= \frac{SD}{\bar{x}} \times 100 \\ &= \frac{0.0656}{0.87} \times 100 \\ &= 7.540 \end{aligned}$$

ค่า %RSD อยู่ในช่วง 4 ถึง 8 เปอร์เซ็นต์และวัดค่าความสูงของตะกอนได้ ในช่วงความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 300 มิลลิโมลาร์ คือ 1.2510 ถึง 1.5290 เซนติเมตร และ ในช่วงที่ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่ความเข้มข้น 150 มิลลิโมลาร์ คือ 0.7830 คือ 0.9570 เซนติเมตร จึงสรุปผลการทดลองได้ว่าสารรบกวน ได้แก่ ซัลเฟต ไนเตรท ฟอสเฟต และฟลูออไรด์ ไม่มีผลต่อความสูงของตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การประเมินคุณลักษณะของวิธี

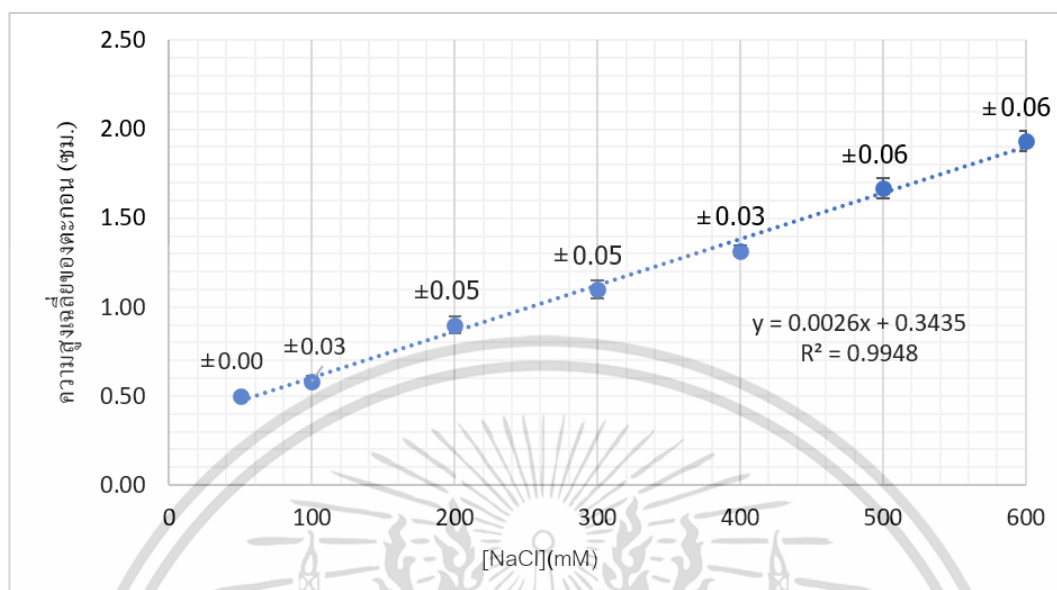
4.7.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน

จากการทดลองเพื่อสร้างกราฟมาตรฐานเมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1000 มิลลิโมลาร์ ปริมาตรแตกต่างกันตามตารางวิธีการเตรียมสารละลายและใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ที่ผสมกรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 180 ไมโครลิตร ทำการทดลองซ้ำโดยทำความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ละ 3 ครั้ง พบว่าตะกอนที่เกิดขึ้นมีลักษณะสีขาวขุ่นจับตัวกันเป็นก้อนเล็ก ๆ นำมาเคาะแล้วปล่อยให้ตะกอนตกลงมารวมกันที่ก้นหลอด ความสูงของตะกอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตามตารางต่อไปนี้ จากนั้นนำค่าที่วัดได้ด้วยไม้บรรทัดมาสร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยของตะกอนกับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ดังตารางที่ 4.1 ต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ความสูงของตะกอนในการสร้างกราฟมาตรฐาน

[NaCl] mM	ความสูงของตะกอน (ซม.)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	Mean	SD
50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00
100	0.60	0.60	0.55	0.58	0.03
200	0.95	0.85	0.90	0.90	0.05
300	1.10	1.15	1.05	1.10	0.05
400	1.35	1.30	1.30	1.32	0.03
500	1.70	1.60	1.70	1.67	0.06
600	1.90	1.90	2.00	1.93	0.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเฉลี่ยของตะกอน (เซนติเมตร) กับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (มิลลิโมลาร์)

จากรูป พบว่ากราฟมาตรฐานที่ได้จากการคำนวณมีสมการเชิงเส้นเป็น $y = 0.0026x + 0.3435$ และมีค่าความแปรผัน (R^2) เท่ากับ 0.9948 เข้าใกล้ค่า 1 (กราฟที่ได้เข้าใกล้ความเป็นเส้นตรง) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าตั้งแต่ 0.0000 ถึง 0.0577

4.7.2 ความเที่ยง (Precision)

การประเมินค่าความเที่ยง (Precision) ของวิธีวิเคราะห์ สามารถประเมินด้วยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation; %RSD) โดยหากมี %RSD ≤ 5 แสดงว่าผลการวิเคราะห์มีความเที่ยงสูง สามารถยอมรับได้ตามมาตรฐานการวิเคราะห์

จากการทดลองศึกษาความเข้มข้นของกรดกลูตามิกที่ส่งผลต่อความสูงของตะกอน เมื่อเปิดตะกอนตามที่กำหนดโดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1000 มิลลิโมลาร์ สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ที่ผสมกรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ น้ำปราศจากไอออน และกรดกลูตามิกความเข้มข้น 0.75 %w/v ตะกอนที่เกิดขึ้นมีลักษณะสีขาวขุ่นจับตัวกันเป็นก้อนเล็ก ๆ นำมาเคาะแล้วปล่อยให้ตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตกลงมารวมกันที่กันหลอด จากนั้นวัดความสูงด้วยไม้บรรทัดแล้วนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน ได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation; %RSD)

ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ (มิลลิโมลาร์)	ความสูงของตะกอน (เซนติเมตร)	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD)
50	0.50	0.00	0.00
100	0.58	0.03	4.95
200	0.90	0.05	5.56
300	1.10	0.05	4.55
400	1.32	0.03	2.19
500	1.67	0.06	3.46
600	1.93	0.06	2.98

จากตารางที่ 4.2 สามารถสรุปได้ว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 50 100 200 300 400 500 และ 600 มิลลิโมลาร์ จะได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation; %RSD) เท่ากับร้อยละ 0 4.95 5.56 4.55 2.19 3.46 และ 2.98 ตามลำดับ

4.7.3 การคำนวณหาร้อยละของการคืนกลับ (%recovery)

จากการทดลองในตัวอย่างจริงเพื่อตรวจหาปริมาณตะกอนโซเดียมคลอไรด์ที่เกิดขึ้นและหาร้อยละของการคืนกลับของสารละลาย เมื่อใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1000 มิลลิโมลาร์ และสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ที่ผสมกรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยในตัวอย่างน้ำเกลืออนอร์มอลชาไลน์ ชุดที่ 1 คือไม่ได้เติมสารมาตรฐาน ชุดที่ 2 คือ ใส่สารตัวอย่าง 1/2 ชุดที่ 3 4 และ 5 เติมสารมาตรฐาน 100 200 และ 300 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และในตัวอย่างน้ำเกลือปลา ชุดที่ 1 ปีเปิดแบบผสมกันเองในหลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบไม่ได้เติมสารมาตรฐาน ชุดที่ 2 คือแบบผสมสารข้างนอกแล้วค่อยปิเปต (ไม่ได้เติมสารมาตรฐาน) ชุดที่ 3 4 และ 5 เติมสารมาตรฐาน 100 200 และ 300 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ พบว่าเกิดตะกอนสีขาวขุ่นจับตัวกันเป็นก้อนขนาดเล็ก ๆ นำมาเคาะปล่อยให้ตะกอนตกลงกันหมดแล้ววัดความสูง จากนั้นนำค่าที่วัดได้ด้วยไม้บรรทัดมาหาค่าความเข้มข้น (x) จากสมการเส้นตรง $y = 0.0026x + 0.3435$ เมื่อค่า y เท่ากับ ค่าเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ จากนั้นนำค่าความเข้มข้นที่คำนวณได้มาหาร้อยละของการคืนกลับ จากสูตร

$$\text{ค่าร้อยละการคืนกลับ} = \frac{(\text{ค่าจากตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐาน}) - (\text{ค่าจากตัวอย่างที่ไม่เติม})}{\text{ค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เติม}} \times 100$$

ทำให้ได้ผลการทดลองดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 การคำนวณร้อยละของการคืนกลับของน้ำเกลือ

Addition (mM)	น้ำเกลือ NS1		น้ำเกลือ NS2		น้ำเกลือ NS3		น้ำเกลือ NS4		น้ำเกลือ NS5	
	[Cl-] (mM)	% Recovery	[Cl-] (mM)	% Recovery	[Cl-] (mM)	% Recovery	[Cl-] (mM)	% Recovery	[Cl-] (mM)	% Recovery
-	127.46±0.06	-	133.63±0.05	-	121.28±0.08	-	139.80±0.03	-	127.46±0.06	-
100	226.22±0.05	98.7654	232.40±0.08	98.77	226.22±0.13	104.94	238.57±0.08	98.77	232.40±0.08	104.94
200	331.16±0.06	101.85	343.51±0.03	104.94	337.33±0.05	108.02	349.68±0.08	104.94	343.51±0.08	108.02
300	436.10±0.03	102.88	454.62±0.03	107.00	442.27±0.03	107.00	417.58±0.08	92.59	442.27±0.03	104.94

จากการศึกษาการคำนวณหาร้อยละของการคืนกลับ (%recovery) ควรได้ค่า ร้อยละการคืนกลับ 90 ถึง 110 เปอร์เซ็นต์ถึงจะถูกต้อง เมื่อศึกษาตัวอย่างของน้ำเกลืออนอร์มอลซาไลน์ทั้ง 5 ยี่ห้อ พบว่าการเติมสารมาตรฐาน 100 200 และ 300 มิลลิโมลาร์ มีค่าร้อยละการคืนกลับของสารตัวอย่างอยู่ในช่วง 90 ถึง 110 ดังนั้น การประเมินคุณลักษณะของวิธีมีความถูกต้อง และน่าเชื่อถือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 การคำนวณร้อยละของการคืนกลับของน้ำปลา

Addition (mM)	น้ำปลา FC1		น้ำปลา FC2		น้ำปลา FC3		น้ำปลา FC4		น้ำปลา FC5	
	[Cl-] (mM)	% Recovery	[Cl-] (mM)	% Recovery	[Cl-] (mM)	% Recovery	[Cl-] (mM)	% Recovery	[Cl-] (mM)	% Recovery
-	169.17±0.03	-	137.12±0.10	-	156.35±0.09	-	130.71±0.08	-	149.94±0.06	-
100	271.73±0.05	102.56	246.90±0.10	108.97	258.91±0.03	102.56	233.27±0.09	102.56	252.50±0.00	102.56
200	387.12±0.09	108.97	361.47±0.03	112.18	367.88±0.05	105.77	355.06±0.03	112.18	374.29±0.08	112.18
300	489.68±0.03	106.84	470.45±0.03	111.11	476.86±0.08	106.84	457.63±0.03	108.97	470.45±0.03	106.84

จากการศึกษาการคำนวณหาร้อยละของการคืนกลับ (%recovery) ควรได้ค่า ร้อยละการคืนกลับ 90 ถึง 110 เปอร์เซ็นต์ถึงจะถูกต้อง เมื่อศึกษาตัวอย่างของน้ำปลาทั้ง 5 ยี่ห้อ พบว่าการเติมสารมาตรฐาน 100 200 และ 300 มิลลิโมลาร์ มีค่าร้อยละการคืนกลับของสารตัวอย่างอยู่ในช่วง 90 ถึง 110 ดังนั้นการประเมินคุณลักษณะของวิธีมีความถูกต้อง และน่าเชื่อถือ

4.8 การวิเคราะห์คลอไรด์ในตัวอย่างน้ำเกลือและน้ำปลา

4.8.1 การวิเคราะห์คลอไรด์ด้วยวิธีวัดความสูงของตะกอนที่พัฒนาขึ้น

จากการทดลองในตัวอย่างน้ำเกลือและน้ำปลาอย่างละ 5 ยี่ห้อ เมื่อใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ที่ผสมกรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 180 ไมโครลิตร และวัดความสูงเมื่อตั้งทิ้งไว้ 5 นาที พบว่าตะกอนที่เกิดขึ้นมีลักษณะสีขาวขุ่นจับกันเป็นก้อน ปริมาณของน้ำเกลือและน้ำปลาเมื่อตั้งทิ้งไว้ 5 นาที วัดได้แล้วนำไปคำนวณหาปริมาณคลอไรด์ได้ค่า ตั้งแต่ 0.9146 ถึง 1.0271 %w/v และตั้งแต่ 25.1125 ถึง 30.5944 %w/v ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.5 - 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ปริมาณคลอไรด์ของน้ำเกลือที่วัดได้โดยวิธีการวัดความสูงของตะกอนที่พัฒนาขึ้น

ตัวอย่าง น้ำเกลือ	ปริมาณคลอไรด์ตามฉลาก ระบุ (%)	ปริมาณคลอไรด์ที่วัดได้โดย วิธีการวัดความสูงของตะกอนที่พัฒนาขึ้นที่ได้จากการคำนวณ (%w/v)				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
NS1	0.90	0.80	0.91	1.03	0.91	0.12
NS2	0.90	1.14	0.80	0.80	0.91	0.20
NS3	0.90	1.14	0.80	0.91	0.95	0.17
NS4	0.90	0.80	1.03	1.14	0.99	0.17
NS5	0.90	1.14	1.03	0.91	1.03	0.12

ตารางที่ 4.6 ปริมาณคลอไรด์ของน้ำปลาที่วัดได้โดยวิธีการวัดความสูงของตะกอนที่พัฒนาขึ้น

ตัวอย่าง น้ำปลา	ปริมาณ คลอไรด์ ตามฉลาก ระบุ (%)	ปริมาณคลอไรด์ที่วัดได้โดย วิธีการวัดความสูงของตะกอนที่พัฒนาขึ้นที่ได้จากการคำนวณ (%w/v)				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
FC1	30.5	28.91	30.59	32.28	30.59	1.69
FC2	27.0	35.66	25.53	30.59	30.59	5.07
FC3	24.0	27.77	29.77	29.77	29.10	1.15
FC4	29.0	27.77	23.78	23.78	25.11	2.30
FC5	27.0	31.76	29.77	27.77	29.77	2.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองศึกษาตัวอย่างน้ำปลาและน้ำเกลือนอร์มอลซาไลน์ เปอร์เซ็นต์โซเดียมคลอไรด์ที่อยู่ในน้ำปลา ควรอยู่ในช่วง 20 ถึง 30 %w/v และเปอร์เซ็นต์โซเดียมคลอไรด์ที่อยู่ในน้ำเกลือนอร์มอลซาไลน์ ควรอยู่ในช่วง 0.9 %w/v เมื่อวัดค่าความสูงของตัวอย่างน้ำเกลือและน้ำปลาทั้ง 5 ยี่ห้อ แล้วนำมาคำนวณหาร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร (%w/v) เปอร์เซ็นต์โซเดียมคลอไรด์ที่อยู่ในน้ำปลาอยู่ในช่วง 20 ถึง 30 %w/v และเปอร์เซ็นต์โซเดียมคลอไรด์ที่อยู่ในน้ำเกลือนอร์มอลซาไลน์ มีค่าน้อยกว่า 0.9 %w/v

4.8.2 การไทเทรตโดยการวัดศักย์ไฟฟ้า

จากการทดลองโดยใช้เครื่อง pH meter แบบวัดค่ามิลลิโวลต์ได้ เพื่อหาจุดยุติของตัวอย่างน้ำเกลือ น้ำปลา และสารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ เมื่อใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ เป็นสารไทเทรนต์ พบว่าตะกอนที่เกิดขึ้นในปิกเกอร์มีลักษณะเป็นก้อนขนาดเล็กและใหญ่สีขาวขุ่นจำนวนมาก ค่าที่วัดได้มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณสารไทเทรนต์ จากนั้นสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารไทเทรนต์กับค่าที่วัดได้จากเครื่อง pH meter โดยใช้หลักการสร้างรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าตรงบริเวณความชันของเส้นกราฟ ซึ่งจุดตัดที่เกิดขึ้นบนเส้นทแยงมุมคือตำแหน่งของจุดยุติ ดังตารางที่

ตารางที่ 4.7 ศึกษาการไทเทรตตัวอย่างน้ำเกลือ

ตัวอย่าง น้ำเกลือ	ปริมาณคลอไรด์ ตามฉลากระบุ (%)	ปริมาณคลอไรด์ที่วัดได้โดย วิธีการไทเทรตโดยการวัดค่าศักย์ไฟฟ้า (%w/v)				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
NS1	0.90	0.96	0.93	0.88	0.92	0.04
NS2	0.90	0.85	0.90	0.90	0.88	0.03
NS3	0.90	1.04	0.85	0.88	0.92	0.10
NS4	0.90	1.04	0.85	0.98	0.96	0.10
NS5	0.90	0.93	1.11	1.04	1.03	0.09

จากตาราง ในตัวอย่างน้ำเกลือ NS1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารไทเทรนต์และค่าที่วัดได้จากเครื่อง pH meter พบจุดยุติของสารละลายเท่ากับ 18.0, 17.5 และ 16.5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งค่าที่วัดได้เท่ากับ 35.6, 44.4 และ 19.7 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ นำไปคำนวณได้ ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 0.96, 0.93 และ 0.88 ได้ค่าเฉลี่ยของร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 0.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตาราง ในตัวอย่างน้ำเกลือ NS2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารไทแทนต์และค่าที่วัดได้จากเครื่อง pH meter พบจุดยุติของสารละลายเท่ากับ 16.0, 17.0 และ 17.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งค่าที่วัดได้เท่ากับ 32.2, 49.0 และ 38.9 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ นำไปคำนวณได้ ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 0.85, 0.90 และ 0.90 ได้ค่าเฉลี่ยของร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 0.88

จากตาราง ในตัวอย่างน้ำเกลือ NS3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารไทแทนต์และค่าที่วัดได้จากเครื่อง pH meter พบจุดยุติของสารละลายเท่ากับ 19.5, 16.0 และ 16.5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งค่าที่วัดได้เท่ากับ 12.8, 24.3 และ 20.0 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ นำไปคำนวณได้ ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 1.04, 0.85 และ 0.88 ได้ค่าเฉลี่ยของร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 0.92

จากตาราง ในตัวอย่างน้ำเกลือ NS4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารไทแทนต์และค่าที่วัดได้จากเครื่อง pH meter พบจุดยุติของสารละลายเท่ากับ 19.5, 16.0 และ 18.5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งค่าที่วัดได้เท่ากับ 7.6, 16.7 และ 16.1 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ นำไปคำนวณได้ ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 1.04, 0.85 และ 0.98 ได้ค่าเฉลี่ยของร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 0.96

จากตาราง ในตัวอย่างน้ำเกลือ NS5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารไทแทนต์และค่าที่วัดได้จากเครื่อง pH meter พบจุดยุติของสารละลายเท่ากับ 17.5, 19.0 และ 19.5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งค่าที่วัดได้เท่ากับ 12.9, 25.9 และ 15.4 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ นำไปคำนวณได้ ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 0.93, 1.11 และ 1.04 ได้ค่าเฉลี่ยของร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 1.03

เมื่อศึกษาการไทเทรตด้วยการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าจากตัวอย่างน้ำเกลือนอร์มอลซาไลน์ทั้ง 5 ยี่ห้อแล้วนำจุดยุติที่ได้จากการสร้างกราฟมาคำนวณหาร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร (%w/v) จึงสรุปได้ว่า น้ำเกลือ NS1 0.96 0.93 และ 0.88 %w/v น้ำเกลือ NS2 0.85 0.90 และ 0.90 %w/v น้ำเกลือ NS3 1.04 0.85 และ 0.88 %w/v น้ำเกลือ NS4 1.04 0.85 และ 0.98 %w/v และน้ำเกลือ NS5 0.93 1.11 และ 1.04 %w/v

จากผลการทดลองศึกษาตัวอย่างน้ำเกลือนอร์มอลซาไลน์ เปอร์เซ็นต์โซเดียมคลอไรด์ที่อยู่ในน้ำเกลือนอร์มอลซาไลน์ ควรอยู่ในช่วง 0.9 %w/v คำนวณจุดยุติของตัวอย่างน้ำเกลือทั้ง 5 ยี่ห้อ แล้วนำมาคำนวณหาร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร (%w/v) เปอร์เซ็นต์โซเดียมคลอไรด์ที่อยู่ในน้ำเกลือนอร์มอลซาไลน์ มีค่าอยู่ใกล้เคียง 0.9 %w/v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ศึกษาการไทเทรตตัวอย่างน้ำปลา

ตัวอย่าง น้ำปลา	ปริมาณคลอไรด์ ตามฉลากระบุ (%)	ปริมาณคลอไรด์ที่วัดได้โดย วิธีการไทเทรตโดยการวัดค่าศักย์ไฟฟ้า (%w/v)				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
FC1	30.5	33.64	30.71	30.71	31.69	1.69
FC2	27.0	27.79	27.79	27.79	27.79	0.00
FC3	24.0	26.33	27.79	26.33	26.82	0.84
FC4	29.0	29.25	30.71	30.71	30.22	0.84
FC5	27.0	30.71	30.71	30.71	30.71	0.00

จากตาราง ในตัวอย่างน้ำปลา FC1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารไทเทรนต์และค่าที่วัดได้จากเครื่อง pH meter พบจุดยุติของสารละลายเท่ากับ 11.5, 10.5 และ 10.5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งค่าที่วัดได้เท่ากับ 11.6, 19.7 และ 18.8 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ นำไปคำนวณได้ ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 33.64, 30.71 และ 30.71 ได้ค่าเฉลี่ยของร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 31.69

จากตาราง ในตัวอย่างน้ำปลา FC2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารไทเทรนต์และค่าที่วัดได้จากเครื่อง pH meter พบจุดยุติของสารละลายเท่ากับ 9.5 มิลลิลิตร เท่ากันทั้ง 3 ครั้ง ซึ่งค่าที่วัดได้เท่ากับ 6.0, 29.9 และ 36.9 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ นำไปคำนวณได้ ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 27.79

จากตาราง ในตัวอย่างน้ำปลา FC3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารไทเทรนต์และค่าที่วัดได้จากเครื่อง pH meter พบจุดยุติของสารละลายเท่ากับ 9.0, 9.5 และ 9.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งค่าที่วัดได้เท่ากับ 30.0, 9.6 และ 37.3 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ นำไปคำนวณได้ ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 26.33, 27.79 และ 26.33 ได้ค่าเฉลี่ยของร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 26.82

จากตาราง ในตัวอย่างน้ำปลา FC4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารไทเทรนต์และค่าที่วัดได้จากเครื่อง pH meter พบจุดยุติของสารละลายเท่ากับ 10.0, 10.5 และ 10.5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งค่าที่วัดได้เท่ากับ 38.1, 33.0 และ 19.9 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ นำไปคำนวณได้ ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 29.25, 30.71 และ 30.71 ได้ค่าเฉลี่ยของร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 30.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตาราง ในตัวอย่างน้ำปลา FC5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารไทแทนต์และค่าที่วัดได้จากเครื่อง pH meter พบจุดยุติของสารละลายเท่ากับ 10.5 มิลลิลิตร เท่ากันทั้ง 3 ครั้ง ซึ่งค่าที่วัดได้เท่ากับ 10.5, 12.9 และ 38.7 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ นำไปคำนวณได้ ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตรเท่ากับ 30.71

เมื่อศึกษาการไทเทรตด้วยการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าจากตัวอย่างน้ำปลาทั้ง 5 ยี่ห้อแล้วนำจุดยุติที่ได้จากการสร้างกราฟมาคำนวณหาร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร (%w/v) จึงสรุปได้ว่า น้ำปลาFC1 33.64 30.71 และ 30.71 %w/v น้ำปลาFC2 27.79 %w/v น้ำปลาFC3 26.33 27.79 และ 26.33 %w/v น้ำปลาFC4 29.25 และ 30.71 %w/v และน้ำปลาFC5 30.71 %w/v จากผลการทดลองศึกษาตัวอย่างน้ำปลา เพอร์เซ็นต์โซเดียมคลอไรด์ที่อยู่ในน้ำปลา ควรอยู่ในช่วง 20 ถึง 30 %w/v ค่ารวมจุดยุติของตัวอย่างน้ำปลาทั้ง 5 ยี่ห้อ แล้วนำมาคำนวณหาร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร (%w/v) เพอร์เซ็นต์โซเดียมคลอไรด์ที่อยู่ในน้ำปลา มีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 30 %w/v

4.9 การทดสอบด้วย Paired t-test

4.9.1 ผลการศึกษาเพื่อเทียบตัวอย่างของทั้งสองวิธี

ทำการศึกษาความเข้มข้นของเกลือคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำเกลือและน้ำปลาโดยการหาจากห้องตลาด ที่นิยมใช้กันทั่วไปมาทดลอง 5 ตัวอย่าง โดยใช้ไมโครปิเปตดูดตัวอย่างน้ำปลาที่ปรับปริมาตรเป็น 1/25 (ทำปิเปตน้ำปลา 1 ไมโครลิตรแล้วปรับปริมาตร 25 ml) ปิเปตมาปริมาตร 150 ไมโครลิตร และดูดสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 750 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 180 ไมโครลิตร และปิเปตกรดไนตริกที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 30 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลองขนาดเล็ก หลังจากนั้นนำหลอดทดลองใส่ในเครื่อง Centrifuge แล้วปั่นด้วยความแรง 10 ($\times 1000 \mu\text{min}$) ใช้เวลาในการเหวี่ยง 3 นาที แล้วนำมาเคาะเป็นจำนวน 50 ครั้ง วัดความสูงของตะกอนเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที จากนั้นนำผลที่ได้ไปคำนวณโดยใช้กราฟมาตรฐาน ดังรูปที่ 4.62 และจากการวิเคราะห์ปริมาณเกลือคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำปลาด้วยวิธีการไทเทรตได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.9 และ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเกลือคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำเกลือ

ตัวอย่างน้ำเกลือ	ปริมาณเกลือตามฉลากระบุ (%)	ปริมาณเกลือคลอไรด์ที่วัดได้ (%w/v)	
		วิธีวัดความสูงของตะกอน	วิธีการไทเทรตโดยการวัดค่าศักย์ไฟฟ้า
NS1	0.90	0.91±0.12	0.92±0.04
NS2	0.90	0.91±0.20	0.88±0.03
NS3	0.90	0.95±0.17	0.92±0.10
NS4	0.90	0.99±0.17	0.96±0.10
NS5	0.90	1.03±0.12	1.03±0.09

จากตารางที่ 4.9 เป็นการเปรียบเทียบข้อมูล 2 กลุ่มตัวอย่าง แบบที่ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างหนึ่ง ที่มีทั้งมากกว่าและค่าน้อยกว่าอีกกลุ่มตัวอย่างหนึ่ง (Two tailed test) ได้ค่า $d_{เฉลี่ย} = 0.016$ และค่า $SD = 0.0195$ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และที่ Degree of freedom = $5-1 = 4$

ได้ค่า $t_{stat} = 2.78$

คำนวณ t_{cal} โดยใช้สูตร จะได้ค่า $t_{cal} = 1.8347$

จะเห็นว่า $t_{cal} < t_{stat}$

นั่นคือ ผลวิเคราะห์จากทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของวิธีวิเคราะห์คลอไรด์ที่พัฒนาขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีการไทเทรตด้วยการวัดค่าศักย์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเกลือคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำปลา

ตัวอย่างน้ำปลา	ปริมาณเกลือตามฉลากระบุ (%)	ปริมาณเกลือคลอไรด์ที่วัดได้	
		วิธีวัดความสูงของตะกอน	วิธีการไทเทรตโดยการวัดค่าศักย์ไฟฟ้า
FC1	30.5	30.59±1.69	31.69±1.69
FC2	27	30.59±5.07	27.79±0.00
FC3	24	29.10±1.15	26.82±0.84
FC4	29	25.11±2.30	30.22±0.84
FC5	27	29.76±2.00	30.71±0.00

จากตารางที่ 4.10 เป็นการเปรียบเทียบข้อมูล 2 กลุ่มตัวอย่าง แบบที่ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างหนึ่ง ที่มีทั้งมากกว่าและค่าน้อยกว่าอีกกลุ่มตัวอย่างหนึ่ง (Two tailed test) ได้ค่า $d_{เฉลี่ย} = -0.416$ และค่า $SD = 3.1780$ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และที่ Degree of freedom = $5-1 = 4$

ได้ค่า $t_{stat} = 2.78$

คำนวณ t_{cal} โดยใช้สูตร จะได้ค่า $t_{cal} = 0.2927$

จะเห็นว่า $t_{cal} < t_{stat}$

นั่นคือ ผลวิเคราะห์จากทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของวิธีวิเคราะห์คลอไรด์ที่พัฒนาขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีการไทเทรตด้วยการวัดค่าศักย์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยพัฒนาวิธีการตรวจสอบหาปริมาณคลอไรด์โดยวัดความสูงของตะกอนซิลเวอร์คลอไรด์ในหลอดทดลองขนาดเล็ก โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมคลอไรด์กับซิลเวอร์ไนเตรท โดยมีกรดไนตริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้ตะกอนรวมตัวกันอย่างรวดเร็ว จากการทดลองกับสารตัวอย่างพบว่า ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ ปริมาณของซิลเวอร์ไนเตรท และกรดไนตริกที่ใช้ ผลลัพธ์ที่ได้ค่าโซเดียมที่ใกล้เคียงกับผลากที่สุดคือ สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 750 มิลลิโมลาร์ที่ผสมกับกรดไนตริก 1000 มิลลิโมลาร์ โดยปิเปตสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่เตรียมไว้ 150 ไมโครลิตร แล้วปิเปตซิลเวอร์ไนเตรทที่ผสมกับกรดไนตริก 180 ไมโครลิตร ลงในหลอดทดลองพลาสติกขนาดเล็ก หลังจากนั้นใส่หลอดทดลองในเครื่อง Centrifuge แล้วปั่นด้วยความแรง $10 \times 1000 \mu\text{min}$ ใช้เวลาในการเหวี่ยง 3 นาที แล้วนำมาเคาะเป็นจำนวน 50 ครั้ง วัดความสูงของตะกอนเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที นำความสูงที่วัดได้ไปหาเปอร์เซ็นต์ของโซเดียมคลอไรด์ จากนั้นนำมาวิเคราะห์โดยสร้างกราฟมาตรฐานของโซเดียมคลอไรด์ได้ความเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 20 50 100 200 300 400 และ 500 มิลลิโมลาร์ ได้สมการเชิงเส้นคือ $Y = 0.0026X + 0.3435$ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.9948 หลังจากนั้นได้ทดสอบสารรบกวนที่มีผลต่อความสูงของตะกอน คือ กลูตามิก ($\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_4$) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ไนเตรท (NO_3^-) ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และฟลูออไรด์ (F^-) ได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ และได้ทดลองเปลี่ยนชนิดกรดจากกรดไนตริกเป็น กรดซिटริก ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) พบว่า กรดซิทริกกับซิลเวอร์ไนเตรท สามารถเกิดปฏิกิริยากันได้โดยกรดซิทริก ทำให้ Ag^+ เป็น Ag^0 แต่ในวิจัยของเราต้องการ Ag^+ จึงไม่ได้เลือกกรดชนิดนี้มาใช้ หลังจากนั้นประเมินวิธีการวิเคราะห์ด้วยการหาค่าร้อยละการคืนกลับ (Recovery) ผลอยู่ในช่วง 90 ถึง 110 เปอร์เซ็นต์ แล้วตรวจสอบความถูกต้องของวิธีอีกครั้งโดยวิธีการไทเทรตด้วยการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าแล้วนำจุดยุติมาคำนวณหา เปอร์เซ็นต์ของโซเดียมคลอไรด์สัมพันธ์กับเปอร์เซ็นต์โซเดียมคลอไรด์ที่ทดลองในหลอดทดลองขนาดเล็กซึ่งได้ค่าโซเดียมที่ใกล้เคียงกับผลากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) การเตรียมสารละลายซิลเวอร์ในเตรท เมื่อเตรียมเสร็จแล้วควรเก็บให้พ้นแสง หรือเก็บไว้ในขวดสีชา เพื่อป้องกันสารละลายเกิดการสลายตัวหรือเปลี่ยนโครงสร้าง
- 2) ควรใส่ถุงมือและเสื้อกาวน์ตลอดการทำการทดลอง รวมไปถึงขั้นตอนที่ต้องล้างอุปกรณ์หลังจากทดลอง
- 3) ในการวัดความสูงของตะกอนซิลเวอร์คลอไรด์ถ้าไม่ได้ใช้เครื่องวัดความสูงที่แม่นยำ ควรใช้คน ๆ เดียวกันในการวัดตะกอนซิลเวอร์คลอไรด์
- 4) ในขณะที่วัดความสูงของตะกอนซิลเวอร์คลอไรด์ควรตั้งหลอดทดลองไว้แล้ววัด ตะกอนจะไม่ฟุ้ง จึงทำให้ค่าความสูงของตะกอนซิลเวอร์คลอไรด์คงที่
- 5) การเตรียมหลอดทดลองควรใช้หลอดทดลองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเท่ากันและเป็นหลอดที่ใสไม่มีสีเพื่อมองเห็นขนาดของตะกอนซิลเวอร์คลอไรด์ได้ง่าย
- 6) ในขั้นตอนนำสารที่อยู่ในหลอดทดลอง ออกจากเครื่อง Centrifuge แล้ว นำมาเคาะให้ตกตะกอน ควรใช้คน ๆ เดียวกันในการเคาะ เพราะความแรงในการเคาะ และจำนวนในการเคาะ มีผลต่อความสูงของตะกอนซิลเวอร์ในเตรทที่ต้องการวัด
- 7) ควรใช้ไมโครปิเปตอันเดียวกันทั้งหมดในการทดลอง เพื่อความแม่นยำ ในขั้นตอนที่ต้องคำนวณผล
- 8) ควรตรวจสอบความแม่นยำของไมโครปิเปตทุกครั้งก่อนที่จะทำการทดลอง โดยการปิเปตน้ำที่ปราศจากไอออนแล้วชั่งในเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ว่าค่าใกล้เคียงกับที่ต้องการหรือไม่ เช่น ต้องการใช้สารละลาย 180 ไมโครลิตรใส่ในหลอดทดลอง ให้ปิเปตน้ำปราศจากไอออน 180 ไมโครลิตร แล้วนำไปชั่ง ต้องได้ประมาณ 0.1800 กรัม
- 9) ในขั้นตอนการทำ Recovery ให้ปิเปตน้ำปลาด้วยทิปอันเดียวกับที่จะปิเปตน้ำกลั่น เพราะตอนปิเปตน้ำปลา จะมีฟองอากาศและน้ำปลาบางส่วนออกมาไม่หมด จึงต้องใช้น้ำกลั่นในการกลั้วทิป เพื่อให้ น้ำปลาออกมาให้หมด เนื่องจากมีผลต่อร้อยละการคืนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Pobpad. (ม.ป.ป.) “น้ำเกลือล้างแผล ใช้อย่างไรให้ถูกต้องและปลอดภัย” [Online]. Available : <https://www.pobpad.com/น้ำเกลือล้างแผล-ใช้อย่างไร?fbclid=IwAR0Nh>
- [2] EXTA PLUS. 2566. “รู้หรือไม่!? น้ำเกลือ ทำอะไรได้มากกว่าแค่การล้างแผล” [Online]. Available : <https://www.exta.co.th/saline/?fbclid=IwAR2TqNA2YRqxoBdJQOZwt>
- [3] บอช แอนด์ ลอมป์. 2564. “น้ำเกลือแช่คอนแทคเลนส์ได้หรือไม่” [Online]. Available : <https://www.bausch.co.th/eye-knowledge/ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดคอนแทคเลนส์/Content2?fbclid=IwAR2TqNA2Y>
- [4] ธนู โกมลไสย. 2564. “น้ำเกลือแบ่งออกได้กี่ชนิด มีข้อบ่งใช้ และข้อควรระวังอะไรบ้าง” [Online]. Available : <https://hd.co.th/saline-solution-types-and-uses? 5HU8Hg>
- [5] ถาวร ลิกขโกศล. “อัตลักษณ์จีนแต่จีว (1) นิตยสารศิลปและวัฒนธรรมฉบับ 3 มกราคม 2552 หน้า 158 อุบล ดีสวัสดิ์. พะโล้. กทม. แม่บ้าน. 2552. หน้า 11 “น้ำปลา” [Online]. Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/น้ำปลา?fbclid=IwAR1Zdbt1>
- [6] ค้วน ขาวหนู. “น้ำปลา วิธีทำน้ำปลา ส่วนประกอบของน้ำปลา” [Online]. Available : <https://www.healthcarethai.com/น้ำปลา/?fbclid=IwAR2jk->
- [7] ประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง เกลือบริโภค. กระทรวงสาธารณสุข. 2554.
- [8] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เกลือบริโภค มอก. 2085-2544. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [9] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. “เกลือ...คุณค่าที่มากกว่าความเค็ม”. [Online]. Available : <http://nstda.or.th/rural/public/100%20articles-stkc/45.pdf>.
- [10] วรวรรณ ชัยลิมปมนตรี. ลดเค็มครึ่งหนึ่ง คนไทยห่างไกลไตวาย. สมาคมโรคไตแห่งประเทศไทย. [Online]. Available : https://nutrition2.anamai.moph.go.th/th/dm-km/download?id=40490&mid=31943&mkey=m_document&lang=th&did=14334&f
- [11] คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล, medthai.com, hd.co.th และ โรงพยาบาลราชวิถี 2565. ประโยชน์และโทษของ “โซเดียม” ที่มีต่อร่างกาย [Online]. Available : <https://mgronline.com/goodhealth/detail/9650000050105?fbclid=IwAR0s>
- [12] ศูนย์เบาหวานศิริราช Siriraj Diabetes Center; SiDC คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มหาวิทยาลัยมหิดล. **โซเดียม** [Online]. Available : https://www.si.mahidol.ac.th/th/division/diabetes/admin/knownledges_files/5_44_1.pdf
- [13] สุกิจ รักษาสุข. 2561. **มารู้จักโซเดียมกันเถอะ** [Online]. Available : https://www.si.mahidol.ac.th/th/tvdetail.asp?tv_id=693&fbclid=IwAR008I9
- [14] มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา. **การไทเทรตแบบตะตะกอน** [Online]. Available : http://oservice.skru.ac.th/ebookft/811/chapter_10.pdf?fbclid=IwAR
- [15] **NaCl โซเดียมคลอไรด์**. 2565. [Online]. Available : <https://gammaco.com/gammaco/>
- [16] อนุสิษฐ์ เกื้อกุล. 2560. **สารประกอบไอออนิก**. [Online]. Available : <https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/7-31?fbclid=tl>
- [17] **เกลือและการใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร** [Online]. Available : [http://old-book.ru.ac.th/e-book/f/FD323\(54\)/FD323-9.pdf?fbclid=I](http://old-book.ru.ac.th/e-book/f/FD323(54)/FD323-9.pdf?fbclid=I)
- [18] **น้ำเกลือ (การแพทย์)** [Online]. Available : [https://th.wikipedia.org/wiki/น้ำเกลือ_\(การแพทย์\)](https://th.wikipedia.org/wiki/น้ำเกลือ_(การแพทย์))
- [19] **Sodium Chloride** [Online]. Available : <http://ohs.sci.dusit.ac.th/wp/>
- [20] **การตรวจวัดปริมาณเกลือในอาหาร วิธีการวัดปริมาณเกลือ โซเดียม คลอไรด์ และแร่ธาตุ** [Online]. Available : <https://www.mt.com/th/th/home/applications/laboratory/food-and-beverages/salt-sodium-chloride.html>
- [21] **การผลิตโซเดียมคลอไรด์** [Online]. Available : http://www.digitalschool.club/digitalschool/chemical2_2_1/chemical4_3/more/page2.php#:~:text=ีการผลิตเกลือ%20ใช้,เกลือจากบ่อน้ำบาดาล
- [22] **โพเทนชิอเมตริกไทเทรชันของปฏิกิริยาการตกตะกอน. การทดลองที่6.**
- [23] Metrohm. Thermo. Titr. Application Note No. H-058 **Determination of sodium as Chloride in Ketchup and Sauces (การวิเคราะห์โซเดียมในรูปของคลอไรด์ในซอสมะเขือเทศและซอสปรุงรส)** [Online]. Available : https://www.metrohm.com/bg_bg/applications/application-notes/an-h-001-100/an-h-058.html
- [24] SI Analytics a xylem brand. SI Analytics-Application report Titration. **Titration of sodium chloride in Sauce (การไทเทรตโซเดียมคลอไรด์ในซอส)** [Online]. Available :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

https://www.xylemanalytics.com/File%20Library/Resource%20Library/SIA/09%20Application%20Papers/UK/sodium_chloride_in_sauces_EN.pdf

- [25] METTLER TOLEDO. Workshop 2. **Sodium Chloride Content in Ketchup by Precipitation Titration (หาปริมาณโซเดียมคลอไรด์ในซอสมะเขือเทศ โดยกระบวนการไทเทรตแบบทำให้ตกตะกอน)** [Online]. Available :
file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/sodium-chloride-content-in-ketchup-microsep.pdf



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ

วันที่ 25 เดือน มิถุนายน พ.ศ 2566

ข้าพเจ้า นางสาวเบญจมาภรณ์ ฉีดจินดา รหัสประจำตัว 62050299

นางสาวปภาวรินทร์ พุทธสะ รหัสประจำตัว 62050300

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม ภาควิชา เคมี ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย การพัฒนาวิธีวิเคราะห์คลอไรด์

ชื่อภาษาอังกฤษ Development of Method for Determination of Chloride

ปีการศึกษา 2565

เป็นผลงานวิจัยที่มีได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 1.03 %

ลงชื่อ เบญจมาภรณ์ ฉีดจินดา

ลงชื่อ ปภาวรินทร์ พุทธสะ

(นางสาวเบญจมาภรณ์ ฉีดจินดา)

(นางสาวปภาวรินทร์ พุทธสะ)

นักศึกษา

นักศึกษา

ข้าพเจ้า ผศ.ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษของนักศึกษาข้างต้น แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....วิบูลย์.....

(ผศ.ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงอาจารย์ที่ปรึกษาข้างอึ่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้