

การประยุกต์ใช้ซิลเวอร์นาโนเพลทสำหรับวิเคราะห์คลอไรด์

APPLICATION OF SILVER NANOPATES FOR
DETERMINATION OF CHLORIDE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การประยุกต์ใช้ซิลเวอร์นาโนเพลทสำหรับวิเคราะห์คลอไรด์

APPLICATION OF SILVER NANOPATES FOR
DETERMINATION OF CHLORIDE



สงวนลิขสิทธิ์
พ.ศ. ๒๕๕๘
เลขหมู่.....149181
เลขทะเบียน.....
วันเดือนปี.....29. 2. 2561

b. 4๘๘๐4๕๐
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION OF SILVER NANOPlates FOR
DETERMINATION OF CHLORIDE



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


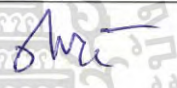
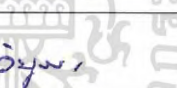
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การประยุกต์ใช้ซิลเวอร์นาโนเพลทสำหรับวิเคราะห์คลอไรด์
Application of Silver Nanoplates for Determination of Chloride

ชื่อนักศึกษา นางสาวไพรินทร์ ลีสกุล รหัสนักศึกษา 55050756
นางสาวสุภาวดี บุญญารักษ์ รหัสนักศึกษา 55050845
นางสาวอภิชา มหาผลศิริกุล รหัสนักศึกษา 55050860

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา เคมี
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
(เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.เสาวภาคย์ ธีระทรง ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น กรรมการ	
ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การประยุกต์ใช้ซิลเวอร์นาโนเพลทสำหรับการวิเคราะห์คลอไรด์
ชื่อนักศึกษา	นางสาวไพรินทร์ ลีสกุล รหัสนักศึกษา 55050756 นางสาวสุภาวดี บุญญารักษ์ รหัสนักศึกษา 55050845 นางสาวอภิชา มหาผลศิริกุล รหัสนักศึกษา 55050860
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ ได้ทำการประยุกต์ใช้ซิลเวอร์นาโนเพลทสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ ทำการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนเพลทรูปสามเหลี่ยม โดยใช้ซิลเวอร์ไนเตรทเป็นสารตั้งต้น ได้สารละลายเป็นสีฟ้าเข้ม นำไปทำปฏิกิริยากับคลอไรด์ไอออนในอัตราส่วนโดยปริมาตร 3:0.25 ทั้งไว้ 10 นาที ตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ ได้ความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 50-250 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ความสัมพันธ์เชิงสมการคือ $y = -0.0005x + 1.1946$ และสัมประสิทธิ์การตัดล้นใจเท่ากับ 0.9948 การประยุกต์ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำประปาและตัวอย่างน้ำดื่ม 2 ชนิด พบปริมาณคลอไรด์ไอออนเท่ากับ 229.40 ± 0.59 , 193.40 ± 7.34 และ 60.00 ± 12.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

คำสำคัญ : คลอไรด์ไอออน ซิลเวอร์นาโนเพลท ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี

Title	Application of Silver Nanoplates for Determination of Chloride		
Students	Miss Pairin	Leesakul	Student ID 55050756
	Miss Supawadee	Boonyarak	Student ID 55050845
	Miss Apicha	Mahaponsirikul	Student ID 55050860
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2015		
Advisor	Asst.Prof.Dr.Wiboon Praditweangkum		

Abstract

This special project aims to study the application of silver nanoplates for determination of chloride. Triangular silver nanoplates (Ag-TNPs) have been synthesized by using silver nitrate as initial reagent to form the dark blue solution. This solution is mixed together with chloride ions by the volume ratio of 3:0.25. After keeping for 10 minutes, the absorbance is detected by using UV-Vis Spectrophotometer. The calibration graph can be plotted between absorbance and concentration of standard chloride solutions. The linearity is in range from 50–250 mg/L and linear equation is $y = -0.0005x + 1.1946$ with a correlation coefficient (r^2) = 0.9948. The application to tap water and two types of bottled water, chloride can be found 229.40 ± 0.59 , 193.40 ± 7.34 and 60.00 ± 12.83 mg/L, respectively.

Keywords : Chloride ion , Silver Nanoplates , UV-Vis Spectrophotometry

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ โดยได้รับความกรุณาจาก ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ ที่ให้โอกาสในการเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ โดยเป็นผู้ให้คำแนะนำ ให้ความรู้ สอนทักษะ ในการปฏิบัติงาน และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เป็นอย่างดีมาโดยตลอด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณด้วยความเคารพอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับ ผศ.ดร.เสาวภาคย์ อีราทรง และ ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เจริญชั้น คณะกรรมการโครงการพิเศษ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ ข้อบกพร่อง ตลอดจนแก้ไข ข้อผิดพลาดเพิ่มเติม ทำให้โครงการพิเศษฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาเคมี เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี และเจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานต่างๆ

ขอบคุณเพื่อนที่คอยเป็นกำลังใจเวลาที่เจออุปสรรคปัญหาต่างๆ เป็นที่ปรึกษาเวลาเกิดปัญหา และคอยให้คำแนะนำต่างๆ รวมทั้งบุคคลรอบข้างที่ให้กำลังใจช่วยให้ผ่านพ้นเรื่องราวต่างๆ มาได้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือและกำลังใจจากคุณพ่อและคุณแม่ พี่น้อง และเพื่อนๆ ตลอดจนบุคคลต่างๆ ที่ให้ความช่วยเหลือที่ผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวนามได้หมดในที่นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความปรารถนาดีของทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง จึงขอขอบพระคุณทุกๆ ท่านไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ไพรินทร์ ลีสกุล
สุภาวดี บุญญารักษ์
อภิชา มหาผลศิริกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 คลอรีน (Chlorine).....	3
2.1.1 สมบัติและลักษณะทั่วไปของคลอรีน.....	3
2.1.2 สมบัติของคลอรีน.....	3
2.1.3 ประเภทของคลอรีน.....	4
2.1.4 ข้อดีของคลอรีน.....	4
2.1.5 ข้อเสียของคลอรีน.....	4
2.1.6 ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับคลอรีน.....	4
2.1.7 การนำไปใช้ประโยชน์ของคลอรีน.....	5
2.2 มาตรฐานคุณภาพทางเคมีของน้ำ.....	6
2.2.1 มาตรฐานทางเคมีของน้ำบริโภค.....	6
2.2.2 มาตรฐานทางเคมีของน้ำดื่ม.....	7
2.3 วิธีวิเคราะห์คลอไรด์.....	8
2.3.1 วิธีซิลเวอร์ไนเตรท.....	8
2.3.2 วิธีเมอร์คิวรี(II)ไนเตรท.....	9
2.3.3 วิธีซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์อิเล็กโทรด.....	9
2.4 ซิลเวอร์นาโน.....	10
2.4.1 สมบัติและลักษณะทั่วไปของซิลเวอร์นาโน.....	10
2.4.2 คุณสมบัติของซิลเวอร์นาโนรูปสามเหลี่ยม.....	11
2.4.3 คุณสมบัติของเซอร์เฟซ พลาสมอน เรโซแนนท์.....	11
2.4.4 คุณสมบัติการเรืองแสง.....	12
2.5 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างซิลเวอร์นาโนเพลทกับคลอไรด์.....	12
2.6 หลักการ UV-Vis Spectrophotometry.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.1 สเปกโทรสโกปี.....	13
2.6.2 แสง.....	13
2.6.3 อัลตราไวโอเลตวิสิเบิล.....	13
2.6.4 หลักการดูดกลืนแสงยูวี-วิสิเบิล.....	13
2.6.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดกลืนแสง.....	14
2.7 เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer.....	15
2.7.1 การตรวจวัดปริมาณแสงในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวด้วยเครื่องยูวี- วิสิเบิลสเปกโทโฟโตมิเตอร์.....	15
2.7.2 กฎการดูดกลืนแสงของเบียร์และแลมเบิร์ต.....	15
2.7.3 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer.....	17
2.7.4 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท.....	17
2.7.5 ข้อควรปฏิบัติในการใช้เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer.....	18
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	20
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	20
3.1.1 สารเคมี.....	20
3.1.2 อุปกรณ์.....	20
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	21
3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง.....	22
3.3.1 ศึกษาระบบสำหรับการหาปริมาณคลอไรด์โดยใช้ซิลเวอร์นาโนเพลท.....	22
3.3.2 ศึกษาช่วงความเข้มข้นของคลอไรด์ที่เหมาะสม.....	23
3.3.3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของคลอไรด์ที่ใช้ในการตรวจวัด.....	24
3.3.4 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัด.....	24
3.3.5 วิเคราะห์ตัวอย่าง.....	24
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	26
4.1 ศึกษาระบบสำหรับการหาปริมาณคลอไรด์โดยใช้ซิลเวอร์นาโนเพลท.....	26
4.2 ศึกษาช่วงความเข้มข้นของคลอไรด์ที่เหมาะสม.....	28
4.3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของคลอไรด์ที่ใช้ในการตรวจวัด.....	30
4.4 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัด.....	32
4.5 วิเคราะห์ตัวอย่าง.....	33
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	36
เอกสารอ้างอิง.....	38
ภาคผนวก.....	40
ภาคผนวก ก.....	41
ภาคผนวก ข.....	47

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ค.....	48
ภาคผนวก ง.....	50
ภาคผนวก จ.....	53
ภาคผนวก ฉ.....	56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภคโดยองค์การอนามัยโลก พ.ศ. 2539	6
2.2 คุณภาพหรือมาตรฐานน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทตามประกาศกระทรวง สาธารณสุข (ฉบับที่ 256) พ.ศ. 2545 เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 4)	7
2.3 แสดงสีของช่วงการดูดกลืนแสงและการดูดซับ	14
4.1 แสดงปริมาณคลอไรด์ไอออนที่ตรวจพบโดยวิธีการใช้ซิลเวอร์นาโนเฟลทที่ สังเคราะห์ขึ้น	34
4.2 แสดงความแม่นยำของวิธีการทดสอบหาปริมาณคลอไรด์โดยใช้ซิลเวอร์นาโนเฟลท	35
4.3 แสดงช่วงการยอมรับได้ของร้อยละการคืนกลับ	35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงช่วงความยาวคลื่นของซิลเวอร์นาโนเพลท	11
2.2 แสดงผลของซิลเวอร์นาโนเพลทเมื่อทำปฏิกิริยากับคลอไรด์ไอออน	12
2.3 ตัวอย่างสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	13
2.4 แสดงการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง	16
2.5 แผนผังแสดงส่วนประกอบของเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer แบบลำแสงเดี่ยว	17
2.6 แผนผังแสดงส่วนประกอบของเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer แบบลำแสงคู่	18
4.1 แสดงสีของการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนเพลท (ก) การสังเคราะห์ซิลเวอร์ นาโนขั้นแรก (ข) การสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนเพลท	26
4.2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Vis Spectro- photometer	27
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับสารละลายมาตรฐาน คลอไรด์	27
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับสารละลายมาตรฐาน ความเข้มข้น 15 30 45 60 และ 75 มิลลิกรัมต่อลิตร	28
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับสารละลายมาตรฐาน ความเข้มข้น 50 75 100 150 200 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร	29
4.6 แสดงกราฟการดูดกลืนแสงของสารที่มีสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (ก) 3:0.05 (ข) 3:0.1 (ค) 3:0.25 (ง) 3:0.5 (จ) 3:1 (ฉ) 3:1.5 (ช) 3:2 (ซ) 3:3	30
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่อัตราส่วน 3:0.25	31
4.8 ผลการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาสำหรับการตรวจวัดการดูดกลืน แสงที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ 50 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร	33

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

น้ำ เป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต แต่ในปัจจุบันน้ำกลับเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในปัญหามลพิษทางสภาวะแวดล้อม เพราะน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี หากน้ำนั้นมีสารพิษหรือสารเคมีละลายปนอยู่ในปริมาณที่เกินกำหนด สารเหล่านี้จะทำให้น้ำมีคุณภาพไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ทั้งในด้านการอุปโภคและบริโภค ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการป้องกันและควบคุมไม่ให้น้ำเกิดการปนเปื้อน เพื่อให้น้ำมีความสะอาดและปลอดภัย น้ำที่ใช้ในการอุปโภคและบริโภคประกอบไปด้วยไอออนหลายชนิดไม่ว่าจะเป็น เหล็ก มังกานีส ทองแดง สังกะสี ซัลเฟต คลอไรด์ ฟลูออไรด์ และไนเตรท เป็นต้น ซึ่งไอออนที่เราสนใจศึกษา คือ คลอไรด์ ปริมาณคลอไรด์แสดงถึงคุณสมบัติของน้ำในการกัดกร่อน คลอไรด์เมื่ออยู่ในน้ำจะอยู่ในรูปคลอไรด์ ไอออนพบได้ทั่วไปในน้ำธรรมชาติและน้ำเสีย ถ้าในน้ำมีปริมาณคลอไรด์มากกว่า 250 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้น้ำมีรสเค็มเนื่องจากการรวมตัวกับโซเดียม เกิดเป็นโซเดียมคลอไรด์หรือเกลือแกง นอกจากนี้คลอไรด์ยังสามารถรวมตัวกับแคลเซียม และแมกนีเซียมในน้ำได้ อยู่ในรูปเกลือของแคลเซียมหรือแมกนีเซียม วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์มีหลายวิธีที่นิยมใช้ ดังนี้ Argentometric Method เหมาะกับตัวอย่างน้ำที่เป็นด่างเล็กน้อยหรือน้ำที่ค่อนข้างสะอาด ใช้วัดคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 0.15 ถึง 10 มิลลิกรัม ไทเทรตโดยใช้ซิลเวอร์ไนเตรท มีโปแทสเซียมโครเมตเป็นอินดิเคเตอร์ Mercuric Nitrate Methods ไทเทรตโดยใช้เมอคิวริกไนเตรท มีคาร์บาซีนเป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติได้สีม่วง วิธีนี้ง่ายต่อการทดสอบ Potentiometric Method (Reference Method) เหมาะกับตัวอย่างน้ำที่มีความขุ่นมากและน้ำเสียจากโรงงาน Automated Ferricyanide Method วิธีนี้ตัวอย่างน้ำก่อนนำมาทดสอบต้องมีการกำจัดสารปนเปื้อนออกก่อน เหมาะสำหรับการทดสอบกับน้ำดื่ม น้ำผิวดิน น้ำจากแหล่งชุมชนและน้ำเสียจากโรงงาน Mercuric Thiocyanate Flow injection Analysis เหมาะสำหรับตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณมาก น้ำตัวอย่างจะเข้าสู่ carrier stream ซึ่งจะมีการเติมเมอคิวริกไทโอไซยาเนตและเฟอริกไนเตรท เกิดเป็นสารเชิงซ้อนของคลอไรด์กับปรอท ตรวจวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 480 นาโนเมตร เป็นต้น ซึ่งการเลือกวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ในน้ำจะขึ้นอยู่กับลักษณะตัวอย่างน้ำ แหล่งที่มา ความสะอาดของอุปกรณ์ ความรวดเร็วในการวิเคราะห์ ความแม่นยำของวิธี เพื่อให้การวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ได้ประสิทธิภาพที่ดี

จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเกิดช่องว่างในการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ โดยอาจจะมีการขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างที่ยุ่งยาก ต้องคำนึงถึงความขุ่นและแหล่งที่มาของน้ำจึงจะเลือกวิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมได้ บางวิธีมีข้อจำกัดว่าจำเป็นต้องใช้สารที่เป็นอันตราย เช่น ปรอท ผู้วิจัยจึงคิดค้นและพัฒนาการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์โดยการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนเฟลทจากซิลเวอร์ไนเตรท แล้วนำไปทำปฏิกิริยากับคลอไรด์ ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ซึ่งมีข้อดีในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ไม่นานจนเกินไป โดยจะอาศัยปฏิกิริยาที่เป็นที่รู้จักทั่วไปคือ ซิลเวอร์ (Ag^0) บนอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ขึ้นจากซิลเวอร์ไนเตรทจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกออกซิไดซ์ไปเป็นซิลเวอร์ (I) ไอออน (Ag^+) เมื่ออยู่ในน้ำ ซึ่งจะ去做ปฏิกิริยากับคลอไรด์ไอออนเกิดเป็นสารประกอบซิลเวอร์คลอไรด์เป็นตะกอนสีขาวเล็กๆ โดยการดูดกลืนแสงจะแปรผันตามปริมาณคลอไรด์ไอออน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำโดยใช้ซิลเวอร์นาโนเพลท

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาหลักการและพัฒนาการวิเคราะห์วิธีการหาคลอไรด์เชิงปริมาณ โดยทำการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนเพลทเพื่อนำไปใช้ทำปฏิกิริยากับคลอไรด์ แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาคลอไรด์เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำและประเมินความใช้ได้ของวิธีที่พัฒนาขึ้น

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.3.1 สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์หาคลอไรด์

1.3.2 ศึกษาหลักการการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์จากงานวิจัยเดิมที่เกี่ยวข้อง แล้วนำมาปรับใช้ในการหาคลอไรด์เชิงปริมาณ

1.3.3 ทำการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนเพลทสำหรับใช้ทดลองตรวจวัดคลอไรด์เชิงปริมาณ

1.3.4 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดคลอไรด์โดยใช้ซิลเวอร์นาโนเพลท

1.3.5 ประยุกต์ใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำดื่ม และน้ำประปา

1.3.6 ประเมินความใช้ได้ของวิธีที่พัฒนาขึ้นสำหรับวิเคราะห์คลอไรด์ในตัวอย่างน้ำโดยใช้ซิลเวอร์นาโนเพลท

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้วิธีวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำโดยใช้อุณหภูมิซิลเวอร์นาโนเพลท

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คลอรีน (Chlorine)

2.1.1 สมบัติและลักษณะทั่วไปของคลอรีน [7]

คลอรีน (Cl) จัดอยู่ในกลุ่มฮาโลเจนในตารางธาตุ ที่เป็นธาตุประกอบของเกลือ และสารประกอบอื่นๆ มีลักษณะเป็นก๊าซ สีเขียวอมเหลือง มีกลิ่นฉุน พบได้ในรูปของสารประกอบต่างๆ ในธรรมชาติ และก๊าซในบรรยากาศ จัดเป็นสารที่นำไปใช้ประโยชน์มากในการผลิตน้ำประปาสำหรับการฆ่าเชื้อ รวมถึงใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารหลายชนิดในภาคอุตสาหกรรมเคมี

คลอไรด์ (Chloride) เป็นชื่อเรียกคลอรีนที่อยู่ในสถานะสารประกอบต่างๆ หรือเป็นกลุ่มสารประกอบที่เรียกว่า สารประกอบคลอไรด์ (Chloride compound) เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) เป็นต้น

คลอรีน ในสภาวะปกติ จะอยู่ในรูปก๊าซสีเขียวอมเหลือง หากเพิ่มความดัน และอุณหภูมิที่สูงขึ้น จะเปลี่ยนเป็นของเหลวสีอำพัน และหากสัมผัสหรือผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาได้ เป็นสารที่มีคุณสมบัติออกซิไดซ์ และออกฤทธิ์กัดกร่อนอย่างรุนแรง

คลอรีนที่อยู่ในสถานะบรรจุจะอยู่ในสภาพของเหลวภายใต้ความดันสูง แต่หากอุณหภูมิสูงขึ้นของเหลวส่วนล่างในภาชนะบรรจุจะเปลี่ยนเป็นก๊าซทำให้แรงดันเพิ่มขึ้นอีก เช่น ก๊าซคลอรีนในภาชนะที่อุณหภูมิ 35 °C ความดันก๊าซจะประมาณ 10 บาร์ แต่หากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 65 °C ความดันก๊าซจะเพิ่มขึ้นเป็น 20 บาร์ ซึ่งหากภาชนะไม่สามารถรับแรงดันได้ก็จะเกิดการระเบิดได้ ดังนั้น ก๊าซคลอรีนที่เก็บภายในภาชนะบรรจุ ควรเก็บในที่ร่ม และมีอากาศถ่ายเทสะดวก

2.1.2 สมบัติของคลอรีน [7]

- สถานะ : ก๊าซ (สีเขียวอมเหลือง), ของเหลว (สีเหลืองอำพัน)
- กลิ่น : กลิ่นฉุนแสบจมูก
- จุดเดือด : -34.6 องศาเซลเซียส
- จุดหลอมเหลว : -101 องศาเซลเซียส
- เมื่อเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซปริมาตรจะเพิ่มขึ้น 450 เท่า
- หนักกว่าอากาศ 2.5 เท่า
- ละลายน้ำได้เล็กน้อย
- ไม่ระเบิด แต่อาจระเบิดได้ถ้าบรรจุในภาชนะที่มีแรงดันสูง
- ไม่ติดไฟแต่มีคุณสมบัติช่วยให้ไฟติด

2.1.3 ประเภทของคลอรีน [7]

2.1.3.1 ก๊าซคลอรีน (Chlorine Gas)

เป็นคลอรีนในสถานะก๊าซที่นิยมใช้มากสำหรับการฆ่าเชื้อในกระบวนการผลิตน้ำประปา ซึ่งจะกล่าวถึงการแตกตัวของปฏิกิริยาในด้านล่าง

2.1.3.2 คลอรีนน้ำ (Liquid Chlorine)

เป็นคลอรีนที่อยู่ในรูปของสารละลาย นิยมใช้มากสำหรับการฆ่าเชื้อในลักษณะต่างๆ ผลิตภัณฑ์ที่นิยมใช้ คือ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaClO) เป็นสารละลายสีเขียวอมเหลือง มีปริมาณคลอรีนประมาณร้อยละ 7-15 ซึ่งมักใช้ในระบบผลิตน้ำประปาขนาดเล็ก ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ ระบบบำบัดน้ำเสีย การฆ่าเชื้อในท่อน้ำ การฆ่าเชื้อโรคในน้ำ และการทำความสะอาดพร้อมทั้งกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ในบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น

2.1.3.3 คลอรีนผงหรือเม็ด (Solid Chlorine)

เป็นคลอรีนที่อยู่ในรูปของแข็งที่เป็นผงหรือเม็ด เช่น แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) มีลักษณะเป็นผงสีขาว มีปริมาณคลอรีนประมาณร้อยละ 65-71 ซึ่งเวลาใช้มักนำมาละลายน้ำก่อน นิยมใช้ในพื้นที่ทุรกันดารที่ยากต่อการขนส่ง

2.1.4 ข้อดีของคลอรีน [2]

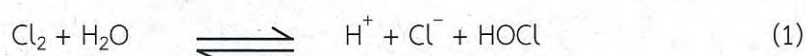
คลอรีนมีข้อได้เปรียบสารอื่นๆ ที่ใช้ฆ่าเชื้อโรคในน้ำหลายประการ ได้แก่ ราคาถูกเหมาะสมกับสภาพเศรษฐกิจของสังคมไทยเมื่อเทียบกับสารที่ใช้ฆ่าเชื้อโรคชนิดอื่นๆ เช่น โอโซน คลอรีน ไดออกไซด์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น หาซื้อง่ายมีจำหน่ายทั่วไป มีให้เลือกใช้หลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นคลอรีนก๊าซ คลอรีนน้ำ และคลอรีนผง ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำผลิต การเติมคลอรีนลงในน้ำค่อนข้างง่ายและไม่ยุ่งยากซับซ้อน

2.1.5 ข้อเสียของคลอรีน [2]

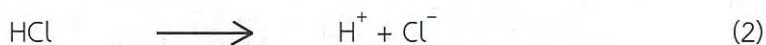
กรณีที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงจะทำให้สิ้นเปลืองคลอรีนมาก เนื่องจากคลอรีนส่วนหนึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ เกิดเป็นสารพวก THMs ซึ่งเป็นสารพิษให้โทษต่อร่างกาย และในกรณีที่มีค่าพีเอชสูงเกิน 8 ขึ้นไป ประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อโรคจะลดลง เนื่องจากคลอรีนอิสระจะอยู่ในรูปของ OCl^- ดังนั้นการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนต้องปรับปรุงพีเอชไม่ให้สูงจนเกินไป

2.1.6 ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับคลอรีน [7]

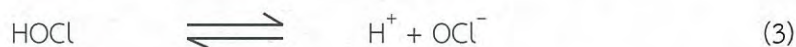
ปฏิกิริยาของคลอรีนในน้ำ เมื่อก๊าซคลอรีนอยู่ในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ให้กรดไฮโปคลอรัส และกรดไฮโดรคลอริก ดังแสดงในสมการ (1)



กรดเกลือ (HCl) (แตกตัวได้อย่างสมบูรณ์) แตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนและคลอไรด์ไอออน ดังแสดงในสมการ (2)



การแตกตัวของกรดไฮโปคลอรัส (HOCl) (แตกตัวได้บางส่วน) แตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนและไฮโปคลอไรต์ไอออน ดังแสดงในสมการ (3)



เมื่อก๊าซคลอรีนผสมกับน้ำ คลอรีนจะอยู่ในรูปของกรดไฮโปคลอรัส ไฮโปคลอไรต์ไอออน และก๊าซคลอรีนอิสระ แต่คลอรีนที่อยู่ในรูปของของก๊าซคลอรีนอิสระ จะคงอยู่ในน้ำได้เพียงชั่วคราวเท่านั้น ซึ่งจะเกิดการสลายตัวหรือระเหยอย่างรวดเร็ว เมื่อคลอรีนผสมกับน้ำจะทำให้พีเอชของน้ำลดลง แต่ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อของกรดไฮโปคลอรัส และไฮโปคลอไรต์ไอออนจะยังเท่าเดิม ทั้งนี้กรดไฮโปคลอรัสจะออกฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อสูงกว่าไฮโปคลอไรต์ไอออนหลายเท่า เนื่องจากมีฤทธิ์ออกซิไดซ์ที่สูงกว่า รวมถึงไฮโปคลอไรต์ไอออนมีประจุลบ ทำให้เข้าจับกับเซลล์ที่มีประจุลบเหมือนกันไม่ได้ ส่วนกรดไฮโปคลอรัสเป็นสารไม่มีประจุ ทำให้เข้าจับกับเซลล์ทุกชนิดได้ดีกว่า ในกรณีที่เติมคลอรีนในน้ำที่มีแอมโมเนียจะทำให้ประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อลดลง เช่น การเติมกรดไฮโปคลอรัสในน้ำที่มีแอมโมเนีย คลอรีนส่วนมากจะเข้าทำปฏิกิริยากับแอมโมเนีย

2.1.7 การนำไปใช้ประโยชน์ของคลอรีน [5]

- ใช้ผลิต vinyl chloride monomer (VCM) ซึ่งใช้สำหรับการผลิตโพลีไวนิลคลอไรด์
- ใช้ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย และจุลินทรีย์ในการผลิตน้ำประปา น้ำดื่ม และบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ
- ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ ทำยาฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ทำสีผสมอาหาร สี ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ยาฆ่าแมลง พลาสติก เวชภัณฑ์ อุตสาหกรรมเท็กซ์ไทล์ ฯลฯ
- ในทางอินทรีย์เคมี ใช้ธาตุนี้ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันและทำปฏิกิริยาแทนที่ เพราะคลอรีนมีคุณสมบัติเคมีที่ต้องการในสารประกอบอินทรีย์ เมื่อเข้าไปแทนที่ไฮโดรเจนใช้สำหรับการผลิตสารอินทรีย์ ได้แก่ chlorinate hydrocarbons, phosgene, chlorinate hydrocarbons, ethylene dichloride, carbontetrachloridetrichloroethylene, polychloropene(neoprene) chloroacetic acid, chlorobenzene ethyl dichloride(EDC)
- ใช้ในการผลิตคลอเรต (chlorates) เช่น คลอโรฟอร์ม (chloroform) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (carbon tetrachloride) และใช้ในการสกัดโบรมีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 มาตรฐานคุณภาพทางเคมีของน้ำ [20]

ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการบริโภคกำหนดให้น้ำจะต้องมีปริมาณคลอไรด์สูงสุดได้ไม่เกิน 250.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (คำนวณเป็นคลอรีน) และคุณลักษณะน้ำบาดาลที่ใช้บริโภคจะต้องมีปริมาณคลอไรด์สูงสุดได้ไม่เกิน 600 มิลลิกรัมต่อลิตร (ค่าที่เหมาะสม คือ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร) ฉะนั้นเพื่อควบคุมให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำต่างๆ อันเนื่องมาจากปริมาณคลอไรด์จากน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรมน้อยที่สุด จึงต้องมีมาตรการควบคุมดูแลการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอย่างใกล้ชิดและควรเก็บข้อมูลคุณลักษณะน้ำทิ้งและแหล่งรองรับน้ำต่างๆ เพื่อใช้ในการพิจารณาหามาตรการป้องกันและแก้ไขปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นต่อไป โดยเฉพาะในสถานการณ์ตรวจวัดปริมาณเกลือแคงซึ่งจะสามารถวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์เพื่อจะได้ทราบปริมาณของโซเดียมคลอไรด์ได้

2.2.1 มาตรฐานทางเคมีของน้ำบริโภค

องค์การอนามัยโลกกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภค ดังแสดงตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภคโดยองค์การอนามัยโลก พ.ศ. 2539 [20]

ข้อมูล	หน่วยวัด	เกณฑ์ที่กำหนด
ความเป็นกรด-ด่าง	-	-
สี	แพลตตินัมโคบอลต์	ไม่เกิน 15
ความขุ่น	เอ็นทียู	ไม่เกิน 5
สารละลายทั้งหมดที่เหลือจากการระเหย	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 1,000
ความกระด้าง	มิลลิกรัมต่อลิตร	-
เหล็ก	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.3
แมงกานีส	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.1
ทองแดง	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 1.0
สังกะสี	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 3
ตะกั่ว	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.01
โครเมียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.05
แคดเมียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.003
สารหนู	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.01
ปรอท	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.001
ซิลเฟต	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 250
คลอไรด์	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 250
ไนเตรท	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 50
ฟลูออไรด์	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 1.5
แบคทีเรียประเภทโคลิฟอร์ม	เอ็นพีเอ็นต่อ100มิลลิกรัม	ไม่พบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภคโดยองค์การอนามัยโลก พ.ศ. 2539 (ต่อ)

ข้อมูล	หน่วยวัด	เกณฑ์ที่กำหนด
อี.โคไลหรือเทอร์โมโธแลอแรนท์โคลิฟอร์ม แบคทีเรีย	เอ็นพีเอ็นต่อ100มิลลิกรัม	ไม่พบ
แบเรียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.7
ฟีนอล	มิลลิกรัมต่อลิตร	-
ซิลิเนียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.01
เงิน	มิลลิกรัมต่อลิตร	-
อลูมิเนียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.2

2.2.2 มาตรฐานทางเคมีของน้ำดื่ม

กระทรวงสาธารณสุขกำหนดมาตรฐานทางเคมีของน้ำดื่ม ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 256) พ.ศ. 2545 เรื่องบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 4) ดังแสดงตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณภาพหรือมาตรฐานน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 256) พ.ศ. 2545 เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 4) [20]

ข้อมูล	หน่วยวัด	เกณฑ์ที่กำหนด
ความเป็นกรด-ด่าง	-	6.5-8.5
สี	แพลตตินัมโคบอลท์	ไม่เกิน 20
ความขุ่น	เอ็นทียู	ไม่เกิน 5.0
ปริมาณสารทั้งหมด	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 500
ความกระด้างทั้งหมด	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 100
เหล็ก	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.3
แมงกานีส	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.05
ทองแดง	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 1.0
สังกะสี	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 5.0
ตะกั่ว	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.05
โครเมียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.05
แคดเมียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.005
สารหนู	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.05
ปรอท	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.002
ซัลเฟต	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 250
คลอไรด์	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 250
ไนเตรท	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 4.0 (asN)
ฟลูออไรด์	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.7
แบคทีเรียประเภทโคลิฟอร์ม	เอ็นพีเอ็นต่อ100มิลลิกรัม	น้อยกว่า 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 คุณภาพหรือมาตรฐานน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 256) พ.ศ. 2545 เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 4) (ต่อ)

ข้อมูล	หน่วยวัด	เกณฑ์ที่กำหนด
อี.โคไลหรือเทอร์โมโทเลอแรนท์โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	เอ็นพีเอ็นต่อ100มิลลิกรัม	ไม่พบ
แบเรียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 1
ฟีนอล	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.001
ซิลิเนียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.01
เงิน	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.05
อลูมิเนียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.2
เอบีเอส (AlkylbenzeneSulfonate)	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.2
ไซยาไนด์	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.1
นิเกิล	มิลลิกรัมต่อลิตร	-

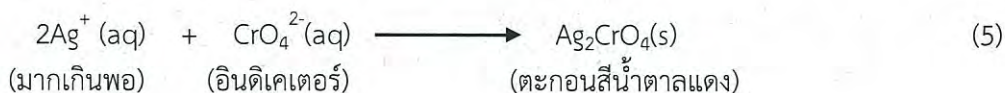
2.3 วิธีวิเคราะห์คลอไรด์ [1]

2.3.1 วิธีซิลเวอร์ไนเตรท (Argentometric Method)

การไทเทรตแบบตกตะกอนโดย Mohr's Method ซึ่งวิธีนี้ใช้ AgNO_3 เป็นไทแทรนต์และใช้ K_2CrO_4 เป็นอินดิเคเตอร์ สารละลาย AgNO_3 ที่ใช้จะต้องเทียบมาตรฐาน (Standardization) ด้วยสารละลายมาตรฐาน NaCl ซึ่งเตรียมจากเกลือแกงที่บริสุทธิ์ ในการไทเทรต Cl^- จะตกตะกอนลงมาเป็นตะกอนสีขาวของ AgCl ดังแสดงในสมการ (4)



โดยในการไทเทรตจะไม่สามารถเห็นจุดสมมูลได้ด้วยตาเปล่า ดังนั้นจึงต้องใช้อินดิเคเตอร์เป็นตัวช่วยบอก โดยในการไทเทรตนั้นเมื่อถึงจุดยุติ Cl^- จะหมดไป ดังนั้นเมื่อหยด Ag^+ ลงไปอีก Ag^+ ที่เกินพอจะทำปฏิกิริยากับ CrO_4^{2-} เกิดเป็นตะกอนสีน้ำตาลแดงของ Ag_2CrO_4 ดังสมการ (5)



ความสามารถในการละลายของ Ag_2CrO_4 จะต้องมากกว่า AgCl เพื่อที่ว่า Cl^- ทั้งหมดจะได้ตกตะกอนก่อนที่สาร Ag_2CrO_4 จะเกิดขึ้น นั่นหมายความว่า Effective Solubility Product (K_{sp}) ของ Ag_2CrO_4 ต้องมากกว่าของ AgCl เล็กน้อย เนื่องจากอินดิเคเตอร์ชนิดนี้ต้องการปริมาณอินดิเคเตอร์ที่ใช้ในการไทเทรตจำนวนมากเกินพอ เพื่อที่จะทำให้เกิดตะกอนที่มีสีซึ่งตาสามารถมองเห็นได้ เราจึงต้องหาค่าที่มากเกินพอนี้ ซึ่งเรียกว่า Indicator Error โดยหาค่านี้จากการทำ Blank Titration ซึ่งต้องทำเช่นเดียวกับการไทเทรตดังกล่าวแทบทุกอย่าง และเอาไปลบออกจากค่าที่ได้จากการไทเทรตตัวอย่างเพื่อทราบปริมาณของ AgNO_3 ที่ทำปฏิกิริยากับคลอไรด์จริง

2.3.2 วิธีเมอร์คิวรี(II)ไนเตรต (Mercuric Nitrate Method)

เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์โดยไทเทรตตัวอย่างกับสารละลายมาตรฐานเมอร์คิวรี(II)ไนเตรต (Mercuric Nitrate) โดยใช้ไดเฟนิลคาร์บาโซน (diphenyl carbazone) เป็นอินดิเคเตอร์ เมื่อถึงจุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีฟ้า-ม่วง (blue-violet) วิธีนี้ใช้ในการหาคลอไรด์ปริมาณมาก คูสีที่จุดยุติได้ชัดเจน

2.3.3 วิธีซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์อิเล็กโทรด (Silver-silver Chloride Electrode Method)

แบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ

ก. วิธีการไทเทรต (Electrode Method with Silver Nitrate Titration) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์โดยใช้ซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์อิเล็กโทรด (Silver-Silver Chloride Electrode) ซึ่งจะใช้ซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์อิเล็กโทรดเป็นตัวบ่งชี้จุดยุติของปฏิกิริยาในการไทเทรตคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำด้วยสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรต โดยที่จุดยุติจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้ามากในขณะที่ใช้ปริมาณซิลเวอร์ไนเตรตเพียงเล็กน้อย วิธีการวิเคราะห์นี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับวิธีการวิเคราะห์วิธีที่ 2.3.1 แตกต่างตรงที่จะใช้คลอไรด์อิเล็กโทรดเป็นตัวบอกจุดยุติของปฏิกิริยาแทนการใช้สารเคมีเป็นอินดิเคเตอร์

ข. วิธีการวัดโดยตรง (Electrode Method with Direct Reading) เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์โดยใช้ซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์อิเล็กโทรด ซึ่งเป็น Ion Selective Electrode เฉพาะสำหรับคลอไรด์เท่านั้น โดยจะใช้ซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์อิเล็กโทรดในการวัด Electrode Potential ของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ แล้วสร้างกราฟมาตรฐานระหว่าง Electrode Potential กับ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์

วิธีซิลเวอร์ไนเตรท และวิธีเมอร์คิวรี(II)ไนเตรท เป็นวิธีที่คล้ายคลึงกันมากในหลายๆ ส่วน การเลือกว่าจะใช้วิธีไหนส่วนมากจึงขึ้นอยู่กับความพอใจและความสะดวกของแต่ละบุคคล โดยวิธีซิลเวอร์ไนเตรทจะเหมาะสำหรับใช้ในการวิเคราะห์คลอไรด์ในสารละลายหรือตัวอย่างน้ำที่ใสไม่ขุ่นมากนักโดยจะต้องมีปริมาณคลอไรด์ในน้ำตัวอย่างที่ไทเทรตในช่วง 0.15-10 มิลลิกรัมคลอไรด์ ส่วนวิธีเมอร์คิวรี(II)ไนเตรทมีลักษณะเหมือนกันกับวิธีซิลเวอร์ไนเตรท (Argentometric Method) แต่วิธีเมอร์คิวรี(II)ไนเตรท (Mucuric Nitrate Method) จะให้จุดยุติที่สามารถเห็นได้ง่ายและชัดเจนกว่าวิธีซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์อิเล็กโทรด ส่วนมากจะใช้กับตัวอย่างที่ยากแก่การไทเทรตโดยใช้สารเคมีเป็นอินดิเคเตอร์ซึ่งได้แก่ ตัวอย่างน้ำที่มีความขุ่นมาก

2.4 ซิลเวอร์นาโน

2.4.1 สมบัติและลักษณะทั่วไปของซิลเวอร์นาโน [4]

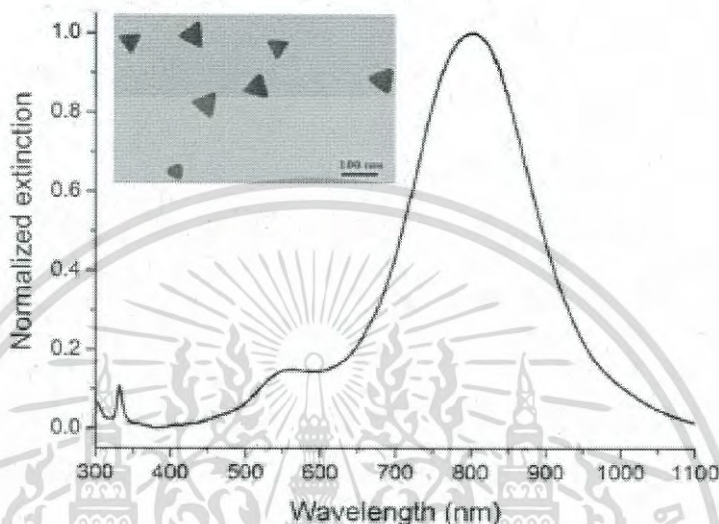
นาโนซิลเวอร์มีลักษณะสมบัติเหมือนกันกับซิลเวอร์ทั่วไป เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำแต่สามารถเปลี่ยนรูปเป็นไอออนซิลเวอร์ที่แตกตัวอยู่ในน้ำได้ ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ต่อไป นาโนซิลเวอร์เป็นของแข็งที่เป็นโลหะมักจะละลายน้ำ แต่จะอยู่ลักษณะรวมเป็นกลุ่มก้อน หรือในรูปของอนุภาคนาโนที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อนาโนซิลเวอร์ปรากฏในน้ำจะแตกตัวเป็นไอออนของซิลเวอร์และเกิดการออกซิเดชันที่ผิว ซึ่งจะทำได้ไอออนของโลหะที่ถูกออกซิไดซ์ในรูปของ Ag^+ ที่ล้อมรอบด้วยนาโนซิลเวอร์ที่ยังอยู่ในรูปโลหะหรืออนุภาคนาโนอยู่ในน้ำ อนุภาคนาโนซิลเวอร์เมื่อปรากฏในน้ำจึงจะให้ไอออนของซิลเวอร์ด้วย ซึ่งในการพิจารณาถึงเคมีของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ จึงต้องครอบคลุมถึงไอออนของซิลเวอร์ร่วมด้วย โดยรูปทรงและโครงสร้างของซิลเวอร์นาโนมีหลายรูปทรง เช่น โครงสร้างระดับนาโนของเงินแบบแท่ง โครงสร้างระดับนาโนของเงินแบบทรงลูกบาศก์ โครงสร้างระดับนาโนของเงินแบบเฟลท และโครงสร้างระดับนาโนของเงินแบบเส้นลวด

จากการที่นาโนซิลเวอร์มีขนาดเล็กกว่าซิลเวอร์ทั่วไปมากจึงทำให้มีลักษณะสมบัติในส่วนของพื้นผิวที่แตกต่างกันไป เช่น มีแนวโน้มที่จะระเบิดได้ซึ่งมาจากการที่สารนาโนซิลเวอร์มักมีอนุภาคที่มีขนาดเล็ก และเล็กกว่าซิลเวอร์ทั่วไปอย่างมาก การสะสมหรือรวมตัวเป็นฝุ่นของสารนาโนซิลเวอร์จึงจะทำให้เกิดการระเบิดได้ นอกจากนี้นาโนซิลเวอร์สามารถรวมเป็นก้อนกรานูลได้ ซึ่งเกิดขึ้นจากการที่สารนาโนซิลเวอร์มีขนาดเล็กมารวมกัน แต่ยังคงมีขนาดในระดับเล็กมาก เช่น สารนาโนซิลเวอร์ที่รวมกลุ่มมีขนาดเล็ก 15 หรือ 20 นาโนเมตร เป็นต้น ส่งผลให้ลักษณะสมบัติอื่นๆ เช่น พื้นผิว ชนิด ประจุบนพื้นผิว รวมทั้งลักษณะควอนตัมแตกต่างจากซิลเวอร์ทั่วไป ซึ่งส่งผลให้เกิดการนำนาโนซิลเวอร์ไปเป็นวัสดุสำหรับผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น พลาสติก ผ้า กระดาษ สี และสารเคลือบได้

อันตรกิริยาของซิลเวอร์นาโนเฟลททรงสามเหลี่ยม พบว่าจะเกิดปฏิกิริยากับไอออนลบ โดยพบว่าซิลเวอร์นาโนเฟลททรงสามเหลี่ยม (Ag -TNPs) มีการเข้าทำปฏิกิริยากับคลอไรด์ไอออน (Cl^-) และไอออนลบตัวอื่น เช่น ไอโอดีน (I^-), โบรมไนด์ (Br^-), ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (HS^-) และ ไทโอไซยาเนต (SCN^-)

2.4.2 คุณสมบัติของซิลเวอร์นาโนเพลทรวงสามเหลี่ยม (Ag-TNPs) [15]

เมื่อทำการไปวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscope) พบว่ามีรูปทรงเป็นสามเหลี่ยม และเมื่อนำไปวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis) พบว่าจะมีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ประมาณ 555-804 นาโนเมตร ดังแสดงในรูป 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงช่วงความยาวคลื่นของซิลเวอร์นาโนเพลทรวงสามเหลี่ยม [15]

2.4.3 คุณสมบัติเซอรัฟเฟซ พลาสมอน เรโซแนนซ์ (surface plasmon resonance) [4]

เซอรัฟเฟซ พลาสมอน เรโซแนนซ์ (surface plasmon resonance, SPR) คือปรากฏการณ์เชิงแสง เกิดจากอันตรกิริยาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและอิเล็กตรอนที่อยู่ในโลหะระดับนาโน กล่าวคือเมื่อมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกมาตกกระทบบนโลหะ กลุ่มอิเล็กตรอนที่ถูกจำกัดอยู่ในอนุภาคระดับนาโนจะเกิดการสั่นรวม (collective oscillation) และเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกมีความยาวคลื่นเดียวกับกับความยาวคลื่นที่อิเล็กตรอนสั่นในอนุภาคนาโน จะทำให้เกิดการกำทอนขึ้น ซึ่งอันตรกิริยาที่แสงกระทบต่อโลหะจะเกิดได้สองแบบ คือ แสงจะตกกระทบบนและสะท้อนออกไปด้วยความยาวคลื่นเท่าเดิมทุกทิศทาง เรียกว่าการกระเจิง (scattering) และในขณะเดียวกันบางโฟตอนก็จะถูกดูดกลืนและถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานการสั่น ซึ่งเรียกว่าการดูดกลืนแสง (absorption) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วโครงสร้างระดับนาโนของซิลเวอร์จะเกิดทั้งกระบวนการกระเจิงแสงและการดูดกลืนแสงซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของอนุภาคนาโน

นาโนซิลเวอร์ที่มีขนาดเล็กมาก สามารถแสดงคุณสมบัติเซอรัฟเฟซ พลาสมอน เรโซแนนซ์ ส่งผลให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ดูดกลืนแสงสเปกตรัม โดยช่วงความยาวคลื่นของแถบคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืนจะเป็นช่วงความยาวคลื่นที่สั้นลงกว่าเดิม คุณสมบัตินี้ของนาโนซิลเวอร์ได้ถูกนำไปใช้ในการผลิตเซนเซอร์สำหรับการแพทย์ และเซนเซอร์ในรูปแบบ lap-on-a-chip โดยพบว่าขนาดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะส่งผลต่อคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืน โดยยังมีขนาดเล็กจะทำให้ช่วงความยาวคลื่นของสเปกตรัมของแสงที่ถูกดูดกลืนจะสั้นลง โดยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เล็กลง (ขนาดน้อยกว่า 10 นาโนเมตร) จะสอดคล้องกับการดูดกลืนคลื่นในแถบแสงสีแดงและช่วยขยายความกว้างของตำแหน่งคลื่นการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วย นอกจากนี้คุณสมบัตินี้ยังได้นำไปใช้ในการทำเลเซอร์และระบบการนำพายา (drug delivery) ซึ่งอนุภาคนาโนซิลเวอร์ไม่เพียงแต่ดูดซับโฟตอนแม้ว่าจะอยู่ห่างจากต้นกำเนิดแสงเท่านั้น แต่ช่วยส่งผ่านความร้อนไปยังโพลีเมอร์โดยรอบ ทำให้ยาที่ถูกห่อหุ้ม (encapsulated) สามารถกระจายตัวออกมาจากแคปซูลพอลิเมอร์ได้ คุณสมบัติของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้ถูกนำไปใช้ในการรักษาด้วยเลเซอร์ โดยช่วงระยะเวลาในการรักษาโรคด้วยเลเซอร์ร่วมกับ polyelectrolyte multilayer capsule จะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์อีกด้วย

2.4.4 คุณสมบัติการเรืองแสง [4]

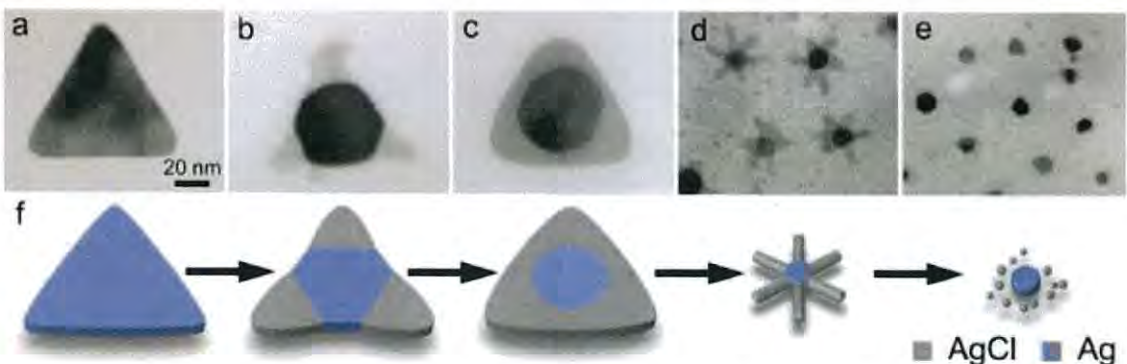
เป็นคุณสมบัติหนึ่งของวัสดุนาโนที่เป็นของแข็งเมื่อมีขนาด 30-80 นาโนเมตร คือการเปลี่ยนช่วงคลื่นแสง เช่น การปลดปล่อยความเข้ม และ photostability เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลต่อการเรืองแสงของวัสดุ โดยขนาดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะเพิ่มความเข้มแสงในช่วงคลื่นที่เกิดการเรืองแสงที่มีความคมชัดออกมา

2.5 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างซิลเวอร์นาโนเพลทกับคลอไรด์ [14]

การเกิดปฏิกิริยาระหว่างซิลเวอร์นาโนเพลทกับคลอไรด์ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน จะทำให้ Ag^0 บนพื้นผิวของอนุภาคนาโน เกิดการออกซิไดซ์เป็น Ag^+ และทำปฏิกิริยากับ Cl^- ดังแสดงในสมการ (6)



โดยเมื่อทำการแสดงภาพจากการตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscope) พบว่าแต่ละช่วงเวลาในการทำปฏิกิริยาของซิลเวอร์นาโนเพลทกับคลอไรด์ไอออนที่เกิดขึ้น ซิลเวอร์นาโนเพลททรงสามเหลี่ยมได้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง โดยเริ่มต้นจากมุมทั้งสามมุมของด้านสามเหลี่ยม และเมื่อเวลาผ่านไปซิลเวอร์นาโนจะเกิดการรวมตัวเข้าสู่ส่วนกลางของซิลเวอร์นาโนเพลท และเกิดการผสมกันของซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์ (Ag-AgCl) ดังรูป 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงผลของซิลเวอร์นาโนเพลทเมื่อทำปฏิกิริยากับคลอไรด์ไอออน [14]

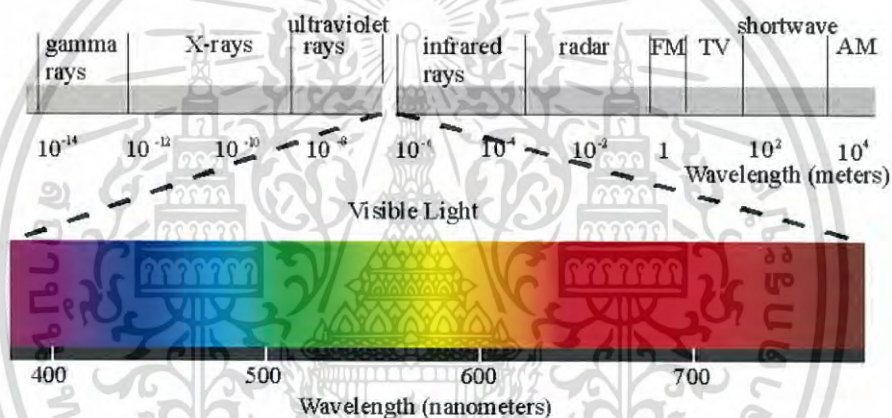
2.6 หลักการ UV-Vis Spectrophotometry [8]

2.6.1 สเปกโทรสโกปี

สเปกโทรสโกปี หมายถึง การแยก การตรวจสอบ และการบันทึกพลังงานที่เปลี่ยนไปที่ เกี่ยวกับ นิวเคลียส อะตอม ไอออน หรือโมเลกุล พลังงานที่เปลี่ยนไปเกิดจากอิมิซชัน (Emission) การดูดกลืน (Absorption) และการกระเจิง (Scattering) โดยในธรรมชาติสามารถดูดกลืนแสงรังสี หรือแสง ได้แตกต่างกัน

2.6.2 แสง

แสงเป็นคลื่นชนิดหนึ่งซึ่งประกอบด้วยสนามแม่เหล็ก (magnetic field) และสนามไฟฟ้า (electric field) ที่วางตัวตั้งฉากกันและสามารถเคลื่อนที่ได้ เรียกว่า electromagnetic spectrum



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า [19]

2.6.3 อัลตราไวโอเลตวิสิเบิล

เป็นเทคนิคที่วัดการดูดกลืนแสงหรือรังสีในช่วงอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิล ใช้แสงที่มีความยาวคลื่น 190-800 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงยูวีและวิสิเบิล สารที่สามารถดูดกลืนรังสีได้แก่ พวกสารประกอบอนินทรีย์ (Inorganic Compound) สารประกอบเชิงซ้อน (Complex Compound) และสารอินทรีย์ (Organic Compound) โดยสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งสารที่มีสีและไม่มีสี ในรูปธาตุหรือโมเลกุล ทำการวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ แต่เชิงคุณภาพอาจต้องใช้ร่วมกับเทคนิค IR และ NMR spectroscopy

2.6.4 หลักการดูดกลืนแสงยูวี-วิสิเบิล

เกิดจากการที่สารดูดกลืนแสงที่ผ่านเข้ามา ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของ อิเล็กตรอนวงรอบนอกสุด หรืออิเล็กตรอนที่เกิดพันธะ หรืออิเล็กตรอนที่ยังไม่เกิดพันธะ ซึ่งการรับพลังงานของธาตุหรือโมเลกุลแต่ละชนิดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพันธะ ทำให้เทคนิคนี้มีความเลือกเฉพาะ และใช้ได้ทั้งคุณภาพวิเคราะห์และปริมาณวิเคราะห์ การเปรียบเทียบตามความเข้มของสี เอกสารเป็นเอกสารที่ส่งวันเวสสำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่แจ้งชื่อผู้จัดทำ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นอาศัยหลักของการดูดกลืนแสง (absorbition) ในช่วงคลื่นบางขนาด อาทิเช่น การที่เราเห็นสารละลายบางชนิดมีสีน้ำเงินก็เพราะสารละลายนั้นดูดกลืนเอาแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วงของแสงสีเหลือง ส้ม แดง ไป และยอมให้แสงที่มีสีน้ำเงินลอดผ่านไปได้เราจึงเห็นสารละลายนั้นมีสีน้ำเงิน ดังแสดงในตาราง 2.3 ยิ่งสารละลายนั้นดูดกลืนแสงสีเหลืองและแดงไปมากเท่าใด เราก็จะเห็นสารละลายนั้นมีสีน้ำเงินเข้มยิ่งขึ้น ปริมาณการดูดกลืนแสงดังกล่าวนี้จึงขึ้นกับความเข้มข้นของสีที่ปรากฏในสารละลายนั้นๆ กล่าวคือ ยังมีสารที่มีสีมากก็จะดูดกลืนแสงในช่วงคลื่นได้มากด้วย

ตารางที่ 2.3 แสดงสีของช่วงการดูดกลืนแสงและการดูดซับ [8]

Wavelength(nm)	Absorbed color	Complementary color
<380	Ultraviolet	-
380-435	Violet	Yellow-green
435-480	Blue	Yellow
480-500	Blue-green	Orange
500-560	Green	Purple
560-580	Yellow-green	Violet
580-595	Yellow	Blue
595-650	Orange	Green- Blue
650-780	Red	Blue-green
>780	Near-infrared	-

2.6.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดกลืนแสง

2.6.5.1 โครโมฟอร์ คือ โมเลกุลของสารอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันแบบไม่เสถียรซึ่งดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิลและแสดงสมบัติของมันเป็นด้วยกัน 3 แบบ

- โครโมฟอร์ที่มี multiple bond ระหว่าง 2 อะตอมของธาตุ โดยไม่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว เช่น $C=C$

- โครโมฟอร์ที่มี multiple bond ระหว่าง 2 อะตอมของธาตุ โดยมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว เช่น $C=O$

- โครโมฟอร์ที่มี benzene ring ได้แก่ สารประกอบพวกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เช่น benzene, phenol

2.6.5.2 ออกโซโครม เป็นกลุ่มของธาตุที่ไม่ดูดกลืน แต่สามารถมีผลต่อ absorption spectrum ของโครโมฟอร์ที่มีออกโซโครมเกาะอยู่ ทำให้เกิดผลดังต่อไปนี้

- เกิด Bathochromic shift (red shift) ทำให้ spectrum เคลื่อนไปทางที่มีความยาวคลื่นมากขึ้น

- เกิด Hypsochromic shift (blue shift) ทำให้ spectrum เคลื่อนไปทางที่มีความยาวคลื่นลดลง

- เกิด Hyperchromic effect ทำให้เกิดการดูดกลืนแสงมากขึ้น ϵ_{max} เพิ่มขึ้น

- เกิด Hypochromic effect ทำให้เกิดการดูดกลืนแสงน้อยลง ϵ_{max} น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.5.3 ตัวทำละลายที่มีขั้ว เช่น สารอินทรีย์บางตัวที่มีหมู่คาร์บอนิล ทำให้เกิดการเคลื่อนไปของแถบการดูดกลืนพลังงาน เรียกว่า Solvent shift

2.6.5.4 สเตอริกของโมเลกุล ผลของโครงสร้างที่มีความเกะกะทำให้การเกิดอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้การวัดการดูดกลืนแสงเปลี่ยนแปลง เช่น สารประกอบที่มีหมู่ฟังก์ชันใหญ่ๆ จะทำให้ค่าการดูดกลืนสูงสุด เคลื่อนไปทางที่สั้นกว่า และค่า ϵ_{\max} น้อยลง

2.7 เครื่อง UV-vis spectrophotometer

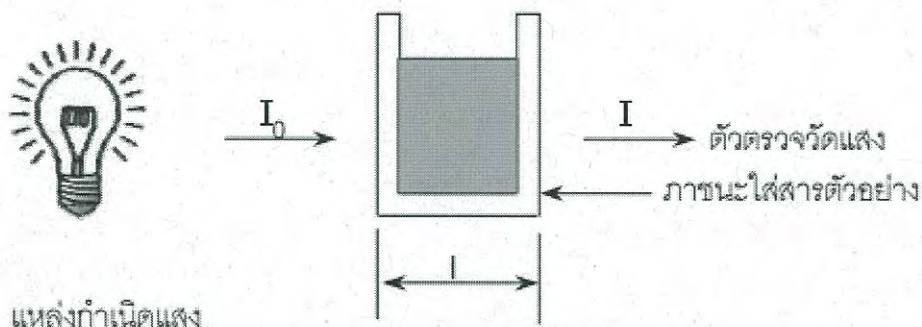
2.7.1 การตรวจวัดปริมาณแสงในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer) [11]

UV-Vis spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาว ที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ ความยาวคลื่นแสง จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณ และชนิดของสารที่มีอยู่ในตัวอย่างซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน และสารอนินทรีย์ ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้

เทคนิคนี้เลือกใช้แสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ต (ความยาวคลื่น 10-380 nm) และช่วงที่ตามองเห็น (ความยาวคลื่น 380-700 nm) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาใช้ในการวิเคราะห์ โดยอาศัยกระบวนการดูดกลืนและการส่งผ่านของแสง เริ่มจากเมื่อแสงผ่านไปยังตัวอย่าง ตัวอย่างจะมีการดูดกลืนแสงบางส่วนไว้และแสงที่ไม่ถูกดูดกลืนก็จะสามารถผ่านตัวอย่างออกไปได้ ข้อมูลที่ได้จากช่วงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet, UV) และช่วงที่ตามองเห็น (Visible) นั้นอาจใช้ในการช่วยยืนยันข้อมูลที่ได้จากช่วงอินฟราเรด (Infrared, IR) หรือข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอื่นที่ต่างกันแต่จะไม่สามารถใช้ระบุชนิดของสารได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นเทคนิคนี้ในการใช้เกือบทั้งหมดจะถูกใช้ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ในการหาปริมาณสารที่ต้องการจะวิเคราะห์ในตัวอย่างต่างๆ ซึ่งโดยทั่วไปอยู่ในรูปสารละลาย

2.7.2 กฎการดูดกลืนแสงของเบียร์และแลมเบิร์ต (Beer-Lambert absorption law) [6]

กฎของเบียร์และแลมเบิร์ตสามารถนำมาใช้อธิบายการดูดกลืนแสงของสารประกอบได้ โดยไม่คิดถึงการกระเจิงแสง (scattering of light) และการสะท้อนกลับ (reflection) ของแสงบนผิวของภาชนะใส่สารตัวอย่าง เมื่อกำหนดค่าความยาวคลื่นของแสงและชนิดของสารตัวอย่าง สามารถคำนวณค่าการดูดกลืนแสงของสารประกอบได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง [16]

จากกฎของเบียร์และแลมเบิร์ตแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืนกับความเข้มข้นของสารตัวอย่างดังนี้

$$\log I_0/I = A = \epsilon lc$$

- กำหนดให้
- I_0 คือ ความเข้มของแสงที่ตกกระทบ (intensity of incident light)
 - I คือ ความเข้มของแสงที่ผ่านออกมา (intensity of transmitted light)
 - A คือ แอ็บซอร์เบ้นซ์ (absorbance)
 - ϵ คือ ค่าสภาพดูดกลืนโมลาร์ (molar absorptivity) มีหน่วยเป็น $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$
 - l คือ ความยาวของสารละลายที่แสงผ่าน มีหน่วยเป็น cm
 - c คือ ความเข้มข้นของสารละลาย มีหน่วยเป็น $mol \cdot L^{-1}$

จากสมการ พบว่าค่าแอ็บซอร์เบ้นซ์ขึ้นอยู่กับชนิดของสารตัวอย่าง ความเข้มข้น และระยะทางที่แสงผ่านสารตัวอย่าง ถ้าสารตัวอย่างมีความเข้มข้น $1.00 \text{ mol } L^{-1}$ ภาชนะที่ใส่สารตัวอย่างมีความยาว 1.00 cm และค่า ϵ เท่ากับ $1.00 \text{ L } mol^{-1} \cdot cm^{-1}$ ที่ความยาวคลื่นค่าหนึ่งจะคำนวณหาค่าแอ็บซอร์เบ้นซ์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} A &= \epsilon lc \\ A &= (1.00 \text{ L } mol^{-1} \cdot cm^{-1})(1.00 \text{ cm})(1.00 \text{ mol } L^{-1}) \\ A &= 1.00 \\ \log I_0/I &= 1.00 \\ I_0/I &= 10.0 \end{aligned}$$

ถ้าค่า $A = 1.00$ แสดงว่าสารตัวอย่างสามารถดูดกลืนแสงได้ 90% ถ้าค่า $A = 2$ แสดงว่าสารตัวอย่างสามารถดูดกลืนแสงได้ 99% สเปกตรัมที่เกิดขึ้นได้จากการเขียนกราฟระหว่างค่าแอ็บซอร์เบ้นซ์กับค่าความยาวคลื่น จะได้สเปกตรัมมีลักษณะเฉพาะของสารแต่ละชนิด หรืออาจเขียนกราฟระหว่างค่าสภาพดูดกลืนโมลาร์ (ϵ) กับค่าความยาวคลื่นหรือเลขคลื่น ก็จะได้สเปกตรัมเฉพาะของสารเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง UV-VIS spectrophotometer [11]

2.7.3.1 Light source

แหล่งกำเนิดรังสีเป็นส่วนที่ให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการออกมาอย่างต่อเนื่อง และคงที่ รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอ หลอดกำเนิดรังสีมีหลายชนิดตามความยาวคลื่นรังสีที่เปล่งออกมา เช่น ช่วง UV จะใช้หลอด H₂ หรือ D₂ ให้ความยาวคลื่นอยู่ในย่าน 160-380 nm และช่วง Visible ใช้หลอด Tungsten หรือ halogen ให้ความยาวคลื่นในช่วง 240-2,500 nm เป็นต้น

2.7.3.2 Monochromator

เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสง ซึ่งเป็นพอลิโครเมติกให้เป็นแสงโมโนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆ หรือมีความยาวคลื่นเดียวใช้ฟิลเตอร์ปริซึมหรือเกรตติง

2.7.3.3 Cell sample

เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่าง บางครั้งอาจเรียกว่า Cuvettes ที่ใช้กันทั่วไปได้แก่ เซลล์ที่ทำด้วยแก้วจะใช้ได้เฉพาะช่วงวิสิเบิล เนื่องจากแก้วจะดูดกลืนรังสีในช่วงยูวีได้ และเซลล์ที่ทำด้วยควอร์ตซ์ ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล

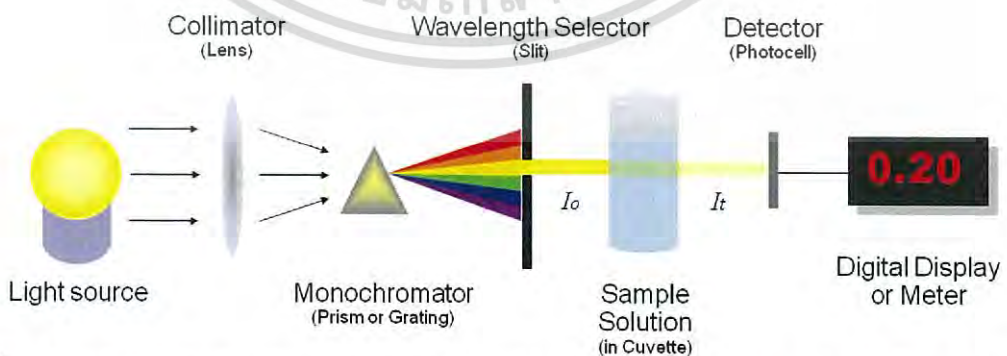
2.7.3.4 Detector

ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องวัดรังสีมีหลายชนิดที่นิยม ได้แก่ Photomultiplier tube และเครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด (Silicon diode detector)

2.7.4 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท [9]

2.7.4.1 Single-Beam spectrophotometer

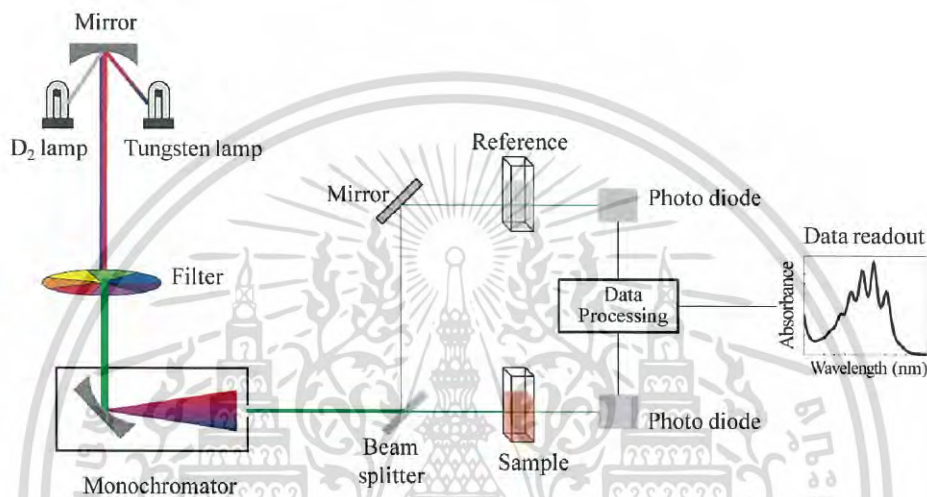
เมื่อลำรังสีออกจากแหล่งกำเนิดรังสีจะผ่านเลนส์โมโนโครเมเตอร์ที่เป็น Grating ผ่านสารตัวอย่าง แล้วจึงเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจรับสัญญาณ เนื่องจากสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ประเภทนี้ใช้ลำรังสีเพียงลำเดียวผ่านจากโมโนโครเมเตอร์ไปสู่สารละลายที่ต้องการวัดลำรังสีนี้จะเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจรับสัญญาณเลยดังรูปที่ 2.5 การวัดแต่ละครั้งจึงต้องใช้เซลล์ 2 เซลล์ให้ลำรังสีผ่านสลับกัน



รูปที่ 2.5 แผนผังแสดงส่วนประกอบของเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer แบบลำแสงเดี่ยว [10]

2.7.4.2 Double-Beam Spectrophotometer

เป็นการวัดความเข้มของแสงโดยการสะท้อนแสงผ่านออกมาจากตัวแยกแสงให้ผ่านสารอ้างอิงและสารตัวอย่างสลับกัน ทำให้ความเข้มแสงที่ผ่านตัวอย่างลดลงครึ่งหนึ่ง วงจรจะขยายสัญญาณที่ได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณที่ได้รับจากสารตัวอย่างกับสารอ้างอิงอยู่ตลอดเวลาตั้งรูปที่ 2.9 ดังนั้นจึงมีเสถียรภาพในการวัดความเข้มของแสงได้ดี แต่เครื่องวัดชนิดนี้มีองค์ประกอบซับซ้อนเนื่องจากใช้ตัวไวแสงอันเดียวจึงต้องมีวงจรเลือกวัดสัญญาณ และใช้หลอดไฟฟ้กำเนิดแสงมีกำลังส่องสว่างสูง จึงทำให้มีราคาแพงกว่าเครื่องมือชนิดลำแสงเดี่ยว



รูปที่ 2.6 แผนผังแสดงส่วนประกอบของเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer แบบลำแสงคู่ [18]

2.7.5 ข้อควรปฏิบัติในการใช้เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer [3]

- เลือกใช้วิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสม
- เลือกสารตัวอย่างที่เหมาะสม (ไม่ขุ่นหรือมีสีอื่น ๆ เจือปนมาก)
- ปฏิบัติตามคำแนะนำในคู่มือการใช้งาน (operating manual) อย่างเคร่งครัด
- อ่านเครื่องให้พอเพียงก่อนใช้งาน
- ตรวจสอบคุณภาพของหลอดไฟกำเนิดแสงเป็นระยะๆ พร้อมกับดูตำแหน่งที่ถูกตัดด้วย
- ปิดหลอดไฟกำเนิดแสงเมื่อไม่ได้ใช้งาน
- ใช้คิวเวทท์ที่สะอาดและมีค่าความแตกต่างของ %T ต่ำ
- ในกรณีที่มีคิวเวทท์น้อยจำเป็นต้องใช้ร่วมกัน ควรวัดสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยก่อนสารละลายที่มีความเข้มข้นมากตามลำดับ
- ตั้งเครื่องมือในที่ที่มีฝุ่นน้อย ความชื้นต่ำ อุณหภูมิไม่สูง และควรตั้งห่างจากผนังเพื่อให้ความร้อนระบายออกได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

P.Parvinen และ L.H.J.Lajunen, [17] ศึกษาเทคนิคทางอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมทรี อาศัยการทำให้เกิดโมเลกุลอลูมิเนียมคลอไรด์ (ALCl) แล้วให้อุณหภูมิสูงเข้าไปกระตุ้นให้เกิดการดูดกลืนแสง จากนั้นทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของโมเลกุลซึ่งกำหนดสถานะในการทดลอง ดังนี้ Inject สารละลายอลูมิเนียมปริมาตร 10 μl , Drying 120 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 20 วินาที, Ashing 700 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 20 วินาที, Cooling เป็นเวลา 5 วินาที, Inject สารละลายคลอไรด์ปริมาตร 5 μl , Drying 120 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 20 วินาที, Ashing 700 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 20 วินาที, ระเหยและตรวจวัดที่ 1900 $^{\circ}\text{C}$ เป็นระยะเวลา 5 วินาที

J.A.Morales, de Graterol และ J.Mesa, [13] ศึกษาการตรวจวัดคลอไรด์ไอออนในน้ำบาดาลด้วยวิธีไอออนโครมาโตกราฟี โดยในงานวิจัยจะใช้ Dionex Model 2000i/sp, Ionpac As11, ASP-1 ในการวิเคราะห์ปริมาณสารเคมีที่ปะปนอยู่ในน้ำ โดยการนำน้ำในแต่ละสถานที่มาเป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์ พร้อมทั้งนำตัวอย่างมากรอง และในบางตัวอย่างอาจต้องทำการเจือจางก่อนนำมาทำการวิเคราะห์คลอไรด์ไอออนด้วยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟี ซึ่งผลการทดลองโดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโตกราฟี พบว่าในทุกๆ ตัวอย่างมีพีคที่แยกกันอย่างชัดเจนระหว่างไอออนของคลอไรด์ ไนเตรท โบรไมด์ และไทโอซัลเฟต

Lan Zhang และคณะ, [15] ศึกษาการวิเคราะห์คลอไรด์ พบว่ามีการนำอนุภาคนาโนของซิลเวอร์มาทำการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ โดยทำการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนเพลท ที่มีลักษณะรูปทรงสามเหลี่ยมและมีสีน้ำเงินอมฟ้า แล้วนำไปทำการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscope) เพื่อทำการตรวจสอบรูปร่างของซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัย เมื่อนำซิลเวอร์นาโนเพลท (Ag-TNPs) มาทำปฏิกิริยากับคลอไรด์ แล้วตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Vis-NIR เพื่อทำการตรวจวัดช่วงความยาวคลื่น พบว่ามีช่วงความยาวคลื่นอยู่ที่ประมาณ 555-804 นาโนเมตร

Kwa Kyung Sung และคณะ, [14] ศึกษาการตรวจวัดสีของโคบอลต์(II)ไอออน โดยการใช้กลูตาไทโอนมาทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์นาโนพาร์ทิเคิล เกิดเป็น GSH-AgNP ศึกษาคุณสมบัติและสีของซิลเวอร์นาโนรูปร่างต่างๆ แล้วทำการตรวจวัดรูปร่างซึ่งส่วนมากรูปร่างที่ได้มักเป็นทรงกลม จากนั้นศึกษาการตรวจวัดโลหะหนักโคบอลต์(II)ไอออน โดยใช้ซิลเวอร์นาโนหลากหลายรูปร่างทั้งทรงกลม สามเหลี่ยม และแท่ง โดย GSH-AgNP รูปร่างกลม จะมีความว่องไวต่อไอออนจำพวกนิกเกิล(II) ไอออน แต่ไม่เหมาะกับไอออนบางตัว และรูปร่างแท่งจะจำเพาะหรือสามารถใช้ในการวิเคราะห์โคบอลต์(II)ไอออนได้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 สารเคมี

1. โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride; A.R. grade – Lab SCAN)
2. ซิลเวอร์ไนเตรท (Silver Nitrate; A.R. grade - Merck)
3. กรดแอสคอร์บิก (L-Ascorbic acid; ISO-For analysis – Carlo Erba)
4. โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium borohydride; A.R. grade - Merck)
5. น้ำปราศจากไอออน (deionized water – Mili Q)

3.1.2 อุปกรณ์

1. ปิเปต ขนาด 1, 5, 10, 25 มิลลิลิตร
2. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Analysis balance; Sartorius)
3. เครื่องกวนแม่เหล็กพร้อมแท่งกวน (Magnetic stirrer; Bosstech)
4. เครื่องแก้ว
5. บีกเกอร์พลาสติกขนาด 25 มิลลิลิตร
6. หลอดทดลอง
7. คิวเวทท์พลาสติก
8. เครื่อง UV-Vis spectrophotometer (Double-beam; SHIMADZU CORPORATION)

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 ศึกษากระบวนการสำหรับการหาปริมาณคลอไรด์โดยใช้ซิลเวอร์นาโนเฟลท

3.2.1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

3.3.1.2 การเตรียมซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 18 มิลลิโมลาร์

3.3.1.3 การสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนเฟลท

3.3.1.4 การตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

3.2.2 ศึกษาช่วงความเข้มข้นของคลอไรด์ที่เหมาะสม

3.2.3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของคลอไรด์ที่ใช้ในการตรวจวัด

3.2.4 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัด

3.3.5 วิเคราะห์ตัวอย่างโดยวิธีการเติมสารมาตรฐาน (Standard addition)

3.3.5.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำประปาและน้ำดื่ม

3.3.5.2 การหาค่าร้อยละการคืนกลับ



3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.3.1 ศึกษากระบวนการหาปริมาณคลอไรด์โดยใช้ซิลเวอร์นาโนเพลาท

3.3.1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

- 1) สารละลายกรดแอสคอบิกเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์
ชั่งกรดแอสคอบิกมา 0.4403 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน เทใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน
- 2) สารละลายไตรโซเดียมซีเทรตเข้มข้น 17 มิลลิโมลาร์
ชั่งไตรโซเดียมซีเทรตมา 0.1250 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน เทใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน
- 3) สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรไรต์เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์
ชั่งโซเดียมโบโรไฮไดรไรต์มา 0.0095 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน เทใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน
- 4) สารละลายมาตรฐานคลอไรด์เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร
ชั่งโซเดียมคลอไรด์มา 0.2061 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน เทใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน
- 5) สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ สำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน
เปิดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 5.0, 7.5, 10, 15, 20, 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากันจะได้สารละลายมาตรฐานเข้มข้น 50, 75, 100, 150, 200, 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

3.3.1.2 การเตรียมซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 18 มิลลิโมลาร์

- ชั่งซิลเวอร์ไนเตรทมา 0.0764 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน เทใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน

3.3.1.3 การสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนเฟลท

ปิเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท เข้มข้น 18 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.10 มิลลิลิตร ไตรโซเดียมซิเตรต เข้มข้น 17 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.10 มิลลิลิตร และตวงน้ำปราศจากไอออนในกระบอกตวงปริมาตร 20 มิลลิลิตร ใส่ในปิกเกอร์พลาสติกขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นค่อยๆ หยดโซเดียมโบโรไฮดรายด์ เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.60 มิลลิลิตร ขณะปั่นกวนอย่างแรง จะได้สารละลายสีเหลือง

ซึ่งไตรโซเดียมซิเตรต 0.10 กรัม ในปิกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำปราศจากไอออนด้วยกระบอกตวงปริมาตร 20 มิลลิลิตร จากนั้นเติมซิลเวอร์ไนเตรท เข้มข้น 18 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.14 มิลลิลิตร และกรดแอสคอบิก เข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.10 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายสีเหลืองที่เตรียมไว้ในปิกเกอร์ปริมาตร 0.40 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีฟ้า

3.3.1.4 การตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

ปิเปตสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1.5, 3.0, 4.5, 6.0, 7.5 มิลลิลิตร ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากันจะได้สารละลายมาตรฐาน เข้มข้น 15, 30, 45, 60, 75 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายซิลเวอร์นาโนเฟลทสีฟ้าลงในหลอดทดลอง ปริมาตร 3 มิลลิลิตร 5 หลอด เติมโซเดียมคลอไรด์ เข้มข้น 15, 30, 45, 60, 75 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร นำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer แล้วบันทึกค่าการดูดกลืนแสง นำค่าที่ได้ไปพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์

3.3.2 ศึกษาช่วงความเข้มข้นของคลอไรด์ที่เหมาะสม

ทำการทดลองโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดโดยปิเปตสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1.5, 3, 4.5, 6, 7.5 มิลลิลิตร และ 5, 7.5, 10, 15, 20, 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากันจะได้สารละลายมาตรฐาน เข้มข้น 15, 30, 45, 60, 75 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 50, 75, 100, 150, 200, 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ปิเปตสารละลายซิลเวอร์นาโนเฟลทที่เป็นสีฟ้าลงในหลอดทดลองทั้งหมด 11 หลอด ปริมาตร 3 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่เตรียมไปข้างต้น ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองตามลำดับ ทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer โดยการสแกนหาความยาวคลื่น แล้วบันทึกค่าการดูดกลืนแสง นำไปพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์

3.3.3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของคลอไรด์ที่ใช้ในการตรวจวัด

ปีเปตสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 5, 10, 15, 20, 25 มิลลิลิตร ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากันจะได้สารละลายมาตรฐานเข้มข้น 50, 100, 150, 200, 250 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปีเปตสารละลายซิลเวอร์นาโนเฟลทที่เป็นสีฟ้าลงในหลอดทดลองทั้งหมด 5 หลอด จากนั้นปีเปตสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 50, 100, 150, 200, 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 3, 2, 1.5, 1, 0.5, 0.25, 0.1, 0.05 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองตามลำดับ ทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer โดยการสแกนหาค่าความยาวคลื่น แล้วบันทึกค่าการดูดกลืนแสง นำไปพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์

3.3.4 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัด

ปีเปตสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 5.0, 7.5, 10, 15, 20, 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากันจะได้สารละลายมาตรฐานเข้มข้น 50, 75, 100, 150, 200, 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ปีเปตสารละลายซิลเวอร์นาโนเฟลทที่เป็นสีฟ้าลงในหลอดทดลองทั้งหมด 6 หลอด ปริมาตร 3 มิลลิลิตร จากนั้นปีเปตสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 50, 75, 100, 150, 200, 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองตามลำดับ ทิ้งไว้เป็นเวลา 10, 20, 30, 60 นาที แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer โดยการสแกนหาค่าความยาวคลื่นแล้วบันทึกค่าการดูดกลืนแสง นำไปพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์กับเวลาสำหรับการตรวจวัดการดูดกลืนแสง

3.3.5 วิเคราะห์ตัวอย่าง

3.3.5.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำประปาและน้ำดื่ม

ปีเปตสารละลายซิลเวอร์นาโนเฟลทที่เป็นสีฟ้าลงในหลอดทดลองทั้งหมด 3 หลอด ปริมาตร 3 มิลลิลิตร จากนั้นปีเปตตัวอย่างน้ำประปา ตัวอย่างน้ำดื่ม 1 และ ตัวอย่างน้ำดื่ม 2 ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองตามลำดับ ทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer โดยการสแกนหาค่าความยาวคลื่น แล้วบันทึกค่าการดูดกลืนแสง นำไปพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์

3.3.5.2 การหาค่าร้อยละการคืนกลับ

ปิเปตสารละลายตัวอย่างปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร จำนวน 4 ขวด ตามด้วยปิเปตสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 0, 7.5, 10, 15 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรดังกล่าว ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

ปิเปตสารละลายซิลเวอร์นาโนเฟลทที่เป็นสีฟ้าลงในหลอดทดลองทั้งหมด 4 หลอด ปริมาตร 3 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารตัวอย่างที่เตรียมไว้ข้างต้น ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองตามลำดับ ทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer บันทึกค่าการดูดกลืนแสง นำไปพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์



บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ศึกษากระบวนการสำหรับการหาปริมาณคลอไรด์โดยใช้ซิลเวอร์นาโนเพลท

ทำการทดลองโดยการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนเพลทเพื่อนำไปทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ แล้วตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer สำหรับการทดสอบการวิเคราะห์คลอไรด์เชิงปริมาณได้ผลการทดลองดังนี้

4.1.1 การสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนเพลท

ทำการทดลองตามวิธีของ Kwa Kyung Sung และคณะ [14] โดยเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต เข้มข้น 18 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.10 มิลลิลิตร ไตรโซเดียมซิเตรต เข้มข้น 17 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.10 มิลลิลิตร และตวงน้ำปราศจากไอออนในกระบอกตวงปริมาตร 20 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์พลาสติกขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นค่อยๆ หยดโซเดียมโบโรไฮไดรยด์ เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.60 มิลลิลิตรขณะปั่นกวนอย่างแรง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาจะได้สารละลายสีเหลือง ดังรูป 4.1 (ก)

ซึ่งไตรโซเดียมซิเตรต 0.10 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำปราศจากไอออนด้วยกระบอกตวงปริมาตร 20 มิลลิลิตร จากนั้นเติมซิลเวอร์ไนเตรตเข้มข้น 18 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.14 มิลลิลิตร และกรดแอสคอบิกเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.10 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายสีเหลืองที่เตรียมไว้ปริมาตร 0.40 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้จนสารละลายกลายเป็นสีฟ้า ดังรูป 4.1 (ข)



(ก)

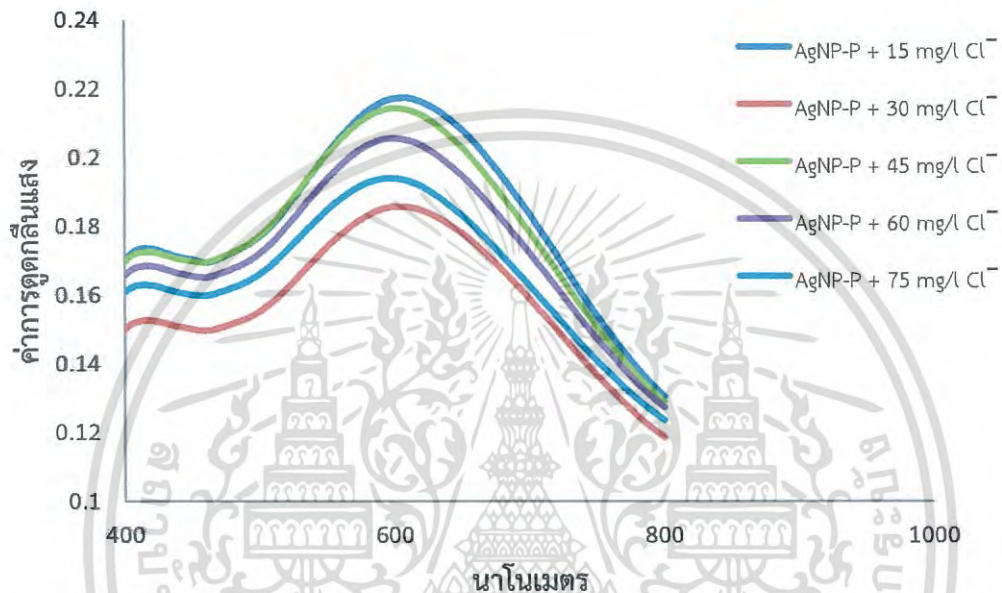
(ข)

รูปที่ 4.1 แสดงสีของการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนเพลท

(ก) การสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนขั้นแรก (ข) การสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนเพลท

4.1.2 การตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

ทำการทดลองโดยเตรียมสารละลายซิลเวอร์นาโนเพลส์ฟ้าใส่ลงในหลอดทดลอง ปริมาตร 3 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ความเข้มข้นต่างๆ จำนวน 3 มิลลิลิตรเพื่อให้สารทำการเกิดปฏิกิริยา แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer โดยการสแกนหาค่าความยาวคลื่น แล้วบันทึกค่าการดูดกลืนแสง นำค่าที่ได้ไปพลอตกราฟเทียบกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer



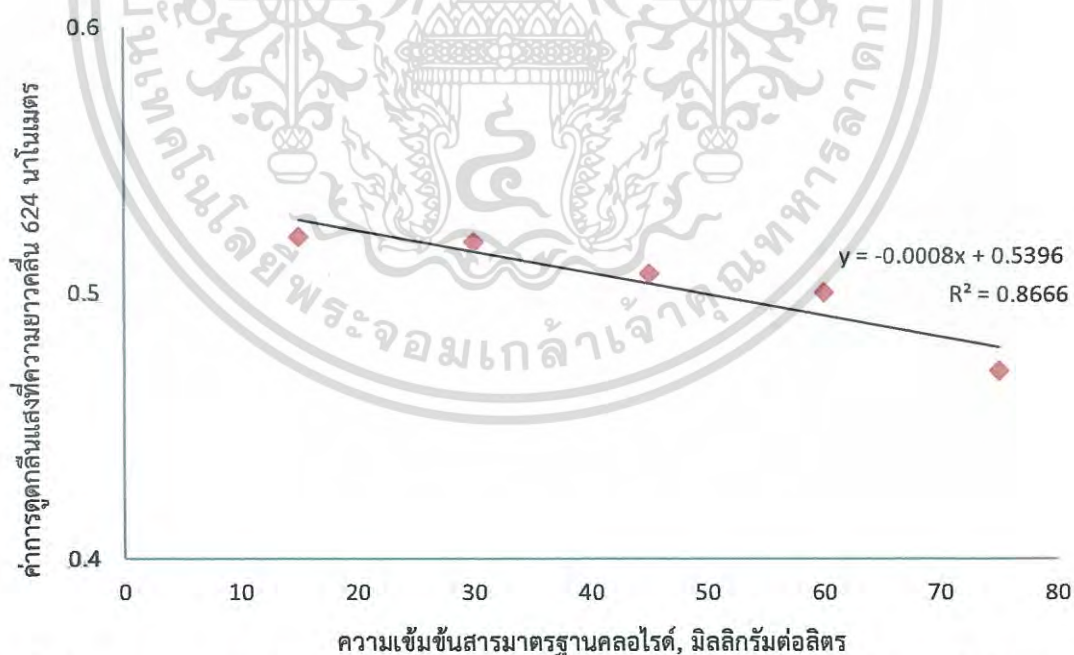
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับสารละลายมาตรฐานคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในการเผยแพร่ ห้ามมิให้ผู้ใดทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

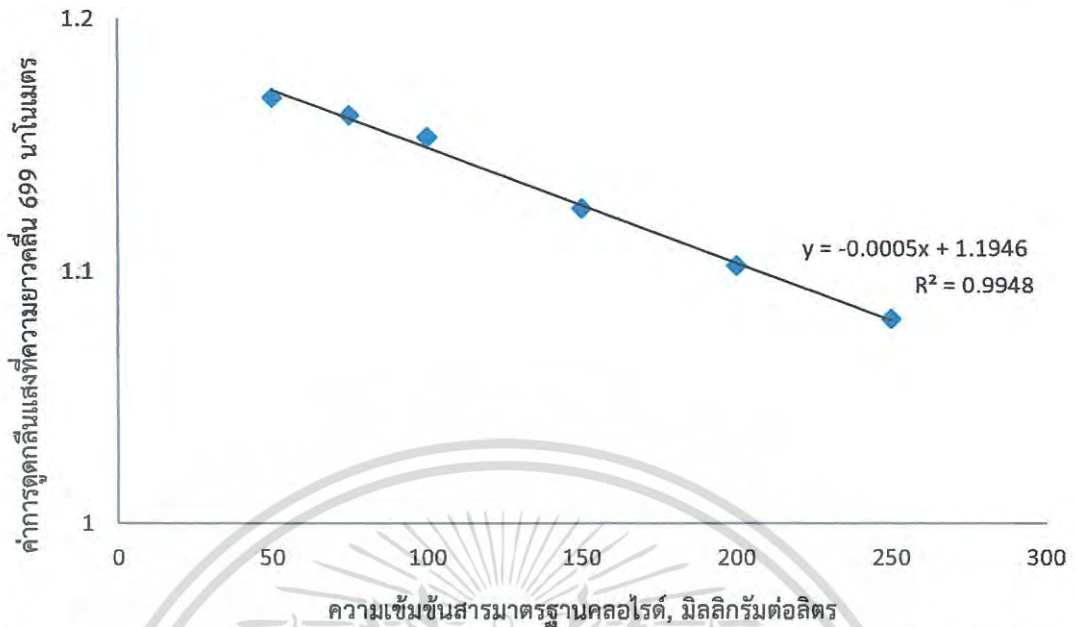
จากรูปที่ 4.2 เป็นกราฟที่ได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer พบว่าค่าการดูดกลืนแสงจะอยู่ในช่วงประมาณ 600-750 นาโนเมตร เมื่อนำไปพลอตกราฟดังรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 608 นาโนเมตรกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer พบว่าเมื่อความเข้มข้นของคลอไรด์เพิ่มมากขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงของสารมีแนวโน้มที่จะลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่ที่สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าลดลงมากไม่อยู่ในช่วงความเป็นเส้นตรง จากกราฟจะได้ความสัมพันธ์เชิงสมการคือ $y = -0.0002x + 0.2117$ และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.1003 จึงได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ต่อไป

4.2 ศึกษาช่วงความเข้มข้นของคลอไรด์ที่เหมาะสม

ทำการทดลองโดยแปรเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ 2 ชุด ที่ความเข้มข้น 15, 30, 45, 60, 75 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ความเข้มข้น 50, 75, 100, 150, 200, 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ปิเปตสารละลายซิลเวอร์นาโนเพลทที่เป็นสีฟ้าลงในหลอดทดลองปริมาตร 3 มิลลิลิตร ตามด้วยสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร ทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer โดยการแสกนหาค่าความยาวคลื่น แล้วบันทึกค่าการดูดกลืนแสง พลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลการทดลองดังแสดงรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับสารมาตรฐานคลอไรด์ความเข้มข้น 15, 30, 45, 60 และ 75 มิลลิกรัมต่อลิตร

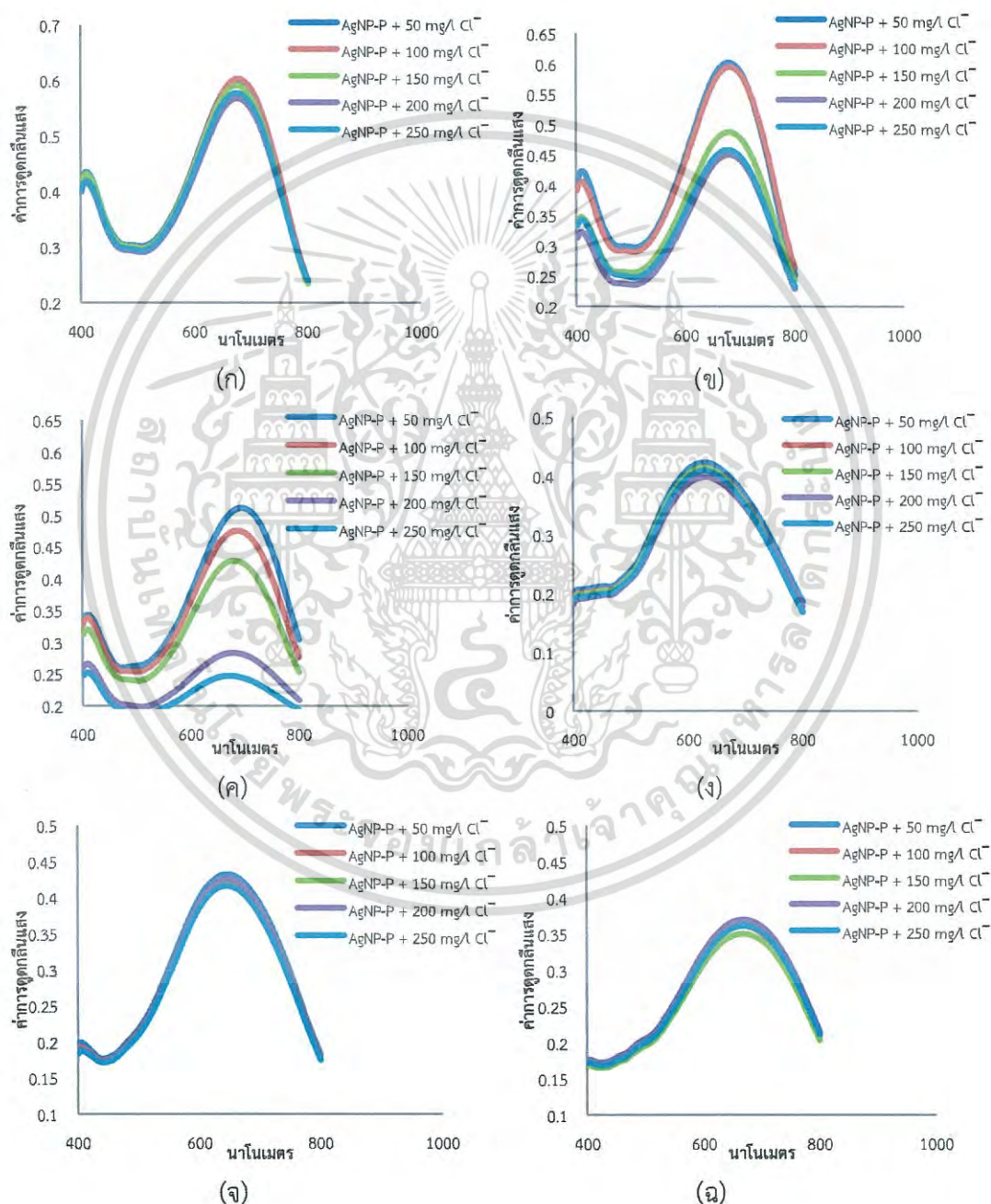


รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับสารมาตรฐานคลอโรดีความเข้มข้น 50, 75, 100, 150, 200 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร

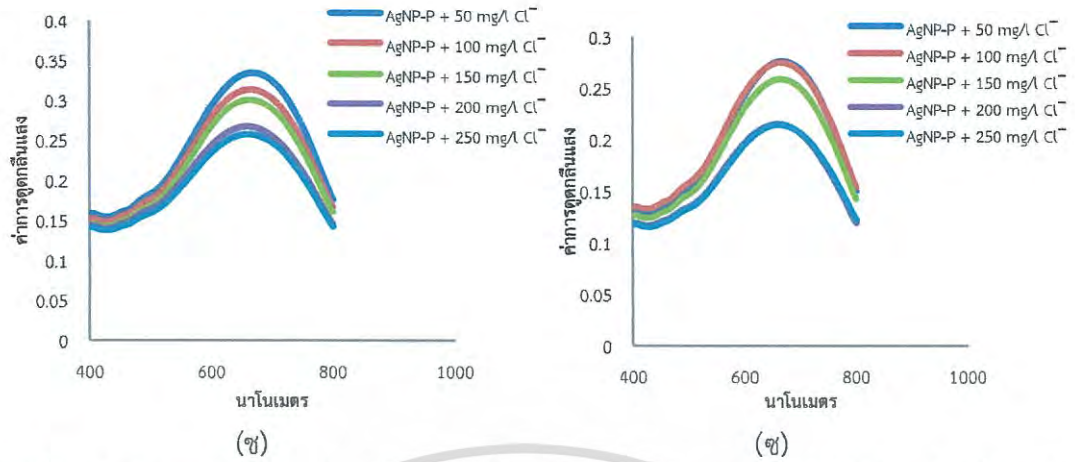
จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอโรดี เมื่อทำการเปรียบเทียบการทดลองโดยใช้ช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอโรดีแตกต่างกัน โดยสารละลายมาตรฐานคลอโรดีชุดที่ 1 เข้มข้น 15, 30, 45, 60, 75 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารละลายมาตรฐานชุดที่ 2 เข้มข้น 50, 75, 100, 150, 200, 250 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าค่าการดูดกลืนแสงชุดที่ 2 ที่มีความเข้มข้น 50 ถึง 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ค่าที่คงที่กว่าชุดที่ 1 ที่มีความเข้มข้น 15 ถึง 75 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยให้ค่าความเป็นเส้นตรง 0.9948 และ 0.8666 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายมาตรฐานคลอโรดีชุดที่ 2 สำหรับการทดลองต่อไป และเมื่อนำสถานะนี้ไปประยุกต์วิเคราะห์ที่ใช้กับตัวอย่างก็อยู่ในช่วงความเข้มข้นของตัวอย่างอีกด้วย ทำให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้น

4.3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของคลอไรด์ที่ใช้ในการตรวจวัด

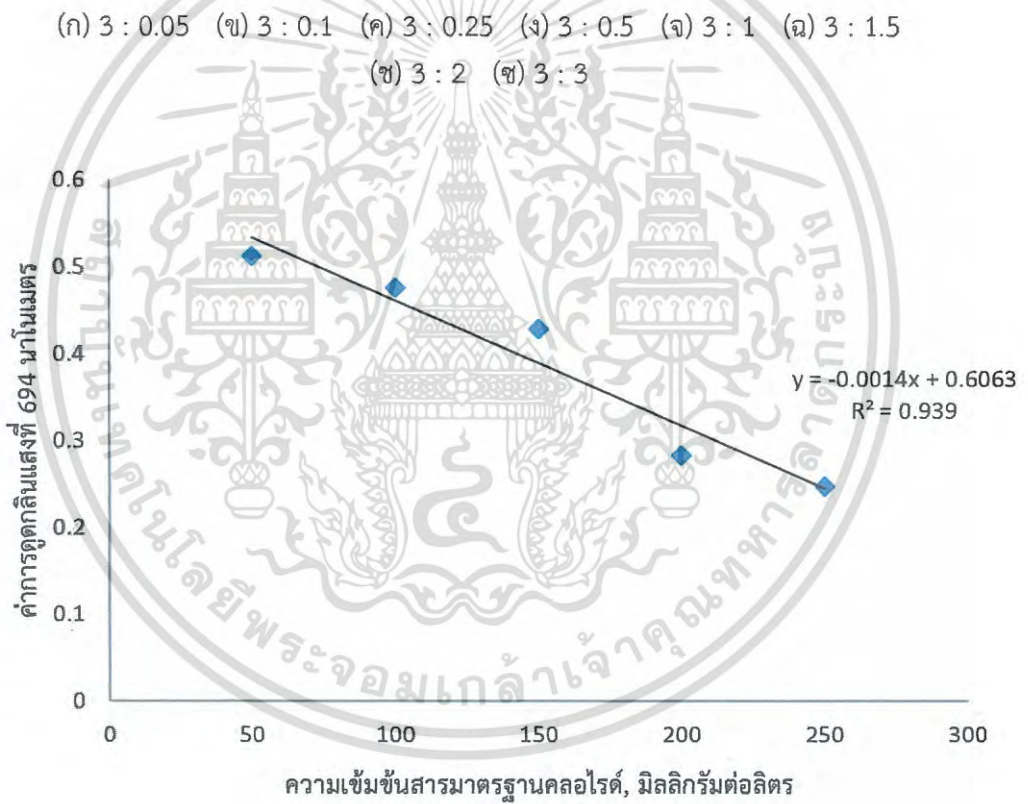
ทำการทดลองโดยใช้สารละลายซิลเวอร์นาโนเฟลท ทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ในอัตราส่วนต่างๆ กันคือ 3:0.05, 3:0.1, 3:0.25, 3:0.5, 3:1, 3:2, 3:3 ทั้งไว้เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer โดยการสแกนหาค่าความยาวคลื่นบันทึกค่าการดูดกลืนแสง แล้วพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลการทดลองดังแสดงรูปที่ 4.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟการดูดกลืนแสงของสารที่มีสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน



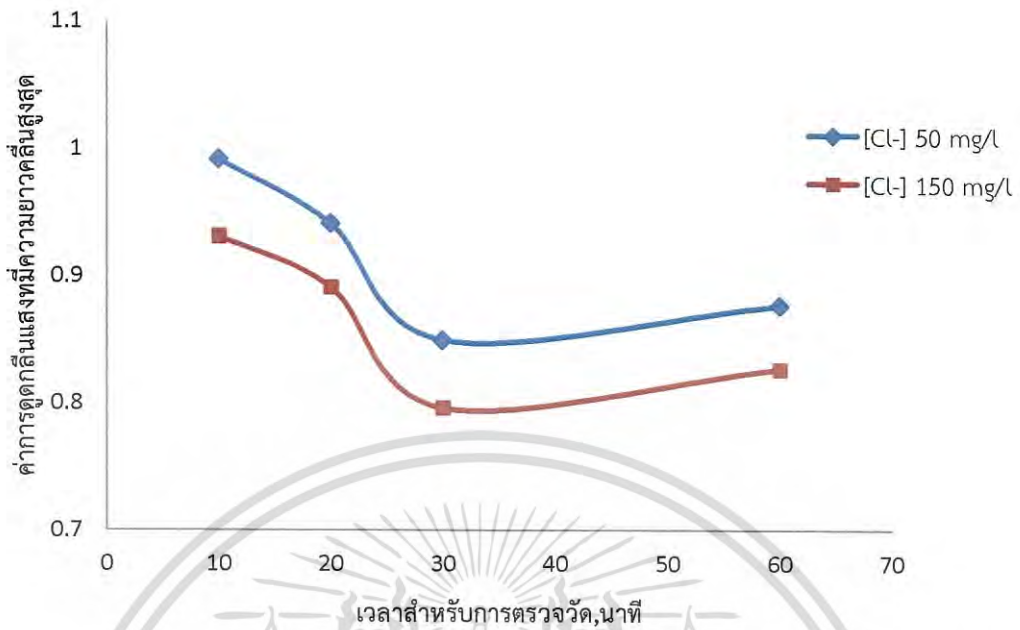
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่อัตราส่วน 3:0.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทำการทดลองเปรียบเทียบอัตราส่วนของคลอไรด์ที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer พบว่าอัตราส่วนซิลเวอร์นาโนเพลทต่อสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ให้ค่าที่ดีที่สุดและเป็นไปได้มี 2 อัตราส่วนคือ 3:0.1 (รูป 4.7(ข)) และ 3:0.25 (รูป 4.7(ค)) จะสังเกตเห็นว่าทั้ง 2 กราฟที่ได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแยกออกจากกันได้ชัดเจนในแต่ละความเข้มข้นและค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มีการลดลงอย่างต่อเนื่อง ไม่มีค่ากระโดดมากนักน้อยไปมา ซึ่งในรูปอื่นจะเห็นว่ากราฟซ้อนทับกันในหลายๆ ความเข้มข้นไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ โดยในกรณีที่อัตราส่วนคลอไรด์มากกว่า 0.25 มีผลอันเนื่องมาจากคลอไรด์ที่มีมากเกินไป เมื่อไปทำปฏิกิริยากับ Ag^+ ที่เกิดขึ้นบนอนุภาคนาโนที่อยู่ในน้ำ เกิดเป็นสารประกอบซิลเวอร์คลอไรด์ซึ่งเป็นตะกอนสีขาวเล็กๆ ทำให้ไม่สามารถหาความแตกต่างที่เกิดขึ้นได้ เพราะยังมีคลอไรด์ไอออนอยู่ในสารประกอบ ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จึงไม่แปรผันตามความเข้มข้นของคลอไรด์ ส่วนกรณีที่อัตราส่วนน้อยกว่า 0.25 อาจมีผลมาจากคลอไรด์มีน้อยเกินไป จนไม่สามารถตรวจพบได้ จึงเห็นความแตกต่างของการดูดกลืนแสงผิดเพี้ยนไปหรือเห็นความแตกต่างได้น้อย ดังนั้นจากการทดลองจึงเลือกใช้ใช้อัตราส่วนซิลเวอร์นาโนเพลทต่อสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ 3:0.25 ดังรูป 4.7 (ค) จะให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นปริมาณสารที่มากเพียงพอสำหรับการเกิดปฏิกิริยาแล้ว จากกราฟจะเห็นว่าเส้นกราฟแยกออกจากกันชัดเจนในแต่ละความเข้มข้นเห็นการเปลี่ยนแปลง และแยกความแตกต่างได้ ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มีการลดลงอย่างต่อเนื่อง และยังได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจเท่ากับ 0.9390 เนื่องจากคลอไรด์ไอออนไปทำปฏิกิริยาพอดีกับซิลเวอร์นาโนเพลทเกิดเป็นสารประกอบซิลเวอร์คลอไรด์เป็นตะกอนเล็กๆ เกิดขึ้น ส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลงเนื่องจากอนุภาคนาโนที่มีสีฟ้าเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบจากการทำปฏิกิริยา โดยผลจากการทดลองที่ได้จะแปรผันตามความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออนในสารละลายมาตรฐาน

4.4 ศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัด

ทำการทดลองโดยใช้สารละลายซิลเวอร์นาโนเพลทที่เป็นสีฟ้าปริมาตร 3 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 50, 75, 100, 150, 200, 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองตามลำดับ ทิ้งไว้เป็นเวลา 10, 20, 30, 60 นาที แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer โดยการสแกนหาค่าความยาวคลื่นแล้วบันทึกค่าการดูดกลืนแสง นำไปพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับค่าการดูดกลืนแสง ดังแสดงในรูป 4.8



รูปที่ 4.8 ผลการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาสำหรับการตรวจวัดการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรต์ 50 และ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากรูปที่ 4.8 เมื่อให้ซิลเวอร์นาโนเพลทที่ได้จากการสังเคราะห์ทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานคลอไรต์แล้วทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด จากการนำตัวอย่างสารละลายมาตรฐานคลอไรต์ 2 ความเข้มข้นมาพลอตกราฟ พบว่าการดูดกลืนแสงในช่วง 10 นาที ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด และมีค่าที่คงที่ ส่วนการดูดกลืนแสงในช่วง 20, 30 และ 60 นาที จะได้อ่านค่าไม่คงที่ และได้ค่าการดูดกลืนแสงที่ต่ำลงเรื่อยๆ จากการทดลองนี้จึงเลือกใช้การวัดการดูดกลืนแสงที่เวลา 10 นาที เนื่องจากเป็นช่วงที่มีค่าการดูดกลืนแสงค่อนข้างคงที่ ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด และใช้เวลาไม่นานเกินไปในการตรวจวัด

4.5 วิเคราะห์ตัวอย่าง

4.5.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำประปาและน้ำดื่ม

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมของการหาปริมาณคลอไรต์โดยใช้ซิลเวอร์นาโนเพลทแล้ว จึงทำการทดสอบหาปริมาณคลอไรต์ไอออนในกลุ่มตัวอย่างน้ำดื่ม และตัวอย่างน้ำประปา โดยการปิเปตสารละลายซิลเวอร์นาโนเพลทสีฟ้าที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นลงในหลอดทดลองทั้งหมด 3 หลอด ปริมาตร 3 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตตัวอย่างน้ำประปา ตัวอย่างน้ำดื่ม 1 และ ตัวอย่างน้ำดื่ม 2 ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองตามลำดับ ทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer โดยการสแกนหาค่าความยาวคลื่น แล้วบันทึกค่าการดูดกลืนแสง ทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ได้ผลวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณคลอไรต์ไอออนที่ตรวจพบโดยวิธีการใช้ซิลเวอร์นาโนเฟลทที่สังเคราะห์ขึ้น

ตัวอย่าง	ปริมาณคลอไรต์ไอออนที่ตรวจพบ, มิลลิกรัมต่อลิตร
ตัวอย่างน้ำประปา	229.40±0.59
ตัวอย่างน้ำดื่ม 1	193.40±7.34
ตัวอย่างน้ำดื่ม 2	60.00±12.83

4.5.2 การหาค่าร้อยละการคืนกลับ

ทำการทดลองโดยการปิเปตสารละลายตัวอย่างปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร จำนวน 4 ขวด ตามด้วยปิเปตสารละลายมาตรฐานคลอไรต์ เข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 0, 7.5, 10, 15 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรดังกล่าว ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน ทำเช่นเดียวกันทั้ง 3 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างน้ำประปา ตัวอย่างน้ำดื่ม 1 และตัวอย่างน้ำดื่ม 2 จากนั้นปิเปตสารละลายซิลเวอร์นาโนเฟลทที่เป็นสีฟ้าลงในหลอดทดลองทั้งหมด 4 หลอด ปริมาตร 3 มิลลิลิตร และปิเปตสารตัวอย่างที่เตรียมไว้ข้างต้น จำนวน 0.25 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองตามลำดับ ทิ้งไว้เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer บันทึกค่าการดูดกลืนแสงเพื่อนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปแทนค่าในสมการเส้นตรงเพื่อหาค่าความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างที่มีการเติมสารละลายมาตรฐานลงไป และหาค่าร้อยละการคืนกลับจากการคำนวณ โดยใช้การหา %Recovery ในภาคผนวก ฉ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงความแม่นยำของวิธีการทดสอบหาปริมาณคลอไรด์โดยใช้ซิลเวอร์นาโนเฟลท

ตัวอย่าง	ในตัวอย่าง	ปริมาณคลอไรด์, มิลลิกรัมต่อลิตร		
		ที่เติม	ตรวจพบ	ร้อยละการคืนกลับ
น้ำประปา	160.20	0	160.20	-
		75	228.40	90.93
		100	247.20	87.00
		150	295.20	90.00
น้ำดื่ม 1	131.80	0	131.20	-
		75	143.20	16.00
		100	179.20	48.00
		150	183.60	34.93
น้ำดื่ม 2	182.80	0	162.80	-
		75	205.40	56.80
		100	211.20	48.40
		150	330.20	98.27

ตารางที่ 4.3 แสดงช่วงการยอมรับได้ของร้อยละการคืนกลับ [12]

Analyte%	Analyte ratio	Unit	Mean recovery(%)
100	1	100%	98-102
10	1.00E-01	10%	98-102
1	1.00E-02	1%	97-103
0.1	1.00E-03	0.10%	95-105
0.01	1.00E-04	100 ppm	90-107
0.001	1.00E-05	10 ppm	80-110
0.0001	1.00E-06	1 ppm	80-110
0.00001	1.00E-07	100 ppb	80-110
0.000001	1.00E-08	10 ppb	60-115
0.0000001	1.00E-09	1 ppb	40-120

จากผลการทดลองการหาค่าร้อยละการคืนกลับโดยวิธีเติมสารมาตรฐาน พบว่า ร้อยละการคืนกลับของปริมาณคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำประปาอยู่ในช่วง 87.00-90.93 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างน้ำดื่ม 1 อยู่ในช่วง 16.00-48.00 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่างน้ำดื่ม 2 อยู่ในช่วง 48.40-98.27 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับตาราง 4.3 ซึ่งแสดงช่วงการยอมรับได้ของร้อยละการคืนกลับ พบว่าค่าร้อยละการคืนกลับควรอยู่ในช่วง 80-110 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นค่าการร้อยละการคืนกลับที่เกินช่วงยอมรับได้นั้น อาจมีสาเหตุมาจากไอออนอื่นในตัวอย่งน้ำรบกวนการวิเคราะห์ได้ เนื่องจากซิลเวอร์นาโนเฟลทรูปสามเหลี่ยมมักชอบทำปฏิกิริยาการสารจำพวกประจุลบ จึงอาจมีสารประจุลบในน้ำตัวอื่น ๆ สามารถเกิดปฏิกิริยากับซิลเวอร์นาโนเฟลทได้ ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้น้อยกว่าความเป็นจริง ซึ่งส่งผลให้การหาปริมาณคลอไรด์ในตัวอย่งน้ำคลาดเคลื่อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ไอออนโดยการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนเพลท ได้ศึกษาสภาวะต่างๆ เพื่อประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ไอออนในตัวอย่างไม่ได้ โดยทำการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนเพลทรูปสามเหลี่ยม เนื่องจากจะจับตัวได้ดีกับไอออนลบ ในที่นี้คือ คลอไรด์ไอออน โดยเมื่อนาโนซิลเวอร์ (Ag^0) ปรากฏในน้ำจะแตกตัวเป็นไอออนของซิลเวอร์ และเกิดการออกซิเดชันที่ผิว ซึ่งจะทำได้ไอออนของโลหะที่ถูกออกซิไดซ์ในรูปของซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) และไปทำปฏิกิริยากับคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ในน้ำ เกิดเป็นซิลเวอร์คลอไรด์ ($AgCl$) เป็นตะกอนสีขาวเล็กๆ ส่งผลให้ซิลเวอร์นาโนเพลทตกลงไปทำให้สีของสารละลายซึ่งมีสีฟ้าจางลงเล็กน้อยแต่ไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ด้วยตาเปล่า จึงได้นำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ซึ่งผลจากค่าดูดกลืนแสงที่ได้จะแปรผันตามปริมาณคลอไรด์ไอออน ทำให้สามารถคำนวณหาปริมาณคลอไรด์ไอออนในตัวอย่างไม่ได้

จากการทดลองการศึกษาสภาวะต่างๆ ของการหาปริมาณคลอไรด์ไอออนโดยการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนเพลทนั้น พบว่าอัตราส่วนของซิลเวอร์นาโนเพลทที่ทำปฏิกิริยากับคลอไรด์ที่เหมาะสมโดยปริมาณคือ 3:0.25 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มากเพียงพอ และให้ค่าการดูดกลืนแสงที่แยกออกจากกันชัดเจนในแต่ละความเข้มข้นเห็นการเปลี่ยนแปลง และแยกความแตกต่างได้ ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง และยังได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.9390 จึงได้ทำการเลือกอัตราส่วนดังกล่าวในการทดลอง ส่วนเวลาที่เหมาะสมในการตรวจวัด คือ ระยะเวลา 10 นาที เนื่องจากเป็นระยะเวลาที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงค่อนข้างคงที่ ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.8011 และใช้เวลาไม่นานเกินไปในการตรวจวัด

การหาปริมาณคลอไรด์ไอออนหาได้จากการสร้างกราฟมาตรฐาน ซึ่งจากการทำการทดลองช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 50-250 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้สมการเส้นตรงคือ $y = -0.0005x + 1.1946$ และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.9948 จากสภาวะที่เหมาะสมที่ได้ทำการศึกษา เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับตัวอย่างน้ำ คือน้ำประปาและน้ำดื่ม 2 ชนิด ได้ค่าร้อยละการคืนกลับอยู่ในช่วง 16.00-98.27 เปอร์เซ็นต์ และคำนวณหาปริมาณคลอไรด์ไอออน ในน้ำประปาพบปริมาณคลอไรด์ไอออน 229.40 ± 0.59 มิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอย่างน้ำดื่ม 1 พบ 193.40 ± 7.34 มิลลิกรัมต่อลิตร และตัวอย่างน้ำดื่ม 2 พบ 60.00 ± 12.83 มิลลิกรัมต่อลิตร

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาตัวรบกวนในการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนเพลท เพื่อให้ได้ซิลเวอร์นาโนเพลทเป็นสีฟ้าใสสามารถนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. ควรศึกษาตัวรบกวนที่เกี่ยวข้องในตัวอย่างน้ำที่สามารถทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไอออนได้เพื่อให้วิธีที่พัฒนามีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในการนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์
3. ควรพัฒนาวิธีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์หาคลอไรด์ได้อย่างกว้างขวางยิ่งขึ้น เช่น นำไปปรับใช้กับการวิเคราะห์หาคลอไรด์ในน้ำเสียที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำบาดาล น้ำในลำคลอง หรือน้ำเสียจากชุมชน เป็นต้น



เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2559. การวิเคราะห์คลอไรด์ในน้ำ. [Online]. Available : <http://www2.diw.go.th/research/เอกสารเผยแพร่/A12-Chloride.pdf>.
- [2] การประปานครหลวง. 2559. ประเภทของคลอรีน. [Online]. Available : http://202.129.59.73/tn/chlorine/chlorine_.htm.
- [3] ชูชาติ. 2539. ข้อควรปฏิบัติในการใช้เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer. [Online]. Available : <http://www.aquatoyou.com/index.php/2013-05-16-04-06-08/874-uv-vis-spectrophotometer>.
- [4] ฐานข้อมูลความปลอดภัยวัสดุนาโน. 2559. ลักษณะสมบัติเฉพาะของนาโนซิลเวอร์. [Online]. Available : http://web.eng.nu.ac.th/eng2012/cei/nanodatabase/info2.php?cat_id=8&p_id=235.
- [5] นงลักษณ์ เรืองวิเศษ และคณะ. 2554. คลอรีน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- [6] มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี. 2559. Electronic Spectra of Coordination Compounds. [Online]. Available : <http://www.udru.ac.th/attachments/elearning/03/10.pdf>
- [7] สยามเคมีดอทคอม. 2559. คลอรีนและคลอไรต์. [Online]. Available : <http://www.siam-chemi.com/คลอรีน/>.
- [8] สุภาภรณ์ แสงศรีจันทร์. 2557. UV-Visible Spectroscopy. [Online]. Available : http://www.science.mju.ac.th/chemistry/download/s_sangsrichan/05UV-Visible%20Spectroscopy-UV-Vis-292557.pdf.
- [9] แหล่งเรียนรู้ด้านประมง. 2559. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง. [Online]. Available : <http://www.aquatoyou.com/index.php/2013-05-16-04-06-08/874-uv-vis-spectrophotometer>.
- [10] ChemWiki. 2015. Spectrophotometer. [Online]. Available : http://chemwiki.ucdavis.edu/Core/Physical_Chemistry/Kinetics/Reaction_Rates/Experimental_Determination_of_Kinetics/Spectrophotometer.
- [11] Glassware Chemical. 2559. หลักการ UV-Visible Spectrophotometer. [Online]. Available : <http://glasswarechemical.com/scientific-instrument/หลักการuv-vis-spectrophotometer/>.
- [12] I.Taverniers, M.D.Loose and E.V.Bockstaele. 2004. "Trends in quality in the analytical laboratory II. Analytical method validation and quality assurance." Trends in Analytical Chemistry. 23(8) : 535-552.
- [13] J.A.Morales, de Graterol and J.Mesa. 2000. "Determination of chloride, sulfate and nitrate in groundwater samples by ion chromatography." Journal of Chromatography. 185-190.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [14] K.K.Sung, S.Yeon, C.Park and Y.Kim. 2013. "Colorimetric Detection of Co^{2+} Ion Using Silver Nanoparticles with Spherical, Plate, and Rod Shapes." *Langmuir*. 29(28) : 8978-8982.
- [15] L.Zhang, X.Li, R.He, L.Wu, L.Zhang and J.Zeng. 2015. "Chloride induced shape transformation of silver nanoparticles in a water environment." *Environmental Pollution*. 145-151.
- [16] Miessler & Tarr. 2004. *Electronic Spectra of Coordination Compounds*. [Online]. Available : <http://www.udru.ac.th/attachments/elearning/03/10.pdf.th>.
- [17] P.Parvinen and L.H.J.Lajunen. 1999. "Determination of chloride in drinking and ground water by AlCl_3 molecular absorption spectrometry using graphite furnace atomic absorption spectrometer." *Talanta* 67-71.
- [18] SIFBUU. 2559. เครื่องมือวิทยาศาสตร์. [Online]. Available : <http://www.science.buu.ac/part/sifbuu/index.php/laboratory-instruments.html?showall=1&limatstart>.
- [19] Smartgads. 2555. Electromagnetic spectrum. [Online]. Available : [http://www.smartgads.com/content-หลอดแอลอีดียุคต่อไปจะสามารถปรับเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า \(Electromagn-3-5992-108416-1.html](http://www.smartgads.com/content-หลอดแอลอีดียุคต่อไปจะสามารถปรับเปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagn-3-5992-108416-1.html).
- [20] WHO. 1996. มาตรฐานทางเคมีของน้ำ. [Online]. Available : http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:cB5frjbe_DwJ:plan.dgr.go.th/school/5.pdf+&cd=2&hl=th&ct=clnk&gl=th.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

คู่มือการใช้งานเบื้องต้น โปรแกรม UVprobe Ver.2.33 สำหรับการใช้เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer รุ่น UV-1800

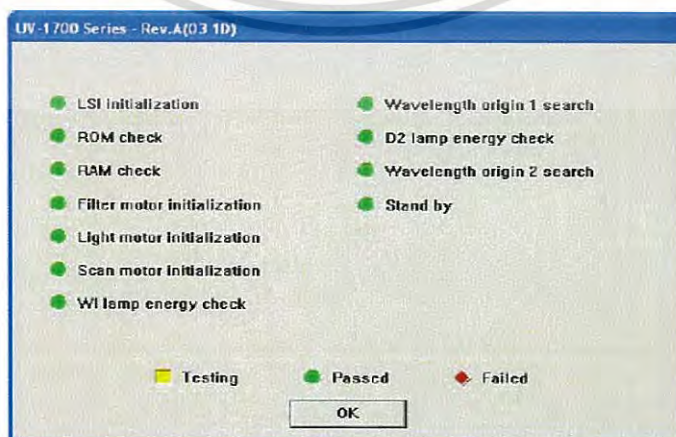
ในงานวิจัยได้ทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนเพลทสำหรับการวิเคราะห์คลอไรด์ โดยใช้เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer รุ่น UV-1800 เชื่อมต่อและใช้งานร่วมกับโปรแกรม UVprobe Ver.2.33



รูปที่ ก.1 แสดงตัวอย่างหน้าต่างโปรแกรม Uvprobe Ver. 2.42

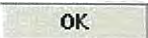
ขั้นตอนการเปิดเครื่องและการใช้งานโปรแกรม UVprobe Ver. 2.33

1. เปิดสวิตซ์ที่ตัวเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer รุ่น UV-1800
2. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเปิดโปรแกรมการใช้งาน Uvprobe Ver. 2.33
3. ตั้งค่าเครื่องโดยคลิกเพื่อเข้าใช้งานโปรแกรม UVProbe โดยการ Click สำหรับการเปิดสวิตซ์ที่ตัวเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ในครั้งแรกของวัน นั้นโปรแกรมจะทำการตรวจสอบความพร้อมของเครื่อง ดังรูปที่ ก.2

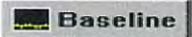


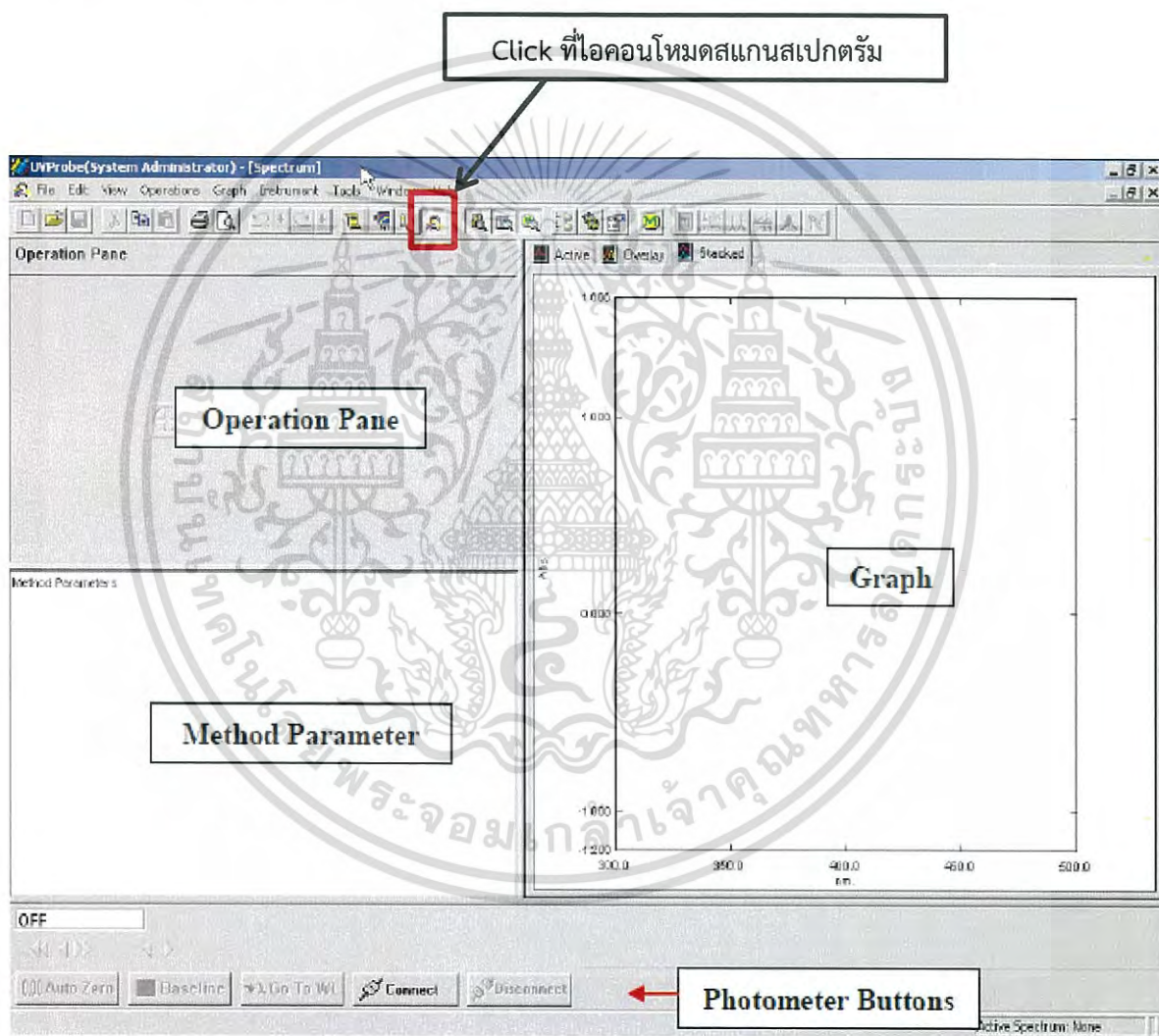
รูปที่ ก.2 แสดงภาพการใช้งานเพื่อตรวจสอบความพร้อมที่ตัวเครื่องก่อนการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อเครื่องตรวจสอบความพร้อมเรียบร้อย (ไฟแสดงสีเขียวทั้งหมด) จึง Click 
5. อุณหภูมิเครื่อง 15-30 นาทีก่อนใช้งาน

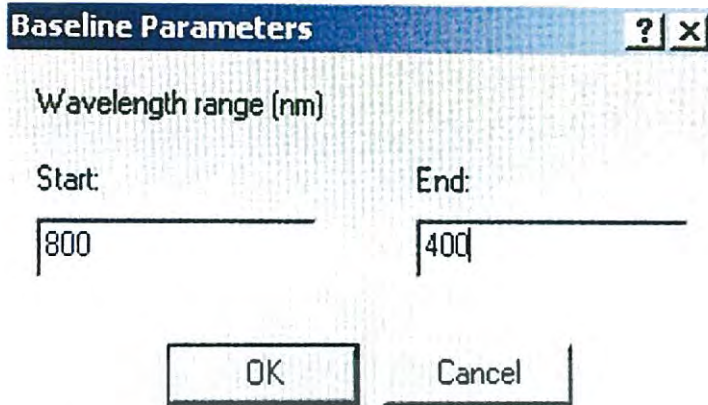
ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมและการใช้โหมดการสแกนสเปกตรัม (Spectrum mode)

1. Click ที่ไอคอนโหมดสแกนสเปกตรัมดังรูปที่ ก.3
2. เตรียม Blank ใส่ใน Reference Cell และ Sample Cell แล้ว Click ที่ 
3. ให้ตั้งค่าความยาวคลื่นที่ต้องการ โดยกำหนดให้อ่านผลของการสแกนออกมาเป็น Absorbance, Transmittance



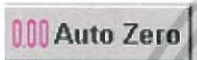
รูปที่ ก.3 ภาพโปรแกรม UVprobe ก่อนการสแกนสเปกตรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



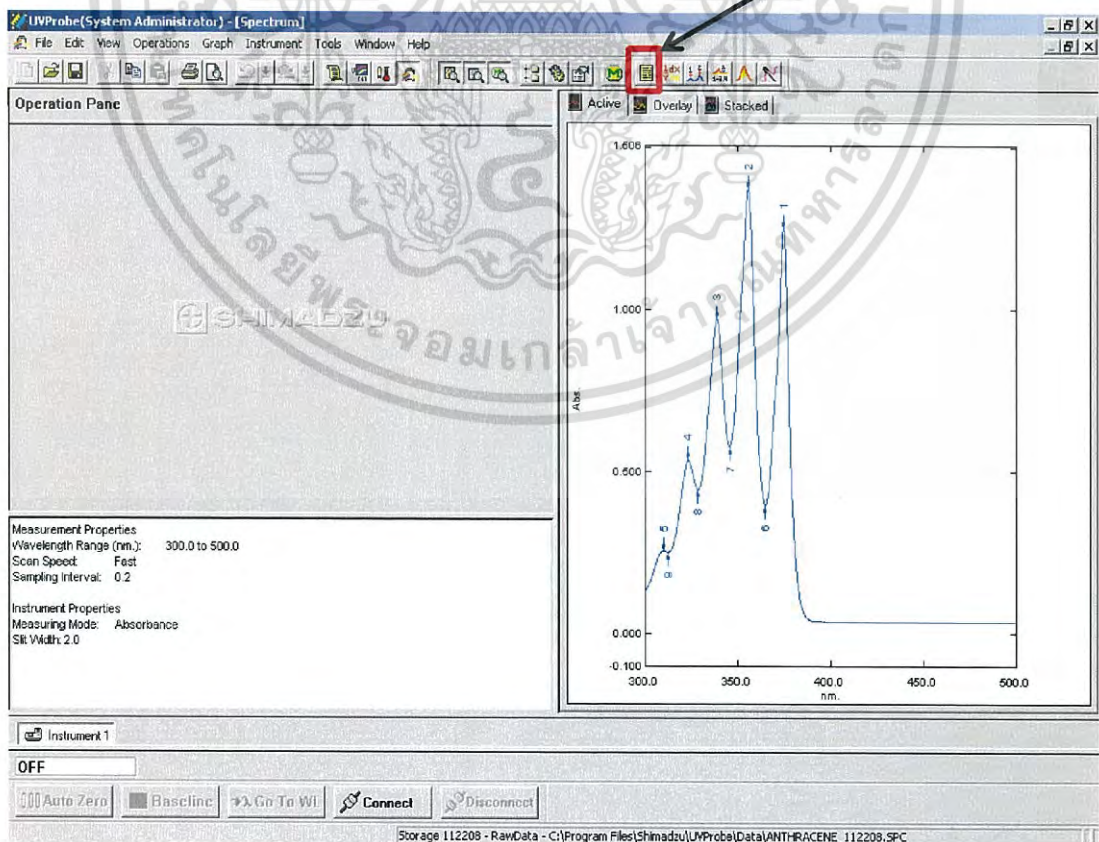
รูปที่ ก.4 แสดงการตั้งค่าความยาวคลื่นที่ต้องการ

4. จากนั้นเครื่องจะทำการสแกนความยาวคลื่น เมื่อทำการสแกนเรียบร้อยแล้ว ให้ Click




5. เตรียม Standard หรือ Sample ที่ต้องการวิเคราะห์ ใส่แทน Blank ใน Sample Cell จากนั้น Click  Start ที่ Photometer Buttons เพื่อทำการ Scan Spectrum จะปรากฏ ดังรูป ก.5

Click ที่ไอคอนแสดงค่าAbsorbance และค่าความยาวคลื่น



รูปที่ ก.5 แสดงกราฟสเปกตรัมที่ทำการสแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

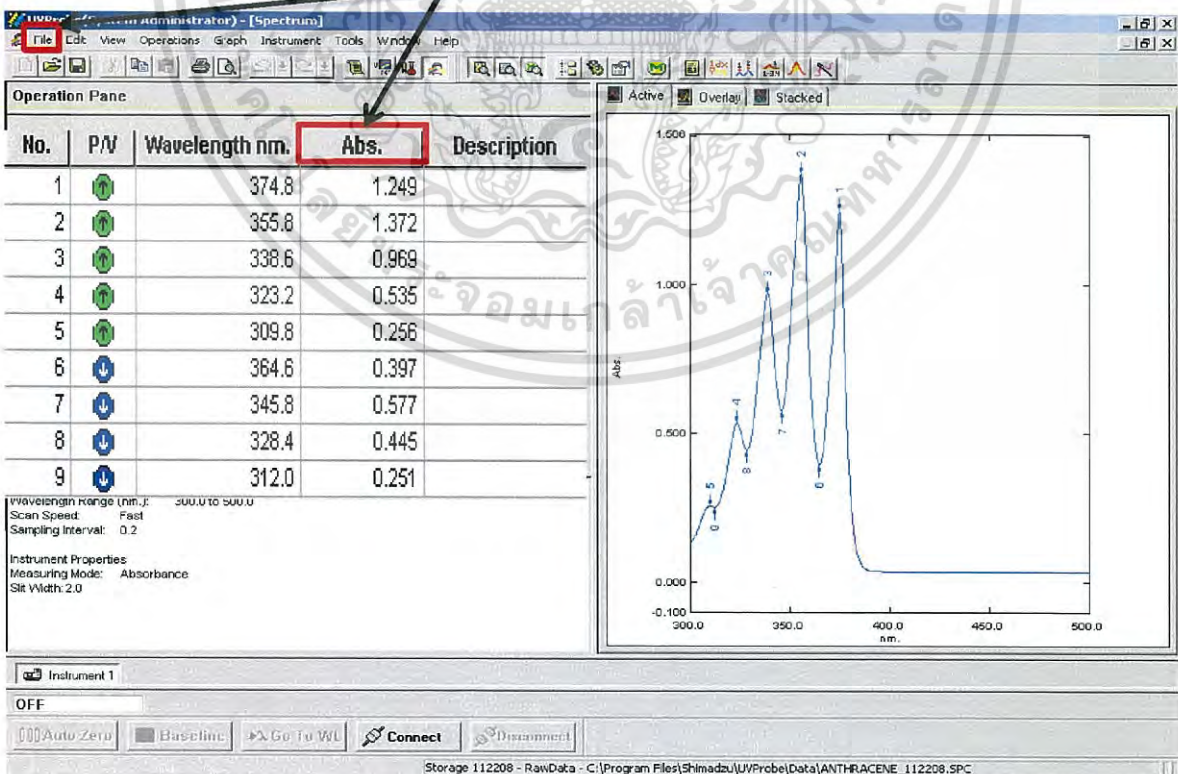
6. ทำการสแกนสารละลายที่ต้องการตรวจวัด เมื่อทำการสแกนสารละลายแรกเสร็จให้ Click  ตรง Menu bar ด้านบนดังรูปที่ ก.5 จากนั้นจะแสดงค่าการดูดกลืนแสงและค่าความยาวคลื่นดังรูปที่ ก.6

No.	P/V	Wavelength nm.	Abs.	Description
1		374.8	1.249	
2		355.8	1.372	
3		338.6	0.969	
4		323.2	0.535	
5		309.8	0.256	
6		364.6	0.397	
7		345.8	0.577	
8		328.4	0.445	
9		312.0	0.251	

รูปที่ ก.6 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและค่าความยาวคลื่น

7. ทำการบันทึกค่า (Save) กราฟสเปกตรัมที่ได้จากการสแกน โดยคลิกที่ตารางในแต่ละตัวอย่างที่ต้องการบันทึก จากนั้น Click ที่ Save file แล้วเลือก folder ที่ต้องการบันทึก จากนั้นให้ทำการบันทึก โดยเลือกใช้นามสกุล.spc บันทึกในโฟลเดอร์  และสร้างโฟลเดอร์ของตนเองเพื่อทำการจัดเก็บ

1. Click ที่ **Abs.** ข้อมูลในคอลัมน์ทั้งหมดที่ถูกเลือก
2. Click ที่ **File** แล้วเลือก Save ทำการบันทึกข้อมูลไว้ใน Folder ที่ต้องการบันทึก โดยเลือกใช้นามสกุล .spc

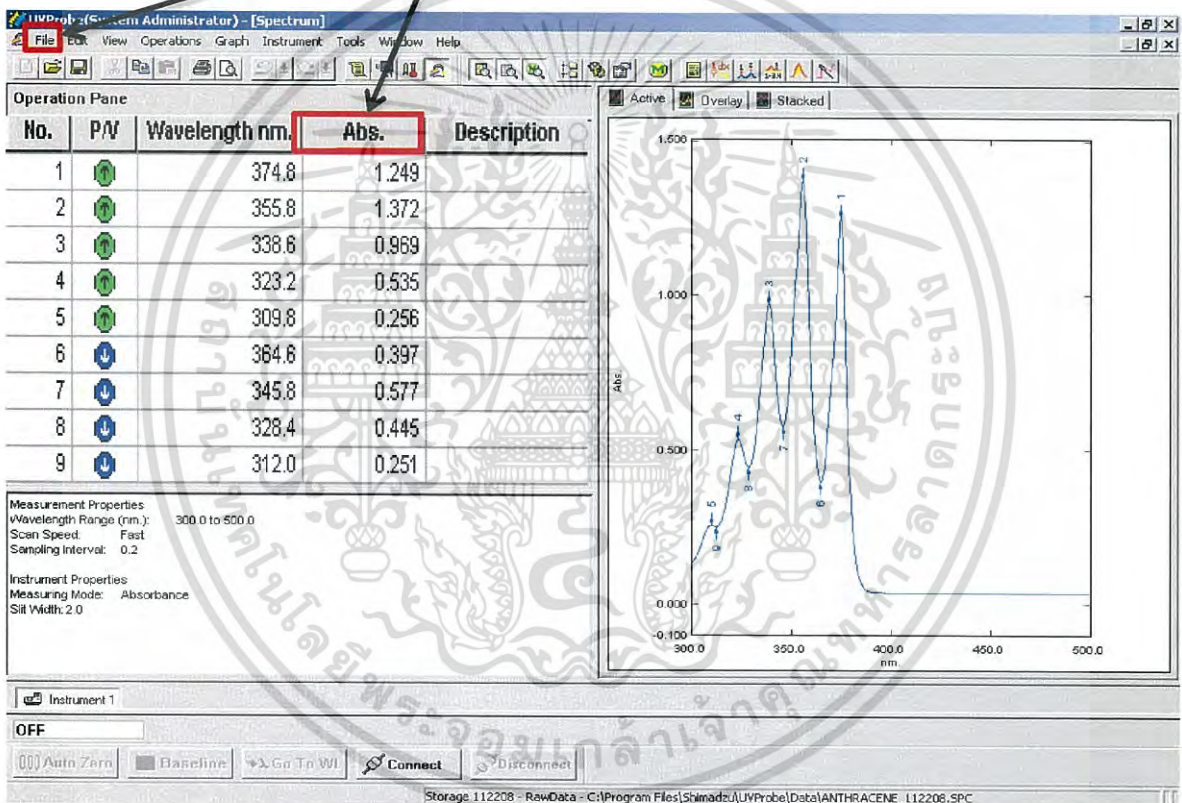


รูปที่ ก.7 แสดงการบันทึกกราฟสเปกตรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ทำการบันทึกค่า (Save) ตารางค่าการดูดกลืนแสง และค่าความยาวคลื่น โดย Click ที่ตาราง ในแต่ละตัวอย่างจากนั้น Click ที่ Save file แล้วเลือก folder ที่ต้องการบันทึก จากนั้นให้ทำการ บันทึก โดยใช้นามสกุล .txt บันทึกในโฟลเดอร์  และสร้างโฟลเดอร์ของตนเองเพื่อทำการจัดเก็บ

1. Click ที่ **Abs.** ข้อมูลในคอลัมน์ทั้งหมดที่ถูกเลือก
2. Click ที่ **File** แล้วเลือก Save ทำการบันทึกข้อมูลไว้ใน Folder ที่ต้องการบันทึก โดยเลือกใช้นามสกุล .txt

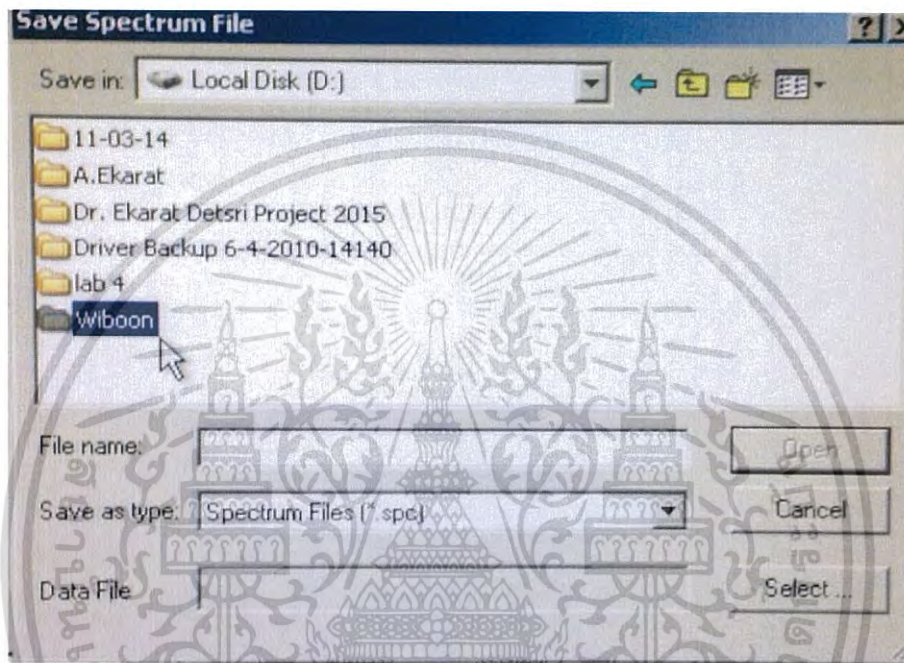


รูปที่ ก.8 แสดงการบันทึกข้อมูลความยาวคลื่นและค่าการดูดกลืนแสง

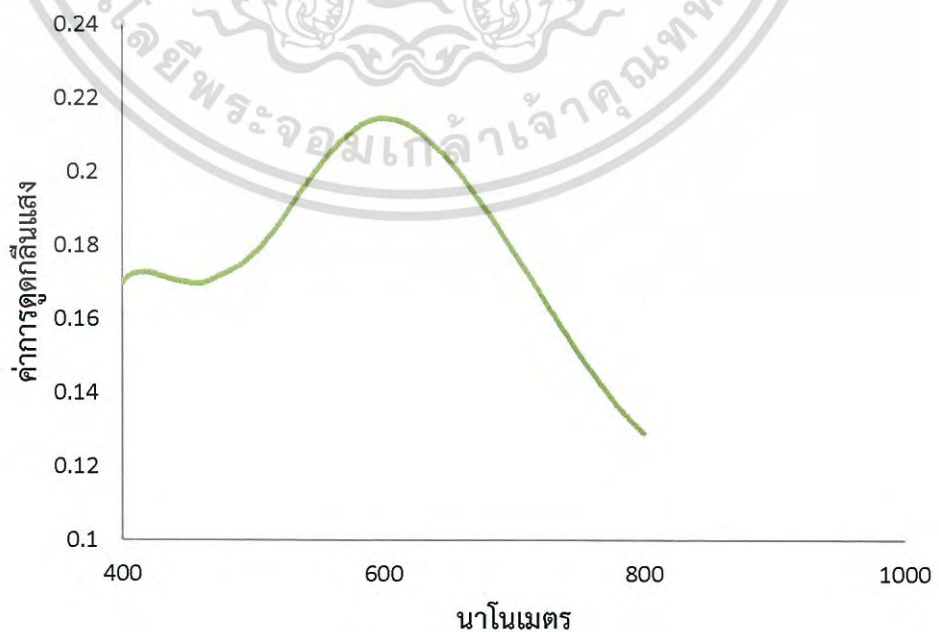
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดเก็บข้อมูล

เมื่อทำการจัดเก็บข้อมูลไว้ใน Folder เรียบร้อยแล้ว นำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟโดยเปิดโปรแกรม Wiboon เลือกข้อมูลที่ต้องการบันทึกลงใน USB จากนั้นนำข้อมูลไปสร้างกราฟในโปรแกรม Microsoft Excel สามารถสร้างกราฟมาตรฐานในแต่ละความเข้มข้น และค่าการดูดกลืนแสง พร้อมทั้งสามารถนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดของค่าการดูดกลืนและค่าความยาวคลื่น มาสร้างกราฟสเปกตรัมได้ในโปรแกรม Microsoft Excel ดังรูปที่ ก.9 และรูปที่ ก.10



รูปที่ ก.9 แสดงการเรียกไฟล์เพื่อบันทึกข้อมูลลงใน USB



รูปที่ ก.10 แสดงกราฟสเปกตรัมด้วยโปรแกรม Microsoft Excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

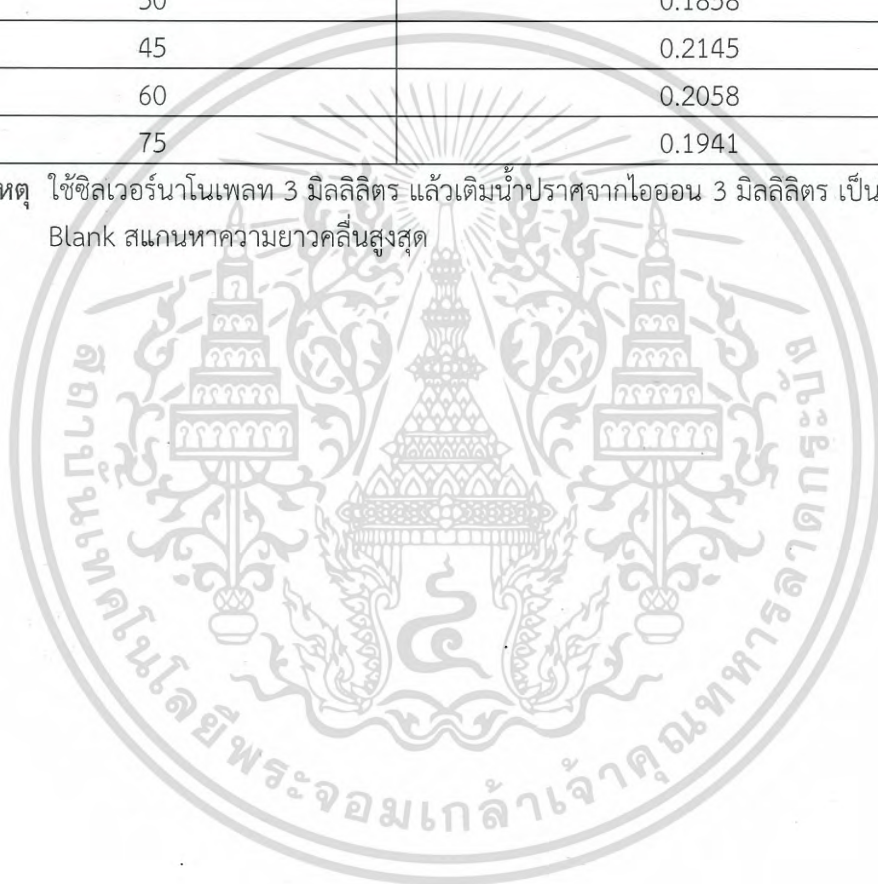
ภาคผนวก ข

แสดงค่าการดูดกลืนแสงอ้างอิงจากรูปที่ 4.2 และ 4.3

ตารางที่ ข. ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 608 นาโนเมตร
15	0.2176
30	0.1858
45	0.2145
60	0.2058
75	0.1941

หมายเหตุ ใช้ซิลเวอร์นาโนเพลท 3 มิลลิเมตร แล้วเติมน้ำปราศจากไอออน 3 มิลลิเมตร เป็นใช้เป็น Blank สแกนหาความยาวคลื่นสูงสุด



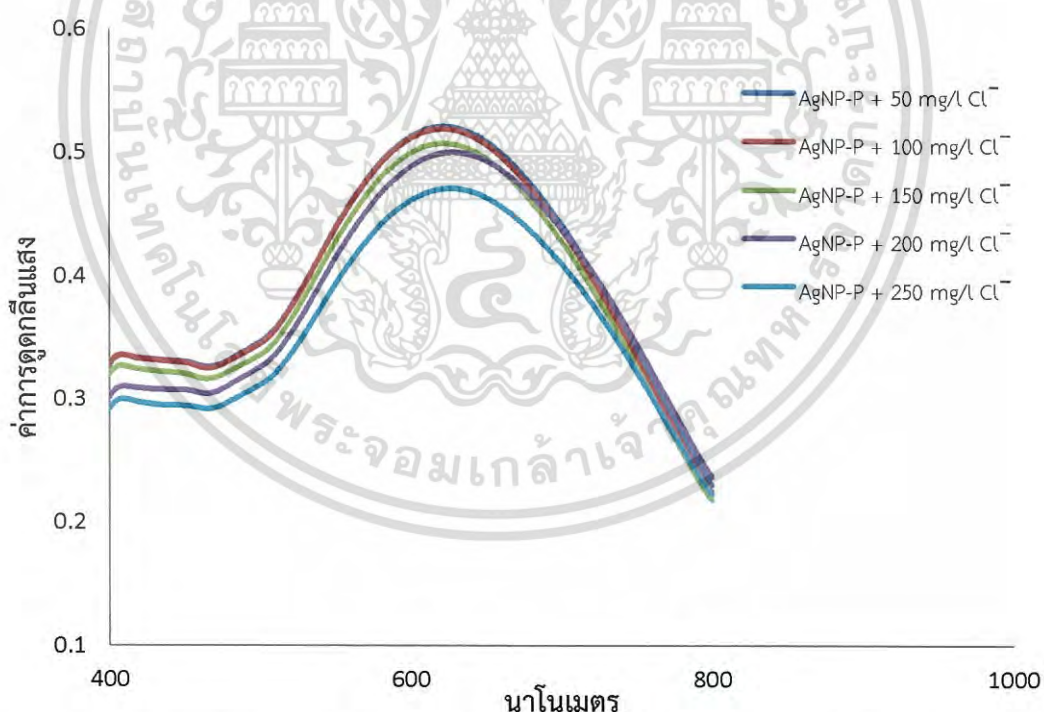
ภาคผนวก ค

แสดงค่าการดูดกลืนแสงอ้างอิงจากรูปที่ 4.4

ตารางที่ ค.1 ค่าการดูดกลืนแสงของระบบศึกษาช่วงความเข้มข้นของคลอไรด์ที่เหมาะสม 15-75 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 699 นาโนเมตร
15	0.5211
30	0.5192
45	0.5073
60	0.5002
75	0.4708

หมายเหตุ ใช้ซิลเวอร์นาโนเพลา 3 มิลลิตร แล้วเติมน้ำปราศจากไอออน 0.25 มิลลิตร เป็นใช้เป็น Blank สแกนหาความยาวคลื่นสูงสุด



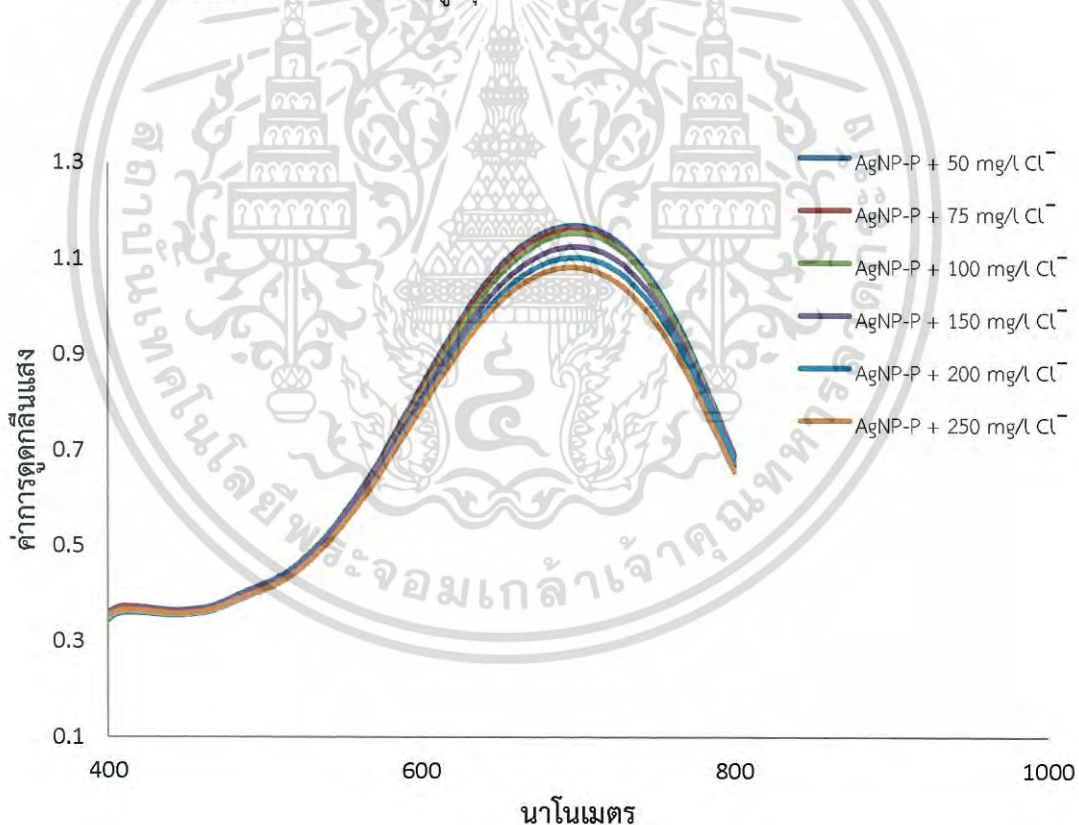
รูปที่ ค.1 ค่าการดูดกลืนแสงของระบบศึกษาช่วงความเข้มข้นของคลอไรด์ที่เหมาะสม 15-75 มิลลิกรัมต่อลิตร

แสดงค่าการดูดกลืนแสงอ้างอิงจากรูปที่ 4.5

ตารางที่ ค.2 ค่าการดูดกลืนแสงของระบบศึกษาช่วงความเข้มข้นของคลอไรด์ที่เหมาะสม 50-250 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 624 นาโนเมตร
50	1.1686
75	1.1618
100	1.1531
150	1.1249
200	1.1022
250	1.0812

หมายเหตุ ใช้ซิลเวอร์นาโนเพลท 3 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำปราศจากไอออน 0.25 มิลลิลิตร เป็นใช้เป็น Blank สแกนหาความยาวคลื่นสูงสุด



รูปที่ ค.2 ค่าการดูดกลืนแสงของระบบศึกษาช่วงความเข้มข้นของคลอไรด์ที่เหมาะสม 50-250 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

แสดงค่าการดูดกลืนแสงของอัตราส่วนซิลเวอร์นาโนเพลทต่อสารละลายมาตรฐานคลอไรด์อ้างอิง จากรูปที่ 4.6

ตารางที่ ง.1 ค่าการดูดกลืนแสงของอัตราส่วนซิลเวอร์นาโนเพลทต่อสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ 3 : 0.05 อ้างอิงจากรูปที่ 4.6(ก)

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด
50	0.6000
100	0.6032
150	0.5920
200	0.5681
250	0.5776

ตารางที่ ง.2 ค่าการดูดกลืนแสงของอัตราส่วนซิลเวอร์นาโนเพลทต่อสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ 3 : 0.1 อ้างอิงจากรูปที่ 4.6(ข)

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด
50	0.6018
100	0.5956
150	0.4882
200	0.4506
250	0.4583

ตารางที่ ง.3 ค่าการดูดกลืนแสงของอัตราส่วนซิลเวอร์นาโนเพลทต่อสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ 3 : 0.25 อ้างอิงจากรูปที่ 4.6(ค) และ 4.7

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด
50	0.5122
100	0.4759
150	0.4289
200	0.2832
250	0.2473

ตารางที่ ง.4 ค่าการดูดกลืนแสงของอัตราส่วนซิลเวอร์นาโนเพลทต่อสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ 3 : 0.5 อ้างอิงจากรูปที่ 4.6(ง)

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด
50	0.4303
100	0.4229
150	0.4150
200	0.4142
250	0.3985

ตารางที่ ง.5 ค่าการดูดกลืนแสงของอัตราส่วนซิลเวอร์นาโนเพลทต่อสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ 3 : 1 อ้างอิงจากรูปที่ 4.6(จ)

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด
50	0.4319
100	0.4243
150	0.4246
200	0.4255
250	0.4160

ตารางที่ ง.6 ค่าการดูดกลืนแสงของอัตราส่วนซิลเวอร์นาโนเพลทต่อสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ 3 : 1.5 อ้างอิงจากรูปที่ 4.6(ฉ)

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด
50	0.3667
100	0.3610
150	0.3506
200	0.3700
250	0.3615

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.7 ค่าการดูดกลืนแสงของอัตราส่วนซิลเวอร์นาโนเพลทต่อสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ 3 : 2 อ้างอิงจากรูปที่ 4.6(ซ)

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด
50	0.3347
100	0.3138
150	0.3011
200	0.2673
250	0.2577

ตารางที่ ง.8 ค่าการดูดกลืนแสงของอัตราส่วนซิลเวอร์นาโนเพลทต่อสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ 3 : 3 อ้างอิงจากรูปที่ 4.6(ซ)

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด
50	0.2763
100	0.2752
150	0.2591
200	0.2150
250	0.2144

หมายเหตุ ทุกอัตราส่วนใช้ซิลเวอร์นาโนเพลท 3 มิลลิกรัม แล้วเติมน้ำปราศจากไอออน 0.25 มิลลิกรัม เป็นใช้เป็น Blank สแกนหาความยาวคลื่นสูงสุด

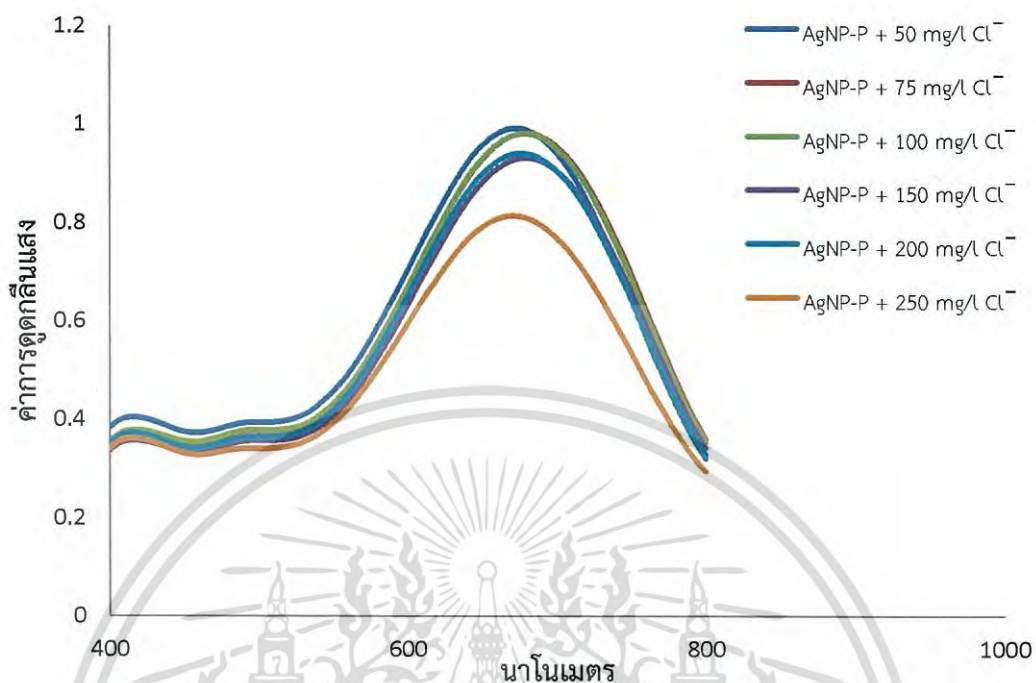
ภาคผนวก จ

แสดงค่าการดูดกลืนแสงอ้างอิงจากรูปที่ 4.8

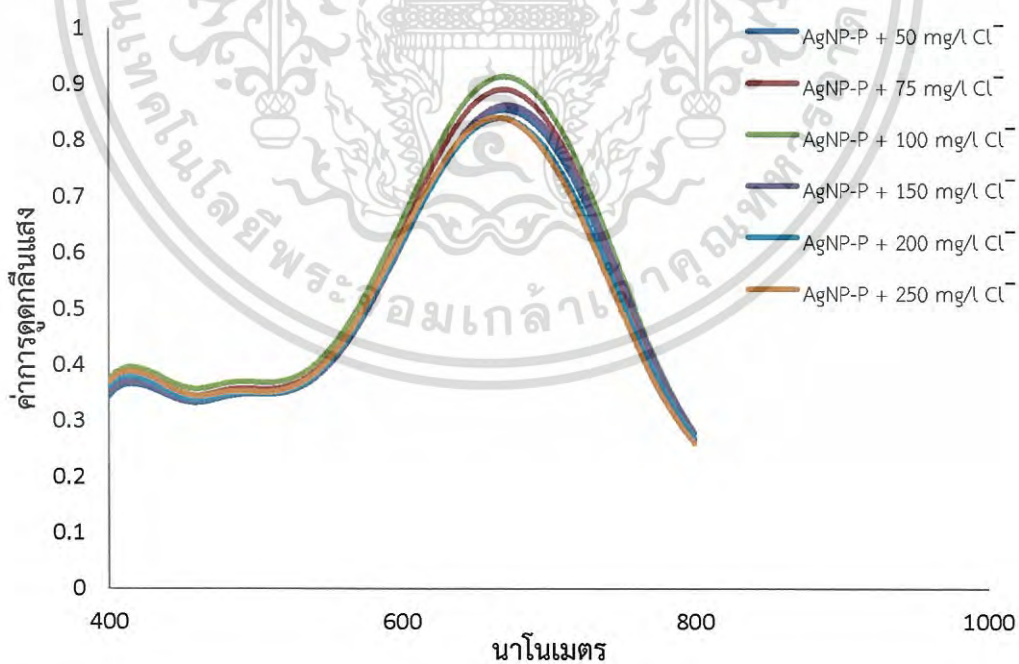
ตารางที่ จ. ค่าการดูดกลืนแสงของระบบการศึกษาระยะเวลาที่ทิ้งไว้ก่อนทำการตรวจวัด

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน คลอไรด์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด			
	ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 10 นาที	ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 20 นาที	ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 30 นาที	ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 60 นาที
50	0.9915	0.9407	0.8491	0.8765
75	0.9814	0.9141	0.8148	0.8956
100	0.9804	0.8546	0.8508	0.8913
150	0.9312	0.8909	0.7961	0.8266
200	0.9405	0.8630	0.8379	0.7330
250	0.8133	0.8398	0.7759	0.7510

หมายเหตุ ใช้ซิลเวอร์นาโนเฟลท 3 มิลลิกรัม แล้วเติมน้ำปราศจากไอออน 0.25 มิลลิกรัม เป็นใช้เป็น Blank สแกนหาความยาวคลื่นสูงสุด

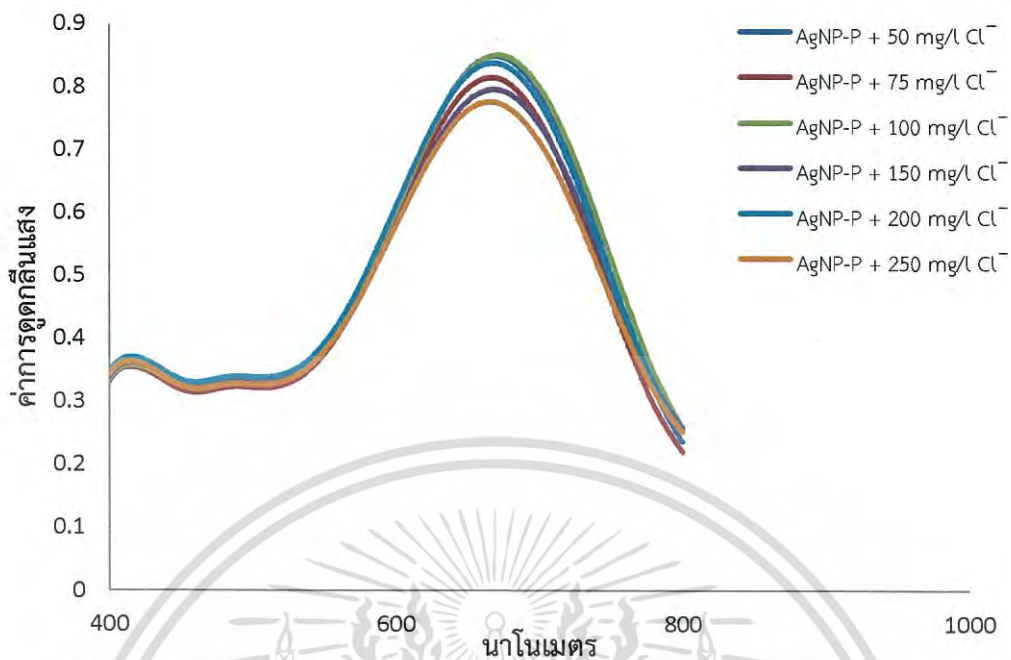


รูปที่ จ.1 ค่าการดูดกลืนแสงของระบบการศึกษาระยะเวลาที่ทิ้งไว้ 10 นาทีก่อนทำการตรวจวัด

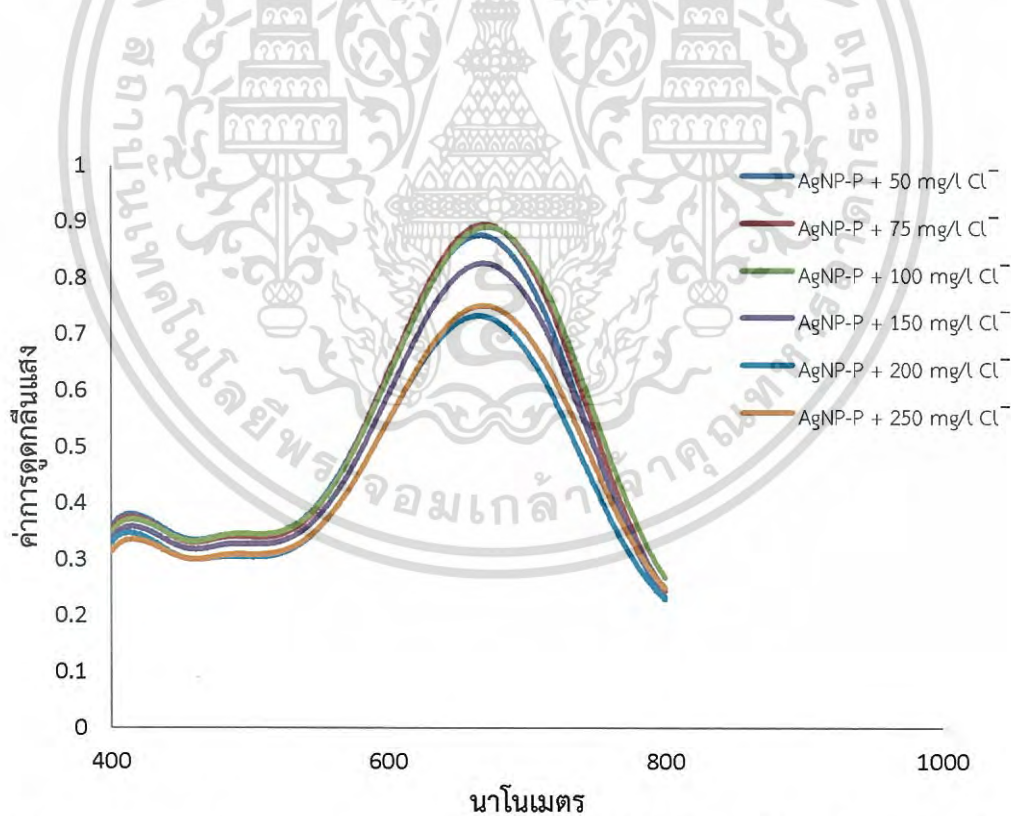


รูปที่ จ.2 ค่าการดูดกลืนแสงของระบบการศึกษาระยะเวลาที่ทิ้งไว้ 20 นาทีก่อนทำการตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ค่าการดูดกลืนแสงของระบบการศึกษาระยะเวลาที่ทิ้งไว้ 30 นาทีก่อนทำการตรวจวัด



รูปที่ 4.4 ค่าการดูดกลืนแสงของระบบการศึกษาระยะเวลาที่ทิ้งไว้ 60 นาทีก่อนทำการตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

การหาค่าร้อยละการคืนกลับ (Accuracy)

จากการศึกษาความเป็นเส้นตรงของวิธีการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนเพลทสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ แล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ช่วงใช้งาน 50-250 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้สมการเชิงเส้นตรง $y = -0.0005x + 1.1946$ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.9948

การคำนวณ

$$\text{สูตร} \quad \% \text{Recovery} = [(C_1 - C_2) / C_3] \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ C_1 คือ ความเข้มข้นของตัวอย่าง + ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน
 C_2 คือ ความเข้มข้นของตัวอย่าง
 C_3 คือ ความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่เติมลงไป

