ชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษสำหรับวิเคราะห์คลอไรด์เชิงปริมาณ

SPOT TEST ON PAPER FOR QUANTITATIVE DETERMINATION OF CHLORIDE

กนกกาญจน์ กิตติยา
อธิชัย

ยั่งยืนเตชานนท์
ทรงศักดิ์ราตรี
เชี่ยวชาญชำนาญกิจ

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

ชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษสำหรับวิเคราะห์คลอไรด์เชิงปริมาณ

SPOT TEST ON PAPER FOR QUANTITATIVE DETERMINATION OF CHLORIDE

กนกกาญจน์ ยั่งยืนเตชานนท์

กิตติยา ทรงศักดิ์ราตรี

อธิชัย เชี่ยวชาญชำนาญกิจ

b.00265620

i.

TB00154

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SPOT TEST ON PAPER FOR QUANTITATIVE DETERMINATION OF CHLORIDE

KANOGKAN YUNGYUENTACHANON
KITTIYA THONGSAKRATY
ATHICHAI CHEIWCHANCHAMNANGIJ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	ชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษสำหรับวิเคราะห์คลอไรด์เชิงปริมาณ Spot Test on Paper for Quantitative Determination of Chloride
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกนกกาญจน์ ยั่งยืนเตชานนท์ รหัสนักศึกษา 55050557 นางสาวกิตติยา ทรงศักดิ์ราตรี รหัสนักศึกษา 55050577 นายอธิชัย เชี่ยวชาญชำนาญกิจ รหัสนักศึกษา 55050856
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.เสาวภาคย์ ธีราทรง ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น กรรมการ	
ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ ชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษสำหรับวิเคราะห์คลอไรด์เชิงปริมาณ

ชื่อนักศึกษา นางสาวกนกกาญจน์ ยั่งยืนเตชานนท์ รหัสนักศึกษา 55050557

นางสาวกิตติยา ทรงศักดิ์ราตรี รหัสนักศึกษา 55050577

นายอธิชัย เชี่ยวชาญชำนาญกิจ รหัสนักศึกษา 55050856

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา เคมี

คณะ วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)

ปีการศึกษา 2558

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ

บทคัดย่อ

ได้พัฒนาการทดสอบแบบจุดบนกระดาษเพื่อวิเคราะห์คลอไรด์เชิงปริมาณ โดยใช้ระบบโซล-เจลสำหรับควบคุมขอบเขตของการเกิดปฏิกิริยา เตรียมสารละลายโซล-เจลแบบเจือซิลเวอร์ไนเตรต ความเข้มข้น 0.010 โมลาร์ ปริมาตร 600.00 ไมโครลิตร ใน TEOS 2.00 มิลลิลิตร ผสมกับเอทานอล ปราศจากน้ำ 2.00 มิลลิลิตร กรดอะซิติกเข้มข้น 0.010 โมลาร์ 1.00 มิลลิลิตร และไตรตัน เอ็กซ์ 100 7 หยด เตรียมจุดรีเอเจนต์โดยหยดสารละลายโซล-เจลนี้ 10.00 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรอง ทิ้งไว้ให้แห้ง 30 นาที ทดสอบหาปริมาณคลอไรด์โดยหยดสารละลายตัวอย่างปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนจุดรีเอเจนต์ นำกระดาษทดสอบไปฉายด้วยแสงไฟจากหลอดไส้ในกล่องกระดาษแบบปิด เป็นเวลา 60 นาที วิเคราะห์สีชมพูอมม่วงที่เกิดขึ้นบนจุดทดสอบ โดยบันทึกภาพจุดสีด้วยเครื่องสแกน ประมวลผลความเข้มสีด้วยโปรแกรม Image J™ และคำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean Distance, ED) กราฟมาตรฐานที่ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างความเข้มแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ เป็นไปตามสมการ $y = 0.140X - 0.066$ ($r^2 = 0.9970$) การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำดื่ม น้ำประปา และน้ำสระว่ายน้ำ ด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้นเทียบกับวิธีมาตรฐานการไทเทรตแบบโมฮร์ พบว่า ให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($n=4$, $t_{คำนวณ} = 0.59$ และ $t_{ตาราง} = 3.18$)

คำสำคัญ : โซล-เจล ชุดทดสอบแบบจุด ซิลเวอร์ไนเตรท คลอไรด์ การวิเคราะห์ความเข้มสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Spot Test on Paper for Quantitative Determination of Chloride		
Students	Miss Kanogkan	Yungyuentachanon	Student ID 55050557
	Miss Kittiya	Thongsakraty	Student ID 55050577
	Mr. Athichai	Cheiwchanchamnangij	Student ID 55050858
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2558		
Advisor	Asst.Prof.Dr. Wiboon Praditweangkum		

ABSTRACT

The spot on paper for quantitative determination of chloride has been developed using sol-gel to control a reaction zone. The sol-gel solution is prepared by doping 0.010 M silver nitrate 600.00 µL in TEOS 2.00 mL together mixed with anhydrous ethanol 2.00 mL 0.010 acetic acid 1.00 mL and 7 drops of Triton™ X 100. Each 10 µL of sol-gel solution is dropped on a filter paper and preparing the reagent slurry drops by sol-gel of allow to dry for 30 minutes. Testing for chloride can be done by dropping 10.00 µL of sample solution on a reagent spot. The tested paper is placed under the light from an incandescent bulb in a closed box for 60 minutes. The pink-purple color happened on the spot is recorded by a scanner. The intensity of light can be evaluated by Image J™ program and the Euclidean Distance is calculated. The calibration curve plotted between Euclidean Distance and concentration of chloride standard solution. The linear equation is $y = 0.140x - 0.066$ ($r^2 = 0.9970$). The results of analysis for chloride in samples such as drinking water, tap water and water from pool by this developed method and titrimetric standard method of Mohr were not signification different at 95% confident interval (n=4, $t_{cal} = 0.59$ and $t_{table} = 3.18$).

Keywords : Sol-gel, Spot test, Silver nitrate, Chloride, Colorimetric method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดี ต้องขอขอบคุณ ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ อาจารย์ผู้ควบคุมโครงงานพิเศษ ซึ่งกรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ ข้อคิดเห็น ตลอดจนพิจารณาตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของการจัดทำรูปเล่มจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณ ผศ.ดร. ณัฐวุฒิ เชิงชั้น และ ผศ.ดร. เสาวภาคย์ ธีราทรง กรรมการในการสอบโครงงานพิเศษที่กรุณาตรวจสอบและแก้ไขโครงงานพิเศษ พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นในการทำโครงงานพิเศษ

ขอขอบคุณภาควิชาเคมีที่อนุเคราะห์ อุปกรณ์ สารเคมี และห้องปฏิบัติการในการวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ทุกคนที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ อำนวยความสะดวกในการวิจัย

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครูอาจารย์ที่ให้ความรัก ให้การศึกษาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา สำหรับประโยชน์และคุณค่าอันพึงมีจากโครงงานพิเศษฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

กนกกาญจน์ ยั่งยืนเตชานนท์
กิตติยา ทรงศักดิ์ราตรี
อธิชัย เชี่ยวชาญชำนาญกิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ซ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 คลอรีน 3
2.1.1 ลักษณะทั่วไปและสมบัติของคลอรีน 3
2.1.2 การนำคลอรีนไปใช้ประโยชน์ 3
2.1.3 เคมีวิทยาของคลอรีนในน้ำ 4
2.1.4 ข้อดี-ข้อเสียของการใช้คลอรีน 6
2.1.5 คลอรีนอิสระตกค้าง 6
2.2 มาตรฐานทางเคมีของน้ำ 8
2.2.1 มาตรฐานทางเคมีของน้ำบริโภค 8
2.2.2 มาตรฐานทางเคมีของน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท 10
2.2.3 มาตรฐานทางเคมีของสระว่ายน้ำ 12
2.3 วิธีวิเคราะห์คลอไรด์ 13
2.3.1 วิธีซิลเวอร์ไนเตรท 13
2.3.2 วิธีเมอร์คิวรี(II)ไนเตรท 13
2.3.3 วิธีซิลเวอร-ซิลเวอรคลอไรดอิเลคโทรด 13
2.3.4 วิธีเฟอรริไซยาไนด์ 13
2.4 กระบวนการโซลเจล 15
2.4.1 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.2 ปฏิกิริยาการควบแน่น 19
2.5 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างซิลเวอร์ไนเทรต และคลอไรด์ 20
2.6 ชุดทดสอบภาคสนาม 20
2.7 ระบบสี 22
2.7.1. RGB 22
2.7.2. CMYK 23
2.7.3. HSB 23
2.7.4. LAB 24
2.8 การทำงานของเครื่องสแกน 25
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 26
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการทดลอง 27
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี 27
3.1.1 สารเคมี 27
3.1.2 อุปกรณ์ 27
3.2 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย 28
3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง 28
3.3.1 ศึกษาระบบสำหรับชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ 28
3.2.1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน 28
3.2.1.2 การเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 29
3.2.1.3 การเตรียมสารละลายโซล-เจล เจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท 29
3.2.1.4 ระบบโซล-เจล เจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท 29
3.3.1.5 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของซิลเวอร์ไนเตรท 30
3.3.3 ศึกษาอิทธิพลของแสงแดด ที่มีผลต่อปฏิกิริยา 30
3.3.4 ศึกษาอิทธิพลของแสง ที่มีผลต่อปฏิกิริยา 30
3.3.5 ศึกษาอิทธิพลของแสงและความร้อน ที่มีผลต่อปฏิกิริยา 31
3.3.6 ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของซิลเวอร์ไนเตรท 31
3.3.7 ศึกษาความเสถียรของชุดทดสอบเมื่อใช้งานแล้ว 31
3.3.8 ศึกษาความเสถียรของชุดทดสอบก่อนใช้วิเคราะห์ 31
3.3.9 วิเคราะห์เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.9.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ด้วยชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ. 32
3.3.9.2 การวิเคราะห์ค่าวิธีมาตรฐาน 32
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 33
4.1 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของซิลเวอร์ไนเตรท 33
4.2 ศึกษาช่วงปริมาตรที่เหมาะสมของซิลเวอร์ไนเตรท 35
4.3 ศึกษาอิทธิพลของแสงแดด ที่มีผลต่อปฏิกิริยา 36
4.4 ศึกษาอิทธิพลของแสง ที่มีผลต่อปฏิกิริยา 37
4.5 ศึกษาอิทธิพลของแสงและความร้อน ที่มีผลต่อปฏิกิริยา 38
4.6 ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของซิลเวอร์ไนเตรท 39
4.7 ศึกษาความเสถียรของชุดทดสอบเมื่อใช้งานแล้ว 40
4.8 ศึกษาความเสถียรของชุดทดสอบก่อนใช้วิเคราะห์ 41
4.9 วิเคราะห์เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน 42
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 43
เอกสารอ้างอิง 45
ภาคผนวก ก 48
ภาคผนวก ข 50
ภาคผนวก ค 51
ภาคผนวก ง 53
ภาคผนวก จ 55
ภาคผนวก ฉ 57
ภาคผนวก ช 59
ภาคผนวก ซ 62
ภาคผนวก ฌ 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 332 (พ.ศ. 2521) เรื่องกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค 7
2.2 มาตรฐานทางเคมีของน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทโดยกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 135 (พ.ศ. 2534) เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 2) 10
2.3 มาตรฐานทางเคมีของสระว่ายน้ำ โดยสถาบันสระว่ายน้ำแห่งชาติ 12
2.4 ลิแกนด์ที่นิยมใช้เป็นสารตั้งต้น 17
2.5 การเปรียบเทียบวิธีการทดสอบระหว่างชุดทดสอบภาคสนามกับวิธีทดสอบในห้องปฏิบัติการ 21
4.1 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดและวิธีมาตรฐานการไทเทรตวิธีของโมฮร์ 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 สัดส่วนของ HOCl และ OCl^- ในน้ำที่ pH ต่าง ๆ 5
2.2 การกระจาย HOCl และ OCl^- ในน้ำที่ pH ต่าง ๆ 5
2.3 แสดงผลของ pH และการเปลี่ยนแปลงชนิดของคลอรีน 7
2.4 การเปลี่ยนสถานะจากโซล เป็นเจล 15
2.5 ผลของค่า pH ต่ออัตราการละลายและเวลาในการเกิดเจล 19
2.6 เทคนิคในการสังเคราะห์โดยวิธีโซล-เจล 19
2.7 วงจรสี RGB 22
2.8 วงจรสี CMYX 23
2.9 วงจรสี HSB 24
2.10 วงจรสี LAB 24
2.11 การทำงานของเครื่องสแกน 25
4.1 การเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรท 0.0010, 0.010 และ 0.10 โมลาร์ 34
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสง ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรท 0.1 โมลาร์ ที่ปริมาตร 500, 1,000, 1,500, และ 2,000 ไมโครลิตร 35
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสง ของระบบโซล-เจลที่นำไปตากกลางแดด 10 นาที 36
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสง ของระบบโซล-เจลที่นำไปฉายด้วยไป LED 10 นาที 37
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสง ของระบบโซล-เจลที่นำไปฉายด้วยหลอดไส้ 60 นาที 38
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสง ของระบบโซล-เจลที่มีความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรทต่างกัน 39
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสง ของระบบโซล-เจลที่นำมาสแกนซ้ำในแต่ละวัน 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

น้ำ เป็นสิ่งที่ใช้อุปโภคบริโภคของมนุษย์ในชีวิตประจำวัน น้ำประกอบด้วยไอออนหลายชนิด และหนึ่งในไอออนดังกล่าว ได้แก่ คลอไรด์ ซึ่งปริมาตรของคลอไรด์ในน้ำจะแสดงคุณสมบัติของน้ำในการกัดกร่อน คลอไรด์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของเกลือโซเดียม เกลือแคลเซียม หรือเกลือแมกนีเซียม ถ้ามีปริมาตรคลอไรด์มากกว่า 250 มิลลิกรัม/ลิตร จะทำให้น้ำมีรสกร่อยจนถึงเค็ม การวิเคราะห์หาปริมาตรคลอไรด์ในน้ำมีหลายวิธีที่นิยมใช้กัน ตัวอย่างเช่น ตัวอย่างน้ำที่มีคลอไรด์ปริมาตรน้อยหรือความเป็นด่างไม่มาก จะวิเคราะห์โดยใช้ซิลเวอร์ไนเตรท (Argentometric Method) ตัวอย่างน้ำที่มีคลอไรด์ปริมาตรมาก จะวิเคราะห์โดยใช้วิธีเมอร์คิวรี (II) (Mercuric Nitrate Method) ตัวอย่างน้ำที่มีความขุ่นมากๆและน้ำเสียจากโรงงาน จะวิเคราะห์โดยใช้วิธีโพเทนทิโอเมตริก (Potentiometric Method) และตัวอย่างน้ำที่มีปริมาตรมาก จะวิเคราะห์โดยใช้วิธีเมอร์คิวริกไทโอไซยาเนตโฟล์วอินเจ็คชั่นแอนาไลซิส (Mercuric Thiocyanate Flow injection analysis) เป็นต้น ซึ่งการเลือกว่าจะใช้วิธีการใดในการวิเคราะห์ ขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำ และความสะดวกของอุปกรณ์เครื่องมือ โดยปกติการเลือกใช้วิธีดังกล่าวในการวิเคราะห์ อาจจะต้องมีขั้นตอนการเตรียมที่ยุ่งยาก รวมทั้งต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์จำนวนมาก จึงไม่เหมาะสำหรับการวิเคราะห์แบบภาคสนามที่ต้องการ ทั้งความรวดเร็ว สะดวก เรียบง่าย และได้ผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำ

จากที่กล่าวมานั้น ทำให้เกิดช่องว่างของการวิเคราะห์คลอไรด์เชิงปริมาตรในภาคสนาม ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของความสะดวกของการวิเคราะห์ การเคลื่อนย้ายเครื่องมืออุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ ทำให้เกิดข้อจำกัดว่าต้องวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ผู้วิจัยจึงคิดค้นและพัฒนาชุดทดสอบคลอไรด์สำหรับการทดสอบภาคสนามที่สามารถระบุความเข้มข้นของสารตัวอย่างได้อย่างแม่นยำ ซึ่งจะสามารถเติมเต็มช่องว่างที่เกิดขึ้นได้ โดยใช้ซับสเตรตที่ไม่ซับซ้อน นั่นคือ กระดาษกรอง โดยมีเป้าหมายของงานวิจัยคือ พัฒนารูปแบบและทดสอบประสิทธิภาพชุดทดสอบบนกระดาษสำหรับตรวจวัดในเชิงปริมาตรวิเคราะห์ได้ โดยใช้ปฏิกิริยาที่เป็นที่รู้จักกันคือ ใช้รีเอเจนต์ซิลเวอร์ไนเตรท เพื่อตรวจวัดสารตัวอย่างคลอไรด์โดยเกิดตะกอนสีขาว เมื่อโดนแสงจะเกิดการสลายตัว และซิลเวอร์(I) ไอออน (Ag^{+}) จะถูกรีดิวซ์เป็นซิลเวอร์ (0) (Ag^{0}) เกิดเป็นสีชมพูอมม่วงบนจุดทดสอบซึ่งแปรผันตามปริมาตรคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษา และพัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษสำหรับวิเคราะห์ปริมาตรคลอไรด์

1.2.2 เพื่อนำชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษที่พัฒนาขึ้น ประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์คลอไรด์เชิงปริมาตรในตัวอย่างน้ำที่มีคลอไรด์ปนเปื้อน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาหลักการ และระบบที่มีความเป็นไปได้สำหรับพัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษ ซึ่งส่วนสำคัญของชุดทดสอบคือ ระบบโซล-เจลที่ใช้สำหรับเจือสารซิลเวอร์ไนเตรท ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเติมสารเจือลงในระบบโซล-เจล เพื่อสร้างชุดทดสอบบนกระดาษ จากนั้นทดสอบหาประสิทธิภาพของชุดทดสอบ หาช่วงการใช้งานและประเมินความใช้ได้ของชุดทดสอบที่พัฒนาขึ้นเทียบกับวิธีไทเทรตของโมฮร์ ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์หาปริมาตรคลอไรด์

ขั้นตอนการดำเนินการมีดังนี้

1.3.1 สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1.3.2 ศึกษาหลักการความเป็นไปได้และระบบที่ใช้ในการสร้างชุดทดสอบกระดาษจากงานวิจัยเดิมที่เกี่ยวข้อง

1.3.3 ศึกษาระบบที่เหมาะสมในการสร้างชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด โดยใช้การเจือไนเตรทในระบบโซล-เจล

1.3.4 ศึกษาความสามารถและประสิทธิภาพของชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด สำหรับตรวจวัดคลอไรด์เชิงปริมาตรวิเคราะห์

1.3.5 ประยุกต์ชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาตรคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำดื่มและน้ำประปา

1.3.6 ประเมินความใช้ได้ของชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดที่พัฒนาขึ้นเทียบกับวิธีมาตรฐานไทเทรตหาปริมาตรคลอไรด์ด้วยวิธีโมฮร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดสำหรับตรวจวัดปริมาตรคลอไรด์ในตัวอย่างน้ำดื่มและน้ำประปาซึ่งสามารถใช้เป็นชุดทดสอบภาคสนามในเชิงปริมาตรวิเคราะห์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คลอรีน

2.1.1 ลักษณะทั่วไปและสมบัติของคลอรีน [1]

คลอรีน จากภาษากรีกคือ Chloros แปลว่าสีเขียวอ่อน เป็นธาตุทางเคมีที่มีเลขอะตอม 17 และสัญลักษณ์ทางเคมี คือ Cl เป็นธาตุกลุ่มแฮโลเจนในตารางธาตุ มีลักษณะเป็นกาซ สีเหลืองแกมเขียว มีกลิ่นฉุนไมพบในธรรมชาติ จุดหลอมเหลว -101 ^{O}C จุดเดือด -34.6 ^{O}C เมื่อเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นก๊าซ จะมีปริมาตรเพิ่มขึ้น 460 เทาคลอรีนหนักกวาอากาศ 2.5 เทาและสามารถละลายน้ำได้เล็กน้อย โดยทั่วไปจะพบคลอรีนในรูปคลอไรด์ (Cl^-) เป็นส่วนประกอบของเกลือทะเล และสารประกอบอื่นๆ ซึ่งจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่รวมถึงมนุษย์ด้วย

คลอรีนสภาวะอุณหภูมิและความดันปกติ จะอยู่ในรูปก๊าซสีเขียวตองอ่อนในสภาวะภายใต้ความดันจะเปลี่ยนเป็นของเหลวสีอำพัน ในสภาพแห้งคลอรีนจะไม่กัดกร่อนโลหะแต่ถ้ามีความชื้นอยู่ด้วยการกัดกร่อนจะรุนแรงไม่ระเบิดและไม่ติดไฟ แต่ช่วยให้ไฟติดเหมือนก๊าซออกซิเจน

คลอรีนที่อยู่ในภาชนะบรรจุเป็นคลอรีนแห้ง และมีสภาพเป็นของเหลวอยู่ภายใต้ความดันสูง โดยความดันจะสูงขึ้นตามอุณหภูมิ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่วนที่เป็นของเหลวบริเวณส่วนล่างของภาชนะบรรจุจะเปลี่ยนสภาพเป็นก๊าซ ตัวอย่างเช่นที่อุณหภูมิ 35 ^{O}C ความดันของก๊าซคลอรีนในภาชนะบรรจุจะเท่ากัน 10 เท่าของความดันบรรยากาศ ถ้าอุณหภูมิสูงถึง 65 ^{O}C ความดันก๊าซภายในจะเท่ากับ 20 เท่าของความดันบรรยากาศ ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อภาชนะบรรจุ ดังนั้นควรเก็บภาชนะบรรจุคลอรีนในที่ร่มและมีอากาศถ่ายเทสะดวก

2.1.2 การนำคลอรีนไปใช้ประโยชน์ [2]

2.1.2.1 ใช้ฆ่าเชื้อ แบคทีเรีย และจุลินทรีย์ในน้ำดื่ม และน้ำในสระว่ายน้ำ

2.1.2.2 ใช้ในอุตสาหกรรมผลิต กระดาษ ทำยาฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ทำสีผสมอาหาร ยาฆ่าแมลง สี ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม พลาสติก เวชภัณฑ์ อุตสาหกรรมสิ่งทอ ฯลฯ

2.1.2.3 ใช้ในการผลิตคลอเรต (Chlorates) เช่น คลอโรฟอร์ม (chloroform) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (carbon tetrachloride) และใช้ในการสกัดโบรมีน

2.1.2.4 ใช้ในการทำความสะอาดวัตถุดิบ ทำความสะอาดผิวอาหาร เช่น ผักผลไม้ เนื้อสัตว์ อาหารทะเล

2.1.2.5 ใช้เป็นสารฆ่าเชื้อ (sanitizer) เพื่อการฆ่าเชื้อเครื่องครัว เครื่องอุปกรณ์แปรรูปอาหารและเครื่องดื่มพื้นผิวที่ต้องสัมผัสกับอาหารรวมทั้งเสื้อผ้า ถุงมือ รองเท้า พนักงาน

2.1.2.6 ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย (waste water treatment)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 เคมีวิทยาของคลอรีนในน้ำ [3]

ปฏิกิริยาของคลอรีนในน้ำสะอาด เมื่อมีการเติมก๊าซคลอรีนลงไปในน้ำสะอาด จะมีปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนี้

$$Cl_2 + H_2O \longrightarrow HCl + HOCl \quad (1)$$

$$HCl \longrightarrow H^+ + Cl^- \quad (2)$$

รวม $Cl_2 + H_2O \longrightarrow H^+ + Cl^- + HOCl \quad (3)$

$[H^+][Cl^-][HOCl] / [Cl_2] = 4 \times 10^{-4}$ ที่ 25 °C

กรดเกลือ (HCl) สามารถแตกตัวได้อย่างสมบูรณ์กลายเป็น H^+ และ Cl^- แต่กรดไฮโปคลอรัส (HOCl) เป็นกรดอ่อนจึงแตกตัวได้เพียงบางส่วน

$$HOCl \longrightarrow H^+ + OCl^- \quad (4)$$

$[H^+][OCl^-] / [HOCl] = 2.7 \times 10^{-8}$ ที่ 20 °C

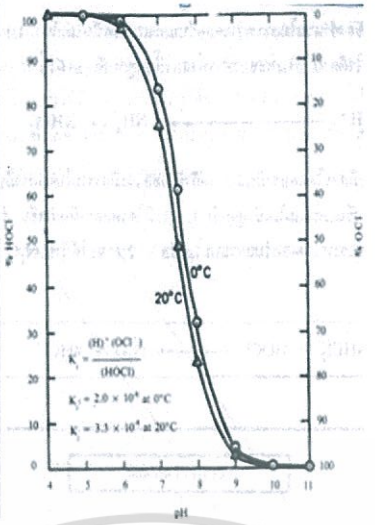
ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมี 2 กรณี คือ เมื่อ pH ต่ำกว่า 4 และเมื่อpH สูงกว่า 4

กรณีที่ pH มีค่าต่ำกว่า 4 เป็นกรณีที่มีคลอรีนปริมาตรมากผสมกับน้ำ ดังเช่นที่เกิดขึ้นในน้ำที่ใช้เป็นพาหะพาคลอรีนไปเติมให้กับน้ำที่ต้องการฆ่าเชื้อโรค กรณีนี้จะพบว่า $\%Cl_2$ จะเพิ่มตามระดับ pH ที่ลดลง ส่วน %HOCl จะแปรผกผันกับ $\%Cl_2$ อาจกล่าวได้ว่าคลอรีนมีความสามารถจำกัดในการละลายน้ำ เมื่อ pH มีค่าต่ำกว่า 4 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะหยุด จึงพบว่ามีคลอรีนอิสระเหลือมากและมีกรดไฮโปคลอรัสเกิดน้อย

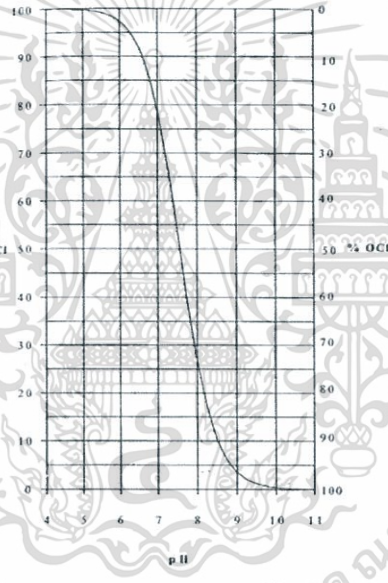
กรณีที่ pH มีค่าสูงกว่า 4 เป็นกรณีของการใช้คลอรีนฆ่าเชื้อโรคในน้ำทั่วไป ปริมาตรคลอรีนที่ใช้มีความเข้มข้นต่ำ ทำให้ปฏิกิริยาเคมีดำเนินจากขวาไปซ้ายได้อย่างต่อเนื่อง ก๊าซคลอรีนจะเหลือละลายน้ำอยู่น้อย ด้วยเหตุนี้ในน้ำจึงมีคลอรีนที่อยู่ในรูป H^+, Cl^-, HOCl, OCl^- และมีก๊าซคลอรีนเหลืออยู่ในรูปอิสระบ้างเล็กน้อย กรดที่เกิดขึ้นทำให้pH ของน้ำมีค่าลดลง แต่ไม่มากพอทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคลดลง

สารประกอบ HOCl และไอออน OCl^- รวมเรียกว่า “Free Available Chlorine” หรือคลอรีนพร้อมใช้อิสระ ซึ่งเป็นสารที่รับผิดชอบในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำ ระดับการแตกตัวเป็นไอออนของกรดไฮโปคลอรัสขึ้นอยู่กับ pH จะเห็นได้ว่าถ้า pH ต่ำ น้ำจะมี HOCl มาก ในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมี pH สูง จะมี OCl^- มาก แต่เนื่องจาก HOCl มีอำนาจในการฆ่าเชื้อโรคสูงกว่า OCl^- หลายเท่า การทำคลอริเนชันที่ pH ต่ำ จึงได้ผลมากกว่าที่ pH สูง เหตุผลที่ HOCl มีอำนาจมากกว่า OCl^- ก็เพราะว่า HOCl มีอำนาจการออกซิไดซ์สูงกว่า นอกจากนี้อาจเนื่องจาก OCl^- มีประจุลบทำให้ถูกผลักออกจากเซลล์ซึ่งก็มีประจุลบเหมือนกัน กรดไฮโปคลอรัสที่ไม่มีประจุจึงสามารถเข้าหาเซลล์ได้ง่ายกว่าและไม่ถูกผลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 สัดส่วนของ HOCl และ OCl^- ในน้ำที่ pH ต่างๆ [18]



รูปที่ 2.2 การกระจาย HOCl และ OCl^- ในน้ำที่ pH ต่างๆ [3]

การเติมสารประกอบคลอรีน เช่น แคลเซียมไฮโปคลอไรด์ ($Ca(OCl)_2$) ให้กับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสดังนี้

$$Ca(OCl)_2 \longrightarrow Ca_2^{+} + 2OCl^{-} \quad (5)$$

$$2OCl^{-} + H_2O \longrightarrow HOCl + OCl^{-} + OH^{-} \quad (6)$$

รวม $$Ca(OCl)_2 + H_2O \longrightarrow Ca_2^{+} + HOCl + OCl^{-} + OH^{-} \quad (7)$$

จะเห็นได้ว่า มีคลอรีนอิสระเกิดขึ้นทั้งสองชนิดเช่นเดียวกับในกรณีของการเติมก๊าซคลอรีนให้กับน้ำ สิ่งที่แตกต่างกันคือ $Ca(OCl)_2$ ทำให้น้ำมี pH สูงขึ้น แต่คลอรีนทำให้ pH ของน้ำลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ข้อดี-ข้อเสียของการใช้คลอรีนในน้ำประปา [4]

ข้อดีของการใช้คลอรีนในน้ำประปา

- ราคาถูก
- มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคสูง
- สามารถจัดหาได้ง่าย
- ไม่มีพิษอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ขนาดใหญ่ เมื่อมีปริมาตรไม่มาก
- คลอรีนไม่มีหลงเหลือค้างอยู่ในน้ำประปา

ข้อเสียของการใช้คลอรีนในน้ำประปา

- จะเกิดสภาพกรด ได้แก่ HCl
- มีปริมาตรเกลือที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้น (Total Dissolved Salts)
- เกิดสารพวก Carcinogenic ซึ่งก่อให้เกิดมะเร็งได้
- ต้องระมัดระวังในความปลอดภัย เกี่ยวกับปริมาตรที่เติมลงน้ำประปาและระบบเติมคลอรีนที่ใช้ก๊าซคลอรีน

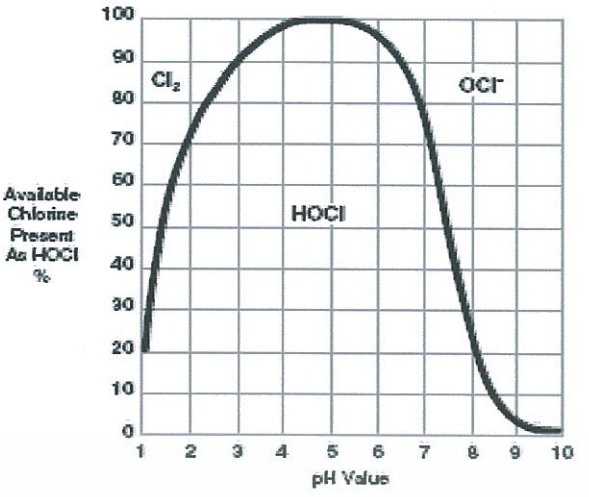
2.1.5 คลอรีนอิสระตกค้าง (Free Residual Chlorine) [5]

คลอรีนอิสระตกค้างจะเกิดจากปฏิกิริยาการเติมคลอรีนลงไปในน้ำที่เรียกว่า กระบวนการคลอริเนชัน ส่วนมากจะพบได้ทั้งในน้ำประปา น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือแม้กระทั่งจากสระว่ายน้ำ ซึ่งต้องมีการควบคุมปริมาตรของคลอรีนอิสระตกค้างให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน เพราะถ้าปล่อยให้มีปริมาตรที่เกิดมาตรฐานจะทำให้เกิดอันตรายได้

ความเข้มข้นของคลอรีนอิสระ (Free chlorine residual) ความเข้มข้นและปริมาตรของคลอรีนที่เติมลงในน้ำไม่ใช่สิ่งที่สำคัญที่สุดในการฆ่าเชื้อโรค หากแต่เป็นปริมาตรคลอรีนอิสระที่เหลืออยู่ในน้ำ ซึ่งวัดได้หลังจากช่วงระยะเวลาสัมผัสอันหนึ่ง แต่การเติมคลอรีนน้อยเกินไปจะไม่ทำให้เกิดคลอรีนอิสระขึ้นและอาจจะทำลายเชื้อโรคในน้ำได้ไม่ทั้งหมด แต่การเติมคลอรีนในปริมาตรที่มากเกินไปจะทำให้น้ำมีกลิ่นฉุนของคลอรีนและทำให้รสชาติของน้ำเสียไปด้วย นอกจากนี้คลอรีนยังมีฤทธิ์กัดกร่อน อาจทำให้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ เสียหายได้ ดังนั้นในการเติมคลอรีนจึงต้องเติมในปริมาตรที่พอเหมาะ คือ สามารถฆ่าเชื้อโรคได้หมด รวมทั้งก่อให้เกิดคลอรีนอิสระในช่วงที่แนะนำ คือ ระหว่าง 0.2-0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (0.2-0.5 ppm.) ณ เวลาสัมผัส 30 นาที กล่าวคือภายหลังจากที่ทำการเติมสารละลายคลอรีนไปแล้ว 30 นาที ต้องสามารถวัดปริมาตรคลอรีนอิสระได้ระหว่าง 0.2-0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

Cl_2, HOCl และ OCl^- เรียกว่า คลอรีนอิสระตกค้าง (Free chlorine residual) ปริมาตรคลอรีนอิสระตกค้างชนิดใดจะมากหรือน้อยกว่ากัน อยู่ที่สภาพ pH ของน้ำ แสดงความสัมพันธ์ในรูป 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงผลของ pH และการเปลี่ยนแปลงชนิดของคลอรีน [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 มาตรฐานทางเคมีของน้ำ

2.2.1 มาตรฐานทางเคมีของน้ำบริโภค

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 332 (พ.ศ. 2521) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่องกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 95 ตอนที่ 68 ลงวันที่ 4 กรกฎาคม 2521แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 332 (พ.ศ. 2521) เรื่องกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค [7]

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	มาตรฐาน	
			เกณฑ์กำหนดสูงสุด (Maximum Acceptable Concentration)	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด (Maximum Allowable Concentration)
ทางกายภาพ	1.สี (Colour)	พลาตินัม-โคบอลต์ (Platinum-Cobalt)	5	15
	2.รส (Taste)	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
	3.กลิ่น (Odour)	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
	4.ความขุ่น (Turbidity)	ซิลิกา สเกล ยูนิต (Silica scale unit)	5	20
	5.ความเป็นกรด-ด่าง(pH)	-	6.5 - 8.5	9.2
ทางเคมี	6.ปริมาตรสารทั้งหมด (Total Solids)	มก./ล.	500	1,500
	7.เหล็ก (Fe)	มก./ล.	0.5	1.0
	8.แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	0.3	0.5
	9.เหล็กและแมงกานีส (Fe&Mn)	มก./ล.	0.5	1.0
	10.ทองแดง (Cu)	มก./ล.	1.0	1.5
	11.สังกะสี (Zn)	มก./ล.	5.0	15.0
	12.แคลเซียม (Ca)	มก./ล.	75	200
	13.แมกนีเซียม (Mg)	มก./ล.	50	150
	14.ซัลเฟต (SO_4^{2-})	มก./ล.	200	250
	15.คลอไรด์ (Cl^-)	มก./ล.	250	600
	16.ฟลูออไรด์ (F^-)	มก./ล.	0.7	1.0
	17.ไนเตรท (NO_3^-)	มก./ล.	45	45
	18.อัลคิลเบนซิลซัลโฟเนต (Alkyl benzyl Sulfonate,ABS)	มก./ล.	0.5	1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 332 (พ.ศ. 2521) เรื่องกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค [7] (ต่อ)

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	มาตรฐาน	
			เกณฑ์กำหนดสูงสุด (Maximum Acceptable Concentration)	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด (Maximum Allowable Concentration)
ทางเคมี	19.ฟีโนลิกซับสแตนซ์ (Phenolic substances as phenol)	มก./ล.	0.001	0.002
	20.ปรอท (Hg)	มก./ล.	0.001	-
	21.ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	0.05	-
	22.อาร์เซนิก (As)	มก./ล.	0.05	-
สารเป็นพิษ	23.ซิลิเนียม (Se)	มก./ล.	0.01	-
	24.โครเมียม (Cr hexavalent)	มก./ล.	0.05	-
	25.ไซยาไนด์ (CN^-)	มก./ล.	0.2	-
	26.แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	0.01	-
ทางจุลชีววิทยา	27.แบเรียม (Ba)	มก./ล.	1.0	-
	28.แสตนดาร์ดเพลตเคานต์(Standard Plate Count)	โคโลนีต่อลบ.ซม. (Colonies/cm^3)	500	-
	29.เอ็มพีเอ็น (MPN)	โคลิฟอร์มออร์แกนิสซึม ต่อ 100 ลบ.ซม. (Coliform Organism/100 cm^3)	น้อยกว่า 2.2	-
	30.อีโคไล (E.coli)		ไม่มี	-

หมายเหตุ:

เกณฑ์ที่อนุโลมให้สูงสุดเป็นเกณฑ์ที่อนุญาตให้สำหรับน้ำประปาหรือน้ำบาดาลที่มีความจำเป็นต้องใช้บริโภคเป็นการชั่วคราวและน้ำที่มีคุณลักษณะอยู่ในระหว่างเกณฑ์กำหนดสูงสุด กับเกณฑ์อนุโลมสูงสุดนั้นไม่ใช่น้ำที่ให้เครื่องหมายมาตรฐานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 มาตรฐานทางเคมีของน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ.2524) เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะที่ปิดสนิท ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 98 ตอนที่ 157 (ฉบับพิเศษ) ลงวันที่ 24 กันยายน พ.ศ. 2524 ซึ่งได้แก้ไขเพิ่มเติมโดย ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 135 (พ.ศ. 2534) เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 2) ลงวันที่ 26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2534 ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา (ฉบับที่ 2) ลงวันที่ 26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2534แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานทางเคมีของน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทโดยกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 135 (พ.ศ. 2534) เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 2) [7]

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน (เกณฑ์อนุโลมสูงสุด)
ทางกายภาพ	1. สี (Colour)	ฮาเซนยูนิต (Hazen)	20
	2. กลิ่น (Odour)	-	ไม่มีกลิ่น (ไม่รวมกลิ่นคลอรีน)
	3. ความขุ่น (Turbidity)	ซิลิกาสเกลยูนิต (silica scale unit)	5
	4. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	6.5 - 8.5
ทางเคมี	5. ปริมาตรสารทั้งหมด (Total Soilds)	มก./ล.	500
	6. ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness) (คำนวณเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต)	มก./ล.	100
	7. สารหนู (As)	มก./ล.	0.05
	8. แบเรียม (Ba)	มก./ล.	1.0
	9. แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	0.005
	10. คลอไรด์(Cl^-, คำนวณเป็นคลอรีน)	มก./ล.	250
	11. โครเมียม (Cr)	มก./ล.	0.05
	12. ทองแดง (Cu)	มก./ล.	1.0
	13. เหล็ก (Fe)	มก./ล.	0.3
	14. ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	0.05
	15. แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	0.05
	16. ปรอท (Hg)	มก./ล.	0.002
	17.ไนเตรท(NO_3^--N, คำนวณเป็นไนโตรเจน)	มก./ล.	4.0
	18. ฟีนอล (Phenols)	มก./ล.	0.001
	19.ซิลิเนียม (Se)	มก./ล.	0.01
	20. เงิน (Ag)	มก./ล.	0.05
	21.ซัลเฟต (SO_4^{2-})	มก./ล.	250
	22. สังกะสี (Zn)	มก./ล.	5.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานทางเคมีของน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทโดยกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 135 (พ.ศ. 2534) เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 2) [7] (ต่อ)

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน (เกณฑ์อนุโลมสูงสุด)
ทางเคมี	23. ฟลูออไรด์ (F^-) (คำนวณเป็นฟลูออรีน)	มก./ล.	1.5
	24. อะลูมิเนียม	มก./ล.	0.2
	25. เอบีเอส (AlkylbenzeneSulfonate)	มก./ล.	0.2
	26. ไซยาไนด์	มก./ล.	0.1
ทางบัคเตรี	27. โคลิฟอร์ม (Coliform)	เอ็ม.พี.เอ็น/100มล.	2.2
	28. อี.โคไล (E.Coli)	เอ็ม.พี.เอ็น/100มล.	ตรวจไม่พบ
	29. จุลินทรีย์ทำให้เกิดโรค(Disease-causing bacteria)	เอ็ม.พี.เอ็น/100มล.	ตรวจไม่พบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 มาตรฐานทางเคมีของสระว่ายน้ำ

แนวทางที่กำหนดเป็นมาตรฐานทางเคมีของสระว่ายน้ำ โดยสถาบันสระว่ายน้ำแห่งชาติเป็นที่ยอมรับกันทั่วไป แสดงในตารางที่ 2.3 แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับมาตรฐานทางด้านสาธารณสุขของแต่ละแห่ง ชนิดของสารเคมีที่ใช้ในแต่ละสระว่ายน้ำที่มีความแตกต่างกันและความแตกต่างกันในแต่ละวัน การจดบันทึกข้อมูลการใช้สารเคมีและผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ก็จะสามารถคาดการณ์ล่วงหน้าถึงคุณสมบัติของน้ำในสระได้ และทำให้การแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ตรงถูกจุด

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานทางเคมีของสระว่ายน้ำโดยสถาบันสระว่ายน้ำแห่งชาติ [8]

ค่ามาตรฐานที่เสนอ	ค่าที่ยอมรับ
- คลอรีนอิสระ (ppm)	1.0 - 3.0
- คลอรีนรวม (ppm)	-
- pH	7.2 - 7.6
- Total Alkalinity (ppm) (เมื่อใช้คลอรีนเหลว, แคลเซียมไฮโปคลอไรด์ และลิเทียม ไฮโปคลอไรด์)	80 - 100
- Total Alkalinity (ppm) (เมื่อใช้ก๊าซคลอรีน, ไดคลอโร, ไตรคลอโร, และสารประกอบโบรมีน)	100 - 120
- Total Dissolved Solids (ppm) (ของแข็งที่ละลายในน้ำทั้งหมด)	1,000 - 2,000
- Calcium Hardness (ppm) (ความกระด้าง)	200 - 400
- Cyanuric Acid (ppm) (กรดไซยานูริค)	30 - 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 วิธีวิเคราะห์คลอไรด์ [9]

การวิเคราะหหาปริมาตรคลอไรดอาจทำไดหลายวิธีคือ

2.3.1 วิธีซิลเวอรไนเตรท (Argentometric Method) เปนการวิเคราะหหาปริมาตรคลอไรดโดยการไทเทรตตัวอยางน้ำกับสารละลายมาตรฐานซิลเวอรไนเตรท (Standard Silver Nitrate Solution) โดยใชโพแทสเซียมโครเมตเปนอินดิเคเตอรที่จุดยุติตะกอนจะเริ่มเปนสีอิฐ (reddish-brown) ในสารละลายสีเหลือง

2.3.2 วิธีเมอรคิวรี (II) ไนเตรท (Mucuric Nitrate Method) เปนการวิเคราะหหาปริมาตรคลอไรดโดยไทเทรตตัวอยางกับสารละลายมาตรฐานเมอรคิวรี(II)ไนเตรท (Mercuric Nitrate) โดยใชไดเฟนิลคารบาโซน (Diphynyl carbazone) เปนอินดิเคเตอรถึงจุดยุติเมื่อสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเปนสีฟา-มวง (blue-violet) วิธีนี้ใชหาคลอไรดปริมาตรมากและดูสีที่จุดยุติได้ชัดเจน

2.3.3 วิธีซิลเวอร-ซิลเวอรคลอไรดอิเล็กโทรด (Silver-Silver Chloride Electrode Method)

ก. วิธีการไทเทรต (Electrode Method with Silver Nitrate Titration) เปนการวิเคราะหหาปริมาตรคลอไรดโดยใชซิลเวอร-ซิลเวอรคลอไรดอิเล็กโทรด (Silver-Silver Chloride Electrode) ซึ่งจะใชซิลเวอร-ซิลเวอรคลอไรดอิเล็กโทรดเปนตัวบงชี้จุดยุติของปฏิกิริยาในการไทเทรตคลอไรดในตัวอยางน้ำกับสารละลายมาตรฐานซิลเวอรไนเตรท โดยที่จุดยุติจะมีการเปลี่ยนแปลงคาศักยไฟฟามากในขณะที่ใชปริมาตรซิลเวอรไนเตรทเพียงเล็กนอยวิธีการวิเคราะหมีลักษณะคลายคลึงกับวิธีการวิเคราะหวิธีที่ 2.3.1 แตกต่างตรงที่จะใชคลอไรดอิเล็กโทรดเปนตัวบอกจุดยุติของปฏิกิริยาแทนการใชสารเคมีเปนอินดิเคเตอร

ข. วิธีการวัดโดยตรง (Electrode Method with Direct Reading) เปนการวิเคราะหหาปริมาตรคลอไรดโดยใชซิลเวอร-ซิลเวอรคลอไรดอิเล็กโทรด ซึ่งเปน Ion Selective Electrode เฉพาะสำหรับคลอไรดเทานั้น โดยจะใชซิลเวอร-ซิลเวอรคลอไรดอิเล็กโทรดในการวัด Electrode Potential ของสารละลายมาตรฐานคลอไรดแลวสรางกราฟมาตรฐานระหวางElectrode Potential กับ ความเขมขนของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์

2.3.4 วิธีเฟอรริไซยาไนด (Automated Ferricyanide Method) เปนการวิเคราะหหาปริมาตรคลอไรด์โดยใหเมอริคิวรีไทโอไซยาเนตทำปฏิกิริยากับคลอไรด์ที่มีเฟอรริกไนเตรทอยูดวย คลอไรดจะจับกับเมอรคิวรี(II) ไดเปนเมอรคิวริกคลอไรดสวนไทโอไซยาเนตจะทำปฏิกิริยากับเหล็ก(III) ทำใหเกิดสารเชิงซ้อนสีแดงเขมของเฟอรริกไทโอไซยาเนตซึ่งความเขมขนของเฟอรริกไทโอไซยาเนตจะเปนสัดสวนกับปริมาตรคลอไรดที่อยูในสารละลาย

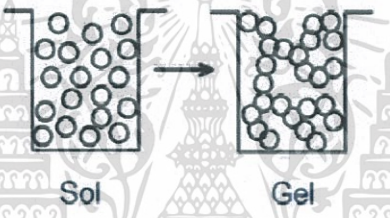
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีซิลเวอรไนเตรทและวิธีเมอรคิวรี(II)ไนเตรท เปนวิธีที่คลายคลึงกันมากในหลายๆสวน การเลือกวาจะใชวิธีไหน สวนมากจึงขึ้นอยูกับความพอใจและความสะดวกของแตละบุคคล โดยวิธีซิลเวอรไนเตรท จะเหมาะสำหรับใชในการวิเคราะหคลอไรดในสารละลายหรือตัวอย่างน้ำที่ใส ไมขุนมากนัก โดยจะตองมีปริมาตรคลอไรดในน้ำตัวอยางที่ไทเทรตในชวง 0.15 - 10 มิลลิกรัมคลอไรด์ สวนวิธีเมอรคิวรี(II)ไนเตรทจะใหจุดยุติที่สามารถเห็นไดงายและชัดเจนกวา ส่วนวิธีซิลเวอร-ซิลเวอรคลอไรดอิเล็กโทรดโดยมากจะใชกับตัวอยางที่ยากแกการไทเทรตโดยใชสารเคมีเปนอินดิเคเตอรซึ่ง ไดแก่ ตัวอยางน้ำที่มีความขุนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กระบวนการโซลเจล (Sol-gel Technology) [10]

กระบวนการผลิตโดยวิธีโซล-เจล เป็นกระบวนการผลิตที่มีประโยชน์หลายอย่างในการผลิตเซรามิกและแก้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุที่ต้องการความบริสุทธิ์สูง โดย Segal (1989) ได้ให้ความหมายของกระบวนการโซลเจลไว้ว่าเป็นกระบวนการที่ใช้สังเคราะห์ออกไซด์ของสารอนินทรีย์ โดย "โซล(sol)" หมายถึงอนุภาคของแข็งที่เป็นคอลลอยด์กระจายตัวอยู่ในของเหลวอย่างมีเสถียรภาพ ส่วน "เจล(gel)" หมายถึงของแข็งที่มีโครงสร้างร่างแหใน 3 มิติ และเต็มไปด้วยรูพรุน ในกระบวนการโซลเจลเมื่ออนุภาคคอลลอยด์ใน "โซล" เกิดการพอลิเมอไรเซชัน (polymerization) ผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) และปฏิกิริยาควบแน่น (condensation) จะได้ของแข็งที่มีรูพรุนที่เรียกว่า "เจล" จึงเป็นที่มาของชื่อกระบวนการข้อดีของกระบวนการโซลเจลคือทำได้ที่อุณหภูมิต่ำและปรับปรุงโครงสร้างได้หลากหลาย สามารถควบคุมอนุภาคหรือชั้นของออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ให้มีขนาดระดับนาโนได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสารตั้งต้นที่ใช้สารเติมแต่งและสภาวะที่ทำการทดลอง



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนสถานะจากโซล เป็นเจล [10]

ปฏิกิริยาที่สำคัญในกระบวนการโซล-เจล มี 3 ปฏิกิริยาคือ Hydrolysis, Water condensation และ Alcohol condensation ดังสมการจะเห็นได้ว่าผลพลอยได้ที่เกิดจากปฏิกิริยานี้คือแอลกอฮอล์ ROH ที่สามารถระเหยออกไปได้ มีปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาคือ pH ตัวเร่งปฏิกิริยาอัตราส่วนมวลของน้ำและโลหะและอุณหภูมิ ดังนั้นการควบคุมปัจจัยเหล่านี้ในสภาวะที่ต่างกันจะทำให้โซล-เจลที่ได้มีสมบัติและโครงสร้างต่างกัน

Hydrolysis : $M - O - R + H_2O \longrightarrow M - OH + R - OH$

Water condensation : $M - OH + HO - M \longrightarrow M - O - M + H_2O$

Alcohol condensation : $M - O - R + HO - M \longrightarrow M - O - M + R - OH$

เมื่อ M แทน โลหะ ได้แก่ Si, Zr, Ti, Al, Sn, Ce

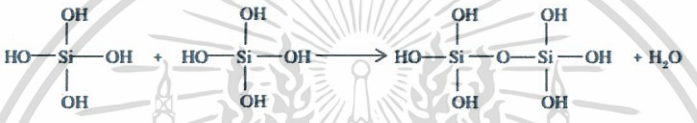
และ OR แทน Alkoxyl group

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนแรกของการทำโซล-เจล คือการผสมสารตั้งต้น (Precursor) กับน้ำสารตั้งต้นที่นิยมใช้ในกระบวนการโซล-เจลเป็นสารประกอบโลหะและกึ่งโลหะที่ล้อมรอบด้วยลิแกนที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเช่นMetal Alkoxideเป็นสารตั้งต้นที่ได้รับความนิยมสูงเนื่องจากทำปฏิกิริยากับน้ำได้ดี เช่น Tetramethoxysilane (TMOS) และ Tetraethoxysilane (TEOS) ส่วน Alkoxide ชนิดอื่น เช่น Aluminate, Titanateและ Borate มีใช้กันแพร่หลาย โดยมักจะใช้ร่วมกับ TEOS เช่น $Si(OR)_4$ ซึ่ง R คือ CH_3 (TMOS), C_2H_5 (TEOS) หรือ C_3H_7 จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำ ดังสมการ

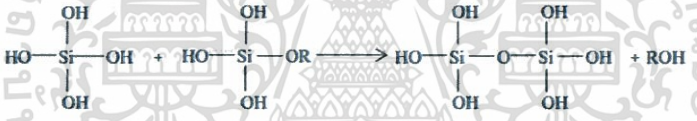
(8)

และขณะเดียวกัน ก็จะเกิดปฏิกิริยาคอนเดนเซชัน : Water Condensation Reaction



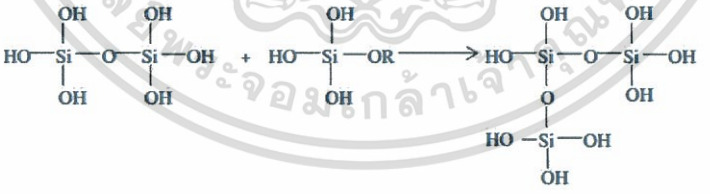
(9)

หรือ Alcohol Condensation Reaction



(10)

สารประกอบที่เกิดขึ้น จะเกิดปฏิกิริยาคอนเดนเซชันต่อไป จนกลายเป็น Silica Network อยู่ในสภาวะที่เรียกว่า Gel จึงเรียกปฏิกิริยาดังกล่าวว่า “ปฏิกิริยาโพลีคอนเดนเซชัน”



(11)

ในกระบวนการผลิต ทั้งจากสภาวะที่เป็น Sol และ Gel เมื่อเข้าสู่กระบวนการทำให้แห้งจะได้ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ เช่น fiber, aerogel, xerogel, powder และ coating film เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงลิแกนด์ที่นิยมใช้เป็นสารตั้งต้น [11]

Alkyl		Alkoxy	
Methyl	$\bullet CH_3$	methoxy	$\bullet OCH_3$
Ethyl	$\bullet C_2H_5$	ethoxy	$\bullet OCH_2H_5$
n-propyl	$\bullet CH_3CH_2CH_3$	n-propoxy	$\bullet OCH_2CH_2CH_3$
iso-propyl	$\bullet H_3C(\bullet C)HCH_3$	isopropoxy	$\bullet H_3C(\bullet O)CHCH_3$
n-buthyl	$\bullet CH_2(CH_2)_2CH_3$	n-butoxy	$\bullet O(CH_2)_3CH_3$
sec-buthy	$\bullet H_3C(\bullet C)HCH_2CH_3$	sec-butoxy	$\bullet H_3C(\bullet O)CHCH_2CH_3$
iso-butyl	$\bullet CH_2CH(CH_3)_2$	isobutoxy	$\bullet OCH_2CH(CH_3)_2$
tert-butyl	$\bullet C(CH_3)_3$	tert-butoxy	$\bullet OC(CH_3)_3$

2.4.1 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส [12]

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส คือ ปฏิกิริยาของสารใดๆ ที่ทำปฏิกิริยาแล้วได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำกับสารใดๆ ไฮโดรไลซิสของเกลือ หมายถึง ปฏิกิริยาระหว่างเกลือกับน้ำ ซึ่งเกลือเป็นอิเล็กโทรไลต์แก่เมื่อละลายน้ำแล้วจะแตกตัวออกเป็นไอออนบวกและลบทั้งหมด ดังนั้นสมบัติของสารละลายเกลือจึงขึ้นอยู่กับไอออนบวกและลบในสารละลายนั้น ไอออนบางตัวสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำและให้ H^+ หรือ OH^- ได้ จึงเรียกว่า ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เช่น

$$X^-_{(aq)} + H_2O_{(l)} \longrightarrow HX_{(aq)} + OH^-_{(aq)} \qquad (12)$$

จากปฏิกิริยานี้ $X^-_{(aq)}$ จะรับ H^+ จากน้ำแล้วได้ $OH^-_{(aq)}$ ดังนั้น สารละลายที่ได้จึงมีสมบัติเป็นเบส

$$NH_4^+{}_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons NH_{3(g)} + H_3O^+_{(aq)} \qquad (13)$$

จากปฏิกิริยานี้ $NH_4^+{}_{(aq)}$ จะให้โปรตอนกับ $H_2O_{(l)}$ แล้วได้ $H_3O^+_{(aq)}$ ดังนั้น สารละลายที่ได้จึงมีสมบัติเป็นกรด

สรุปได้ว่า ถ้าไอออนลบของเกลือเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจะทำให้สารละลายแสดงความเป็นเบส แต่ถ้าไอออนบวกของเกลือเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส จะทำให้สารละลายแสดงความเป็นกรด หลักในการพิจารณาว่าไอออนลบใดสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ มีหลักพิจารณา ดังนี้

1. ไอออนลบของกรดแก่ เช่น Cl^-, Br^-, I^-, NO_3^- และ ClO_4^- จะไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำจึงทำให้ไม่มีผลต่อความเป็นกรด – เบสของสารละลาย

2. ไอออนลบของกรดอ่อน เช่น CH_3COO^-, ClO^-, CN^- และ CO_3^{2-} จะรับโปรตอนจากน้ำทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้สารละลายที่มีความเป็นเบส เช่น

$$CH_3COO^-_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons CH_3COOH_{(aq)} + OH^- \qquad (14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

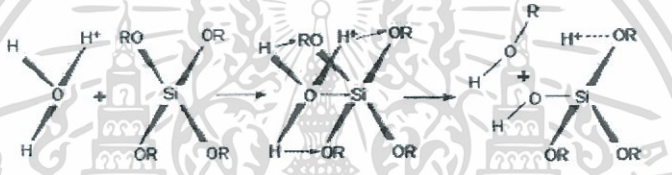
หลักในการพิจารณาว่าไอออนบวกใดสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ มีหลักพิจารณาดังนี้

1. ไอออนบวกของโลหะหมู่ IA หรือ IIA (ยกเว้น Be) ได้แก่ Li^+, Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}และ Ba^{2+} จะไม่เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส รวมถึงไอออนบวกของเบสแก่ทั้งหมดด้วย

2. NH_3^+ ของเกลือแอมโมเนียม จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสจึงทำให้สารละลายเป็นกรด

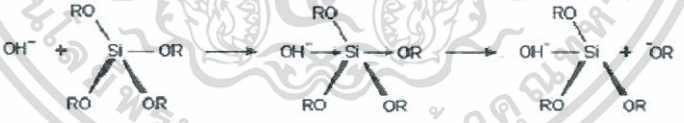
ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการเตรียมสารละลายโซล-เจลสามารถเตรียม โดยการใช้กรดหรือเบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งทั้งสองสภาวะส่งผลต่อการเกิดเจลที่แตกต่างกัน [13] ดังนี้

1.การใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดเร็วกว่าปฏิกิริยาควบแน่น โดยการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและการควบแน่นก่อให้เกิดการขยายตัวของพอลิเมอร์ แบบขยายตัวของพอลิเมอร์แบบสายโซ่ตรงและพอลิเมอร์แบบสายโซ่กิ่ง ในการเกิดเจลเมื่อพอลิเมอร์ขยายตัวมาพันกันและเกิดพันธะข้ามระหว่างสายโซ่ อีกทั้งกรดยังช่วยทำให้อนุภาคของโลหะอัลคอกไซด์มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งกรดที่นิยมนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และกรดไนตริก(HNO_3) เป็นต้น



(15)

2.การใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราการเกิดปฏิกิริยาเกิดช้ากว่าปฏิกิริยาการควบแน่น ทำให้เกิดกลุ่มพอลิเมอร์ที่เป็นสายโซ่กิ่ง (Branched polymeric cluster)เจลที่เกิดขึ้นมีการเชื่อมต่อกันระหว่างกลุ่มพอลิเมอร์ ซึ่งเบสที่นิยมนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH)



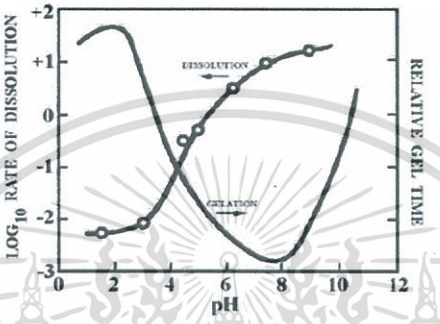
(16)

อัตราการเกิดไฮโดรไลซิส และการควบแน่นเป็นปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของผลผลิตสุดท้าย การควบคุมให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรซิส และการควบแน่นอย่างช้าๆ ทำให้ขนาดอนุภาคเล็กลง รูพรุนมีการกระจายตัวสม่ำเสมอ และมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ปฏิกิริยาการควบแน่น

ปฏิกิริยาควบแน่น เป็นการเชื่อมโยงโมเลกุลเล็กๆ ต่อให้ใหญ่ขึ้นด้วยพันธะไซลอกเซน (siloxane bonding) ในสภาวะเบสจะเกิดเป็นเจลได้เพิ่มขึ้น โดยปฏิกิริยาการควบแน่นจะเกิดอย่างต่อเนื่องที่ pH 2 ถึง 8 การละลาย (dissolution) เพิ่มขึ้น ส่วนการแข็งตัว (gelation) จะไม่เกิดขึ้น และในช่วงค่า pH>8 การละลายจะลดลง ส่วนการแข็งตัวเป็นเจลจะเพิ่มขึ้น ผลของค่า pH ที่มีผลต่ออัตราการละลายและเวลาในการเกิดเจลแสดงในรูปที่ 2.5 และกลไกของการเกิดปฏิกิริยาควบแน่นแสดงดังสมการ

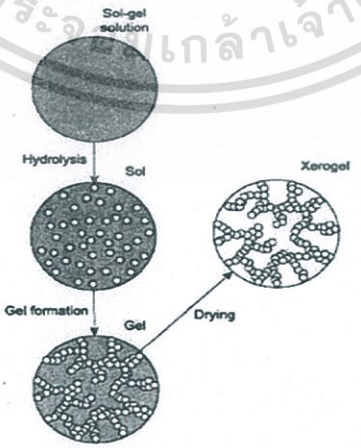


รูปที่ 2.5 ผลของค่า pH ต่ออัตราการละลายและเวลาในการเกิดเจล [11]

กลไกการเกิดปฏิกิริยาควบแน่น

(17)

และเทคนิคในการสังเคราะห์โดยวิธีโซล-เจล แสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 เทคนิคในการสังเคราะห์โดยวิธีโซล-เจล [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างซิลเวอร์ไนเทรต และคลอไรด์ [14]

ในขั้นตอนแรก คลอไรด์ไอออนในสารละลายหรือในตัวอย่างน้ำ จะทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไอออนในสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นดังสมการ

$$Ag^{+} + Cl^{-} \longrightarrow AgCl_{(s)} \quad (18)$$

หรือ $$AgNO_3 + Cl^{-} \longrightarrow AgCl_{(s)} + NO_3 \quad (19)$$

(ตะกอนสีขาว)

เมื่อตั้งทิ้งไว้ในที่ที่มีแสง AgCl จะสลายตัวให้ Ag^{+} และถูกรีดิวซ์เป็น Ag^{0} ซึ่งมีสีม่วงอมเทา ความเข้มของสีที่เกิดขึ้น จะแปรผันตามความเข้มข้นของ Cl^{-} ที่มีอยู่ในสารละลาย หรือสารตัวอย่าง

$$Ag^{+} + e^{-} \longrightarrow Ag^{0} \quad (20)$$

(สีม่วงอมเทา)

2.6 ชุดทดสอบภาคสนาม [15]

ชุดทดสอบภาคสนาม โดยทั่วไปมีจุดประสงค์เพื่อใช้สำหรับการทดสอบหรือการวิเคราะห์สารที่ได้ในภาคสนามอย่างง่ายและรวดเร็ว สำหรับผู้ใช้ที่ทำการสำรวจวิจัยในภาคสนาม ชุดทดสอบสารภาคสนามอย่างง่าย จึงต้องมีสมบัติต่างๆที่เป็นจุดเด่นเพื่อให้ได้ผลทดสอบทันที เนื่องจากงานทดสอบตัวอย่างจำนวนมาก เพื่อให้สามารถทดสอบสารในสภาวะจริง เนื่องจากการทดสอบที่ทำในห้องปฏิบัติการ จำเป็นต้องมีการเก็บตัวอย่างและเติมสารคงตัว (preservative) ตามความจำเป็น จึงไม่ใช่การทดสอบสภาวะจริง ชุดทดสอบภาคสนามส่วนใหญ่จึงมีไว้สำหรับใช้ในการคัดกรอง (screening) และไม่สามารถใช้ในการทดสอบที่ต้องการความแม่นยำสูง จึงทำให้ชุดทดสอบมีจุดอ่อน

จุดเด่นของชุดทดสอบภาคสนาม

1. ใช้ได้ง่าย โดยผู้ใช้ไม่ต้องมีความเชี่ยวชาญด้านนั้นๆโดยตรง กระบวนการทดสอบจึงต้องไม่สลับซับซ้อนเกินไป

2. สามารถนำไปใช้ในสภาวะของภาคสนามที่เกี่ยวข้อง กระบวนการทดสอบจึงไม่ยุ่งยาก

3. ใช้เวลาทดสอบน้อย เพราะเป็นการใช้ในภาคสนาม ซึ่งมักไม่สามารถรอผลการทดสอบที่ใช้เวลานานได้

4. น้ำยาและสารเคมีต่างๆที่ใช้มีความเสถียร เพื่อให้สามารถเก็บไว้ใช้เป็นเวลานาน

5. ราคาถูก เพราะ การทดสอบภาคสนามมักจำเป็นต้องทำการทดสอบตัวอย่างจำนวนมาก

6. มีความไวและความเข้มข้นที่วัดได้เป็นไปตามที่ต้องการ

7. มีความถูกต้องแม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดด้อยของชุดทดสอบภาคสนาม

1. มีความถูกต้องแม่นยำน้อยกว่า วิธีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
2. ความไวด้อยกว่า วิธีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ
3. มีข้อจำกัดด้านตัวอย่างที่ทดสอบได้ เช่น ใช้ได้เฉพาะตัวอย่างที่ไม่สลับซับซ้อน

เนื่องจากชุดทดสอบสารภาคสนาม มีทั้งจุดเด่นและจุดอ่อน จึงควรใช้ชุดทดสอบชนิดนี้ตามความเหมาะสม ลักษณะของงาน และความถูกต้องแม่นยำที่ต้องการ

การเปรียบเทียบวิธีการทดสอบ

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบวิธีการทดสอบระหว่างชุดทดสอบภาคสนามกับวิธีทดสอบในห้องปฏิบัติการ [15]

วิธีการทดสอบ	ความถูกต้องแม่นยำ (คิดเป็น %ความผิดพลาด)	เวลาที่ใช้	ค่าใช้จ่าย (ต่อครั้ง)
ชุดทดสอบภาคสนาม	ประมาณ 10-50%	0-30 นาที	1-10 บาท
วิธีทดสอบในห้องปฏิบัติการ	ประมาณ 1-10%	5-100 นาที	100-500 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ระบบสี (Color system) [16]

สี คือการรับรู้ (หรือความยาวคลื่น) ของแสง ในทำนองเดียวกันกับที่ระดับเสียงมนุษย์สามารถรับรู้สีได้เนื่องจากโครงสร้างอันละเอียดอ่อนของดวงตา ซึ่งมีความสามารถในการรับรู้แสงในช่วงความถี่ที่ต่างกัน การรับรู้สีนั้นขึ้นกับปัจจัยทางชีวภาพ (คนบางคนตาบอดสี ซึ่งหมายถึงคนคนนั้นเห็นสีบางค่าต่างจากคนอื่นหรือไม่สามารถแยกแยะสีที่มีค่าความอิ่มตัวใกล้เคียงกันได้ หรือแม้กระทั่งไม่สามารถเห็นสีได้เลยมาแต่กำเนิด), ความทรงจำระยะยาวของบุคคลผู้นั้น, และผลกระทบระยะสั้น เช่น สีที่อยู่ข้างเคียง

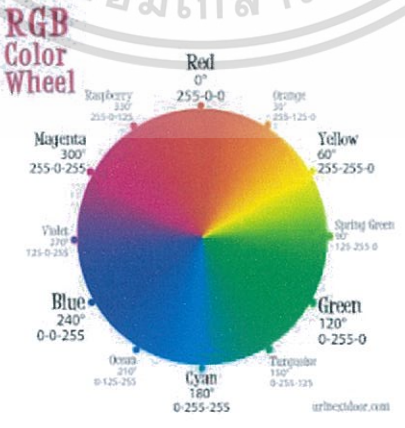
โดยทั่วไปสีในธรรมชาติและสีที่สร้างขึ้น จะมีรูปแบบการมองเห็นของสีที่แตกต่างกัน ซึ่งรูปแบบการมองเห็นสี ที่ใช้ในงานด้านกราฟิกทั่วไปนั้นมีอยู่ด้วยกัน 4 ระบบ คือ

1. ระบบสีแบบ RGB ตามหลักการแสดงสีของเครื่องคอมพิวเตอร์
2. ระบบสีแบบ CMYK ตามหลักการแสดงสีของเครื่องพิมพ์
3. ระบบสีแบบ HSB ตามหลักการมองเห็นสีของสายตามนุษย์
4. ระบบสีแบบ Lab ตามมาตรฐานของ CIE ซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ใดๆ

สีที่ใช้ในงานด้านกราฟิกทั่วไป มี 4 ระบบ คือ

2.7.1. RGB

เป็นระบบสีที่ประกอบด้วยแม่สี 3 สี คือ แดง (Red), เขียว (Green) และน้ำเงิน (Blue) เมื่อนำมาผสมผสานกันทำให้เกิดสีต่าง ๆ บนจอคอมพิวเตอร์มากถึง 16.7 ล้านสี ซึ่งใกล้เคียงกับสีที่ตาเรามองเห็นปกติ สีที่ได้จากการผสมสีขึ้นอยู่กับความเข้มของสี โดยถ้าสีมีความเข้มมาก เมื่อนำมาผสมกันจะทำให้เกิดเป็นสีขาว จึงเรียกระบบสีนี้ว่า " แบบ Additive หรือการผสมสีแบบบวก" ซึ่งเป็นการผสมสีขั้นที่ 1 หรือถ้านำเอา Red Green Blue มาผสมครั้งละ 2 สี ก็จะทำให้เกิดสีใหม่

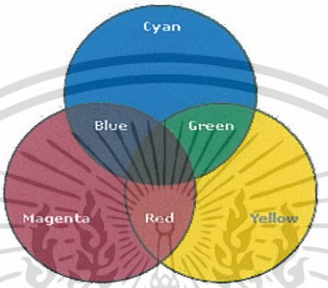


รูปที่ 2.7 วงจรสี RGB [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2. CMYK

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



รูปที่ 2.8 วงจรสี CMYX [16]

2.7.3. HSB

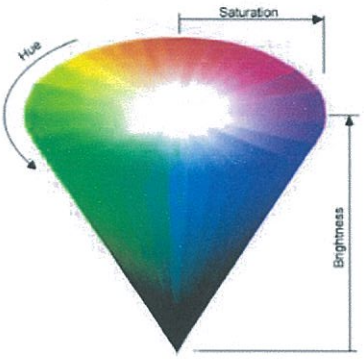
เป็นระบบสีแบบการมองเห็นของสายตามนุษย์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ Hue คือ สีต่าง ๆ ที่สะท้อนออกมาจากวัตถุแล้วเข้าสู่สายตาของเรา ซึ่งมักจะเรียกสีตามชื่อสี เช่น สีเขียว สีเหลือง สีแดง เป็นต้น

- **Hue** คือ สีต่างๆ ที่สะท้อนออกมาจากวัตถุเข้ามายังตาของเรา ทำให้เราสามารถมองเห็นวัตถุเป็นสีต่างๆ ได้ ซึ่งแต่ละสีจะแตกต่างกันตามความยาวของคลื่นแสงที่มากระทบวัตถุและสะท้อนกลับที่ตาของเรา Hue ถูกวัดโดยตำแหน่งการแสดงสีบน Standard Color Wheel ซึ่งถูกแทนด้วยองศา 0 ถึง 360 องศา แต่โดยทั่วๆ ไปแล้วมักจะเรียกการแสดงสีนั้นๆ เป็นชื่อของสีเลย เช่น สีแดง สีม่วง สีเหลือง

- **Saturation** คือ ความสดของสี โดยค่าความสดของสีจะเริ่มที่ 0 ถึง 100 ถ้ากำหนด Saturation ที่ 0 สีจะมีความสดน้อย แต่ถ้ากำหนดที่ 100 สีจะมีความสดมาก ถ้าถูกวัดโดยตำแหน่งบน Standard Color Wheel ค่า Saturation จะเพิ่มขึ้นจากจุดกึ่งกลางจนถึงเส้นขอบ โดยค่าที่เส้นขอบจะมีสีที่ชัดเจนและอิ่มตัวที่สุด

- **Brightness** คือ ระดับความสว่างและความมืดของสี โดยค่าความสว่างของสีจะเริ่มที่ 0 ถึง 100 ถ้ากำหนดที่ 0 ความสว่างจะน้อยซึ่งจะเป็นสีดำ แต่ถ้ากำหนดที่ 100 สีจะมีความสว่างมากที่สุด ยิ่งมีค่า Brightness มากจะทำให้สีนั้นสว่างมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 วงจรสี HSB [16]

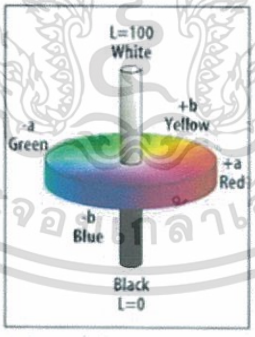
2.7.4. LAB

ระบบสีแบบ Lab เป็นค่าสีที่ถูกกำหนดขึ้นโดย CIE (Commission Internationale d' Eclarirage) เพื่อให้เป็นสีมาตรฐานกลางของการวัดสีทุกรูปแบบ ครอบคลุมทุกสีใน RGB และ CMYK และใช้ได้กับสีที่เกิดจากอุปกรณ์ทุกอย่างไม่ว่าจะเป็นจอคอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ เครื่องสแกนและอื่นๆส่วนประกอบของโหมดสีนี้ได้แก่

L หรือ Luminance เป็นการกำหนดความสว่างซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ถ้ากำหนดที่ 0 จะกลายเป็นสีดำ แต่ถ้ากำหนดที่ 100 จะกลายเป็นสีขาว

A เป็นค่าของสีที่ไล่จากสีเขียวไปสีแดง

B เป็นค่าของสีที่ไล่จากสีน้ำเงินไปสีเหลือง



Lab model

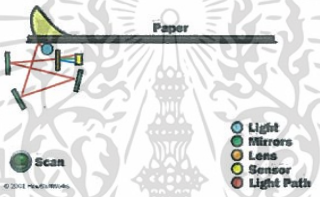
รูปที่ 2.10 วงจรสี LAB [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การทำงานของเครื่องสแกน [17]

เครื่องสแกน คือ อุปกรณ์ต่อเชื่อมคอมพิวเตอร์แบบกราฟิก ที่มีหน้าที่ ในการเปลี่ยนแปลงภาพต้นฉบับ (รูปถ่าย ตัวอักษรบนหน้ากระดาษ ภาพวาด) ให้เป็นข้อมูล เพื่อให้คอมพิวเตอร์ สามารถนำข้อมูลดังกล่าว มาใช้ประโยชน์ ในการแสดงผลที่หน้าจอ ทำให้สามารถแก้ไข ตกแต่งเพิ่มเติม และจัดเก็บข้อมูลได้

การอ่านภาพสีของเครื่องอ่านภาพ จะมีการประมวลผล โดยอาศัยโครงสร้างของแม่สี 3 สี คือ แดง, เขียว และน้ำเงิน ในทางเทคนิคจะเรียกว่า RGB ในโครงสร้างสีแบบ RGB นี้แต่ละสีที่เกิดขึ้นจะประกอบด้วยแม่สีทั้ง 3 สีรวมอยู่ด้วยกันในค่าที่ต่างกันไป สีดำเกิดขึ้นจาก การไม่มีแสงสีขาว ในทำนองเดียวกัน สีขาวก็เกิดจากแสงแม่สีทั้ง 3 อยู่ในระดับสูงสุดเท่าๆ กัน (100 เปอร์เซ็นต์ของ RGB) และระดับแสงเท่าๆ กันของทั้ง 3 แม่สีจะเกิดแสงสีเทา (gray scale)



รูปที่ 2.11 การทำงานของเครื่องสแกน [17]

สแกนเนอร์ มีหลักการทำงาน คือ เครื่องอ่านภาพ จะทำการอ่านภาพโดยอาศัยการสะท้อนหรือการส่องผ่านของแสง กับภาพต้นฉบับที่ทึบแสง หรือโปร่งแสง ให้ตกกระทบกับ แถบของอุปกรณ์ไวแสง (photosensitive) ซึ่งมีชื่อในทางเทคนิคว่า Charge-Couple Device (CCD) ตัว CCD จะรับแสงดังกล่าวลงไปเก็บไว้ใน เส้นเล็กของเซล และจะแปลงคลื่นแสง ของแต่ละเซลเล็กๆ ให้กลายเป็นคลื่นความต่างศักย์ ซึ่งจะแตกต่างไปตามอัตราส่วน ของระดับความเข้มของแสงแต่ละจุด

ส่วนประกอบที่สำคัญของสแกนเนอร์คือแหล่งกำเนิดแสงซึ่งจะทำหน้าที่ฉายแสงไปที่กระดาษที่วางอยู่บนกระจก พื้นที่สีขาวที่ฝาปิดจะช่วยให้การสะท้อนของแสงดีขึ้น เมื่อคุณสั่งให้สแกนเนอร์ทำงาน มอเตอร์จะขับเคลื่อนหัวสแกนผ่านใต้กระดาษ ในระหว่างที่เคลื่อนที่นี้หัวแสกนจะจับแสงที่สะท้อนมาจากแต่ละพื้นที่ของกระดาษด้วย ซึ่งพื้นที่นี้จะมีขนาดประมาณ 1/90,000 ตารางนิ้ว แสงจากกระดาษจะสะท้อนผ่านระบบกระจกเพื่อทำให้ลำแสงนั้นได้ไปในทิศทางที่เหมาะสมไปยังเลนส์ เลนส์จะรวมแสงเพื่อไปผ่านไดโอดแสง เพื่อแปลงข้อมูลแสงนี้ให้อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้าถ้ามีแสงผ่านไปที่ไดโอดมากปริมาตรของกระแสไฟฟ้าที่ได้ก็จะมากขึ้นถ้าเป็นสแกนเนอร์แบบสี แสงที่สะท้อนนี้จะผ่านไปยังฟิลเตอร์แดง เขียว หรือน้ำเงินที่อยู่หน้าไดโอด ADC จะเก็บข้อมูลอนาล็อกแต่ละส่วนนี้ไว้ ซึ่งข้อมูลแต่ละส่วนนี้เรียกว่า "พิกเซล" ซึ่งในความยาวหนึ่งนิ้วจะประกอบด้วยพิกเซลประมาณ 300-1,200 พิกเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์หาปริมาณไอออนคลอไรด์

จากการศึกษางานวิจัย พบว่ามีงานวิจัยที่ศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ไอออนไม่มากนักเนื่องจากเป็นสารที่มีความซับซ้อนไม่มาก ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการไทเทรต เช่น ไอโอโดเมทริกไทเทรชั่น และเมอร์คิวรีไนเตรตไทเทรชั่น เป็นต้น แต่มีงานวิจัยบางส่วนมีการพัฒนาเทคนิคอื่นๆมาใช้แทนวิธีที่นิยมใช้กันทั่วไปเนื่องจากวิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่ต้องระมัดระวังเรื่อง ตัวรบกวนที่เป็นไอออนลักษณะเดียวกันมารบกวนการวิเคราะห์ จึงเกิดงานวิจัยที่พัฒนาวิธีอื่นมาใช้แทนเทคนิคเดิมๆ ได้แก่ เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชั่นสเปกโทรเมทรี [19] ซึ่งเทคนิคทางอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมทรีอาศัยการทำให้เกิดเป็นโมเลกุล AlCl ก่อน แล้วให้อุณหภูมิสูงเข้าไปกระตุ้นให้เกิดการดูดกลืนแสง จากนั้นทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของโมเลกุลซึ่งกำหนดสภาวะในการทดลอง ดังนี้ inject สารละลายอลูมิเนียมปริมาณ 10 ul, Drying 120°C เป็นเวลา 20 s, Ashing 700°C เป็นเวลา 20s, Cooling เป็นเวลา 5 s, Inject สารละลายคลอไรด์ปริมาตร 5 ul, Drying 120°C เป็นเวลา 20 s, Ashing 700°C เป็นเวลา20 s ระเหยและตรวจวัดที่ 1900°C เป็นระยะเวลา 5 s

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดคลอไรด์ไอออนในน้ำบาดาล ด้วยวิธีไอออนโครมาโตกราฟี [20] ได้กล่าวไว้ว่าน้ำบาดาลก็ถือเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญ ซึ่งใช้ทั้งในทางเกษตรและใช้ในการอุปโภค ในการวิจัยนี้จะใช้ Dionex Model 2000i/sp, lonpac As11, ASR-1 ในการวิเคราะห์ปริมาณสารเคมีที่ปะปนอยู่ในน้ำ โดยการนำน้ำจาก 3 สถานะที่ จำนวน 50 ตัวอย่าง มาทำการกรองบางตัวอย่างจำเป็นต้องทำการเจือจางก่อนวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟี ซึ่งผลการทดลองพบว่าในทุกๆตัวอย่าง มีพีกที่แยกกันอย่างชัดเจนระหว่างไอออนของ คลอไรด์ ไนเตรตและซัลเฟต

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับการตรวจวัดแก๊สคลอรีนด้วยวิธีโพเทนชิโอเมทตริกเซลล์อิเล็กโทรไลต์ งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการวัดคลอรีน ใช้การวัดพื้นฐานในสถานะของแข็ง โพเทนชิโอเมทตริกเซลล์อิเล็กโทรไลต์ ของแข็งเป็นตัวนำไอออนคลอไรด์ ($CaCl_2$ เจือด้วย KCl) ขั้วอ้างอิงใช้ขั้วไฟฟ้า Ag-AgCl และอิเล็กโทรดตรวจวัดใช้ Ruthenium dioxide ผลลัพธ์ของเซนเซอร์ส่งผลให้มีช่วงอุณหภูมิในการทำงานตั้งแต่ 120-400 °C และมีวิธีการวัดอย่างรวดเร็ว และถูกต้องของความเข้มข้นคลอรีน ในช่วง 106 ถึง 0.1 vpm ในก๊าซที่เจือจาง เช่น อากาศ, อาร์กอน,ออกซิเจนและไนโตรเจน [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 สารเคมี

1. เตตระเอทิลออโทซิลิเกต (Tetraethyl orthosilicate; A.R.grade – ALDRICH Chemistry)
2. กรดอะซิติก (Acetic Acid; A.R.grade – CARLO ERBA)
3. เอทานอลปราศจากน้ำ (Absolute Ethanol; A.R.grade – CARLO ERBA)
4. ไตรตัน เอ็กซ์100 (Triton® X-100; A.R.grade – Fluka)
5. ซิลเวอร์ไนเตรท (Silver Nitrate; A.R.grade – Merck)
6. โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride; A.R.grade – Lab SCAN)
7. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water – Mili Q)
8. อะซีโตน (Acetone; GCgrade - Lab SCAN)

3.1.2 อุปกรณ์

1. บีกเกอร์พลาสติก ขนาด 25 มิลลิลิตร
2. เครื่องกวนแม่เหล็ก พร้อมแท่งกวน (Magnetic stirrer - Bosstech)
3. กระดาษกรอง (Advantech No.2– Toyo Roshi Kaisha, Ltd.)
4. ไมโครปิเปต ขนาด 1.00-10.00 ไมโครลิตร
5. เครื่องสแกน (Canoscan LiDE110)
6. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Analysis balance; CPA224S - Sartorius)
7. เครื่องแก้ว
    - 7.1 บีกเกอร์ ขนาด 25, 50, 100, 250 และ 500 มิลลิลิตร
    - 7.2 ขวดวัดปริมาตร ขนาด 25, 50, 100 และ 500 มิลลิลิตร
    - 7.3 ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
    - 7.4 บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร
8. หลอดหยด
9. ที่จับบิวเรต
10. ลูกยาง
11. ขาตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 ศึกษาระบบสำหรับชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ

3.2.1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

3.2.1.2 การเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท

3.2.1.3 การเตรียมสารละลายโซล-เจล เจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท

3.2.1.4 ระบบโซล-เจล เจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท

3.3.1.5 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของซิลเวอร์ไนเตรท

3.2.2 ศึกษาช่วงปริมาตรที่เหมาะสมของซิลเวอร์ไนเตรท

3.2.3 ศึกษาอิทธิพลของแสงแดด ที่มีผลต่อปฏิกิริยา

3.2.4 ศึกษาอิทธิพลของแสงที่มีผลต่อปฏิกิริยา

3.2.5 ศึกษาอิทธิพลของแสงและความร้อน ที่มีผลต่อปฏิกิริยา

3.2.6 ศึกษาปริมาตรที่เหมาะสมของซิลเวอร์ไนเตรท

3.2.7 ศึกษาความเสถียรของชุดทดสอบเมื่อใช้งานแล้ว

3.2.8 ศึกษาความเสถียรของชุดทดสอบก่อนใช้วิเคราะห์

3.2.9 วิเคราะห์เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน

3.2.9.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ด้วยชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ

3.2.9.2 การวิเคราะห์ค่าวิธีมาตรฐาน

3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.3.1 ศึกษาระบบสำหรับชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ

3.3.1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

1) การเตรียมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 0.10โมลาร์

ตวงสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 4.10 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำปราศจากไอออนประมาณ 50.00 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนเป็น 100.00 มิลลิลิตรคนสารละลายให้เข้ากัน

2) การเตรียมสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ เข้มข้น 355 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่งโซเดียมคลอไรด์ 0.0585 กรัมละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเทใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100.00 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนเขย่าให้เข้ากัน

3)สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ สำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน

ปิเปตสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ เข้มข้น 355 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 2.10, 4.30, 6.40, 8.60 และ 10.70 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50.00 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนเขย่าให้เข้ากันจะได้สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่เข้มข้น 15, 30, 45, 60, และ 75 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2 การเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท

1) สารลายซิลเวอร์ไนเตรท เข้มข้น 0.10 โมลาร์

ชั่งซิลเวอร์ไนเตรทมา 1.6987 กรัมละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเทใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100.00 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนเขย่าให้เข้ากัน

2) สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 0.01 โมลาร์

ปิเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตเข้มข้น 0.10 โมลาร์จำนวน 2.50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25.00 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนเขย่าให้เข้ากัน

3.3.1.3 การเตรียมสารละลายโซล-เจล เจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท

ชั่งซิลเวอร์ไนเตรท 0.015 กรัม ลงในบีกเกอร์พลาสติกขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นละลายด้วยเอทานอลปราศจากน้ำ 2.00 มิลลิลิตร แล้วปิเปตสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร และเตตระเอทิล ออโธซิลิเกต 2 มิลลิลิตร เติมลงในบีกเกอร์ จากนั้นหยดไตรตัน เอ็กซ์100® 7 หยดลงในบีกเกอร์เดิม แล้วปั่นกวนจนกระทั่งสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาประมาณ 60 นาที จะได้สารละลายโซล-เจลเจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้นร้อยละ 0.30 (w/v)

3.3.1.4 ระบบโซล-เจล เจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท

การเตรียมชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด ในระบบโซล-เจลเจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.3 จากนั้นเมื่อสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำมาหยดลงบนกระดาษกรองเบอร์ 2 ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ให้แห้งประมาณ 30 นาทีจะได้ชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษระบบโซล-เจลเจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้นร้อยละ 0.30 (w/v)

ทดสอบการเกิดปฏิกิริยาชุดทดสอบแบบจุด โดยหยดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0, 15, 30, 45, 60 และ 75 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาตร 10.00 ไมโครลิตรลงบนจุดของสารละลายโซล-เจล ทิ้งไว้ประมาณ 60 นาที บันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน จากนั้นนำภาพที่ได้ปรับค่าความสว่างให้ลดลง 60 แล้วบันทึกค่าความเข้มสี(RGB) ด้วยโปรแกรม image J™ คำนวณหาค่าความแตกต่างความเข้มแสง นำมาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ ซึ่งค่าความแตกต่างความเข้มแสง(Euclidean distance; ED) คำนวณจากสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$ED = \sqrt{(\Delta I_R)^2 + (\Delta I_G)^2 + (\Delta I_B)^2}$$

โดยที่ Δ คือ ผลต่างของแสงที่จุด Blankกับค่าความเข้มแสง ณ จุดที่เกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นต่างๆกัน

I_R คือ ค่าความเข้มสีแดง

I_G คือ ค่าความเข้มสีเขียว

I_B คือ ค่าความเข้มสีน้ำเงิน

<u>หมายเหตุ</u> แสงสีขาวจะประกอบด้วย แสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่งค่าความเข้มแสงสูงสุดเท่ากับ 255, 255, 255 (R, G, B) และแสงสีดำ จะมีค่าความเข้มแสงต่ำสุดเท่ากับ 0, 0, 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.5 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของซิลเวอร์ไนเตรท

เตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ความเข้มข้น 0.001 และ 0.01 โมลาร์โดยปิเปตซิลเวอร์ไนเตรท เข้มข้น 0.10 โมลาร์ มาปริมาตร 1.00 และ 10.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร 100.00 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน

ปิเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 0.10, 0.01 และ 0.001 โมลาร์จำนวน 10.00 ไมโครลิตร ลงในบีกเกอร์พลาสติกขนาด 25 มิลลิลิตร ปิเปตเอทานอลปราศจากน้ำ 2.00 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายอะซิติกเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร และเตตระเอทิล ออโธซิลิเกต 2 มิลลิลิตร เติมลงในบีกเกอร์ จากนั้นหยดไตรตัน เอ็กซ์100® 7 หยด ลงในบีกเกอร์เดิม แล้วปั่นกวนจนกระทั่งสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาประมาณ 60 นาที จะได้สารละลายโซล-เจลเจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท ทดสอบการเกิดปฏิกิริยาชุดทดสอบแบบจุดเช่นเดียวกับ 3.3.1.4

3.3.2 ศึกษาช่วงปริมาตรที่เหมาะสมของซิลเวอร์ไนเตรท

ปิเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาตร 500, 1000, 1500 และ 2000 ไมโครลิตร ลงในบีกเกอร์พลาสติกขนาด 25.00 มิลลิลิตร ปิเปตเอทานอลปราศจากน้ำ 2.00 มิลลิลิตร และปิเปตสารละลายอะซิติกเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร และเตตระเอทิล ออโธซิลิเกต 2 มิลลิลิตร เติมลงในบีกเกอร์ จากนั้นหยดไตรตัน เอ็กซ์100® 7 หยดลงในบีกเกอร์เดิม แล้วปั่นกวนจนกระทั่งสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาประมาณ 60 นาที จะได้สารละลายโซล-เจลเจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท ทดสอบการเกิดปฏิกิริยาชุดทดสอบแบบจุดเช่นเดียวกับ 3.3.1.4

3.3.3 ศึกษาอิทธิพลของแสงแดดที่มีผลต่อปฏิกิริยา

ปิเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 0.01 โมลาร์จำนวน 500, 600 และ 700 ไมโครลิตร ลงในบีกเกอร์พลาสติกขนาด 25 มิลลิลิตร ปิเปตเอทานอลปราศจากน้ำ 2.00 มิลลิลิตร และปิเปตสารละลายอะซิติกเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร และเตตระเอทิล ออโธซิลิเกต 2 มิลลิลิตร เติมลงในบีกเกอร์ จากนั้นหยดไตรตัน เอ็กซ์100® 7 หยดลงในบีกเกอร์เดิมแล้วปั่นกวนจนกระทั่งสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาประมาณ 60 นาที จะได้สารละลายโซล-เจลเจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท

ทดสอบการเกิดปฏิกิริยาชุดทดสอบแบบจุดเช่นเดียวกับ 3.3.1.4 แต่หลังจากหยดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ลงบนจุดของสารละลายโซล-เจลแล้ว นำโซล-เจลไปตากแดด 10 นาที จากนั้นบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน

3.3.4 ศึกษาอิทธิพลของแสงที่มีผลต่อปฏิกิริยา

เตรียมชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด ในระบบโซล-เจลเจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท เช่นเดียวกับข้อ 3.3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบการเกิดปฏิกิริยาชุดทดสอบแบบจุดเช่นเดียวกับ 3.3.1.4 แต่หลังจากหยดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ลงบนจุดของสารละลายโซล-เจลแล้ว นำโซล-เจลไปฉายด้วยหลอดไฟแอลอีดี (LED) ประมาณ 10 นาที จากนั้น บันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน

3.3.5 ศึกษาอิทธิพลของแสงและความร้อน ที่มีผลต่อปฏิกิริยา

เตรียมชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด ในระบบโซล-เจลเจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท เช่นเดียวกับข้อ 3.3.3

ทดสอบการเกิดปฏิกิริยาชุดทดสอบแบบจุดเช่นเดียวกับ 3.3.1.4 แต่หลังจากหยดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ลงบนจุดของสารละลายโซล-เจลแล้ว นำโซล-เจลไปฉายด้วยหลอดไฟ แบบไส้ ประมาณ 60 นาที จากนั้น บันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน

3.3.6 ศึกษาปริมาตรที่เหมาะสมของซิลเวอร์ไนเตรท

ปิเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น0.01โมลาร์ ปริมาตร 500, 550, 600, 650, 700 และ 750 ไมโครลิตร ลงในบีกเกอร์พลาสติกขนาด 25.00 มิลลิลิตร ปิเปตเอทานอลปราศจากน้ำ 2.00 มิลลิลิตร สารละลายอะซิติกเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร และเตตระเอทิล ออโธซิลิเกต 2 มิลลิลิตร เติมลงในบีกเกอร์ จากนั้นหยดไตรตัน เอ็กซ์100® 7 หยดลงในบีกเกอร์เดิม แล้วปั่นกวนจนกระทั่งสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาประมาณ 60 นาที จะได้สารละลายโซล-เจลเจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท ทดสอบการเกิดปฏิกิริยาชุดทดสอบแบบจุดเช่นเดียวกับ 3.3.1.4

3.3.7 ศึกษาความเสถียรของชุดทดสอบเมื่อใช้งานแล้ว

เตรียมชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด ในระบบโซล-เจลเจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท เช่นเดียวกับข้อ 3.3.3

ทดสอบการเกิดปฏิกิริยาชุดทดสอบแบบจุดเช่นเดียวกับ 3.3.1.4 แต่หลังจากหยดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ลงบนจุดของสารละลายโซล-เจลแล้ว นำโซล-เจลไปฉายด้วยหลอดไฟ แบบไส้ จากนั้นเก็บโซล-เจลไว้ในที่มืด เป็นเวลา 3 วัน แล้วนำมาบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกนทุกวัน

3.3.8 ศึกษาความเสถียรของชุดทดสอบก่อนใช้วิเคราะห์

เตรียมชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด ในระบบโซล-เจลเจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท เช่นเดียวกับข้อ 3.3.3แล้วนำชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดไปเก็บไว้ในที่มืด 1 วัน

นำมาทดสอบการเกิดปฏิกิริยาชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษระบบโซล-เจล แบบเจือซิลเวอร์ไนเตรท ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ที่เตรียมไว้แล้วมาหยดด้วยสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.00, 15.00, 30.00, 45.00, 60.00 และ 75.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ทิ้งไว้ในกล่องที่มีการฉายแสงจากหลอดไส้เป็นเวลา 60 นาที แล้วใช้เครื่องสแกนเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเข้มสี ปรับค่าความสว่างของภาพให้ลดลง 60 จากนั้น บันทึกค่าความเข้มสี ด้วยโปรแกรม Image J™ นำค่าความเข้มสีแปลงเป็นค่าความแตกต่างของความเข้มสี แล้วพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.9 วิเคราะห์เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน

3.3.9.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ ด้วยชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ

ปิเปตตัวอย่างน้ำดื่มหรือน้ำประปา จำนวน 10.00 ไมโครลิตร มาหยดลงบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดในระบบโซล-เจล แบบเจือซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 0.010 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เตรียมไว้แล้ว ฉายด้วยหลอดไฟ แบบไส้ ประมาณ 60 นาที จากนั้นบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน ปรับค่าความสว่างของภาพให้ลดลง 60 จากนั้น บันทึกค่าความเข้มสี ด้วยโปรแกรม Image J™ นำค่าความเข้มสีแปลงเป็นค่าความแตกต่างความเข้มแสง แล้วคำนวณความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างจากกราฟมาตรฐานในข้อ 3.3.4

3.3.9.2 การวิเคราะห์ค่าวิธีมาตรฐาน

3.3.9.2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

1) สารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ 0.010 โมลาร์

ชั่งโซเดียมคลอไรด์ 0.2925 กรัมละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเทใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 500.00 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนเขย่าให้เข้ากัน

2) สารลายซิลเวอร์ไนเตรท เข้มข้น 0.010 โมลาร์

ชั่งซิลเวอร์ไนเตรทมา 0.16987 กรัมละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเทใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100.00 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนเขย่าให้เข้ากัน

3) อินดิเคเตอร์ผสมโพแทสเซียมโครเมตไดโครเมต

ชั่งโพแทสเซียมโครเมทมา 4.20 กรัม และโพแทสเซียมไดโครเมตมา 10.70 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออนจนได้สารละลายปริมาตร 100.00 มิลลิลิตร

3.3.9.2.2 การไทเทรต

ปิเปตตัวอย่างน้ำปริมาตร 100.00 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายโพแทสเซียมโครเมตไดโครเมต 1.0 มิลลิลิตร (20 หยด) ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 0.010 โมลาร์ ที่จุดยุติจะเกิดตะกอนสีอิฐของซิลเวอร์โครเมตในสารละลายสีเหลือง เตรียมแบลงค์ โดยใช้น้ำปราศจากไอออนปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร และปรับเทียบสารมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรท โดยใช้สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ความเข้มข้น 0.010 โมลาร์ ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

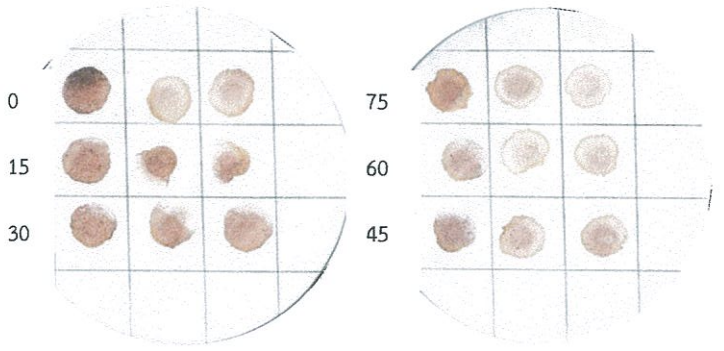
ผลการทดลองและอภิปรายผล

ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบระบบต่างๆ สำหรับการเตรียมจุดรีเอเจนต์และการทดสอบการวิเคราะห์ปริมาตรคลอไรด์ได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของซิลเวอร์ไนเตรท

ทำการทดลอง โดยใช้ระบบโซล-เจล แบบเจือซิลเวอร์ไนเตรท แปรเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทที่ความเข้มข้น 0.10, 0.010 และ 0.0010 โมลาร์ ตามลำดับ หยดสารละลายโซล-เจล ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำมาทดสอบการเกิดปฏิกิริยา โดยการหยดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ลงบนจุดรีเอเจนต์ ทิ้งไว้ 60 นาที แล้วทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องสแกน ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรท 0.0010, 0.010 และ 0.10 โมลาร์

(ก) - (ข) ความเข้มข้นซิลเวอร์ไนเตรท 0.0010 โมลาร์

(ค) - (ง) ความเข้มข้นซิลเวอร์ไนเตรท 0.010 โมลาร์

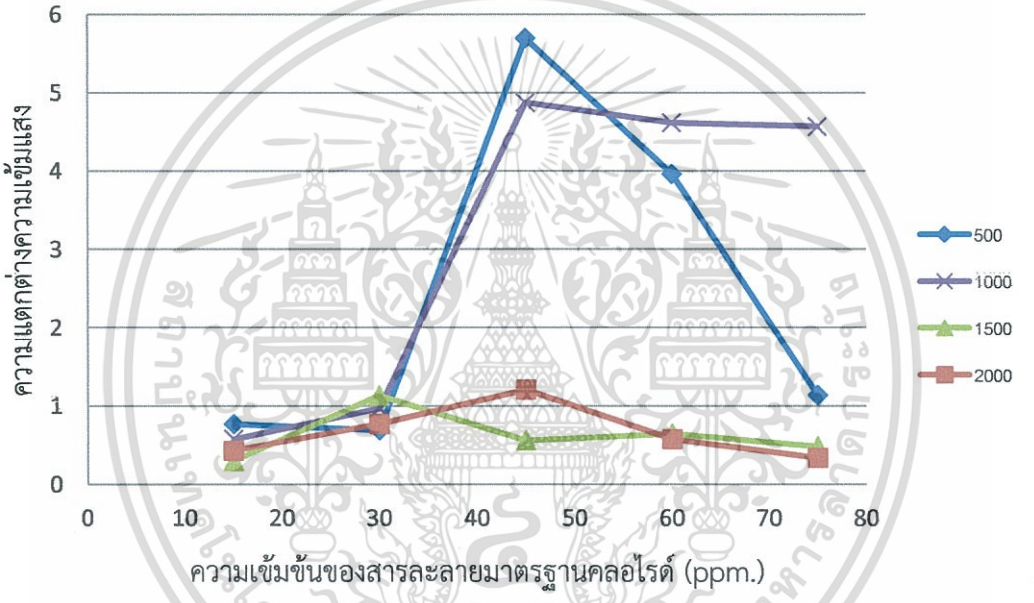
(จ) - (ฉ) ความเข้มข้นซิลเวอร์ไนเตรท 0.10 โมลาร์

จากการทดลองเพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรทที่แตกต่างกัน พบว่าความเข้มข้นซิลเวอร์ไนเตรทที่ 0.0010 โมลาร์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบนชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ ทำให้เกิดการเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อนมาก จนแทบจะไม่สามารถแยกความแตกต่างกันได้ ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรทที่ 0.10 โมลาร์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีอย่างจากสีขาวเป็นสีชมพูอ่อน แล้วเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลอย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่สามารถตรวจวัดสีชมพูได้ทัน และความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรทที่ 0.01 โมลาร์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อนค่อนข้างชัดเจน และคงตัวเป็นสีชมพูอ่อนค่อนข้างนาน จึงเลือกใช้ความเข้มข้นนี้ในการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ศึกษาช่วงปริมาตรที่เหมาะสมของซิลเวอร์ไนเตรท

ทำการทดลองโดยการเตรียมสารละลายโซล-เจลแบบเจือซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 0.010 โมลาร์ ปริมาตรต่างๆ ได้แก่ 500, 1000,1500 และ 2000 ไมโครลิตร หยดลงบนกระดาษกรอง ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร เพื่อทำเป็นจุดรีเอเจนต์ ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที จากนั้นนำมาทดสอบการเกิดปฏิกิริยา โดยการหยดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ลงบนจุดรีเอเจนต์ ทิ้งไว้ 60 นาที ทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องสแกน ปรับค่าความสว่างของรูปภาพให้ลดลง 60 แล้วนำภาพดังกล่าวมาประมวลผลเพื่อหาค่าความเข้มสี (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™ จากนั้น คำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสง แล้วนำไปพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2



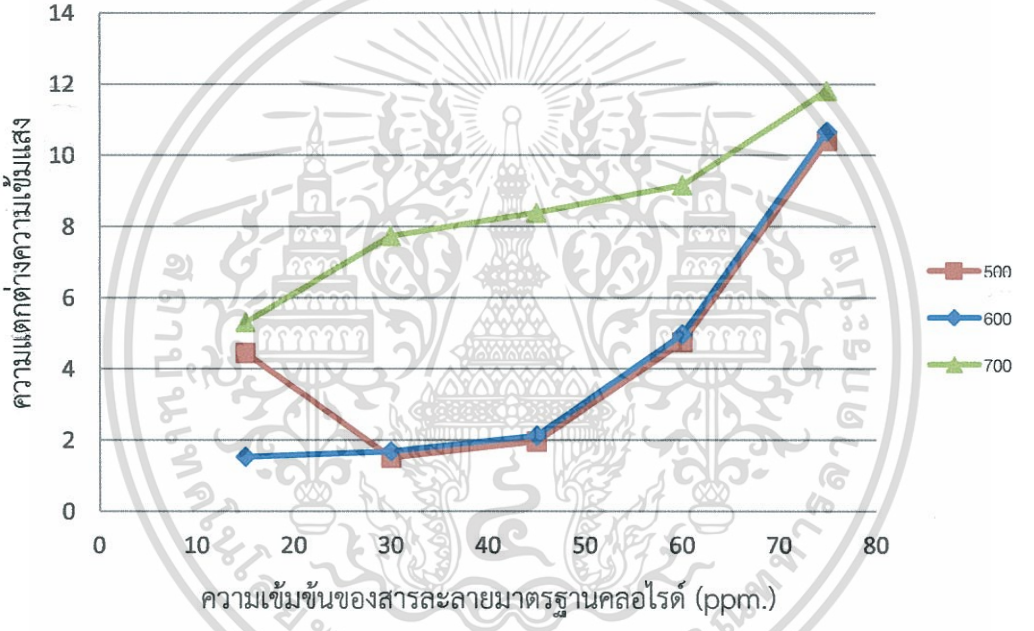
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสงความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรท 0.10 โมลาร์ ที่ปริมาตร 500, 1000, 1500 และ 2000 ไมโครลิตร (ภาคผนวก ค.)

จากผลการทดลองเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ ในรูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ กับความแตกต่างความเข้มแสง ซึ่งทำการทดลองโดยใช้สารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0, 15, 30, 45, 60 และ75 มิลลิกรัมต่อลิตร จะสังเกตได้ว่าช่วงปริมาตรซิลเวอร์ไนเตรท ที่ 500 และ 1000 ไมโครลิตร จะมีแนวโน้มความแตกต่างความเข้มสีที่มากกว่าที่ปริมาตร 1500 และ 2000 ไมโครลิตร โดยแนวโน้มความเป็นเส้นตรงที่ปริมาตรซิลเวอร์ไนเตรท 500 และ 1000 ไมโครลิตร มีค่า r^2 = 0.0783 และ 0.7308 ตามลำดับ ในส่วนของกราฟที่มีปริมาตรซิลเวอร์ไนเตรทในช่วง 1500 และ 2000 ไมโครลิตร จะไม่สามารถสังเกตค่าความแตกต่างความเข้มแสงได้ เราจึงเลือกช่วงปริมาตรของซิลเวอร์ไนเตรทอยู่ระหว่าง 500-1000 ไมโครลิตร มาใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ศึกษาอิทธิพลของแสงแดด ที่มีผลต่อปฏิกิริยา

ทำการทดลอง โดยใช้ระบบโซล-เจล แบบเจือซิลเวอร์ไนเตรท ที่สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 0.010 โมลาร์ หยดสารละลายโซล-เจล ปริมาตร 10.0 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำมาทดสอบการเกิดปฏิกิริยา โดยการหยดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ลงบนจุดรีเอเจนต์ นำไปตากกลางแดด 10 นาที แล้วทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องสแกน ปรับค่าความสว่างของรูปภาพให้ลดลง 60 แล้วนำภาพดังกล่าวมาประมวลผลเพื่อหาค่าความเข้มสี (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™ แล้วคำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสง แล้วนำไปพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3



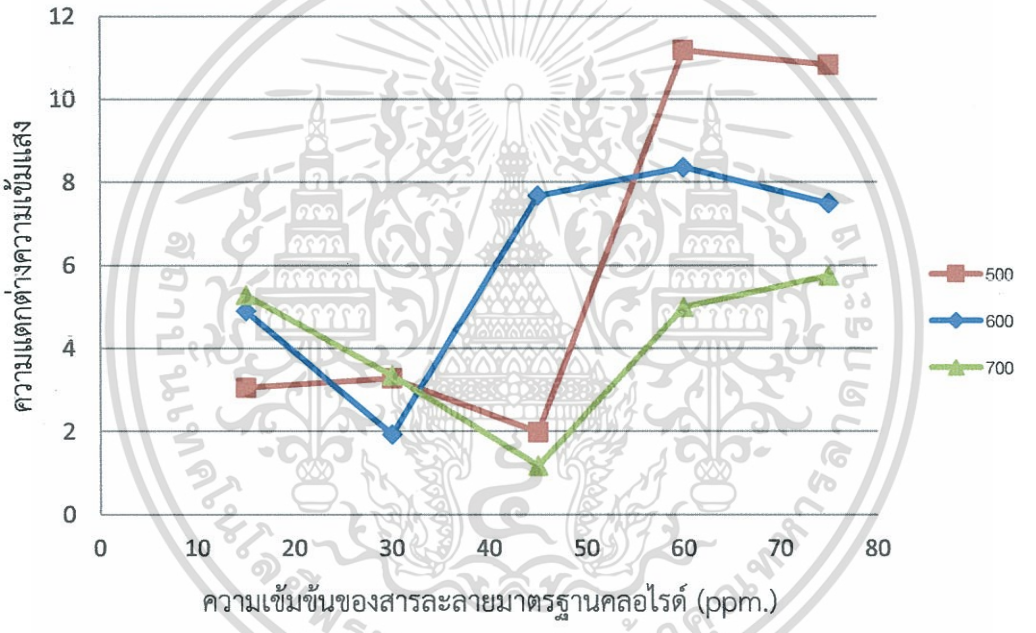
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสง ของระบบโซล-เจลที่นำไปตากกลางแดด 10 นาที (ภาคผนวก ง.)

จากรูปที่ 4.3 การทดสอบด้วยการนำเอาชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษไปตากแดดเป็นเวลา 10 นาที ในช่วงปริมาตรของซิลเวอร์ไนเตรทที่ 500, 600 และ 700 ไมโครลิตร พบว่า ปริมาตรซิลเวอร์ไนเตรท ที่ 600 ไมโครลิตร จะมีแนวโน้มความเป็นเส้นตรงมากที่สุด สังเกตได้จากกราฟโดยมีค่า r^2=0.9386 ส่วนที่ปริมาตร 500 และ 700 ไมโครลิตร จะมีค่า r^2=0.4567 และ 0.772 ตามลำดับ จึงทำให้ทราบว่าอิทธิพลของแสงแดดและความร้อนที่เกิดขึ้น ส่งผลให้ที่ปริมาตรของซิลเวอร์ไนเตรท 600 ไมโครลิตร เกิดความแตกต่างความเข้มแสงดีขึ้น และกราฟความสัมพันธ์ที่แสดงให้เห็นนั้นค่า r^2 ใกล้เคียง1 แต่เนื่องมาจากแสงแดดในแต่ละวันมีค่าความเข้มแสงที่ไม่เท่ากันความร้อนที่มีผลมาจากแสงแดดก็มีความแตกต่างกัน ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ จึงไม่เหมาะแก่การนำมาตรวจวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ศึกษาอิทธิพลของแสงที่มีผลต่อปฏิกิริยา

ทำการทดลอง โดยใช้ระบบโซล-เจล แบบเจือซิลเวอร์ไนเตรท ที่สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 0.01 โมลาร์ หยดสารละลายโซล-เจล ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำมาทดสอบการเกิดปฏิกิริยา โดยการหยดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ลงบนจุดรีเอเจนต์ นำไปทิ้งไว้ใต้แสงไฟ LED 10 นาที แล้วทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องสแกน ปรับค่าความสว่างของรูปภาพให้ลดลง 60 นำภาพดังกล่าวมาประมวลผลเพื่อหาค่าความเข้มสี (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™ คำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสง แล้วนำไปพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.4



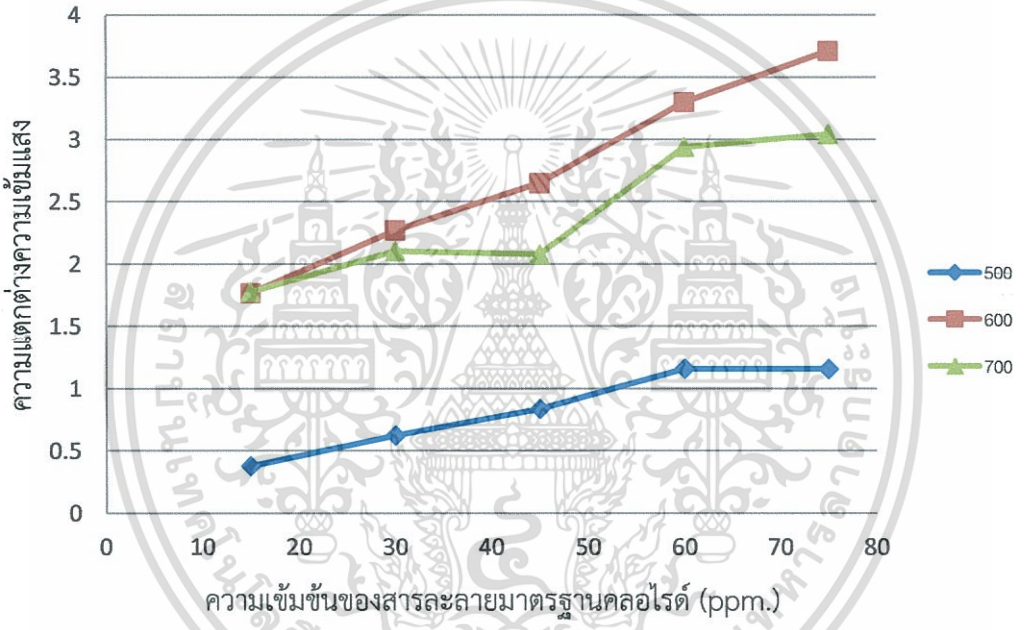
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสง ของระบบโซล-เจลที่นำไปฉายด้วยไป LED 10 นาที (ภาคผนวก จ.)

จากรูปที่ 4.4 ในการศึกษาอิทธิพลของแสง จากหลอดไฟแอลอีดี สังเกตได้ว่าในช่วงปริมาตรซิลเวอร์ไนเตรทที่ 500, 600 และ700 ไมโครลิตร จะพบว่ากราฟที่แสดงออกมามีแนวโน้มความเป็นเส้นตรงน้อย ความแตกต่างความเข้มแสงที่ได้ไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ จึงทำให้สามารถบอกได้โดยสรุปว่าการใช้หลอด LED ไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา กราฟที่ได้ไม่สามารถนำมาอ้างอิงการทดลองได้ เนื่องจากหลอด LED ไม่สามารถทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแปรผันตรงตามค่าความแตกต่างความเข้มแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ศึกษาอิทธิพลของแสงและความร้อน ที่มีผลต่อปฏิกิริยา

ทำการทดลอง โดยใช้ระบบโซล-เจล แบบเจือซิลเวอร์ไนเตรท ที่สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 0.01 โมลาร์ หยดสารละลายโซล-เจล ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำมาทดสอบการเกิดปฏิกิริยา โดยการหยดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ลงบนจุดรีเอเจนต์ นำไปไว้ใต้หลอดไฟ แบบหลอดไส้ 100 วัตต์ 60 นาที แล้วทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องสแกน ปรับค่าความสว่างของรูปภาพให้ลดลง 60 นำภาพดังกล่าวมาประมวลผลเพื่อหาค่าความเข้มสี (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™ คำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสง แล้วนำไปพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.5



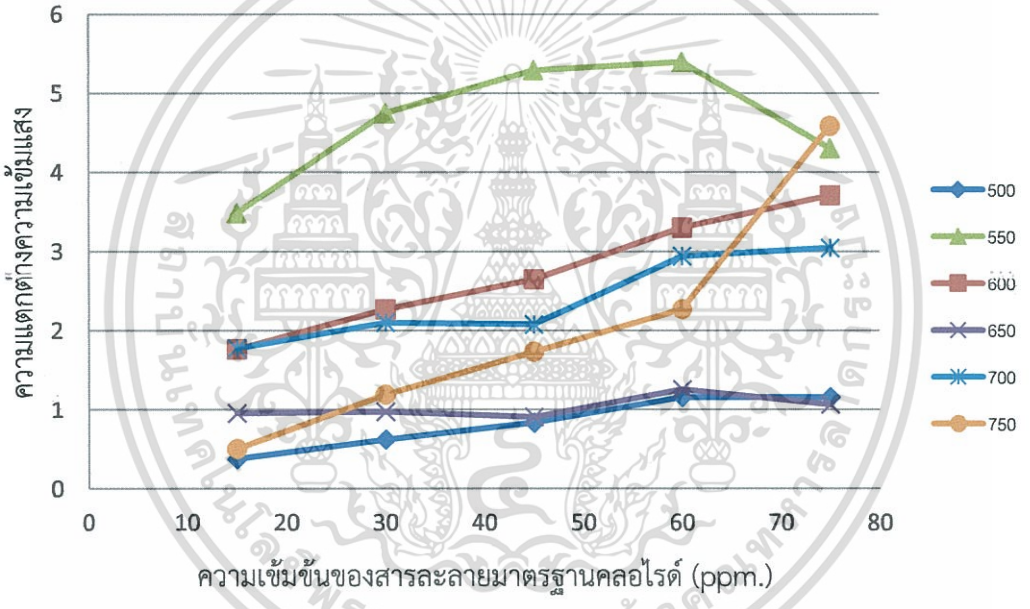
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสง ของระบบโซล-เจลที่นำไปฉายด้วยหลอดไส้ 60 นาที (ภาคผนวก ฉ.)

อิทธิพลของแสงและความร้อนจากหลอดไส้ ที่กำลังไฟ 100 วัตต์ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 67°C ในช่วงปริมาตรซิลเวอร์ไนเตรท 500, 600 และ700 ไมโครลิตรทำการตรวจวัดโดยการใส่กล่องกระดาษที่มีหลอดไส้ ช่วงเวลาในการฉายแสง 1 ชั่วโมงและนำผลที่ได้มาสแกนแล้วนำค่ามาคำนวณสร้างเป็นกราฟ ดังรูปที่ 4.5 จะสังเกตได้ว่าที่ปริมาตร 600 ไมโครลิตร กราฟที่ได้จะมีแนวโน้มความเป็นเส้นตรงมากที่สุดทราบได้จากค่า r^2=0.9943 ส่วนที่ปริมาตร 500 และ 700 ไมโครลิตรกราฟที่ได้มีค่าr^2=0.948 และ 0.8837 ตามลำดับ จึงสามารถสรุปได้ว่าอิทธิพลของหลอดไส้และความร้อนที่เกิดขึ้นจากหลอดนั้นส่งผลต่อการตรวจวัดโดยที่ปริมาตรของซิลเวอร์ไนเตรทที่เหมาะสมที่สุดในการตรวจวัดคือที่ปริมาตร 600 ไมโครลิตรโดยช่วงเวลาในการฉายแสงมีความเหมาะสมและกราฟที่ได้มีความเป็นเส้นตรงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของซิลเวอร์ไนเตรท

ทำการทดลอง โดยใช้ระบบโซล-เจล แบบเจือซิลเวอร์ไนเตรท แปรเปลี่ยนปริมาตรของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 0.010 โมลาร์ปริมาตร 500, 550, 600, 650, 700 และ 750 ไมโครลิตร ตามลำดับ หยดสารละลายโซล-เจล ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำมาทดสอบการเกิดปฏิกิริยา โดยการหยดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ลงบนจุดรีเอเจนต์ นำไปฉายด้วยหลอดไส้ 60 นาทีแล้วทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องสแกน ปรับค่าความสว่างของรูปภาพให้ลดลง 60 นำภาพดังกล่าวมาประมวลผลเพื่อหาค่าความเข้มสี (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™ คำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสง แล้วนำไปพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.6



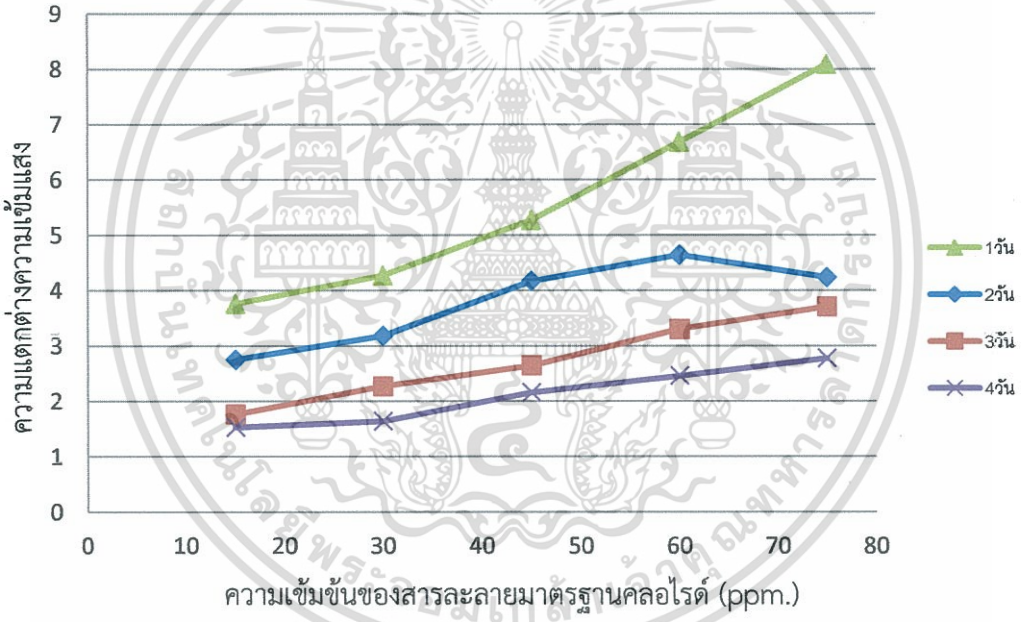
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสง ของระบบโซล-เจลที่มีความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรทต่างกัน (ภาคผนวก ช.)

การศึกษาปริมาตรของซิลเวอร์ไนเตรทโดยละเอียดมากขึ้นเพื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมในการตรวจวัดโดยใช้หลอดไส้ ปริมาตรของซิลเวอร์ไนเตรทที่ใช้ ได้แก่ 500, 550, 600, 650, 700 และ 750 ไมโครลิตร หลังจากทำการทดลอง สามารถคำนวณผล แล้วสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ กราฟที่ได้มีแนวโน้มความเป็นเส้นตรง ซึ่งที่ปริมาตรซิลเวอร์ไนเตรท 600 ไมโครลิตร กราฟที่เกิดขึ้นมีความเป็นเส้นตรงมากที่สุด ดูได้จากค่า r^2=0.9943 ส่วนที่ปริมาตรซิลเวอร์ไนเตรท500, 550, 650, 700 และ 750 ไมโครลิตร มีค่า r^2=0.948, 0.2118, 0.3357, 0.8837 และ 0.8800 ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่า เราสามารถทำการทดลองโดยใช้กล่องหลอดไส้ ที่สามารถควบคุมแสงและความร้อนได้ โดยมีปริมาณที่เหมาะสมของซิลเวอร์ไนเตรทคือ 600 ไมโครลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ศึกษาความเสถียรของผลกระดาษทดสอบเมื่อใช้งานแล้ว

ทำการทดลอง โดยใช้ระบบโซล-เจล แบบเจือซิลเวอร์ไนเตรท ที่สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 0.010 โมลาร์ หยดสารละลายโซล-เจล ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำมาทดสอบการเกิดปฏิกิริยา โดยการหยดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ลงบนจุดรีเอเจนต์ นำไปไว้ใต้หลอดไฟ แบบหลอดไส้ 100 วัตต์ 60 นาที แล้วทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องสแกน ปรับค่าความสว่างของรูปภาพให้ลดลง 60 นำภาพดังกล่าวมาประมวลผลเพื่อหาค่าความเข้มสี (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™ คำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสง แล้วนำไปพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ จากนั้น เก็บโซล-เจลไว้ในที่มืดเป็นเวลา 3 วัน และทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสีทุกวัน ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสง ของระบบโซล-เจลที่นำมาสแกนซ้ำในแต่ละวัน (ภาคผนวก ช.)

จากรูปที่ 4.7 การศึกษาระยะเวลาในการเก็บผลการทดลองและทำการตรวจวัดเป็นเวลาติดต่อกัน 3 วัน โดยการเก็บชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษไว้ในที่มืดก่อนนำมาสแกนซ้ำโดยกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสง จะพบว่า ชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษที่เกิดปฏิกิริยา สามารถเก็บไว้ใช้ในการตรวจวัดได้นาน 3 วัน ซึ่งกราฟที่ออกมามีความแตกต่างกันไม่มากนัก แต่วันที่ดีที่สุดสำหรับการตรวจวัด คือวันแรกของการทดลอง หลังจากเก็บไว้ 3 วันจะไม่เหมาะแก่การนำมาตรวจวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ศึกษาความเสถียรของชุดทดสอบก่อนการใช้วิเคราะห์

ทำการทดลอง โดยใช้ระบบโซล-เจล แบบเจือซิลเวอร์ไนเตรท ที่สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท เข้มข้น 0.010 โมลาร์ หยดสารละลายโซล-เจล ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองทิ้งไว้ 30 นาที แล้วนำชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ เก็บไว้ในที่มืด 1 วัน แล้วมาทดสอบการเกิดปฏิกิริยา โดยการหยดสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ลงบนจุดรีเอเจนต์ นำไปไว้ใต้หลอดไฟแบบหลอดไส้ 100 วัตต์ 60 นาที ในกล่องกระดาษ ทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องสแกน ปรับค่าความสว่างของรูปภาพให้ลดลง 60 นำภาพดังกล่าวมาประมวลผลเพื่อหาค่าความเข้มสี (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™ คำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสง แล้วนำไปพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.8

ทำการศึกษาการเก็บไว้ใช้งานได้ของชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษที่เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 1วัน ก่อนนำใช้ในการทดสอบการเกิดปฏิกิริยา และนำมาตรวจวิเคราะห์ซึ่งกราฟที่ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสงของระบบโซล-เจลที่ถูกเก็บไว้ในที่มืด 1 วันก่อนนำมาทดสอบ โดยจะสามารถสังเกตได้จากกราฟที่เกิดขึ้นว่า มีความเป็นเส้นตรงสอดคล้องกับหลายผลการทดลองที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้ ทำให้สรุปได้ว่าเราสามารถเตรียมชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ ก่อนนำไปใช้งานได้เป็นเวลา 1วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 วิเคราะห์เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมของชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษของระบบโซล-เจล แบบเจือซิลเวอร์ไนเตรทแล้ว จึงทำการทดสอบหาปริมาตรคลอไรด์ไอออนในตัวอย่างน้ำดื่ม น้ำประปา และน้ำสระว่ายน้ำ โดยการเตรียมสารละลายโซล-เจล เจือด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 600 ไมโครลิตร หยดลงบนกระดาษกรองปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร แล้วทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อทำเป็นจุดรีเอเจนต์ จากนั้นหยดสารละลายตัวอย่างตัวอย่างน้ำดื่ม น้ำประปา และน้ำสระว่ายน้ำ ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนจุดรีเอเจนต์ ทำตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ซึ่งตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย ตัวอย่างน้ำดื่ม 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างน้ำประปา และตัวอย่างน้ำสระว่ายน้ำ เทียบกับการไทเทรตวิธีของโมฮร์ ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์หาปริมาตรคลอไรด์ไอออนในตัวอย่างน้ำ ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดและวิธีมาตรฐานการไทเทรตวิธีของโมฮร์

ตัวอย่าง	ปริมาตรคลอไรด์ไอออนที่ตรวจพบ (มิลลิกรัมต่อลิตร,ppm.)	
	ชุดทดสอบบนกระดาษ	วิธีมาตรฐานการไทเทรต
ตัวอย่างน้ำดื่ม 1	31.53±0.52	25.07±0.07
ตัวอย่างน้ำดื่ม 2	32.25±0.99	36.99±0.07
ตัวอย่างน้ำประปา	37.27±0.45	31.94±0.07
ตัวอย่างน้ำสระว่ายน้ำ	58.11±0.96	58.85±0.00

จากตารางที่ 4.1 พบว่า จากการทดลองนำชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดมาเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานการไทเทรตของโมฮร์ โดยการนำตัวอย่างจริงมาทดสอบหาปริมาณคลอไรด์ไอออน ได้แก่ น้ำดื่ม น้ำประปา และน้ำสระว่ายน้ำ ซึ่งทำการทดลองไปพร้อมกันทั้งชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด พบว่า ตัวอย่างน้ำดื่ม 1 ชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดพบปริมาณคลอไรด์ 31.53 ppm.เทียบกับวิธีมาตรฐานไทเทรตพบปริมาณคลอไรด์ 25.07 ppm. ตัวอย่างน้ำดื่มที่ 2 ชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดพบปริมาณคลอไรด์ 32.25 ppm. เทียบกับวิธีมาตรฐานไทเทรตมีปริมาณคลอไรด์ 36.55 ppm. ตัวอย่างน้ำประปา ชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดพบปริมาณคลอไรด์ 37.27 ppm. เทียบกับวิธีมาตรฐานไทเทรตมีปริมาณคลอไรด์ 31.94 ppm. และตัวอย่างน้ำในสระว่ายน้ำ ชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดพบปริมาณคลอไรด์ 58.11 ppm. เทียบกับวิธีมาตรฐานไทเทรตพบว่ามีปริมาณคลอไรด์ 58.85 ppm.ซึ่งจากการวิเคราะห์และเปรียบเทียบกันสำหรับสองวิธีข้างต้นนี้พบว่ามีความใกล้เคียงกันในการวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อหาคลอไรด์ ซึ่งสามารถนำชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด มาใช้ในการวิเคราะห์แทนวิธีมาตรฐานการไทเทรตของโมฮร์ โดยข้อสนับสนุนนี้สามารถยืนยันได้จากการคำนวณ t-test ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (n=4, $t_{คำนวณ}$=0.59 และ $t_{ตาราง}$=3.18)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลวิจัย

การวิเคราะห์ความเข้มข้นคลอไรด์ของจุดสีบนกระดาษ สำหรับการตรวจวัดปริมาตรคลอไรด์ไอออนโดยใช้ระบบโซล-เจลแบบเจือซิลเวอร์ไนเตรท ได้ทำการออกแบบระบบสำหรับสร้างชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด รวมถึงการศึกษาการใช้ปัจจัยทางด้านแสงและความร้อนต่างๆเพิ่มเติม เพื่อให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์คลอไรด์ไอออนในตัวอย่างน้ำเชิงปริมาตรได้ โดยทำให้เกิดการรวมตัวกันของซิลเวอร์(I)ไอออน(Ag^+) กับคลอไรด์ไอออน(Cl^-) แล้วอาศัยแสงและความร้อนในกล่องหลอดไส้ในการทำให้เกิดการสลายตัวของซิลเวอร์คลอไรด์รีดิวซ์ซิลเวอร์(I)ไอออน(Ag^+) เป็นซิลเวอร์(0) (Ag^0) ซึ่งจะเกิดเป็นจุดสีชมพูอมม่วง นำมาคำนวณสีที่เปลี่ยนแปลง เพื่อคำนวณหาปริมาตรคลอไรด์ไอออนที่พบ

ระบบที่ศึกษานั้น พบว่า ระบบโซล-เจลแบบเจือซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 0.01 โมลาร์ เป็นระบบที่เหมาะสมกับการสร้างชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ เนื่องจากเป็นปริมาตรซิลเวอร์ไนเตรทที่มากเพียงพอ จากการศึกษาปัจจัยที่น่าจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยา ไม่ว่าจะเป็นเรื่องแสงหรือความร้อน พบว่าสภาวะการทดสอบของชุดทดสอบจุดบนกระดาษ การใช้กล่องหลอดไส้นั้นมีความเหมาะสมมากที่สุด โดยสามารถควบคุมได้ทั้งปริมาตรแสงและความร้อน ระยะเวลาที่เหมาะสมที่ทิ้งไว้เพื่อให้เกิดจุดสี คือ 60 นาที เนื่องจากเป็นระยะเวลาที่มีความเข้มของจุดสีคงที่ ซึ่งอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหับการตรวจวัดความเปลี่ยนแปลงสี คือ เครื่องสแกน เนื่องจากให้ค่าความเข้มแสงมากที่สุดเครื่องสแกนมีการทำงานแบบระบบปิดที่สามารถควบคุมแหล่งแสงได้อย่างชัดเจน ส่วนค่าความสว่างของภาพไม่มีผลต่อความแตกต่างความเข้มแสงที่ได้จึงเลือกที่จะปรับค่าความสว่างของภาพลดลง 60 เพื่อไม่ให้ภาพที่มีความทึบหรือสว่างจนเกินไป

การหาปริมาตรคลอไรด์ไอออนสามารถหาได้โดยสร้างกราฟมาตรฐาน ซึ่งช่วงความเป็นเส้นตรงที่ได้อยู่ในช่วง 15-75 มิลลิกรัมต่อลิตร และจากสภาวะที่เหมาะสมของชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษในระบบโซล-เจลแบบเจือซิลเวอร์ไนเตรท ทำให้ได้ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจพบเท่ากับ 4.96 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาตรเท่ากับ 15.43 มิลลิกรัมต่อลิตร และการเทียบมาตรฐานของวิธีกับวิธีมาตรฐานของโมฮร์ พบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อนำมาทดสอบด้วยวิธีทางสถิติ t-test พบว่า ให้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($n=4$, $t_{คำนวณ} = 0.59$ และ $t_{ตาราง}=3.18$)

แสดงให้เห็นว่าทั้งสองเทคนิคไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดในระบบโซล-เจลแบบเจือซิลเวอร์ไนเตรทสามารถนำมาใช้สำหรับตรวจวัดปริมาตรคลอไรด์ไอออนในเชิงปริมาตรวิเคราะห์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาตัวรบกวนที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบด้วยวิธีแบบจุดบนกระดาษเพิ่มเติม

2. ควรพัฒนาอัตราส่วนการเตรียมโซล-เจล เพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพให้กับรีเอเจนต์

3. ควรพัฒนาวิธีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์หาคลอไรด์ให้กว้างยิ่งขึ้น เช่น ปรับใช้กับการวิเคราะห์คลอไรด์ในน้ำคลอง น้ำบาดาล หรือน้ำเสียจากชุมชน เป็นต้น

4. ควรพัฒนาการเก็บชุดทดสอบแบบกระดาษให้สามารถใช้งานได้นานขึ้นมากกว่าเดิมและมีประสิทธิภาพในการตรวจวิเคราะห์

5. ควรพัฒนาระยะเวลาในการตรวจวิเคราะห์ให้มีความรวดเร็วขึ้นจากเดิมอาจศึกษาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้เกิดรวดเร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ผลวอเตอร์, 2557. **"คลอรีน"** [Online]. Available: http://www.pholwater.com/pdf/chlorine.PDF; Search: 27 January 2016.

[2] ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2556. **"Chlorine"** [Online]. Available: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2210/chlorine-คลอรีน; Search: 27 January 2016.

[3] นายกิตติศัพท์ เหล็กดำ, 2550. **"การตรวจสอบคลอรีนตกค้างจากระบบประปาของมหาวิทยาลัยขอนแก่น"** [Online]. Available: https://app.enit.kku.ac.th/mis/administrator/doc_upload/20110308161030.pdf; Search: 9 February 2016.

[4] ณัฏฐ์ชาพร สอยเหลือง, 2550. **"ข้อดีข้อเสียของการใช้คลอรีนในประปา"** [Online]. Available: http://202.129.59.73/spt/know/140355/advan-disadvan%20chlorine.pdf; Search: 9 February 2016.

[5] พิเชฐ พิศภา, 2552. **"การฆ่าเชื้อโรคในน้ำด้วยคลอรีน"** [Online]. Available: www.nmd.go.th/preventmed/flood/Chlorine.docx; Search: 9 February 2016.

[6] Susan McDaniel, 2008. **"Animal Drinking Water Chlorination and Monitoring"** [Online]. Available: http://www.alnmag.com/articles/2008/08/animal-drinking-water-chlorination-and-monitoring: 9 February 2016.

[7] สุทธิณี น้อยเหลือ, 2555. **"มาตรฐานคุณภาพน้ำ"** [Online]. Available: http://202.129.59.73/nana/standard/st1.htm; Search: 9 February 2016.

[8] กรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือ, 2542. **"เคมีของสระว่ายน้ำ"** [Online]. Available: http://www.navy.mi.th/science/Information/Paper/InfoPaper_Pond.html; Search: 9 February 2016.

[9] สำนักวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2558. **"การวิเคราะหคลอไรดในน้ำ"** [Online]. Available: http://www2.diw.go.th/Research/เอกสารเผยแพร่/A12-Chloride.pdf; Search: 1 March 2016.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] จุฑารัตน์ อาชวรัตน์ถาวร, 2552. **"กระบวนการโซลเจล"** [Online]. Available: http://www.dpim.go.th/articles/article?catid=125&articleid=3251; Search: 1 March 2016.

[11] นฤชิต ไพโรจน์, 2555. **"Sol-gel doped o-phenanthroline spot test for quantitative determination of iron(II)"** วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 20 January 2016.

[12] เรณู โนแก้ว, 2556. **"ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส"** [Online]. Available: https://reanooanirut.wordpress.com/เนื้อหาบทเรียน/ปฏิกิริยากรดและเบส/ปฏิกิริยาไฮโดรซิส; Search: 15 March 2016.

[13] หทัยทิพย์ พันฤทธิ์ดำ, 2558. **"กระบวนการโซล-เจล"** [Online]. Available: kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2010/9307/1/375494.pdf; Search: 24 May 2016.

[14] Eduzones, 2548. **"แสงอาทิตย์และพลังงาน"** [Online]. Available: https://www.eduzones.com/knowledge-2-5-2168.html; Search: 24 May 2016.

[15] หน่วยนวัตกรรมเทคโนโลยีและภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล, 2549. **"ชุดทดสอบภาคสนามอย่างง่าย"** [Online]. Available: http://www.sc.mahidol.ac.th/tha/research/webtestkit/when_front.htm; Search: 24 May 2016.

[16] พิชชยานาฏ รีรักษ์, 2558. **"ระบบสี (Color model)"** [Online]. Available: http://tc.mengrai.ac.th/krunoom/instruction/photoshop/unit1-2.php; Search: 24 May 2016.

[17] ดร.ภิญโญ พานิชพันธ์ และคณะสถาบันนวัตกรรมและพัฒนาการกระบวนการเรียนรู้, 2547. **"ระบบคอมพิวเตอร์"** [Online]. Available: http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/computer/system/scanner.htm; Search: 24 May 2016.

[18] มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2550. **"การฆ่าเชื้อโรค"** [Online]. Available: **202.28.32.231/personal/engmsu_ma/download/doc2551/การฆ่าเชื้อโรค.doc**; Search: 5 June 2016.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[19]P.Parvinen and L.H.J. Lajunen, 1999. **"Determination of Chloride in drinking and ground water by AlCl molecular absorption spectrometry using graphite furnace atomic absorption spectrometer"** Talanta 50. Search: 14 May 2016.

[20] J.A. Morales, L.S. de Graterol and J. Mesa, 2000. **"Determination of chloride, sulfate and nitrate in ground water samples by ion chromatography"** Journal of Chromatography A, 884. Search: 25 March 2016.

[21] A. Pelloux, P. Fabry and P. Durante,2002. **"Design and testing of a potentiometric chlorine gauge"** Sensors and Actuators. Search: 14 May 2016.

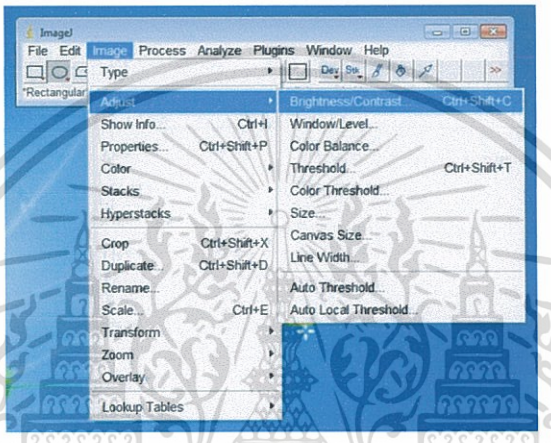
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การบันทึกค่าความเข้มแสงจากโปรแกรม ImageJ™

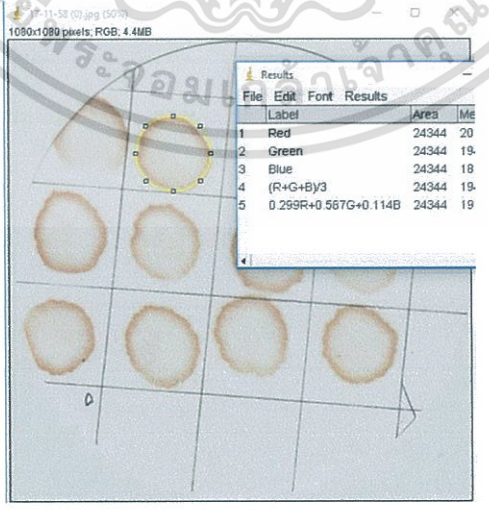
ขั้นตอนและวิธีการใช้โปรแกรม

1. เปิดโปรแกรม ImageJ™ จากนั้น กด Ctrl + O เพื่อเปิดรูปภาพที่ต้องการ
2. เลือกเมนู Image แล้วเลือกที่ Adjust
3. คลิกเลือก ที่ Brightness/Contrast ปรับค่า Brightness ให้ลดลง 60 ดังรูป ก.1



รูป ก.1 แสดงการปรับค่า Brightness

4. กำหนดพื้นที่ในการวิเคราะห์เป็น วงกลม
5. คลิกเมาส์และลากที่รูปภาพ เพื่อสร้างกรอบวงกลมให้ครอบคลุมขนาดวง ของจุดสีที่เกิดขึ้นบนกระดาษกรอง ดังรูป ก.2

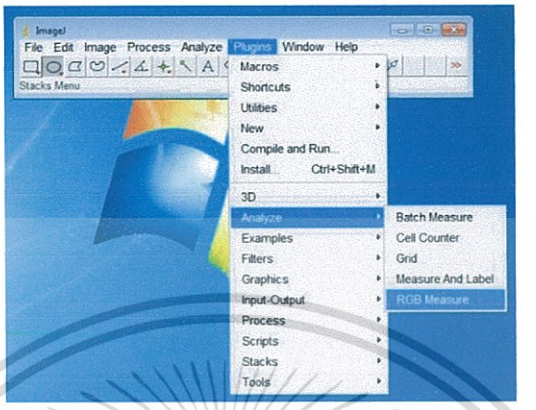


รูป ก.2 แสดงการเลือกพื้นที่ในการวิเคราะห์ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

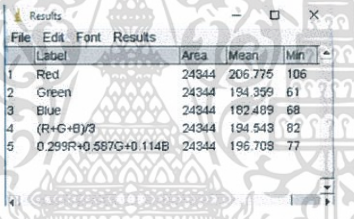
6. เลือกเมนู Pluginsแล้วเลือกที่ Analyze

7. คลิกเลือกที่ RGB Measure ดังรูป ก.3



รูป ก.3 แสดงการวิเคราะห์ค่าความเข้มสี

8. จะปรากฏหน้าต่างแสดงผลการวิเคราะห์ค่าความเข้มสีของจุดสีบนกระดาษกรอง ดังรูป ก.4



	Label	Area	Mean	Min
1	Red	24344	206.775	106
2	Green	24344	194.359	61
3	Blue	24344	182.489	68
4	(R+G+B)/3	24344	194.543	82
5	0.299R+0.587G+0.114B	24344	196.708	77

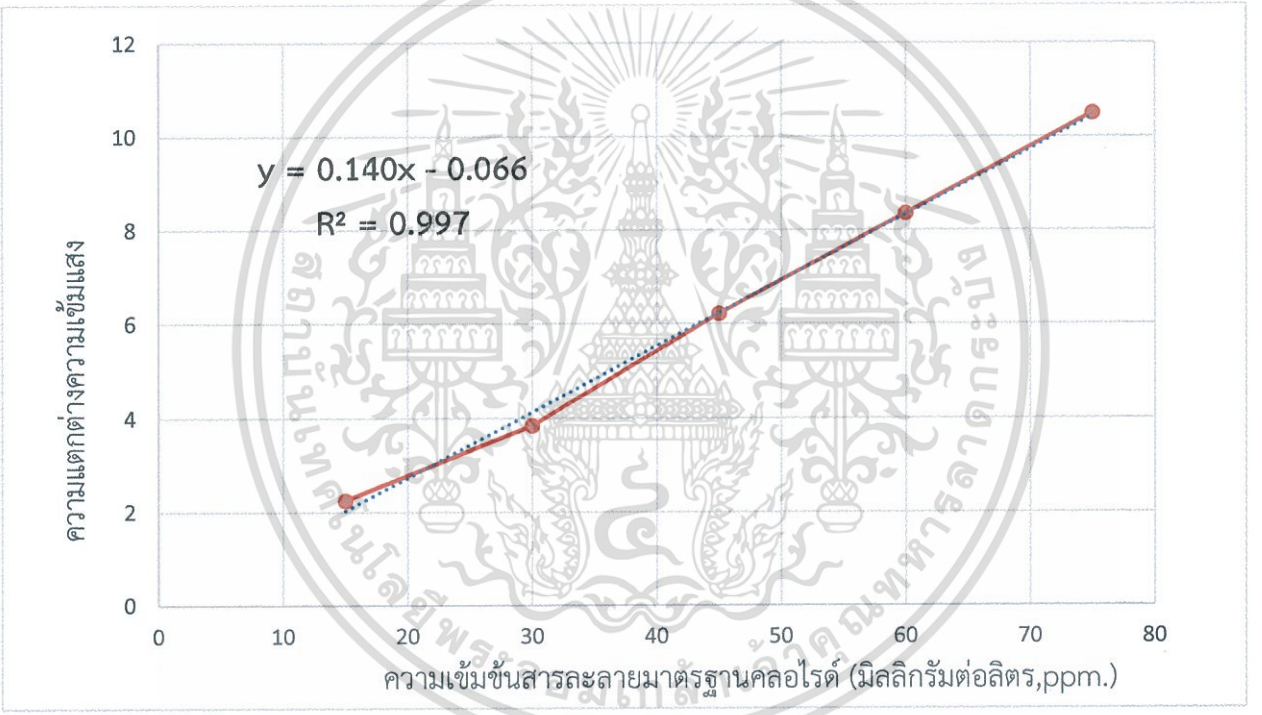
รูป ก.4 หน้าต่างแสดงการผลการคำนวณค่าความเข้มสี RGB

9. บันทึกค่าความเข้มสี แล้วนำไปคำนวณด้วย "สมการยูคลิด" เพื่อหาค่าความแตกต่างความเข้มแสงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสง ของระบบโซล-เจลเจือซิลเวอร์ไนเตรต ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาตร 600 มิลลิลิตร



ภาคผนวก ค.

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.2 หน้า 35

ตารางที่ ค.1 ค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของระบบโซล-เจลเจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาณ 500 และ 1,000 ไมโครลิตร

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg./L.)	ปริมาณซิลเวอร์ไนเตรท 500 ไมโครลิตร				ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg./L.)	ปริมาณซิลเวอร์ไนเตรท 1,000 ไมโครลิตร			
	ค่าความเข้มแสง			ED		ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน			แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	192.79±0.49	192.12±0.98	190.07±1.02	*	0	191.24±0.43	188.45±0.72	186.31±0.60	*
15	191.77±0.13	190.59±0.07	188.50±0.07	0.78±0.05	15	191.00±0.96	188.02±2.08	186.01±2.07	2.57±0.38
30	191.75±0.47	190.55±0.83	188.71±0.67	0.97±0.61	30	190.50±1.63	187.90±3.64	186.00±3.63	3.90±2.77
45	189.51±0.38	187.99±0.69	184.92±0.74	5.70±1.06	45	192.16±0.31	191.60±0.83	189.91±0.90	4.88±1.26
60	189.95±0.36	189.01±0.37	186.37±0.34	3.39±1.04	60	192.08±0.42	191.42±0.47	189.75±0.48	4.62±0.73
75	191.16±0.10	191.01±0.09	188.52±0.12	1.53±0.61	75	192.09±0.51	191.37±0.94	189.72±0.85	4.58±1.32

หมายเหตุ * คือจุดที่ค่าความเข้มแสง สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญญาณของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสง โดยที่ ED คือค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.2 หน้า 35 (ต่อ)

ตารางที่ ค.2 ค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของระบบโซล-เจลเจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาณ 1,500 และ 2,000 ไมโครลิตร

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg./L.)	ปริมาณซิลเวอร์ไนเตรท 1,500 ไมโครลิตร				ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg./L.)	ปริมาณซิลเวอร์ไนเตรท 2,000 ไมโครลิตร			
	ค่าความเข้มแสง			ED		ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน			แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	193.23±0.13	193.12±0.33	192.67±0.35	*	0	192.51±0.10	192.24±0.01	189.32±0.06	*
15	193.15±0.11	193.08±0.17	192.96±0.19	0.34±0.05	15	191.43±0.19	190.53±0.27	187.58±0.40	2.67±0.50
30	192.62±0.54	192.30±0.58	192.16±0.51	1.10±0.95	30	191.93±0.30	191.720.04	189.120.05	0.82±0.22
45	192.81±0.33	192.73±0.38	192.67±0.38	0.83±0.11	45	191.82±0.59	191.69±0.72	189.06±0.86	1.26±0.71
60	192.70±0.35	192.75±0.31	192.72±0.39	0.70±0.19	60	191.90±0.26	191.74±0.34	189.17±0.43	0.90±0.35
75	192.91±0.11	192.98±0.08	193.01±0.13	0.59±0.27	755	191.96±0.46	192.10±0.46	189.62±0.51	0.95±0.29

หมายเหตุ * คือจุดที่ค่าความเข้มแสง สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญญาณของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสง โดยที่ ED คือค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ง.

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.3 หน้า 36

ตารางที่ ง.1 ค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของระบบโซล-เจล เจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาณ 500 และ 600 ไมโครลิตร ที่นำไปตากกลางแดด 10 นาที

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg./L.)	ปริมาณซิลเวอร์ไนเตรท 500 ไมโครลิตร				ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg./L.)	ปริมาณซิลเวอร์ไนเตรท 600 ไมโครลิตร			
	ค่าความเข้มแสง			ED		ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน			แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	192.71±0.46	191.27±0.38	190.82±0.20	*	0	193.41±0.61	191.60±1.51	190.40±2.07	*
15	191.42±0.90	188.29±1.29	187.77±1.3	4.08±1.97	15	192.91±0.12	190.39±0.70	189.60±1.33	1.79±1.07
30	193.01±0.52	192.04±0.77	192.09±0.85	2.56±0.59	30	193.39±0.36	192.06±0.56	192.02±0.50	1.78±0.63
45	192.27±0.65	189.73±1.46	189.68±1.67	1.78±1.37	45	192.31±0.19	189.88±0.32	189.82±0.34	4.88±0.68
60	191.57±0.65	187.90±1.32	187.66±1.48	4.50±1.85	60	191.88±0.18	188.11±0.18	187.21±0.39	4.63±0.89
75	189.74±0.05	184.36±0.48	183.62±0.92	9.91±1.36	75	190.40±0.69	184.66±1.01	182.87±1.08	9.88±4.88

หมายเหตุ * คือจุดที่ค่าความเข้มแสง สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญญาณของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสง โดยที่ ED คือค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.3 หน้า 36 (ต่อ)

ตารางที่ ง.2 ค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของระบบโซล-เจลเจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาณ 700 ไมโครลิตรที่นำไปตากกลางแดด 10 นาที

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg./L.)	ปริมาณซิลเวอร์ไนเตรท 700 ไมโครลิตร			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	193.89±0.27	192.86±0.52	192.25±0.49	*
15	193.78±0.22	190.45±0.78	187.52±0.89	5.31±0.66
30	193.19±0.46	188.48±0.77	185.91±1.33	7.43±1.14
45	192.41±0.40	187.95±0.39	185.61±0.87	8.42±0.77
60	191.90±0.43	187.21±0.68	185.32±0.78	9.06±1.09
75	191.23±0.16	185.61±0.18	183.31±0.69	11.57±1.04

หมายเหตุ * คือจุดที่ค่าความเข้มแสง สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญญาณของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสง

โดยที่ ED คือค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก จ.

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.4 หน้า 37

ตารางที่ จ.1 ค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของระบบโซล-เจลเจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาณ 500 และ 600 ไมโครลิตรที่นำไปฉายด้วยไป LED 10 นาที

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg./L.)	ปริมาณซิลเวอร์ไนเตรท 500 ไมโครลิตร				ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg./L.)	ปริมาณซิลเวอร์ไนเตรท 600 ไมโครลิตร			
	ค่าความเข้มแสง			ED		ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน			แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	183.71±1.43	175.16±2.31	170.73±2..46	*	0	189.62±1.41	184.03±2.05	181.45±2.06	*
15	182.41±2.51	173.90±3.14	168.27±3.91	5.10±2.22	15	187.32±2.31	181.24±3.83	178.13±3.88	5.77±3.53
30	184.83±3.85	177.87±6.00	172.21±6.09	7.08±5.36	30	188.78±0.66	184.01±1.37	179.71±1.45	3.34±1.68
45	182.66±2.06	176.77±2.86	171.22±2.96	3.60±1.07	45	191.30±0.36	189.74±0.89	186.29±1.27	6.86±1.92
60	187.38±0.32	183.04±1.12	177.77±1.43	10.30±0.93	60	191.42±0.23	190.14±0.54	186.85±0.70	8.16±0.61
75	186.79±1.49	182.79±2.27	177.79±2.24	11.86±1.96	75	191.31±1.16	189.76±1.38	185.96±1.81	8.07±1.89

หมายเหตุ * คือจุดที่ค่าความเข้มแสง สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญญาณของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสง โดยที่ ED คือค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.4 หน้า 37 (ต่อ)

ตารางที่ จ.2 ค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของระบบโซล-เจลเจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาณ 700 ไมโครลิตรที่นำไปฉายด้วยไป LED 10 นาที

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg./L.)	ปริมาณซิลเวอร์ไนเตรท 700 ไมโครลิตร			
	ค่าความเข้มแสง			
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	ED
0	190.47±0.45	186.09±0.65	183.21±0.78	*
15	188.39±1.31	182.67±2.63	179.76±2.90	5.31±4.10
30	188.78±1.59	184.13±2.89	181.07±2.95	5.75±1.94
45	189.34±0.86	186.09±1.62	182.91±1.88	3.60±1.80
60	190.57±0.31	189.64±0.50	186.72±0.43	4.45±0.31
75	190.87±0.46	190.19±0.69	187.23±0.65	5.89±0.85

หมายเหตุ * คือจุดที่ค่าความเข้มแสง สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญญาณของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสง โดยที่ ED คือค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ฉ.

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.5 หน้า 38

ตารางที่ ฉ.1 ค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของระบบโซล-เจลเจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาณ 500 และ 600 ไมโครลิตรที่นำไปฉายด้วยหลอดไส้ 60 นาที

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg./L.)	ปริมาณซิลเวอร์ไนเตรท 500 ไมโครลิตร				ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg./L.)	ปริมาณซิลเวอร์ไนเตรท 600 ไมโครลิตร			
	ค่าความเข้มแสง			ED		ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน			แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	193.24±0.19	192.37±0..59	190.19±0.73	*	0	192.86±0.10	191.12±0.44	188.49±0.68	*
15	192.93±0.13	192.18±0.28	190.12±0.30	0.53±0.30	15	193.04±0.18	192.20±0.77	189.87±1.18	1.74±1.46
30	192.68±0.19	192.14±0.44	190.30±0.58	0.86±0.15	30	192.94±0.11	192.42±0.36	190.35±0.54	2.17±0.79
45	192.86±0.07	192.56±0.19	190.91±0.22	0.84±0.20	45	192.72±0.05	192.51±0.17	190.74±0.33	2.59±0.41
60	192.78±0.17	192.65±0.14	191.21±0.17	1.18±0.10	60	192.98±0.12	192.89±0.34	191.27±0.58	3.18±0.41
75	192.77±0.17	192.74±0.11	191.18±0.12	1.15±0.05	75	192.99±0.00	193.14±0.02	191.59±0.02	3.75±0.00

หมายเหตุ * คือจุดที่ค่าความเข้มแสง สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญญาณของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสง

โดยที่ ED คือค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.5 หน้า 38 (ต่อ)

ตารางที่ ฉ.2 ค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของระบบโซล-เจลเจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาณ700 ไมโครลิตรที่นำไปฉายด้วยหลอดไส้ 60 นาที

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg./L.)	ปริมาณซิลเวอร์ไนเตรท 700 ไมโครลิตร			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	192.68±0.16	191.14±0.50	188.24±0.62	*
15	192.83±0.17	192.15±0.32	189.69±0.39	1.63±0.33
30	192.80±0.33	192.26±0.58	190.02±0.88	2.09±1.01
45	192.73±0.12	192.15±0.21	190.06±0.48	2.14±0.61
60	192.98±0.20	192.61±0.53	190.76±0.88	2.85±0.93
75	192.72±0.43	192.63±0.57	190.89±0.76	3.05±0.82

หมายเหตุ * คือจุดที่ค่าความเข้มแสง สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญญาณของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสง โดยที่ ED คือค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ช.

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.6 หน้า 39

ตารางที่ ช.1 ค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของระบบโซล-เจลเจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ที่ปริมาณ 500 และ 550 ไมโครลิตรที่นำไปฉายด้วยหลอดไส้ 60 นาที

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg./L.)	ปริมาณซิลเวอร์ไนเตรท 500 ไมโครลิตร				ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg./L.)	ปริมาณซิลเวอร์ไนเตรท 550 ไมโครลิตร			
	ค่าความเข้มแสง			ED		ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน			แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	193.24±0.19	192.37±0..59	190.19±0.73	*	0	192.24±0.47	190.13±1.34	185.68±2.10	*
15	192.93±0.13	192.18±0.28	190.12±0.30	0.53±0.30	15	192.35±0.19	191.96±0.36	188.64±0.59	3.32±0.46
30	192.68±0.19	192.14±0.44	190.30±0.58	0.86±0.15	30	192.18±0.19	192.42±0.23	189.84±0.31	4.70±0.33
45	192.86±0.07	192.56±0.19	190.91±0.22	0.84±0.20	45	192.14±0.15	192.62±0.12	190.35±0.13	5.30±0.17
60	192.78±0.17	192.65±0.14	191.21±0.17	1.18±0.10	60	192.21±0.17	192.70±0.16	190.42±0.38	5.38±0.41
75	192.77±0.17	192.74±0.11	191.18±0.12	1.15±0.05	75	191.51±0.30	192.11±0.28	189.43±0.24	4.46±0.11

หมายเหตุ * คือจุดที่ค่าความเข้มแสง สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญญาณของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสง

โดยที่ ED คือค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.6 หน้า 39 (ต่อ)

ตารางที่ ช.2 ค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของระบบโซล-เจลเจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ที่ปริมาณ 600 และ 650 ไมโครลิตรที่นำไปฉายด้วยหลอดไส้ 60 นาที

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg./L.)	ปริมาณซิลเวอร์ไนเตรท 600 ไมโครลิตร				ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg./L.)	ปริมาณซิลเวอร์ไนเตรท 650 ไมโครลิตร			
	ค่าความเข้มแสง			ED		ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน			แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	192.86±0.10	191.12±0.44	188.49±0.68	*	0	192.91±0.06	191.05±0.48	188.02±0.68	*
15	193.04±0.18	192.20±0.77	189.87±1.18	1.74±1.46	15	192.54±0.31	190.44±0.53	187.38±0.60	0.85±0.63
30	192.94±0.11	192.42±0.36	190.35±0.54	2.17±0.79	30	192.52±0.16	191.38±0.91	188.85±1.27	1.62±0.53
45	192.72±0.05	192.51±0.17	190.74±0.33	2.59±0.41	45	192.24±0.53	191.02±1.05	188.63±1.25	1.57±0.64
60	192.98±0.12	192.89±0.34	191.27±0.58	3.18±0.41	60	192.52±0.51	191.34±0.91	189.18±0.90	1.47±0.85
75	192.99±0.00	193.14±0.02	191.59±0.02	3.75±0.00	75	192.63±0.43	191.31±0.99	189.01±1.15	1.37±1.14

หมายเหตุ * คือจุดที่ค่าความเข้มแสง สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญญาณของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสง โดยที่ ED คือค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.6 หน้า 39 (ต่อ)

ตารางที่ ช.3 ค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของระบบโซล-เจลเจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ที่ปริมาณ 700 และ 750 ไมโครลิตรที่นำไปฉายด้วยหลอดไส้ 60 นาที

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg./L.)	ปริมาณซิลเวอร์ไนเตรท 700 ไมโครลิตร				ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg./L.)	ปริมาณซิลเวอร์ไนเตรท 750 ไมโครลิตร			
	ค่าความเข้มแสง			ED		ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน			แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	192.68±0.16	191.14±0.50	188.24±0.62	*	0	192.66±0.05	190.37±0.26	186.68±0.19	*
15	192.83±0.17	192.15±0.32	189.69±0.39	1.63±0.33	15	192.49±0.24	190.54±0.88	187.12±1.20	1.15±0.63
30	192.80±0.33	192.26±0.58	190.02±0.88	2.09±1.01	30	192.42±0.27	190.80±0.84	187.76±1.10	1.55±0.90
45	192.73±0.12	192.15±0.21	190.06±0.48	2.14±0.61	45	192.12±0.13	190.94±0.14	188.23±0.36	1.73±0.39
60	192.98±0.20	192.61±0.53	190.76±0.88	2.85±0.93	60	192.14±0.26	191.10±0.47	188.77±0.59	2.31±0.63
75	192.72±0.43	192.63±0.57	190.89±0.76	3.05±0.82	75	192.66±0.25	192.43±0.61	190.78±1.00	4.38±0.85

หมายเหตุ * คือจุดที่ค่าความเข้มแสง สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญญาณของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสง

โดยที่ ED คือค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ซ.

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.7 หน้า 40

ตารางที่ ซ.1 ค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของระบบโซล-เจลเจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ที่ปริมาณ 600 ไมโครลิตร นำมาสแกนผลการทดลองซ้ำ ระยะเวลา 4 วัน

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg./L.)	สแกนผลการทดลอง วันที่ 1				ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg./L.)	สแกนผลการทดลอง วันที่ 2			
	ค่าความเข้มแสง			ED		ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน			แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	191.97±0.27	188.61±0.52	183.00±1.43	*	0	192.77±0.45	189.65±1.49	188.02±1.96	*
15	192.18±0.25	190.64±1.23	186.16±2.07	3.72±2.49	15	193.10±0.80	191.15±2.56	190.30±2.89	3.85±2.02
30	191.82±0.28	190.66±0.87	186.74±1.21	4.21±1.56	30	192.79±0.91	191.27±1.73	190.76±1.53	3.70±1.43
45	191.52±0.13	190.91±0.35	187.72±0.44	5.16±0.62	45	192.70±0.57	191.72±0.75	191.64±0.48	4.15±0.85
60	192.06±0.22	191.72±1.02	188.91±1.61	6.45±1.62	60	192.82±0.23	192.14±0.89	191.94±1.20	4.40±1.26
75	192.32±0.23	192.60±0.19	190.03±0.33	8.06±0.34	75	192.33±0.59	192.01±0.80	191.51±1.02	4.63±0.66

หมายเหตุ * คือจุดที่ค่าความเข้มแสง สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญญาณของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสง

โดยที่ ED คือค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.7 หน้า 40 (ต่อ)

ตารางที่ ซ.2 ค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของระบบโซล-เจล เจือด้วยซิลเวอร์ไนเตรท ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ที่ปริมาณ 600 ไมโครลิตร นำมาสแกนผลการทดลองซ้ำ ระยะเวลา 4 วัน

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg./L.)	สแกนผลการทดลอง วันที่ 3				ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg./L.)	สแกนผลการทดลอง วันที่ 4			
	ค่าความเข้มแสง			ED		ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน			แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	192.86±0.10	191.12±0.44	188.49±0.68	*	0	193.73±0.17	191.87±0.76	191.11±1.07	*
15	193.04±0.18	192.20±0.77	189.87±1.18	1.74±1.46	15	193.85±0.32	192.73±1.33	192.37±1.49	2.10±1.04
30	192.94±0.11	192.42±0.36	190.35±0.54	2.17±0.79	30	193.67±0.45	192.73±0.99	192.51±0.83	1.92±0.79
45	192.72±0.05	192.51±0.17	190.74±0.33	2.60±0.41	45	193.58±0.28	192.94±0.43	192.98±0.31	2.16±0.48
60	192.98±0.12	192.89±0.34	191.27±0.58	3.18±0.50	60	193.63±0.12	193.18±0.44	193.19±0.56	2.33±0.57
75	192.99±0.00	193.14±0.02	191.59±0.02	3.75±0.00	75	193.47±0.27	193.36±0.33	193.44±0.28	2.88±0.22

หมายเหตุ * คือจุดที่ค่าความเข้มแสง สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญญาณของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสง โดยที่ ED คือค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ฌ.

1. ขีดจำกัดของการตรวจพบ (LOD) และขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (LOQ)

จากการศึกษาความเป็นเส้นตรงของวิธีการทดสอบแบบจุดบนกระดาษ แล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสงของช่วงใช้งาน 15-75 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้สมการเชิงเส้นตรงเท่ากับ y = 0.140X - 0.066 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.9970

<u>การคำนวณ</u>

สูตร LOD = $Y_B + 3S_B$ (1)

LOQ = $Y_B + 10S_B$ (2)

จากการแทนค่าx = 0 ในสมการ y = 0.140X - 0.066 ได้ค่า Y_B = -0.066

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ (mg/L)	Y_i	$\hat{Y}$	$Y_i - \hat{Y}$	$(Y_i - \hat{y})^2$
15	2.2503	2.0340	0.2163	0.0468
30	3.8503	4.1340	-0.2837	0.0805
45	6.2194	6.2340	-0.0146	0.0002
60	8.3649	8.3340	0.0309	0.0010
75	10.4893	10.4340	0.0553	0.0031

คำนวณหา S_Bหรือ $S_{y/x}$ จาก

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{\varepsilon_i (y_i - \hat{y})^2}{n-2}} \quad (3)$$

เมื่อ y_i คือ ค่าจริงที่อ่านได้

$\hat{y}$ คือ ค่าที่ได้จากการแทน x ลงในสมการเส้นตรง

n คือ จำนวนชุด

จากการแทนค่าในสมการที่ 3 ได้ค่า S_Bเท่ากับ 0.2094

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า y_B และ $S_{y/x}$ ลงสมการที่ 1 และ 2 เพื่อหาค่า LOD และ LOQ

จากสมการที่ 1 LOD = Y_B+ $3S_B$ ดังนั้น ค่า LOD = -0.066 + 3(0.2094) = 0.5622 คิดเป็นค่าความเข้มข้นจากสมการความเป็นเส้นตรง y = 0.140X - 0.066 ได้ค่า LOD ในหน่วยความเข้มข้นมิลลิกรัมต่อลิตรเท่ากับ 4.96 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากสมการที่ 2 LOQ = Y_B+ $10S_B$ ดังนั้น ค่า LOQ = -0.066 + 10(0.2094) = 2.0280 คิดเป็นค่าความเข้มข้นจากสมการความเป็นเส้นตรง y = 0.140X - 0.066 ได้ค่า LOQ ในหน่วยความเข้มข้นมิลลิกรัมต่อลิตรเท่ากับ 15.43 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. ความแม่น (Accuracy)

<u>การคำนวณ</u>

สูตร $$\%\text{Recovery} = \frac{[C_1 - C_2]}{C_3} \times 100 \qquad (4)$$

เมื่อ C_1 คือ ความเข้มข้นของตัวอย่าง + ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน

C_2 คือ ความเข้มข้นของตัวอย่าง

C_3 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เติมลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การทดสอบความแตกต่างกันของเทคนิคใหม่และเทคนิคมาตรฐาน (t-test)

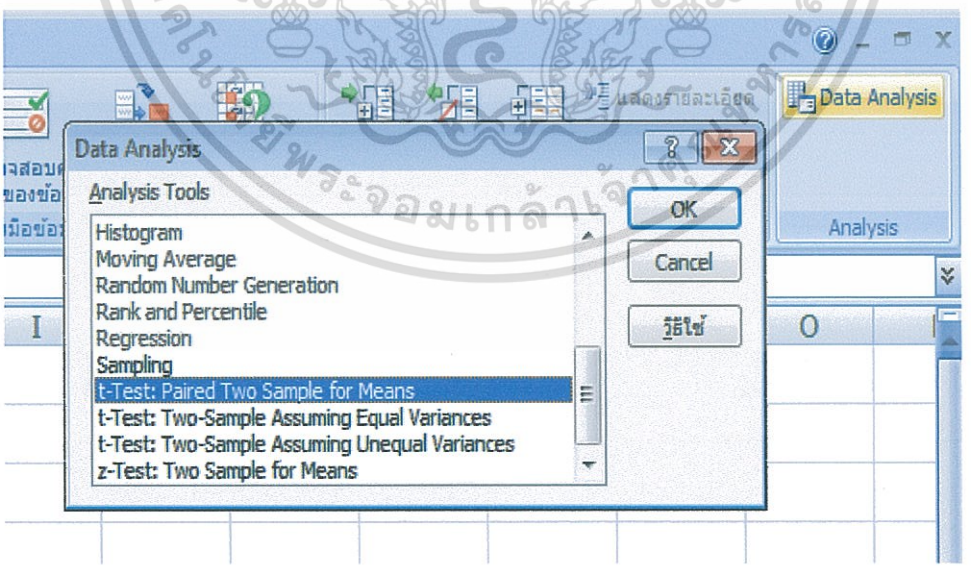
ใช้ Microsoft Excel ในการคำนวณ ซึ่งมีวิธีการ ดังต่อไปนี้

1. เปิดโปรแกรม Microsoft Excel จากนั้นคีย์ผลการทดสอบลงในตาราง ดังรูป ณ.1

ตัวอย่าง	ปริมาตรคลอไรด์ไอออนที่ตรวจพบ (มิลลิกรัมต่อลิตร,ppm.)	
	ชุดทดสอบบนกระดาษ	วิธีมาตรฐานการไทเทรต
ตัวอย่างน้ำดื่ม 1	31.53	25.07
ตัวอย่างน้ำดื่ม 2	32.25	36.99
ตัวอย่างน้ำประปา	37.27	31.94
ตัวอย่างน้ำสระว่ายน้ำ	58.11	58.85

รูป ณ.1 ลักษณะตารางที่คีย์ลงใน Microsoft Excel

2. เลือกเมนู Data คลิกเมาส์ที่ data analysis จากนั้นเลือกการคำนวณ แบบ t-test paired two sample for mean ดังรูป ณ.2



รูป ณ.2 การเลือกฟังก์ชันในการคำนวณทางสถิติ

3. จากนั้นคลิกปุ่ม OK จะปรากฏหน้าต่างใหม่ขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ที่ช่อง variable 1 ให้คลุมดำที่คอลัมน์ที่ 1 ในทางเดียวกันที่ช่อง variable 2 ให้คลุมดำที่คอลัมน์ที่ 2 จากนั้นคลิกปุ่ม OK

5. จะปรากฏผลการคำนวณ ดังรูป ณ. 3

t-Test: Paired Two Sample for Means

	ชุดทดสอบบนกระดาษ	*วิธีมาตรฐานการไทเทรต*
Mean	39.79	38.2125
Variance	155.684	213.156825
Observations	4	4
Pearson Correlation	0.936243767	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	3	
t Stat	0.599092601	
P(T<=t) one-tail	0.295666568	
t Critical one-tail	2.353363435	
P(T<=t) two-tail	0.591333135	
t Critical two-tail	3.182446305	

รูป ณ.3 ผลการคำนวณทางสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้