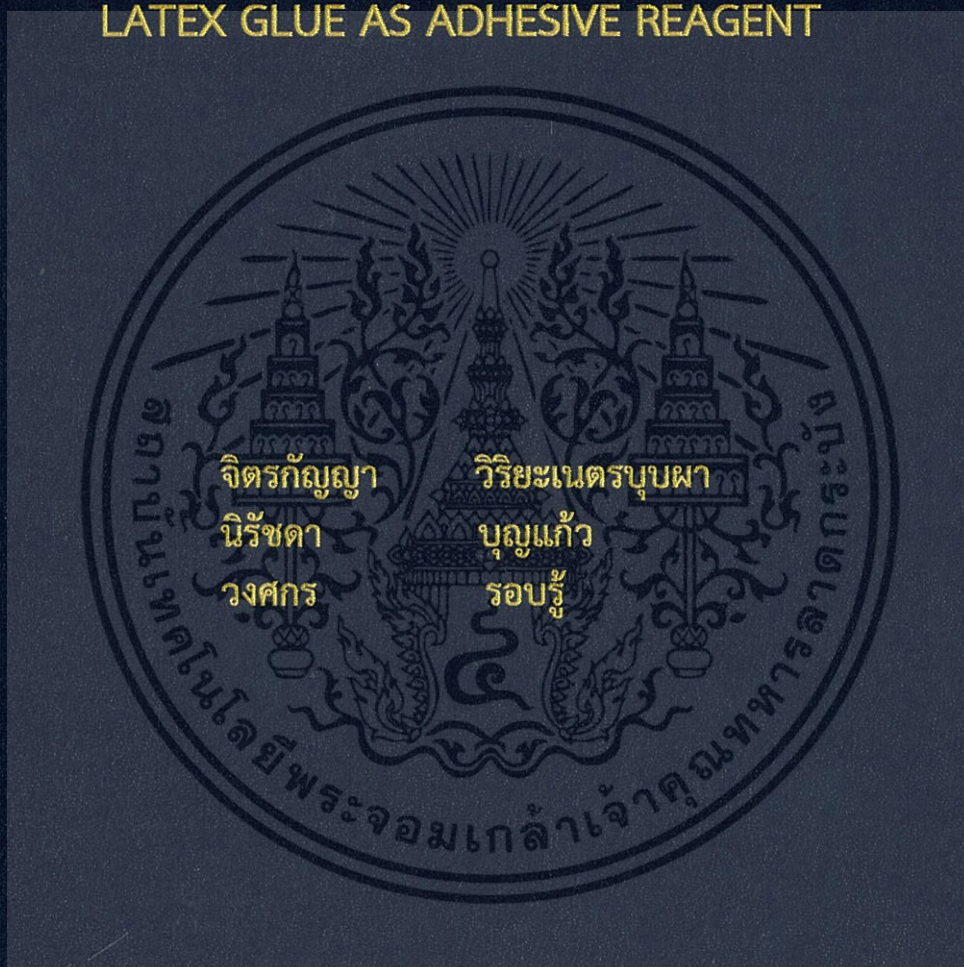


การพัฒนาชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษสำหรับวิเคราะห์
ปริมาณเหล็ก (II) โดยใช้กาวลาเท็กซ์เป็นสารยึดติดรีเอเจนต์

DEVELOPMENT OF SPOT TEST ON PAPER FOR
QUANTITATIVE DETERMINATION OF IRON (II) USING
LATEX GLUE AS ADHESIVE REAGENT



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การพัฒนาชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษสำหรับวิเคราะห์
ปริมาณเหล็ก (II) โดยใช้กาวลาเท็กซ์เป็นสารยึดติดรีเอเจนต์

DEVELOPMENT OF SPOT TEST ON PAPER FOR
QUANTITATIVE DETERMINATION OF IRON (II) USING
LATEX GLUE AS ADHESIVE REAGENT



T149477

จิตรกัญญา

วิริยะเนตรบุบผา

นิรัชดา

บุญแก้ว

วงศกร

รอบรู้

b. 12884352

i.

เลขหมู่..... 149477
เลขทะเบียน.....
วันเดือนปี..... 8 ส.ค. 2561

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการปีการศึกษา 2559 นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF SPOT TEST ON PAPER FOR
QUANTITATIVE DETERMINATION OF IRON (II) USING
LATEX GLUE AS ADHESIVE REAGENT



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIALFULF OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
(INDUSTRIAL CHEMISTRY)

DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การพัฒนาชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก (II) โดยใช้กาวลาเท็กซ์เป็นสารยัดติดรีเอเจนต์

Development of Spot Test on Paper for Quantitative Determination of Iron (II) Using Latex Glue as Adhesive Reagent

ชื่อนักศึกษา

นางสาวจิตรกัญญา วิริยะเนตรบุผา รหัสนักศึกษา 56050462

นางสาวนิรัชดา บุญแก้ว รหัสนักศึกษา 56050520

นายวงศกร รอบรู้ รหัสนักศึกษา 56050586

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี


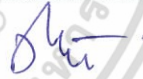

ปีการศึกษา

2559

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2559

| คณะกรรมการสอบ | ลายมือชื่อ |
|---|--|
| ผศ.ดร.เอกรัตน์ เดชศรี ประธานกรรมการ |  |
| ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น กรรมการ |  |
| ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา |  |

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | |
|--------------------|---|-----------------|-----------------------|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | การพัฒนาชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก (II) โดยใช้กาวลาเท็กซ์เป็นสารยึดติดรีเอเจนต์ | | |
| ชื่อนักศึกษา | นางสาวจิตรกัญญา | วิริยะเนตรบุบผา | รหัสนักศึกษา 56050462 |
| | นางสาวนิรัชดา | บุญแก้ว | รหัสนักศึกษา 56050520 |
| | นายวงศกร | รอบรู้ | รหัสนักศึกษา 56050586 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) | | |
| ภาควิชา | เคมี | | |
| คณะ | วิทยาศาสตร์ | | |
| มหาวิทยาลัย | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) | | |
| ปีการศึกษา | 2559 | | |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ | | |

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนาการทดสอบแบบจุดบนกระดาษโดยใช้กาวลาเท็กซ์เป็นสารช่วยยึดติดรีเอเจนต์สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (II) ในตัวอย่างน้ำ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ภาคสนาม การทดสอบนี้ใช้กระดาษกรองเป็นซับสเตรท ใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักต่อปริมาตรที่เหมาะสมระหว่างกาวต่อน้ำของสารละลายกาวเจือด้วยอโทพีแนนโทรลีน คือ 5 ต่อ 15 หยด สารละลายรีเอเจนต์ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตรลงบนกระดาษกรอง ทิ้งไว้ให้แห้ง 20 นาที แล้วหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) หรือสารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนจุดรีเอเจนต์ ทิ้งไว้ให้แห้ง 20 นาที แล้วบันทึกภาพจุดสีแดงส้มที่เกิดจากสารเชิงซ้อนระหว่างเหล็ก (II) กับอโทพีแนนโทรลีนด้วยเครื่องสแกน และใช้โปรแกรม Image J™ บันทึกค่าความเข้มแสง RGB คำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสงด้วยสมการเชิงเส้นแบบยูคลิด สร้างกราฟมาตรฐาน ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสงกับความเข้มชั้นสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ช่วงความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้สมการเส้นตรงคือ $ED = 12.07[Fe] - 0.2813$ มีค่า $R^2 = 0.9835$ และช่วงความเข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้สมการเส้นตรงคือ $ED = 5.9175[Fe] + 2.193$ มีค่า $R^2 = 0.9937$ ค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ (LOD) เท่ากับ 0.16 และ 0.76 mg/L ค่าขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ) เท่ากับ 0.48 และ 2.55 mg/L สำหรับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ในช่วงความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์หาเหล็ก (II) ในตัวอย่างน้ำมีค่าร้อยละกลับอยู่ในช่วง 80 - 120 %

คำสำคัญ : กาวลาเท็กซ์, จุดสี, สารช่วยยึดติดรีเอเจนต์, อโทพีแนนโทรลีน, เหล็ก (II)

| | | | |
|----------------------|--|---------------------------|---------------------|
| Title | Development of Spot Test on Paper for Quantitative Determination of Iron (II) Using Latex Glue as Adhesive Reagent | | |
| Student | Miss Jitkanya | Wiriyane t rbubpha | Student ID 56050462 |
| | Miss Niratchada | Boonkaew | Student ID 56050520 |
| | Mr. Wongsakorn | Robru | Student ID 56050586 |
| Degree | Bachelor of Science (Industrial Chemistry) | | |
| Department | Chemistry | | |
| Faculty | Science | | |
| University | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) | | |
| Academic Year | 2016 | | |
| Advisor | Asst. Prof. Dr. Wiboon Praditweangkum | | |

Abstract

The paper based spot test kit using latex glue as adhesive reagent has been studied and developed for quantitative determination of Fe (II) in water samples at fieldwork. The filter paper is used as a substrate. The solution of latex glue in deionized water with weight by volume of ratio 5:15 doped with orthophenanthroline is applied as a reagent spot. A 10.00 μL of this solution is dropped on a filter paper and allowed 20 minutes for drying. Then a 10.00 μL of Fe (II) standard solution or sample solution is dropped on the reagent spot. The reddish-orange color of Fe (II) - orthophenanthroline complex on paper can be recorded by a scanner. The Image JTM program is used to analyse the intensity of RGB light. The Euclidean Distance is calculated. The calibration curve can be obtained by plotting Euclidean Distance (ED) against the concentration of Fe (II) solution. For concentration of Fe (II) in range 0.20-1.00 mg/L; the linear equation with $\text{ED} = 12.07[\text{Fe}] - 0.2813$ and $R^2 = 0.9835$ are obtained. For concentration of Fe (II) in range 2.0-10.0 mg/L; $\text{ED} = 5.9175[\text{Fe}] + 2.193$ and $R^2 = 0.9937$ are reported. The limit of detection (LOD) of 0.21 and 0.96 mg/L are recorded for concentration of Fe (II) solution range 0.20 - 1.00 mg/L and 2.0-10.0 mg/L, respectively. The limit of quantitation (LOQ) of 0.60 and 3.19 mg/L are also recorded for concentration of Fe (II) range 0.20 - 1.00 mg/L and 2.0-10.0 mg/L, respectively. The recovery of Fe (II) in water samples can be obtained in range 80-120 % .

Keywords : Latex glue, color spot, adhesive trapping reagent, orthophenanthroline,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ศึกษาเกี่ยวกับการทดสอบแบบจุดบนกระดาษสำหรับการตรวจวัดเหล็ก (II) ในตัวอย่างน้ำ จัดทำขึ้นเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม แขนงเคมีวิเคราะห์

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีตามวัตถุประสงค์ของโครงการเนื่องจากได้รับความกรุณาจาก ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นเพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติได้อย่างถูกต้อง ตลอดจนการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงาน ขอขอบคุณ ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี และ ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เจริญชั้น กรรมการสอบโครงการพิเศษที่กรุณาตรวจสอบและแก้ไขโครงการพิเศษนี้ให้ถูกต้องมากขึ้น นอกจากนี้ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ชั้น 5 อาคารวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ช่วยเหลือทั้งในเรื่องอุปกรณ์ สารเคมี ตลอดจนเครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ และขอบคุณเพื่อนๆ สาขาเคมีอุตสาหกรรม แขนงเคมีวิเคราะห์ทุกคน ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษเล่มนี้

จิตรกัญญา วิริยะเนตรบุบผา
 นิรัชดา บุญแก้ว
 วงศกร รอปู้

สารบัญ

| | หน้า |
|--|-----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | ข |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ค |
| สารบัญ..... | ง |
| สารบัญรูป..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ฉ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 3 |
| 2.1 เหล็ก (Iron)..... | 3 |
| 2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก..... | 3 |
| 2.3 กาวลาเท็กซ์..... | 5 |
| 2.4 ชุดทดสอบภาคสนาม (On-site monitoring test kit)..... | 5 |
| 2.5 เครื่องสแกน..... | 6 |
| 2.6 ระบบสี RGB..... | 6 |
| 2.7 สมการเชิงเส้นยูคลิด (Euclidean distance)..... | 7 |
| 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 8 |
| บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย | 11 |
| 3.1 สารเคมีและอุปกรณ์..... | 11 |
| 3.1.1 สารเคมี..... | 11 |
| 3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์..... | 11 |
| 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... | 12 |
| 3.3 วิธีดำเนินการทดลอง..... | 13 |
| 3.3.1 ศึกษาลักษณะและรูปร่างชุดทดสอบบนกระดาษ..... | 13 |
| 3.3.1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน..... | 13 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|-----------|
| 3.3.1.2 การเตรียมสารละลายกาวเจือด้วยอโทพีแนนโทรลินในสัดส่วน กาวต่อน้ำ (5:15)..... | 14 |
| 3.3.1.3 การเตรียมชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ..... | 14 |
| 3.3.1.4 การทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนบนกระดาษ..... | 14 |
| 3.3.1.5 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสีบนชุดทดสอบบนกระดาษ แบบจุด..... | 15 |
| 3.3.2 การศึกษาสภาวะที่ใช้ในการทำชุดทดสอบบนกระดาษ..... | 15 |
| 3.3.2.1 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกาวเจือด้วยอโทพีแนนโทรลิน ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (II)..... | 15 |
| 3.3.2.2 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของโซเดียมซิติเรท, ไฮดรอกโซลามีนไฮโดรคลอไรด์ และอโทพีแนนโทรลิน..... | 16 |
| 3.3.2.2.1 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของโซเดียมซิติเรท..... | 16 |
| 3.3.2.2.2 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของไฮดรอกโซลามีน ไฮโดรคลอไรด์..... | 17 |
| 3.3.2.2.3 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของอโทพีแนน โทรลิน..... | 18 |
| 3.3.3 การทดสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ (Method Validation)..... | 18 |
| 3.3.3.1 ความเป็นเส้นตรง (Linearity)..... | 19 |
| 3.3.3.2 ความเที่ยง (Precision)..... | 19 |
| 3.3.3.3 ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of Detection)..... | 21 |
| 3.3.3.4 ขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ(Limit of Quantitation)..... | 21 |
| 3.3.3.5 ความแม่นยำ (Accuracy)..... | 22 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล..... | 24 |
| 4.1 ศึกษาลักษณะรูปร่างชุดทดสอบบนกระดาษ..... | 24 |
| 4.2 การศึกษาสภาวะที่ใช้ในการทำชุดทดสอบบนกระดาษ..... | 25 |
| 4.2.1 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายกาวเจืออโทพีแนนโทรลิน..... | 25 |
| 4.2.2 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของโซเดียมซิติเรท..... | 29 |
| 4.2.3 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของไฮดรอกโซลามีนไฮโดรคลอไรด์..... | 31 |
| 4.2.4 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของอโทพีแนนโทรลิน..... | 33 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|-----------|
| 4.3 การทดสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ (Method Validation)..... | 35 |
| 4.3.1 ความเป็นเส้นตรง (Linearity)..... | 35 |
| 4.3.2 ความเที่ยง (Precision)..... | 38 |
| 4.3.3 ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of Detection)..... | 41 |
| 4.3.4 ขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitative)..... | 42 |
| 4.3.5 ความแม่นยำ (Accuracy)..... | 43 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | 45 |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง..... | 45 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ..... | 46 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 47 |
| ภาคผนวก..... | 49 |
| ภาคผนวก ก..... | 50 |
| ภาคผนวก ข..... | 53 |
| ภาคผนวก ค..... | 55 |
| ภาคผนวก ง..... | 58 |
| ภาคผนวก จ..... | 62 |
| ภาคผนวก ฉ..... | 65 |
| ภาคผนวก ช..... | 66 |
| ภาคผนวก ซ..... | 68 |
| ภาคผนวก ฌ..... | 70 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปรภาพ

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 โครงสร้าง 1,10-phenanthroline..... | 3 |
| 2.2 แสดงการจับตัวของ 3 โมเลกุลของ 1,10-phenanthroline เกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับFe (II).... | 4 |
| 2.3 โครงสร้างสารพอลิไวนิลแอซีเตต (Polyvinylacetate;PVA)..... | 5 |
| 2.4 เครื่องสแกนประเภท Flatbed scanner เป็นเครื่องสแกนแบบตั้งโต๊ะ..... | 6 |
| 2.5 วงจรสีของแสงแบบแม่สีและแม่สีรอง..... | 6 |
| 4.1 การเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดที่สารมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 0.20-1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร..... | 24 |
| 4.2 การเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดที่สารมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 2.0-10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร..... | 25 |
| 4.3 อัตราส่วนการทอน้ำของสารละลายการเจือด้วยออปโทพีแนนโทรีนที่ศึกษา..... | 27 |
| 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) กับอัตราส่วนระหว่างการทอน้ำทดลองกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 0.50 และ 0.80 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก ข)..... | 28 |
| 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) กับอัตราส่วนระหว่างการทอน้ำทดลองกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 4.0 และ 8.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก ข)..... | 28 |
| 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) กับปริมาณโซเดียมซิติเรททดลองกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 0.20, 0.50, 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก ค)..... | 30 |
| 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) กับปริมาณโซเดียมซิติเรททดลองกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 2.0, 4.0, 6.0 และ 8.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก ค)..... | 30 |
| 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) กับปริมาณไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์ทดลองกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก ง)..... | 32 |
| 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) กับปริมาณไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์ทดลองกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก ง)..... | 32 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) กับปริมาณออปติฟิแนนโวลิตินทอลองกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก จ)..... | 34 |
| 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) กับปริมาณออปติฟิแนนโวลิตินทอลองกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก จ)..... | 34 |
| 4.12 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างระหว่างความเข้มแสงกับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก ฉ)..... | 36 |
| 4.13 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างระหว่างความเข้มแสงกับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก ฉ)..... | 37 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ค่ามาตรฐานปริมาณเหล็กที่มีในน้ำ..... | 3 |
| 4.1 ศึกษาอัตราส่วนกาวต่อน้ำที่เหมาะสมของสารละลายกาวเจือด้วยอโเทพีแนนโทเรลีน..... | 26 |
| 4.2 แสดงค่า Euclidean Distance ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร..... | 35 |
| 4.3 แสดงค่า Euclidean Distance ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ช่วงความเข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร..... | 36 |
| 4.4 แสดงค่า Euclidean Distance ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) มีความเข้มข้น 0.50 มิลลิกรัม ต่อลิตร (n=11)..... | 38 |
| 4.5 แสดงค่า Euclidean Distance ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) มีความเข้มข้น 6.0 มิลลิกรัม ต่อลิตร (n=11)..... | 39 |
| 4.6 แสดงค่า Euclidean Distance ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) มีความเข้มข้น 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 5 ขวด..... | 40 |
| 4.7 แสดงค่า Euclidean Distance ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) มีความเข้มข้น 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 5 ขวด..... | 40 |
| 4.8 แสดงค่า y_i , \hat{y}_i และ $(y_i - \hat{y}_i)$ ในการคำนวณขีดจำกัดของการตรวจพบ สำหรับสารละลาย มาตรฐานเหล็ก (II) ในช่วงความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร..... | 41 |
| 4.9 แสดงค่า y_i , \hat{y}_i และ $(y_i - \hat{y}_i)$ ในการคำนวณขีดจำกัดของการตรวจพบ ช่วงความเข้มข้น 0.20 - 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร..... | 42 |
| 4.10 แสดงค่าร้อยละคืนกลับ (%recovery) ของตัวอย่างน้ำประปา, น้ำบาดาล และ น้ำแร่..... | 43 |
| 4.11 แสดงค่าร้อยละคืนกลับ (%recovery) ของตัวอย่างน้ำดื่ม 3 ยี่ห้อ..... | 44 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลทางอุตสาหกรรมในปัจจุบันพบว่าชุดทดสอบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายนั้น มีหลากหลายรูปแบบ เช่น ชุดทดสอบสารละลาย ชุดทดสอบบนชั้นสเตรทชนิดต่างๆ เป็นต้น ซึ่งล้วนแล้วแต่มีความสามารถในการตรวจวัดแตกต่างกันไป บางครั้งพบว่าชุดทดสอบบางประเภทมีลักษณะการใช้งานที่ยุ่งยากและซับซ้อน การนำชุดทดสอบมาใช้ตรวจวัดแบบภาคสนามอาจทำได้ลำบาก ชุดทดสอบที่จำหน่ายตามท้องตลาดโดยทั่วไปเป็นชุดทดสอบที่ออกแบบมาเพื่อตรวจวัดสารตัวอย่างในเชิงคุณภาพวิเคราะห์โดยจะบอกได้เพียงว่ามีสารอันตรายหรือมีสารตัวอย่างประเภทนั้นๆหรือไม่ แต่ไม่สามารถระบุเจาะจงได้ว่ามีความเข้มข้นหรือปริมาณอยู่เท่าใดอย่างชัดเจน

จากที่กล่าวมาข้างต้น ชุดทดสอบสามารถนำมาพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพได้ โดยงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาชุดทดสอบภาคสนามโดยใช้ชั้นสเตรทที่ไม่ซับซ้อน นั่นคือกระดาษกรอง โดยมีเป้าหมายของงานวิจัยคือพัฒนารูปแบบและประสิทธิภาพชุดทดสอบบนกระดาษกรองสำหรับตรวจวัดในเชิงปริมาณวิเคราะห์ได้ โดยปฏิกิริยาที่ใช้คือใช้รีเอเจนต์ออปติคัลเพื่อตรวจวัดสารตัวอย่างเหล็ก (II) จะเกิดเป็นสารเชิงซ้อนสีแดงส้ม ซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก (II)

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การเผยแพร่เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับชุดทดสอบบนชั้นสเตรทชนิดต่างๆ นั้นมีน้อยมาก ดังนั้นการพัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษของงานวิจัยนี้จึงพัฒนาขึ้นจากองค์ความรู้ที่มีอยู่เดิมและศึกษาเพิ่มเติมจากงานวิจัยที่มีความเป็นไปได้ในการสร้างชุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเหล็กโดยใช้กาวลาเท็กซ์เป็นสารยึดติดรีเอเจนต์

1.2.2 เพื่อนำชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดที่พัฒนาขึ้นมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำที่มีธาตุเหล็กในเชิงปริมาณวิเคราะห์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษาหลักการและระบบที่เหมาะสมและมีความเป็นไปได้สำหรับชุดทดสอบบนกระดาษ รวมทั้งพัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษ ซึ่งส่วนสำคัญของชุดทดสอบคือระบบที่ใช้สำหรับเอกสารอิเล็กทรอนิกส์เอเจนต์ออฟโทพีแนสโทรลีน โดยเริ่มศึกษารูปแบบที่เหมาะสมในการสร้างชุดทดสอบบนกระดาษเพื่อใช้เป็นชุดทดสอบภาคสนามสำหรับใช้ตรวจวัดเชิงคุณภาพวิเคราะห์ จากนั้นจึงศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับเติมสารเจือลงในระบบที่ใช้สร้างชุดทดสอบบนกระดาษ จากนั้นทดสอบความสามารถ ประสิทธิภาพและประเมินความแม่นยำของชุดทดสอบด้วยเทคนิคคลลเลอลิเมทรี และสุดท้ายพัฒนาชุดทดสอบดังกล่าวเพื่อให้สะดวกรวดเร็วสำหรับการนำไปใช้เป็นชุดทดสอบภาคสนาม

ขั้นตอนการดำเนินงานมีดังต่อไปนี้

- 1.3.1 สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- 1.3.2 ศึกษาหลักการความเป็นไปได้และระบบที่ใช้ในการสร้างชุดทดสอบบนกระดาษ
- 1.3.3 ออกแบบชุดทดสอบบนกระดาษสำหรับตรวจวัดในเชิงคุณภาพวิเคราะห์
- 1.3.4 ศึกษาระบบที่เหมาะสมในการสร้างชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด
- 1.3.5 ศึกษาความสามารถและประสิทธิภาพของชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดสำหรับตรวจวัดเชิงปริมาณวิเคราะห์
- 1.3.6 ประยุกต์ใช้กับตัวอย่างสารละลายที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบบนชุดทดสอบแบบจุดตรวจวัดในเชิงปริมาณวิเคราะห์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ใช้เป็นชุดทดสอบสำหรับตรวจวัดปริมาณเหล็กในตัวอย่างสารละลายที่มีเหล็กได้และใช้เป็นชุดทดสอบภาคสนามในเชิงปริมาณวิเคราะห์และคุณภาพได้
- 1.4.2 มีความรวดเร็วและสะดวกในการใช้งานของชุดทดสอบแบบจุด

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เหล็ก (Iron) [1]

ธาตุเหล็กมีสัญลักษณ์เป็น Fe ย่อมาจาก ferrum ซึ่งสามารถพบได้ตามธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะอยู่ในน้ำใต้ดิน โดยเหล็กที่อยู่ในน้ำใต้ดินจะอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้เนื่องจากขาดออกซิเจน กลายเป็นเหล็กเฟอร์รัส (Fe^{2+}) น้ำที่อยู่ใต้ดินจึงใส แต่เมื่อน้ำใต้ดินสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศน้ำจะขุ่นเพราะเหล็กเฟอร์รัสจะถูกออกซิไดซ์กลายเป็นเหล็กเฟอร์ริก (Fe^{3+}) ซึ่งไม่ละลายน้ำ

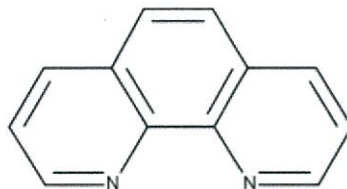
การที่ปริมาณของเหล็กในน้ำเพิ่มขึ้นทำให้เกิดปัญหาต่อผู้ใช้และบริโภค หากมีเหล็กในน้ำดื่มเกิน 0.3 ppm จะทำให้เกิดสีและรสที่ไม่พึงประสงค์ นอกจากนั้นยังทำให้เกิดคราบเกาะตามเสื้อผ้าและอ่างล้างอีกด้วย ในท่อส่งน้ำมักจะมีเหล็กละลายอยู่ในน้ำ เมื่อสัมผัสกับออกซิเจนจะกลายเป็นสารประกอบชนิดใหม่ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (visible) หรือที่เราพบเป็นประจำในรูปสนิมเหล็ก ซึ่งเมื่อผู้ใช้น้ำได้รับปริมาณเหล็กมากเกินไปอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ร่างกาย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีการพัฒนาการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (II) จากแหล่งน้ำชนิดต่างๆซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย สะดวกรวดเร็ว และใช้เวลาในการทดสอบน้อย ค่ามาตรฐานของปริมาณเหล็กที่มีในน้ำแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่ามาตรฐานปริมาณเหล็กที่มีในน้ำ [2]

| มาตรฐานคุณภาพน้ำ | หน่วย | ปริมาณเหล็กที่กำหนดในมาตรฐาน |
|--|--------|------------------------------|
| มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค | มก./ล. | ไม่เกิน 0.5 |
| มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท | มก./ล. | ไม่เกิน 0.3 |
| มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค | มก./ล. | ไม่เกิน 0.5 |

2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก [3]

การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กทำโดยให้จับกับสารคีเลตติ้งเอเจนต์ คือ 1,10-phenanthroline ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างสาร 1,10-phenanthroline [4]

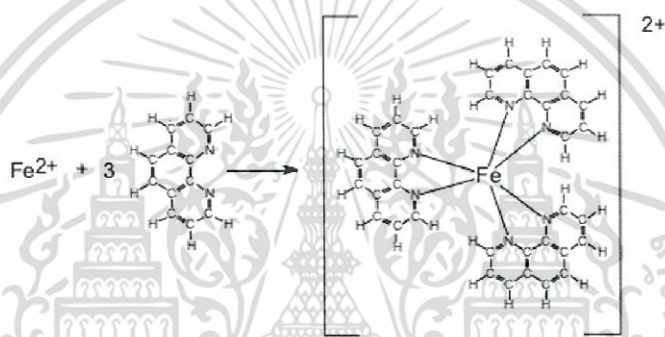
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก 1,10-phenanthroline ใช้วัดได้เฉพาะเหล็ก(II) เหล็กจะถูกรีดิวซ์จากเหล็กเฟอริก (Fe^{3+}) ให้อยู่ในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) โดยใช้ไฮดรอกไซลามีนไฮโดรคลอไรด์และทำปฏิกิริยากับ 1,10-phenanthroline พบว่าโมเลกุลของฟีแนนโทลีนจะจับกับ 1 อะตอมของเหล็ก(II) เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีส้มแดง

เหล็กในรูป (Fe^{3+}) จะถูกเปลี่ยนมาอยู่ในรูป (Fe^{2+}) ให้หมดโดยจะไปลดออกซิเจนของไฮดรอกไซลามีนไฮโดรคลอไรด์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



ค่า pH ของสารละลายจะถูกทำให้อยู่ในช่วง pH เท่ากับ 4.5 โดยการเติม Sodium citrate ลงไปแล้วตามด้วย 1,10-phenanthroline พบว่า 3 โมเลกุลของ 1,10-phenanthroline จะจับกับ Fe^{2+} เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงการจับของ 3 โมเลกุลของ 1,10-phenanthroline เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ $\text{Fe}(\text{II})$ [5]

การหาปริมาณเหล็ก(II) ในน้ำธรรมชาติโดยใช้ระบบการไทเทรตอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น [6]

การหาปริมาณเหล็ก(II)ในน้ำธรรมชาติด้วยวิธีการไทเทรตยอส่วนแบบรีดอกซ์โดยอาศัยวิธีการพื้นฐานของโพเทนซีโอเมตริกรีดอกซ์ไทเทรชัน ซึ่งจะไทเทรตหาปริมาณของเหล็ก(II) ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต

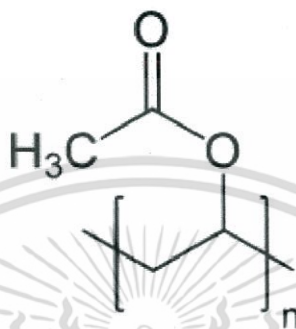
การพัฒนากระบวนการไทเทรตอัตโนมัติที่ใช้สารปริมาณน้อยเพื่อใช้ในการหาเหล็ก(II) ในน้ำธรรมชาติ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกรวดเร็วกว่าวิธีอื่นๆ โดยอาศัยวิธีการพื้นฐานของโพเทนซีโอเมตริกรีดอกซ์ไทเทรชัน ซึ่งจะไทเทรตหาปริมาณของเหล็ก(II) (ไทเทรนต์) ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) (ไทเทรนต์) โดยอาศัยสมการต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กาวลาเท็กซ์ [7]

กาวลาเท็กซ์หรือพอลิไวนิลแอซีเตต (Polyvinylacetate : PVA) ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.3 เป็นพอลิเมอร์ที่มีแขนงหนาแน่นมากกว่าชนิดอื่น ๆ นั้นหมายความว่าพอลิเมอร์ชนิดนี้ มีลักษณะโมเลกุลแบบอะแทกติก (Atactic) ไม่มีความเป็นผลึก จึงมีลักษณะอ่อนนิ่มมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ชนิดอื่น จึงทำให้เป็นของเหลวข้นหนืด มีสีขุ่นขาว เมื่อแห้งจะใสมากเนื่องจากความอ่อนนิ่ม จึงไม่สามารถนำมาหล่อขึ้นรูปด้วยวิธีแม่พิมพ์ใดๆได้



รูป 2.3 โครงสร้างสารพอลิไวนิลแอซีเตต (Polyvinylacetate; PVA) [8]

สมบัติทั่วไปของ พอลิไวนิลแอซีเตต (Polyvinylacetate : PVA)

- อ่อนนิ่ม ง่ายต่อการทำเป็นอิมัลชัน (Emulsion)
- อุณหภูมิของการหล่อแม่พิมพ์ต่ำ จึงไม่เหมาะที่จะหล่อขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์เลย
- ไม่มีกลิ่น ไม่มีสี และไม่มีรส
- เมื่อแห้งจะมีความโปร่งใสมากขึ้น มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

การใช้งาน (Application)

ใช้ทำกาวสำหรับติดกระดาษ ไม้ ผ้า และหนังเทียมเรียกกาวชนิดนี้ว่า “กาวลาเท็กซ์ (Latex)” ใช้เป็นสารเหนียวในหมากฝรั่ง, ทำสี และเคลือบหลอดไฟแฉับสำหรับถ่ายรูปในสมัยก่อน

2.4 ชุดทดสอบภาคสนาม (On-site monitoring test kit) [9]

ชุดทดสอบภาคสนามมีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการทดสอบหรือการวิเคราะห์สารที่ได้จากภาคสนามอย่างง่ายและรวดเร็วสำหรับผู้สำรวจวิจัยในภาคสนาม ชุดทดสอบภาคสนามอย่างง่ายจึงมีข้อดีคือทำได้สะดวกใช้ในการทดสอบสารได้อย่างรวดเร็วในภาคสนามเพื่อให้ได้ผลทดสอบทันที ชุดทดสอบภาคสนามเหมาะสำหรับการคัดกรอง (Screening) สามารถทดสอบตัวอย่างจำนวนมากก่อนที่ตัวอย่างจะถูกส่งมาวิเคราะห์ยังห้องปฏิบัติการ แต่ชุดทดสอบภาคสนามสามารถทำได้เพียงการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative analysis) ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ในเชิงปริมาณได้ (Quantitative analysis) และมีความถูกต้องแม่นยำน้อยกว่าวิธีในห้องปฏิบัติการ มีข้อจำกัดด้านตัวอย่างที่ทดสอบได้ คือ สามารถวิเคราะห์ได้เฉพาะตัวอย่างที่ไม่สลับซับซ้อน จึงทำให้เป็นข้อเสียของชุดทดสอบภาคสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 เครื่องสแกน (Scanner) [10]

เครื่องสแกน ดังรูปที่ 2.4 เป็นอุปกรณ์ต่อเชื่อมกับคอมพิวเตอร์แบบกราฟิก มีหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงภาพต้นฉบับ เช่น รูปภาพ ตัวอักษรบนหน้ากระดาษ ภาพวาด ให้เป็นข้อมูลเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในการแสดงผลที่หน้าจอ ทำให้สามารถแก้ไข ตกแต่งเพิ่มเติมและจัดเก็บข้อมูลได้

การจับภาพของสแกนเนอร์ ทำโดยฉายแสงบนเอกสารที่สแกน แสงจะผ่านกลับไปมาและภาพจะถูกจับโดยเซลล์ที่ไวต่อแสงเรียกว่า Charge-Couple Device หรือ CCD ซึ่งโดยปกติพื้นที่ที่มีทึบกระดาษจะสะท้อนแสงได้น้อยและที่ที่สว่างบนกระดาษจะสะท้อนแสงได้มากกว่า ซึ่ง CCD จะสืบทอดปริมาณแสงที่สะท้อนกลับจากแต่ละพื้นที่ของภาพนั้น และเปลี่ยนคลื่นแสงที่สะท้อนกลับมาเป็นข้อมูลดิจิทัล หลังจากนั้นซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับการสแกนภาพก็จะแปลงเอาสัญญาณเหล่านั้นกลับมาเป็นภาพบนคอมพิวเตอร์อีกเครื่อง



รูปที่ 2.4 เครื่องสแกนประเภท Flatbed scanner เป็นสแกนเนอร์แบบตั้งโต๊ะ [11]

2.6 ระบบสี RGB [12]

ระบบสี RGB เป็นระบบสี 3 สี นั่นก็คือ สีแดง(R), สีเขียว(G) และสีน้ำเงิน(B) ดังรูปที่ 2.3 เมื่อนำสีมาผสมผสานซึ่งสีหนึ่งๆจะมีค่าสีเท่ากับ 256 ระดับ ทำให้เกิดสีบนจอคอมพิวเตอร์มากถึง 16.7 ล้านสี ($256 \times 256 \times 256$) ซึ่งใกล้เคียงกับที่ตาคนมองเห็น สีที่ได้จากการผสมสีขึ้นอยู่กับความเข้มของสี โดยถ้าสีมีความเข้มมากเมื่อนำมาผสมกันจะเกิดเป็นสีขาว จึงเรียกระบบสีนี้ว่า “การผสมสีแบบบวก” (additive) ซึ่งแต่ละแม่สีเมื่อรวมกันจะได้สีดังนี้

สีแดง + สีเขียว ได้ สีเหลือง Yellow

สีเขียว + สีน้ำเงิน ได้ สีฟ้า Cyan

สีแดง + สีน้ำเงิน ได้ สีแดงอมชมพู Magenta



รูปที่ 2.5 วงจรสีของแสงแบบแม่สีและแม่สีรอง [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การมองเห็นของคนเรานั้นเกิดจากคลื่นแสงที่เกิดขึ้นในแหล่งแสงต่างกระทบกับผิว และพื้นผิวอาจจะดูดซับบางคลื่นแสงแล้วสะท้อนกลับมากลายเป็นที่ตาเรามองเห็น ระบบสี RGB จะแสดงผลออกมาเป็นรูปแบบการรับแสงและแสดงผลด้วยแสงที่เป็นแม่สีคือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆไม่ว่าจะเป็นจอภาพ,สแกนเนอร์,กล้องดิจิทัลหรือดวงตาของเราล้วนแต่รับและแปลผลเป็นสีต่างๆด้วยแสงเหล่านี้

ในระบบสี RGB นั้นไม่ได้หมายถึงสีใดสีหนึ่ง แต่เป็นการรวมกันของแม่สีทั้ง 3 สี ซึ่งอธิบายถึงหลักของสี RGB โดยเป็นพื้นฐานของการนำเอาสี RGB ไปใช้ในระบบสี sRGB หรือ Adobe RGB

2.7 สมการเชิงเส้นแบบยูคลิด (Euclidean distance; ED) [14]

Euclidean distance (ED) คือความแตกต่างของความเข้มแสง หาได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า “สมการเชิงเส้นแบบยูคลิด” มีสมการดังนี้

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

| | | | |
|--------|----------|-----|---|
| โดยที่ | Δ | คือ | ผลต่างของแสงที่จุด Blank กับความเข้มแสง ณ จุดที่เกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มชั้นต่างๆ |
| | I_R | คือ | ค่าความเข้มแสงสีแดง |
| | I_G | คือ | ค่าความเข้มแสงสีเขียว |
| | I_B | คือ | ค่าความเข้มแสงสีน้ำเงิน |

หมายเหตุ แสงสีขาวจะประกอบด้วยแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน ซึ่งมีค่าความเข้มแสงสูงสุดเท่ากับ 255,255,255 (R,G,B) และแสงสีดำจะมีค่าความเข้มแสงต่ำสุดเท่ากับ 0,0,0

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นฤชิต ไพโรจน์ [15] ศึกษาชุดทดสอบแบบจุดโดยใช้โซล-เจลเจืออโทพีแนมโทลินสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณของเหล็ก (II) โดยใช้เครื่องสแกนเนอร์เป็นเครื่องมือตรวจวัด สามารถเตรียมได้โดยหยดสารละลายโซล-เจลเจืออโทพีแนมโทลินจำนวน 10.00 ไมโครลิตรลงบนกระดาษกรอง นำสารละลายตัวอย่างมาเติมด้วยสารละลายไฮดรอกไซด์คลอไรด์ ($\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$) แล้วนำสารละลายผสมดังกล่าวจำนวน 10.00 ไมโครลิตรหยดลงบริเวณจุดทดสอบ จะเกิดสารเชิงซ้อนสีแดง สัมระหว่างไอออนเหล็ก (II) กับอโทพีแนมโทลิน จากนั้นตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงด้วยเครื่องสแกนเนอร์ ภาพสแกนที่ได้ในระบบดิจิทัลจะบันทึกเป็นค่าความเข้มแสงคือ แสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน (RGB) ประมวลผลความเข้มสีด้วยโปรแกรม Image J™ สร้างกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างความเข้มแสง ซึ่งคำนวณจากสมการเชิงเส้นแบบยูคลิด (Euclidean Distance; ED) หรือระหว่างค่าการสะท้อนแสง (Reflectance) เทียบกับระดับความเข้มข้นของไอออนเหล็ก (II) ในช่วง 10.00 – 100.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้สมการเชิงเส้นตรงคือ $y = 0.00139x + 0.02860$, ($r^2 = 0.9971$) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) เท่ากับ 0.48 – 1.65 เปอร์เซ็นต์ วิธีที่ได้รับการพัฒนานี้นำมาทดสอบและประยุกต์ใช้วิเคราะห์หาปริมาณธาตุเหล็ก เปรียบเทียบความแม่นยำกับวิธีมาตรฐานอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมทรีโดยใช้ t-test พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($n=5$; $t_{\text{คำนวณ}} = 2.24$ และ $t_{\text{ตาราง}} = 2.27$)

จินตพร ไชสีทอง, จินตภา ไชสีทอง และ สุชาติ สมนาม [16] ศึกษาและพัฒนาวิธีการทดสอบแบบจุดบนกระดาษสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณของไทโอไซยาเนตในปัสสาวะ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ภาคสนาม การทดสอบนี้ใช้กระดาษกรองเป็นซับสเตรท ใช้สารละลายโซล-เจลเจือเหล็ก(III) ความเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v) เป็นจุดรีเอเจนต์โดยหยดลงบนกระดาษกรอง 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ 30 นาที แล้วทำการหยดไนตริกความเข้มข้น 0.50 โมลาร์ ตามด้วยสารละลายมาตรฐานไทโอไซยาเนตหรือสารละลายตัวอย่าง ปริมาตรอย่างละ 10.00 ไมโครลิตร ลงบนจุดรีเอเจนต์ ทิ้งไว้ให้แห้ง 20 นาที บันทึกภาพจุดสีแดงส้มที่เกิดจากสารเชิงซ้อนระหว่างเหล็ก(III) กับไทโอไซยาเนตด้วยเครื่องสแกน ใช้โปรแกรม Image J™ วัดและบันทึกค่าความเข้มแสง RGB คำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสงด้วยสมการยูคลิด กราฟมาตรฐานที่ได้มีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 10-100 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์น้อยกว่า 8.01 เปอร์เซ็นต์ ขีดจำกัดของการตรวจพบและขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณเท่ากับ 4.85 และ 15.26 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ การวิเคราะห์หาปริมาณไทโอไซยาเนตในตัวอย่างปัสสาวะของแอมโมเนียมซัลเฟตและปัสสาวะรีเอเจนต์ได้ค่าร้อยละคืนกลับอยู่ในช่วง 53.96-62.14 % และ 92.92-106.26 % ตามลำดับ

Napaporn Youngvises, Kittigan Suwannasaroj, Jaroon Jakmune และ Awadh AlSuhaimi [17] พัฒนาเทคนิคระบบมัลติรีเวอร์สโฟลอินเจกชันอะนาลิซิสร่วมกับมัลติออปติคอลเซนเซอร์เพื่อให้เหมาะสมต่อการวิเคราะห์หาปริมาณไอออนในตัวอย่างน้ำ โดยไอออนที่ต้องการวิเคราะห์มี 4 ชนิด คือ แมงกานีส (II), เหล็ก (II), คอปเปอร์ (II) และ เหล็ก (III) โดยการทดลองจะใช้ปั๊ม Peristaltic แบบ 4 ช่อง ในการขับเคลื่อนสารละลายตัวอย่างหรือสารละลายมาตรฐาน เนื่องจากตัวเอกสารทำปฏิกิริยาที่มีสี 4 ชนิดมีความจำเพาะสำหรับไอออนโลหะแต่ละชนิด จากนั้นจึงถูกฉีดแยกในกระแส ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างโดยใช้ Multi-syringe pump โดยที่แต่ละ Mixing coil เป็นบริเวณที่ทำให้สารนั้นเกิดสี หลังจากนั้นกระแสเข้าไปใน Multi-channels spectrometer ซึ่งประกอบด้วย 4 Flow through cell และ 4 คู่ของหลอดไดโอดที่เปล่งแสงและโฟโตไดโอด ด้วยวิธีการวัดสัญญาณควบคู่กันไป ในช่วงความเป็นเส้นตรง (linearity range) พร้อมด้วยค่าขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (detection limit, mg/L) คือ 0.050 – 3.0, 0.30 – 2.00, 0.050 – 1.0 และ 0.10 – 1.0 mg/L สำหรับ แมงกานีส (II), เหล็ก (II), คอปเปอร์ (II) และ เหล็ก (III) ตามลำดับ ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (correlation coefficients) เป็น 0.9924 – 0.9942, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (percentage relative standard deviation) น้อยกว่า 3 เป็นเทคนิคที่ประสบ-ความสำเร็จในการหาไอออนโลหะเป้าหมายในน้ำธรรมชาติแบบพร้อมกัน โดยเทคนิคนี้สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง และใช้ปริมาณรีเอเจนต์ต่ำ ดังนั้นเทคนิคนี้มีความสอดคล้องกับเคมีวิเคราะห์สีเขียว (Green-analytical chemistry หรือ GAC) รวมทั้งจุดประสงค์ของเทคนิคนี้

กฤษฎพร ศรทอง, ณัชพล ขำเขียว และ ณัฐพัชร์ ช่วยทุกข์เพื่อน [18] ทำการศึกษาชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ สำหรับวิเคราะห์ไนโตรท์โดยการเตรียมจูดรีเอเจนต์บนกระดาษด้วยวิธีโซล-เจล ใช้ซัลฟานิลไมด์เป็นรีเอเจนต์ เมื่อหยดสารละลายมาตรฐานไนโตรท์ลงบนจูดรีเอเจนต์ ไนโตรท์จะทำปฏิกิริยากับซัลฟานิลไมด์ได้สารประกอบ Diazonium ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อกับแนฟทิลเอธิลีนไดอะมีน ไตรไฮดรอกไซด์ (NED) ได้สีชมพูของสารประกอบ Azo dye สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมจูดรีเอเจนต์ คือเตรียมโซล-เจลโดยใช้สารละลายผสมของเตตระเอทิลอโทซิลิเกต กรดไฮโดรคลอริก (0.1 M) และสารละลายซัลฟานิลไมด์ (0.058 M) ในอัตราส่วน 2:1:2 มิลลิลิตร และเติมไตรตัน เอ็กซ์-100 7 หยด หยดโซล-เจลที่ได้ปริมาตร 10 ไมโครลิตรลงบนกระดาษกรองเพื่อใช้เป็นจูดรีเอเจนต์ ทำการวิเคราะห์ไนโตรท์โดยหยดสารละลายมาตรฐานไนโตรท์หรือสารละลายตัวอย่างปริมาตร 5 ไมโครลิตรและสารละลาย NED (0.0039M) ปริมาตร 3 ไมโครลิตรลงบนจูดรีเอเจนต์ตามลำดับ กราฟมาตรฐานที่ได้มีความเป็นเส้นตรงในช่วง 2 ถึง 10 mg-N/L ตามสมการ $ED=14.53[NO_2] + 8.160$ ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (LOQ) เท่ากับ 1.66 และ 5.55 mg-N/L ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรท์ในตัวอย่างผักบั้งจีน กวางตุ้ง และผักคะน้า พบว่ามีไนโตรท์เท่ากับ 1.66, 0.41 และ 1.61 mg-N/kg ตามลำดับ วิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ให้ค่าการวิเคราะห์คืนกลับ (%recovery) อยู่ในช่วง 100.34-105.22% และค่า %RSD อยู่ในช่วง 0.55-0.93%

Bo Peng, Guorong Chen, Kai Li, Min Zhou, Ji Zhang และ Shengguo Zhao [19] ได้ศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กทั้งหมดในตัวอย่างต่างๆ ที่ทำได้ง่ายและต้นทุนต่ำโดยใช้วิธีการสกัดของเหลวระดับไมโครด้วยของเหลวแบบกระจาย (DLLME) ควบคู่ไปกับการวิเคราะห์ภาพด้วยระบบดิจิทัล การออกแบบการทดลองแบบออร์ทโคโนลดถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดและตัวทำละลายที่ใช้ในการกระจายตัว สารละลายออร์ทโคโนลด และค่าพีเอชของบัฟเฟอร์ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ได้กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานเหล็กมีความเป็น

เส้นตรงอยู่ในช่วง 0.047-1.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ค่า $R^2 > 0.99$ ค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ (LOD) เท่ากับ 14.1 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์สำหรับการตรวจสอบปริมาณธาตุเหล็ก 0.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร วิธีนี้ใช้สำหรับการวิเคราะห์ธาตุเหล็กในน้ำและตัวอย่างอาหาร ได้ สามารถพัฒนาอุปกรณ์ให้มีความรวดเร็วและสามารถพกพาเพื่อวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำและอาหารบางประเภท

Bo Peng, Guorong Chen, Kai Li, Min Zhou, Ji Zhang และ Shengguo Zhao [20] ได้นำเสนอวิธีการเพื่อวิเคราะห์หาเหล็กทั้งหมดได้อย่างรวดเร็วด้วย UV-Vis Spectrophotometry ร่วมกับวิธีที่มีประสิทธิภาพคือการสกัดของเหลวระดับไมโครด้วยของเหลวแบบกระจาย (DLLME) พื้นฐานของวิธีคือปฏิกิริยาการเกิดสารเชิงซ้อนที่มีสีระหว่างเหล็กกับ 2- (5-bromo-2-pyridylazo) - 5- (diethyl amino) phenol (5-Br-PADAP) หลังการเปลี่ยนเหล็ก(III) เป็นเหล็ก(II) โดยใช้กรดแอสคอบิก พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของการสกัดระดับไมโคร เช่น pH ความเข้มข้นของสารเชิงซ้อน อัตราส่วนปริมาตรของตัวทำละลายที่ใช้ในการกระจายตัวและตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดได้รับการปรับให้ได้สถานะที่เหมาะสม การดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเหล็กในช่วง 5-400 ไมโครกรัมต่อลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.9993 ขีดจำกัดการตรวจพบ (LOD) และขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (LOQ) เท่ากับ 1.5 ไมโครกรัมต่อลิตรและ 5.2 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) สำหรับกลุ่มตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 1.37-4.4% ($n = 3$) การวิเคราะห์เหล็กในตัวอย่างมีค่าร้อยละการคืนกลับยอมรับได้ในช่วง 95.4-103.2% ในตัวอย่างอาหาร 96.9-103.6% ในตัวอย่างน้ำและ 98.8-102.3% ในวัสดุอ้างอิงที่ผ่านการรับรอง วิธีที่นำเสนอมีความรวดเร็วเชื่อถือได้และมีความละเอียดสูงในการตรวจหาเหล็กทั้งหมดในตัวอย่างอาหารและน้ำ

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

1. กาวลาเท็กซ์ (Latex; TOA LA 22S – Thailand)
2. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water – Milli Q - Thailand)
3. ไฮดรอกไซด์อะมิโนไฮโดรคลอไรด์ (Hydroxylamine hydrochloride; A.R. grade - Carlo erba - Italy)
4. โซเดียมซิเตรท (Sodium Citrate; A.R. grade – Carlo erba- Italy)
5. ออโทฟีแนนโทรอลีนโมโนไฮเดรต (Orthophenanthroline monohydrate; A.R. grade – Carlo erba- Italy)
6. แอมโมเนียมเฟอรัสซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต (Ammonium ferrous sulfate hexahydrate; A.R. grade – Ajax finechem - Thailand)
7. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid; A.R. grade - Carlo erba - Italy)

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระดาษกรอง เบอร์ 1 (Quantitative Paper Filter Advantech Whatman No. 1 – United Stage kingdom)
2. เครื่องกวนแม่เหล็กพร้อมแท่งกวน (Magnetic Stirrer): Bosstech – Thailand
3. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น CP2245 - Thailand)
4. เครื่องสแกนเนอร์ (Cannon LiDE 110 - Thailand)
5. ไมโครปิเปตขนาด 2.00 – 10.00 ไมโครลิตร (Micropipet ; Thermo รุ่น FINNPIPETTE - Thailand)
6. เครื่องแก้ว (Glassware laboratory)

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 ศึกษาลักษณะและรูปร่างชุดทดสอบบนกระดาษ

3.2.1.1 การเตรียมสารละลาย

3.2.1.2 การเตรียมสารละลายกาวเจือด้วยอโทพีแนนโทรลิน

3.2.1.3 การทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนบนกระดาษ

3.3.1.4 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสีบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

3.2.2 การศึกษาสภาพที่ใช้ในการทำชุดทดสอบบนกระดาษ

3.2.2.1 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายกาวเจือด้วยอโทพีแนนโทรลินที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก (II)

3.2.2.2 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของโซเดียมซิติเรด, ไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์และอโทพีแนนโทรลิน

3.2.3 การทดสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ (Method Validation)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

3.3.1 ศึกษาลักษณะและรูปร่างชุดทดสอบบนกระดาษ

3.3.1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

1) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่งแอมโมเนียมเพอร์สัลเฟตเฮกซะไฮเดรต 1.755 กรัม ใส่ปิกรเกอร์ ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน 50 มิลลิลิตรจากนั้นเติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน

2) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายเหล็ก (II) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร มาจำนวน 25.0 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน

3) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) สำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน

ช่วงความเข้มข้น 0.20 - 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 0.00 , 0.05, 0.125, 0.20 และ 0.25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.00, 0.20, 0.50, 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ช่วงความเข้มข้น 2.0 - 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 0.00, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

3.3.1.2 การเตรียมสารละลายกาวยืดด้วยอโทพีแนนโทรลีนในสัดส่วนกาวยืดต่อน้ำ 5 ต่อ 15

สารละลายกาวยืดเข้มข้น 33.33% (w/v) เยื่อด้วยอโทพีแนนโทรลีนเข้มข้น 0.06% (w/v)

ชั่งกาวยืดเท็กซ์ 5.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำปราศจากไอออน ลงไป 15.0 มิลลิลิตร จากนั้นชั่งโซเดียมซิเตรท 0.0025 กรัม, ชั่งไฮดรอกไซด์ลามีนไฮโดรคลอไรด์ 0.015 กรัม และชั่งอโทพีแนนโทรลีน 0.0100 กรัม ลงในบีกเกอร์ แล้วปั่นกวนสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง จะได้สารละลายกาวยืดด้วยอโทพีแนนโทรลีนเข้มข้น 0.06% (w/v)

สารละลายกาวยืดเข้มข้น 33.33% (w/v) เยื่อด้วยอโทพีแนนโทรลีนเข้มข้น 0.16%(w/v)

ชั่งกาวยืดเท็กซ์ 5.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำปราศจากไอออน ลงไป 15.0 มิลลิลิตร จากนั้นชั่งโซเดียมซิเตรท 0.0025 กรัม, ชั่งไฮดรอกไซด์ลามีนไฮโดรคลอไรด์ 0.015 กรัม และชั่งอโทพีแนนโทรลีน 0.0250 กรัม ลงในบีกเกอร์ แล้วปั่นกวนสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง จะได้สารละลายกาวยืดด้วยอโทพีแนนโทรลีนเข้มข้น 0.16% (w/v)

3.3.1.3 การเตรียมชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ

หยดสารละลายกาวยืดด้วยอโทพีแนนโทรลีนที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1.2 จำนวน 10.00 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลาประมาณ 20 นาที

3.3.1.4 การทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนบนกระดาษ

สำหรับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 0.20 - 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

หยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.00, 0.20, 0.50, 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณที่หยดสารละลายกาวยืดด้วยอโทพีแนนโทรลีนเอาไว้ จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลาประมาณ 20 นาที ทำการบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

สำหรับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
 หยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ
 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณที่หยดสารละลายขาวเจือด้วยอโทฟี
 แนน-โทรลีนเอาไว้ จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลาประมาณ 20 นาที ทำการบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสี
 ของชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

3.3.1.5 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสีบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

ทำการบันทึกภาพจุดสีบนกระดาษทดสอบด้วยเครื่องสแกนจากนั้นนำภาพที่ได้มา
 บันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วยโปรแกรม Image JTM นำค่าความเข้มแสง (RGB) มาคำนวณตาม
 สมการที่ (1) หรือเรียกว่า “สมการเชิงเส้นแบบยูคลิด”

$$E = \sqrt{(\Delta I_R)^2 + (\Delta I_G)^2 + (\Delta I_B)^2} \quad (1)$$

โดยที่ Δ คือ ผลต่างของแสงที่จุด blank กับค่าความเข้มแสง ณ
 จุดที่เกิดปฏิกิริยากับเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน

I_R คือ ค่าความเข้มแสงสีแดง

I_G คือ ค่าความเข้มแสงสีเขียว

I_B คือ ค่าความเข้มแสงสีน้ำเงิน

นำค่าที่คำนวณได้มาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเหล็ก
 (II) กับความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance; ED)

3.3.2 การศึกษาสถานะที่ใช้ในการทำชุดทดสอบบนกระดาษ

3.3.2.1 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายขาวเจือด้วยอโทฟีแนนโทรลีนที่
 เหมาะสมใน

การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (II)

เตรียมสารละลายขาวเจือด้วยอโทฟีแนนโทรลีนเช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.2 แต่
 ปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของขาวต่อน้ำเป็น (ขาว:น้ำ) 5:15, 5:20, 5:30, 5:50 และ 5:100 มิลลิลิตร
 จากนั้นนำมาหยดลงบนกระดาษกรองเบอร์ 1 ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลา
 ประมาณ 10 - 20 นาที ตามอัตราส่วนของขาวต่อน้ำที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน

การทดสอบสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 0.20 - 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

ทำการทดสอบการเกิดเชิงซ้อนบนกระดาษ โดยหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่มีความเข้มข้น 0.00, 0.20, 0.50, 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนที่หยดสารละลายกาวเจือออร์โทฟอสเฟตบนกระดาษเอาไว้ ทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลาประมาณ 20 นาที บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบบนกระดาษกรองแบบจุดด้วยเครื่องสแกน เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.5

การทดสอบสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 2.0 - 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ทำการทดสอบการเกิดเชิงซ้อนบนกระดาษ โดยหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่มีความเข้มข้น 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนที่หยดสารละลายกาวเจือออร์โทฟอสเฟตบนกระดาษเอาไว้ ทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลาประมาณ 20 นาที บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบบนกระดาษกรองแบบจุดด้วยเครื่องสแกนเนอร์ เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.5

3.3.2.2 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของโซเดียมซิติเรท, ไฮดรอกไซด์ลามีน ไฮโดรคลอไรด์ และออร์โทฟอสเฟต

3.3.2.2.1 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของโซเดียมซิติเรท

เตรียมสารละลายกาวเจือด้วยออร์โทฟอสเฟตบนกระดาษเอาไว้ เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.2

การทดสอบกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ช่วงความเข้มข้น 0.20 - 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

หยดสารละลายกาวเจือด้วยออร์โทฟอสเฟตบนกระดาษเอาไว้ความเข้มข้น 33.51% (w/v) ที่มีปริมาณของโซเดียมซิติเรทที่ใช้เป็น 0.0002, 0.0010, 0.0025, 0.0050 และ 0.0100 กรัม ลงบนกระดาษกรอง เบอร์ 1 จำนวน 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งให้แห้งใช้เวลา 20 นาที ทำการหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก(II) เข้มข้น 0.00, 0.20, 0.50, 0.80, และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งให้แห้งใช้เวลาประมาณ 20 นาที ทำการบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบบนกระดาษกรองด้วยเครื่องสแกน เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.5

การทดสอบกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ช่วงความเข้มข้น 2.0 – 10.0

มิลลิกรัมต่อลิตร

หดยดสารละลายขาวเจือด้วยอโทพีแนนนโทรลีนความเข้มข้น 33.61% w/v ที่มีปริมาณของโซเดียมซิติเรทที่ใช้เป็น 0.0002, 0.0010, 0.0025, 0.0050 และ 0.0100 กรัม ลงบนกระดาษกรอง เบอร์ 1 จำนวน 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งให้แห้งใช้เวลา 20 นาที ทำการหดยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งให้แห้งใช้เวลาประมาณ 20 นาที ทำการบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบบนกระดาษกรองด้วยเครื่องสแกนเช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.5

3.3.2.2.2 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของไฮดรอกโซลามีนไฮโดรคลอไรด์

ไรต์

เตรียมสารละลายขาวเจือด้วยอโทพีแนนนโทรลีนเช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.2

การทดสอบกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ช่วงความเข้มข้น 0.20 – 1.00

มิลลิกรัมต่อลิตร

หดยดสารละลายขาวเจือด้วยอโทพีแนนนโทรลีนความเข้มข้น 33.51% w/v ที่มีปริมาณของไฮดรอกโซลามีนไฮโดรคลอไรด์ที่ใช้เป็น 0.0050, 0.0100, 0.0150, 0.0300 และ 0.0500 กรัม ลงบนกระดาษกรอง เบอร์ 1 จำนวน 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลา 20 นาที ทำการหดยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 0.00, 0.20, 0.50, 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งให้แห้งใช้เวลาประมาณ 20 นาที ทำการบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบบนกระดาษกรองด้วยเครื่องสแกน เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.5

การทดสอบกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ช่วงความเข้มข้น 2.0 – 10.0

มิลลิกรัมต่อลิตร

หดยดสารละลายขาวเจือด้วยอโทพีแนนนโทรลีนความเข้มข้น 33.61% w/v ที่มีปริมาณของไฮดรอกโซลามีนไฮโดรคลอไรด์ที่ใช้เป็น 0.0050, 0.0100, 0.0150, 0.0300, 0.0500 และ 0.1000 กรัม ลงบนกระดาษกรอง เบอร์ 1 จำนวน 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลา 20 นาที ทำการหดยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งให้แห้งใช้เวลาประมาณ 20 นาที ทำการบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบบนกระดาษกรองด้วยเครื่องสแกน เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.2.3 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของอโทพีแนนโทรลิน

เตรียมสารละลายกาวเจือด้วยอโทพีแนนโทรลินเช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.2

การทดสอบกับสารละลายมาตรฐานหลัก (II) ช่วงความเข้มข้น 0.20 –

1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

หดยดสารละลายกาวเจือด้วยอโทพีแนนโทรลินความเข้มข้น 33.51% w/v ที่มีปริมาณของอโทพีแนนโทรลินที่ใช้เป็น 0.0050, 0.0100, 0.0250 และ 0.0500 กรัม ลงบนกระดาษกรอง เบอร์ 1 จำนวน 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลา 20 นาที ทำการหดยดสารละลายมาตรฐานหลัก (II) เข้มข้น 0.00, 0.20, 0.50, 0.80, และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งให้แห้งใช้เวลาประมาณ 20 นาที ทำการบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบบนกระดาษกรองด้วยเครื่องสแกน เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.5

การทดสอบกับสารละลายมาตรฐานหลัก (II) ช่วงความเข้มข้น 2.0 – 10.0

มิลลิกรัมต่อลิตร

หดยดสารละลายกาวเจือด้วยอโทพีแนนโทรลินความเข้มข้น 33.61% w/v ที่มีปริมาณของอโทพีแนนโทรลินที่ใช้เป็น 0.0050, 0.0100, 0.0250 และ 0.0500 กรัม ลงบนกระดาษกรอง เบอร์ 1 จำนวน 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลา 20 นาที ทำการหดยดสารละลายมาตรฐานหลัก (II) เข้มข้น 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งให้แห้งใช้เวลาประมาณ 20 นาที ทำการบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบบนกระดาษกรองด้วยเครื่องสแกน เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.5

3.3.3 การทดสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ (Method Validation)

ศึกษาความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ที่เหมาะสม

สารละลายกาวเจือด้วยอโทพีแนนโทรลินเข้มข้น 0.06 % (w/v)

ชั่งกาวลาเท็กซ์ 5.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิตร เติมน้ำปราศจากไอออนลงไป 15.0 มิลลิตร จากนั้นชั่งโซเดียมซิเตรท 0.0025 กรัม, ชั่งไฮดรอกไซด์ลามีนไฮโดรคลอไรด์ 0.015 กรัม และชั่งอโทพีแนนโทรลิน 0.0100 กรัม ลงในบีกเกอร์ แล้วปั่นกวนสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง จะได้สารละลายกาวเจือด้วยอโทพีแนนโทรลินเข้มข้น 0.06% (w/v)

สารละลายกาวเจือด้วยอโทพีแนนโทรลินเข้มข้น 0.16% (w/v)

ชั่งกาวลาเท็กซ์ 5.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิตร เติมน้ำปราศจากไอออนลงไป 15.0 มิลลิตร จากนั้นชั่งโซเดียมซิเตรท 0.0025 กรัม, ชั่งไฮดรอกไซด์ลามีนไฮโดรคลอไรด์ 0.015 กรัม

และชั่งอโทพีแนนโทรลิน 0.0250 กรัม ลงในบีกเกอร์ แล้วปั่นกวนสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันใช้
เอกสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง จะได้สารละลายกาวเจือด้วยอโทพีแนนโทรลินเข้มข้น 0.16% (w/v) จากนั้นนำมาหยดลงบนกระดาษกรอง เบอร์ 1 ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ให้แห้งประมาณ 20 นาที และทำตามขั้นตอนการศึกษาดังต่อไปนี้

3.3.3.1 ความเป็นเส้นตรง (Linearity)

การทดสอบความเป็นเส้นตรงของวิธีวิเคราะห์สามารถทำได้โดย

การทดสอบกับสารละลายมาตรฐานหลัก (II) ช่วงความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

ทำการหยดสารละลายมาตรฐานหลัก (II) เข้มข้น 0.20, 0.50, 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองที่หยดสารละลายกาวเจืออโทพีแนนโทรลินที่ได้เตรียมเอาไว้ โดยหยดแต่ละความเข้มข้นละ 3 จุด ทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลาประมาณ 20 นาที

การทดสอบกับสารละลายมาตรฐานหลัก (II) ช่วงความเข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ทำการหยดสารละลายมาตรฐานหลัก (II) เข้มข้น 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองที่หยดสารละลายกาวเจืออโทพีแนนโทรลินที่ได้เตรียมเอาไว้ โดยหยดแต่ละความเข้มข้นละ 3 จุด ทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลาประมาณ 20 นาที

นำชุดทดสอบทั้ง 2 ช่วงความเข้มข้นไปบันทึกภาพจุดสีโดยใช้เครื่องสแกน เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.5 ทำการคำนวณค่า Euclidean distance (ED) และสร้างกราฟมาตรฐาน แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างระหว่างความเข้มแสงกับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานหลัก (II) จากนั้นหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Determination coefficient, r^2)

3.3.3.2 ความเที่ยง (Precision)

ความเที่ยงเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของการวิเคราะห์ที่ให้มีค่าที่ใกล้เคียงกันกับข้อมูลที่ได้จากการทดสอบซ้ำๆ หลายครั้ง (repeatability) ภายใต้สภาวะที่กำหนดเดียวกัน โดยระบุในรูปของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (relative standard deviation : RSD) ซึ่งแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของวิธีที่เกิดขึ้น โดยนิยมแสดงเป็นค่าร้อยละ

$$\%RSD = \frac{SD}{X} 100$$

เมื่อ SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : SD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ \bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยของผลการวิเคราะห์ (mean) ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์สามารถทำได้โดย

การทดสอบกับสารละลายมาตรฐานหลัก (II) ช่วงความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

วิธีที่ 1

ปิเปตสารละลายมาตรฐานหลัก (II) ที่มีความเข้มข้น 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร หยดลงบนกระดาษกรองที่หยดสารละลายกาเวอออกโทฟีแนนโทรลินที่ได้เตรียมเอาไว้ โดยทำการหยดซ้ำทั้งหมดความเข้มข้นละ 11 จุด ทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลาประมาณ 20 นาที นำชุดทดสอบไปบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีโดยเครื่องสแกน เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.5 จากนั้นทำการคำนวณหาค่า Euclidean distance (ED) และนำมาคำนวณหาค่าร้อยละเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% Relative Standard Deviation : %RSD)

วิธีที่ 2

เตรียมขวดปรับปริมาตร ขนาด 25 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 5 ขวด ปิเปตสารละลายมาตรฐานหลัก (II) 0.125 มิลลิกรัม ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรทั้งหมด 5 ขวด และปรับด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการหยดลงบนกระดาษกรองที่หยดสารละลายกาเวอออกโทฟีแนนโทรลินที่ได้เตรียมเอาไว้ ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร โดยแต่ละขวดทำการหยดซ้ำขวดละ 3 จุด ทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลาประมาณ 20 นาที นำชุดทดสอบไปบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีโดยเครื่องสแกน เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.5 จากนั้นทำการคำนวณหาค่า Euclidean distance (ED) และนำมาคำนวณหาค่าร้อยละเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% Relative Standard Deviation : %RSD)

การทดสอบกับสารละลายมาตรฐานหลัก (II) ช่วงความเข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

วิธีที่ 1

ปิเปตสารละลายมาตรฐานหลัก (II) ที่มีความเข้มข้น 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 10.00 ไมโครลิตร หยดลงบนกระดาษกรองที่หยดสารละลายกาเวอออกโทฟีแนนโทรลินที่ได้เตรียมเอาไว้ โดยทำการหยดซ้ำทั้งหมดความเข้มข้นละ 11 จุด ทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลาประมาณ 20 นาที นำชุดทดสอบไปบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีโดยเครื่องสแกน เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.5 จากนั้นทำการคำนวณหาค่า Euclidean distance (ED) และนำมาคำนวณหาค่าร้อยละเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% Relative Standard Deviation : %RSD)

วิธีที่ 2

เตรียมขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตรต่อลิตร มา 5 ขวด ปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) 1.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรทั้งหมด 5 ขวด และปรับด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 6.0 มิลลิลิตรต่อลิตร ทำการหยดลงบนกระดาษกรองที่หยดสารละลายขาวเจือออโทพีแวนโทรลีนที่ได้เตรียมเอาไว้ ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร โดยแต่ละขวดทำการหยดซ้ำขวดละ 3 จุด ทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลาประมาณ 20 นาที นำชุดทดสอบไปบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีโดยเครื่องสแกน เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.5 จากนั้นทำการคำนวณหาค่า Euclidean distance (ED) และนำมาคำนวณหาค่าร้อยละเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% Relative Standard Deviation : %RSD)

3.3.3.3 ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of Detection: LOD)

สามารถหาได้จากกราฟมาตรฐาน โดยใช้สูตร

$$LOD = Y_B + 3S_B$$

เมื่อ Y_B คือ จุดตัดแกน y ที่ได้จากการสมการเส้นตรง $y = mx + c$

S_B คือ ค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน y (Random error in y -direction) หาได้จากสูตร

$$S_B = \sqrt{\frac{\sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-2}}$$

เมื่อ y_i คือ ค่าจริงที่ได้จากเครื่อง

\hat{y}_i คือ ค่าที่ได้จากการแทนค่า x ในสมการเส้นตรง

3.3.3.4 ขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of quantitation: LOQ)

สามารถหาได้จากกราฟมาตรฐาน โดยใช้สูตร

$$LOQ = Y_B + 10S_B$$

เมื่อ Y_B คือ จุดตัดแกน y ที่ได้จากการสมการเส้นตรง $y = mx + c$

S_B คือ ค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน y (Random error in y -direction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.5 ความแม่นยำ (Accuracy)

ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์สามารถแสดงค่าที่วัดได้เข้าใกล้เคียงค่าจริงหรือค่าร้อยละคืนกลับ (% Recovery) ถ้าค่าที่ได้มีค่าเข้าใกล้ 100 % แสดงว่าวิธีวิเคราะห์มีความแม่นยำสูงสามารถคำนวณจากสูตรได้โดย

$$\% \text{ Recovery} = \frac{C_1 - C_2}{C_3} \times 100$$

เมื่อ C_1 คือ ความเข้มข้นของตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐาน

C_2 คือ ความเข้มข้นของตัวอย่าง

C_3 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เติมลงไป

การทดสอบความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์สามารถทำได้โดย

การทดสอบกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ช่วงความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตน้ำตัวอย่าง (น้ำบาดาล, น้ำประปา, น้ำแร่ และ น้ำดื่ม 3 ยี่ห้อ) มาอย่างละ 20.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร จำนวน 6 ขวด ปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 0.00, 0.05, 0.125, 0.20 และ 0.25 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายน้ำตัวอย่างสำหรับชุดทดสอบบนกระดาษที่มีความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่เติมลงไปเป็นความเข้มข้น 0.00, 0.20, 0.50, 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการหยดลงบนกระดาษกรองที่หยดสารละลายกาเวอจือออโทฟีแนนโทรลีนที่ได้เตรียมเอาไว้ โดยแต่ละขวดทำการหยดซ้ำขวดละ 3 จุด ทั้งไว้ให้แห้งใช้เวลาประมาณ 20 นาที

การทดสอบกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ช่วงความเข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตน้ำตัวอย่าง (น้ำบาดาล, น้ำประปา, น้ำแร่ และ น้ำดื่ม 3 ยี่ห้อ) มาอย่างละ 20.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร จำนวน 6 ขวด ปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 0.00, 0.50, 1.00, 1.50, 2.00 และ 2.50 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายน้ำตัวอย่างสำหรับชุดทดสอบบนกระดาษที่มีความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่เติมลงไปเป็นความ

เข้มข้น 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการหยดลงบนกระดาษกรองที่หยดค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายกาวยืดออกโทฟีแนนทรอลีนที่ได้เตรียมเอาไว้ โดยแต่ละขวดทำการหยดซ้ำขวดละ 3 จุด
ทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลาประมาณ 20 นาที



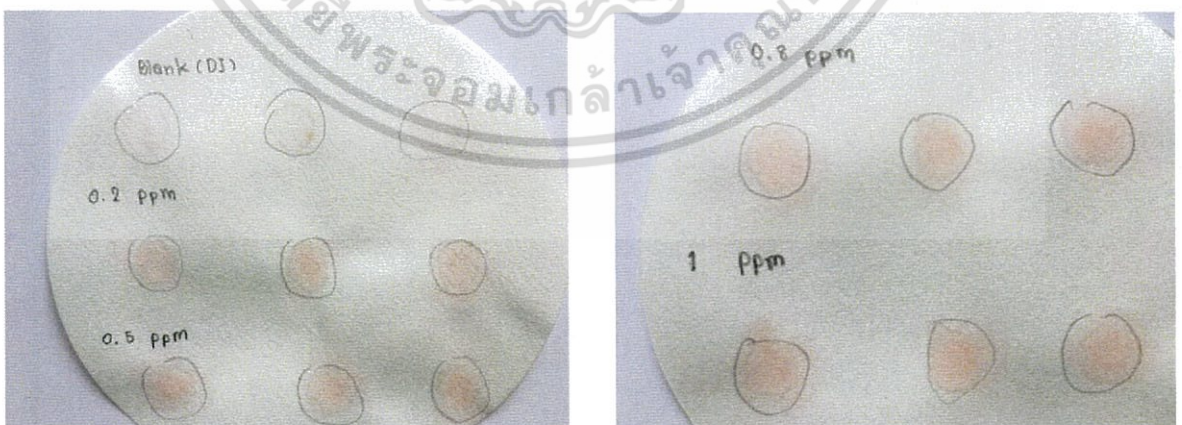
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

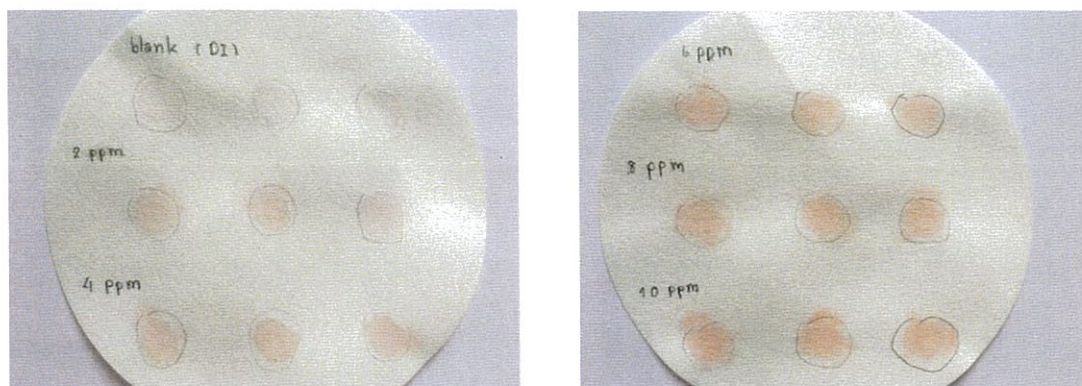
4.1 ศึกษาลักษณะรูปร่างชุดทดสอบบนกระดาษ

นำกระดาษกรองเบอร์ 1 มาหยดด้วยสารละลายกาเวอิจด้วยอโทพีแนโนโทรลีนจำนวน 10.00 ไมโครลิตร จากนั้นทิ้งให้สารละลายกาเวอิจด้วยอโทพีแนโนโทรลีนแห้งใช้เวลาประมาณ 20 นาที พบว่าพื้นผิวของกระดาษกรองที่หยดด้วยสารละลายกาเวอิจสามารถดูดซับสารละลายไว้ได้หมด ซึ่งสารละลายกาเวอิจที่ได้มีลักษณะเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร จากนั้นทำการหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่ำคือ 0.00, 0.20, 0.50, 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นสูงคือ 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณที่หยดสารละลายกาเวอิจด้วยอโทพีแนโนโทรลีน พบว่าเกิดสารเชิงซ้อนสีส้มแดงของอโทพีแนโนโทรลีนกับเหล็ก (II) โดยจะมีการแพร่กระจายของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เป็นวงกลมในทุกทิศทางและไม่แพร่กระจายออกนอกขอบเขตของสารละลายกาเวอิจด้วยอโทพีแนโนโทรลีนที่หยดไว้บนกระดาษกรอง ซึ่งความเข้มสีของจุดทดสอบแปรผันตามความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) เพิ่มขึ้น ความเข้มสีของสารเชิงซ้อนดังกล่าวจะเข้มขึ้นตามลำดับ จากนั้นทำการบันทึกการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดด้วยเครื่องสแกนลักษณะของจุดสีที่เกิดขึ้นบนกระดาษทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดที่สารมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 0.20 – 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดที่สารมาตรฐานเหล็ก (II) ช่วงความเข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2 การศึกษาสถานะที่ใช้ในการทำชุดทดสอบบนกระดาษ

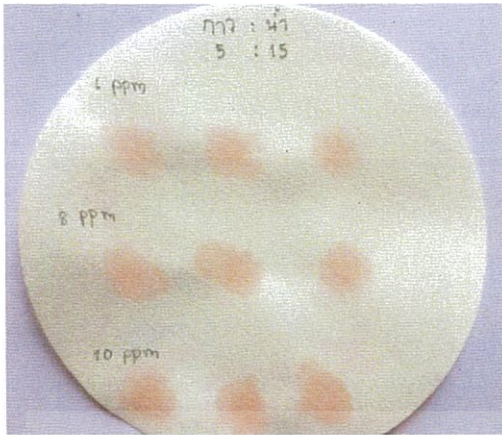
4.2.1 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายกาวเจือด้วยอโทฟีแนนโทลีน

เมื่อปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของกาวต่อน้ำของสารละลายกาวเจือด้วยอโทฟีแนนโทลีน ที่อัตราส่วนกาวต่อน้ำเป็น 5:15, 5:20, 5:30, 5:50, 5:100 และ 5:200 มิลลิลิตร นำมาหยดลงบนกระดาษกรองเบอร์ 1 ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลาประมาณ 10 - 20 นาที ตามอัตราส่วนของกาวต่อน้ำที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน จากนั้นทำการหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ช่วงความเข้มข้น 0.20 – 1.00 และ 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มาทดสอบการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของอโทฟีแนนโทลีนกับเหล็ก (II) ทำการสแกนจุดสีและนำภาพดังกล่าวคำนวณหาความเข้มแสงด้วยโปรแกรม Image J™ นำค่าที่ได้มาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละอัตราส่วนกับค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1 รูปที่ 4.3, 4.4 และ 4.5ตามลำดับ

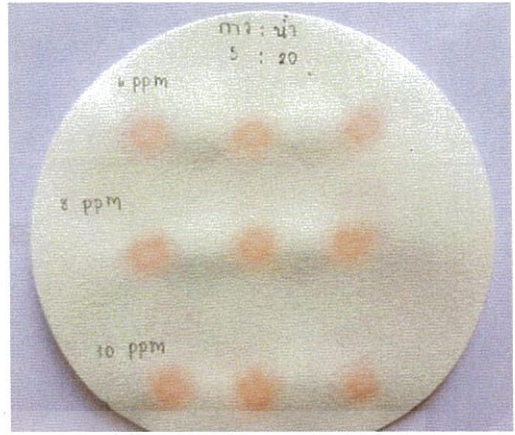
ตารางที่ 4.1 ศึกษาอัตราส่วนกวาดต่อน้ำที่เหมาะสมของสารละลายกาวเจือด้วยออปโทฟีแนนโทรลีน

| อัตราส่วนกวาดต่อน้ำ | ลักษณะการดูดซับและการกระจายตัว |
|---------------------|--|
| 5:15 | <ul style="list-style-type: none"> - ใช้เวลาในการดูดซับประมาณ 30 วินาที - สารละลายกาวมีการกระจายตัวมีลักษณะเป็นวงกลมที่จำกัดขอบเขต และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร - สารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นมีสีชัดเจน |
| 5:20 | <ul style="list-style-type: none"> - ใช้เวลาในการดูดซับประมาณ 26 วินาที - สารละลายกาวมีการกระจายตัวมีลักษณะเป็นวงกลมที่จำกัดขอบเขต และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.2 เซนติเมตร - สารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นมีสีชัดเจนน้อยกว่าที่อัตราส่วน 5:15 |
| 5:30 | <ul style="list-style-type: none"> - ใช้เวลาในการดูดซับประมาณ 22 วินาที - สารละลายกาวมีการกระจายตัวมีลักษณะเป็นวงกลมที่จำกัดขอบเขต และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5 เซนติเมตร - สารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นมีสีชัดเจนน้อยกว่าที่อัตราส่วน 5:20 |
| 5:50 | <ul style="list-style-type: none"> - ใช้เวลาในการดูดซับประมาณ 18 วินาที - สารละลายกาวมีการกระจายตัวมีลักษณะเป็นวงกลมที่จำกัดขอบเขต และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.7 เซนติเมตร - สารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นมีสีชัดเจนน้อยกว่าที่อัตราส่วน 5:30 |
| 5:100 | <ul style="list-style-type: none"> - ใช้เวลาในการดูดซับประมาณ 10 วินาที - สารละลายกาวมีการกระจายตัวมีลักษณะเป็นวงกลมและมีเส้นผ่านศูนย์กลางค่อนข้างระบุขอบเขตได้ยาก - สารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นมีสีชัดเจนน้อยกว่าที่อัตราส่วน 5:50 |
| 5:200 | <ul style="list-style-type: none"> - ใช้เวลาในการดูดซับประมาณ 5 วินาที - สารละลายกาวมีการกระจายตัวมีลักษณะเป็นวงกลมและมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระบุขอบเขตได้ยาก - สารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นมีสีค่อนข้างจางและไม่ชัดเจน |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



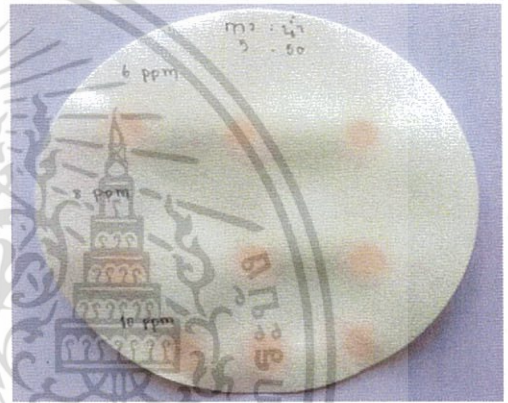
1) อัตราส่วนการต่อน้ำ 5:15



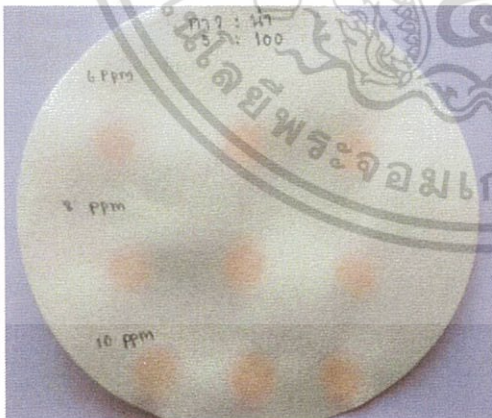
2) อัตราส่วนการต่อน้ำ 5:20



3) อัตราส่วนการต่อน้ำ 5:30



4) อัตราส่วนการต่อน้ำ 5:50



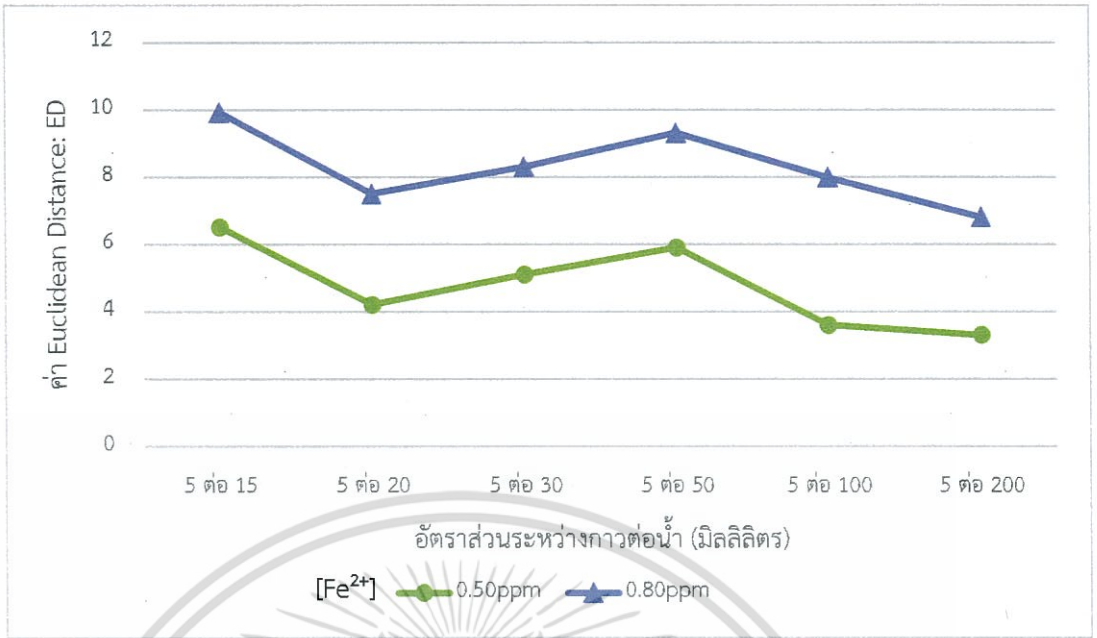
5) อัตราส่วนการต่อน้ำ 5:100



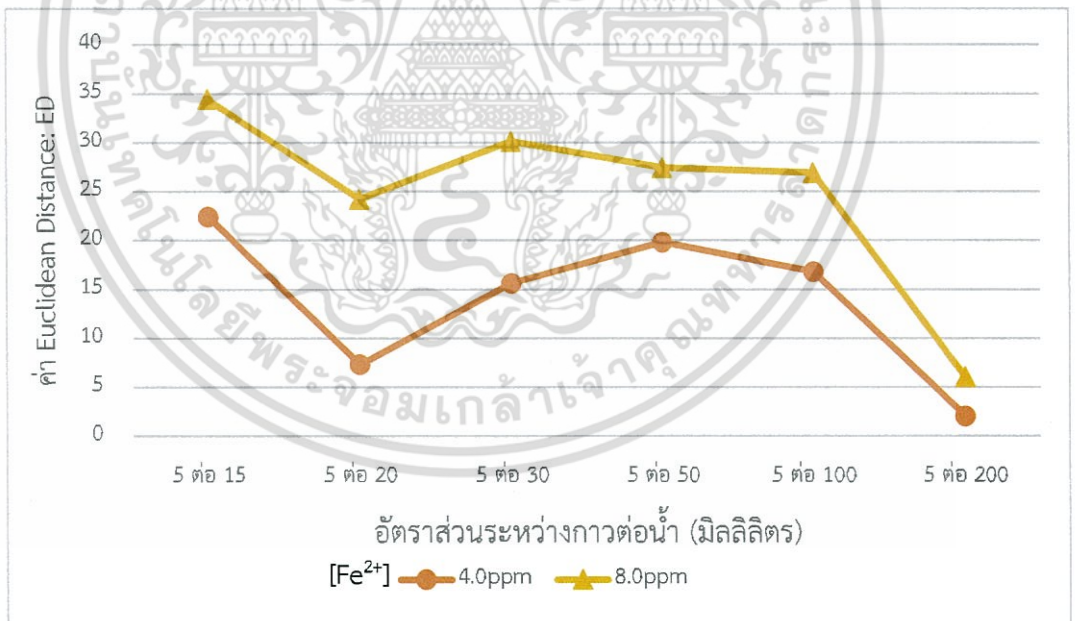
6) อัตราส่วนการต่อน้ำ 5:200

รูปที่ 4.3 อัตราส่วนการต่อน้ำของสารละลายการเจริญด้วยอโทพีแนมโทริลินที่ศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) กับอัตราส่วนระหว่างกวางต่อน้ำทดลองกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 0.50 และ 0.80 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก ข)

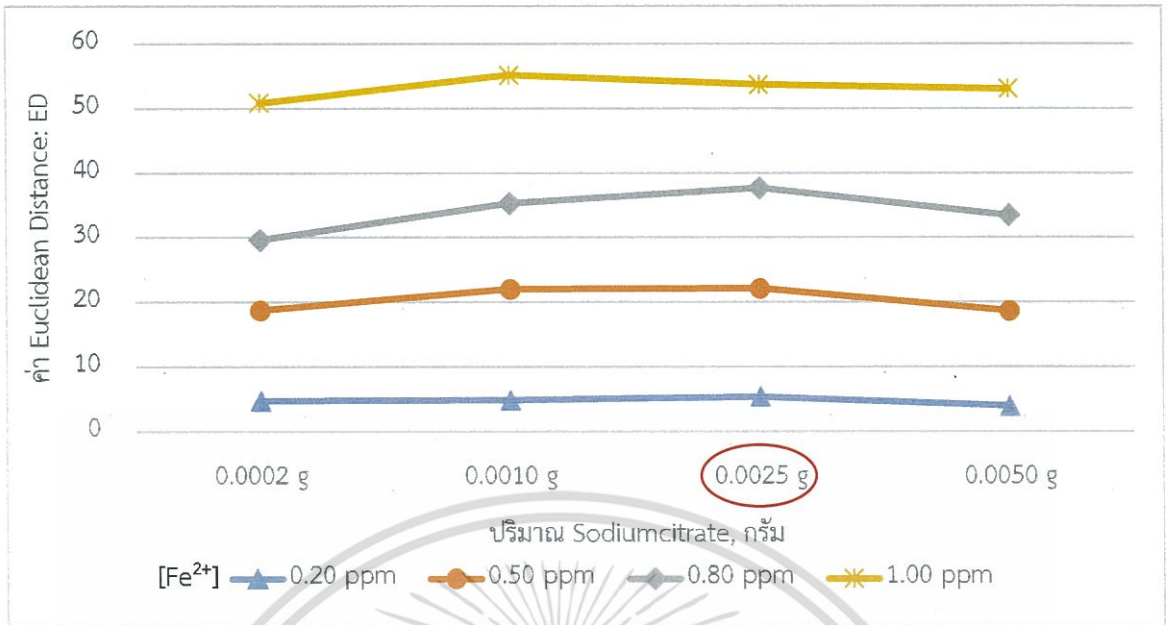


รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) กับอัตราส่วนระหว่างกวางต่อน้ำทดลองกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 4.0 และ 8.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก ข)

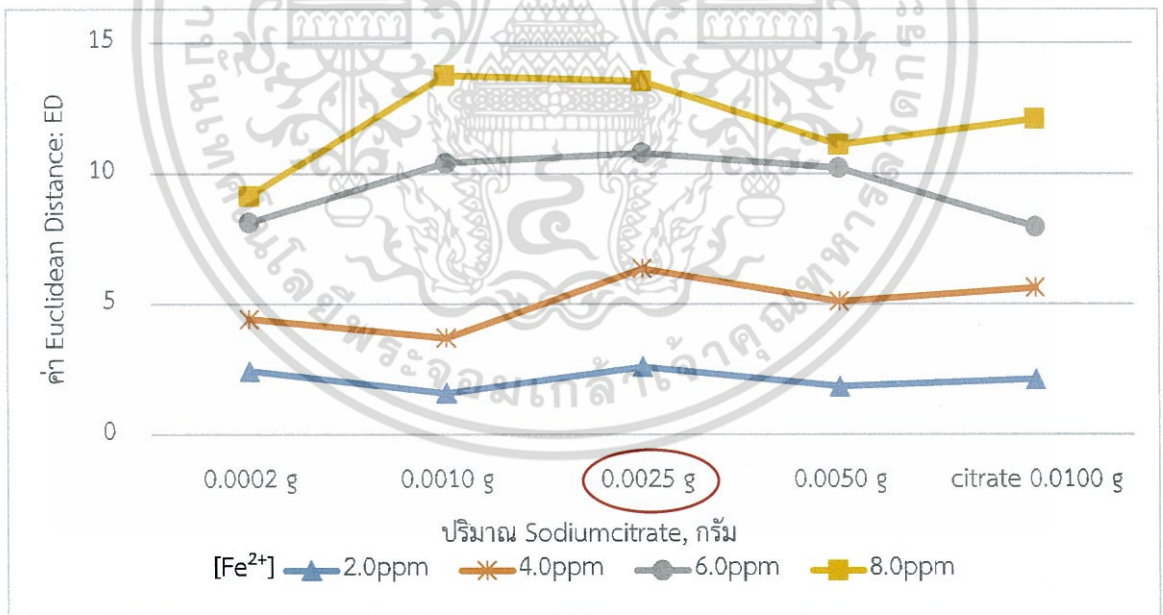
จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 ในการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายกาวยาเจ็ด้วย ออโทพีแนโนโทรลีนที่มีอัตราส่วนของกาวยาเจ็ สังกะสีได้ว่าในอัตราส่วนกาวยาเจ็ 5:15, 5:20, 5:30, 5:50, 5:100 และ 5:200 มิลลิลิตร พบว่าอัตราส่วนกาวยาเจ็ 5:15 มิลลิลิตร จะให้ค่าความแตกต่าง ความเข้มข้น (Euclidean distance) สูงที่สุด มีการดูดซับและแพร่ของสารละลายกาวยาเจ็ด้วยออโทพีแนโน- โทรลีนเป็นลักษณะวงกลมที่จำกัดพื้นที่และทิศทางบนกระดาษกรองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร แต่ถ้ามีปริมาณของน้ำในอัตราส่วนที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ไม่สามารถควบคุมพื้นที่การ แพร่กระจายของสารละลายเจ็ด้วยออโทพีแนโนโทรลีนได้ เนื่องจากสารละลายกาวยาเจ็ด้วยออโทพีแนโน- โทรลีนจะแพร่เกินวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตรและไร้ทิศทางเคลื่อนที่การ ดูดซับบนกระดาษกรองและให้ค่าความแตกต่างความเข้มข้นที่ค่อนข้างน้อย และถ้ามีปริมาณของน้ำใน อัตราส่วนที่น้อยลงจะทำให้สารละลายกาวยาเจ็มีความหนืดเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้สารละลายกาวยาเจ็เกิดการรวมตัว เป็นเนื้อเดียวกันได้ยากและใช้เวลาในการดูดซับบนกระดาษกรองนานขึ้น สารละลายกาวยาเจ็แห้งช้า เมื่อหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ทำให้สารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นมีสีไม่ชัดเจน ซึ่งเป็นไปได้ว่าอัตราส่วน กาวยาเจ็ที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองคืออัตราส่วนที่กาวยาเจ็ 5:15 ตามลำดับ

4.2.2 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของโซเดียมซิเตรท

เมื่อปริมาณของโซเดียมซิเตรทโดยใช้เป็น 0.0002, 0.0010, 0.0025, 0.0050 และ 0.0100 กรัม จากนั้นนำมาหยดลงบนกระดาษกรอง เบอร์ 1 จำนวน 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลา 20 นาที ทำการหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ช่วงความเข้มข้น 0.20 – 1.00 และ 2.0 –10.0 มิลลิกรัมต่อ ลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร มาทดสอบการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของออโทพีแนโนโทรลีนกับ เหล็ก (II) ทำการสแกนจุดสีและนำภาพดังกล่าวคำนวณหาความเข้มแสงด้วยโปรแกรม Image J™ นำมา พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมซิเตรทกับค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) กับปริมาณโซเดียมซิเตรททดลองกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 0.20, 0.50, 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก ค)



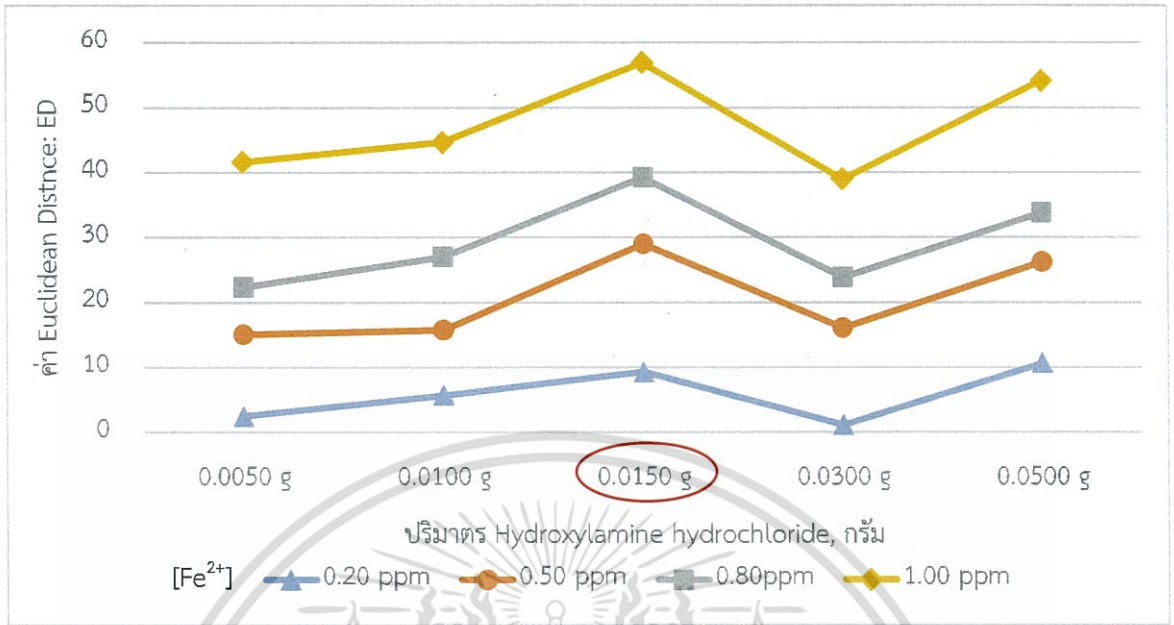
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) กับปริมาณโซเดียมซิเตรททดลองกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 2.0, 4.0, 6.0 และ 8.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

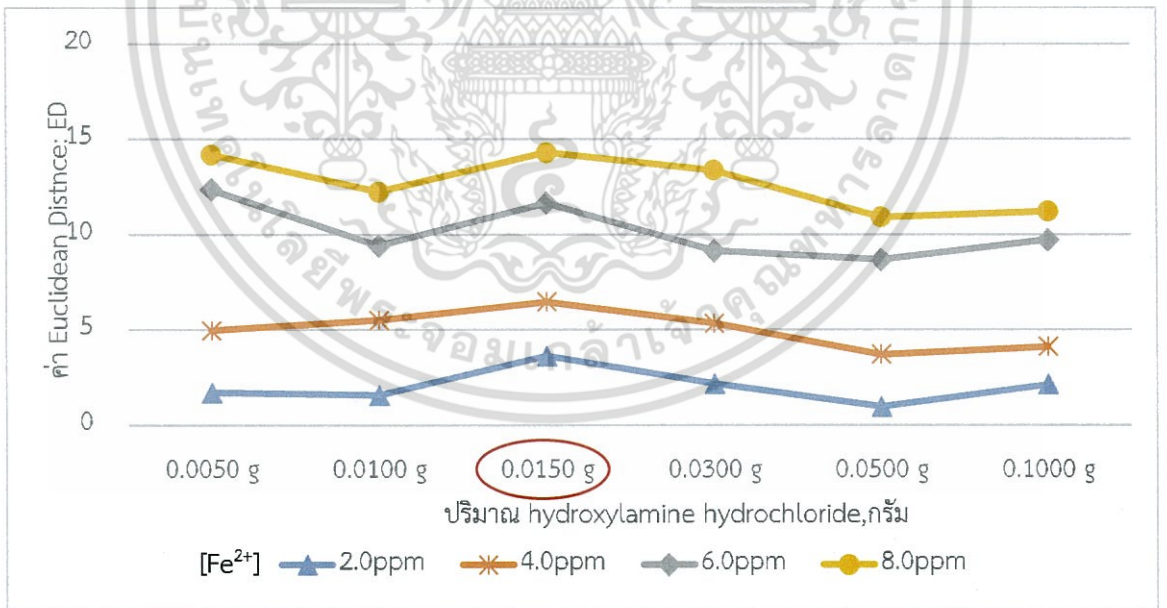
จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 ในการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของโซเดียมซิเตรท โดยปริมาณโซเดียมซิเตรทที่ใช้ศึกษาเป็น 0.0002, 0.0010, 0.0025, 0.0050 และ 0.0100 กรัม เมื่อได้สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ พบว่าปริมาณโซเดียมซิเตรทที่ 0.0025 กรัม ให้ค่าความแตกต่างความเข้มสี (Euclidean distance) ที่สูงที่สุด และสามารถใช้ได้ในทุกความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) โดยเมื่อหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ลงบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดจะเกิดสารเชิงซ้อนสีส้มแดงที่แพร่กระจายเป็นวงกลมอย่างชัดเจนและไม่สามารถแพร่กระจายผ่านออกนอกขอบเขตของหยดสารละลายขาวเจือด้วยอโทพีแนทโกลินบนกระดาษกรองได้ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงความเข้มสีที่แปรผันไปตามความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณโซเดียมซิเตรทอื่นๆ ที่ให้ค่าความแตกต่างความเข้มสี (Euclidean distance) ที่ค่อนข้างน้อย จึงเป็นไปได้ว่าที่ปริมาณโซเดียมซิเตรท 0.0025 กรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองต่อไป

4.2.3 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของไฮดรอกไซด์ลามีนไฮโดรคลอไรด์

เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณของไฮดรอกไซด์ลามีนไฮโดรคลอไรด์โดยใช้เป็น 0.0050, 0.0100, 0.0150, 0.0300, 0.0500 และ 0.1000 กรัม จากนั้นนำมาหยดลงบนกระดาษกรอง เบอร์ 1 ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ที่ไว้ให้แห้งใช้เวลา 20 นาที หยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ช่วงความเข้มข้น 0.2 – 1.0 และ 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ทำทดสอบการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของอโทพีแนทโกลินกับเหล็ก (II) ทำการสแกนจุดสีและนำภาพดังกล่าวคำนวณหาความเข้มแสงด้วยโปรแกรม Image J™ นำมาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมซิเตรทกับค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) กับ ปริมาณไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ที่ทดลองกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก ง)



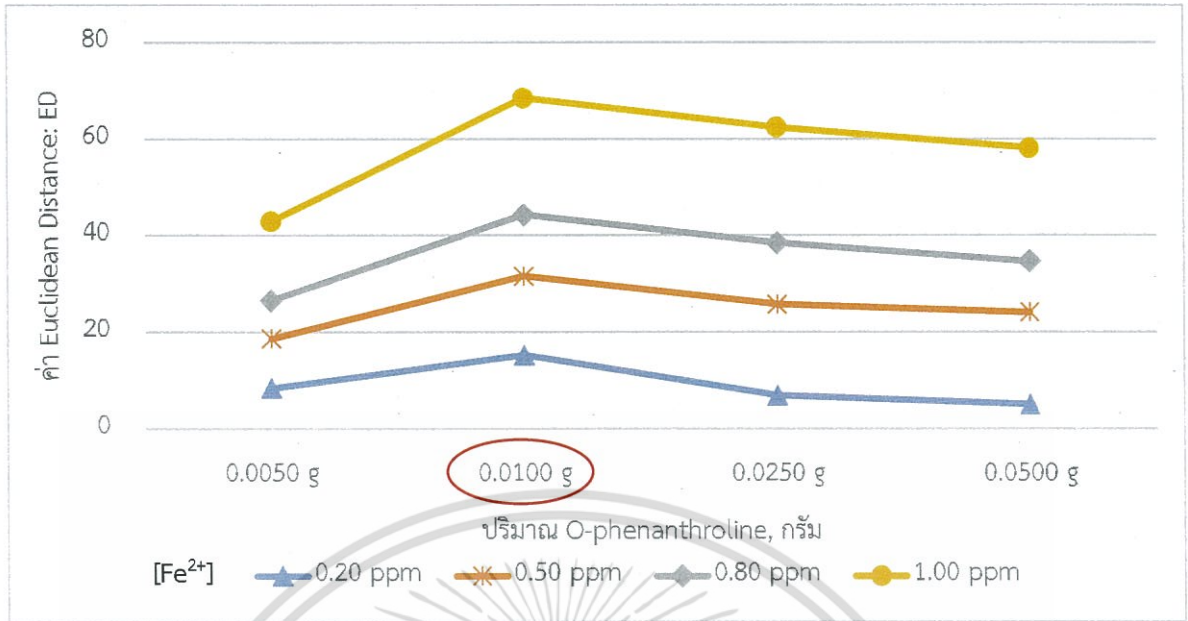
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) กับ ปริมาณไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ที่ทดลองกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า, ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

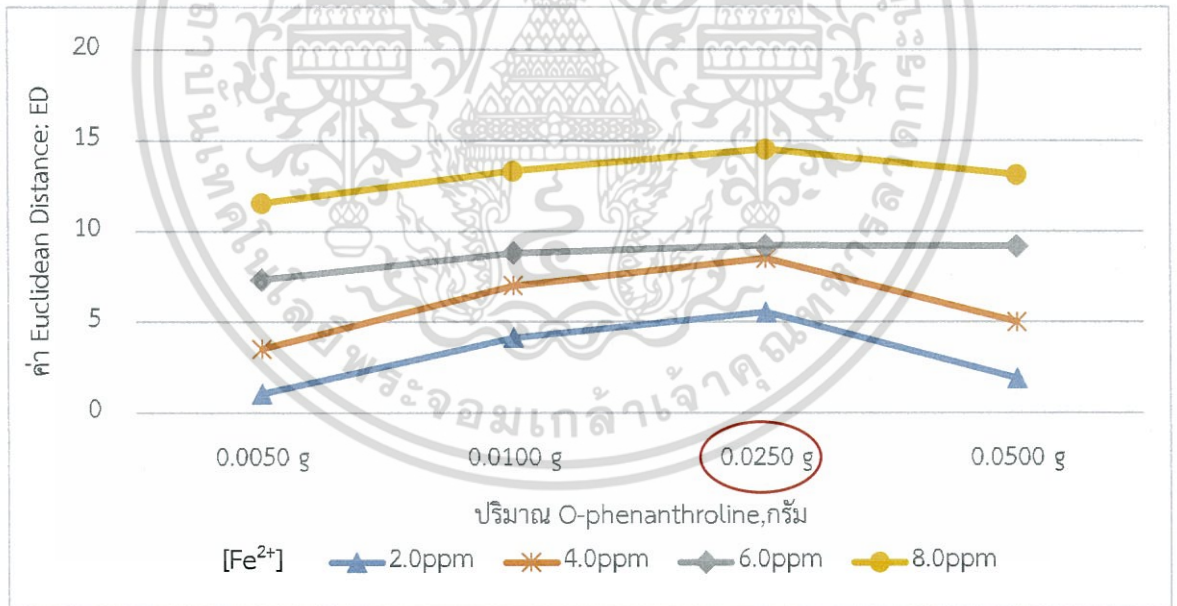
จากรูปที่ 4.8 และ 4.9 ในการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์ โดยปริมาณไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์ ที่ใช้ศึกษาเป็น 0.0050, 0.0100, 0.0150, 0.0300 และ 0.0500 กรัม เมื่อได้สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ พบว่าปริมาณไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์ ที่ 0.0150 กรัม ให้ค่าความแตกต่างความเข้มสี (Euclidean distance) ที่สูงที่สุด และสามารถใช้ได้ในทุกความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) โดยเมื่อหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ลงบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดจะเกิดสารเชิงซ้อนสีส้มแดงที่แพร่กระจายเป็นวงกลมอย่างชัดเจนและไม่สามารถแพร่กระจายผ่านออกนอกขอบเขตของหยดสารละลายขาวเจือด้วยอโทฟีแนนโทลีนบนกระดาษกรองได้ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงความเข้มสีที่แปรผันไปตามความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์ อื่นๆ ที่ให้ค่าความแตกต่างความเข้มสี (Euclidean distance) ที่ค่อนข้างน้อย จึงเป็นไปได้ว่าที่ปริมาณไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์ 0.0150 กรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองต่อไป

4.2.4 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของอโทฟีแนนโทลีน

เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณของอโทฟีแนนโทลีนโดยใช้เป็น 0.0050, 0.0100, 0.0250 และ 0.0500 กรัม จากนั้นนำมาหยดลงบนกระดาษกรอง เบอร์ 1 จำนวน 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ให้แห้งใช้เวลา 20 นาที ทำการหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ช่วงความเข้มข้น 0.20 – 1.00 และ 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ทำทดสอบการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของอโทฟีแนนโทลีนกับเหล็ก (II) ทำการสแกนจุดสีและนำภาพดังกล่าวคำนวณหาความเข้มแสงด้วยโปรแกรม Image J™ นำมาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอโทฟีแนนโทลีนกับค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) กับปริมาณอโทพีแนนโทรลีนทดลองกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก จ)



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) กับปริมาณอโทพีแนนโทรลีนทดลองกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก จ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 ในการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของอโทพีแนนโทรลิน โดยปริมาณอโทพีแนนโทรลิน ที่ใช้ศึกษาเป็น 0.0050, 0.0100, 0.0250 และ 0.0500 กรัม เมื่อได้สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ พบว่าปริมาณอโทพีแนนโทรลินที่ 0.0150 และ 0.0250 กรัม ใช้ในช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานหลัก (II) 0.20 – 1.00 และ 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ให้ค่าความแตกต่างความเข้มสี (Euclidean distance) ที่สูงที่สุด โดยเมื่อหยดสารละลายมาตรฐานหลัก (II) ลงบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดจะเกิดสารเชิงซ้อนสีส้มแดงที่แพร่กระจายเป็นวงกลมอย่างชัดเจนและไม่สามารถแพร่กระจายผ่านออกนอกขอบเขตของหยดสารละลายขาวเจือด้วยอโทพีแนนโทรลินบนกระดาษกรองได้ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงความเข้มสีที่แปรผันไปตามความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานหลัก (II) ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณอโทพีแนนโทรลินอื่นๆ ที่ให้ค่าความแตกต่างความเข้มสี (Euclidean distance) ที่ค่อนข้างน้อย จึงเป็นไปได้ว่าที่ปริมาณอโทพีแนนโทรลิน 0.0150 กรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองต่อไป

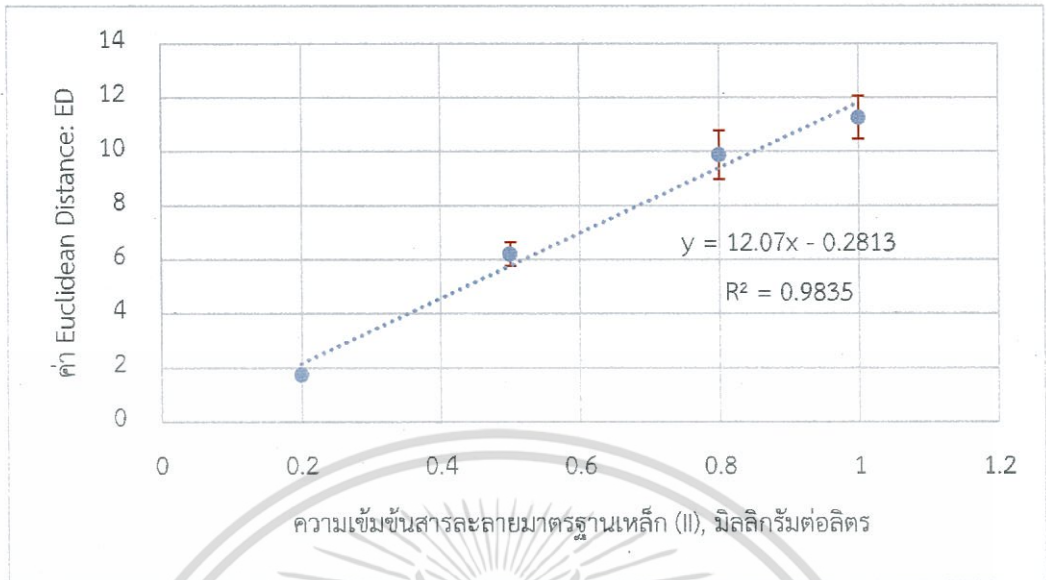
4.3 การทดสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ (Method Validation)

4.3.1 ความเป็นเส้นตรง (Linearity)

เมื่อนำค่าความแตกต่างของความเข้มแสง (แกน Y) และความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานหลัก (II) มาสร้างมาตรฐานทำให้สามารถหาความเป็นเส้นตรง ทั้งในช่วงความเข้มข้น 0.20 – 1.00 และ 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ผลการทดลองในตารางที่ 4.2 รูปที่ 4.13 และ ตารางที่ 4.3 รูปที่ 4.14 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า Euclidean Distance ของสารละลายมาตรฐานหลัก (II) ความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

| ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานหลัก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่า Euclidean Distance |
|--|------------------------|
| 0.20 | 1.73 ± 0.09 |
| 0.50 | 6.2 ± 0.42 |
| 0.80 | 9.87 ± 0.91 |
| 1.00 | 11.25 ± 0.8 |

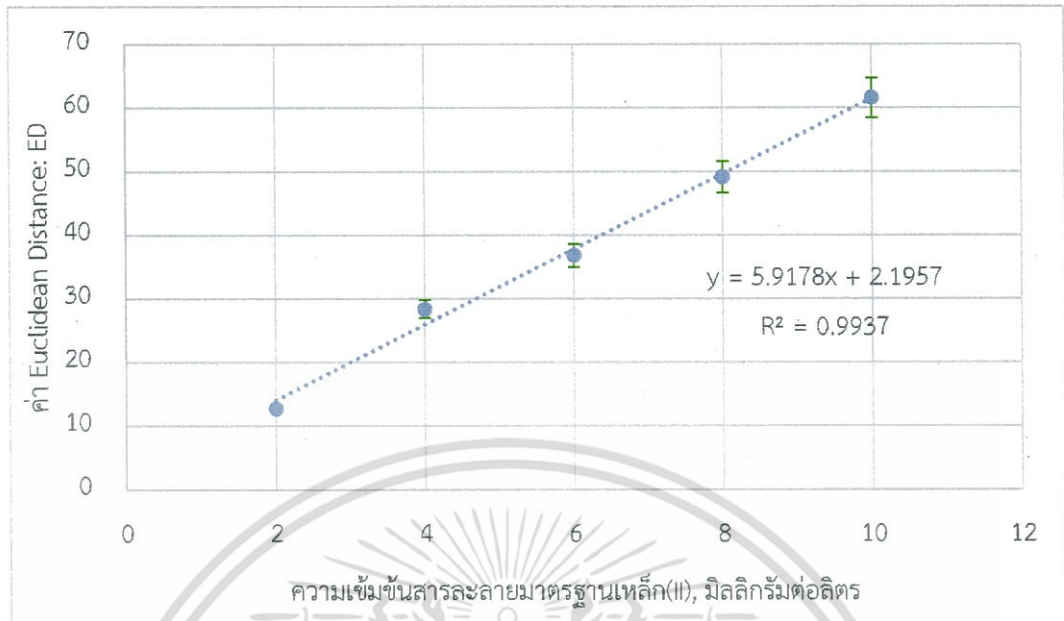


รูปที่ 4.12 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นกับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก ฉ)

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า Euclidean Distance ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ช่วงความเข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

| ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่า Euclidean Distance |
|--|------------------------|
| 2.0 | 12.75 ± 0.21 |
| 4.0 | 28.34 ± 0.29 |
| 6.0 | 36.75 ± 0.32 |
| 8.0 | 49.11 ± 0.42 |
| 10.0 | 61.54 ± 0.75 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างระหว่างความเข้มแสงกับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาคผนวก ฉ)

จากรูปที่ 4.12 และ 4.13 การศึกษาความเป็นเส้นตรงของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 0.20 – 1.00 และ 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถคำนวณผลและสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ พบว่ากราฟที่ได้มีแนวโน้มความเป็นเส้นตรง โดยดูได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) ในช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) 0.20 - 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.9835 และในช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) 2.0 - 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.9937 ตามลำดับ สรุปได้ว่าความสามารถของวิธีวิเคราะห์จะทำให้ได้ผลการวิเคราะห์นั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างๆกับค่าความแตกต่างความเข้มสี (Euclidean Distance)

4.3.2 ความเที่ยง (Precision)

วิธีที่ 1 แสดงการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานหลัก (II) ช่วงความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตรและ 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้น 0.50 และ 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยใช้สภาวะที่เหมาะสม และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ซึ่งนิยมแสดงเป็นร้อยละหรือ %RSD แสดงผลในตารางที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า Euclidean Distance ของสารละลายมาตรฐานหลัก (II) มีความเข้มข้น 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร (n=11)

| ครั้งที่ | ค่า Euclidean Distance |
|-----------|------------------------|
| 1 | 5.95 |
| 2 | 5.97 |
| 3 | 7.20 |
| 4 | 6.30 |
| 5 | 6.70 |
| 6 | 6.35 |
| 7 | 7.75 |
| 8 | 7.10 |
| 9 | 6.70 |
| 10 | 6.70 |
| 11 | 7.91 |
| ค่าเฉลี่ย | 6.79 |
| SD | 0.65 |
| %RSD | 9.64 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงค่า Euclidean Distance ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) มีความเข้มข้น 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (n=11)

| ครั้งที่ | ค่า Euclidean Distance |
|-----------|------------------------|
| 1 | 32.80 |
| 2 | 32.90 |
| 3 | 34.10 |
| 4 | 32.13 |
| 5 | 37.25 |
| 6 | 39.34 |
| 7 | 34.78 |
| 8 | 39.12 |
| 9 | 36.45 |
| 10 | 32.62 |
| 11 | 37.82 |
| ค่าเฉลี่ย | 35.39 |
| SD | 2.71 |
| %RSD | 7.64 |

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 ในการศึกษาหาความเที่ยง (Precision) ในวิธีที่ 1 โดยมีสารละลายมาตรฐานเหล็ก(II) เข้มข้น 0.50 และ 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่าการคำนวณที่ได้จากตารางให้ค่าร้อยละค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) เท่ากับ 9.64 และ 7.64 ตามลำดับ สามารถบอกได้ว่าผลวิเคราะห์ของวิธีวิเคราะห์นี้ให้ความเที่ยงค่อนข้างสูง

วิธีที่ 2 ทำการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 0.20 – 1.00 และ 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้น 0.50 และ 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเตรียมสารละลายมาตรฐานทั้งหมดอย่างละ 5 ขวด แต่ละขวดทำการหยดซ้ำขวดละ 3 จุด ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ซึ่งนิยมแสดงเป็นร้อยละหรือ %RSD แสดงผลในตารางที่ 4.6 และ 4.7

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า Euclidean Distance ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) มีความเข้มข้น 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 5 ขวด

| ขวดที่ | ค่า Euclidean Distance | | | |
|-----------|------------------------|------------|------------|-----------|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย |
| 1 | 7.30 | 6.90 | 6.40 | 6.87 |
| 2 | 5.90 | 6.00 | 6.30 | 6.07 |
| 3 | 6.40 | 6.70 | 6.30 | 6.47 |
| 4 | 6.80 | 7.20 | 7.20 | 7.07 |
| 5 | 7.10 | 6.60 | 6.50 | 6.73 |
| ค่าเฉลี่ย | - | | | 6.64 |
| SD | - | | | 0.38 |
| %RSD | - | | | 5.83 |

ตารางที่ 4.7 แสดงค่า Euclidean Distance ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) มีความเข้มข้น 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 5 ขวด

| ขวดที่ | ค่า Euclidean Distance | | | |
|-----------|------------------------|------------|------------|-----------|
| | ครั้งที่ 1 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | ค่าเฉลี่ย |
| 1 | 35.80 | 39.60 | 44.70 | 40.03 |
| 2 | 41.96 | 38.40 | 38.84 | 39.73 |
| 3 | 40.29 | 38.70 | 41.94 | 40.31 |
| 4 | 44.10 | 45.94 | 35.75 | 41.93 |
| 5 | 38.22 | 40.24 | 39.12 | 39.19 |
| ค่าเฉลี่ย | - | | | 40.23 |
| SD | - | | | 0.92 |
| %RSD | - | | | 2.29 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.6 และ 4.7 ในการศึกษาหาความเที่ยง (Precision) ในวิธีที่ 2 โดยมีสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 0.50 และ 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งหมดอย่างละ 5 ขวด พบว่าการคำนวณที่ได้จากตารางให้ค่าร้อยละค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) เท่ากับ 5.83 และ 2.29 ตามลำดับ สามารถบอกได้ว่าผลวิเคราะห์ของวิธีวิเคราะห์นี้ให้ความเที่ยงสูงมากโดยมีค่าใกล้เคียงหรือน้อยกว่า 5 (%RSD < 5)

4.3.3 ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of Detection: LOD)

ขีดจำกัดของการตรวจพบ (LOD) สามารถคำนวณได้จากสูตร ข้อ 3.3.6.4 จากกราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างความเข้มข้นของแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ได้สมการเส้นตรง ดังนี้

- 1) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ในช่วงความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ $y = 12.07x - 0.2813$
- 2) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ในช่วงความเข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ $y = 5.9175x + 2.193$

ผลการคำนวณขีดจำกัดของการตรวจพบ แสดงในตารางที่ 4.8 และ 4.9

ตารางที่ 4.8 แสดงค่า y_i , \hat{y}_i และ $(y_i - \hat{y}_i)$ ในการคำนวณขีดจำกัดของการตรวจพบ สำหรับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ในช่วงความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

| ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก(II) (มิลลิกรัมต่อลิตร) | y_i | \hat{y}_i | $(y_i - \hat{y}_i)$ | $(y_i - \hat{y}_i)^2$ |
|---|-------|-------------|---------------------|-----------------------|
| 0.20 | 1.73 | 2.13 | -0.40 | 0.16 |
| 0.50 | 6.20 | 5.75 | 0.45 | 0.20 |
| 0.80 | 9.87 | 9.40 | 0.47 | 0.22 |
| 1.00 | 11.25 | 11.80 | -0.55 | 0.30 |
| | | | รวม | 0.88 |
| | | | S_B | 0.67 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ในช่วงความเข้มข้น 0.20 - 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อคำนวณแทนค่า Y_B เท่ากับ -0.2813 และ S_B เท่ากับ 0.67 ในสมการจะได้ค่า LOD พบว่าได้ค่าขีดจำกัดของการตรวจพบเหล็ก (II) เท่ากับ 0.16 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 4.9 แสดงค่า y_i , \hat{y}_i และ $(y_i - \hat{y}_i)$ ในการคำนวณขีดจำกัดของการตรวจพบ สำหรับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ในช่วงความเข้มข้น 2.0 - 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

| ความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานเหล็ก(II) (มิลลิกรัมต่อลิตร) | y_i | \hat{y}_i | $(y_i - \hat{y}_i)$ | $(y_i - \hat{y}_i)^2$ |
|---|-------|-------------|---------------------|-----------------------|
| 2.0 | 12.75 | 14.03 | -1.28 | 1.64 |
| 4.0 | 28.34 | 25.86 | 2.48 | 6.15 |
| 6.0 | 36.75 | 37.70 | -0.95 | 0.90 |
| 8.0 | 49.11 | 49.53 | -0.42 | 0.18 |
| 10.0 | 61.54 | 61.37 | 0.17 | 0.03 |
| | | | รวม | 8.90 |
| | | | S_B | 1.89 |

ใช้กราฟมาตรฐานในช่วงความเข้มข้น 2.0 - 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อคำนวณแทนค่า Y_B เท่ากับ 2.193 และ S_B เท่ากับ 1.89 ในสมการจะได้ค่า LOD พบว่าได้ค่าขีดจำกัดของการตรวจพบเหล็ก (II) เท่ากับ 0.76 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.3.4 ขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation: LOQ)

ขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ) สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$LOQ = Y_B + 10S_B$$

จากกราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างความเข้มข้นของแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ในช่วงความเข้มข้น 0.20 - 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้สมการเส้นตรง คือ $y = 12.07x - 0.2813$ สำหรับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ในช่วงความเข้มข้น 2.0 - 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้สมการเส้นตรง คือ $y = 5.9175x + 2.193$ เมื่อคำนวณค่าขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ จะได้ เท่ากับ 0.48 และ 2.55 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

4.3.5 ความแม่นยำ (Accuracy)

สามารถประเมินได้โดยทำการหาค่าร้อยละคืนกลับ (%Recovery) โดยทำการเติมสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ลงในสารละลายตัวอย่าง จากนั้นทำการหาปริมาณเหล็ก(II) ในสารละลายตัวอย่างที่ถูกเติมสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ลงไป ทำการคำนวณค่าร้อยละคืนกลับ ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.10-4.11

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าร้อยละคืนกลับ (%recovery) ของตัวอย่างน้ำประปา, น้ำบาดาล และน้ำแร่

| ความเข้มข้นของ สารละลายเหล็ก (II) ที่เติม (มิลลิกรัมต่อลิตร) | น้ำประปา | | น้ำบาดาล | | น้ำแร่ | |
|--|---------------------------|-------------|---------------------------|------------|---------------------------|-------------|
| | ความเข้มข้น เหล็ก (II) | %recovery | ความเข้มข้น เหล็ก (II) | %recovery | ความเข้มข้น เหล็ก (II) | %recovery |
| 0.00 | N.D. | - | N.D. | - | N.D. | - |
| 0.50 | 0.49±1.39 | 98.77±1.39 | 0.47±1.28 | 95.29±1.28 | 0.44±0.21 | 89.83±0.21 |
| 0.80 | 0.67±0.95 | 84.72±0.95 | 0.75±1.24 | 93.84±1.24 | 0.62±2.83 | 77.99±2.83 |
| 1.00 | 1.02±1.28 | 102.57±1.28 | 0.94±0.99 | 94.04±0.99 | 0.77±1.73 | 77.22±1.73 |
| 4.00 | 3.98±2.01 | 98.77±2.01 | 3.89±0.78 | 97.45±0.78 | 3.97±0.88 | 99.35±0.88 |
| 6.00 | 5.30±1.48 | 85.72±1.48 | 5.81±1.62 | 96.99±1.62 | 5.90±1.73 | 98.45±1.73 |
| 8.00 | 7.69±0.83 | 102.57±0.83 | 7.85±1.83 | 98.13±1.83 | 8.02±2.04 | 100.35±2.04 |
| 10.00 | 9.06±1.28 | 90.64±1.28 | 9.75±1.21 | 97.56±1.21 | 9.15±2.06 | 91.57±2.06 |

หมายเหตุ N.D. หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดได้

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าร้อยละคืนกลับ (%recovery) ของตัวอย่างน้ำดื่ม 3 ยี่ห้อ

| ความเข้มข้นของสารละลาย เกลือ (II) ที่เติม (มิลลิกรัมต่อลิตร) | น้ำดื่ม 1 | | น้ำดื่ม 2 | | น้ำดื่ม 3 | |
|--|---------------------------|-------------|---------------------------|------------|---------------------------|-------------|
| | ความเข้มข้น เกลือ (II) | %recovery | ความเข้มข้น เกลือ (II) | %recovery | ความเข้มข้น เกลือ (II) | %recovery |
| 0.00 | N.D. | - | N.D. | - | N.D. | - |
| 0.50 | 0.59±2.93 | 118.57±2.93 | 0.42±1.37 | 85.35±1.37 | 0.76±1.29 | 88.02±1.29 |
| 0.80 | 0.73±1.82 | 92.18±1.82 | 0.66±1.57 | 83.17±1.57 | 1.15±2.91 | 103.79±2.91 |
| 1.00 | 0.99±1.73 | 99.34±1.73 | 0.97±2.13 | 97.61±2.13 | 1.44±2.48 | 112.19±2.48 |
| 2.00 | 2.29±1.93 | 114.64±1.93 | 1.62±1.97 | 81.43±1.97 | 1.73±1.93 | 86.57±1.93 |
| 4.00 | 4.60±1.64 | 115.12±1.64 | 3.35±0.96 | 83.81±0.96 | 3.91±0.94 | 97.96±0.94 |
| 6.00 | 6.19±0.91 | 103.16±0.91 | 5.10±0.37 | 85.03±0.37 | 5.04±1.39 | 84.09±1.39 |
| 8.00 | 8.78±2.73 | 109.86±2.73 | 7.47±1.24 | 93.49±1.24 | 7.51±1.24 | 93.91±1.24 |
| 10.00 | 9.74±2.95 | 97.47±2.95 | 9.65±2.13 | 96.59±2.13 | 9.90±1.48 | 99.04±1.48 |

หมายเหตุ N.D. หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดได้

จากตารางที่ 4.10-4.11 ตัวอย่างน้ำที่นำมาวิเคราะห์ มีค่าร้อยละการกลับคืนอยู่ในช่วง 80 – 120% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้มีความแม่นยำในการวิเคราะห์
เกลือ (II)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (II) ในตัวอย่างน้ำด้วยชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ โดยนำสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) มาหยดบนสารละลายกาวยืดด้วยอพอโทฟีแนนโทรลีนและรีเอเจนท์ที่อยู่บนกระดาษกรอง สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) จะทำปฏิกิริยากับอพอโทฟีแนนโทรลีนได้สารเชิงซ้อนสีส้มแดง ได้ผลสรุปดังนี้

จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างกาวยืดของสารละลายกาวยืดด้วยอพอโทฟีแนนโทรลีน คือ 5 ต่อ 15 สำหรับการเตรียมจุดรีเอเจนท์ในช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตรคือ ปริมาณโซเดียมซิติเรท 0.0025 กรัม ปริมาณไฮดรอกไซด์อะมิโนไฮโดรคลอไรด์ 0.0150 กรัม และปริมาณอพอโทฟีแนนโทรลีน 0.0100 และ 0.0150 กรัม ที่ความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ได้กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสงกับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ช่วงความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้สมการเส้นตรงคือ $ED = 12.07[Fe] - 0.2813$ มีค่า $R^2 = 0.9835$ และช่วงความเข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้สมการเส้นตรงคือ $ED = 5.9175[Fe] + 2.193$ มีค่า $R^2 = 0.9937$ ค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ (LOD) เท่ากับ 0.16 และ 0.76 mg/L ค่าขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ) เท่ากับ 0.48 และ 2.55 mg/L สำหรับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ในช่วงความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์หาเหล็ก (II) ในตัวอย่างน้ำ มีค่าร้อยละคืนกลับอยู่ในช่วง 80 - 120 %

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาอัตราส่วนกาวต่อน้ำที่ใช้เป็นสารช่วยยึดรีเอเจนต์ที่อัตราส่วนอื่นๆ เพื่อดูว่าเมื่อหยดกาวลงบนกระดาษกรองจะมีลักษณะการซึมและการกระจายตัวของกาวเป็นอย่างไร
2. ศึกษาเวลาที่ใช้ในการปั่นกวนสารละลายกาวเพื่อดูว่ากาวมีการผสมกับรีเอเจนต์เข้ากันเป็นสารละลายเนื้อเดียวกัน อาจใช้เวลาในการปั่นกวนกาวกับรีเอเจนต์มากกว่าเดิม เช่นเพิ่มเวลาเป็น 2 ชั่วโมง
3. ศึกษาการเกิดเชิงซ้อนของสารเมื่อเพิ่มปริมาณการหยดของสารที่วิเคราะห์ โดยหยดซ้ำลงไปทีจุดรีเอเจนต์เดิม เพื่อสังเกตว่ามีการเกิดเชิงซ้อน, การซึม และการกระจายตัวอย่างไร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Retrieved March 14, 2017, from <http://202.129.59.73/tn/March54/Ferum.htm>
- [2] Retrieved June 5, 2017, from http://www.pcd.go.th/info_regstd_water.html
- [3] รศ. อรุณี คงศักดิ์ไพศาล. 2550. “ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 1” คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [4] Retrieved March 15, 2017, from https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1_10-phenanthroline#section=CAS
- [5] Retrieved March 15, 2017, from <https://sites.google.com/a/wellesley.edu/chem-105-online-lab-manual/labs/04-part-1-analysis-of-iron-in-a-vitamin-pill>
- [6] ปริญา มาสวัสดิ์. 2554. “การหาปริมาณเหล็ก(II) ในน้ำธรรมชาติโดยใช้ระบบไทเทรต
อัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น” โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
- [7] Retrieved June 5, 2017, from <http://siammetalliczone.com/polyvinylacetate>
- [8] Retrieved June 5, 2017, from http://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinyl_acetate
- [9] Retrieved March 18, 2017, from <http://www.sc.mahidol.ac.th/tha/research/Webtestkit/advantage.htm>
- [10] Retrieved March 17, 2017, from <https://web.ku.ac.th/schoolnet/hardware/Scan.htm>
- [11] Retrieved March 17, 2017, from <http://www.officemate.co.th/Scanner>
- [12] Retrieved March 18, 2017, from <http://www.punyisa.com/photoshop/graphic/grapic4.html>
- [13] Retrieved March 17, 2017, from <http://webdesign.tutsplus.com>
- [14] L. Feng, Y. Zhang, L. Wen, Z. Shen and Y. Guan. 2011. “Colorimetric determination of copper(II) ions by filtration on sol-gel membrane doped with diphenylcarbazide” . Talanta.2011.
- [15] นฤชิต โพธิ์โรจน์. 2555. “ชุดทดสอบแบบจุดโดยใช้โซล-เจลเจือออโทฟิแนนโทรลีน
สำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณของเหล็ก (II)” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

- [16] จินตพร ไขสีทอง และคณะ. 2557, “การวิเคราะห์ไทโซยานิตด้วยการทดสอบแบบจุดบนกระดาษโดยใช้โซล-เจลเจือด้วยเหล็ก(II)” โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [17] Napaporn Youngvises, Kittigan Suwannasaroj, Jaron Jakmunee and Awadh AlSuhami. October 2015. “Multi-reverse flow injection analysis integrated with multi-optical sensor for simultaneous determination of Mn(II), Fe(II), Cu(II) and Fe (III) in natural waters”. *Talanta*. 2016.
- [18] กฤตยพร ศรีทองและคณะ. 2556, “ชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษสำหรับวิเคราะห์ไนไตรท์” โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [19] Bo Peng, Guorong Chen, Kai Li, Min Zhou, Ji Zhang and Shengguo Zhao. September 2017. “Dispersive liquid-liquid microextraction coupled with digital image colorimetric analysis for detection of total iron in water and food samples”. *Food Chemistry*. 2017.
- [20] Bo Peng, Guorong Chen, Kai Li, Min Zhou, Ji Zhang, Shengguo Zhao. June 2015. “Determination of total iron in water and foods by Dispersive liquid-liquid microextraction coupled with microvolume UV-Vis spectrophotometry” . *Food Chemistry*. 2015.



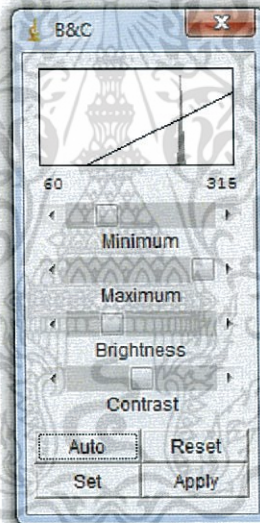
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การบันทึกค่าความเข้มแสงจากโปรแกรม Image J™

ขั้นตอนและวิธีการใช้โปรแกรม

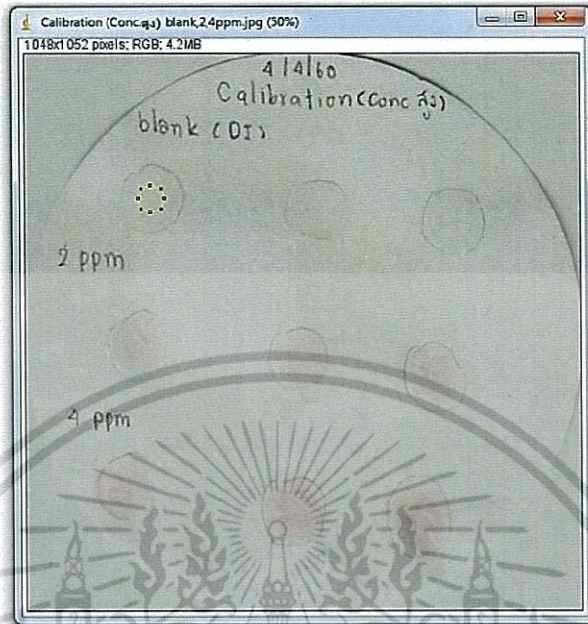
1. ลงโปรแกรม Image J™
2. เปิดโปรแกรม Image J™ จากนั้นทำการเลือกเมนู File > Open หรือกด Ctrl+O เพื่อเปิดภาพที่ต้องการ
3. ทำการปรับค่าความสว่าง (Brightness) หากภาพที่บันทึกมีความสว่างจางมองไม่เห็นขอบของจุดสี เลือกเมนู Image > Adjust > Brightness ดังรูป ก.1



รูป ก.1 แสดงการปรับค่า Brightness

4. กำหนดพื้นที่ในการวิเคราะห์เป็น วงกลม

5. คลิกเมาส์และลากที่รูปภาพ เพื่อสร้างกรอบวงกลมให้ครอบคลุมขนาดวง ของจุดสีที่ เกิดขึ้นบนบนกระดาษกรอง ดังรูป ก.2



รูป ก.2 แสดงการเลือกพื้นที่ในการวิเคราะห์ผล

6. เมื่อเลือกพื้นที่สำเร็จแล้วทำการเปิดหน้าต่างคำนวณค่า RGB โดยเลือกเมนู Plugin > Analyze > Measure RGB จะปรากฏหน้าต่าง Result ดังรูป ก.3

| Label | Area | Mean | Min | Max |
|------------------------|------|---------|-----|-----|
| 1 Red | 1976 | 187.957 | 181 | 195 |
| 2 Green | 1976 | 186.596 | 179 | 194 |
| 3 Blue | 1976 | 184.973 | 178 | 195 |
| 4 (R+G+B)/3 | 1976 | 186.690 | 180 | 194 |
| 5 0.299R+0.587G+0.114B | 1976 | 186.822 | 180 | 194 |

รูป ก.3 หน้าต่างแสดงผลการคำนวณค่าความเข้มสี RGB

7. หน้าต่างคำนวณ RGB จะปรากฏขึ้น นำค่า Mean ของค่าแสงสีแดง สีเขียว และ สีน้ำเงิน มาคำนวณค่าใน “สมการเชิงเส้นยูคลิด” เพื่อหาค่าความแตกต่างความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการคำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean Distance; ED)

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

| | | | |
|--------|----------|-----|--|
| โดยที่ | Δ | คือ | ผลต่างของแสงที่จุด Blank กับความเข้มแสง ณ จุดที่เกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มข้นต่างๆ |
| | I_R | คือ | ค่าความเข้มแสงสีแดง |
| | I_G | คือ | ค่าความเข้มแสงสีเขียว |
| | I_B | คือ | ค่าความเข้มแสงสีน้ำเงิน |

ตัวอย่างการคำนวณค่า ED ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ 2.0 ppm

จากสมการ

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

$$= \sqrt{(191.07-189.81)^2 + (189.68-179.08)^2 + (187.68-178.48)^2}$$

$$= 14.09$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.4

ตารางที่ ข.1 ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของสารละลายกาวเจือด้วยอโทพีแนนโทเรลีน ความเข้มข้น 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

| อัตราส่วนกาวต่อน้ำ | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | ED |
|--------------------|----------------------|-------------|-------------|-----------|
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 5:15 | 189.84±0.21 | 188.24±0.15 | 187.25±0.24 | 6.5±0.05 |
| 5:20 | 191.75±0.17 | 189.36±0.22 | 189.53±0.13 | 4.20±0.21 |
| 5:30 | 190.52±0.09 | 189.35±0.15 | 189.22±0.21 | 5.1±0.11 |
| 5:50 | 190.18±0.12 | 188.15±0.18 | 188.68±0.23 | 5.9±0.09 |
| 5:100 | 191.27±0.22 | 189.98±0.12 | 190.33±0.13 | 3.60±0.32 |
| 5:200 | 191.85±0.25 | 190.13±0.13 | 190.45±0.21 | 3.3±0.33 |

ตารางที่ ข.2 ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของสารละลายกาวเจือด้วยอโทพีแนนโทเรลีน ความเข้มข้น 0.8 มิลลิกรัมต่อลิตร

| อัตราส่วนกาวต่อน้ำ | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | ED |
|--------------------|----------------------|-------------|-------------|-----------|
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 5:15 | 179.37±0.21 | 180.67±0.17 | 180.48±0.19 | 9.91±0.12 |
| 5:20 | 181.89±0.31 | 182.72±0.14 | 182.20±0.24 | 7.5±0.22 |
| 5:30 | 181.11±0.15 | 181.23±0.26 | 180.29±0.28 | 8.3±0.34 |
| 5:50 | 179.19±0.27 | 180.82±0.22 | 180.94±0.17 | 9.3±0.38 |
| 5:100 | 181.33±0.19 | 182.10±0.27 | 181.94±0.13 | 7.98±0.45 |
| 5:200 | 188.37±0.18 | 187.45±0.22 | 188.56±0.12 | 6.8±0.58 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.5 ตารางที่ ข.3 ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของสารละลายกาวเจือด้วยอโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

| อัตราส่วนกาวต่อน้ำ | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | ED |
|--------------------|----------------------|-------------|-------------|-----------|
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 5:15 | 188.87±0.32 | 173.13±0.24 | 172.68±0.26 | 22.4±0.22 |
| 5:20 | 190.45±0.11 | 175.65±0.21 | 174.74±0.19 | 7.3±0.34 |
| 5:30 | 189.34±0.17 | 174.98±0.12 | 173.67±0.09 | 15.6±0.46 |
| 5:50 | 188.90±0.16 | 174.76±0.22 | 172.29±0.24 | 19.8±0.48 |
| 5:100 | 189.46±0.21 | 174.53±0.15 | 172.93±0.27 | 16.8±0.55 |
| 5:200 | 190.34±0.11 | 190.26±0.17 | 189.98±0.19 | 2.05±0.59 |

ตารางที่ ข.4 ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของสารละลายกาวเจือด้วยอโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 8.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

| อัตราส่วนกาวต่อน้ำ | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | ED |
|--------------------|----------------------|-------------|-------------|-----------|
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 5:15 | 188.04±0.10 | 164.85±0.18 | 161.96±0.09 | 33.4±0.24 |
| 5:20 | 188.02±0.19 | 163.67±0.21 | 162.72±0.23 | 24.2±0.32 |
| 5:30 | 188.23±0.17 | 163.86±0.15 | 162.58±0.19 | 30.1±0.41 |
| 5:50 | 188.63±0.09 | 171.93±0.12 | 170.22±0.15 | 27.4±0.44 |
| 5:100 | 189.65±0.16 | 172.18±0.08 | 171.98±0.18 | 26.9±0.49 |
| 5:200 | 190.22±0.12 | 187.56±0.17 | 187.81±0.25 | 6.0±0.50 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.6 ตารางที่ ค.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) กับ ปริมาณโซเดียมซัลเฟต สารละลายมาตรฐานหลักเข้มข้น 0.20, 0.50, 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

| ปริมาณโซเดียม-ซัลเฟต (กรัม) | สารละลายมาตรฐานหลัก (II) ความเข้มข้น 0.20 mg/L | | | ED |
|-----------------------------|--|-------------|-------------|-----------|
| | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | |
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0002 | 191.56±0.22 | 191.98±0.21 | 190.45±0.18 | 4.67±0.17 |
| 0.0010 | 192.27±0.13 | 191.79±0.21 | 190.13±0.25 | 4.78±0.28 |
| 0.0025 | 189.45±0.18 | 190.29±0.24 | 189.95±0.28 | 5.34±0.34 |
| 0.0050 | 192.93±0.10 | 190.23±0.24 | 191.54±0.23 | 3.87±0.47 |
| 0.0100 | 188.47±0.12 | 187.38±0.21 | 187.59±0.14 | 7.10±0.51 |

| ปริมาณโซเดียม-ซัลเฟต (กรัม) | สารละลายมาตรฐานหลัก (II) ความเข้มข้น 0.50 mg/L | | | ED |
|-----------------------------|--|-------------|-------------|------------|
| | ค่าความเข้มแสง | | | |
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0002 | 188.34±0.21 | 181.10±0.13 | 180.45±0.15 | 14.00±0.16 |
| 0.0010 | 187.93±0.25 | 179.32±0.22 | 178.44±0.24 | 17.17±0.27 |
| 0.0025 | 188.40±0.10 | 180.35±0.15 | 179.11±0.11 | 16.71±0.31 |
| 0.0050 | 188.45±0.15 | 180.38±0.18 | 180.86±0.16 | 14.73±0.33 |
| 0.0100 | 188.66±0.16 | 179.46±0.18 | 180.94±0.22 | 15.51±0.41 |

| ปริมาณโซเดียม-ซัลเฟต (กรัม) | สารละลายมาตรฐานหลัก (II) ความเข้มข้น 0.80 mg/L | | | ED |
|-----------------------------|--|-------------|-------------|------------|
| | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | |
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0002 | 190.38±0.08 | 185.35±0.15 | 184.94±.14 | 10.93±0.21 |
| 0.0010 | 189.39±0.19 | 183.94±0.14 | 181.37±0.17 | 13.30±0.23 |
| 0.0025 | 188.55±0.15 | 179.63±0.13 | 180.28±0.18 | 15.61±0.31 |
| 0.0050 | 188.35±0.19 | 180.30±0.10 | 180.79±0.19 | 14.82±0.42 |
| 0.0100 | 188.43±0.13 | 180.39±0.09 | 180.44±0.14 | 14.74±0.44 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ปริมาณโซเดียม- ซิเตรท (กรัม) | สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 1.00 mg/L | | | ED |
|---------------------------------|---|-------------|-------------|------------|
| | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | |
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0002 | 187.38±0.18 | 165.93±0.12 | 168.49±0.19 | 21.20±0.22 |
| 0.0010 | 188.93±0.13 | 175.29±0.09 | 176.03±0.13 | 19.83±0.23 |
| 0.0025 | 189.40±0.10 | 178.55±0.13 | 177.27±0.17 | 15.96±0.36 |
| 0.0050 | 188.54±0.14 | 175.39±0.19 | 175.92±0.12 | 19.55±0.45 |
| 0.0100 | 186.03±0.13 | 161.93±0.23 | 161.36±0.16 | 26.74±0.56 |

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.7 ตารางที่ ค.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) กับ ปริมาณโซเดียมซิเตรท สารละลายมาตรฐานเหล็กเข้มข้น 2.0, 4.0, 6.0 และ 8.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

| ปริมาณโซเดียม- ซิเตรท (กรัม) | สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 2.0 mg/L | | | ED |
|---------------------------------|--|-------------|-------------|-----------|
| | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | |
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0002 | 192.94±0.14 | 191.73±0.13 | 191.39±0.18 | 2.43±0.33 |
| 0.0010 | 192.93±0.18 | 192.19±0.29 | 191.55±0.15 | 1.59±0.23 |
| 0.0025 | 192.38±0.18 | 191.97±0.17 | 191.58±0.13 | 2.58±0.38 |
| 0.0050 | 192.94±0.15 | 192.83±0.23 | 191.39±0.19 | 1.84±0.34 |
| 0.1000 | 192.53±0.13 | 191.88±0.18 | 191.33±0.23 | 2.11±0.41 |

| ปริมาณโซเดียม- ซิเตรท (กรัม) | สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 4.0 mg/L | | | ED |
|---------------------------------|--|-------------|-------------|-----------|
| | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | |
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0002 | 191.10±0.19 | 189.72±0.12 | 190.47±0.17 | 4.22±0.24 |
| 0.0010 | 192.19±0.09 | 190.37±0.17 | 191.94±0.24 | 3.69±0.29 |
| 0.0025 | 190.36±0.26 | 189.38±0.18 | 189.49±0.19 | 6.34±0.34 |
| 0.0050 | 190.39±0.09 | 189.49±0.17 | 190.38±0.18 | 5.10±0.41 |
| 0.1000 | 190.30±0.13 | 190.38±0.18 | 189.86±0.16 | 5.62±0.52 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ปริมาณโซเดียม- ซิเตรท (กรัม) | สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 6.0 mg/L | | | ED |
|---------------------------------|--|-------------|-------------|------------|
| | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | |
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0002 | 189.39±0.39 | 183.93±0.13 | 184.93±0.31 | 8.12±0.27 |
| 0.0010 | 188.30±0.20 | 180.36±0.16 | 179.20±0.40 | 10.39±0.34 |
| 0.0025 | 188.03±0.42 | 180.78±0.36 | 180.22±0.22 | 10.78±0.38 |
| 0.0050 | 188.28±0.18 | 179.92±0.22 | 180.38±0.38 | 10.21±0.41 |
| 0.1000 | 190.10±0.40 | 185.93±0.33 | 185.30±0.20 | 7.84±0.44 |

| ปริมาณโซเดียม- ซิเตรท (กรัม) | สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 8.0 mg/L | | | ED |
|---------------------------------|--|-------------|-------------|------------|
| | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | |
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0002 | 189.29±0.22 | 178.74±0.14 | 177.03±0.33 | 9.13±0.23 |
| 0.0010 | 188.03±0.13 | 175.03±0.22 | 169.33±0.11 | 13.75±0.25 |
| 0.0025 | 187.91±0.23 | 175.29±0.38 | 170.38±0.11 | 13.53±0.33 |
| 0.0050 | 189.22±0.27 | 176.30±0.28 | 175.19±0.33 | 11.10±0.41 |
| 0.1000 | 189.38±0.44 | 176.03±0.13 | 175.88±0.33 | 12.08±0.48 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.8 ตารางที่ ง.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) กับ ปริมาณไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์ สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 0.20, 0.50, 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

| ปริมาณไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์ (กรัม) | สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 0.20 mg/L | | | ED |
|--|---|-------------|-------------|------------|
| | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | |
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0050 | 190.29±0.28 | 189.93±0.34 | 190.18±0.53 | 2.43±0.13 |
| 0.0100 | 190.31±0.37 | 188.48±0.18 | 188.93±0.21 | 5.62±0.22 |
| 0.0150 | 189.20±0.24 | 186.29±0.20 | 187.39±0.19 | 9.25±0.25 |
| 0.0300 | 192.03±0.17 | 190.37±0.18 | 191.33±0.31 | 1.12±0.32 |
| 0.0500 | 188.30±0.34 | 177.14±0.17 | 176.36±0.18 | 10.60±0.36 |
| 0.1000 | 188.27±0.45 | 176.28±0.19 | 174.85±0.22 | 12.54±0.44 |

| ปริมาณไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์ (กรัม) | สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 0.50 mg/L | | | ED |
|--|---|-------------|-------------|------------|
| | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | |
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0050 | 188.49±0.19 | 176.35±0.15 | 174.83±0.12 | 12.60±0.16 |
| 0.0100 | 188.30±0.30 | 179.14±0.24 | 177.36±0.18 | 10.06±0.26 |
| 0.0150 | 187.02±0.18 | 174.49±0.28 | 173.63±0.34 | 19.66±0.34 |
| 0.0300 | 188.66±0.36 | 176.95±0.45 | 175.30±0.10 | 14.92±0.41 |
| 0.0500 | 188.15±0.38 | 176.03±0.30 | 174.83±0.28 | 15.56±0.44 |
| 0.1000 | 186.19±0.30 | 169.39±0.19 | 170.35±0.46 | 21.70±0.47 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ปริมาณไฮดรอกไซด์ มีนไฮดรอกไซด์ (กรัม) | สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 0.80 mg/L | | | ED |
|---|---|-------------|-------------|------------|
| | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | |
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0050 | 189.46±0.48 | 181.03±0.16 | 180.83±0.44 | 7.31±0.24 |
| 0.0100 | 188.94±.38 | 180.33±0.33 | 177.44±0.34 | 11.30±0.33 |
| 0.0150 | 188.45±0.25 | 180.98±0.30 | 178.95±0.11 | 10.33±0.35 |
| 0.0300 | 189.83±0.18 | 181.94±0.12 | 180.93±0.13 | 7.75±0.41 |
| 0.0500 | 189.81±0.31 | 181.03±0.23 | 180.77±0.17 | 7.65±0.45 |
| 0.1000 | 189.93±0.17 | 181.92±0.32 | 179.43±0.43 | 9.60±0.46 |

| ปริมาณไฮดรอกไซด์ มีนไฮดรอกไซด์ (กรัม) | สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 1.00 mg/L | | | ED |
|---|---|-------------|-------------|------------|
| | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | |
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0050 | 186.30±0.22 | 165.02±0.35 | 167.87±0.27 | 19.20±0.22 |
| 0.0100 | 187.36±0.29 | 169.36±0.16 | 169.77±0.17 | 17.60±0.26 |
| 0.0150 | 187.77±0.56 | 169.31±0.23 | 169.41±0.11 | 17.60±0.36 |
| 0.0300 | 188.26±0.36 | 170.88±0.18 | 170.48±0.32 | 15.14±0.34 |
| 0.0500 | 186.29±0.29 | 164.02±0.31 | 165.85±0.34 | 20.25±0.31 |
| 1.0000 | 186.44±0.34 | 163.58±0.28 | 164.95±0.30 | 21.80±0.28 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.9 ตารางที่ ง.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) กับ ปริมาณไฮดรอกซีลาไมน์ไฮโดรคลอไรด์ สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

| ปริมาณไฮดรอกซีลา- มีนไฮโดรคลอไรด์ (กรัม) | สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 2.0 mg/L | | | ED |
|--|--|-------------|-------------|-----------|
| | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | |
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0050 | 192.67±0.15 | 192.94±0.24 | 192.77±0.37 | 1.68±0.32 |
| 0.0100 | 192.04±0.27 | 192.84±0.30 | 193.15±0.15 | 1.55±0.34 |
| 0.0150 | 192.72±0.22 | 191.88±0.18 | 190.39±0.35 | 3.62±0.41 |
| 0.0300 | 192.93±0.36 | 192.34±0.33 | 191.83±0.23 | 2.16±0.43 |
| 0.0500 | 193.84±0.49 | 192.92±0.23 | 192.48±0.38 | 0.95±0.45 |
| 0.1000 | 192.38±0.18 | 192.55±0.25 | 192.84±0.34 | 2.11±0.51 |

| ปริมาณไฮดรอกซีลา- มีนไฮโดรคลอไรด์ (กรัม) | สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 4.0 mg/L | | | ED |
|--|--|-------------|-------------|-----------|
| | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | |
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0050 | 190.33±0.38 | 189.45±0.29 | 189.53±0.33 | 4.97±0.17 |
| 0.0100 | 189.84±0.29 | 187.28±0.18 | 187.33±0.37 | 5.51±0.21 |
| 0.0150 | 188.48±0.39 | 186.20±0.40 | 186.94±0.34 | 6.46±0.26 |
| 0.0300 | 189.11±0.41 | 187.43±0.22 | 187.49±0.29 | 5.33±0.33 |
| 0.0500 | 192.28±0.13 | 191.16±0.27 | 190.47±0.31 | 3.70±0.37 |
| 0.1000 | 191.19±0.39 | 190.11±0.33 | 189.92±0.20 | 4.10±0.41 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ปริมาณไฮดรอกซีลา- มีนไฮโดรคลอไรด์ (กรัม) | สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 6.0 mg/L | | | ED |
|--|--|-------------|-------------|------------|
| | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | |
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0050 | 188.72±0.19 | 177.56±0.36 | 177.33±0.23 | 12.36±0.31 |
| 0.0100 | 189.84±0.23 | 179.34±0.24 | 179.35±0.15 | 9.42±0.34 |
| 0.0150 | 188.92±0.25 | 177.29±0.29 | 178.38±0.28 | 11.65±0.37 |
| 0.0300 | 189.88±0.18 | 180.37±0.27 | 179.88±.38 | 9.15±0.29 |
| 0.0500 | 190.48±0.38 | 180.33±0.33 | 180.55±0.22 | 8.67±0.33 |
| 0.1000 | 189.91±0.31 | 179.55±0.35 | 179.43±0.23 | 9.70±0.28 |

| ปริมาณไฮดรอกซีลา- มีนไฮโดรคลอไรด์ (กรัม) | สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 8.0 mg/L | | | ED |
|--|--|-------------|-------------|------------|
| | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | |
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0050 | 187.37±0.27 | 174.92±0.22 | 174.55±0.45 | 14.20±0.17 |
| 0.0100 | 188.49±0.19 | 176.11±0.31 | 175.92±0.42 | 12.24±0.24 |
| 0.0150 | 187.47±0.37 | 174.95±0.35 | 174.66±0.28 | 14.3±0.33 |
| 0.0300 | 189.56±0.46 | 175.27±0.47 | 175.15±0.29 | 13.37±0.37 |
| 0.0500 | 190.28±0.38 | 176.82±0.42 | 176.66±0.16 | 10.91±0.21 |
| 0.1000 | 190.11±0.41 | 175.29±0.39 | 175.27±0.27 | 11.21±0.31 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.10

ตารางที่ จ.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) กับ

ปริมาณอโทพีแนนโทรีน สารละลายมาตรฐานหลัก (II) เข้มข้น 0.20, 0.50, 0.80 และ 1.00

มิลลิกรัมต่อลิตร

| ปริมาณอโทพีแนน- โทรีน (กรัม) | สารละลายมาตรฐานหลัก (II) ความเข้มข้น 0.20 mg/L | | | ED |
|---------------------------------|--|-------------|-------------|------------|
| | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | |
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0050 | 191.80±0.22 | 180.19±0.29 | 179.49±0.19 | 8.35±0.25 |
| 0.0100 | 188.36±0.28 | 174.11±0.21 | 173.19±0.39 | 15.21±0.28 |
| 0.0250 | 191.11±0.31 | 182.33±0.23 | 181.33±0.43 | 6.80±0.31 |
| 0.0500 | 191.73±0.33 | 186.38±0.28 | 185.22±0.12 | 4.92±0.42 |

| ปริมาณอโทพีแนน- โทรีน (กรัม) | สารละลายมาตรฐานหลัก (II) ความเข้มข้น 0.50 mg/L | | | ED |
|---------------------------------|--|-------------|-------------|------------|
| | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | |
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0050 | 188.20±0.10 | 177.49±0.29 | 176.66±0.16 | 10.21±0.13 |
| 0.0100 | 187.21±0.31 | 173.49±0.19 | 173.09±0.29 | 16.25±0.25 |
| 0.0250 | 187.17±0.32 | 171.44±0.31 | 172.46±0.21 | 18.90±0.29 |
| 0.0500 | 187.10±0.37 | 169.33±0.23 | 170.35±0.25 | 19.08±0.38 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ปริมาณอโทพีแนน- โทรลีน (กรัม) | สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 0.80 mg/L | | | ED |
|----------------------------------|---|-------------|-------------|------------|
| | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | |
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0050 | 189.45±0.25 | 180.22±0.27 | 180.34±0.25 | 7.91±0.11 |
| 0.0100 | 187.59±0.29 | 174.29±0.19 | 173.44±0.17 | 12.82±0.22 |
| 0.0250 | 187.43±0.17 | 174.39±0.34 | 173.15±0.28 | 12.74±0.24 |
| 0.0500 | 188.29±0.28 | 176.68±0.38 | 176.94±0.17 | 10.61±0.31 |

| ปริมาณอโทพีแนน- โทรลีน (กรัม) | สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 1.00 mg/L | | | ED |
|----------------------------------|---|-------------|-------------|------------|
| | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | |
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0050 | 187.45±0.22 | 167.33±0.37 | 168.30±0.40 | 16.40±0.24 |
| 0.0100 | 187.22±0.19 | 159.44±0.23 | 160.16±0.36 | 24.16±0.26 |
| 0.0250 | 187.35±0.18 | 160.32±0.45 | 162.19±0.28 | 23.91±0.31 |
| 0.0500 | 187.34±0.27 | 161.87±0.37 | 162.59±0.18 | 23.40±0.34 |

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.11 ตารางที่ จ.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) กับ ปริมาณอโทพีแนนโทรลีน สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 2.0,4.0,6.0 และ 8.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

| ปริมาณอโทพีแนน- โทรลีน (กรัม) | สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 2.0 mg/L | | | ED |
|----------------------------------|--|-------------|-------------|-----------|
| | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | |
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0050 | 192.94±0.27 | 191.54±0.14 | 191.49±0.19 | 1.04±0.24 |
| 0.0100 | 191.39±0.19 | 188.44±0.24 | 188.34±0.24 | 4.13±0.23 |
| 0.0250 | 190.59±0.29 | 187.85±0.35 | 187.26±0.26 | 5.53±0.33 |
| 0.0500 | 192.77±0.37 | 190.46±0.26 | 191.22±0.29 | 1.89±0.39 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ปริมาณอโทพีแนน- โทรสีน (กรัม) | สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 6.0 mg/L | | | ED |
|----------------------------------|--|-------------|-------------|-----------|
| | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | |
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0050 | 189.56±0.21 | 185.03±0.13 | 184.22±0.22 | 7.32±0.22 |
| 0.0100 | 189.94±0.24 | 183.28±0.28 | 182.40±0.30 | 8.80±0.28 |
| 0.0250 | 189.49±0.31 | 181.56±0.26 | 180.69±0.19 | 9.20±0.32 |
| 0.0500 | 189.25±0.25 | 181.89±0.39 | 180.46±0.26 | 9.18±0.38 |

| ปริมาณอโทพีแนน- โทรสีน (กรัม) | สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 8.0 mg/L | | | ED |
|----------------------------------|--|-------------|-------------|------------|
| | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | |
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0050 | 188.43±0.13 | 179.58±0.28 | 179.44±0.24 | 11.55±0.27 |
| 0.0100 | 188.11±0.21 | 177.68±0.24 | 177.12±0.22 | 13.30±0.21 |
| 0.0250 | 187.22±0.32 | 174.53±0.33 | 175.19±0.39 | 14.52±0.35 |
| 0.0500 | 188.29±0.39 | 177.45±0.29 | 178.95±0.35 | 13.10±0.37 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.12

ตารางที่ ฉ.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 0.20, 0.50, 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

| ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก(II), (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | ED |
|--|----------------------|-------------|-------------|------------|
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.00 | 190.2±0.12 | 188.91±0.21 | 187.0±0.19 | - |
| 0.20 | 192.73±0.33 | 191.83±0.23 | 191.99±0.25 | 1.73±0.23 |
| 0.50 | 189.18±0.38 | 184.20±0.30 | 183.55±0.35 | 6.20±0.35 |
| 0.80 | 188.29±0.29 | 182.45±0.35 | 180.56±0.32 | 9.87±0.27 |
| 1.00 | 188.76±0.36 | 179.39±0.29 | 179.39±0.33 | 11.25±0.45 |

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.13

ตารางที่ ฉ.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

| ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก(II), (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | ED |
|--|----------------------|-------------|---------------|------------|
| | สีแดง | สีเขียว (G) | สีน้ำเงิน (B) | |
| 0.0 | 190.2±0.34 | 188.91±0.81 | 187.0±0.46 | * |
| 2.0 | 189.33±1.38 | 177.98±0.71 | 177.45±0.19 | 12.75±0.21 |
| 4.0 | 185.54±2.18 | 166.26±0.62 | 165.58±0.21 | 28.34±0.58 |
| 6.0 | 188.49±0.73 | 162.38±0.72 | 161.51±0.18 | 36.75±0.75 |
| 8.0 | 185.02±2.03 | 152.73±1.73 | 151.53±0.52 | 49.11±0.32 |
| 10.0 | 182.82±0.16 | 146.12±0.83 | 145.7±1.83 | 61.54±0.42 |

ภาคผนวก ข.

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มข้น และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากตารางที่ 4.4

ตารางที่ ข.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มข้น (Euclidean distance) สารละลายมาตรฐานหลัก (II) เข้มข้น 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร (n=11) ช่วงความเข้มข้น 0.20-1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

| ครั้งที่ | ค่าความเข้มข้น | | | ED |
|----------|----------------|-------------|-------------|-----------|
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 1 | 190.48±0.21 | 171.39±0.24 | 169.51±0.31 | 5.95±0.25 |
| 2 | 190.69±0.19 | 169.46±0.27 | 168.66±0.36 | 5.97±0.29 |
| 3 | 189.29±0.29 | 167.15±0.25 | 165.38±0.38 | 7.20±0.30 |
| 4 | 189.18±0.25 | 168.78±0.28 | 167.17±0.27 | 6.30±0.26 |
| 5 | 189.39±0.17 | 167.13±0.23 | 167.03±0.29 | 6.70±0.23 |
| 6 | 189.21±0.24 | 167.36±0.26 | 166.92±0.22 | 6.35±0.25 |
| 7 | 189.19±0.28 | 165.56±0.36 | 164.39±0.26 | 7.75±0.30 |
| 8 | 189.28±0.31 | 165.43±0.33 | 165.93±0.35 | 7.10±0.32 |
| 9 | 189.46±0.34 | 166.49±0.39 | 167.93±0.41 | 6.70±0.40 |
| 10 | 189.55±0.35 | 166.39±0.41 | 167.68±0.37 | 6.79±0.39 |
| 11 | 188.67±0.37 | 166.18±0.48 | 164.22±0.39 | 7.9±0.43 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มข้น และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพันธ์อ้างอิงจากรายที่ 4.5 ตารางที่ ข.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มข้น (Euclidean distance) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เข้มข้น 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (n=11) ช่วงความเข้มข้น 2.0-10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

| ครั้งที่ | ค่าความเข้มข้น | | | ED |
|----------|----------------|-------------|-------------|------------|
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 1 | 188.36±0.26 | 155.20±0.30 | 154.02±0.22 | 32.80±0.28 |
| 2 | 188.49±0.29 | 156.97±0.37 | 154.18±0.28 | 32.90±0.30 |
| 3 | 187.49±0.31 | 153.19±0.35 | 152.93±0.33 | 34.10±0.34 |
| 4 | 188.34±0.34 | 153.39±0.29 | 154.58±0.38 | 32.13±0.33 |
| 5 | 187.39±0.29 | 148.92±0.32 | 149.59±0.39 | 37.25±0.35 |
| 6 | 187.11±0.31 | 146.28±0.33 | 147.33±0.43 | 39.34±0.36 |
| 7 | 187.22±0.32 | 152.98±0.38 | 152.56±0.26 | 34.78±0.35 |
| 8 | 186.83±0.33 | 146.82±0.32 | 146.53±0.36 | 39.12±0.34 |
| 9 | 187.39±0.39 | 149.44±0.24 | 150.38±0.29 | 36.45±0.37 |
| 10 | 188.18±0.38 | 153.82±0.22 | 153.91±0.31 | 32.62±0.33 |
| 11 | 187.28±0.37 | 147.84±0.34 | 148.22±0.32 | 37.82±0.35 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช.

1. ขีดจำกัดของการตรวจพบ (LOD) และขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (LOQ)

1.1 จากการศึกษาความเป็นเส้นตรงของวิธีการทดสอบแบบจุดบนกระดาษ แล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานหลัก (II) กับความแตกต่างความเข้มแสงของช่วงในช่วงความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ $y = 12.07x - 0.2813$

การคำนวณ

$$\text{สูตร} \quad \text{LOD} = Y_B + 3S_B \quad (1)$$

$$\text{LOQ} = Y_B + 10S_B \quad (2)$$

จากการแทนค่า $x = 0$ ในสมการ $y = 12.07x - 0.2813$ ได้ค่า $Y_B = -0.2813$

| ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานหลัก(II) (มิลลิกรัมต่อลิตร) | y_i | \hat{y}_i | $(y_i - \hat{y}_i)$ | $(y_i - \hat{y}_i)^2$ |
|--|-------|-------------|---------------------|-----------------------|
| 0.20 | 1.73 | 2.13 | -0.40 | 0.16 |
| 0.50 | 6.20 | 5.75 | 0.45 | 0.20 |
| 0.80 | 9.87 | 9.40 | 0.47 | 0.22 |
| 1.00 | 11.25 | 11.80 | -0.55 | 0.30 |
| | | | รวม | 0.88 |
| | | | S_B | 0.67 |

คำนวณหา S_B หรือ $S_{y/x}$ จาก

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

เมื่อ y_i คือ ค่าจริงที่อ่านได้
 \hat{y}_i คือ ค่าที่ได้จากการแทน x ลงในสมการเส้นตรง
 n คือ จำนวนชุด

จากการแทนค่าในสมการที่ 3 ได้ค่า S_B เท่ากับ 0.67

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 1 $LOD = Y_B + 3S_B$ ดังนั้น ค่า $LOD = -0.2813 + 3(0.67) = 1.7287$ คิดเป็นค่าความเข้มข้นจากสมการความเป็นเส้นตรง $y = 12.07x - 0.2813$ ได้ค่า LOD ในหน่วยความเข้มข้น มิลลิกรัมต่อลิตรเท่ากับ 0.16 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากสมการที่ 2 $LOQ = Y_B + 10S_B$ ดังนั้น ค่า $LOQ = -0.2813 + 10(0.67) = 6.4187$ คิดเป็นค่าความเข้มข้นจากสมการความเป็นเส้นตรง $y = 12.07x - 0.2813$ ได้ค่า LOQ ในหน่วยความเข้มข้น มิลลิกรัมต่อลิตรเท่ากับ 0.48 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.2 จากการศึกษาความเป็นเส้นตรงของวิธีการทดสอบแบบจุดบนกระดาษ แล้วสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) กับความแตกต่างความเข้มแสงของช่วงในช่วงความเข้มข้น ในช่วงความเข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ $y = 5.9175x + 2.193$

จากการแทนค่า $x = 0$ ในสมการ $y = 5.9175x + 2.193$ ได้ค่า $Y_B = 2.193$

| ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็กไอออน(II) (มิลลิกรัมต่อลิตร) | y_i | \hat{y}_i | $(y_i - \hat{y}_i)$ | $(y_i - \hat{y}_i)^2$ |
|--|-------|-------------|---------------------|-----------------------|
| 2.0 | 12.75 | 14.03 | -1.28 | 1.64 |
| 4.0 | 28.34 | 25.86 | 2.48 | 6.15 |
| 6.0 | 36.75 | 37.70 | -0.95 | 0.90 |
| 8.0 | 49.11 | 49.53 | -0.42 | 0.18 |
| 10.0 | 61.54 | 61.37 | 0.17 | 0.03 |
| | | | รวม | 8.90 |
| | | | S_B | 1.89 |

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

จากสมการที่ 1 $LOD = Y_B + 3S_B$ ดังนั้น ค่า $LOD = 2.193 + 3(1.89) = 7.863$ คิดเป็นค่าความเข้มข้นจากสมการความเป็นเส้นตรง $y = 5.9175x + 2.193$ ได้ค่า LOD ในหน่วยความเข้มข้น มิลลิกรัมต่อลิตรเท่ากับ 0.76 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากสมการที่ 2 $LOQ = Y_B + 10S_B$ ดังนั้น ค่า $LOQ = 2.193 + 10(1.89) = 21.093$ คิดเป็นค่าความเข้มข้นจากสมการความเป็นเส้นตรง $y = 5.9175x + 2.193$ ได้ค่า LOQ ในหน่วยความเข้มข้น มิลลิกรัมต่อลิตรเท่ากับ 2.55 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ณ.

แสดงความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากตารางที่ 4.10

ตารางที่ ณ.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

สารละลายมาตรฐานหลัก (II) ช่วงความเข้มข้น 0.20-1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำประปา)

| ความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานหลัก(II), (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | ED |
|---|----------------------|--------------|--------------|-----------|
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.00 | 190.667±0.17 | 189.790±0.93 | 187.873±0.27 | 2.4±0.78 |
| 0.20 | 189.836±0.93 | 187.719±0.87 | 186.079±0.03 | 3.7±0.21 |
| 0.50 | 189.487±0.59 | 187.727±1.02 | 186.051±0.97 | 5.68±1.39 |
| 0.80 | 188.548±0.86 | 184.279±0.17 | 181.726±0.18 | 7.9±0.95 |
| 1.00 | 185.046±0.79 | 178.685±0.51 | 176.725±1.52 | 12.1±1.28 |

ตารางที่ ณ.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

สารละลายมาตรฐานหลัก (II) ช่วงความเข้มข้น 2.0-10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำประปา)

| ความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานหลัก(II), (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | ED |
|---|----------------------|--------------|--------------|------------|
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0 | 189.825±0.68 | 188.432±0.19 | 186.674±0.59 | 2.58±0.97 |
| 2.0 | 190.495±0.73 | 184.679±1.03 | 183.451±0.92 | 12.05±1.32 |
| 4.0 | 189.183±1.88 | 175.977±0.95 | 175.555±2.09 | 25.78±3.98 |
| 6.0 | 185.838±0.28 | 150.061±1.57 | 149.251±0.85 | 33.60±1.48 |
| 8.0 | 181.416±0.27 | 131.159±0.71 | 129.118±0.53 | 47.71±0.83 |
| 10.0 | 187.227±74 | 124.857±1.02 | 117.305±0.85 | 55.83±1.28 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฅ.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ช่วงความเข้มข้น 0.20-1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำบาดาล)

| ความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานเหล็ก(II), (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | ED |
|--|----------------------|--------------|--------------|------------|
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.00 | 188.744±0.16 | 187.794±0.08 | 185.994±0.26 | 3.45±0.60 |
| 0.20 | 190.515±0.63 | 185.601±0.27 | 184.672±0.02 | 3.91±0.89 |
| 0.50 | 191.481±0.81 | 185.017±1.03 | 184.160±0.63 | 5.47±1.28 |
| 0.80 | 191.567±0.96 | 183.948±0.34 | 183.086±0.53 | 8.78±1.24 |
| 1.00 | 188.998±0.15 | 179.178±0.02 | 178.831±0.25 | 11.07±0.99 |

ตารางที่ ฅ.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ช่วงความเข้มข้น 2.0-10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำบาดาล)

| ความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานเหล็ก(II), (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | ED |
|--|----------------------|--------------|--------------|------------|
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0 | 190.195±0.83 | 188.905±0.37 | 186.995±0.91 | 2.90±1.85 |
| 2.0 | 189.321±0.26 | 177.977±0.64 | 177.451±0.77 | 12.44±0.89 |
| 4.0 | 185.541±0.17 | 166.258±0.47 | 165.576±0.25 | 25.26±0.78 |
| 6.0 | 188.492±0.84 | 162.379±0.85 | 161.521±0.16 | 36.63±1.62 |
| 8.0 | 185.02±0.76 | 152.73±0.25 | 151.530±1.02 | 48.65±1.83 |
| 10.0 | 178.938±0.37 | 152.018±0.62 | 146.985±1.03 | 59.93±1.21 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฅ.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ช่วงความเข้มข้น 0.20-1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำแร่)

| ความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานเหล็ก(II), (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | ED |
|--|----------------------|--------------|--------------|-----------|
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.00 | 189.948±0.07 | 189.171±0.19 | 187.477±0.25 | 1.40±0.26 |
| 0.20 | 188.298±0.21 | 186.603±0.19 | 185.518±0.03 | 2.17±0.31 |
| 0.50 | 188.341±0.04 | 187.196±0.16 | 185.577±0.19 | 5.14±0.21 |
| 0.80 | 190.252±0.84 | 188.816±1.36 | 187.138±0.28 | 7.25±2.83 |
| 1.00 | 189.479±0.36 | 188.274±0.48 | 186.56±1.35 | 9.04±1.73 |

ตารางที่ ฅ.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ช่วงความเข้มข้น 2.0-10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำแร่)

| ความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานเหล็ก(II), (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | ED |
|--|----------------------|--------------|--------------|------------|
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0 | 190.450±0.21 | 187.482±0.55 | 184.166±0.19 | 4.16±0.73 |
| 2.0 | 189.183±0.17 | 176.517±0.28 | 174.914±0.21 | 14.3±0.53 |
| 4.0 | 184.487±0.26 | 153.253±0.71 | 152.767±0.19 | 25.71±0.88 |
| 6.0 | 189.217±0.77 | 163.921±0.84 | 162.854±0.14 | 37.15±1.73 |
| 8.0 | 187.231±0.54 | 157.71±0.95 | 156.59±1.52 | 49.7±2.04 |
| 10.0 | 186.489±0.19 | 153.394±0.94 | 151.452±1.27 | 56.38±2.06 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงความแตกต่างความเข้มแสง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.11

ตารางที่ ฅ.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

สารละลายมาตรฐานหลัก (II) ช่วงความเข้มข้น 0.20-1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำดื่มยี่ห้อ 1)

| ความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานหลัก(II), (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | ED |
|---|----------------------|-------------|-------------|------------|
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.00 | 189.36±0.23 | 186.77±0.28 | 184.12±0.25 | - |
| 0.20 | 188.56±0.36 | 185.95±0.33 | 183.18±0.38 | 4.78±0.37 |
| 0.50 | 186.34±0.29 | 184.78±0.31 | 182.11±0.34 | 7.16±0.32 |
| 0.80 | 185.98±0.33 | 180.99±0.39 | 180.18±0.37 | 8.96±0.36 |
| 1.00 | 184.22±0.14 | 177.55±0.25 | 175.29±0.29 | 12.15±0.24 |

ตารางที่ ฅ.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance

สารละลายมาตรฐานหลัก (II) ช่วงความเข้มข้น 2.0-10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำดื่มยี่ห้อ 1)

| ความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานหลัก(II), (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | ED |
|---|----------------------|-------------|-------------|------------|
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0 | 190.25±0.12 | 189.16±0.15 | 187.44±0.19 | - |
| 2.0 | 184.29±0.18 | 177.29±0.21 | 173.08±0.16 | 14.13±0.19 |
| 4.0 | 171.31±0.23 | 168.30±0.27 | 166.23±0.25 | 26.74±0.25 |
| 6.0 | 162.10±0.31 | 158.11±0.29 | 156.24±0.28 | 35.36±0.29 |
| 8.0 | 159.29±0.34 | 153.49±0.31 | 151.29±0.33 | 49.55±0.33 |
| 10.0 | 143.17±0.41 | 139.42±0.38 | 136.25±0.37 | 54.77±0.36 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฅ.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ช่วงความเข้มข้น 0.20-1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำดื่มยี่ห้อ 2)

| ความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานเหล็ก(II), (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | ED |
|--|----------------------|-------------|-------------|-----------|
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.00 | 190.21±0.26 | 189.17±0.23 | 188.82±0.21 | - |
| 0.20 | 189.56±0.28 | 188.15±0.31 | 187.88±0.32 | 2.81±0.30 |
| 0.50 | 187.29±0.14 | 186.25±0.17 | 186.20±0.19 | 4.87±0.18 |
| 0.80 | 186.11±0.22 | 183.19±0.26 | 182.17±0.24 | 7.75±0.25 |
| 1.00 | 185.23±0.18 | 180.31±0.26 | 179.18±0.23 | 11.5±0.24 |

ตารางที่ ฅ.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ช่วงความเข้มข้น 2.0-10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำดื่มยี่ห้อ 2)

| ความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานเหล็ก(II), (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | ED |
|--|----------------------|-------------|-------------|--------------|
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0 | 189.95±0.25 | 188.12±0.20 | 187.44±0.21 | - |
| 2.0 | 184.43±0.17 | 179.49±0.19 | 180.73±0.21 | 10.51±0.19 |
| 4.0 | 179.29±0.23 | 172.81±0.20 | 170.21±0.25 | 19.91±0.24 |
| 6.0 | 169.32±0.18 | 162.16±0.26 | 160.33±0.27 | 29.45±0.24 |
| 8.0 | 158.29±0.25 | 142.49±0.27 | 149.29±0.23 | 42.41±0.25 |
| 10.0 | 144.17±0.17 | 135.42±0.23 | 129.25±0.25 | 54.29±0.0.22 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฅ.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ช่วงความเข้มข้น 0.20-1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำดื่มยี่ห้อ 3)

| ความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานเหล็ก(II), (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | ED |
|--|----------------------|-------------|-------------|------------|
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.00 | 189.21±0.12 | 188.34±0.14 | 189.49±0.17 | - |
| 0.20 | 187.19±0.23 | 186.15±0.21 | 186.10±0.19 | 4.93±0.21 |
| 0.50 | 185.97±0.17 | 180.97±0.19 | 180.20±0.18 | 8.97±0.18 |
| 0.80 | 183.87±0.24 | 177.46±0.27 | 173.89±0.29 | 13.68±0.28 |
| 1.00 | 181.21±0.18 | 173.96±0.21 | 169.88±0.19 | 17.20±0.20 |

ตารางที่ ฅ.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ช่วงความเข้มข้น 2.0-10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำดื่มยี่ห้อ 3)

| ความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานเหล็ก(II), (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่าความเข้มแสงเฉลี่ย | | | ED |
|--|----------------------|-------------|-------------|------------|
| | แดง | เขียว | น้ำเงิน | |
| 0.0 | 187.95±0.13 | 185.12±0.16 | 184.44±0.14 | - |
| 2.0 | 185.58±0.21 | 180.39±0.25 | 180.21±0.22 | 11.07±0.24 |
| 4.0 | 179.10±0.28 | 173.92±0.24 | 171.13±0.23 | 22.99±0.25 |
| 6.0 | 169.19±0.22 | 163.03±0.25 | 161.20±0.29 | 29.15±0.26 |
| 8.0 | 154.21±0.31 | 152.19±0.29 | 150.92±0.33 | 42.59±0.30 |
| 10.0 | 143.37±0.37 | 139.52±0.32 | 136.35±0.35 | 55.63±0.34 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

