การพัฒนาชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก (II) โดยใช้กาวน้ำเป็นสารช่วยยึดติดรีเอเจนต์

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

วิภาวรรณ ใหญ่นาคะศิริ
อริศรา บุญแก้ว
อรุณเบิกฟ้า สกุลวงษ์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก (II) โดยใช้กาวน้ำเป็นสารช่วยยึดติดรีเอเจนต์

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

T149476

วิภาวรรณ ใหญ่นาคะศิริ

อริศรา บุญแก้ว

อรุณเบิกฟ้า สกุลวงษ์

.b 12883931

.i

เลขทะเบียน 149476

วัน,เดือน,ปี 8 มี.ค. 2561

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

WIPAWAN YAINAKASIRI

ARISARA BOONKAEW

AROONBERKFA SKULWONG

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHLOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)

DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADAMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การพัฒนาชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก (II) โดยใช้กาวน้ำเป็นสารช่วยยึดติดรีเอเจนต์ Development of Spot Test on Paper for Quantitative Determination of Iron (II) Using Water – Glue as Adhesive Reagent		
ชื่อนักศึกษา	นางสาววิภาวรรณ	ใหญ่นาคะศิริ	รหัสนักศึกษา 56050603
	นางสาวอริศรา	บุญแก้ว	รหัสนักศึกษา 56050656
	นางสาวอรุณเบิกฟ้า	สกุลวงษ์	รหัสนักศึกษา 56050657
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
ปีการศึกษา	2559		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ		

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

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

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การพัฒนาชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก (II) โดยใช้กาวน้ำเป็นสารช่วยยึดติดรีเอเจนต์		
ชื่อนักศึกษา	นางสาววิภาวรรณ	ใหญ่นาคะศิริ	รหัสนักศึกษา 56050603
	นางสาวอริศรา	บุญแก้ว	รหัสนักศึกษา 56050656
	นางสาวอรุณเบิกฟ้า	สกุลวงษ์	รหัสนักศึกษา 56050657
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2559		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ		

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนาชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (II) ในตัวอย่างน้ำ โดยการเตรียมจุดรีเอเจนต์บนกระดาษด้วยสารละลายกาวน้ำเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน สภาวะที่เหมาะสมใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักต่อปริมาตรของกาวต่อน้ำเป็น 1:2 โดยใช้กาวน้ำ 3 กรัมและน้ำปราศจากไอออน 6 มิลลิลิตร ผสมกับแอมโมเนียมอะซิเตท 0.40 กรัม 1,10-ฟีแนนโทรลีน 0.0012 กรัม และไฮดรอกซาลามีนไฮโดรคลอไรด์ 0.020 กรัม โดยหยดรีเอเจนต์ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรอง ทิ้งไว้ให้แห้ง 30 นาที ตามด้วยการหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนจุดรีเอเจนต์ ทิ้งไว้ให้แห้ง 30 นาที บันทึกภาพจุดสีส้มแดงที่เกิดจากสารเชิงซ้อนระหว่างเหล็ก (II) กับ 1,10-ฟีแนนโทรลีนด้วยเครื่องสแกน และใช้โปรแกรม Image J™ วัดค่าความเข้มแสง (RGB) คำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสงด้วยสมการยูคลิก สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ในช่วงความเข้มข้น 2.0 - 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีสมการเชิงเส้นคือ [ED] = 4.757[Fe] + 7.4946 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.999 ขีดจำกัดของการตรวจพบ (LOD) เท่ากับ 0.16 มิลลิลิตรต่อลิตร ขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ) เท่ากับ 0.54 มิลลิลิตรต่อลิตร และสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ในช่วงความเข้มข้น 0.20 - 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีสมการเชิงเส้นคือ [ED] = 9.224[Fe] + 1.0117 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.995 ขีดจำกัดของการตรวจพบ (LOD) เท่ากับ 0.07 มิลลิลิตรต่อลิตร และขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ) เท่ากับ 0.24 มิลลิลิตรต่อลิตร การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในตัวอย่างน้ำได้ค่าร้อยละคืนกลับอยู่ในช่วง 80 – 120%

คำสำคัญ: ชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ, 1,10-ฟีแนนโทรลีน, เหล็ก (II), กาวน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Development of Spot Test on Paper for Quantitative Determination of Iron (II) Using Water – Glue as Adhesive Reagent		
Students	Miss. Wipawan	Yainakasiri	Student ID 56050603
	Miss. Arisara	Boonkaew	Student ID 56050656
	Miss. Aroonberkfa	Skulwong	Student ID 56050657
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

This special project is purposed to study and develop the colored-spot test on paper for analysis of Iron (II) in water sample. A reagent spot is prepared on filter paper by dropping a water-glue solution mixed together with 1,10-Phenanthroline at suitable condition. The water-glue solution with weight by volume ratio of 1:2 is prepared by mixing 3 g of water-glue and 6 mL of deionized water together with 0.40 g of ammonium acetate, 0.0012 g of 1,10-Phenanthroline and 0.020 g of hydroxylamine hydrochloride. A 10.00 µL of water-glue solution is dropped on filter paper as a reagent spot and waited 30 minutes for drying. A 10.00 µL of Iron (II) solution or sample solution is then applied on reagent spot and waited 30 minutes for drying. The reddish-orange color of Iron (II) - 1,10-Phenanthroline complex can be recorded by a scanner. The Image J™ program is used to analyze the intensity of RGB light and the Euclidean Distance can be calculated. For Iron (II) in concentration range 2.0 - 10.0 mg/L, the linear equation of [ED] = 4.757[Fe] + 7.4946 and r^2 = 0.999 are obtained. The lower limit of detection (LOD) and limit of quantitation (LOQ) of 0.16 mg/L and 0.54 mg/L are also recorded, respectively. For iron (II) in concentration range 0.20-1.00 mg/L, the linear equation of [ED] = 9.224[Fe] + 1.0117 and r^2 = 0.995 are obtained. The limit of detection (LOD) and limit of quantitation (LOQ) of 0.07 mg/L and 0.24 mg/L are also recorded, respectively. Accuracy can be shown by recovery of 80 - 120% in water samples.

Keywords : Paper test kit, 1,10-Phenanthroline, Iron (II), Water-Glue

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้ทำการวิจัยได้ตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์ จึงอยากขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ซึ่งได้เสียสละเวลามาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ให้ข้อเสนอแนะ และข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนพิจารณาตรวจสอบแก้ไขข้อผิดพลาด ข้อบกพร่องต่างๆ ของการจัดทำโครงงานพิเศษในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.เสาวภาคย์ ธีราทรง และ ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น กรรมการในการสอบโครงงานพิเศษที่ได้กรุณาตรวจสอบ แก้ไข พร้อมทั้งให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะเพิ่มเติม เพื่อให้โครงงานพิเศษฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านของภาควิชาเคมี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการเบิกและให้ใช้อุปกรณ์ เครื่องแก้วต่างๆ รวมไปถึงสารเคมีที่ใช้ทำการวิจัยและห้องปฏิบัติการในการทำวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่าคณาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาจนทำให้ผลงานวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง และขอขอบพระคุณ บิดา – มารดา และครูอาจารย์ที่ให้ความรัก ให้การศึกษาและเป็นกำลังใจเป็นแรงผลักดันในการทำโครงงานพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงเพื่อนๆ และบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวมา สำหรับประโยชน์และคุณค่าอันพึงมีจากโครงงานพิเศษฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วิภาวรรณ ใหญ่นาคะศิริ
อริศรา บุญแก้ว
อรุณเบิกฟ้า สกุลวงษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูปภาพ ..... ฎ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.5 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน 2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 กาว (Glue) 3
2.2 เหล็กที่อยู่ในน้ำธรรมชาติ 4
2.3 การเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างเหล็ก (II) กับ 1,10-ฟีแนนโทรลีน 4
2.4 ระบบสี (Color system) 5
2.4.1 ระบบสีแบบ RGB (Red-Green-Blue) 5
2.4.2 ระบบสีแบบ CMYK (Cyan-Magnetic-Yellow-Key) 6
2.5 หลักการทำงานของเครื่องสแกน (Scanner) 7
2.5.1 ประเภทของเครื่องสแกน 7
2.5.1.1 Desktop scanner 7
2.5.1.1.1 แบบใส่กระดาษ 7
2.5.1.1.2 แบบวางกระดาษ 7
2.5.1.2 Handy scanner 8
2.5.2 ภาพจากการสแกน 9
2.5.3 การทำงานของเครื่องสแกน 9
2.6 ชุดทดสอบภาคสนาม (On – site monitoring test kit) 9
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย 14
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ 14
3.1.1 สารเคมี 14
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ 14
3.2 วิธีดำเนินการทดลอง 15
3.2.1 การเตรียมชุดทดสอบบนกระดาษ 15
3.2.1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน 15
3.2.1.2 การเตรียมสารละลายกาวน้ำเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน 15
3.2.1.3 การเตรียมชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ 16
3.2.2 ศึกษาหาความเข้มข้นของสารละลายกาวน้ำเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมทดสอบบนกระดาษ 16
3.2.2.1 การเตรียมสารละลายกาวน้ำในอัตราส่วนกาวต่อน้ำเป็น 1:1, 1:2, 1:3, 1:5, 2:1 และสารละลายที่มีแต่น้ำปราศจากไอออนเพียงอย่างเดียว 16
3.2.3 ศึกษาการกระจายตัวของสารละลายกาวน้ำที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน บนกระดาษกรอง 17
3.2.4 ศึกษาพื้นผิวของกระดาษกรองด้านเรียบและด้านขรุขระ 17
3.2.5 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 2.0 - 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร 17
3.2.5.1 ศึกษาความเข้มข้นของแอมโมเนียมอะซิเตท 18
3.2.5.2 ศึกษาความเข้มข้นของ 1,10-ฟีแนนโทรลีน 18
3.2.5.3 ศึกษาความเข้มข้นของไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ 18
3.2.6 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.20 - 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร 18
3.2.6.1 ศึกษาความเข้มข้นของแอมโมเนียมอะซิเตท 18
3.2.6.2 ศึกษาความเข้มข้นของ 1,10-ฟีแนนโทรลีน 18
3.2.6.3 ศึกษาความเข้มข้นของไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ 19
3.2.7 ศึกษาความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ 19
3.2.7.1 ความเป็นเส้นตรง 19
3.2.7.1.1 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) สำหรับสร้างกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร 19
3.2.7.1.2 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) สำหรับสร้างกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร 19
3.2.7.2 การคำนวณหาค่าร้อยละของการคืนกลับได้ (%Recovery) 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.7.3 ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of Detection, LOD) 20
3.2.7.4 ขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (Limit of Quantitation, LOQ) 20
3.2.8 ทดสอบวิเคราะห์เหล็กในตัวอย่างน้ำ 20
3.2.8.1 การเตรียมสารละลายตัวอย่างสำหรับชุดทดสอบแบบจุดที่ ความเข้มข้น 2.0 -10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร 20
3.2.8.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่างสำหรับชุดทดสอบแบบจุดที่ ความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร 21
3.2.8.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ 21
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล 22
4.1 ศึกษาชุดทดสอบบนกระดาษ 22
4.2 ศึกษาหาความเข้มข้นของสารละลายกาวน้ำเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมทดสอบบนกระดาษ 25
4.3 ศึกษาการกระจายตัวของสารละลายกาวน้ำที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน บนกระดาษกรอง 29
4.4 ศึกษาพื้นผิวของกระดาษกรองด้านเรียบและด้านขรุขระ 31
4.5 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 2.0 - 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร 31
4.5.1 ศึกษาความเข้มข้นของแอมโมเนียมอะซิเตท 31
4.5.2 ศึกษาความเข้มข้นของ 1,10-ฟีแนนโทรลีน 32
4.5.3 ศึกษาความเข้มข้นของไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ 33
4.6 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.20 - 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร 34
4.6.1 ศึกษาความเข้มข้นของแอมโมเนียมอะซิเตท 34
4.6.2 ศึกษาความเข้มข้นของ 1,10-ฟีแนนโทรลีน 35
4.6.3 ศึกษาความเข้มข้นของไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ 36
4.7 ศึกษาความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ 38
4.7.1 ความเป็นเส้นตรง 38
4.7.1.1 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) สำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน ที่ความเข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร 38
4.7.1.2 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) สำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน ที่ความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร 39
4.7.2 ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of Detection, LOD) 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.7.2.1 ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of Detection, LOD) ของสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร 40
4.7.2.2 ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of Detection, LOD) ของสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร 41
4.7.3 ขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (Limit of Quantitation, LOQ) 41
4.7.3.1 ขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (Limit of Quantitation, LOQ) ของสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร 41
4.7.3.2 ขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (Limit of Quantitation, LOQ) ของสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร 42
4.8 ศึกษาชุดทดสอบแบบจุดกับตัวอย่างน้ำ 42
4.8.1 การเตรียมสารละลายตัวอย่างน้ำที่ความเข้มข้น 2.0 - 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร 42
4.8.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่างน้ำที่ความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร 44
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 46
เอกสารอ้างอิง 48
ภาคผนวก 51
ภาคผนวก ก 52
ภาคผนวก ข 53
ภาคผนวก ค 59
ภาคผนวก ง 63
ภาคผนวก จ 67
ภาคผนวก ฉ 71
ภาคผนวก ช 75
ภาคผนวก ซ 79
ภาคผนวก ฌ 83
ภาคผนวก ญ 84
ภาคผนวก ฎ 85
ภาคผนวก ฏ 91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

4.1 การเลือกสภาวะที่เหมาะสมของการซึมสารละลายที่อัตราส่วนต่างๆ 25
4.2 แสดงค่า y_i, $\hat{y}_i$ และ $(y_i - \hat{y}_i)^2$ ในการคำนวณขีดจำกัดของการตรวจพบ 40
4.3 แสดงค่า y_i, $\hat{y}_i$ และ $(y_i - \hat{y}_i)^2$ ในการคำนวณขีดจำกัดของการตรวจพบ 41
4.4 แสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) ที่วิเคราะห์ได้และร้อยละการคืนกลับ (%recovery) ของตัวอย่างน้ำ 43
4.5 แสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) ที่วิเคราะห์ได้และร้อยละการคืนกลับ (%recovery) ของตัวอย่างน้ำ 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทางเคมีของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์	3
2.2 โครงสร้างของ 1,10-ฟีแนนโทรลีน	4
2.3 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก (II) กับ 1,10-ฟีแนนโทรลีน	5
2.4 ภาพแสดงวงจรระบบสีแบบ RGB	6
2.5 ภาพแสดงวงจรระบบสีแบบ CMYK	7
2.6 เครื่องสแกนเนอร์แบบ Desktop scanner	8
2.7 เครื่องสแกนเนอร์แบบ Handy scanner	8
4.1 การกระจายตัวของกาวน้ำที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน และการกระจายตัวของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่หยดลงบนกาวน้ำที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน	22
4.2 สีที่ได้จากการหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างกัน	23
4.3 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กับค่าความแตกต่างความเข้มแสง	24
4.4 การซึมของอัตราส่วนกาวต่อน้ำเป็น 1 : 1 เมื่อหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างกัน	26
4.5 การซึมของอัตราส่วนกาวต่อน้ำเป็น 1 : 2 เมื่อหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างกัน	26
4.6 การซึมของอัตราส่วนกาวต่อน้ำเป็น 1 : 3 เมื่อหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างกัน	27
4.7 การซึมของอัตราส่วนกาวต่อน้ำเป็น 1 : 5 เมื่อหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างกัน	27
4.8 การซึมของอัตราส่วนกาวต่อน้ำเป็น 2 : 1 เมื่อหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างกัน	28
4.9 การซึมของน้ำปราศจากไอออนที่ไม่มีกาวเมื่อหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างกัน	28
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกับอัตราส่วนของกาวต่อน้ำกับค่าแตกต่างความเข้มแสง	29
4.11 การเปรียบเทียบผลระหว่างสารละลายกาวที่ไม่มีกาวแต่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน กับสารละลายที่มีกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน	30
4.12 การเปรียบเทียบการกระจายตัวของสารละลายบนกระดาษกรองด้านขรุขระและด้านเรียบ	31
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแอมโมเนียมอะซิเตทกับความแตกต่างความเข้มแสง	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ 1,10-ฟีแนนโทรลีนกับความแตกต่างความเข้มแสง 33

4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสง 34

4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแอมโมเนียมอะซิเตทกับความแตกต่างความเข้มแสง 35

4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ 1,10-ฟีแนนโทรลีนกับความแตกต่างความเข้มแสง 36

4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสง 37

4.19 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) กับค่าความแตกต่างความเข้มแสง 38

4.20 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) กับค่าความแตกต่างความเข้มแสงที่ความเข้มข้นต่ำ 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

เนื่องจากน้ำเป็นสิ่งสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก ในการบริโภคและอุปโภค คุณภาพของน้ำจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ น้ำที่นำมาใช้ต้องมีคุณภาพเพียงพอและเนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาภัยแล้งจึงได้มีการนำน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ และปัญหาหลักคือการพบโลหะเหล็กเกือบทั้งหมดที่พบในหินและดิน ส่วนใหญ่ปรากฏรวมตัวกันอยู่กับธาตุอื่นๆ เป็นสารประกอบของเหล็กออกไซด์ เหล็กซัลไฟด์ และเหล็กคาร์บอเนตสถานะต่างๆ เหล็กที่ปรากฏอยู่ในน้ำตามธรรมชาติอธิบายได้ว่าเหล็กทั้งหมดในน้ำหรือ Total Iron แบ่งเป็น 2 รูปคือเหล็กในรูป Fe^{3+} และเหล็กในรูป Fe^{2+} จึงเกิดเป็นที่มาของการทดสอบคุณภาพของน้ำ สิ่งที่ทำการทดสอบเช่นปริมาณโลหะชนิดต่างๆที่ปนอยู่ในน้ำ เป็นต้น

วิธีการในอดีตจะมีความยุ่งยากซับซ้อน และส่วนมากมักใช้ห้องปฏิบัติการในการทดลอง ต่อมาได้มีการพัฒนาวิธีทดสอบขึ้นมาเพื่อลดข้อจำกัดและเพิ่มประสิทธิภาพในการทดสอบ จนเป็นชุดทดสอบที่มีความสะดวกในการเคลื่อนย้ายสามารถนำออกไปทดสอบนอกห้องปฏิบัติการได้ จะเป็นประโยชน์ต่อชุมชนในที่ห่างไกลและไม่มีอุปกรณ์ในการทดสอบที่เพียงพอ ชุดทดสอบเหล็กแบบจุดโดยใช้โซล-เจลเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีนสำหรับการวิเคราะห์เหล็ก (II) เชิงปริมาณสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์เหล็กตามวัตถุประสงค์นี้ได้ แต่กระดาษทดสอบที่ใช้ในการทดสอบเป็นแบบใช้แล้วทิ้งและสารโซล-เจลมีราคาแพงทำให้เกิดการสิ้นเปลืองทรัพยากร

ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบโดยใช้สารละลายกาวน้ำแทนโซล-เจลโดยเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีนเนื่องจากกาวน้ำหาซื้อได้ง่าย ราคาถูก ไม่จับตัวเป็นก้อน และใช้สำหรับวิเคราะห์เหล็กในตัวอย่างน้ำ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการนำกระดาษทดสอบแบบจุดโดยใช้สารละลายกาวน้ำเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีนสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในตัวอย่างน้ำ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานมีดังต่อไปนี้

1.3.1 สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1.3.2 ศึกษาหลักการของระบบที่เกี่ยวข้องกับชุดทดสอบแบบจุดโดยใช้ระบบกาวน้ำที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน

1.3.3 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมชุดกระดาษทดสอบแบบจุดโดยใช้สารละลายกาวน้ำเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน

1.3.4 นำไปประยุกต์ใช้งานในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษโดยใช้สารละลายกาวน้ำเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีนแทนการใช้โซล-เจล

1.4.2 สามารถลดปริมาณการใช้สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบให้น้อยลง

1.4.3 ชุดทดสอบสามารถนำไปใช้งานได้จริงในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ และสามารถนำไปใช้ในงานภาคสนามได้

1.5 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาหาข้อมูลทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ออกแบบวิธีการทดลอง

1.5.3 ดำเนินการทดลอง

1.5.4 วิเคราะห์ตัวอย่าง

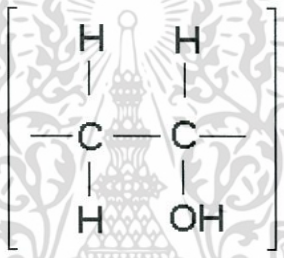
1.5.5 สรุปและรายงานผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กาว (Glue)

กาวใสมีส่วนประกอบหลักคือน้ำและโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA) ซึ่งเป็นโพลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic polymer) ที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นสายโซ่ตรงยาวๆ กาวใสจะมีหมู่ไฮดรอกซิล (OH-group) ติดอยู่กับโครงสร้างหลักของสายโซ่โพลิเมอร์ ทำให้โพลิเมอร์ชนิดนี้ละลายน้ำได้ดี อนุภาคของโพลิเมอร์ในสารละลายมีขนาดเล็กมากคือมีเส้นผ่าศูนย์น้อยกว่า 10 - 4 เซนติเมตร แสงสามารถส่องผ่านสารละลายได้ ทำให้กาวมีลักษณะเป็นของเหลวใส [1] โครงสร้างทางเคมีของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์แสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ [1]

โพลิไวนิลแอลกอฮอล์หรือพีวีเอ (Polyvinyl alcohol/PVA) เป็นโพลิเมอร์สังเคราะห์ที่ไม่มีสารพิษ ไม่มีกลิ่นและละลายน้ำได้ โดยโพลิไวนิลแอลกอฮอล์มีคุณสมบัติการก่อฟิล์ม การละลายของเหลวและการยึดติด (เป็นกาว) ที่ดี อีกทั้งยังทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำมัน น้ำมันหล่อลื่นและตัวทำละลายได้ดี โพลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความเค้นแรงดึงและความยืดหยุ่นสูง รวมถึงมีปริมาณออกซิเจนที่สูงและมีคุณสมบัติป้องกันการระเหยของกลิ่นและน้ำมัน โพลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถย่อยสลายได้หมดอย่างรวดเร็ว และสามารถย่อยสลายได้โดยวิธีชีวภาพโดยมีจุดหลอมละลายที่ 230 องศาเซลเซียส และที่ 180 - 190 องศาเซลเซียส สำหรับโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากการไฮโดร-ไลซิสอย่างสมบูรณ์และได้จากการไฮโดรไลซิสเป็นบางส่วน โพลิไวนิลแอลกอฮอล์สามารถย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส เนื่องจากย่อยสลายได้ด้วยความร้อนอุณหภูมิสูงเท่านั้น และโพลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีสมบัติพิเศษคือสามารถย่อยสลายได้โดยวิธีชีวภาพและติดไฟได้คล้ายกระดาษ นอกจากนี้ยังสามารถละลายในน้ำได้ [2-3] การใช้งานของโพลิ-ไวนิลแอลกอฮอล์ แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ

1) อาศัยคุณสมบัติการละลายในน้ำ เช่น ใช้เป็นตัวช่วยทำให้ระบบอิมัลชันและแขวนลอยต่างๆที่ข้นขึ้น (ใช้เป็น thickening agent) และใช้ทำแผ่นฟิล์มเคลือบกระดาษซึ่งมีความใสเหนียวและทนต่อการขีดข่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) นำโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ไปทำปฏิกิริยาเคมีให้ไม่สามารถละลาย แล้วจึงนำมาใช้งานซึ่งโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ไม่ละลายในน้ำนี้สามารถดูดน้ำและความชื้นได้เป็นอย่างดี (ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) จึงใช้เป็นเส้นใยแทนฝ้ายได้ผ้าที่ทำด้วยเส้นใยโพลิไวนิลแอลกอฮอล์นี้สวมใส่สบาย ซักง่าย ทนทานต่อการสึกหรอและสามารถคงรูปได้เป็นอย่างดี

2.2 เหล็กที่อยู่ในน้ำธรรมชาติ

น้ำในธรรมชาติโดยทั่วไปนั้นจะมีเหล็กละลายปะปนอยู่ แต่ในน้ำบาดาลมีเหล็กอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง โดยที่เหล็กจะอยู่ในรูปของเฟอร์รัสไบคาร์บอเนต ($Fe(HCO_3)_2$) จะมีสภาพใส แต่เมื่อวางทิ้งไว้ในบรรยากาศจะขุ่นและเกิดตะกอนสีแดงของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ $Fe(OH)_3$ เหล็กในน้ำจะปรากฏ 2 รูปคือ เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) และเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) จะไม่ค่อยเสถียร เมื่อสัมผัสกับออกซิเจน จะถูกออกซิไดซ์เป็นเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ดังสมการ

$$4Fe^{2+} + 8HCO_3^- + 2H_2O + O_2 \rightarrow 4Fe(OH)_3 + 8CO_2$$

ปริมาณเหล็กในน้ำใช้หรือน้ำบาดาลควรมีปริมาณเหล็กไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับน้ำดื่มต้องมีปริมาณของเหล็กไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าหากน้ำที่มีเหล็กปริมาณที่สูงเกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร จะไม่เหมาะสำหรับการบริโภคหรืออุปโภคเนื่องจากอาจจะมีกลิ่นและรสชาติของเหล็กปนมา นั่นคือคือจะมีกลิ่นคาว อีกทั้งน้ำที่มีปริมาณของเหล็กสูงจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเหล็กส่งผลทำให้เกิดสนิมได้อีกด้วย [4]

2.3 การเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างเหล็ก (II) กับ 1,10-ฟีแนนโทรลีน

รูปที่ 2.2 โครงสร้างของ 1,10-ฟีแนนโทรลีน [6]

เหล็ก (III) จะถูกทำให้ละลาย หลังจากนั้นจะถูกรีดิวซ์ให้ไปอยู่ในรูปเหล็ก (II) โดยการต้มด้วยกรดและไฮดรอกซาลามีน จากนั้นจะทำปฏิกิริยากับ 1,10-ฟีแนนโทรลีนซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.2 ที่ pH 3.2 - 3.3 พบว่าโมเลกุลของ 1,10-ฟีแนนโทรลีนจะจับกับ 1 อะตอมของเหล็ก (II) เกิดเป็นสารเชิงซ้อนสีส้มแดง สีของสารละลายที่เกิดขึ้นเป็นไปตามกฎของเบียร์ และความเข้มสีที่เกิดขึ้นไม่ขึ้นกับ pH ในช่วง 3 - 9 ถ้าอยู่ระหว่าง 2.9 - 3.5 จะทำให้เกิดสีเร็วขึ้น เมื่อมีปริมาณฟีแนนโทรลีนมากเกินพอสีมาตรฐานจะอยู่ได้ถึง 6 เดือนเป็นอย่างน้อย น้ำที่จะนำมาวิเคราะห์อาจจะสัมผัสกับอากาศและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

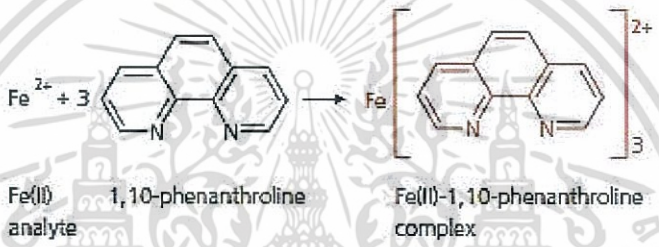
เกิดการออกซิเดชันของ $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ และเกิดเป็นตะกอนของ $Fe(OH)_3$ ได้ ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนเหล็กให้ไปอยู่ในรูปที่ละลายน้ำให้หมดโดยการเติม HCl เพื่อละลาย $Fe(OH)_3$ ดังสมการ

$$Fe(OH)_3 + 3H^+ \rightarrow Fe^{3+} + 3H_2O$$

เนื่องจาก 1,10-ฟีแนนโทรลีนใช้วัดได้เฉพาะ Fe^{2+} ดังนั้นเหล็กที่อยู่ในรูป Fe^{3+} จะถูกเปลี่ยนให้มาอยู่ในรูป Fe^{2+} ให้หมดโดยใช้ไฮดรอกซาลามีนเป็นตัวลดออกซิเจน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้

$$4Fe^{3+} + 2NH_2OH \rightarrow 4Fe^{2+} + N_2O + 4H^+ + H_2O$$

เหล็ก (II) เมื่อรวมกับ 1,10-ฟีแนนโทรลีนจะให้สารที่มีสีส้มแดงเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน [5] ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก (II) กับ 1,10-ฟีแนนโทรลีน [7]

2.4 ระบบสี (Color system)

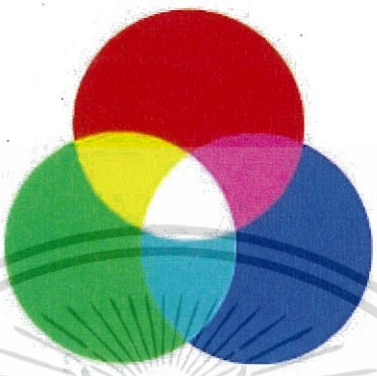
สีส่วนใหญ่เรามักจะนึกถึงแม่สีสามสี แต่อย่างไรก็ตามการใช้สีกับงานกราฟิกในคอมพิวเตอร์มีรายละเอียดหลายประการ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะ จึงควรที่ทราบระบบสีของคอมพิวเตอร์โดยจะเกี่ยวข้องกับการแสดงผลแสงที่แสดงบนจอคอมพิวเตอร์ โดยมีลักษณะการแสดงผลคือ ถ้าไม่มีแสดงผลสีใดเลยบนจอภาพจะแสดงเป็น “สีดำ” ถ้าหากสีทุกสีแสดงผลพร้อมกัน จะเห็นสีบนจอภาพเป็น “สีขาว” ส่วนสีอื่นๆ จะเกิดจากการแสดงสีหลายๆ สี แต่มีค่าแตกต่างกันไป สีที่ใช้ในงานด้านกราฟิกโดยทั่วไป มี 4 ระบบ คือ RGB, CMYK, HSB และ LAB ส่วนใหญ่นิยมใช้มีอยู่ 2 ระบบ ได้แก่ RGB และ CMYK [8]

2.4.1 ระบบสีแบบ RGB (Red-Green-Blue)

RGB (Red-Green-Blue) เป็นระบบสีที่ประกอบด้วย สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) คือระบบสีของแสงมีสัดส่วนความเข้มข้นของสีทั้งหมดที่แตกต่างกัน เมื่อนำมาผสมกันทำให้เกิดสีต่างๆ บนจอคอมพิวเตอร์ได้มากถึง 16.7 ล้านสี จะใกล้เคียงกับสีที่ตาของเรามองเห็นได้โดยปกติ ถ้าสีมีความเข้มมากเมื่อนำมาผสมจะทำให้เกิดเป็นสีขาว เรียกว่า “Additive” ทั้งสามสีเป็นแม่สีของแสง เมื่อ 3 แม่สีได้รวมกันจะได้สีแตกต่างออกไปดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีแดง (Red) + สีเขียว (Green) = สีเหลือง (Yellow)
สีเขียว (Green) + สีน้ำเงิน (Blue) = สีฟ้า (Blue)
สีแดง (Red) + สีน้ำเงิน (Blue) = สีแดงอมชมพู (Magenta)



รูปที่ 2.4 ภาพแสดงวงจรระบบสีแบบ RGB [10]

ภาพแสดงวงจรระบบสีแบบ RGB แสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินมีค่า (R, G, B) ความเข้มแสงสูงสุดเท่ากับ 255, 255, 255 ระบบสี RGB โดยปกติจะนำไปใช้ในจอภาพแบบ CRT (Cathode ray tube) ในการใช้งานระบบสี RGB ยังมีการสร้างมาตรฐานที่แตกต่างกันออกไป คุณสมบัติของแสงเหล่านี้นำมาใช้ประโยชน์ทั่วไป ในการฉายภาพยนตร์ การบันทึกภาพวิดีโอภาพโทรทัศน์ การสร้างภาพเพื่อการนำเสนอทางจอคอมพิวเตอร์ และการจัดแสงสีในการแสดง เป็นต้น [9]

2.4.2 ระบบสีแบบ CMYK (Cyan-Magenta-Yellow-Key)

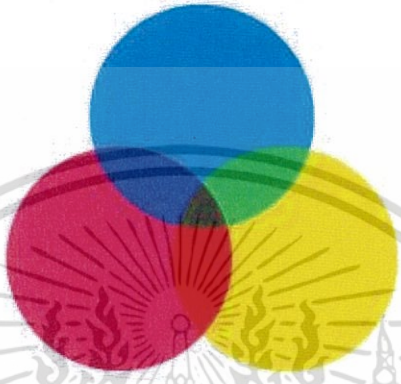
เป็นระบบสีประกอบด้วย 4 สี ได้แก่สีเขียวปนน้ำเงิน (Cyan) สีม่วงแดงเข้ม (Magenta) สีเหลือง (Yellow) และสีดำ (Key) โหมดสีนี้จะใช้กับเครื่องพิมพ์ ระบบสี CMYK เป็นระบบสีชนิดที่เป็นวัตถุ คือสีแดง เหลือง น้ำเงิน แต่ไม่ใช่สีน้ำเงินที่เป็นแม่สีวัตถุธาตุ ภาพแสดงวงจรระบบสีแบบ CMYK แสดงในรูปที่ 2.5 แม่สีในระบบ CMYK เกิดจากการผสมกันของแม่สีของแสงหรือระบบสี RGB คือ

สีแดง (Red) + สีเขียว (Green) = สีเหลือง (Yellow)
สีเขียว (Green) + สีน้ำเงิน (Blue) = สีฟ้า (Blue)
สีแดง (Red) + สีน้ำเงิน (Blue)= สีแดงอมชมพู (Magenta)

สีฟ้า (Cyan) สีแดง (Magenta) สีเหลือง (Yellow) นี้นำมาใช้ในระบบการพิมพ์ และมีการเพิ่มสีดำเข้าไป เพื่อให้มีน้ำหนักเข้มขึ้นอีก เมื่อรวมสีดำ (Black = K) เข้าไป จึงมี 4 สี โดยทั่วไปจึงเรียกระบบการพิมพ์นี้ว่าระบบการพิมพ์สี่สี (CMYK)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการพิมพ์สี่สี (CMYK) เป็นการพิมพ์ภาพในระบบที่ทันสมัยที่สุด และได้ภาพที่ใกล้เคียงกับภาพถ่ายมากที่สุด โดยทำการพิมพ์ทีละสี จากสีเหลือง สีแดง สีน้ำเงิน และสีดำ ถ้าลองใช้แว่นขยายส่องดู ผลงานพิมพ์ชนิดนี้จะพบว่าจะเกิดจากจุดสีเล็กๆ สี่สีอยู่เต็มไปหมด การที่เรามองเห็นภาพมีสีต่างๆ นอกเหนือจากสี่สีนี้ เกิดจากการผสมของเม็ดสีเหล่านี้ในปริมาณต่าง ๆ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณเม็ดสี ซึ่งกำหนดเป็น 10-20-30-40-50-60-70-80-90 จนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ [9]



รูปที่ 2.5 ภาพแสดงวงจรระบบสีแบบ CMYK [11]

2.5 หลักการทำงานของเครื่องสแกน (Scanner)

เครื่องสแกน คือ อุปกรณ์ต่อเชื่อมคอมพิวเตอร์แบบกราฟิก ที่มีหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงภาพต้นฉบับ (รูปถ่าย, ตัวอักษรบนหน้ากระดาษ, ภาพวาด) ให้เป็นข้อมูล เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในการแสดงผลที่หน้าจอ ทำให้สามารถแก้ไข ตกแต่งเพิ่มเติม และจัดเก็บข้อมูลได้ โดยคำว่าสแกน (scan) หมายถึง กราดตรวจ, กราดภาพเครื่องสแกนหรือเครื่องกราด-ภาพ จะทำการตรวจสอบข้อมูลในลักษณะตัวอักษร หรือภาพโดยเรียงลำดับทีละส่วน [12]

2.5.1 ประเภทของเครื่องสแกน (Scanner) [12]

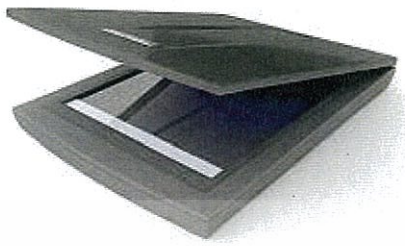
2.5.1.1 Desktop scanner มีลักษณะเป็นแท่นในแนวราบ แบ่งเป็น 2 แบบ

2.5.1.1.1 แบบใส่กระดาษ แล้วเลื่อนกระดาษเอง เรียกว่า sheet fed scanner

2.5.1.1.2 แบบวางกระดาษ แล้วให้หัวสแกนเลื่อนอ่าน ข้อมูลจากกระดาษ เรียกว่า flatbed Scanner

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1.1 sheet fed scanner [13]



1.1.2 flatbed Scanner [14]

รูปที่ 2.6 เครื่องสแกนแบบ Desktop scanner [13-14]

2.5.1.2 Handy scanner มีขนาดเล็ก สามารถจับถือได้

รูปที่ 2.7 เครื่องสแกนแบบ Handy scanner [15]

เครื่องสแกน มีหลักการทำงาน คือเครื่องอ่านภาพจะทำการอ่านภาพโดยอาศัยการสะท้อนหรือการส่องผ่านของแสงกับภาพต้นฉบับที่ทึบแสงหรือโปร่งแสงให้ตกกระทบกับแถบของอุปกรณ์ไวแสง (photosensitive) ซึ่งมีชื่อในทางเทคนิคว่า Charge-Couple Device (CCD) ตัว CCD จะรับแสงดังกล่าวลงไปเก็บไว้ใน เส้นเล็กของเซลล์ และจะแปลงคลื่นแสงของแต่ละเซลเล็กๆให้กลายเป็นคลื่นความต่างศักย์ ซึ่งจะแตกต่างไปตามอัตราส่วนของระดับความเข้มของแสงแต่ละจุด ตัวแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล หรือ ADC : Analog to Digital Convertor จะแปลงคลื่น-ความต่างศักย์ ให้เป็นข้อมูลในรูปแบบที่คอมพิวเตอร์เข้าใจในเวลาเดียวกัน โปรแกรมในการอ่านจะควบคุมการทำงานของเครื่องอ่านภาพให้รับข้อมูลเข้าและจัดรูปแบบเป็นแฟ้มข้อมูลของภาพในระบบคอมพิวเตอร์ต่อไป [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ภาพจากการสแกน

ภาพในคอมพิวเตอร์จะอยู่ในรูปแบบดิจิทัล คอมพิวเตอร์แทนส่วนเล็กๆ ของภาพที่เรียกว่า พิกเซล (pixels) ขนาดของไฟล์รูปภาพ จะประกอบด้วยจำนวนพิกเซลเป็นร้อยเป็นพัน คอมพิวเตอร์จะบันทึกค่าความเข้มและค่าสีของพิกเซลแต่ละพิกเซล ด้วยจำนวน 1 บิต หรือหลายๆ บิต จำนวนของพิกเซลจะเป็นตัวแสดงถึงความละเอียด และถ้ามีจำนวนบิตต่อพิกเซลมาก สีที่ได้ก็จะมากตามไปด้วยรูปแบบการเก็บข้อมูลมีหลายระบบ เช่น 1 บิต 8 บิต และ 24 บิต โดยถ้าเป็นข้อมูลแบบ 1 บิต จะใช้สำหรับเก็บข้อมูลต่อพิกเซล 2 สถานะ คือ 1 และ 0 ซึ่งจะแสดงสีได้เฉพาะขาวกับดำ แต่ถ้าเป็น 8 บิต จะใช้ความแตกต่างของสีถึง 256 ระดับ การรวมแม่สีมีเทคนิคที่เรียกว่า dithering ซึ่งจะแสดงสีได้ไม่เหมือนกับ ความจริงที่เรามองเห็นได้ สำหรับระบบ 24 บิต จะให้ภาพที่มีสีใกล้เคียงจริงมากที่สุด เรียกว่า photo-realistic โดยจะแบ่ง 24 บิต เป็น 3 ส่วน คือ แดง เขียว น้ำเงิน ส่วนละ 8 บิต เมื่อรวมทั้ง 3 ส่วนเข้ากันแล้ว จะสามารถแสดงสีได้ถึง 16.7 ล้านสี [12]

2.5.3 การทำงานของเครื่องสแกน

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องสแกน คือแหล่งกำเนิดแสงซึ่งจะทำหน้าที่ฉายแสงไปที่กระดาษที่วางอยู่บนกระจก พื้นที่สีขาวที่ฝาปิดจะช่วยให้การสะท้อนของแสงดีขึ้น เมื่อสั่งให้เครื่องสแกนทำงาน มอเตอร์จะขับเคลื่อนหัวสแกนผ่านใต้กระดาษ ในระหว่างที่เคลื่อนที่นี้หัวสแกนจะจับแสงที่สะท้อนมาจากแต่ละพื้นที่ของกระดาษ ซึ่งพื้นที่นี้จะมีขนาดประมาณ 1/90,000 ตารางนิ้ว แสงจากกระดาษจะสะท้อนผ่านระบบกระจกเพื่อทำให้ลำแสงนั้นได้ไปในทิศทางที่เหมาะสมไปยังเลนส์ เลนส์จะรวมแสงเพื่อไปผ่านไดโอดแสง เพื่อแปลงข้อมูลแสงนี้ให้อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้า ถ้ามีแสงผ่านไปที่ไดโอดมากปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ได้ก็จะมากขึ้น ถ้าเป็นเครื่องสแกนแบบสีแสงที่สะท้อนนี้จะผ่านไปยังฟิลเตอร์แดง เขียว หรือน้ำเงินที่อยู่หน้าไดโอด ADC จะเก็บข้อมูลอะนาล็อกแต่ละส่วนนี้ไว้ ซึ่งข้อมูลแต่ละส่วนนี้เรียกว่า พิกเซล ซึ่งในความยาวหนึ่งนิ้วจะประกอบด้วยพิกเซลประมาณ 300 - 1,200 พิกเซลการเคลื่อนที่ของเครื่องสแกนบางประเภท ตัวกระดาษไม่เคลื่อนที่สิ่งที่เคลื่อนที่คือ หัวสแกน แต่ในเครื่องสแกนระดับสูงหัวอ่านจะไม่เคลื่อนที่ จะมีตัวหมุนกระดาษเข้าไป ด้วยวิธีนี้ทำให้คุณภาพที่ได้จากการเครื่องสแกนแบบนี้สูงกว่า [12]

2.6 ชุดทดสอบภาคสนาม (On-site monitoring test kit)

โดยทั่วไปมีจุดประสงค์เพื่อใช้สำหรับการทดสอบ หรือการวิเคราะห์สารที่ได้ในภาคสนามอย่างง่ายและรวดเร็วสำหรับผู้ใช้ที่ทำการสำรวจ วิจัยในภาคสนามชุดทดสอบสารภาคสนามอย่างง่ายจึงต้องมีสมบัติง่ายๆ ที่เป็นข้อดี

ชุดทดสอบสารภาคสนามอย่างง่าย มีข้อดีคือ ใช้ในการทดสอบสารอย่างรวดเร็วในภาคสนามเพื่อให้ได้ผลทดสอบทันที เพื่อการทดสอบตัวอย่างจำนวนมากเพื่อให้สามารถทดสอบในสภาวะจริง เนื่องจากการทดสอบที่ทำในห้องปฏิบัติการจำเป็นต้องมีการเก็บตัวอย่างและเติมสารคงตัว (Preservative) ตามความจำเป็นจึงไม่ใช่การทดสอบสภาวะจริง ชุดทดสอบภาคสนามอย่างง่ายส่วนใหญ่มีข้อเสีย คือมีไว้ใช้สำหรับการคัดกรอง (screening) ใช้ได้เพียงตัวอย่างที่ไม่มีขั้นตอนที่ยุ่งยากและซับซ้อน มีความถูกต้องแม่นยำน้อยกว่าวิธีในห้องปฏิบัติการ และไม่สามารถใช้การทดสอบที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการความแม่นยำสูง เพราะชุดทดสอบสามารถทำได้เพียงวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative analysis) ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ในเชิงปริมาณได้ (Quantitative analysis) [16]

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปริวรรต โนนศิริ และคณะ [16] ได้ศึกษาและพัฒนาการใช้ชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ การเตรียมจุดรีเอเจนต์ใช้สารละลายโซล–เจลด้วยรีเอเจนต์ที่เหมาะสม ประกอบด้วยสารละลายแมกนีเซียมอีดีทีเอ สารละลายแบเรียมคลอไรด์ และอินดิเคเตอร์เอริโอโครมแบลคที ซัลเฟตไอออนในน้ำทำปฏิกิริยากับสารละลายแบเรียมคลอไรด์มากเกินพอ ได้ตะกอนแบเรียมซัลเฟต นำส่วนของสารละลายหลังตกตะกอนแล้วไปหยดบนจุดรีเอเจนต์บนกระดาษ แบเรียมคลอไรด์ที่เหลือจะทำปฏิกิริยากับสารละลายแมกนีเซียมอีดีทีเอและแอริโอโครมแบลคที สารเชิงซ้อนที่ได้คือแมกนีเซียมแอริโอโครมแบลคทีซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี ความเข้มข้นของซัลเฟตที่ทำการทดสอบคือ 50, 100, 250 และ 500 ppm ตรวจสอบความเข้มสีด้วยเครื่องสแกน ได้กราฟมาตรฐานมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงตามสมการ $y = 0.0541x + 18.809$ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.9938 ได้ค่าร้อยละการคืนกลับอยู่ในช่วง 89 – 145 %

จินตพร ไข่สีทอง และคณะ [17] ได้ศึกษาและพัฒนาชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณของไทโอไซยาเนตในปุ๋ย เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ภาคสนาม การทดสอบนี้ใช้กระดาษกรองเป็นซับสเตรท ใช้สารละลายโซล-เจลเจือเหล็ก (III) ความเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v) เป็นจุดรีเอเจนต์ โดยหยดลงบนกระดาษกรอง ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ 30 นาที แล้วทำการหยดกรดไนตริกความเข้มข้น 0.50 โมลาร์ ตามด้วยสารละลายมาตรฐานไทโอไซยาเนตหรือสารละลายตัวอย่าง ปริมาตรอย่างละ 10.00 ไมโครลิตร ลงบนจุดรีเอเจนต์ ทิ้งไว้ให้แห้ง 20 นาที บันทึกภาพจุดสีส้มแดงที่เกิดจากสารเชิงซ้อนระหว่างเหล็ก (III) กับไทโอไซยาเนตด้วยเครื่องสแกน ใช้โปรแกรม Image J™ วัดและบันทึกภาพความเข้มแสง RGB คำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสงด้วยสมการยูคลิด กราฟมาตรฐานที่ได้มีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 10 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์น้อยกว่า 8.01% ขีดจำกัดของการตรวจพบและขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณเท่ากับ 4.85 และ 15.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ การวิเคราะห์หาปริมาณไทโอไซยาเนตในตัวอย่างปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟตและปุ๋ยยูเรียได้ค่าร้อยละคืนกลับ อยู่ในช่วง 53.96 - 62.14% และ 92.92 - 106.26% ตามลำดับ

กฤตยพร ศรทอง และคณะ [18] ได้ศึกษาและพัฒนาชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษสำหรับการวิเคราะห์ไนไตรท์ โดยการเตรียมจุดรีเอเจนต์บนกระดาษด้วยวิธีโซล-เจล ใช้ซัลฟานิลาไมด์เป็นรีเอเจนต์ เมื่อหยดสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ลงบนจุดรีเอเจนต์ ไนไตรท์จะทำปฏิกิริยากับซัลฟานิลาไมด์ได้สารประกอบ Diazonium ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อกับแนฟทิลเอทิลีนไดอะมีนไดไฮโดรคลอไรด์ (NED) ได้สีชมพูของสารประกอบ Azo dye หยดโซล-เจลที่ได้ในปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลงบนกระดาษกรอง เพื่อใช้เป็นจุดรีเอเจนต์ ทำการวิเคราะห์ไนไตรท์โดยหยดสารละลายมาตรฐานไนไตรท์หรือสารละลายตัวอย่างปริมาตร 5.00 ไมโครลิตร และสารละลาย NED (0.0039 M) ปริมาตร 3.00 ไมโครลิตร ลงบนจุดรีเอเจนต์ กราฟมาตรฐานที่ได้มีความเป็นเส้นตรงในช่วง 2-10 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 ผลการการวิเคราะห์หาไนไตรท์ในตัวอย่างผักบุ้งจีน กวางตุ้งและผักคะน้า พบว่ามีไนไตรท์ เท่ากับ 1.66, 0.41 และ 1.61 mg-N/L ตามลำดับ วิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ให้ค่าวิเคราะห์คืนกลับ (%recovery) อยู่ในช่วง 100.34 - 105.22% และค่า %RSD อยู่ในช่วง 0.55 - 0.93%

ฉันท์ทัต วงษ์ดี [19] ได้พัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กโดยทำการเติมออโทฟีแนนโทรลีนเป็นส่วนผสมในสารละลายโซล-เจล ใช้ไมโครปิเปตหยดสารละลายปริมาตร 10.00 ไมโครลิตรลงบนกระดาษกรอง ตัดแผ่นกระดาษกรองเป็นรูปวงกลมตามรอยขอบของสารละลายโซล-เจล ได้เป็นกระดาษทดสอบ สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบปริมาณเหล็กคือทำการแช่แผ่นกระดาษทดสอบในสารละลายผสมระหว่างสารละลายเหล็กกับสารละลายไฮดรอกซาลา-มีนไฮโดรคลอไรด์ที่ปรับ pH เป็น 4.5 ปริมาตรในช่วง 0.10 - 0.40 มิลลิลิตรเป็นเวลา 15 นาทีจะเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างเหล็ก (II) กับออโทฟีแนนโทรลีนเป็นสีส้มบนกระดาษทดสอบ นำไปสแกนรูปสีด้วยเครื่องสแกน ตั้งค่าความละเอียดในการสแกนเท่ากับ 600 จุดต่อตารางนิ้วและค่าความสว่างของหลอดไฟเท่ากับ -50 คำนวณหาค่าความแตกต่างความเข้มแสงด้วยโปรแกรม Image J™ กระดาษทดสอบนี้สามารถตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายเหล็กได้ถึงระดับ 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริญญา มาสวัสดิ์ [20] ได้พัฒนาระบบการไทเทรตอัตโนมัติที่ใช้สารปริมาณน้อยเพื่อใช้ในการหาเหล็ก (II) ในน้ำธรรมชาติด้วยวิธีการไทเทรตย่อส่วนแบบรีดอกซ์ โดยอาศัยวิธีการพื้นฐานของโพเทนชิโอเมตริกรีดอกซ์ไทเทรชัน ซึ่งจะไทเทรตหาปริมาณของเหล็ก (II) ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต และได้ทำการหาสภาวะต่างๆ ที่เหมาะสม ได้แก่ ขนาดของปริมาตรภาชนะ คือ 10.00 มิลลิลิตร ปริมาณเหล็ก (II) คือ 0.25 มิลลิลิตร อัตราการไหลของโพแทสเซียมไดโครเมต คือ 0.2 มิลลิลิตรต่อนาที และความเข้มข้นของโพแทสเซียมไดโครเมต คือ 0.001 โมลต่อลิตร นอกจากนั้นยังได้ทำการทดลองซ้ำที่สภาวะที่เหมาะสมทั้งก่อนและหลังจากถอด และติดตั้งอุปกรณ์เครื่องไทเทรตแบบอัตโนมัติใหม่อีกครั้ง พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์มีค่าน้อยกว่า 5% แล้วจึงได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (II) จากแหล่งน้ำธรรมชาติ 5 จุดบริเวณมหาวิทยาลัยนเรศวร ได้แก่ อ่างเก็บน้ำบริเวณคลองหนองเหล็ก สระน้ำบริเวณลานสมเด็จ สระน้ำข้างคณะวิทยาศาสตร์ และสระน้ำข้างสระว่ายน้ำสุพรรณกัลยา โดยใช้วิธีการไทเทรตด้วยระบบไทเทรตอัตโนมัติแบบย่อส่วน และได้ทำการเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน คือ วิธีสเปกโทรโฟโตเมทรี พบว่าผลการทดลองทั้งสองวิธีให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมัน 95% ซึ่งปริมาณของเหล็ก (II) ที่ตรวจพบอยู่ในช่วง 0.80 -1.37 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Barr Harbor Drive และคณะ [21] ได้พัฒนาการทดสอบโดยอาศัยวิธีการทดสอบนี้มีพื้นฐานมาจากการตรวจวัดทางสเปกโตโฟโตเมทรีของสารประกอบเชิงซ้อนเหล็ก (II) กับฟีแนนโทรลีน ตัวอย่างจะละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม และเหล็กทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นเหล็ก (II) ด้วยการเติมไฮดรอกซาลามีนไฮโดรคลอไรด์ สีจะเกิดขึ้นโดยการเติมฟีแนนโทรลีน ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาสั้นๆ การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายจะวัดที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร สีของสารละลายที่เกิดขึ้นมีความคงตัวเป็นเวลาอย่างน้อยหลายเดือน

American public health association, American water association and Water environment federation [22] ได้กำหนดวิธีมาตรฐานในการวิเคราะห์เหล็ก โดยเตรียมสารละลายเหล็ก โดยการนำเหล็ก (II) มาละลายด้วยกรดและไฮดรอกซาลามีน จากนั้นเติม 1,10-ฟีแนนโทรลีน ปรับ pH อยู่ที่ 3.2 - 3.3 ฟีแนนโทรลีนจะทำปฏิกิริยากับของเหล็ก (II) ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนส้มแดง โดยสีของสารละลายเป็นไปตามกฎของเบียร์ ใช่ช่วง pH 3 ถึง 9 โดยค่า pH ระหว่าง 2.9 ถึง 3.5 จะทำให้เกิดสีจากปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก (II) กับฟีแนนโทรลีนที่มีเสถียรภาพเป็นเวลาอย่างน้อย 6 เดือน

Abdolraouf Samadi และคณะ [23] ได้ศึกษาการใช้ซิลิกาโซล-เจล จากเตตตะอีท็อกซี่ซิเลน (TEOS) มีลักษณะเป็นฟิล์มบางๆ เคลือบบนพื้นผิวแก้ว การเกิดโซล–เจล ที่ pH เท่ากับ 3 อัตราส่วนระหว่างน้ำต่ออัลโคไซด์เป็น 4 ต่อ 1 ฟิล์มโซล-เจลสามารถใช้ในการตรวจวัดหาปริมาณเหล็ก (II) มีความสามารถในการจำเพาะสูง มีช่วงการใช้งาน 5 - 115 ng/mL มีขีดจำกัดการตรวจหา 1.68 ng/mL มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 3.5% และ 1.27% สำหรับ 10 และ 90 ng/mL ของ Fe (II) ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการตอบสนองที่รวดเร็วคือ 120 วินาที เหล็กทั้งหมดถูกรีดิวซ์จาก Fe (III) เป็น Fe (II) โดยใช้กรดแอสคอบิคเป็นตัวรีดิวซ์ จากนั้นหาความเข้มข้นของ Fe (III) คำนวณโดยการลบความเข้มข้นของ Fe (II) ออกจากความเข้มข้นของเหล็กทั้งหมด

Napaporn Youngvises และคณะ [24] ได้พัฒนาเทคนิคระบบมัลติรีเวอร์สโฟลอินเจคชั่นอะนาลิซิสร่วมกับมัลติออฟติคอลเซนเซอร์เพื่อให้เหมาะสมต่อการวิเคราะห์หาปริมาณไอออนในตัวอย่างน้ำ โดยไอออนที่ต้องการวิเคราะห์มี 4 ชนิด คือ แมงกานีส (II) เหล็ก (II) คอปเปอร์ (II) และ เหล็ก (III) โดยการทดลองจะใช้ปั๊ม Peristaltic แบบ 4 ช่องในการขับเคลื่อนสารละลายตัวอย่างหรือสารละลายมาตรฐาน เนื่องจากตัวทำปฏิกิริยาที่มีสี 4 ชนิดมีความจำเพาะสำหรับไอออนโลหะแต่ละชนิด จากนั้นจึงถูกฉีดแยกในกระแสตัวอย่างโดยใช้ Multi–syringepump โดยที่แต่ละ Mixing coil เป็นบริเวณที่ทำให้สารนั้นเกิดสี หลังจากนั้นกระแสเข้าไปใน Multi-channels spectrometer ซึ่งประกอบด้วย 4 Flow though cell และ 4 คู่ของหลอดไดโอดที่เปล่งแสงและโฟโตไอโอดด้วยวิธีการวัดสัญญาณควบคู่กันไป ได้ช่วงความเป็นเส้นตรง (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 สำหรับแมงกานีส (II) เหล็ก (II) คอปเปอร์ (II) และ เหล็ก (III) ตามลำดับ ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficients) อยู่ในช่วง 0.9924 – 0.9942 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (percentage relative standard deviation) น้อยกว่า 3 เป็นเทคนิคที่ประสบความสำเร็จในการหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอออนโลหะเป้าหมายในน้ำธรรมชาติแบบพร้อมกัน โดยเทคนิคนี้สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง และใช้ปริมาณรีเอเจนต์ต่ำ ดังนั้นเทคนิคนี้มีความสอดคล้องกับเคมีวิเคราะห์สีเขียว (Green - analytical chemistry หรือ GAC)

Alejandro Ayala Quezada และคณะ [25] ศึกษาการวิเคราะห์วาเนเดียมและเหล็กโดยใช้ระบบ SILFA อาศัยการเกิดออกซิเดชันของพาราอะนิซิดีนโดยใช้โพแทสเซียมโบรเมตในการเกิดไทรอนและเกิดสีแดง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร ในการหาเหล็กจะเติมไดฟอสเฟตเพื่อเป็นตัวแมสกิ้งเอเจนต์และเติมตัวเร่งปฏิกริยาโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และ 1,10-ฟีแนนโทรลีน

Zeriet Ocubagiorgis Tesfaldet และคณะ [26] ได้ศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์แบบซีเคว็นเชียลอินเจคชันอะนาไลซิส (Sequential Injection analysis, SIA) สำหรับวิเคราะห์เหล็ก (II) โดยเหล็ก (II) จะทำปฏิกิริยากับ 1,10-ฟีแนนโทรลีนและ จะให้ผลเป็นสารเชิงซ้อนสีส้มแดง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 512 นาโนเมตร เทคนิคนี้เป็นวิธีที่ง่าย มีความถูกต้องแม่นยำ สามารถทำซ้ำได้และมีความไว วิธีนี้ได้นำมาใช้สำหรับการวิเคราะห์เหล็กรวมในผลิตภัณฑ์ยา (วิตามินรวมแบบเม็ด) มีประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์เหล็ก (II) ในยาเม็ดที่มีองค์ประประกอบของเหล็ก (II) ที่ต่ำมาก ผลการวิจัยนี้พบว่าค่าที่ได้จากการทดลองเป็นที่ยอมรับได้เมื่อทำการเทียบกับผลที่ได้จากยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี เฟรมอะตอมมิกแอพซอฟชันสเปกโทรเมทรี และค่าที่อ้างอิงได้โดยบริษัทผู้ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

1. กาวน้ำ (Glue ; Chunbe 6607 GE - Wan Cheng Plastic Ind. Snd. Bhd., Malaysia)

2. แอมโมเนียมอะซิเตท 98% (Ammonium acetate 98% (CH_3COONH_4); AR/ACS – LOBAL Chemie, India)

3. 1,10-ฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต 99.5% (1,10-Phenanthroline monohydrate 99.5% ($C_{12}H_9N_2 \cdot H_2O$); AR/ACS – LOBAL Chemie, India)

4. ไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ (Hydroxylamine hydrochloride ($NH_2OH \cdot HCl$) ACS-for analysis – Carlo Erba, Italy)

5. แอมโมเนียมเฟอรัสซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต (Ammonium ferrous sulfate hexahydrate ($(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$))

6. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Sulfuric acid (H_2SO_4))

7. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water; Milli Q gradient)

3.1.2 อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง (Analysis balance: CPA224S – Sartorius, Canada)

2. เครื่องสแกน (Cannonscan LiDE110, USA)

3. กระดาษกรองเบอร์ 2 ขนาด 125 มิลลิเมตร (Filter paper qualitative Advantec 125 mm. - Toyo Roshi Kaaisha, Ltd., Japan)

4. ไมโครปิเปต รุ่น Finnpipette ขนาด 1-10 ไมโครลิตร (Micropipette; Finnpipette - Thermo scientific, USA)

5. เครื่องแก้วต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

3.2.1 การเตรียมชุดทดสอบบนกระดาษ

3.2.1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

1) สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ชั่งแอมโมเนียมเฟอรัสซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต 0.7020 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน 50.00 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.00 มิลลิลิตร เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน

2) สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปิเปตสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 10.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน

3) สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปิเปตสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 10.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน

4) สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) สำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน

สำหรับความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, และ 2.5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นปรับด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

สำหรับความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นปรับด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้สสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2.1.2 การเตรียมสารละลายกาวน้ำเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน

ชั่งกาวน้ำปริมาณ 3.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำปราศจากไอออนปริมาณ 6.00 มิลลิลิตรคนให้เข้ากัน ชั่งแอมโมเนียมอะซิเตท 0.90 กรัม คนให้สารละลายรวมเป็นเนื้อเดียวกัน ชั่งไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ 0.036 กรัม แล้วคนให้สารละลายรวมเป็นเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียวกัน ชั่ง 1,10-ฟีแนนโทรลีน 0.0004 กรัม จากนั้นคนจนสารละลายทั้งหมดละลายเป็นเนื้อ-เดียวกัน

3.2.1.3 การเตรียมชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ

หยดสารละลายกาวน้ำเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่เตรียมจากข้อ 3.2.1.2 ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองเบอร์ 2 โดยทำการหยดซ้ำจำนวน 3 ครั้ง จากนั้นทิ้งเอาไว้ให้แห้งสนิทประมาณ 30 นาที

ทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนบนกระดาษโดยหยดสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณที่หยดสารละลายกาวน้ำเอาไว้ ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ บันทึกภาพจุดสีด้วยเครื่องสแกน จากนั้นนำค่าที่ได้มาบันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™ นำค่าความเข้มแสงดังกล่าวมาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กับความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance; ED) จากสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

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

โดย Δ คือ ผลต่างของแสงที่จุด blank กับค่าความเข้มแสง ณ จุดเกิดปฏิกิริยากับเหล็กที่ความเข้มข้นต่างๆกัน

I_R คือ ค่าความเข้มสีแดง

I_G คือ ค่าความเข้มสีเขียว

I_B คือ ค่าความเข้มสีน้ำเงิน

แสงสีขาวจะประกอบด้วยแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่งมีค่าความเข้มแสงสูงสุดเท่ากับ 255, 255, 255 (R, G, B) และแสงสีดำจะมีค่าความเข้มแสงต่ำสุดเท่ากับ 0, 0, 0 (R, G, B)

3.2.2 ศึกษาหาความเข้มข้นของสารละลายกาวน้ำเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีนที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมทดสอบบนกระดาษ

3.2.2.1 การเตรียมสารละลายกาวน้ำในอัตราส่วนกาวต่อน้ำเป็น 1:1, 1:2, 1:3, 1:5, 2:1 และสารละลายที่มีแต่น้ำปราศจากไอออนเพียงอย่างเดียว

ทำการเตรียมบีกเกอร์จำนวน 6 ใบ โดยชั่งกาวน้ำปริมาณ 3.00 กรัม สำหรับอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3, 1:5 จากนั้นเติมน้ำปราศจากไอออนปริมาณ 3.00, 6.00, 9.00, 15.00 มิลลิลิตรลงไปตามลำดับ ชั่งกาวน้ำปริมาณ 6.00 กรัม สำหรับอัตราส่วน 2:1 เติมน้ำปราศจากไอออนปริมาณ 3.00 มิลลิลิตร และอีกบีกเกอร์เตรียมน้ำปราศจากไอออนปริมาณ 3.00 มิลลิลิตร (ไม่ต้องชั่งกาวน้ำ) จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมไว้คนให้เข้ากัน แล้วชั่ง 1,10-ฟีแนนโทรลีน ปริมาณ 0.0004 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แอมโมเนียมอะซิเตท 0.90 กรัม และไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ 0.036 กรัม ใส่ลงทุกบีกเกอร์ในปริมาณที่เท่ากัน จากนั้นคนสารละลายทั้งหมดที่เตรียมไว้รวมเป็นเนื้อเดียวกัน หยดสารละลายปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองและรอให้แห้งเป็นเวลา 30 นาที จึงหยดสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณที่หยดสารละลายกาวเอาไว้ ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที แล้วบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ

3.2.3 ศึกษาการกระจายตัวของสารละลายที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีนบนกระดาษกรอง

เตรียมบีกเกอร์จำนวนสองใบเพื่อทำการเปรียบเทียบ โดยบีกเกอร์แรกเตรียมสารละลายกาว-น้ำที่ความเข้มข้นตามข้อ 3.2.1.2 และอีกบีกเกอร์เตรียมสารละลายเข้มข้นเช่นเดียวกับข้อ 3.2.1.2 แต่ไม่ใส่สารละลายกาวน้ำ (ใส่เฉพาะน้ำปราศจากไอออน) ทำการหยดลงบนกระดาษกรองเบอร์ 2 ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร โดยทำการหยดซ้ำจำนวน 3 ครั้ง จากนั้นทิ้งเอาไว้ให้แห้งสนิทประมาณ 30 นาที ทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนบนกระดาษ โดยเลือกหยดสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณที่หยดสารละลายเอาไว้ ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที แล้วบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ

3.2.4 ศึกษาพื้นผิวของกระดาษกรองด้านเรียบและด้านขรุขระ

เตรียมสารละลายกาวน้ำที่ความเข้มข้นตามข้อ 3.2.1.2 หยดลงบนกระดาษกรองเบอร์ 2 ทั้งด้านเรียบและด้านขรุขระ ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร โดยทำการหยดซ้ำจำนวน 3 ครั้ง จากนั้นทิ้งเอาไว้ให้แห้งสนิทประมาณ 30 นาที ทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนบนกระดาษ โดยหยดสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 2.0 - 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณที่หยดสารละลายเอาไว้ ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที แล้วบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ

3.2.5 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 - 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2.5.1 ศึกษาความเข้มข้นของแอมโมเนียมอะซิเตท

ทำการเตรียมแอมโมเนียมอะซิเตทปริมาณที่ต่างกันได้แก่ 0.90, 0.60, 0.40 และ 0.20 กรัม โดยใช้ 1,10-ฟีแนนโทรลีน 0.0004 กรัม และไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ 0.036 กรัม คนให้สารละลายทั้งหมดรวมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นหยดสารละลายปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองและรอให้แห้งเป็นเวลา 30 นาที จึงหยดสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณที่หยดสารละลายกาวน้ำเอาไว้ ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที แล้วบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

149476

3.2.5.2 ศึกษาความเข้มข้นของ 1,10-ฟีแนนโทรลีน

เตรียมสารละลายกาวน้ำที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีนปริมาณที่ต่างกันได้แก่ 0.0004, 0.0008, 0.0012 และ 0.0016 กรัม โดยใช้แอมโมเนียมอะซิเตท 0.90 กรัม และไฮดรอกซาลามีน-ไฮโดรคลอไรด์ 0.036 กรัม คนให้สารละลายทั้งหมดรวมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นหยดสารละลายปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองและรอให้แห้งเป็นเวลา 30 นาที จึงหยดสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณที่หยดสารละลายกาวน้ำเอาไว้ ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที แล้วบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ

3.2.5.3 ศึกษาความเข้มข้นของไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์

ทำการเตรียมไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ปริมาณที่ต่างกันได้แก่ 0.016, 0.020, 0.024, 0.036 และ 0.048 กรัม โดยใช้ 1,10-ฟีแนนโทรลีน 0.0004 กรัม และแอมโมเนียมอะซิเตท 0.90 กรัม คนให้สารละลายทั้งหมดรวมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นหยดสารละลายปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองและรอให้แห้งเป็นเวลา 30 นาที จึงหยดสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณที่หยดสารละลายกาวเอาไว้ ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที แล้วบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ

3.2.6 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 - 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2.6.1 ศึกษาความเข้มข้นของแอมโมเนียมอะซิเตท

ทำการเตรียมแอมโมเนียมอะซิเตทปริมาณที่ต่างกันได้แก่ 0.90, 0.60, 0.40 และ 0.20 กรัม โดยใช้ 1,10-ฟีแนนโทรลีน 0.0004 กรัม และไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ 0.036 กรัม คนให้สารละลายทั้งหมดรวมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นหยดสารละลายปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองและรอให้แห้งเป็นเวลา 30 นาที จึงหยดสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.00, 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณที่หยดสารละลายกาวเอาไว้ ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที แล้วบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ

3.2.6.2 ศึกษาความเข้มข้นของ 1,10-ฟีแนนโทรลีน

เตรียมสารละลายกาวที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ปริมาณที่ต่างกันได้แก่ 0.0004, 0.0008, 0.0012 และ 0.0016 กรัม โดยใช้แอมโมเนียมอะซิเตท 0.9 กรัม และไฮดรอกซาลามีน-ไฮโดรคลอไรด์ 0.036 กรัม คนให้สารละลายทั้งหมดรวมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นหยดสารละลายปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองและรอให้แห้งเป็นเวลา 30 นาที จึงหยดสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.00, 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณที่หยดสารละลายกาวเอาไว้ ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที แล้วบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ

3.2.6.3 ศึกษาความเข้มข้นของไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์

ทำการเตรียมไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ปริมาณที่ต่างกันได้แก่ 0.016, 0.020, 0.024 และ 0.036 กรัม โดยใช้ 1,10-ฟีแนนโทรลีน 0.0004 กรัม และแอมโมเนียมอะซิเตท 0.90 กรัม คนให้สารละลายทั้งหมดรวมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นหยดสารละลายปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองและรอให้แห้งเป็นเวลา 30 นาที จึงหยดสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.00, 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณที่หยดสารละลายกาวเอาไว้ ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที แล้วบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

3.2.7 ศึกษาความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์

3.2.7.1 ความเป็นเส้นตรง

3.2.7.1.1 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) สำหรับสร้างกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, และ 2.5 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นปรับด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร นำสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่เตรียมไว้หยดลงบนชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ ในระบบกาวน้ำที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที แล้วบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ

3.2.7.1.2 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) สำหรับสร้างกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นปรับด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.20, 0.40, 0.60, 0.80 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร นำสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่เตรียมไว้หยดลงบนชุดทดสอบแบบจุดในระบบกาวน้ำที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที แล้วบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

นำชุดทดสอบแบบจุดข้อที่ 2.2.7.1.1 และ 2.2.7.1.2 บันทึกภาพการเปลี่ยนแปลงสีของสารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องสแกนแล้วนำภาพดังกล่าวมาบันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม Image J™ และนำมาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กับความแตกต่างความเข้มจากสมการเชิงเส้นแบบยูคลิด (Euclidean distance) จากนั้นหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Determination coefficient, r^2)

3.2.7.2 การคำนวณหาค่าร้อยละของการคืนกลับได้ (%Recovery)

สามารถหาได้โดยใช้สูตร

$$\%Recovery = \frac{conc.spiked - conc.sample}{conc.std.} \times 100$$

3.2.7.3 ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of Detection, LOD)

สามารถหาได้จากกราฟมาตรฐาน โดยใช้สูตร

$$LOD = Y_B + 3S_B$$

เมื่อ Y_B คือ y-intercept

S_B คือ Random error in y- intercept : ค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน y

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

เมื่อ y_i คือ ค่าจริงที่ได้จากการเครื่องมือ

$\hat{y}_i$ คือ ค่าที่ได้จากการแทนค่า x ลงในสมการเส้นตรง y

n คือ จำนวนจุด

2.2.7.4 ขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (Limit of quantitation, LOQ)

$$LOQ = Y_B + 10S_B$$

เมื่อ Y_B คือ y-intercept

S_B คือ Random error in y-intercept : ค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน y

3.2.8 ทดสอบวิเคราะห์เหล็กในตัวอย่างน้ำ

3.2.8.1 การเตรียมสารละลายตัวอย่างสำหรับชุดทดสอบแบบจุดที่ความเข้มข้น 2.0 -10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตน้ำตัวอย่าง 6 ตัวอย่างได้แก่ น้ำดื่ม 3 ตัวอย่าง,น้ำแร่, น้ำบาดาล และน้ำประปา ปริมาณ 20.00 มิลลิลิตร ใส่ลงขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร จำนวน 4 ขวด จากนั้นปิเปต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนครบ 25 มิลลิลิตร และตัวอย่างน้ำทั้ง 6 ตัวอย่าง ปริมาณ 20.00 มิลลิลิตร ใส่ลงขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนครบ 25 มิลลิลิตร (ทำจนครบทั้งหมด 6 ตัวอย่าง)

3.2.8.2 การเตรียมสารละลายตัวอย่างสำหรับชุดทดสอบแบบจุดที่ความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตน้ำตัวอย่าง 6 ตัวอย่างได้แก่ น้ำดื่ม 3 ตัวอย่าง,น้ำแร่, น้ำบาดาล และน้ำประปา ปริมาณ 20.00 มิลลิลิตร ใส่ลงขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร จำนวน 4 ขวด จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนครบ 25 มิลลิลิตร และตัวอย่างน้ำทั้ง 6 ตัวอย่าง ปริมาณ 20.00 มิลลิลิตร ใส่ลงขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนครบ 25 มิลลิลิตร (ทำจนครบทั้งหมด 6 ตัวอย่าง)

3.2.8.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ

นำสารละลายตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 3.2.8.1 และ 3.2.8.2 ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร มาหยดลงบนชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษในระบบกาวน้ำที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ลงบนบริเวณที่หยดสารละลายเอาไว้ ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที แล้วบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษ และบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน นำภาพที่ได้มาคำนวณค่าในโปรแกรม Image J™ นำค่าความเข้มแสงดังกล่าวมาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กับความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance; ED)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ศึกษาชุดทดสอบบนกระดาษ

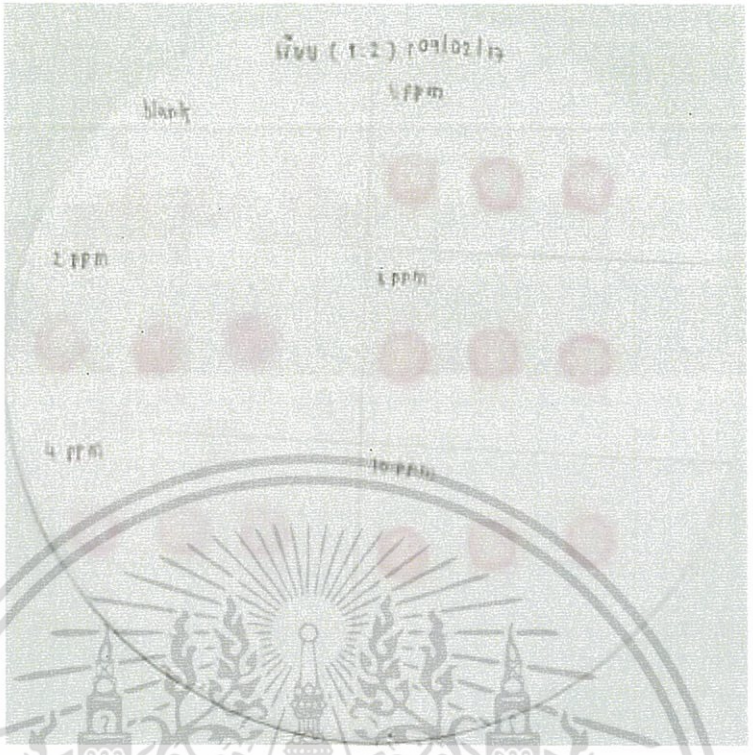
ทำการศึกษาลักษณะการดูดซึมของกระดาษกรอง โดยนำมาสารละลายกาวน้ำที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีนหยดลงบนกระดาษกรองเบอร์ 2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 125 มิลลิเมตร หยดปริมาตรหยดละ 10.00 ไมโครลิตร โดยใช้ไมโครปิเปต จากนั้นทิ้งกระดาษกรองไว้ 30 นาที เพื่อทำให้สารละลายกาวที่อยู่บนกระดาษกรองแห้ง พบว่ากระดาษกรองสามารถดูดซับสารละลายกาวไว้ได้ทั้งหมด มีการแพร่ของสารละลายกาวที่อยู่บนกระดาษกรองเป็นวงกลม

(1) (2)

รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของกาวน้ำที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน (1) และการกระจายตัวของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่หยดลงบนกาวน้ำที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน (2)

เมื่อเตรียมจุดทดสอบแบบจุดที่หยดด้วยสารละลายกาวแล้วทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อให้สารละลายกาวแห้ง จากนั้นทำการหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตรลงบนสารละลายกาว ซึ่งสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีการแพร่จะกระจายเป็นวงกลมทับสารละลายกาวที่หยดลงไป จะเกินออกนอกขอบเขตของสารละลายกาวเพียงเล็กน้อย จากนั้นรอให้แห้ง 30 นาทีแล้วบันทึกการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบแบบจุดด้วยเครื่องสแกน พบว่าชุดทดสอบแบบจุดเกิดสารเชิงซ้อนสีส้มแดงของไอออนเหล็ก (II) กับ 1,10-ฟีแนนโทรลีน มีการแพร่กระจายตัวของสารเชิงซ้อนสีส้มแดงบริเวณขอบเขตที่หยดสารละลายกาว ซึ่งความเข้มสีที่เพิ่มมากขึ้นเป็นไปตามความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน ยิ่งสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) มีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นสีที่ได้ก็จะเข้มขึ้นตามลำดับ ดังรูปที่ 4.2

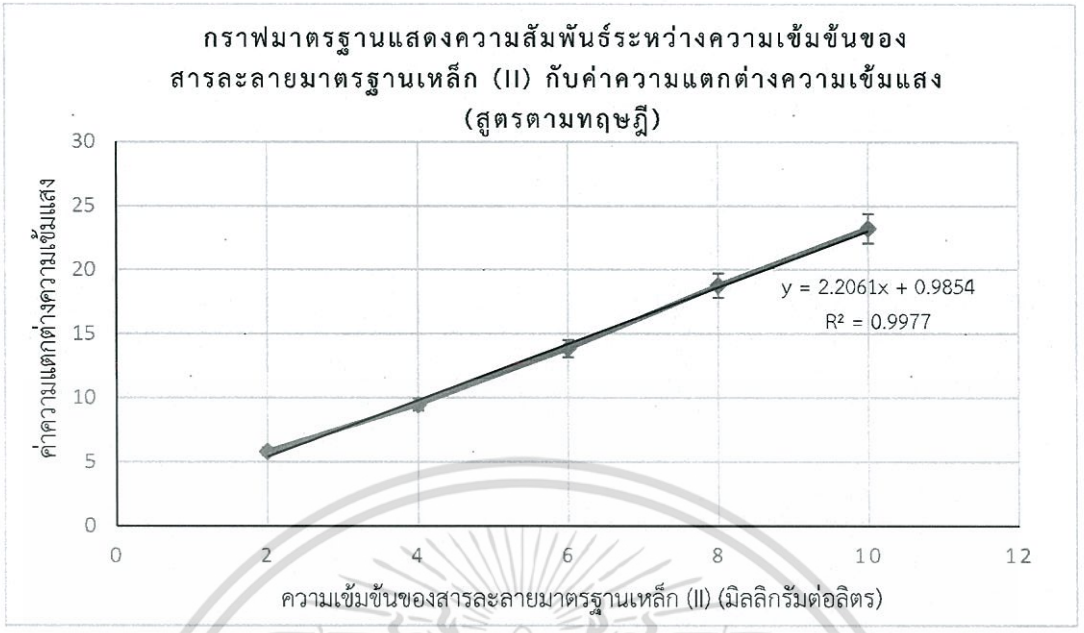
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 สีที่ได้จากการหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างกัน

เมื่อใช้สารละลายกาวน้ำที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน หยดลงบนกระดาษกรองปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร รอให้แห้ง 30 นาที ทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนบนจุดรีเอเจนต์โดยทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วทิ้งให้แห้งประมาณ 30 นาที จากนั้นบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน จากนั้นนำภาพที่ได้มาบันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™ นำค่าความเข้มแสงดังกล่าวมาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กับความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance; ED)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น
สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กับค่าความแตกต่างความเข้มแสง (ภาคผนวก ก.)

จากรูปที่ 4.3 พบว่ากราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กับค่าความแตกต่างความเข้มแสง มีสมการเชิงเส้นถดถอยคือ $y = 2.2061x + 0.9854$ และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.9977

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

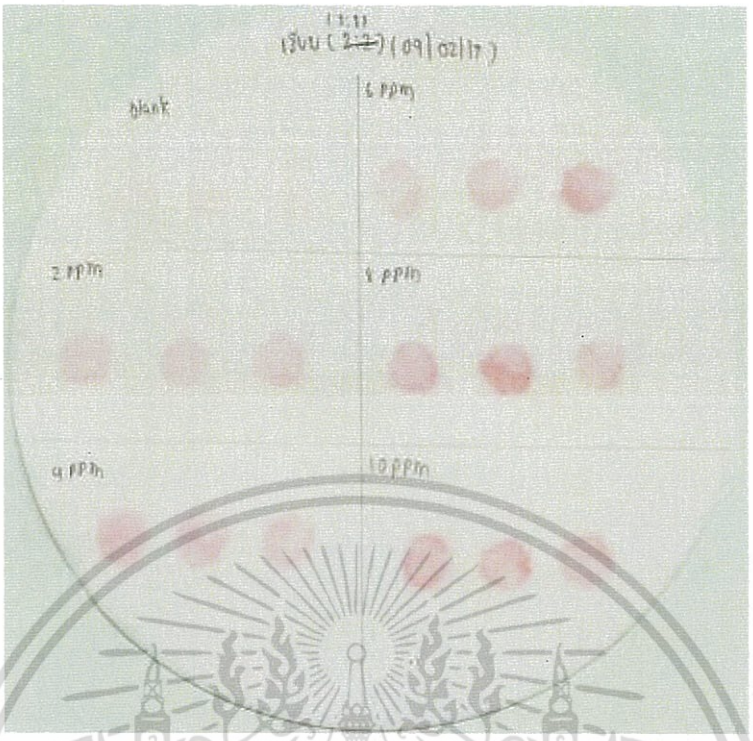
4.2 ศึกษาหาความเข้มข้นของสารละลายกาวน้ำเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีนที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมทดสอบบนกระดาษ

ทดสอบความเข้มข้นของอัตราส่วนกาวที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยทำการปรับอัตราส่วนกาวต่อน้ำเป็น 1:1, 1:2, 1:3, 1:5, 2:1 และอัตราส่วนที่มีแต่น้ำปราศจากไอออน ได้ผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.4 - 4.9

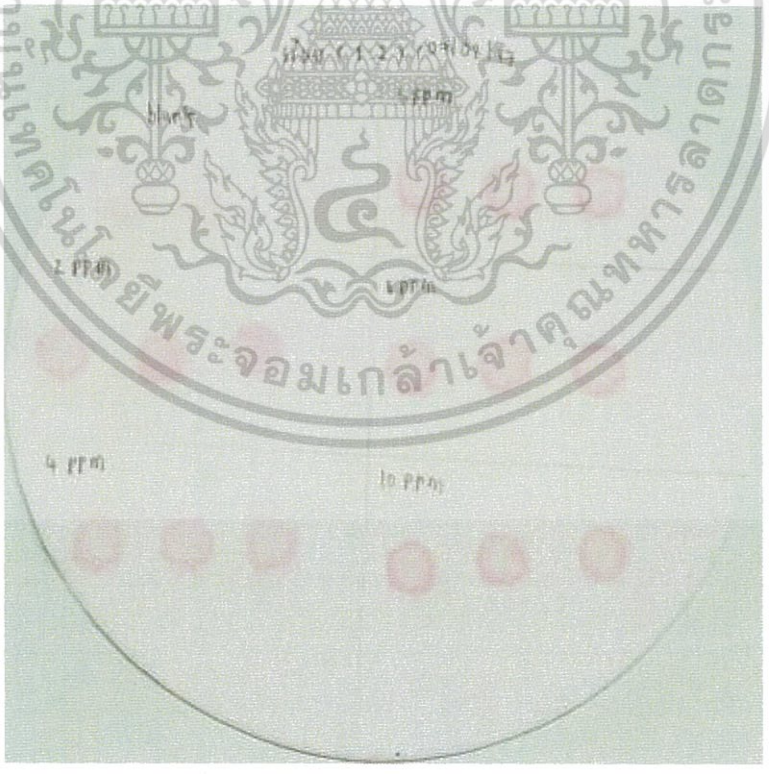
ตารางที่ 4.1 การเลือกสภาวะที่เหมาะสมของการซึมสารละลายที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนกาวต่อน้ำ	กระดาษกรองด้านเรียบ
1 : 1	มีลักษณะเป็นหยดน้ำอยู่บนพื้นผิวของจุดทดสอบประมาณ 1 นาที ก่อนซึมลงไปในจุดทดสอบ , ความสูงของหยด 0.3 มิลลิเมตร, เห็นสีชัดน้อยกว่าอัตราส่วน 1 : 2
1 : 2	มีลักษณะเป็นหยดน้ำอยู่บนพื้นผิวของจุดทดสอบประมาณ 10 วินาที ก่อนซึมลงไปในจุดทดสอบ, ความสูงของหยด 0.3 มิลลิเมตร, เห็นสีชัด
1 : 3	มีลักษณะเป็นหยดน้ำอยู่บนพื้นผิวของจุดทดสอบประมาณ 5 วินาที ก่อนซึมลงไปในจุดทดสอบ, ความสูงของหยด 0.3 มิลลิเมตร, เห็นสีไม่ค่อยชัด สีจางลงกว่าอัตราส่วน 1 : 1 และ 1 : 2
1 : 5	มีลักษณะเป็นหยดน้ำอยู่บนพื้นผิวของจุดทดสอบประมาณ 3 วินาที ก่อนซึมลงไปในจุดทดสอบ, ความสูงของหยด 0.3 มิลลิเมตร, เห็นสีไม่ค่อยชัด สีจางลงกว่าอัตราส่วน 1 : 1 , 1 : 2 และ 1 : 3 สารละลายกาวเหลวมากเกินไปทำให้จุดแต่ละจุดที่หยดสารลายลงไปเกิดการชิดกันและรวมกัน รวมทั้งเกิดการแพร่ที่มากขึ้นกว่าอัตราส่วน 1 : 1, 1 : 2 และ 1 : 3
2 : 1	มีลักษณะเป็นหยดน้ำอยู่บนพื้นผิวของจุดทดสอบประมาณ 1 นาที ก่อนซึมลงไปในจุดทดสอบแต่ใช้เวลาแห้งนานกว่า 30 นาที, ความสูงของหยด 0.3 มิลลิเมตร, เห็นสีได้ไม่ชัดเนื่องจากสารละลายกาวไม่แห้งสนิท และสารละลายหนืด,ข้นมากเกินไป เนื่องจากปริมาณกาวที่เยอะเกินไป
0 : 1	มีลักษณะเป็นหยดน้ำอยู่บนพื้นผิวของจุดทดสอบประมาณ 2 วินาที ก่อนซึมลงไปในจุดทดสอบ, ความสูงของหยด 0.3 มิลลิเมตร, ไม่ค่อยเห็นสีหรือเห็นสีได้น้อยมาก การกระจายตัวของสารละลายที่มีแต่น้ำปราศจากไอออนมีการกระจายตัวอย่างรวดเร็ว เกิดการแพร่ที่เยอะมากขึ้นกว่าการเติมสารละลายกาวลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

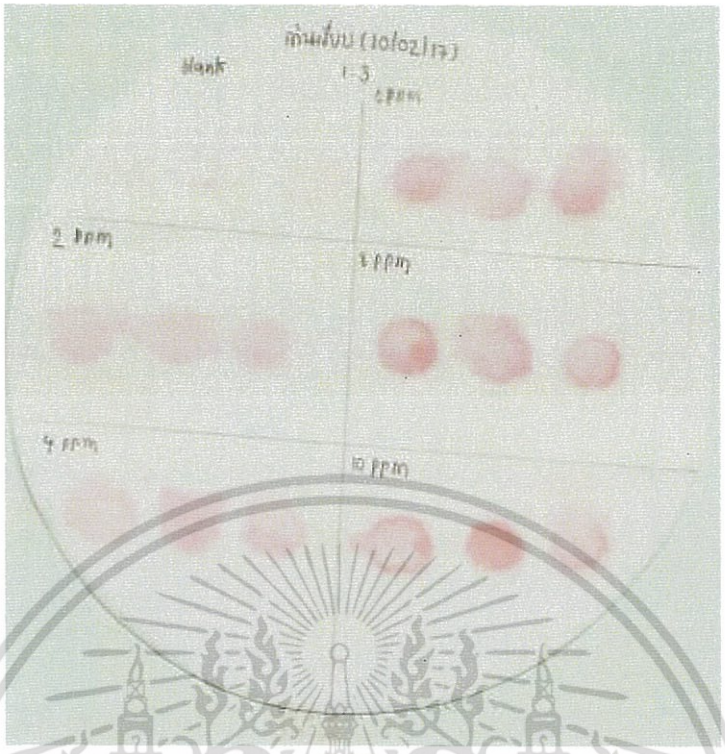


รูปที่ 4.4 การซึมของอัตราส่วนกาวต่อน้ำเป็น 1 : 1
เมื่อหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างกัน

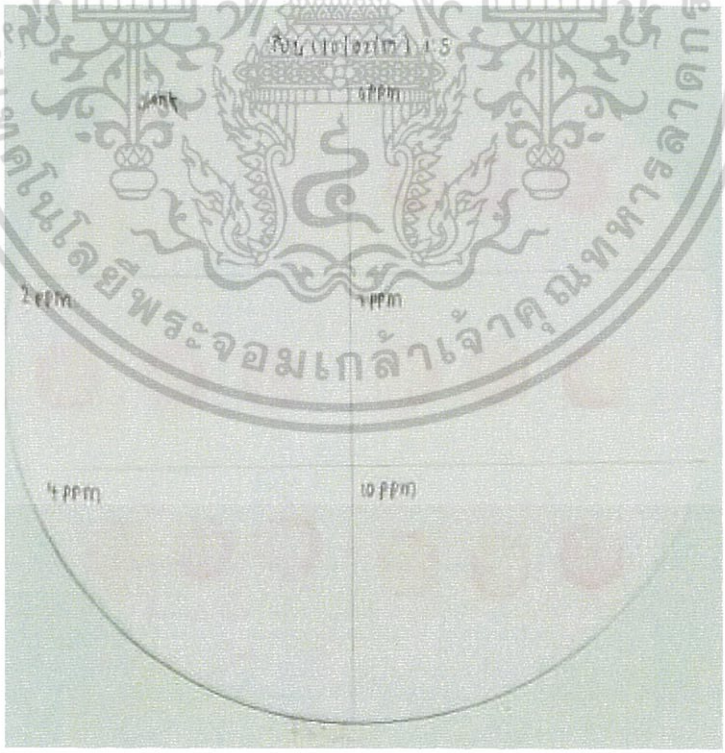


รูปที่ 4.5 การซึมของอัตราส่วนกาวต่อน้ำเป็น 1 : 2
เมื่อหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

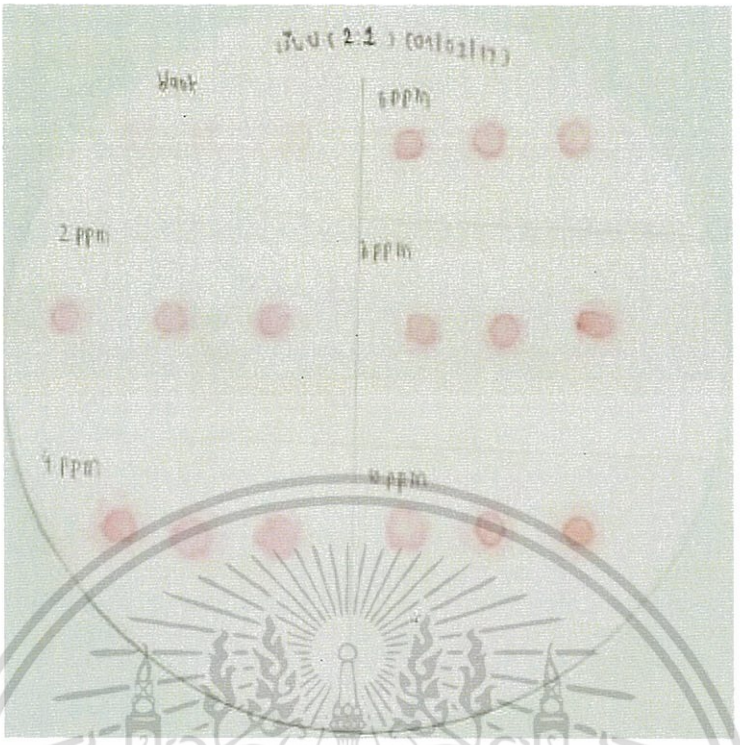


รูปที่ 4.6 การซึมของอัตราส่วนกาวต่อน้ำเป็น 1 : 3
เมื่อหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างกัน



รูปที่ 4.7 การซึมของอัตราส่วนกาวต่อน้ำเป็น 1 : 5
เมื่อหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

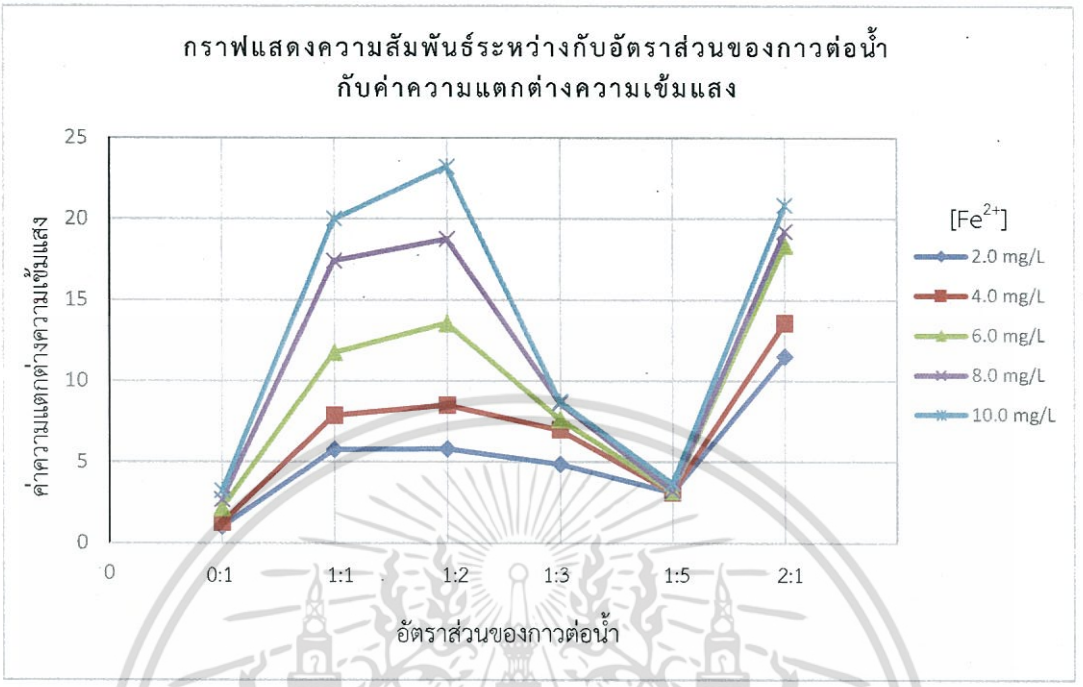


รูปที่ 4.8 การซึมของอัตราส่วนกาวต่อน้ำเป็น 2 : 1
เมื่อหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างกัน

รูปที่ 4.9 การซึมของน้ำปราศจากไอออนที่ไม่มีกาว
เมื่อหยดสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำมาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 4.10



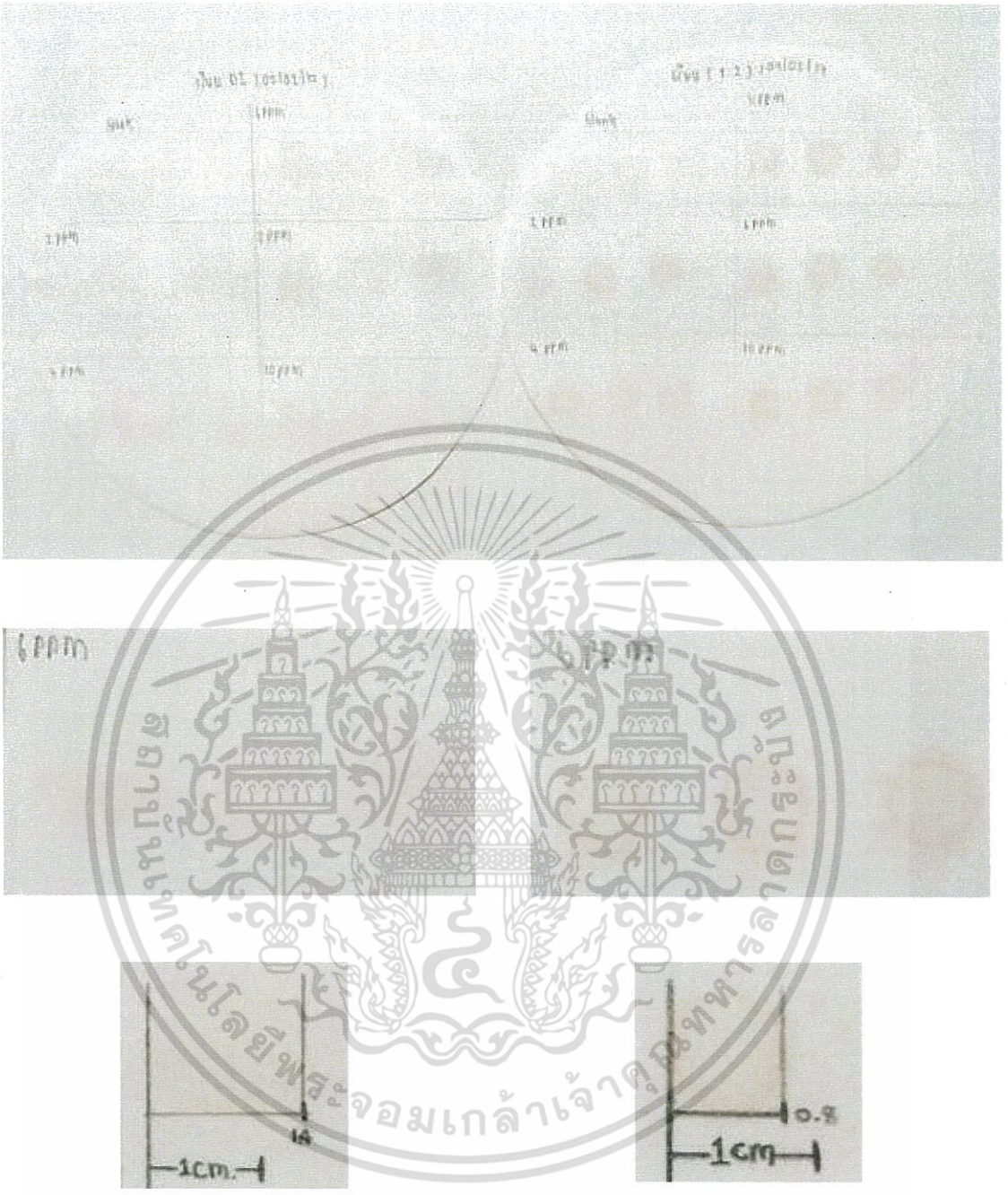
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกับอัตราส่วนของกาวต่อน้ำกับค่าแตกต่างความเข้มแสง (ภาคผนวก ข.)

จากรูปที่ 4.10 พบว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกับอัตราส่วนของกาวต่อน้ำกับค่าความแตกต่างความเข้มแสงที่ 1 : 2 มีค่าความแตกต่างของความเข้มแสงสูงที่สุดในแต่ละจุด จึงทำการเลือกใช้อัตราส่วนนี้เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ในการทดลองต่อไป

4.3 ศึกษาการกระจายตัวของสารละลายที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีนบนกระดาษกรอง

จากการทดสอบการเปรียบเทียบผลระหว่างสารละลายกาวน้ำที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีนกับสารละลายที่ไม่มีกาวน้ำแต่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ส่วนที่มีกาวจะมีการกระจายตัวของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่หยดลงบนชุดทดสอบแบบจุดน้อยกว่าสารละลายที่ไม่มีกาว สารละลายที่มีกาวจะมีการแพร่กระจายของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่อยู่บนกระดาษกรองเป็นวงกลมได้มากกว่า มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.80 มิลลิเมตร และสารละลายที่ไม่มีกาวมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 14.0 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

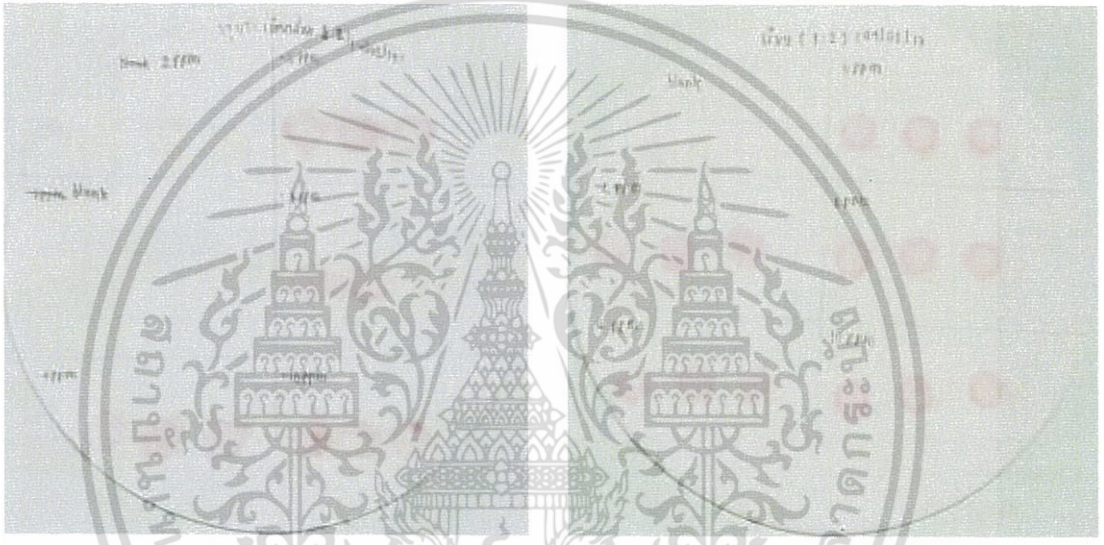


รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบผลระหว่างสารละลายกาวที่ไม่มีกาวแต่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน กับสารละลายที่มีกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ศึกษาพื้นผิวของกระดาษกรองด้านเรียบและด้านขรุขระ

ทำการศึกษาการกระจายตัวของสารละลายน้ำที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ลงบนกระดาษกรองเบอร์ 2 ทั้งสองด้าน ได้แก่ด้านเรียบและด้านขรุขระ จากนั้นรอให้สารละลายแห้งประมาณ 30 นาที แล้วจึงหยดสารละลายมาตรฐานเหล็กที่ความเข้มข้น 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงบนสารละลายกาว ทิ้งไว้ให้แห้งประมาณ 30 นาที โดยพบว่าเมื่อหยดสารละลายกาวลงบนกระดาษกรองด้านเรียบจะมีการแพร่กระจายของสารละลายกาวน้อยกว่าด้านขรุขระและเมื่อหยดสารละลายมาตรฐานเหล็กลงไปทิศทางการแพร่กระจายของกระดาษกรองด้านเรียบมีการแพร่กระจายที่น้อยกว่าได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.12



(a) (b)

รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบการกระจายตัวของสารละลายบนกระดาษกรองด้านขรุขระ (a) และด้านเรียบ (b)

จากรูปที่ 4.12 พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบการกระจายตัวของสารละลายบนกระดาษกรองด้านเรียบกับด้านขรุขระพบว่ากระดาษกรองด้านเรียบมีการกระจายตัวของสารละลายกาวที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่หยดด้วยสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) น้อยกว่ากระดาษกรองด้านขรุขระ จึงมีความเหมาะสมที่จะมาใช้ในการทดลองต่อไป

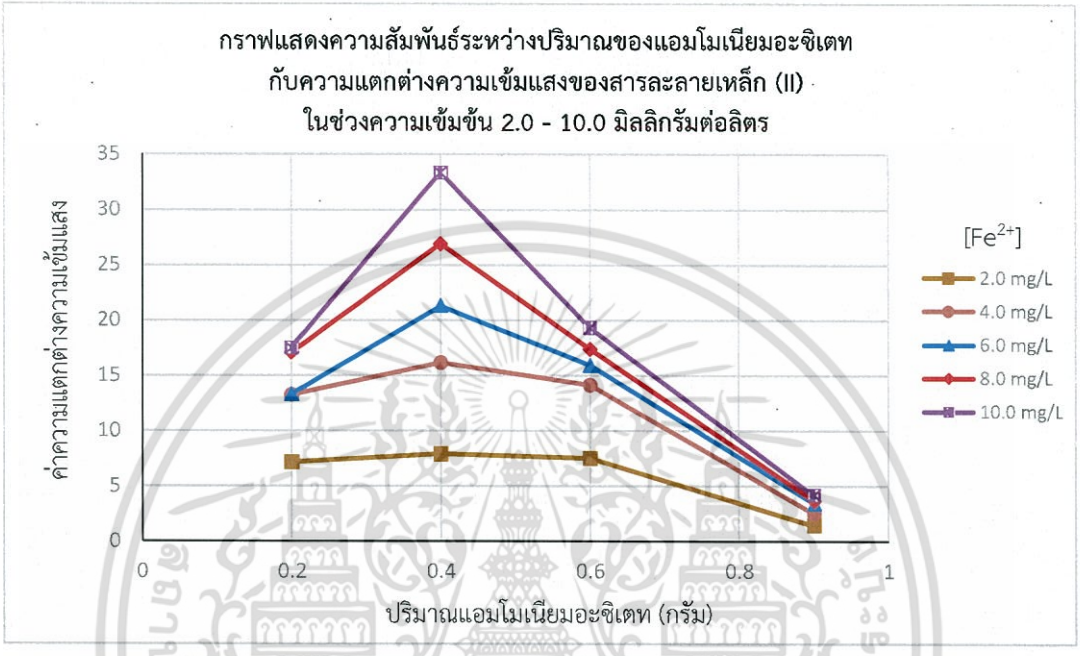
4.5 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นช่วงในช่วง 2.0 - 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.5.1 ศึกษาความเข้มข้นของแอมโมเนียมอะซิเตท

ทำการเตรียมแอมโมเนียมอะซิเตทปริมาณที่ต่างกัน นำมาทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนบนกระดาษโดยทำการหยดสารละลายกาวลงบนกระดาษกรอง รอให้แห้งเป็นประมาณ 30 นาทีแล้วหยดสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน จากนั้นบันทึกภาพการเปลี่ยนแปลงสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องสแกน แล้วนำภาพดังกล่าวมาบันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™ ซึ่งแสดงวิธีการตรวจวัดค่าความเข้มแสงไว้ในภาคผนวก ค. จากนั้นนำมาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแอมโมเนียมอะซิเตทกับความแตกต่างความเข้มแสงจากสมการเชิงเส้นแบบยูคลิด (Euclidean distance) กราฟแสดงความสัมพันธ์แสดงดังรูป 4.13



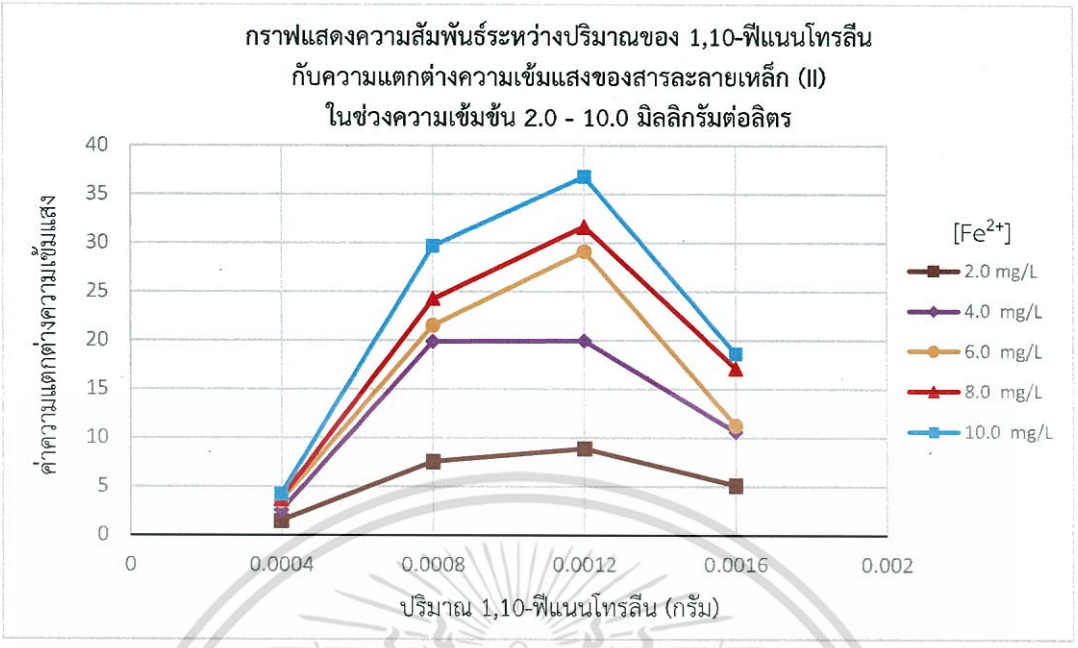
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแอมโมเนียมอะซิเตท กับความแตกต่างความเข้มแสง (ภาคผนวก ค.)

จากรูปที่ 4.13 พบว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแอมโมเนียมอะซิเตทกับความแตกต่างความเข้มแสง เลือกใช้ปริมาณแอมโมเนียมอะซิเตท ที่ 0.40 กรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้สำหรับการทดลองต่อไป เนื่องจากมีค่าความต่างความเข้มแสงที่สูงที่สุดในแต่ละจุด

4.5.2 ศึกษาความเข้มข้นของ 1,10-ฟีแนนโทรลีน

เป็นการทดลองโดยเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดของ 1,10-ฟีแนนโทรลีนมีจุดประสงค์เพื่อต้องการลดปริมาณการใช้สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบ โดยทำการเตรียม 1,10-ฟีแนนโทรลีนปริมาณที่ต่างกันนำมาทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนบนกระดาษโดยทำหยดสารละลายกาวลงบนกระดาษกรอง ทิ้งให้แห้งเป็นประมาณ 30 นาทีแล้วหยดสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน จากนั้นบันทึกภาพการเปลี่ยนแปลงสีของสารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องสแกน แล้วนำภาพดังกล่าวมาบันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™ ซึ่งแสดงวิธีการตรวจวัดค่าความเข้มแสงไว้ในภาคผนวก ง. จากนั้นนำมาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ 1,10-ฟีแนนโทรลีนกับความแตกต่างความเข้มแสงจากสมการเชิงเส้นแบบยูคลิด (Euclidean distance) กราฟแสดงความสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 4.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



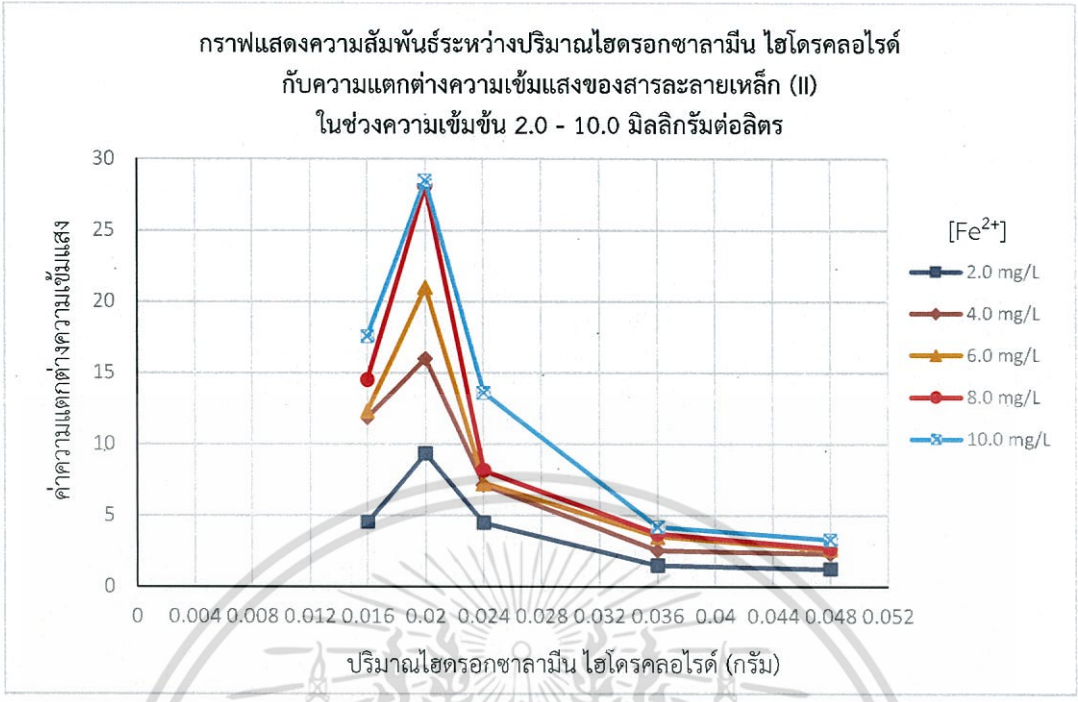
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ 1,10-ฟีแนนโทรลีน กับความแตกต่างความเข้มแสง (ภาคผนวก ง.)

จากรูปที่ 4.14 พบว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ 1,10-ฟีแนนโทรลีนกับความแตกต่างความเข้มแสง เลือกใช้ปริมาณ 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ 0.0012 กรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้สำหรับการทดลองต่อไป เนื่องจากมีค่าความต่างความเข้มแสงที่สูงที่สุดในแต่ละจุด

4.5.3 ศึกษาความเข้มข้นของไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์

ทำการเตรียมไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ปริมาณที่ต่างกัน นำมาทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนบนกระดาษโดยหยดสารละลายกาวลงบนกระดาษกรอง รอให้แห้งเป็นประมาณ 30 นาที แล้วหยดสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน จากนั้นบันทึกภาพการเปลี่ยนแปลงสีของสารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องสแกน แล้วนำภาพดังกล่าวมาบันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™ ซึ่งแสดงวิธีการตรวจวัดค่าความเข้มแสงไว้ในภาคผนวก จ. จากนั้นนำมาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสงจากสมการเชิงเส้นแบบยูคลิด (Euclidean distance) จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ กับความแตกต่างความเข้มแสง (ภาคผนวก จ.)

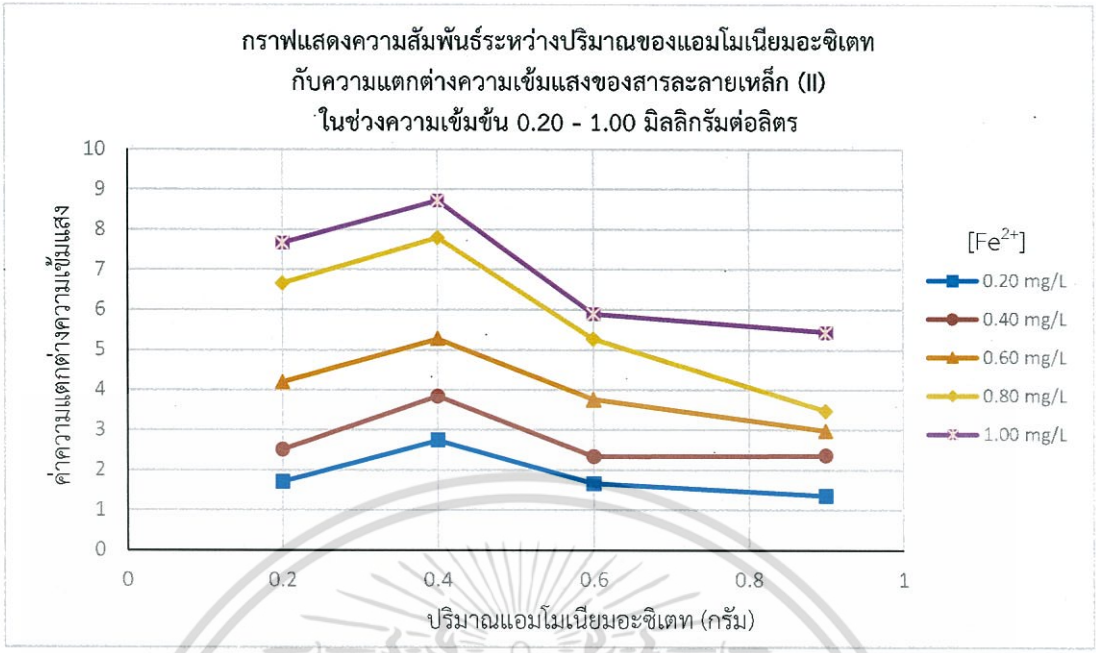
จากรูปที่ 4.15 พบว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสง เลือกใช้ปริมาณไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ ที่ 0.020 กรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้สำหรับการทดลองต่อไป เนื่องจากมีค่าความต่างความเข้มแสงที่สูงที่สุดในแต่ละจุด

4.6 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 - 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.6.1 ศึกษาความเข้มข้นของแอมโมเนียมอะซิเตท

ทำการเตรียมแอมโมเนียมอะซิเตทปริมาณที่ต่างกัน นำมาทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนบนกระดาษโดยทำหยดสารละลายกาวลงบนกระดาษกรอง รอให้แห้งเป็นประมาณ 30 นาทีแล้วหยดสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน จากนั้นบันทึกภาพการเปลี่ยนแปลงสีของสารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องสแกน แล้วนาภาพดังกล่าวมาบันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™ ซึ่งแสดงวิธีการตรวจวัดค่าความเข้มแสงไว้ในภาคผนวก ฉ. จากนั้นนำมาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแอมโมเนียมอะซิเตทกับความแตกต่างความเข้มแสงจากสมการเชิงเส้นแบบยูคลิด (Euclidean distance) กราฟแสดงความสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



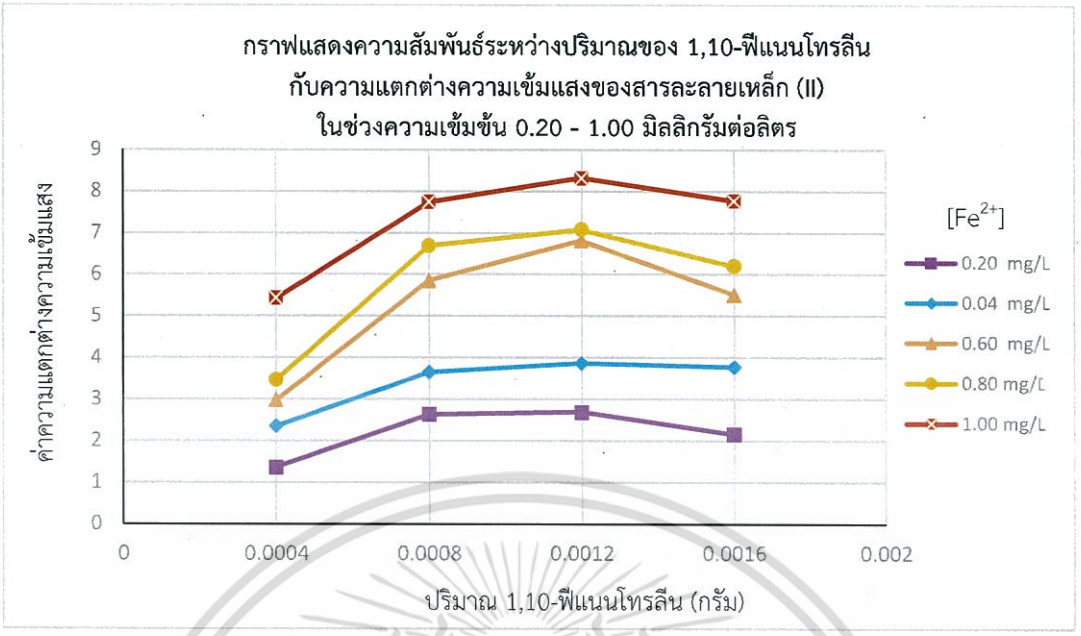
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแอมโมเนียมอะซิเตท กับความแตกต่างความเข้มแสง (ภาคผนวก ฉ.)

จากรูปที่ 4.16 พบว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแอมโมเนียมอะซิเตทกับความแตกต่างความเข้มแสง เลือกใช้ปริมาณแอมโมเนียมอะซีเตทที่ 0.40 กรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้สำหรับการทดลองต่อไป เนื่องจากมีค่าความต่างความเข้มแสงที่สูงที่สุดในแต่ละจุด

4.6.2 ศึกษาความเข้มข้นของ 1,10-ฟีแนนโทรลีน

เป็นการทดลองโดยเลือกความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดของ 1,10-ฟีแนนโทรลีน มีจุดประสงค์เพื่อต้องการลดปริมาณการใช้สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบ โดยทำการเตรียม 1,10-ฟีแนนโทรลีนปริมาณที่ต่างกันนำมาทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนบนกระดาษโดยทำหยดสารละลายกาวลงบนกระดาษกรอง ทิ้งให้แห้งเป็นประมาณ 30 นาทีแล้วหยดสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน จากนั้นบันทึกภาพการเปลี่ยนแปลงสีของสารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องสแกน แล้วนำภาพดังกล่าวมาบันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™ ซึ่งแสดงวิธีการตรวจวัดค่าความเข้มแสงไว้ในภาคผนวก ช. จากนั้นนำมาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ 1,10-ฟีแนนโทรลีนกับความแตกต่างความเข้มแสงจากสมการเชิงเส้นแบบยูคลิด (Euclidean distance) กราฟแสดงความสัมพันธ์แสดงดังรูป 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



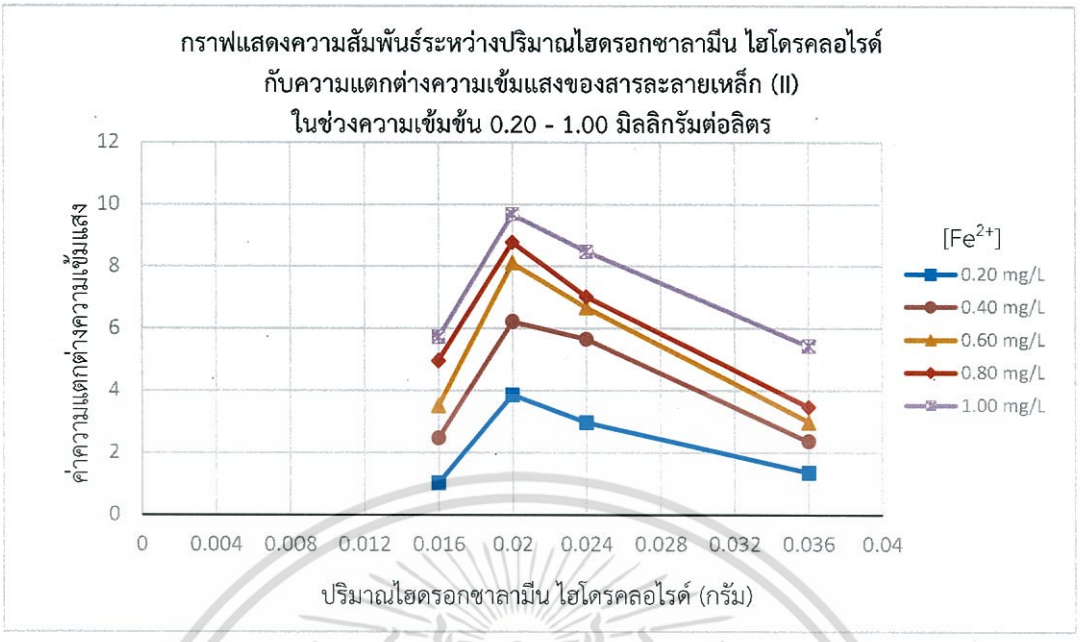
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ 1,10-ฟีแนนโทรลีน กับความแตกต่างความเข้มแสง (ภาคผนวก ช.)

จากรูปที่ 4.17 พบว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของ 1,10-ฟีแนนโทรลีนกับความแตกต่างความเข้มแสง เลือกใช้ปริมาณ 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ 0.0012 กรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้สำหรับการทดลองต่อไป เนื่องจากมีค่าความต่างความเข้มแสงที่สูงที่สุดในแต่ละจุด

4.6.3 ศึกษาความเข้มข้นของไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์

ทำการเตรียมไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ ปริมาณที่ต่างกัน นำมาทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนบนกระดาษ โดยทำการหยดสารละลายกาวลงบนกระดาษกรอง รอให้แห้งเป็นประมาณ 30 นาทีแล้วหยดสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน จากนั้นบันทึกภาพการเปลี่ยนแปลงสีของสารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องสแกน แล้วนาภาพดังกล่าวมาบันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™ ซึ่งแสดงวิธีการตรวจวัดค่าความเข้มแสงไว้ในภาคผนวก ซ. จากนั้นนำมาพลอกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสงจากสมการเชิงเส้นแบบยูคลิด (Euclidean distance) กราฟแสดงความสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 4.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ กับความแตกต่างความเข้มแสง (ภาคผนวก ซ.)

จากรูปที่ 4.18 พบว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสง เลือกใช้ปริมาณไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ ที่ 0.020 กรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้สำหรับการทดลองต่อไป เนื่องจากมีค่าความต่างความเข้มแสงที่สูงที่สุดในแต่ละจุด

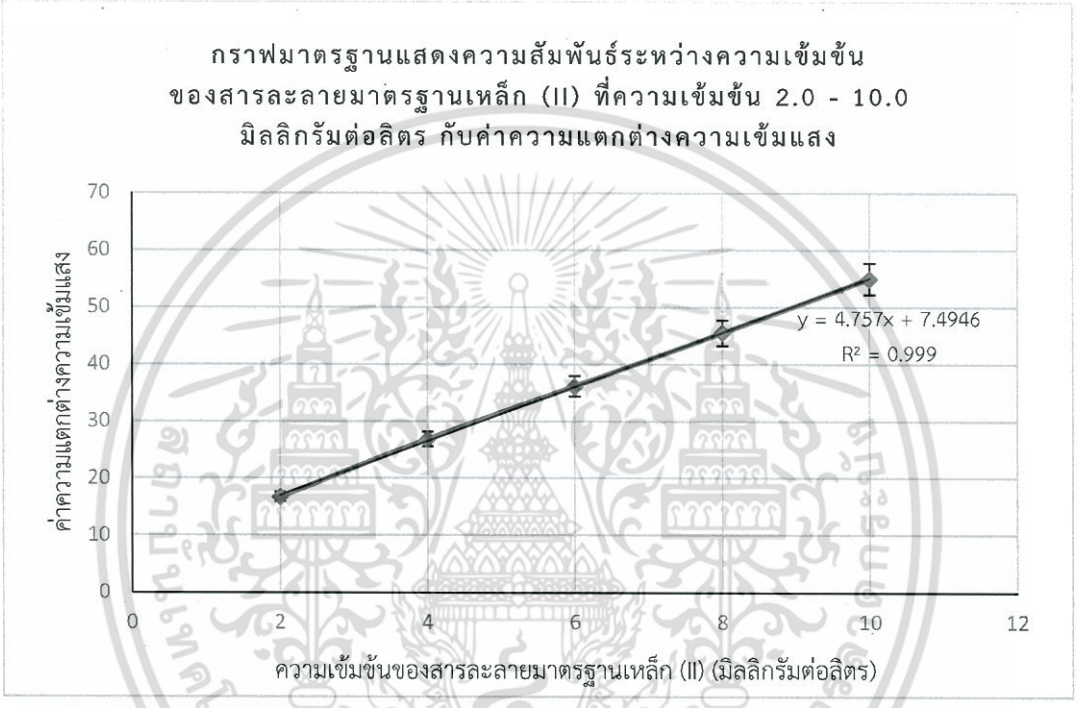
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ศึกษาความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์

4.7.1 ความเป็นเส้นตรง (Linearity)

เมื่อนำค่าความเข้มแสง (แกน Y) และความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (แกน X) มาสร้างกราฟมาตรฐานทำให้สามารถหาความเป็นเส้นตรง ได้ผลการทดลองดังนี้

4.7.1.1 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) สำหรับสร้างกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

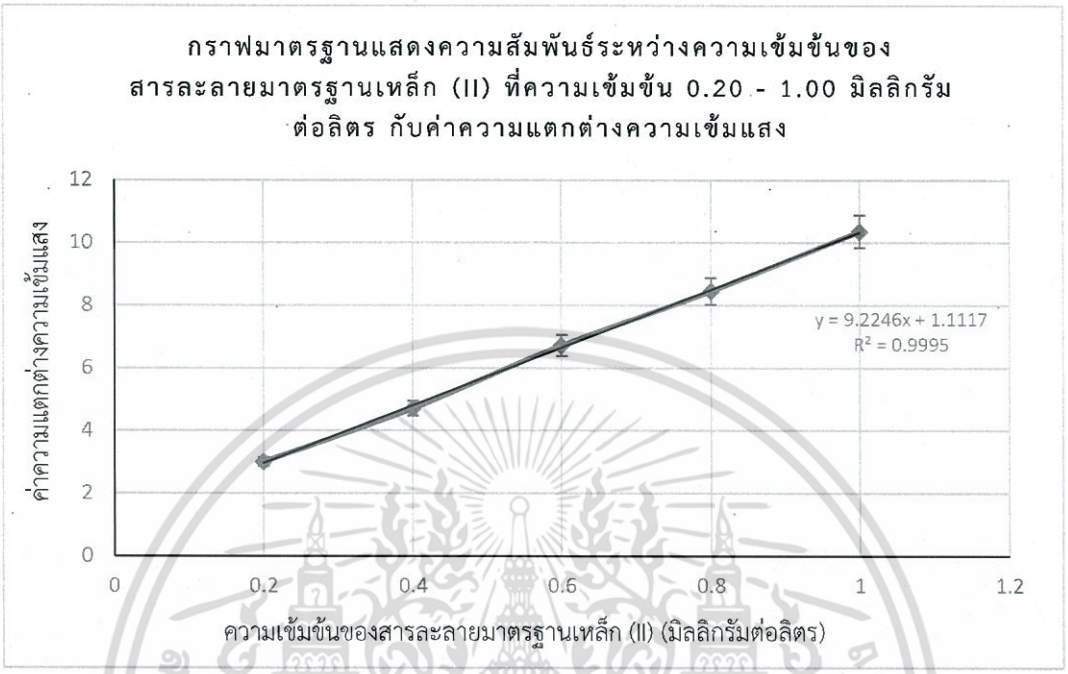


รูปที่ 4.19 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) กับค่าความแตกต่างความเข้มแสง (ภาคผนวก ฌ.)

จากรูปที่ 4.19 พบว่ามีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 2.0 - 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร สมการเชิงเส้นถดถอยคือ $y = 4.757x + 7.4946$ และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.1.2 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) สำหรับสร้างกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.20 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) กับค่าความแตกต่างความเข้มแสงที่ความเข้มข้นต่ำ (ภาคผนวก ญ.)

จากรูปที่ 4.20 พบว่ามีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 0.20 - 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร สมการเชิงเส้นถดถอยคือ $y = 9.2246x + 1.1117$ และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.9995

4.7.2 ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of Detection, LOD)

สามารถหาได้จากกราฟมาตรฐาน โดยใช้สูตร

$$LOD = Y_B + 3S_B$$

เมื่อ Y_B คือ y-intercept

S_B คือ Random error in y- intercept : ค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน y

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

เมื่อ y_i คือ ค่าจริงที่ได้จากการเครื่องมือ

$\hat{y}_i$ คือ ค่าที่ได้จากการแทนค่า x ลงในสมการเส้นตรง

n คือ จำนวนจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.2.1 ขีดจำกัดของการตรวจพบของสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) กับค่าความแตกต่างความเข้มแสงจะได้สมการเส้นตรงคือ $y = 4.757x + 7.4946$

ตารางที่ 4.2 แสดงค่า y_i, $\hat{y}_i$ และ $(y_i - \hat{y}_i)^2$ ในการคำนวณขีดจำกัดของการตรวจพบ

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	y_i	$\hat{y}_i$	$y_i - \hat{y}_i$	$(y_i - \hat{y}_i)^2$
2.0	16.7375	17.0086	-0.2711	0.0735
4.0	26.8481	26.5226	0.3255	0.1059
6.0	36.1174	36.0366	0.0808	0.0065
8.0	45.4976	45.5506	-0.0530	0.0028
10.0	54.9829	55.0646	-0.0817	0.0067
			รวม	**0.1954**
			S_B	0.2552

โดยใช้กราฟมาตรฐานในช่วงความเข้มข้น 2.0 - 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการคำนวณแทนค่า Y_B เท่ากับ 7.4946 และ S_B เท่ากับ 0.2552 จากนั้นแทนลงในสมการเส้นตรงจะได้ค่า LOD ซึ่งพบว่าวิธีนี้ได้ค่าขีดจำกัดของการตรวจพบเหล็ก (II) มีค่าเท่ากับ 0.16 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.2.2 ขีดจำกัดของการตรวจพบของสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) กับค่าความแตกต่างความเข้มแสงที่ความเข้มข้นต่ำสุด จะได้สมการเส้นตรงคือ $y = 9.224x + 1.0117$

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า y_i, $\hat{y}_i$ และ $(y_i - \hat{y}_i)^2$ ในการคำนวณขีดจำกัดของการตรวจพบ

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	y_i	$\hat{y}_i$	$y_i - \hat{y}_i$	$(y_i - \hat{y}_i)^2$
0.20	2.9992	2.8565	0.1427	0.0204
0.40	4.7115	4.7013	0.0102	0.0001
0.60	6.2188	6.5461	-0.3273	0.1071
0.80	8.4465	8.3909	0.0556	0.0031
1.00	10.3563	10.2357	0.1206	0.0145
			รวม	**0.1452**
			S_B	0.2200

โดยใช้กราฟมาตรฐานในช่วงความเข้มข้น 0.20 - 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการคำนวณแทนค่า Y_B เท่ากับ 1.0117 และ S_B เท่ากับ 0.2200 จากนั้นแทนลงในสมการเส้นตรงจะได้ค่า LOD ซึ่งพบว่าวิธีนี้ได้ค่าขีดจำกัดของการตรวจพบเหล็ก (II) มีค่าเท่ากับ 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.7.3 ขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (Limit of Quantitation, LOQ)

$$LOQ = Y_B + 10S_B$$

เมื่อ Y_B คือ y-intercept

S_B คือ Random error in y-intercept : ค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน y

4.7.3.1 ขีดจำกัดของการตรวจพบของสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

โดยใช้กราฟมาตรฐานในช่วงความเข้มข้น 2.0 - 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการคำนวณแทนค่าใน Y_B จะได้เท่ากับ 7.4946 และ S_B เท่ากับ 0.2552 ในสมการจะได้ค่า LOQ ซึ่งพบว่าวิธีนี้ได้ค่าขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณมีค่าเท่ากับ 0.54 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.3.2 ขีดจำกัดของการตรวจพบของสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

โดยใช้กราฟมาตรฐานในช่วงความเข้มข้น 0.20 - 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการคำนวณแทนค่าใน Y_B จะได้เท่ากับ 1.0117 และ S_B เท่ากับ 0.2200 ในสมการจะได้ค่า LOQ ซึ่งพบว่าวิธีนี้ได้ค่าขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณมีค่าเท่ากับ 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.8 ศึกษาชุดทดสอบแบบจุดกับตัวอย่างน้ำ

4.8.1 ศึกษาชุดทดสอบแบบจุดกับตัวอย่างที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 - 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

เตรียมตัวอย่างทั้งหมด 6 ตัวอย่าง ได้แก่ น้ำดื่ม (1),น้ำดื่ม (2), น้ำดื่ม (3), น้ำแร่, น้ำประปา และน้ำบาดาล มาทดสอบหาปริมาณเหล็กที่อยู่ในตัวอย่าง โดยทำการใช้จุดทดสอบบนกระดาษในระบบกาวน้ำที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีนรอให้แห้ง 30 นาที จากนั้นหยดสารละลายที่เตรียมจากขั้นตอนการทำ Spike sample ในข้อ 3.2.8.1 ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ให้แห้ง 30 นาที จะพบสีส้มแดงของสารเชิงซ้อนระหว่างเหล็ก (II) กับสารละลายกาวน้ำที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ทำการบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน นำภาพดังกล่าวมาบันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™ ซึ่งแสดงวิธีการตรวจวัดค่าความเข้มแสงไว้ในภาคผนวก ฎ.

นำค่า Euclidean distance ที่ได้มาคำนวณหาความเข้มข้นโดยใช้สมการเส้นตรงจากกราฟมาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) ในตัวอย่างที่ความเข้มข้นสูงกับค่าความแตกต่างความเข้มแสง ได้ค่าความเข้มข้นในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตรและรายงานผลปริมาณของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ได้จากการวิเคราะห์ในรูปของค่าร้อยละคืนกลับ (%recovery) ของแต่ละตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) ที่วิเคราะห์ได้และร้อยละการคืนกลับ (%recovery) ของตัวอย่างน้ำ (ภาคผนวก ฎ)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่เติม (mg/L)	น้ำดื่ม (1)		น้ำดื่ม (2)		น้ำดื่ม (3)		น้ำแร่		น้ำประปา		น้ำบาดาล	
	ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) ที่วิเคราะห์ได้ (mg/L)	ร้อยละการคืนกลับ (%recovery)	ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) ที่วิเคราะห์ได้ (mg/L)	ร้อยละการคืนกลับ (%recovery)	ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) ที่วิเคราะห์ได้ (mg/L)	ร้อยละการคืนกลับ (%recovery)	ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) ที่วิเคราะห์ได้ (mg/L)	ร้อยละการคืนกลับ (%recovery)	ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) ที่วิเคราะห์ได้ (mg/L)	ร้อยละการคืนกลับ (%recovery)	ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) ที่วิเคราะห์ได้ (mg/L)	ร้อยละการคืนกลับ (%recovery)
0.0	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
2.0	1.96±0.11	98.11±5.36	1.87±0.11	93.52±5.36	1.96±0.11	97.78±5.36	2.03±0.11	101.47±5.36	2.17±0.11	108.58±5.36	1.91±0.11	95.32±5.36
4.0	3.99±0.18	99.70±4.45	4.00±0.18	99.88±4.45	3.90±0.18	97.61±4.45	4.13±0.18	103.13±4.45	4.39±0.18	109.65±4.45	4.22±0.18	105.45±4.45
6.0	6.02±0.29	100.34±4.79	6.09±0.29	101.47±4.79	6.07±0.29	101.10±4.79	6.32±0.29	105.41±4.79	6.68±0.29	111.34±4.79	6.60±0.29	110.02±4.79
8.0	8.00±0.60	100.04±7.46	8.02±0.60	100.21±7.46	8.04±0.60	100.54±7.46	8.19±0.60	102.43±7.46	6.76±0.60	84.55±7.46	8.50±0.60	106.26±7.46

จากตารางที่ 4.4 พบว่าตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์เป็นน้ำทั้งหมด 6 ตัวอย่าง มีค่าร้อยละคืนกลับใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 80-120 %

4.8.2 ศึกษาชุดทดสอบแบบจุดกับตัวอย่างที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

เตรียมตัวอย่างทั้งหมด 6 ตัวอย่าง ได้แก่ น้ำดื่ม (1), น้ำดื่ม (2), น้ำดื่ม (3), น้ำแร่, น้ำประปา และน้ำบาดาล มาทดสอบหาปริมาณเหล็กที่อยู่ในตัวอย่างจริง โดยทำการใช้จุดทดสอบบนกระดาษในระบบกาวที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีนรอให้แห้ง 30 นาที จากนั้นหยดสารละลายที่เตรียมจากขั้นตอนการทำ Spike sample ในข้อ 3.2.8.1 ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งไว้ให้แห้ง 30 นาที จะพบสีส้มแดงของสารเชิงซ้อนระหว่างเหล็ก (II) กับสารละลายกาวน้ำที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ทำการบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน แล้วนำภาพดังกล่าวมาบันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™ ซึ่งแสดงวิธีการตรวจวัดค่าความเข้มแสงไว้ในภาคผนวก ฏ.

นำค่า Euclidean distance ที่ได้มาคำนวณหาความเข้มข้นโดยใช้สมการเส้นตรงจากกราฟมาตรฐานความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) ในตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่ำสุดกับค่าความแตกต่างความเข้มแสง ได้ค่าความเข้มข้นในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตรและรายงานผลปริมาณของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ได้จากการวิเคราะห์ในรูปของค่าร้อยละคืนกลับ (%recovery) ของแต่ละตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) ที่วิเคราะห์ได้และร้อยละการคืนกลับ (%recovery) ของตัวอย่างน้ำ (ภาคผนวก ฏ)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่เติม (mg/L)	น้ำดื่ม (1)		น้ำดื่ม (2)		น้ำดื่ม (3)		น้ำแร่		น้ำประปา		น้ำบาดาล	
	ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) ที่วิเคราะห์ได้ (mg/L)	ร้อยละการกลับคืน (%recovery)	ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) ที่วิเคราะห์ได้ (mg/L)	ร้อยละการกลับคืน (%recovery)	ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) ที่วิเคราะห์ได้ (mg/L)	ร้อยละการกลับคืน (%recovery)	ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) ที่วิเคราะห์ได้ (mg/L)	ร้อยละการกลับคืน (%recovery)	ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) ที่วิเคราะห์ได้ (mg/L)	ร้อยละการกลับคืน (%recovery)	ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) ที่วิเคราะห์ได้ (mg/L)	ร้อยละการกลับคืน (%recovery)
0.00	0.29±0.11	-	0.30±0.11	-	0.27±0.11	-	0.34±0.11	-	0.42±0.11	-	0.57±0.11	-
0.20	0.31±0.12	-	0.32±0.12	-	0.30±0.12	-	0.39±0.12	-	0.42±0.12	-	0.61±0.12	-
0.40	0.43±0.08	107.90±4.42	0.42±0.08	105.41±4.52	0.42±0.08	103.99±4.52	0.44±0.08	110.16±4.52	0.53±0.08	112.89±4.52	0.62±0.08	115.87±4.52
0.60	0.63±0.08	105.29±10.22	0.62±0.08	104.10±10.22	0.56±0.08	93.79±10.22	0.71±0.08	119.06±10.22	0.76±0.08	116.07±10.22	0.74±0.08	119.19±10.22
0.80	0.83±0.06	104.02±4.83	0.85±0.06	105.89±4.83	0.84±0.06	105.21±4.83	0.91±0.06	113.99±4.83	0.97±0.06	110.44±4.83	0.92±0.06	115.54±4.83

จากตารางที่ 4.5 พบว่าตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์เป็นน้ำทั้งหมด 6 ตัวอย่าง มีค่าร้อยละคืนกลับใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 80 – 120%

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (II) โดยใช้ชุดทดสอบแบบจุดในระบบกาวน้ำที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน สามารถใช้แทนโซล-เจลที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน จึงทำให้ลดปริมาณการใช้สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบ เมื่อนำโซล-เจลมาใช้ในการทดสอบจะใช้ได้เพียงครั้งเดียว เนื่องจากโซล-เจลจะเกิดการแข็งตัวและไม่สามารถใช้ต่อได้อีก แต่สารละลายกาวสามารถนำมาใช้ได้หลายครั้ง รวมทั้งยังให้สีที่ชัดเจนเมื่อทำการเตรียมเพื่อใช้ในการทดสอบ โดยที่สารละลายกาวจะไม่แข็งตัวเมื่อนำมาตั้งวางทิ้งไว้ สารละลายกาวที่เจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน จะจำเพาะต่อเหล็ก (II) เท่านั้น จึงทำให้เกิดสารเชิงซ้อนสีส้มแดงของไอออนเหล็ก (II) และ 1,10-ฟีแนนโทรลีน จากนั้นทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นเพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณเหล็ก (II) ที่พบในระบบที่ทำการศึกษานั้นได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของสารเคมีที่นำมาใช้ในการทดสอบ โดยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของอัตราส่วนกาวต่อน้ำ พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือ 1 ต่อ 2, ใช้กระดาษกรองด้านเรียบ, ปริมาณแอมโมเนียมอะซิเตทเป็น 0.40 กรัม, ปริมาณของ 1,10-ฟีแนนโทรลีนเป็น 0.0012 กรัม และปริมาณไฮดรอกซาลามีนไฮโดรคลอไรด์เป็น 0.020 กรัม ซึ่งกราฟมาตรฐานที่ได้มีค่าที่ดีกว่าสูตรตามทฤษฎีของความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร จากเดิมมีค่าสมการเชิงเส้นถดถอยคือ $y = 2.256x + 0.425$ และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.990 กราฟมาตรฐานที่ได้จากการทดสอบสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตรในสูตรที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นพบว่ามีค่า สมการเชิงเส้นถดถอยคือ $y = 4.757x + 7.4946$ และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.999 ได้ค่าขีดจำกัดของการตรวจพบเหล็ก (II) (LOD) มีค่าเท่ากับ 0.16 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ) มีค่าเท่ากับ 0.54 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการคำนวณหาปริมาณเหล็กในตัวอย่างน้ำมีค่าร้อยละการคืนกลับ (%Recovery) อยู่ในช่วง 80 – 120 % และที่ความเข้มข้น 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าสมการเชิงเส้นถดถอยคือ $y = 9.2246x + 1.1117$ และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.9995 ได้ค่าขีดจำกัดของการตรวจพบเหล็ก (II) (LOD) มีค่าเท่ากับ 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ) มีค่าเท่ากับ 0.24 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการคำนวณหาปริมาณเหล็กในตัวอย่างน้ำมีค่าร้อยละการคืนกลับ (%Recovery) อยู่ในช่วง 80 – 120 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นให้วิธีทดสอบนี้สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำและลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดสอบให้น้อยลง แต่ในงานวิจัยนี้ยังต้องได้รับการพัฒนาต่อไปในเรื่องของการใช้กับเครื่องมือวิเคราะห์ เพื่อสามารถที่จะยืนยันผลการทดลองได้แม่นยำและมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ในระหว่างการทดลองจะต้องระวังสิ่งปนเปื้อนที่อาจเกิดขึ้นจากเครื่องแก้วหรือสภาพแวดล้อมที่ทำการทดลอง เพราะจะส่งผลให้ค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าที่ผิดพลาดไป

2) งานวิจัยนี้สามารถนำไปศึกษาการทำ Preconcentration กับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) เพื่อต่อยอดงานวิจัยนี้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] **กาว** [Online]. Available http://www.vcharkarn.com/varticle/38229; Search: 20 May 2017

[2] **โพลิไวนิลแอลกอฮอล์/พีวีเอ** [Online]. Availablehttp://www.vessel-chemical.com/Default.aspx?pageid=25; Search: 20 May 2017

[3] ศูนย์เทคโนโลยีและโลหะแห่งชาติ.**PVA/PVAL** [Online]. Available https://www.mtec.or.th/mcu/phml/Index.php/th/2014-09-12-03-39-42/43-2009-06-25-03-17-43; Search: 20 May 2017

[4] ผสุดี มุหะหมัด. **ปริมาณเหล็กที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของน้ำ** [Online]. Available https://www.gotoknow.org/posts/309612; Search: 20 May 2017

[6] **1,10-Phenanthroline structure** [Online]. Available http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/131377?lang=en&region=TH; Search: 20 May 2017

[7] **Reaction of Fe^{2+} and 1,10 Phenanthroline** [Online]. Available http://slideplayer.com/slide/10574886/; Search: 20 May 2017

[8] **ระบบสี** [Online]. Available https://sites.google.com/site/wbicomputergraphics/rabb-si-color-model; Search: 20 May 2017

[9] **ระบบสีแบบ RGB และ CMYK** [Online]. Available http://www.infinityprinting.co.th/main/content.php?page=sub&category=22&id=55; Search: 20 May 2017

[10] **ภาพระบบสีแบบ RGB** [Online]. Available https://www.lcipaper.com/kb/what-are-the-differences-between-pantone-cmyk-rgb.html; Search: 20 May 2017

[11] **ภาพระบบสีแบบ CMYK** [Online]. Available http://www.hiland.com/knowledge-base/getting-to-know-rgb-and-cmyk/; Search: 20 May 2017

[12] **เครื่องสแกน** [Online]. Available http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/computer/system/scanner.htm; Search: 20 May 2017

[13] **Sheetfed scanner picture** [Online]. Available http://images.pcworld.com/images/article/2012/09/neat20receipts20scanner-11404615.jpg; Search: 20 May 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[14] **flatbed Scannerpicture** [Online]. Available http://i.ebayimg.com/00/s/NTY2WDg0OQ==/z/aS0AAOSwRLZT1iRM/$_32.JPG?set_id=880000500F; Search: 20 May 2017

[15] **Handy scanner picture** [Online]. Available https://pimg.tradeindia.com/00624355/b/2/Portable-A4-Handy-Scanner.jpg; Search: 20 May 2017

[16] ปริวรรต โนนศิริ, ปิยะพงษ์ นิ่มเสนาะ และภูมิ อัครศรีภูมิ, 2555. "**การทดสอบแบบจุดบนกระดาษสำหรับการวิเคราะห์ซัลเฟต**" โครงงานพิเศษระดับปริญญาตรี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[17] จินตพร ไข่สีทอง, จินตภา ไข่สีทอง และสุชาดา สมนาม, 2557. "**การวิเคราะห์ไทโอไซยาเนตด้วยการทดสอบแบบจุดบนกระดาษโดยใช้โซล-เจลเจือด้วยเหล็ก(III)**" โครงงานพิเศษระดับปริญญาตรี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[18] กฤตยพร ศรทอง, วัชรพล ขำเขียว และณัฐพัชร์ ช่วยทุกข์เพื่อน, 2556. "**ชุดทดสอบแบบจุดบนกระดาษสำหรับการวิเคราะห์ไนไตรท์**" โครงงานพิเศษระดับปริญญาตรี ภาควิชาเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[19] ฉันท์ทัต วงษ์ดี และวิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ "**การพัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กทำการเติมออโทฟีแนนโทรลีนเป็นส่วนผสมในสารละลายโซล-เจล**" การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 34 The National Graduate Research conference. ขอนแก่น : อาคารเรียนรวม คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[20] ปริญญา มาสวัสดิ์. "**การหาปริมาณเหล็ก (II) ในน้ำธรรมชาติโดยใช้ระบบการไทเทรตอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น**" ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. NU Science Journal. 2011. 37- 53.

[21] Barr Harbor Drive and West Conshohocken."**Standard Test Method for Iron in Trace Quantities Using the 1,10-Phenanthroline Method**" ASTM Designation. E394-00. 1-4.

[22] American public health association, American water association and Water environment federation."**Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**" 1-9.

[23] Abdolraouf Samadi, Vida Rezaei and Saadat Rastegarzadeh "**Sol-gel based optical sensor for determination of Fe (II) : A novel probe for iron speciation**" Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy. 2015. 832-837.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[24] Napaporn Youngvises ,Kittigan Suwannasaroj ,Jaroon Jakmunee and Awadh AlSuhaimi "**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.

[25] Alejandro Ayala Quezada, Keisuke Ohara and Nuanlaor Ratanawimarnwong และคณะ "**Stopped-in-loop flow analysis system for successive determination of trace vanadium and iron in drinking water using their catalytic reactions**" Talanta. 2015. 844-850.

[26] Zeriet Ocubagiorgis Tesfaldet, Jacobus Fredeiczzk Van Staden and Raluca Ioana Stefan "**Sequential injection spectrophotometric determination of iron as Fe (II) in multi-preparations using 1,10-phenanthroline as complexing agent**" Talanta. 2004. 1189–1195.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ 4.3 หน้า 24

ตารางที่ ก.1 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (สูตรตามทฤษฎี)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	ED
0.0	192.68±1.00	192.02±1.15	189.90±1.21	*
2.0	192.57±0.54	187.53±1.27	186.24±1.06	5.79±0.36
4.0	191.39±0.17	186.19±0.26	184.20±0.27	8.48±0.11
6.0	190.38±0.24	182.17±0.69	180.81±0.63	13.54±0.44
8.0	189.91±0.03	178.85±0.16	176.81±0.07	18.75±0.21
10.0	188.26±0.04	176.01±0.89	173.58±0.67	23.23±0.68

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ข

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ 4.10 หน้า 30

ตารางที่ ข.1 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน (อัตราส่วนกาวต่อน้ำเป็น 1 : 1)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	ED
0.0	192.73±0.62	192.14±0.74	189.86±0.79	*
2.0	192.49±0.38	187.87±0.83	185.99±0.68	5.76±0.43
4.0	191.55±0.43	186.74±3.41	184.25±3.00	7.86±0.20
6.0	190.73±0.27	184.16±5.99	182.54±5.28	11.73±0.05
8.0	190.49±0.22	181.30±8.01	176.47±7.75	17.38±0.29
10.0	192.51±0.72	177.49±3.54	176.24±3.48	19.99±0.21

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ข

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ 4.10 หน้า 30

ตารางที่ ข.2 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน (อัตราส่วนกาวต่อน้ำเป็น 1 : 2)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.0	192.68±1	192.02±1.15	189.90±1.21	*
2.0	192.57±0.53	187.53±1.28	186.24±1.06	5.79±0.28
4.0	191.39±0.17	186.19±0.26	184.20±0.28	8.48±0.36
6.0	190.37±0.24	182.16±0.65	180.81±0.63	13.54±0.07
8.0	189.91±0.03	178.85±0.16	176.80±0.27	18.75±0.45
10.0	188.26±0.04	176.01±0.89	173.58±0.67	23.23±0.43

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ข

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ 4.10 หน้า 30

ตารางที่ ข.3 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน (อัตราส่วนกาวต่อน้ำเป็น 1 : 3)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.0	192.64±0.08	192.21±0.2	190.24±0.18	*
2.0	192.43±0.81	189.13±1.11	186.44±1.11	4.86±0.22
4.0	192.33±0.47	189.08±3.19	184.88±2.81	6.97±0.85
6.0	191.53±0.79	187.65±4.07	184.23±3.71	7.61±0.34
8.0	191.21±0.59	187.04±4.36	183.42±4.28	8.62±0.54
10.0	190.88±0.71	187.47±11.56	183.13±11.75	8.75±0.42

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ข

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ 4.10 หน้า 30

ตารางที่ ข.4 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน (อัตราส่วนกาวต่อน้ำเป็น 1 : 5)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	ED
0.0	193.26±0.55	193.28±0.51	191.61±0.69	*
2.0	192.91±0.44	191.16±0.47	189.35±0.59	3.12±0.53
4.0	192.69±0.19	191.27±0.44	189.44±0.39	3.11±0.55
6.0	192.37±0.5	191.39±0.73	189.30±0.68	3.18±0.24
8.0	192.23±0.17	191.23±0.57	189.25±0.55	3.23±0.48
10.0	191.85±0.06	190.63±0.84	189.59±0.7	3.67±0.72

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าคามแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ข

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ 4.10 หน้า 30

ตารางที่ ข.5 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน (อัตราส่วนกาวต่อน้ำเป็น 2 : 1)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.0	192.54±0.22	191.68±0.14	189.44±0.09	*
2.0	190.91±0.16	183.37±0.93	181.68±0.71	11.48±0.09
4.0	191.72±1.74	182.22±3.57	179.72±3.54	13.58±0.16
6.0	191.99±0.35	178.24±1.54	176.94±1.71	18.37±0.87
8.0	190.80±0.84	178.51±3.99	175.58±4.06	19.19±0.54
10.0	191.57±0.52	177.17±3.98	174.51±4.55	20.84±0.66

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ข

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ 4.10 หน้า 30

ตารางที่ ข.6 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน (อัตราส่วนกาวต่อน้ำเป็น 0 : 1)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.0	192.25±0.73	192.04±0.64	190.17±0.44	*
2.0	193.23±0.53	192.21±0.29	190.34±0.67	1.00±0.00
4.0	193.32±0.55	191.63±0.32	189.67±0.97	1.24±0.22
6.0	192.56±0.88	190.73±0.34	188.46±0.16	2.17±0.09
8.0	192.24±0.76	190.37±0.85	188.13±0.37	2.68±0.60
10.0	191.46±0.65	189.58±0.54	188.27±0.43	3.22±0.61

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ค

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ **4.11** หน้า 31

ตารางที่ ค.1 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (1,10-ฟีแนนโทรลีน ปริมาณ 0.0004 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	ED
0.0	190.77±0.48	190.13±0.83	187.24±0.55	*
2.0	190.69±0.67	189.05±0.89	186.26±0.68	1.45±0.54
4.0	191.09±0.59	189.23±0.99	186.07±0.58	2.51±0.35
6.0	189.85±0.86	187.89±0.43	184.74±0.84	3.48±0.23
8.0	189.76±0.58	187.45±0.64	184.92±0.47	3.69±0.08
10.0	191.03±0.39	187.45±0.40	184.03±0.38	4.19±0.12

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ค

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจาก**รูปที่ 4.11** หน้า 31

ตารางที่ ค.2 ค่าความแตกต่างความเข้มของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (1,10-ฟีแนนโทรลีน ปริมาณ 0.0008 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.0	190.63±0.64	189.76±0.43	187.54±0.48	*
2.0	191.68±0.57	184.08±0.54	182.71±0.87	7.53±0.64
4.0	190.85±0.33	175.20±0.73	173.84±0.86	19.99±0.33
6.0	188.33±0.77	174.23±0.49	172.87±0.97	21.48±0.28
8.0	189.65±0.74	172.49±0.39	170.84±0.48	24.24±0.76
10.0	189.33±0.49	168.58±0.43	166.78±0.95	29.68±0.53

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ค

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ **4.11** หน้า 31

ตารางที่ ค.3 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (1,10-ฟีแนนโทรลีน ปริมาณ 0.0012 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	ED
0.0	193.32±0.83	192.80±0.34	190.62±0.66	*
2.0	193.06±0.35	186.35±0.77	184.5130±0.36	8.89±0.87
4.0	191.89±0.45	178.68±0.75	176.66±0.49	19.90±0.26
6.0	190.54±0.73	176.20±0.88	167.01±0.39	29.09±0.63
8.0	189.82±0.44	173.35±0.63	166.59±0.82	31.62±0.53
10.0	188.22±0.56	170.45±0.39	162.80±0.36	36.79±0.71

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ค

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจาก**รูปที่ 4.11** หน้า 31

ตารางที่ ค.4 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (1,10-ฟีแนนโทรลีน ปริมาณ 0.0016 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.0	193.30±0.34	193.16±0.45	191.16±0.56	*
2.0	193.21±0.44	189.44±0.64	187.67±0.44	5.09±0.91
4.0	192.21±0.25	188.72±0.87	181.64±0.47	10.56±0.26
6.0	191.69±0.36	186.08±0.74	182.56±0.39	11.24±0.73
8.0	190.31±0.43	184.78±0.66	176.53±0.98	17.11±0.18
10.0	190.01±0.49	181.06±0.78	177.39±0.53	18.61±0.63

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ง

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ **4.12** หน้า 32

ตารางที่ ง.1 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (แอมโมเนียมอะซิเตท ปริมาณ 0.20 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	ED
0.0	193.61±0.86	193.17±0.43	190.95±0.67	*
2.0	193.12±0.77	193.01±0.83	192.01±0.96	7.16±0.62
4.0	192.51±0.59	191.32±0.83	190.27±0.72	13.24±0.28
6.0	191.69±0.84	190.02±0.95	189.01±0.39	13.32±0.79
8.0	190.21±0.98	189.51±0.49	187.33±0.58	17.09±0.06
10.0	189.94±0.54	188.35±0.52	186.64±0.48	17.52±0.52

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ง

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ **4.12** หน้า 32

ตารางที่ ง.2 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (แอมโมเนียมอะซิเตท ปริมาณ 0.40 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.0	192.75±0.39	192.45±0.58	190.83±0.84	*
2.0	192.13±0.54	186.77±0.66	185.37±0.96	7.89±0.28
4.0	192.57±0.42	180.97±0.73	179.48±0.69	16.13±0.43
6.0	191.70±0.38	177.85±0.49	175.42±0.54	21.29±0.31
8.0	191.24±0.59	173.10±0.53	172.19±0.48	26.90±0.53
10.0	190.19±0.65	168.62±0.43	167.66±0.58	33.33±0.43

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ง

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ 4.12 หน้า 32

ตารางที่ ง.3 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (แอมโมเนียมอะซิเตท ปริมาณ 0.60 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.0	192.68±0.59	191.86±0.48	189.72±0.77	*
2.0	192.40±0.39	186.48±0.58	184.28±0.38	7.51±0.39
4.0	192.43±0.24	181.16±0.65	180.50±0.29	14.12±0.32
6.0	191.08±0.74	180.06±0.60	179.14±0.28	15.93±0.12
8.0	190.25±0.55	178.83±0.32	178.00±0.62	17.36±0.58
10.0	191.49±0.78	177.61±0.49	176.74±0.25	19.30±0.18

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ง

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจาก**รูปที่ 4.12** หน้า 32

ตารางที่ ง.4 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (แอมโมเนียมอะซิเตท ปริมาณ 0.90 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	ED
0.0	190.77±0.69	190.13±0.54	187.24±0.48	*
2.0	190.69±0.28	189.05±0.58	186.26±0.62	1.45±0.21
4.0	191.09±0.40	189.23±0.65	186.07±0.59	2.51±0.18
6.0	189.85±0.29	187.89±0.54	184.74±0.63	3.48±0.36
8.0	189.76±0.44	187.45±0.39	184.92±0.65	3.69±0.70
10.0	191.03±0.59	187.45±0.44	184.03±0.52	4.19±0.47

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก จ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจาก**รูปที่ 4.13** หน้า 33

ตารางที่ จ.1 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ ปริมาณ 0.016 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.0	193.28±0.49	193.23±0.38	191.07±0.53	*
2.0	193.45±0.43	189.76±0.59	188.20±0.67	4.50±0.48
4.0	193.12±0.65	184.42±0.63	183.17±0.57	11.83±0.22
6.0	192.59±0.98	184.07±0.38	182.90±0.42	12.28±0.64
8.0	192.95±0.45	182.45±0.59	181.38±0.53	14.49±0.82
10.0	192.91±0.55	180.41±0.28	179.08±0.42	17.55±0.17

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก จ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจาก**รูปที่ 4.13** หน้า 33

ตารางที่ จ.2 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ ปริมาณ 0.020 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.0	194.00±0.44	193.95±0.82	192.08±0.28	*
2.0	192.22±0.49	187.44±0.55	185.66±0.26	9.31±0.18
4.0	193.09±0.50	182.43±0.67	181.05±0.29	15.97±0.39
6.0	191.96±0.54	178.95±0.83	177.58±0.77	20.96±0.73
8.0	190.92±0.82	173.89±0.66	172.58±0.58	28.14±0.82
10.0	191.30±0.67	174.37±0.58	172.97±0.39	28.48±0.38

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก จ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ 4.13 หน้า 33

ตารางที่ จ.3 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ ปริมาณ 0.024 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.0	190.63±0.59	189.60±0.38	186.27±0.77	*
2.0	191.94±0.39	186.06±0.29	183.91±0.95	4.45±0.19
4.0	192.04±0.68	184.08±0.77	182.03±0.87	7.09±0.21
6.0	190.47±0.62	184.28±0.86	181.38±0.99	7.22±0.04
8.0	190.62±0.63	183.30±0.48	181.15±0.34	8.12±0.80
10.0	190.66±0.58	179.39±0.53	177.33±0.53	13.57±0.82

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก จ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ **4.13** หน้า 33

ตารางที่ จ.4 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ ปริมาณ 0.036 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	ED
0.0	190.77±0.88	190.13±0.29	187.24±0.58	*
2.0	190.69±0.74	189.05±0.67	186.26±0.30	1.45±0.73
4.0	191.09±0.57	189.23±0.39	186.07±0.64	2.51±0.33
6.0	189.85±0.54	187.89±0.58	184.74±0.44	3.48±0.25
8.0	189.76±0.48	187.45±0.53	184.92±0.42	3.69±0.71
10.0	191.03±0.99	187.45±0.27	184.03±0.48	4.19±0.02

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ฉ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจาก**รูปที่ 4.14** หน้า 34

ตารางที่ ฉ.1 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (1,10-ฟีแนนโทรลีน ปริมาณ 0.0004 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	ED
0.00	194.06±0.59	193.87±0.38	192.05±0.44	*
0.20	193.65±0.58	193.65±0.53	190.77±0.89	1.35±0.88
0.40	192.86±0.43	192.73±0.52	190.38±0.58	2.35±0.27
0.60	192.58±0.57	191.53±0.54	190.98±0.88	2.97±0.38
0.80	191.74±0.77	192.04±0.27	190.24±0.54	3.46±0.48
1.00	191.41±0.23	190.53±0.57	188.69±0.39	5.43±0.55

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ฉ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจาก**รูปที่ 4.14** หน้า 34

ตารางที่ ฉ.2 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (1,10-ฟีแนนโทรลีน ปริมาณ 0.0008 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.00	193.94±0.59	193.74±0.52	191.99±0.95	*
0.20	192.28±0.76	191.94±0.57	190.88±0.68	2.68±0.36
0.40	192.12±0.83	191.16±0.59	190.17±0.38	3.64±0.77
0.60	191.89±0.53	190.60±0.48	189.67±0.42	5.84±0.48
0.80	191.16±0.49	189.33±0.93	187.79±0.84	6.69±0.39
1.00	190.86±0.43	189.18±0.58	186.55±0.38	7.74±0.11

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ฉ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ **4.14** หน้า 34

ตารางที่ ฉ.3 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (1,10-ฟีแนนโทรลีน ปริมาณ 0.0012 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.00	193.79±0.93	193.08±0.48	192.61±0.28	*
0.20	193.19±0.46	192.72±0.93	190.07±0.40	2.63±0.73
0.40	192.53±0.70	191.20±0.58	189.47±0.29	3.86±0.32
0.60	190.86±0.53	189.62±0.58	187.52±0.39	6.81±0.38
0.80	191.40±0.59	189.31±0.38	187.11±0.48	7.08±0.48
1.00	190.97±0.53	188.03±0.32	186.64±0.83	8.31±0.76

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ฉ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจาก**รูปที่ 4.14** หน้า 34

ตารางที่ ฉ.4 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (1,10-ฟีแนนโทรลีน ปริมาณ 0.0016 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.00	193.77±0.98	193.57±0.58	191.13±0.76	*
0.20	193.01±0.78	191.57±0.92	190.84±0.86	2.15±0.22
0.40	192.36±0.84	190.26±0.75	189.99±0.85	3.76±0.43
0.60	191.51±0.70	189.40±0.39	188.32±0.73	5.50±0.38
0.80	190.56±0.69	189.21±0.92	188.09±0.83	6.19±0.19
1.00	190.07±0.74	189.01±0.72	186.07±0.87	7.74±0.98

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ช

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ **4.15** หน้า 35

ตารางที่ ช.1 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (แอมโมเนียมอะซิเตท ปริมาณ 0.20 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.00	193.74±0.93	193.61±0.59	191.95±0.84	*
0.20	193.91±0.92	193.15±0.56	190.31±0.97	1.71±0.28
0.40	192.80±0.84	191.96±0.48	190.31±0.87	2.51±0.08
0.60	192.42±0.39	191.07±0.92	188.90±0.83	4.18±0.86
0.80	191.50±0.57	189.28±0.94	187.43±0.77	6.65±0.60
1.00	190.60±0.65	189.94±0.82	186.00±0.93	7.66±0.79

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ช

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ **4.15** หน้า 35

ตารางที่ ช.2 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (แอมโมเนียมอะซิเตท ปริมาณ 0.40 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.00	193.74±0.84	193.28±0.73	191.39±0.92	*
0.20	193.49±0.65	191.23±0.85	189.57±0.78	2.74±0.61
0.40	192.62±0.39	190.18±0.59	189.36±0.68	3.83±0.40
0.60	192.07±0.48	189.11±0.69	188.56±0.78	5.27±0.93
0.80	191.27±0.49	188.15±0.28	186.02±0.62	7.78±0.17
1.00	190.63±0.43	186.14±0.93	187.38±0.90	8.72±0.46

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ช

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ 4.15 หน้า 35

ตารางที่ ช.3 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (แอมโมเนียมอะซิเตท ปริมาณ 0.60 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ยฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.00	193.44±0.84	193.25±0.92	191.28±0.58	*
0.20	193.65±0.56	191.99±0.94	190.22±0.79	1.65±0.16
0.40	192.67±0.74	191.40±0.69	190.08±0.53	2.33±0.47
0.60	192.21±0.88	190.20±0.57	189.47±0.76	3.75±0.14
0.80	192.10±0.49	189.60±0.68	187.73±0.59	5.26±0.12
1.00	191.18±0.78	189.04±0.56	187.85±0.53	5.88±0.12

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ช

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ **4.15** หน้า 35

ตารางที่ ช.4 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีนที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (แอมโมเนียมอะซิเตท ปริมาณ 0.90 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.00	194.06±0.58	193.87±0.68	192.05±0.93	*
0.20	193.65±0.82	193.65±0.63	190.77±0.57	1.35±0.00
0.40	192.86±0.77	192.73±0.65	190.38±0.48	2.35±0.40
0.60	192.58±0.29	191.53±0.54	190.98±0.94	2.97±0.02
0.80	191.74±0.84	192.04±0.74	190.24±0.72	3.46±0.20
1.00	191.41±0.95	190.53±0.82	188.69±0.80	5.43±0.21

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ซ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ **4.16** หน้า 36

ตารางที่ ซ.1 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ ปริมาณ 0.016 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	ED
0.00	193.57±0.82	192.12±0.91	189.42±0.97	*
0.20	193.39±0.39	191.35±0.88	190.09±0.81	1.02±0.55
0.40	192.52±0.84	190.75±0.99	188.66±0.93	2.46±0.76
0.60	192.20±0.81	190.90±0.92	187.44±0.67	3.49±0.99
0.80	191.97±0.55	189.01±0.95	186.91±0.88	4.95±0.81
1.00	191.43±0.90	188.50±0.94	186.55±0.99	5.71±0.72

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ซ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ **4.16** หน้า 36

ตารางที่ ซ.2 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ ปริมาณ 0.020 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.00	193.41±0.49	193.29±0.75	191.46±0.87	*
0.20	192.73±0.54	190.3±0.92	189.08±0.83	3.84±0.74
0.40	192.12±0.36	189.10±0.88	187.04±0.93	6.21±0.45
0.60	191.36±0.67	188.15±0.39	185.53±0.91	8.09±0.18
0.80	191.03±0.85	187.25±0.96	185.55±0.83	8.77±0.37
1.00	190.19±0.79	186.99±0.71	184.87±0.59	9.66±0.22

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ซ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจาก**รูปที่ 4.16** หน้า 36

ตารางที่ ซ.3 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ ปริมาณ 0.024 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.00	193.96±0.19	193.93±0.25	192.28±0.94	*
0.20	192.28±0.78	191.94±0.43	190.88±0.58	2.95±0.71
0.40	192.22±0.84	190.16±0.52	188.17±0.48	5.84±0.63
0.60	191.89±0.76	189.60±0.41	187.67±0.79	6.65±0.33
0.80	191.16±0.68	189.33±0.86	187.79±0.51	7.01±0.19
1.00	190.66±0.93	188.18±0.47	186.55±0.15	8.76±0.72

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ซ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ **4.16** หน้า 36

ตารางที่ ซ.4 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ไฮดรอกซาลามีน ไฮโดรคลอไรด์ ปริมาณ 0.036 กรัม)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.00	194.06±0.98	193.87±0.57	192.05±0.59	*
0.20	193.65±0.88	193.65±0.81	190.77±0.84	1.35±0.22
0.40	192.86±0.93	192.73±0.74	190.38±0.91	2.35±0.15
0.60	192.58±0.94	191.53±0.59	190.98±0.82	2.97±0.28
0.80	191.74±0.80	192.04±0.38	190.24±0.83	3.46±0.18
1.00	191.41±0.97	190.53±0.86	188.69±0.99	5.43±0.98

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ฌ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ 4.19 หน้า 39

ตารางที่ ฌ.1 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	ED
0.0	193.88±0.91	181.58±0.94	191.91±0.95	*
2.0	191.80±0.96	181.58±0.91	180.66±0.92	16.73±0.51
4.0	191.13±0.88	174.54±0.80	173.41±0.71	26.84±0.87
6.0	189.68±0.81	169.44±0.92	165.58±0.85	36.11±0.39
8.0	185.44±0.90	162.26±0.97	160.22±0.95	45.49±0.27
10.0	182.72±0.96	156.11±0.83	153.46±0.77	54.98±0.36

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ญ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจากรูปที่ **4.20** หน้า 40

ตารางที่ ญ.1 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.00	193.88±0.88	193.80±0.81	191.91±0.86	*
0.20	192.82±0.90	191.42±0.93	190.42±0.89	2.99±0.28
0.40	191.78±0.95	190.39±0.83	189.42±0.80	4.71±0.17
0.60	191.99±0.81	189.73±0.83	187.59±0.99	6.21±0.22
0.80	191.50±0.91	188.11±0.98	186.13±0.88	8.44±0.59
1.00	190.27±0.94	186.86±0.91	185.11±0.99	10.35±0.36

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ Blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance)

ภาคผนวก ฎ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจาก**ตารางที่ 4.4** หน้า 44

ตารางที่ ฎ.1 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำดื่ม 1)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.0	192.07±0.91	191.56±0.94	189.53±0.88	3.73±0.33
2.0	191.12±0.82	182.22±0.85	180.01±0.80	16.82±0.78
4.0	191.84±0.78	172.47±0.89	171.68±0.91	26.46±0.94
6.0	191.16±0.84	168.41±0.95	166.34±0.96	36.13±0.28
8.0	186.92±0.80	162.01±0.99	160.01±0.94	45.56±0.76

ภาคผนวก ฎ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจาก**ตารางที่ 4.4** หน้า 44

ตารางที่ ฎ.2 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำดื่ม 2)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.0	191.95±0.91	191.62±0.90	189.48±0.95	3.78±0.03
2.0	191.91±0.99	182.27±0.98	180.42±0.99	16.39±0.76
4.0	191.83±0.81	174.54±0.85	173.82±0.82	26.50±0.23
6.0	189.39±0.86	169.22±0.74	165.35±0.88	36.45±0.88
8.0	184.51±0.91	162.45±0.84	160.12±0.81	45.62±0.83

ภาคผนวก ฎ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจาก**ตารางที่** 4.4 หน้า 44

ตารางที่ ฎ.3 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำดื่ม 3)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.0	192.16±0.92	191.38±0.94	190.01±0.92	3.53±0.34
2.0	191.87±0.82	181.52±0.84	180.6±0.88	16.79±0.30
4.0	191.08±0.76	177.77±0.81	171.63±0.85	26.06±0.16
6.0	191.05±0.86	167.82±0.87	166.64±0.48	36.34±0.73
8.0	186.34±0.59	162.21±0.63	160.02±0.85	45.75±0.38

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคผนวก ฎ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจาก**ตารางที่ 4.4** หน้า 44

ตารางที่ ฎ.4 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำแร่)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	ED
0.0	191.93±0.93	191.33±0.92	189.16±0.89	4.17±0.22
2.0	190.12±0.83	182.11±0.88	180.03±0.78	17.14±0.18
4.0	189.93±0.57	175.12±0.89	172.65±0.87	27.11±0.65
6.0	188.41±0.78	167.36±0.77	166.12±0.65	37.58±0.54
8.0	186.99±0.73	161.74±0.50	158.99±0.38	46.47±0.77

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคผนวก ฎ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจาก**ตารางที่ 4.4** หน้า 44

ตารางที่ ฎ.5 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำประปา)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.0	190.75±0.49	190.08±0.92	187.89±0.82	190.75±0.18
2.0	190.35±0.44	181.02±0.83	179.99±0.93	190.35±0.81
4.0	189.51±0.88	174.30±0.72	172.02±0.95	189.51±0.83
6.0	187.16±0.81	168.12±0.94	164.83±0.89	187.16±0.70
8.0	185.72±0.85	166.07±0.74	164.81±0.67	185.72±0.18

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคผนวก ฎ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจาก**ตารางที่ 4.4** หน้า 44

ตารางที่ ฎ.5 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 2.0 – 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำบาดาล)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.0	191.48±0.41	190.97±0.77	188.79±0.89	4.84±0.74
2.0	191.08±0.48	181.85±0.68	180.78±0.57	16.56±0.72
4.0	190.39±0.99	174.01±0.29	173.04±0.45	27.56±0.91
6.0	188.80±0.59	166.24±0.84	164.93±0.88	38.89±0.28
8.0	185.65±0.58	160.61±0.93	158.31±0.95	47.93±0.81

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ภาคผนวก ฏ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจาก**ตารางที่ 4.5** หน้า 46

ตารางที่ ฏ.1 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำดื่ม 1)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.00	192.07±0.93	191.56±0.94	189.53±0.87	3.73±0.26
0.20	191.94±0.95	191.45±0.45	189.82±0.68	3.85±0.76
0.40	191.23±0.59	190.35±0.85	189.44±0.88	4.99±0.28
0.60	190.99±0.58	189.30±0.68	188.45±0.84	6.83±0.18
0.80	189.86±0.88	188.54±0.49	187.25±0.68	8.68±0.92

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคผนวก ฏ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจาก**ตารางที่ 4.5** หน้า 46

ตารางที่ ฏ.2 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำดื่ม 2)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.00	191.95±0.59	191.62±0.64	189.48±0.68	3.78±0.33
0.20	191.66±0.83	191.35±0.82	189.78±0.77	3.92±0.12
0.40	190.64±0.74	191.33±0.88	189.12±0.99	4.90±0.17
0.60	190.30±0.71	189.44±0.52	188.15±0.38	6.77±0.39
0.80	189.23±0.73	188.11±0.48	187.01±0.53	8.82±0.54

ภาคผนวก ฎ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจาก**ตารางที่ 4.5** หน้า 46

ตารางที่ ฎ.3 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำดื่ม 3)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.00	192.16±0.88	191.38±0.30	190.01±0.82	3.53±0.18
0.20	191.61±0.49	191.32±0.83	190.21±0.91	3.78±0.29
0.40	190.35±0.39	191.03±0.72	190.08±0.83	4.84±0.33
0.60	190.29±0.48	189.77±0.84	188.81±0.78	6.20±0.17
0.80	189.41±0.85	188.24±0.88	187.21±0.85	8.77±0.77

สำนักวิทยบริการเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคผนวก ฏ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจาก**ตารางที่ 4.5** หน้า 46

ตารางที่ ฏ.4 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำแร่)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.00	191.93±0.59	191.33±0.93	189.16±0.84	4.17±0.30
0.20	191.22±0.58	191.31±0.83	189.12±0.77	4.67±0.12
0.40	190.57±0.78	191.30±0.81	188.98±0.85	5.07±0.26
0.60	189.62±0.76	190.27±0.94	186.68±0.59	7.60±0.38
0.80	187.78±0.68	189.30±0.72	186.29±0.85	9.42±0.18

ภาคผนวก ฏ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจาก**ตารางที่ 4.5** หน้า 46

ตารางที่ ฏ.5 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำประปา)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.00	192.27±0.89	190.06±0.84	189.28±0.56	4.84±0.10
0.20	191.61±0.99	190.28±0.59	189.46±0.48	4.85±0.29
0.40	191.20±0.83	189.66±0.85	188.65±0.69	5.91±0.73
0.60	190.21±0.92	188.42±0.87	187.34±0.76	7.98±0.88
0.80	189.86±0.58	187.61±0.46	185.24±0.72	9.97±0.01

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ภาคผนวก ฏ

แสดงค่าความแตกต่างความเข้มแสงอ้างอิงจาก**ตารางที่ 4.5** หน้า 46

ตารางที่ ฏ.6 ค่าความแตกต่างความเข้มแสงของระบบสารละลายกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีนที่ความเข้มข้นในช่วง 0.20 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำบาดาล)

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบกาวเจือด้วย 1,10-ฟีแนนโทรลีน			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0.00	190.48±0.94	189.57±0.85	188.69±0.82	6.30±0.26
0.20	190.29±0.83	189.50±0.99	188.24±0.74	6.68±0.11
0.40	189.85±0.76	189.46±0.69	188.64±0.81	6.76±0.24
0.60	188.55±0.78	189.28±0.72	188.35±0.99	7.83±0.27
0.80	187.82±0.85	188.64±0.88	186.65±0.58	9.53±0.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง