

การชะเหล็ก (II) ออกจากกระดาษทดสอบแบบจุด
ELUTION OF IRON (II) FROM TESTED SPOT ON PAPER



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELUTION OF IRON (II) FROM TESTED SPOT ON PAPER



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การชะเหล็ก (II) ออกจากกระดาษทดสอบแบบจุด
 Elution of Iron (II) from Tested Spot on Paper

ชื่อนักศึกษา นายติณณ์ อุทิศานนท์ รหัสนักศึกษา 55050666
 นายเทพอมร วุฒิกุล รหัสนักศึกษา 55050672
 นายธนวัฒน์ เหมือนแมนสกุล รหัสนักศึกษา 55050679

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

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

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เขิงชั้น ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.เสาวภาคย์ อีระทรง กรรมการ	
ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การชะเหล็ก (II) ออกจากกระดาษทดสอบแบบจุด		
ชื่อนักศึกษา	นายติณณ์ อุทิศานนท์	รหัสนักศึกษา	55050666
	นายเทพอมร วุฒิกุล	รหัสนักศึกษา	55050672
	นายธนวัฒน์ เหมือนแมนสกุล	รหัสนักศึกษา	55050679
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2558		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการชะเหล็ก (II) ออกจากกระดาษทดสอบแบบจุด โซล-เจลเจือออปโทพีแนโนไทรลีน โดยแช่กระดาษทดสอบที่ใช้วิเคราะห์เหล็ก (II) แล้ว ในสารละลาย 0.10 โมลาร์ ของ กรดไฮโดรคลอริก สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 6, 8, 10 สารละลายอีดีทีเอ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารละลายผสมระหว่างบัฟเฟอร์พีเอช 4 กับอีดีทีเอ สารละลายผสมระหว่างบัฟเฟอร์พีเอช 4 กับอีดีทีเอและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ สามารถชะเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบได้ดีที่สุด

คำสำคัญ: การนำกลับมาใช้ซ้ำ, กระดาษทดสอบ, เหล็ก (II), โซล-เจล, ออปโทพีแนโนไทรลีน

Special Project	Elution of Iron (II) from Tested Spot on Paper		
Students	Mr. Tin	Autisanon	Student ID 55050666
	Mr. Thepamorn	Wutthikul	Student ID 55050672
	Mr. Thanawat	Muenmansakul	Student ID 55050679
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2015		
Advisor	Asst.Prof.Dr.Wiboon Praditweangkum		

Abstract

The aim of this special project is to optimize the condition for elution of iron (II) from tested spot on paper that is prepared by sol-gel doped o-phenanthroline. Each piece of tested spot on paper is soaked in 0.10 M solution of hydrochloric acid, buffer solution (pH 6, 8, 10), EDTA, hydrogen peroxide, EDTA in buffer pH 4, EDTA and hydrogen peroxide in buffer pH 4. The results have shown that the elution with 0.10 M sodium hydroxide is more efficient than other solutions.

Keywords: Reused, Paper test kit, Iron (II), Sol-gel, O-phenanthroline

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดีต้องขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ซึ่งกรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ ข้อคิดเห็น ตลอดจนพิจารณาตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของการจัดทำโครงการพิเศษจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ณัฐวุฒิ เจริญชัย และ ผศ.ดร. เสาวภาคย์ ธีราทร กรรมการในการสอบโครงการพิเศษที่กรุณาตรวจสอบและแก้ไข พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็น เพื่อให้โครงการพิเศษฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ทุกท่านของภาควิชาเคมีที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกเป็นอย่างดี ในการใช้อุปกรณ์ สารเคมีและห้องปฏิบัติการในการวิจัย

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครูอาจารย์ที่ให้ความรัก ให้การศึกษาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา สำหรับประโยชน์และคุณค่าอันพึงมีจากโครงการพิเศษฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

ติณณ์ อุตีสานนท์

เทพอมร วุฒิกุล

ธนวัฒน์ เหมือนมั่นสกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ขั้นตอนของงานวิจัยและวิธีการดำเนินงาน.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 เหล็กที่อยู่ในน้ำธรรมชาติ.....	3
2.2 กระบวนการโซล-เจล (sol-gel process).....	3
2.2.1 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส.....	5
2.2.2 ปฏิกิริยาควบแน่น.....	6
2.3 การเกิดสารเชิงซ้อนที่มีสีระหว่างอโทพีแนมโทรลีนกับไอออนเหล็ก (II).....	7
2.4 ปฏิกิริยาของ EDTA กับโลหะ.....	8
2.5 ปฏิกิริยาเฟนตันออกซิเดชัน.....	9
2.6 ระบบสี (Color system).....	11
2.6.1 RGB (Red-Green-Blue).....	11
2.6.2 CMYK (Cyan-Magnetic-Yello-Key).....	11
2.7 Euclidean distance.....	12
2.8 หลักการทำงานของเครื่องสแกน.....	13
2.8.1 ภาพจากเครื่องสแกน.....	14
2.8.2 การทำงานของเครื่องสแกน.....	14
2.9 ชุดทดสอบภาคสนาม (On-site monitoring test kit).....	14
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.10.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์หาปริมาณไอออนเหล็ก.....	15
2.10.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับชุดทดสอบและรายงานผลการตรวจวัด.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	16
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์.....	16
3.1.1 สารเคมี.....	16
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	16
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	17
3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง.....	18
3.3.1 ศึกษาลักษณะและรูปร่างชุดทดสอบบนกระดาษ.....	18
3.3.1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน.....	18
3.3.1.2 การเตรียมสารละลายโซล-เจลเจือด้วยอโทพีแนนโทเรลีน.....	19
3.3.1.3 ชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด.....	20
3.3.1.4 ระบบโซล-เจลเจือด้วยอโทพีแนนโทเรลีน.....	20
3.3.2 ศึกษาความเป็นไปได้สำหรับการพัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดให้วิเคราะห์ ได้ในปริมาณความเข้มข้นต่ำ.....	20
3.3.2.1 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 0.20 มิลลิกรัมต่อ ลิตร.....	20
3.3.2.2 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 0.40 มิลลิกรัมต่อ ลิตร.....	21
3.3.2.3 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 0.60 มิลลิกรัมต่อ ลิตร.....	21
3.3.2.4 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 0.80 มิลลิกรัมต่อ ลิตร.....	21
3.3.2.5 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อ ลิตร.....	22
3.3.3 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการแช่ชุดทดสอบลงในสารละลายมาตรฐานไอออน เหล็ก (II) สำหรับเพิ่มความเข้มข้นของจุดสีบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด....	22
3.3.4 ศึกษาความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมในการชะไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุด ทดสอบบนกระดาษจุด.....	22
3.3.4.1 การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์.....	22
3.3.4.2 การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.10 โมลาร์.....	22
3.3.4.3 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.10 โมลาร์.....	23
3.3.5 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ ที่เหมาะสมในการชะล้างไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบบนกระดาษ.....	23
3.3.5.1 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.10, 0.010, 0.0010, 0.00010 โมลาร์.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.3.5.2 การวิเคราะห์ชุดทดสอบโซล-เจลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.10, 0.010, 0.0010, 0.00010 โมลาร์.....	24
3.3.6 ศึกษาช่วงพีเอชที่เหมาะสมและอิตีทีเอในการแช่ชุดทดสอบโซล-เจลบน กระดาษ.....	24
3.3.6.1 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 6 เข้มข้น 0.10 โมลาร์.....	24
3.3.6.2 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 8 เข้มข้น 0.10 โมลาร์.....	24
3.3.6.3 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 เข้มข้น 0.10 โมลาร์.....	24
3.3.6.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐานอิตีทีเอเข้มข้น 0.10 โมลาร์.....	24
3.3.7 ศึกษาการออกซิไดซ์ไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบบนกระดาษ.....	24
3.3.7.1 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 เข้มข้น 0.10 โมลาร์.....	24
3.3.7.2 การเตรียมสารละลายผสมบัฟเฟอร์พีเอช 4 กับสารละลายอิตีทีเอ เข้มข้น 0.10 โมลาร์.....	25
3.3.7.3 การเตรียมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.10 โมลาร์.....	25
3.3.7.4 การเตรียมสารละลายผสมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อิตีทีเอและสารละลาย บัฟเฟอร์พีเอช 4 เข้มข้น 0.10 โมลาร์.....	25
3.3.8 ศึกษาปริมาตรที่เหมาะสมในการแช่ชุดทดสอบที่มีไอออนเหล็ก (II) ด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์.....	26
3.3.9 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการแช่ชุดทดสอบที่มีไอออนเหล็ก (II) ด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ สำหรับการชะไอออนเหล็ก (II) ออก จากชุดทดสอบ.....	26
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล.....	27
4.1 ศึกษาลักษณะและรูปร่างชุดทดสอบบนกระดาษ.....	27
4.1.1 ระบบโซล-เจลเจือด้วยออกโทพีแนนโทรลีน.....	28
4.2 ศึกษาความเป็นไปได้สำหรับการพัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดให้วิเคราะห์ได้ใน ปริมาณความเข้มข้นที่ต่ำลง.....	29
4.3 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการแช่ชุดทดสอบ.....	30
4.4 ศึกษาความเป็นกรด-เบสและช่วงเวลาที่เหมาะสมในการชะไอออนเหล็ก (II) ออกจาก ชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด.....	32
4.5 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆที่เหมาะสม ในการชะล้างไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบบนกระดาษ.....	32
4.6 ศึกษาช่วงพีเอชที่เหมาะสมและอิตีทีเอสำหรับการแช่ชุดทดสอบโซล-เจลบน กระดาษกรอง.....	35
4.7 ศึกษาการออกซิไดซ์และการตั้งไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบ.....	37
4.8 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการแช่ชุดทดสอบที่มีไอออนเหล็ก (II) ด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.9 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการแช่ชุดทดสอบที่มีไอออนเหล็ก (II) ด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ สำหรับการชะไอออนเหล็ก (II) ออกจาก จุดบนชุดทดสอบ.....	40
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	46
เอกสารอ้างอิง.....	47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	49
ภาคผนวก ก.....	51
ภาคผนวก ข.....	52
ภาคผนวก ค.....	55
ภาคผนวก ง.....	59
ภาคผนวก จ.....	63
ภาคผนวก ฉ.....	66
ภาคผนวก ช.....	70



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงลิแกนด์ที่นิยมใช้ในสารตั้งต้น.....	5
2.2 ศักย์ออกซิเดชันของตัวออกซิไดซ์ชนิดต่างๆ.....	9
4.1 แสดงความเป็นเส้นตรงของกราฟค่าสัมประสิทธิ์การตัดลีนใจและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของการแช่ชุดทดสอบในสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก(II) ที่เวลาต่างๆ.....	31
4.2 สรุปผลการทดลองในการเลือกสารที่มีความเหมาะสมในการออกซิไดซ์ไอออนเหล็กออกจากชุดทดสอบแบบกระดาษ.....	42
4.3 บันทึกผลการทดลองหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการชะไอออนเหล็ก(II) ออกจากชุดทดสอบ.....	43
4.4 บันทึกผลปริมาตรที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ สำหรับการชะไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบ.....	44
4.5 บันทึกผลเวลาที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ สำหรับการชะเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบ.....	44
ก.1 ค่าความเข้มข้น ค่าความแตกต่างความเข้มข้นและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของระบบสารละลายโซล-เจลเจือด้วยอโทพีแนโนโพลีเมอร์เข้มข้นร้อยละ0.20 (w/v).....	50
ข.1 ค่าความเข้มข้น ค่าความแตกต่างความเข้มข้นและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานเหล็ก(II) กับความแตกต่างความเข้มข้นเปรียบเทียบการแช่ชุดทดสอบลงในสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) สำหรับเพิ่มความเข้มข้นของจุดสีบนชุดทดสอบกระดาษแบบจุด.....	51
ค.1 ค่าความเข้มข้น ค่าความแตกต่างความเข้มข้นและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆที่เหมาะสมในการชะล้างไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบบนกระดาษและการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ	54
ง.1 ค่าความเข้มข้น ค่าความแตกต่างความเข้มข้นและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของความเข้มข้นของสารละลายอีดีทีเอ, สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 6,8,10 ที่ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ที่เหมาะสมในการชะล้างไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบบนกระดาษและการแช่สารละลาย มาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ.....	58
จ.1 ค่าความเข้มข้น ค่าความแตกต่างความเข้มข้นและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของการออกซิไดซ์และการตั้งไอออนเหล็ก(II) ออกจากชุดทดสอบ.....	62
ฉ.1 ค่าความเข้มข้น ค่าความแตกต่างความเข้มข้นและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของปริมาตรที่เหมาะสมในการแช่ชุดทดสอบที่มีไอออนเหล็ก(II) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่

หน้า

- ช.1 ค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสงและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.010 โมลาร์ ของเวลาที่เหมาะสมในการชะล้างไอออนเหล็ก (II) ออกจาก ชุดทดสอบบนกระดาษและการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) 69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเปลี่ยนสถานะจากโซลเป็นเจล.....	3
2.2 เทคนิคในการสังเคราะห์โดยวิธีโซล-เจล.....	4
2.3 ตัวอย่างเฟสโคอะแกรม 3 ภูมิภาคของเตตระเอทิลออลโทซิลิเกต น้ำ และ 95% แอลกอฮอล์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส.....	6
2.4 ผลของค่า pH ต่ออัตราการละลายและเวลาในการเกิดเจล.....	7
2.5 โครงสร้างของสารเชิงซ้อนของเหล็กกับอโทพีแนนโพลีน.....	7
2.6 การเกิดปฏิกิริยาระหว่าง metal ion กับ EDTA เกิดเป็น five member ring.....	8
2.7 แสดงแผนภาพสีแบบ RGB.....	11
2.8 แสดงแผนภาพสีแบบ CMYK.....	12
2.9 แผนภาพแสดงส่วนประกอบภายในของสแกนเนอร์.....	13
4.1 การเปลี่ยนแปลงสีชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด.....	27
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II).....	28
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กับความแตกต่างความเข้มแสงของการรายงานค่าความเข้มแสง.....	29
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก(II)กับความแตกต่างความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 0.2 - 1 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	30
4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กับความแตกต่างความเข้มแสงเปรียบเทียบการแช่ชุดทดสอบลงในสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) สำหรับเพิ่มความเข้มของจุดสีบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด ณ เวลาต่างๆ.....	31
4.6 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.10 โมลาร์และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ กับความแตกต่างความเข้มแสง.....	33
4.7 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010โมลาร์และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับกับความแตกต่างความเข้มแสง.....	33
4.8 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.0010โมลาร์และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับกับความแตกต่างความเข้มแสง.....	34
4.9 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.0010โมลาร์และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับกับความแตกต่างความเข้มแสง.....	34
4.10 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายอีดีทีเอเข้มข้น 0.10โมลาร์และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับกับความแตกต่างความเข้มแสง.....	35
4.11 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช6 เข้มข้น 0.10 โมลาร์และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ กับความแตกต่างความเข้มแสง.....	35
4.12 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช8 เข้มข้น 0.10 โมลาร์และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ กับความแตกต่างความเข้มแสง.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.13 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายบัพเฟอร์พีเอช10เข้มข้น 0.10 โมลาร์และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก(II) กลับ กับความแตกต่างความเข้มแสง.....	36
4.14 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.10 โมลาร์และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก(II)กลับกับความแตกต่างความเข้มแสง.....	37
4.15 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายผสมอิตีทีเอและสารละลายบัพเฟอร์พีเอช4เข้มข้น0.10 โมลาร์และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับกับความแตกต่างความเข้มแสง.....	37
4.16 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายผสมอิตีทีเอ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และสารละลายบัพเฟอร์พีเอช4 เข้มข้น 0.10โมลาร์ และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ กับความแตกต่างความเข้มแสง	38
4.17 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์จำนวน30 ไมโครลิตรและการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับกับความแตกต่างความเข้มแสง	38
4.18 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์จำนวน 100 ไมโครลิตร และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับกับความแตกต่างความเข้มแสง.....	39
4.19 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์จำนวน100 ไมโครลิตร และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ กับความแตกต่างความเข้มแสง.....	39
4.20 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ จำนวน 300 ไมโครลิตรและการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับกับความแตกต่างความเข้มแสง.....	40
4.21 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์เป็นเวลา 20 นาที และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับกับความแตกต่างความเข้มแสง.....	40
4.22 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์เป็นเวลา40 นาที และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับกับความแตกต่างความเข้มแสง.....	41
4.23 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์เป็นเวลา60 นาที และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ กับความแตกต่างความเข้มแสง.....	41

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ปัจจุบันน้ำเป็นสิ่งสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมากในการบริโภคและอุปโภค คุณภาพของน้ำจึงเป็นสิ่งที่สำคัญเป็นอย่างมาก เช่น การใช้น้ำของด้านสาธารณสุข น้ำที่นำมาใช้ต้องสะอาดเพื่อใช้ในการรักษาผู้ป่วย และด้านการอุปโภค เช่น ในอุตสาหกรรม น้ำที่นำมาใช้ต้องมีคุณภาพเพียงพอที่อุตสาหกรรมต่างๆ จะสามารถนำมาใช้ได้ เนื่องจากปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาภัยแล้ง จึงได้มีการนำน้ำบาดาลขึ้นมาใช้และปัญหาหลักคือการพบโลหะเหล็ก เหล็กที่ปรากฏอยู่ในธรรมชาติมักเป็นแหล่งกำเนิดของเหล็กในน้ำ เหล็กเกือบทั้งหมดที่พบในหินและดินส่วนใหญ่ ปรากฏรวมตัวกันอยู่กับธาตุอื่นๆ เป็นสารประกอบของเหล็กออกไซด์ เหล็กซัลไฟด์ และเหล็กคาร์บอเนต เหล็กออกไซด์เกิดจากแร่ 3 ชนิด คือ แร่เฮมาไตต์สีแดง (Red Hematite) หรือ Fe_2O_3 แร่แมกเนไตต์ (Magnetite) หรือ Fe_3O_4 แร่ลิโมนไนท์หรือแร่เฮมาไตต์สีน้ำตาล (Brown Hematite) หรือ $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ เหล็กซัลไฟด์เกิดจากแร่ไพไรต์ (Pyrites) หรือ FeS_2 ส่วนเหล็กคาร์บอเนตเกิดจากแร่ สิเดอไรต์ (Siderites) หรือ Fe_2O_3 สถานะต่างๆ ของเหล็กที่ปรากฏอยู่ในน้ำตามธรรมชาติ อธิบายได้ว่าเหล็กทั้งหมดในน้ำหรือ Total Iron แบ่งเป็น 2 รูป คือเหล็กในรูป Fe^{+2} และเหล็กในรูป Fe^{+3} เหล็กอาจรวมตัวกับธาตุอื่นเป็นสารประกอบ เช่น FeS_2 (ที่ไม่ละลายน้ำ) และ $Fe(HCO_3)_2$ ที่ละลายน้ำได้ จึงเป็นที่มาของการทดสอบคุณภาพของน้ำ สิ่งทดสอบเช่น ความเป็นกรด-เบส ค่าความกระด้างของน้ำ และปริมาณโลหะชนิดต่างๆ ที่ปนอยู่ เป็นต้น

วิธีการในอดีตจะมีความยุ่งยากซับซ้อนและส่วนมากมักใช้ห้องปฏิบัติการในการทดลอง ต่อมาได้มีการพัฒนาวิธีทดสอบขึ้นมาเพื่อลดข้อจำกัดและเพิ่มประสิทธิภาพในการทดสอบจนเป็นชุดทดสอบที่มีความสะดวกในการเคลื่อนย้ายสามารถนำออกไปทดสอบนอกห้องปฏิบัติการได้ ซึ่งจะเป็ประโยชน์ต่อชุมชนที่ห่างไกลและไม่มีอุปกรณ์ในการทดสอบที่เพียงพอ ชุดทดสอบเหล็กแบบจุดโดยใช้โซล-เจลเจือออร์โทฟอสเฟตสำหรับวิเคราะห์เหล็ก (II) เชิงปริมาณ สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์เหล็กตามวัตถุประสงค์นี้ได้ แต่กระดาศทดสอบที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบใช้แล้วทิ้ง ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองทรัพยากร ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบความสามารถในการนำกระดาศทดสอบแบบจุดโซล-เจล กลับมาใช้ซ้ำ เพื่อเป็นการประหยัดทรัพยากร

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานมีดังต่อไปนี้

1.3.1 สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1.3.2 ศึกษาการชะล้างไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบบนกระดาษโดยแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก, สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์, สารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 6, 8, 10, สารละลายอิตีทีเอสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารละลายผสมอิตีทีเอกับสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 สารละลายผสมอิตีทีเอกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4

1.3.3 ศึกษาการนำกระดาษทดสอบที่ชะไอออนเหล็กออกแล้ว ในการใช้ซ้ำเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในน้ำ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้วิธีการชะไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบโซล-เจลบนกระดาษ ซึ่งทำให้สามารถนำกระดาษทดสอบกลับมาใช้งานซ้ำในการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กได้

1.5 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาหาข้อมูล ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ออกแบบวิธีการทดลอง

1.5.3 ดำเนินการทดลอง

1.5.4 วิเคราะห์ตัวอย่าง

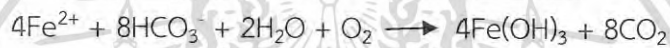
1.5.5 สรุป และรายงานผลการทดลอง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เหล็กที่อยู่ในน้ำธรรมชาติ [1]

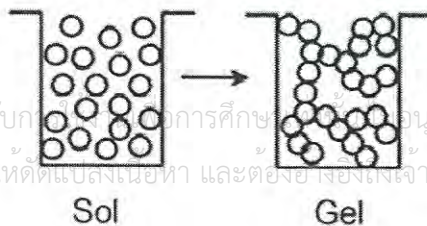
น้ำในธรรมชาติมีเหล็กละลายอยู่บ้าง แต่ในน้ำบาดาลมีเหล็กอยู่ปริมาณค่อนข้างสูง โดยที่เหล็กจะอยู่ในรูปของเฟอร์รัสไบคาร์บอเนต ($\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$) น้ำจะมีสภาพใส แต่เมื่อวางทิ้งไว้ในบรรยากาศจะขุ่นและเกิดตะกอนสีแดงของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) เหล็กในน้ำจะปรากฏ 2 รูปคือ เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) และเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) เฟอร์รัสไอออน จะไม่ค่อยเสถียรเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนจะถูกออกซิไดซ์เป็นเฟอร์ริกไอออน



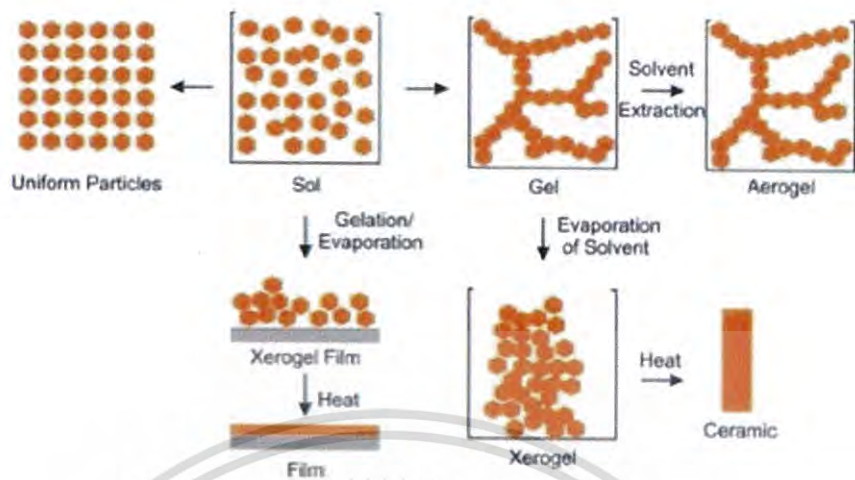
ถ้าน้ำที่มีเหล็กสูงเกิน 0.3 มิลลิกรัม/ลิตร จะไม่เหมาะสำหรับการบริโภคเพราะมีกลิ่นและรสชาติของเหล็กคือจะมีกลิ่นคาว นอกจากนี้ น้ำที่มีเหล็กสูงจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเหล็กทำให้เกิดสนิมด้วย ปริมาณเหล็กสำหรับน้ำดื่มไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเหล็กในน้ำใช้หรือน้ำบาดาล ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2 กระบวนการโซล-เจล (sol-gel process) [2]

“คอลลอยด์”(colloid) คือของผสมที่ประกอบด้วยอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10^{-7} เซนติเมตร ถึง 10^{-4} เซนติเมตร โดยกระจายอยู่ในสารอีกชนิดหนึ่งที่เป็นตัวกลางตัวอย่างเช่น นํ้านม นํ้าสลัด นํ้าแป้งสุก หมอก ควีนไฟ เป็นต้น “โซล” (sol) คือ อนุภาคคอลลอยด์ของแข็งที่กระจายตัวอยู่ในวัฏภาคของเหลว “อิมัลชัน”(emulsion) คือ อนุภาคคอลลอยด์ของเหลวที่กระจายตัวอยู่ในวัฏภาคของเหลวอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งที่กล่าวมาข้างต้นสามารถนำมาสร้างเป็นพอลิเมอร์หรือชิ้นงานต่างๆ ได้ เช่น ถ้าหากทำให้อนุภาคของโซลหนาแน่นขึ้นจะเปลี่ยนเป็นอนุภาคของเจล (gel) ซึ่งจะมีลักษณะเป็นของแข็งที่เกิดการเชื่อมโยงจนมีขนาดใหญ่อ้อมรอบด้วยวัฏภาคของเหลว การเปลี่ยนแปลงสภาพจากโซลเป็นเจล แสดงในรูปที่ 2.1

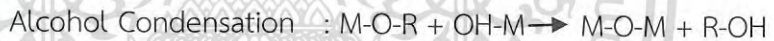
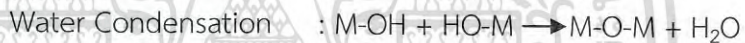
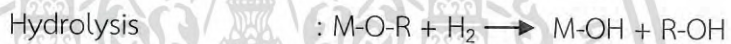


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก... การศึกษา... อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 เทคนิคในการสังเคราะห์โดยวิธีโซล-เจล [3]

เทคนิคในการสังเคราะห์โดยวิธีโซล-เจล แสดงในรูปที่ 2.1 ปฏิกริยาที่สำคัญในกระบวนการโซล-เจลมี 3 ปฏิกริยา คือ Hydrolysis, Water condensation และ Alcohol condensation ดังสมการ



เมื่อ M แทนโลหะ ได้แก่ Si, Zr, Al, Sn, Ce, และ OR แทน Alkoxy group

มีปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา คือ pH ตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนโมลของน้ำและโลหะ และ อุณหภูมิ ดังนั้นการควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ในสภาวะที่ต่างกันจะทำให้โซลและเจลที่ได้มีสมบัติและโครงสร้างต่างกัน

กระบวนการโซลเจลประกอบด้วยสารตั้งต้น (precursor) ซึ่งเป็นอนุภาคคอลลอยด์ที่ประกอบด้วยธาตุโลหะ (metal) หรือธาตุกึ่งโลหะ (metalloid) ซึ่งล้อมรอบด้วยลิแกนด์ (ligand) ชนิดต่างๆ ตัวอย่างของสารตั้งต้นที่นิยมใช้โดยทั่วไปคือ อลูมิเนียมออกไซด์ (aluminium oxide) ที่มีเกลืออนินทรีย์ (inorganic salt) เป็นองค์ประกอบ เช่น $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ ในส่วนของลิแกนด์นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มด้วยกัน ได้แก่ กลุ่มอัลคิล (alkyl) คือ กลุ่มของโมเลกุลอัลเคน (alkane) ซึ่งไฮโดรเจนอะตอมโปรตอนหลุดออกไป 1 ตัว ตัวอย่าง เช่น เมทิล (methyl; $\bullet\text{CH}_3$) หรือเอทิล (ethyl; $\bullet\text{C}_2\text{H}_5$) (โดยที่ \bullet หมายถึง อิเล็กตรอน; e^-) และ กลุ่มอัลคอกซี (alkoxy) คือ กลุ่มของโมเลกุลอัลคอกซิล (alkoxy) หรือแอลกอฮอล์ (alcohol) ที่โปรตอนหลุดออกไป 1 ตัว ตัวอย่างเช่น เมทอกซี (methoxy; $\bullet\text{OCH}_3$) หรือ เอทอกซี (ethoxy; $\bullet\text{OC}_2\text{H}_5$) ตัวอย่างของลิแกนด์ที่นิยมใช้แสดงดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

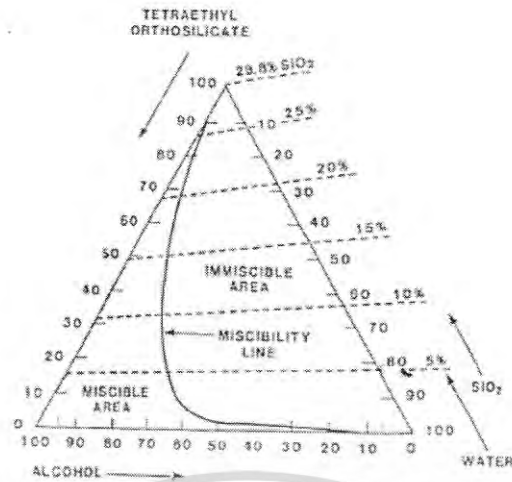
ตารางที่ 2.1 แสดงลิแกนด์ที่นิยมใช้ในสารตั้งต้น[4]

Alkyl		Alkoxy	
Methyl	•CH ₃	methoxy	•OCH ₃
Ethyl	•C ₂ H ₅	ethoxy	•OCH ₂ H ₅
n-propyl	•CH ₃ CH ₂ CH ₃	n-propoxy	•OCH ₂ CH ₂ CH ₃
iso-propyl	•H ₃ C(•C)HCH ₃	isopropoxy	•H ₃ C(•O)CHCH ₃
n-buthyl	•CH ₂ (CH ₂) ₂ CH ₃	n-butoxy	•O(CH ₂) ₃ CH ₃
sec-buthy	•H ₃ C(•C)HCH ₂ CH ₃	sec-butoxy	•H ₃ C(•O)CHCH ₂ CH ₃
iso-butyl	•CH ₂ CH(CH ₃) ₂	isobutoxy	•OCH ₂ CH(CH ₃) ₂
tert-butyl	•C(CH ₃) ₃	tert-butoxy	•OC(CH ₃) ₃

2.2.1 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

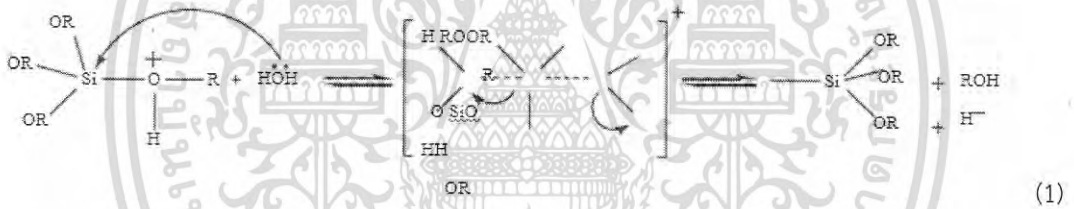
ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสสามารถเกิดได้โดยปราศจากการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) แต่ปฏิกิริยาจะเกิดได้อย่างรวดเร็วและสมบูรณ์เมื่อมีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา โดยตัวเร่งปฏิกิริยานั้น โดยทั่วไปนิยมใช้กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid; HCl) และแอมโมเนียม (ammonium; NH₄⁺) ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นๆ ได้แก่ กรดอะซิติก (acetic acid; CH₃COOH) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide; KOH) หรือโพแทสเซียมฟลูออไรด์ (potassium fluoride; KF) เป็นต้น โดยความแรงและความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยากรดหรือเบส จะมีผลต่ออัตราเร็วและขอบเขตของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส รวมทั้งอัตราส่วนของน้ำต่อซิลิกอน (H₂O:Si) มีผลต่อความสมบูรณ์ของการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากน้ำและอัลคอกไซด์ไม่สามารถรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันได้ (immiscible) จึงต้องเติมตัวทำละลาย (solvent) อื่นช่วย (homogenizing agent) เช่น แอลกอฮอล์ให้เกิดการรวมตัวดีขึ้น อย่างไรก็ตามเจลสามารถเกิดขึ้นได้จากการผสมกันของน้ำและอัลคอกไซด์ได้โดยไม่ต้องเติมตัวทำละลายเพราะแอลกอฮอล์สามารถเกิดขึ้นได้จากผลพลอยได้ (by-product) ของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส อยู่แล้วดังนั้น อัตราส่วนของน้ำต่อซิลิกอนนั้นมีอัตราส่วนที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 1 ถึง 50 และค่าความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 0.01 ถึง 7.0 โมลาร์ ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้ในการศึกษาและสังเคราะห์จากกระบวนการโซล-เจล ตัวอย่างเฟสไดอะแกรม 3 ภูมิภาคของเตตระเอทิลอซิเลท น้ำ และ 95% แอลกอฮอล์ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 2.3 และกลไกของการเกิดปฏิกิริยาในสภาวะตัวเร่งกรดและเบส แสดงได้ดังสมการ (1) และ (2) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างเฟสไดอะแกรม 3 ภูมิภาคของเตตระเอทิลอโทซิลิเกต น้ำ และ 95% แอลกอฮอล์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส [2]

กลไกการเกิดปฏิกิริยาของตัวเร่งกรด; S_N2

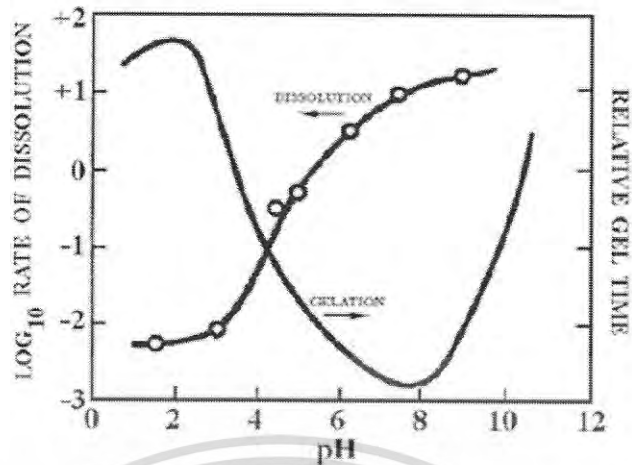


กลไกการเกิดปฏิกิริยาของตัวเร่งเบส; S_N2



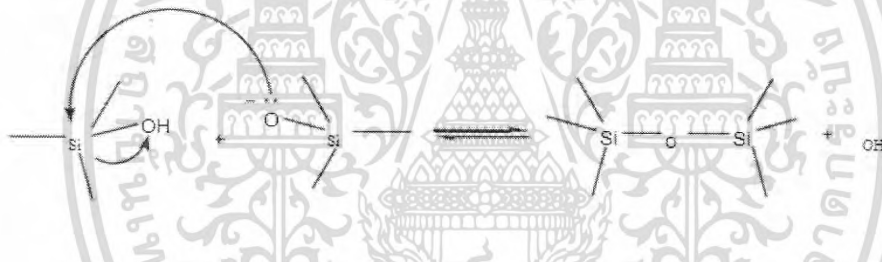
2.2.2 ปฏิกิริยาควบแน่น

ปฏิกิริยาควบแน่นเป็นการเชื่อมโยงโมเลกุลเล็กๆ ต่อกันให้ใหญ่ขึ้นด้วยพันธะซิลอกเซน (siloxane bonding) ในสภาวะเบสจะเกิดเป็นเจลได้เพิ่มขึ้น โดยปฏิกิริยาควบแน่นจะเกิดอย่างต่อเนื่องที่ค่า pH 2 - 8 การละลาย (dissolution) จะเพิ่มขึ้นส่วนการแข็งตัว (gelation) จะไม่เกิดขึ้น และในช่วงค่า pH >8 การละลายจะลดลง ส่วนการแข็งตัวเป็นเจลจะเพิ่มขึ้น ผลของค่า pH ที่มีผลต่ออัตราการละลายและเวลาในการเกิดเจลแสดงในรูปที่ 2.4 และกลไกของการเกิดปฏิกิริยาควบแน่นแสดงได้ดังสมการ (3)



รูปที่ 2.4 ผลของค่า pH ต่ออัตราการละลายและเวลาในการเกิดเจล[4]

กลไกการเกิดปฏิกิริยาควบแน่น

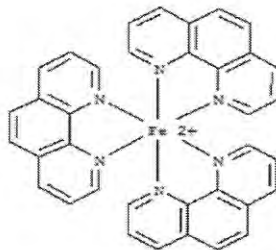


2.3 การเกิดสารเชิงซ้อนที่มีสีระหว่างอโทฟีแนนโทรลีนกับไอออนเหล็ก(II) [5]

ไอออนเหล็ก (II) รวมกับอโทฟีแนนโทรลีน (orthophenanthroline) จะให้สารที่มีสีแดงส้ม เป็นสารเชิงซ้อน ซึ่งสามารถแสดงการเกิดปฏิกิริยาได้ดังนี้



สูตรโครงสร้างของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) อโทฟีแนนโทรลีนเป็นรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของสารเชิงซ้อนของเหล็กกับอโทฟีแนนโทรลีน[4]

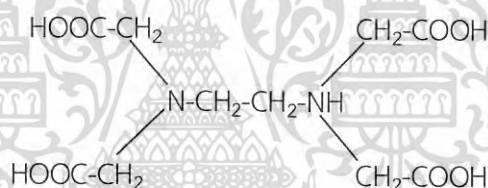
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอัตราการเกิด (K_f) ของปฏิกิริยานี้มีค่าเท่ากับ 2.5×10^6 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสจากสมการค่า pH ของสารละลายมีผลกระทบต่อความคงตัว (stability) ของสารเชิงซ้อนนี้ โดยทั่วไปการเกิดสารเชิงซ้อนจะทำในสารละลาย pH ระหว่าง 2 ถึง 9 อย่างไรก็ตามโดยปกตินิยมใช้ที่ pH ประมาณ 3.5 เพื่อป้องกันการตกตะกอนของเกลือบางชนิดของเหล็ก เช่น เกลือฟอสเฟต

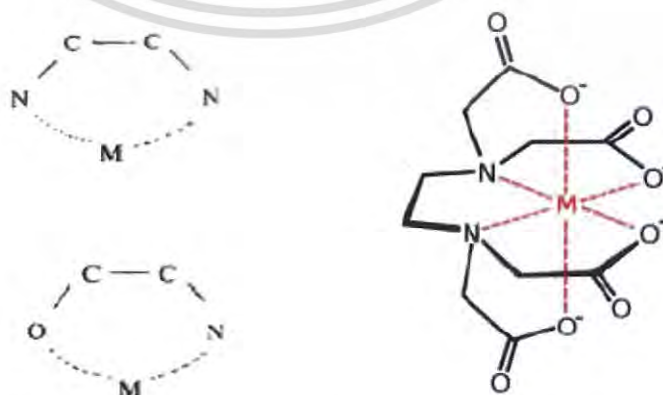
ในการทำให้เกิดสารเชิงซ้อนกับอโทพีแนนโทรีน จะต้องรีดิวซ์ไอออนเหล็กทั้งหมดในสารละลายเป็นไอออนเหล็ก (II) เสียก่อน โดยจะใช้ไฮดรอกซีอะมิโนไฮโดรคลอไรด์ (hydroxylaminehydrochloride) หรือไฮโดรควิโนน (hydroquinone) สีของสารเชิงซ้อนระหว่างไอออนเหล็ก (II) และอโทพีแนนโทรีนจะอยู่ตัวเป็นระยะเวลาสั้น

2.4 ปฏิกิริยาของ EDTA กับโลหะ[6]

Ethylenediaminetetraacetic Acid หรือเรียกกันทั่วไปว่า EDTA เป็นสารประเภท Tertiary Amine ที่ประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิลสามารถเกิดสารเชิงซ้อนแบบคีเลตที่เสถียรกับไอออนของโลหะหลายชนิดทั้งที่เป็นไดวาเลนต์ ไตรวาเลนต์ และเตตระวาเลนต์ สูตรโครงสร้างของสารนี้เขียนแสดงได้ดังนี้



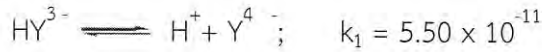
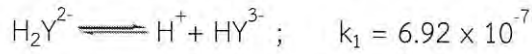
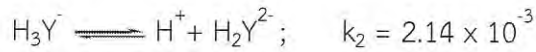
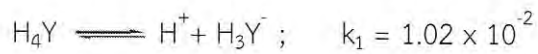
Ethylenediamine tetraacetic acid (EDTA) เป็น hexadentate ligand เกิด complex กับโลหะ 1:1 สามารถให้คู่อิเล็กตรอน 6 คู่จาก $-COO$ group 4 คู่และ nitrogen 2 คู่ที่จะเกิดพันธะกับ metal ion ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การเกิดปฏิกิริยาระหว่าง metal ion กับ EDTA จะเกิดเป็น five member ring[6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารนี้เป็นกรดอ่อนชนิด Tetraprotic Acid มีค่าการแตกตัวดังนี้



ค่าเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า โพรตอนสองตัวแรกจะหลุดได้ง่ายกว่าสองตัวหลัง ที่เหลืออิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของ O แต่ละตัวในหมู่ OH และของ N แต่ละตัว ทำให้โมเลกุลของ EDTA เป็น Hexadentate Ligand ซึ่งสามารถรวมกับไอออนของโลหะได้สูตรอย่างง่ายของ EDTA คือ H_4Y ปกติ H_4Y และเกลือโซเดียมไดไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ชนิดสารมาตรฐานปฐมภูมิมีจำหน่ายทั่วไป การเตรียมสารละลายมาตรฐาน H_4Y นั้นต้องอบแห้งที่อุณหภูมิ 130-145°C เป็นเวลาหลายชั่วโมง การละลายของสารนี้ต้องเติมเบสลงไปเล็กน้อยจะเกิดการละลายอย่างสมบูรณ์ ส่วนเกลือโซเดียมไดไฮเดรตของ EDTA เป็นที่นิยมกันมาก ถึงแม้มีความชื้นประมาณ 3% แต่ละลายน้ำได้และเมื่อเก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดโพลีเอทิลีนก็จะเสถียรเป็นเวลาหลายเดือน

2.5 ปฏิกิริยาเฟนต์อนออกซิเดชัน [7]

สารละลายเฟนต์อนนั้นเป็นปฏิกิริยาเคมีระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับเหล็กไอออน (เฟอร์รัสไอออน, Fe^{2+}) โดยจะทำให้เกิดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (Hydroxyl radical) ซึ่งมีค่าศักย์ออกซิเดชัน (Oxidation potential) สูง ซึ่งสูงกว่าคลอรีนและสูงกว่าโอโซน (O_3) แต่มีค่าสูงรองจากฟลูออรีนดังตารางที่ 2.1

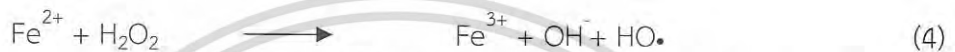
ตารางที่ 2.2 ศักย์ออกซิเดชัน (Oxidation potentials) ของตัวออกซิไดซ์ชนิดต่างๆ[7]

ตัวออกซิไดซ์	ศักย์ออกซิเดชัน
F_2	3.06
$\text{HO}\cdot$	2.08
O_3	2.07
H_2O_2	1.77
$\text{HOO}\cdot$	1.70
HOCl	1.49
Cl_2	1.39

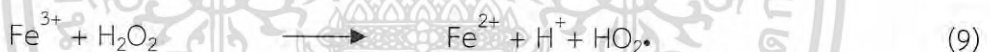
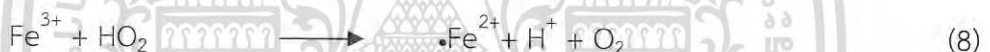
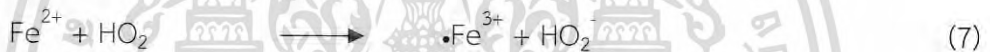
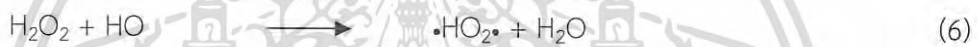
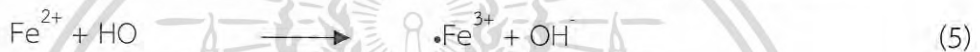
ความสามารถในการออกซิไดซ์ที่สูงของอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลที่ได้จากสารละลายเฟนต์อนทำให้มีเอกสารนำสารละลายเฟนต์อนไปใช้ในอุตสาหกรรมบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีสารพิษไม่ทราบชนิดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทสารประกอบอินทรีย์ปะปนอยู่ เช่น ฟีนอล ฟอรั่มัลดีไฮด์ สารประกอบอะโรมาติก เบนซีน โทลูอีน ไซลีนและสารเคมีต่างๆ ที่ได้มาจากวัสดุที่ย่อยมา ขี้แมลง สารกันบูด พลาสติก และยาง รวมทั้งกระบวนการนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับพวกน้ำเสีย ตะกอนหรือดินที่มีสิ่งปนเปื้อน โดยมีผลดังนี้คือทำลายสารอินทรีย์ที่เป็นมลพิษ (Organic pollutant destruction), ช่วยกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradability improvement) ลดค่าบีโอดี (BOD) และซีโอดี (COD) ลดกลิ่นและสี (Oder and color removal)

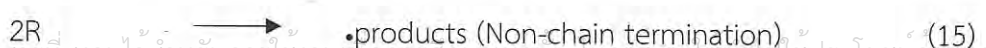
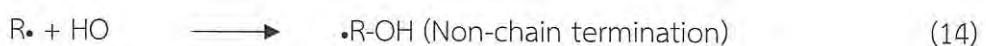
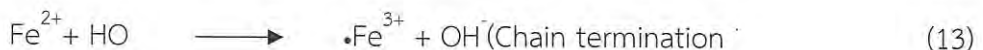
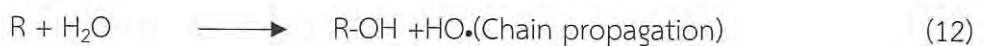
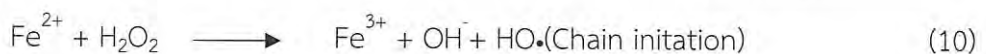
กลไกการเกิดปฏิกิริยาของสารละลายเฟนตันแสดงดังสมการ (4) ปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) กับไอออนของเฟอร์รัสซึ่งจะก่อให้เกิดอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (Hydroxyl radicals)



นอกจากปฏิกิริยาหลักดังที่แสดงในสมการ (4) ในสารละลายยังเกิดปฏิกิริยาอื่นๆ ขึ้นด้วยดังนี้



สมการทั้งหมดเป็นปฏิกิริยาที่จะเกิดสำหรับปฏิกิริยาเฟนตันเท่านั้นโดยใช้สมการของ Pure system (Flaherty, 1992) โดยสมการทั้งหมดจะไม่ได้เกิดขึ้นทุกสมการแต่ขึ้นอยู่กับปริมาณของเฟอร์รัสไอออนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยเมื่อเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) มีปริมาณมากเกินการเกิดปฏิกิริยาจะเป็นไปตามสมการ (4) และ (5) แต่ถ้าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีปริมาณมากเกินไปในสภาวะที่เป็นกรดการเกิดปฏิกิริยาตามสมการ (8) และ (9) จะไม่เกิดขึ้นแต่จะเกิดปฏิกิริยาตามสมการ (4), (6), (7) โดยปฏิกิริยาของสารละลายเฟนตันกับสารประกอบอินทรีย์นั้นสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งด้วยกลไกแบบลูกโซ่ (Chain) หรือไม่ใช่ลูกโซ่ (Non-chain) ดังกลไกที่แสดงดังสมการต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกพันไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ระบบสี(Colorsystem)[8]

สี คำนียามโดยปกติแล้วจะหมายถึงแม่สีทั้งสามสี แต่อย่างไรก็ตามใช้สีกับงานกราฟิกหรือในงานสำหรับคอมพิวเตอร์จะมีรายละเอียดหลายประการ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของระบบสี ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการแสดงผลของแสงที่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยจะมีลักษณะการแสดงผลคือ ถ้าไม่มีการแสดงสีใดบนจอภาพและแสดงเป็น “สีดำ” หากสีทุกสีแสดงผลพร้อมกัน จะเห็นสีบนจอภาพเป็น “สีขาว” ส่วนสีอื่นๆ เกิดจากการแสดงหลายๆ สี แต่มีค่าแตกต่างกัน สีที่ใช้งานด้านกราฟิกทั่วไปมีด้วยกันหลายระบบ เช่น RGB, CMYK, HSB, LAB แต่นิยมใช้ด้วยกัน 2 ระบบคือ RGB และ CYMX

2.6.1 RGB (Red-Green-Blue)

เป็นระบบสีที่ประกอบด้วยแม่สี 3 สี คือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) เมื่อนำสีมาผสมผสานกัน ซึ่งสีหนึ่งๆ จะมีค่าเท่ากับ 256 ระดับ (ตั้งแต่ 0-255) ทำให้เกิดสีต่างๆ บนจอคอมพิวเตอร์มากถึง 16.7 ล้านสี (256x256x256) ซึ่งใกล้เคียงกับสีที่ตาคนมองเห็นได้อย่างปกติ สีที่ได้จากการผสมสีขึ้นอยู่กับความเข้มของสี โดยถ้าสีมีความเข้มมากเมื่อนำมาผสมจะทำให้เกิดเป็นสีขาว จึงเรียกระบบนี้ว่า “การผสมสีแบบบวก”(additive) ซึ่งแผนภาพสีแบบ RGB แสดงดังรูปที่ 2.7

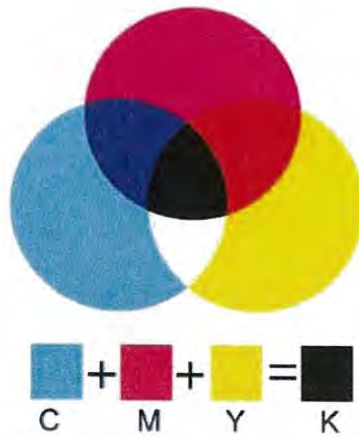


รูปที่ 2.7 แสดงแผนภาพสีแบบ RGB [9]

2.6.2 CMYK (Cyan-Magenta-Yellow-Key)

เป็นระบบสีที่ใช้กับระบบเครื่องพิมพ์ ที่พิมพ์ออกทางกระดาษหรือ วัสดุผิวเรียบอื่นๆ ซึ่งประกอบด้วยสีหลัก 4 สี คือ สีฟ้า (Cyan) สีม่วงแดง (Magenta) สีเหลือง (Yellow) และสีดำ (Black หรือ Key) เมื่อนำมาผสมกันจะเกิดเป็นสีดำ แต่จะไม่ดำสนิท เนื่องจากหมึกพิมพ์นั้นมีความไม่บริสุทธิ์ จึงเป็น “การผสมสีแบบลบ” (Subtractive) หลักการเกิดสีของระบบนี้คือ หมึกสีหนึ่งจะดูดกลืนแสงจากสีหนึ่ง แล้วสะท้อนกลับออกมาเป็นสีต่างๆ เช่น สีฟ้าดูดกลืนแสงของสีม่วง แล้วสะท้อนออกมาเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งจะสังเกตได้ว่าสีที่สะท้อนออกมาจะเป็นสีหลักของระบบ RGB การเกิดสีในระบบนี้จึงตรงข้ามกับการเกิดสีในระบบ RGB แผนภาพสีแบบ CMYK แสดงดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงแผนภาพสีแบบ CMYK [9]

2.7 Euclidean distance[10]

ในทางคณิตศาสตร์ Euclidean distance หรือ Euclidean metric คือ ระยะทาง ระหว่าง 2 จุด จุดที่จะวัดนั้นมีเงื่อนไขหลายค่าจากหลายมิติหรือขนาดขึ้นกับรูปแบบ ซึ่งสามารถพิสูจน์หาค่าได้ด้วย ทฤษฎีของ Pythagorean เมื่อมีการใช้สูตรเพื่อหาระยะทาง ขนาดของ Euclidean จะเป็นเซตของ Vector

นิยาม

Euclidean ระยะทางระหว่างจุด $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ และ $Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ ใน Euclidean หลายขนาด, ระบุได้เป็น:

$$\sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2}.$$

ระยะทางในขนาดหลายมิติ

หาระยะทางระหว่าง 2 จุดในขนาดหลายมิติ $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ และ $Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ หา ระยะทางได้โดย:

$$\sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2}.$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษานี้เราสนใจความแตกต่างของความเข้มแสงจึงใช้สมการเป็น

$$ED = \sqrt{(\Delta IR)^2 + (\Delta IG)^2 + (\Delta IB)^2}$$

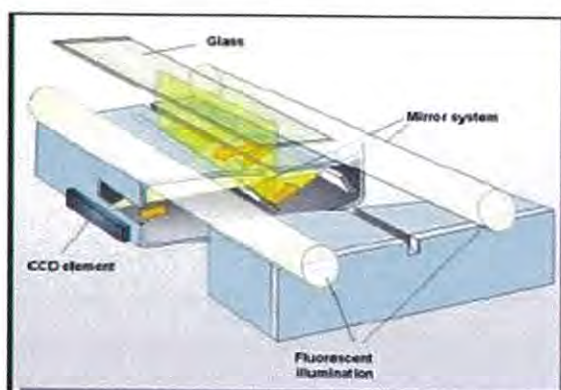
- โดยที่ Δ คือ ผลต่างของแสงที่จุด blank กับค่าความเข้มแสง ณ จุด
เกิดปฏิกิริยากับเหล็กที่ความเข้มข้นต่างๆกัน
- R คือ ค่าความเข้มสีแดง
- G คือ ค่าความเข้มสีเขียว
- B คือ ค่าความเข้มสีน้ำเงิน

2.8 หลักการทำงานของเครื่องสแกน (Scanner) [11]

เครื่องสแกน คือ อุปกรณ์ต่อเชื่อมคอมพิวเตอร์แบบกราฟิก ที่มีหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงภาพต้นฉบับ (รูปถ่ายตัวอักษรบนหน้ากระดาษภาพวาด) ให้เป็นข้อมูล เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ ในการแสดงผลที่หน้าจอ ทำให้ สามารถแก้ไข ตกแต่งเพิ่มเติมและจัดเก็บข้อมูลได้ คำว่าสแกน (scan) หมายถึง กราดตรวจ กราดภาพ เครื่องสแกนหรือเครื่องกราดภาพ จะทำการตรวจสอบข้อมูลในลักษณะตัวอักษรหรือภาพโดยเรียงลำดับที่ละส่วนนั่นเอง

สแกนเนอร์มีหลักการทำงานคือ เครื่องอ่านภาพจะทำการอ่านภาพโดยอาศัยการสะท้อนหรือการส่องผ่านของแสงกับภาพต้นฉบับที่ทึบแสงหรือโปร่งแสงให้ตกกระทบกับแถบของอุปกรณ์ไวแสง (photosensitive) ซึ่งมีชื่อในทางเทคนิคว่า Charge-Coupled Device (CCD) ตัว CCD จะรับแสงดังกล่าวลงไปเก็บไว้ในเส้นเล็กของเซลล์ และจะแปลงคลื่นแสงของแต่ละเซลล์เล็กๆ ให้กลายเป็นคลื่นความต่างศักย์ ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามอัตราส่วนของระดับความเข้มของแสงแต่ละจุด

ตัวแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล หรือ ADC : Analog to Digital Converter จะแปลงคลื่นความต่างศักย์ให้เป็นข้อมูลในรูปแบบที่คอมพิวเตอร์เข้าใจ ในเวลาเดียวกันโปรแกรมในการอ่านจะควบคุมการทำงานของเครื่องอ่านภาพให้รับข้อมูลเข้า และจัดรูปแบบเป็นแฟ้มข้อมูลของภาพในระบบคอมพิวเตอร์ต่อไปแผนภาพแสดงส่วนประกอบภายในของสแกนเนอร์ แสดงในรูปที่ 2.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 2.9 แผนภาพแสดงส่วนประกอบภายในของสแกนเนอร์ (scanner)[12] ซึ่งใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 ภาพจากเครื่องสแกน

ภาพในคอมพิวเตอร์จะอยู่ในรูปแบบดิจิทัล คอมพิวเตอร์แทนส่วนเล็ก ๆ ของภาพที่เรียกว่า พิกเซล (pixels) ขนาดของไฟล์รูปภาพจะประกอบด้วยจำนวนพิกเซลเป็นร้อยเป็นพัน คอมพิวเตอร์จะบันทึกค่าความเข้มและค่าสีของพิกเซลแต่ละพิกเซลด้วยจำนวน 1 บิต หรือหลายๆ บิต จำนวนของพิกเซลจะเป็นตัวแสดงถึงความละเอียด และถ้ามีจำนวนบิตต่อพิกเซลมาก สีที่ได้ก็จะมากตามไปด้วย

รูปแบบการเก็บข้อมูลมีหลายระบบ 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 ซึ่งจะแสดงสีได้ไม่เหมือนกับความจริงที่เรามองเห็นได้ สำหรับระบบ 24 บิต จะให้ภาพที่มีสีใกล้เคียงจริงมากที่สุด เรียกว่า photo-realistic โดยจะแบ่ง 24 บิต เป็น 3 ส่วน คือ แดง เขียว น้ำเงิน ส่วนละ 8 บิต เมื่อรวมทั้ง 3 ส่วนเข้ากันแล้วจะสามารถแสดงสีได้ถึง 16.7 ล้านสี

2.8.2 การทำงานของเครื่องสแกน

ส่วนประกอบที่สำคัญของสแกนเนอร์คือแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งจะทำหน้าที่ฉายแสงไปที่กระดาษที่วางอยู่บนกระจก พื้นทีสีขาวที่ฝาปิดจะช่วยให้การสะท้อนของแสงดีขึ้น เมื่อคุณสั่งให้สแกนเนอร์ทำงาน มอเตอร์จะขับเคลื่อนหัวสแกนผ่านใต้กระดาษ ในระหว่างที่เคลื่อนที่นี้หัวสแกนจะจับแสงที่สะท้อนมาจากแต่ละพื้นที่ของกระดาษด้วย ซึ่งพื้นที่นี้จะมีขนาดประมาณ $1/90,000$ ตารางนิ้วแสงจากกระดาษจะสะท้อนผ่านระบบกระจกเพื่อทำให้ลำแสงนั้นได้ไปในทิศทางที่เหมาะสมไปยังเลนส์ เลนส์จะรวมแสงเพื่อไปผ่านไดโอดแสงเพื่อแปลงข้อมูลแสงนี้ให้อยู่ในรูปกระแสไฟฟ้า ถ้ามีแสงผ่านไปไดโอดมาก ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ได้ก็จะมากขึ้น ถ้าเป็นสแกนเนอร์แบบสี แสงที่สะท้อนนี้จะผ่านไปยังฟิลเตอร์แดง เขียว หรือน้ำเงินที่อยู่หน้าไดโอด ADC จะเก็บข้อมูลอะนาล็อกแต่ละส่วนนี้ไว้ ซึ่งข้อมูลแต่ละส่วนนี้เรียกว่า พิกเซล ซึ่งในความยาวหนึ่งนิ้วจะประกอบด้วยพิกเซลประมาณ 300-1,200 พิกเซลการเคลื่อนที่ของสแกนเนอร์บางประเภทตัวกระดาษไม่เคลื่อนที่ สิ่งที่เคลื่อนที่คือหัวสแกนแต่ในสแกนเนอร์ระดับสูงหัวอ่านจะไม่เคลื่อนที่ จะมีตัวหมุนกระดาษเข้าไป ด้วยวิธีนี้ทำให้คุณภาพที่ดีจากการสแกนเนอร์แบบนี้สูงกว่า

2.9 ชุดทดสอบภาคสนาม (on-site monitoring test kit)

ชุดทดสอบภาคสนาม โดยทั่วไปแล้วมีจุดประสงค์เพื่อใช้สำหรับการทดสอบหรือการวิเคราะห์เบื้องต้นสำหรับคัดกรองตัวอย่าง ก่อนที่จะนำไปทดสอบอย่างละเอียดด้วยเครื่องมือที่มีความเที่ยงตรงและแม่นยำสูงในห้องปฏิบัติการเพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้องมากขึ้น ด้วยวิธีการวิเคราะห์ที่ไม่ยุ่งยากและให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว และไม่ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการลงมือทดสอบ ที่สำคัญคือต้นทุนต่ำมีผลการทดสอบน่าเชื่อถือ จึงถือว่าเป็นจุดเด่นของชุดทดสอบ การนำชุดทดสอบภาคสนามมาใช้สามารถนำมาทดสอบกับตัวอย่างที่มีจำนวนมากได้ รวมทั้งสามารถทดสอบได้ในสภาวะจริงของสารตัวอย่างนั้น เนื่องจากการนำตัวอย่างมาทดสอบยังห้องปฏิบัติการนั้นอาจมีการปนเปื้อนหรือการรบกวน ไม่ว่าจะเป็นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สลายตัวของตัวอย่างก่อนที่ตัวอย่างจะส่งมาวิเคราะห์ยังห้องปฏิบัติการ ชุดทดสอบภาคสนามเหมาะสมสำหรับการคัดกรอง (screening) ตัวอย่างที่มีจำนวนมากก่อนนำตัวอย่างส่งเข้าสู่ห้องปฏิบัติการ ข้อจำกัดของชุดทดสอบภาคสนามคือ คือสามารถทำได้เพียงการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (qualitative analysis) แต่ไม่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis) ได้จึงทำให้เป็นข้อเสียของชุดทดสอบภาคสนาม

จุดเด่นของชุดทดสอบภาคสนาม [13]

1. ใช้ได้ง่ายโดยผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องมีความเชี่ยวชาญด้านนั้นๆ โดยตรง กระบวนการทดสอบจึงไม่สลับซับซ้อนเกินไป
2. สามารถนำไปใช้ในสถานะของภาคสนามที่เกี่ยวข้องกระบวนการทดสอบจึงต้องไม่ยุ่งยากอาจสามารถใช้งานในสถานะที่ต่างจากห้องปฏิบัติการได้ เช่น ไม่มีโต๊ะ ไม่มีไฟฟ้า ไม่มีน้ำ หรือ มีสถานะอากาศที่แปรปรวน
3. ราคาถูก เพราะการทดสอบภาคสนามมักจำเป็นต้องทำการทดสอบตัวอย่างจำนวนมาก

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.10.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนเหล็ก

จากการศึกษาของงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ามีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์หาปริมาณของไอออนเหล็ก ซึ่งเทคนิคที่ใช้ตรวจวัดเช่น เทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรี [5, 16, 18-21] เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์ชันสเปกโทรโฟโตเมทรี [15, 17, 18] เทคนิคอินดักทีฟพีริคัลเพอร์พลาสมาแมสสเปกโทรโฟโตเมทรี [22] เทคนิคอิเล็กโตรโฟรีซิส [23] และเทคนิคโวลแทมเมทรี [24] เทคนิคเหล่านี้ใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง และมีความซับซ้อนในการใช้งาน และไม่สะดวกในการวิเคราะห์ภาคสนาม ในงานวิจัยการทำปฏิกิริยาของคีเลตติ้งเอเจนต์กับไอออนเหล็ก เพื่อให้เกิดสารเชิงซ้อนที่มีสี จากนั้นจึงทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นเทคนิคที่ง่ายและนิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง สารที่สามารถทำปฏิกิริยากับไอออนเหล็กนั้นมีหลากหลายชนิด ยกตัวอย่างเช่นออโทพีแนนโพลีเมอร์สามารถทำปฏิกิริยากับไอออนเหล็ก ซึ่งไอออนเหล็กจะถูกรีดิวซ์ให้อยู่ในรูปไอออนเหล็ก (II) ทั้งหมด แล้วเกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่สามารถดูดกลืนแสงได้ที่ความยาวคลื่น 508 นาโนเมตร [5]

2.10.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับชุดทดสอบและรายงานผลการตรวจวัด

การนำชุดทดสอบมาใช้ นั้น มักนิยมใช้ในการตรวจวัดในเชิงคุณภาพวิเคราะห์ [2] แต่งานวิจัยบางส่วนก็พยายามที่จะพัฒนาเพื่อใช้ในการตรวจวัดในเชิงปริมาณวิเคราะห์ ซึ่งระบบที่ใช้สร้างชุดทดสอบนั้นจึงหลายชนิดด้วยกัน ตัวอย่างเช่น โซล-เจล [14, 16, 25, 26] เนื่องจากโซล-เจลสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มบางและยึดเกาะกับซับสเตรตได้ดี จึงมักมีการศึกษาการนำโซล-เจลมาเจือด้วยสารคีเลตติ้งเอเจนต์ เมื่อรีเอเจนต์ทำปฏิกิริยากับไอออนของเหล็ก แล้วเกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่มีสี ซึ่งจะต้องบันทึกผลความเข้มสีที่เกิดขึ้นและรายงานผลในรูปผลลัพธ์ทางสมการคณิตศาสตร์หรือสมการระยะทางแบบยูคลิด (Euclidean distance) [25]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

1. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid; A.R. grade – Fluka)
2. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid; A.R. grade – Carlo erba)
3. โซเดียมซิเตรต (Sodium citrate; A.R. grade – Carlo erba)
4. เตตระเอทิลออร์โทซิลิเกต (Tetraethyl orthosilicate; A.R. grade – Acros organic)
5. ไตรตัน เอ็กซ์ 100 (Triton® X-100; A.R. grade – Fisher scientific)
6. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water – Milli Q)
7. ออโทพีแนนโทโรลีนโมโนไฮเดรต (Orthophenanthroline monohydrate; A.R. grade – Carlo erba)
8. เอทานอลปราศจากน้ำ (Absolute ethanol; A.R. grade – Carlo erba)
9. แอมโมเนียมเฟอร์รัสซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต (Ammonium ferrous sulfate hexahydrate); A.R. grade – Ajax finechem)
10. ไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ (Hydroxylamine hydrochloride; A.R. grade – Carloerba)
11. เอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติกแอซิด (Ethylene diamine tetra-acetic acid ; A.R. grade – Carlo erba)
12. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide; A.R. grade – Carlo erba)
13. โซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Sodium hydrogen phosphate; A.R. grade – Behmeyer)
14. โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Disodium hydrogen phosphate; A.R. grade – Fisher scientific)
15. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; A.R. grade – Carlo erba)
16. โซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate; A.R. grade – Carlo erba)
17. กรดอะซิติก (Acetic acid; A.R. grade – Carlo erba)
18. โซเดียมอะซิเตรตไตรไฮเดรต (Sodium acetate trihydrate; A.R. grade – Rankem)

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH meter)
2. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Analysis balance; CPA224S - Sartorius)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ไมโครปิเปตขนาด 10-1,000 ไมโครลิตร (Micropipette)

9. ถาดหลุม

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การเตรียมชุดทดสอบบนกระดาษ

3.2.1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

3.2.1.2 การเตรียมสารละลายโซล-เจลเจือด้วยอโทพีแนโนโทรลีน

3.2.1.3 ชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

3.2.1.4 ระบบโซล-เจลเจือด้วยอโทพีแนโนโทรลีน

3.2.2 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการแช่ชุดทดสอบลงในสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) สำหรับเพิ่มความเข้มข้นของจุดสีบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

3.2.3 ศึกษาความเป็นไปได้สำหรับการพัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดให้วิเคราะห์ได้ในปริมาณความเข้มข้นที่ต่ำ

3.2.3.1 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 0 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2.3.2 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2.3.3 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 0.40 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2.3.4 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 0.60 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2.3.5 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 0.80 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2.3.6 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2.4 ศึกษาความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมในการชะไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

3.2.4.1 การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2.4.1.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างชุดทดสอบด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.10 โมลาร์

3.2.4.2 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2.4.2.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างชุดทดสอบด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.10 โมลาร์

3.2.5 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่เหมาะสมในการชะล้างไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบบนกระดาษ

3.2.5.1 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.10, 0.010, 0.0010, 0.00010 โมลาร์

3.2.5.1.1 การวิเคราะห์ชุดทดสอบโซล-เจลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.10 โมลาร์

3.2.5.1.2 การวิเคราะห์ชุดทดสอบโซล-เจลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.010 โมลาร์

3.2.5.1.3 การวิเคราะห์ชุดทดสอบโซล-เจลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.0010 โมลาร์

3.2.5.1.4 การวิเคราะห์ชุดทดสอบโซล-เจลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุมัติจากทางมหาวิทยาลัยฯ ถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.00010 โมลาร์

3.2.6 ศึกษาช่วงพีเอชที่เหมาะสมและอิตีทีเอในการแช่ในชุดทดสอบโซล-เจลบนกระดาษ

- 3.2.6.1 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 6 เข้มข้น 0.10 โมลาร์
- 3.2.6.2 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 8 เข้มข้น 0.10 โมลาร์
- 3.2.6.3 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 เข้มข้น 0.10 โมลาร์
- 3.2.6.4 การเตรียมสารละลายอิตีทีเอเข้มข้น 0.10 โมลาร์

3.2.7 ศึกษาการออกซิไดซ์ไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบบนกระดาษ

- 3.2.7.1 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 เข้มข้น 0.10 โมลาร์
- 3.2.7.2 การเตรียมสารละลายผสมบัฟเฟอร์พีเอช 4 กับสารละลายอิตีทีเอเข้มข้น 0.10 โมลาร์
 - 3.2.7.2.1 การวิเคราะห์ชุดทดสอบโซล-เจลด้วยสารละลายผสมบัฟเฟอร์พีเอช 4 กับสารละลายอิตีทีเอเข้มข้น 0.10 โมลาร์
- 3.2.7.3 การเตรียมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.10 โมลาร์
 - 3.2.7.3.1 การวิเคราะห์ชุดทดสอบโซล-เจลด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.10 โมลาร์
- 3.2.7.4 การเตรียมสารละลายผสมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อิตีทีเอและสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 0.10 โมลาร์
 - 3.2.7.4.1 การวิเคราะห์ชุดทดสอบโซล-เจลด้วยสารละลายผสมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อิตีทีเอและสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 0.10 โมลาร์

3.2.8 ศึกษาปริมาตรที่เหมาะสมในการแช่ชุดทดสอบที่มีไอออนเหล็ก (II) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์

3.2.9 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการแช่ชุดทดสอบที่มีไอออนเหล็ก (II) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์สำหรับการชะไอออนเหล็ก (II) ออกจากจุดบนชุดทดสอบบนกระดาษ

3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

3.3.1 ศึกษาลักษณะและรูปร่างชุดทดสอบบนกระดาษ

3.3.1.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

- 1) สารละลายโซเดียมซิทเรตเข้มข้นร้อยละ 25.0 (w/v)
ชั่งโซเดียมซิทเรตมา 25.00 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเทใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน

- 2) สารละลายไฮดรอกไซด์ลามีเนไฮโดรคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 10.0 (w/v)
ชั่งไฮดรอกไซด์ลามีเนไฮโดรคลอไรด์มา 10.00 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน 100 มิลลิลิตร แล้วปรับค่า pH ด้วยสารละลายโซเดียมซิทเรตเข้มข้นร้อยละ 25.0 (w/v) ลงในสารละลายไฮดรอกไซด์ลามีเนไฮโดรคลอไรด์จนมีค่า pH เท่ากับ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.10 โมลาร์

ตวงสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 8.20 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปราบปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน

หมายเหตุ การเติมกรดลงในขวดวัดปริมาตรนั้น จะต้องมีน้ำอยู่ในขวดวัดปริมาตรในปริมาณที่เล็กน้อยก่อนเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนของกรดกับน้ำ

4) สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแอมโมเนียมเพอร์สัลเฟตเฮกซะไฮเดรต 7.0200 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.00 มิลลิลิตร เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน

5.) สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปิเปตสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 25.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน

6.) สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปิเปตสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรจำนวน 25.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน

7. สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) สำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน ปิเปตสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรจำนวน 0.00, 2.00, 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายไฮดรอกไซด์อะมีนไฮโดรคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 10.0 (w/v) จำนวน 1.00 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

3.3.1.2 การเตรียมสารละลายโซล-เจลเจือด้วยอโทธิพี้แวนโทรีน

ปิเปตเตตระเอทิลอโทธิพี้เกต 2.0 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์พลาสติกขนาด 10 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.10 โมลาร์ 1.0 มิลลิลิตร ซึ่งอโทธิพี้แวนโทรีน 0.0100 กรัม ละลายด้วยตัวทำละลายเอทานอลปราศจากน้ำ 2.0 มิลลิลิตร จากนั้นหยดไตรตันเอ็กซ์ 100® ลงในบีกเกอร์เต็ม 7 หยด แล้วปั่นกวนสารละลายจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน (homogenous) ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง จะได้สารละลายโซล-เจลเจือด้วยอโทธิพี้แวนโทรีน เข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v)

3.3.1.3 ชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

หยดสารละลายโซล-เจลเจือด้วยอโทพีแนนโทรลินเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v) ที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.1.2 จำนวน 10.00 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองเบอร์ 2 จากนั้นทิ้งเอาไว้ให้แห้งประมาณ 30 นาที

ทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนบนกระดาษ โดยหยดสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก(II) ที่ความเข้มข้น 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณที่หยดสารละลายโซล-เจลเอาไว้ ทิ้งเอาไว้ประมาณ 30 นาที บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

3.3.1.4 ระบบโซล-เจลเจือด้วยอโทพีแนนโทรลิน

การเตรียมชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดในระบบโซล-เจลเจือด้วยอโทพีแนนโทรลินเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v) เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.3 จากนั้น เมื่อสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำมาหยดลงบนกระดาษกรองเบอร์ 2 ปริมาตรจุดละ 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งเอาไว้ให้แห้งประมาณ 30 นาที จะได้ใช้ชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดระบบโซล-เจลเจือด้วยอโทพีแนนโทรลิน

ทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนบนชุดทดสอบแบบจุดโดยหยดสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก(II) ที่ความเข้มข้น 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ลงบนบริเวณหยดสารละลายโซล-เจล ทิ้งเอาไว้สักครู่ประมาณ 30 นาที บันทึกภาพด้วยเครื่องสแกนเนอร์ จากนั้น นำภาพที่ได้มาบันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™ นำค่าความเข้มแสงดังกล่าวมาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มไอออนเหล็ก (II) กับความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance; ED) จากสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$ED = \sqrt{(\Delta IR)^2 + (\Delta IG)^2 + (\Delta IB)^2}$$

โดย Δ คือ ผลต่างของแสงที่จุด blank กับค่าความเข้มแสง ณ จุดเกิดปฏิกิริยากับเหล็กที่ความเข้มข้นต่างๆกัน

R คือ ค่าความเข้มสีแดง

G คือ ค่าความเข้มสีเขียว

B คือ ค่าความเข้มสีน้ำเงิน

3.3.2 ศึกษาความเป็นไปได้สำหรับการพัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดให้วิเคราะห์ได้ในปริมาณความเข้มข้นที่ต่ำ

3.3.2.1 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาณ 2.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายไฮดรอกไซด์ของโซเดียมไฮโดรคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 10.0 (w/v) ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

การเตรียมชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดในระบบโซล-เจลเจือด้วยอโทพีแนนโทรลินเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v) เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.4 จากนั้น เมื่อสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในทางใดๆ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาหยดลงบนกระดาษกรองเบอร์ 2 ที่ตัดไว้ขนาด 1.5×4.0 เซนติเมตร ปริมาณจุดละ 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งเอาไว้ให้แห้งประมาณ 30 นาที จะได้ชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดระบบโซล-เจลเจือด้วยออปโทไฟแนนโทรลิน

3.3.2.2 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 0.40 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปีเปตสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาณ 4 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายไฮดรอกไซด์อะมีนไฮโดรคลอไรด์ เข้มข้นร้อยละ 10.0 (w/v) ปริมาณ 1.00 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.40 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

การเตรียมชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดในระบบโซล-เจลเจือด้วยออปโทไฟแนนโทรลินเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v) เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.4 จากนั้น เมื่อสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำมาหยดลงบนกระดาษกรองเบอร์ 2 ที่ตัดไว้ขนาด 1.5×4.0 เซนติเมตร ปริมาณจุดละ 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งเอาไว้ให้แห้งประมาณ 30 นาที จะได้ชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดระบบโซล-เจลเจือด้วยออปโทไฟแนนโทรลิน

3.3.2.3 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 0.60 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปีเปตสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาณ 6 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายไฮดรอกไซด์อะมีนไฮโดรคลอไรด์ เข้มข้นร้อยละ 10.0 (w/v) ปริมาณ 1.00 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.60 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

การเตรียมชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดในระบบโซล-เจลเจือด้วยออปโทไฟแนนโทรลินเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v) เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.4 จากนั้น เมื่อสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำมาหยดลงบนกระดาษกรองเบอร์ 2 ที่ตัดไว้ขนาด 1.5×4.0 เซนติเมตร ปริมาณจุดละ 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งเอาไว้ให้แห้งประมาณ 30 นาที จะได้ชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดระบบโซล-เจลเจือด้วยออปโทไฟแนนโทรลิน

3.3.2.4 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 0.80 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปีเปตสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาณ 8 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายไฮดรอกไซด์อะมีนไฮโดรคลอไรด์ เข้มข้นร้อยละ 10.0 (w/v) ปริมาณ 1.00 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

การเตรียมชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดในระบบโซล-เจลเจือด้วยออปโทไฟแนนโทรลินเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v) เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.4 จากนั้น เมื่อสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำมาหยดลงบนกระดาษกรองเบอร์ 2 ที่ตัดไว้ขนาด 1.5×4.0 เซนติเมตร ปริมาณจุดละ 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งเอาไว้ให้แห้งประมาณ 30 นาที จะได้ชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดระบบโซล-เจลเจือด้วยออปโทไฟแนนโทรลิน

3.3.2.5 สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

เปิดสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายไฮดรอกไซด์ของโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 10.0 (w/v) ปริมาณ 1.00 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

การเตรียมชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดในระบบโซล-เจลเจือด้วยอโเทพีแนทโกลินเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v) เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.4 จากนั้น เมื่อสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว นำมาหยดลงบนกระดาษกรองเบอร์ 2 ที่ตัดไว้ขนาด 1.5×4.0 เซนติเมตร ปริมาณจุดละ 10.00 ไมโครลิตร ทิ้งเอาไว้ให้แห้งประมาณ 30 นาที จะได้ชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดระบบโซล-เจลเจือด้วยอโเทพีแนทโกลิน

3.3.3 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการแช่ชุดทดสอบลงในสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) สำหรับเพิ่มความเข้มของจุดสีบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

ทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนบนกระดาษ โดยนำชุดทดสอบโซล-เจลลงในภาดหลุม แช่ในสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 0, 0.20, 0.40, 0.60, 0.80, 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวน 30 ไมโครลิตร ที่เวลา 15, 30, 60 นาที ตามลำดับ เมื่อครบกำหนดเวลาให้นำชุดทดสอบขึ้นมา ทิ้งไว้ให้แห้ง บันทึกภาพด้วยเครื่องสแกนเนอร์ จากนั้นนำภาพที่ได้มาบันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™ นำค่าความเข้มแสงดังกล่าว มาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มไอออนเหล็ก (II) กับความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance; ED)

3.3.4 ศึกษาความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมในการชะไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

3.3.4.1 การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์

นำสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37 %wt จำนวน 8.2 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรแล้วทำการปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

3.3.4.2 การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.10 โมลาร์

นำสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์ มา 10 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรแล้วทำการปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

3.3.4.2.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างชุดทดสอบด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์

นำชุดทดสอบโซล-เจลที่แช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ใส่ในภาดหลุม จากนั้นนำมาแช่ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.10 โมลาร์ จำนวน 100 ไมโครลิตร ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง นำไปเข้าเครื่องสแกน แล้วหาค่าความเข้มแสงด้วยโปรแกรม Image J™ บันทึกผลการทดลอง

3.3.4.3 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์

นำโซเดียมไฮดรอกไซด์ซั่ง NaOH 0.40 กรัม ละลายกับน้ำปราศจากไอออน ประมาณ 10 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

3.3.4.3.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างชุดทดสอบด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์

นำชุดทดสอบโซล-เจลที่แช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก(II) ใส่ในภาดหลุม จากนั้นนำมาแช่ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ จำนวน 100 ไมโครลิตร ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง นำไปเข้าเครื่องสแกน แล้วหาค่าความเข้มแสงด้วยโปรแกรม Image J™ บันทึกผลการทดลอง

3.3.5 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆที่เหมาะสมในการชะล้างไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบบนกระดาษ

3.3.5.1 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.10, 0.010 , 0.0010, 0.00010 โมลาร์

3.3.5.1.1 การเตรียมชุดทดสอบโซล-เจลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.10 โมลาร์

นำโซเดียมไฮดรอกไซด์ซั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.40 กรัม ละลายกับน้ำปราศจากไอออน ประมาณ 10 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

3.3.5.1.2 การเตรียมชุดทดสอบโซล-เจลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์

นำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.10 โมลาร์ จาก 3.3.5.1.1 ประมาณ 10 มิลลิลิตรลงในขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

3.3.5.1.3 การเตรียมชุดทดสอบโซล-เจลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.0010 โมลาร์

นำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.010 โมลาร์ จาก 3.3.5.1.2 ประมาณ 10 มิลลิลิตรลงในขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

3.3.5.1.4 การเตรียมชุดทดสอบโซล-เจลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.00010 โมลาร์

นำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.0010 โมลาร์ จาก 3.3.5.1.3 ประมาณ 10 มิลลิลิตรลงในขวดปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5.2 การวิเคราะห์ชุดทดสอบโซล-เจลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.10, 0.010, 0.0010, 0.00010 โมลาร์

นำชุดทดสอบโซล-เจลที่แช่ละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) มาใส่ในภาดหลุม 4 ชุด ชุดละ 18 ชิ้น จากนั้นทำการล้างชุดทดสอบแต่ละชุดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.10, 0.010, 0.0010, 0.00010 โมลาร์ จำนวน 30 ไมโครลิตร เป็นเวลา 60 นาที และแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับจำนวน 30 ไมโครลิตร โดยใช้เวลา 20 นาที ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง นำไปเข้าเครื่องสแกน แล้วหาค่าความเข้มแสงด้วยโปรแกรม Image J™ บันทึกผลการทดลอง

3.3.6 ศึกษาช่วงพีเอชที่เหมาะสมและอิตีทีเอในการแช่ในชุดทดสอบโซล-เจลบนกระดาษ

3.3.6.1 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 6 เข้มข้น 0.10 โมลาร์

เตรียมโดยนำกรดอะซิติกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 84.7 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 150 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายโซเดียมอะซิติก 0.1 โมลาร์ จำนวน 15.30 มิลลิลิตร ผสมกันในสภาวะปั่นกววน แล้วใช้พีเอช-มิเตอร์ตรวจวัดค่าพีเอช

3.3.6.2 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 8 เข้มข้น 0.10 โมลาร์

เตรียมโดยนำโซเดียมไฮดรอกไซด์เจเนอราลโพสเฟด เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 95.51 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 150 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จำนวน 4.49 มิลลิลิตร ผสมกันในสภาวะปั่นกววน แล้วใช้พีเอช-มิเตอร์ตรวจวัดค่าพีเอช

3.3.6.3 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 เข้มข้น 0.10 โมลาร์

เตรียมโดยนำโซเดียมไฮดรอกไซด์เจเนอราลโพสเฟดเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 96.64 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 150 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จำนวน 3.36 มิลลิลิตร ผสมกันในสภาวะปั่นกววน แล้วใช้พีเอช-มิเตอร์ตรวจวัดค่าพีเอช

3.3.6.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐาน EDTA 0.10 โมลาร์

ละลาย EDTA di-Sodium salt (Na_2EDTA) 3.723 กรัม ในน้ำกลั่นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตร เก็บสารละลายในขวดแก้ว Borosilicate glass

3.3.7 ศึกษาการออกซิไดซ์ไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบบนกระดาษ

3.3.7.1 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 เข้มข้น 0.10 โมลาร์

3.3.7.1.1 เตรียมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 0.10 โมลาร์

จากสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 99.97 %W/V นำมาปริมาตร 0.60 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

3.3.7.1.2 เตรียมโซเดียมอะซิเตรตเข้มข้น 0.10 โมลาร์

นำโซเดียมอะซิเตรตไตรไฮเดรตจำนวน 1.36 กรัม มาละลายในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร คนจนละลาย จากนั้นนำมาใส่ขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จากนั้นนำกรดอะซิติกเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ปริมาตร 84.7 มิลลิลิตร เทลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นใส่โซเดียมอะซิเตรตเข้มข้น 0.10 โมลาร์ จำนวน 15.3 มิลลิลิตร ลงไปวัดค่าพีเอชโดยพีเอชมิเตอร์

3.3.7.2 การเตรียมสารละลายผสมบัฟเฟอร์พีเอช 4 กับสารละลายอีดีทีเอเข้มข้น 0.10 โมลาร์

นำสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 เข้มข้น 0.10 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตรแล้วจากนั้นนำสารละลายอีดีทีเอเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตรใบเดียวกัน แล้วเขย่าให้เข้ากัน

3.3.7.2.1 การวิเคราะห์ชุดทดสอบโซล-เจดด้วยสารละลายผสมบัฟเฟอร์พีเอช 4 กับสารละลายอีดีทีเอเข้มข้น 0.10 โมลาร์

นำชุดทดสอบมาใส่ในภาดหลุมจำนวน 18 อัน จากนั้นนำสารละลายผสมบัฟเฟอร์พีเอช 4 กับสารละลายอีดีทีเอเข้มข้น 0.10 โมลาร์ จำนวน 30 ไมโครลิตร ทำการชะล้างและแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) 30 μ ทั้งหมด 3 ซ้ำ จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง แล้วนำไปเข้าเครื่องสแกนหาค่าความเข้มแสงต่อไป บันทึกผล

3.3.7.3 การเตรียมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.10 โมลาร์

นำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% m/m มาจำนวน 1.0 มิลลิลิตร นำมาใส่ขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำปราศจากไอออนที่เย็น ควรเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิต่ำ

3.3.7.3.1 การวิเคราะห์ชุดทดสอบโซล-เจดด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.10 โมลาร์

นำชุดทดสอบมาใส่ในภาดหลุมจำนวน 18 อัน จากนั้น นำสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.10 โมลาร์ จำนวน 30 ไมโครลิตร ทำการชะล้างและแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) 30 μ ทั้งหมด 3 ซ้ำ จากนั้น ทิ้งไว้ให้แห้งแล้วนำไปเข้าเครื่องสแกนหาค่าความเข้มแสงต่อไป บันทึกผล

3.3.7.4 การเตรียมสารละลายผสมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อีดีทีเอและสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 0.10 โมลาร์

นำสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.10 โมลาร์จำนวน 50 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดปรับปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วนำสารละลายมาตรฐาน EDTA 0.10 โมลาร์ ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร จะได้เป็นสารละลายผสมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อีดีทีเอและสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 0.10 โมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.7.4.1 การวิเคราะห์ชุดทดสอบโซล-เจลด้วยสารละลายผสมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อีตีทีเอและสารละลายบัพเฟอร์พีเอช 4 0.10 โมลาร์

นำชุดทดสอบมาใส่ในภาดหลุมจำนวน 18 อัน จากนั้นนำสารละลายผสมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อีตีทีเอ และสารละลายบัพเฟอร์พีเอช 0.10 โมลาร์ จำนวน 30 ไมโครลิตร ทำการชะล้างและแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ทั้งหมด 3 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งแล้วนำไปเข้าเครื่องสแกนหาค่าความเข้มแสงต่อไป บันทึกผล

3.3.8 ศึกษาปริมาตรที่เหมาะสมในการแช่ชุดทดสอบที่มีไอออนเหล็ก (II) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์

นำชุดทดสอบโซล-เจลที่แช่ละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) มาใส่ในภาดหลุม 4 ชุด ชุดละ 18 ชิ้น จากนั้นทำการล้างชุดทดสอบแต่ละชุดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ จำนวน 30,100,200,300 ไมโครลิตร ใช้เวลาในการแช่ 1 ชั่วโมง และแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ ใช้เวลา 20 นาที จำนวน 30 ไมโครลิตร ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง นำไปเข้าเครื่องสแกน แล้วหาค่าความเข้มแสงด้วยโปรแกรม Image J™ บันทึกผลการทดลอง

3.3.9 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการแช่ชุดทดสอบที่มีไอออนเหล็ก (II) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ สำหรับการชะไอออนเหล็ก (II) ออกจากจุดบนชุดทดสอบบนกระดาษ

นำชุดทดสอบโซล-เจลที่แช่ละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) มาใส่ในภาดหลุม 4 ชุด ชุดละ 18 ชิ้น จากนั้นทำการล้างชุดทดสอบแต่ละชุดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 โมลาร์ จำนวน 30 ไมโครลิตร ที่เวลา 20,40,60 นาทีและแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ จำนวน 30 ไมโครลิตร ใช้เวลา 20 นาที ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง นำไปเข้าเครื่องสแกน แล้วหาค่าความเข้มแสงด้วยโปรแกรม Image J™ บันทึกผลการทดลอง

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ศึกษาลักษณะและรูปร่างชุดทดสอบบนกระดาษ

ทำการศึกษาลักษณะชิ้นงานกระดาษกรอง โดยนำกระดาษกรองเบอร์ 2 มาหยดด้วยสารละลายโซล-เจลเจือด้วยออปโทไฟแนนโทเรลีน ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร จากนั้นทิ้งกระดาษกรองที่หยดด้วยสารละลายโซล-เจลเอาไว้ให้แห้งประมาณ 30 นาที พบว่าบริเวณพื้นผิวของกระดาษกรองที่หยดด้วยสารละลายโซล-เจลนั้น สามารถดูดซับสารละลายโซล-เจลเอาไว้ได้ทั้งหมด โดยมีการแพร่และดูดซับบนกระดาษกรองเป็นวงกลมในทุกทิศทางอย่างสมมาตร บริเวณที่สารละลายโซล-เจลสามารถเคลื่อนที่แพร่ผ่านไปมีลักษณะเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10.0 มิลลิเมตรและสามารถมองเห็นขอบเขตของหยดสารละลายโซล-เจลที่แพร่ผ่านไปได้



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงสีชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

เมื่อนำกระดาษทดสอบที่เตรียมจุดรีเอเจนต์ไว้แล้ว หยดด้วยสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน ปริมาตร 10.00 ไมโครลิตร ทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนบนกระดาษของไอออนเหล็ก (II) กับออปโทไฟแนนโทเรลีน บันทึกการเปลี่ยนแปลงสีของชุดทดสอบบนกระดาษด้วยเครื่องสแกนเนอร์แล้ว พบว่าชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดเกิดสารเชิงซ้อนสีแดงส้มของไอออนเหล็ก (II) กับออปโทไฟแนนโทเรลีนบนกระดาษ โดยจะมีการแพร่ของสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เป็นวงกลมในทุกทิศทางอย่างสมมาตรเช่นเดียวกันแต่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) นั้น จะไม่

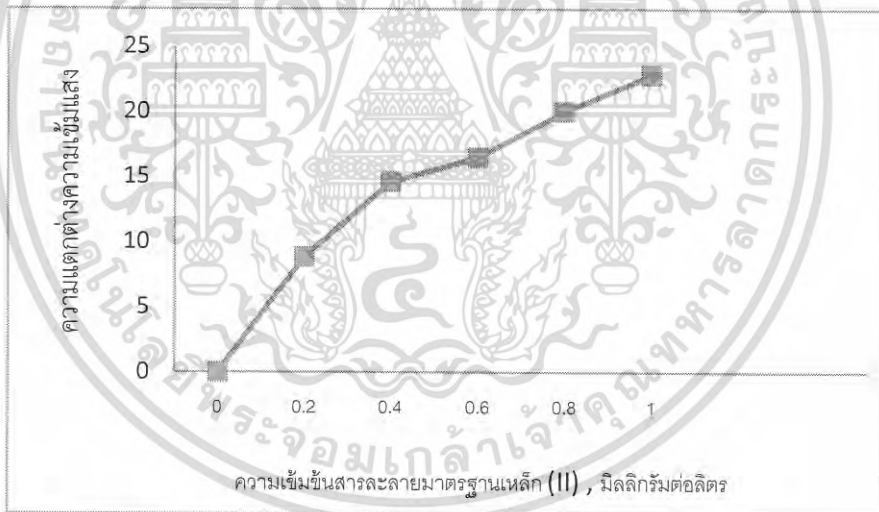
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเชิงพาณิชย์หรือการอื่นใดในนามของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้นไปตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงสีบนกระดาษทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.1

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดนั้นสามารถควบคุมการแพร่สารละลายโซล-เจลได้ดี เนื่องจากชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดสามารถสามารถควบคุมปริมาณสารละลายโซล-เจลที่หยดลงบนกระดาษจึงสามารถจำกัดขอบเขตของการแพร่ของโซล-เจลได้

4.1.1 ระบบโซล-เจลเจือด้วยออปโทไฟแนนโทรลีน

ทดสอบโดยการเตรียมสารละลายโซล-เจลเจือด้วยออปโทไฟแนนโทรลีน ตามหัวข้อ 3.3.1.3 ซึ่งจะได้สารละลายโซล-เจลเจือออปโทไฟแนนโทรลีนเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v) จากนั้นนำมาทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนบนกระดาษ โดยทำการหยดรีเอเจนต์ แล้วรอจนกระดาษกรองแห้งเป็นเวลา 30 นาที แล้วหยดสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างๆกันจากนั้นบันทึกภาพการเปลี่ยนแปลงสีของสารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องสแกนเนอร์ แล้วนำภาพดังกล่าวมาบันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วยโปรแกรม Image J™ ซึ่งแสดงวิธีการตรวจวัดค่าความเข้มแสงไว้ในภาคผนวก ก. จากนั้นนำมาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กับความแตกต่างความเข้มแสงจากสมการเชิงเส้นแบบยูคลิด (Euclidean distance) จะได้สมการเชิงเส้นตรงคือ $y = 4.2705x + 1.1555$ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.9315 กราฟแสดงความสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กับความแตกต่างความเข้มแสง (ภาคผนวก ก.)

สำหรับชุดทดสอบบนกระดาษระบบโซล-เจลเจือด้วยออปโทไฟแนนโทรลีน จุดทดสอบจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10.0 มิลลิเมตรและสามารถมองเห็นขอบเขตของโซล-เจลที่หยดเอาไว้ เมื่อแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เมื่อทดสอบการเกิดสารเชิงซ้อนจะพบว่าสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) สามารถกักเก็บไว้ในขอบเขตของจุดทดสอบในระบบโซล-เจลได้

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นนั้น เป็นการรายงานผลค่าความเข้มแสงของจุดสีบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดในทอมของความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) ทางคณิตศาสตร์นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รู้จักกันในชื่อ “สมการเชิงเส้นแบบยูคลิด” ซึ่งแสดงดังสมการ

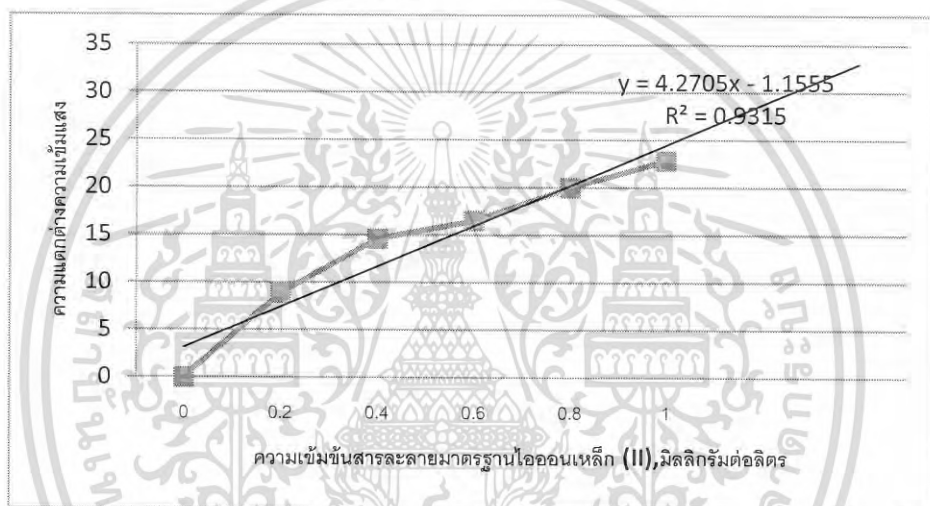
$$ED = \sqrt{(\Delta IR)^2 + (\Delta IG)^2 + (\Delta IB)^2}$$

โดยที่ Δ คือ ผลต่างของแสงที่จุด blank กับค่าความเข้มแสง ณ จุดเกิดปฏิกิริยากับเหล็กที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

R คือค่าความเข้มแสงสีแดง

G คือค่าความเข้มแสงสีเขียว

B คือค่าความเข้มแสงสีน้ำเงิน



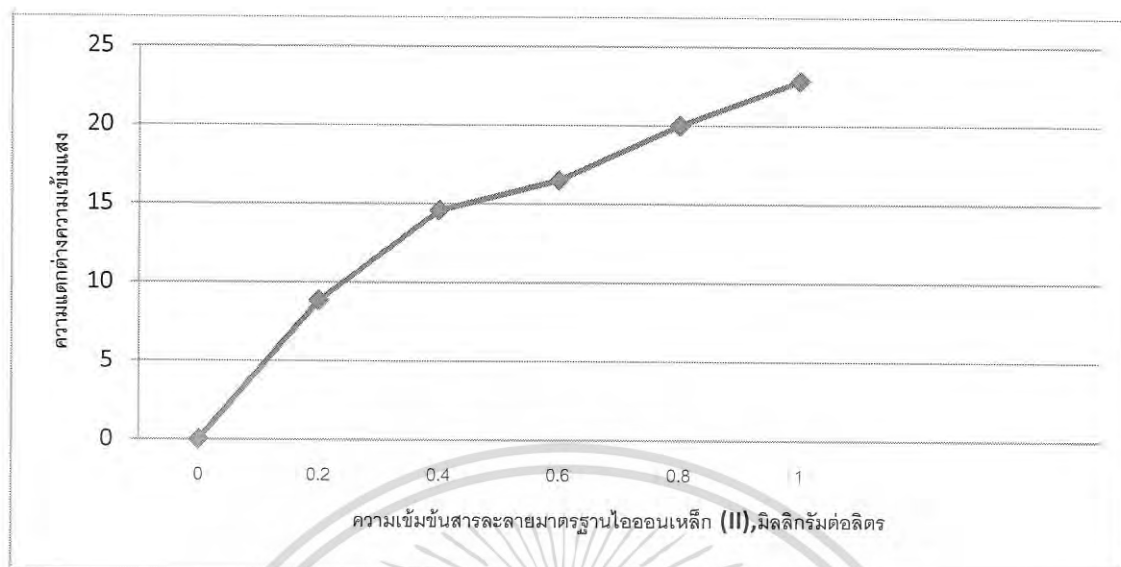
รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กับความแตกต่างความเข้มแสงของการรายงานค่าความเข้มแสง (ภาคผนวก ก.)

จากรูปที่ 4.3 จากกราฟความสัมพันธ์จะได้สมการเชิงเส้นตรงคือ $y = 4.2705x - 1.1555$ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.9315 ซึ่งจากรูปจะพบว่าเป็นการรายงานผลจากความแตกต่างความเข้มแสง ซึ่งจากกราฟพบว่าความเป็นเส้นตรงของกราฟสามารถนำมาใช้อธิบายผลการทดลองได้

4.2 ศึกษาความเป็นไปได้สำหรับการพัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดให้วิเคราะห์ได้ในปริมาณความเข้มข้นที่ต่ำลง

ความเป็นไปได้สำหรับการพัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดให้วิเคราะห์ได้ในปริมาณความเข้มข้นที่ต่ำลง ศึกษาโดยใช้สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรมาเตรียมความเข้มข้นในช่วง 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเปลี่ยนจากการหยดสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) มาทำการแช่ในสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ปริมาตร 30 ไมโครลิตร เป็นเวลา 60 นาที โดยดำเนินการทดลองและบันทึกผลการทดลองตามข้อ 3.2.5.1 และ 3.2.5.2 ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

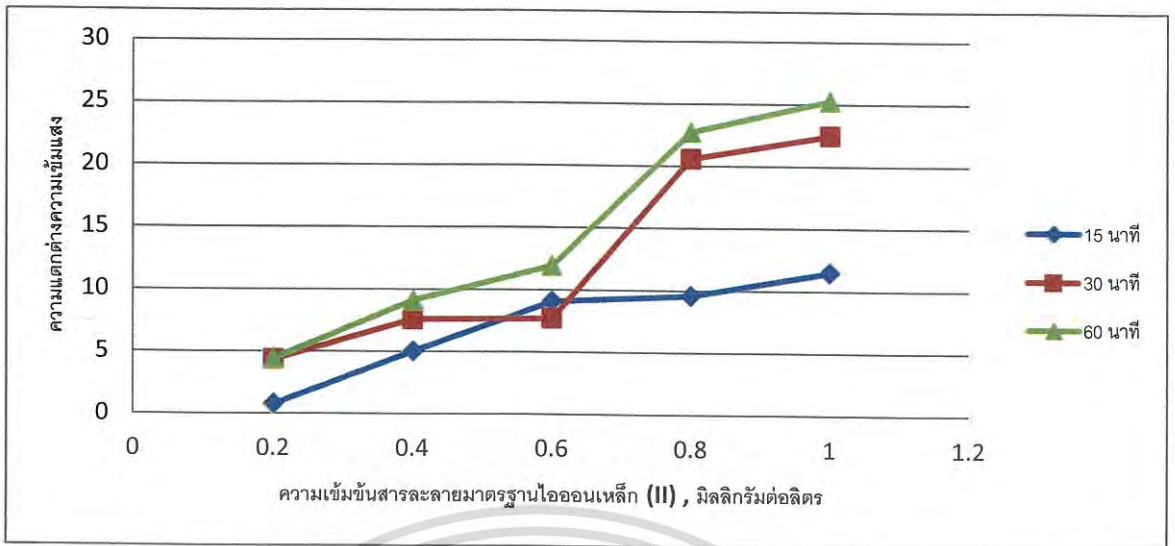


รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานไฮดรอกไซด์ (II) กับความแตกต่างความเข้มแสงของสารละลายมาตรฐานไฮดรอกไซด์ (II) เข้มข้น 0.2 - 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

เมื่อนำภาพของจุดสีบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดที่ได้จากเครื่องสแกนมาตรวจวัดค่าความเข้มแสงด้วยโปรแกรม Image J™ แล้วคำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสง (ภาคผนวก ค.) จากนั้นพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ (II) กับความแตกต่างความเข้มแสงดังรูปที่ 4.5 ซึ่งเป็นสารละลายมาตรฐานเหล็กในช่วงความเข้มข้น 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 จะได้สมการเชิงเส้นตรงคือ $y = 4.2705x + 1.1555$ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดเส้นใจเท่ากับ 0.9315 จากข้อมูลที่กล่าวมาทั้งหมดจึงสรุปได้ว่า สามารถใช้การแช่ชุดทดสอบลงในสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อเพิ่มความสามารถในการตรวจวัดปริมาณไฮดรอกไซด์ได้ในปริมาณความเข้มข้นที่ต่ำลงค่าความเข้มแสงมากที่สุด

4.3 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการแช่ชุดทดสอบ

ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการแช่ชุดทดสอบลงในสารละลายมาตรฐานไฮดรอกไซด์ (II) สำหรับเพิ่มความเข้มของจุดสีบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด โดยดำเนินการทดลองและบันทึกผลการทดลองตามข้อ 3.3.3 ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานไฮดรอกไซด์ (II) กับความแตกต่างความเข้มแสงเปรียบเทียบการแช่ชุดทดสอบลงในสารละลายมาตรฐานไฮดรอกไซด์ (II) สำหรับเพิ่มความเข้มของจุดสีบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด ณ เวลาต่างๆ

เมื่อนำภาพของจุดสีบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดที่ได้จากเครื่องสแกนเนอร์มาตรวจวัดค่าความเข้มแสงด้วยโปรแกรม Image J™ แล้วคำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสง (ภาคผนวก ข.) จากนั้นพลอต กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ (II) กับความแตกต่างความเข้มแสงดังรูปที่ 4.5 และตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงความเป็นเส้นตรงของกราฟความสัมพันธ์การตัดสีใจและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของการแช่ชุดทดสอบในสารละลายมาตรฐานไฮดรอกไซด์ (II) ที่เวลาต่างๆกัน (ภาคผนวก ข.)

เวลาในการแช่	5 นาที	15 นาที	20 นาที	30 นาที	60 นาที
NaOH 0.1 M	หลุดออกเล็กน้อย	หลุดออกปานกลาง	เกือบหมด	เกือบหมด	เกือบหมด
HCl 0.1 M	หลุดออกเล็กน้อย	หลุดออกเล็กน้อย	หลุดออกเล็กน้อย	หลุดออกเล็กน้อย	หลุดออกเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาที่ใช้ในการแช่ชุดทดสอบ	ความเป็นเส้นตรงของกราฟ	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ
15 นาที	$y = 12.975x - 0.6105$	0.9135
30 นาที	$y = 24.615x - 2.2263$	0.8720
60 นาที	$y = 27.618x - 1.8865$	0.9544

ซึ่งจากรูป ที่ 4.5 จะพบว่าการแช่ชุดทดสอบลงในสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) สำหรับเพิ่มความเข้มข้นของจุดสีบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด ที่เวลา 15 – 60 นาที ค่าความเข้มแสงมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น และสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ความเข้มข้น 0.2 – 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลา 15 – 30 นาที จะมีค่าความแตกต่างของความเข้มแสงที่ใกล้เคียงกัน ส่วนที่เวลา 60 นาที นั้นค่าความเข้มแสงมีค่าความเป็นเส้นตรงมากที่สุด จากข้อมูลทีกล่าวมาจึง สรุปได้ว่าการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการแช่ชุดทดสอบลงในสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) สำหรับเพิ่มความเข้มข้นของจุดสีบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดที่เวลา 60 นาทีนั้นมีความเป็นเส้นตรงของกราฟมากที่สุด จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้มากที่สุด

4.4 ศึกษาความเป็นกรด-เบสและช่วงเวลาที่เหมาะสมในการชะไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด

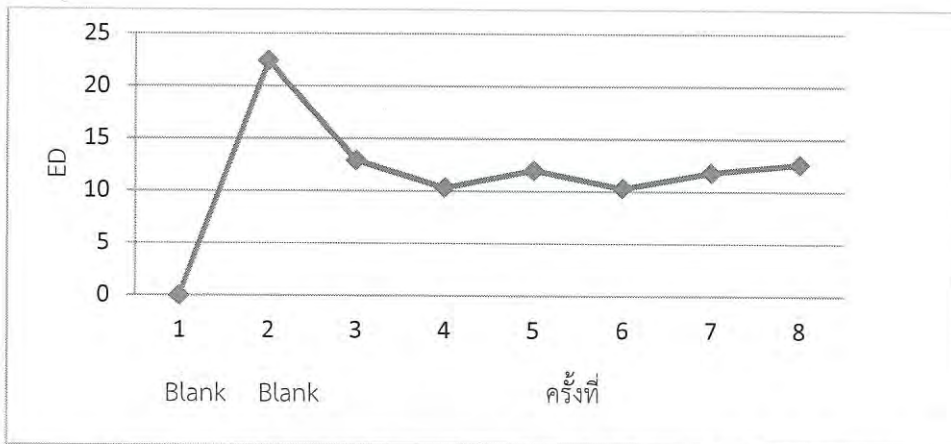
จากการศึกษาความเป็นกรด-เบสและช่วงเวลาที่เหมาะสมในการชะไอออนเหล็ก(II)ออกจากชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.10 โมลาร์ ที่เวลา 5, 10, 15, 30 และ 60 นาที ได้ผลดังนี้

จากผลการทดลองพบว่า สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.10 โมลาร์ที่ทุกๆช่วงเวลานั้น ส่งผลต่อการชะไอออนของเหล็กเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเทียบกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นเดียวกันที่ตั้งแต่เวลา 20 นาทีเป็นต้นไป จากการทดลองนี้จึงสรุปได้ว่า สารละลายเบสส่งผลต่อการชะไอออนของเหล็กได้ดีกว่ากรดและได้ช่วงเวลาที่เหมาะสมต่อการชะล้างอยู่ที่ 20 นาที

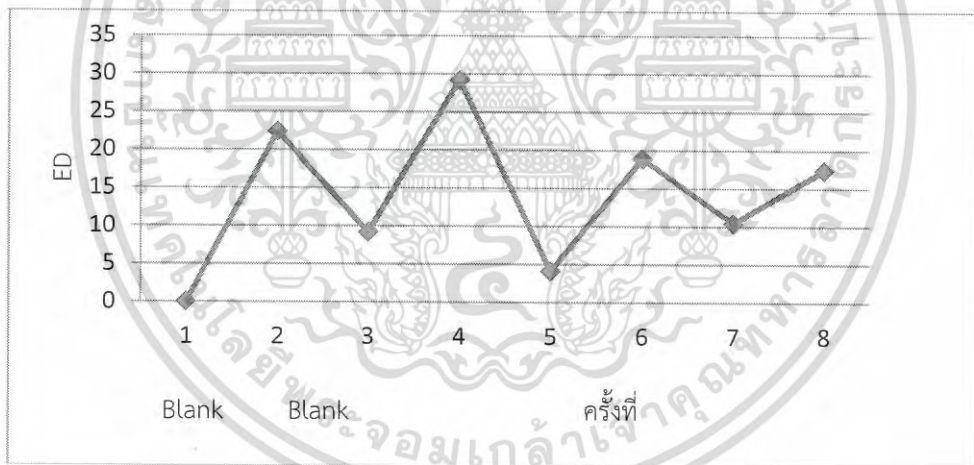
4.5 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆที่เหมาะสมในการชะล้างไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบบนกระดาษ

ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยใช้ชุดทดสอบโซล-เจลที่แช่สารละลายมาตรฐานเหล็กเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วนำชุดทดสอบที่ได้มาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.10, 0.010, 0.0010, 0.00010 โมลาร์ ตามลำดับ และบันทึกผลการทดลองตาม 3.3.5.1 3.3.5.1.4 ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูป 4.6, 4.7, 4.8 และ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานของบุคลากรในหน่วยงานราชการเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุมัติฯ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

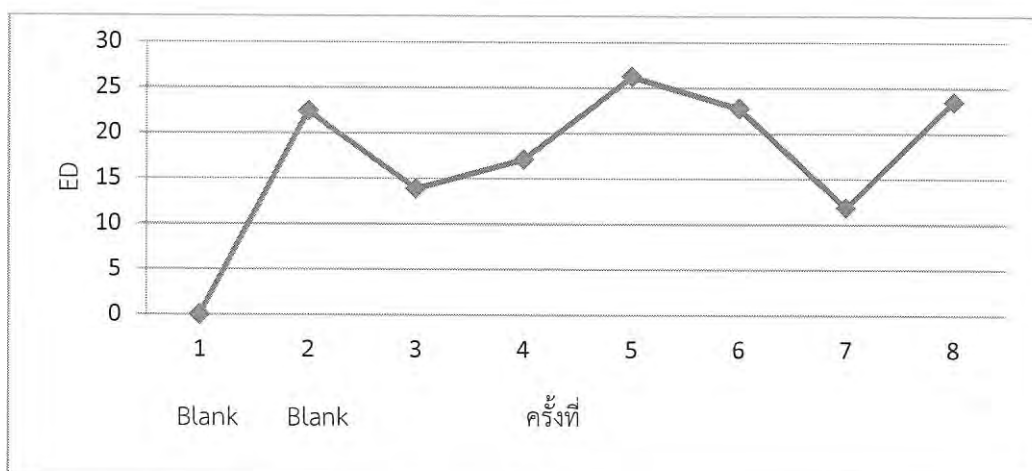


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.10 โมลาร์ (จุด 3,5,7) และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ (จุด 4,6,8) กับความแตกต่างความเข้มแสง

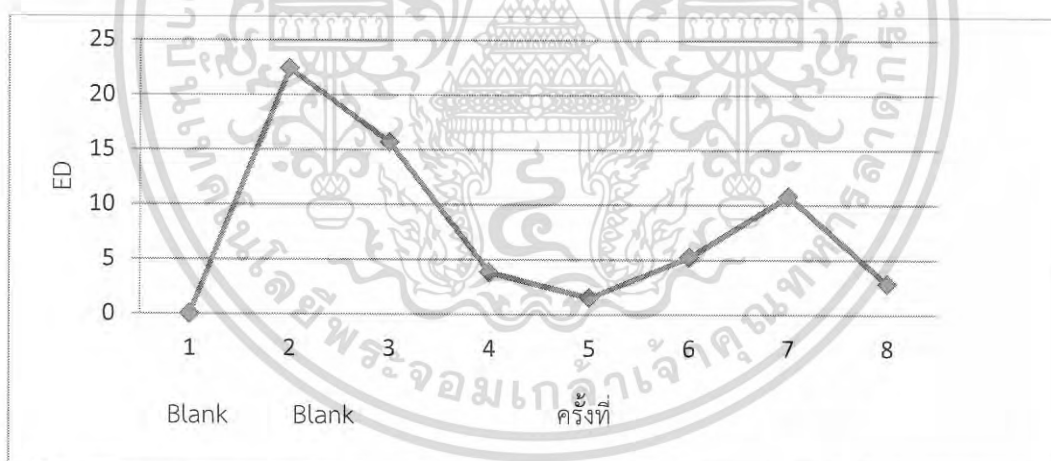


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ (จุด 3,5,7) และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ (จุด 4,6,8) กับความแตกต่างความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.0010 โมลาร์ (จุด 3,5,7) และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ (จุด 4,6,8) กับความแตกต่างความเข้มแสง



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.00010 โมลาร์ (จุด 3,5,7) และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ (จุด 4,6,8) กับความแตกต่างความเข้มแสง

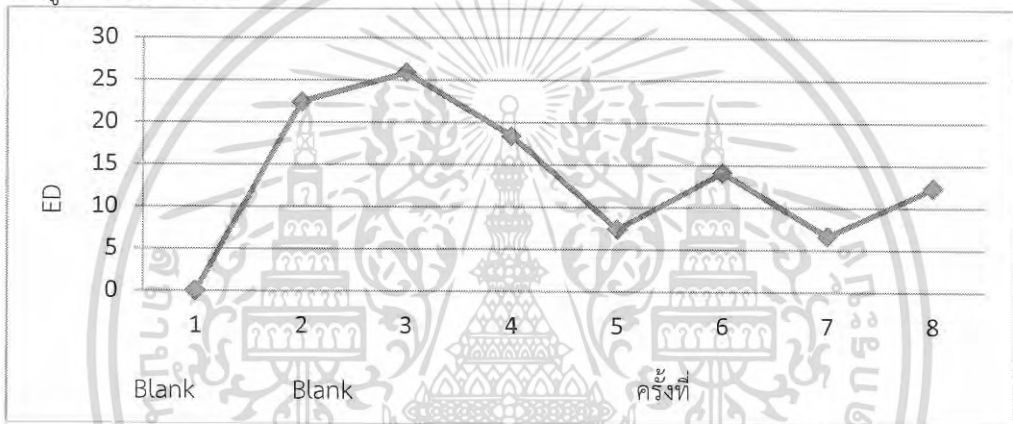
เมื่อนำภาพของจุดสีบนชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดที่ได้จากเครื่องสแกนมาตรฐานวัดค่าความเข้มแสงด้วยโปรแกรม Image J™ แล้วคำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสง (ภาคผนวก ค.) จากนั้นพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.10, 0.010, 0.0010, 0.00010 โมลาร์ และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ กับความแตกต่างความเข้มแสง พบว่าเมื่อนำมาชะล้างไอออนเหล็ก(II)ออกจากชุดทดสอบด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.10, 0.0010, 0.00010 โมลาร์ การชะไอออนเหล็กออกและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

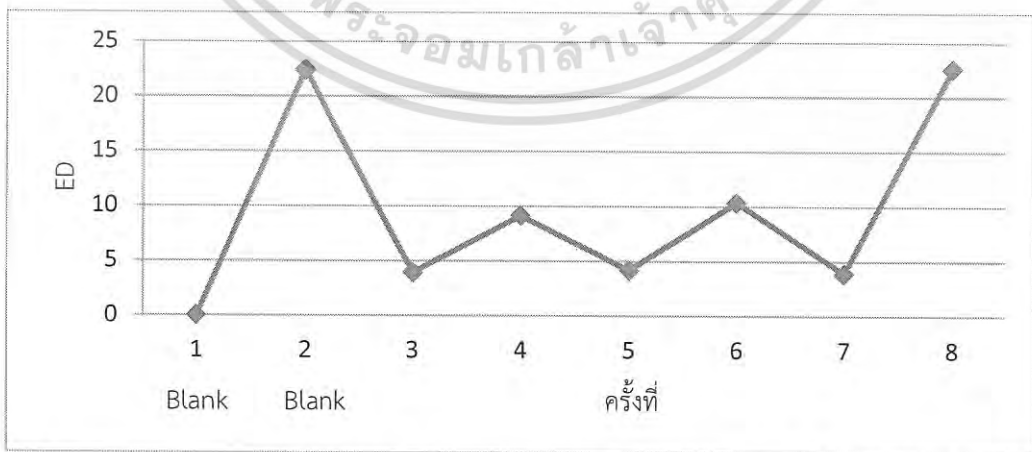
การแช่เหล็กกลับมีประสิทธิภาพไม่ดี ชะล้างเหล็กออกได้ไม่สมบูรณ์ในบางช่วง และแช่สารละลายมาตรฐานเหล็กกลับชุดทดสอบที่ชะล้างไปอาจเกิดปฏิกิริยากับเหล็กได้ไม่ดี จากข้อมูลดังกล่าวจึงสรุปได้ว่าสามารถใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.01 โมลาร์ ในการชะล้างไอออนเหล็กออกจากชุดทดสอบได้ดีที่สุดและการแช่สารละลายมาตรฐานเหล็กกลับมีแนวโน้มแช่ติดชุดทดสอบได้ดีที่สุด

4.6 ศึกษาช่วงพีเอชที่เหมาะสมและอิตีทีเอสำหรับการแช่ในชุดทดสอบโซล-เจลบนกระดาษกรอง

จากการศึกษาทดสอบอิตีทีเอและช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการชะไอออนเหล็กบนชุดทดสอบโซล-เจลโดยทำการทดลองล้างด้วยสารละลายอิตีทีเอเข้มข้น 0.10 โมลาร์, สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 6, สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 8, สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 10 เพื่อดูช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการแช่ชุดทดสอบโซล-เจล โดยดำเนินการทดลองและบันทึกผลการทดลองตามข้อ 3.3.6 ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูป 4.10 - 4.13

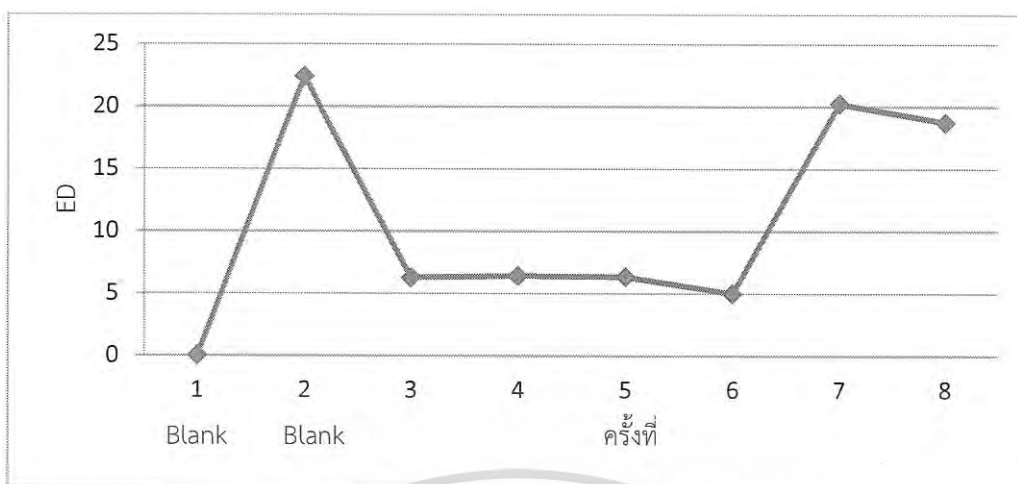


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายอิตีทีเอเข้มข้น 0.10 โมลาร์ (จุด 3,5,7) และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ (จุด 4,6,8) กับความแตกต่างความเข้มข้น

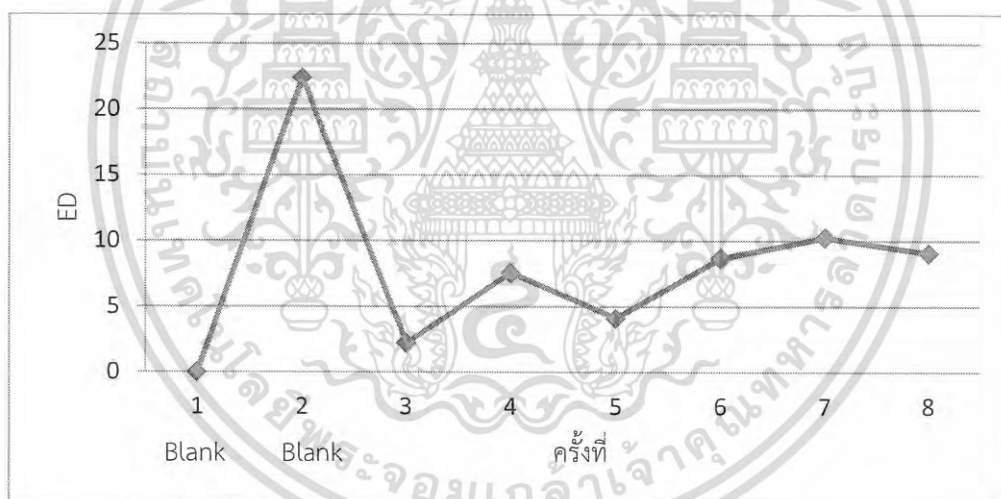


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 6 เข้มข้น 0.10 โมลาร์ (จุด 3,5,7) และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ (จุด 4,6,8) กับความแตกต่างความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายบัพเฟอร์พีเอช 8 เข้มข้น 0.10 โมลาร์ (จุด 3,5,7) และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ (จุด 4,6,8) กับความแตกต่างความเข้มแสง

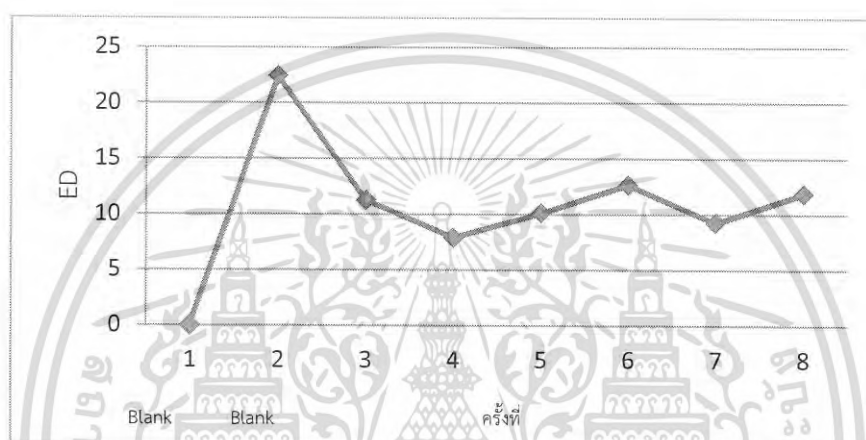


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายบัพเฟอร์พีเอช 10 เข้มข้น 0.10 โมลาร์ (จุด 3,5,7) และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ (จุด 4,6,8) กับความแตกต่างความเข้มแสง

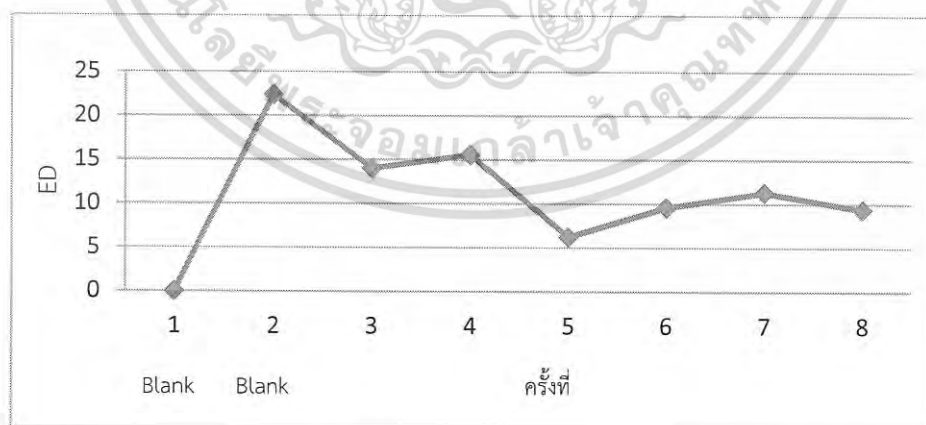
จากการทดลองพบว่าแต่ละปัจจัยมีแนวโน้มคล้ายๆกันแต่ปัจจัยที่ให้ผลค่อนข้างดีที่สุดคือ ผลจากการล้างไอออนเหล็ก (II) ด้วยสารละลายบัพเฟอร์พีเอช 6 จึงพอสรุปได้ว่า พีเอชที่เหมาะสมต่อการล้างไอออนของเหล็ก (II) บนชุดทดสอบโซ-เจลคือสารละลายบัพเฟอร์พีเอช 6

4.7 ศึกษาการออกซิไดซ์และการตั้งไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบ

ศึกษาการออกซิไดซ์และการตั้งไอออนเหล็ก (II) สำหรับทดสอบการตั้งไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบโซล-เจล โดยนำสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารละลายผสมอีดีทีเอกับสารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 4 และสารละลายผสมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับสารละลายอีดีทีเอและสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 จำนวน 30 ไมโครลิตร มาแช่ในชุดทดสอบและทำการแช่สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) 1 มิลลิกรัมต่อลิตร 30 ไมโครลิตร เป็นเวลา 20 นาที โดยดำเนินการทดลองและบันทึกผลการทดลองตามข้อ 3.3.7.1 , 3.3.7.2 ,3.3.7.3 และ 3.3.7.4 ผลการทดลองที่ได้ดังรูป 4.14 , 4.15 และ 4.16

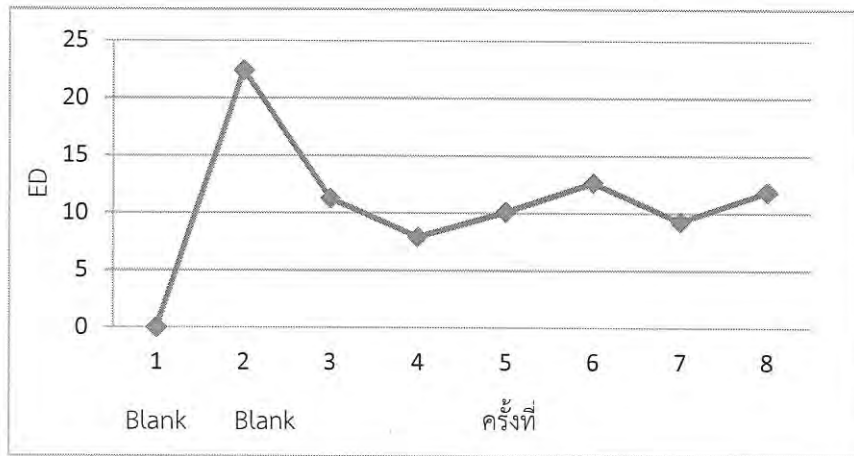


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.10 โมลาร์ (จุด 3,5,7) และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ (จุด 4,6,8) กับความแตกต่างความเข้มแสง



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายผสมอีดีทีเอและสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 เข้มข้น 0.10 โมลาร์ (จุด 3,5,7) และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ (จุด 4,6,8) กับความแตกต่างความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

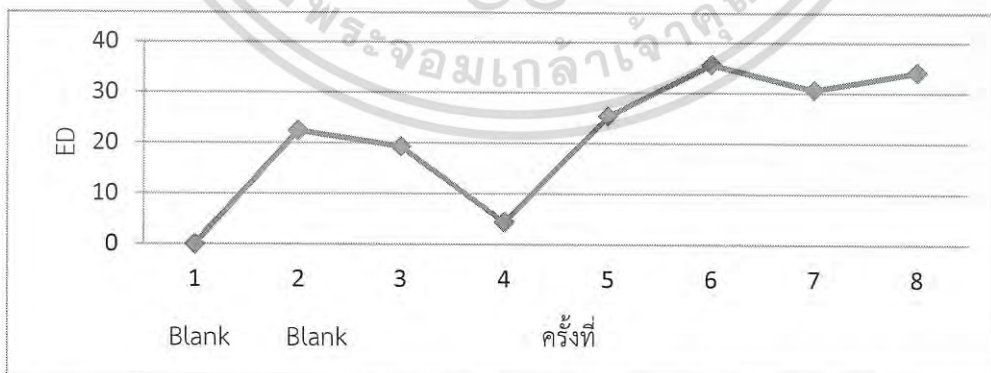


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายผสมอีดีทีเอ สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสารละลายบัพเฟอร์พีเอช 4 เข้มข้น 0.10 โมลาร์ (จุด 3,5,7) และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ (จุด 4,6,8) กับความแตกต่างความเข้มแสง

จากรูป 4.14, 4.15 และ 4.16 ผลการทดลองที่ได้ อาจจะเป็นไปได้ว่าชุดทดสอบโซล-เจล ถูกออกซิไดซ์จนเสียหาย จึงไม่สามารถนำมาใช้ทดสอบในการทดลองได้อีก

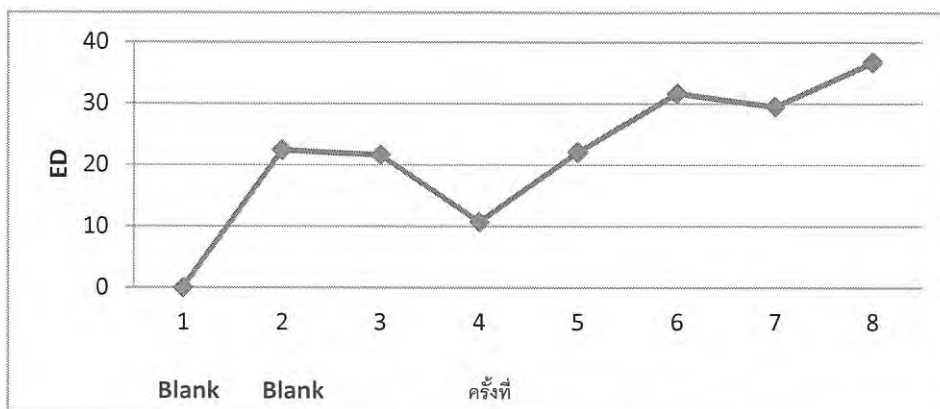
4.8 ศึกษาปริมาตรที่เหมาะสมในการแช่ชุดทดสอบที่มีไอออนเหล็ก (II) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์

จากการศึกษาปริมาตรที่เหมาะสมในการแช่ชุดทดสอบด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ ที่ปริมาตร 30, 100, 200, 300 ไมโครลิตร ทำการทดลองทั้งหมด 3 ชั่วโมง ครั้งละ 20 นาที แล้วนำไปวัดค่าความเข้มแสง ตามข้อ 3.3.8 ได้ผลการทดลองดังรูป 4.17 ,4.18 ,4.19 และ 4.20

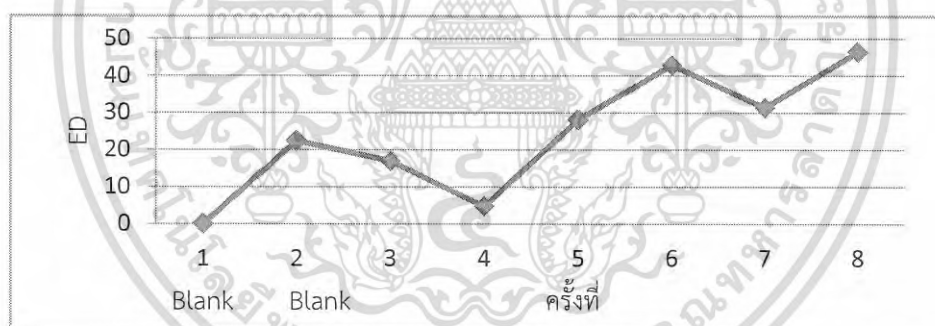


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ จำนวน 30 ไมโครลิตร (จุด 3,5,7) และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ (จุด 4,6,8) กับความแตกต่างความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

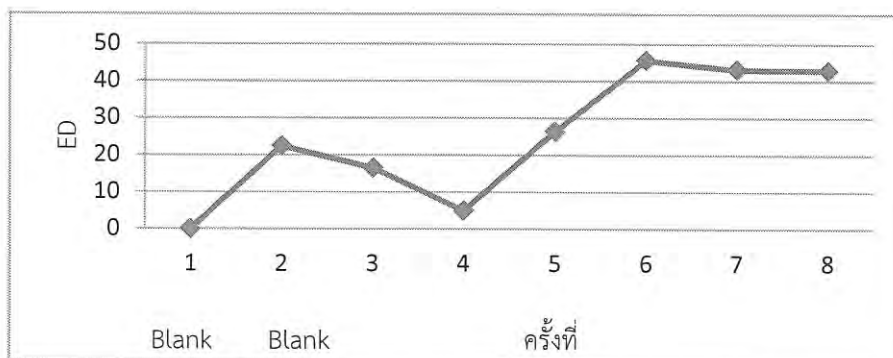


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กรีดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ จำนวน 100 ไมโครลิตร จุด (3,5,7) และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ (จุด 4,6,8) กับความแตกต่างความเข้มแสง



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กรีดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ จำนวน 200 ไมโครลิตร (จุด 3,5,7) และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ (จุด 4,6,8) กับความแตกต่างความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

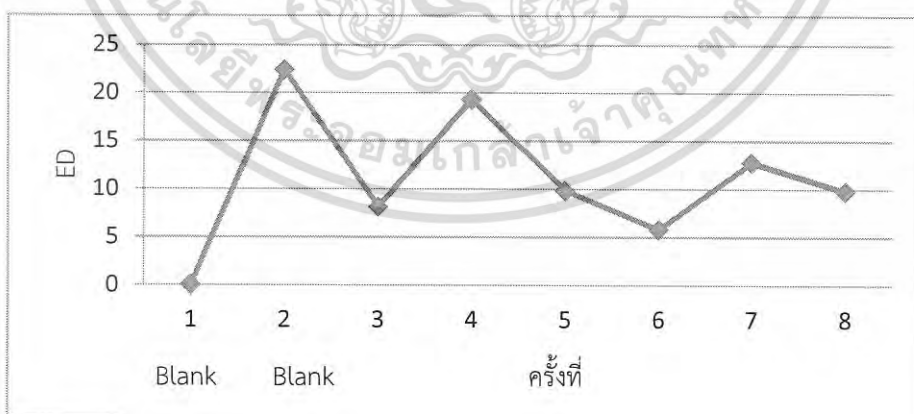


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ จำนวน 300 ไมโครลิตร (จุด 3,5,7) และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ (จุด 4,6,8) กับความแตกต่างความเข้มแสง

จากการผลการทดลองจะเห็นว่ากราฟค่าความเข้มแสงที่คำนวณได้ทุกปริมาตร มีแนวโน้มไปทางเดียวกันจึงสรุปได้ว่า ปริมาตรของโซเดียมไฮดรอกไซด์ไม่มีผลต่อการล้างเหล็กบนชุดทดสอบโซล-เจล

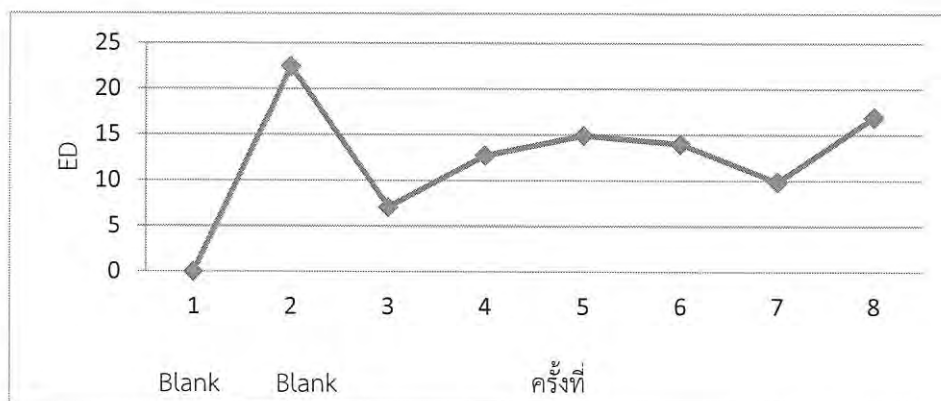
4.9 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการแช่ชุดทดสอบที่มีไอออนเหล็ก (II) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์สำหรับการชะไอออนเหล็ก (II) ออกจากจุดบนชุดทดสอบบนกระดาษ

ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการแช่ชุดทดสอบด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในชุดทดสอบโซล-เจล สำหรับหาเวลาที่เหมาะสมในการชะล้างไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบ โดยดำเนินการทดลองและบันทึกผลการทดลองตามข้อ 3.3.9 ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.21 ,4.22 และ 4.23

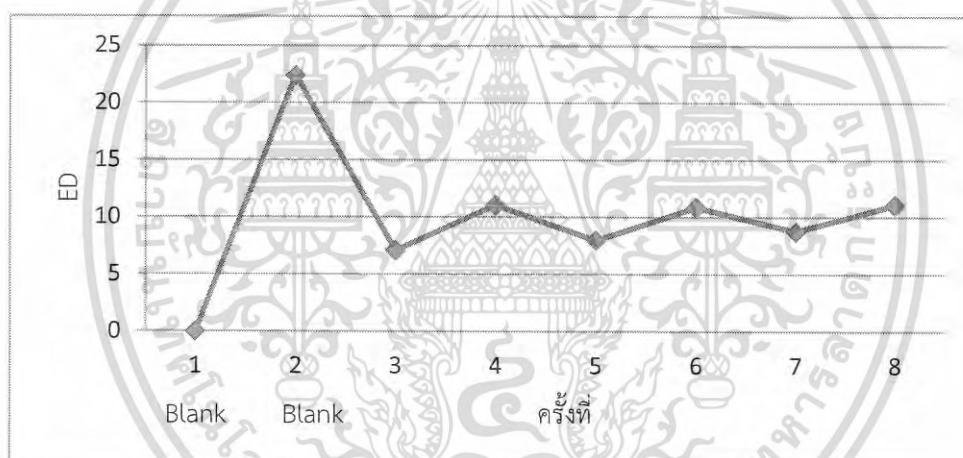


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ เป็นเวลา 20 นาที (จุด 3,5,7) และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ (จุด 4,6,8) กับความแตกต่างความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.010 โมลาร์ เป็นเวลา 40 นาที (จุด 3,5,7) และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ (จุด 4,6,8) กับ ความแตกต่างความเข้มแสง



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงผลการล้างเหล็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.010 โมลาร์ เป็นเวลา 60 นาที (จุด 3,5,7) และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ (จุด 4,6,8) กับ ความแตกต่างความเข้มแสง

เมื่อนำภาพของชุดทดสอบที่ได้จากเครื่องสแกนมาตรวัดค่าความเข้มแสงด้วยโปรแกรม Image J™ แล้วคำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสง (ภาคนวค ซ.) จากนั้นพลอตกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.010 โมลาร์ เวลา 20,40,60 นาที (จุด 3,5,7) และการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ (จุด 4,6,8) กับความแตกต่างความเข้มแสง พบว่าการชะล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ที่เวลา 20 และ 40 นาที ได้ผลการทดลองที่ผิดพลาดเนื่องจากกราฟที่ได้จากการคำนวณผิดพลาดจากความเป็นจริง ส่วนที่เวลา 60 นาที พบว่าได้ผลการทดลองที่ดีและได้กราฟที่มีแนวโน้มที่หมดสมมากที่สุดในการทดลอง จากข้อมูลดังกล่าว จึงสรุปได้ว่าการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการแช่ชุดทดสอบด้วยสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

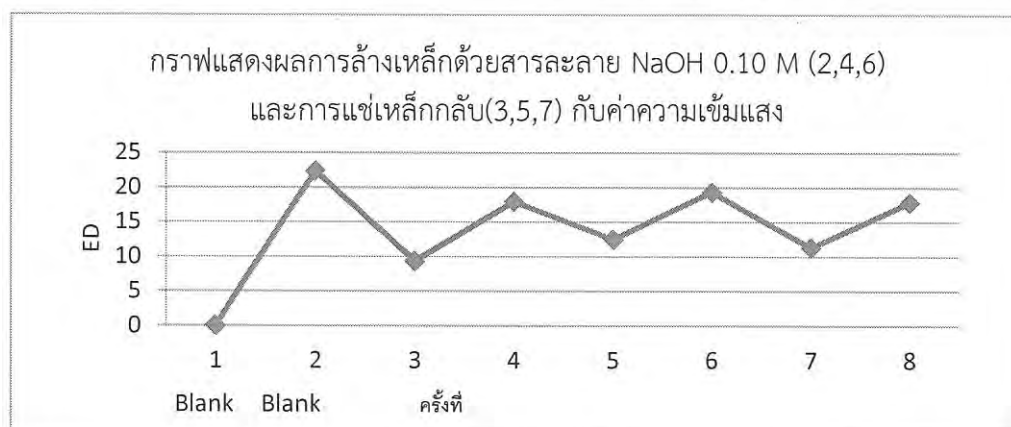
โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ คือที่เวลา 60 นาที จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้มากที่สุด

ตาราง 4.2 สรุปผลการทดลองในการเลือกสารที่มีความเหมาะสมในการออกซิไดซ์ไอออนเหล็กออกจากชุดทดสอบบนกระดาษ

Condition	ค่า ED เมื่อใช้				
	HCL [0.1M]	NaOH [0.1M]	buffer pH6	buffer pH8	buffer pH10
ขั้นตอน					
1.ล้างครั้งที่ 1	7.90	9.37	3.92	6.27	2.21
2.แช่กลับครั้งที่ 1	12.19	17.92	9.11	6.40	7.56
3.ล้างครั้งที่ 2	5.67	12.46	4.15	6.33	4.11
4.แช่กลับครั้งที่ 2	6.23	19.33	10.33	4.98	8.67
5.ล้างครั้งที่ 3	9.37	11.31	3.86	20.22	10.25
6.แช่กลับครั้งที่ 3	9.42	17.82	22.56	18.72	9.04

Condition	ค่า ED เมื่อใช้			
	EDTA	H ₂ O ₂	EDTA+Buffer pH4	EDTA ,H ₂ O ₂ Buffer pH4
ขั้นตอน				
1.ล้างครั้งที่ 1	25.85	10.11	14.02	11.26
2.แช่กลับครั้งที่ 1	18.37	10.60	15.53	7.90
3.ล้างครั้งที่ 2	7.39	8.62	6.19	10.10
4.แช่กลับครั้งที่ 2	14.10	11.10	9.56	12.64
5.ล้างครั้งที่ 3	6.63	10.43	11.28	9.24
6.แช่กลับครั้งที่ 3	12.30	8.87	9.34	11.84

จากตารางผลการทดลองที่ 4.2 จะสังเกตได้ว่าแนวโน้มค่าความเข้มแสงของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.10 โมลาร์ มีแนวโน้มการหลุดออกของไอออนเหล็ก (II) และการทดสอบการแช่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) ซ้ำได้ค่าที่ดีที่สุดซึ่งนำมาพลอตกราฟได้ผลดังนี้

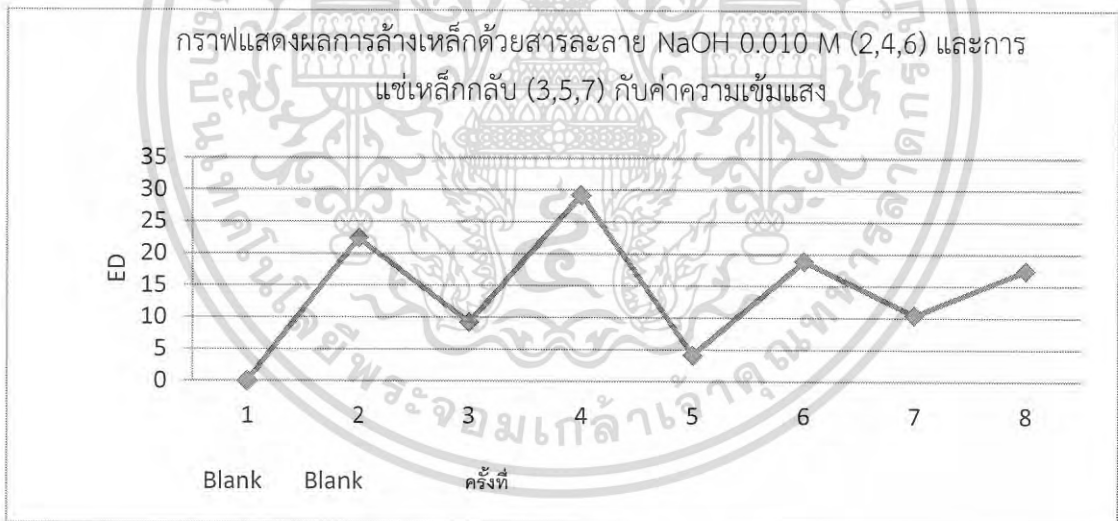


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.3 บันทึกผลการทดลองหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในเซโไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบ

Condition	ค่า ED เมื่อใช้			
	NaOH [0.1 M]	NaOH [0.01 M]	NaOH [0.001 M]	NaOH [0.0001 M]
1.ล้างครั้งที่ 1	9.37	9.20	13.88	15.69
2.แช่กลับครั้งที่ 1	17.92	29.20	17.10	3.82
3.ล้างครั้งที่ 2	12.46	4.11	26.22	1.51
4.แช่กลับครั้งที่ 2	19.33	18.89	22.76	5.20
5.ล้างครั้งที่ 3	11.31	10.40	11.84	10.79
6.แช่กลับครั้งที่ 3	17.82	17.42	23.50	2.79

จากตารางผลการทดลองที่ 4.3 ทดสอบค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆพบว่าที่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ มีผลการชะล้างออกและแช่ทดสอบซ้ำ 3 ครั้งได้ค่าความเข้มแสงที่ดีที่สุดและนำมาพลอตกราฟได้กราฟดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.4 บันทึกผลปริมาตรที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ สำหรับการใช้ชะไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบ

condition	ค่า ED เมื่อใช้ NaOH [0.010 M] ที่ปริมาตร			
	30 μ l	100 μ l	200 μ l	300 μ l
1.ล้างครั้งที่ 1	19.30	21.61	16.96	16.49
2.แช่กลับครั้งที่ 1	4.40	10.71	4.74	4.93
3.ล้างครั้งที่ 2	25.35	22.07	28.16	26.36
4.แช่กลับครั้งที่ 2	35.62	31.64	42.82	45.57
5.ล้างครั้งที่ 3	30.61	29.46	31.35	43.04
6.แช่กลับครั้งที่ 3	34.10	36.68	46.38	42.81

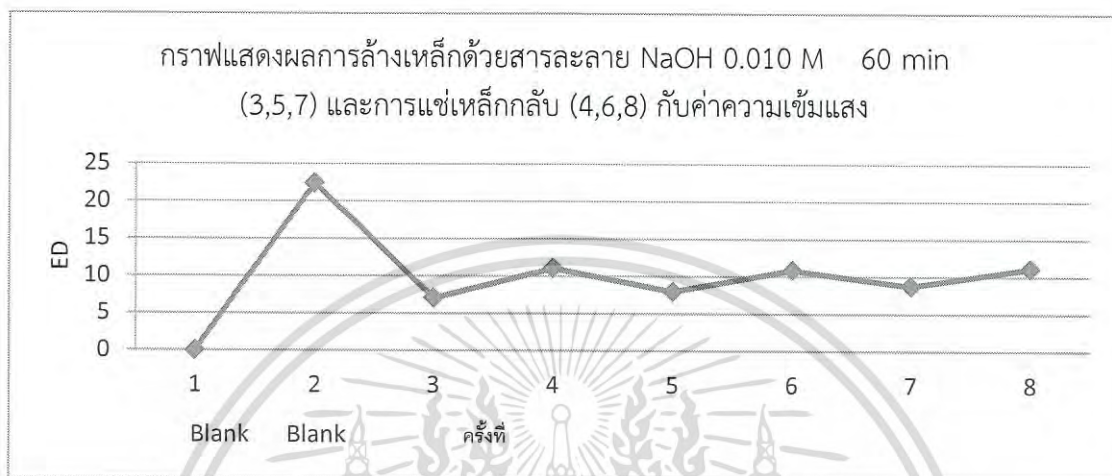
จากตารางผลการทดลองที่ 4.4 การหาปริมาตรที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ พบว่าที่ปริมาตร 30,100,200,300 ไมโครลิตร เมื่อนำไปหาค่าความเข้มข้น จะได้ค่าที่ไม่แตกต่างกันมากนัก จึงสรุปได้ว่าปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ ไม่มีผลต่อการชะล้างไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบ

ตาราง 4.5 บันทึกผลเวลาที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ สำหรับการชะไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบ

condition	ค่า ED เมื่อใช้ NaOH [0.01 M] ที่เวลา		
	20 นาที	40 นาที	60 นาที
1.ล้างครั้งที่ 1	8.162069	7.09521	7.06956
2.แช่กลับครั้งที่ 1	19.31688	12.72961	11.04602
3.ล้างครั้งที่ 2	9.85657	14.90426	7.94766
4.แช่กลับครั้งที่ 2	5.797821	13.97467	10.84081
5.ล้างครั้งที่ 3	12.76636	9.85582	8.74372
6.แช่กลับครั้งที่ 3	9.772057	16.89193	11.07267

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.5 ผลการทดลองเวลาที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ สำหรับการใช้เซโอะออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบ เมื่อนำไปหาค่าความเข้มแสง พบว่า ที่เวลา 20 และ 40 นาที ได้ค่าความเข้มแสงไม่เป็นแนวโน้มที่ดี ส่วนที่เวลา 60 นาที พบว่าได้ค่าความเข้มแสงที่มีแนวโน้มที่ดีที่สุด ซึ่งแสดงดังกราฟต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไอออนเหล็ก (II) บนกระดาษสำหรับตรวจวัดไอออนเหล็ก (II) โดยใช้โซล-เจลเจือด้วยอโทพีแนนโทรลินนั้น ได้มีการออกแบบระบบสำหรับสร้างชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด เจือด้วยระบบโซล-เจลเจือด้วยอโทพีแนนโทรลิน โดยที่อโทพีแนนโทรลินเป็น คีเลตติ้งเอเจนต์ที่จำเพาะต่อไอออนเหล็ก (II) เท่านั้น โดยจะเกิดสารเชิงซ้อนที่มีสีแดงส้มของไอออนเหล็ก (II) กับอโทพีแนนโทรลิน และทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นแล้วนำมาคำนวณสีที่เปลี่ยนแปลงเพื่อคำนวณปริมาณไอออนเหล็ก (II) ที่พบระบบที่ศึกษานั้น พบว่าระบบโซล-เจลเจือด้วยอโทพีแนนโทรลิน ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 20.0 (w/v) นั้น ค่าความเข้มแสงที่ได้จากการตรวจวัดสารเชิงซ้อนที่มีสีด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดและบันทึกค่าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ชุดทดสอบนี้ในขั้นต้นมีการใช้ทดสอบเพียง หนึ่งครั้งงานวิจัยนี้จึงได้วิจัยการนำชุดทดสอบกลับมาใช้ทดสอบซ้ำได้หลายครั้ง จึงได้คิดแนวทางการชะไอออนเหล็ก(II)ออกจากชุดทดสอบด้วยสารละลายที่มีคุณสมบัติในการออกซิไดซ์ สารละลายกรด-เบส สารละลายบัฟเฟอร์ และ คีเลต จากผลการทดลองสารละลายเบส โซเดียมไฮดรอกไซด์ มีผลการชะ ไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบได้ดีกว่าสารละลายชนิดอื่น จากนั้น จากนั้นได้มีการทดสอบช่วงค่าความเข้มข้นที่เหมาะสม ที่จะสามารถชะไอออนเหล็ก (II) ออกมาได้ดีที่สุดโดยใช้ความเข้มข้นที่ 0.10, 0.010, 0.0010 และ 0.00010 โมลาร์ จากผลการทดลองสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.010 โมลาร์ ได้ค่าการหลุดออกและการชะไอออนเหล็ก (II) กลับเข้าไปซ้ำ 3 ครั้งได้ผลที่ดี และการทดลองสุดท้ายได้ทดลองเวลาที่มีผลต่อการทดสอบเวลาที่มีผลต่อการชะล้างไอออนเหล็ก (II) โดยกำหนดเวลาที่ใช้ในการชะเป็น 15, 30 และ 60 นาที จากผลการทดลอง เวลาที่ 60 นาที จะได้ผลที่ดีที่สุด จากการทดลอง สภาวะที่ดีที่สุดในการชะไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด เจือด้วยระบบโซล-เจลเจือด้วยอโทพีแนนโทรลิน คือการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0.010 โมลาร์ โดยใช้เวลาในการแช่ที่เหมาะสมที่ 60 นาที

การศึกษานี้ได้มุ่งเน้นวิธีการนำชุดทดสอบกลับมาใช้งานซ้ำและปัจจัยที่มีผลในการทดสอบของชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุด ดังนั้นจึงยังจำเป็นต้องได้รับการศึกษาวิจัย และพัฒนาเพิ่มเติมในแง่ของอายุการใช้งาน การเก็บรักษาของชุดทดสอบบนกระดาษแบบจุดที่ศึกษาขึ้น รวมถึงการวิจัยที่จะลดการใช้เวลาในการทดสอบ ซึ่งหากจะนำชุดทดสอบไปพัฒนาต่อ นั้น จะทำให้ชุดทดสอบมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ผุสดี มุหะหมัด. น้ำบริโภคน้ำดื่ม. Available:<https://www.gotoknow.org/posts/309612>;
Search: 17 may 2016.
- [2] C.J. Brinker and G.W. Scherer, 1990. Sol-gel science the physics and chemistry of sol-gel processing, United kingdom; Acedemic press INC.
- [3] Sol-gel Process [Online]. Available <http://www.mdpi.com/1424-8220/8/8/5202>;
Search: 17 may 2016.
- [4] นฤชิต ไพโรจน์, 2555. ชุดทดสอบแบบจุดโดยใช้โซล-เจลเจืออิมมูโนโพรตีนสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณของเหล็ก (II), ปริญญาโท วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [5] อรุณี คงศักดิ์ไพศาล, 2550. ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 1, กรุงเทพฯ : คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [6] Chatrachatchaya Choyichayapong. ปฏิกริยาของ EDTA กับ โลหะไอออนบางชนิด
Available:<http://doctorchaya.muangkorat.com/web/wpcontent/uploads/2016/01/1%E-2>; Search: 17 may 2016.
- [7] ศุภ เมธานนท์, 2014. ปฏิกริยาเฟนตันออกซิเดชัน Available:<http://ir.rmuti.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/395/Chapter%202.pdf?sequence=6>; Search:
17 may 2016.
- [8] ระบบสี [Online]. Available: <http://www.punyisa.com/photoshop/graphic4.html>;
graphicSearch: 17 may 2016.
- [9] Teoria del color [Online]. Available <http://psicologiapercepcion.blogspot.com/p/vision.html>; Search: 17 may 2016.
- [10] General Content;Euclidean distance [Online]. Available:http://public-kamon.blogspot.com/2009/06/euclidean-distance_04.html; Search 17 may 2016.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] หลักการทำงานของแสกนเนอร์ [Online]. Available:
<http://www.il.mahido.ac.th/e-media/computer/system/scanner.htm>;
 Search 17 may 2016.
- [12] Scanner [Online]. Available:http://www.semarang.nl/omgaan_met_foto/scanner.html;
 Search 17 may 2016.
- [13] ชุดทดสอบ [Online]. Available: <http://www.sc.mahidol.ac.th/tha/research/webtestkit/advantage.htm>; Search: 19 may 2016.
- [14] P.C.A. Jeronimo, A.N. Araujo and M.C.B.S.M. Montanegro, 2007 “Optical sensors and biosensors based on sol-gel films” *Talanta*, 72, 13-27.
- [15] B.D. MacCraith, C.M. McDonagh, G. O’Keeffe, A.K. McEvoy, T. Butler and F.R. Sheridan, 1995. “Sol-gel coatings for optical chemical sensors and biosensors” *Sensors and Actuator B*, 29, 51-57.
- [16] A.M.G. Rodriguez, A.G. Torres, J.M.C. Pavon and C.B. Ojeda, 1998. “Simultaneous determination of iron, cobalt, nickel and copper by UV-visible spectrophotometry with multivariate calibration” *Talanta*, 77, 551-555.
- [17] J.M. Anzano and P. Gonzalez, 2000. “Determination of iron and copper in peanuts by flame atomic absorption spectrometry using acid digestion” *Microchemical journal*, 64, 141-145 .
- [18] A.B. Tabrizi, 2010. “Development of a dispersive liquid-liquid microextraction method for iron speciation and determination in different water samples” *Journal of Hazardous Materials*, 183, 688-693.
- [19] A.S. Amin and A.A. Gouda, 2008. “Utility of solid-phase spectrophotometry for determination of dissolved iron (II) and iron (III) using 2,3-dichloro-6-(3-carboxy-2-hydroxy-1-naphthylazo)quinoxaline” *Talanta*, 76, 1241- 1245.

- [20] D.A. Weeks and K.W. Bruland, 2002. "Improved method for shipboard determination of iron in seawater by flow injection analysis" *Analytical Chemical Acta*, 453, 21-32.
- [21] L. Durukan, C.A. Sahin, C.A. Satrioglu and S.Bektas, 2011 "Determination of iron and copper in food samples by flow injection cloud point flame atomic absorption spectrometry" *Microchemical Journal*, 99, 159-163.
- [22] S. Kozono and H. Haraguchi, 2003. "Determination of trace iron in indium phosphide wafer by on-line matrix separation and inductively coupled plasma mass spectrometry" *Analytical Chemical Acta*, 482, 189-196.
- [23] S. Schaffer, P. Gareil, C. Dezeal and D. Richard, 1996. "Direct determination of iron(II), iron(III) and total iron as UV-absorbing complexes by capillary electrophoresis" *Journal of Chromatography A*, 740, 151-157.
- [24] A. Komersova, M. Bartos, K. Kalcher and K. Yytras, 1998. "Trace iron determination in aminoisophthalic acid using differential-pulse cathodic stripping voltammetry at carbon paste electrodes" *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 16, 1373-1379.
- [25] L. FenG, Y. Zhang, L. Wen, Z. Shen and Y. Guan, 2011. "Colorimetric determination of copper (II) ions by filtration on sol-gel membrane doped with diphenylcarbazine" *Talanta*, 84, 913-917.
- [26] N.A. Yusof, W.A. Rahman and W.A. Kadir, 2009. "Optical test strip for trace Hg (II) based on doped sol-gel film" *Spectrochimica Acta Part A*, 72, 32-35.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสงและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.2 หน้า 51

ตารางที่ ก.1 ค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสงและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของระบบสารละลายโซล-เจลเจือด้วยออปโทไฟแนนโทรลินเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v)

ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานไอออนเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ระบบโซล-เจลเจือด้วยออปโทไฟแนนโทรลินเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v)				
	ค่าความเข้มแสง			ED	%RSD
	แดง	เขียว	น้ำเงิน		
0	211.80±0.83	207.53±0.51	204.20±1.10	*	-
0.2	210.00±1.83	191.47±1.92	195.53±2.22	16.10±1.85	11.22
0.4	212.34±0.50	187.67±1.83	182.87±1.64	32.71±0.93	2.42
0.6	211.67±1.69	176.08±1.66	167.73±1.71	70.39±0.87	2.73
0.8	211.17±0.31	162.12±1.40	153.63±0.95	70.21±0.89	1.22
1.0	208.77±1.93	146.79±2.30	132.23±0.71	97.23±1.89	2.23

หมายเหตุ * คือ จุดที่ค่าความเข้มแสงสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน กำหนดให้เป็นสัญลักษณ์ของ blank ดังนั้น ณ จุดนี้จึงไม่มีค่าความแตกต่างความเข้มแสงโดยที่ ED คือ ค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance) และ %RSD คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

ภาคผนวก ข.

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสงและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.5 หน้า 32

ตารางที่ ข.1 ค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสงและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร) กับความแตกต่างความเข้มแสง เพื่อเปรียบเทียบการแช่ชุดทดสอบลงในสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) สำหรับเพิ่มความเข้มสีบนชุดทดสอบ ณ เวลาต่างๆ

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ชุดทดสอบลงในสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) 15 นาที			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	252.25	248.40	243.09	0
0.2	252.98	248.30	243.00	0.73
0.4	251.02	244.48	240.21	5.02
0.6	251.66	241.39	237.32	9.10
0.8	251.91	241.91	237.32	9.56
1.0	250.62	239.53	236.06	11.44

ภาคผนวก ข. (ต่อ)

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ชุดทดสอบลงในสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) 30 นาที			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	252.04	248.68	242.86	0
0.2	251.45	245.22	240.31	4.33
0.4	251.72	242.13	239.04	7.59
0.6	251.77	242.93	237.70	7.73
0.8	248.55	233.37	229.54	20.59
1.0	248.99	231.78	228.40	22.45

ภาคผนวก ข. (ต่อ)

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ชุดทดสอบลงในสารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) 60 นาที			
	ค่าความเข้มแสง			ED
	แดง	เขียว	น้ำเงิน	
0	252.72	249.55	244.55	0
0.2	250.28	238.71	234.11	15.24
0.4	250.38	237.16	233.00	17.09
0.6	249.33	234.48	231.26	20.37
0.8	249.07	221.48	218.02	38.79
1.0	246.69	216.86	212.91	45.88

ภาคผนวก ค.

แสดงค่าความเข้มข้น ค่าความแตกต่างความเข้มข้นและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.6, 4.7, 4.8 และ 4.9 หน้า 34-36

ตารางที่ ค.1 ค่าความเข้มข้น ค่าความแตกต่างความเข้มข้นและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆที่เหมาะสมในการชะล้างไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบบนกระดาษและการแพร่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ

ระบบโซล-เจลเจือด้วยออปโทไฟแนนโทรลินเข้มข้น ร้อยละ 0.20 (w/v)	ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.10โมลาร์)				
	ค่าความเข้มข้น			ED	%RSD
	แดง	เขียว	น้ำเงิน		
ล้างครั้งที่ 1	189.03±0.56	188.90±0.77	190.26±0.60	13.08±1.38	11.71
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 1	190.77±1.27	187.42±1.81	187.18±1.66	8.36±3.22	31.10
ล้างครั้งที่ 2	189.03±0.56	188.90±0.77	190±0.60	13.08±1.38	11.71
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่2	188.59±1.48	188.00±1.31	189.03±1.12	13.32±2.70	26.25
ล้างครั้งที่ 3	189.03±0.56	188.90±0.77	190.26±0.60	13.08±1.38	11.71
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่3	189.41±0.51	189.49±0.56	190.63±0.45	13.80±1.06	8.45

ภาคผนวก ค.(ต่อ)

ระบบโซล-เจลเจือด้วยอโทพีแนทโพรลีนเข้มข้น ร้อยละ 0.20 (w/v)	ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์(0.010โมลาร์)				
	ค่าความเข้มแสง			ED	%RSD
	แดง	เขียว	น้ำเงิน		
ล้างครั้งที่ 1	186.61±0.14	174.17±0.08	176.13±1.22	11.92±1.30	12.53
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 1	186.98±0.77	161.66±1.00	161.73±1.40	28.80±2.14	7.44
ล้างครั้งที่ 2	186.61±0.14	174.17±0.08	176.13±0.81	11.92±1.30	12.53
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่2	185.41±1.09	168.26±2.27	169.52±2.30	19.36±3.82	20.17
ล้างครั้งที่ 3	186.61±0.14	174.13±0.80	176.13±0.81	11.92±1.30	12.53
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่3	187.18±0.19	169.71±1.64	170.57±1.94	20.77±3.04	17.46

ภาคผนวก ค. (ต่อ)

ระบบโซล-เจลเจือด้วยอโทพีแนทโทรลีนเข้มข้น ร้อยละ 0.20 (w/v)	ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.0010โมลาร์)				
	ค่าความเข้มข้น			ED	%RSD
	แดง	เขียว	น้ำเงิน		
ล้างครั้งที่ 1	186.98±1.39	173.29±2.89	175.04±2.87	16.92±4.26	35.22
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 1	187.79±1.10	170.30±1.53	170.67±1.70	19.15±2.39	13.91
ล้างครั้งที่ 2	186.98±1.39	173.29±2.89	175.04±2.87	16.92±4.26	35.22
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 2	185.91±0.81	165.74±1.07	166.62±1.14	24.01±1.87	8.23
ล้างครั้งที่ 3	186.98±1.39	173.29±2.89	175.04±2.87	16.92±4.26	35.22
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 3	185.15±0.60	164.98±3.19	166.23±3.05	30.18±5.77	24.55

ภาคผนวก ค. (ต่อ)

ระบบโซล-เจลเจือด้วยออปโทไฟแนนโทรลินเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v)	ระบบโซล-เจลเจือด้วยออปโทไฟแนนโทรลินเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v) ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.00010 โมลาร์)				
	ค่าความเข้มแสง			ED	%RSD
	แดง	เขียว	น้ำเงิน		
ล้างครั้งที่ 1	186.66±0.81	173.48±3.10	174.98±3.49	6.45±5.08	42.74
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 1	187.97±1.46	169.23±3.18	169.60±3.09	14.26±4.99	26.60
ล้างครั้งที่ 2	186.66±0.81	173.48±3.10	174.98±3.49	6.45±5.08	42.74
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 2	186.41±0.77	169.53±1.35	170.68±1.82	15.08±2.04	11.79
ล้างครั้งที่ 3	186.66±0.81	173.48±3.10	174.98±3.49	6.45±5.08	42.74
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 3	185.59±1.14	166.67±2.72	167.49±2.63	26.73±4.53	21.06

ภาคผนวก ง.

แสดงค่าความเข้มข้น ค่าความแตกต่างความเข้มข้นและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.10, 4.11, 4.12 และ 4.13 หน้า 37,38

ตารางที่ ง.1 ค่าความเข้มข้น ค่าความแตกต่างความเข้มข้นและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของความเข้มข้นของสารละลายอีดีทีเอ, สารละลายบัพเฟอร์พีเอช 6, 8, 10 ความเข้มข้น 0.10 โมลาร์ ที่เหมาะสมในการชะล้างไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบบนกระดาษและการแพร่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ

ระบบโซล-เจลเจือด้วยออกโทพีแนมโทริลิน เข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v)	ความเข้มข้นสารละลายอีดีทีเอ (0.10 โมลาร์)				
	ค่าความเข้มข้น			ED	%RSD
	แดง	เขียว	น้ำเงิน		
ล้างครั้งที่ 1	185.063±1.77	164.19±2.84	163.742±3.16	25.94±4.99	19.23
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 1	185.80±0.43	168.84±1.68	169.74±1.75	18.56±6.29	33.92
ล้างครั้งที่ 2	189.45±1.71	178.67±2.46	179.47±2.22	8.27±0.52	6.34
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 2	185.68±0.71	171.71±2.50	172.95±2.80	14.11±2.64	18.74
ล้างครั้งที่ 3	189.52±1.54	179.84±2.09	180.58±2.13	7.18±2.33	32.55
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 3	188.53±2.66	176.42±4.42	172.95±4.21	9.35±2.68	28.75

ภาคผนวก ง. (ต่อ)

ระบบโซล-เจลเจือด้วยอโทพีแนนโทรลินเข้มข้น ร้อยละ 0.20 (w/v)	ความเข้มข้นสารละลายบัพเฟอร์พีเอช 6 (0.10 โมลาร์)				
	ค่าความเข้มแสง			ED	%RSD
	แดง	เขียว	น้ำเงิน		
ล้างครั้งที่ 1	187.27±2.14	168.94±5.34	169.81±5.42	28.85±8.69	46.15
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 1	183.56±1.28	181.26±1.55	183.11±1.43	34.97±11.40	36.34
ล้างครั้งที่ 2	186.80±0.85	169.82±5.30	169.05±5.29	25.33±6.99	37.49
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่2	183.56±1.28	181.26±1.55	183.11±1.43	23.93±11.07	35.00
ล้างครั้งที่ 3	188.22±0.16	170.32±0.60	168.12±1.32	17.57±1.47	7.68
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่3	183.56±1.28	181.26±1.55	183.11±1.43	48.59±4.94	11.21

ภาคผนวก ง. (ต่อ)

ระบบโซล-เจลเจือด้วยอโทไฟแนนโทรลินเข้มข้น ร้อยละ 0.20 (w/v)	ความเข้มข้นสารละลายบัพเฟอร์พีเอช 8 (0.10 โมลาร์)				
	ค่าความเข้มแสง			ED	%RSD
	แดง	เขียว	น้ำเงิน		
ล้างครั้งที่ 1	186.30±2.51	169.91±2.28	171.75±1.92	13.33±2.83	17.10
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 1	187.48±0.43	170.75±1.68	171.64±1.75	11.23±4.80	29.77
ล้างครั้งที่ 2	182.98±1.59	167.37±1.16	170.15±1.58	17.72±2.35	12.35
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 2	184.40±0.71	164.48±2.50	164.56±2.80	26.93±3.80	15.18
ล้างครั้งที่ 3	183.35±1.49	156.52±2.20	157.68±2.74	32.83±4.23	11.91
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 3	184.09±2.66	154.04±4.42	153.61±4.21	35.56±4.81	11.95

ภาคผนวก ง. (ต่อ)

ระบบโซล-เจลเจือด้วยออร์โทฟอสเฟตที่ผสมโพลีเมอร์เข้มข้น ร้อยละ 0.20 (w/v)	ความเข้มข้นสารละลายบัพเฟอร์พีเอช 10 (0.10 โมลาร์)				
	ค่าความเข้มข้น			ED	%RSD
	แดง	เขียว	น้ำเงิน		
ล้างครั้งที่ 1	186.10±1.20	166.37±2.89	166.77±2.91	17.51±4.82	21.61
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 1	186.68±0.43	161.36±1.68	166.77±1.75	38.04±7.96	27.05
ล้างครั้งที่ 2	185.57±1.53	163.68±2.90	164.21±3.24	31.73±5.21	20.09
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 2	189.45±0.71	163.68±2.50	164.21±2.80	36.36±11.45	40.01
ล้างครั้งที่ 3	184.38±1.54	159.35±2.90	159.71±3.62	32.55±5.75	17.92
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 3	185.84±2.66	160.36±4.42	160.78±4.21	24.25±5.96	19.41

ภาคผนวก จ.

แสดงค่าความเข้มข้น ค่าความแตกต่างความเข้มข้นและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.14 4.15 และ 4.16 หน้า 39,40 ตารางที่ จ.1 ค่าความเข้มข้น ค่าความแตกต่างความเข้มข้นและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของการออกซิไดซ์และการดิงไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบ

ระบบโซล-เจลเจือด้วยอโทพีแนนโทรีนเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v)	ความเข้มข้นสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 0.10 โมลาร์				
	ค่าความเข้มข้น			ED	%RSD
	แดง	เขียว	น้ำเงิน		
ล้างครั้งที่ 1	188.26±1.27	175.09±1.89	176.61±2.44	14.30±3.63	35.49
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 1	187.26±0.76	173.41±3.69	174.89±3.77	16.21±5.54	45.19
ล้างครั้งที่ 2	188.69±1.08	176.82±1.22	177.77±1.42	11.44±2.62	30.35
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 2	187.15±0.43	174.26±1.23	175.27±1.23	9.96±2.16	19.47
ล้างครั้งที่ 3	187.55±1.20	174.69±3.51	176.05±3.49	6.77±5.18	47.91
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 3	184.67±1.25	174.97±2.83	176.95±3.21	14.62±4.90	53.95

ภาคผนวก จ.(ต่อ)

ระบบโซล-เจลเจือด้วยออปโทฟิแนนโทรลีนเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v)	ความเข้มข้นสารละลายผสมอิตีทีเอกับสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 4 เข้มข้น 0.10 โมลาร์				
	ค่าความเข้มแสง			ED	%RSD
	แดง	เขียว	น้ำเงิน		
ล้างครั้งที่ 1	185.62±0.95	171.60±3.35	173.15±3.83	12.71±5.98	42.32
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 1	187.62±1.16	171.14±3.76	172.07±4.12	10.49±6.21	39.42
ล้างครั้งที่ 2	186.27±1.77	177.22±0.90	179.26±1.56	4.90±2.47	38.68
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 2	186.16±0.81	174.91±1.98	176.44±1.92	12.79±2.93	30.21
ล้างครั้งที่ 3	188.36±1.65	174.23±2.39	175.71±2.29	9.39±2.70	23.18
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 3	188.54±1.95	175.93±4.68	177.26±4.43	11.99±3.13	27.94

ภาคผนวก จ.(ต่อ)

ระบบโซล-เจลเจือด้วยออปโทพีแนทโกลินเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v)	ความเข้มข้นสารละลายผสมของอิตีทีเอกับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และสารละลาย บัฟเฟอร์พีเอช 4 เข้มข้น 0.10 โมลาร์				
	ค่าความเข้มแสง			ED	%RSD
	แดง	เขียว	น้ำเงิน		
ล้างครั้งที่ 1	187.99±0.90	174.22±1.57	175.51±1.19	10.26±1.85	16.31
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 1	188.26±0.89	176.96±0.10	178.43±0.33	7.36±0.95	12.01
ล้างครั้งที่ 2	185.58±1.22	174.11±2.45	176.26±3.27	15.65±5.14	50.75
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 2	186.92±3.09	173.05±4.82	174.10±4.81	10.47±6.65	48.77
ล้างครั้งที่ 3	186.55±0.26	175.06±1.36	176.94±1.53	9.67±2.29	24.75
แช่เหล็ก(II)กลับครั้งที่ 3	189.31±1.33	174.42±1.20	175.33±1.00	13.11±0.98	8.23

ภาคผนวก จ.

แสดงค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสงและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.17, 4.18, 4.19 และ 4.20 หน้า 40-42

ตารางที่ จ.1 ค่าความเข้มแสง ค่าความแตกต่างความเข้มแสงและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของปริมาตรที่เหมาะสมในการแช่ชุดทดสอบที่มีไอออนเหล็ก (II) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์

ระบบโซล-เจลเจือด้วยอโทพีแนนโทรลินเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v)	ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ที่ปริมาตร 30 μ l				
	ค่าความเข้มแสง			ED	%RSD
	แดง	เขียว	น้ำเงิน		
ล้างครั้งที่ 1	187.31 \pm 1.12	168.49 \pm 0.16	169.13 \pm 0.03	19.28 \pm 0.20	1.06
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 1	186.28 \pm 1.57	163.89 \pm 0.88	164.02 \pm 0.73	26.58 \pm 1.14	4.40
ล้างครั้งที่ 2	184.45 \pm 1.18	163.88 \pm 2.02	164.67 \pm 2.21	25.10 \pm 3.63	14.32
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 2	183.62 \pm 1.08	157.13 \pm 2.96	156.90 \pm 3.30	41.72 \pm 5.44	15.28
ล้างครั้งที่ 3	182.70 \pm 1.06	160.19 \pm 3.04	160.91 \pm 3.19	30.80 \pm 5.44	17.77
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 3	186.11 \pm 1.12	158.94 \pm 1.50	157.94 \pm 1.68	31.15 \pm 2.74	8.04

ภาคผนวก ฉ.(ต่อ)

ระบบโซล-เจลเจือด้วยออปโทฟิแนนโทรลีนเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v)	ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ที่ปริมาตร 100 µl				
	ค่าความเข้มแสง			ED	%RSD
	แดง	เขียว	น้ำเงิน		
ล้างครั้งที่ 1	185.44±1.84	166.28±2.15	167.63±2.17	25.18±3.52	16.23
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 1	182.85±1.33	159.95±1.79	160.45±2.23	27.15±3.50	11.26
ล้างครั้งที่ 2	186.27±1.24	166.30±3.33	167.10±3.42	15.51±5.57	26.01
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 2	183.61±2.04	159.62±4.85	160.02±5.75	39.03±9.22	29.10
ล้างครั้งที่ 3	184.44±2.05	161.11±3.96	161.63±4.19	35.85±6.94	23.48
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 3	185.78±0.48	156.62±3.23	156.01±3.71	41.35±6.00	16.36

ภาคผนวก ฉ.(ต่อ)

ระบบโซล-เจลเจือด้วยออปโทพีแนทโรรีนเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v)	ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ที่ปริมาตร 200 μ l				
	ค่าความเข้มแสง			ED	%RSD
	แดง	เขียว	น้ำเงิน		
ล้างครั้งที่ 1	186.69 \pm 0.29	169.82 \pm 0.83	170.98 \pm 1.15	18.59 \pm 1.69	9.98
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 1	185.03 \pm 0.99	163.95 \pm 1.86	164.68 \pm 1.88	27.74 \pm 3.14	12.41
ล้างครั้งที่ 2	185.76 \pm 1.18	164.32 \pm 2.90	164.83 \pm 3.28	30.13 \pm 5.35	21.38
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 2	184.00 \pm 0.39	152.01 \pm 2.05	151.83 \pm 2.29	46.70 \pm 3.77	8.80
ล้างครั้งที่ 3	185.55 \pm 2.39	159.95 \pm 4.33	160.19 \pm 4.32	39.66 \pm 7.32	23.26
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 3	184.34 \pm 0.02	149.52 \pm 2.95	149.29 \pm 3.50	45.40 \pm 5.60	12.07

ภาคผนวก ฉ.(ต่อ)

ระบบโซล-เจลเจือด้วยออร์โทโทปีแนนโทเรลีนเข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v)	ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ที่ปริมาตร 300 μ l				
	ค่าความเข้มแสง			ED	%RSD
	แดง	เขียว	น้ำเงิน		
ล้างครั้งที่ 1	186.07 \pm 0.87	170.01 \pm 3.11	171.30 \pm 2.87	11.72 \pm 4.92	29.71
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 1	183.39 \pm 0.80	166.49 \pm 2.51	167.33 \pm 2.72	19.78 \pm 4.54	21.01
ล้างครั้งที่ 2	184.84 \pm 0.87	163.25 \pm 3.09	163.89 \pm 3.69	23.71 \pm 5.94	22.55
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 2	181.15 \pm 1.93	149.93 \pm 1.71	150.09 \pm 1.88	42.04 \pm 3.10	6.80
ล้างครั้งที่ 3	183.86 \pm 1.90	151.77 \pm 4.91	151.75 \pm 5.01	42.19 \pm 8.53	19.80
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 3	183.69 \pm 1.45	151.66 \pm 2.20	152.16 \pm 2.34	38.59 \pm 3.94	9.19

ภาคผนวก ข.

แสดงค่าความเข้มข้น ค่าความแตกต่างความเข้มข้นและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อ้างอิงจากรูปที่ 4.21, 4.22 และ 4.23 หน้า 42,43

ตารางที่ ข.1 ค่าความเข้มข้น ค่าความแตกต่างความเข้มข้นและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.010 โมลาร์ ของเวลาที่เหมาะสมในการชะล้างไอออนเหล็ก (II) ออกจากชุดทดสอบบนกระดาษและการแพร่สารละลายมาตรฐานไอออนเหล็ก (II) กลับ

ระบบโซล-เจลเจือด้วยอโทธิพี้แทนโทเรลีน เข้มข้นร้อยละ 0.20 (w/v)	ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.010 โมลาร์ ที่เวลา 20 นาที				
	ค่าความเข้มข้น			ED	%RSD
	แดง	เขียว	น้ำเงิน		
ล้างครั้งที่ 1	188.87±2.48	177.47±3.94	178.21±3.72	7.69±1.44	16.07
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 1	188.82±0.28	179.71±1.12	181.01±1.16	5.53±0.76	12.89
ล้างครั้งที่ 2	189.09±1.19	176.21±0.46	176.70±0.75	8.68±1.17	11.91
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 2	188.21±0.47	179.01±1.67	180.48±1.87	6.06±0.82	13.77
ล้างครั้งที่ 3	187.66±2.12	173.38±4.06	173.94±3.86	16.53±3.85	29.23
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 3	187.03±1.77	175.15±2.95	179.50±2.81	7.42±2.68	23.53

ภาคผนวก ข.(ต่อ)

ระบบโซล-เจลเจือด้วยออปโทฟิแนนโทรลินเข้มข้น ร้อยละ 0.20 (w/v)	ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.010 โมลาร์ที่เวลา 40 นาที				
	ค่าความเข้มแสง			ED	%RSD
	แดง	เขียว	น้ำเงิน		
ล้างครั้งที่ 1	188.85±1.01	178.66±2.12	179.16±1.85	6.61±0.63	8.70
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 1	187.85±1.06	175.40±1.03	176.03±1.21	11.76±1.49	14.71
ล้างครั้งที่ 2	186.27±2.90	171.83±5.95	171.89±6.31	16.18±6.59	42.63
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 2	188.05±2.49	172.75±0.69	172.98±0.62	13.30±0.70	5.00
ล้างครั้งที่ 3	188.33±0.16	175.90±5.37	176.35±4.97	14.98±3.91	37.15
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 3	188.94±1.88	170.94±2.10	170.86±2.38	17.78±2.05	12.08

ภาคผนวก ข. (ต่อ)

ระบบโซล-เจลเจือด้วยอโทไฟแนนโทรลินเข้มข้น ร้อยละ 0.20 (w/v)	ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.010 โมลาร์ที่เวลา 60 นาที				
	ค่าความเข้มแสง			ED	%RSD
	แดง	เขียว	น้ำเงิน		
ล้างครั้งที่ 1	188.94±2.22	178.54±2.15	179.41±2.15	7.56±0.50	6.89
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 1	187.79±0.72	174.19±3.59	174.85±3.81	16.12±3.83	32.58
ล้างครั้งที่ 2	187.02±0.65	176.58±0.55	177.70±1.13	7.80±1.15	14.55
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 2	188.32±0.51	175.00±1.40	175.65±1.53	11.89±1.25	11.58
ล้างครั้งที่ 3	186.11±8.37	175.61±2.25	176.95±3.05	8.37±3.21	36.60
แช่เหล็ก (II) กลับครั้งที่ 3	186.38±0.68	174.29±2.26	174.98±3.13	12.22±3.06	27.50