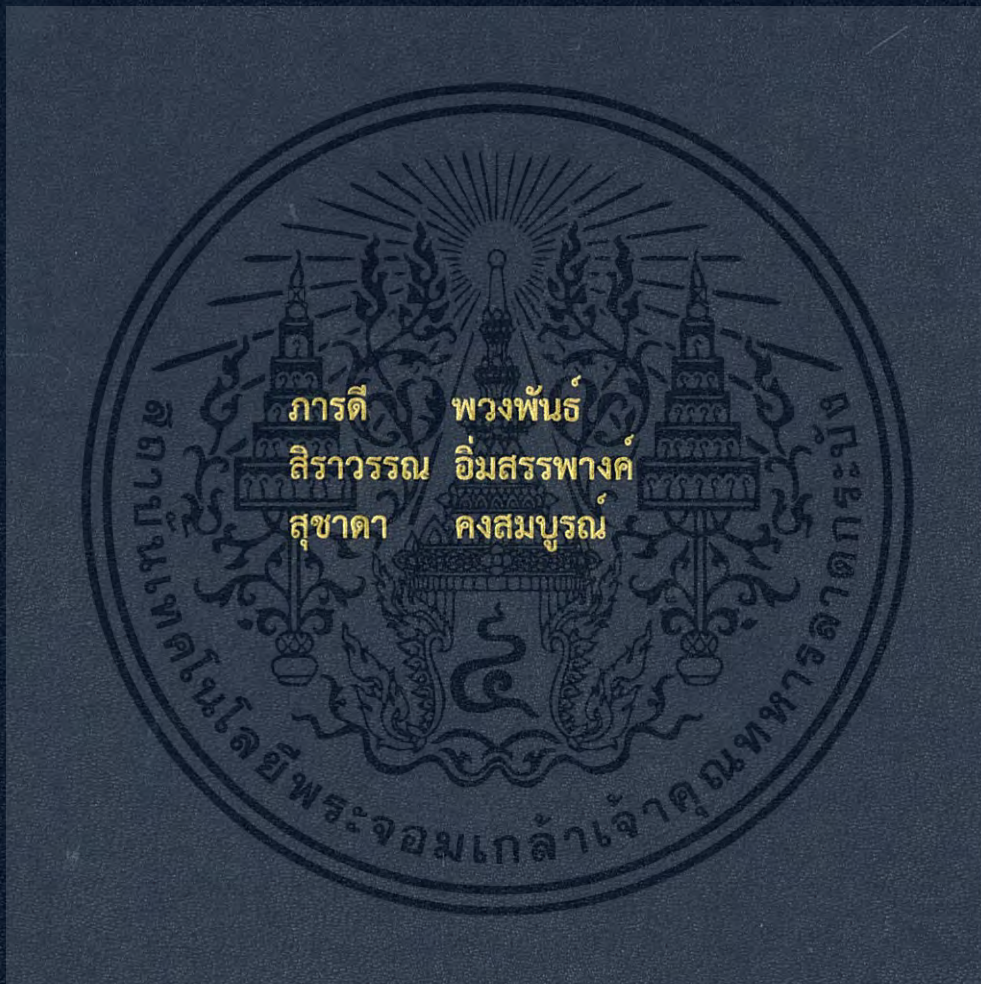


การวิเคราะห์เหล็กในน้ำโดยใช้กาวลาเท็กซ์เป็นตัวดูดซับสี

DETERMINATION OF IRON IN WATER USING
LATEX GLUE AS COLOR -ADSORBED ADSORBENT



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การวิเคราะห์เหล็กในน้ำโดยใช้กาวลาเท็กซ์เป็นตัวดูดซับสี

DETERMINATION OF IRON IN WATER USING
LATEX GLUE AS COLOR - ADSORBED ADSORBENT



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DETERMINATION OF IRON IN WATER USING
LATEX GLUE AS COLOR - ADSORBED ADSORBENT



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIALFULF OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การวิเคราะห์เหล็กในตัวอย่างน้ำโดยใช้กาวลาเท็กซ์เป็นตัวดูดซับสี
 Determination of Iron in Water Using Latex Glue as Color - Adsorbed Adsorbent

ชื่อนักศึกษา นางสาวภารดี พวงพันธ์ รหัสนักศึกษา 57050484
 นางสาวสิริวรรณ อิมสรพวงค์ รหัสนักศึกษา 57050529
 นางสาวสุชาดา คงสมบูรณ์ รหัสนักศึกษา 57050533

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
 ภาควิชา เคมี
 คณะ วิทยาศาสตร์
 มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
 ปีการศึกษา 2560
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต(เคมี
 อุตสาหกรรม)ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี	
ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.เสาวภาคย์ ชีราทรง	
กรรมการ	
ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิของคณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การวิเคราะห์เหล็กในตัวอย่างน้ำโดยใช้กาวลาเท็กซ์เป็นตัวดูดซับสี
ชื่อนักศึกษา	นางสาวภาวดี พวงพันธ์ รหัสนักศึกษา 57050484 นางสาวสิรารวรรณ อิ่มสรรพางค์ รหัสนักศึกษา 57050529 นางสาวสุชาดา คงสมบูรณ์ รหัสนักศึกษา 57050533
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในตัวอย่างน้ำโดยใช้กาวลาเท็กซ์เป็นตัวดูดซับสี โดยนำสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนมาปั่นกวนกับกาวจนเป็นเนื้อเดียวกัน และเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณที่เหมาะสมลงไป แล้วปั่นกวนต่อจนกาวจับตัวกันเป็นก้อนสีส้มซึ่งดูดซับสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนไว้ การวิเคราะห์สารละลายตัวอย่างปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร และ 25.00 มิลลิลิตร ทั้งสองสภาวะใช้ปริมาณกาว 2.00 กรัม และใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ 3.00 กรัม และ 6.00 กรัม ตามลำดับ บันทึกภาพก่อนกาวสีส้มด้วยเครื่องสแกน ใช้โปรแกรม ImageJTM บันทึกค่าความเข้มสี (RGB) และคำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสง การทดลองโดยใช้สารละลายตัวอย่างปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร และ 25.00 มิลลิลิตร ได้กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสงกับความเข้มข้นสารมาตรฐานเหล็ก ในช่วง 0.10 - 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ $ED = 67.694[Fe] + 7.1185$ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.9938 และ $ED = 63.645[Fe] + 26.444$ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.9975 ตามลำดับ การวิเคราะห์หาเหล็กในตัวอย่างน้ำดื่ม น้ำประปา และน้ำแร่ มีค่าร้อยละคืนกลับอยู่ในช่วง 50 - 110 %

คำสำคัญ : กาวลาเท็กซ์, ตัวดูดซับสี, เหล็ก (II), ออโทพีแนนโทรลีน

Title	Determination of Iron in Water Using Latex Glue as Color – Adsorbed Adsorbent		
Student	Miss Pharadee Phuangphan	Student ID 57050484	
	Miss Sirawan Imsanpang	Student ID 57050529	
	Miss Suchada Kongsomboon	Student ID 57050533	
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2017		
Advisor	Asst. Prof. Dr. Wiboon Praditweangkum		

Abstract

The utilizing of latex glue to adsorb color in determination of iron in water has been studied. The solution of Fe (II) - orthophenanthroline is together stirred with latex glue to be homogeneous and then sodium chloride is added with appropriate amount. The solution continuously stirred until a piece of glue with orange color of Fe (II) – orthophenanthroline complex is separated. The analysis procedure using sample solution 10.00 mL or 25.00 mL, latex glue 2.00 g is applied in both procedure while sodium chloride 3.00 g and 6.00 g is added in each procedure, respectively. The image of color – adsorbed glue is recorded using a scanner and the color intensity (RGB) could be evaluated with ImageJ™ program. The Euclidean Distance (ED) is calculated. The calibration curves plotted between Euclidean Distance and concentration of Fe (II) standard solution in range of 0.01-1.00 mg/L are linear with equations of $ED = 67.694[Fe] + 7.1185$; $r^2 = 0.9938$ and $ED = 63.645[Fe] + 26.444$; $r^2 = 0.9975$ for the procedures with sample solution 10.00 mL and 25.00 mL, respectively. The recovery in range of 50.00 - 110.00 % can be obtained for analysis of iron in drinking water, tap water and mineral water.

Keywords: latex glue, color - adsorbed adsorbent, Fe (II), orthophenanthroline

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ศึกษาการวิเคราะห์เหล็กในน้ำโดยใช้กาวลาเท็กซ์เป็นตัวดูดซับสี จัดทำขึ้นเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม แขนงเคมีวิเคราะห์ สามารถนำไปพัฒนาและใช้ประโยชน์ได้จริง

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีตามวัตถุประสงค์ของโครงการเนื่องจากได้รับความกรุณาจาก ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นเพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติได้อย่างถูกต้อง ตลอดจนการแก้ปัญหาระหว่างการดำเนินงาน ขอขอบคุณ ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี และ ผศ.ดร.เสาวภาคย์ อีราทรง ผู้สอบโครงการพิเศษที่กรุณาตรวจสอบและแนะนำแนวทางในการแก้ไขโครงการพิเศษนี้ให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ชั้น 5 อาคารวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ ชั้น 5 อาคารจุฬารัษฎาวิทยาลัยลักษณะ 1 ทุกท่านที่ช่วยเหลือในเรื่องอุปกรณ์ สารเคมี ตลอดจนเครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ ขอขอบคุณเพื่อนๆ และพี่ๆ สาขาเคมีอุตสาหกรรม แขนงเคมีวิเคราะห์ทุกคน ที่ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในการจัดทำโครงการพิเศษเล่มนี้

ภารตี

พวงพันธ์

สิรารรณ

อิมสรพวงค์

สุชาติดา

คงสมบุรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 เหล็ก (Iron).....	3
2.2 การเกิดสารเชิงซ้อนที่มีสีระหว่างออร์โทฟีแนนโทรลีนกับไอออนเหล็ก (II).....	6
2.3 กาวลาเท็กซ์.....	6
2.4 เทคนิคการตกตะกอนด้วยเกลือ.....	7
2.5 เครื่องสแกน (scanner).....	7
2.6 ระบบสี.....	9
2.6.1 ระบบสีแบบ RGB.....	9
2.6.2 ระบบสีแบบ CMYK.....	10
2.6.3 ระบบสีแบบ HSB.....	11
2.6.4 ระบบสีแบบ L*a*b.....	11
2.7 สมการ Euclidean distance.....	12
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	15
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์.....	15
3.1.1 สารเคมี.....	15
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	15
3.2 การเตรียมสารละลาย.....	16
3.3 วิธีดำเนินการทดลอง.....	17
3.3.1 การศึกษาชนิดของเกลือที่ใช้ในกระบวนการ Salting out.....	17
3.3.2 การศึกษาปริมาณกาวลาเท็กซ์ และปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์สำหรับ การดูดซับสีจากสารละลายปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร.....	17
3.3.3 การศึกษาปริมาณกาวลาเท็กซ์ และปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์สำหรับ การดูดซับสีจากสารละลายปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร.....	17
3.3.4 การศึกษาปริมาณกาวลาเท็กซ์ และปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์สำหรับ การดูดซับสีจากสารละลายปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร.....	18
3.3.5 การสร้างกราฟมาตรฐาน.....	18
3.3.5.1 กราฟมาตรฐานสำหรับการดูดซับสีของกาวลาเท็กซ์จาก สารละลายปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร.....	18
3.3.5.2 กราฟมาตรฐานสำหรับการดูดซับสีของกาวลาเท็กซ์จาก สารละลายปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร.....	19
3.3.6 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ.....	19
3.3.6.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำ.....	19
3.3.6.2 การวิเคราะห์โดยใช้ตัวอย่างน้ำปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร.....	19
3.3.6.3 การวิเคราะห์โดยใช้ตัวอย่างน้ำปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร.....	19
3.3.7 การคำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสง.....	20
3.3.8 การทดสอบความใช้ได้ของวิธี.....	20
3.3.8.1 ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of Detection: LOD).....	20
3.3.8.2 ขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation: LOQ).....	21
3.3.8.3 ความแม่นยำ (Accuracy).....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

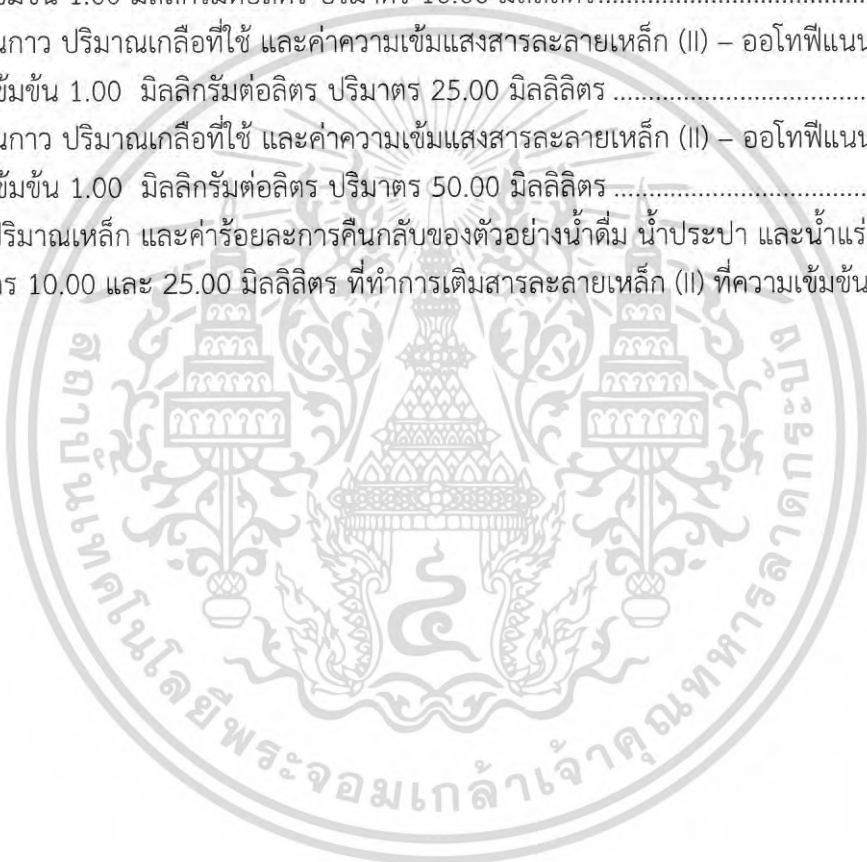
สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	23
4.1 การศึกษาชนิดของเกลือที่ใช้ในกระบวนการ Salting out.....	23
4.2 การศึกษาปริมาณกาวลาเท็กซ์ และปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์สำหรับการดูดซับสี จากสารละลายปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร	25
4.3 การศึกษาปริมาณกาวลาเท็กซ์ และปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์สำหรับการดูดซับสี จากสารละลายปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร	27
4.4 การศึกษาปริมาณกาวลาเท็กซ์ และปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์สำหรับการดูดซับสี จากสารละลายปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร	29
4.5 เปรียบเทียบการศึกษาปริมาณกาวลาเท็กซ์ และปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์สำหรับ การดูดซับสีจากสารละลายปริมาตร 10 25 และ 50 มิลลิลิตร.....	31
4.6 กราฟมาตรฐานสำหรับการดูดซับสีของกาวลาเท็กซ์จากสารละลายปริมาตร 10 มิลลิลิตร.....	32
4.7 กราฟมาตรฐานสำหรับการดูดซับสีของกาวลาเท็กซ์จากสารละลายปริมาตร 25 มิลลิลิตร.....	34
4.8 เปรียบเทียบกราฟมาตรฐานสำหรับการดูดซับสีของกาวลาเท็กซ์จากสารละลาย ปริมาตร 10 และ 25 มิลลิลิตร.....	36
4.9 ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of Detection: LOD).....	37
4.10 ขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation: LOQ).....	37
4.11 การศึกษาร้อยละการคืนกลับสำหรับการดูดซับสีจากสารละลายปริมาตร 10 มิลลิลิตร	37
4.12 การศึกษาร้อยละการคืนกลับสำหรับการดูดซับสีจากสารละลายปริมาตร 25 มิลลิลิตร	37
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	40
5.1 สรุปผลการทดลอง	40
5.2 ข้อเสนอแนะ	40
เอกสารอ้างอิง	41
คำรับรองเล่มโครงงานพิเศษ.....	44

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภค โดยองค์การอนามัยโลก พ.ศ. 2539	4
2.2 คุณภาพหรือมาตรฐานน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 256) พ.ศ. 2545 เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 4).....	5
4.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของกาว	23
4.2 ปริมาณกาว ปริมาณเกลือที่ใช้ และค่าความเข้มแสงสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร.....	26
4.3 ปริมาณกาว ปริมาณเกลือที่ใช้ และค่าความเข้มแสงสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร	28
4.4 ปริมาณกาว ปริมาณเกลือที่ใช้ และค่าความเข้มแสงสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร	30
4.5 แสดงปริมาณเหล็ก และค่าร้อยละการคืนกลับของตัวอย่างน้ำดื่ม น้ำประปา และน้ำแร่ที่ ปริมาตร 10.00 และ 25.00 มิลลิลิตร ที่ทำการเติมสารละลายเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างๆ	38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปลูกภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของสารเชิงซ้อนของเหล็กกับอโทพีแนนโทรลีน.....	6
2.2 โครงสร้างทางเคมีของโพลีไวนิลอะซิเตต.....	7
2.3 แสดงกระบวนการการตกตะกอนด้วยเกลือ.....	7
2.4 เครื่องสแกนประเภท Flatbed scanner.....	8
2.5 ภาพแสดงแถบสีของระบบ RGB.....	10
2.6 ภาพแสดงแถบสีของระบบ CMYK.....	10
2.7 ภาพแสดงแถบสี HSB.....	11
2.8 ภาพแสดงระบบสี $L^* a^* b^*$	12
4.1 เปรียบเทียบลักษณะก่อนการที่ปริมาณ 2.00 กรัมต่อเกลือ 3.00 กรัม โดยใช้ (ก)เกลือแอมโมเนียมซัลเฟต (ข)เกลือบอแรกซ์ (ค)เกลือโซเดียมคลอไรด์.....	24
4.2 แสดงส่วนของกาวที่แยกสารละลายเหล็ก (II) – อโทพีแนนออกมาจากน้ำที่ 10 มิลลิลิตร ของ (ก)กาว 2.00 กรัม (ข)กาว 4.00 กรัม (ค)กาว 6.00 กรัม (ง)กาว 8.00 กรัม และ(จ)กาว 10.00 กรัม.....	25
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง (Euclidean Distance) กับปริมาณกาว ทดลองกับสารละลายเหล็ก (II) - อโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร.....	26
4.4 แสดงส่วนของกาวที่แยกสารละลายเหล็ก (II) – อโทพีแนนโทรลีนออกมาจากน้ำที่ 25 มิลลิลิตรของ (ก)กาว 2.00 กรัม (ข)กาว 4.00 กรัม (ค)กาว 6.00 กรัม (ง)กาว 8.00 กรัม และ(จ)กาว 10.00 กรัม.....	27
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง (Euclidean Distance) กับปริมาณกาว ทดลองกับสารละลายเหล็ก (II) - อโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร.....	28
4.6 แสดงส่วนของกาวที่แยกสารละลายเหล็ก (II) – อโทพีแนนโทรลีนออกมาจากน้ำที่ 25 มิลลิลิตรของ (ก)กาว 2.00 กรัม (ข)กาว 4.00 กรัม (ค)กาว 6.00 กรัม (ง)กาว 8.00 กรัม และ(จ)กาว 10.00 กรัม.....	29
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง (Euclidean Distance) กับปริมาณกาวทดลองกับ สารละลายเหล็ก (II) - อโทพีแนนโทรลีน เข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงกับปริมาณกาวทดลองกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10 25 และ 50 มิลลิลิตร.....	31
4.9 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนทโวลีนและค่าความเข้มแสง (Euclidean Distance) ที่ปริมาณสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนทโวลีน 10 มิลลิลิตร.....	32
4.10 แสดงส่วนของกาวที่แยกสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนทโวลีนออกมาจากน้ำของกราฟมาตรฐานที่ 10 มิลลิลิตรของ (ก)ความเข้มข้นที่ 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ข)ความเข้มข้นที่ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร (ค)ความเข้มข้นที่ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ(ง)ความเข้มข้นที่ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	33
4.11 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนทโวลีนและค่าความเข้มแสง (Euclidean Distance) ที่ปริมาณสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนทโวลีน 25 มิลลิลิตร.....	34
4.12 แสดงส่วนของกาวที่แยกสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนทโวลีนออกมาจากน้ำของกราฟมาตรฐานที่ 25 มิลลิลิตรของ (ก)ความเข้มข้นที่ 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ข)ความเข้มข้นที่ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร (ค)ความเข้มข้นที่ 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร (ง)ความเข้มข้นที่ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ(จ)ความเข้มข้นที่ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	35
4.13 เปรียบเทียบกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนทโวลีนและค่าความเข้มแสง (Euclidean Distance) ที่ปริมาตร 10 และ 25 มิลลิลิตร.....	36
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารละลายเหล็ก และค่าความเข้มแสง (Euclidean Distance).....	39

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
ED	Euclidean Distance
N.D	Non Detection
RGB	ระบบสีที่ประกอบด้วยแม่สี 3 สีคือ แดง (Red) เขียว (Green) และน้ำเงิน (Blue)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ปัจจุบันโลหะหนักอย่างเหล็ก เป็นวัตถุดิบที่ถูกนำมาใช้ในหลายภาคส่วน เช่น ทางด้านอุตสาหกรรมใช้ในกระบวนการผลิต ด้านการเกษตรใช้เป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลงและปุ๋ย ด้านการแพทย์เป็นส่วนผสมของยาหรืออุปกรณ์ทางการแพทย์ เป็นต้น จากกระบวนการผลิตเหล่านี้ได้ปล่อยน้ำลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้มีปริมาณเหล็กในแหล่งน้ำเกินมาตรฐาน จึงเป็นปัจจัยทำให้เกิดความเสื่อมโทรมของสิ่งแวดล้อมและส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในการดำรงชีพ เมื่อนำน้ำเหล่านี้มาใช้ในการอุปโภคบริโภค

การวิเคราะห์เหล็กในน้ำตามมาตรฐานการวิเคราะห์ ASTM สามารถทำได้ด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรสโกปี และวิธีสเปกโทรโฟโตเมทรี ซึ่งมีความยุ่งยากซับซ้อน ต้องอาศัยความชำนาญ และเครื่องมือที่ใช้มีราคาที่สูง โดยปฏิกิริยาที่ใช้อโทพีแนนโทรลีนเพื่อตรวจวัดสารตัวอย่างที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบและเกิดเป็นสารเชิงซ้อนสีแดงส้ม ปฏิกิริยาดังกล่าวนิยมใช้ในการตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีวิเคราะห์หาเหล็กในน้ำ โดยอาศัยปฏิกิริยาระหว่างเหล็ก (II) กับอโทพีแนนโทรลีน แล้วทำการดูดซับสีส้มของสารเชิงซ้อนโดยใช้กาวลาเท็กซ์และอาศัยกระบวนการ salting out เพื่อแยกก่อนการวัด โดยใช้เครื่องสแกนบันทึกภาพก่อนการวัด และนำมาตรวจวัดด้วยโปรแกรม ImageJTM

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์เหล็กในน้ำโดยใช้กาวลาเท็กซ์เป็นตัวดูดซับสี

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานมีดังต่อไปนี้

- 1.3.1 สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- 1.3.2 ศึกษาหลักการใช้กาวลาเท็กซ์เป็นตัวดูดซับสีสารละลายเชิงซ้อนระหว่างเหล็ก (II) กับอโทพีแนนโทรลีน
- 1.3.3 ศึกษาหลักการและสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ salting out เพื่อแยกกาวลาเท็กซ์ที่ดูดซับสีสารเชิงซ้อนระหว่างเหล็ก (II) กับอโทพีแนนโทรลีน
- 1.3.4 นำมาประยุกต์ในการวิเคราะห์เหล็กในตัวอย่างน้ำ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้วิธีการวิเคราะห์เหล็กในตัวอย่างน้ำโดยใช้กาวลาเท็กซ์เป็นตัวดูดซับสี และใช้กระบวนการ salting out เพื่อแยกก่อนการสี นำไปตรวจวัดด้วยวิธีคัลเลอริเมทรี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เหล็ก [1]

เหล็กคือ ธาตุโลหะมีชื่อละตินว่า "Ferum" มีอักษรย่อ "Fe" เป็นสัญลักษณ์ของธาตุเหล็ก ประกอบด้วยอะตอมที่มีค่าเลขอะตอมเท่ากับ 26 มีวาเลนซ์เท่ากับ 2 และ 3 และมีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 66.85

เหล็กที่ปรากฏในธรรมชาติในสถานะอิสระมีปริมาณน้อย เหล็กที่ปรากฏอยู่ในโลกส่วนใหญ่รวมตัวอยู่กับธาตุอื่นเป็นสารประกอบ เช่น ในแร่แมกเนไตท์ (Fe_3O_4) แร่เฮมาไตท์สีแดง (Fe_2O_3) แร่ลิโมนไนท์ ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) แร่ลิโคไรท์ (FeCO_3) แร่ไพไรไรท์ (FeS_2) เป็นต้น สินแร่เหล็ก (Iron Ore) เหล่านี้มีอุดมสมบูรณ์และกระจายกันอยู่ตามที่ต่างๆ ทั่วโลก เช่น อยู่ตามชั้นหิน และชั้นดินต่างๆ เป็นต้น

เหล็กเป็นแร่ธาตุที่มีความจำเป็นต่อร่างกายเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากมีส่วนเกี่ยวข้องในปฏิกิริยาทางชีวเคมีจำนวนมาก นอกจากนี้ยังเป็นองค์ประกอบสำคัญของฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดงอีกด้วย การขาดเหล็กจึงส่งผลกระทบต่อการทำงานของร่างกาย ตลอดจนอาจทำให้เกิดภาวะโลหิตจางได้อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาที่เหล็กมีบทบาทสำคัญในการเกิดอนุมูลอิสระ ปริมาณเหล็กในร่างกายที่มีมากเกินไปเกินความต้องการอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์และเนื้อเยื่อได้เช่นเดียวกัน ด้วยเหตุนี้ร่างกายจึงจำเป็นต้องมีกลไกการควบคุมสมดุลเหล็กที่มีประสิทธิภาพเพื่อรักษาระดับธาตุเหล็กให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

เนื่องจากเหล็กสามารถละลายน้ำได้ดีในที่ ๆ มีออกซิเจน แต่เมื่อถูกกับอากาศส่งผลให้เกิดตกตะกอนเป็นสีน้ำตาลแดง มีกลิ่นเฉพาะตัว และมีรสที่ไม่พึงประสงค์ ทำให้เป็นที่น่ารังเกียจของผู้บริโภค ทำให้เกิดการอุดตันของท่อน้ำ เกิดปัญหาในการชักล้าง ทำให้สุขภัณฑ์เกิดเป็นคราบสนิม ซึ่งเมื่อผู้ใช้น้ำได้รับปริมาณเหล็กมากเกินไปอาจก่อให้เกิดผลเสียและอันตรายต่อผู้บริโภค หน่วยงานต่างๆ จึงได้มีการกำหนดมาตรฐานทางเคมีของน้ำไว้ ดังแสดงในตารางที่ 2.1-2.2

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภค โดยองค์การอนามัยโลก พ.ศ. 2539 [2]

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วยวัด	เกณฑ์ที่กำหนด
ความเป็นกรด-ด่าง	-	-
สี	แพลตตินัมโคบอลต์	ไม่เกิน 15
ความขุ่น	เอ็นทียู	ไม่เกิน 5
สารละลายทั้งหมดที่เหลือจากการระเหย	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 1,000
ความกระด้าง	มิลลิกรัมต่อลิตร	-
เหล็ก	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.3
แมงกานีส	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.1
ทองแดง	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 1.0
สังกะสี	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 3.0
ตะกั่ว	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.01
โครเมียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.05
แคดเมียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.003
สารหนู	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.01
ปรอท	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.001
ซัลเฟต	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 250
คลอไรด์	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 250
ไนเตรท	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 50
ฟลูออไรด์	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 1.5
แบคทีเรียประเภทโคลิฟอร์ม	เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิกรัม	ไม่พบ
เทอร์โมโตเลอแรนท์โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิกรัม	ไม่พบ
แบเรียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.7
ฟีนอล	มิลลิกรัมต่อลิตร	-
ซลิเนียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.01
เงิน	มิลลิกรัมต่อลิตร	-
อะลูมิเนียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.2
เอ บี เอส (Alkylbenzene Sulfonate)	มิลลิกรัมต่อลิตร	-
ไซยาไนด์	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.07
นิกเกิล	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

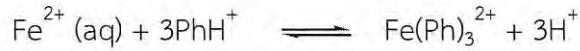
ตารางที่ 2.2 คุณภาพหรือมาตรฐานน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 256) พ.ศ. 2545 เรื่อง น้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (ฉบับที่ 4) [2]

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วยวัด	เกณฑ์ที่กำหนด
ความเป็นกรด-ด่าง	-	6.5-8.5
สี	แพลตตินัมโคบอลท์	ไม่เกิน 20
ความขุ่น	เอ็นทียู	ไม่เกิน 5.0
ความกระด้างทั้งหมด	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 100.0
เหล็ก	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.3
แมงกานีส	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.05
ทองแดง	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 1.0
สังกะสี	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 5.0
ตะกั่ว	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.05
โครเมียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.05
แคดเมียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.005
สารหนู	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.05
ปรอท	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.002
ซัลเฟต	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 250.0
คลอไรด์	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 250.0
ไนเตรท	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 4.0 (asN)
ฟลูออไรด์	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.7
แบคทีเรียประเภทโคลิฟอร์ม	เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิกรัม	น้อยกว่า 2.2
เทอร์โมไซเลอแรนท์โคลิฟอร์มแบคทีเรีย	เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิกรัม	ไม่พบ
แบเรียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 1.0
ฟีนอล	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.001
ซูลิเนียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.01
เงิน	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.05
อะลูมิเนียม	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.2
เอ บี เอส (Alkylbenzene Sulfonate)	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.2
โซเดียมไนต์	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกิน 0.1
นิกเกิล	มิลลิกรัมต่อลิตร	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การเกิดสารเชิงซ้อนที่มีสีระหว่างอโทพีแนนโทรลีนกับไอออนเหล็ก (II) [3]

การหาปริมาณของเหล็กสามารถทำได้โดยการทำให้เหล็กเกิดสารเชิงซ้อนที่มีสีแดงส้มระหว่างไอออนเหล็ก (II) ร่วมกับอโทพีแนนโทรลีน (orthophenanthroline) ที่เรียกว่าสารเชิงซ้อนเหล็ก ฟีนแอนโทรลีน ซึ่งสามารถแสดงการเกิดปฏิกิริยาได้ดังรูปที่ 2.1



สูตรโครงสร้างของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) อโทพีแนนโทรลีน เป็นดังรูปที่ 2.1



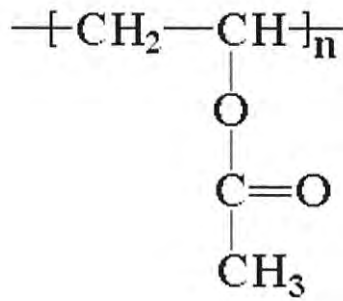
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของสารเชิงซ้อนของเหล็กกับอโทพีแนนโทรลีน [4]

ค่าอัตราเกิด (K_f) ของปฏิกิริยานี้มีค่าเท่ากับ 2.5×10^6 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สารเชิงซ้อนจะเกิดขึ้นในช่วง pH ช่วงระหว่าง 3 ถึง 9 โดยทั่วไปนิยมให้ pH ที่ประมาณ 3.5 เพื่อป้องกันการตกตะกอนของเกลือเหล็ก เช่น เกลือฟอสเฟต เป็นต้น ในการทำให้เกิดสารเชิงซ้อนกับฟีนแอนโทรลีน จะต้องทำการรีดิวซ์เหล็กทั้งหมดในสารละลายให้เป็นไอออนเหล็ก(II) เสียก่อนด้วยไฮดรอกซีลามีนไฮโดรคลอไรด์ (hydroxylamine hydrochloride) สีของสารเชิงซ้อนระหว่างไอออนเหล็ก (II) กับฟีนแอนโทรลีนจะเสถียรได้นาน

2.3 กาวลาเท็กซ์ [5]

กาวลาเท็กซ์มีส่วนประกอบสำคัญคือ โพลีไวนิลอะซิเตต (poly(vinyl acetate), PVAC) ดังแสดงในรูป 2.2 ซึ่งเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดหนึ่งที่มีสายโซ่ยาว ละลายน้ำได้ไม่ติดัก เมื่ออยู่ในน้ำจึงอยู่ในลักษณะของสารอิมัลชัน (emulsion) คือเป็นอนุภาคเล็กๆ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10^{-7} ถึง 10^{-4} เซนติเมตร กระจายอยู่ทั่วไปในน้ำ ขนาดของอนุภาคในสารอิมัลชันมีขนาดใหญ่เกินไปกว่าที่จะทำให้แสงส่องผ่านไปได้ ดังนั้นเมื่อมีแสงตกกระทบกับอนุภาคของกาวจึงเกิดการหักเหและสะท้อนกลับ ทำให้กาวลาเท็กซ์มีลักษณะเป็นสีขาวขุ่นคล้ายน้ำนม หรือน้ำยางซึ่งมีอนุภาคเล็กๆของโปรตีนและเนื้อยางกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำ แต่เมื่อกาวลาเท็กซ์แห้งก็จะมีลักษณะใสเหมือนกาวใส

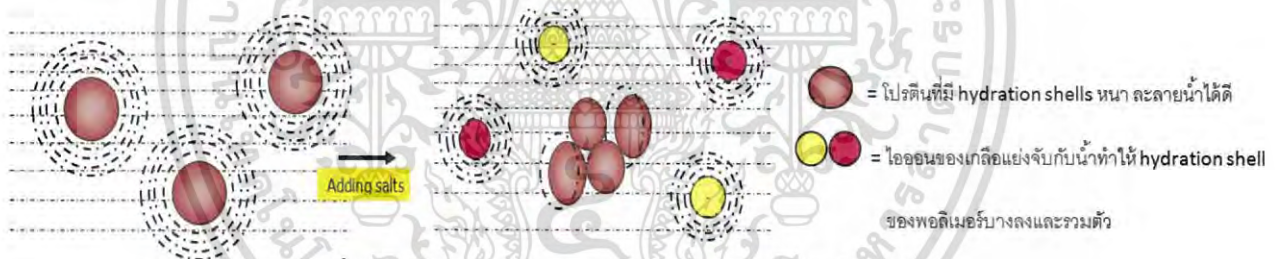
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของโพลีไวนิลอะซิเตต [5]

2.4 เทคนิคการตกตะกอนด้วยเกลือ [6]

เทคนิคการตกตะกอนด้วยเกลือ (Salting out) คือวิธีการแยกโปรตีนซึ่งละลายอยู่ในตัวทำละลาย โดยการเติมเกลืออนินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูง ๆ จนถึงสารละลายเกลืออิ่มตัว เมื่อแรกโปรตีนละลายอยู่ในน้ำโมเลกุลของโปรตีนจะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำ แต่เมื่อเติมเกลืออนินทรีย์ เช่น สารละลายโซเดียมคลอไรด์ หรือสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟต อิ่มตัวลงไป โมเลกุลของน้ำก็จะเข้ามาล้อมรอบโมเลกุลของเกลืออนินทรีย์แทนโมเลกุลของโปรตีน จึงทำให้โปรตีนสามารถจับตัวกันเป็นก้อน หรือที่เรียกว่าการตกตะกอนออกมา



รูปที่ 2.3 แสดงกระบวนการการตกตะกอนด้วยเกลือ [7]

2.5 เครื่องสแกน (scanner) [8]

เครื่องสแกนคือ อุปกรณ์ต่อเชื่อมคอมพิวเตอร์แบบกราฟิก ที่มีหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงภาพต้นฉบับ ให้เป็นข้อมูลเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในการแสดงผลที่หน้าจอ ทำให้สามารถแก้ไข ตกแต่งเพิ่มเติม และจัดเก็บข้อมูลได้ ตัวอย่างเครื่องสแกนแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เครื่องสแกนประเภท Flatbed scanner [9]

หลักการทำงานของเครื่องสแกน

เครื่องสแกน มีหลักการทำงาน คือ เครื่องอ่านภาพจะทำการอ่านภาพโดยอาศัยการสะท้อนหรือการส่องผ่านของแสง กับภาพต้นฉบับที่ทึบแสง หรือโปร่งแสง ให้ตกกระทบกับแถบของอุปกรณ์ไวแสง (photosensitive) ซึ่งมีชื่อในทางเทคนิคว่า Charge-Coupled Device (CCD) ตัว CCD จะรับแสงดังกล่าวลงไปเก็บไว้ในเส้นเล็กของเซลล์ และจะแปลงคลื่นแสงของแต่ละเซลล์เล็กๆ ให้กลายเป็นคลื่นความต่างศักย์ ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามอัตราส่วนของระดับความเข้มของแสงแต่ละจุด

ตัวแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล หรือ ADC : Analog to Digital Converter จะแปลงคลื่นความต่างศักย์ให้เป็นข้อมูลในรูปแบบที่คอมพิวเตอร์เข้าใจ ในเวลาเดียวกันโปรแกรมในการอ่านจะควบคุมการทำงานของเครื่องอ่านภาพให้รับข้อมูลเข้า และจัดรูปแบบเป็นแฟ้มข้อมูลของภาพในระบบคอมพิวเตอร์ต่อไป

ภาพจากการสแกน

ภาพในคอมพิวเตอร์จะอยู่ในรูปแบบดิจิทัล คอมพิวเตอร์แทนส่วนเล็กๆ ของภาพเรียกว่า 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 และน้ำเงิน ส่วนละ 8 บิต เมื่อรวมทั้ง 3 ส่วนเข้ากันแล้วจะสามารถแสดงสีได้ถึง 16.7 ล้านสี

การอ่านภาพสี CCD ของเครื่องอ่านภาพจะมีการประมวลผลโดยอาศัยโครงสร้างของแม่สี 3 สี คือ แดง เขียว และน้ำเงิน ในทางเทคนิคจะเรียกว่า RGB ในโครงสร้างสีแบบ RGB นี้แต่ละสีที่เกิดขึ้นจะประกอบด้วยแม่สีทั้ง 3 สีรวมอยู่ด้วยกันในค่าที่ต่างกันไป สีดำเกิดขึ้นจากการไม่มีแสงสีขาว ในทำนองเดียวกันสีขาวก็เกิดจากแสงแม่สีทั้ง 3 อยู่ในระดับสูงสุดเท่าๆ กัน (100 เปอร์เซ็นต์ของ RGB) และระดับแสงเท่าๆ กันของทั้ง 3 แม่สีจะเกิดแสงสีเทา (gray scale)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของเครื่องสแกน

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องสแกนคือแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งจะทำหน้าที่ฉายแสงไปที่กระดาษที่วางอยู่บนกระจก พื้นที่สีขาวที่ฝาปิดจะช่วยให้การสะท้อนของแสงดีขึ้น เมื่อสั่งให้เครื่องสแกนทำงาน มอเตอร์จะขับเคลื่อนหัวสแกนผ่านใต้กระดาษ ในระหว่างที่เคลื่อนที่นี้หัวสแกนจะจับแสงที่สะท้อนมาจากแต่ละพื้นที่ของกระดาษด้วย ซึ่งพื้นที่นี้จะมีขนาดประมาณ $1/90,000$ ตารางนิ้ว แสงจากกระดาษจะสะท้อนผ่านระบบกระจกเพื่อทำให้ลำแสงนั้นได้ไปในทิศทางที่เหมาะสมไปยังเลนส์ เลนส์จะรวมแสงเพื่อไปผ่านไดโอดแสง เพื่อแปลงข้อมูลแสงนี้ให้อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้า ถ้ามีแสงผ่านไปที่ไดโอดมากปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ได้ก็จะมากขึ้น

ถ้าเป็นเครื่องสแกนแบบสี แสงที่สะท้อนนี้จะผ่านไปยังฟิลเตอร์แดง เขียว หรือน้ำเงินที่อยู่หน้าไดโอด ADC จะเก็บข้อมูลแอนะล็อกแต่ละส่วนนี้ไว้ ซึ่งข้อมูลแต่ละส่วนนี้เรียกว่า พิกเซล ซึ่งในความยาวหนึ่งนิ้วจะประกอบด้วยพิกเซลประมาณ 300-1,200 พิกเซล

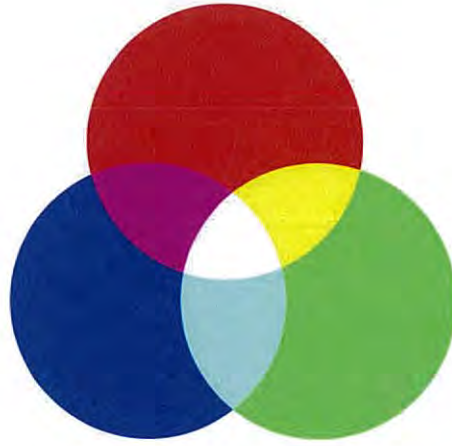
การเคลื่อนที่ของเครื่องสแกนบางประเภท ตัวกระดาษไม่เคลื่อนที่ สิ่งที่เคลื่อนที่คือ หัวสแกน แต่ในเครื่องสแกนระดับสูงหัวอ่านจะไม่เคลื่อนที่ จะมีตัวหมุนกระดาษเข้าไป ด้วยวิธีนี้ทำให้คุณภาพที่ได้จากการสแกนแบบนี้สูงกว่า

2.6 ระบบสี [10]

สีที่เราเห็นเกิดจากการผสมกันของแม่สีเพียง 3 สี คือ แดง เขียวและน้ำเงิน ซึ่งการผสมสีเหมาะกับการใช้งานกราฟิกในคอมพิวเตอร์ที่มีรายละเอียดหลายประการและเป็นลักษณะเฉพาะระบบสีของคอมพิวเตอร์จะเกี่ยวข้องกับการแสดงผลแสงที่แสดงบนจอคอมพิวเตอร์ โดยมีลักษณะการแสดงผลถ้าไม่แสดงผลสีใดเลย บนจอภาพจะแสดงเป็น "สีดำ" หากสีทุกสีแสดงผลพร้อมกันจะเห็นสีบนจอภาพเป็น "สีขาว" ส่วนสีอื่นๆ เกิดจากการแสดงสีหลายๆ สี แต่มีค่าแตกต่างกัน การแสดงผลมีด้วยกันหลายระบบแต่นิยมใช้มีด้วยกัน 4 ระบบ คือ

2.6.1 ระบบสีแบบ RGB [10]

เป็นระบบสีที่ประกอบด้วยแม่สี 3 สีคือ แดง (Red) เขียว (Green) และ น้ำเงิน (Blue) ในสัดส่วนความเข้มข้นที่แตกต่างกัน เมื่อนำมาผสมกันทำให้เกิดสีต่างๆ บนจอคอมพิวเตอร์ได้มากถึง 16.7 ล้านสี ซึ่งใกล้เคียงกับสีที่ตาเรามองเห็นได้โดยปกติ และจุดที่สีทั้งสามสีรวมกันจะกลายเป็นสีขาว นิยมเรียกการผสมสีแบบนี้ว่าแบบ "Additive Color" หรือการผสมสีแบบบวก ซึ่งเป็นการผสมสีขั้นที่ 1 หรือถ้านำเอาสีสามสี คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน มาผสมกันทำให้เกิดสีใหม่ ภาพแสดงแถบสีของระบบ RGB ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ภาพแสดงแถบสีของระบบ RGB [11]

2.6.2 ระบบสีแบบ CMYK [10]

เป็นระบบสีที่ใช้กับเครื่องพิมพ์ที่พิมพ์ออกทางกระดาษ ซึ่งประกอบด้วยสีพื้นฐาน คือ สีฟ้า (Cyan) สีม่วงแดง (Magenta) สีเหลือง (Yellow) และเมื่อนำสีทั้ง 3 สีมาผสมกันจะเกิดสีเป็นสีดำ (Black) แต่จะไม่ดำสนิทเนื่องจากหมึกพิมพ์มีความไม่บริสุทธิ์ โดยเรียกการผสมสีทั้ง 3 สีข้างต้นว่า “Subtractive Color” หรือการผสมสีแบบลบ หลักการเกิดสีของระบบนี้คือ หมึกสีหนึ่งจะดูดกลืนสีจากสีหนึ่งแล้วสะท้อนกลับออกมาเป็นสีต่างๆ เช่น สีฟ้าดูดกลืนสีม่วงแล้วสะท้อนออกมาเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งจะสังเกตได้ว่าสีที่สะท้อนออกมาจะเป็นสีหลักของระบบ RGB การเกิดสีนี้ในระบบนี้จึงตรงข้ามกับการเกิดสีในระบบ RGB ภาพแสดงแถบสีของระบบ CMYK ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ภาพแสดงแถบสีของระบบ CMYK [11]

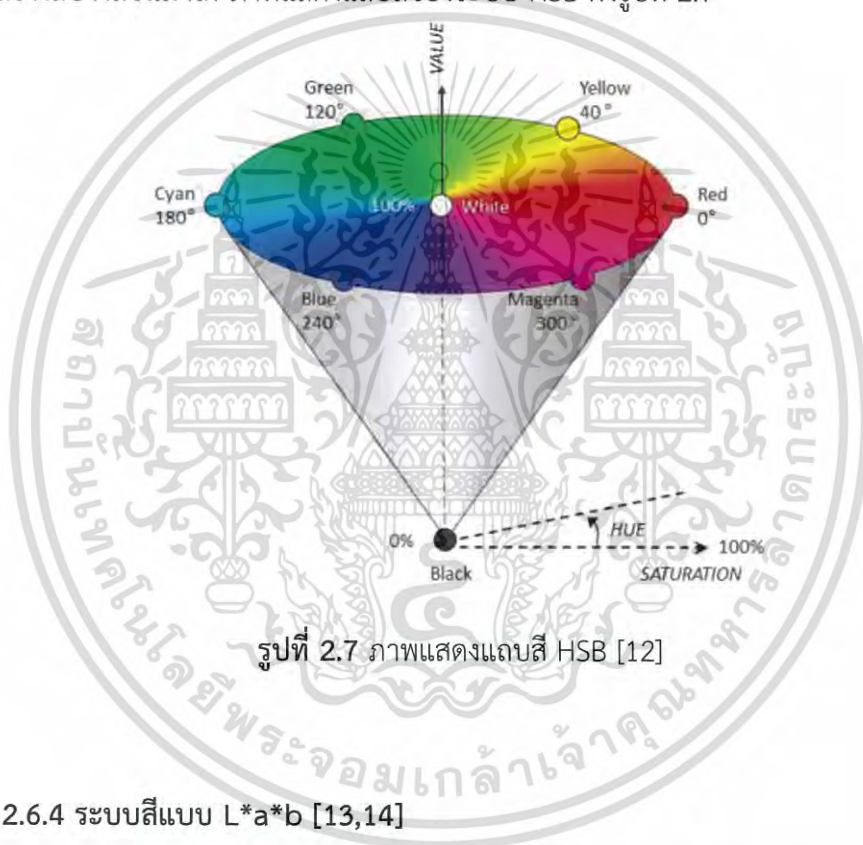
2.6.3 ระบบสีแบบ HSB [10]

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

Saturation คือ ความสดของสี โดยค่าความสดของสีจะเริ่มที่ 0 ถึง 100 ถ้ากำหนด Saturation ที่ 0 สีจะมีความสดน้อย แต่ถ้ากำหนดที่ 100 สีจะมีความสดมาก

Brightness คือ ระดับความสว่างของสี โดยค่าความสว่างของสีจะเริ่มที่ 0 ถึง 100 ถ้ากำหนดที่ 0 ความสว่างจะน้อยซึ่งจะเป็นสีดำ แต่ถ้ากำหนดที่ 100 สีจะมีความสว่างมากที่สุด

โดยระบบสี HSB เป็นระบบสีที่ใกล้เคียงกับการมองเห็นและรับรู้ของมนุษย์มากที่สุด แต่ระบบสีนี้จะมีปัญหาในตอนที่น่าไปใช้ในงานพิมพ์ เนื่องจากการสังเคราะห์สีของเครื่องพิมพ์ไม่สามารถสร้างสีบางสีขึ้นมาได้ ภาพแสดงแถบสีของระบบ HSB ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ภาพแสดงแถบสี HSB [12]

2.6.4 ระบบสีแบบ L*a*b [13,14]

เป็นค่าสีที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อให้เป็นสีมาตรฐานกลางของการวัดสีทุกรูปแบบ ครอบคลุมทุกสีใน RGB และ CMYK และใช้ได้กับสีที่เกิดจากอุปกรณ์ทุกอย่างไม่ว่าจะเป็นจอคอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ เครื่องสแกนและอื่นๆ ส่วนประกอบของโหมดสีนี้ได้แก่

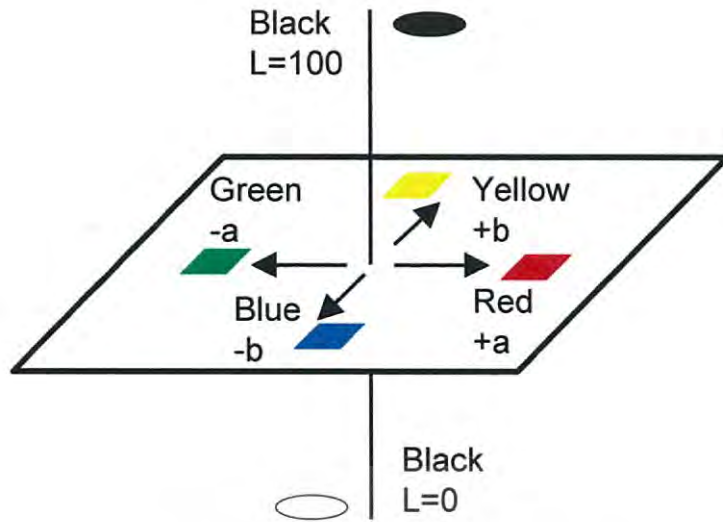
Luminance (L) เป็นการกำหนดความสว่างซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ถ้ากำหนดที่ 0 จะกลายเป็นสีดำ แต่ถ้ากำหนดที่ 100 จะกลายเป็นสีขาว

A เป็นค่าของสีที่ไล่จากสีเขียวไปสีแดง

B เป็นค่าของสีที่ไล่จากสีน้ำเงินไปสีเหลือง

โดยระบบสี L * a * b เป็นระบบแทนค่าสีที่มักใช้สำหรับตัวอย่างสีบนวัสดุพิมพ์ประเภทสะท้อนแสง เช่น กระดาษ ผ้า Photo CD เป็นต้น ภาพแสดงแถบสีของระบบ L * a * b ดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ภาพแสดงระบบสี $L * a * b$ [15]

2.7 สมการ Euclidean distance [16]

Euclidean distance (ED) คือความแตกต่างของความเข้มแสง หาได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า “สมการเชิงเส้นแบบยูคลิด” มีสมการดังนี้

$$ED = \sqrt{(\Delta R)^2 + (\Delta G)^2 + (\Delta B)^2} \quad (2.1)$$

โดยที่ Δ คือ ผลต่างของแสงที่จุด Blank กับความเข้มแสง ณ จุดที่เกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มชั้นต่างๆ

R คือ ค่าความเข้มแสงสีแดง

G คือ ค่าความเข้มแสงสีเขียว

B คือ ค่าความเข้มแสงสีน้ำเงิน

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

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นฤชิต ไพโรจน์ [17] ศึกษาชุดทดสอบแบบจุดโดยใช้โซล-เจลเจือออปโทไฟแนนโทลีนสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณของเหล็ก (II) โดยใช้เครื่องสแกนเป็นเครื่องมือตรวจวัด สามารถเตรียมได้โดยหยดสารละลายโซล-เจลเจือออปโทไฟแนนโทลีนจำนวน 10.00 ไมโครลิตรลงบนกระดาษกรอง นำสารละลายตัวอย่างมาเติมด้วยสารละลายไฮดรอกไซด์ของไฮโดรคลอไรด์ ($\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$) แล้วนำสารละลายผสมดังกล่าวจำนวน 10.00 ไมโครลิตรหยดลงบริเวณจุดทดสอบ จะเกิดสารเชิงซ้อนสีแดง ส้มระหว่างไอออนเหล็ก (II) กับออปโทไฟแนนโทลีน จากนั้นตรวจวัดจุดสีด้วยเครื่องสแกน ภาพสแกนที่ได้ในระบบดิจิทัลจะบันทึกเป็นค่าความเข้มแสงคือ แสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน (RGB) ประมวลผลความเข้มสีด้วยโปรแกรม Image JTM สร้างกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างความเข้มแสง ซึ่งคำนวณจากสมการเชิงเส้นแบบยูคลิด (Euclidean Distance; ED) หรือระหว่างค่าการสะท้อนแสง (Reflectance) เทียบกับระดับความเข้มข้นของไอออนเหล็ก (II) ในช่วง 10.00 – 100.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้สมการเชิงเส้นตรงคือ $y = 0.00139x + 0.02860$, ($r^2 = 0.9971$) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) เท่ากับ 0.48 – 1.65 เปอร์เซ็นต์ วิธีที่พัฒนานี้ นำมาทดสอบและประยุกต์ใช้วิเคราะห์หาปริมาณธาตุเหล็กในตัวอย่างยา เปรียบเทียบความแม่นยำกับวิธีอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรเมทรีโดยใช้ t-test พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($n=5$; $t_{คำนวณ} = 2.24$ และ $t_{ตาราง} = 2.27$)

ฉันทัญญพันธ์ อิศระบุตรจิตติกุล, พรทิพย์ ยศมา และ สุรียา นาคพลกรัง [18] ศึกษาการพัฒนาชุดทดสอบแบบจุดโซล-เจลเจือออปโทไฟแนนโทลีน สำหรับการตรวจวัดปริมาณเหล็ก (II) จุดรีเอเจนต์เตรียมได้โดยการหยดสารละลายโซล-เจลเจือออปโทไฟแนนโทลีน ความเข้มข้น 0.20 (%w/v) ปริมาณ 10.00 ไมโครลิตรลงบนกระดาษกรอง นำกระดาษทดสอบที่เตรียมได้ไปแช่ในสารละลายมาตรฐานหรือสารละลายตัวอย่างที่เจือจางในสารละลายไฮดรอกไซด์ของไฮโดรคลอไรด์ pH 4.5 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เป็นเวลา 60 นาที จะเกิดสารเชิงซ้อนสีแดงส้ม ระหว่างไอออนเหล็ก (II) กับออปโทไฟแนนโทลีนบนจุดทดสอบ บันทึกภาพจุดทดสอบด้วยเครื่องสแกน ประมวลผลความเข้มแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ด้วยโปรแกรม Image JTM และคำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสงจากสมการเชิงเส้นแบบยูคลิด (Euclidean Distance, ED) ได้กราฟมาตรฐานที่มีความเป็นเส้นตรงในช่วง 0.20 – 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้สมการเส้นตรงคือ $y = 74.679x + 3.2353$ ($R^2 = 0.9982$)

ฉันทัท วรชติ [19] ศึกษาการพัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษสำหรับวิเคราะห์เหล็ก โดยทำการเติมออปโทไฟแนนโทลีนเป็นส่วนผสมในสารละลายโซล-เจล แล้วหยดสารละลายนี้ 10 ไมโครลิตรบนกระดาษกรอง ตัดแผ่นกระดาษกรองเป็นรูปร่างกลมตามรอยขอบของสารละลายโซล-เจลได้เป็นกระดาษทดสอบ สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบปริมาณเหล็กคือทำการแช่แผ่นกระดาษทดสอบในสารละลายผสมระหว่างเหล็กกับสารละลายไฮดรอกไซด์ของไฮโดรคลอไรด์ที่ปรับ pH เป็น 4.5 ปริมาตรในช่วง 0.10-0.40 มิลลิลิตร เป็นเวลา 15 นาที จะเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างเหล็ก (II) กับออปโทไฟแนนโทลีนเป็นสีส้มที่กระดาษทดสอบ นำไปสแกนรูปสีด้วยเครื่องสแกน ตั้งค่าความละเอียดในการสแกนเท่ากับ 600 จุดต่อตารางนิ้ว และค่าความสว่างของหลอดไฟเท่ากับ -50 คำนวณหาความแตกต่างของความเข้มแสงด้วยโปรแกรม Image JTM วิธีวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กด้วยการแช่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นกระดาษทดสอบนี้สามารถใช้ตรวจสอบปริมาณเหล็กในตัวอย่างน้ำดื่มในระดับไม่เกิน 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่าร้อยละคืนกลับอยู่ในช่วง 97% ถึง 106% และขีดจำกัดของการตรวจพบ (LOD) อยู่ที่ 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร และขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ) อยู่ที่ 0.45 มิลลิกรัมต่อลิตร

B. Peng, G. Chen a, K. Li , M. Zhou, J. Zhang และ S. Zhao [20] ศึกษาเทคนิค Dispersive liquid-liquid microextraction (DLLME) และวิเคราะห์สีของภาพดิจิทัลเพื่อตรวจหาเหล็กทั้งหมดในตัวอย่างน้ำและอาหาร ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่เรียบง่ายและต้นทุนต่ำ ศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ปริมาณที่ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด การกระจายตัวของตัวทำละลาย ความเข้มข้นของออปติแชนโทรลีน และพีเอชของบัฟเฟอร์ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ได้กราฟมาตรฐานมีช่วงความเป็นเส้นตรง 0.047–1.00 $\mu\text{g mL}^{-1}$ ($R^2 > 0.99$) ขีดจำกัดของการตรวจพบเท่ากับ 14.1 $\mu\text{g L}^{-1}$ ขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ 46.5 $\mu\text{g L}^{-1}$ การวัดสารมาตรฐานเหล็ก 0.5 $\mu\text{g mL}^{-1}$ ซ้ำ 7 ครั้ง ($n=7$) ได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ เท่ากับ 3.75% ได้นำวิธีไปประยุกต์ใช้วิเคราะห์หาเหล็กทั้งหมดในตัวอย่างน้ำและอาหารโดยไม่ต้องใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

J. Xu, P. Che และ Y. Ma [21] ศึกษาเทคนิคคาพิลลารีอิเล็กโตรโฟเรซิส ในการตรวจวัดเหล็กโดยเกิดสารเชิงซ้อนเหล็ก(II)กับออปติแชนโทรลีน ในสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท - กรดอะซิติก (50 มิลลิโมลาร์ $\text{NH}_4\text{Ac-HAc}$, พีเอช 5.0) ตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 270 นาโนเมตรแทนความยาวคลื่น 508 นาโนเมตร ซึ่งช่วยเพิ่มการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อนเหล็ก(II)กับออปติแชนโทรลีนประมาณ 8 เท่า และมีระดับสัญญาณรบกวนที่ต่ำกว่า ทำให้การตรวจวัดความไวดีขึ้นอย่างน้อยยี่สิบเท่า ขีดจำกัดการตรวจพบวัด ต่ำกว่า 5×10^{-9} โมลาร์ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบของค่าพีเอช ความเข้มข้นของบัฟเฟอร์ และแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ซึ่งมีผลต่อความไวและความจำแนกชัดในการตรวจวัด การทำอนุพันธ์ครั้งที่ 2 สัญญาณที่ทำให้ความเป็นเส้นตรง ($r^2 = 0.995$) และค่าร้อยละการคืนกลับอยู่ในช่วง 99 ถึง 101

Y. Huang, D. Yuan, M. Dai และ Y. Liu [22] ศึกษาวิธีการวิเคราะห์เชิงปริมาณของเหล็กในน้ำทะเลด้วยวิธี reverse Flow Injection Analysis (rFIA) ตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยให้ ตัวอย่างน้ำทะเลหรือสารละลายมาตรฐานทำหน้าที่เป็นตัวพา สารผสมระหว่าง N, N-dimethyl-p-phenylenediamine dihydrochloride (DPD) กับบัฟเฟอร์จะถูกฉีดเข้าไปในกระแสของตัวพา หลังจากผสมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แล้ว DPD ถูกออกซิไดซ์เป็นสารสีชมพูและถูกตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร พบว่าค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเท่ากับ 0.40 นาโนโมลต่อลิตร ค่าต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของวิธีการวิเคราะห์แบบ normal Flow Injection Analysis (nFIA) และสามารถตรวจวัดตัวอย่างได้ 10 ตัวอย่างต่อ 1 ชั่วโมง เทียบกับวิธี nFIA-DPD ที่ตรวจวัดได้ 4 ตัวอย่างต่อ 1 ชั่วโมง ในงานวิจัยนี้ใช้น้ำอ้างอิงทะเล CASS-4 ความเข้มข้น 12.33 \pm 0.18 นาโนโมลต่อลิตร และ NASS-5 ความเข้มข้น 3.47 \pm 0.23 นาโนโมลต่อลิตร การตรวจวัดเหล็ก 2.97 นาโนโมลต่อลิตร โดยวัดซ้ำ 8 ครั้ง มีค่าความเที่ยงเท่ากับ 4.49 % การวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำทะเลมีสัญญาณคือ ทองแดง และเกลือจากน้ำทะเล จึงส่งผลให้วิธี rFIA-DPD ดีกว่าระบบ nFIA-DPD ในการตรวจวัดปริมาณเหล็กในน้ำทะเล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

1. กาวลาเท็กซ์ (Latex; TOA LA 22S – Thailand)
2. น้ำปราศจากไอออน (Deionized water – Milli Q - Thailand)
3. ไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ (Hydroxylamine hydrochloride; A.R. grade - Carlo erba - Italy)
4. โซเดียมซิเตรท (Sodium citrate; A.R. grade – Carlo erba - Canada)
5. ออโทพีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต (Orthophenanthroline monohydrate; A.R. grade – Lobal chemie - India)
6. แอมโมเนียมเฟอร์รัสซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต (Ammonium ferrous sulfate hexahydrate; A.R. grade – Lobal chemie - India)
7. เกลือโซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride; A.R. grade – Fisher Chemical - New york)
8. เกลือแอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium sulphate; A.R. grade – Carlo erba - Canada)
9. เกลือบอแรกซ์ (Sodium tetraborate decahydrate; A.R. grade – Carlo erba - Canada)
10. กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid; A.R. grade - Carlo erba - Canada)

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกวนแม่เหล็กพร้อมแท่งกวน (Magnetic Stirrer HL MS -115; Bosstech – Thailand)
2. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น CP2245 - Thailand)
3. เครื่องสแกน (Cannon LiDE 110 - Thailand)
4. ไมโครปิเปตขนาด 2.00 – 10.00 ไมโครลิตร (Micropipette; Thermo รุ่น FINNPIPETTE - Thailand)
5. เครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH meter รุ่น 827 Metrohm - Switzerland)
6. เครื่องแก้ว (Glassware laboratory)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมสารละลาย

- 1) สารละลายโซเดียมซเตรท เข้มข้นร้อยละ 25 (w/v)
ซิงโซเดียมซเตรท 12.50 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน เทใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน
- 2) สารละลายไฮดรอกโซลามีนไฮโดรคลอไรด์ เข้มข้นร้อยละ 10 (w/v)
ซิงไฮดรอกโซลามีนไฮโดรคลอไรด์ 10.00 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน 100 มิลลิลิตร แล้วปรับค่า pH ให้เท่ากับ 4.5 ด้วยสารละลายโซเดียมซเตรทเข้มข้นร้อยละ 25.0 (w/v)
- 3) สารละลายอโทฟีแนนโทรลีน เข้มข้นร้อยละ 0.5 (w/v)
ซิงอโทฟีแนนโทรลีน 0.50 กรัม ละลายด้วยเอทานอลปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
- 4) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
ซิงแอมโมเนียมเพอร์ซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ($\text{FeSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 0.0709 กรัม ใส่ปิกเกอร์ ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1.00 มิลลิลิตร คนสารละลายให้เข้ากันจากนั้นถ่ายใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน
- 5) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร
ปิเปตสารละลายเหล็ก (II) ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 2.50 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน
- 6) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) – อโทฟีแนนโทรลีน สำหรับสร้างกราฟมาตรฐานช่วงความเข้มข้น 0.10 - 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร
ปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 0.00, 0.25, 0.50, 1.25 และ 2.50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตรแต่ละใบ จากนั้นปิเปตสารละลายไฮดรอกโซลามีนไฮโดรคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 (w/v) ปริมาตร 0.50 มิลลิลิตร สารละลายอโทฟีแนนโทรลีนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (w/v) ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมซเตรทความเข้มข้นร้อยละ 25 (w/v) ปริมาตร 0.50 มิลลิลิตร ใส่ตามลงไป ในขวดวัดปริมาตรแต่ละใบแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) – อโทฟีแนนโทรลีนที่ความเข้มข้น 0.00, 0.10, 0.20, 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

3.3.1 การศึกษาชนิดของเกลือที่ใช้ในกระบวนการ Salting out

1. ชั่งกาวลาเท็กซ์ 1.00 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร และชั่งเกลือแอมโมเนียมซัลเฟต 1.00 กรัม โดยใช้กระดาษชั่งสาร
2. ปิเปตสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีกาวลาเท็กซ์ จากนั้นทำการปั่นกวนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาประมาณ 4 นาที
3. ค่อยๆ เติมเกลือแอมโมเนียมซัลเฟตที่ชั่งไว้ลงไป จากนั้นทำการปั่นกวนต่อประมาณ 10 นาที จนกระทั่งกาวเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน สังเกตลักษณะของก้อนกาวและสีของสารละลาย
4. ทำซ้ำ ข้อ 1-3 โดยเปลี่ยนปริมาณเกลือเป็น 2.00, 3.00 และ 4.00 กรัม ตามลำดับ และเปลี่ยนปริมาณกาวเป็น 2.00, 3.00, 4.00 และ 5.00 กรัม ตามลำดับ
5. ทำซ้ำ ข้อ 1-4 โดยปรับเปลี่ยนชนิดของเกลือจากแอมโมเนียมซัลเฟต เป็นบอแรกซ์ และโซเดียมคลอไรด์ ตามลำดับ

3.3.2 การศึกษาปริมาณกาวลาเท็กซ์ และปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์สำหรับการดูดซับสีจากสารละลายปริมาตร 10 มิลลิลิตร

1. ชั่งกาวลาเท็กซ์ 2.00 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 2 บีกเกอร์ และชั่งเกลือโซเดียมคลอไรด์ 3.00 กรัม จำนวน 2 ครั้ง โดยใช้กระดาษชั่งสาร
2. ปิเปตสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนความเข้มข้น 0.00 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างละ 10.00 มิลลิลิตร ใส่ลงไปบีกเกอร์แต่ละใบ ตามลำดับ จากนั้นทำการปั่นกวนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาประมาณ 4 นาที
3. ค่อยๆ เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ชั่งไว้ลงไปในแต่ละบีกเกอร์ทั้งสองบีกเกอร์ จากนั้นทำการปั่นกวนต่อประมาณ 10 นาที จนกระทั่งกาวเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน สังเกตสีของสารละลาย
4. แยกก้อนกาวที่มีสีออกจากสารละลาย นำไปบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน และประมวลผลภาพสีด้วยโปรแกรม Image JTM
5. ทำซ้ำ ข้อ 1-4 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณของกาวลาเท็กซ์เป็น 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 กรัม ตามลำดับ และเปลี่ยนปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็น 4.00, 4.00, 5.00 และ 5.00 กรัม ตามลำดับ

3.3.3 การศึกษาปริมาณกาวลาเท็กซ์ และปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์สำหรับการดูดซับสีจากสารละลายปริมาตร 25 มิลลิลิตร

1. ชั่งกาวลาเท็กซ์ 2.00 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 2 บีกเกอร์ และชั่งเกลือโซเดียมคลอไรด์ 6.00 กรัม จำนวน 2 ครั้ง โดยใช้กระดาษชั่งสาร
2. ปิเปตสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนความเข้มข้น 0.00 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างละ 25.00 มิลลิลิตร ใส่ลงไปบีกเกอร์แต่ละใบ ตามลำดับ จากนั้นทำการปั่นกวนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาประมาณ 4 นาที
3. ค่อยๆ เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ชั่งไว้ลงไปในแต่ละบีกเกอร์ทั้งสองบีกเกอร์ จากนั้นทำการปั่นกวนต่อประมาณ 10 นาที จนกระทั่งกาวเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน สังเกตสีของสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. แยกก้อนกาวที่มีสีออกจากสารละลาย นำไปบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน และประมวลผลภาพสีด้วยโปรแกรม Image JTM

5. ทำซ้ำ ข้อ 1-4 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณของกาวลาเท็กซ์เป็น 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 กรัม ตามลำดับ และเปลี่ยนปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็น 7.00, 10.00, 9.00 และ 9.00 กรัม ตามลำดับ

3.3.4 การศึกษาปริมาณกาวลาเท็กซ์ และปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์สำหรับการดูดซับสีจากสารละลายปริมาตร 50 มิลลิลิตร

1. ชั่งกาวลาเท็กซ์ 2.00 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 2 บีกเกอร์ และชั่งเกลือโซเดียมคลอไรด์ 14.00 กรัม จำนวน 2 ครั้ง โดยใช้กระดาษชั่งสาร

2. ปิเปตสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนความเข้มข้น 0.00 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างละ 50.00 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในบีกเกอร์แต่ละใบ ตามลำดับ จากนั้นทำการปั่นกวนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาประมาณ 4 นาที

3. ค่อยๆ เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ชั่งไว้ลงไปในแต่ละบีกเกอร์ทั้งสองบีกเกอร์ จากนั้นทำการปั่นกวนต่อประมาณ 10 นาที จนกระทั่งกาวเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน สังเกตสีของสารละลาย

4. แยกก้อนกาวที่มีสีออกจากสารละลาย นำไปบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน และประมวลผลภาพสีด้วยโปรแกรม Image JTM

5. ทำซ้ำ ข้อ 1-4 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณของกาวลาเท็กซ์เป็น 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 กรัม ตามลำดับ และเปลี่ยนปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็น 12.00, 12.00, 12.00 และ 13.00 กรัม ตามลำดับ

3.3.5 การสร้างกราฟมาตรฐาน

3.3.5.1 กราฟมาตรฐานสำหรับการดูดซับสีของกาวลาเท็กซ์จากสารละลายปริมาตร 10 มิลลิลิตร

1. ชั่งกาวลาเท็กซ์ 2.00 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร และชั่งเกลือโซเดียมคลอไรด์ 3.00 กรัม โดยใช้กระดาษชั่งสาร

2. ปิเปตสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในบีกเกอร์ที่มีกาวลาเท็กซ์ จากนั้นทำการปั่นกวนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาประมาณ 4 นาที

3. ค่อยๆ เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ชั่งไว้ลงไป จากนั้นทำการปั่นกวนต่อประมาณ 10 นาที จนกระทั่งกาวเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน

4. ทำการทดลองซ้ำ ข้อ 1-3 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน เป็น 0.10, 0.20, 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

5. แยกก้อนกาวที่มีสีออกจากสารละลาย นำไปบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน และประมวลผลภาพสีด้วยโปรแกรม Image JTM

3.3.5.2 กราฟมาตรฐานสำหรับการดูดซับสีของกาวลาเท็กซ์จากสารละลาย ปริมาตร 25 มิลลิลิตร

1. ชั่งกาวลาเท็กซ์ 2.00 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร และชั่งเกลือโซเดียมคลอไรด์ 6.00 กรัม โดยใช้กระดาษชั่งสาร
2. ปิเปตสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรีน ความเข้มข้น 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีกาวลาเท็กซ์ จากนั้นทำการปั่นกวนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาประมาณ 4 นาที
3. ค่อยๆ เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ชั่งไว้ลงไป จากนั้นทำการปั่นกวนต่อประมาณ 10 นาที จนกระทั่งกาวเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน
4. ทำการทดลองซ้ำ ข้อ 1-3 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรีน เป็น 0.10, 0.20, 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
5. แยกก้อนกาวที่มีสีออกจากสารละลาย นำไปบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน และประมวลผลภาพสีด้วยโปรแกรม Image JTM

3.3.6 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

3.3.6.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำ

ปิเปตตัวอย่างน้ำ (น้ำดื่ม, น้ำประปา หรือ น้ำแร่) ปริมาตร 80.00 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายไฮดรอกไซด์อะมีนไฮโดรคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 (w/v) ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร สารละลายออโทพีแนนโทรีนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (w/v) ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมซีเตรทความเข้มข้นร้อยละ 25 (w/v) ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

3.3.6.2 การวิเคราะห์โดยใช้ตัวอย่างน้ำปริมาตร 10 มิลลิลิตร

1. ชั่งกาวลาเท็กซ์ 2.00 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร และชั่งเกลือโซเดียมคลอไรด์ 3.00 กรัม โดยใช้กระดาษชั่งสาร
2. ปิเปตตัวอย่างน้ำ (น้ำดื่ม, น้ำประปา หรือน้ำแร่) ที่เตรียมในข้อ 3.3.6.1 ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีกาวลาเท็กซ์ จากนั้นทำการปั่นกวนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาประมาณ 4 นาที
3. ค่อยๆ เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ชั่งไว้ลงไป จากนั้นทำการปั่นกวนต่อประมาณ 10 นาที จนกระทั่งกาวเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน
4. แยกก้อนกาวที่มีสีออกจากสารละลาย นำไปบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน และประมวลผลภาพสีด้วยโปรแกรม Image JTM
5. คำนวณความเข้มข้นของเหล็กในตัวอย่างน้ำ โดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน

3.3.5.1

3.3.6.3 การวิเคราะห์โดยใช้ตัวอย่างน้ำปริมาตร 25 มิลลิลิตร

1. ชั่งกาวลาเท็กซ์ 2.00 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร และชั่งเกลือโซเดียมคลอไรด์ 6.00 กรัม โดยใช้กระดาษชั่งสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปิเปตตัวอย่างน้ำ (น้ำต้ม, น้ำประปา หรือน้ำแร่) ที่เตรียมในข้อ 3.3.6.1 ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในบีกเกอร์ที่มีกาวลาเท็กซ์ จากนั้นทำการปั่นจนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาประมาณ 4 นาที
 3. ค่อยๆ เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ชั่งไว้ลงไป จากนั้นทำการปั่นจนต่อประมาณ 10 นาที จนกระทั่งกาวเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน
 4. แยกก้อนกาวที่มีสีออกจากสารละลาย นำไปบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน และประมวลผลภาพสีด้วยโปรแกรม Image JTM
 5. คำนวณความเข้มข้นของเหล็กในตัวอย่างน้ำ โดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน
- 3.3.5.1

3.3.7 การคำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสง

นำค่าความเข้มแสง (RGB) ที่ประมวลได้จากด้วยโปรแกรม Image JTM มาคำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance: ED) ตามสมการที่ (1)

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

โดยที่ Δ คือ ผลต่างของแสงที่จุด blank กับค่าความเข้มแสง ณ จุดที่เกิดปฏิกิริยา

I_R คือ ค่าความเข้มแสงสีแดง

I_G คือ ค่าความเข้มแสงสีเขียว

I_B คือ ค่าความเข้มแสงสีน้ำเงิน

3.3.8 การทดสอบความใช้ได้ของวิธี

3.3.8.1 ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of Detection: LOD)

สามารถหาได้จากกราฟมาตรฐาน โดยใช้สูตร

$$LOD = Y_B + 3S_B$$

เมื่อ Y_B คือ จุดตัดแกน y ที่ได้จากสมการเส้นตรง $y = mx + c$
 S_B คือ ค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน y

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

เมื่อ y_i คือ ค่าจริงที่ได้จากเครื่อง
 \hat{y}_i คือ ค่าที่ได้จากการแทนค่า x ในสมการเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.8.2 ขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation: LOQ)

สามารถหาได้จากกราฟมาตรฐาน โดยใช้สูตร

$$LOQ = Y_B + 10S_B$$

เมื่อ Y_B คือ จุดตัดแกน y ที่ได้จากการเส้นตรง $y = mx + c$
 S_B คือ ค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน y

3.3.8.3 ความแม่นยำ (Accuracy)

ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์สามารถแสดงด้วยค่าร้อยละคืนกลับ (% Recovery) ถ้าค่าที่ได้มีค่าเข้าใกล้ 100% แสดงว่าวิธีวิเคราะห์มีความแม่นยำสูง สามารถคำนวณจากสูตรได้โดย

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

เมื่อ C_1 คือ ความเข้มข้นของตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐาน
 C_2 คือ ความเข้มข้นของตัวอย่าง
 C_3 คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานที่เติมลงไป

การศึกษาร้อยละการคืนกลับสำหรับการดูดซับสีจากสารละลายปริมาตร 10 มิลลิลิตร

1. ปิเปตตัวอย่างน้ำ (น้ำดื่ม น้ำประปา หรือ น้ำแร่) ปริมาตร 80.00 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แต่ละใบจำนวน 4 ใบ
2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 0.00, 0.50, 1.00 และ 2.50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรที่มีตัวอย่างน้ำอยู่แต่ละใบตามลำดับ
3. ปิเปตสารละลายไฮดรอกไซด์ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 (w/v) ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร สารละลายอโทพีแนนโทรีนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (w/v) ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมซิติเรทความเข้มข้นร้อยละ 25 (w/v) ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรทุกใบ ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐานเหล็ก (II) – อโทพีแนนโทรีนที่ความเข้มข้น 0.00, 0.10, 0.20 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
4. ชั่งกาวลาเท็กซ์ 2.00 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร และชั่งเกลือโซเดียมคลอไรด์ 3.00 กรัม โดยใช้กระดาษชั่งสาร
5. ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐานเหล็ก (II) – อโทพีแนนโทรีนความเข้มข้น 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตรที่เตรียมไว้ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ใส่ลงไปบีกเกอร์ที่มีกาวลาเท็กซ์ จากนั้นทำการปั่นกวนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาประมาณ 4 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ค่อยๆ เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ชั่งไว้ จากนั้นทำการปั่นจนต่อประมาณ 10 นาที จนกระทั่งภาวะเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน แยกก้อนกาวที่มีสีออกจากสารละลาย
7. ทำการทดลองซ้ำ ข้อ 4-6 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐานเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีน เป็น 0.10, 0.20 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
8. นำก้อนกาวที่มีสีที่แยกเก็บไว้ไปบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน ประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม Image JTM และคำนวณหาค่า ED
9. นำค่า ED ไปคำนวณหาความเข้มข้นของเหล็กโดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน ข้อ 3.3.5.1
10. คำนวณหาค่าร้อยละการคืนกลับ เพื่อแสดงความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์

การศึกษาร้อยละการคืนกลับสำหรับการดูดซับสีจากสารละลายปริมาตร 25 มิลลิลิตร

1. ปิเปตตัวอย่างน้ำ (น้ำดื่ม น้ำประปา หรือ น้ำแร่) ปริมาตร 80 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แต่ละใบจำนวน 4 ใบ
2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 0.00, 0.50, 1.00 และ 2.50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรที่มีตัวอย่างน้ำอยู่แต่ละใบ ตามลำดับ
3. ปิเปตสารละลายไฮดรอกไซด์อะมีนไฮโดรคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 (w/v) ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร สารละลายออโทพีแนนโทรลีนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (w/v) ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมซิติเตรความเข้มข้นร้อยละ 25 (w/v) ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรทุกใบ ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน จะได้สารละลายตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐานเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีนที่ความเข้มข้น 0.00, 0.10, 0.20 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
4. ชั่งกาวลาเท็กซ์ 2.00 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร และชั่งเกลือโซเดียมคลอไรด์ 6.00 กรัม โดยใช้กระดาษชั่งสาร
5. ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐานเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตรที่เตรียมไว้ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร ใส่ลงไปบีกเกอร์ที่มีกาวลาเท็กซ์ จากนั้นทำการปั่นจนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาประมาณ 4 นาที
6. ค่อยๆ เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ชั่งไว้ จากนั้นทำการปั่นจนต่อประมาณ 10 นาที จนกระทั่งภาวะเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน แยกก้อนกาวที่มีสีออกจากสารละลาย
7. ทำการทดลองซ้ำ ข้อ 4-6 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างที่เติมสารมาตรฐานเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีน เป็น 0.10, 0.20 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ
8. นำก้อนกาวที่มีสีที่แยกเก็บไว้ไปบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน ประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม Image JTM และคำนวณหาค่า ED
9. นำค่า ED ไปคำนวณหาความเข้มข้นของเหล็กโดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน ข้อ 3.3.5.1
10. คำนวณหาค่าร้อยละการคืนกลับ เพื่อแสดงความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ชนิดของเกลือที่ใช้ในกระบวนการ Salting out

ทำการทดลองโดยใช้กาวลาเท็กซ์ 1.00 กรัม เกลือแอมโมเนียมซัลเฟต 1.00 กรัม และปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีกาวลาเท็กซ์ จากนั้นทำการปั่นกวนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน และเติมเกลือแอมโมเนียมซัลเฟตที่ชั่งไว้ลงไป จากนั้นทำการปั่นกวนต่อ จนกระทั่งกาวเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน สังเกตลักษณะของก้อนกาวและสีของสารละลาย ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนปริมาณเกลือเป็น 2.00, 3.00 และ 4.00 กรัม ตามลำดับ และเปลี่ยนปริมาณกาวเป็น 2.00, 3.00, 4.00 และ 5.00 กรัม ตามลำดับและปรับเปลี่ยนชนิดของเกลือจากแอมโมเนียมซัลเฟต เป็นบอแรกซ์ และโซเดียมคลอไรด์ ตามลำดับ พบว่าสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนถูกดูดซับด้วยก้อนกาวทั่วทั้งก้อนซึ่งการใช้เกลือต่างชนิดกันจะให้ผลการทดลองที่แตกต่างกัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของกาว

ชนิดของเกลือ	ลักษณะการดูดซับของกาว ก้อนกาว และสีของสารละลายที่เหลือ
เกลือแอมโมเนียมซัลเฟต	ที่ปริมาณกาว และเกลือที่ไม่เพียงพอต่อปริมาตรสารละลาย เกลือจะจับตัวกันเป็นก้อนส่วนหนึ่ง และเป็นตะกอนอยู่ในสารละลายอีกส่วนหนึ่ง กาวจะเริ่มจับตัวกันเป็นก้อนได้ดีขึ้นตามปริมาณกาวและเกลือที่เพิ่มขึ้น และสามารถดูดซับสารละลายเหล็กได้มากขึ้น ก้อนกาวมีลักษณะเป็นก้อนแข็ง สีไม่สม่ำเสมอเกินไปในบางจุด ขรุขระไม่เรียบทั่วทั้งก้อน แต่หากเกลือมากกว่า 4.00 กรัม เกลือจะละลายไม่หมด และติดอยู่ในก้อนกาวบางส่วน ทำให้สีของก้อนกาวไม่สม่ำเสมอ
เกลือบอแรกซ์	ที่ปริมาณกาว และเกลือที่ไม่เพียงพอต่อปริมาตรสารละลาย เกลือจะไม่จับตัวกันเป็นก้อน กาวจะรวมตัวกับสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนเป็นสารละลายสีส้มขุ่น กาวจะเริ่มจับตัวกันเป็นก้อนได้ดีขึ้นตามปริมาณกาวและเกลือที่เพิ่มขึ้น ซึ่งกาวจับตัวกันเป็นก้อนได้ง่าย มีขนาดใหญ่ นิ่มจนไปถึงเหลวเกินไปไม่สามารถนำมาสแกนเพื่อตรวจวัดสีได้ ลักษณะพื้นผิวของก้อนกาวเรียบ มีสีที่มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งก้อน เกิดการรวมตัวกันของกาวและน้ำเนื่องจากการทำ crosslink ของเกลือจึงทำให้ไม่มีส่วนของสารละลายเหล็กอยู่

ตารางที่ 4.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับของกาว (ต่อ)

ชนิดของเกลือ	ลักษณะการดูดซับของกาว ก้อนกาว และสีของสารละลายที่เหลือ
เกลือโซเดียมคลอไรด์	เกลือสามารถละลายน้ำได้หมดไม่พบในเนื้อกาว มีบางอัตราส่วนที่ไม่เกิดการจับตัวกันของกาว แต่ก็มีกาวบางส่วนที่จับตัวกันเป็นก้อนได้ดีซึ่งจะมีขนาดใหญ่ขึ้นตามปริมาณกาวที่เพิ่มขึ้น และเป็นก้อนได้ดีมากขึ้นตามปริมาณเกลือที่เพิ่มขึ้น ลักษณะผิวขรุขระเล็กน้อย แต่สามารถใช้ของแข็งช่วยกดให้ผิวเรียบเสมอกันได้ และสามารถดูดซับสารละลายเหล็กได้ดีสังเกตได้จากสีของน้ำซึ่งจะเห็นเป็นสารละลายสีส้มเพียงเล็กน้อยหรือมีตะกอนบนผิวน้ำเล็กน้อย

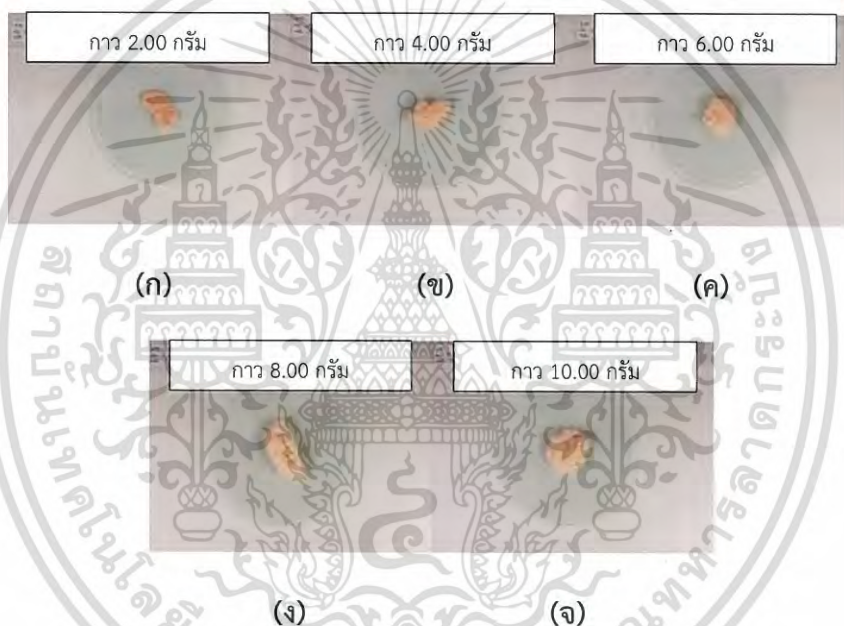


รูปที่ 4.1 เปรียบเทียบลักษณะก้อนกาวที่ปริมาณ 2.00 กรัมต่อเกลือ 3.00 กรัม โดยใช้ (ก)เกลือแอมโมเนียมซัลเฟต (ข)เกลือบอแรกซ์ (ค)เกลือโซเดียมคลอไรด์

จากการทดลองศึกษาลักษณะการดูดซับของกาว ลักษณะก้อนกาว และสีของสารละลายที่เหลือ กับเกลือชนิดที่ต่างกันสามชนิด ได้แก่ เกลือแอมโมเนียมซัลเฟต เกลือบอแรกซ์ และเกลือโซเดียมคลอไรด์ พบว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็นเกลือที่ช่วยทำให้กาวลาเท็กซ์เกิดการรวมตัวเป็นก้อนได้ดีที่สุด สามารถดูดซับสารละลายสีส้มแดงจากสารละลายเหล็ก (II) – ออกซิเจนไนโตรเจนได้ดีที่สุด จึงทำให้สารละลายที่เหลืออยู่ในสีไม่มีสี สามารถใช้ของแข็งช่วยกดรีดเพื่อปรับผิวของกาวให้เรียบเพื่อให้สีในการสแกนสม่ำเสมอขึ้นได้ นอกจากนี้การใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ส่งผลทำให้ใช้กาวปริมาณน้อยก็ยังคงสามารถดูดซับสารละลายสีส้มได้ดี จับตัวกันเป็นก้อนได้ดีซึ่งเป็นไปได้ว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์เหมาะสมที่สุดในการทำการทดลองในลำดับต่อไป

4.2 การศึกษาปริมาณกาวลาเท็กซ์ และปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์สำหรับการดูดซับสีจากสารละลายปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร

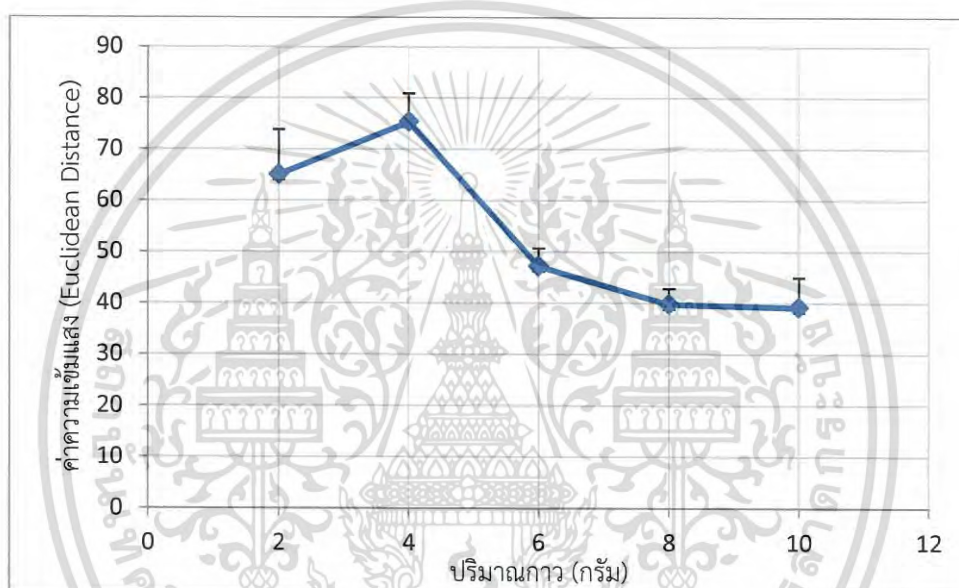
ทำการทดลองโดยใช้กาวลาเท็กซ์ 2.00 กรัม และเกลือโซเดียมคลอไรด์ 3.00 กรัม และปิเปตสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรีนความเข้มข้น 0.00 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างละ 10 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในบีกเกอร์ จากนั้นทำการปั่นกวนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน และเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ชั่งไว้ลงไปในแต่ละบีกเกอร์ทั้งสองบีกเกอร์ จากนั้นทำการปั่นกวนต่อ จนกระทั่งกาวเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน สังเกตสีของสารละลาย และแยกก้อนกาวที่มีสีออกจากสารละลาย นำไปบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน และประมวลผลภาพสีด้วยโปรแกรม Image JTM ทำการทดลองซ้ำ โดยปรับเปลี่ยนปริมาณของกาวลาเท็กซ์เป็น 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 กรัม และเปลี่ยนปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็น 4.00, 4.00, 5.00 และ 5.00 กรัม ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2 รูปที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 แสดงส่วนของกาวที่แยกสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรีนออกมาจากน้ำที่ 10 มิลลิลิตรของ (ก)กาว 2.00 กรัม (ข)กาว 4.00 กรัม (ค)กาว 6.00 กรัม (ง)กาว 8.00 กรัม และ(จ)กาว 10.00 กรัม

ตารางที่ 4.2 ปริมาณกาว ปริมาณเกลือที่ใช้ และค่าความเข้มแสงสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนน โทรลีนความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร

ปริมาณกาว (กรัม)	ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ (กรัม)	ค่าความเข้มแสง (ED)
2	3	65.11
4	4	75.36
6	4	47.23
8	5	39.84
10	5	39.22



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง (Euclidean Distance) กับปริมาณกาวทดลองกับสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร

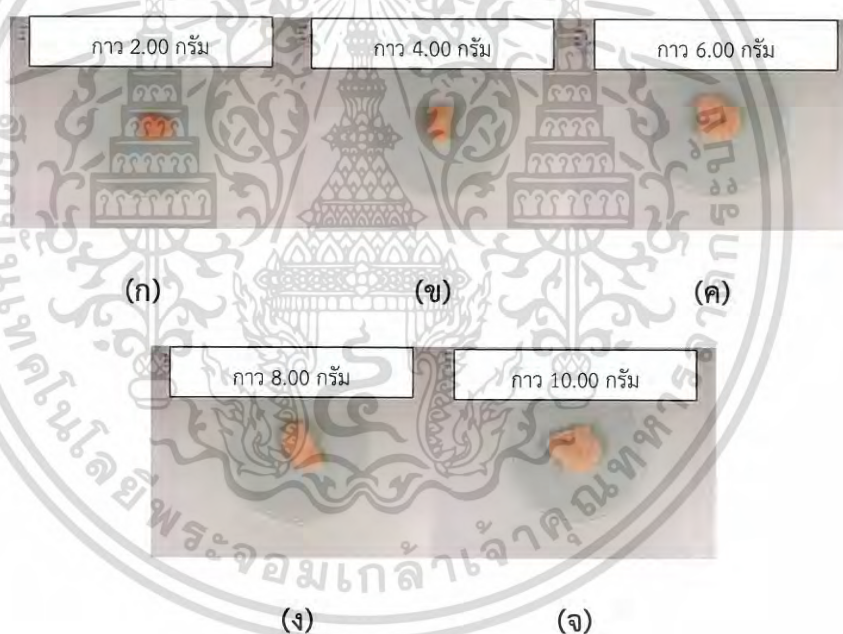
จากตารางที่ 4.2 รูปที่ 4.2 และ 4.3 ศึกษาปริมาณกาวลาเท็กซ์ และปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์สำหรับการดูดซับสีจากสารละลายปริมาตร 10 มิลลิลิตร สังเกตปริมาณของกาวที่ 2.00, 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 กรัม โดยกาวที่ปริมาณต่างๆใช้เกลือที่ปริมาณที่แตกต่างกันไป เมื่อเพิ่มปริมาณกาว ส่งผลให้ปริมาณเกลือที่ใช้ทำให้กาวทั้งหมดจับตัวกันเป็นก้อนเพิ่มขึ้นด้วย พบว่าที่กาว 4.00 กรัมมีค่าความเข้มแสงสูงที่สุด โดยที่กาว 2.00 กรัมมีค่าความเข้มแสงรองลงมา และที่กาว 6.00, 8.00 และ 10.00 กรัม มีค่าความเข้มแสงต่ำลงมาเป็นลำดับ เนื่องจากที่ปริมาณกาวเพิ่มมากขึ้นทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนลดลง แต่อย่างไรก็ตามที่กาว 2.00 กรัมมีการใช้ปริมาณกาวที่ต่ำกว่า 4.00 กรัมถึงครึ่งหนึ่ง และมีการใช้ปริมาณเกลือที่ต่ำกว่า แต่เนื่องจากค่าความเข้มแสงที่ตรวจวัดได้ต่างกันเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกาวปริมาณอื่นๆ จึงเป็นไปได้ว่ากาวที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.00 กรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำการทดลองที่สารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนน ไทโรซีน ปริมาณ 10.00 มิลลิลิตร

4.3 การศึกษาปริมาณกาวลาเท็กซ์ และปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์สำหรับการดูดซับ สีจากสารละลายปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร

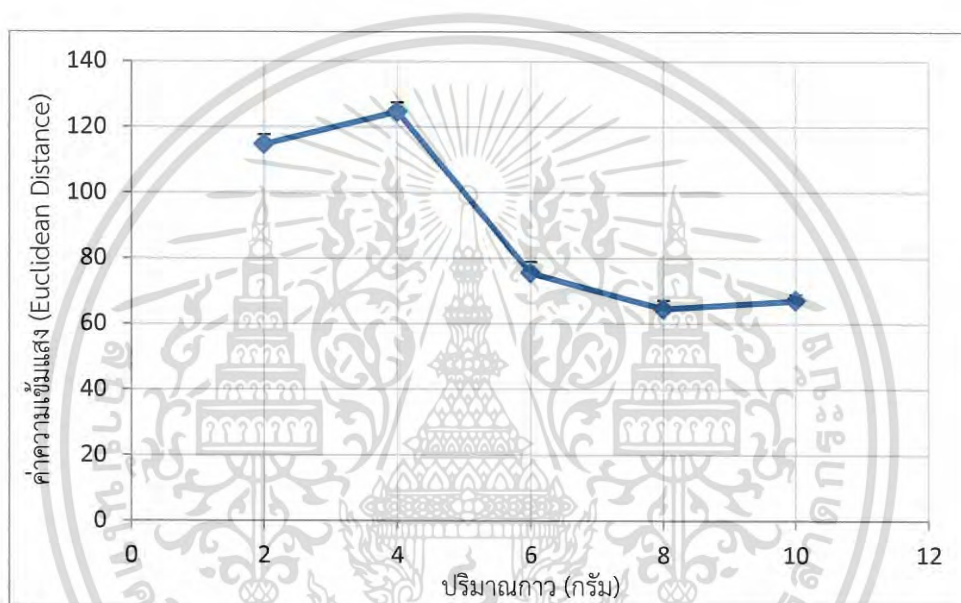
ทำการทดลองโดยใช้กาวลาเท็กซ์ 2.00 กรัม และเกลือโซเดียมคลอไรด์ 3.00 กรัม และปิเปต สารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนน ไทโรซีน ความเข้มข้น 0.00 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างละ 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ จากนั้นทำการปั่นกวนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน และเติมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ที่ชั่งไว้ลงไปในแต่ละบีกเกอร์ทั้งสองบีกเกอร์ จากนั้นทำการปั่นกวนต่อ จนกระทั่งกาว เกิดการจับตัวกันเป็นก้อน สังเกตสีของสารละลาย และแยกก้อนกาวที่มีสีออกจากสารละลาย นำไป บันทึกรูปภาพด้วยเครื่องสแกน และประมวลผลภาพสีด้วยโปรแกรม Image JTM ทำการทดลองซ้ำ โดยปรับเปลี่ยนปริมาณของกาวลาเท็กซ์เป็น 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 กรัม ตามลำดับ และ เปลี่ยนปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็น 4.00, 4.00, 5.00 และ 5.00 กรัม ตามลำดับ ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.3 รูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 แสดงส่วนของกาวที่แยกสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนน ไทโรซีนออกมาจากน้ำที่ 25 มิลลิลิตรของ (ก) กาว 2.00 กรัม (ข) กาว 4.00 กรัม (ค) กาว 6.00 กรัม (ง) กาว 8.00 กรัม และ (จ) กาว 10.00 กรัม

ตารางที่ 4.3 ปริมาณกาว ปริมาณเกลือที่ใช้ และค่าความเข้มแสงสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนน โทรีลินความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร

ปริมาณกาว (กรัม)	ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ (กรัม)	ค่าความเข้มแสง (ED)
2	6	114.73
4	7	124.61
6	10	75.53
8	9	64.63
10	9	67.12



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง (Euclidean Distance) กับปริมาณกาวทดลองกับสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรีลิน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร

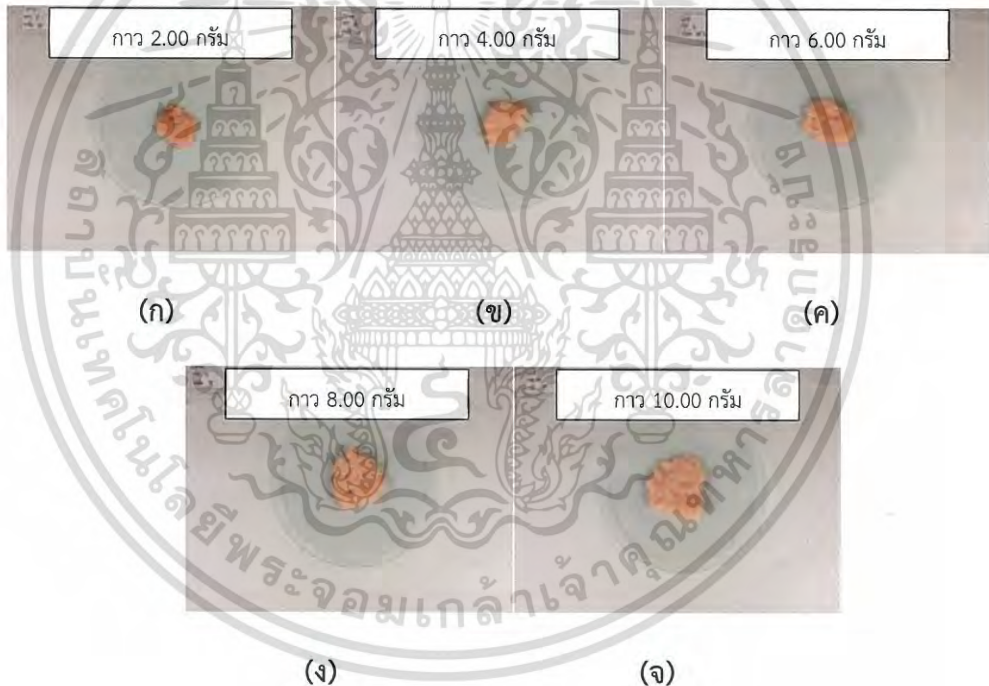
จากตารางที่ 4.3 รูปที่ 4.4 และ 4.5 ศึกษาปริมาณกาวลาเท็กซ์ และปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์สำหรับการดูดซับสีจากสารละลายปริมาตร 25 มิลลิลิตร สังเกตปริมาณของกาวที่ 2.00, 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 กรัม โดยกาวที่ปริมาณต่างๆใช้เกลือที่ปริมาณที่แตกต่างกันไป เมื่อเพิ่มปริมาณกาว ส่งผลให้ปริมาณเกลือที่ใช้ทำให้กาวทั้งหมดจับตัวกันเป็นก้อนเพิ่มขึ้นด้วย พบว่าที่กาว 4.00 กรัมมีค่าความเข้มแสงสูงที่สุด โดยที่กาว 2.00 กรัมมีค่าความเข้มแสงรองลงมา และที่กาว 6.00, 8.00 และ 10.00 กรัม มีค่าความเข้มแสงต่ำลงมาเป็นลำดับ เนื่องจากที่ปริมาณกาวเพิ่มมากขึ้นทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรีลินลดลง แต่อย่างไรก็ตามที่กาว 2.00 กรัมมีการใช้ปริมาณกาวที่ต่ำกว่า 4.00 กรัมถึงครึ่งหนึ่ง และมีการใช้ปริมาณเกลือที่ต่ำกว่า แต่เนื่องจากค่าความเข้มแสงที่ตรวจวัดได้ต่างกันเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกาวปริมาณอื่นๆ จึงเป็นไปได้ว่ากาวที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.00 กรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำการทดลองที่สารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนน ไทโรซีน ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร

4.4 การศึกษาปริมาณกาวลาเท็กซ์ และปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์สำหรับการดูดซับ สีจากสารละลายปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร

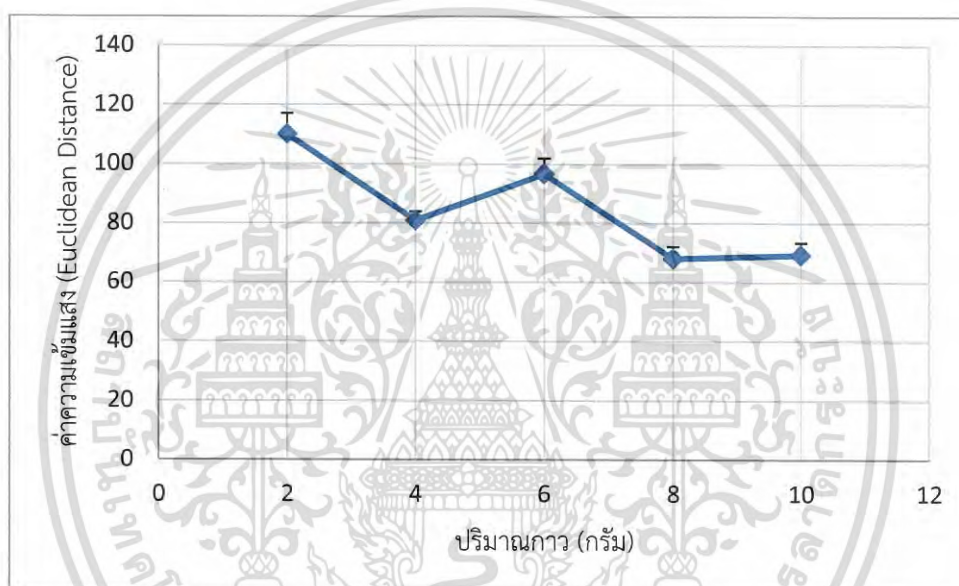
ทำการทดลองโดยใช้กาวลาเท็กซ์ 2.00 กรัม และเกลือโซเดียมคลอไรด์ 3.00 กรัม และปิเปต สารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนน ไทโรซีนความเข้มข้น 0.00 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างละ 50 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในบีกเกอร์ จากนั้นทำการปั่นกวนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน และเติมเกลือ โซเดียมคลอไรด์ที่ชั่งไว้ลงไปในแต่ละบีกเกอร์ทั้งสองบีกเกอร์ จากนั้นทำการปั่นกวนต่อ จนกระทั่งกาว เกิดการจับตัวกันเป็นก้อน สังเกตสีของสารละลาย และแยกก้อนกาวที่มีสีออกจากสารละลาย นำไป บันทึกรูปภาพด้วยเครื่องสแกน และประมวลผลภาพสีด้วยโปรแกรม Image JTM ทำการทดลองซ้ำ โดยปรับเปลี่ยนปริมาณของกาวลาเท็กซ์เป็น 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 กรัม ตามลำดับ และ เปลี่ยนปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็น 12.00, 12.00, 12.00 และ 13.00 กรัม ตามลำดับ ได้ผล การทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4 รูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 แสดงส่วนของกาวที่แยกสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนน ไทโรซีนออกมาจากน้ำที่ 25 มิลลิลิตรของ (ก)กาว 2.00 กรัม (ข)กาว 4.00 กรัม (ค)กาว 6.00 กรัม (ง)กาว 8.00 กรัม และ(จ)กาว 10.00 กรัม

ตารางที่ 4.4 ปริมาณกาว ปริมาณเกลือที่ใช้ และค่าความเข้มแสงสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนน โทโรลีนความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร

ปริมาณกาว (กรัม)	ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ (กรัม)	ค่าความเข้มแสง (ED)
2	14	110.08
4	12	80.95
6	12	96.65
8	12	68.07
10	13	69.26



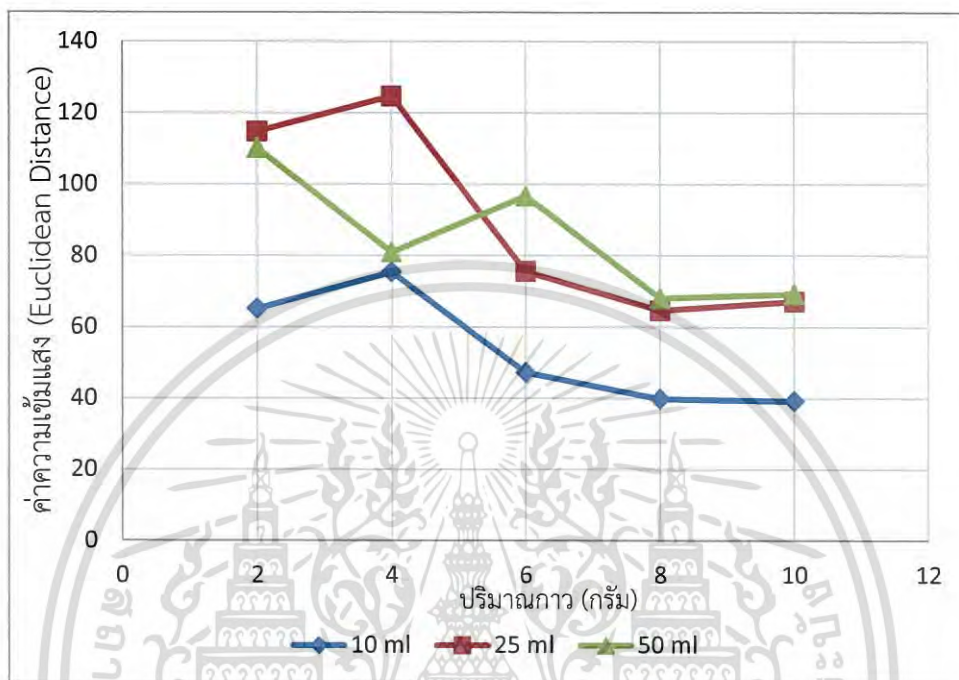
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง (Euclidean Distance) กับปริมาณกาวทดลองกับสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทโรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร

จากตารางที่ 4.4 รูปที่ 4.6 และ 4.7 การศึกษาปริมาณกาวสาเหตุ และปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์สำหรับการดูดซับสีจากสารละลายปริมาตร 50 มิลลิลิตร สังเกตปริมาณของกาวที่ 2.00, 4.00, 6.00, 8.00 และ 10.00 กรัม โดยกาวที่ปริมาณต่างๆใช้เกลือที่ปริมาณที่แตกต่างกันไป เมื่อเพิ่มปริมาณกาว ส่งผลให้ปริมาณเกลือที่ใช้ทำให้กาวทั้งหมดจับตัวกันเป็นก้อนก็เพิ่มขึ้นด้วย พบว่าที่กาว 2.00 กรัมมีค่าความเข้มแสงสูงที่สุด และต่ำลงที่กาว 4.00 กรัม และเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่ปริมาณกาว 6.00 กรัม และลดลงต่ำที่สุดที่กาว 8.00 กรัม และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่กาว 10.00 กรัม โดยค่าความเข้มแสงจะขึ้นลงสลับไปมา เนื่องจากที่ปริมาตรสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทโรลีน 50 มิลลิลิตร มีปริมาณของเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทโรลีน ที่มากเกินไปจนจำกัดที่ปริมาณกาวในช่วง 2.00 - 10.00 กรัม จะตรวจวัดได้ ปริมาตรสารที่ 50 มิลลิลิตรจึงไม่เหมาะสมสำหรับการทำการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 เปรียบเทียบการศึกษาปริมาณเวลาเท็กซ์ และปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ สำหรับการดูดซับสีจากสารละลายปริมาตร 10 25 และ 50 มิลลิลิตร

จากผลการศึกษาปริมาณเวลาเท็กซ์ และปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์สำหรับการดูดซับสีจากสารละลายปริมาตร 10 25 และ 50 มิลลิลิตร นำผลการศึกษาข้างต้นมาเปรียบเทียบ ผลการศึกษารูปที่ 4.8

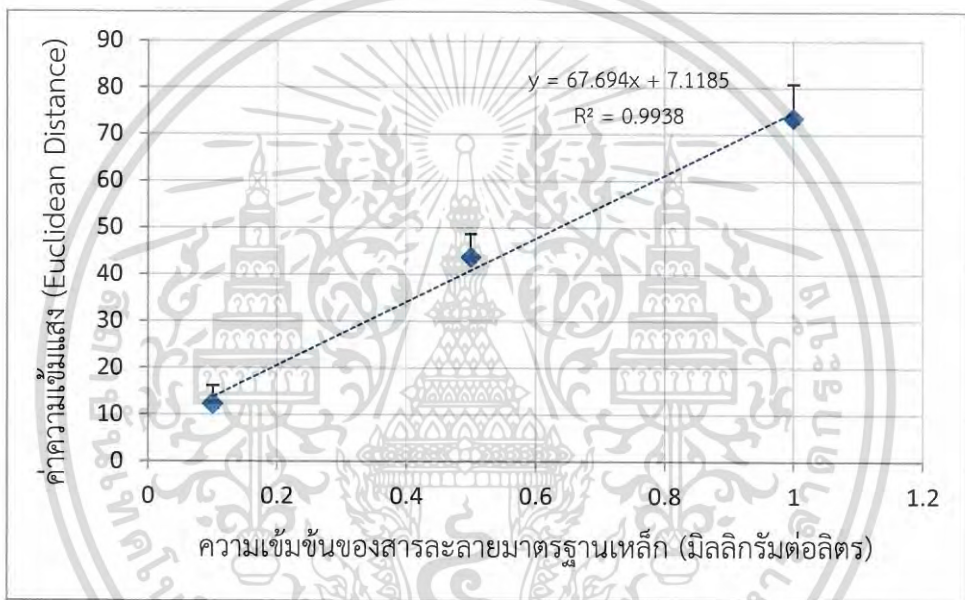


รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง กับปริมาณกาวทดลองกับสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10 25 และ 50 มิลลิลิตร

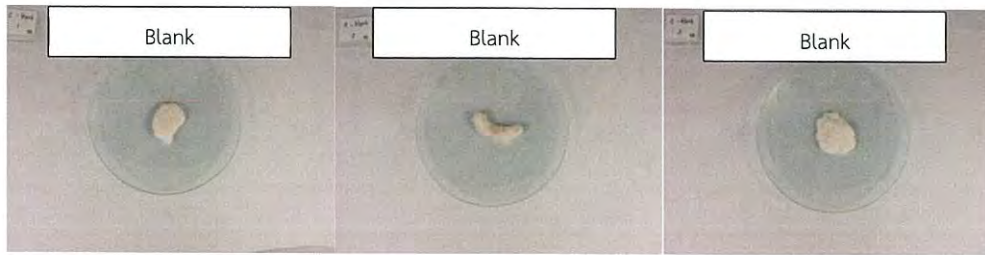
จากรูปที่ 4.8 จากการศึกษาความสามารถการดูดซับบนก้อนกาว พบว่าที่ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จะให้ค่าความแตกต่างความเข้มแสงที่ต่ำที่สุด และเพิ่มขึ้นในสัดส่วนที่เท่ากันที่ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เนื่องจากสารละลายมีสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรีนมากขึ้น แต่ที่สารละลายปริมาตร 50 มิลลิลิตร มีค่าแตกต่างความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นและลดลงอย่างไม่สม่ำเสมอเนื่องจากปริมาณสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรีนมีมากเกินไปจนจำกัดความสามารถในการดูดซับของก้อนกาวในช่วง 2.00 - 10.00 กรัม นั่นคือสามารถทำการ Preconcentration ได้ที่ปริมาตร 10.00 และ 25 มิลลิลิตร และไม่สามารถทำได้ที่ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และค่าความเข้มแสงที่ปริมาณกาว 2.00 กรัม มีค่าสูงใกล้เคียงกับปริมาณกาวที่ 4.00 กรัม ซึ่งมีค่าสูงที่สุด ซึ่งกาว 2.00 กรัม มีการใช้ปริมาณกาวที่ต่ำกว่า 4.00 กรัมถึงครึ่งหนึ่ง และมีการใช้ปริมาณเกลือที่ต่ำกว่า แต่ค่าความเข้มแสงที่ตรวจวัดได้ต่างกันเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกาวปริมาณอื่นๆ จึงเป็นไปได้ว่ากาวที่ 2.00 กรัม เป็นปริมาตรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำการทดลองที่สารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรีน ปริมาตร 10 และ 25 มิลลิลิตร

4.6 กราฟมาตรฐานสำหรับการดูดซับสีของกาวลาเท็กซ์จากสารละลายปริมาตร 10 มิลลิลิตร

ทำการทดลองโดยใช้กาวลาเท็กซ์ 2.00 กรัม และเกลือโซเดียมคลอไรด์ 3.00 กรัม และปิเปตสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในบีกเกอร์ที่มีกาวลาเท็กซ์ จากนั้นทำการปั่นกวนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน และเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ชั่งไว้ลงไป จากนั้นทำการปั่นกวนต่อประมาณ 10 นาที จนกระทั่งกาวเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน และทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน เป็น 0.10, 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และแยกก้อนกาวที่มีสีออกจากสารละลาย นำไปบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน และประมวลผลภาพสีด้วยโปรแกรม Image JTM ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนและค่าความเข้มแสง (Euclidean Distance) ที่ปริมาตรสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน 10 มิลลิลิตร



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

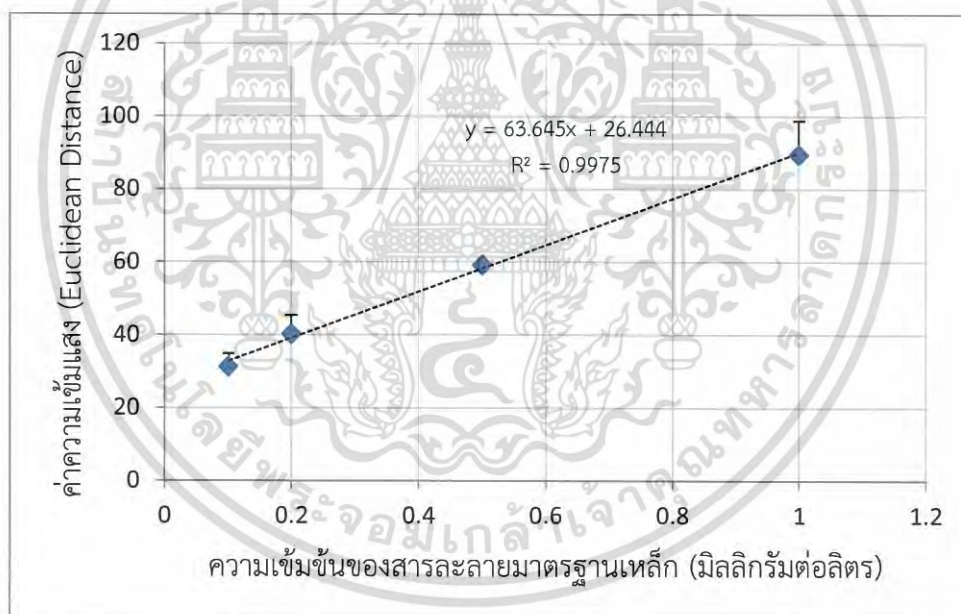
รูปที่ 4.10 แสดงส่วนของกาวที่แยกสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนโนโทรลีนออกมาจากน้ำของกราฟมาตรฐานที่ 10 มิลลิลิตรของ (ก)ความเข้มข้นที่ 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ข)ความเข้มข้นที่ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร (ค)ความเข้มข้นที่ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ(ง)ความเข้มข้นที่ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 พบว่าลักษณะของก้อนกาวมีสีที่เข้มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนโนโทรลีน และเมื่อทำการบันทึกภาพสีบนพื้นผิวก้อนกาวด้วยเครื่องสแกน นำภาพที่ได้มาบันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วยโปรแกรม Image JTM นำค่าความเข้มแสง (RGB) และนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของกราฟมาตรฐานของสารละลายเหล็ก (II) – เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

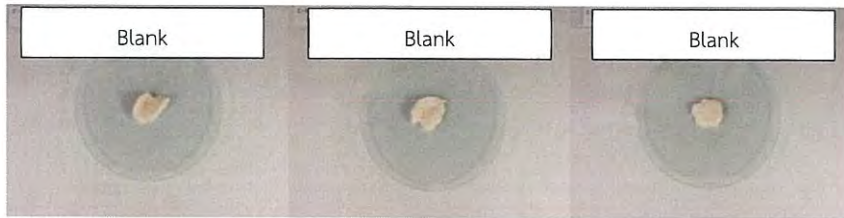
อโ托พีแนนนโทรลีนและค่าความเข้มแสง (Euclidean Distance) ที่ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ได้ความสัมพันธ์คือ $ED = 67.694[Fe] + 7.1185$ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.9938 พบว่ากราฟที่ได้มีแนวโน้มความเป็นเส้นตรง โดยค่าความเข้มแสงแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – อโ托พีแนนนโทรลีน

4.7 กราฟมาตรฐานสำหรับการดูดซับสีของกาวลาเท็กซ์จากสารละลายปริมาตร 25 มิลลิลิตร

ทำการทดลองโดยใช้กาวลาเท็กซ์ 2.00 กรัม และเกลือโซเดียมคลอไรด์ 6.00 กรัม และปิเปตสารละลายเหล็ก (II) – อโ托พีแนนนโทรลีน ความเข้มข้น 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร จากนั้นทำการปั่นกวนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน และเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่ชั่งไว้ลงไป จากนั้นทำการปั่นกวนต่อ จนกระทั่งกาวเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – อโ托พีแนนนโทรลีน เป็น 0.10, 0.20, 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และแยกก้อนกาวที่มีสีออกจากสารละลาย นำไปบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน และประมวลผลภาพสีด้วยโปรแกรม Image JTM ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – อโ托พีแนนนโทรลีนและค่าความเข้มแสง (Euclidean Distance)



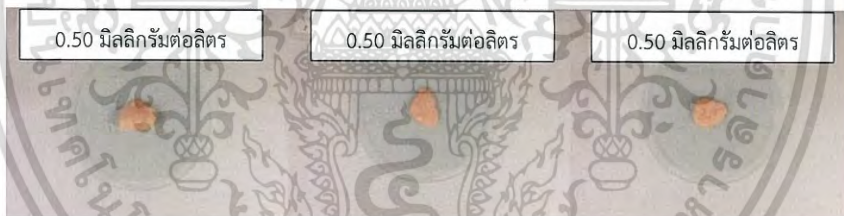
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

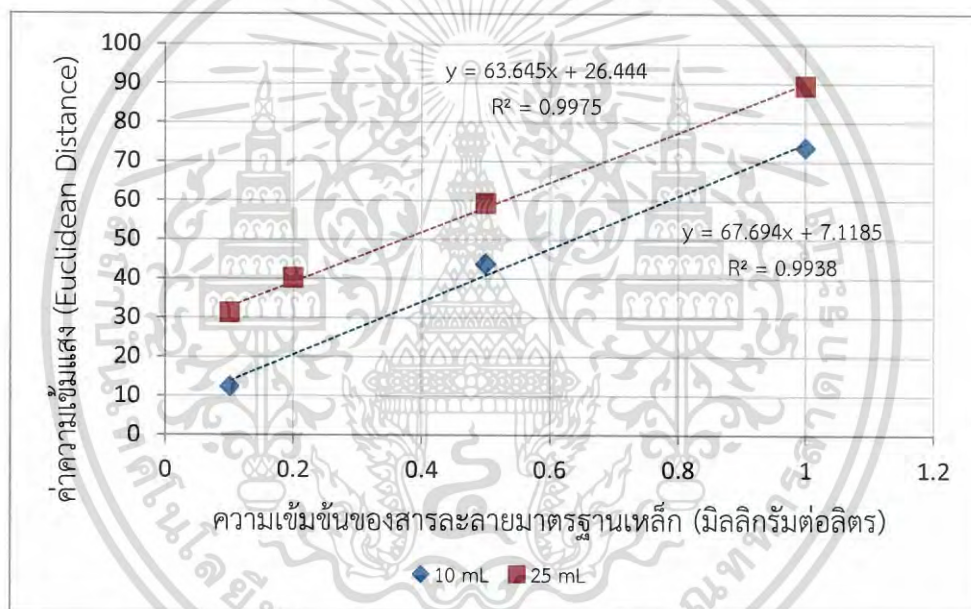
รูปที่ 4.12 แสดงส่วนของกาวที่แยกสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนโนโทรสีนออกมาจากน้ำของกราฟมาตรฐานที่ 25 มิลลิลิตรของ (ก)ความเข้มข้นที่ 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ข)ความเข้มข้นที่ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร (ค)ความเข้มข้นที่ 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร (ง)ความเข้มข้นที่ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ(จ)ความเข้มข้นที่ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 พบว่าลักษณะของก้อนกาวมีสีที่เข้มข้นตามความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนโนโทรลีน และเมื่อทำการบันทึกภาพสีบนพื้นผิวก้อนกาวด้วยเครื่องสแกน นำภาพที่ได้มาบันทึกค่าความเข้มแสง (RGB) ด้วยโปรแกรม Image JTM นำค่าความเข้มแสง (RGB) และนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของกราฟมาตรฐานของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนโนโทรลีนและค่าความเข้มแสง (Euclidean Distance) ที่ปริมาตร 25 มิลลิลิตรได้ความสัมพันธ์คือ $ED = 63.645[Fe] + 26.444$ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.9975 พบว่ากราฟที่ได้มีแนวโน้มความเป็นเส้นตรง โดยค่าความเข้มแสงแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนโนโทรลีน

4.8 เปรียบเทียบกราฟมาตรฐานสำหรับการดูดซับสีของกาวลาเท็กซ์จากสารละลายปริมาตร 10 และ 25 มิลลิลิตร

จากผลกราฟมาตรฐานสำหรับการดูดซับสีของกาวลาเท็กซ์จากสารละลายปริมาตร 10 และ 25 มิลลิลิตร นำผลการศึกษารูปที่ 4.13 มาเปรียบเทียบ ผลการศึกษารูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนโนโทรลีนและค่าความเข้มแสง (Euclidean Distance) ที่ปริมาตร 10 และ 25 มิลลิลิตร

จากรูปที่ 4.13 เปรียบเทียบกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนโนโทรลีนและค่าความเข้มแสง (Euclidean Distance) ที่ปริมาตร 10 และ 25 มิลลิลิตร พบว่าความเข้มสีที่ปริมาตร 25 มิลลิลิตรมีค่าสูงกว่าที่ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ด้วยอัตราส่วนที่เท่าๆกันในทุกความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนโนโทรลีน นั่นคือวิธีวิเคราะห์สามารถทำการ Preconcentration ได้ที่ปริมาตร 10 และ 25 มิลลิลิตร

4.9 ขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of Detection: LOD)

ค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ (LOD) ที่ปริมาตร 10 และ 25 มิลลิลิตร สามารถหาได้จากกราฟมาตรฐาน จากรูปที่ 4.13 ที่ปริมาตรสารละลาย 10 มิลลิลิตร จากสมการเส้นตรง $y = 67.694X + 7.118$ ได้ค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ 0.26 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ 25 มิลลิลิตร จากสมการเส้นตรง $y = 63.645X + 26.444$ ได้ค่าขีดจำกัดของการตรวจพบเท่ากับ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.10 ขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation: LOQ)

ค่าขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ) ที่ปริมาตร 10 และ 25 มิลลิลิตร สามารถหาได้จากกราฟมาตรฐาน จากรูปที่ 4.13 ที่ปริมาตรสารละลาย 10 มิลลิลิตร จากสมการเส้นตรง $y = 67.694X + 7.118$ ได้ค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ 0.87 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ 25 มิลลิลิตร จากสมการเส้นตรง $y = 63.645X + 26.444$ ได้ค่าขีดจำกัดของการตรวจพบเท่ากับ 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.11 การศึกษาร้อยละการคืนกลับสำหรับการดูดซับสีจากสารละลายปริมาตร 10 มิลลิลิตร

ทำการทดลองโดยใช้กาวลาเท็กซ์ 2.00 กรัม และเกลือโซเดียมคลอไรด์ 3.00 กรัม จากนั้นปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เติมสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรีน ที่ความเข้มข้น 0.00, 0.10, 0.20 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เตรียมไว้ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร จากนั้นทำการปั่นกวนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แยกก่อนกาวที่มีสีออกจากสารละลาย และนำก่อนกาวที่มีสีไปบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน ประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม ImageJTM และคำนวณหาค่า ED และหาความเข้มข้นของเหล็กโดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน ข้อ 3.3.5.1 คำนวณหาค่าร้อยละการคืนกลับ เพื่อแสดงความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ แสดงผลดังตารางที่ 4.5

4.12 การศึกษาร้อยละการคืนกลับสำหรับการดูดซับสีจากสารละลายปริมาตร 25 มิลลิลิตร

ทำการทดลองโดยใช้กาวลาเท็กซ์ 2.00 กรัม และเกลือโซเดียมคลอไรด์ 6.00 กรัม จากนั้นปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เติมสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรีน ที่ความเข้มข้น 0.00, 0.10, 0.20 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เตรียมไว้ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร จากนั้นทำการปั่นกวนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แยกก่อนกาวที่มีสีออกจากสารละลาย และนำก่อนกาวที่มีสีไปบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน ประมวลผลภาพด้วยโปรแกรม ImageJTM และคำนวณหาค่า ED และหาความเข้มข้นของเหล็กโดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน ข้อ 3.3.5.2 คำนวณหาค่าร้อยละการคืนกลับ เพื่อแสดงความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ แสดงผลดังตารางที่ 4.5

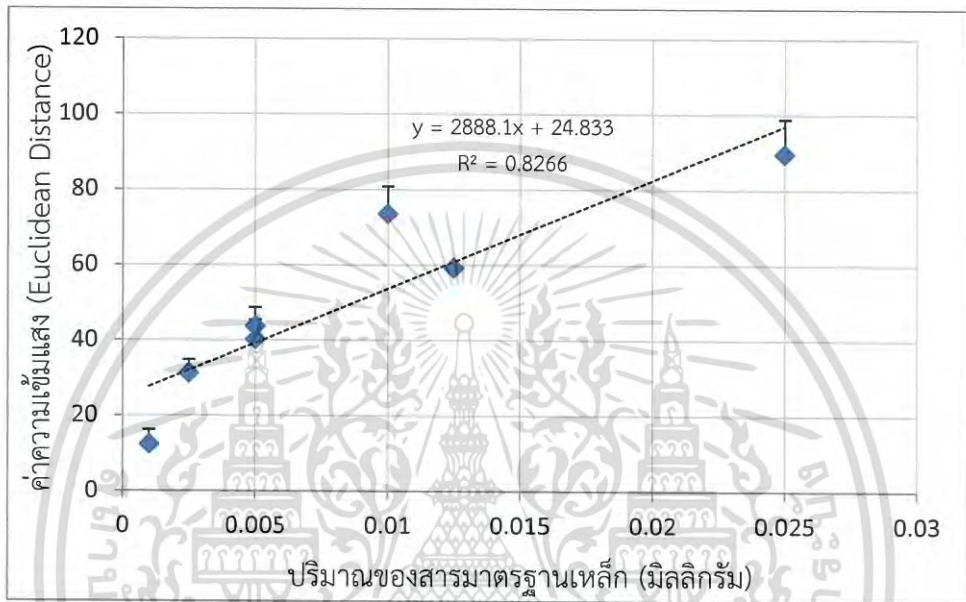
ตารางที่ 4.5 แสดงปริมาณเหล็ก และค่าร้อยละการคืนกลับของตัวอย่างน้ำดื่ม น้ำประปา และน้ำแร่ ที่ปริมาตร 10 และ 25 มิลลิลิตร ที่ทำการเติมสารละลายเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ตัวอย่าง	ปริมาณตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	ปริมาณเหล็ก(มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าร้อยละ การคืนกลับ
		ในตัวอย่าง	ที่เติมลงไป	ที่ตรวจพบ	
น้ำดื่ม	10	N.D	0.00	N.D	N.D
			0.10	0.09 ± 0.00	90.05 ± 0.00
			0.20	0.20 ± 0.08	96.70 ± 39.35
			0.50	0.47 ± 0.15	93.40 ± 30.21
	25	N.D	0.00	N.D	N.D
			0.10	N.D	N.D
			0.20	0.17 ± 0.07	83.15 ± 34.15
			0.50	0.40 ± 0.03	79.48 ± 5.77
น้ำประปา	10	N.D	0.00	N.D	N.D
			0.10	N.D	N.D
			0.20	0.22 ± 0.00	108.58 ± 0.00
			0.50	0.40 ± 0.08	80.49 ± 15.21
	25	N.D	0.00	N.D	N.D
			0.10	N.D	N.D
			0.20	N.D	N.D
			0.50	0.55 ± 0.05	109.85 ± 10.16
น้ำแร่	10	N.D	0.00	N.D	N.D
			0.10	0.07 ± 0.01	66.75 ± 11.30
			0.20	0.11 ± 0.01	52.81 ± 3.67
			0.50	0.30 ± 0.04	58.76 ± 8.30
	25	N.D	0.00	N.D	N.D
			0.10	N.D	N.D
			0.20	N.D	N.D
			0.50	0.33 ± 0.02	66.21 ± 3.33

N.D = Non Detection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองตารางที่ 4.5 พบว่าการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำดื่ม น้ำประปา และน้ำแร่ โดยวิธีการตรวจวัดจากตัวอย่างโดยตรงไม่สามารถตรวจวัดได้ จึงทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการเติมเหล็กมาตรฐานลงไป ผลการทดลองค่าขีดจำกัดการตรวจพบ(LOD) ที่ 10 มิลลิลิตร เท่ากับ 0.26 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ 25 มิลลิลิตร เท่ากับ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ) ที่ 10 มิลลิลิตร เท่ากับ 0.87 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ 25 มิลลิลิตร เท่ากับ 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร และจากผลการศึกษาข้างต้นได้ทำการรวบรวมข้อมูลของกราฟมาตรฐานที่ 10 และ 25 มิลลิลิตร และนำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารมาตรฐานและค่าความเข้มแสง (Euclidean Distance) ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารมาตรฐานหลัก และค่าความเข้มแสง (Euclidean Distance)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในตัวอย่างน้ำด้วยวิธีวิเคราะห์ โดยนำสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) - ออโทพีแนทโทรลินมาปั่นกรวนกับก้อนกาวยจนเป็นเนื้อเดียวกัน และเติมเกลือในปริมาณที่เหมาะสมลงไป จากนั้นปั่นกรวนต่อจนกาวยจับตัวกันเป็นก้อน ก้อนกาวยจะดูดซับสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนทโทรลินได้ก้อนกาวยสีส้มแดง ได้ผลสรุปดังนี้

จากการศึกษาชนิดของเกลือที่เหมาะสมกับการทำการทดลองคือ เกลือโซเดียมคลอไรด์ โดยปริมาณกาวย และเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เหมาะสมต่อปริมาณสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนทโทรลิน คือ 2.00 กรัม : 3.00 กรัม และ 2.00 กรัม : 6.00 กรัม สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ปริมาตร 10.00 และ 25.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ ได้กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแตกต่างความเข้มแสงกับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ที่ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ได้สมการเส้นตรงคือ $ED = 67.694[Fe] + 7.1185$ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.9938 และที่ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร ได้สมการเส้นตรงคือ $ED = 63.645[Fe] + 26.444$ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.9975 ค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ (LOD) เท่ากับ 0.26 และ 0.06 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ปริมาตรของสารละลาย 10.00 และ 25.00 มิลลิลิตรตามลำดับ ค่าขีดจำกัดของการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ) เท่ากับ 0.87 และ 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ปริมาตรของสารละลาย 10.00 และ 25.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์หาเหล็ก (II) ในตัวอย่างน้ำดื่ม น้ำประปา และน้ำแร่ มีค่าร้อยละคืนกลับอยู่ในช่วง 50 – 110

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาเกลือชนิดต่างๆเพิ่มเติม เพื่อหาเกลือในการทดลองให้ได้ก้อนกาวยที่เหมาะสมในการบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกน
2. ศึกษาวิธีการบันทึกภาพด้วยเครื่องสแกนด้วยวิธีต่างๆ เพื่อลดปัจจัยในการรบกวน เช่น แสงที่รูดผ่านขณะสแกนภาพ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] เทวารักษา เครือคล้ายและคณะ. 2552. ภูมิปัญญาท้องถิ่นในการบริหารจัดการน้ำ อุบลราชธานี. กรุงเทพฯ : สำนักงานบริหารจัดการน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ.
- [2] มาตรฐานทางเคมีของน้ำ. [Online]. Available : http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water.html; Search : 30 January 2018.
- [3] การหาปริมาณเหล็กกรรมในน้ำโดยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี. [Online]. Available : <http://www.sc.sci.rmutp.ac.th/sctank/analchem/Lab6-UV-Vis.pdf>; Search : 30 January 2018.
- [4] Opinions on Phenanthroline. [Online]. Available : <http://www.writeopinions.com/phenanthroline>; Search : 30 January 2018.
- [5] กาวลาเท็กซ์. [Online]. Available : <http://www.vcharkarn.com/varticle/38229>; Search : 31 January 2018.
- [6] เทคนิคการตกตะกอนด้วยเกลือ. [Online]. Available : <http://linjah.exteen.com/20080905/salting-out-salting-in>; Search : 14 February 2018.
- [7] What is the effect on enthalpy during hydrophobic 'bond' formation? [Online]. Available : <http://www.madsci.org/posts/archives/2004-05/1085880426.Bc.r.html> Search : 14 February 2018.
- [8] เครื่องสแกน. [Online]. Available : <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/computer/system/scanner.htm>; Search : 30 January 2018.
- [9] Canon CanoScan LiDE 110 Color Image Scanner. [Online]. Available : <https://www.pcmag.com/article2/0,2817,2373798,00.asp>; Search : 30 January 2018.
- [10] ระบบสี (Color Model). [Online]. Available : <https://sites.google.com/site/wbicomputergraphics/rabb-si-color-model/>; Search : 30 January 2018.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] CMYK & RGB Color Models. [Online]. Available : <https://www.lcipaper.com/kb/what-are-the-differences-between-pantone-cmyk-rgb.html>; Search : 30 January 2018.
- [12] Technical Terms: Hexagonal Cone. [Online]. Available : <http://www.clickscanshare.com/journal/technical-terms-hexagonal-cone>; Search : 15 February 2018.
- [13] ทฤษฎีสีของระบบLab. [Online]. Available : <https://xn--12cf0dj0aaufkr9l0ai2m6ab4p.blogspot.com/2014/06/lab.html>; Search : 30 January 2018.
- [14] ระบบสี RGB, CMYK, HSB และ $L^*a^*b^*$ คืออะไร. [Online]. Available : <http://sampuszo007.blogspot.com/2015/03/rgb-cmyk-hsb-lab.html>; Search : 30 January 2018.
- [15] Optimal Color Design of Psychological Counseling Room by Design of Experiments and Response Surface. [Online]. Available : https://www.researchgate.net/figure/CIE-Lab-color-space_fig3_260525858; Search : 15 February 2018.
- [16] 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.
- [17] นฤชิต ไพโรจน์. 2555, ศึกษาชุดทดสอบแบบจุดโดยใช้โซล-เจลเจือออร์โทฟิแนทโกลีนสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณของเหล็ก (II). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [18] ฉันททัต วงษ์ดี. 2559, การพัฒนากระดาษทดสอบที่ตรึงออร์โทฟิแนทโกลีนด้วยกระบวนการโซล-เจลสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [19] B. Peng, G. Chen a, K. Li , M. Zhou, J. Zhang and S. Zhao, 2017. Dispersive liquid-liquid microextraction coupled with digital image colorimetric analysis for detection of total iron in water and food samples. *Food Chemistry*, 230, 667-672.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [20] J. Xu, P. Che and Y. Ma, 1996. More sensitive way to determine iron using an iron(II)-1,10-phenanthroline complex and capillary electrophoresis. *Journal of Chromatography A*, 749, 287-294 .
- [21] Y. Huang, D. Yuan, M. Dai and Y. Liu, 2012. Reverse flow injection analysis method for catalytic spectrophotometric determination of iron in estuarine and coastal waters: A comparison with normal flow injection analysis. *Talanta*, 93, 86-93.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ

วันที่ 18 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2561

ข้าพเจ้า นางสาวภารดี พวงพันธ์ รหัสประจำตัว 57050484
นางสาวสิรารวรรณ อิมสรพวงค์ รหัสประจำตัว 57050529
นางสาวสุชาดา คงสมบุรณ์ รหัสประจำตัว 57050533

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม ภาควิชา เคมี
ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย การวิเคราะห์เหล็กในน้ำโดยใช้กาวลาเท็กซ์เป็นตัวดูดซับสี

ชื่อภาษาอังกฤษ Determination of Iron in Water Using Latex Glue as Color – Adsorbed
Adsorbent

ปีการศึกษา 2560

เป็นผลงานวิจัยที่ได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อน

เรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่ม
โครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 0.46 %

ลงชื่อ...ภารดี พวงพันธ์...

(นางสาวภารดี พวงพันธ์)

นักศึกษา

ลงชื่อ...สิรารวรรณ อิมสรพวงค์...

(นางสาวสิรารวรรณ อิมสรพวงค์)

นักศึกษา

ลงชื่อ...สุชาดา คงสมบุรณ์...

(นางสาวสุชาดา คงสมบุรณ์)

นักศึกษา

ข้าพเจ้า ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ตรวจสอบโครงการพิเศษ
ของนักศึกษาข้างต้น แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลง
ชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ...วิบูลย์...

(ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้