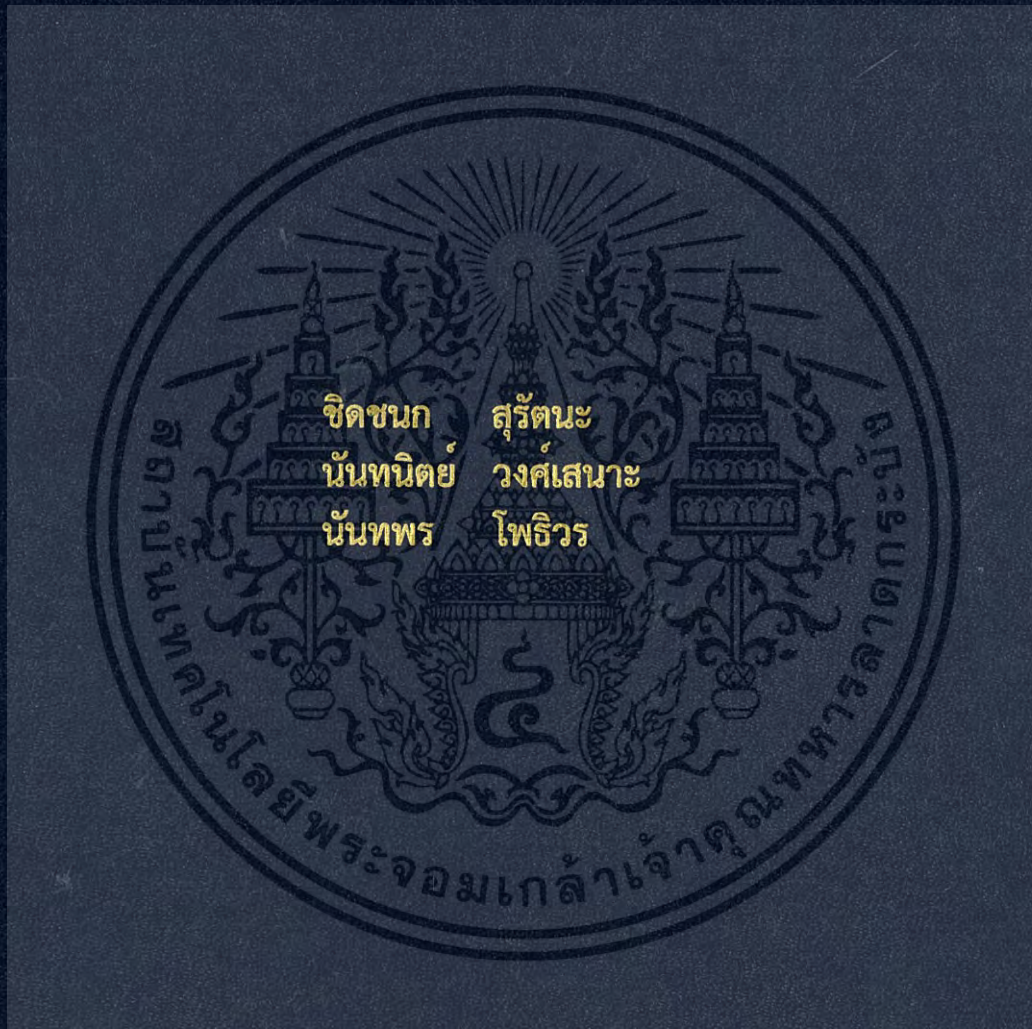


การวิเคราะห์เหล็กในน้ำโดยใช้กาวน้ำเป็นสารดูดซับสี  
DETERMINATION OF IRON IN WATER USING  
WATER - GLUE AS ADSORBENT FOR COLOR



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

การวิเคราะห์เหล็กในน้ำโดยใช้กาวน้ำเป็นสารดูดซับสี

DETERMINATION OF IRON IN WATER USING  
WATER - GLUE AS ADSORBENT FOR COLOR



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DETERMINATION OF IRON IN WATER USING  
WATER - GLUE AS ADSORBENT FOR COLOR



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 MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การวิเคราะห์เหล็กในน้ำโดยใช้กาวน้ำเป็นสารดูดซับสี  
 Determination of Iron in Water Using Water-Glue as Adsorbent  
 for Color

ชื่อนักศึกษา นางสาวชิตชนก สุรัตน์ รหัสนักศึกษา 57050399  
 นางสาวนันทนิตย์ วงศ์เสนาะ รหัสนักศึกษา 57050433  
 นางสาวนันทพร โพธิวร รหัสนักศึกษา 57050434

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

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้  
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต  
 (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี กรรมการ	
ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การวิเคราะห์หาเหล็กในน้ำโดยใช้กาวน้ำเป็นสารดูดซับสี		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวชิตชนก	สุรัตน์ะ	รหัสนักศึกษา 57050399
	นางสาวนันท์นิตย์	วงศ์เสนาะ	รหัสนักศึกษา 57050433
	นางสาวนันท์พร	โพธิวร	รหัสนักศึกษา 57050434
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2560		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ		

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาการใช้กาวน้ำเป็นสารดูดซับสีในการวิเคราะห์เหล็กในน้ำ นำสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้นในช่วง 0.10 – 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 และ 25.00 มิลลิลิตร ไปปั่นกวนพร้อมกับกาวน้ำปริมาณ 2.00 และ 3.00 กรัม ตามลำดับ เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเติมโซเดียมคลอไรด์ลงไป ปริมาณ 5.00 และ 9.00 กรัม ตามลำดับ ปั่นกวนอีก 15 นาที แยกก่อนกาวที่ดูดซับสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ซึ่งมีสีส้ม นำไปบันทึกภาพสีด้วยเครื่องสแกน และใช้โปรแกรม Image J<sup>TM</sup> วัดค่าความเข้มสี (RGB) จากนั้นคำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสง แล้วพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็ก (II) ในช่วง 0.0010 – 0.0250 มิลลิกรัม กับความแตกต่างความเข้มแสง ได้สมการเชิงเส้นคือ  $ED = 3907.8[Fe] + 70.599$  ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $r^2$ ) เท่ากับ 0.8575 มีขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) และขีดจำกัดการวิเคราะห์ (LOQ) เท่ากับ 0.01 มิลลิกรัม และ 0.04 มิลลิกรัม ตามลำดับ การวิเคราะห์โดยใช้สารละลายตัวอย่างปริมาตร 10.00 และ 25.00 มิลลิลิตร ให้ค่าร้อยละคืนกลับในช่วง 54.52 – 178.56 และ 88.25 – 118.24 ตามลำดับ

คำสำคัญ : กาวน้ำ, โซเดียมคลอไรด์, เหล็ก (II), ออโทพีแนนโทรลีน

<b>Title</b>	Determination of Iron in Water Using Water-Glue as Adsorbent for Color		
<b>Student</b>	Miss Chitchanok Surattana	Student ID 57050399	
	Miss Nanthanit Wongsanao	Student ID 57050433	
	Miss Nanthaporn Phothivorn	Student ID 57050434	
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
<b>Department</b>	Chemistry		
<b>Faculty</b>	Science		
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Lakrabang (KMITL)		
<b>Academic Year</b>	2016		
<b>Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Wiboon Praditweangkum		

### Abstract

This special project is aimed to study the using water - glue as adsorbent for color in determination of Iron in water. Each 10.00 mL and 25.00 mL of iron (II) – orthophenanthroline standard solution in concentration range of 0.10 – 1.00 mg/L is together stirred with water - glue 2.00 and 3.00 g, respectively, for 10 minutes. Then sodium chloride 5.00 and 9.00 g, respectively, is added and continuously stirred for 15 minutes. A piece of glue that absorbs orange color of iron (II)–orthophenanthroline complex could be separated. The image of color – adsorbed glue is recorded using a scanner and the color intensity (RGB) can be evaluated with Image J™ program. The Euclidean Distance (ED) is calculated and plotted as a calibration curve that relates to quantity of iron in range of 0.0010 – 0.0250 mg. The linear equation is  $ED = 3907.8[Fe] + 70.599$  with coefficient of determination ( $r^2$ ) = 0.8575. Limit of detection (LOD) and limit of quantitation (LOQ) are 0.01 mg and 0.04 mg, respectively. The recovery in range of 54.52 – 178.56 % and 88.25 – 118.24 % can be obtained with analysis procedure using sample solution 10.00 mL and 25.00 mL, respectively.

**Keywords :** Water- Glue, Sodium Chloride, Iron (II) , Orthophenanthroline

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์เหล็กในน้ำโดยใช้กาวน้ำเป็นสารดูดซับสี จัดทำขึ้นเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม แขนงเคมีวิเคราะห์

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีตามวัตถุประสงค์ของโครงการเนื่องจากได้รับความกรุณาจาก ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นเพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติได้อย่างถูกต้อง ตลอดจนการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงาน ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น และ ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี กรรมการสอบโครงการพิเศษที่กรุณาตรวจสอบและแก้ไขโครงการพิเศษนี้ให้ถูกต้องมากขึ้น นอกจากนี้ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ชั้น 5 อาคารวิทยาศาสตร์ อาคารสมเด็จพระเทพ และอาคารจุฬารามณ์ 1 ทุกท่านที่ช่วยเหลือทั้งในเรื่องอุปกรณ์ สารเคมี ตลอดจนเครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ และขอพระขอบคุณ บิดามารดา ผู้อุปการคุณทุกท่านที่ได้ให้ความรัก การดูแลเอาใจใส่ให้ตระหนักถึงความสำคัญและสนับสนุน การศึกษาตลอดมา นอกจากนี้ขอบคุณเพื่อนๆ สาขาเคมีอุตสาหกรรม แขนงเคมีวิเคราะห์ทุกคน ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษเล่มนี้

ชิดชนก สุรัตน์ะ

นันท์นิตย์ วงศ์เสนาะ

นันท์พร โพธิ์วร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ซ
คำย่อ.....	ฐ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....	<b>3</b>
2.1 เหล็ก (Iron).....	3
2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก.....	3
2.3 กาวน้ำ.....	4
2.4 กระบวนการ Salting out.....	5
2.5 โปรแกรม Image J.....	6
2.6 ระบบสีแบบ RGB.....	6
2.7 การคำนวณค่าความแตกต่างความเข้มแสง (Euclidean distance; ED).....	7
2.8 หลักการทำงานของเครื่องสแกน (Scanner).....	7
2.8.1 ภาพจากการสแกน.....	8
2.8.2 การทำงานของเครื่องสแกน.....	8
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
<b>บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย</b> .....	<b>12</b>
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์.....	12
3.1.1 สารเคมี.....	12
3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	12
3.2 การเตรียมสารละลาย.....	13

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 วิธีดำเนินการทดลอง.....	15
3.3.1 การดูดซับสีของกาวน้ำจากสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร.....	15
3.3.1.1 การศึกษาการใช้เกลือโซเดียมซัลเฟต.....	15
3.3.1.2 การศึกษาการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์.....	15
3.3.1.3 การสร้างกราฟมาตรฐาน.....	16
3.3.1.3.1 กราฟมาตรฐานจากการใช้เกลือโซเดียมซัลเฟต.....	16
3.3.1.3.2 กราฟมาตรฐานจากการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์.....	16
3.3.2 การดูดซับสีของกาวน้ำจากสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร.....	17
3.3.2.1 การศึกษาการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์.....	17
3.3.2.2 การสร้างกราฟมาตรฐาน.....	17
3.3.2.2.1 กราฟมาตรฐานจากการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์.....	17
3.3.3 การดูดซับสีของกาวน้ำจากสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร.....	18
3.3.3.1 การศึกษาการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์.....	18
3.3.3.2 การสร้างกราฟมาตรฐาน.....	18
3.3.3.2.1 กราฟมาตรฐานจากการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์.....	18
3.3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ.....	19
3.3.4.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำ.....	19
3.3.4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ โดยใช้สารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร.....	19
3.3.4.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ โดยใช้สารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร.....	19
3.3.5 การศึกษาร้อยละการคืนกลับ.....	20
3.3.5.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำ.....	20
3.3.5.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ โดยใช้สารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร.....	20
3.3.5.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ โดยใช้สารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร.....	20

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การบันทึกค่าความเข้มแสงจากโปรแกรม Image J™ .....	21
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล</b> .....	<b>22</b>
4.1 การดูดซับสีของกาวน้ำจากสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร .....	23
4.1.1 ผลการศึกษาใช้เกลือโซเดียมซัลเฟต .....	23
4.1.2 ผลการศึกษาการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ .....	26
4.1.3 กราฟมาตรฐาน .....	29
4.2 การดูดซับสีของกาวน้ำจากสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร .....	31
4.2.1 ผลการศึกษาการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ .....	31
4.2.2 กราฟมาตรฐาน .....	33
4.3 การดูดซับสีของกาวน้ำจากสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร .....	35
4.3.1 ผลการศึกษาการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ .....	35
4.3.2 กราฟมาตรฐาน .....	37
4.4 ผลการศึกษาปริมาณสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน .....	38
4.5 ศึกษาความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ .....	40
4.5.1 ขีดจำกัดการตรวจวัด .....	40
4.5.2 ขีดจำกัดการวิเคราะห์ .....	42
4.6 กราฟมาตรฐานรวม .....	42
4.6.1 ขีดจำกัดการตรวจวัด .....	42
4.6.2 ขีดจำกัดการวิเคราะห์ .....	43
4.7 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและคาร์บอนละลายกลับ .....	43
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b> .....	<b>47</b>
5.1 สรุปผลงานวิจัย .....	47
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	48
<b>เอกสารอ้างอิง</b> .....	<b>49</b>
<b>คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ</b> .....	<b>51</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่ามาตรฐานคุณภาพเหล็กที่มีในน้ำ.....	3
4.1 แสดงปริมาณเกลือและกาวน้ำที่เหมาะสมในการแยกไอออนเหล็ก (II) ออกจากสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร.....	29
4.2 แสดงปริมาณเกลือและกาวน้ำที่เหมาะสมในการแยกไอออนเหล็ก (II) ออกจากสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	39
4.3 แสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีน ในตัวอย่างน้ำ และคาร์ร็อยละคืนกลับ.....	45



## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้าง 1,10-phenanthroline.....	4
2.2 การเกิดสารเชิงซ้อนที่มีสี่ระหว่งอโทพีแนนนโทรลีนกับไอออนเหล็ก (II).....	4
2.3 โครงสร้างทางเคมีของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์.....	5
2.4 กระบวนการ Salting out.....	5
2.5 ระบบสีแบบ RGB.....	7
4.1 (ก) สีของสารละลายแบลงค์.....	22
4.1 (ข) สีของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนนโทรลีน ความเข้มข้น 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	22
4.1 (ค) สีของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนนโทรลีน ความเข้มข้น 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	22
4.1 (ง) สีของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนนโทรลีน ความเข้มข้น 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	22
4.1 (จ) สีของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร.....	22
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนนโทรลีน กับความแตกต่างความเข้มแสงที่ได้จากการตรวจวัดสีของสารละลายโดยใช้ภาพจากกล้อง โทรศัพท์มือถือ.....	23
4.3 (ก) สารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้เกลือโซเดียมซัลเฟต 10.00 กรัม.....	24
4.3 (ข) สารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้เกลือโซเดียมซัลเฟต 11.00 กรัม.....	24
4.3 (ค) สารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้เกลือโซเดียมซัลเฟต 12.00 กรัม.....	24
4.3 (ง) สารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้เกลือโซเดียมซัลเฟต 13.00 กรัม.....	24
4.3 (จ) สารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้เกลือโซเดียมซัลเฟต 14.00 กรัม.....	24
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟตกับความแตกต่าง ความเข้มแสงที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร.....	24
4.5 (ก) เปรียบเทียบสีของสารละลายปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้ กาวน้ำ 1.00 กรัม.....	25
4.5 (ข) เปรียบเทียบสีของสารละลายปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้ กาวน้ำ 2.00 กรัม.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 (ค) เปรียบเทียบสีของสารละลายปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้ กาวน้ำ 3.00 กรัม.....	25
4.5 (ง) เปรียบเทียบสีของสารละลายปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้ กาวน้ำ 4.00 กรัม.....	25
4.5 (จ) เปรียบเทียบสีของสารละลายปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้ กาวน้ำ 5.00 กรัม.....	25
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกาวน้ำกับความแตกต่างความเข้มแสง ที่ได้จากการตรวจวัดสีของสารละลาย ที่ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร.....	25
4.7 (ก) สารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนโนโทรสีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ 1.00 กรัม.....	26
4.7 (ข) สารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนโนโทรสีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ 2.00 กรัม.....	26
4.8 (ก) เปรียบเทียบสีของสารละลายปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้ เกลือโซเดียมคลอไรด์ 3.00 กรัม.....	27
4.8 (ข) เปรียบเทียบสีของสารละลายปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้ เกลือโซเดียมคลอไรด์ 4.00 กรัม.....	27
4.8 (ค) เปรียบเทียบสีของสารละลายปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้ เกลือโซเดียมคลอไรด์ 5.00 กรัม.....	27
4.8 (ง) เปรียบเทียบสีของสารละลายปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้ เกลือโซเดียมคลอไรด์ 6.00 กรัม.....	27
4.8 (จ) เปรียบเทียบสีของสารละลายปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้ เกลือโซเดียมคลอไรด์ 7.00 กรัม.....	27
4.8 (ฉ) เปรียบเทียบสีของสารละลายปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้ เกลือโซเดียมคลอไรด์ 16.00 กรัม.....	27
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์กับความแตกต่าง ความเข้มแสงที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร.....	27
4.10 (ก) สีของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนโนโทรสีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้กาวน้ำ 1.00 กรัม.....	28
4.10 (ข) สีของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนโนโทรสีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้กาวน้ำ 2.00 กรัม.....	28

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 (ค) สีของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนโนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้กาวน้ำ 3.00 กรัม.....	28
4.10 (ง) สีของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนโนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้กาวน้ำ 4.00 กรัม.....	28
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกาวน้ำกับความแตกต่างความเข้มแสง ที่ได้จากการตรวจวัดสีของสารละลาย ที่ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร.....	28
4.12 (ก) กาวที่ดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) - ออโทพีแนโนโทรลีน ใช้เกลือโซเดียมซัลเฟต 12.00 กรัม และกาวน้ำ 2.00 กรัม.....	30
4.12 (ข) กาวที่ดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) - ออโทพีแนโนโทรลีน ใช้เกลือโซเดียมซัลเฟต 5.00 กรัม และกาวน้ำ 2.00 กรัม.....	30
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนโนโทรลีน กับความแตกต่างความเข้มแสงที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร.....	30
4.14 (ก) เปรียบเทียบสีของสารละลายปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ 7.00 กรัม.....	31
4.14 (ข) เปรียบเทียบสีของสารละลายปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ 8.00 กรัม.....	31
4.14 (ค) เปรียบเทียบสีของสารละลายปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ 9.00 กรัม.....	31
4.14 (ง) เปรียบเทียบสีของสารละลายปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ 10.00 กรัม.....	31
4.14 (จ) เปรียบเทียบสีของสารละลายปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ 11.00 กรัม.....	31
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสงที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร.....	32
4.16 (ก) สารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนโนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้กาวน้ำ 2.00 กรัม.....	33
4.16 (ข) สารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนโนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้กาวน้ำ 3.00 กรัม.....	33
4.16 (ค) สารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนโนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้กาวน้ำ 4.00 กรัม.....	33

## สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 (ง) สารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้กาวน้ำ 5.00 กรัม.....	33
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกาวน้ำกับความแตกต่างความเข้มแสง ที่ได้จากการตรวจวัดสีของสารละลาย ที่ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร.....	33
4.18 (ก) กาวที่ดูดซับสีของสารละลายแบลงค์ ที่ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร.....	34
4.18 (ข) กาวที่ดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) - ออโทพีแนนนโทรลีน ความเข้มข้น 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร.....	34
4.18 (ค) กาวที่ดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) - ออโทพีแนนนโทรลีน ความเข้มข้น 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร.....	34
4.18 (ง) กาวที่ดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) - ออโทพีแนนนโทรลีน ความเข้มข้น 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร.....	34
4.18 (จ) กาวที่ดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) - ออโทพีแนนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร.....	34
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนนโทรลีน กับความแตกต่างความเข้มแสงที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร.....	34
4.20 (ก) เปรียบเทียบสีของสารละลายปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ 14.00 กรัม.....	35
4.20 (ข) เปรียบเทียบสีของสารละลายปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ 15.00 กรัม.....	35
4.20 (ค) เปรียบเทียบสีของสารละลายปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ 16.00 กรัม.....	35
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์กับความแตกต่าง ความเข้มแสงที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร.....	36
4.22 (ก) สีของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้กาวน้ำ 4.00 กรัม.....	37
4.22 (ข) สีของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้กาวน้ำ 5.00 กรัม.....	37
4.22 (ค) สีของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้กาวน้ำ 6.00 กรัม.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.22 (ง) สีของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร หลังการแยกของก้อนกาวที่ไม่จับตัวเป็นก้อนของการใช้กาวน้ำ 4.00 กรัม.....	37
4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกาวน้ำกับความแตกต่างความเข้มแสง ที่ได้จากการตรวจวัดสีของสารละลาย ที่ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร.....	37
4.24 (ก) กาวที่ดูดซับสีของสารละลายแบลงค์ ที่ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร.....	38
4.24 (ข) กาวที่ดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร.....	38
4.24 (ค) กาวที่ดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร.....	38
4.24 (ง) กาวที่ดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร.....	38
4.24 (จ) กาวที่ดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร.....	38
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีน กับความแตกต่างความเข้มแสงที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร.....	38
4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีน กับความแตกต่างความเข้มแสงที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 10,00, 25.00 และ 50.00 มิลลิลิตร.....	40
4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีน กับความแตกต่างความเข้มแสงที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร.....	40
4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีน กับความแตกต่างความเข้มแสงที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร.....	41
4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีน กับความแตกต่างความเข้มแสง.....	43

## คำย่อ

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
N.D	Not Detected



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

น้ำเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ จึงจำเป็นต้องมีคุณภาพที่เหมาะสมกับสุขภาพไม่มีสารปนเปื้อนที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ ซึ่งน้ำในธรรมชาติอาจมีการปนเปื้อนของเหล็กอยู่มากที่มีเหล็กสูงเกิน 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร จะไม่เหมาะสำหรับการบริโภคเพราะมีกลิ่น นอกจากนี้น้ำที่มีเหล็กสูงจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ส่งผลให้เกิดสนิมด้วย และถ้าร่างกายได้รับมากเกินไปก็อาจจะเป็นอันตรายได้ จึงเป็นที่มาในการทดสอบคุณภาพของน้ำ โดยทดสอบเชิงปริมาณของพวกโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำ

วิธีตรวจวัดเหล็กในห้องปฏิบัติการโดยทั่วไป มักใช้วิธี atomic absorption spectrometry (AAS), inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES), UV-Vis spectrophotometry, inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) และ neutron activation analysis เป็นต้น ซึ่งวิธีเหล่านี้ต้องใช้เวลาเยอะ มีขั้นตอนที่ซับซ้อน เครื่องมือมีขนาดใหญ่และมีราคาแพง จึงได้มีการพัฒนาวิธีการทดสอบขึ้นมาเพื่อลดข้อจำกัดในการทดสอบซึ่งเป็นประโยชน์ต่อชุมชนที่ห่างไกลและมีอุปกรณ์ในการทดสอบไม่เพียงพอ โดยจะใช้กาวเป็นสารดูดซับสีของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทโรลีน และใช้วิธี salting out ช่วยในการแยกสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทโรลีนออกจากน้ำได้ ซึ่งใช้รูปแบบการประมวลผลโดยการสแกนก่อนการดูดซับสีด้วยเครื่องสแกน จากนั้นวัดค่าความความเข้มสี (RGB) ประกอบด้วย สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่งจะสัมพันธ์กับปริมาณและความเข้มข้น ด้วยโปรแกรม Image J™ ทางคอมพิวเตอร์

ในงานวิจัยนี้ใช้กาวน้ำเป็นสารดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทโรลีน และใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในวิธี salting out ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ต้นทุนในการวิเคราะห์ต่ำ ราคาถูก และสามารถนำมาทดสอบได้ง่าย

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาการใช้กาวน้ำเป็นสารดูดซับสีสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในตัวอย่างน้ำ

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานมีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.1 สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1.3.2 ศึกษาหลักการของระบบที่เกี่ยวข้องกับการใช้กาวน้ำเป็นสารดูดซับสีของสารเชิงซ้อน  
เหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน

1.3.3 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมเกี่ยวกับการใช้กาวน้ำเป็นสารดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก  
(II) – ออโทพีแนนโทรลีน

1.3.4 นำไปประยุกต์ใช้งานในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในตัวอย่างน้ำโดยใช้กาวน้ำเป็นสารดูดซับสี

#### 1.5 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาหาข้อมูลทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ออกแบบวิธีการทดลอง

1.5.3 ดำเนินการทดลอง

1.5.4 วิเคราะห์ตัวอย่าง

1.5.5 สรุปและรายงานผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 เหล็ก (Iron) [1]

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

การที่ปริมาณของเหล็กในน้ำเพิ่มขึ้นทำให้เกิดปัญหาต่อผู้ใช้และบริโภค หากมีเหล็กในน้ำดื่มเกิน 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้เกิดสีและรสที่ไม่พึงประสงค์ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดคราบเกาะตามเสื้อผ้าและอ่างล้างอีกด้วย ในท่อส่งน้ำมักจะมีเหล็กละลายอยู่ในน้ำเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนจะกลายเป็นสารประกอบชนิดใหม่ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (visible) หรือที่เราพบเป็นประจำในรูปสนิมเหล็ก ซึ่งเมื่อผู้ใช้น้ำได้รับปริมาณเหล็กมากเกินไปอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ร่างกาย

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมีการพัฒนาการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (II) จากแหล่งน้ำชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย สะดวกรวดเร็ว และใช้เวลาในการทดสอบน้อย ค่ามาตรฐานของปริมาณเหล็กที่มีในน้ำแสดงในตารางที่ 2.1

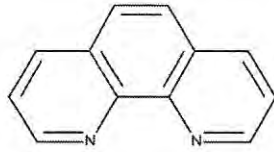
ตารางที่ 2.1 ค่ามาตรฐานปริมาณเหล็กที่มีในน้ำ [2]

มาตรฐานคุณภาพน้ำ	หน่วย	ปริมาณเหล็กที่กำหนดในมาตรฐาน
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกินกว่า 0.50
มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกินกว่า 0.30
มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่บริโภค	มิลลิกรัมต่อลิตร	ไม่เกินกว่า 0.50

### 2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก [3]

การวิเคราะห์หาปริมาณของเหล็กสามารถทำได้โดยการทำให้เหล็กเกิดสารเชิงซ้อนที่มีสีสีแดงระหว่างไอออน  $Fe^{2+}$  กับ 1,10-phenanthroline (หรือ o-phenanthroline) ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



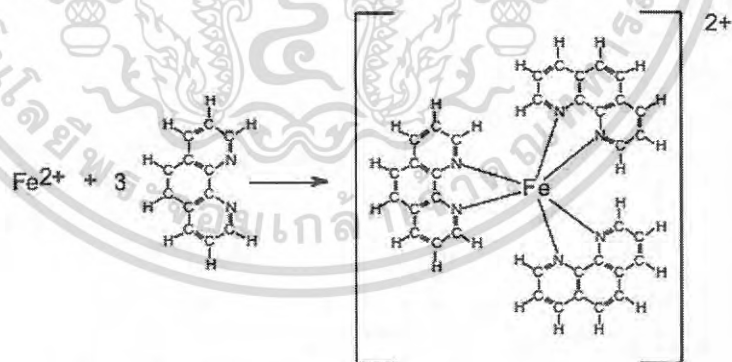
รูปที่ 2.1 โครงสร้างสาร 1,10-phenanthroline [4]

เนื่องจาก 1,10-phenanthroline ใช้วัดได้เฉพาะเหล็ก(II) เหล็กจะถูกรีดิวซ์จากเหล็กเฟอริก ( $\text{Fe}^{3+}$ ) ให้อยู่ในรูปเฟอร์รัส ( $\text{Fe}^{2+}$ ) โดยใช้ไฮดรอกโซลามีนไฮโดรคลอไรด์และทำปฏิกิริยากับ 1,10-phenanthroline พบว่าโมเลกุลของอโทพีแนนโทรลีนจะจับกับอะตอมของเหล็ก (II) เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีส้มแดง

เหล็กในรูป ( $\text{Fe}^{3+}$ ) จะถูกเปลี่ยนมาอยู่ในรูป ( $\text{Fe}^{2+}$ ) ให้หมดโดยจะไปลดออกซิเจนของไฮดรอกโซลามีนไฮโดรคลอไรด์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้



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



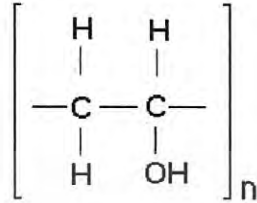
รูปที่ 2.2 การเกิดสารเชิงซ้อนที่มีสีระหว่างอโทพีแนนโทรลีนกับไอออนเหล็ก (II) [5]

### 2.3 กาวน้ำ [6]

กาวน้ำมีส่วนประกอบหลักคือ น้ำและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly (vinyl alcohol), PVA) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ ที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นสายโซ่ตรงยาวๆ หากสังเกตที่โครงสร้างทางเคมี

ของกาวชนิดนี้จะเห็นว่าหมู่ไฮดรอกซิล (-OH group) ติดอยู่กับโครงสร้างหลักของสายโซ่พอลิเมอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติหากไปเผยแพร่บนสื่อสาธารณะไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

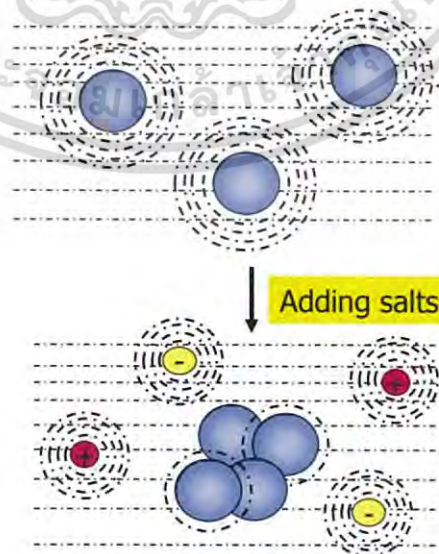
อยู่มาก ทำให้พอลิเมอร์ชนิดนี้ละลายน้ำได้ดี อนุภาคของพอลิเมอร์ในสารละลายมีขนาดเล็กมากคือมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า  $10^{-4}$  เซนติเมตร ซึ่งแสงสามารถส่องผ่านสารละลายได้ ทำให้กาวมีลักษณะเป็นของเหลวใส



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมี โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ [6]

## 2.4 กระบวนการ Salting out [7]

Salting out คือวิธีการแยกโปรตีนซึ่งละลายอยู่ในตัวทำละลายโดยการเติมเกลืออนินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูงๆ จนถึงสารละลายเกลืออิ่มตัว เริ่มแรกโปรตีนละลายอยู่ในน้ำ โมเลกุลของโปรตีนจะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำ แต่เมื่อเติมเกลืออนินทรีย์ เช่น สารละลายโซเดียมคลอไรด์ หรือ สารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตอิ่มตัวลงไป โมเลกุลของน้ำก็จะเข้ามาล้อมรอบโมเลกุลของเกลืออนินทรีย์แทนโมเลกุลของโปรตีน จึงทำให้โปรตีนสามารถจับตัวกันเป็นก้อนหรือที่เรียกว่าการตกตะกอนออกมา การทำ salting out คือการลดความสามารถในการละลายของโปรตีนในน้ำ กระบวนการ salting out แสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กระบวนการ Salting out [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 โปรแกรม Image J [9]

Image J™ เป็นโปรแกรมที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย Wayne Rasband และ The National Institute of Health (NIH) ประเทศสหรัฐอเมริกา โปรแกรมนี้ถูกเขียนมาเพื่ออำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ข้อมูลจากรูปภาพ ตัวอย่างเช่น การนับจำนวนเซลล์ที่ได้จากภาพถ่าย การหาพื้นที่ของวัตถุ เป็นต้น โดยทำการวัดขนาดของอนุภาคที่ปรากฏในรูปภาพ นอกจากนี้ยังได้พัฒนามาวิเคราะห์ขนาดของเกรนและการกระจายตัวของภาคตัดขวางของวัสดุเป็นการประยุกต์ใช้เพื่อหาคุณสมบัติของวัสดุอีกวิธีหนึ่ง เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ภาพที่ให้มีการดาวน์โหลดได้ฟรีและยังมีการเปิด source code ให้มีการพัฒนาอีกด้วย ปัจจุบันได้มีการนำมาใช้มากขึ้นในการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ โปรแกรมนี้มีข้อดีโดยสังเขปดังนี้

1. การนำภาพมาวิเคราะห์สามารถเลือกภาพถ่ายที่มีขนาด 8 บิต, 16 บิต และ 32 บิต
2. สกุลไฟล์ภาพที่นำมาวิเคราะห์ ได้แก่ TIFF, GIF, JPEG, BMP, DICOM, FITS และ Raw
3. สามารถคำนวณพื้นที่และปริมาณ Pixel ตามการเลือกพื้นที่ของผู้ใช้กำหนดรูปแบบผ่านโหมด contrast manipulation, sharpening, smoothing, edge detection และ median filtering
4. ดาวน์โหลด Plug in ตามลักษณะที่สนใจได้
5. เปิดกว้างการพัฒนา source code สำหรับผู้สนใจและพัฒนาโปรแกรม

## 2.6 ระบบสีแบบ RGB [10]

เป็นระบบสีที่ประกอบด้วยแม่สี 3 สีคือ แดง (Red) เขียว (Green) และ น้ำเงิน (Blue) ในสัดส่วนความเข้มข้นที่แตกต่างกัน เมื่อนำมาผสมกันทำให้เกิดสีต่างๆ บนจอคอมพิวเตอร์ได้มากถึง 16.7 ล้านสี ซึ่งใกล้เคียงกับสีที่ตาเรามองเห็นได้โดยปกติ และจุดที่สีทั้งสามสีรวมกันจะกลายเป็นสีขาว

นิยมเรียกการผสมสีแบบนี้ว่าแบบ “Additive” หรือการผสมสีแบบบวก ซึ่งเป็นการผสมสีขั้นที่ 1 หรือถ้านำเอา Red Green Blue มาผสมครั้งละ 2 สี ก็จะทำให้เกิดสีใหม่ เช่น

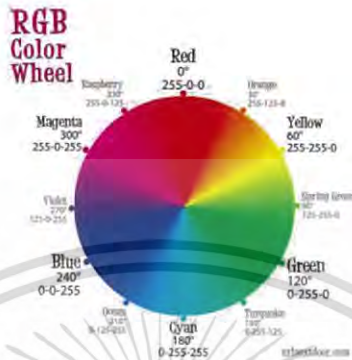
Blue + Green = Cyan

Red + Blue = Magenta

Red + Green = Yellow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงสี RGB มักจะถูกใช้สำหรับการส่องสว่างทั้งบนจอทีวีและจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งสร้างจากการให้กำเนิดแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ทำให้สีดูสว่างกว่าความเป็นจริง ระบบสี RGB แสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ระบบสีแบบ RGB [10]

## 2.7 การคำนวณค่าความแตกต่างของความเข้มแสง (Euclidean distance; ED) [11]

Euclidean distance (ED) คือความแตกต่างของความเข้มแสง หาได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า “สมการเชิงเส้นแบบยูคลิด” มีสมการดังนี้

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

โดยที่  $\Delta$  คือ ผลต่างของแสงที่จุด Blank กับความเข้มแสง ณ จุดที่เกิดปฏิกิริยาที่ความเข้มชั้นต่างๆ

$I_R$  คือ ค่าความเข้มแสงสีแดง

$I_G$  คือ ค่าความเข้มแสงสีเขียว

$I_B$  คือ ค่าความเข้มแสงสีน้ำเงิน

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

## 2.8 หลักการทำงานของเครื่องสแกน (Scanner) [12]

เครื่องสแกน คืออุปกรณ์เชื่อมต่อคอมพิวเตอร์แบบกราฟิกที่มีหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงภาพต้นฉบับ (รูปถ่าย ตัวอักษรบนหน้ากระดาษ ภาพวาด) ให้เป็นข้อมูล เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในการแสดงผลที่หน้าจอ ทำให้สามารถแก้ไขตกแต่งเพิ่มเติมและจัดเก็บข้อมูลได้ คำว่า สแกน (scan) หมายถึง กราดตรวจ, กราดภาพ

เครื่องสแกนหรือเครื่องกราดภาพ จะทำการตรวจสอบข้อมูลในลักษณะตัวอักษร หรือภาพ โดยเรียงลำดับทีละส่วน

สแกนเนอร์มีหลักการทำงาน คือ เครื่องอ่านภาพจะทำการอ่านภาพโดยอาศัยการสะท้อนหรือการส่องผ่านของแสงกับภาพต้นฉบับที่ทึบแสงหรือโปร่งแสงให้ตกกระทบกับแถบของอุปกรณ์ไวแสง (photosensitive) ซึ่งมีชื่อในทางเทคนิคว่า Charge - Couple Device (CCD) ตัว CCD จะรับแสงดังกล่าวลงไปเก็บไว้ในเส้นเล็กของเซลล์ และจะแปลงคลื่นแสงของแต่ละเซลล์เล็กๆ ให้กลายเป็นคลื่นความต่างศักย์ ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามอัตราส่วนของระดับความเข้มของแสงแต่ละจุด

ตัวแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล หรือ ADC : Analog to Digital Converter จะแปลงคลื่นความต่างศักย์ให้เป็นข้อมูลในรูปแบบที่คอมพิวเตอร์เข้าใจ ในเวลาเดียวกันโปรแกรมในการอ่านจะควบคุมการทำงานของเครื่องอ่านภาพให้รับข้อมูลเข้า และจัดรูปแบบเป็นแฟ้มข้อมูลของภาพในระบบคอมพิวเตอร์ต่อไป

### 2.8.1 ภาพจากการสแกน

ภาพในคอมพิวเตอร์จะอยู่ในรูปแบบดิจิทัล คอมพิวเตอร์แทนส่วนเล็กๆ ของภาพเรียกว่า พิกเซล (pixels) ขนาดของไฟล์รูปภาพจะประกอบด้วยจำนวนพิกเซลเป็นร้อยเป็นพัน คอมพิวเตอร์จะบันทึกค่าความเข้มและค่าสีของพิกเซลแต่ละพิกเซลด้วยจำนวน 1 บิต หรือหลายๆ บิต จำนวนของพิกเซลจะเป็นตัวแสดงถึงความละเอียดและถ้ามีจำนวนบิตต่อพิกเซลมาก สีที่ได้ก็จะมากตามไปด้วย

### 2.8.2 การทำงานของเครื่องสแกน

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องสแกน คือ แหล่งกำเนิดแสงซึ่งจะทำหน้าที่ฉายแสงไปที่กระดาษที่วางอยู่บนกระจก พื้นทึบที่ผิวปิดจะช่วยให้การสะท้อนของแสงดีขึ้น เมื่อเครื่องสแกนทำงาน มอเตอร์จะขับเคลื่อนหัวสแกนผ่านใต้กระดาษ ในระหว่างที่เคลื่อนที่หัวสแกนจะจับแสงที่สะท้อนมาจากแต่ละพื้นที่ของกระดาษด้วย ซึ่งพื้นที่นี้จะมีขนาดประมาณ 1/90,000 ตารางนิ้ว แสงจากกระดาษจะสะท้อนผ่านระบบกระจกเพื่อทำให้ลำแสงนั้นได้ไปในทิศทางที่เหมาะสมไปยังเลนส์ เลนส์จะรวมแสงเพื่อไปผ่านไดโอดแสง เพื่อแปลงข้อมูลแสงนี้ให้อยู่ในรูปแบบของกระแสไฟฟ้า ถ้าเป็นสแกนเนอร์แบบสี แสงที่สะท้อนนี้จะผ่านไปยังฟิลเตอร์แดง เขียว หรือน้ำเงิน ที่อยู่หน้าไดโอด ADC จะเก็บข้อมูลแอมพลิจูดแต่ละส่วนนี้ไว้ ซึ่งข้อมูลแต่ละส่วนนี้เรียกว่า พิกเซล การเคลื่อนที่ของสแกนเนอร์บางประเภท ตัวกระดาษไม่เคลื่อนที่ สิ่งที่เคลื่อนที่คือ หัวสแกน แต่ในสแกนเนอร์ระดับสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวอ่านจะไม่เคลื่อนที่ จะมีตัวหมุนกระดาดเข้าไปด้วยวิธีนี้ทำให้คุณภาพที่ได้จากการสแกนเนอร์แบบนี้สูงกว่าโปรแกรมรู้จำตัวอักษร

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นฤชิต ไพโรจน์ [13] ศึกษาชุดทดสอบแบบจุดโดยใช้โซล - เจลเจือออโทพีแนทโกลีนสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณของเหล็ก (II) โดยใช้เครื่องสแกนเนอร์เป็นเครื่องมือตรวจวัด สามารถเตรียมได้โดยหยดสารละลายโซล - เจลเจือออโทพีแนทโกลีน จำนวน 10.00 ไมโครลิตร ลงบนกระดาดกรอง นำสารละลายตัวอย่างมาเติมด้วยสารละลายไฮดรอกไซด์ของไฮโดรคลอไรด์ ( $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ ) แล้วนำสารละลายผสมดังกล่าว จำนวน 10.00 ไมโครลิตร หยดลงบริเวณจุดทดสอบ จะเกิดสารเชิงซ้อนสีแดงส้มระหว่างไอออนเหล็ก (II) กับออโทพีแนทโกลีน จากนั้นตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงด้วยเครื่องสแกนเนอร์ ภาพสแกนที่ได้ในระบบดิจิทัลจะบันทึกเป็นค่าความเข้มแสงคือ แสงสีแดง แสงสีเขียวและแสงสีน้ำเงิน (RGB) ประมวลผลความเข้มสีด้วยโปรแกรม Image J™ สร้างกราฟมาตรฐานที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างความเข้มแสง ซึ่งคำนวณจากสมการเชิงเส้นแบบยูคลิด (Euclidean Distance; ED) หรือระหว่างค่าการสะท้อนแสง (Reflectance) เทียบกับระดับความเข้มข้นของไอออนเหล็ก (II) ในช่วง 10.00 – 100.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้สมการเชิงเส้นตรงคือ  $y = 0.00139x + 0.02860$ , ( $r^2 = 0.9971$ ) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) เท่ากับ 0.48–1.65 เปอร์เซ็นต์ วิธีที่ได้รับการพัฒนานี้ นำมาทดสอบและประยุกต์ใช้วิเคราะห์หาปริมาณธาตุเหล็ก เปรียบเทียบความแม่นยำกับวิธีมาตรฐานอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรเมทรีโดยใช้ t-test พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $n = 5$ ;  $t_{\text{คำนวณ}} = 2.24$  และ  $t_{\text{ตาราง}} = 2.27$ )

B. Peng, G. Chen, K. Li, M. Zhou, J. Zhang และ S. Zhao [14] ได้พัฒนาระบบที่ง่ายและต้นทุนต่ำ สำหรับการทดสอบหาเหล็กในตัวอย่างน้ำ โดยใช้วิธี Dispersive liquid - liquid microextraction ควบคู่กับการวิเคราะห์โดยการสแกนภาพด้วยระบบดิจิทัล ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ปริมาตรของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดและตัวทำละลายที่ใช้ในการกระจายตัว ความเข้มข้นของออโทพีแนทโกลีน และค่าพีเอชของบัฟเฟอร์ ได้กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานเหล็กมีความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 0.047 - 1.00 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ค่า  $r^2 > 0.99$  ค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ (LOD) เท่ากับ 14.10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์สำหรับการทำซ้ำ 7 ครั้ง ของการทดสอบเหล็ก 0.50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เท่ากับ 3.75% วิธีนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการวิเคราะห์หาเหล็กในตัวอย่างน้ำและอาหาร โดยไม่ใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ทำให้เป็นวิธีที่มีความรวดเร็วและใช้อุปกรณ์ที่สะดวกในการพกพานำไปทดสอบนอกห้องปฏิบัติการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

B. Peng, G. Chen, K. Li, M. Zhou, J. Zhang และ S. Zhao [15] ได้นำเสนอวิธีใหม่ของ UV - vis spectrophotometry โดยการวิเคราะห์ด้วยปริมาตรระดับไมโคร ซึ่งรวดเร็วสำหรับการวิเคราะห์เหล็ก ใช้วิธีการเตรียมตัวอย่างเบื้องต้นที่มีประสิทธิภาพ เป็นวิธีการสกัดระดับไมโครโดยอาศัยหลักการกระจายตัวระหว่างชั้นของเหลว วิธีนี้จะตรวจวัดเชิงปริมาณของสีที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่าง เหล็กเพอรัส และ 2-(5-bromo-2-pyridylazo)-5-(diethyl amino) phenol (5-Br-PADAP) หลังจากเกิดปฏิกิริยารีดักชันจากไอออนเหล็ก (III) ไปเป็นไอออนเหล็ก (II) โดยที่ใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นตัวรีดิวซ์ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของวิธีการสกัดระดับไมโคร เช่น pH ความเข้มข้นของสารเชิงซ้อน สัดส่วนของปริมาตรตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด และตัวทำละลายที่ใช้ในการกระจายตัว ได้ค่าการดูดกลืนแสงสัมพันธ์กับความเข้มข้นของเหล็ก ในช่วง 5 - 400 ไมโครกรัมต่อลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $r^2$ ) เท่ากับ 0.9993 ขีดจำกัดการตรวจพบ (LOD) และขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (LOQ) เท่ากับ 1.5 ไมโครกรัมต่อลิตร และ 5.2 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) สำหรับกลุ่มตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 1.37 - 4.4 % ( $n = 3$ ) การวิเคราะห์เหล็กในตัวอย่างมีค่าร้อยละการคืนกลับยอมรับได้ในช่วง 95.4 - 103.2 % ในตัวอย่างอาหาร 96.9 - 103.6 % ในตัวอย่างน้ำและ 98.8 - 102.30 % ในวัสดุอ้างอิงที่ผ่านการรับรอง วิธีที่นำเสนอนี้เป็นวิธีที่รวดเร็ว แม่นยำ และจำเพาะต่อการวิเคราะห์เหล็กในตัวอย่างอาหารและน้ำ

ฉันทักต์ วงษ์ดี และ วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ [16] พัฒนาชุดทดสอบบนกระดาษสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก ทำการเติมอโทธิพีแนโนโทรลีน เป็นส่วนผสมในสารละลายโซล - เจล แล้วใช้ไมโครปิเปตหยดสารละลายนี้ 10 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรอง ตัดแผ่นกระดาษกรองนี้เป็นรูปวงกลมตามรอยขอบของสารละลายโซล - เจลได้เป็นกระดาษทดสอบ สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบปริมาณเหล็ก คือทำการแช่แผ่นกระดาษทดสอบในสารละลายผสมระหว่างสารละลายเหล็กกับสารละลายไฮดรอกซีลามีโนไฮโดรคลอไรด์ที่ปรับ pH เป็น 4.5 ปริมาตรในช่วง 0.10 - 0.40 มิลลิลิตร เป็นเวลา 15 นาที จะเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างเหล็ก (II) กับอโทธิพีแนโนโทรลีนเป็นสีส้มบนกระดาษทดสอบ นำไปสแกนรูปสีด้วยเครื่องสแกน ตั้งค่าความละเอียดในการสแกนเท่ากับ 600 จุดต่อตารางนิ้ว และค่าความสว่างของหลอดไฟเท่ากับ -50 คำนวณหาค่าความแตกต่างความเข้มแสงด้วยโปรแกรม Image J กระดาษทดสอบนี้สามารถตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายเหล็กได้ถึงระดับ 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร

L.S.G. Teixeira และ F.R.P. Rocha [17] งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการวิเคราะห์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยใช้วิธี Flow - injection Solid-phase spectrophotometry ในการตรวจวัดปริมาณเหล็กในตัวอย่างน้ำ ซึ่งไอออนเหล็ก (II) เกิดเป็นสารเชิงซ้อนสีน้ำตาลกับ 1-(2-Pyridylazo)-2-เอกซานีนเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

naphthol แล้วถูกตรึงไว้ด้วย C18 บน silica ใช้สารละลายกรดที่เจือจางปริมาณเล็กน้อยเพื่อชะโอะออนเหล็ก (II) ออกจากสารเชิงซ้อน ซึ่งสามารถใช้สำหรับการวิเคราะห์อย่างน้อย 100 ครั้ง ได้คัดเลือกบัฟเฟอร์และสารรีดิวซ์อย่างรอบคอบโดยคำนึงถึงประสิทธิภาพในการวิเคราะห์และความเป็นพิษ กระบวนการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นมา มีความไวมากกว่า 10 เท่า เมื่อเทียบกับกระบวนการวิเคราะห์ที่คล้ายกัน ค่าขีดจำกัดของการตรวจวัดมีค่าประมาณ 15.00 ไมโครกรัมต่อลิตร อัตราเร็วในการวิเคราะห์เท่ากับ 25 ครั้งต่อชั่วโมง และค่าสัมประสิทธิ์ของการแปรผัน ( $n = 10$ ) เท่ากับ 4.0% และกระบวนการวิเคราะห์นี้ยังช่วยลดปริมาณของเสีย 3.6 มิลลิลิตรต่อการตรวจวัด 1 ครั้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

##### 3.1.1 สารเคมี

1. ไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ (Hydroxylamine hydrochloride ( $\text{HONH}_2\cdot\text{HCl}$ ); A.R. grade – Carlo erba, Canada)
2. โซเดียมซิเตรท (Sodium citrate ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ); A.R. grade – Carlo erba, Canada)
3. ออโทฟีแนนโทรลีน (O-phenanthroline; A.R. grade – Carlo erba, Canada)
4. เอทานอล 95% (Ethanol ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ); Comercial grade)
5. แอมโมเนียมเฟอร์รัสซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต (Ammonium ferrous sulfate hexahydrate ( $(\text{FeSO}_4\cdot(\text{NH}_4)\text{SO}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O})$ ); A.R. grade – Lobachemie, India)
6. น้ำปราศจากไอออน (Deionzed water – Milli Q)
7. โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate anhydrous crystals ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ); A.R. grade – Carlo erba, Canada)
8. โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride ( $\text{NaCl}$ ); A.R. grade – Fisher Chemical, New York)
9. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid ( $\text{HCl}$ ); A.R. grade – Carlo erba, Canada)
10. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ); A.R. grade – Carlo erba, Canada)
11. กาวน้ำ (Water glue – horse H-560, Thailand)

##### 3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 50 และ 100 มิลลิลิตร
2. บีกเกอร์ขนาด 25, 50 และ 100 มิลลิลิตร
3. แท่งแก้วคนสาร
4. ปิเปต ขนาด 1, 2, 5, 10, 25 มิลลิลิตร
5. ลูกยางดูดปิเปต
6. เครื่องพีเอชมิเตอร์ (Metrohm swissmode – 827 pH lab, Switzerland)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยูสเซอร์เห็นเข้าเว็บไซต์นี้โปรดแจ้งเจ้าหน้าที่ดูแลระบบทราบ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เครื่องปั่นกวนแม่เหล็กพร้อมแท่งกวน (HL instruments – MS115, Thailand)
8. เครื่องสแกนเนอร์ (Canoscan – LiDE 210, USA)
9. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Sartorius – CPA2245, Canada)

### 3.2 การเตรียมสารละลาย

#### 1) สารละลายโซเดียมซิติเรท เข้มข้นร้อยละ 25 (w/v)

ชั่งโซเดียมซิติเรท 12.50 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน เทใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน

#### 2) สารละลายไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ เข้มข้นร้อยละ 10 (w/v)

ชั่งไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ 10.00 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน 100 มิลลิลิตร แล้วปรับค่า pH ด้วยการเติมสารละลายโซเดียมซิติเรท 25% w/v จนมีค่า pH เท่ากับ 4.5

#### 3) สารละลายออร์โทฟีแนนโทรีน เข้มข้นร้อยละ 0.50 (w/v)

ชั่ง O-phenanthroline 0.50 กรัม ละลายด้วยเอทานอลปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

#### 4) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 100.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (Stock solution)

ชั่งแอมโมเนียมเพอร์ซัลเฟต 0.0702 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน 50.00 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.10 มิลลิลิตร คนสารละลายให้เข้ากัน แล้วเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน

#### 5) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เขย่าให้เข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) - ออโทพีแวนโทรีน ความเข้มข้น 0.10 มิลลิกรัมต่อ

ลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายต่อไปนี้ โดยปิเปตสารละลายไฮดรอกไซด์ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 (w/v) ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร สารละลายออโทพีแวนโทรีน ความเข้มข้นร้อยละ 0.50 (w/v) ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 25 (w/v) ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

7) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) - ออโทพีแวนโทรีน ความเข้มข้น 0.20 มิลลิกรัมต่อ

ลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายต่อไปนี้ โดยปิเปตสารละลายไฮดรอกไซด์ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 (w/v) ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร สารละลายออโทพีแวนโทรีน ความเข้มข้นร้อยละ 0.50 (w/v) ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 25 (w/v) ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

8) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) - ออโทพีแวนโทรีน ความเข้มข้น 0.50 มิลลิกรัมต่อ

ลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 5.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายต่อไปนี้ โดยปิเปตสารละลายไฮดรอกไซด์ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 (w/v) ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร สารละลายออโทพีแวนโทรีนความเข้มข้นร้อยละ 0.50 (w/v) ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 25 (w/v) ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

### 9) สารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายต่อไปนี้ โดยปิเปตสารละลายไฮดรอกไซด์ของไฮโดรคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 10 (w/v) ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร สารละลายออโทพีแนนโทรลีนเข้มข้นร้อยละ 0.50 (w/v) ปริมาตร 2.00 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมซิติเรทเข้มข้นร้อยละ 25 (w/v) ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

### 3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

#### 3.3.1 การดูดซับสีของกาวน้ำจากสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีน ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร

##### 3.3.1.1 การศึกษาการใช้เกลือโซเดียมซัลเฟต

1) ชั่งกาวน้ำปริมาณ 1.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ใส่ตามลงไปบีกเกอร์ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที เติมโซเดียมซัลเฟต 10.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ ปั่นกวนอีก 15 นาที โดยใช้แท่งแก้วช่วยคนเป็นระยะ แยกเก็บก้อนกาวออกจากสารละลาย และสังเกตสีของสารละลายที่เหลืออยู่

2) นำก้อนกาวไปสแกนเป็นภาพสีด้วยเครื่องสแกน บันทึกเป็นไฟล์รูปภาพ ประมวลผลภาพสีของก้อนกาวด้วยโปรแกรม Image J™

3) ทำซ้ำข้อที่ 1 และ 2 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณโซเดียมซัลเฟตเป็น 11.00, 12.00, 13.00 และ 14.00 กรัม ตามลำดับ

4) ทำซ้ำข้อที่ 1 และ 2 โดยเลือกใช้ปริมาณโซเดียมซัลเฟตที่เหมาะสมจากข้อ 3 และปรับเปลี่ยนปริมาณกาวน้ำเป็น 2.00, 3.00, 4.00 และ 5.00 กรัม ตามลำดับ

##### 3.3.1.2 การศึกษาการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์

1) ชั่งกาวน้ำปริมาณ 1.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ใส่ตามลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บีกเกอร์ ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที เติมโซเดียมคลอไรด์ 1.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ ปั่นกวนอีก 15 นาที โดยใช้แท่งแก้วช่วยคนเป็นระยะ แยกเก็บก้อนกาวออกจากสารละลาย และสังเกตสีของสารละลายที่เหลืออยู่

2) นำก้อนกาวไปสแกนเป็นภาพสีด้วยเครื่องสแกน บันทึกเป็นไฟล์รูปภาพ ประมวลผลภาพสีของก้อนกาวด้วยโปรแกรม Image J™

3) ทำซ้ำข้อที่ 1 และ 2 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณโซเดียมคลอไรด์เป็น 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 6.00, 7.00 และ 16.00 กรัม ตามลำดับ

4) ทำซ้ำข้อที่ 1 และ 2 โดยเลือกใช้ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่เหมาะสมจากข้อ 3 และปรับเปลี่ยนปริมาณกาวน้ำเป็น 2.00, 3.00 และ 4.00 กรัม ตามลำดับ

### 3.3.1.3 การสร้างกราฟมาตรฐาน

#### 3.3.1.3.1 กราฟมาตรฐานจากการใช้เกลือโซเดียมซัลเฟต

1) ชั่งกาวน้ำปริมาณ 2.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแวนโทรีน ความเข้มข้น 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ใส่ตามลงไปบีกเกอร์ ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที เติมโซเดียมซัลเฟต 12.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ ปั่นกวนอีก 15 นาที โดยใช้แท่งแก้วช่วยคนเป็นระยะ แยกเก็บก้อนกาวออกจากสารละลาย และสังเกตสีของสารละลายที่เหลืออยู่

2) นำก้อนกาวไปสแกนเป็นภาพสีด้วยเครื่องสแกน บันทึกเป็นไฟล์รูปภาพ ประมวลผลภาพสีของก้อนกาวด้วยโปรแกรม Image J™

3) ทำซ้ำข้อที่ 1 และ 2 โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแวนโทรีน เป็น 0.20, 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

4) สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแวนโทรีนกับความแตกต่างความเข้มแสง

#### 3.3.1.3.2 กราฟมาตรฐานจากการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์

1) ชั่งกาวน้ำปริมาณ 2.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแวนโทรีน ความเข้มข้น 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ใส่ตามลงไปบีกเกอร์ ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที เติมโซเดียมคลอไรด์ 5.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ ปั่น

กวนอีก 15 นาที โดยใช้แท่งแก้วช่วยคนเป็นระยะ แยกเก็บก้อนกาวออกจากสารละลาย และสังเกตสีของสารละลายที่เหลืออยู่

2) นำก้อนกาวไปสแกนเป็นภาพสีด้วยเครื่องสแกน บันทึกเป็นไฟล์รูปภาพ ประมวลผลภาพสีของก้อนกาวด้วยโปรแกรม Image J™

3) ทำซ้ำข้อที่ 1 และ 2 โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนทโทรลีน เป็น 0.20, 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

4) สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนทโทรลีนกับความแตกต่างความเข้มแสง

### 3.3.2 การดูดซับสีของกาวน้ำจากสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนทโทรลีน ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร

#### 3.3.2.1 การศึกษาการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์

1) ชั่งกาวน้ำปริมาณ 2.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ปิดสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนทโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร ใส่ตามลงไป ในบีกเกอร์ ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที เติมโซเดียมคลอไรด์ 7.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ ปั่นกวนอีก 15 นาที โดยใช้แท่งแก้วช่วยคนเป็นระยะ แยกเก็บก้อนกาวออกจากสารละลาย และสังเกตสีของสารละลายที่เหลืออยู่

2) นำก้อนกาวไปสแกนเป็นภาพสีด้วยเครื่องสแกน บันทึกเป็นไฟล์รูปภาพ ประมวลผลภาพสีของก้อนกาวด้วยโปรแกรม Image J™

3) ทำซ้ำข้อที่ 1 และ 2 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณโซเดียมคลอไรด์เป็น 8.00, 9.00, 10.00 และ 11.00 กรัม ตามลำดับ

4) ทำซ้ำข้อที่ 1 และ 2 โดยเลือกใช้ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่เหมาะสมจากข้อ 3 และปรับเปลี่ยนปริมาณกาวน้ำเป็น 3.00, 4.00 และ 5.00 กรัม ตามลำดับ

#### 3.3.2.2 การสร้างกราฟมาตรฐาน

##### 3.3.2.2.1 กราฟมาตรฐานจากการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์

1) ชั่งกาวน้ำปริมาณ 3.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ปิดสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนทโทรลีน ความเข้มข้น 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ใส่ตาม

ลงไป ในบีกเกอร์ ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที เติมโซเดียมคลอไรด์ 9.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ ปั่นกวนอีก 15 นาที โดยใช้แท่งแก้วช่วยคนเป็นระยะ แยกเก็บก้อนกาวออกจากสารละลาย และสังเกตสีของสารละลายที่เหลืออยู่

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กวนอีก 15 นาที โดยใช้แท่งแก้วช่วยคนเป็นระยะ แยกเก็บก้อนกาวออกจากสารละลาย และสังเกตสีของสารละลายที่เหลืออยู่

2) นำก้อนกาวไปสแกนเป็นภาพสีด้วยเครื่องสแกน บันทึกเป็นไฟล์รูปภาพ ประมวลผลภาพสีของก้อนกาวด้วยโปรแกรม Image J™

3) ทำซ้ำข้อที่ 1 และ 2 โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนทโทรลีน เป็น 0.20, 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

4) สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนทโทรลีนกับความแตกต่างความเข้มแสง

### 3.3.3 การดูดซับสีของกาวน้ำจากสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนทโทรลีน ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร

#### 3.3.3.1 การศึกษาการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์

1) ชั่งกาวน้ำปริมาณ 5.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนทโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร ใส่ตามลงไป ในบีกเกอร์ ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที เติมโซเดียมคลอไรด์ 14.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ ปั่นกวนอีก 15 นาที โดยใช้แท่งแก้วช่วยคนเป็นระยะ แยกเก็บก้อนกาวออกจากสารละลาย และสังเกตสีของสารละลายที่เหลืออยู่

2) นำก้อนกาวไปสแกนเป็นภาพสีด้วยเครื่องสแกน บันทึกเป็นไฟล์รูปภาพ ประมวลผลภาพสีของก้อนกาวด้วยโปรแกรม Image J™

3) ทำซ้ำข้อที่ 1 และ 2 โดยปรับเปลี่ยนปริมาณโซเดียมคลอไรด์เป็น 15.00 และ 16.00 กรัม ตามลำดับ

4) ทำซ้ำข้อที่ 1 และ 2 โดยเลือกใช้ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่เหมาะสมจากข้อ 3 และปรับเปลี่ยนปริมาณกาวน้ำเป็น 4.00, 5.00 และ 6.00 กรัม ตามลำดับ

#### 3.3.3.2 การสร้างกราฟมาตรฐาน

##### 3.3.3.2.1 กราฟมาตรฐานจากการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์

1) ชั่งกาวน้ำปริมาณ 5.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนทโทรลีน ความเข้มข้น 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ใส่ตามลงไป ในบีกเกอร์ ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที เติมโซเดียมคลอไรด์ 15.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ ปั่น

กวนอีก 15 นาที โดยใช้แท่งแก้วช่วยคนเป็นระยะ แยกเก็บก้อนกาวออกจากสารละลาย และสังเกตสีของสารละลายที่เหลืออยู่

2) นำก้อนกาวไปสแกนเป็นภาพสีด้วยเครื่องสแกน บันทึกเป็นไฟล์รูปภาพ ประมวลผลภาพสีของก้อนกาวด้วยโปรแกรม Image J™

3) ทำซ้ำข้อที่ 1 และ 2 โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนทโทรลีน เป็น 0.20, 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

4) สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนทโทรลีนกับความแตกต่างความเข้มแสง

### 3.3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

#### 3.3.4.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำ

ปิเปตตัวอย่างน้ำ (น้ำดื่มหรือน้ำประปา) ปริมาตร 40.00 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้น ปิเปตสารละลายไฮดรอกไซด์อะมิโนไฮโดรคลอไรด์ เข้มข้นร้อยละ 10 (w/v) ปริมาตร 0.50 มิลลิลิตร สารละลายออโทพีแนทโทรลีน เข้มข้นร้อยละ 0.50 (w/v) ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมซีเตรท เข้มข้นร้อยละ 25 (w/v) ปริมาตร 0.50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

#### 3.3.4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ โดยใส่สารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร

1) ชั่งกวน้ำปริมาณ 2.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายตัวอย่างน้ำที่เตรียมในข้อ 3.3.4.1 ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร จากนั้นปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที เติมโซเดียมคลอไรด์ 5.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ ปั่นกวนอีก 15 นาที ใช้แท่งแก้วช่วยคนเป็นระยะ แยกเก็บก้อนกาวออกจากสารละลาย

2) นำก้อนกาวไปสแกนเป็นภาพสีด้วยเครื่องสแกน บันทึกเป็นไฟล์รูปภาพ ประมวลผลภาพสีของก้อนกาวด้วยโปรแกรม Image J™

#### 3.3.4.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ โดยใส่สารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร

1) ชั่งกวน้ำปริมาณ 3.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายตัวอย่างน้ำที่เตรียมในข้อ 3.3.4.1 ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร จากนั้นปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที เติมโซเดียม

คลอไรด์ 9.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ ปั่นกวนอีก 15 นาที ใช้แท่งแก้วช่วยคนเป็นระยะ แยกเก็บก้อนกาออกจากรสละลาย

2) นำก้อนกาไปสแกนเป็นภาพสีด้วยเครื่องสแกน บันทึกเป็นไฟล์รูปภาพ ประมวลผลภาพสีของก้อนกาด้วยโปรแกรม Image J™

### 3.3.5 การศึกษาร้อยละการคืนกลับ

#### 3.3.5.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำ

ปิเปตตัวอย่างน้ำ (น้ำดื่มหรือน้ำประปา) ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร แต่ละขวดจำนวน 4 ใบ แล้วปิเปตสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) ความเข้มข้น 10.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 0.00, 1.00 และ 2.50 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรที่มีตัวอย่างน้ำอยู่ จากนั้น ปิเปตสารละลายไฮดรอกไซด์อะมิโนไฮโดรคลอไรด์ เข้มข้นร้อยละ 10 (w/v) ปริมาตร 0.50 มิลลิลิตร สารละลายออร์โทไฟแนนโทรลีน เข้มข้นร้อยละ 0.5 (w/v) ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมซิติเรท เข้มข้นร้อยละ 25 (w/v) ปริมาตร 0.50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรแต่ละขวดเท่ากันทุกใบ และใส่สารละลายตัวอย่างที่มีการเติมสารละลายเหล็ก (II) ที่ความเข้มข้น 0.00, 0.20 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เขย่าให้เข้ากัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

#### 3.3.5.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ โดยใส่สารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร

1) ชั่งกาน้ำปริมาตร 2.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เตรียมในข้อ 3.3.5.1 ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ จากนั้นปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที เติมโซเดียมคลอไรด์ 5.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ ปั่นกวนอีก 15 นาที ใช้แท่งแก้วช่วยคนเป็นระยะ แล้วแยกเก็บก้อนกาออกจากสารละลาย

2) นำก้อนกาไปสแกนเป็นภาพสีด้วยเครื่องสแกน บันทึกเป็นไฟล์รูปภาพ ประมวลผลภาพสีของก้อนกาด้วยโปรแกรม Image J™

#### 3.3.5.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ โดยใส่สารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร

1) ชั่งกาน้ำปริมาตร 3.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายตัวอย่างที่เตรียมในข้อ 3.3.5.1 ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ จากนั้นปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที เติม

โซเดียมคลอไรด์ 9.00 กรัม ลงในบีกเกอร์ บั่นกวนอีก 15 นาที ใช้แท่งแก้วช่วยคนเป็นระยะ แล้วแยก  
เก็บก้อนกาวออกจากสารละลาย

2) นำก้อนกาวไปสแกนเป็นภาพสีด้วยเครื่องสแกน บันทึกเป็นไฟล์รูปภาพ ประมวลผลภาพสี  
ของก้อนกาวด้วยโปรแกรม Image J™

### 3.4 การบันทึกค่าความเข้มแสงจากโปรแกรม Image J™

#### ขั้นตอนและวิธีการใช้โปรแกรม

1. ลงโปรแกรม Image J™ โดยสามารถโหลดจาก

<https://imagej.nih.gov/ij/download.html> และลงโปรแกรมตามขั้นตอน

2. เปิดโปรแกรม Image J™ เลือก File กด Open เพื่อเปิดรูปภาพที่ต้องการ

3. ปรับความสว่างของภาพโดยเลือกคำสั่ง Image และกด Adjust จากนั้นเลื่อนเมาส์ไปที่  
Brightness/Contrast เพื่อปรับค่า Brightness ให้ลดลงถึง -30 ขยายภาพขนาด 75%

4. กำหนดพื้นที่ที่ต้องการวิเคราะห์เป็นรูปร่างกลมโดยให้มีขนาดเท่ากันคือ  $w = 60$  และ  $h = 60$  ทำการครอบทั้งหมด 10 จุด โดยมีขอบเขตอยู่ภายในก้อนกาว



5. ทำการวิเคราะห์โดยการเลือกคำสั่ง Plugins เลือก Analyze และคลิกเมาส์ไปที่ RGB  
Measure

6. ค่าความเข้มแสง RGB จะแสดงบนหน้าต่าง Results ในคอลัมน์ Mean


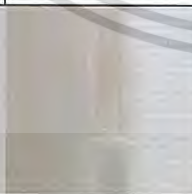
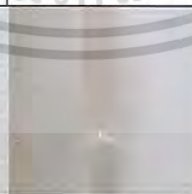
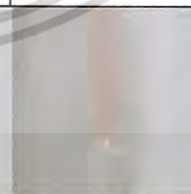

7. บันทึกค่าความเข้มแสง RGB เพื่อไปใช้ในการคำนวณต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

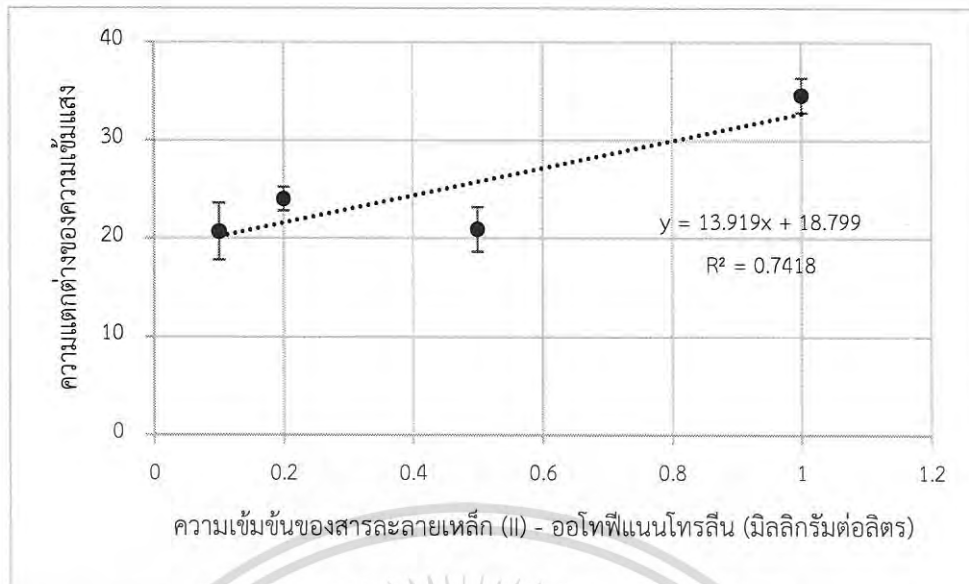
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

ได้ทำการทดลองโดยเตรียมสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 0.10, 0.20, 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร แสงสารละลายใส่หลอดทดลอง แล้วใช้กล้องโทรศัพท์มือถือถ่ายรูป ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสีของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน จะมีสีเข้มขึ้น เมื่อมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น จากนั้นใช้โปรแกรม Image J™ วัดหาค่าความเข้มสี (RGB) ของแต่ละความเข้มข้น ความเข้มข้นละ 3 ครั้ง นำมาคำนวณหาค่าความแตกต่างของความเข้มแสง เมื่อพลอต กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนกับความแตกต่างของความเข้มแสง แสดงได้ดังรูปที่ 4.2 มีสมการเชิงเส้นคือ  $y = 13.919x + 18.799$  สัมประสิทธิ์การตัดลีนใจ ( $r^2$ ) เท่ากับ 0.7418 จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ที่ได้ยังไม่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงและยังสังเกตได้ว่าค่าความแตกต่างของความเข้มแสงที่ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร น้อยกว่าค่าความแตกต่างของความเข้มแสงที่ความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงให้เห็นว่าวิธีการตรวจวัดสีโดยใช้กล้องโทรศัพท์มือถือถ่ายรูปสีของสารละลายนี้ยังต้องมีการปรับปรุงให้เหมาะสมมากขึ้น ดังนั้นจึงพัฒนาวิธีการตรวจวัดโดยใช้กาวน้ำเป็นตัวดูดซับสีและแยกก้อนกาวที่มีสีออกจากสารละลายด้วยกระบวนการ Salting out เพื่อให้เกิดการรวมตัวของสีบนก้อนกาวเป็นวิธีการเพิ่มความเข้มสี เพื่อให้สามารถตรวจวัดสีได้ชัดเจนขึ้น

แบลงค์	0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร	0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร	1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร
				
(ก)	(ข)	(ค)	(ง)	(จ)

รูปที่ 4.1 สีของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน (ก) สารละลายแบลงค์ (ข) ความเข้มข้น 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร (ค) ความเข้มข้น 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร (ง) ความเข้มข้น 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ (จ) ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนกับความแตกต่างความเข้มแสงที่ได้จากการตรวจวัดสีของสารละลายโดยใช้ภาพจากกล้องโทรศัพท์มือถือ

#### 4.1 การดูดซับสีของกาวน้ำจากสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร

##### 4.1.1 ผลการศึกษาใช้เกลือโซเดียมซัลเฟต

เมื่อได้ทำการทดลองโดยการใส่เกลือโซเดียมซัลเฟต ปริมาณ 10.00, 11.00, 12.00, 13.00 และ 14.00 กรัม และใช้กาวน้ำ 1.00 กรัม เท่ากันทั้งหมด ได้ผลดังรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อใส่เกลือโซเดียมซัลเฟต 10.00 และ 11.00 กรัม ยังมีสีส้มของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน เหลืออยู่ ดังรูปที่ 4.3 (ก) และ (ข) และเมื่อเพิ่มปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟตเป็น 12.00, 13.00 และ 14.00 กรัม จะเห็นได้ว่ามีสีส้มเหลืออยู่ในสารละลายน้อยลงแต่ยังไม่ใส ดังรูปที่ 4.3 (ค), (ง) และ (จ) แสดงให้เห็นว่าเกลือโซเดียมซัลเฟตปริมาณ 12.00 กรัม เป็นปริมาณน้อยที่สุดที่สามารถแยกกาวน้ำที่ดูดซับสีสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนออกจากสารละลายได้ จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟต 12.00 กรัม สามารถวัดค่าความแตกต่างความเข้มแสงได้สูงที่สุดซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นปริมาณที่ส่งผลให้การดูดซับสีมีประสิทธิภาพที่สุด แต่เนื่องจากปริมาณของกาวน้ำที่ใช้ดูดซับสีมีปริมาณน้อยเกินไปทำให้ไม่สามารถดูดซับสีได้หมดทำให้สารละลายหลังการแยกยังมีสีส้มอยู่เล็กน้อยจึงต้องเพิ่มปริมาณกาวน้ำเพื่อให้สามารถแยกได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

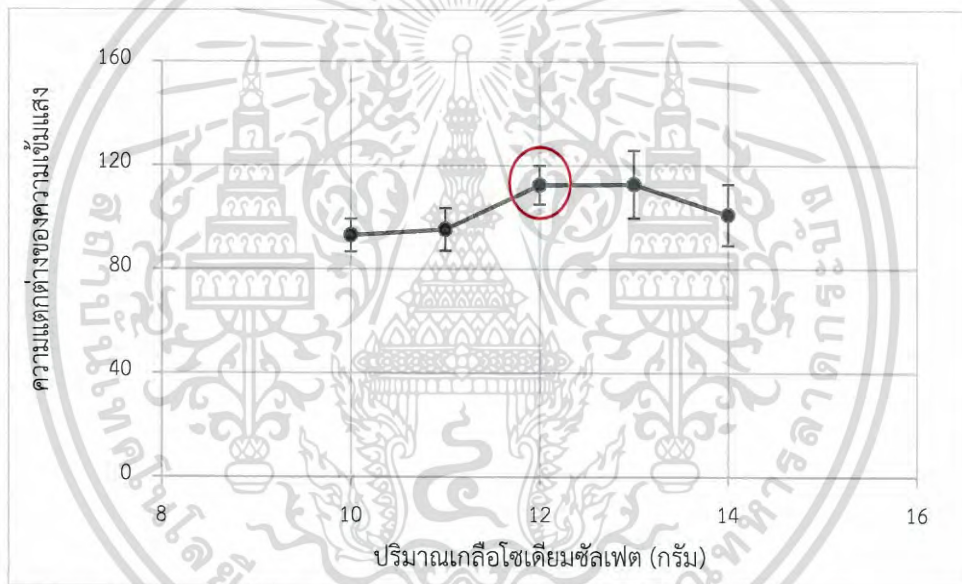
(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

รูปที่ 4.3 สารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิตร หลังการแยกโดยใช้ (ก) เกลือโซเดียมซัลเฟต 10.00 กรัม (ข) เกลือโซเดียมซัลเฟต 11.00 กรัม (ค) เกลือโซเดียมซัลเฟต 12.00 กรัม (ง) เกลือโซเดียมซัลเฟต 13.00 กรัม และ (จ) เกลือโซเดียมซัลเฟต 14.00 กรัม



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟตกับความแตกต่างของความเข้มแสงที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 10.00 มิลลิตร

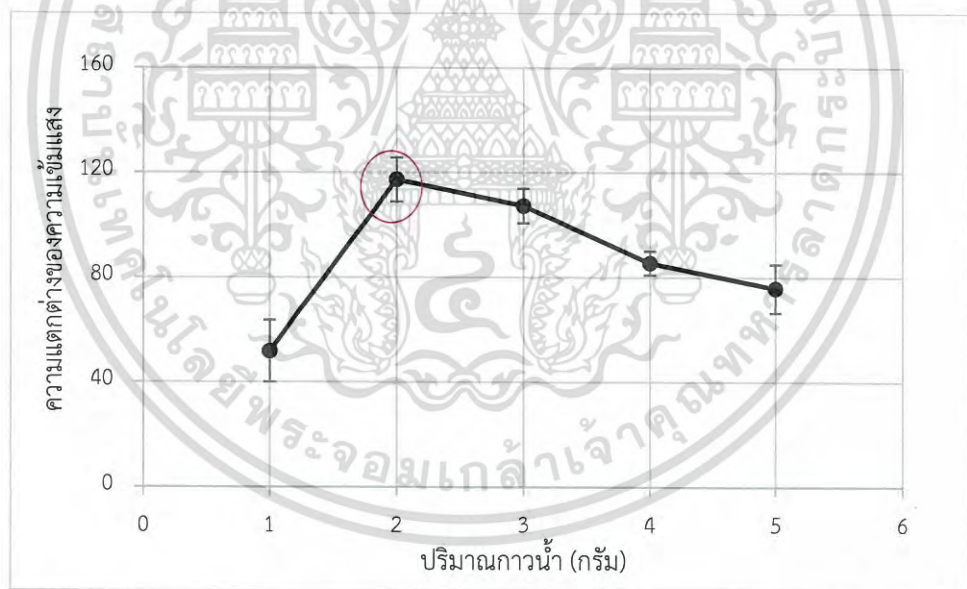
จากนั้นได้ทำการทดลองใช้ปริมาณกาวน้ำที่แตกต่างกันคือ 1.00, 2.00, 3.00, 4.00 และ 5.00 กรัม โดยใช้เกลือโซเดียมซัลเฟต 12.00 กรัม เท่ากันทั้งหมด ได้ผลดังรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า กาวน้ำ 1.00 กรัม หลังการแยกสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนออกจากสารละลายยังมีสีส้มเหลืออยู่ ดังรูปที่ 4.5 (ก) เมื่อเพิ่มกาวน้ำเป็น 2.00 กรัม สารละลายหลังการแยกเป็นสีใส เนื่องจากกาวน้ำสามารถดูดซับสีไว้ได้อย่างสมบูรณ์ ดังรูปที่ 4.5 (ข) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันเมื่อเพิ่มกาวน้ำเป็น 3.00, 4.00 และ 5.00 กรัม ดังรูปที่ 4.5 (ค) (ง) และ (จ) ดังนั้นการใช้กาวน้ำ ปริมาณ 2.00 กรัม เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณกาวน้ำที่ดีที่สุด เพราะเป็นปริมาณที่น้อยที่สุดที่สามารถดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนโนโทรลีนไว้ได้ทั้งหมด ซึ่งจากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าเมื่อเติมกาวน้ำ ปริมาณ 2.00 กรัม เป็นปริมาณที่ดีที่สุดสำหรับการดูดซับสีของกาวน้ำเนื่องจากสามารถวัดค่าความแตกต่างความเข้มแสงได้สูงที่สุด



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบสีของสารละลายปริมาตร 10 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้ (ก) กาวน้ำ 1.00 กรัม (ข) กาวน้ำ 2.00 กรัม (ค) กาวน้ำ 3.00 กรัม (ง) กาวน้ำ 4.00 กรัม และ (จ) กาวน้ำ 5.00 กรัม

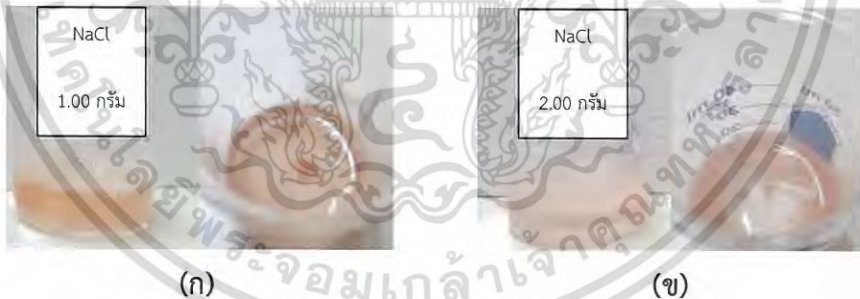


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกาวน้ำกับความแตกต่างความเข้มแสงที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร

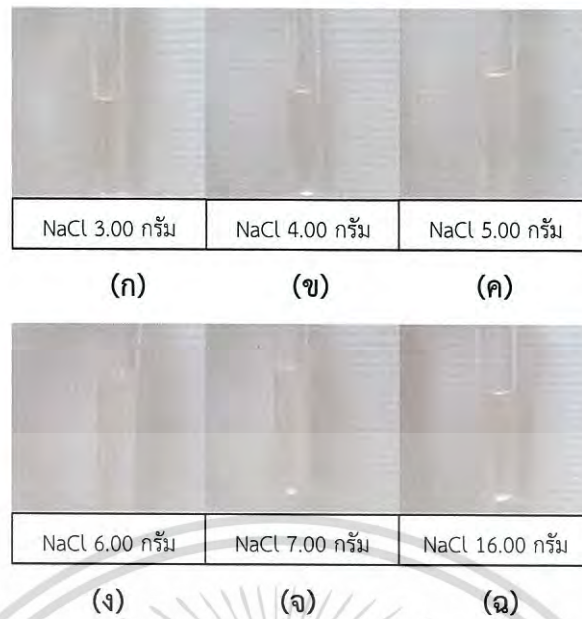
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 ผลการศึกษาการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์

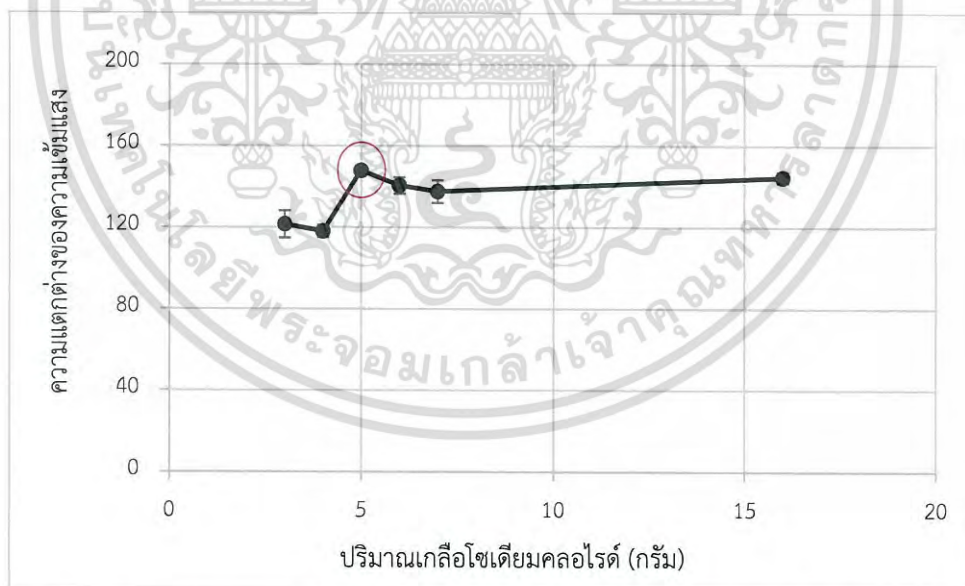
เมื่อได้ทำการทดลองโดยการใส่เกลือโซเดียมคลอไรด์ ปริมาณ 1.00, 2.00, 3.00, 4.00, 5.00, 6.00, 7.00 และ 16.00 กรัม และใช้กาวน้ำ 1.00 กรัม เท่ากันทั้งหมด จะเห็นได้ว่า เมื่อใส่เกลือโซเดียมคลอไรด์ 1.00 และ 2.00 กรัม สารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนหลังการแยกยังเห็นสีส้มอย่างชัดเจนและก้อนกาวไม่จับตัวเป็นก้อน ได้ผลดังรูปที่ 4.7 (ก) และ (ข) และเมื่อเพิ่มปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็น 3.00 และ 4.00 กรัม ยังคงมีสีส้มของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนเหลืออยู่ ดังรูปที่ 4.8 (ก) และ (ข) และเมื่อเพิ่มปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็น 5.00, 6.00, 7.00 และ 16.00 กรัม จะเห็นได้ว่ามีสีส้มเหลืออยู่ในสารละลายน้อยลงแต่ยังไม่ใส ดังรูปที่ 4.8 (ค), (ง), (จ) และ (ฉ) แสดงให้เห็นว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์ปริมาณ 5.00 กรัม เป็นปริมาณน้อยที่สุดที่สามารถแยกก้อนกาวที่ดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนออกจากสารละลายได้ จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ 5.00 กรัม สามารถวัดค่าความแตกต่างความเข้มแสงจากก้อนกาวที่ดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนได้สูงที่สุด แต่เนื่องจากปริมาณของกาวน้ำที่ใช้ดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนมีปริมาณน้อยเกินไปทำให้ไม่สามารถดูดซับสีได้หมด ส่งผลให้สารละลายหลังการแยกยังมีสีส้มอยู่เล็กน้อยจึงต้องเพิ่มปริมาณกาวน้ำเพื่อให้สามารถแยกได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้น



รูปที่ 4.7 สีของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้ (ก) เกลือโซเดียมคลอไรด์ 1.00 กรัม และ (ข) เกลือโซเดียมคลอไรด์ 2.00 กรัม



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบสีของสารละลายปริมาตร 10 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้ (ก) เกลือโซเดียมคลอไรด์ 3.00 กรัม (ข) เกลือโซเดียมคลอไรด์ 4.00 กรัม (ค) เกลือโซเดียมคลอไรด์ 5.00 กรัม (ง) เกลือโซเดียมคลอไรด์ 6.00 กรัม (จ) เกลือโซเดียมคลอไรด์ 7.00 กรัม และ (ฉ) เกลือโซเดียมคลอไรด์ 16.00 กรัม

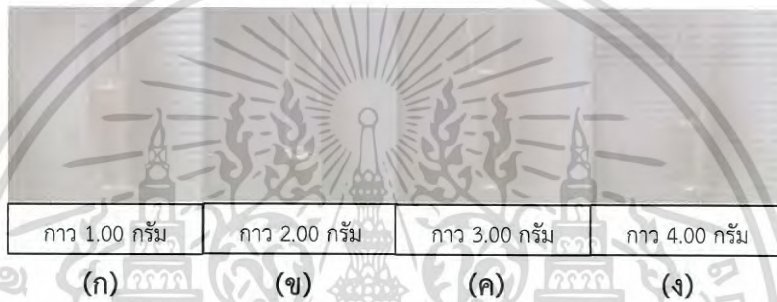


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสง ที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร

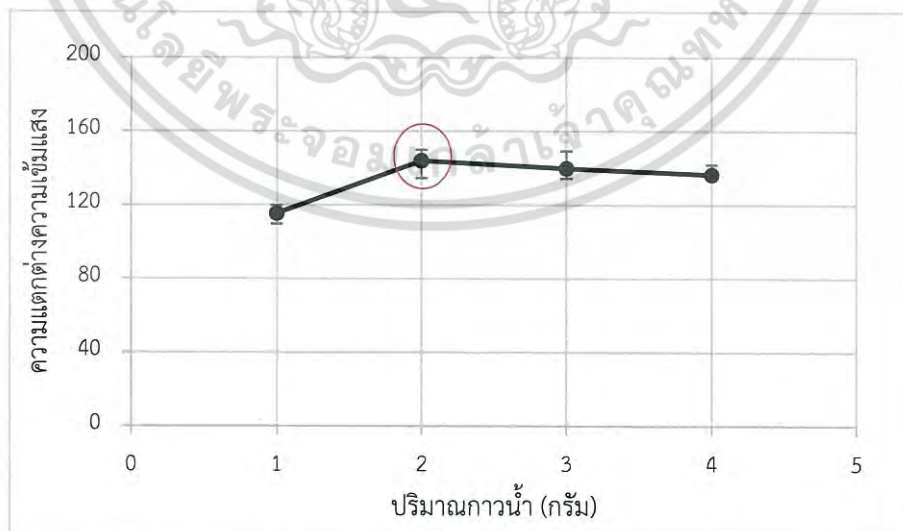
จากนั้นได้ทำการทดลองใช้ปริมาณกาวน้ำที่แตกต่างกันคือ 1.00, 2.00, 3.00 และ 4.00 กรัม

โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ 5.00 กรัม เท่ากันทั้งหมด ได้ผลดังรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่า กาวน้ำ 1.00 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรัม หลังการแยกสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนทโรลีนออกจากสารละลายยังมีสีส้มของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนทโรลีนเหลืออยู่ ดังรูปที่ 4.10 (ก) และเมื่อเพิ่มกาวน้ำเป็น 2.00 กรัม สารละลายหลังการแยกเป็นสีใส เนื่องจากกาวน้ำสามารถดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนทโรลีนไว้ได้อย่างสมบูรณ์ ดังรูปที่ 4.10 (ข) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันเมื่อเพิ่มกาวน้ำเป็น 3.00 และ 4.00 กรัม ดังรูปที่ 4.10 (ค) และ (ง) ดังนั้นการใช้กาวน้ำ ปริมาณ 2.00 กรัม เป็นปริมาณกาวน้ำที่ดีที่สุด เพราะเป็นปริมาณที่น้อยที่สุดที่สามารถดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนทโรลีนไว้ได้ทั้งหมด ซึ่งจากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าเมื่อเติมกาวน้ำ ปริมาณ 2.00 กรัม เป็นปริมาณที่ดีที่สุดสำหรับการดูดซับสีของกาวน้ำเนื่องจากสามารถวัดค่าความแตกต่างความเข้มแสงได้สูงที่สุด



รูปที่ 4.10 สีของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนทโรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้ (ก) กาวน้ำ 1.00 กรัม (ข) กาวน้ำ 2.00 กรัม (ค) กาวน้ำ 3.00 กรัม และ (ง) กาวน้ำ 4.00 กรัม



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกาวน้ำกับความแตกต่างความเข้มแสง ที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.3 กราฟมาตรฐาน

จากการทดลองของเกลือโซเดียมซัลเฟตและเกลือโซเดียมคลอไรด์ เพื่อดูดัชนีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิตร ได้ทำการศึกษาปริมาณของเกลือและกาวน้ำ เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสม ที่ใช้ในการแยกสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนออกจากสารละลาย ได้ผลดังตารางที่ 4.1 คือ ใช้ปริมาณเกลือโซเดียมซัลเฟตและเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เหมาะสมที่สุด เท่ากับ 12.00 กรัม และ 5.00 กรัม ตามลำดับ และใช้ปริมาณกาวน้ำ เท่ากับ 2.00 กรัม เท่ากัน

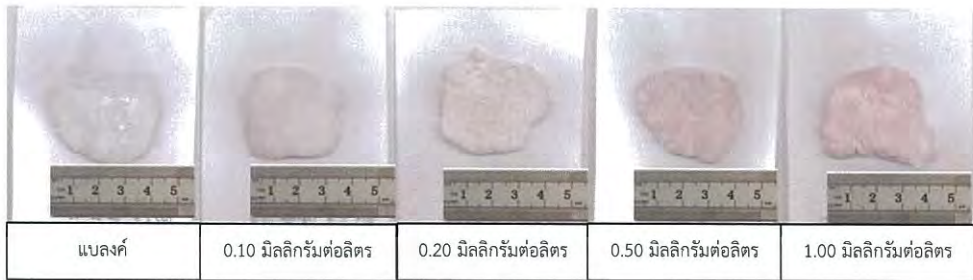
ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณเกลือและกาวน้ำที่เหมาะสมในการแยกสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนออกจากสารละลาย ที่ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10.00 มิลลิตร

ชนิดของเกลือ	ปริมาณของเกลือ (กรัม)	ปริมาณของกาวน้ำ (กรัม)
โซเดียมซัลเฟต	12.00	2.00
โซเดียมคลอไรด์	5.00	2.00

ได้ทำการสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้น 0.10, 0.20, 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าความแตกต่างความเข้มแสง โดยใช้สารละลาย ปริมาตร 10.00 มิลลิตร ใส่เกลือและกาวน้ำตามปริมาณในตารางที่ 4.1 จากนั้นแยกก่อนการดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน มาบันทึกภาพสีด้วยเครื่องสแกน จะได้ดังรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่ารูปที่ 4.12 (ก) การใช้เกลือโซเดียมซัลเฟตส่งผลให้มีเกลือไปเกาะอยู่บนก้อนกาว เนื่องจากเกลือละลายไม่หมด ซึ่งจะทำให้เกิดการรบกวนการวิเคราะห์ได้ และส่วนของกาวที่ดูดซับสี เมื่อเทียบกับการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ ในรูปที่ 4.12 (ข) แสดงให้เห็นว่ากาวจะสามารถดูดซับสีไว้ได้มากกว่าเมื่อใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์เนื่องจากส่วนของกาวที่ดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้นเดียวกัน เมื่อใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์จะเห็นสีส้มที่เข้มกว่า และเมื่อพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน และความแตกต่างของความเข้มแสง ดังรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้เกลือโซเดียมซัลเฟต จะสามารถบันทึกค่าความแตกต่างความเข้มแสงได้อยู่ในช่วง 16.24–74.21 และเมื่อใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์จะสามารถบันทึกค่าความแตกต่างความเข้มแสงได้อยู่ในช่วง 47.43–105.44 แสดงให้เห็นว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์มีประสิทธิภาพสำหรับการทดลองมากกว่า และยังใช้ปริมาณที่น้อยกว่าเกลือโซเดียมซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซัลเฟต ดังนั้นจึงเลือกใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในการทดลองเพิ่มปริมาตรของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ต่อไป

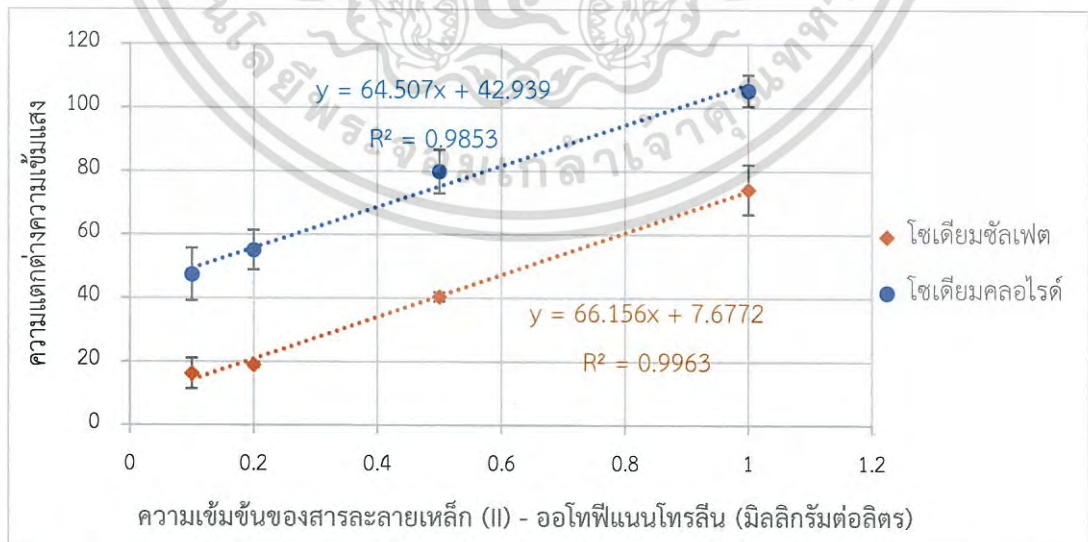


(ก)



(ข)

รูปที่ 4.12 กาวที่ดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน (ก) เกลือโซเดียมซัลเฟต 12.00 กรัม และกาวน้ำ 2.00 กรัม (ข) เกลือโซเดียมคลอไรด์ 5.00 กรัม และกาวน้ำ 2.00 กรัม



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนกับความแตกต่างของความเข้มแสง ที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

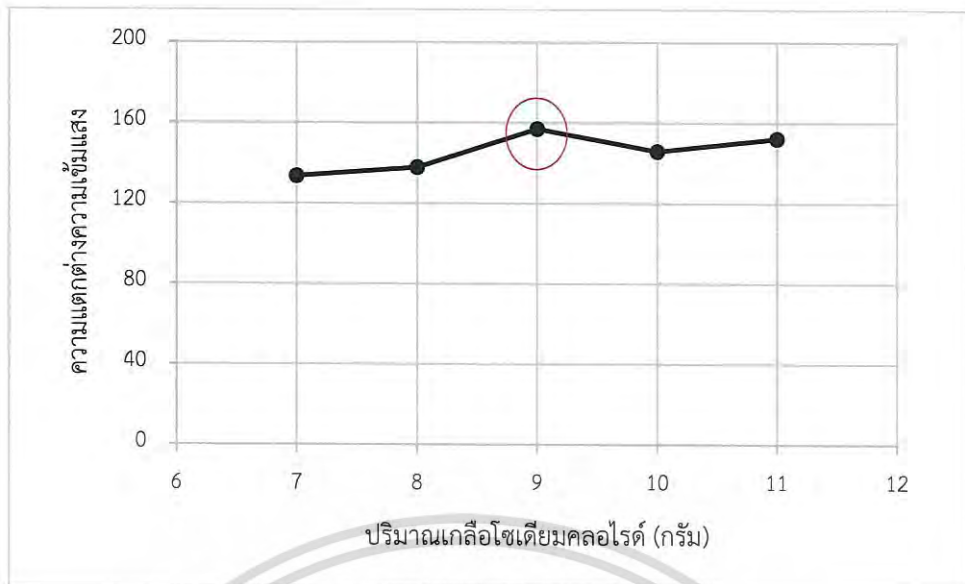
## 4.2 การดูดซับสีของกาวน้ำจากสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร

### 4.2.1 ศึกษาปริมาณของเกลือโซเดียมคลอไรด์

เมื่อได้ทำการทดลองโดยการใส่เกลือโซเดียมคลอไรด์ ปริมาณ 7.00, 8.00, 9.00, 10.00 และ 11.00 กรัม และใช้กาวน้ำปริมาณ 2.00 กรัม เท่ากันทั้งหมด แสดงผลดังรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าเมื่อใส่เกลือโซเดียมคลอไรด์ปริมาณ 7.00 และ 8.00 กรัม ยังมีสีส้มของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนเหลืออยู่ในสารละลาย ดังรูปที่ 4.14 (ก) และ (ข) และเมื่อเพิ่มปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็น 9.00, 10.00 และ 11.00 กรัม จะเห็นได้ว่ามีสีส้มเหลืออยู่ในสารละลายน้อยลงแต่ยังไม่ใส ดังรูปที่ 4.14 (ค), (ง) และ (จ) แสดงให้เห็นว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์ปริมาณ 9.00 กรัม เป็นปริมาณน้อยที่สุดที่สามารถแยกก่อนกาวที่ดูดซับสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนออกจากสารละลายได้จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ 9.00 กรัม สามารถวัดค่าความแตกต่างความเข้มแสงจากก่อนกาวที่ดูดซับสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนได้สูงที่สุด แต่เนื่องจากปริมาณของกาวที่ใช้ดูดซับสีมีปริมาณน้อยเกินไปทำให้ไม่สามารถดูดซับสีได้หมด ทำให้สารละลายหลังการแยกยังมีสีส้มอยู่เล็กน้อยจึงต้องเพิ่มปริมาณกาวน้ำเพื่อให้สามารถแยกได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้น

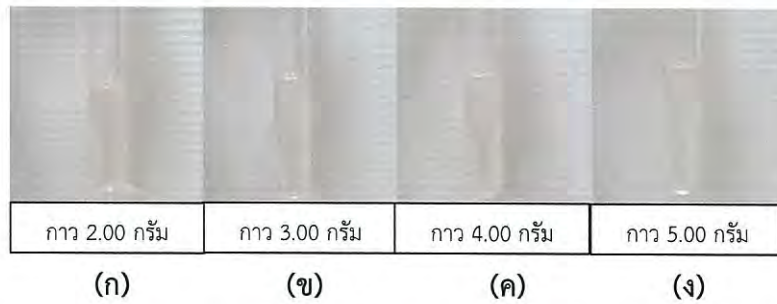


รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบสารละลายหลังการแยกที่ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร โดยใช้ (ก) เกลือโซเดียมคลอไรด์ 7.00 กรัม (ข) เกลือโซเดียมคลอไรด์ 8.00 กรัม (ค) เกลือโซเดียมคลอไรด์ 9.00 กรัม (ง) เกลือโซเดียมคลอไรด์ 10.00 กรัม และ (จ) เกลือโซเดียมคลอไรด์ 11.00 กรัม

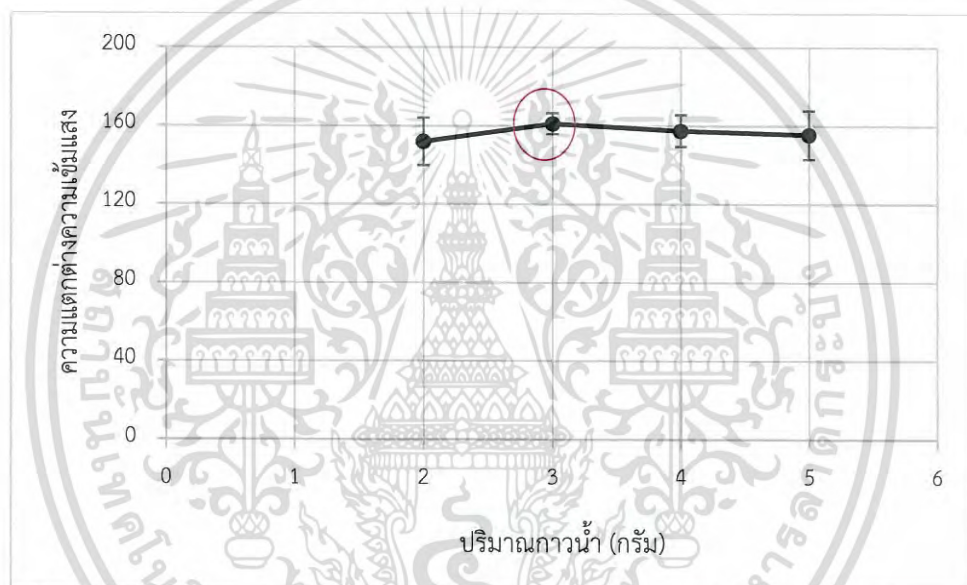


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสง ที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร

จากนั้นได้ทำการทดลองใช้ปริมาณกาวน้ำที่แตกต่างกัน คือ 2.00, 3.00, 4.00 และ 5.00 กรัม โดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ 9.00 กรัม เท่ากันทั้งหมด ได้ผลดังรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่า กาวน้ำ 2.00 กรัม หลังการแยกสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนออกจากสารละลายยังมีสีส้มเหลืออยู่ ดังรูปที่ 4.16 (ก) เมื่อเพิ่มกาวน้ำเป็น 3.00 กรัม สารละลายหลังการแยกเป็นสีใส เนื่องจากกาวน้ำสามารถดูดซับสีไว้ได้อย่างสมบูรณ์ ดังรูปที่ 4.16 (ข) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันเมื่อเพิ่มกาวน้ำเป็น 4.00 และ 5.00 กรัม ดังรูปที่ 4.16 (ค) และ (ง) ดังนั้นการใช้กาวน้ำ ปริมาณ 3.00 กรัม เป็นปริมาณกาวน้ำที่ดีที่สุด เพราะเป็นปริมาณที่น้อยที่สุดที่สามารถดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนไว้ได้ทั้งหมด ซึ่งจากรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าเมื่อเติมกาวน้ำ ปริมาณ 3.00 กรัม เป็นปริมาณที่ดีที่สุดสำหรับการดูดซับสีของกาวน้ำเนื่องจากสามารถวัดค่าความแตกต่างความเข้มแสงได้สูงที่สุด



รูปที่ 4.16 สารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร หลังการแยก โดยใช้ (ก) กาวน้ำ 2.00 กรัม (ข) กาวน้ำ 3.00 กรัม (ค) กาวน้ำ 4.00 กรัม และ (ง) กาวน้ำ 5.00 กรัม



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกาวน้ำกับความแตกต่างความเข้มแสงที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร

#### 4.2.2 กราฟมาตรฐาน

ทำการทดลองโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ 9.00 กรัม และกาวน้ำ 3.00 กรัม โดยใช้สารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้น 0.10, 0.20, 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มาแสดกนด้วยเครื่องแสดกน ได้ผลดังรูปที่ 4.18 คือความเข้มของสีส้มในก้อนกาวที่ดูดซับสีจะสัมพันธ์ไปในทางเดียวกันกับความเข้มข้นของสารละลาย พลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนกับความแตกต่างของความเข้มแสง ดังรูปที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่า สามารถวัดค่าความแตกต่างความเข้มแสงได้อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วง 74.5 –170.64 มีสมการเชิงเส้นเท่ากับ  $y = 102.02x + 7.6768$  สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $r^2$ ) เท่ากับ 0.9700



(ก)

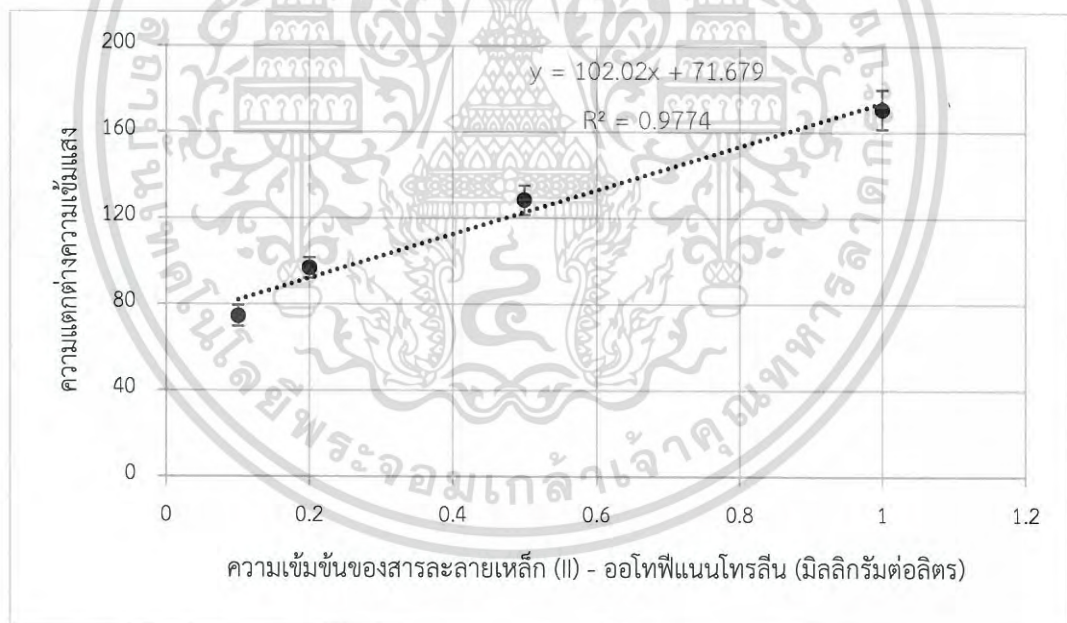
(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

รูปที่ 4.18 กาวที่ดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนโนโรลีน ที่ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร ความเข้มข้น (ก) สารละลายแบลงค์ (ข) 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร (ค) 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร (ง) 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ (จ) 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร



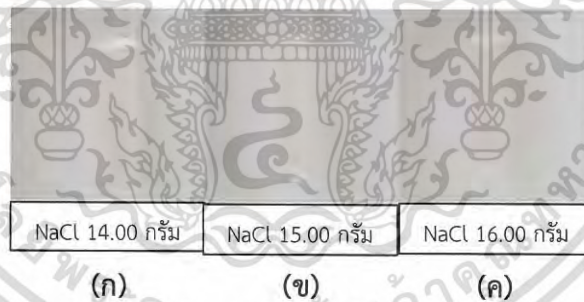
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนโนโรลีนกับความแตกต่างความเข้มแสง ที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

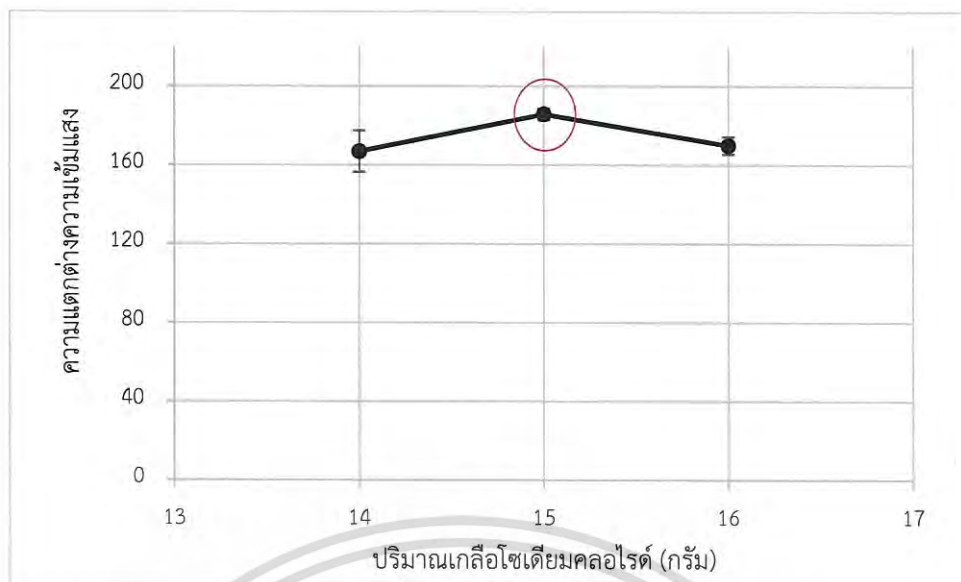
### 4.3 การดูดซับสีของกาวน้ำจากสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร

#### 4.3.1 ศึกษาปริมาณของเกลือโซเดียมคลอไรด์

เมื่อได้ทำการทดลองโดยการใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ ปริมาณ 14.00, 15.00 และ 16.00 กรัม และใช้กาวน้ำปริมาณ 5.00 กรัม เท่ากันทั้งหมด ได้ผลดังรูปที่ 4.20 จะเห็นได้ว่าเมื่อใส่เกลือโซเดียมคลอไรด์ปริมาณ 14.00 กรัม ยังมีสีส้มของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนเหลืออยู่ ดังรูปที่ 4.20 (ก) และเมื่อเพิ่มปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์เป็น 15.00 และ 16.00 กรัม จะเห็นได้ว่ามีสีส้มเหลืออยู่ในสารละลายน้อยลงแต่ยังไม่ใส ดังรูปที่ 4.20 (ข) และ (ค) แสดงให้เห็นว่าเกลือโซเดียมคลอไรด์ปริมาณ 15.00 กรัม เป็นปริมาณน้อยที่สุดที่สามารถแยกก่อนกาวที่ดูดซับสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนออกจากสารละลายได้ จากรูปที่ 4.21 จะเห็นได้ว่าปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ 15.00 กรัม สามารถวัดค่าความแตกต่างความเข้มแสงจากก่อนกาวที่ดูดซับสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนได้สูงที่สุด แต่เนื่องจากปริมาณของกาวที่ใช้ดูดซับสีมีปริมาณน้อยเกินไปทำให้ไม่สามารถดูดซับสีได้หมดทำให้สารละลายหลังการแยกยังมีสีส้มอยู่เล็กน้อยจึงต้องเพิ่มปริมาณกาวน้ำเพื่อให้สามารถแยกได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้น

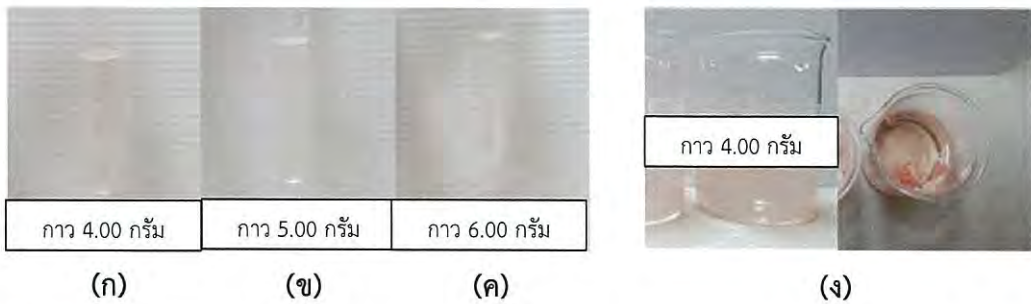


รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบสารละลายหลังการแยกที่ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร โดยใช้ (ก) เกลือโซเดียมคลอไรด์ 14.00 กรัม (ข) เกลือโซเดียมคลอไรด์ 15.00 กรัม และ (ค) เกลือโซเดียมคลอไรด์ 16.00 กรัม

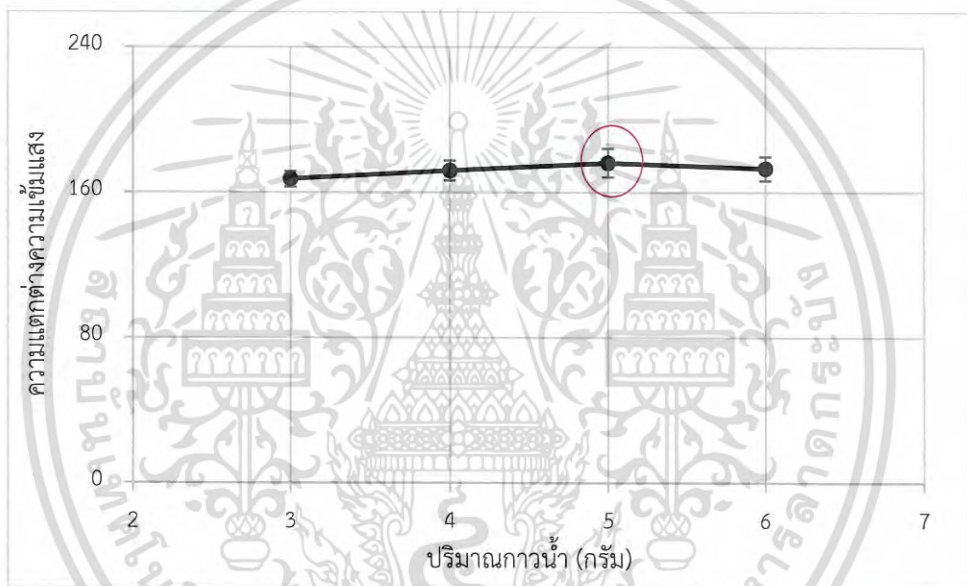


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์กับความแตกต่างความเข้มแสงที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร

จากนั้นได้ทำการทดลองใช้ปริมาณกาวน้ำที่แตกต่างกัน คือ 4.00, 5.00 และ 6.00 กรัม และใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ 15.00 กรัม เท่ากันทั้งหมด ได้ผลดังรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่า กาวน้ำ 4.00 กรัม หลังการแยกสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนโนโทรลีนออกจากสารละลายยังมีสีส้มเหลืออยู่ และกาวไม่รวมตัวกันเป็นก้อน ดังรูปที่ 4.22 (ง) เมื่อเพิ่มกาวน้ำเป็น 5.00 กรัม สารละลายหลังการแยกเป็นสีใส เนื่องจากกาวน้ำสามารถดูดซับสีไว้ได้อย่างสมบูรณ์ ดังรูปที่ 4.22 (ข) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันเมื่อเพิ่มกาวน้ำเป็น 6.00 กรัม ดังรูปที่ 4.22 (ค) ดังนั้นการใช้กาวน้ำ ปริมาณ 5.00 กรัม เป็นปริมาณกาวน้ำที่ดีที่สุด เพราะเป็นปริมาณที่น้อยที่สุดที่สามารถดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนโนโทรลีนไว้ได้ทั้งหมด ซึ่งจากรูปที่ 4.23 จะเห็นได้ว่าเมื่อเติมกาวน้ำ ปริมาณ 5.00 กรัม เป็นปริมาณที่ดีที่สุดสำหรับการดูดซับสีของกาวน้ำเนื่องจากสามารถวัดค่าความแตกต่างความเข้มแสงได้สูงที่สุด



รูปที่ 4.22 สีของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนโนโทรลีน ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร หลังการแยกโดยใช้ (ก) กาวน้ำ 4.00 กรัม (ข) กาวน้ำ 5.00 กรัม (ค) กาวน้ำ 6.00 กรัม และ (ง) ก้อนกาวที่ไม่จับตัวเป็นก้อนของการใช้กาวน้ำ 4.00 กรัม



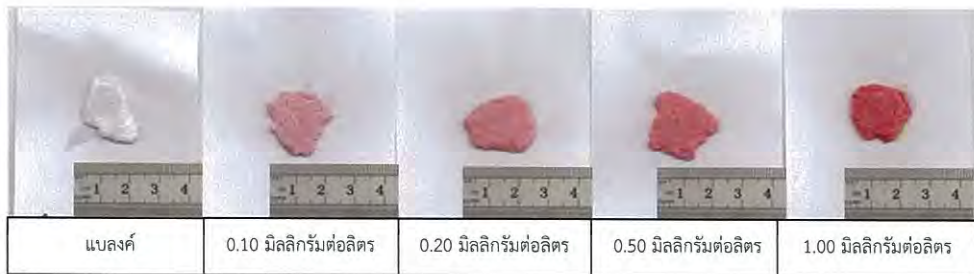
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกาวน้ำกับความแตกต่างความเข้มแสงที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร

#### 4.3.2 กราฟมาตรฐาน

ทำการทดลองโดยใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ 15.00 กรัม และ กาวน้ำ 5.00 กรัม โดยใช้สารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนโนโทรลีน ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้น 0.10, 0.20, 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร มาแสดกด้วยเครื่องแสดกน ได้ผลดังรูปที่ 4.24 คือความเข้มของสีส้มในก้อนกาวที่ดูดซับสีจะสัมพันธ์ไปในทางเดียวกันกับความเข้มข้นของสารละลาย พลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนโนโทรลีนกับความแตกต่างของความเข้มแสง ดังรูปที่ 4.25 แสดงให้เห็นว่า สามารถวัดค่าความแตกต่างความเข้มแสงได้อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วง 73.17–168.65 มีสมการเชิงเส้นเท่ากับ  $y = 101.39x + 72.079$  สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $r^2$ ) เท่ากับ 0.9586



(ก)

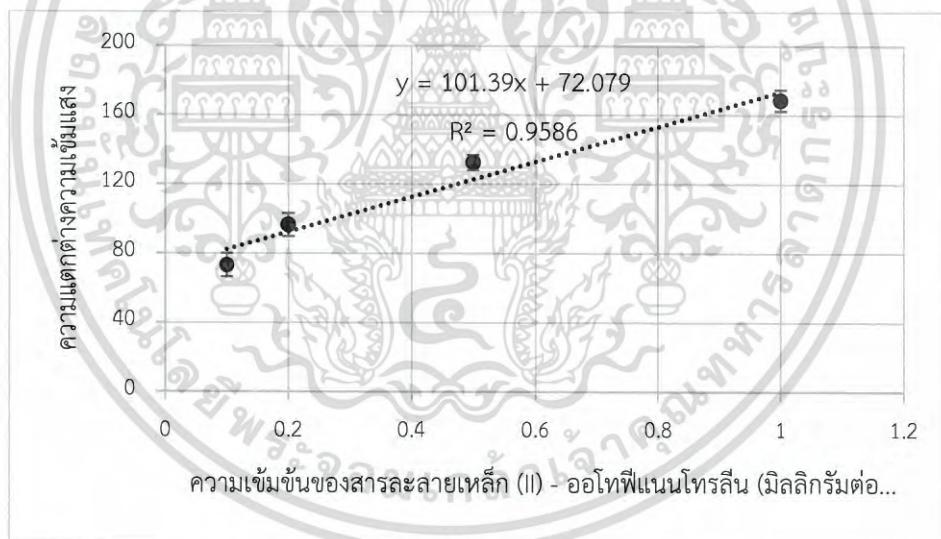
(ข)

(ค)

(ง)

(จ)

รูปที่ 4.24 กาวที่ดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนออกจากสารละลายที่ ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร ความเข้มข้น (ก) สารละลายแบลงค์ (ข) 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร (ค) 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร (ง) 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ (จ) 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนกับความแตกต่างความเข้มแสงที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร

#### 4.4 ผลการศึกษาปริมาตรของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน

ทำการทดลองโดยใช้สารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ที่ความเข้มข้น 0.10, 0.20, 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ในปริมาตร 10.00, 25.00 และ 50.00 มิลลิลิตร ใช้ปริมาณของ โซเดียมคลอไรด์และกาวน้ำ ดังตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาตรสารละลายเหล็ก (II) – ออ

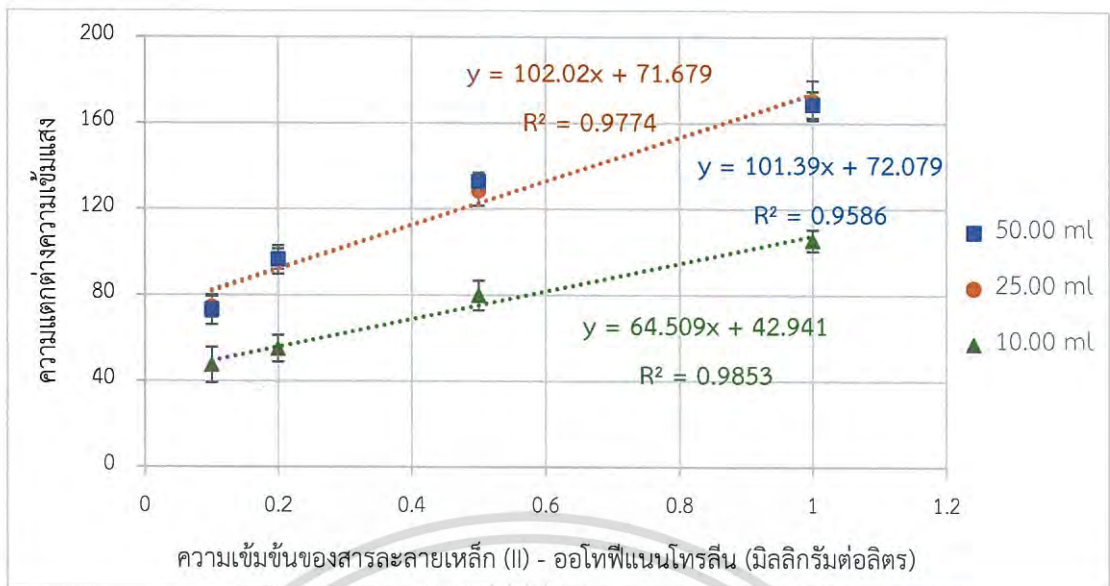
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทพีแนนโทรลิน ส่งผลให้ต้องเพิ่มปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์และกาวน้ำไปควบคู่ไปด้วย เพื่อให้กาวน้ำสามารถดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลิน ได้อย่างสมบูรณ์ นั่นคือสีของสารละลายหลังการแยกจะต้องใส

**ตารางที่ 4.2** แสดงปริมาณเกลือและกาวน้ำที่เหมาะสมในการแยกสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลินออกจากสารละลาย ที่ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาตรของ สารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลิน (มิลลิลิตร)	ปริมาณของ โซเดียมคลอไรด์ (กรัม)	ปริมาณของกาวน้ำ (กรัม)
10.00	5.00	2.00
25.00	9.00	3.00
50.00	15.00	5.00

นำก้อนกาวที่ดูดซับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลิน มาหาค่าความเข้มสี (RGB) ด้วยโปรแกรม ImageJ™ และนำค่าที่บันทึกได้มาคำนวณหาค่าความแตกต่างความเข้มแสงและพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลินกับความแตกต่างความเข้มแสง ดังรูปที่ 4.26 คือ ที่ปริมาตร 10.00, 25.00 และ 50.00 มิลลิลิตร วัดค่าความแตกต่างความเข้มแสงได้อยู่ในช่วง 47.43–105.44, 74.53–170.64 และ 73.17–168.65 ตามลำดับ ซึ่งที่ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร สามารถวัดค่าความแตกต่างความเข้มแสงอยู่ในช่วงที่สูงกว่า การใช้ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ในขณะที่ปริมาตรที่ 50.00 มิลลิลิตรค่าความแตกต่างความเข้มแสงที่วัดได้อยู่ในช่วงเดียวกับ 25.00 มิลลิลิตร แสดงให้เห็นว่าวิธีของเราสามารถวิเคราะห์สารละลายได้มากที่สุด เท่ากับปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร

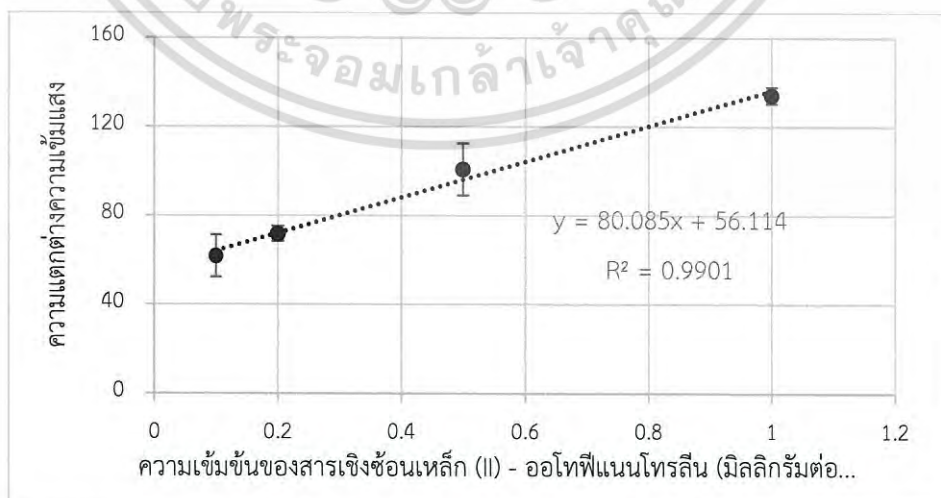


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทฟีแนนโทรลีนกับความแตกต่างความเข้มแสงที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 10.00, 25.00 และ 50.00 มิลลิลิตร

## 4.5 ศึกษาความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์

### 4.5.1 ขีดจำกัดการตรวจวัด

สามารถหาได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทฟีแนนโทรลีนและความแตกต่างความเข้มแสง ปริมาตร 10.00 และ 25.00 มิลลิลิตร ดังรูปที่ 4.27 และ 4.28 ตามลำดับ



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลาย (II) - ออโทฟีแนนโทรลีนกับความแตกต่างความเข้มแสงที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่าขีดจำกัดการตรวจวัดสามารถหาได้จากสูตร

$$LOD = y_B + 3S_B$$

เมื่อ  $y_B$  คือ  $y$  - intercept

$S_B$  คือ ค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน  $y$  ซึ่งหาได้จากสูตร

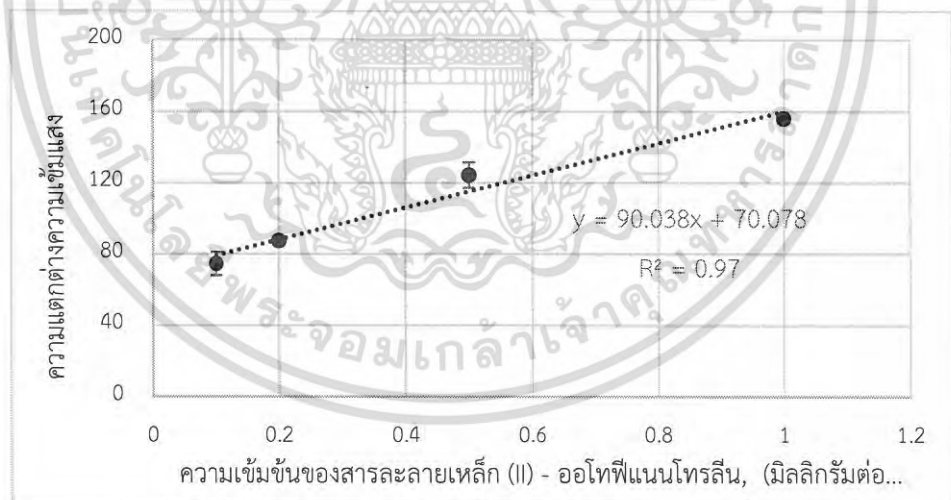
$$S_B = \sqrt{\frac{\sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-2}}$$

เมื่อ  $y_i$  = ค่าจริงที่อ่านได้จากเครื่องมือ

$\hat{y}_i$  =  $y$  ที่ควรเป็นทางทฤษฎี

$n$  = จำนวนจุด

เมื่อนำกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีน และความแตกต่างความเข้มแสง ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ในรูปที่ 4.27 มาคำนวณค่าขีดจำกัดการตรวจวัดในสูตร ซึ่ง  $y_B$  เท่ากับ 56.11 ส่วน  $S_B$  เท่ากับ 3.97 และนำมาแทนในสมการเส้นตรง จะเห็นได้ว่าวิธีนี้มีขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) เท่ากับ 0.15 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนกับความแตกต่างความเข้มแสง ที่ได้จากการตรวจวัดสีที่ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนนโทรลีน และความแตกต่างความเข้มแสง ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร ในรูปที่ 4.28 มาคำนวณขีดจำกัดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจวัด (LOD) จากสูตรซึ่งได้  $y_B$  เท่ากับ 70.08 ส่วน  $S_B$  เท่ากับ 7.83 และนำมาแทนในสมการเส้นตรง จะเห็นได้ว่าวิธีนี้มีขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) เท่ากับ 0.26 มิลลิกรัมต่อลิตร

#### 4.5.2 ขีดจำกัดการวิเคราะห์

สามารถหาได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนทโรลีนและความแตกต่างของความเข้มแสง ในรูปที่ 4.27 และ 4.28

โดยค่าขีดจำกัดการตรวจวัดสามารถหาได้จากสูตร

$$LOQ = y_B + 10S_B$$

เมื่อ  $y_B$  คือ y - intercept

$S_B$  คือ ค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกน y ซึ่งหาได้จากสูตร

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

เมื่อ  $y_i$  = ค่าจริงที่อ่านได้จากเครื่องมือ

$\hat{y}_i$  = y ที่ควรเป็นทางทฤษฎี

n = จำนวนจุด

เมื่อนำกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนทโรลีนและความแตกต่างความเข้มแสง ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ในรูปที่ 4.27 มาคำนวณในสูตร ซึ่ง  $y_B$  เท่ากับ 56.11 ส่วน  $S_B$  เท่ากับ 3.97 และนำมาแทนในสมการเส้นตรง จะเห็นได้ว่าวิธีนี้มีขีดจำกัดการวิเคราะห์ (LOQ) เท่ากับ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) - ออโทพีแนทโรลีนและความแตกต่างความเข้มแสง ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตรในรูปที่ 4.28 มาคำนวณในสูตร ซึ่ง  $y_B$  เท่ากับ 70.08 ส่วน  $S_B$  เท่ากับ 7.83 และนำมาแทนในสมการเส้นตรง จะเห็นได้ว่าวิธีนี้มีขีดจำกัดการวิเคราะห์ (LOQ) เท่ากับ 0.87 มิลลิกรัมต่อลิตร

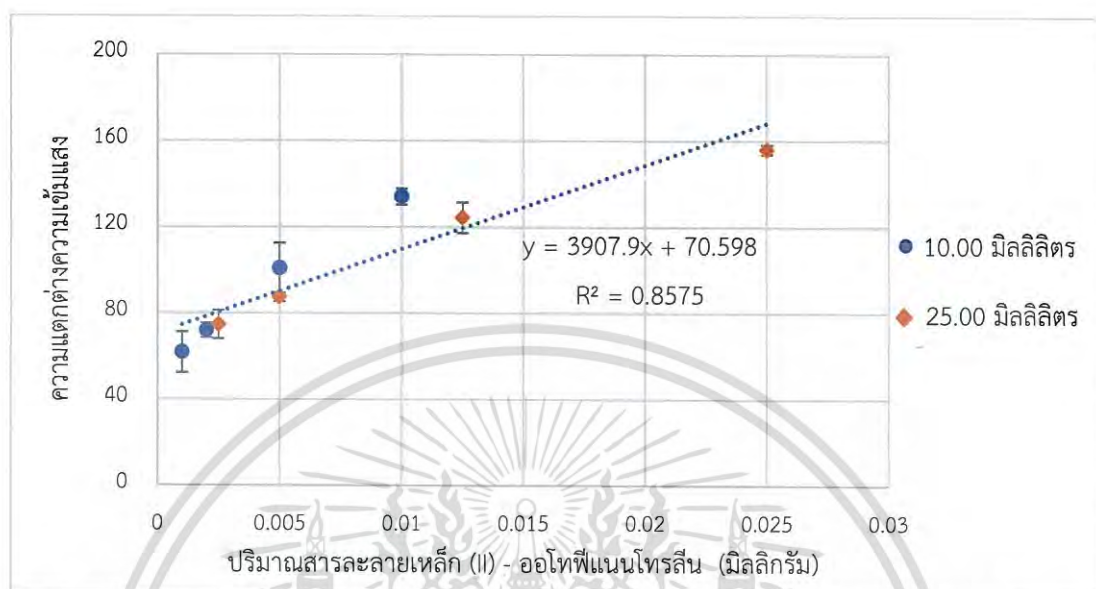
## 4.6 กราฟมาตรฐานรวม

### 4.6.1 ขีดจำกัดการตรวจวัด

สามารถหาได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) -

ออโทพีแนทโรลีนและความแตกต่างความเข้มแสง ดังรูปที่ 4.29 ในกราฟปริมาณของสารละลายเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งมอบเวลาตีพิมพ์งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็ก (II) – ออโทพีแนทโธรีน เป็นหน่วยมิลลิกรัม โดยรวมปริมาตร 10.00 และ 25.00 มิลลิลิตร อยู่ในกราฟเดียวกัน



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนทโธรีน กับความแตกต่างความเข้มแสง

เมื่อนำกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนทโธรีน กับความแตกต่างของความเข้มแสง ในรูปที่ 4.29 มาคำนวณในสูตร ซึ่ง  $y_B$  เท่ากับ 70.60 ส่วน  $S_B$  เท่ากับ 13.74 และนำมาแทนในสมการเส้นตรง จะเห็นได้ว่าวิธีนี้มีขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) เท่ากับ 0.01 มิลลิกรัม

#### 4.6.2 ขีดจำกัดการวิเคราะห์

สามารถหาได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนทโธรีนกับความแตกต่างของความเข้มแสง ในรูปที่ 4.29 มาคำนวณในสูตร ซึ่ง  $y_B$  เท่ากับ 70.60 ส่วน  $S_B$  เท่ากับ 13.74 และนำมาแทนในสมการเส้นตรง จะเห็นได้ว่าวิธีนี้มีขีดจำกัดการวิเคราะห์ (LOQ) เท่ากับ 0.04 มิลลิกรัม

### 4.7 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและค่าร้อยละคืนกลับ

เมื่อทำการทดลองการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กในสารละลายตัวอย่างน้ำดื่มและน้ำประปา โดยใช้ปริมาตร 10.00 และ 25.00 มิลลิลิตร โดยใช้ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ เท่ากับ 5.00 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.00 กรัม ตามลำดับ และใช้ปริมาณกาวน้ำ 2.00 และ 3.00 กรัม ตามลำดับ ทำการทดลองโดย spriked sample ที่ความเข้มข้น 0.20 และ 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ผลดังตารางที่ 4.3 คือ ตัวอย่างที่ไม่ได้ทำการ spriked sample ไม่สามารถตรวจพบเหล็กในตัวอย่างน้ำได้ เนื่องจากมีปริมาณที่น้อยมาก และเมื่อ sprike sample ลงไป ทำให้สามารถตรวจพบหาปริมาณเหล็กได้ โดยที่ค่าร้อยละการคืนกลับที่ปริมาตร 10.00 และ 25.00 มิลลิลิตร อยู่ในช่วง 54.52-178.56 และ 88.25-118.24 ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีนี้หากไม่สามารถตรวจวัดได้ การเพิ่มปริมาตรในการตรวจวัดนั้นส่งผลต่อประสิทธิภาพในการตรวจวัดให้ดีขึ้นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรีน ในตัวอย่างน้ำ และ ค่าร้อยละคืนกลับ

ตัวอย่าง	ปริมาณของ ตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	ปริมาณของเหล็ก (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าร้อยละคืนกลับ
		ในตัวอย่าง	ที่เติมลงไป	ที่ตรวจพบ	
น้ำดื่ม	10.00	N.D.*	0.00	N.D.*	-
			0.20	0.18±0.03	87.84±13.92
	25.00	N.D.*	0.50	0.66±0.03	131.51±6.26
			0.00	N.D.*	-
			0.20	0.24±0.06	118.24±29.65
			0.50	0.45±0.01	89.74±2.85

\*N.D คือ Not Detected

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) แสดงค่าความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรีน ในตัวอย่างน้ำ และค่าร้อยละคืนกลับ

ตัวอย่าง	ปริมาณของตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	ปริมาณของเหล็ก (มิลลิกรัมต่อลิตร)			ค่าร้อยละคืนกลับ
		ในตัวอย่าง	ที่เติมลงไป	ที่ตรวจพบ	
น้ำประปา		N.D.*	0.00	N,D.*	-
	10.00	N.D.*	0.20	0.11±0.04	54.52±17.59
		N.D.*	0.50	0.89±0.07	178.56±14.79
			0.00	N.D.*	-
	25.00	N.D.*	0.20	0.18±0.02	88.25±8.53
			0.50	0.57±0.08	113.55±15.26

\*N.D คือ Not Detected

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (II) โดยใช้กาวน้ำเป็นจุดจับสีของสารเชิงซ้อนเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ความเข้มข้น 0.10, 0.20, 0.50 และ 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร แบ่งสารละลายใส่หลอดทดลองแล้วใช้กล้องโทรศัพท์มือถือถ่ายภาพ นำมาประมวลผลด้วยโปรแกรม Image J™ และหาค่าความแตกต่างความเข้มแสงนำมาพลอตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนและความแตกต่างของความเข้มแสง ซึ่งค่าความแตกต่างความเข้มแสงที่วัดได้ไม่สัมพันธ์กับความเข้มข้นสารละลาย แสดงให้เห็นว่าวิธีการตรวจวัดสีโดยใช้กล้องโทรศัพท์มือถือถ่ายภาพสีของสารละลายนี้ยังต้องมีการปรับปรุงให้เหมาะสมมากขึ้น ดังนั้นจึงพัฒนาวิธีการตรวจวัดโดยใช้กาวน้ำเป็นตัวจุดจับสีและแยกก่อนการที่มีสีออกจากสารละลายด้วยกระบวนการ Salting out เพื่อให้เกิดการรวมตัวของสีบนก้อนกาวเป็นวิธีการเพิ่มความเข้มสี เพื่อให้สามารถตรวจวัดสีได้ชัดเจนขึ้น โดยเลือกใช้โซเดียมคลอไรด์สำหรับกระบวนการ Salting out เนื่องจากใช้ปริมาณที่น้อย และส่งผลให้การดูดซับสีมีประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อเทียบกับโซเดียมซัลเฟต ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้สารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีน ปริมาตร 10.00, 25.00 และ 50.00 มิลลิลิตร พบว่าปริมาณของกาวน้ำที่เหมาะสมเท่ากับ 2.00, 3.00 และ 5.00 กรัม ตามลำดับ และปริมาณโซเดียมคลอไรด์ที่เหมาะสมเท่ากับ 5.00, 9.00 และ 15.00 กรัม ตามลำดับ จากนั้นพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างความเข้มแสงกับความเข้มข้นของสารละลายเหล็ก (II) – ออโทพีแนนโทรลีนของปริมาตร 10.00, 25.00 และ 50.00 มิลลิลิตร พบว่าที่ปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร สามารถบันทึกค่าความแตกต่างความเข้มแสงได้มากกว่าปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร ทุกจุด แต่ปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร บันทึกค่าความแตกต่างความเข้มแสงได้ใกล้เคียงกับปริมาตร 25.00 มิลลิลิตร ทุกจุด แสดงให้เห็นว่าวิธีของเราสามารถตรวจวัดได้ที่ปริมาตร 10.00 และ 25.00 มิลลิลิตร เท่านั้น จากนั้นพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็ก (II) ในช่วง 0.0010 – 0.0250 มิลลิกรัม กับความแตกต่างความเข้มแสง ได้สมการเชิงเส้นคือ  $y = 3907.8x + 70.599$  ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $r^2$ ) เท่ากับ 0.8575 ขีดจำกัดของการตรวจวัด (LOD) เท่ากับ 0.01 มิลลิกรัม และขีดจำกัดการวิเคราะห์ (LOQ) เท่ากับ 0.04 มิลลิกรัม การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำดื่ม น้ำประปา หรือน้ำแร่โดยใช้สารละลายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตร 10.00 มิลลิลิตร และ 25.00 มิลลิลิตร ได้ค่าร้อยละคืนกลับในช่วง 54.52 – 178.56 และ 88.25 – 118.24 ตามลำดับ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การใช้เครื่องสแกนภาพสีจากก้อนแก้วควบคุมคุณภาพของแสงในการสแกนภาพสีให้มีความเท่ากัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักบริหารจัดการน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ. **เหล็กในน้ำ**. [Online]. Available: <http://202.129.59.73/th/March54/Ferum.htm> เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 ก.พ. 2561.
- [2] **มาตรฐานคุณภาพน้ำ** [Online]. Available: <http://www.sec.psu.ac.th/th/file/download/public/Publication-water-iron.pdf> เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 ก.พ. 2561.
- [3] อรุณี คงศักดิ์ไพศาล. 2550. **ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 1**. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] **โครงสร้างสาร 1,10-phenanthroline** [Online]. Available: [https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1\\_10-phenanthroline#section=CAS](https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1_10-phenanthroline#section=CAS) เข้าถึงเมื่อวันที่ 13 ก.พ. 2561.
- [5] Chemistry 105 Lab Manual. **สารประกอบเชิงซ้อนเหล็กกับอโทฟีแนนโทรลีน** [Online]. Available: <https://sites.google.com/a/wellesley.edu/chem-105-online-lab-manual/labs/04-part-1-analysis-of-iron-in-a-vitamin-pill> เข้าถึงเมื่อวันที่ 13 ก.พ. 2561.
- [6] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ. **กาวน้ำใส**. [Online]. Available: <http://www.vcharkam.com/varticle/38229> เข้าถึงเมื่อวันที่ 13 ก.พ. 2561.
- [7] **Salting out**. [Online]. Available: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1820/salting-out> เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 มี.ค. 2561.
- [8] **กระบวนการ Salting out** [Online]. Available: [http://www.si.mahidol.ac.th/department/biochemistry/home/md/labksa/lab\\_protein%20chemistry%20-%20talklab\\_prot2556.pdf](http://www.si.mahidol.ac.th/department/biochemistry/home/md/labksa/lab_protein%20chemistry%20-%20talklab_prot2556.pdf) เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 มี.ค. 2561.
- [9] **โปรแกรม ImageJ**. [Online]. Available: <http://comdigest.blogspot.com/2015/10/imagej.html> เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 มี.ค. 2561.
- [10] **ระบบสี** [Online]. Available: <https://thanasanza74100.wordpress.com> เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 มี.ค. 2561.
- [11] **Euclidean Distance** [Online]. Available: <https://www.biorxiv.org/content/early/2017/08/07/053959.full.pdf> เข้าถึงเมื่อวันที่ 12 มี.ค. 61.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงมติรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] การทำงานของเครื่องสแกน. [Online]. Available : <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/computer/system/scanner.htm> เข้าถึงเมื่อวันที่ 16 มี.ค. 2561.
- [13] นฤชิต ไพโรจน์. 2555. “ชุดทดสอบแบบจุดโดยใช้โซล-เจลเจืออโทพีแนนโทรลินสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณของเหล็ก(II).” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [14] B. Peng, G. Chen, K. Li, M. Zhou, J. Zhang and S. Zhao . “Dispersive liquid-liquid microextraction coupled with digital image colorimetric analysis for detection of total iron in water and food samples.” Food Chemistry. 230 (2017) 667-672.
- [15] B. Peng, G. Chen, K. Li, M. Zhou, J. Zhang and S. Zhao . “Determination of total iron in water and foods by Dispersive liquid-liquid microextraction coupled with microvolume UV-Vis spectrophotometry.” Food Chemistry. 176 (2015) 288-293.
- [16] ฉันทัท วังษ์ดี และ วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ, 2558. “การพัฒนากระดาษทดสอบที่ตรึงอโทพีแนนโทรลินด้วยกระบวนการโซล – เจลสำหรับวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก”, บทความฉบับเต็ม: การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 34, ขอนแก่น, หน้า 285-293.
- [17] L.S.G. Teixeira and F.R.P. Rocha . “A green analytical procedure for sensitive and selective determination of iron in water samples by flow-injection solid - phase spectrophotometry.” Talanta. 71 (2007) 1507-1511.



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ

วันที่ 18 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2560

ข้าพเจ้า นางสาวชิตชนก สุรัตน์ รหัสนักศึกษา 57050399  
นางสาวนันท์นิตย์ วงศ์เสนาะ รหัสนักศึกษา 57050433  
นางสาวนันท์พร โพธิวร รหัสนักศึกษา 57050434

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม ภาควิชา เคมี  
ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย การวิเคราะห์หาเหล็กโดยใช้กาวน้ำเป็นสารดูดซับสี

ชื่อภาษาอังกฤษ Determination of Iron in Water Using Water-Glue as Adsorbent for color

ปีการศึกษา 2560

เป็นผลงานวิจัยที่ได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อน  
เรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่ม  
โครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักษรวิสุทธิ์ 0.41 %

ลงชื่อ.....ชิตชนก สุรัตน์..... ลงชื่อ นันท์นิตย์ วงศ์เสนาะ..... ลงชื่อ นันท์พร โพธิวร.....

(นางสาวชิตชนก สุรัตน์) (นางสาวนันท์นิตย์ วงศ์เสนาะ) (นางสาวนันท์พร โพธิวร)

นักศึกษา

นักศึกษา

นักศึกษา

ข้าพเจ้า ผศ.ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษ  
ของนักศึกษาข้างต้นแล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อ  
ไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....วิบูลย์.....

(ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้