

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์ปริมาณเปอร์ซัลเฟตในสารลอกแป้ง โดยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรเมทรี



T107852



เลขที่.....  
เลขทะเบียน.....  
วันเดือนปี.....

107852

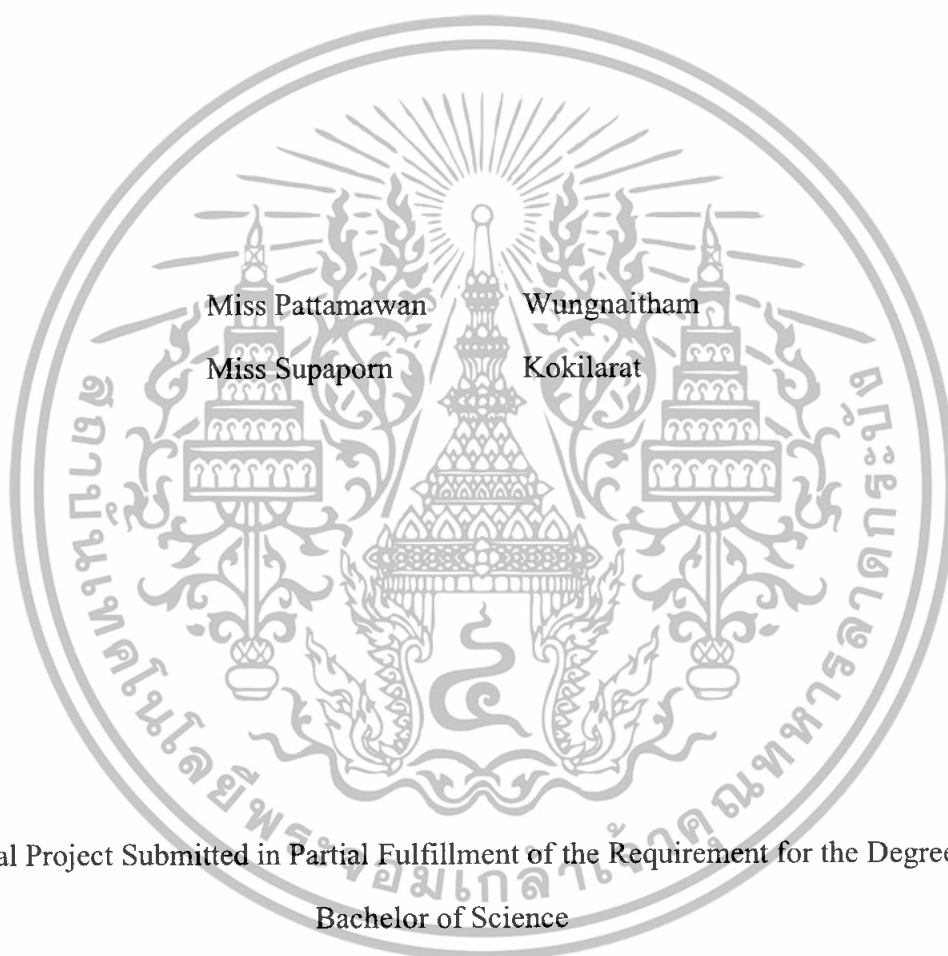
- 8 ส.ย. 2553

b. 12215612  
i. ....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาเคมีอุตสาหกรรม - เครื่องมือวิเคราะห์  
ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Determination of Persulphate in Desizing Agent using UV-VIS Spectrometry



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of  
Bachelor of Science

Program of Industrial Chemistry – Analytical Instrumentation

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

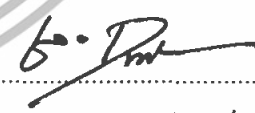
Academic Year 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**โครงการพิเศษ**            การวิเคราะห์ปริมาณเปอร์ซัลเฟตในสารลอกแป้ง โดยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรเมทรี  
**นักศึกษา**                    นางสาว ปัทมวรรณ        หวังในธรรม  
                                       นางสาว สุภาพร            โกกิลรัตน์  
**ภาควิชา**                    เคมี คณะวิทยาศาสตร์  
**สาขาวิชา**                เคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์  
**ปีการศึกษา**              2550  
**อาจารย์ที่ปรึกษา**        ดร. วิบูลย์                ประดิษฐ์เวียงคำ

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

	คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชัน	
กรรมการ	อ.สุจินต์ ดันติพิสิฐกุล	
กรรมการ	ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	 



(ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์)  
 หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ	การวิเคราะห์ปริมาณเปอร์ซัลเฟตในสารลอกแป้งโดยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรเมทรี	
นักศึกษา	นางสาว ปัทมวรรณ	หวังในธรรม
	นางสาว สุภาพร	โกกิลรัตน์
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์	
ปีการศึกษา	2550	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. วิบูลย์	ประดิษฐ์เวียงคำ

### บทคัดย่อ

ได้ศึกษาพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณเปอร์ซัลเฟตในสารลอกแป้งหลังจากทำปฏิกิริยาระหว่างเปอร์ซัลเฟตกับเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ทำการหาปริมาณเฟอร์รัสไอออนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรเมทรี ได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ โดยใช้อัตราส่วนของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.020 M, กรดซัลฟิวริก 2 M และกรดฟอสฟอริกเข้มข้นปริมาณ 1 ml, 15 ml และ 2 ml ตามลำดับ วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm ในช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเหล็ก 0-50 ppm ได้กราฟมาตรฐานที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9986 ความเที่ยงของวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน 5.0 เปอร์เซ็นต์ ความแม่นยำของวิธีเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานการไทเทรตย้อนกลับ ทดสอบด้วยค่า t-test พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Special Project Title</b>	Determination of Persulphate in Desizing Agent using UV-VIS Spectrometry	
<b>Name</b>	Miss Pattamawan	Wungnaitham
	Miss Supaporn	Kokilarat
<b>Department</b>	Chemistry Faculty of Science	
<b>Program</b>	Industrial Chemistry – Analytical Instrumentation	
<b>Academic Year</b>	2007	
<b>Special Project Advisor</b>	Dr. Wiboon	Praditweangkum

### ABSTRACT

This study, we aimed to develop the method for determination of persulphate in desizing agent. After the reaction between persulfate and ferrous ammonium sulfate, remained ferrous ion is reacted with potassium permanganate and absorbance is measured using UV-Vis spectrometry. The optimum condition for this analysis is the ratio of 0.020 M potassium permanganate: 2.0 M sulfuric acid: phosphoric acid is optimized at 1 mL: 15 mL: 2 mL respectively. Absorbance is measured at 520 nm. Calibration graph is linear in concentration range of 0-50 ppm  $Fe^{2+}$  and showed correlation coefficient value ( $r^2$ ) at 0.9986. Precision at this developed method illustrated the relative standard deviation less than 5.0 percent. The t-test result compared with titration standard method showed no significant difference at 95% confidence level.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์ เวียงคำ ที่ให้ความช่วยเหลือให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีในการทำงาน

ขอขอบพระคุณ ดร.ณัฐภูมิ เชิงชั้น อ.สุจินต์ ตันติพิสิฐกุล กรรมการสอบโครงการพิเศษที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณ คุณสุรินทร์ เหล่าพระจันทร์ คุณสุภัทร บานเย็น คุณสุพจน์ ศีวาคม และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้อง และเพื่อนๆ รวมถึงรุ่นพี่ รุ่นน้องทุกๆ คนที่ทำให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านจนโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาว ปัทมวรรณ หวังในธรรม

นางสาว สุภาพร โภกิตรัตน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	1
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 อุตสาหกรรมสิ่งทอ	3
2.1.1 กระบวนการผลิต	6
2.1.2 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อม	8
2.2 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อม	11
2.3 ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี	13
2.3.1 อัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี	14
2.3.2 กฎของเบียร์และแลมเบิร์ต	16
2.3.3 ส่วนประกอบของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	18
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	22
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	22
3.2 การเตรียมสารละลายเคมี	23
3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง	23
3.3.1 การวิเคราะห์โดยใช้วิธีมาตรฐานการไทเทรตแบบย้อนกลับ	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.1.1 หาคความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต	23
3.3.1.2 หาคความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายเฟอร์รัสแอม โมเนียมซัลเฟต	24
3.3.1.3 หาปริมาณเปอร์ซัลเฟตในสารลอกแป้ง	24
3.3.2 การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี	25
3.3.2.1 การศึกษาความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการวิเคราะห์	25
3.3.2.2 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการวิเคราะห์	25
3.3.2.3 การทำกราฟมาตรฐาน	26
3.3.2.4 การศึกษาความเที่ยงของการวิเคราะห์	27
3.3.2.5 การศึกษาความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์	28
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล</b>	<b>30</b>
4.1 การศึกษาความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการวิเคราะห์	30
4.2 การศึกษาอัตราส่วนในการวิเคราะห์	31
4.2.1 การปรับเปลี่ยนปริมาณสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต	31
4.2.2 การปรับเปลี่ยนปริมาณกรดซัลฟิวริก 2.0 M	34
4.2.3 การปรับเปลี่ยนปริมาณกรดฟอสฟอริกเข้มข้น	38
4.3 การทำกราฟมาตรฐาน	40
4.4 การศึกษาความเที่ยงของการวิเคราะห์	42
4.4.1 ความเที่ยงของการตรวจวัด	42
4.4.2 ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์	43
4.5 การศึกษาความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์	44
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	<b>47</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง	47
5.2 ข้อเสนอแนะ	47
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>48</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอ	11
ตารางที่ 2.2 แสดงสเปกตรัมของแสงในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ	15
ตารางที่ 4.1 แสดงการหาปริมาณโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต	31
ตารางที่ 4.2 แสดงการหาปริมาณกรดซัลฟิวริก	34
ตารางที่ 4.3 แสดงการหาปริมาณฟอสฟอริกเข้มข้น	38
ตารางที่ 4.4 สรุปสถานะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์	40
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอม โมเนียม ซัลเฟตของกราฟมาตรฐาน	41
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความเที่ยงของการวัด	43
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์	43
ตารางที่ 4.8 แสดงผลการวิเคราะห์โดยวิธีมาตรฐานการไทเทรตแบบย้อนกลับ	44
ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณเปอร์ซัลเฟตในสารตัวอย่างโดยวิธีมาตรฐานการไทเทรตแบบย้อนกลับ	44
ตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้นกับวิธีมาตรฐาน โดยใช้ T-test	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม	5
รูปที่ 2.2 แสดงคลื่นแสงที่มีความเข้ม ( $P_0$ ) ถูกดูดกลืนจากสาร ทำให้ความเข้มของคลื่นแสงลดลง (P) และถูกส่งผ่านออกมา	15
รูปที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	18
รูปที่ 4.1 แสดงสเปกตรัมที่ได้จากการสแกนความยาวคลื่นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่มีความเข้มข้นต่างๆ ในช่วง 200-800 nm	30
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่า $R^2$ จากความสัมพันธ์ของปริมาณสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.50 ml	32
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่า $R^2$ จากความสัมพันธ์ของปริมาณสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 1.00 ml	32
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่า $R^2$ จากความสัมพันธ์ของปริมาณสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 1.50 ml	33
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่า $R^2$ จากความสัมพันธ์ของปริมาณสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 2.00 ml	33
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่า $R^2$ จากความสัมพันธ์ของปริมาณกรดซัลฟูริก 0 ml	35
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่า $R^2$ จากความสัมพันธ์ของปริมาณกรดซัลฟูริก 2.00 ml	35
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่า $R^2$ จากความสัมพันธ์ของปริมาณกรดซัลฟูริก 5.00 ml	36
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่า $R^2$ จากความสัมพันธ์ของปริมาณกรดซัลฟูริก 10.00 ml	36
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่า $R^2$ จากความสัมพันธ์ของปริมาณกรดซัลฟูริก 15.00 ml	37
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่า $R^2$ จากความสัมพันธ์ของปริมาณกรดซัลฟูริก 20.00 ml	37
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่า $R^2$ จากความสัมพันธ์ของปริมาณกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 0 ml	39
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่า $R^2$ จากความสัมพันธ์ของปริมาณกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 2.00 ml	39
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่า $R^2$ จากความสัมพันธ์ของปริมาณกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 5.00 ml	40
รูปที่ 4.15 กราฟมาตรฐานค่า Absorbance ของ Std. $Fe^{2+}$	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมที่นำรายได้มหาศาลเข้าสู่ประเทศมาอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการจ้างแรงงานที่สูง โดยเฉพาะในสาขาการผลิตขั้นปลาย คือ การผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป ฉะนั้นอุตสาหกรรมสิ่งทอจึงถูกจัดให้เป็น 1 ใน 5 ของอุตสาหกรรมเป้าหมายที่รัฐบาลให้การสนับสนุน นอกจากนี้ยังเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยอุตสาหกรรมย่อยๆ หลายส่วนประกอบ ตั้งแต่ ต้นน้ำ คือ อุตสาหกรรมการผลิตเส้นใย ใช้เงินทุนและเทคโนโลยีระดับสูง ใช้แรงงานไม่มาก อุตสาหกรรมกลางน้ำ คือ การปั่นด้าย การทอผ้า การถักผ้า อุตสาหกรรมฟอก ข้อม พิมพ์ และตกแต่งสำเร็จ ต่อเนื่องจนถึงอุตสาหกรรมปลายน้ำ คือ อุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มและ เสื้อผ้าสำเร็จรูป โรงงานส่วนมากร้อยละ 90 เป็นโรงงานขนาดกลางและเล็ก และมีการใช้แรงงานเป็นจำนวนมาก

ในโครงการพิเศษนี้ ได้ศึกษาวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์ซัลเฟตในสารลอกแป้ง โดยใช้เทคนิค สเปกโทรเมทรีเทียบกับเทคนิคการไทเทรตหาปริมาณเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับเปอร์ซัลเฟตด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต โดยศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ โดยการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก สารละลายเหล็ก และสารละลายต่างทับทิม

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

เพื่อศึกษาวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์ซัลเฟตในสารลอกแป้งและตรวจวัดด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรเมทรี โดยทำการหาปริมาณเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับเปอร์ซัลเฟต ด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

### 1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

1. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์ซัลเฟตในสารลอกแป้งและตรวจวัดด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรเมทรี
2. เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์ซัลเฟตในสารลอกแป้ง ที่ตรวจวัดด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรเมทรีกับผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการไทเทรต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใช้วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์ซัลเฟตในสารลอกแป้งที่ตรวจวัดด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรเมทรี ที่พัฒนาขึ้นเพื่อประยุกต์หาปริมาณเปอร์ซัลเฟตในสารตัวอย่าง

#### 1.4 ขั้นตอนการทำวิจัยและการดำเนินงาน

1. สืบค้นแหล่งข้อมูลจากแหล่งที่เกี่ยวข้อง
2. วางแผนการทดลองโดยจัดหาอุปกรณ์ สารเคมี สารตัวอย่าง และเครื่องมือที่ใช้
3. ดำเนินการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์ซัลเฟตในสารลอกแป้ง และตรวจวัดด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรเมทรี
4. ใช้วิธีการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์ซัลเฟตเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์หา ปริมาณเปอร์ซัลเฟตในสารลอกแป้งด้วยวิธีไทเทรต

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์ซัลเฟตในสารลอกแป้ง และตรวจวัดด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรเมทรี
2. สามารถนำวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์ซัลเฟตในสารตัวอย่างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 อุตสาหกรรมสิ่งทอ [1]

อุตสาหกรรมสิ่งทอ มีความหมายอย่างกว้าง หมายความรวมถึงอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับสิ่งทอ 3 ขั้นตอน คือ อุตสาหกรรมสิ่งทอขั้นต้น ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตเส้นใยสิ่งทอ ทั้งเส้นใยธรรมชาติ (เช่น เส้นใยฝ้าย ไหม งามี ลินิน ขนสัตว์ ฯลฯ) และเส้นใยประดิษฐ์ (เช่น เส้นใยโพลีเอสเตอร์ ไนลอน อะคริลิก เรยอง ฯลฯ) อุตสาหกรรมสิ่งทอขั้นกลาง ได้แก่ อุตสาหกรรมปั่นด้าย ทอผ้า ถักผ้า ฟอก ย้อมพิมพ์และแต่งสำเร็จสิ่งทอ และอุตสาหกรรมสิ่งทอขั้นสุดท้าย ได้แก่ อุตสาหกรรมสิ่งทอเครื่องนุ่งห่ม

สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นอุตสาหกรรมสำคัญประเภทหนึ่ง ที่เสริมสร้างประโยชน์แก่ประเทศอย่างมหาศาล ทั้งในด้านการจ้างงาน และการนำเงินตราเข้าประเทศ นอกจากนี้ยังเป็นอุตสาหกรรมที่มีสายการผลิตต่อเนื่องทำให้มีอุตสาหกรรมเกี่ยวข้องหลาย ๆ ประเภท สามารถทำการผลิตได้เกือบครบวงจรและบังเกิดผลดีต่อเศรษฐกิจของประเทศอย่างมาก

อุตสาหกรรมสิ่งทอได้มีการพัฒนารูปแบบจากเดิม เป็นอุตสาหกรรมทดแทนการนำเข้ามาเป็นอุตสาหกรรมผลิตเพื่อการส่งออกที่สำคัญของประเทศ ทั้งนี้เป็นผลมาจากนโยบายคุ้มครองและส่งเสริมการผลิตเพื่อทดแทนการนำเข้าของรัฐบาล ทำให้การขยายตัวขึ้นมาจนในปัจจุบันสามารถส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศ เป็นมูลค่าประมาณปีละ 50,000 ล้านบาท หรือร้อยละ 17 ของมูลค่าส่งออกรวมของประเทศ

ในระยะที่ผ่านมาประเทศผู้นำเข้าที่สำคัญของไทย โดยเฉพาะประเทศที่มีข้อตกลงได้มีมาตรการกีดกันการนำเข้าสิ่งทอเข้มงวดขึ้นมาก ดังจะเห็นได้จากการพัฒนาด้านการส่งออกไปยังตลาดที่มีโควตานั้นขยายตัวช้าลงเป็นลำดับจะนั้นการพัฒนาตลาดนอกข้อตกลง ที่ยังมีคู่มือทางการส่งออกที่อยู่ให้มากขึ้น จึงเป็นเรื่องที่ควรสนใจยิ่ง เพราะนอกจากจะช่วยหลีกเลี่ยงความรุนแรงจากผลกระทบของการกีดกันทางการค้าต่าง ๆ

อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มไทยเป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญในการนำเข้าเงินตราต่างประเทศอย่างต่อเนื่อง เป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามความต้องการของผู้บริโภค เนื่องจากเครื่องนุ่งห่มเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์

อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมขั้นกลางในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นขั้นตอนที่เปลี่ยนวัสดุสิ่งทอที่อยู่ในรูปเส้นด้ายหรือผ้าดิบให้เป็นวัสดุสำเร็จรูปที่สามารถนำไปผลิตหรือจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภคต่อไปได้ กระบวนการผลิตที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมฟอกย้อมนั้นต้องใช้วัตถุดิบที่เป็นสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ว่าจะเป็นสีย้อม กรด ด่าง สารปรับปรุงคุณภาพต่าง ๆ เช่น สารตกแต่ง สารฟอกขาว เป็นต้น และสิ่ง  
ที่ขาดไม่ได้ก็คือน้ำที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมที่ต้องใช้ในปริมาณที่มาก เพื่อให้ได้ผ้าหรือเส้นด้ายที่มี  
สีสันทสวยงาม คงทนต่อสภาวะแวดล้อม ตลอดจนความพอใจ ความรู้สึกของผู้บริโภค

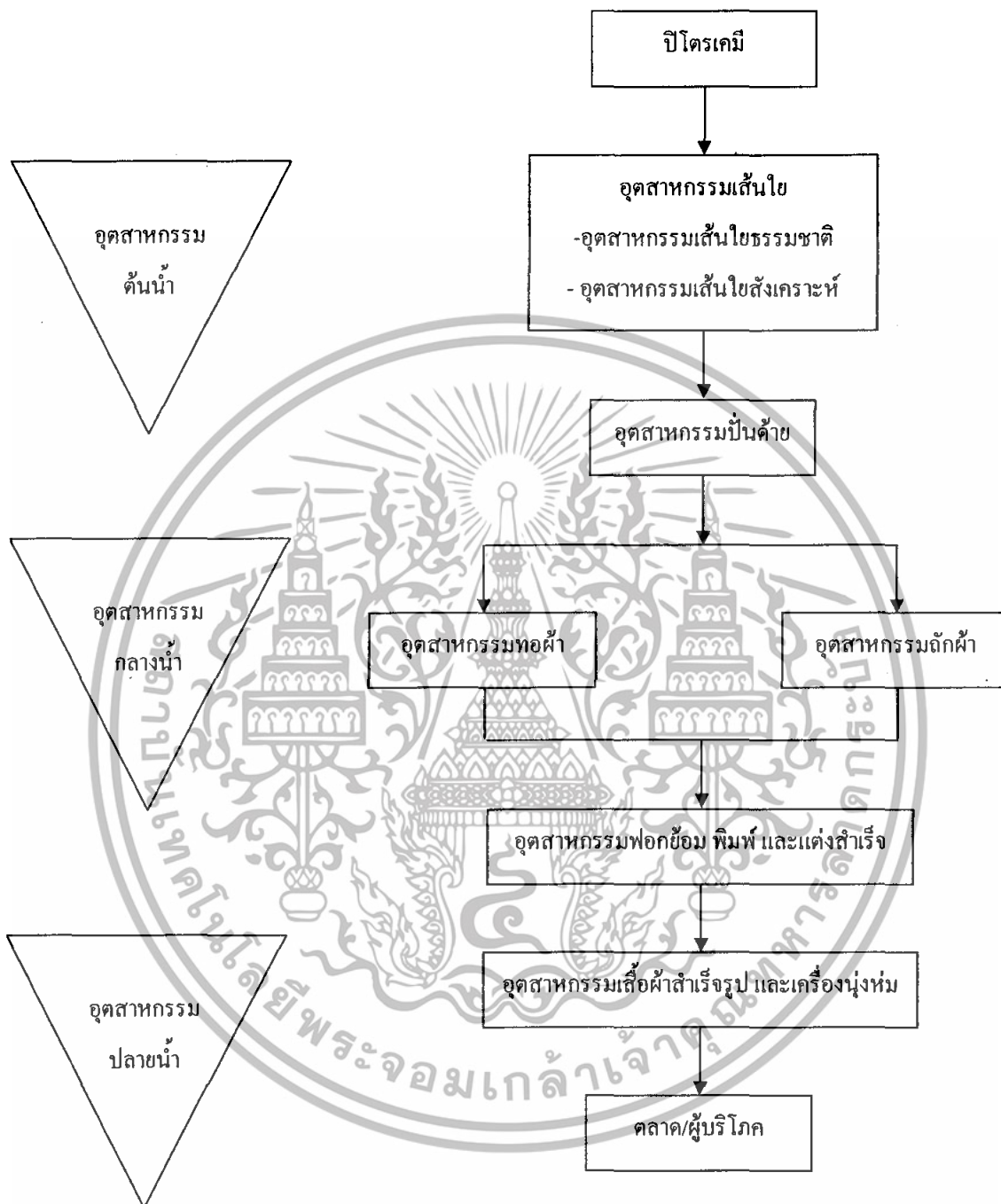
ดังนั้นผลกระทบที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมจึงเกิดขึ้นจากน้ำและสารเคมีที่ใช้ใน  
กระบวนการฟอกย้อม น้ำเสียที่ปล่อยออกมาจึงมีทั้งสารพิษ สารแขวนลอย น้ำมัน และของเสียไม่ว่าจะ  
เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ชนิดต่างๆ ปนเปื้อนออกมา นอกจากนี้ยังมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง มี  
สภาพเป็นด่าง มีกลิ่นที่แรงและมีสีที่นํารังเกียจ เมื่อน้ำเสียที่มีสีถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ (หรือ  
สิ่งแวดล้อม) จะทำลายความสวยงามของธรรมชาติแล้วยังทำให้สมดุลทางธรรมชาติเสียไปอีกด้วย  
นอกจากนี้ยังพบว่าสีที่พบในน้ำเสียซึ่งเป็นอนุภาคคอลลอยด์จะไปบดบังแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านลงสู่ผิวน้ำ  
ส่งผลกระทบต่อพืชที่อยู่ในน้ำไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ ส่งผลให้ปริมาณแก๊สออกซิเจนในน้ำ  
ลดลง ซึ่งมีผลให้สิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่อยู่ในน้ำอาจตายได้ น้ำเสียก่อนที่จะปลดปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ  
ควรจะต้องมีกระบวนการกำจัด หรือบำบัดน้ำก่อน เพื่อลดปริมาณสี นับเป็นการป้องกันหรือแก้ปัญหา  
สิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยเฉพาะมลพิษทางน้ำ ในปัจจุบันได้มีการกำหนด ข้อบังคับเกี่ยวกับการ  
ปล่อยน้ำเสียซึ่งเป็นที่ยอมรับในหลายๆ ประเทศ อาทิเช่น การดูจากปริมาณที่สิ่งมีชีวิตรับได้ สมบัติทาง  
เคมีของน้ำทิ้ง ระดับของสีในน้ำทิ้ง เป็นต้น

การผลิตสิ่งทอของประเทศไทย สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 อุตสาหกรรม ดังนี้

1. อุตสาหกรรมเส้นใย ประกอบด้วยเส้นใยธรรมชาติ และเส้นใยสังเคราะห์
2. อุตสาหกรรมปั่นด้าย
3. อุตสาหกรรมทอผ้าและถักผ้า
4. อุตสาหกรรมฟอก ย้อม พิมพ์ และตกแต่งสำเร็จ
5. อุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม ประกอบด้วย เสื้อผ้าสำเร็จรูป และเคหะสิ่งทอ

อุตสาหกรรมทั้ง 5 อุตสาหกรรม เป็นอุตสาหกรรมที่เชื่อมโยงกันครบวงจร มีการประสาน  
ต่อเนื่องกันตลอด เนื่องจากการส่งต่อวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมหนึ่งไปยังอีกอุตสาหกรรมหนึ่ง โดย  
อุตสาหกรรมเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ เป็นอุตสาหกรรมต้นน้ำ อุตสาหกรรมปั่นด้าย  
อุตสาหกรรมทอผ้าและถักผ้า อุตสาหกรรมฟอก ย้อม พิมพ์ และตกแต่งสำเร็จ เป็นอุตสาหกรรมกลางน้ำ  
และอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม เป็นอุตสาหกรรมปลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1 กระบวนการผลิต [2]

อุตสาหกรรมฟอกย้อม ทำหน้าที่เปลี่ยนเส้นด้าย/ผ้าดิบใช้กระบวนการทางเคมีที่ปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของเส้นใย โดยการใช้สารเคมีและสีย้อมซึ่งใช้น้ำเป็นตัวกลาง ได้ผลิตภัณฑ์เส้นด้ายย้อมสี/ผ้าฝ้ายย้อมสี เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ขายตรงหรือไปยังอุตสาหกรรมตัดเย็บต่อไป

กระบวนการฟอกย้อม แบ่งเป็นขั้นตอนหลักดังนี้

1. การเตรียมผ้า/เส้นด้าย (Pretreatment)
2. การย้อม (Dyeing)
3. การพิมพ์ (Printing)
4. การตกแต่งสำเร็จ (Finishing)

1. การเตรียมผ้า/เส้นด้าย คือการทำความสะอาดผ้า ให้สะอาด ขาว สวยงาม ดูดซึมสี และสารเคมี

1.1 การเผาขน (Singeing) เป็นการกำจัดขนบนผ้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งผ้าที่ได้จากเส้นใยสั้นกำจัดให้ผิวเรียบโดยใช้ความร้อน เมื่อนำไปย้อมทำให้สีติดผ้าสม่ำเสมอ ดูดซึม แต่กระจาย คมชัด การเผาขนมีหลายวิธี หัวเผาเปลวไฟจากแก๊ส เผาด้วยไฟฟ้า เผาด้วยแผ่นโลหะร้อน แต่วิธีแรกนิยมใช้มากที่สุดโดยการผ่านผ้า/เส้นด้ายเปลวไฟในอัตราเร็วสูงพอที่ผ้าไม่ติดไฟ หลังจากนั้นส่งผ้าผ่านอ่างน้ำเพื่อลดอุณหภูมิของผ้า แต่ถ้าผ้าทอจากเส้นใยสังเคราะห์หรือเส้นใยผสมจะไม่นิยมเผาขน เนื่องจากจะหลอมเป็นเม็ดพลาสติกบนผืนผ้ามักใช้วิธีใช้เครื่องตัดขนมากกว่า

1.2 การลอกแป้ง (Desizing) เป็นการกำจัดสารลงแป้ง (Sizing) ที่มีอยู่ในเส้นด้ายขึ้นเพื่อให้ผ้าดูดซึมสี สารเคมีได้สม่ำเสมอจากกระบวนการทอผ้าจะต้องมีการลงแป้งเส้นด้ายขึ้นก่อน แป้งที่เคลือบจะกระทบต่อการดูดซึมน้ำ สี และสารเคมีของเส้นใย การลอกแป้งมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับสารที่ใช้ลงแป้งถ้าใช้สารสังเคราะห์ลงแป้งจะล้างออกได้ง่ายกว่าแป้งธรรมชาติ เนื่องจากแป้งธรรมชาติไม่ละลายน้ำถ้าสารสังเคราะห์ใช้น้ำสบู่อุณหภูมิ 90°C แต่ถ้าเป็นแป้งธรรมชาติใช้น้ำยาเคมีเช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ), โซเดียมเปอร์ซัลเฟต ( $Na_2S_2O_8$ ), โพตัสเซียมเปอร์ซัลเฟต ( $K_2S_2O_8$ ) หรือเอนไซม์ (สลายตัวของแป้งเป็นน้ำตาลกลูโคส ไม่ทำลายเนื้อผ้า) อุณหภูมิ 80 °C ทำให้ผ้าขาวกว่าวิธีอื่น เพราะเป็นการฟอกขาวไปในตัวจากนั้นผ่านอ่างล้างน้ำทำความสะอาดลอกแป้งออกจากผ้า

1.3 ทำความสะอาด /ขจัดสิ่งเจือปนอื่น (Souring) ขจัด ไขมัน สารปนเปื้อน พวกเกลือ อินทรีย์/อนินทรีย์ เพื่อให้ดูดซึมน้ำ ติดสี สารเคมี อย่างสม่ำเสมอ เส้นใยฝ้ายจะติดมาจากธรรมชาติประมาณ 10% ของน้ำหนัก สารเคมีที่ใช้กำจัดไขมันและสิ่งสกปรกได้แก่ โซดาไฟ (โซเดียมไฮดรอกไซด์ NaOH) เพื่อทำปฏิกิริยากับไขมันให้เป็นสบู่ที่ละลายน้ำได้ หรือใช้น้ำสบู่ (Detergents) โดยใช้ความร้อนในการทำให้เกิดปฏิกิริยา ไขมันต่าง ๆ ถูกกำจัดขยว่น ขี้ผึ้งเทียม จึงต้องเติมน้ำสบู่พร้อมดัมผ้าที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 85 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**1.4 การฟอกขาว (Bleaching)** เป็นการกำจัดสารมีสีที่ติดมาตามธรรมชาติ ให้ผ้าขาว โดยใช้ สารเคมี สารออกซิไดซ์ ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ( $NaOCl$ ) และ โซเดียมคลอไรต์ ( $NaClO_2$ ) ร่วมกับความร้อนอุณหภูมิ 90-100 °C โดยผ่านเข้าสู่ตู้อบไอน้ำหลังจากนั้นผ่าน อ่างน้ำล้างผ้า

**1.5 การชุบมัน (Mercerization)** เป็นการทำให้ Alkali Treatment เพื่อให้ผ้าดูดซึมสี เพิ่มความมันเงา สัมผัสอ่อนนุ่ม สีคงทน นิยมใช้สารละลายด่าง (โซเดียมไฮดรอกไซด์  $NaOH$ ) เป็นสารชุบมัน หลังจากผ่าน อ่างโซดาไฟแล้ว ผ่านลูกกลิ้ง บีบผ้าให้แห้ง ผ่านอ่างน้ำล้างโซดาไฟด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 90 °C อาจจะมีถึง 8-10 อ่าง ทุกอ่างเป็นน้ำร้อนยกเว้นอ่างสุดท้ายเป็นน้ำเย็นแต่การล้างน้ำอย่างเดียวยังโซดาไฟ อาจจะมีหลุดออกยากต้องใช้กรดช่วย (กรดน้ำส้ม กรดกำมะถัน) ในอ่างที่ 3-4 ถ้าค่า pH อ่างสุดท้ายควรเป็น กลาง ถ้าเป็นกรดมากไปการย้อมสีจะไม่สม่ำเสมอทำให้ต้องย้อมซ้ำสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย

**1.6 การเซ็ทด้วยความร้อน (Heat Setting)** เนื่องจากผ้าผ่านกระบวนการต่าง ๆ จะหดตัว ต้องทำ การยัดผ้า ด้วยการให้ความร้อนแห้ง 180-210 °C 15-30 นาที

**2. การย้อม (Dyeing)** การย้อมมีหลายวิธี วิธีที่ 1 ย้อมแบบแช่หรือดูดซึม (Immersion or Exhaustion) เป็นการย้อมแบบที่สะดวกเหมาะสำหรับผลิตไม่มาก เครื่องจักรเกอร์ เครื่อง Winch เครื่อง Jet วิธี ที่ 2 ย้อมแบบต่อเนื่องย้อมทีละมาก ๆ ผ้าจะเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์อย่างต่อเนื่องจากจุ่มอัดสี (Padding) ฝืน กสี (Heat Fixation) ซักล้าง (Washing) เร็วกว่าวิธีแรกผลผลิตสูงกว่าแต่ถ้าผลิตน้อยจะไม่คุ้ม และหากเครื่อง ขัดข้องจะกระทบต่อการผลิตมากกว่า วิธีที่ 3 ย้อมแบบกึ่งต่อเนื่อง (Cold-pad-batch) คล้ายกับการย้อม แบบต่อเนื่องแต่มีการทำการหมัก (Batching) ผ้าที่ผ่านการจุ่มอัด จะนำไปหมუნเหวี่ยงด้วยแรงหนี ศูนย์กลางเพื่อฝืนกสีให้สม่ำเสมอและหมักไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2-24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปซักล้างและอบแห้ง เหมาะกับสีที่มีความไวสูง

**3. การพิมพ์ (Printing)** เป็นการทำให้สี หรือสารเคมีติดบนผ้า/เส้นด้าย ทำให้ได้ลวดลายบนผ้า ตามแบบแม่พิมพ์ การพิมพ์มี 3 วิธี วิธีที่ 1 พิมพ์โดยตรงนิยมใช้กันมากโดยการทำแม่พิมพ์ ซึ่ง ประกอบด้วยสารสี หรือพิกเมนต์ ติดบนพื้นผิวตามลวดลายและนำผ้าไปฝืนกสี (Fixation) ผ้าที่จะพิมพ์จะ เป็นผ้าขาวหรือผ้าย้อมสีอ่อน วิธี 2 พิมพ์แบบปริซีสเป็นการเติมสารป้องกันการติดสีลง ไปบนผ้า เมื่อพิมพ์ ผ้าแล้วนำไปย้อมทำสีพื้น สีจะไม่ติด บริเวณที่มีการพิมพ์ลวดลาย วิธีที่ 3 พิมพ์แบบดิสซาร์จเป็นการพิมพ์ ผ้าที่ผ่านการย้อมสีพื้นแล้ว จะมีการเติมสารดิสซาร์จเพื่อทำลายโครงสร้างสีพื้น

**3.1 การอบฝืนกสี** อบผ้าอาจจะใช้ลมร้อน แสงอินฟราเรด จากนั้นก็ฝืนกสี โดยใช้การอบไอน้ำ พ่น น้ำ กระดาษอากาศร้อน เพื่อไล่ความชื้นอุณหภูมิ 102-105 °C หรือใช้ลมแห้งอุณหภูมิสูงกว่าไอน้ำทำให้ ลดเวลาการฝืนกสี หรือใช้ฝืนกด้วยลูกกลิ้งลมร้อนไอน้ำผ่านผิวลูกกลิ้งสัมผัสกับผ้าโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ซักล้าง เพื่อกำจัดสีและสารเคมีส่วนเกินแบบใช้สบู่ หรือ แบบrinsing โดยใช้น้ำการซักล้างมีหลายอย่าง อย่างต้น ๆ จะสกปรกมีปริมาณสีในน้ำล้างสูง อย่างที่ 1 น้ำเย็น 20-30 °C อย่างที่ 2 น้ำอุ่น 40-50 °C อย่างที่ 3 น้ำร้อน 80-90 °C อย่างที่ 4 อ่างซักใช้สารเคมีอุณหภูมิ 90-95 °C อย่างที่ 5 ล้างน้ำร้อน 80-90 °C อย่างที่ 6 ล้างน้ำร้อน 80-90 °C อย่างที่ 7 ล้างน้ำเย็น 20-30 °C

4. การอบแห้ง (Drying) เมื่อผ่านกระบวนการล้างสีแล้วก่อนไปตกแต่งต้องทำให้แห้ง โดยใช้ลมร้อนหรือใช้ลูกกลิ้งร้อน

5. การตกแต่ง (Finishing) เป็นกระบวนการให้คุณภาพผ้า/เส้นด้ายตามต้องการของลูกค้า ถ้าต้องการให้นุ่มก็ใส่ Softener สารตกแต่ง สารหล่อลื่นเพื่อให้เกิดความมันเงาใช้วิธีการ (ขัดมัน ตัดขน เผาขน) ใช้วิธีเคมีสารเรซิน ทำให้ผ้านุ่มลื่น ทนยับ ทนไฟ ทนสารเคมี เป็นต้น

2.1.2 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมที่ควรรู้จัก สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้

2.1.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการขจัดสิ่งสกปรก อาทิเช่น

ก. โซดาไฟ (sodium hydroxide : NaOH) ทำปฏิกิริยากับไขมันโดยเปลี่ยน ไขมันเป็นสบู่ที่ละลายน้ำได้ นอกจากนี้ยังทำให้เส้นใยขยายตัว สิ่งสกปรกต่างๆ ถูกจัดออกง่ายขึ้น ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้ได้แก่ ความร้อน นอกจากนี้ต่างยังช่วยกำจัดสารอื่นๆอีก เช่น โปรตีน เพกทิน สารลงแป้งที่ตกค้าง เคลือบแร่ต่างๆ ให้ละลายหลุดออกมา

ข. น้ำสบู่ (detergent) ทำหน้าที่กำจัดไขมันในลักษณะที่ทำให้เกิดอิมัลชัน (emulsion) การกำจัดสิ่งสกปรกอื่นๆออกจากวัสดุรวมทั้งป้องกันมิให้ย้อนกลับไปติดบนวัสดุอีก น้ำสบู่แบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่ พวกไม่มีประจุไฟฟ้า พวกมีประจุลบ พวกมีประจุบวก และพวกมีทั้งประจุบวกและประจุลบ แต่ละกลุ่มจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ได้แก่ ความสามารถในการแทรกซึม ความสามารถในการซักล้าง ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน

ค. สารจับโลหะ (complexing agent) เป็นพวกลิแกนด์ หรือคีเลต สารนี้สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอออนของโลหะ เช่น  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  เป็นสารที่ละลายน้ำได้ในสภาวะต่าง ไอออนเหล่านี้จะเกิดตะกอน ไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำในสภาวะต่างปกติ ตะกอนไฮดรอกไซด์เหล่านี้มีผลเสียต่อการฟอกผ้าด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ไอออนเหล่านี้ นอกจากจะพบในน้ำแล้วยังพบว่ามาจากวัสดุด้วย เช่น ฝ้าย เป็นต้น

2.1.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการฟอกขาว อาทิเช่น

ก. สารออกซิไดซ์ เป็นสารที่ทำให้สารอื่นเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้แก่ สารประกอบเปอร์ออกไซด์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) โซเดียมเปอร์ออกไซด์ ( $\text{Na}_2\text{O}_2$ ) เป็นต้น สารประกอบไฮโป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลอไรท์ เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรท์( $\text{NaClO}$ ) และแคลเซียมไฮโปคลอไรท์( $\text{Ca(OCl)}_2$ ) เป็นต้น สารประกอบคลอไรท์ เช่น โซเดียมคลอไรท์ ( $\text{NaClO}_2$ ) เป็นต้น

ข. สารรีดิวซ์ เป็นสารที่ทำให้สารอื่นเกิดปฏิกิริยารีดักชันได้แก่โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ) โซเดียมเมทาไบซัลไฟท์ ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) โซเดียมฟอร์แมลดีไฮด์ซัลฟอกซิด( $\text{HCHOHSO}_2\text{Na}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) การฟอกขาวด้วยสารกลุ่มนี้จะให้ความขาวที่ไม่ถาวรเรียกว่า temporary white

### 2.1.2.3 ประเภทของสีย้อม

การจำแนกสีย้อมที่นิยมกันมากที่สุด คือ การจำแนกสีย้อมตามการนำไปใช้ เพราะจะต้องมีความคงทนต่อการซัก มีความคงทนต่อแสงและยังต้องมีความคงทนต่อความร้อน ซึ่งในกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมได้จำแนกสีย้อมตามวิธีใช้ออกเป็น 11 ประเภท คือ (1) สีเอซิด (2) สีไดเร็กต์ (3) สีเบสิก (4) สีดิสเพอร์ส (5) สีรีแอคทีฟ (6) สีอะโซอิก (7) สีเว็ต (8) สีมอร์แดนท์ (9) สีอินเกรน (10) สีออกซิเดชัน และ (11) สีซัลเฟอร์ โดยที่สีย้อมแต่ละประเภทจะมีสูตรโครงสร้างทางเคมี สมบัติของสีย้อม ตลอดจนวิธีใช้ที่แตกต่างกันไป ดังนั้นการเลือกใช้สีย้อมจึงมีความสำคัญอย่างมากในการย้อมสี เพราะวัสดุที่ต้องการย้อมอาจสามารถย้อมด้วยสีย้อมเพียงชนิดเดียวหรือย้อมด้วยสีย้อมหลายชนิดที่ต่างชนิดกันได้ เช่น เส้นใยเซลลูโลสส่วนใหญ่จะย้อมด้วยสีไดเร็กต์ เป็นต้น

1) สีเอซิด (acid dye) สีชนิดนี้เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ มีประจุลบ ละลายน้ำได้ดี ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน กลไกในการติดสีเกิดเป็นพันธะไอออนิก ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรดเจือจาง สีเอซิดบางตัวสามารถนำไปใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสบริสุทธิ์ได้ เช่น ปอ ป่าน ไนลอน โยขนแกะ ไหม และอะคริลิกได้ดี วิธีการใช้จะนำสีย้อมที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ไปละลายน้ำย้อมที่เป็นกรดหรือเป็นกลาง สีเอซิดไม่ทนการซัก ไม่ทนเหงื่อ

2) สีไดเร็กต์ (direct dye) หรืออาจเรียกว่าสีย้อมฝ้าย สีชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอะโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟนิกที่ทำให้ตัวสีสามารถละลายน้ำได้ มีประจุลบ นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส สีจะติดเส้นใยได้โดยโมเลกุลของสีจะจัดเรียงตัวแทรกอยู่ในระหว่างโมเลกุลเส้นใย และยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน สีไม่ทนต่อการซักน้ำ สีตกง่าย ทนแสง

3) สีเบสิก (basic or cationic dye) สีย้อมชนิดนี้เป็นเกลือของเบสอินทรีย์ (organic base) ให้ประจุลบ ละลายน้ำได้ นิยมใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ไนลอนและใยอะคริลิกได้ดี ในขณะที่ย้อมโมเลกุลของสีส่วนที่มีประจุลบจะยึดจับกับโมเลกุลของเส้นใย เป็นสีที่ติดทน ไม่ควรใช้ย้อมเส้นใยธรรมชาติเพราะจะไม่ทนการซักและแสง

4) สีดิสเพอร์ส (disperse dye) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำแต่มีสมบัติกระจายได้ดี สามารถย้อมเส้นใยอะซิเตท เส้นใยโพลีเอสเตอร์ ไนลอน และอะคริลิกได้ดี การย้อมจะใช้สารพา (carrier) เพื่อช่วยเร่งอัตราการดูดซึมของสีเข้าไปในเส้นใยหรือย้อมโดยใช้อุณหภูมิและความดันสูง สีดิสเพอร์สเป็นสีที่ทนแสงและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การซักฟอกค่อนข้างดี แต่สีจะซีดถ้าถูกคว้นหรือแก๊สบางชนิด เช่น แก๊สไนโตรซอกไซด์ สีดีสเพอร์สแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม โดยพิจารณาจากเคมีในตัวสีข้อม ได้แก่ สีข้อมอะโซ (azo dyes) และสีข้อมเอมมีโน แอนทราควิโนน (amino anthraquinone) ซึ่งทั้ง 2 กลุ่ม ประกอบด้วยอนุพันธ์ของเอทราโนลามีน (ethanolamine;  $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}$ ) หรืออนุพันธ์ที่คล้ายคลึงกัน

5) สีรีแอคทีฟ (reactive dye) เป็นสีที่ละลายน้ำได้ มีประจุลบ เมื่ออยู่ในน้ำจะมีสมบัติเป็นด่าง สีข้อมชนิดนี้เหมาะกับการข้อมเส้นใยเซลลูโลสมากที่สุด โมเลกุลของสีจะยึดจับกับหมู่ไฮดรอกไซด์ ( $\text{OH}$ ) ของเซลลูโลสและเชื่อมโยติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ในสภาวะที่เป็นด่าง กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส สีรีแอคทีฟมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ข้อมติดที่อุณหภูมิสูง  $70-75^\circ\text{C}$  และกลุ่มที่ข้อมติดที่อุณหภูมิต่ำ สีรีแอคทีฟให้สีที่สดใส ทุกสีติดทนในทุกสภาวะ

6) สีอะโซอิก (azoic dye) สีข้อมชนิดนี้ไม่สามารถละลายน้ำได้ การที่สีจะก่อรูปเป็นเส้นใยได้ต้องข้อมด้วยสารประกอบฟีนอลซึ่งละลายน้ำได้ก่อน ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้รวมตัวเป็นสี (coupling) แล้วข้อมทับด้วยสารไดอะโซคอมโปแนนท์จึงจะเกิดเป็นสีได้ สีอะโซอิกใช้ข้อมเส้นใยได้ทั้งเซลลูโลส ไนลอน หรืออะซิเตท สีอะโซอิกเป็นสีที่ทนต่อการซัก แต่ไม่ทนต่อการจัดดู

7) สีเว็ท (vat dye) เป็นสีที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อทำการข้อมต้องเตรียมน้ำข้อมให้ สีเว็ทละลายน้ำโดยให้ทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ สีเว็ทจะถูกรีดิวซ์ให้กลายเป็นเกลือจึงซึมเข้าไปในเส้นใยได้ เมื่อนำผ้าไปผึ่งในอากาศสีในเส้นใยจะถูกออกซิไดส์เป็น สีเว็ท สีข้อมชนิดนี้มี ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญอยู่ 2 ชนิด คือ สีอินดิโก (indigoid) และสีแอนทราควิโนออยด์ (anthraquinoid)

8) สีมอร์แดนท์ หรือโครม (mordant or chrome dye) สีข้อมชนิดนี้ต้องใช้สารช่วยติดเข้าไปช่วย เพื่อให้เกิดการติดสีบนเส้นใย สารที่ช่วยติดที่ใช้คือ สารประกอบออกไซด์ของโลหะ เช่น โครเมียม ดิบุก เหล็ก อะลูมิเนียม เป็นต้น สีมอร์แดนท์เป็นสีที่มีโมเลกุลใหญ่ซึ่งเกิดจากสีมอร์แดนท์หลายโมเลกุลจับกับโลหะแล้วละลายน้ำได้จึงทำให้ข้อมได้ง่าย ซึ่งใช้ข้อมเส้นใยโปรตีนและเส้นใยพอลิโอไมด์ได้ดี

9) สีอินเกรน เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ โดยจะเกิดเป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยากับน้ำสีข้อมชนิดนี้ใช้สำหรับข้อมผ้าฝ้าย

10) สีออกซิเดชัน (oxidation dye) เป็นสีที่ละลายน้ำ โดยจะเกิดเป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยาในน้ำโดยสีจะติดแน่น อาศัยปฏิกิริยาการตกตะกอนผลึกภายในเส้นใย ใช้สำหรับข้อมผ้าฝ้ายและขนสัตว์

11) สีซัลเฟอร์ (sulfur dye) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อทำการข้อมต้องรีดิวซ์สีเพื่อให้โมเลกุลอยู่ในสภาพที่ละลายน้ำได้ แต่สีซัลเฟอร์บางชนิดที่ผลิตออกมาจำหน่ายในรูปที่ถูกรีดิวซ์จะละลายน้ำได้ นิยม นำสีซัลเฟอร์มาข้อมผ้าฝ้าย สีจะติดทน และยังเป็นสีที่มีราคาถูก แต่สีที่อ่อนจะไม่ทนต่อการซัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อม [3]

อุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ เป็นอุตสาหกรรมประเภทหนึ่งที่ต้องใช้สารเคมีชนิดต่างๆ มากมาย ในกระบวนการ สารเคมีที่ใช้มีทั้งที่เป็นสารเคมีธรรมดาทั่วไป เช่น พวกกรด ด่าง เกลือ สารรีดิวซ์และ ออกซิไดซ์ชนิดต่างๆ ไปจนถึงประเภทที่ใช้เฉพาะในวงการ เช่น พวกสารกันด่าง(Levelling agents) หรือ สารแคเรียอร์(ดูตารางที่ 1) สารเคมีเหล่านี้ล้วนมีบทบาทที่สำคัญยิ่งต่อกระบวนการผลิต ทั้งในด้านการควบคุมปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นให้ไปเป็นไปตามที่ต้องการ การควบคุมประสิทธิภาพการผลิต และทั้งยังมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วย ดังนั้นการมีความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับสารเคมีที่ใช้และสามารถใช้ได้อย่างถูกต้องวิธี จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนี้ผู้ใช้อย่างไรก็ตามควรมีความรู้เกี่ยวกับวิธีการเก็บรักษา การตรวจสอบคุณภาพและอันตรายที่อาจเกิดจากการใช้สารเคมีแต่ละชนิดด้วย

ตารางที่ 2.1 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอ

กระบวนการ	สารเคมี
การลอกแป้ง(Desizing)	เอน โซลิมเปอร์ซัลเฟต
การขจัดสิ่งสกปรก (Scouring) และการซักล้าง (Soaping)	โซดาแอช โซดาไฟ น้ำสบู่
การฟอกขาว(Bleaching)	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โซเดียมไฮโปคลอไรท์ โซเดียมคลอไรท์ โซเดียมซัลไฟต์
สารช่วยย้อม	สารกันด่าง แคเรียอร์ สารช่วยการกระจายตัว (Dispersing agent) โซเดียมคลอไรท์ โซเดียมซัลเฟต โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ โซดาแอช โซดาไฟ โซเดียมซัลไฟต์ โซเดียมคาร์บอเนต กรดอะซิติก กรดไฮโดรคลอริก

### เปอร์ซัลเฟต (Persulphate)

เป็นสารออกซิไดซ์ชนิดหนึ่ง ที่นิยมนำมาใช้ในการลอกแป้งกันมากสำหรับปัจจุบันนี้ โดยอาจจะใช้ในรูปของโซเดียม โปแทสเซียม หรือแอม โมเนียมเปอร์ซัลเฟตก็ได้ ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ของแต่ละโรงงาน สมบัติทั่วไปของเปอร์ซัลเฟตชนิดต่างๆ มีดังนี้

- โซเดียมเปอร์ซัลเฟตหรือโซเดียมเปอร์ออกไซด์ซัลเฟต (Sodium persulphate or Sodium peroxydisulphate) มีสูตรทางเคมี คือ  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$  มีลักษณะเป็นผงสีขาว ละลายน้ำได้ สลายตัวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง่ายในอากาศที่ชื้นหรือในสารละลายแอลกอฮอล์ สารตัวนี้มีอันตรายต่อร่างกาย คือ ทำให้เกิดการระคายเคือง

อย่างแรงกับเนื้อเยื่อต่างๆและเป็นพิษถ้ารับประทานเข้าไป

- โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต หรือ โพแทสเซียมเปอร์ออกซีไดซัลเฟต หรือแอนทรอน(Potassium persulphate or Potassium peroxydisulphate or Anthron) มีสูตรทางเคมี คือ  $K_2S_2O_8$  มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว ละลายน้ำได้ ไม่ละลายในแอลกอฮอล์ มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.477 สลายตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  สารตัวนี้มีสมบัติเป็นสารออกซิไดซิ่งที่แรงมากชนิดหนึ่ง จึงควรระวังอย่าให้สัมผัสกับผิวหนังหรือสูดดมเข้าไปในระบบทางเดินหายใจ
- แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต หรือแอมโมเนียมเปอร์ออกซีไดซัลเฟต(Ammonium persulphate or Ammonium peroxydisulphate) มีสูตรทางเคมี คือ  $(NH_4)_2S_2O_8$  มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว ละลายน้ำได้ มีกลิ่นแอมโมเนีย มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.98 สลายตัวได้ง่ายที่อุณหภูมิ  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  เมื่อสัมผัสกับสารอินทรีย์ (Organic materials) อาจทำให้เกิดการติดไฟได้ สารตัวนี้มีอันตรายคล้ายกับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต

การใช้งานเปอร์ซัลเฟตทั้ง 3 ชนิดดังกล่าวแล้ว มีการนำมาใช้เป็นสารลอกแป้งในขั้นตอนการเตรียมผ้าก่อนย้อม เนื่องจากมีสมบัติเป็นสารออกซิไดซิ่งที่แรง สามารถย่อยสลายแป้งได้ นอกจากนี้ยังสามารถจะทำการลอกแป้งไปพร้อมกับขั้นตอนการขจัดสิ่งสกปรกและการฟอกขาวได้ เพราะสภาวะที่ใช้ใกล้เคียงกัน แต่ข้อเสียก็มี คือ เปอร์ซัลเฟตอาจทำลายเส้นใยได้ ถ้าควบคุมสภาวะที่ใช้ไม่ดีพอ สภาวะที่ใช้ในการลอกแป้งจะอยู่ในช่วง pH 11-12 และที่อุณหภูมิ  $90-100\text{ }^{\circ}\text{C}$

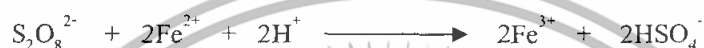
เปอร์ซัลเฟตที่ขายในท้องตลาดมักอยู่ในรูปของสารผสมที่เป็นผงสีขาว ละลายน้ำได้ง่าย ปริมาณของเปอร์ซัลเฟตที่ผสมอยู่จะแตกต่างกันไปตามแหล่งผลิตต่างๆ ดังนั้นควรมีการตรวจสอบคุณภาพเมื่อมีการสั่งซื้อใหม่ทุกครั้ง นอกจากนี้สารเปอร์ซัลเฟตยังค่อนข้างสลายตัวได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งโพแทสเซียมนั้นสลายตัวได้ง่ายมาก ฉะนั้นถ้ามีการเก็บไว้นาน ควรมีการตรวจสอบคุณภาพก่อนใช้งานทุกครั้ง การตรวจสอบคุณภาพจะใช้วิธีการไทเทรตทางเคมีกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต แล้วจึงนำผลที่ได้มาคำนวณหาปริมาณของเปอร์ซัลเฟต

การเก็บรักษาเปอร์ซัลเฟตนั้น ควรจะเก็บในถังที่ปิดได้อย่างมิดชิดและไม่มีความชื้นสูง ไม่ควรเปิดถังทิ้งไว้โดยไม่จำเป็น และควรระมัดระวังที่จะไม่เก็บรวมกับสารอินทรีย์ เพราะอาจทำให้เกิดไฟลุกไหม้ได้ ในกรณีที่ใช้โพแทสเซียมและแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์ซัลเฟตทั้ง 3 ชนิดเป็นสารออกซิไดซ์ซึ่งที่สามารถทำให้เกิดการระคายเคืองอย่างแรงต่อเนื้อเยื่อต่างๆ และเป็นพิษหารับประทานเข้าไป ดังนั้นจึงควรระวังอย่าให้สัมผัสผิวหนังหรือสูดดมเข้าไปในระบบทางเดินหายใจ

กรรมวิธีในการวิเคราะห์เปอร์ซัลเฟตนั้นมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน วิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันมากก็คือการไทเทรตหาปริมาณเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับเปอร์ซัลเฟต ด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณเปอร์ซัลเฟต ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตกับเปอร์ซัลเฟตนั้น แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้



เพื่อให้ปฏิกิริยานี้เกิดอย่างสมบูรณ์และรวดเร็ว จะต้องทำการเติมกรดฟอสฟอริกหรือกรดไฮโดรฟลูออริก ลงไปช่วยเร่งปฏิกิริยาด้วย การวิเคราะห์โดยกรรมวิธีนี้อาจเกิดข้อผิดพลาดได้ เนื่องจากการแทรกซ้อนของสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ

### 2.3 ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี [4]

สเปกโทรสโกปี (spectroscopy) จัดเป็นวิธีการศึกษาเกี่ยวกับการเกิดอันตรกิริยาระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับสารแล้วมีการดูดกลืนหรือการปล่อยคลื่นแสงออกจากสาร ในปัจจุบันสเปกโทรสโกปีมีขอบเขตกว้างขวางขึ้นมากโดยครอบคลุมถึงการศึกษากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสารกับพลังงานในรูปแบบอื่น ๆ เช่น คลื่นอะคูสติก (acoustic wave) หรือกลุ่มของอนุภาคซึ่งอาจเป็นไอออนหรืออิเล็กตรอนก็ได้

สเปกโทรโฟโตเมตรี (spectrophotometry) หรือสเปกโทรเมตรี (spectrometry) และวิธีสเปกโทรเมตรีเป็นการวัดความเข้มของคลื่นแสงด้วยอุปกรณ์ที่แปลงค่าความเข้มของคลื่นแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า (photoelectric transducer) หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (electronic device) อื่น ๆ

เครื่องมือที่ใช้ทางด้านวิธีสเปกโทรเมตรีเรียกว่า สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) สเปกโทรเรดิโอมิเตอร์ (spectroradiometer) หรือสเปกโทรมิเตอร์ (spectrometer) ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของการออกแบบ แต่จะเรียกกันทั่วไปว่าสเปกโทรมิเตอร์

การตรวจวัดปริมาณคลื่นแสงหลังผ่านสารแล้วสามารถวัดได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้ความยาวคลื่นในช่วงใดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อย่างไรก็ตามทุกวิธีทางสเปกโทรเมตรีจะวัดค่าตัวแปร 2 ตัวหลัก ดังนี้

1. ความยาวคลื่น (หรือพลังงาน) ที่เหมาะสมค่าหนึ่งของคลื่นแสง
2. ปริมาณคลื่นแสง ณ ความยาวคลื่นที่เหมาะสมค่าหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะตอมหรือโมเลกุลหรือไอออนของสารจะดูดกลืนที่ความยาวคลื่นเฉพาะค่าหนึ่งเท่านั้น ส่วนความยาวคลื่นในช่วงอื่น ๆ อาจจะไม่ถูกดูดกลืนเลยก็ได้ ในทำนองเดียวกัน ในการปล่อยคลื่นแสงจะให้ความยาวคลื่นเฉพาะค่าหนึ่ง สำหรับความยาวคลื่นในช่วงอื่น ๆ จะไม่ถูกปล่อยออกมา นั่นคือการดูดกลืนหรือการปล่อยคลื่นแสงขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่ต้องการตรวจหาที่อยู่ในสาร โดยที่ความยาวคลื่นเฉพาะค่าหนึ่งจะยังคงเท่าเดิม ไม่ว่าจะมีความเข้มข้นขององค์ประกอบที่ต้องการตรวจหาอยู่เท่าใด อย่างไรก็ตามปริมาณคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืนหรือถูกปล่อยออกมาขึ้นอยู่กับปริมาณขององค์ประกอบที่ต้องการตรวจหา และจะต้องคำนึงถึงการแทรกสอด (interference) ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ 3 กรณี ดังนี้

การแทรกสอดที่เกิดขึ้นอาจเป็นไปได้ 3 กรณีดังนี้

1. สารที่จะวิเคราะห์มีสารรบกวนซึ่งสามารถดูดกลืน หรือปล่อยคลื่นแสงที่ความยาวคลื่นเดียวกับสารที่จะวิเคราะห์ เรียกว่าการแทรกสอดเชิงสเปกตรัม (spectral interference)
2. การแทรกสอดอันเนื่องมาจากเครื่องมือ (instrument interference) เกิดขึ้นจากการที่มีลำแสงรบกวนภายนอกเครื่องที่รั่วเข้าไปยังหน่วยตรวจวัด หรือเกิดจากความไม่สมบูรณ์แบบของอุปกรณ์ที่ใช้วัดการดูดกลืนหรือการปล่อยคลื่นแสง
3. การแทรกสอดขององค์ประกอบทางเคมี (chemical interference) เกิดขึ้นจากการที่สารที่จะวิเคราะห์แตกต่างไปจากสารมาตรฐานหรือเกิดจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของสารที่จะวิเคราะห์ทำให้ข้อมูลที่ได้จากการดูดกลืนหรือการปล่อยคลื่นแสงบางส่วนหายไป

นอกจากนี้สเปกตรัมของ โมเลกุลที่ได้จากวิธีทางสเปกโทรเมทรีทำให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับ โครงสร้างของโมเลกุล สมบัติทางเคมี สมมาตรของโมเลกุล ความยาวพันธะ มุมพันธะ พลังงานพันธะ การเปลี่ยนแปลงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลและการเปลี่ยนแปลงแรงยึดเหนี่ยวภายใน โมเลกุล

การวิเคราะห์ทางสเปกโทรเคมี (spectrochemical method) ได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการศึกษาโครงสร้างของโมเลกุล ปริมาณวิเคราะห์และคุณภาพวิเคราะห์ของสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์

### 2.3.1 อัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี [5]

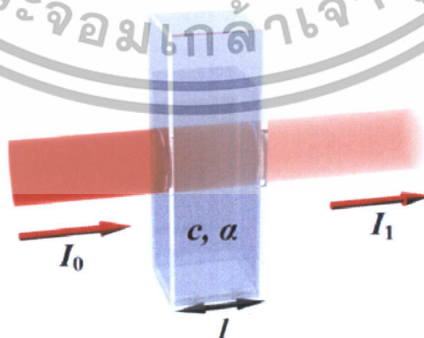
การดูดกลืนแสงหรือรังสีที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลซึ่งอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190 – 800 นาโนเมตร ของสารเคมีนั้น ส่วนใหญ่ได้แก่พวกสารอินทรีย์ (Organic compound) หรือสารประกอบเชิงซ้อน (Complex compound) หรือสารอนินทรีย์ (Inorganic compound) ทั้งที่มีสีและไม่มีสี สมบัติของสารดังกล่าวนี้ได้นำมาใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณอย่างกว้างขวาง เพราะวิธีนี้ให้ความถูกต้องแม่นยำดีและมีสภาพไว (Sensitivity) สูง โดยอาจทำการวิเคราะห์อยู่ในรูปของธาตุหรือโมเลกุลก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงสเปกตรัมของแสงในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	สีที่ถูกดูดกลืน	สีที่มองเห็น
380-420	ม่วง	เหลืองเขียว
420-440	น้ำเงินม่วง	เหลือง
440-470	น้ำเงิน	ส้ม
470-500	เขียวน้ำเงิน	แดง
500-520	เขียว	ชมพูม่วง
520-550	เหลืองเขียว	ม่วง
550-580	เหลือง	น้ำเงินม่วง
580-620	ส้ม	น้ำเงิน
620-680	แดง	เขียวน้ำเงิน
680-780	ชมพูม่วง	เขียว

สำหรับเทคนิคทางยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปีเป็นเทคนิคหนึ่งในเทคนิคการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Absorption of radiation) ที่อาศัยการดูดกลืนโดยโมเลกุล ซึ่งเป็นการวัดอัตราส่วนของลำแสงที่ทะลุออกจากสารละลาย ( $I$ ) ต่อลำแสงที่ตกกระทบ ( $I_0$ )



รูปที่ 2.2 แสดงคลื่นแสงที่มีความเข้ม ( $P_0$ ) ถูกดูดกลืนจากสาร ทำให้ความเข้มของคลื่นแสงลดลง ( $P$ ) และถูกส่งผ่านออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณลำแสงที่ผ่านทะลุออก (Transmitted) แทนด้วยค่าความส่องผ่าน โดยค่าความส่องผ่าน (Transmittance ; T) คือ อัตราส่วนของปริมาณลำแสงที่ผ่านทะลุออกมาจากสารละลาย (I) ต่อปริมาณแสงที่ตกกระทบสารละลาย ( $I_0$ ) แทนค่าดังสมการ

$$T = I/I_0$$

ความส่องผ่านมักแสดงในรูปร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์ความส่องผ่าน (%T) ดังสมการ

$$\%T = 100T$$

ปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืน แทนด้วยค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance ; A) โดยค่าการดูดกลืนแสง คือ ลอการิทึมของอัตราส่วนของปริมาณลำแสงที่ตกกระทบสารละลาย ต่อปริมาณลำแสงที่ผ่านทะลุออกมาจากสารละลาย แทนค่าดังสมการ

$$A = \log \frac{I_0}{I}$$

ค่าการส่องผ่านและค่าการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์ ดังสมการ

$$\%T = \frac{I}{I_0} \times 100$$

อย่างไรก็ตาม ค่าการดูดกลืนแสง ก็มีความสัมพันธ์กับค่าความส่องผ่าน ดังสมการ

$$A = -\log T$$

$$A = \log (100/\%T)$$

$$A = 2.000 - \log \%T$$

$$A = \log \frac{I_0}{I} \quad \text{ขณะที่} \quad T = \log \frac{I}{I_0}$$

เมื่อ  $I_0$  เป็นความเข้มของแสงเริ่มต้น

I เป็นความเข้มของแสงที่ปล่อยออกมา

### 2.3.2 กฎของเบียร์ และแลมเบิร์ต (Beer and Lambert's Law)

เบียร์ และแลมเบิร์ต ได้ศึกษากระบวนการดูดกลืนแสงพบความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง และความเข้มข้นของสารละลาย กฎของเบียร์มีใจความว่า ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้น ดังสมการ

ดังนั้น

$$A = abc$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $A =$  ค่าการดูดกลืน  
 $a =$  แอ็บซอร์ปติวิตี (ลิตรต่อกรัมเซนติเมตร)  
 $b =$  ความกว้างของเซลล์ (เซนติเมตร)  
 $c =$  ความเข้มข้น (กรัมต่อลิตร)

และเมื่อสารละลายที่ศึกษามีความเข้มข้นในหน่วยโมลต่อลิตร สามารถหาค่าแอ็บซอร์เบนซ์ จากสมการ

$$A = \epsilon bc$$

โดยที่  $A =$  ค่าการดูดกลืนแสง  
 $\epsilon =$  โมลาร์แอ็บซอร์ปติวิตี (ลิตรต่อโมลเซนติเมตร)  
 $b =$  ความกว้างของเซลล์ (เซนติเมตร)  
 $c =$  ความเข้มข้น (กรัมต่อลิตร)

ค่าแอ็บซอร์ปติวิตีเป็นค่าคงแสดงคุณลักษณะของสารที่ความยาวคลื่นและตัวทำละลายหนึ่งๆ เมื่อเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้น ได้กราฟเป็นเส้นตรงเรียกว่า กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ซึ่งสามารถคำนวณเพื่อหาความเข้มข้นของสารที่ต้องการวิเคราะห์ในสารตัวอย่างได้

#### ข้อจำกัดของการใช้กฎของเบียร์

ข้อจำกัดที่ทำให้กฎของเบียร์ต้องเบี่ยงเบนไปหรือใช้ไม่ได้ คือ เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้จากความเข้มข้นต่างๆ กันเขียนกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นแล้วได้กราฟไม่เป็นเส้นตรง

สาเหตุที่สำคัญอาจจำแนกได้เป็น 2 พวกใหญ่ ๆ คือ

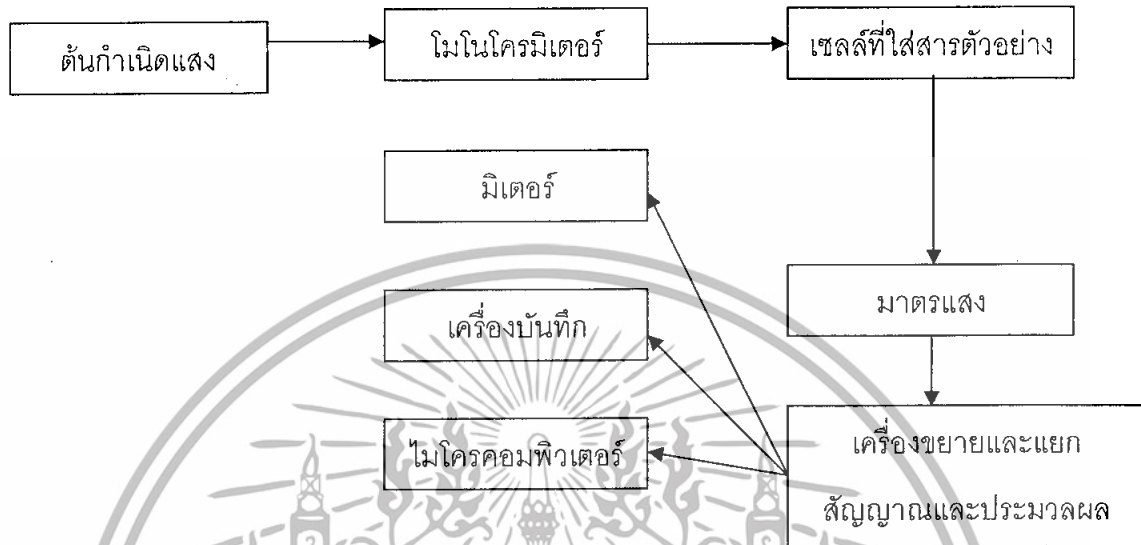
1. เนื่องจากความเบี่ยงเบนทางเคมี (Chemical deviation) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารที่ปนกันอยู่ในสารละลาย
2. เนื่องจากความเบี่ยงเบนของเครื่องมือ (Instrumental deviation) ซึ่งเกี่ยวกับเครื่องโดยเฉพาะ

107852

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3 ส่วนประกอบของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังภาพที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

#### 1. ต้นกำเนิดแสง (Light Source)

ต้นกำเนิดแสงที่ใช้ในงานทางสเปกโทรโฟโตมิเตอร์นั้น ควรจะต้องมีลักษณะดังนี้

- 1.1 ต้องให้ลำแสง (Beam of radiation) ที่มีกำลังเพียงพอที่จะวัดได้ด้วยมาตรแสง (Photometer)
- 1.2 ต้องให้การแผ่รังสี (Radiation) ออกมาตลอดเวลาในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ
- 1.3 ต้องให้การแผ่รังสีที่คงที่ตลอดเวลา มิฉะนั้นแล้วผลของการวิเคราะห์จะไม่แม่นยำหรือไม่มีความเที่ยง

สำหรับเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์นั้น ต้นกำเนิดแสงอัลตราไวโอเล็ตเป็นหลอดไฮโดรเจน (Hydrogen lamp) หรือหลอดดีวเทอเรียม (Deuterium lamp) ให้แสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 185-375 นาโนเมตรซึ่งเกิดจากการคายพลังงานของไฮโดรเจน หรือดีวเทอเรียมอะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้น ช่องที่ให้แสงออกจากหลอดจะต้องทำด้วยควอทซ์ (Quartz) หรือ Fused silica แต่ถ้าใช้วัสดุอื่นเช่น แก้ว จะดูดกลืนแสงในช่วงนี้ได้

หลอดทังสเตน (Tungsten filament lamp) ประกอบด้วยลวดทังสเตนอยู่ในหลอดสุญญากาศซึ่งให้รังสีที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ช่วงยูวี จนถึงช่วง IR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. โมโนโครมาเตอร์ (Monochromater)

โมโนโครมาเตอร์เป็นส่วนสำคัญในการกำหนดคุณภาพของสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ทำหน้าที่แยกลำรังสีที่มีความยาวคลื่นต่อเนื่องออกเป็นลำรังสีความยาวคลื่นเดียว ในช่วงแสงที่แลเห็นได้อาจใช้ปริซึมแก้ว ส่วนในช่วงยูวีจำเป็นต้องใช้ปริซึมที่ทำด้วยควอตซ์ สำหรับสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่มีราคาแพง มักใช้โมโนโครมาเตอร์แบบ Diffraction grating ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีร่องเป็นจำนวนมากและความกว้างของร่องใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของรังสี

## 3. ส่วนที่วางสารตัวอย่างเพื่อวัด (Cell Compartment)

เซลล์บรรจุสารตัวอย่าง บางครั้งเรียกว่า คิวเวทท์ (cuvettes) มีด้วยกันหลายแบบ ที่นิยมใช้มีดังนี้

3.1 เซลล์ที่ทำด้วยแก้วธรรมดา จะใช้ได้เฉพาะในช่วงวิสิเบิล ไม่สามารถใช้ในช่วงยูวีได้เนื่องจากเนื้อแก้วธรรมดาดูดกลืนแสงในช่วงยูวีได้

3.2 เซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา (Silica) และควอตซ์ (Quartz) ใช้ได้ทั้งในช่วงยูวีและวิสิเบิล

## 4. เครื่องวัดแสง (Radiation Detector)

เครื่องวัดแสงที่ดีควรมีลักษณะดังนี้

4.1 มีสภาพไวสูง คือแม้กำลังของแสงจะเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยก็สามารถตรวจวัดได้

4.2 การตอบรับแสงเป็นแบบสภาพเชิงเส้นคือถ้าแสงตกกระทบบ่อยมากก็วัดได้มากแสงตกกระทบน้อยวัดได้น้อย

4.3 ระดับของสัญญาณรบกวนจะต้องมีน้อย

4.4 การตอบสนองต่อแสงขึ้นอยู่กับความถี่หรือความยาวคลื่นของแสง

4.5 เครื่องจะต้องมีความเสถียรภาพดี ถ้าที่วัดได้ไม่ควรแปรปรวนมาก

4.6 ขนาดไม่ควรจะใหญ่เกินไป

4.7 ราคาถูก

## 5. เครื่องขยาย-แยกสัญญาณและประมวลผล (Signal Processors and Data Read Out)

สัญญาณที่ได้จากเครื่องวัดจะนำไปเข้าขบวนการของระบบอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ขยายสัญญาณให้มากขึ้น หรืออาจเปลี่ยนสัญญาณ D.C. เป็น A.C. หรือ A.C. เป็น D.C. อาจมีการกรองสัญญาณที่ไม่ต้องการออกไป หรือนำสัญญาณที่ได้แยกออก

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Slawomir Oszwaldowski และ Agnieszka Pikus [6] ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (III) และเหล็ก (II) ที่เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ pyridylazo และ thiazolylazo ซึ่งสถานะที่เหมาะสมใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก (III) และเหล็ก (II) ด้วย 2-(5-bromo-2-pyridylazo)-5-diethylaminophenol(5-Br-PADAP) ได้แสดงไว้ในรายละเอียดต่างๆแล้ว นอกจากนี้ยังได้มีการนำเทคนิค LC มาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (III) และเหล็ก (II) ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนกับ 5-Br-PADAP ได้คร่าวๆด้วยกันด้วย โดยใช้ PEEK คอลัมน์ที่มี C-18 เป็นเฟสอยู่กับที่และมี eluent เป็น acetonitrile + น้ำ(90:10) ที่ประกอบด้วย  $1 \times 10^{-3}$  mol/l  $C_{12}H_{25}SO_3Na$  ซึ่งทำหน้าที่เป็น ion-pairing reagent ที่ pH 3.4-3.6 สำหรับการวิเคราะห์ไอออน Fe (II) ปริมาตร 20-500  $\mu g l^{-1}$  (ตรวจวัดที่  $\lambda = 555$  nm) และ Fe (III) ปริมาตร 20-500  $\mu g l^{-1}$  (ตรวจวัดที่  $\lambda = 585$  nm) จะใช้ 5-Br-PADAP เป็นรีเอเจนต์ (ทั้งสองไอออนจะมีขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 18  $\mu g l^{-1}$  สำหรับ loop ปริมาตร 20  $\mu l$ ) วิถีโครมาโทกราฟีได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์น้ำ ถึงแม้ว่าวิธีที่นำเสนอจะสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งไอออน Fe (II) และ Fe (III) แต่ก็ไม่สามารถที่จะตรวจวัดได้ในทุกตัวอย่างน้ำ Fe (III) จะตรวจวัดได้เฉพาะแหล่งน้ำที่เกิดขึ้นใหม่ในยุคสมัยก่อนที่มีระดับความเข้มข้นของ Fe (III) เท่ากับ 135  $\mu g l^{-1}$  เท่านั้น วิธีนี้จะใช้เพื่อการสำรวจการกระจายของไอออน Fe (II) / Fe (III) ในสารละลายและใน micellar solution ที่ได้นำไปผ่าน ultrasonic แล้ว

D.G. Karamanov, L.N. Nikolov และ V. Mamatarikova [7] ได้นำวิธีการวิเคราะห์แบบคร่าวๆเดียวกันซึ่งให้ความรวดเร็วและเที่ยงตรงมาใช้เพื่อหาความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์รัส และเหล็กเฟอร์ริก ในน้ำเสียและน้ำชนิดอื่น ๆ การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์ริก และเหล็กทั้งหมดนั้นจะทำในตัวอย่างสารละลายเดียวกัน แต่ใช้ความยาวคลื่นแสงต่างกัน ซึ่งมีผลต่อการลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนในการวิเคราะห์ วิธีนี้จะอาศัยการวัดสีที่เกิดขึ้นจากการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน โดยสีแดงที่เกิดขึ้นมาจากสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กเฟอร์ริก กับ sulfosalicylate ที่ pH ต่ำ เมื่อทำการเติมแอมโมเนียลงไปจะทำให้สารละลายมีค่า pH สูงขึ้น ซึ่งไอออนเหล็กทั้งหมดจะรวมกับ 5-sulfosalicylic acid เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ให้สีเหลือง ในการวิเคราะห์นี้จะใช้ความยาวคลื่นที่สารประกอบเชิงซ้อนทั้งสองสามารถดูดกลืนแสงได้มากที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 500 และ 425 nm ตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์ริก และเหล็กทั้งหมดเป็นไปตามกฎการดูดกลืนแสงของเบียร์ภายใต้สภาวะที่ศึกษา ซึ่งได้มีการใช้อัตราส่วนและปริมาณของรีเอเจนต์ที่เหมาะสม ผลกระทบอันเนื่องมาจากไอออนอื่นที่มีอยู่ทั่วไปในน้ำเสีย พบว่าในสภาวะที่เป็นกลางแบคทีเรีย Thiobacillus ferrooxidans จะทำหน้าที่เป็นตัว oxidize เหล็ก และไอออนอื่น ๆ จะมีการรวมตัวกันเกิดเป็นแบคทีเรียขึ้น ซึ่งเหล่านี้ไม่มีผลกระทบต่อวิธีการวิเคราะห์เหล็ก สีที่ได้จากการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนนั้นมีความเสถียรนาน (น้อยสุด 48 ชั่วโมง)

S. Schäffer, P. Gareil, C. Dezael และ D. Richard [8] ได้นำเทคนิค CE มาใช้ในการแยก Fe (II) และ Fe (III) โดยนำมาทำปฏิกิริยากับ o-phenanthroline เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน cationic ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ferrous และ anionic ของ ferric พร้อมทั้งมีการเติม EDTA ที่มากเกินไปในสารละลายด้วย ซึ่งวิธีนี้จะง่ายต่อการวิเคราะห์ด้วย electrophoretic แบบคราวเดียว ภายใต้การไหลแบบ electro-osmotic การวิเคราะห์สารละลายที่มีการผสมกันของสารประกอบเชิงซ้อน โดยใช้หลักการตรวจวัดด้วยการดูดกลืน UV โดยตรง จะทำให้มั่นใจได้ว่าอัตราส่วนระหว่าง Fe (II) และ Fe (III) ในตัวอย่างนั้นจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง และจะได้สัญญาณที่เป็นอัตราส่วนภายในเวลาอันรวดเร็ว ( น้อยกว่า 3 นาที) ซึ่งแต่ก่อนต้องใช้เวลามากกว่า 1 วันกว่าจะได้สัญญาณ ถือเป็นการพัฒนาวิธีที่สามารถวิเคราะห์ Fe (II) และ Fe (III) ได้ในคราวเดียวกัน RSD ของ migration time ที่ได้ มีค่า < 1 % และของ corrected peak areas มีค่า < 3.5 % นอกจากนี้สัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดยังมีความเป็นเส้นตรงสูง วิธีการหาค่าการกลับคืนของเหล็กทั้งหมดด้วยเทคนิค CE นั้น ทำได้โดยการเติมเพียง EDTA อย่างเดียวลงในสารละลายที่มีเหล็กอยู่ เพื่อทำหน้าที่เป็น complexing agent ทั้งสองวิธีนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมกระบวนการเปลี่ยน Fe (II) ไปเป็น Fe (III) ได้

M.H. Pourmaghi-Azar และ B.M. Fatemi [9] ได้ทำการศึกษา voltammetric ของ Fe (II) oxinate ที่ละลายอยู่ในคลอโรฟอร์ม โดยมี 0.2 M tri-BAP และ 0.2 M tri-BA เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ พบว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะให้ 2 อิเล็กตรอนแก่ Fe (II) oxinate เกิดเป็นปฏิกิริยา reduction ที่ขั้วปรอท ในวิธีนี้ขั้นแรกจะทำการสกัด Fe (II) oxinate ด้วยตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม จากนั้นจึงนำมาวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กต่อด้วยเทคนิค DP กราฟมาตรฐานที่ได้มีความเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น 0.5-50  $\mu\text{M}$  และมีขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 1.5  $\mu\text{M}$  วิธี DP สามารถนำมาใช้สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณ ferric, ferrous และเหล็กทั้งหมดในสารละลายผสม และนำมาประยุกต์ใช้ในการหาสปีชีส์ของเหล็กในหินได้

D.S.R .Murty, A. Thangaraj, R. Radhamani, R. Rangaswamy [10] ได้ทำการพัฒนาวิธีวิเคราะห์โดยอาศัยปฏิกิริยารีดักชันของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในสารละลายไม่มีสีของอัลคาไลด์คาร์บอเนตยูเรเนียม ซึ่งสามารถทำได้ง่าย รวดเร็ว และเป็นวิธีที่แพร่หลาย ในกรณีที่สารละลายสีชมพูของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตไม่ถูกรีดิวซ์ จะมีผลรบกวนการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอเนตไบคาร์บอเนต และฟอสเฟต เมื่อใช้เทคนิคการไทเทรตและเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรี มีการสำรวจพบรีดักแตนท์จำนวน 17 ชนิด พบว่าน้ำตาลจัดเป็นรีดักแตนท์ที่ให้ผลดี รวดเร็ว ดังนั้นในการวิเคราะห์นี้จึงใช้น้ำตาลเป็นรีดักแตนท์

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี

1. โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต,  $\text{KMnO}_4$
2. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  เกรดวิเคราะห์ บริษัท Mallinckrodt CHEMICALS
3. เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต,  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
4. กรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 85,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA
5. โซเดียมออกซาลเลต,  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$

สารตัวอย่าง

สารลอกแป้ง

อุปกรณ์

1. บีกเกอร์
2. ปิเปต
3. จุกยาง
4. กระจกตวง
5. ขวดวัดปริมาตร
6. บิวเรต
7. กระจกนาฬิกา
8. ขวดรูปกรวย
9. กรวยกรอง
10. กระจกกรองวอชแมนเบอร์ 42
11. กระจกนํ้ากลั่น
12. แท่งแม่เหล็ก
13. แท่งแก้วคนสาร
14. Hot plate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่อง UV- VIS Spectrophotometer พร้อม cell

### 3.2 การเตรียมสารละลายเคมี

#### 3.2.1 สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้น 0.02 M

ละลาย  $\text{KMnO}_4$  หนัก 1.6 กรัม ในน้ำกลั่น 500 ml ต้มบนหม้ออังไอน้ำที่อุณหภูมิ  $90^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้สารละลายที่ได้เย็นลงถึงอุณหภูมิห้อง แล้วกรองเอาตะกอนออกด้วยกระดาษกรองวอชแมนเบอร์ 42 หรือ ซินเตอร์กลาสเบอร์ 4

#### 3.2.2 สารละลายกรดซัลฟิวริก 2.0 M

ปีเปตกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 100 ml ลงในบีกเกอร์ 1000 ml และเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 900 ml

#### 3.2.3 สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.10 N

ชั่งเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตปริมาณ 9.8 กรัม ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 ml เติมน้ำกลั่น 200 ml และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 5 ml เขย่าจนละลายหมด จากนั้นปรับปริมาตรให้เป็น 250 ml ด้วยน้ำกลั่น

### 3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

#### 3.3.1 การวิเคราะห์โดยใช้วิธีมาตรฐานการไทเทรตแบบย้อนกลับ

##### 3.3.1.1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

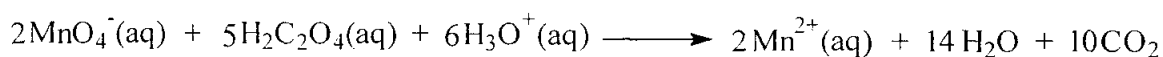
1. ชั่งโซเดียมออกซาลेट 0.2 g ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 ml ละลายด้วยสารละลาย 5.0 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  250 ml กวนด้วยเครื่องกวน

2. นำสารละลายที่ได้ไปไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตจากบิวเรตให้มีปริมาณ 90-95% ของปริมาตรที่ใช้ทั้งหมดหรือประมาณ 20 ml ลงในสารละลายโซเดียมออกซาลेटที่อยู่ในกรด 5.0 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ด้วยอัตราเร็ว 25-35 ml ต่อนาที พร้อมทั้งเขย่าสารละลายอยู่เสมอ จนเกิดสีชมพูอ่อนเกิดขึ้นในสารละลายและวางทิ้งไว้จนสีชมพูจางหายไป

3. นำสารละลายที่ได้ไปอุ่นจนมีอุณหภูมิ  $50-60^\circ\text{C}$  แล้วนำมาไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตจากบิวเรตต่อทันที จนสารละลายกลายเป็นสีชมพูอ่อนอีกครั้งและไม่จางหายไปภายในเวลา 30 วินาที

4. คำนวณความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในหน่วยโมลต่อลิตร โดยอาศัยมวลสารสัมพันธ์จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



5. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง แล้วคำนวณหาความเข้มข้นสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ในหน่วยโมลต่อลิตร หากค่าเฉลี่ยความเข้มข้นที่แน่นอนของโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

### 3.3.1.2 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

1. ปิเปิดสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 50 ml ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 ml เติม 5.0 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  10 ml และกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 5 ml เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 5 นาที

2. นำไปไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 M จนสารละลายกลายเป็นสีชมพูอ่อนและไม่จางหายไปภายในเวลา 30 วินาที

3. คำนวณความเข้มข้นของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตในหน่วยโมลต่อลิตร โดยอาศัยมวลสารสัมพันธ์จากสมการ



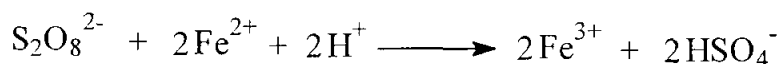
4. ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง แล้วคำนวณหาความเข้มข้นสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ในหน่วยโมลต่อลิตร หากค่าเฉลี่ยความเข้มข้นที่แน่นอนของเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

### 3.3.1.3 การหาปริมาณเปอร์ซัลเฟตในสารลอกแป้ง

1. ชั่งสารตัวอย่างปริมาณ 0.30 g อย่างละเอียด ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 ml เติมน้ำกลั่น 50 ml เขย่าให้ละลายเข้ากัน เติมสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่เตรียมไว้โดยการปิเปิดลงไป 50 ml พร้อมกับเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 5 ml และกรดซัลฟิวริก (5.0 N) 10 ml ลงไป เขย่าให้เข้ากันอีกครั้งทิ้งไว้ 5 นาที

2. นำมาไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 M จุดยุติจะได้สารละลายสีชมพู ทำการทดลองซ้ำอีกอย่างน้อยที่สุด 2 ครั้ง

3. การคำนวณผล จะคำนวณจากผลต่างของปริมาณสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ในการไทเทรตกับสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 50 ml และที่ใช้ในการไทเทรตเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตส่วนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่างแล้ว สามารถนำมาคำนวณหาปริมาณของเปอร์ซัลเฟตในสารตัวอย่างได้โดยใช้สมการดังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรเมทรี

#### 3.3.2.1 การศึกษาความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการวิเคราะห์

1. ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 M 5 ml ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่มีความเข้มข้น  $2 \times 10^{-3}$  M ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต  $2 \times 10^{-3}$  M 5 ml ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่มีความเข้มข้น  $2 \times 10^{-4}$  M ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต  $2 \times 10^{-4}$  M 5 ml ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่มีความเข้มข้น  $2 \times 10^{-5}$  M และปิเปตสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต  $2 \times 10^{-5}$  M 5 ml ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่มีความเข้มข้น  $2 \times 10^{-6}$  M

2. ทำการสแกนความยาวคลื่นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตแต่ละความเข้มข้นที่เตรียมไว้ข้างต้น ในช่วง 200-800 nm

3. เลือกค่าความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงมากที่สุด ( $\lambda_{\max}$ ) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 520 nm

#### 3.3.2.2 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการวิเคราะห์

##### 3.3.2.2.1 การปรับเปลี่ยนปริมาณสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 M

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตในน้ำ 100 mg/L
2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตในน้ำ 100 mg/L มา 5, 10, 15, 20 และ 25 ml ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml
3. เติมกรดซัลฟิวริก 2.0 M 15 ml กรดฟอสฟอริกเข้มข้น 2 ml และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 M 0.5 ml จากนั้นเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 5 นาที จะได้สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 mg/L

4. นำสารละลายที่เตรียมไว้ข้างต้นไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm พล็อตกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต พร้อมทั้งหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง  $R^2$

5. ทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 2-4 โดยเปลี่ยนปริมาณสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 M เป็น 1, 1.5 และ 2 ml ตามลำดับ

##### 3.3.2.2.2 การปรับเปลี่ยนปริมาณกรดซัลฟิวริก 2.0 M

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตในน้ำ 100 mg/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตในน้ำ 100 mg/L มา 5, 10, 15, 20 และ 25 ml ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml
3. ไม่ต้องเติมกรดซัลฟิวริก 2.0 M แต่เติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 2 ml และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 M 1 ml จากนั้นเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 5 นาที จะได้สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 mg/L
4. นำสารละลายที่เตรียมไว้ข้างต้นไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm พล็อตกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต พร้อมทั้งหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง  $R^2$
5. ทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 2-4 โดยเปลี่ยนปริมาณกรดซัลฟิวริก 2.0 M เป็น 2, 5, 10, 15 และ 20 ml ตามลำดับ

### 3.3.2.2.3 การปรับเปลี่ยนปริมาณกรดฟอสฟอริกเข้มข้น

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตในน้ำ 100 mg/L
2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตในน้ำ 100 mg/L มา 5, 10, 15, 20 และ 25 ml ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml
3. เติมกรดซัลฟิวริก 2.0 M 15 ml และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 M 1 ml แต่ไม่ต้องเติมกรดฟอสฟอริก จากนั้นเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 5 นาที จะได้สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 mg/L
4. นำสารละลายที่เตรียมไว้ข้างต้นไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm พล็อตกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต พร้อมทั้งหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง  $R^2$
5. ทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 2-4 โดยเปลี่ยนปริมาณกรดฟอสฟอริกเข้มข้น เป็น 2 และ 5 ml ตามลำดับ

### 3.3.2.3 การทำกราฟมาตรฐาน

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตในน้ำ 100 mg/L
2. ปิเปตสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตในน้ำ 100 mg/L มา 5, 10, 15, 20 และ 25 ml ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml
3. เติมกรดซัลฟิวริก 2.0 M 15 ml กรดฟอสฟอริกเข้มข้น 2 ml และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 M 1 ml จากนั้นเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 5 นาที จะได้สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 mg/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำสารละลายที่เตรียมไว้ข้างต้นไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm พล็อตกราฟระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต พร้อมทั้งหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง  $R^2$

### 3.3.2.4 การศึกษาความเที่ยงของการวิเคราะห์

#### 3.3.2.4.1 ความเที่ยงของการตรวจวัด

1. ชั่งสารตัวอย่างปริมาณ 0.30 g อย่างละเอียด ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 ml เติมน้ำกลั่น 50 ml เขย่าให้ละลายเข้ากัน เติมสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่เตรียมไว้โดยการปิเปตลงไป 50 ml พร้อมกับเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 5 ml และกรดซัลฟิวริก 5.0 N 10 ml ลงไป เขย่าให้เข้ากันอีกครั้ง ทิ้งไว้ 5 นาที

2. ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากข้อ 1 มา 1 ml ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml

3. เติมกรดซัลฟิวริก 2.0 M 15 ml เติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 2 ml และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 M 1 ml จากนั้นเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 5 นาที นำสารละลายไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm

4. ทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 2-4 ซ้ำอีก 4 ครั้ง

#### 3.3.2.4.2 ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

1.1 ชั่งสารตัวอย่างปริมาณ 0.30 g อย่างละเอียด ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 ml เติมน้ำกลั่น 50 ml เขย่าให้ละลายเข้ากัน ปิเปตสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่เตรียมไว้ 50 ml พร้อมกับเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 5 ml และกรดซัลฟิวริก 5.0 N 10 ml ลงไป เขย่าให้เข้ากันอีกครั้ง ทิ้งไว้ 5 นาที

1.2 ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากข้อ 1.1 มา 1 ml ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml

1.3 เติมกรดซัลฟิวริก 2.0 M 15 ml กรดฟอสฟอริกเข้มข้น 2 ml และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 M 1 ml จากนั้นเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 5 นาที นำสารละลายไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm

1.4 ทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 1.2-1.4 ซ้ำอีก 4 ครั้ง

2. การเตรียมสารละลายแบลนด์

2.1 เติมน้ำกลั่น 50 ml ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 ml ปิเปตสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่เตรียมไว้ 50 ml พร้อมกับเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 5 ml และกรดซัลฟิวริก 5.0 N 10 ml ลงไป เขย่าให้เข้ากันอีกครั้ง ทิ้งไว้ 5 นาที

2.2 ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากข้อ 2.1 มา 1 ml ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เติมกรดซัลฟิวริก 2.0 M 15 ml กรดฟอสฟอริกเข้มข้น 2 ml และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 M 1 ml จากนั้นเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกระดับ เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 5 นาที นำสารละลายไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm

2.4 ทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 2.2-2.4 ซ้ำอีก 2 ครั้ง

### 3.3.2.5 การศึกษาความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์

#### 1. การวิเคราะห์โดยใช้วิธีมาตรฐานการไทเทรตแบบย้อน

##### 1.1 การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียม

1.1.1 ปิ่เปิดสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 50 ml ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 ml เติม 5.0 N  $H_2SO_4$  10 ml และกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 5 ml เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 5 นาที

1.1.2 นำไปไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 M จนสารละลายกลายเป็นสีชมพูอ่อนและไม่จางหายไปภายในเวลา 30 วินาที

1.1.3 ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

##### 1.2 การหาปริมาณเปอร์ซัลเฟตในสารลอกแป้ง

1.2.1 ชั่งสารตัวอย่างปริมาณ 0.30 g อย่างละเอียด ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 ml เติมน้ำกลั่น 50 ml เขย่าให้ละลายเข้ากัน ปิ่เปิดสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่เตรียมไว้ 50 ml พร้อมกับเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 5 ml และกรดซัลฟิวริก 5.0 N 10 ml ลงไป เขย่าให้เข้ากันอีกครั้ง ทิ้งไว้ 5 นาที

1.2.2 นำมาไทเทรตกับสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 M จุดยุติจะได้สารละลายสีชมพู ทำการทดลองซ้ำอีกอย่างน้อยที่สุด 2 ครั้ง

#### 2. การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

##### 2.1 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

2.1.1 ชั่งสารตัวอย่างปริมาณ 0.30 g อย่างละเอียด ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 ml เติมน้ำกลั่น 50 ml เขย่าให้ละลายเข้ากัน ปิ่เปิดสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่เตรียมไว้ 50 ml พร้อมกับเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 5 ml และกรดซัลฟิวริก 5.0 N 10 ml ลงไป เขย่าให้เข้ากันอีกครั้ง ทิ้งไว้ 5 นาที

2.1.2 ปิ่เปิดสารละลายตัวอย่างจากข้อ 2.1.1 มา 1 ml ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml

2.1.3 เติมกรดซัลฟิวริก 2.0 M 15 ml กรดฟอสฟอริกเข้มข้น 2 ml และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 M 1 ml จากนั้นเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกระดับ เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 5 นาที นำสารละลายไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm

2.1.4 ทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 2.1.2-2.1.4 ซ้ำอีก 4 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 การเตรียมสารละลายแบลลงค์

2.2.1 เติมน้ำกลั่น 50 ml ใส่ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 ml ปิเปตสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่เตรียมไว้ 50 ml พร้อมกับเติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 5 ml และกรดซัลฟิวริก 5.0 N 10 ml ลงไป เขย่าให้เข้ากันอีกครั้ง ทิ้งไว้ 5 นาที

2.2.2 ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากข้อ 2.2.1 มา 1 ml ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml

2.2.3 เติมกรดซัลฟิวริก 2.0 M 15 ml กรดฟอสฟอริกเข้มข้น 2 ml และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 M 1 ml จากนั้นเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้ 5 นาที นำสารละลายไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm

2.2.4 ทำการทดลองตั้งแต่ข้อ 2.2.2-2.2.4 ซ้ำอีก 2 ครั้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ในการหาปริมาณเปอร์ซัลเฟตในสารลอกเป้ง โดย การศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการหาปริมาณของเปอร์ซัลเฟตในสาร ลอกเป้ง ได้ผลการทดลองดังนี้

#### 4.1 การศึกษาความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการวิเคราะห์

ทำการทดลองเพื่อหาค่าความยาวคลื่นที่สารละลายมีการดูดกลืนแสงสูงสุด โดยทำการสแกน ความยาวคลื่นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในน้ำที่มีความเข้มข้น  $2 \times 10^{-6}$ ,  $2 \times 10^{-5}$ ,  $2 \times 10^{-4}$  และ  $2 \times 10^{-3}$  M ในช่วง 200- 800 nm ซึ่งความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุดมีค่าเท่ากับ 520 nm



รูปที่ 4.1 แสดงสเปกตรัมที่ได้จากการสแกนความยาวคลื่นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ ความเข้มข้นต่างๆ ในช่วงความยาวคลื่น 200-800 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการวิเคราะห์

ทำการทดลองเพื่อหาปริมาณโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต กรดซัลฟิวริก กรดฟอสฟอริกเข้มข้นที่เหมาะสม ในการหาปริมาณเปอร์ซัลเฟต โดยการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนต่างๆ ดังนี้

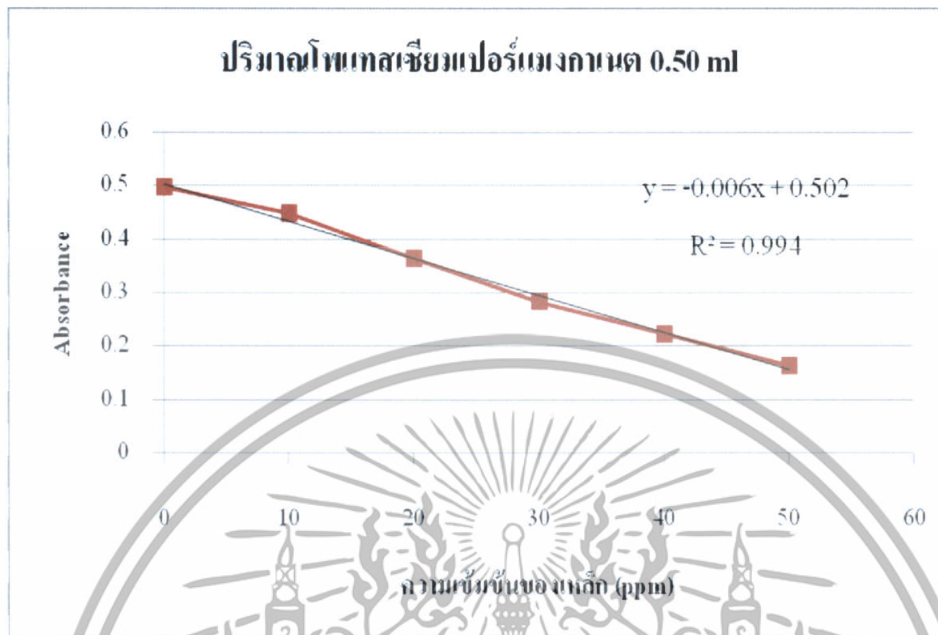
##### 4.2.1 การปรับเปลี่ยนปริมาณสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 M

เตรียมสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 mg/L ทำการปรับเปลี่ยนปริมาณสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เป็น 0.50, 1.00, 1.50 และ 2.00 ml จากนั้นตรวจวัดด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี ที่ความยาวคลื่น 520 nm

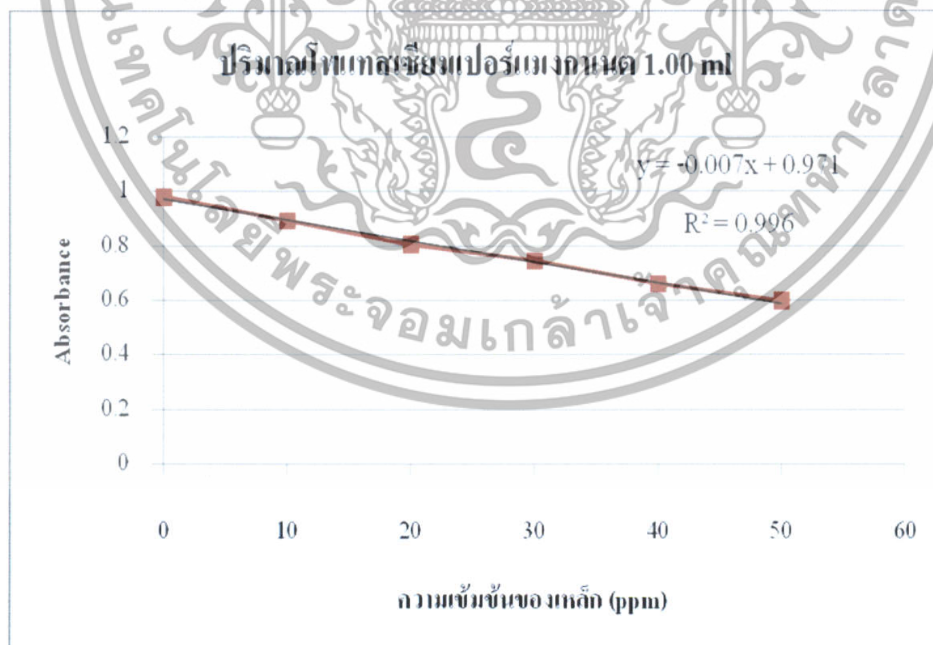
ตารางที่ 4.1 แสดงการหาปริมาณสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต

ความเข้มข้น สารละลาย มาตรฐานหลัก (mg/L)	Absorbance ที่ความยาวคลื่น 520 nm			
	ปริมาณสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (ml)			
	0.5	1.0	1.5	2.0
Blank	0.497	0.980	1.442	1.957
10	0.448	0.893	1.389	1.862
20	0.364	0.805	1.254	1.777
30	0.283	0.744	1.188	1.695
40	0.223	0.659	1.130	1.586
50	0.164	0.597	1.060	1.572
$R^2$	0.9946	0.9964	0.9815	0.9789

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

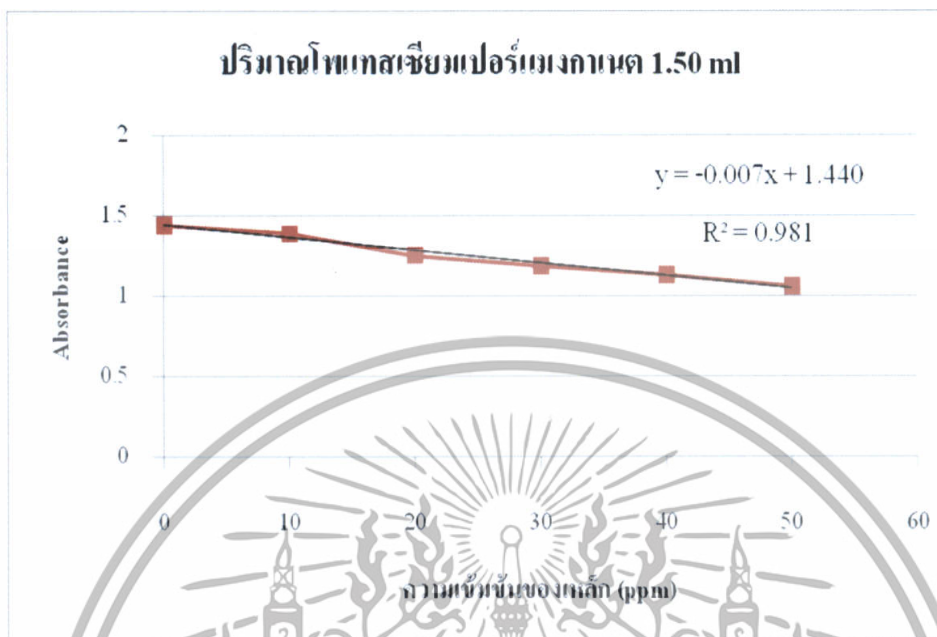


รูปที่ 4.2 จากกราฟแสดงค่า  $R^2$  จากความสัมพันธ์ของปริมาณ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.50 ml จากผลการทดลองของปริมาณ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.50 ml แสดงค่า  $R^2 = 0.9946$

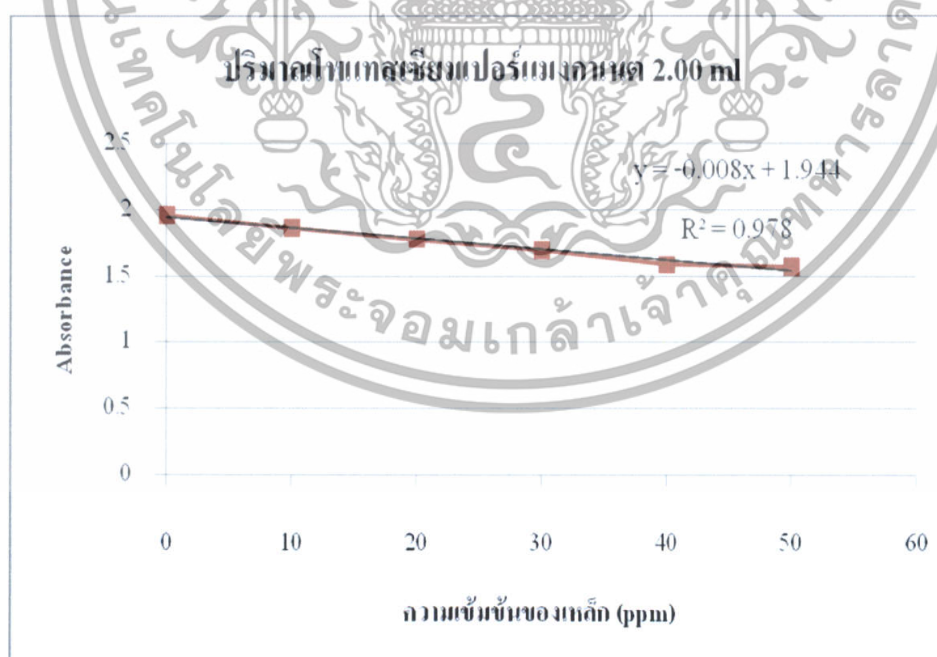


รูปที่ 4.3 จากกราฟแสดงค่า  $R^2$  จากความสัมพันธ์ของปริมาณ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 1.00 ml จากผลการทดลองของปริมาณ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 1.00 ml แสดงค่า  $R^2 = 0.9964$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 จากกราฟแสดงค่า  $R^2$  จากความสัมพันธ์ของปริมาณ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 1.50 ml จากผลการทดลองของปริมาณ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 1.50 ml แสดงค่า  $R^2 = 0.9815$



รูปที่ 4.5 จากกราฟแสดงค่า  $R^2$  จากความสัมพันธ์ของปริมาณ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 2.00 ml จากผลการทดลองของปริมาณ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 2.00 ml แสดงค่า  $R^2 = 0.9789$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

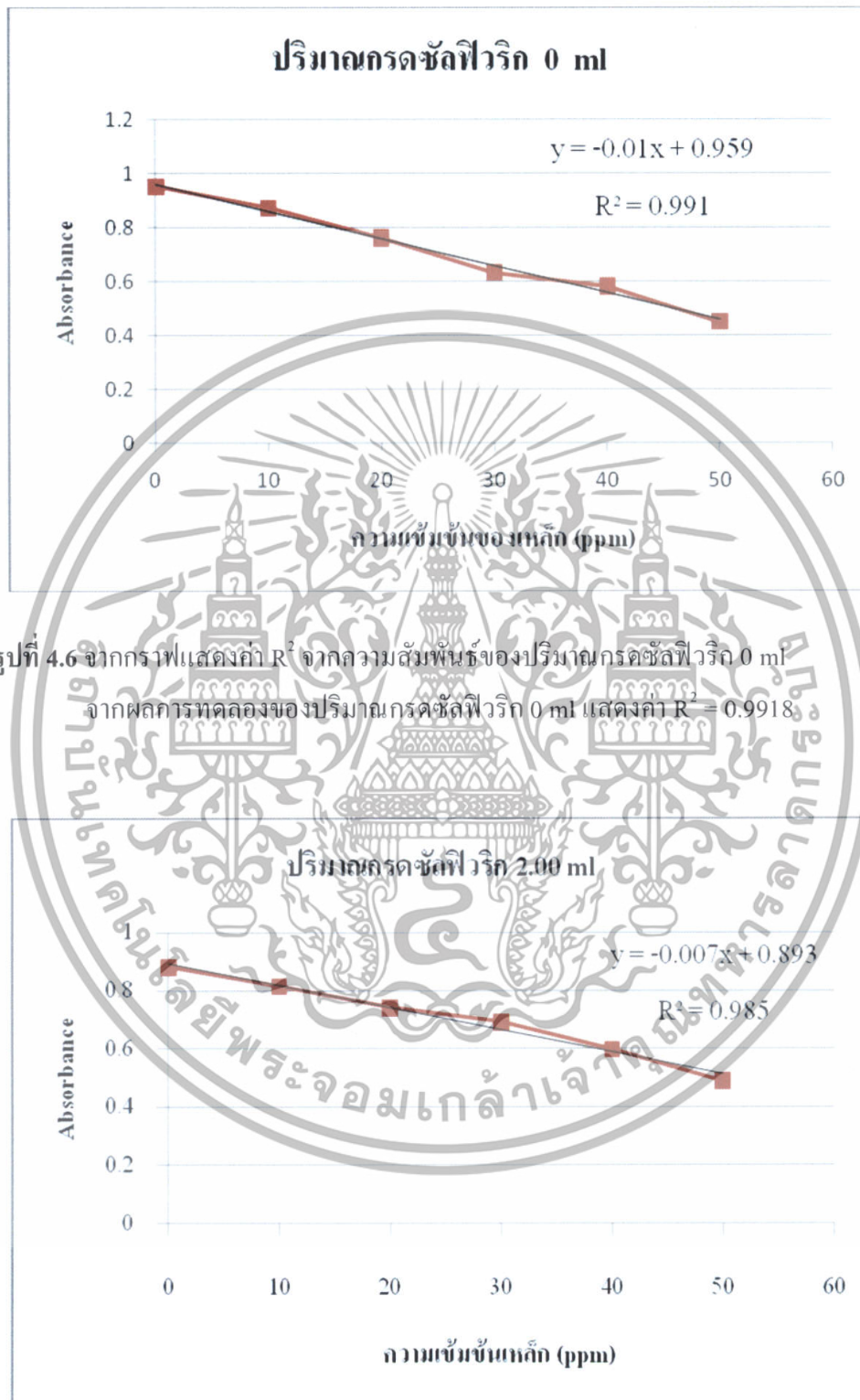
#### 4.2.2 การปรับเปลี่ยนปริมาณกรดซัลฟิวริก 2.0 M

เตรียมสารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 mg/L ทำการปรับเปลี่ยนปริมาณกรดซัลฟิวริก เป็น 0, 2, 5, 10, 15 และ 20 ml เมื่อปริมาณสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็น 1.00 ml และตรวจวัดด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี ที่ความยาวคลื่น 520 nm

ตารางที่ 4.2 แสดงการหาปริมาณกรดซัลฟิวริก

ความเข้มข้น สารละลาย มาตรฐาน เหล็ก (mg/L)	Absorbance ที่ความยาวคลื่น 520 nm					
	ปริมาณกรดซัลฟิวริก 2.0 M (ml)					
	0.0	2.0	5.0	10.0	15.0	20.0
Blank	0.957	0.883	0.969	0.980	0.973	0.984
10	0.873	0.815	0.844	0.893	0.902	0.928
20	0.762	0.742	0.754	0.805	0.835	0.838
30	0.633	0.693	0.713	0.744	0.745	0.755
40	0.582	0.599	0.594	0.659	0.670	0.647
50	0.450	0.490	0.520	0.597	0.595	0.606
$R^2$	0.9918	0.9853	0.9860	0.9964	0.9986	0.9897

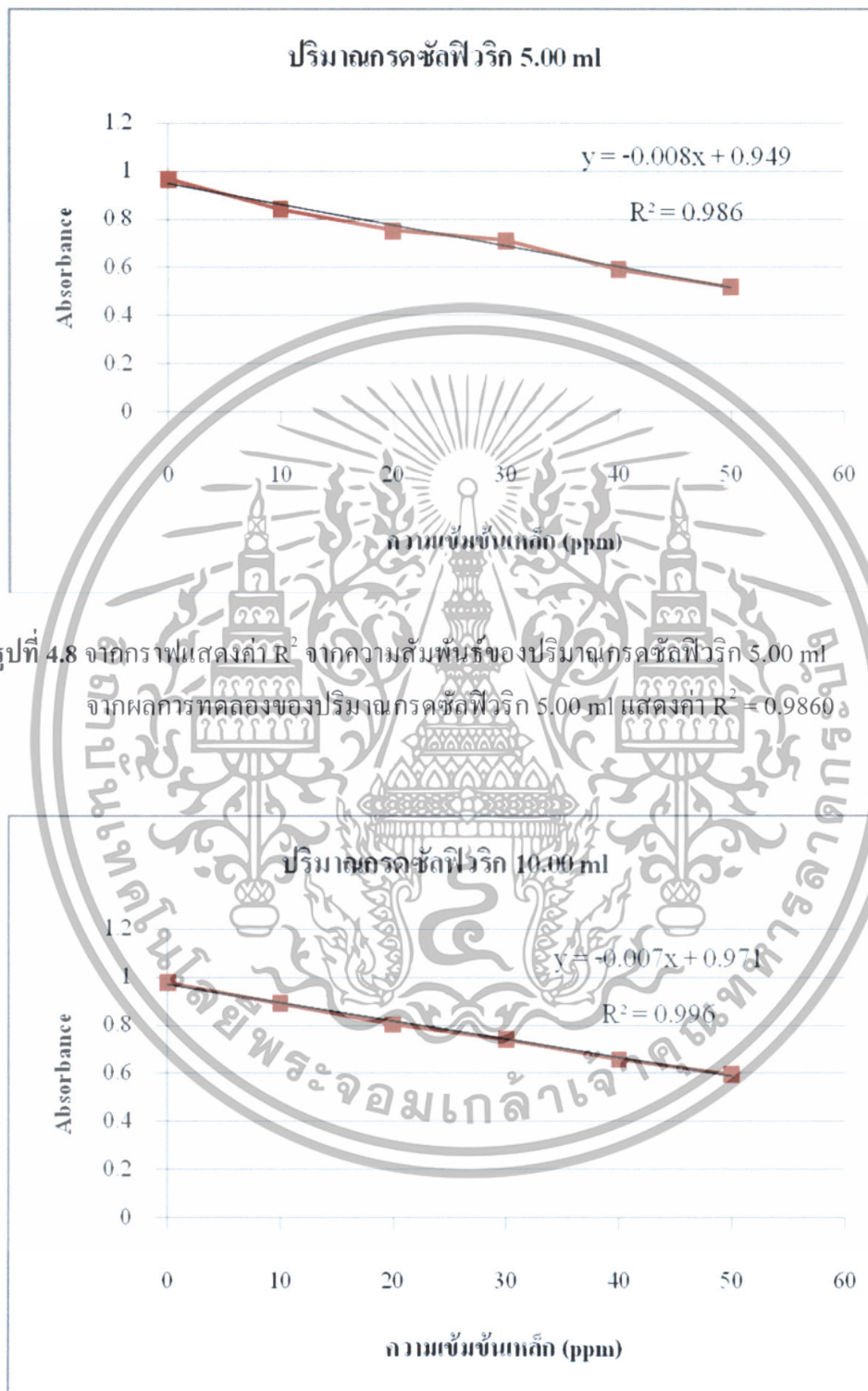
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 จากกราฟแสดงค่า  $R^2$  จากความสัมพันธ์ของปริมาณกรดซัลฟิวริก 0 ml จากผลการทดลองของปริมาณกรดซัลฟิวริก 0 ml แสดงค่า  $R^2 = 0.9918$

รูปที่ 4.7 จากกราฟแสดงค่า  $R^2$  จากความสัมพันธ์ของปริมาณกรดซัลฟิวริก 2.00 ml จากผลการทดลองของปริมาณกรดซัลฟิวริก 2.00 ml แสดงค่า  $R^2 = 0.9853$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

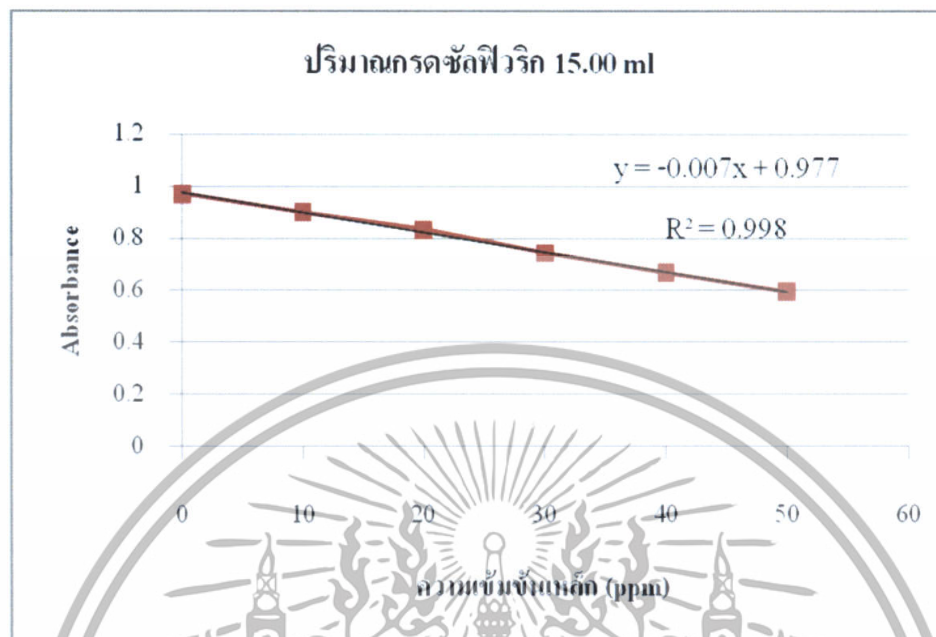


รูปที่ 4.8 จากกราฟแสดงค่า  $R^2$  จากความสัมพันธ์ของปริมาณกรดซัลฟิวริก 5.00 ml จากผลการทดลองของปริมาณกรดซัลฟิวริก 5.00 ml แสดงค่า  $R^2 = 0.9860$

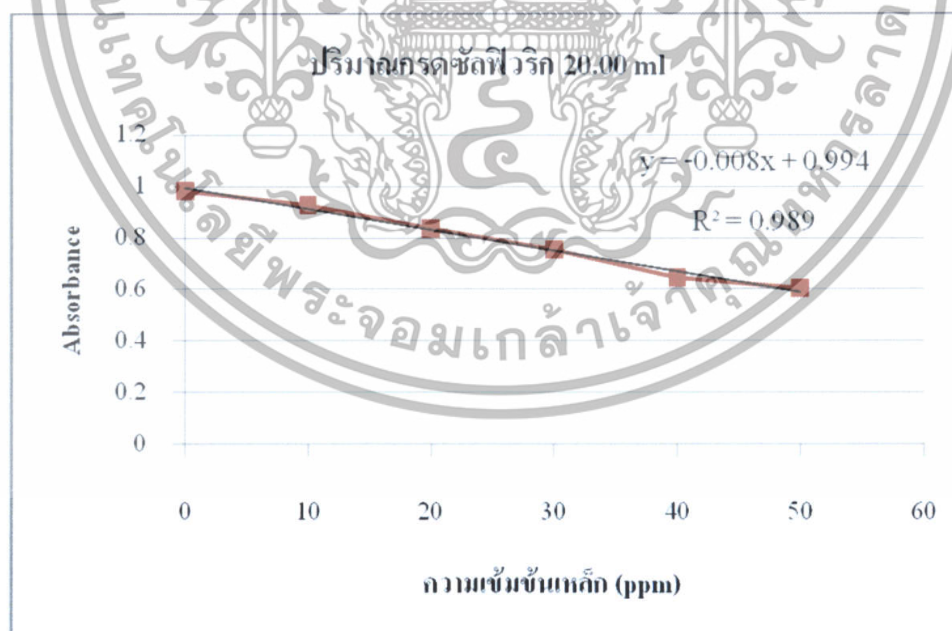
รูปที่ 4.9 จากกราฟแสดงค่า  $R^2$  จากความสัมพันธ์ของปริมาณกรดซัลฟิวริก 10.00 ml

จากผลการทดลองของปริมาณกรดซัลฟิวริก 10.00 ml แสดงค่า  $R^2 = 0.9964$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 จากกราฟแสดงค่า  $R^2$  จากความสัมพันธ์ของปริมาณกรดซัลฟิวริก 15.00 ml จากผลการทดลองของปริมาณกรดซัลฟิวริก 15.00 ml แสดงค่า  $R^2 = 0.9986$



รูปที่ 4.11 จากกราฟแสดงค่า  $R^2$  จากความสัมพันธ์ของปริมาณกรดซัลฟิวริก 20.00 ml จากผลการทดลองของปริมาณกรดซัลฟิวริก 20.00 ml แสดงค่า  $R^2 = 0.9897$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

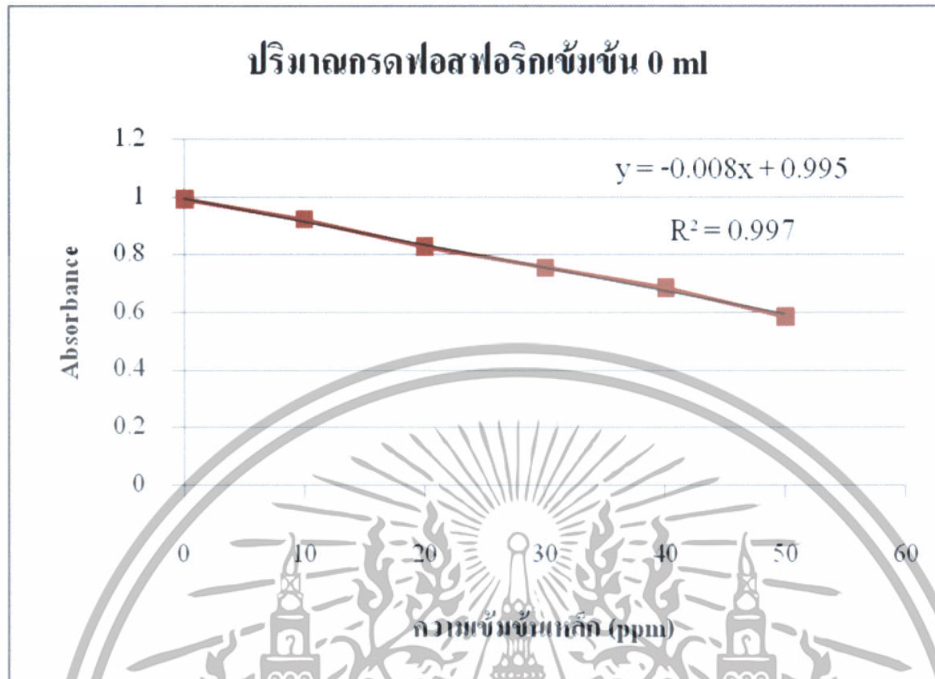
#### 4.2.3 การปรับเปลี่ยนปริมาณกรดฟอสฟอริกเข้มข้น

เตรียมสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 mg/L ทำการปรับเปลี่ยนปริมาณกรดฟอสฟอริกเข้มข้น เป็น 0, 2 และ 5 ml เมื่อปริมาณสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็น 1.00 ml และปริมาณกรดซัลฟิวริกเป็น 15 ml จากนั้นตรวจวัดด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี ที่ความยาวคลื่น 520 nm

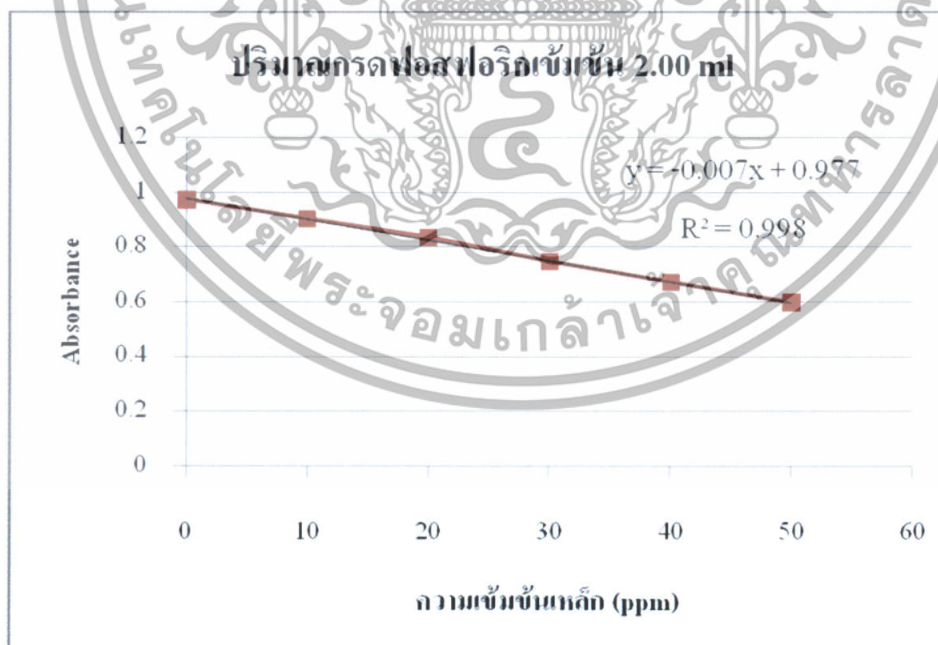
ตารางที่ 4.3 แสดงการหาปริมาณกรดฟอสฟอริกเข้มข้น

ความเข้มข้น สารละลายมาตรฐาน เหล็ก (mg/L)	Absorbance ที่ความยาวคลื่น 520 nm		
	ปริมาณกรดฟอสฟอริกเข้มข้น (ml)		
	0	2	5
Blank	0.991	0.973	0.900
10	0.921	0.902	0.829
20	0.828	0.835	0.737
30	0.755	0.745	0.694
40	0.685	0.670	0.607
50	0.585	0.595	0.569
$R^2$	0.9974	0.9986	0.9884

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

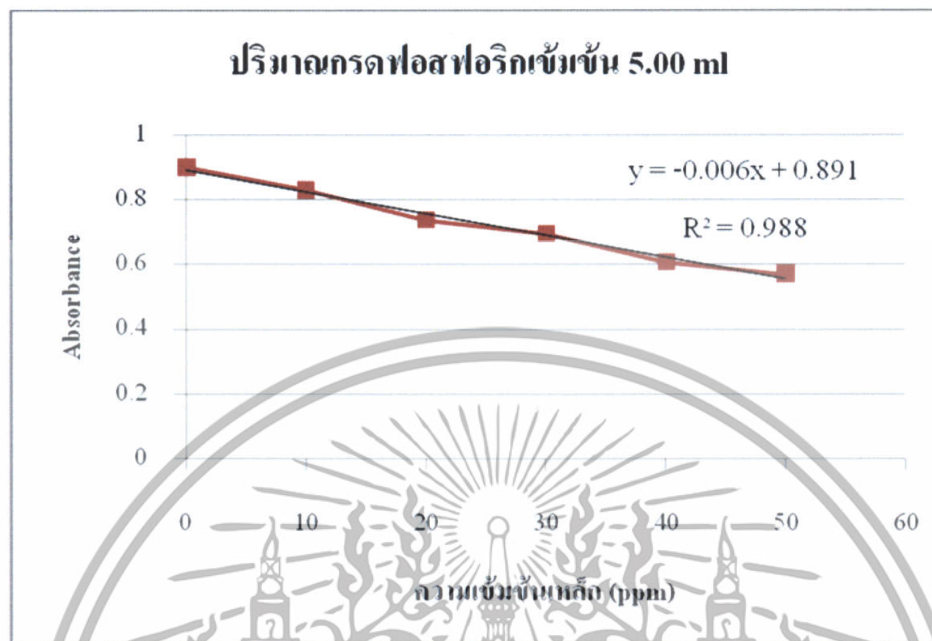


รูปที่ 4.12 จากกราฟแสดงค่า  $R^2$  จากความสัมพันธ์ของปริมาณกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 0 ml จากผลการทดลองของปริมาณกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 0 ml แสดงค่า  $R^2 = 0.9974$



รูปที่ 4.13 จากกราฟแสดงค่า  $R^2$  จากความสัมพันธ์ของปริมาณกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 2.00 ml จากผลการทดลองของปริมาณกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 2.00 ml แสดงค่า  $R^2 = 0.9986$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 จากกราฟแสดงค่า  $R^2$  จากความสัมพันธ์ของปริมาณกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 5.00 ml จากผลการทดลองของปริมาณกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 5.00 ml แสดงค่า  $R^2 = 0.9884$

ตารางที่ 4.4 สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์

สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์	
ความยาวคลื่น	520 nm
ปริมาณโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 M	1 ml
ปริมาณกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2 M	15 ml
ปริมาณกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 85	2 ml

### 4.3 การทำกราฟมาตรฐาน

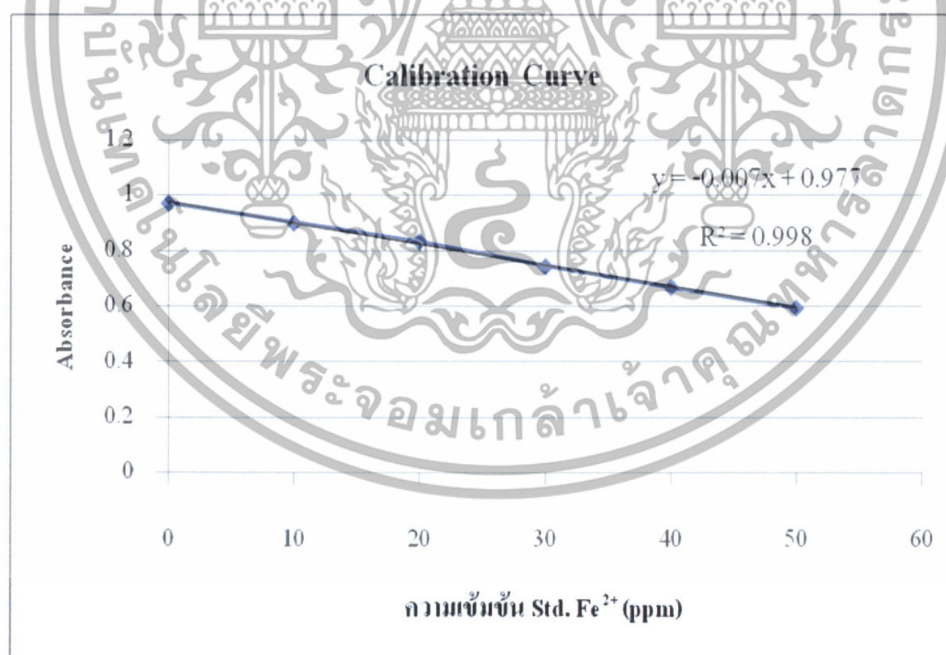
ทำการวิเคราะห์ สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 mg/L โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 1.00 ml กรดซัลฟิวริก 15 ml และกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอสฟอริกเข้มข้น 2 ml แล้วทำการพลอตเป็นกราฟมาตรฐาน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.15

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตของกราฟมาตรฐาน

ความเข้มข้นของเหล็ก (ppm)	Absorbance
Blank	0.933
10	0.878
20	0.783
30	0.711
40	0.625
50	0.528



รูปที่ 4.15 กราฟมาตรฐานค่า Absorbance ของ Std. Fe<sup>2+</sup>

จากผลการทดลองแสดงกราฟมาตรฐานค่า Absorbance ของ Std. Fe<sup>2+</sup> ให้ค่า  $R^2 = 0.9986$

สมการเส้นตรง คือ  $y = -0.007x + 0.977$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การศึกษาความเที่ยงของการวิเคราะห์

ในการทดลองนี้จะทำการหาปริมาณเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับเปอร์ซัลเฟต ด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณเปอร์ซัลเฟต โดยใช้กราฟมาตรฐานที่มีสมการเส้นตรง  $y = -0.007x + 0.977$  เพื่อหาความเที่ยงของการวิเคราะห์ระหว่างวันที่ทำการทดลอง โดยนำปริมาณเปอร์ซัลเฟตที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย (Mean;  $\bar{x}$ ) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation; SD) และร้อยละของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%Relative Standard Deviation; %RSD) ดังสมการ

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$\%RSD = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100$$

เมื่อ  $x$ , คือ ปริมาณเปอร์ซัลเฟตของแต่ละตัวอย่าง  
 $n$  คือ จำนวนตัวอย่างในแต่ละวัน

##### 4.4.1 ความเที่ยงของการตรวจวัด

ทำการวิเคราะห์สารละลายตัวอย่าง โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 M 1 ml กรดซัลฟิวริก 2.0 M 15 ml และกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 2 ml จากนั้นนำไปตรวจวัดด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี ที่ความยาวคลื่น 520 nm โดยทำการวิเคราะห์ซ้ำ 5 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความเที่ยงของการวัด

ตัวอย่าง	ค่าการดูดกลืนแสง					%RSD
	วัดครั้งที่					
	1	2	3	4	5	
1	0.834	0.808	0.807	0.800	0.839	2.15
2	0.830	0.834	0.817	0.837	0.830	0.92
3	0.732	0.722	0.754	0.748	0.728	1.85
4	0.771	0.784	0.772	0.788	0.805	1.77
5	0.756	0.763	0.744	0.776	0.760	1.53
6	0.784	0.769	0.773	0.755	0.762	1.43

#### 4.4.2 ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์

ทำการวิเคราะห์สารละลายตัวอย่าง โดยใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.02 M 1 ml กรดซัลฟิวริก 2.0 M 15 ml และกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 2 ml จากนั้นนำไปตรวจวัดด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี ที่ความยาวคลื่น 520 nm แล้วคำนวณหาปริมาณเปอร์ซัลเฟตในสารตัวอย่าง ซึ่งในการทดลอง 1 วัน จะทำการวิเคราะห์สารตัวอย่างจำนวน 2 ตัวอย่าง

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์

ตัวอย่าง	ปริมาณเปอร์ซัลเฟต (g)	ค่าเฉลี่ยระหว่างวัน ( $\bar{x}$ )	S.D.	%RSD
1	0.6742	0.6976	0.0330	4.73
2	0.7209			
3	0.6652	0.6453	0.0282	4.37
4	0.6253			
5	0.6740	0.6776	0.0050	0.74
6	0.6811			

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์แสดงด้วย %RSD มีค่าอยู่ในช่วง 0-5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 การศึกษาความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์

จากการศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์ซัลเฟตในสารลอกแป้งด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรเมทรีที่พัฒนาขึ้น เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่า T-test กับวิธีมาตรฐานการไทเทรตแบบย้อนกลับ (Back titration) ได้ผลดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการวิเคราะห์โดยวิธีมาตรฐานการไทเทรตแบบย้อนกลับ

ตัวอย่าง	ปริมาณโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้(ml)		
	ไทเทรตครั้งที่		
	1	2	3
1	20.60	20.70	20.70
2	22.40	22.40	22.50
3	21.70	21.90	22.00
4	22.10	22.00	21.90
5	21.90	21.80	21.80
6	22.00	21.90	21.90

ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณเปอร์ซัลเฟตในสารตัวอย่างโดยวิธีมาตรฐานการไทเทรตแบบย้อนกลับ

ตัวอย่าง	ปริมาณเปอร์ซัลเฟต (g)			ค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ )	S.D.	%RSD
	ไทเทรตครั้งที่					
	1	2	3			
1	0.7028	0.6990	0.6992	0.7003	0.0021	0.30
2	0.6940	0.6901	0.6901	0.6914	0.0023	0.33
3	0.6901	0.6941	0.6941	0.6928	0.0023	0.33
4	0.6844	0.6887	0.7117	0.6949	0.0147	2.12
5	0.7148	0.7199	0.7201	0.7183	0.0030	0.42
6	0.7116	0.7160	0.7157	0.7144	0.0025	0.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้นกับวิธีมาตรฐานโดยใช้ T-test

ตัวอย่าง	ปริมาณเปอร์ซัลเฟต (g)/สารตัวอย่าง 1 g		
	วิธีมาตรฐาน	วิธีที่พัฒนาขึ้น	ผลต่าง ( $X_d$ )
1	0.7003	0.6742	0.0261
2	0.6914	0.7209	-0.0295
3	0.6928	0.6652	0.0276
4	0.6949	0.6253	0.0696
5	0.7182	0.6740	0.0442
6	0.7144	0.6811	0.0333

จากผลการทดลองนำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าสถิติ T-test เพื่อเทียบว่าจากการวิเคราะห์หมีค่าความแตกต่างกับค่าที่ได้จากวิธีมาตรฐานหรือไม่จากสูตร

$$t = \frac{\bar{x}_d \sqrt{n}}{S_d}$$

เมื่อ  $\bar{x}_d$  = ค่าเฉลี่ยของผลต่างของข้อมูลแต่ละคู่

$S_d$  = ค่าความแปรปรวนของผลต่างของข้อมูลแต่ละคู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$\bar{x}_d = \frac{\sum x_d}{n}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (x_{di} - \bar{x}_d)^2}{n-1}}$$

เมื่อแทนค่าในสูตรหาค่า T-test จะได้

$$t_{cal} = 2.15$$

เนื่องจากค่า  $t$  ที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า  $t$  ในตาราง ( $t_{table} = 2.57, df = 5$ ) แสดงว่าวิธีการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธีนี้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การวิเคราะห์เปอร์ซัลเฟตโดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรเมทรี เป็นวิธีที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถวิเคราะห์หาเปอร์ซัลเฟตในสารลอกแข็ง สำหรับการวิเคราะห์นี้จะอาศัยการหาปริมาณเพอร์สแอมโมเนียมซัลเฟตที่เหลือจากการทำปฏิกิริยากับเปอร์ซัลเฟต ด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-VIS

ในการวิเคราะห์สารตัวอย่าง จะทำการหาสภาวะที่เหมาะสมก่อน โดยเริ่มจากการหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ ซึ่งจากการทดลองสแกนความยาวคลื่นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในน้ำที่มีความเข้มข้นเป็น  $2 \times 10^{-6}$ ,  $2 \times 10^{-5}$ ,  $2 \times 10^{-4}$  และ  $2 \times 10^{-3}$  M ในช่วงความยาวคลื่น 200-800 nm พบว่าความยาวคลื่นที่ 520 nm มีการดูดกลืนแสงสูงสุดจึงเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ ได้ทำการปรับเปลี่ยนปริมาณสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.020 M กรดซัลฟิวริก 2.0 M และกรดฟอสฟอริกเข้มข้น พบว่า ปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์เท่ากับ 1 ml, 15 ml และ 2 ml ตามลำดับ ในช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเพอร์สแอมโมเนียมซัลเฟต 0-50 mg/L ที่ความยาวคลื่น 520 nm จากนั้นนำสภาวะที่ได้มาทำการหาปริมาณและตรวจวัดเปอร์ซัลเฟตในสารตัวอย่าง จะได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9986 มีสมการเส้นตรง คือ  $y = -0.007x + 0.977$  คำนวณหาปริมาณเปอร์ซัลเฟตตามสมการเส้นตรง จะได้ปริมาณเปอร์ซัลเฟตโดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิล อยู่ในช่วง 0.5600-0.7300 g สำหรับวิธีมาตรฐานมีปริมาณเปอร์ซัลเฟตอยู่ในช่วง 0.6800-0.7200 ความเที่ยงของวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน 5.0 เปอร์เซ็นต์ ความแม่นยำของวิธีเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานการไทเทรตย้อนกลับ ทดสอบด้วยค่า t-test พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการวิเคราะห์ปริมาณเปอร์ซัลเฟตโดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิล สารตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ต้องเป็นสารที่ไม่มีสี เนื่องจากสารที่มีสีจะไปรบกวนสีของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ผิดพลาด นอกจากนี้ยังต้องมีการระวังสิ่งปนเปื้อนเป็นพิเศษทั้งจากเครื่องแก้วและสภาพแวดล้อมระหว่างทำการทดลอง เนื่องจากมีผลทำให้ผลการทดลองที่ได้ผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] อุตสาหกรรมสิ่งทอ. ค้นข้อมูล 20 มกราคม 2551, จาก  
[http://tpa.or.th/writer/read\\_this\\_book\\_topic.php?passTo=925bb09fb493ae6349931312a4ca2ef6&pageid=4&bookID=370&read=true&count=true](http://tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?passTo=925bb09fb493ae6349931312a4ca2ef6&pageid=4&bookID=370&read=true&count=true)
- [2] กระบวนการผลิต. ค้นข้อมูล 21 มกราคม 2551, จาก  
[http://industrial.seed.com/home/FeatureStory\\_preview.php?id=1471&section=9&rcount=Y](http://industrial.seed.com/home/FeatureStory_preview.php?id=1471&section=9&rcount=Y)
- [3] สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อม. ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ. แบบเรียนปฏิบัติการวิเคราะห์สารเคมีในอุตสาหกรรม
- [4] การวิเคราะห์ทางสเปกโทรสโกปี ( Spectroscopic Method ). นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์ และ คณิตา ตั้งคณานุรักษ์ สเปกโทรสโกปีด้านการวิเคราะห์ (Analytical Spectroscopy) สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : กรุงเทพฯ, 2547
- [5] อัลตราไวโอเลตและวิลีเบิลสเปกโทรสโกปี. ค้นข้อมูล 21 มกราคม 2551  
<http://webhost.tsu.ac.th/461021084/&%233649%3B&%233585%3B&%233657%3B%201-5cloc>
- [6] Slawomir, Agnieszka, **Reversed-phase liquid chromatographic simultaneous determination of iron (III) and iron (II) as complexes with 2-(5-bromo-2-pyridylazo)-5-diethylaminophenol Determination of iron (III) and iron (II) in water sample and ultrasound field effect on distribution of iron (III) and iron (II) in micellar solution,** Talanta 58 (2002) 773-783.
- [7] D.G. Karamanev, L.N. Nikolov, V. Mamatarikova, **Rapid simultaneous quantitative determination of ferric and ferrous ions in drainage waters and similar solution,** Minerals Engineering 15 (2002) 341-346.
- [8] S. Schäffer, P. Gareil, C.Dezael, D. Richard, **Direct determination of iron (II), iron (III) and total iron as UV-absorbing complexes by capillary electrophoresis,** Journal of Chromatography A, 740 (1996) 151-157.
- [9] M.H. Pournaghi-Azar, B.M. Fatemi, **Simultaneous determination of ferric, ferrous and total iron by extraction differential pulse polarography: application to the speciation of iron in**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

rocks, *Microchemical Journal* 65 (2000) 199-207.

- [10] D.S.R. Murty, A. Thangaraj, R. Radhamani, R. Rangaswamy, **Determination of carbonate, bicarbonate and phosphate in uranium leach liquors containing  $\text{KMnO}_4$  as oxidant,** *Talanta* 42 (1995) 945-948.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้