

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาวโดยอาศัยปฏิกิริยา
ออกซิเดชันของเหล็ก (II)



นางสาวเบญจวรรณ ยินดี
นางสาวสุชานา พิชิตปรีชา
นางสาวอนุสรรา ไนยจิตย์

๒/๗
๒๕๕๓
๒๕๕๐

เลขที่.....
เลขที่.....**107849**
วัน,เดือน,ปี.....๒๕.๕.๕๓.2553

.....
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Determination of Hypochlorite in Bleaching Product using Oxidation of Iron (II)



Miss Benjawun Yindee

Miss Suchada Pichitpreecha

Miss Anussara Naiyajit

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

Chemical Industrial-Analytical Instrument

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ การวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาวโดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก (II)

นักศึกษา นางสาวเบญจวรรณ ยินดี
นางสาวสุชาดา พิชิตปรีชา
นางสาวอนุสรรา ไนยจิตย์

ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์


สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์

ปีการศึกษา 2550

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น	
กรรมการ	อ.สุจินต์ ตันติพิสิฏกุล	
กรรมการ	ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	


.....
(ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ	การวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก (II)	
นักศึกษา	นางสาวเบญจวรรณ	ยินดี
	นางสาวสุชาดา	พิชิตปรีชา
	นางสาวอนุสรรา	ไฉยจิตย์
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์	
ปีการศึกษา	2550	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.วิบูลย์	ประคิษฐ์เวียงคำ

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว โดยไฮโปคลอไรต์ทำให้เกิดการออกซิเดชันของเหล็ก (II) และตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของเหล็ก (III) ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสเมทรี ความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการตรวจวัดคือ 450 นาโนเมตร ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา คือ 2.5 นาที ปริมาณของสารละลายเหล็ก (II) คือ 0.3 มล. (0.1 M) และปริมาณกรดซัลฟูริกคือ 0.6 มล. (1.0 M) ความเที่ยงของวิธีที่พัฒนาขึ้นและความเที่ยงของการวัดคือ 0.87-4.25 %RSD และ 1.63-2.56%RSD ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาวด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้เปรียบเทียบกับวิธีการไทเทรตแบบไอโอโดเมทรีซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน พบว่าให้ค่า t-test ที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Determination of Hypochlorite in Bleaching Product using Oxidation of Iron (II)
Name	Miss Benjawun Yindee Miss Suchada Pichitpreecha Miss Anussara Naiyajit
Department	Chemistry
Program	Industrial Chemistry – Analytical Instrument
Academic Year	2007
Special Project Advisor	Dr. Wiboon Praditweangkum

Abstract

This study is purposed to determine the hypochlorite in bleaching products. Iron (II) in solution is oxidized to iron (III) by hypochlorite and absorbance of iron (III) is measured using UV-Vis spectrometry. Measuring absorbance of Iron (III) in solution was optimized at 450 nm, reaction time at 2.5 min, volume of 0.1 M Iron (II) sulfate solution and 1.0 M sulfuric acid solution were 0.3 and 0.6 ml, respectively. The precision of this development method and precision of absorbance measuring were 0.87-4.25 %RSD and 1.63-2.56%RSD. The t-test results compared between this developed method and iodometry titration standard method showed no significant difference at 95 % confidence level.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดเวลา ดูแลเอาใจใส่ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีในการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น และ อ.สุจินต์ ต้นดิพิสิฐกุล กรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณคุณ สุพจน์ ศิวาคม และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีตีควิทย์(เก่า) ทุกท่านที่ให้ความสะดวกต่อการทำโครงการพิเศษนี้อย่างยิ่ง

ขอขอบคุณคุณปราณี และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีตีควิทย์วาลัยลักษณ์ 1 ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านอย่างเต็มที่

ขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากโครงการพิเศษเล่มนี้ ขอมอบให้บิดา มารดาซึ่งเป็นทีเคารพรักยิ่งตลอดจนครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้ ซึ่งมีค่าอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตในอนาคต

นางสาวเบญจวรรณ ยินดี

นางสาวสุชาดา พิชาติปรีชา

นางสาวอนุสตรา ไนยจิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโรงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโรงงานพิเศษ	1
1.3 ขอบเขตของโรงงานพิเศษ	1
1.4 ขั้นตอนการทำวิจัยและการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ผลกระทบต่อฟอกผ้าขาว	3
2.1.1 กลไกการเกิดพิษ	3
2.2 ไอโอโดเมทรี	4
2.2.1 อินดิเคเตอร์และจุดยุติ	5
2.3 อัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี	8
2.3.1 การดูดกลืนรังสีของสาร	8
2.3.2 กฎของเบียร์และแลมเบิร์ต	9
2.4 เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	10
2.5 การวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยวิธีการสร้างกราฟมาตรฐาน	11
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	15
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	15
3.2 การเตรียมสารละลาย	16
3.3 วิธีดำเนินการทดลอง	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	22
4.1 การศึกษาหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัด	22
4.2 การศึกษาผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการตรวจวัด	22
4.3 การศึกษาผลของปริมาณของสารละลายเหล็ก (II) ซัลเฟต เข้มข้น 0.5 M ที่เหมาะสม	23
4.4 การศึกษาผลของปริมาณของสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.0 M ที่เหมาะสม	25
4.5 การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน	26
4.6 การศึกษาความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์	27
4.7 การศึกษาความเที่ยงของการวัด	28
4.8 การศึกษาความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์	29
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	32
5.1 สรุป	32
5.2 ข้อเสนอแนะ	33
เอกสารอ้างอิง	34
ภาคผนวก	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้น สารละลายมาตรฐานไฮโปคลอไรต์ ณ เวลาต่างๆ	23
ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้น สารละลายมาตรฐานไฮโปคลอไรต์ ณ ปริมาณสารละลายเหล็ก (II) ซัลเฟต ต่างๆ	24
ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้น สารละลายมาตรฐานไฮโปคลอไรต์ ณ สารละลายกรดซัลฟูริกปริมาณต่างๆ	25
ตารางที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้น สารละลายมาตรฐานไฮโปคลอไรต์	26
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง	27
ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณไฮโปคลอไรต์ของสารละลายตัวอย่างและ ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์	28
ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณไฮโปคลอไรต์ของสารละลายตัวอย่าง	29
ตารางที่ 4.8 แสดงปริมาณของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไปของ วิธีไทเทรตแบบไอโอโดเมทรี	30
ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณไฮโปคลอไรต์ของสารละลายตัวอย่างด้วย วิธีไทเทรตแบบไอโอโดเมทรี	30
ตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้น กับวิธีมาตรฐาน โดยวิธี T-test	31
ตารางแสดงค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานและค่าศักย์ไฟฟ้าฟอร์มอลของขั้วไฟฟ้าบางชนิดที่ 25°C	35

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในโมเลกุลนั้นๆ	8
รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบสำคัญของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์	10
รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างกราฟมาตรฐาน	12
รูปที่ 4.1 แสดงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัด	22
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนใจกับระยะเวลา ในการทำปฏิกิริยา	23
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนใจกับปริมาณ สารละลายเหล็ก (II) ซัลเฟต	24
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนใจกับปริมาณของ สารละลายกรดซัลฟูริก	25
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานไฮโปคลอไรต์	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันตามบ้านเรือนที่อยู่อาศัยนิยมใช้ผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาวมากขึ้น เนื่องจากช่วยทำให้ผ้าขาวมากขึ้น กำจัดสิ่งสกปรก และฆ่าเชื้อแบคทีเรีย รวมทั้งไวรัสได้ โดยสารฟอกขาวที่นิยมใช้กันมากคือ ไฮโปคลอไรต์ (OCI) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดการระคายเคืองได้ง่าย แม้จะใช้ในปริมาณน้อยก็ตาม ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการควบคุมคุณภาพและปริมาณที่ใช้ เพื่อไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค

ดังนั้นในการทำโครงการพิเศษนี้จึงทำการพัฒนาวิธีวิเคราะห์หาปริมาณ ไฮโปคลอไรต์ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว โดยใช้เทคนิค UV-Vis Spectrometry ด้วยการนำคุณสมบัติของไฮโปคลอไรต์ที่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมาประยุกต์ใช้ แล้วทำการเปรียบเทียบผลที่วิเคราะห์ได้กับวิธีไอโอโดเมทรีซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ปริมาณไฮโปคลอไรต์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณไฮโปคลอไรต์ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว โดยไฮโปคลอไรต์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเหล็ก (II) และตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของเหล็ก (III) ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรเมทรี

1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

- 1.ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ โดยตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของเหล็ก (III) ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรเมทรี
- 2.เปรียบเทียบผลการทดลองวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ของวิธีการที่พัฒนาขึ้น กับผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีการไทเทรตด้วยวิธีไอโอโดเมทรี
- 3.นำวิธีการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

1. สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบการทดลอง จัดหาอุปกรณ์และสารเคมี
3. ดำเนินการทดลอง โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอนคือ

ตอนที่ 1 ทำการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและตรวจสอบความถูกต้อง สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรเมทรี

ตอนที่ 2 ทำการวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธีไอโอโดเมทรี

4. รวบรวมและวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ โดยใช้หลักทางสถิติควบคุม
5. สรุปผลและรายงานผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรเมทรี
2. สามารถนำวิธีการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นนี้ไปประยุกต์ใช้เพื่อหาปริมาณไฮโปคลอไรต์ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 ผลิตภัณฑ์ฟอกผ้าขาว

ผลิตภัณฑ์ฟอกผ้าขาว ผลิตภัณฑ์ฆ่าเชื้อโรคและกำจัดกลิ่นในสระว่ายน้ำ ประกอบไปด้วยสารเคมีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับรูปแบบของผลิตภัณฑ์และวัตถุประสงค์ของการใช้ อย่างไรก็ตามสารที่ใช้มานานและปัจจุบันยังนิยมใช้คือ ไฮโปคลอไรต์ (hypochlorite) ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูป โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (sodium hypochlorite)

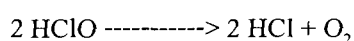
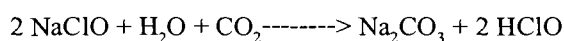
โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ผลิตได้โดยการดูดซึมของแก๊สคลอรีนในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ที่เย็น ดังสมการ



โซเดียมไฮโปคลอไรต์อยู่ในรูปของสารละลายในน้ำเป็นของเหลว สีเขียวเหลือง มีกลิ่นฉุนคล้ายคลอรีน ในการฟอกผ้าขาวมักใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ 3-6 % เป็นสารฟอกขาวประเภท "chlorine bleach" เนื่องจากให้คลอรีนเป็นตัวออกซิไดซ์ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นถ้าใช้ในความเข้มข้นสูงจะมีฤทธิ์กัดกร่อน ทำให้ผิวหนังไหม้พอง และระคายเคืองต่อตาได้ ไม่ควรใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์ภายในบ้านชนิดอื่นๆ เช่นผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรดเพราะจะทำให้เกิดแก๊สคลอรีน หรือผลิตภัณฑ์ที่มีแอมโมเนียเพราะจะทำให้เกิดคลอรามิน ซึ่งสารทั้ง 2 ชนิดเป็นพิษมาก นอกจากนี้จะเกิดปฏิกิริยารุนแรงกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide)

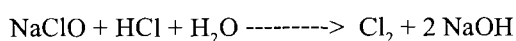
กลไกการเกิดพิษ

เมื่อสัมผัสกับเยื่อผิว โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaClO) จะทำปฏิกิริยาได้เป็นกรดไฮโปคลอรัส (HClO) ซึ่งมีฤทธิ์ระคายเคือง และกรดไฮโปคลอรัส ถูกเปลี่ยนต่อไปเป็นกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ซึ่งมีฤทธิ์กัดกร่อนมากขึ้น



นอกจากนี้ ไฮโปคลอไรต์จะทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกในกระเพาะอาหารได้เป็นแก๊สคลอรีน (Cl₂) ซึ่งนอกจากจะทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อต่างๆ แล้วอาจทำให้เกิด chemical

pneumonitis ได้



การหายใจเข้าไปทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อเมือกทางเดินหายใจ สัมผัสถูกผิวหนังเกิดการระคายเคืองปานกลาง เกิดผื่นแดงบนผิวหนัง การกลืนหรือกินเข้าไปเกิดการระคายเคืองต่อเยื่อที่ปากและลำคอ เกิดอาการปวดท้องและแผลเปื่อย การสัมผัสถูกตาจะระคายเคืองอย่างรุนแรง โซเดียมไฮโปคลอไรด์มีผลทำลายปอด ทรวงอก ระบบหายใจ และผิวหนัง

ดังนั้นกระทรวงอุตสาหกรรมจึงประกาศให้โซเดียมไฮโปคลอไรด์เป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 1 (วัตถุอันตรายที่การผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครองต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดด้วย) ตามบัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย (ฉบับที่ 5) พ.ศ. 2549 และในมาตรฐานอุตสาหกรรมได้กำหนดให้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์มีอะลูมิเนียมคลอไรด์ในชั้นคุณภาพที่ 1 ไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และในชั้นคุณภาพ 2 ไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

นอกจากการนำโซเดียมไฮโปคลอไรด์ไปใช้ในอุตสาหกรรมฟอกผ้าขาวที่ใช้ตามบ้านเรือนแล้วยังสามารถนำไปใช้ในงานอื่นๆอีก เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ ใช้บำบัดน้ำ ใช้ฆ่าเชื้อโรคในน้ำ เช่น น้ำประปา น้ำในสระว่ายน้ำ ใช้เช็ดวัสดุที่เป็นเลือดของผู้ป่วยที่คาดว่าติดเชื้อไวรัส]

หลักการที่ใช้ในการตรวจวัด

การหาปริมาณไฮโปคลอไรต์โดยให้ไฮโปคลอไรต์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเหล็ก (II) ซึ่งมีสีเขียวเปลี่ยนไปเป็นเหล็ก (III) ซึ่งมีสีเหลือง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ



2.2 ไอโอดิเมทรี (iodometry) [1]

ไอโอดิเมทรี (iodometry) คือการไทเทรตไอโอดีนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างสารที่สนใจไปออกซิไดส์สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ และปริมาณของไอโอดีนที่เกิดขึ้นนำมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต เนื่องจากมีสารน้อยชนิดที่สามารถรีดิวส์ไอโอดีนได้ ในกรณีที่ต้องการวิเคราะห์ปริมาณไอโอไดด์ไอออน จะเติมสารที่เป็นออกซิไดส์จำนวนมากเกินพอลงในสารละลายไอโอไดด์ในภาวะกรด แล้วไทเทรตไอโอดีนที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต โดยใช้น้ำแข็งเป็นอินดิเคเตอร์ ส่วนในกรณีหาปริมาณสารที่เป็นตัวออกซิไดส์ก็จะเติม

สารละลายไอโอดีนจำนวนมากเกินพอลงในตัวอย่าง แล้วทำการไทเทรตหาปริมาณไอโอดีนที่เกิดขึ้น ด้วยสารละลายมาตรฐานไทโอซัลเฟต

ความผิดพลาดที่มีอิทธิพลต่อการไทเทรตไอโอดิเมทรีมี 2 แหล่ง คือ

1. การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศของสารละลายไอโอดีนในกรด แก๊ซ โดยการเติมโซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) ที่มากเกินไป
2. ไอโอดีนจะสูญหายไปเนื่องจากการระเหิด ดังนั้นจึงต้องรีบไทเทรตทันทีที่เกิดไอโอดีนขึ้น และควรมีจุกปิดระหว่างการทำไทเทรต

อินดิเคเตอร์และจุดยุติ

ไอโอดีนในสารละลายไอโอดีนไอออนในน้ำ มีสีเหลืองเข้มจนถึงน้ำตาล สารละลายไอโอดีนที่เข้มข้น 1.0×10^{-5} N จะมีสีเหลืองอ่อน ดังนั้นสารละลายที่ปราศจากสี สามารถใช้ไอโอดีนเป็นตัวชี้บอกจุดยุติเองได้ สำหรับน้ำแข็งได้รับการยอมรับให้เป็นอินดิเคเตอร์ เนื่องจากให้สีที่จุดยุติได้ชัดเจน ในบางครั้งอาจใช้วิธีการสกัดไอโอดีนด้วยตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิด เช่น คาร์บอนเตตระคลอไรด์ ซึ่งปรากฏสีของไอโอดีนในชั้นของสารอินทรีย์ดังกล่าวมีสีเข้มกว่าในชั้นน้ำ แต่วิธีนี้ใช้เวลานานกว่าการใช้น้ำแข็งเป็นอินดิเคเตอร์ เพราะต้องรอให้ไอโอดีนละลายเข้าสู่ชั้นของสารอินทรีย์

น้ำแข็งทำปฏิกิริยากับไอโอดีนเมื่อมีไอโอดีนไอออนให้สารเชิงซ้อนสีน้ำเงินเข้ม เนื่องจากไอโอดีนดูดซับบนผิวของคอลลอยด์ของน้ำแข็ง และจะกลายเป็นไม่มีสีเมื่อไอโอดีนถูกรีดิวส์เป็นไอโอดีนไอออน ความไวของการปรากฏสีน้ำเงินจะเกิดขึ้นเมื่อปริมาณไอโอดีนเป็น 2×10^{-5} M และความเข้มข้นของไอโอดีนมีค่ามากกว่า 4×10^{-5} M ที่ 20°C และสีจะจางลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ไม่สามารถใช้น้ำแข็งเป็นอินดิเคเตอร์ในภาวะความเข้มข้นของกรดสูงๆ เนื่องจากน้ำแข็งจะเกิดกรดไฮโดรไลซิส

น้ำแข็งที่เตรียมโดยปราศจากสารกัมมันตภาพรังสีจะสามารถเก็บไว้ได้นาน 2 - 3 วัน การเติมสารกัมมันตภาพรังสีช่วยยับยั้งปฏิกิริยาของแบคทีเรีย และสามารถเก็บไว้ได้นานหลายสัปดาห์หรือเป็นเดือน วิธีการเก็บรักษาน้ำแข็งเลือกทำได้โดยวิธีใดวิธีหนึ่ง ดังนี้ (1) เมอร์คิวริกไอโอดีน (2) เติมกรดบอริก (boric acid) จำนวน 1 กรัมต่อน้ำแข็ง 100 mL (3) เติมกรดฟลูออริก (fluoric acid) 0.1 กรัมต่อสารละลาย 100 mL หรือ (4) ทำให้อิ่มตัวด้วยโพแทสเซียมคลอไรด์

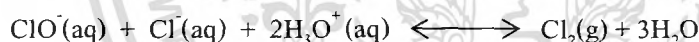
การหาปริมาณคลอรีนที่ได้ในผงฟอกสี (Available chlorine in bleaching powder)

ความแรงของสารฟอกสีมีมากน้อยเพียงใด สามารถพิจารณาได้จาก ปริมาณคลอรีนที่ได้ (available chlorine) ผงฟอกสีในทางการค้า เป็นของผสมระหว่างแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ และเบซิกคลอไรด์ของแคลเซียม $\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ หมู่ที่มีสมบัติในการฟอกสีและมีพลังในการกำจัดความสกปรกทำให้ผ้าขาวขึ้น ได้แก่ หมู่ไฮโปคลอไรต์ (ClO^-) สำหรับสารฟอกสีที่เป็นของเหลวจะมีสารหลัก คือ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) ประมาณ 5.2 %w/w มีความหนาแน่น ~1.084 g/mL

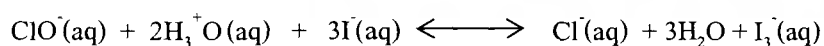
ปริมาณคลอรีนที่ได้จากผงฟอกสี หมายถึง แก๊สคลอรีนอิสระซึ่งเกิดเนื่องจากการนำผงฟอกสีทำปฏิกิริยากับกรดที่เจือจาง ปกติจะรายงานเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของกรดคลอรีน (Cl_2) ที่เกิดจากผงฟอกสีนั้น ซึ่งเป็นเครื่องชี้บอกความแรงของการเป็นสารออกซิไดส์ของสารฟอกสี โดยไฮโปคลอไรต์ (ClO^-) จะทำหน้าที่เป็นสารออกซิไดส์ ดังสมการ



สารที่มีประสิทธิภาพในการฟอกสี คือ ไฮโปคลอไรต์ เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดที่เจือจางลงจะทำให้เกิดแก๊สคลอรีน ดังสมการ

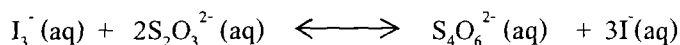


ในการหาปริมาณคลอรีนที่ได้จากผงฟอกสีด้วยวิธีไอโอดิเมทรี ทำโดยนำผงฟอกสีหรือผงคลอรีนมาผสมกับน้ำให้เป็นสารละลายหรือสารแขวนลอย แล้วให้ทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ที่มีจำนวนมากเกินพอและมีกรดแอซิดิกอยู่ด้วย



จากสมการทั้งสองข้างบนจะเห็นว่าถ้าผงฟอกสีทำให้เกิดไอโอดีน 1 โมล ผงฟอกสีนั้นจะประกอบด้วยคลอรีน (Cl_2) 1 โมล (2×35.453 กรัม)

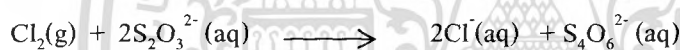
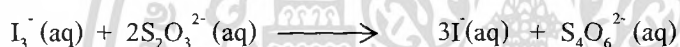
ไอโอดีนที่เกิดขึ้นในสารละลายที่มีไอโอไดด์จะอยู่ในรูปไอโอไดด์ (I_3^-) ซึ่งหาปริมาณโดยการไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานไทโอซัลเฟต ดังสมการ



เมื่อรวมสมการทั้งสอง ได้ผลดังนี้คือ

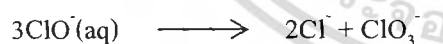
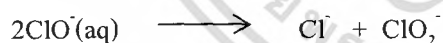


การรายงานปริมาณคลอรีนที่ได้ในสารฟอกสี โดยคิดเป็นปริมาณคลอรีนอิสระที่เข้าทำปฏิกิริยากับไอโอไดด์ไอออนแล้วให้ไอโอดีน ซึ่งทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต ดังสมการ

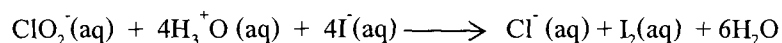


นั่นคือ คลอรีนที่ได้ 1 โมล หรือ ClO^- 1 โมล ทำปฏิกิริยาพอดีกับ $S_2O_3^{2-}$ 2 โมล

ผงฟอกสีที่ชื้นหรือเก็บไว้เป็นเวลานานๆ ไฮโปคลอไรต์จะค่อยๆเปลี่ยนไปเป็นคลอไรต์และคลอเรตเล็กน้อย



คลอไรต์มีสมบัติเป็นตัวออกซิไดส์เหมือนกัน เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์และกรดแอสติกให้ได้ไอโอดีนเกิดขึ้นอย่างช้าๆ สำหรับคลอเรตจะไม่ทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไอโอไดด์ในกรดแอสติก นอกจากสารละลายนั้นจะมี H_3O^+ ที่มีความเข้มข้นสูง



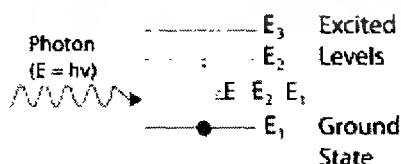
ดังนั้นในการหาปริมาณของคลอรีนอิสระในผงฟอกสีที่ขึ้นๆ เป็นเวลานานๆ โดยให้ทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ในกรดแอสติก ที่จุดยุติสีน้ำเงินไอโอดีนกับน้ำแบ่งจะเข้มข้นเมื่อตั้งทิ้งไว้สักครู่ เนื่องจากการทำปฏิกิริยาที่ช้าของคลอไรต์ในสารละลายกรดแอสติก แต่ถ้าเราใช้สารละลายกรดซัลฟิวริก 3.0 M แทนแกลเซียมแอสติกทั้งไฮโปคลอไรต์และคลอไรต์ จะทำปฏิกิริยาหมด

2.3 อัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี[2]

การดูดกลืนแสงหรือรังสีที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความยาวคลื่นในช่วงประมาณ 190 – 800 นาโนเมตร ของสารนั้น ส่วนใหญ่ได้แก่สารอินทรีย์ (Organic compound) สารประกอบเชิงซ้อน (Complex compound) หรือสารอนินทรีย์ (Inorganic compound) สมบัติของสารดังกล่าวนี้ได้นำมาใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณอย่างกว้างขวาง เพราะวิธีนี้ให้ความถูกต้องแม่นยำและมีสภาพไว (Sensitivity) สูง โดยอาจทำการวิเคราะห์อยู่ในรูปของโมเลกุลหรือไอออนก็ได้ และวิธีวิเคราะห์นี้มีหลักการพื้นฐานตามกฎของเบียร์และแลมเบิร์ต

การดูดกลืนรังสีของสาร

การดูดกลืนรังสีของสารจะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อพลังงานของรังสีที่ได้รับเท่ากับพลังงานที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในโมเลกุลนั้นๆ การดูดกลืนรังสีนี้เรียกกันว่าการเร้าอิเล็กตรอน และทำให้อิเล็กตรอนตัวหนึ่ง ไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่าเดิม ในทางเคมีอินทรีย์ การเร้าอิเล็กตรอนที่สำคัญที่สุดได้แก่การย้ายอิเล็กตรอนจากออร์บิทัลของ โมเลกุลที่มีพลังงานสูงสุดและมีอิเล็กตรอนอยู่ไปสู่ออร์บิทัลของ โมเลกุลที่ว่างและมีพลังงานต่ำสุด และเนื่องจากโมเลกุลต่างๆ ไม่อยู่นิ่งจะสั่นและหมุนอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงสถานะของอิเล็กตรอนทุกครั้งจะต้องทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของการสั่นและการหมุนด้วยเสมอ



รูปที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนใน โมเลกุลนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎของเบียร์ และแลมเบิร์ต (Beer and Lambert's Law)

กฎของแลมเบิร์ตมีใจความว่า “เมื่อแสงสีเดียวซึ่งคือแสงความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้ไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงที่กระทบตัวกลางนั้น และความเข้มของแสงจะถูกแต่ละชั้นของตัวกลางดูดกลืนไว้ในสัดส่วนที่เท่ากัน” ซึ่งคือหากให้ลำแสงความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางหนึ่งที่เป็นเนื้อเดียวกันแล้ว ความเข้มของลำแสงนั้นจะลดลงเป็นแบบ Exponential กับความหนาของตัวกลาง

กฎของเบียร์มีใจความว่า “เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว สัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางนั้นดูดกลืนไว้จะแปร โดยตรงกับปริมาณของตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น” ซึ่งคือในกรณีที่ไม่เลกุลของสารต่างก็เป็นอิสระแก่กัน และอิทธิพลของตัวทำละลายคงที่เมื่อความเข้มข้นเปลี่ยนแปลงไป แต่ละโมเลกุลของสารจะดูดกลืนความเข้มของแสงที่ได้รับเป็นสัดส่วนที่เท่ากัน

เมื่อวัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย ปริมาณความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นของสารละลายและความหนาของสารละลายที่ลำแสงต้องผ่าน จึงจำเป็นต้องรวมกฎของแลมเบิร์ตและกฎของเบียร์เข้าด้วยกันเรียกเป็นกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต และเขียนเป็นรูปสมการได้คือ

$$A = \epsilon bc$$

- เมื่อ
- A เป็น ค่าการดูดกลืนแสง
 - ϵ เป็น molar absorptivity
 - b เป็น ความหนาของสารละลายในหน่วยเซนติเมตร
 - c เป็น ความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยโมล/ลิตร

ดังนั้นเทคนิคอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิลสเปกโทรสโกปีคือ เทคนิคที่ศึกษาการดูดกลืนแสงของโมเลกุลหรือไอออนที่เกี่ยวข้องกับการทรานสิชันของอิเล็กตรอน โดยทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านมาจากสารเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆ ตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ตคือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารจะแปรผันกับจำนวน โมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง จึงทำให้สามารถระบุชนิดและปริมาณของสารที่มีอยู่ในตัวอย่างได้

2.4 เครื่องมือ-วิธีเบสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ [3]

เครื่องมือ-วิธีเบสเปกโทรโฟโตมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่นำเทคนิคอัลตราไวโอเลตและวิธีเบสเปกโทรสโกปีมาใช้งาน โดยทำหน้าที่ในการตรวจวัดความเข้มแสงในช่วงอัลตราไวโอเลตและวิธีเบสที่ถูกดูดกลืนด้วยตัวอย่างเปรียบเทียบกับความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิด

ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องมือ-วิธีเบสเปกโทรโฟโตมิเตอร์



รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบสำคัญของเครื่องมือ-วิธีเบสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

1. แหล่งกำเนิดรังสี (Source) ที่นิยมใช้มีดังนี้

- หลอดไฮโดรเจนและหลอดควิที่เรียกความดันต่ำ เป็นแหล่งกำเนิดรังสีต่อเนื่องที่ดีที่สุดตั้งแต่ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 160-360 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการคายพลังงานของไฮโดรเจนหรือควิเทอเรียมอะตอมที่อยู่ในสถานะกระตุ้น

- หลอดทังสเตน ประกอบด้วยหลอดทังสเตนอยู่ในหลอดสุญญากาศซึ่งให้รังสีที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ช่วงยูวี จนถึงช่วง IR

โดยแหล่งกำเนิดรังสีควรมีลักษณะดังต่อไปนี้ ให้ลำแสงที่มีกำลังเพียงพอ ต้องแผ่รังสี (Radiation) ออกมาในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการ และคงที่ตลอดเวลา มิฉะนั้นแล้วผลการวิเคราะห์ที่ได้จะไม่มีความแม่นยำ

2. โมโนโครเมเตอร์ (Monochromater)

โมโนโครมาเตอร์เป็นส่วนสำคัญในการกำหนดคุณภาพของสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่แยกลำรังสีที่มีความยาวคลื่นต่อเนื่องออกเป็นลำรังสีความยาวคลื่นเดียว ในช่วงแสงที่แลเห็นได้ อาจใช้ปริซึมแก้ว ส่วนในช่วงยูวี จำเป็นต้องใช้ปริซึมที่ทำด้วยควอตซ์ สำหรับสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่

มีราคาแพง มักใช้โมโนโครเมเตอร์แบบ Diffraction grating ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีร่องเป็นจำนวนมากและความกว้างของร่องใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของรังสี

3. เซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่าง

เซลล์บรรจุสารตัวอย่างหรือคิวเวทท์ (cuvettes) ที่นิยมใช้มีดังนี้

- เซลล์ที่ทำด้วยแก้วใช้งานได้เฉพาะในช่วงวิสิเบิล ไม่สามารถใช้ในช่วงยูวีได้เนื่องจากเนื้อแก้วธรรมดาดูดกลืนแสงในช่วงยูวีได้

- เซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา (Silica) และควอทซ์ (Quartz) ใช้ได้ทั้งในช่วงยูวีและวิสิเบิล

4. เครื่องตรวจวัด (Detector)

เครื่องตรวจวัดทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ ใช้ได้ในช่วงความยาวคลื่นกว้างๆ ว่างไวต่อแสงที่มีความเข้มต่ำ มี Response time ที่เร็ว สัญญาณไฟฟ้าที่ออกมาสามารถขยายได้ง่าย สัญญาณที่ได้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานแสงที่ตกกระทบ และที่นิยมใช้มีดังนี้

- Phototube เป็นหลอดที่ทำด้วยแก้วหรือซิลิกา ภายในหลอดเกือบเป็นสุญญากาศ ที่ขั้วแคโทดฉาบด้วยสารที่สามารถให้อิเล็กตรอนเมื่อถูกแสง แล้วอิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังขั้วแอโนด จากนั้นวัดกระแสไฟที่ได้

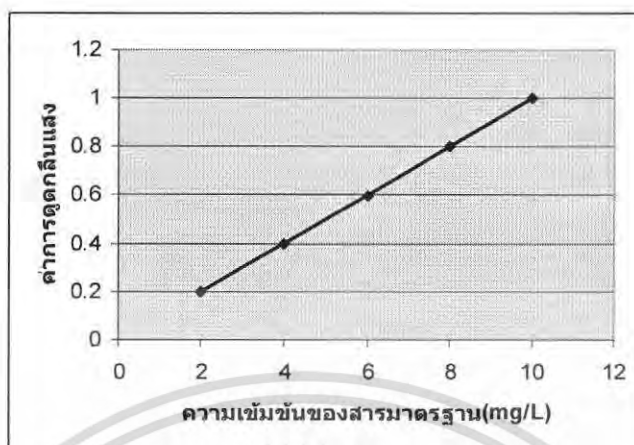
- Photomultiplier tube เป็นหลอดที่ขั้วแคโทดฉาบด้วยสารที่สามารถให้อิเล็กตรอนได้เมื่อถูกแสง โดยจะทำการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง จากนั้นสัญญาณจะถูกขยายให้มากขึ้น ซึ่งเหมาะแก่การวัดแสงที่มีกำลังต่ำ

5. เครื่องขยายสัญญาณและประมวลผล (Signal Processors and Data Read Out)

สัญญาณที่ได้จากเครื่องตรวจวัดจะเข้าสู่กระบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ คือ ขยายสัญญาณให้มากขึ้น หรืออาจเปลี่ยนสัญญาณ D.C. เป็น A.C. หรือ A.C. เป็น D.C. อาจมีการกรองสัญญาณที่ไม่ต้องการออกไป และทำการประมวลผลให้ข้อมูลออกมาในรูปของสเปกตรัมหรือตัวเลข

2.5 การวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยวิธีการสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) [4]

วิธีวิเคราะห์โดยสร้างกราฟมาตรฐานซึ่งพลอตกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่ใช้กับค่าการดูดกลืนแสง และหาปริมาณสารตัวอย่างโดยทำการวิเคราะห์ในสถานะเดียวกันกับสารมาตรฐาน แล้วนำค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างมาเทียบกับกราฟมาตรฐานจะสามารถคำนวณหาปริมาณสารที่สนใจในตัวอย่างได้



รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างกราฟมาตรฐาน

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

A.P. Soldatkin, D.V. Gorchkov, C. Martelet, N. Jaffrezic-Renault [5] ได้ทำการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไฮโปคลอไรต์ (HOCl/OCl⁻) ในสารละลายน้ำโดยใช้วิธีที่เกี่ยวกับทางชีวเคมี ซึ่ง Acetylcholine ไวต่อ sensitive enzyme sensor based on ion sensitive field effect transistors (ENFET) สามารถเตรียมได้โดยเชื่อมพันธะระหว่าง acetylcholinesterase (AChE) กับ albumin ซึ่งเป็นเลือดที่อยู่ในสัตว์จำพวกวัวใน glutaraldehyde ที่อิมมัลชันสถานะเป็นไฮโปนเฟ้น sensor ชีวจำกััดในการตรวจวัดของ HOCl/OCl⁻ น้อยที่สุดคือ 10⁻⁷M และที่ pH 6.0-6.5 ไฮโปคลอไรต์ 90-100% อยู่ในรูปของกรดไฮโปคลอรัส โดย sensitivity ของ biosensor ที่ได้พัฒนาเพื่อตรวจวัดสารจำพวกไฮโปคลอไรต์ ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ acetylcholine และเวลาที่ใช้หยุดปฏิกิริยาเคมี ปฏิกิริยาการนี้สามารถช่วยเพิ่ม sensitivity ของ pyridine-2-aldoxime methyl iodide (PAM-2) ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าเป็นสารที่ทำให้ cholinesterases กลับคืนสู่สภาพเดิม ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการหยุดปฏิกิริยาเคมีของ AChE โดย HOCl/OCl⁻ เป็นกลไกที่เกี่ยวข้องมากกว่าการหยุดปฏิกิริยาเคมีในกรณีของ organophosphorous pesticides

A. Sakai, D.G. Hendrickson และ W.H. Hendrickson [6] ทำการศึกษากลไกของปฏิกิริยาออกซิเดชันของปฏิกิริยาการแทนที่ไรดำแหน่ง *para* ของ 1-phenylethanol กับไฮโปคลอไรต์ในกรดแอซิดิก โดยค่า -1.8 เป็นค่า ρ ของปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้ ซึ่ง ketone ที่เกิดขึ้นนั้นได้มาจากแอลกอฮอล์ที่สูญเสีย hydride ค่า kinetic isotope effect คือ 3.0 เมื่อตัว oxidant หายไปตามด้วยการไทเทรตแบบไอโอโดเมทรี 5-nonanol ถูกออกซิไดซ์ประมาณ 20 ครั้งซึ่งเร็วกว่าการสลายตัวของ 1-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

butylpentyl hypochlorite อย่างไรก็ตามเมื่อเติมโซเดียมคลอไรด์ลงใน alkyl hypochlorite อัตราการเกิดของปฏิกิริยาก็จะประมาณนี้เหมือนกัน

D. Kuakpetoon และ Y.J. Wang [7] ได้ทำการศึกษากลไกปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮโปคลอไรท์ในแป้งซึ่งเป็นเรื่องทั่วไป แต่ถูกจำกัดด้วยข้อมูลของการกระจายตำแหน่งของการออกซิเดชันภายใน granule ของแป้ง ในงานวิจัยนี้ทำการหาตำแหน่งซึ่งเกิดการออกซิเดชันภายใน granule ของแป้งข้าวโพดโดยแปรผันไปตามจำนวน amylose ซึ่งรวมไปถึงแป้งข้าวโพดที่มีลักษณะจีเอ็ม (WC), แป้งข้าวโพดธรรมดา (CC) และแป้งข้าวโพดที่มีปริมาณ amylose สูงถึง 50% และ 70% (AWC) แป้งข้าวโพดที่ถูกออกซิไดซ์ทำให้ผิวหน้าเป็นเจลลาตินโดยใช้ 13 M LiCl ในปริมาณที่ต่างกัน (10%, 20%, 30% และ 40%) ผิวหน้าที่เป็นเจลลาตินที่มี granule อยู่ด้วยนั้นจะถูกแยกและศึกษาคุณสมบัติของโครงสร้างรวมถึงจำนวน carboxyl, amylose, การแบ่งความยาวสายโซ่ของ amylopectin, คุณสมบัติทางความร้อนและคุณสมบัติการบวมน้ำ การออกซิเดชันเกิดที่ lamellae ที่มีรูปร่างไม่แน่นอนเป็นส่วนใหญ่ หมู่ carboxyl จำนวนมากถูกพบที่ periphery มากกว่าที่แกนกลางของ granule ของแป้งซึ่งพบว่าเป็นของข้าวโพดที่มีปริมาณ amylose 70% (AWC) เป็นส่วนใหญ่ Amylase ส่วนมากเกิด depolymerization จากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นที่ periphery ของ CC สำหรับ WC และ CC, amylopectin สายโซ่ยาว ($> DP36$) มีแนวโน้มที่จะ depolymerization โดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน คุณสมบัติที่เป็นวุ้นนั้นถูกวัดโดย scanning calorimetry โดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างใน amylopectin จากปฏิกิริยาออกซิเดชันแป้งที่ถูกออกซิไดซ์จะมีขนาดมากกว่าอันที่ไม่ได้เปลี่ยนแปลงที่ระดับของการเอาผิวหน้าออกไป งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นตำแหน่งของการออกซิเดชันและการจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายใน granule ของแป้ง ซึ่งมีผลกับคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งที่ถูกออกซิไดซ์

H. Ohura, T. Imato และ S. Yamasaki [8] ได้ทำการพัฒนาวิธีวิเคราะห์สปีชีส์ของ oxychlorine พร้อมกัน เช่น ClO_3^- - ClO_2^- และ ClO_3^- - $HClO$ โดยใช้วิธี rapid potentiometric flow injection โดยใช้ทั้ง redox electrode detector และสารละลายบัฟเฟอร์ $Fe(III)-Fe(II)$ ที่มีคลอไรด์อยู่ด้วย พื้นฐานของวิธีวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับ การตรวจวัดประจุที่เป็น transient potential จำนวนมากของ redox electrode เนื่องมาจากคลอรีนที่เกิดโดยผ่านปฏิกิริยาของสปีชีส์ oxychlorine กับคลอไรด์ในสารละลายบัฟเฟอร์ ความไวของ $HClO$ และ ClO_2^- ที่ได้จากประจุที่เป็น transient potential ที่เพิ่มขึ้น 700-800 ซึ่งมากกว่าการใช้ equilibrium potential จี๊ดจำกัดของการตรวจวัดของวิธีนี้สำหรับ $HClO$ และ ClO_2^- นั้นต่ำเท่ากับ 5×10^{-8} M กับการใช้สารละลายบัฟเฟอร์ 5×10^{-4} M $Fe(III)$ - 1×10^{-3} M $Fe(II)$ ที่มี 0.3 M KCl และ 0.5 M H_2SO_4 ในทางตรงข้ามความไวของ ClO_3^- นั้นต่ำเมื่อใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มี 0.5 M H_2SO_4 แต่จะเพิ่มขึ้นมากเมื่อเพิ่มความเป็นกรดของสารละลายบัฟเฟอร์จี๊ดจำกัดของการตรวจวัดสำหรับ

ClO_3^- คือ $2 \times 10^{-6} \text{ M}$ กับการใช้ สารละลายบัฟเฟอร์ $5 \times 10^{-4} \text{ M Fe(III)} - 1 \times 10^{-3} \text{ M Fe(II)}$ ที่มี 0.3 M KCl และ $9 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ การใช้ประโยชน์ความแตกต่างในการเกิดปฏิกิริยาของสปีชีส์ oxychlorine กับ สารละลายบัฟเฟอร์ที่มี chloride โดยใช้วิธีวิเคราะห์ไปพร้อมกันที่พัฒนาขึ้นเพื่อที่จะตรวจวัด สารละลายผสมของ $\text{ClO}_3^- - \text{ClO}_2^-$ หรือ $\text{ClO}_3^- - \text{HClO}$ ประจุที่เป็น transient potential กับการใช้ สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ต่างกันช่วงความเข้มข้นของการวิเคราะห์สปีชีส์ของoxychlorine คือ $2 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4} \text{ M}$ สำหรับ ClO_3^- และ $1 \times 10^{-6} - 1 \times 10^{-5} \text{ M}$ สำหรับ HClO และ ClO_2^- reproducibility ของวิธีนี้อยู่ในช่วง 1.5-2.3% กลไกปฏิกิริยาสำหรับประจุที่เป็น transient potential ของวิธีนี้ก็ได้อธิบายไว้ด้วยเหมือนกันซึ่งขึ้นอยู่กับผลการทดลองในแต่ละครั้ง การใช้วิธีนี้ เพื่อที่จะหาปริมาณของสปีชีส์ oxychlorine ในสารตัวอย่างที่เป็นน้ำ และการค้นพบวิธีนี้เพื่อที่จะให้ผล ของการวิเคราะห์ของ HClO นั้นดีกับที่ได้โดยวิธี *o*-tolidine และเพื่อที่จะให้ค่า recovery ของ ClO_3^- นั้น ดีเมื่อเติมลงในสารตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี

1. เหล็ก (II) ซัลเฟต, FeSO_4 , เกรดวิเคราะห์, บริษัท CARLO ERBA REAGENTI
2. กรดซัลฟูริก, H_2SO_4 , เกรดวิเคราะห์, บริษัท BDH Laboratory Supplies
3. โซเดียมไฮโปคลอไรต์ $7\% \pm 0.2\%$, NaClO , เกรดวิเคราะห์, บริษัท CARLO ERBA REAGENTI
4. โซเดียมไทโอซัลเฟต, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, เกรดวิเคราะห์, บริษัท Ajex Finechem
5. โซเดียมคาร์บอเนต, Na_2CO_3 , เกรดวิเคราะห์, บริษัท CARLO ERBA REAGENTI
6. โพแทสเซียมไอโอเดต, KIO_3 , เกรดวิเคราะห์, บริษัท CARLO ERBA REAGENTI
7. แป้ง, starch soluble, เกรดวิเคราะห์, บริษัท CARLO ERBA REAGENTI
8. กรดแกลซีลแอซิดิก, CH_3COOH , เกรดวิเคราะห์, บริษัท Mallinckrodt Baker, Inc.
9. ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว

อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
3. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 1000 มิลลิลิตร
4. กรวยกรอง
5. แท่งคนสาร
6. กระจกบอกล้น
7. สำลี
8. ซ้อนตักสาร
9. หลอดหยด
10. ขวดสีน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. เตาไฟฟ้า
12. บีเปต ขนาด 25 มิลลิลิตร
13. บีเปต ขนาด 5 มิลลิลิตร
14. บีเปต ขนาด 2 มิลลิลิตร
15. ขวดรูปกรวย ขนาด 250 มิลลิลิตร
16. บิวเรต

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องยวี่-วิตีเบลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เครื่องชั่ง

3.2 การเตรียมสารละลายเคมี

3.2.1 สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตเข้มข้น 0.10 M

เตรียมได้โดยละลาย 25 กรัมของโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ในน้ำกลั่นที่ต้มเดือดแล้ว และทำให้เย็นใหม่ๆ เติม 0.10 กรัม โซเดียมคาร์บอเนตลงไปเพื่อให้ปริมาตรของสารละลายเป็น 1 ลิตร เก็บสารละลายนี้ในขวดสีน้ำตาล สารละลายนี้ควรไทเทรตหาความเข้มข้นก่อนใช้ทุกวัน

3.2.2 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอเดตเข้มข้น 1/60 M

นำโพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) ไปทำให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาทำให้เย็นในเดสซิเคเตอร์ ชั่งโพแทสเซียมไอโอเดตที่ได้ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนและใกล้เคียงกับ 0.356 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและทำให้สารละลายมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายนี้

3.2.3 สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้นร้อยละ 10

เตรียมได้โดยละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ชนิดรีเอเจนต์เกรด 10 กรัมในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

3.2.4 น้ำแป้ง

เตรียมได้โดยนำ 1.0 กรัมของแป้งที่ละลายน้ำได้ (soluble starch) มาละลายในน้ำเล็กน้อย คนให้แป้งเปียกในบีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร เทน้ำร้อนที่เดือด 100 มิลลิลิตร ลงไปแล้วคนให้แป้งละลาย ต้มสารละลายที่ได้ 1 นาที แล้วทำสารละลายให้เย็น เติม 2 กรัม โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) คนสารละลาย

ที่ได้ให้ผสมกันแล้วเก็บไว้ในขวดที่มีจุดอุด

3.2.5 สารละลายเหล็ก (II) ซัลเฟตเข้มข้น 0.1 M

เตรียมได้โดยชั่งเหล็ก(II) ซัลเฟต ให้ได้น้ำหนักใกล้เคียง 1.40 กรัม โดยใช้เครื่องชั่งที่มีทศนิยม 4 ตำแหน่ง ละลายในน้ำกลั่น และทำให้สารละลายมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร คำนวณหาความเข้มข้นแน่นอนของสารละลาย

3.2.6 สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.0 M

เตรียมได้โดยปิเปตสารละลายสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 18 M (conc.H₂SO₄) ปริมาตร 5.5 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร คำนวณหาความเข้มข้นแน่นอนของสารละลาย

3.2.7 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว

เตรียมได้โดยปิเปตตัวอย่างผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

3.3.1 ทำการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก(II) ไปเป็นเหล็ก (III)

3.3.1.1 การหาค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสม

1. ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานไฮโปคลอไรต์ โดยปิเปตมา 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร
2. ทำการปิเปตสารละลายที่เตรียมขึ้นมา 6 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร เติมสารละลายเหล็ก (II) ซัลเฟต เข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 3 มิลลิลิตร และสารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 1.0 M ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร และเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
3. นำสารละลายที่เตรียมขึ้นมาสแกนหาค่าความยาวคลื่นที่ทำให้เกิดการดูดกลืนแสงสูงสุด (λ Max) โดยสแกนในช่วงความยาวคลื่น 300 - 500 นาโนเมตร

๕

3.3.1.2 การศึกษาผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการตรวจวัด

1. ทำการเตรียมสารละลายโดย ปิเปตสารละลายมาตรฐานไฮโปคลอไรต์มา 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร
2. ทำการปิเปตสารละลายที่เตรียมขึ้นมา 6 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร เติมสารละลายเหล็ก(II) ซัลเฟต เข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 3 มิลลิลิตร และสารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 1.0 M ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร และเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
3. นำสารละลายที่เตรียมไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 450 นาโนเมตร ที่เวลาต่างๆกัน คือ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 นาที ตามลำดับ โดยทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 7 ครั้ง

3.3.1.3 การศึกษาผลของปริมาตรของสารละลายเหล็ก(II) ซัลเฟต

1. ทำการเตรียมสารละลายโดย ปิเปตสารละลายมาตรฐานไฮโปคลอไรต์มา 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร
2. ทำการปิเปตสารละลายที่เตรียมได้ขึ้นมา 6 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร เติมสารละลายเหล็ก(II) ซัลเฟต เข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 1.0 M ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร และเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
3. นำสารละลายที่เตรียมได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 450 นาโนเมตร ที่เวลา 2.5 นาที และทำการทดลองซ้ำโดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาตรสารละลาย เหล็ก(II) ซัลเฟตเป็น 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ โดยที่แต่ละปริมาตรให้ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 7 ครั้ง

3.3.1.4 การศึกษาผลของปริมาตรของสารละลายกรดซัลฟูริก

1. ทำการเตรียมสารละลาย โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานไฮโปคลอไรต์มา 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร
2. ทำการปิเปตสารละลายที่เตรียมขึ้นมา 6 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร เติมสารละลายเฟอร์รัส(II) ซัลเฟต เข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 3 มิลลิลิตร และสารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 1.0 M ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร และเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

- นำสารละลายที่เตรียมไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 450 นาโนเมตร ที่เวลา 2.5 นาที และทำการทดลองซ้ำโดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาตรสารละลายกรดซัลฟูริกเป็น 0.40, 0.50, 0.60, 0.70 และ 0.80 มิลลิลิตร ตามลำดับ โดยที่แต่ละปริมาตรให้ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 7 ครั้ง

3.3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ด้วยเทคนิคยูวีสเปกโตรสโกปีที่พัฒนาขึ้น

3.3.2.1 ช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน

- ทำการทดลองโดยเตรียมสารละลายมาตรฐานไฮโปคลอไรต์ 5 ความเข้มข้น
- โดยปิเปตสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เติมสารละลายเหล็ก (II) ซัลเฟต เข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 3 มิลลิลิตร และ สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.0 M ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
- ทำซ้ำด้วยวิธีดังกล่าว โดยเปลี่ยนแปลงปริมาตรสารละลายมาตรฐานไฮโปคลอไรต์เป็น 6, 7, 8 และ 9 มิลลิลิตร ตามลำดับ
- นำสารละลายแต่ละขวดไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 450 นาโนเมตร
- ทำการสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายไฮโปคลอไรต์

3.3.2.2 ความเที่ยงของวิธีการวิเคราะห์

- ทำการทดลองได้โดยปิเปตตัวอย่างที่เตรียมไว้ ปริมาตร 6 มิลลิลิตร เติมสารละลายเหล็ก (II) ซัลเฟต เข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 3 มิลลิลิตร และสารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 1.0 M ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
- นำสารละลายที่เตรียมไว้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 450 นาโนเมตร โดยทำการเปลี่ยนการวัดตัวอย่างเป็นขวดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ โดยที่แต่ละขวดทำการวัดซ้ำทั้งหมด 7 ครั้ง
- คำนวณหาค่า %RSD ในแต่ละครั้ง

3.3.2.3 ความเที่ยงของการวัด

1. ทำการทดลองได้โดยปิเปตตัวอย่างที่ 1 ที่เตรียมไว้ ปริมาตร 6 มิลลิลิตร เติม สารละลายเหล็ก (II) ซัลเฟต เข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 3 มิลลิลิตร และสารละลาย กรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.0M ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
2. นำสารละลายที่เตรียมไว้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 450 นาโนเมตร โดยทำการเปลี่ยนการวัดตัวอย่างเป็นขวดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ โดยที่แต่ละขวดทำการวัดซ้ำทั้งหมด 7 ครั้ง
3. คำนวณหาค่า %RSD ของการวัดซ้ำในแต่ละขวดตัวอย่าง

3.3.2.4 ความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์

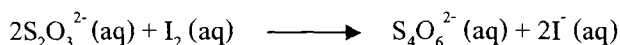
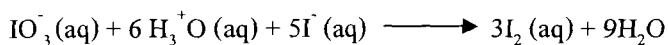
1. ทำการทดลองได้โดยปิเปตตัวอย่างที่เตรียมไว้ ปริมาตร 6 มิลลิลิตร สารละลาย เหล็ก (II) ซัลเฟต เข้มข้น 0.1 M ปริมาตร 3 มิลลิลิตร และสารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น 1.0 M ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
2. นำสารละลายที่เตรียมไว้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 450 นาโนเมตร โดยทำการเปลี่ยนการวัดตัวอย่างเป็นขวดที่ 2 และ 3 ตามลำดับ โดยที่แต่ละขวดทำการวัดซ้ำทั้งหมด 7 ครั้ง
3. คำนวณหาค่า T-test ของแต่ละตัวอย่าง โดยนำวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณ ไฮโปคลอไรต์ด้วยเทคนิคยูวีสเปกโตรสโกปีที่พัฒนาขึ้นมาเปรียบเทียบผลการ วิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานคือ วิธีการไทเทรตแบบไอโอโดเมทรี

วิธีมาตรฐานการไทเทรตแบบไอโอโดเมทรี

ตอนที่ 1 หากความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

1. ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไอโอเดตมา 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติม 10 มิลลิลิตรของสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้นร้อยละ 10 และ 5 มิลลิลิตร ของสารละลาย 1.0 M H_2SO_4
3. นำสารละลายที่ได้มาไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตจากบิวเรตจนสารละลาย ที่ได้มีสีจางอ่อน แล้วจึงเติมน้ำแป้ง 2 มิลลิลิตร จะได้สารละลายสีน้ำเงิน

- นำไปไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินจางหายไป ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งผลที่ได้ปริมาตรไม่ควรแตกต่างกันเกิน 0.1 มิลลิลิตร
- คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตจากสมการข้างล่าง



ตอนที่ 2 การหาปริมาณคลอรีนอิสระในผงฟอกขาว

- ปิเปตสารตัวอย่างมา 10 มิลลิลิตรใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร
- ปิเปตสารละลายตัวอย่างมา 6 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 75 มิลลิลิตร และสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้นร้อยละ 10 จำนวน 20 มิลลิลิตร ให้ทำการไทเทรตทันที โดยเติมสารละลายกรดเกลือเชิลแอซิดิก 10 มิลลิลิตร เขย่าสารละลายให้เข้ากัน
- นำสารละลายที่ได้ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตจากบิวเรตจนได้สารละลายสีชาอ่อน แล้วจึงเติมน้ำแบ่ง 2 มิลลิลิตร จะได้สารละลายสีน้ำเงินนำไปไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินจางหายไป
- ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง กำหนดหาปริมาตรร้อยละของคลอรีนอิสระ

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปราย

4.1 การศึกษาหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัด

จากการศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว โดยทำการสแกนสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 300 – 500 นาโนเมตร พบว่าความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร มีความเหมาะสมสำหรับการตรวจวัด ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงสเปกตรัมที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัด

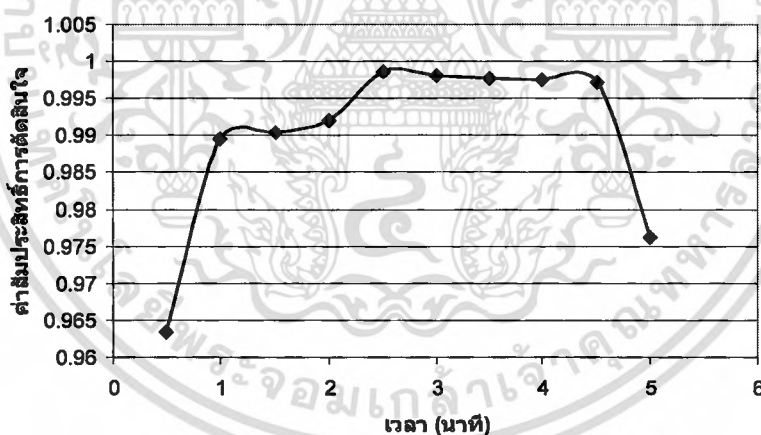
4.2 การศึกษาผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการตรวจวัด

จากการศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว โดยทำการแปรค่าระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 0.5 นาที, 1.0 นาที, 1.5 นาที, 2.0 นาที, 2.5 นาที, 3.0 นาที, 3.5 นาที, 4.0 นาที, 4.5 นาที และ 5.0 นาที พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.9634, 0.9895, 0.9904, 0.9921, 0.9986, 0.9980, 0.9977, 0.9976, 0.9971 และ 0.9762 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยา ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีแนวโน้มสูงขึ้นจนกระทั่ง ณ เวลาหนึ่ง จะมีแนวโน้มลดลง ดังนั้นจึงเลือกระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 2.5 นาที เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุด เป็นตัวแทนเพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานไฮโปคลอไรต์ ณ เวลาต่างๆ

สารละลาย มาตรฐานไฮโปคลอไรต์ (%w/w)	ค่าการดูดกลืนแสง									
	เวลา (นาทื)									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
0.11	0.071	0.067	0.065	0.061	0.060	0.058	0.058	0.057	0.057	0.038
0.14	0.086	0.082	0.080	0.077	0.075	0.073	0.071	0.071	0.070	0.057
0.17	0.102	0.098	0.091	0.088	0.087	0.085	0.083	0.083	0.082	0.064
0.20	0.142	0.123	0.113	0.109	0.102	0.099	0.098	0.096	0.095	0.078
0.23	0.170	0.144	0.127	0.121	0.117	0.115	0.113	0.112	0.111	0.099
R^2	0.9634	0.9895	0.9904	0.9921	0.9986	0.9980	0.9977	0.9976	0.9971	0.9762



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนใจกับระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

4.3 การศึกษาผลของปริมาณของสารละลายเหล็ก (II) ซัลเฟต เข้มข้น 0.1 M ที่เหมาะสม

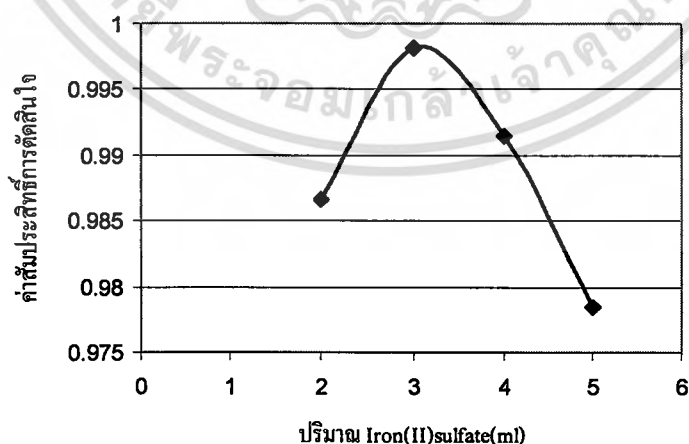
จากการศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว โดยทำการปรับปริมาณสารละลายเหล็ก (II) ซัลเฟต เข้มข้น 0.1 M เป็น 2.0 ml, 3.0 ml, 4.0 ml และ 5.0 ml พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนใจ (R^2) เท่ากับ 0.9866, 0.9982, 0.9915 และ 0.9784 ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายเหล็ก (II) ซัลเฟต เข้มข้น 0.1 M ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนใจมีแนวโน้มสูงขึ้นจนกระทั่ง ณ ปริมาณหนึ่งจะมีแนวโน้มลดลง ดังนั้นจึงเลือกปริมาณของสารละลาย เหล็ก (II) ซัลเฟต เข้มข้น 0.1 M 3.0 ml เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนใจสูงสุด เป็นตัวแทนเพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานไฮโปคลอไรต์ ณ ปริมาณสารละลายเหล็ก (II) ซัลเฟต ต่างๆ

ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานไฮโปคลอไรต์ (%w/w)	ค่าการดูดกลืนแสง			
	ปริมาณของสารละลายเหล็ก (II) ซัลเฟต (ml)			
	2.0	3.0	4.0	5.0
0.11	0.023	0.042	0.054	0.063
0.14	0.044	0.059	0.077	0.100
0.17	0.057	0.074	0.091	0.114
0.20	0.077	0.094	0.118	0.160
0.23	0.104	0.109	0.142	0.179
R^2	0.9866	0.9982	0.9915	0.9784



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนใจกับปริมาณสารละลายเหล็ก (II) ซัลเฟต

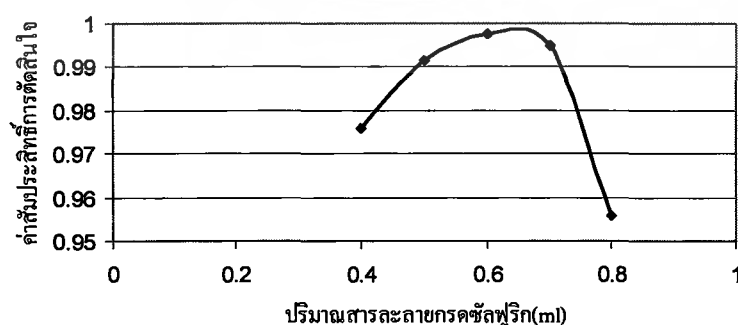
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การศึกษาผลของปริมาณของสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.0 M ที่เหมาะสม

จากการศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว โดยทำการปรับปริมาณสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.0 M เป็น 0.3 ml, 0.4 ml, 0.5 ml, 0.6 ml, 0.7 ml และ 0.8 ml พบว่า ณ ปริมาณสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.0 M 0.4 ml, 0.5 ml, 0.6 ml, 0.7 ml และ 0.8 ml มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.9757, 0.9914, 0.9976, 0.9949 และ 0.9559 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ส่วนปริมาณ 0.3 ml สารละลายที่เตรียมได้เกิดตะกอน และจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.0 M ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีแนวโน้มสูงขึ้นจนกระทั่ง ณ ปริมาณหนึ่งจะมีแนวโน้มลดลง ดังนั้นจึงเลือกปริมาณของสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.0 M 0.6 ml เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุดเป็นตัวแทนเพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานไฮโปคลอไรต์ ณ สารละลายกรดซัลฟูริกปริมาณต่างๆ

ความเข้มข้นสารละลาย มาตรฐานไฮโปคลอไรต์ (%w/w)	ค่าการดูดกลืนแสง				
	ปริมาณสารละลายกรดซัลฟูริก (ml)				
	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
0.11	0.053	0.031	0.020	0.014	0.012
0.14	0.120	0.067	0.049	0.037	0.027
0.17	0.161	0.134	0.084	0.063	0.031
0.20	0.189	0.169	0.122	0.094	0.054
0.23	0.231	0.220	0.150	0.112	0.074
R^2	0.9757	0.9914	0.9976	0.9949	0.9559



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจกับปริมาณของสารละลายกรดซัลฟูริก

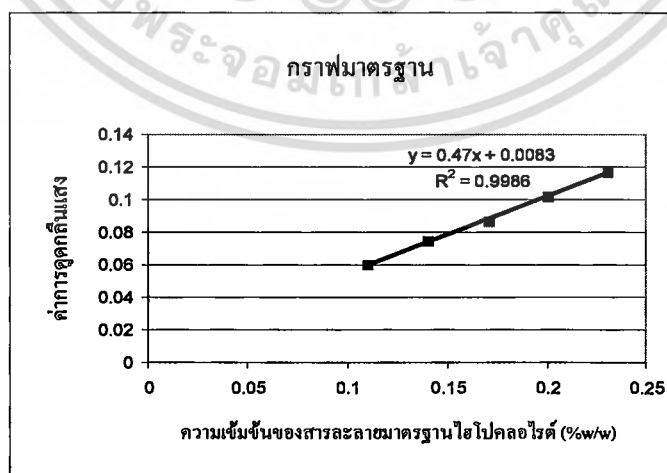
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน

จากการศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว สภาวะที่เลือกใช้ดังต่อไปนี้ ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร, ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 2.5 นาที, ปริมาณของสารละลายเหล็ก (II) ซัลเฟต เข้มข้น 0.1 M 3.0 ml และปริมาณของสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.0 M 0.6 ml พบว่าสารละลายมาตรฐานไฮโปคลอไรต์เข้มข้น 0.11 %w/w, 0.14 %w/w, 0.17 %w/w, 0.20 %w/w และ 0.23 %w/w มีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.060, 0.075, 0.087, 0.102 และ 0.117 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าเมื่อนำค่าดังกล่าวไปสร้างกราฟมาตรฐาน สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ได้เท่ากับ 0.9986 และสมการเส้นตรงคือ $y = 0.47x + 0.0083$ ดังนั้นช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานคือ ระดับความเข้มข้น 0.11 %w/w ถึง 0.23 %w/w

ตารางที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานไฮโปคลอไรต์

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไฮโปคลอไรต์(%w/w)	ค่าการดูดกลืนแสง
0.11	0.060
0.14	0.075
0.17	0.087
0.20	0.102
0.23	0.117



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานไฮโปคลอไรต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การศึกษาความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์

จากการศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว สภาวะที่เลือกใช้ดังต่อไปนี้ ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร, ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 2.5 นาที, ปริมาณของสารละลายเหล็ก (II) ซัลเฟต เข้มข้น 0.1 M 3.0 ml และปริมาณของสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.0 M 0.6 ml ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.5 สามารถหาค่าเฉลี่ยปริมาณไฮโปคลอไรต์ของตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 อยู่ในช่วง 5.88-6.18 %w/w และ 5.15-5.32 %w/w ตามลำดับ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 อยู่ในช่วง ± 0.05 -0.26 และ ± 0.05 -0.15 ตามลำดับ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ของตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2 อยู่ในช่วง 0.87-4.25 %RSD และ 0.89-2.88 %RSD ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ขวดที่	ค่าการดูดกลืนแสง						
		วัดครั้งที่						
		1	2	3	4	5	6	7
1	1	0.077	0.078	0.079	0.074	0.076	0.075	0.076
	2	0.078	0.075	0.079	0.074	0.076	0.077	0.075
	3	0.079	0.077	0.074	0.076	0.075	0.079	0.074
2	1	0.066	0.066	0.068	0.067	0.068	0.068	0.066
	2	0.067	0.069	0.068	0.066	0.069	0.067	0.066
	3	0.066	0.066	0.069	0.067	0.068	0.067	0.068

ตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณไฮโปคลอไรต์ของสารละลายตัวอย่างและความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์

ตัวอย่าง	ขวด ที่	ปริมาณไฮโปคลอไรต์(%w/w)						
		วัดครั้งที่						
		1	2	3	4	5	6	7
1	1	6.09	6.18	6.27	5.82	6.00	5.91	6.00
	2	6.18	5.91	6.27	5.82	6.00	6.09	5.91
	3	6.27	6.09	5.82	6.00	5.91	6.27	5.82
ค่าเฉลี่ย		6.18	6.06	6.12	5.88	5.97	6.09	5.91
SD		0.09	0.14	0.26	0.10	0.05	0.18	0.09
%RSD		1.46	2.27	4.25	1.77	0.87	2.96	1.52
2	1	5.12	5.12	5.29	5.20	5.29	5.29	5.12
	2	5.20	5.38	5.29	5.12	5.38	5.20	5.12
	3	5.12	5.12	5.38	5.20	5.29	5.20	5.29
ค่าเฉลี่ย		5.15	5.21	5.32	5.17	5.32	5.23	5.18
SD		0.05	0.15	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10
%RSD		0.89	2.88	0.98	0.89	0.98	0.99	1.90

4.7 การศึกษาความเที่ยงของการวัด

จากการศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว สภาวะที่เลือกใช้ ดังต่อไปนี้ ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร, ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 2.5 นาที, ปริมาณของสารละลายเหล็ก (II) ซัลเฟต เข้มข้น 0.1 M 3.0 ml และปริมาณของสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.0 M 0.6 ml ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.5 สามารถหาค่าเฉลี่ยของปริมาณไฮโปคลอไรต์ของตัวอย่างที่ 1 อยู่ในช่วง 6.02-6.04 %w/w และตัวอย่างที่ 2 อยู่ในช่วง 5.20-5.24 %w/w ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของตัวอย่างที่ 1 อยู่ในช่วง $\pm 0.16-0.19$ และตัวอย่างที่ 2 อยู่ในช่วง $\pm 0.09-0.11$ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ของตัวอย่างที่ 1 อยู่ในช่วง 2.56-3.19 %RSD และตัวอย่างที่ 2 อยู่ในช่วง 1.63- 2.11 %RSD ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณไฮโปคลอไรต์ของสารละลายตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ขวด ที่	ปริมาณไฮโปคลอไรต์(%w/w)							ค่าเฉลี่ย	SD	%RSD
		วัดครั้งที่									
		1	2	3	4	5	6	7			
1	1	6.09	6.18	6.27	5.82	6.00	5.91	6.00	6.04	0.16	2.56
	2	6.18	5.91	6.27	5.82	6.00	6.09	5.91	6.02	0.16	2.69
	3	6.27	6.09	5.82	6.00	5.91	6.27	5.82	6.03	0.19	3.19
2	1	5.12	5.12	5.29	5.20	5.29	5.29	5.12	5.20	0.09	1.63
	2	5.20	5.38	5.29	5.12	5.38	5.20	5.12	5.24	0.11	2.11
	3	5.12	5.12	5.38	5.20	5.29	5.20	5.29	5.23	0.10	1.84

4.8 การศึกษาความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์

จากการศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาวด้วยเทคนิคยูวีสเปกโทส-โกปีที่พัฒนาขึ้น ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.5 และ 4.6 มาเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการไทเทรตแบบไอโอโดเมทรีแสดงในตารางที่ 4.8 และ 4.9 ด้วยวิธี T-test จะเห็นว่าค่า T-test ของตัวอย่าง 1 และตัวอย่าง 2 มีค่าเท่ากับ 1.496 และ -1.919 ตามลำดับ ซึ่งค่า T-test ที่ได้นั้นมีค่าน้อยกว่าค่า T-test จากตาราง ที่ degree of freedom เท่ากับ 2 และระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.303 ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ดังนั้นความแม่นยำของวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ยอมรับได้ เนื่องจากทั้ง 2 วิธีนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.8 แสดงปริมาณของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไปของวิธีไทเทรตแบบไอโอโดเมทรี

ตัวอย่าง	ขวดที่	ปริมาณของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ที่ใช้ไป (ml)			
		ไทเทรตครั้งที่			
		1	2	3	4
1	1	16.60	16.60	16.70	16.70
	2	16.60	16.70	16.50	16.60
	3	16.40	16.30	16.40	16.30
2	1	14.70	14.60	14.50	14.65
	2	14.55	14.60	14.60	14.50
	3	14.50	14.50	14.60	14.40

ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณไฮโปคลอไรต์ของสารละลายตัวอย่างด้วยวิธีไทเทรตแบบไอโอโดเมทรี

ตัวอย่าง	ขวด ที่	ปริมาณไฮโปคลอไรต์(%w/w)				ค่าเฉลี่ย	SD	%RSD
		ไทเทรตครั้งที่						
		1	2	3	4			
1	1	6.00	6.00	6.04	6.04	6.02	0.02	0.38
	2	6.00	6.04	5.96	6.00	6.00	0.03	0.54
	3	5.93	5.89	5.93	5.89	5.91	0.02	0.39
2	1	5.31	5.28	5.24	5.29	5.28	0.03	0.56
	2	5.26	5.28	5.28	5.24	5.27	0.02	0.36
	3	5.24	5.24	5.28	5.20	5.24	0.03	0.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้นกับวิธีมาตรฐาน โดยวิธี T-test

ตัวอย่าง	ขวดที่	ค่าเฉลี่ย		T-test
		วิธีที่พัฒนาขึ้น	วิธีมาตรฐาน	
1	1	6.04	6.02	1.496
	2	6.02	6.00	
	3	6.03	5.91	
2	1	5.20	5.28	-1.919
	2	5.24	5.27	
	3	5.23	5.24	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

ในการทดลองนี้ได้นำเอาปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก(II) มาวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ง่าย และไม่ยุ่งยากซับซ้อน โดยศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การศึกษาหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดปริมาณไฮโปคลอไรต์โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก(II) พบว่าความยาวคลื่นที่เหมาะสม คือ 450 นาโนเมตร
2. การศึกษาระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการตรวจวัดปริมาณไฮโปคลอไรต์โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก(II) พบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 2.5 นาที เมื่อนำมาสร้างกราฟมาตรฐาน จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดใจ (R^2) เท่ากับ 0.9915
3. การศึกษาปริมาณของสารละลายเหล็ก(II) ซัลเฟตที่เหมาะสมในการตรวจวัดปริมาณไฮโปคลอไรต์โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก(II) พบว่าปริมาณของสารละลายเหล็ก(II) ซัลเฟตเท่ากับ 3 มิลลิลิตร เมื่อนำมาสร้างกราฟมาตรฐานจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดใจ (R^2) เท่ากับ 0.9982
4. การศึกษาปริมาณของสารละลายกรดซัลฟูริกที่เหมาะสมในการตรวจวัดปริมาณไฮโปคลอไรต์โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก(II) พบว่าปริมาณของสารละลายกรดซัลฟูริกเท่ากับ 0.6 มิลลิลิตร เมื่อนำมาสร้างกราฟมาตรฐานจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดใจ (R^2) เท่ากับ 0.9976
5. จากการสร้างกราฟมาตรฐาน สำหรับการตรวจวัดปริมาณไฮโปคลอไรต์โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก(II) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดใจ (R^2) เท่ากับ 0.9986
6. การศึกษาเปรียบเทียบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาวระหว่างวิธีที่พัฒนาขึ้น(การตรวจวัดปริมาณไฮโปคลอไรต์โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก (II) กับวิธีมาตรฐาน (วิธีไอโอโดเมทรี) โดยใช้ T-test พบว่าผลการวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาวทั้ง 2 วิธี ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

7. การศึกษาความเที่ยง (Precision) ของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณไฮโปคลอไรต์ในผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาวโดยวิธีที่พัฒนาขึ้น (การตรวจวัดปริมาณไฮโปคลอไรต์โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก(II)) เมื่อทำการทดลอง 3 ตัวอย่าง โดยทำซ้ำตัวอย่างละ 7 ครั้ง คำนวณหาค่า %RSD ได้อยู่ในช่วง 0.87-4.25%RSD และศึกษาความเที่ยงของการวัดซ้ำคำนวณหาค่า %RSD อยู่ในช่วง 1.63-3.19%RSD

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการตรวจวัดปริมาณไฮโปคลอไรต์โดยอาศัยปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก(II) สามารถใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็น 2.5 นาที ถึง 4.5 นาที ได้ เพราะ เมื่อนำมาสร้างกราฟมาตรฐาน จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่ดีและใกล้เคียงกัน
2. ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานไฮโปคลอไรต์ และตัวอย่างผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาว ต้องทำอย่างรวดเร็ว เนื่องจากไฮโปคลอไรต์ จะเกิดการสลายตัวเป็น Cl_2 อย่างรวดเร็ว
3. การไทเทรตด้วยวิธีไอโอโดเมตรี เมื่อเติม KI ลงไปในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ซักผ้าขาวแล้ว I^- จะเปลี่ยนไปเป็น I_2 จึงควรไทเทรตอย่างรวดเร็ว

เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล, การหาปริมาณคลอรีนอิสระในผงฟอกสีหรือผงคลอรีน, ปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ 153-160.
- [2] ลาวัลย์ ศรีพงษ์, อัลดราไวโอเลตวิทีเบิลสเปกโตรสโคปี, ภาควิชาเภสัชเคมี คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พ.ศ. 2534.
- [3] http://www.gprocurement.go.th/06_tor/uploads/22138/1/spec_UV2550chem.doc
- [4] นิพนธ์ ตั้งคณานุรักษ์, คณิดา ตั้งคณานุรักษ์, สเปกโตรสโคปีด้านการวิเคราะห์ (Analytical Spectroscopy): สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2547.
- [5] A.P. Soldatkin, D.V. Gorchkov, C. Martelet and N. Jaffrezic-Renault, New enzyme potentiometric sensor for hypochlorite species detection, Sensors and Actuator B chemical **43** (1997) 99-104.
- [6] A. Sakai, D.G. Hendrickson and W.H. Hendrickson, Mechanism of the oxidation of *para*-substituted 1-phenylethanols with sodium hypochlorite in acetic acid, Tetrahedron Letters **41** (2000) 2759-2763.
- [7] D. Kuakpetoon and Y.J. Wang, Location of hypochlorite oxidation in corn starches varying in amylase content, Carbohydrate Research **343** (2008) 90-100.
- [8] H. Ohura, T. Imato and S. Yamasaki, Simultaneous potentiometric of ClO_3^- - ClO_2^- and ClO_3^- - HClO by flow injection analysis using Fe(III) – Fe(II) potential buffer, Talanta **49** (1999) 1003-1015.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ตารางแสดงค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานและค่าศักย์ไฟฟ้าฟอร์มอลของขั้วไฟฟ้าบางชนิดที่ 25°

ครึ่งปฏิกิริยา	ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน (โวลต์)	ค่าศักย์ไฟฟ้าฟอร์มอล (โวลต์)
$\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2 e^- \rightarrow \text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$	-	0.890 (1M NaOH)
$\text{Fe}^{3+} + e^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$	+0.771	0.70 (1M HCl) 0.767 (1M HClO ₄) 0.68 (1M H ₂ SO ₄) 0.44 (0.3M H ₃ PO ₄)

การคำนวณหาปริมาณไฮโปคลอไรต์จากวิธีไอโอดิเมทรี

ตัวอย่างการคำนวณ จากตัวอย่างขวดที่ 1 ไทเทรตครั้งที่ 1 ใช้สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 16.70 มิลลิลิตร

โซเดียมไทโอซัลเฟตทำปฏิกิริยากับไฮโปคลอไรต์ในอัตราส่วน 2 : 1 จะได้

$$\begin{aligned} \text{Mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 &= \text{Mol Cl}_2 \\ \frac{0.1018\text{M} \times 16.70\text{ml}}{2} &= C \times 10.0 \\ C &= 0.085003 \% \text{ w/w} \end{aligned}$$

สารละลายตัวอย่างปริมาตร 10.0 ml มี Cl₂ อยู่ 8.50003 x 10⁻³ ml

$$\begin{aligned} \text{สารละลายตัวอย่างปริมาตร } 100.0 \text{ ml มีตัวอย่างอยู่ } 10.0\text{ml Cl}_2 &= 8.50003 \times 10^{-2} \text{ ml} \\ &= 8.50003 \times 10^{-2} \times 71 \\ &= 6.035\% \text{ w/w} \end{aligned}$$

สำหรับการคำนวณหาปริมาณไฮโปคลอไรต์ในตัวอย่างขวดอื่นๆสามารถทำได้เช่นเดียวกันกับวิธีดังกล่าว

การหาความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์

ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์รายงานด้วยค่า % RSD

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

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

\bar{X} คือ ค่าเฉลี่ย

ตัวอย่างการคำนวณ จากการวัดตัวอย่างทั้ง 3 ขวด ครั้งที่ 1 ที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้น มีค่า SD เท่ากับ 0.09 และมีค่า \bar{X} เท่ากับ 6.18

$$\% \text{RSD} = \frac{0.09}{6.18} \times 100$$

$$\% \text{RSD} = 1.46$$

เพราะฉะนั้น %RSD ของการวัดตัวอย่างทั้ง 3 ขวด ครั้งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 1.46%

ตัวอย่างการคำนวณ จากการไทเทรตตัวอย่างทั้ง 3 ขวด ครั้งที่ 1 ที่ได้จากวิธีการไทเทรตแบบ ไอโอโดเมทรีมีค่า SD เท่ากับ 0.04 และมีค่า \bar{X} เท่ากับ 5.98

$$\% \text{RSD} = \frac{0.0404}{5.98} \times 100$$

$$\% \text{RSD} = 0.68$$

เพราะฉะนั้น %RSD ของการไทเทรตตัวอย่างทั้ง 3 ขวด ครั้งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.68 %

การหาความเที่ยงของการวัดซ้ำ

ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์รายงานด้วยค่า % RSD

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

SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

\bar{X} คือ ค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ จากการวัดตัวอย่างขวดที่ 1 ซ้ำ 7 ครั้ง ที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้น มีค่า SD เท่ากับ 0.1546 และมีค่า \bar{X} เท่ากับ 6.04

$$\%RSD = \frac{0.1546}{6.04} \times 100$$

$$\%RSD = 2.56$$

เพราะฉะนั้น %RSD ของการวัดตัวอย่างขวดที่ 1 ซ้ำ 7 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 2.56%

ตัวอย่างการคำนวณ จากการไทเทรตตัวอย่างขวดที่ 1 ซ้ำ 7 ครั้ง ที่ได้จากวิธีการไทเทรตแบบ โอโดเมทรีมีค่า SD เท่ากับ 0.0231 และมีค่า \bar{X} เท่ากับ 6.02

$$\%RSD = \frac{0.0231}{6.02} \times 100$$

$$\%RSD = 0.38$$

เพราะฉะนั้น %RSD ของการไทเทรตตัวอย่างขวดที่ 1 ซ้ำ 7 ครั้ง มีค่าเท่ากับ 0.38%

การเปรียบเทียบผลของปริมาณไฮโปคลอไรต์ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวีสเปกโตรสโกปีที่พัฒนาขึ้นมา กับผลของปริมาณไฮโปคลอไรต์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานคือ วิธีการไทเทรตแบบโอโดเมทรี

จากสูตร

$$t = \frac{\bar{D}}{S_d} \sqrt{N}$$

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum (D_i - \bar{D})^2}{N-1}}$$

D_i คือ ความแตกต่างของผลการทดลองโดยวิธีวิเคราะห์ทั้งสองต่อสารตัวอย่างแต่ละสาร (ต้องคิดเครื่องหมายบวกลบด้วย)

\bar{D} เป็น ค่าเฉลี่ยของ D_i (คิดเครื่องหมายบวกลบ)

N จำนวนสารตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่าง	หมวดที่	ค่าเฉลี่ย		Di	Di - \bar{D}	$(Di - \bar{D})^2$
		วิธีที่ พัฒนาขึ้น	วิธี มาตรฐาน			
1	1	6.04	6.02	0.02	-0.03	0.0009
	2	6.02	6.00	0.02	-0.03	0.0009
	3	6.03	5.91	0.12	0.07	0.0049
SUM				0.05		0.0067
2	1	5.20	5.24	-0.08	-0.04	0.0016
	2	5.24	5.28	-0.03	0.01	0.0001
	3	5.23	5.27	-0.01	0.03	0.0009
SUM				-0.04		0.0026

การคำนวณค่า T-test ของตัวอย่างที่ 1

$$t = \frac{\bar{D}}{S_d} \sqrt{N} = (0.05 / 0.0579) \times 3^{1/2} = 1.496$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้