

การสะสมสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะด้วยโคโตแซนโครรง่าย



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 49266
วัน, เดือน, ปี 18 ก.พ. 2547

b.....
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Preconcentration of Metal Ions Complex on Cross-Linked Chitosan

Mr. Jakkapol Chandrawat



**A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the**

Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang


Academic Year 2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การสะสมสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะด้วยโคโคแซนโครจางตาข่าย
นักศึกษา นาย จักรพล จันทรวัด รหัส 42050064
ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2545
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

	คณะกรรมการการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ดร. สุวรรณ จรรยาพูน	
กรรมการ	ดร. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	
กรรมการ	ผศ.ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์	


.....
(รศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย)
หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสะสมสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะด้วยโคโคแซนโครงร่างตาข่าย		
นักศึกษา	นาย จักรพล	จันทร์วัต	รหัส 42050064
ภาควิชา	เคมี		
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2545		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการประยุกต์ใช้สาร โคโคแซน โครงร่างตาข่ายในการสะสมสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม(Cr^{3+}) และแมงกานีส(Mn^{2+}) โคโคแซนโครงร่างตาข่ายสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันระหว่างโคโคแซนกับสารเชื่อมโยงอีพิกลอโรไฮดริน และตรวจสอบโครงสร้างของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะ ได้แก่ อัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรระหว่างโคโคแซนต่ออีพิกลอโรไฮดรินของโคโคแซนโครงร่างตาข่าย ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโลหะ ความเข้มข้นของสารละลายที่โนอิตรฟลูออโรอะซีโตน ความหนาแน่นของสารแขวนลอยโคโคแซนโครงร่างตาข่าย เวลาในการสัมผัส และได้ศึกษาประสิทธิภาพในการนำโคโคแซนโครงร่างตาข่ายกลับมาใช้ใหม่ ประเมินประสิทธิภาพในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะ โดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี และศึกษารูปแบบของการดูดซับระหว่างโคโคแซนโครงร่างตาข่ายกับไอออนโลหะ และสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี จากผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรระหว่างโคโคแซนต่ออีพิกลอโรไฮดรินของโคโคแซนโครงร่างตาข่าย 1:6 ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโลหะ 4 ส่วนในล้านส่วน ความเข้มข้นของสารละลายที่โนอิตรฟลูออโรอะซีโตน 0.6 โมลาร์ ความหนาแน่นของสารแขวนลอยโคโคแซนโครงร่างตาข่าย 9 กรัมต่อลิตร และเวลาในการสัมผัส 180 นาที ได้ประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) เท่ากับ 61.23% และ 54.40% ตามลำดับ และ โคโคแซนโครงร่างตาข่ายที่ใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่โดยการล้างด้วยเบนซีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Preconcentration of Metal Ions Complex on Cross-Linked Chitosan
Name	Mr. Jakkapol Chandrawat
Department	Chemistry
Program	Industrial chemistry
Academic Year	2002
Special Project advisor	Asst. Prof. Dr. Suwan Chaiyasith

ABSTRACT

The aim of this special project is using cross-linked chitosan to preconcentrate metal ions complex of chromium (Cr^{3+}) and manganese (Mn^{2+}). Cross-linked chitosan was synthesised from crab shells by polymerization between chitosan and epichlorohydrin crosslinking agent. This cross-linked chitosan was characterized using FT-IR spectrophotometry. An in term of influence of mass per volume ratio between chitosan and epichlorohydrin of cross-linked chitosan, initial concentration of metal ion, concentration of TTA, quantity of cross-linked chitosan, contact time was studied. An efficiency of recycling the cross-linked chitosan was also studied. Efficiency of adsorption of metal ions complex was determined by UV-VIS spectrophotometry and adsorption mechanism between cross-linked chitosan and metal ions, and metal ions complex was also studied by FT-IR spectrophotometry. The results indicated that high adsorption capacity for chitosan to epichlorohydrin ratio was 1:6 at 4 ppm of metal ions complex, concentration of TTA was 0.6 M, suspension density of polymer was 9 g/l and contact time was 180 minutes. Removal efficiency of removal of metal ions complex were 61.23% and 54.40% for chromium (Cr^{3+}) and manganese (Mn^{2+}), respectively. Recycle cross-linked chitosan can be reused by cleaning with benzene.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษสำเร็จได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ ความร่วมมือตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ของ ผศ. ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมโครงการพิเศษและแนวทางในการทำงานที่ทำให้ผู้เขียนได้แนวคิดที่ดีและเป็นประโยชน์มาโดยตลอด ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยห่วงใย ให้กำลังใจ และคำปรึกษาที่ดีตลอดจนเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือ ให้กำลังใจตลอดการทำโครงการพิเศษ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ลักษณะทางเคมีและโครงสร้างของไคตินและไคโตแซน	3
2.2 การเตรียมไคติน	8
2.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ	8
2.2.2 การแยกโปรตีน	9
2.2.3 การแยกแคลเซียมคาร์บอเนต	10
2.2.4 การแยกรงควัตถุ	11
2.3 การเตรียมไคโตแซน	11
2.4 คุณสมบัติของไคโตแซน	12
2.4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของไคโตแซน	13
2.4.2 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของไคโตแซน	14
2.5 สมบัติที่สำคัญของสารธรรมชาติไคตินและไคโตแซน	18
2.6 ประโยชน์ของไคตินและไคโตแซน	19
2.7 อีพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin)	21
2.8 ทีโนอิลไตรฟลูออโรอะซีโตน (TTA)	22
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	27
3.2 ตัวอย่างและสารเคมี	28
3.3 วิธีการทดลอง	29
3.3.1 การสกัดสารไคโตแซน (Chitosan)	29
3.3.2 การเตรียมไคโตแซนโครงร่างตาข่าย (Cross-linked chitosan)	29
3.3.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+})	30
3.3.4 การนำไคโตแซนโครงร่างตาข่ายกลับมาใช้ใหม่	34
3.3.5 การศึกษารูปแบบของการดูดซับระหว่างไคโตแซนโครงร่างตาข่ายกับไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+})	34
3.3.6 การศึกษารูปแบบของการดูดซับระหว่างไคโตแซนโครงร่างตาข่ายกับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+})	35
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	
4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไคโตแซนด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี	36
4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไคโตแซนโครงร่างตาข่ายด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี	41
4.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+})	43
4.3.1 ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโลหะ	43
4.3.2 ความเข้มข้นของสารละลาย Thionyltrifluoroacetone (TTA)	48
4.3.3 ความหนาแน่นของสารแขวนลอยไคโตแซนโครงร่างตาข่าย	50
4.3.4 เวลาในการสัมผัส	52
4.4 การนำไคโตแซนโครงร่างตาข่ายกลับมาใช้ใหม่	53
4.5 การศึกษารูปแบบของการดูดซับระหว่างไคโตแซนโครงร่างตาข่ายกับไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

4.6 การศึกษารูปแบบของการดูดซับระหว่างโคโคเซน โครงร่างตาข่ายกับสารเชิงซ้อน ของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี	61
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	70
5.2 ข้อเสนอแนะ	71
เอกสารอ้างอิง	72
ภาคผนวก	74



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 แสดงตำแหน่ง และลักษณะเฉพาะของแถบอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซน	36
ตารางที่ 4.2 แสดงตำแหน่ง และลักษณะเฉพาะของแถบอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซน โครงร่างตาข่าย	41
ตารางที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) 4 8 12 และ 20 ppm ตามลำดับ ด้วยไคโตแซน โครงร่างตาข่าย ที่มีอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของไคโตแซนกับอีพิคลอโรไฮดรินต่างๆ	44
ตารางที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) 4 8 12 และ 20 ppm ตามลำดับ ด้วยไคโตแซน โครงร่างตาข่าย ที่มีอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของไคโตแซนกับอีพิคลอโรไฮดรินต่างๆ	45
ตารางที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของ ไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ด้วยไคโตแซน โครงร่างตาข่าย ที่ความเข้มข้นของสารละลาย TTA ต่างๆ	48
ตารางที่ 4.6 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของ ไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ด้วยไคโตแซน โครงร่างตาข่าย ที่ความหนาแน่นของสารแขวนลอยไคโตแซน โครงร่างตาข่ายต่างๆ	50
ตารางที่ 4.7 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของ ไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ด้วยไคโตแซน โครงร่างตาข่าย ที่เวลาในการสัมผัสต่างๆ	52
ตารางที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพในการนำไคโตแซน โครงร่างตาข่ายกลับมาใช้ใหม่ในการดูดซับสารเชิงซ้อนของ ไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+})	54
ตารางที่ 4.9 แสดงตำแหน่งและลักษณะเฉพาะของแถบอินฟราเรดสเปกตรัมของสารไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับไอออนโครเมียม (Cr^{3+})	55
ตารางที่ 4.10 แสดงตำแหน่งและลักษณะเฉพาะของแถบอินฟราเรดสเปกตรัมของสารไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับไอออนแมงกานีส (Mn^{2+})	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ 4.11 แสดงตำแหน่งและลักษณะเฉพาะของแถบอินฟราเรดสเปกตรัมของ ทีโนอีลไทรฟลูออโรอะซีโตน (TTA)	62
ตารางที่ 4.12 แสดงตำแหน่งและลักษณะเฉพาะของแถบอินฟราเรดสเปกตรัมของสาร ไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับสารเชิงซ้อนของไอออน โครเมียม (Cr^{3+})	64
ตารางที่ 4.13 แสดงตำแหน่งและลักษณะเฉพาะของแถบอินฟราเรดสเปกตรัมของสาร ไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับสารเชิงซ้อนของไอออน แมงกานีส (Mn^{2+})	66



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของ Cellulose	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของ Chitin และ Chitosan	5
รูปที่ 2.3 โครงสร้างผลึกของ α -chitin	6
รูปที่ 2.4 โครงสร้างผลึกของ β -chitin	7
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของอีพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin)	21
รูปที่ 2.6 แสดงการสังเคราะห์ไคโตแซน โครงสร้างตาข่าย (Cross-linked chitosan) จากไคโตแซน และสารเชื่อมโยงอีพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin)	22
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของทีโนอิลไตรฟลูออโรอะซีโตน (TTA)	22
รูปที่ 2.8 แสดงการเปลี่ยนรูปเป็นอินอล (Enol form) ของ TTA	23
รูปที่ 2.9 แสดงการจับไอออนโลหะที่หมู่ไคคีโตนของ TTA	24
รูปที่ 4.1 แสดง FT-IR สเปกตรัมของไคโตแซนที่สกัดได้	37
รูปที่ 4.2 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซนชนิดมวลโมเลกุลสูง	38
รูปที่ 4.3 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซนชนิดมวลโมเลกุลต่ำ	39
รูปที่ 4.4 แสดง FT-IR สเปกตรัมของไคโตแซน โครงสร้างตาข่าย	42
รูปที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) 4 8 12 และ 20 ppm ตามลำดับ ด้วยไคโตแซน โครงสร้างตาข่าย ที่มีอัตราส่วน โดยมวลต่อปริมาตรของไคโตแซนกับอีพิคลอโรไฮดรินต่างๆ	44
รูปที่ 4.6 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) 4 8 12 และ 20 ppm ตามลำดับ ด้วยไคโตแซน โครงสร้างตาข่าย ที่มีอัตราส่วน โดยมวลต่อปริมาตรของไคโตแซนกับอีพิคลอโรไฮดรินต่างๆ	45
รูปที่ 4.7 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวของไคโตแซน โครงสร้างตาข่าย ที่มีอัตราส่วน โดยมวลต่อปริมาตรของไคโตแซนกับอีพิคลอโรไฮดรินต่างๆ	47
รูปที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ด้วยไคโตแซน โครงสร้างตาข่าย ที่ความเข้มข้นของ สารละลาย TTA ต่างๆ	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ 4.9 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ด้วยไคโตแซน โครงร่างตาข่าย ที่ความหนาแน่นของสารแขวนลอยไคโตแซน โครงร่างตาข่ายต่างๆ	51
รูปที่ 4.10 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ด้วยไคโตแซน โครงร่างตาข่าย ที่เวลาในการสัมผัสต่างๆ	53
รูปที่ 4.11 แสดงประสิทธิภาพในการนำไคโตแซน โครงร่างตาข่ายกลับมาใช้ใหม่ ในการดูดซับสารเชิงซ้อนของ ไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+})	54
รูปที่ 4.12 แสดง FT-IR สเปกตรัมของไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับ ไอออนโครเมียม (Cr^{3+})	56
รูปที่ 4.13 แสดง FT-IR สเปกตรัมของไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับ ไอออนแมงกานีส (Mn^{2+})	58
รูปที่ 4.14 แสดงกลไกการดูดซับ ไอออนโลหะบนไคโตแซน โครงร่างตาข่าย	60
รูปที่ 4.15 แสดง FT-IR สเปกตรัมของทีโนซิลไตรฟลูออโรอะซิโตน (TTA)	63
รูปที่ 4.16 แสดง FT-IR สเปกตรัมของไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับ กับ สารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+})	65
รูปที่ 4.17 แสดง FT-IR สเปกตรัมของไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับ กับ สารเชิงซ้อนของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+})	67
รูปที่ 4.18 แสดงกลไกการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะบนไคโตแซน โครงร่างตาข่าย	69

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตและแปรรูปอาหารทะเล เช่น เปลือกกุ้ง เปลือกปู มีเป็นปริมาณมาก และปัญหามลภาวะทางน้ำที่เกิดจากการปนเปื้อนของโลหะในน้ำทิ้ง ได้แก่ แคดเมียม ปรอท ตะกั่ว โครเมียม แมงกานีส จากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์และสิ่งแวดล้อมในบริเวณนั้น ก็เป็นปัญหาอย่างมากทางสิ่งแวดล้อม แนวทางหนึ่งที่น่าสนใจและแก้ไขปัญหาลำดับนี้ คือ ใช้สารที่มีสมบัติในการดูดซับโลหะหนักได้ดี มีความเป็นพิษต่ำ หาได้ง่าย และราคาถูก ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้สารไคโตแซนโครงร่างตาข่าย (Cross-linked chitosan) เพื่อดูดซับ ไอออนของโลหะ

การผลิตไคโตแซนจากวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเลเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการกำจัดของเสียอย่างมีประสิทธิภาพและก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดแก่วัสดุเหล่านั้น นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหล่านั้นอีกด้วย เนื่องจากไคโตแซนเป็นสารจำพวกคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากธรรมชาติ ดังนั้นจึงเป็นสารที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะด้านสิ่งแวดล้อมในรูปของสารที่ไม่ย่อยสลาย นอกจากนี้ไคโตแซนมีสมบัติในการดูดซับโลหะหนักโดยปฏิกิริยาการเกิดคีเลต (Chelating agents reaction) [1] จึงเป็นการลดปัญหาวัสดุเหลือทิ้ง และมลภาวะทางน้ำอีกด้วย

เนื่องจากไคโตแซนมีความสามารถในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียได้ดี แต่มีข้อจำกัดคือไคโตแซนละลายน้ำ ค้าง และตัวทำละลายอินทรีย์ไม่ดี แต่สามารถละลายได้ดีในกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิด จึงมีการพัฒนาปรับปรุงโครงสร้างทางเคมีของไคโตแซนเพื่อให้มีคุณสมบัติที่หลากหลายในการใช้งาน โดยเตรียมเป็นอนุพันธ์ใหม่ เช่น การเตรียมไคโตแซนโครงร่างตาข่าย (Cross-linked chitosan) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและวิจัยการเตรียมไคโตแซนโครงร่างตาข่าย (Cross-linked chitosan) เพื่อนำไปศึกษาความสามารถในการดูดซับ ไอออนของโลหะ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อนำเปลือกกุ้งซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยเตรียมไคโตแซนโครงร่างตาข่ายแล้วนำไปใช้ในการศึกษาการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) และหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะเหล่านี้ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เตรียมโคโคแซน โครงร่างตาข่ายจากเปลือกปู โดยทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันระหว่างโคโคแซนกับอีพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin)
2. การตรวจวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของโคโคแซนและโคโคแซน โครงร่างตาข่ายที่สกัดและสังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี
3. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ได้แก่ (ก) ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโลหะ (ข) ความเข้มข้นของสารละลายทีโนซิลไตรฟลูออโรอะซิโตน (TTA) (ค) ความหนาแน่นของสารแขวนลอยโคโคแซน-โครงร่างตาข่าย (ง) เวลาในการสัมผัส
4. ศึกษาประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของโคโคแซน โครงร่างตาข่ายในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+})
5. ศึกษารูปแบบของการดูดซับระหว่างโคโคแซน โครงร่างตาข่ายกับไอออนโลหะและสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของโคโคแซนต่ออีพิคลอโรไฮดรินที่ใช้ในการสังเคราะห์โคโคแซน โครงร่างตาข่ายที่ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ได้สูงสุด
2. ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ด้วยโคโคแซน โครงร่างตาข่าย
3. ทราบถึงประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของโคโคแซน โครงร่างตาข่ายในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+})
4. ทราบถึงรูปแบบของการดูดซับระหว่างโคโคแซน โครงร่างตาข่ายกับไอออนโลหะและสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะทางเคมีและโครงสร้างของไคตินและไคโตแซน [2]

ไคตินและไคโตแซน เป็นสารพอลิเมอร์ (Copolymer) ธรรมชาติที่จัดอยู่ในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตผสม (heteropolysaccharide) ประกอบด้วย อนุพันธ์ของน้ำตาลกลูโคส ที่มีธาตุไนโตรเจนเกาะอยู่ภายในโมเลกุล ทำให้คุณสมบัติเฉพาะตัวในการเกิดปฏิกิริยากับสารหลายชนิด สารไคติน (Chitin) ละลายยากจึงมักจะใช้ในรูปแบบของแข็งโดยตรง ส่วนสารไคโตแซน (Chitosan) เกิดจากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซีติล (Deacetylation) ของสารไคตินด้วยด่าง (Alkali solution) สารไคโตแซนละลายได้ดีในกรดอินทรีย์ (Organic acid) สารละลายไคโตแซนมีสมบัติเป็นแคทไอออนิกพอลิเมอร์ (Cationic polymer) และมีคุณสมบัติพิเศษในการดูดซับทั้ง ไอออนบวกและ ไอออนลบได้ จึงถูกนำมาใช้ในการจับไอออนต่างๆ ในสารละลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการกำจัดน้ำเสียอุตสาหกรรม ได้แก่ กระบวนการสร้างตะกอนและการตกตะกอน (Coagulation and flocculation) และการนำสารกลับมาใช้ใหม่ (waste recovery)

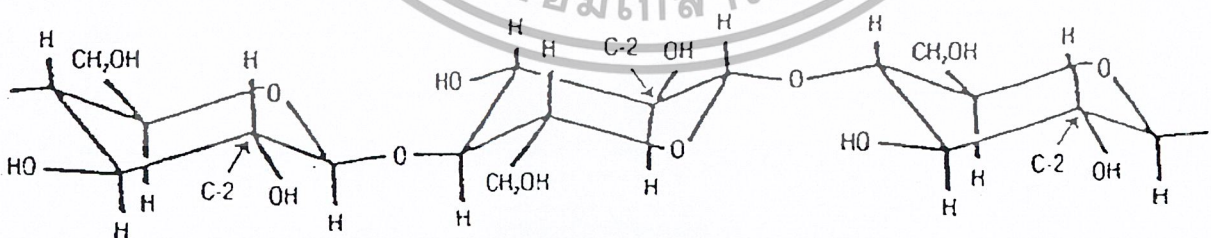
ไคติน (Chitin) มีชื่อทางเคมีว่า Poly(2-acetamino-2-dioxy-D-glucose) หรือ Poly (N-acetylglucosamine) มีปริมาณเป็นอันดับสองรองจากเซลลูโลส ซึ่งสามารถแยกสกัดออกมาจากสัตว์จำพวกที่มีเปลือก เช่น กุ้ง ปู แกนปลาหมึก เปลือกตัวไหม เป็นต้น ซึ่งในเปลือกของสัตว์ดังกล่าว นั้น นอกจากจะมีสารไคตินแล้วยังมีโปรตีนและเกลือแร่ต่างๆ อีกเป็นจำนวนมากที่สำคัญได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) ปริมาณของไคตินในสัตว์ต่างๆ มีปริมาณต่ำตั้งแต่ 0.01% จนกระทั่งสูงถึง 40 % ของน้ำหนักแห้งของมัน นอกจากนี้ไคตินยังเป็นองค์ประกอบของแมลง รา และยีสต์อีกด้วย การพบไคตินในจุลินทรีย์เป็นโอกาสที่ดีในการพัฒนาแหล่งผลิตด้วยเทคโนโลยีชีวภาพ เพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันการขาดแคลนแหล่งไคตินในอนาคต

โครงสร้างทางเคมีของไคตินมีความคล้ายคลึงกับเซลลูโลส (Cellulose) ต่างกันตรงที่ว่าส่วนย่อยของเซลลูโลสเป็น D-glucose ส่วนหน่วยย่อยของไคตินเป็น อนุพันธ์ของกลูโคส คือ N-acetyl-glucosamine สำหรับสายโซ่ของพอลิเมอร์เป็นลักษณะเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2 ไคตินที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมีโครงสร้างของผลึกที่แข็งแรง โดยสามารถวัดได้จากระดับของผลึก (Degree of crystallinity) ได้มีการศึกษาลักษณะโครงสร้างของผลึกมาเป็นเวลานานแล้ว โดย Muzzarrelli [12] ได้เสนอรูปแบบผลึกของไคติน (Polymorphic crystalline chitin conformation) ไว้เป็น 3 ลักษณะได้แก่ α -chitin, β -chitin และ γ -chitin แต่ลักษณะแตกต่างกันที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดระบบของผลึก (crystal system) และปัจจัยการเกิดแลตติซผลึก (Crystal lattice) ของหน่วยเซลล์ (Unit cell) ภายในโครงสร้างผลึก (Crystal structure) ความแตกต่างนั้นเป็นผลมาจากรูปแบบการเรียงตัวของโมเลกุลที่อยู่ตรงข้ามกันในแลตติซผลึก สายโซ่โมเลกุลที่ยาวของไคติน (Chitin chain) เกิดมาจากการรวมตัวเป็นแผ่นซ้อนทับกัน (Pleated sheer) ในแลตติซผลึกของหน่วยเซลล์ที่อาจจะเรียงตัวกันได้เป็น 2 แบบ คือ แบบขนานที่มุ่งไปในทิศทางเดียวกัน (Parallel pattern) และแบบที่โครงสร้างเรียงตัวแบบสวนทางกัน (Anti-parallel pattern) เรียกเป็น α -chitin ซึ่งได้แก่ไคตินที่อยู่ในเปลือกกุ้ง เปลือกปู ส่วนโครงสร้างที่เรียงตัวมุ่งไปทางเดียวกัน เรียกเป็น β -chitin ซึ่งได้แก่ไคตินที่อยู่ในแกนปลาหมึก ส่วนการจัดเรียงตัวของ chain แบบ γ -chitin นั้น เกิดจากโครงสร้างเรียงสลับกันระหว่างสองแบบตามที่กล่าวมาแล้ว

โดยทั่วไปแล้วพบว่า α -Polymorphic form ของไคตินเกิดขึ้นโดยธรรมชาติมากกว่า β -chitin และ γ -chitin ทั้งนี้เพราะ α -chitin มีเสถียรภาพทางเคมี (Chemical stability) มากกว่าแบบอื่น อันเนื่องมาจากมีการเกิดพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) มากกว่า ทั้งภายในสายโซ่ของโมเลกุล และระหว่างสายโซ่ของโมเลกุล (Intramolecular and intermolecular chain) ฤทธิ์ของ β -chitin นั้น มีเสถียรภาพทางเคมีเป็นลำดับรองลงมาจาก α -chitin ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณของพันธะไฮโดรเจนน้อยกว่า การที่มีเสถียรภาพทางเคมีน้อยกว่า α -chitin นั้นทำให้มันมีโอกาสที่จะเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้าง β -form ไปเป็น α -form ได้ในสารละลายของกรดแก่ (Strong acid) เช่น กรดเกลือ (HCl) ได้เช่นกัน และนอกจากนี้ยังทำให้มีโอกาสในการที่จะจับโมเลกุลของน้ำ (H_2O) ได้อย่างถาวร ซึ่งนำไปสู่การเกิดเป็น ไคตินที่มีน้ำอยู่หนึ่ง โมเลกุล (Chitin monohydrate) ได้ โครงสร้างแสดงลักษณะผลึกของ α -chitin และ β -chitin แสดงไว้ในรูปที่ 2.3 และ 2.4

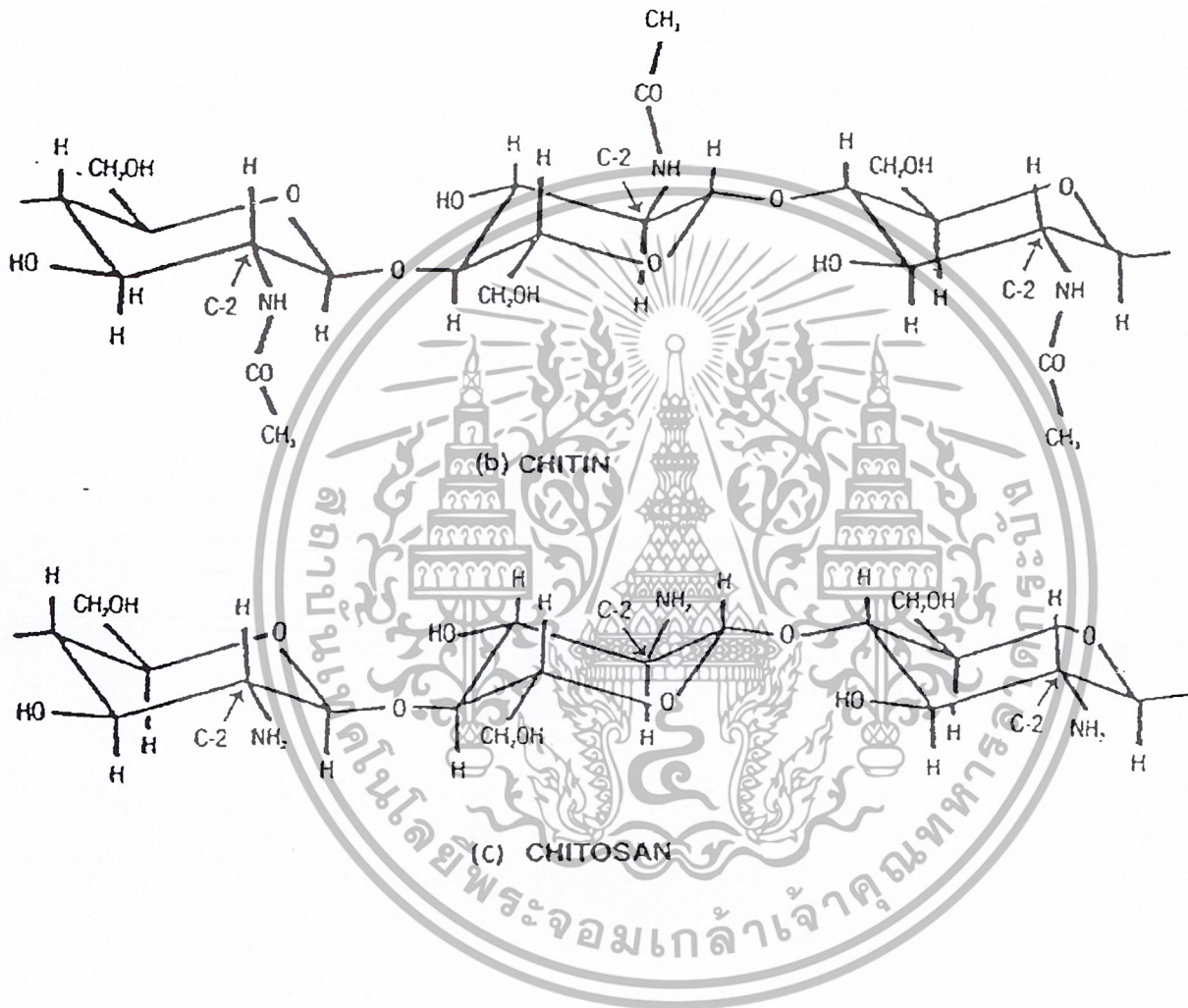


(a) CELLULOSE

รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมี ของ (a) Cellulose, Poly (1,4- β -D-glucose) [2]

หมายเหตุ เครื่องหมาย C-2 แสดงถึงคาร์บอนตำแหน่งที่ 2

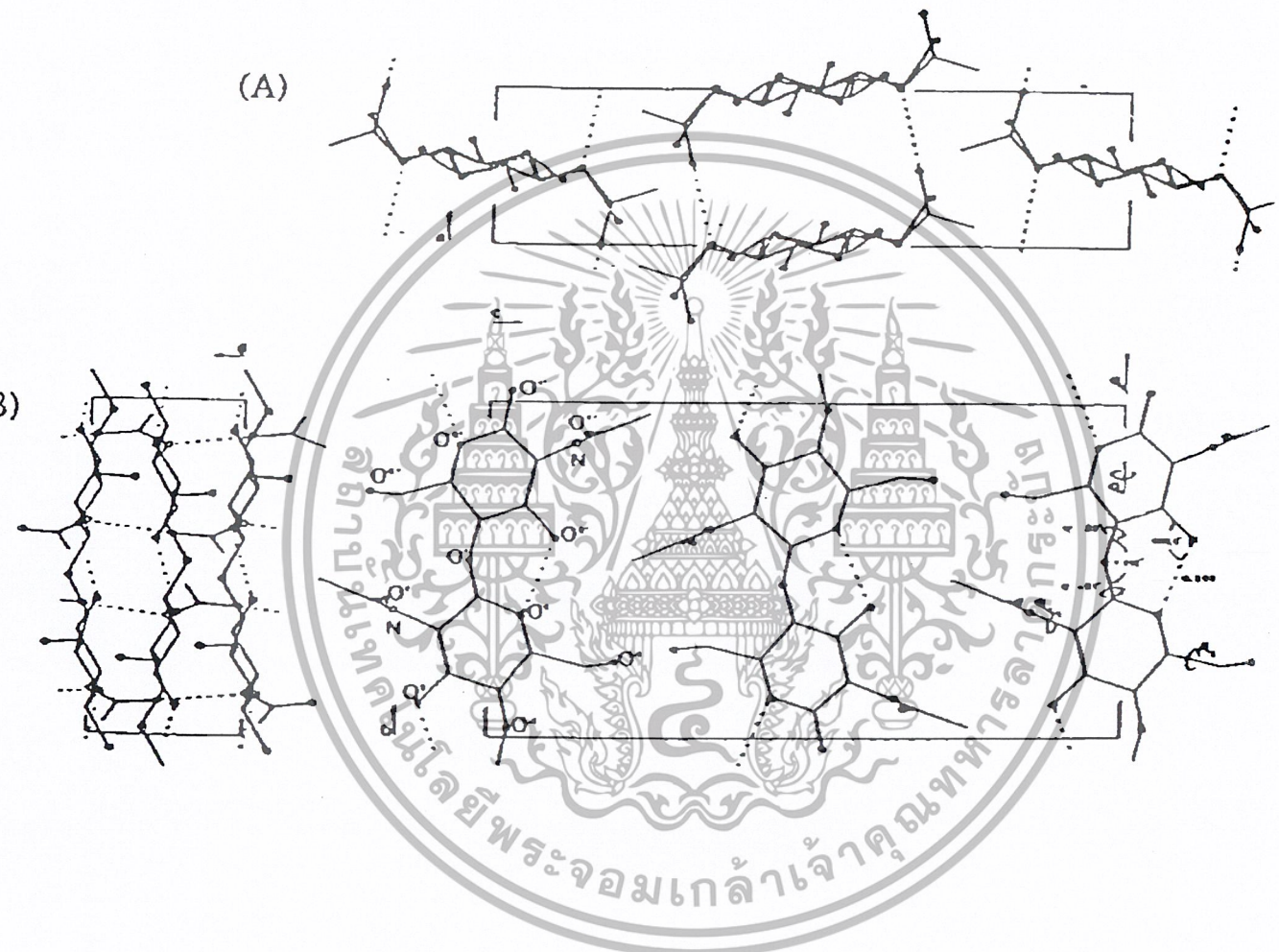
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของ (b) Chitin, Poly(1,4-2-acetamido-2-deoxy- β -D-glucose) และ (c) Chitosan, Poly(1,4-2-amino-2-deoxy- β -D-glucose) [2]

หมายเหตุ เครื่องหมาย C-2 แสดงถึงคาร์บอนตำแหน่งที่ 2

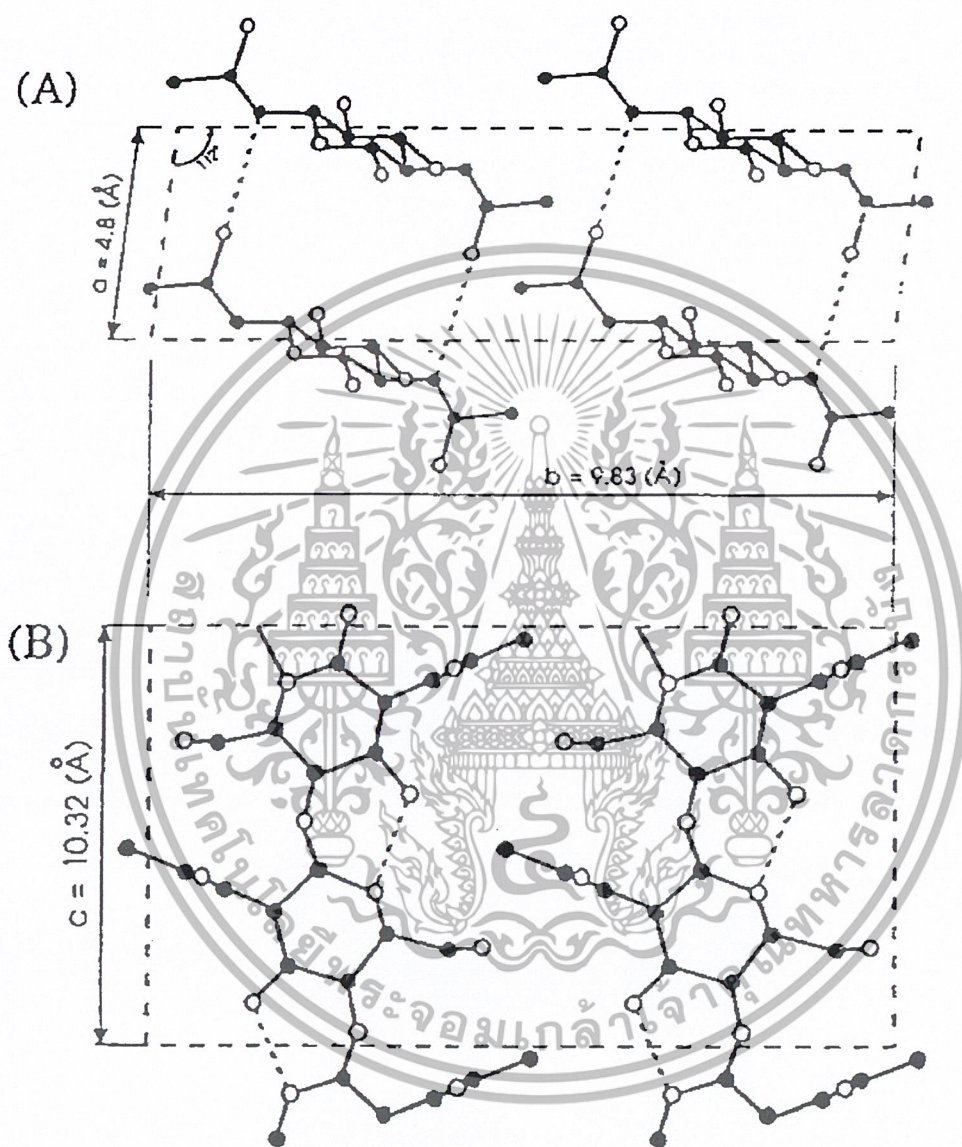
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 โครงสร้างผลึกของ α -chitin [2]

(A) – Projection on ab plane (B) – Projection on bc plane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 โครงสร้างผลึกของ β -chitin [2]

(A) – Projection on ab plane (B) – Projection on bc plane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การเตรียมไคติน [3]

ในเปลือกของสัตว์ทะเลประเภทกุ้ง และปูมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ไคติน (20%-30%) ไพรติน (30%-50%) แมกนีเซียมและฟอสฟอรัส (เฉลี่ย 1-2%) และสารอื่น ๆ ที่มีอยู่ในปริมาณเล็กน้อย ได้แก่ สารรงควัตถุ เช่น คาโรทีนอยด์ (สีส้ม) และไขมัน (Lipid) เนื่องจากไคตินไม่สามารถละลายในตัวทำละลายที่ใช้กันทั่วไปได้ ดังนั้นการเตรียมไคตินจากเปลือกกุ้งและเปลือกปูจึงทำโดยการใช้ตัวทำละลายสกัดแยกส่วนประกอบอื่นออก และได้ส่วนที่เหลือเป็นไคติน

การเตรียมไคตินสามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน [3] คือ

1. ขั้นตอนการแยกโปรตีน (Deproteinization)
2. ขั้นตอนการแยกแคลเซียมคาร์บอเนต (Deminerlization)
3. ขั้นตอนการแยกรงควัตถุ (Decoloration)

ขั้นตอนการแยกโปรตีนและขั้นตอนการแยกแคลเซียมคาร์บอเนต อาจสลับลำดับก่อนหลังได้ โดยที่ถ้าต้องการนำโปรตีนที่สกัดแยกออกมาไปใช้ประโยชน์ เช่น นำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ ก็ควรทำขั้นตอนการแยกโปรตีนก่อนเพื่อให้ได้ปริมาณโปรตีนสูง เนื่องจากในขั้นตอนการแยกแคลเซียมคาร์บอเนตนั้น มักใช้สารละลายกรดในการสกัดแยก โดยกรดที่ใช้คือ สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งเป็นกรดที่สามารถย่อยสลายโปรตีนได้ทำให้สูญเสียโปรตีนโดยไม่ได้ใช้ประโยชน์ ส่วนรงควัตถุและไขมันซึ่งมีอยู่ในปริมาณเล็กน้อยนั้น สามารถสกัดแยกโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น ใช้แอลกอฮอล์ในการสกัดแยกรงควัตถุและใช้อีเทอร์ (Ether) ในการสกัดแยกไขมัน

2.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ [3]

ก่อนที่จะทำการสกัดแยกส่วนประกอบต่างๆ ออกจากเปลือกกุ้งหรือเปลือกปูที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ควรทำการเตรียมวัตถุดิบตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. เนื่องจากเปลือกกุ้งหรือเปลือกปูที่ได้จากแหล่งต่างๆ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง ตลาดสดหรือร้านอาหาร มักอยู่ในสภาพเปียกชื้นและอาจมีส่วนเนื้อติดปนมา ดังนั้นจึงควรนำมาตากแดดให้แห้งก่อน เพื่อให้ง่ายต่อการเก็บหรืออาจจะแช่เก็บไว้ในตู้เย็นหรือห้องเย็นก็ได้ อย่างไรก็ตาม การตากแดดจัด ๆ ประมาณ 1-2 วัน จะเป็นวิธีที่ประหยัดและยังทำให้สีของไคตินที่ได้ขาวขึ้น นอกจากนี้ ยังสามารถลดขั้นตอนการแยกรงควัตถุด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเลตในแสงแดดสามารถทำปฏิกิริยากับรงควัตถุในเปลือกกุ้งหรือเปลือกปู ทำให้รงควัตถุสลายตัวอยู่ในรูปที่ไม่มีสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. บดเปลือกกุ้งหรือเปลือกปูที่ได้ตากแห้งแล้วให้มีขนาดประมาณ 0.5 ตารางเซนติเมตร ล้างด้วยน้ำหลาย ๆ ครั้งเพื่อแยกส่วนที่เป็นเนื้อกุ้งหรือเนื้อปูที่อาจจะเหลือติดอยู่กับเปลือกออกให้หมด หลังจากนั้นนำมาตากให้แห้งอีกครั้ง เปลือกกุ้งหรือเปลือกปูที่เตรียมได้จะสามารถเก็บได้นานหลายเดือนที่อุณหภูมิห้อง

2.2.2 การแยกโปรตีน [3]

สกัดแยกโปรตีนออกสามารถทำได้ 2 วิธี [3] คือ โดยการใช้ด่าง (Alkali) กับการใช้เอนไซม์โปรติเอส (Protease)

1. การสกัดแยกโปรตีนโดยการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

สารละลายด่างที่มีรายงานการใช้นิยมใช้ในการสกัดแยกโปรตีนจากเปลือกกุ้งหรือเปลือกปู คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากเป็นสารที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอื่น หาง่ายในตลาดและราคาถูก

ทำการต้มเปลือกกุ้ง หรือเปลือกปูกับสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1-10% ที่อุณหภูมิประมาณ 65-100 °C เป็นเวลาประมาณ 1/2-6 ชั่วโมง ทั้งนี้ ขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายด่างและอุณหภูมิที่ใช้ หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำจนกระทั่งน้ำที่ล้างมีค่าพีเอชเป็นกลาง แล้วนำสารที่ได้ไปตากให้แห้ง มีข้อสังเกตว่าการใช้ภาวะที่รุนแรงในการสกัดแยกโปรตีนอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงตามมา คือ ปฏิกิริยาคีโพลิเมอร์ไรเซชัน (Depolymerization) และปฏิกิริยาคีอะซิไทเลชัน (Deacetylation) ซึ่งผลจากปฏิกิริยาคีโพลิเมอร์ไรเซชันจะทำให้ไคตินที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำลงและผลของปฏิกิริยาคีอะซิไทเลชันจะทำให้ไคตินที่ได้มีค่าระดับของการเกิดคีอะซิไทเลชันสูง

2. การสกัดแยกโปรตีนโดยการใช้เอนไซม์ที่ย่อยสลายโปรตีน

การใช้เอนไซม์โปรติเอส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ย่อยสลายโปรตีน เช่น เป็ปซิน (Pepsin) หรือ ทริปซิน (Trypsin) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถใช้สกัดแยกโปรตีนจากเปลือกกุ้งหรือเปลือกปู เนื่องจากปฏิกิริยาที่ใช้ในการสกัดแยกโปรตีน โดยเอนไซม์สามารถทำภายใต้สภาวะที่ไม่รุนแรง เมื่อเทียบกับการสกัดแยกโดยการใช้สารละลายด่าง ดังนั้นข้อดีของการใช้เอนไซม์ คือการสกัดด้วยเอนไซม์จะมีผลน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโมเลกุล และค่าระดับของการเกิดคีอะซิไทเลชันของไคติน อย่างไรก็ตามการใช้เอนไซม์อาจจะไม่สามารถสกัดแยกโปรตีนออกจากเปลือกกุ้งได้ทั้งหมดและจะใช้เวลาในการย่อยนานกว่าการใช้ด่าง โดยใช้เวลาเกินกว่า 1 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเอนไซม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายพันธุ์ของแบคทีเรียที่ใช้ผลิตเอนไซม์เพื่อใช้ในวัตถุประสงค์นี้ คือ *Pseudomonas maltophilia* ซึ่งพบว่าเป็นสายพันธุ์ที่ผลิตเอนไซม์ที่ใช้ย่อยสลายโปรตีนได้ดี โดยที่ไม่ได้ย่อยสลายไคตินด้วยหรือจะใช้เอนไซม์โปรติเอส ซึ่งมีจำหน่ายในท้องตลาดก็ได้ การสกัดแยกโปรตีนสามารถทำได้โดยการใส่เปลือกกุ้งหรือเปลือกปู ที่ต้องการสกัดแยกโปรตีนออกจากในสารละลายอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีแบคทีเรียชนิดนี้เจริญเติบโตอยู่ โดยในระหว่างที่แบคทีเรียเจริญจะปล่อยเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีนออกมาในอาหารเลี้ยงเชื้อ ซึ่งเอนไซม์เหล่านี้จะทำการย่อยสลายโปรตีนที่มีในเปลือกกุ้งหรือเปลือกปู ในสารละลายอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาณ 1 ลิตร จะประกอบด้วย ไคโปแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 2 กรัม และเปลือกกุ้งหรือเปลือกปูที่แห้งจำนวน 8 กรัม โดยค่าพีเอชของสารละลายจะถูกปรับให้เท่ากับ 7 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก หลังจากนำเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 15 นาที และทิ้งไว้ให้เย็น เชื้อแบคทีเรียจะถูกเติมลงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เตรียมไว้ ทำการเลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 30°C โดยการเขย่าบนเครื่องเขย่า (Shaker) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้หลังจากปล่อยให้เชื้อแบคทีเรียเจริญเป็นเวลา 1-4 วัน ทำการนำเชื้อด้วยความร้อนอีกครั้ง รอให้สารละลายเย็นลง แล้วล้างเปลือกกุ้ง หรือเปลือกปูที่ได้ด้วยน้ำหลายๆ ครั้ง ตากให้แห้ง

2.2.3 การแยกแคลเซียมคาร์บอเนต [3]

การสกัดแยกแคลเซียมคาร์บอเนตออกจากเปลือกกุ้งหรือเปลือกปูสามารถทำได้ 2 วิธี [3] คือ โดยการใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก และโดยการใช้สารละลายเอทิลีนไดเอมีนเททราอะซิติก (EDTA)

1. การสกัดแยกแคลเซียมคาร์บอเนต โดยการใช้สารละลายกรด

แร่ธาตุส่วนใหญ่ที่พบเป็นส่วนประกอบในเปลือกกุ้งหรือเปลือกปู คือ แคลเซียม ซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งสามารถสกัดแยกออกโดยใช้สารละลายกรด เช่น กรดไฮโดรคลอริก กรดไนตริก กรดอะซิติก เป็นต้น กรดที่นิยมใช้ คือ กรดไฮโดรคลอริก ซึ่งเปลี่ยนแคลเซียมคาร์บอเนตให้อยู่ในรูปแคลเซียมคลอไรด์ที่ละลายน้ำได้ การสกัดแยกแคลเซียมคาร์บอเนตโดยการใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกมักทำที่อุณหภูมิห้องเพื่อหลีกเลี่ยงการย่อยสลาย (Degradation) ของไคตินเนื่องจากกรด

2. การสกัดแยกแคลเซียมคาร์บอเนตโดยการใช้สารละลาย EDTA

เนื่องจากการใช้กรดไฮโดรคลอริกอาจทำให้เกิดการย่อยสลายของไคติน ทำให้ไคตินที่

ได้มีน้ำหนักโมเลกุลลดลง การใช้สารละลาย EDTA ก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่ใช้เพื่อทำการสกัดแยก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลเซียมคาร์บอเนตออกจากเปลือกกุ้งและเปลือกปู โดย EDTA จะเกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมที่ละลายน้ำได้ อย่างไรก็ตามการสกัดแยกด้วยวิธีนี้ไม่สามารถที่จะกำจัดสารประกอบอนินทรีย์ออกจากเปลือกกุ้งและเปลือกปูได้ทั้งหมด

2.2.4 การแยกรงควัตถุ [3]

โคตินที่ได้หลังจากการสกัดแยกโปรตีน และแคลเซียมคาร์บอเนตออกโดยใช้สารละลายต่างและสารละลายกรด ตามลำดับแล้วยังคงมีรงควัตถุหลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ได้ รงควัตถุส่วนใหญ่เป็นสารจำพวกคาโรทีนอยด์ เช่น แอสทาซิน แอสทาเซนทิน และ เบต้าแคโรทีน ซึ่งสามารถสกัดแยกออกโดยการล้างด้วยเอทานอลหรืออะซิโตน นอกจากนี้อาจจะใช้สารฟอกขาวอื่นๆ เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรท์ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต หรือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรืออาจใช้วิธีนำเปลือกกุ้งมาตากแดดแรง ๆ 1-2 วัน ก็ได้

2.3 การเตรียมโคโคแซน [3]

สารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมโคโคแซน คือ โคตินและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการเตรียมโคโคแซนจากโคตินในสถานะที่เป็นค้างแข็งขึ้น คือ ปฏิกิริยาคีอะซิไทเลชัน (Deacetylation) ผลจากการเกิดปฏิกิริยาคีอะซิไทเลชัน จะทำให้หมู่อะซิทามาโมด์ที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่สองในวงแหวนไพราโนส (Pyranoose ring) ของโคตินถูกเปลี่ยนเป็นหมู่อะมิโน การดึงหรือตัดเอาหมู่อะซิไทลออกจากโคตินนั้นสามารถดึงออกได้เพียงบางส่วนหรือเกือบทั้งหมด ซึ่งจะทำให้สมบัติหลายประการของโคตินนั้นเปลี่ยนแปลงไป พบว่าเมื่อดึงหมู่อะซิไทลของโคตินออกเกินครึ่งหนึ่ง หรือคิดเป็น ร้อยละ 50 ขึ้นไป จะทำให้สารที่มีสมบัติในการละลายได้ในกรดอินทรีย์อ่อนๆ เช่น กรดน้ำส้มสายชู กรดแลกติกที่พบในนมเปรี้ยว หรือกรดซิตริกที่พบในมะนาว หรือพีชตระกูลส้มซึ่งเป็นสมบัติที่ต่างไปจากสารเริ่มต้นหรือโคติน

ถ้าต้องการโคโคแซนที่มีค่าระดับของการเกิดคีอะซิไทเลชันสูง ๆ ก็ให้ทำปฏิกิริยาในสถานะที่รุนแรง คือเพิ่มความเข้มข้นหรือความแรงของค้างที่ใช้ และใช้อุณหภูมิสูงในการทำปฏิกิริยาหรือการทำปฏิกิริยากับค้างซ้ำหลาย ๆ ครั้ง

วิธีการที่ใช้ในการเตรียมโคโคแซนจากโคตินได้มีผู้รายงานไว้หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีจะมีความแตกต่างกันในรายละเอียดแต่สามารถแบ่งวิธีการที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาคีอะซิไทเลชันได้เป็น 2 วิธีใหญ่ ๆ [3] คือ

1. การทำปฏิกิริยาคีอะซีทีเลชันของโคตินกับด่างที่หลอมละลาย (Alkali fusion)

วิธีนี้เป็นการทำปฏิกิริยาคีอะซีทีเลชันในสภาวะที่รุนแรงโดยการหลอมละลายด่างที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้ทำปฏิกิริยากับโคติน เช่น การหลอมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 180°C โดยให้ทำปฏิกิริยาภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน แม้ว่าโคโคแซนที่เตรียมได้จากวิธีการนี้ จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ของการเกิดคีอะซีทีเลชันสูงได้ถึง 95% แต่ผลจากสภาวะที่รุนแรงในการทำปฏิกิริยาทำให้เกิดปฏิกิริยาคีพอลิเมอไรเซชัน ทำให้โคโคแซนที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (ค่าดีกรีของการพอลิเมอไรเซชันประมาณ 20)

2. การทำปฏิกิริยาคีอะซีทีเลชันของโคตินในสารละลายต่าง

วิธีนี้มีการใช้และศึกษากันมากกว่าวิธีแรก โดยสารละลายด่างที่ใช้กันมาก คือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่ก็มีรายงานการใช้สารละลายด่างชนิดอื่น ๆ ด้วย เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ลิเทียมไฮดรอกไซด์ และ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ค่าระดับของการคีอะซีทีเลชันของโคโคแซนที่ได้จะขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายด่าง อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็นสำคัญ ในกรณีที่ต้องการเตรียมโคโคแซนที่สามารถละลายได้ในสารละลายกรด ตัวอย่างสภาวะที่อาจเลือกใช้ในการทำปฏิกิริยา เช่น

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 50°C ทำปฏิกิริยานาน 24 ชั่วโมง
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 40% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 100°C ทำปฏิกิริยานาน 18 ชั่วโมง
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 50% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 100°C ทำปฏิกิริยานาน 1 ชั่วโมง

นอกจากจะป้องกันการเกิดปฏิกิริยาคีพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งจะทำให้โคโคแซนที่ได้มีค่าความหนืด และ น้ำหนักโมเลกุลลดต่ำลง โดยการทำปฏิกิริยาระหว่างโคตินกับสารละลายด่างเข้มข้นภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจนแล้ว การเติม reducing agents เช่น โซเดียมโบโรไฮไดรด์ จะมีผลช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาคีพอลิเมอไรเซชันของโคโคแซนได้

2.4 คุณสมบัติของโคโคแซน [4]

คุณสมบัติของโคโคแซนขึ้นอยู่กับปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญ 2 ปัจจัย ได้แก่ หมู่อะซีทิล และการกระจายน้ำหนักโมเลกุล ส่วนในสถานะของแข็งและความสามารถในการละลายควรจะพิจารณาในด้านปัจจัยที่ใส่เข้าไป ซึ่งจะแสดงบทบาทที่สำคัญด้วยเหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสถานะของแข็งคุณสมบัติขึ้นอยู่กับ การจับกันและการกระจายของสายพอลิเมอร์ ซึ่งปัจจัยสำคัญ 2 อย่างนี้ มีความสัมพันธ์กับผลึกและลักษณะพื้นฐานวิทยาของผลึกอุณหภูมิของผลึกที่เปลี่ยนแปลงอย่างไม่แน่นอน, ปฏิกริยาไฮเดรชัน (Hydration) และจลนศาสตร์ (Kinetics) ของปฏิกริยาไฮเดรชัน (Hydration) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีกายภาพของพอลิเมอร์ขึ้นอยู่กับร้อยละของผลึกที่มีรูปร่างที่ไม่แน่นอนมากกว่าร้อยละของวงผลึก นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายของสายวงผลึกที่มีรูปร่างไม่แน่นอน และการเข้าถึงได้ง่ายของวงผลึกเหล่านั้นอีกด้วย

ความสามารถในการสารถลายของสารโคตินจะพิจารณาจาก การละลายในไดเมทิลอะซิเตตาไมด์ (DMAC) และ เอ็น-เมทิลไพโรลิโดน (NMP) ในรูปของลิเทียมคลอไรด์ (Lithium chloride) และความสามารถในการละลายในตัวทำละลายจะลดลงเมื่อมีการกำจัดหมู่อะซิติลออกไป (Deacetylation) โคโคแซนพิจารณาจากการละลายในกรดอ่อนโดยทั่ว ๆ ไปจะมี pH อยู่ในช่วง 1-6 ยกเว้นกรณีของกรดซัลฟูริก (Sulfuric acid) การละลายเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการอธิบายการเลือกคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของโพลิเมอร์ สารละลายเหล่านี้จะมีจลนศาสตร์ (Kinetic) ของโมเลกุลที่รวมตัวกันอย่างอัตโนมัติภายใต้รูปแบบทั้งหมด ซึ่งจลนศาสตร์ (Kinetic) นี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ น้ำหนักโมเลกุล pH และหมู่อะซิติลเหล่านี้ด้วย จำนวนรูปแบบเหล่านี้โดยทั่ว ๆ ไปจะแสดงออกที่ความเข้มข้นต่ำ แต่ก็จะสอดคล้องกับน้ำหนักโมเลกุลที่สูง ซึ่งมากกว่า 10 ล้านกรัมต่อโมล ซึ่งเป็นเหตุทำให้ปัจจัยทางเคมีกายภาพมีความสำคัญมากหรือน้อย

2.4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของโคโคแซน [4]

โคตินและโคโคแซนได้รับความสนใจเป็นเวลานาน มีกลุ่มไกลโคซิดิก (glycosidic) เป็นตัวที่ตัวเชื่อมไปถึงความสัมพันธ์ในด้านการขยายออกและความแข็งแรงของโครงสร้างในสถานะของแข็ง โดยเฉพาะในสถานะแห้ง ซึ่งทำให้เซลล์โลสมีความเป็นฟิล์มและความสามารถในการขึ้นรูปเป็นไฟเบอร์ คุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ทำมาจากพอลิแซคคาไรด์เหล่านี้ จะตอบสนองได้เร็วมากกับน้ำอย่างเห็นได้ชัด และนอกจากนี้ยังตอบสนองได้ไวกับค่าหมู่อะซิติลด้วย

ในสถานะของแห้ง มีการสร้างพันธะไฮโดรเจนจำนวนมากในวงผลึก ซึ่งทำให้อุณหภูมิของการเคลื่อนย้ายผลึก และจุดหลอมเหลวมีค่าสูง กล่าวคือ พันธะจะเกิดการสลายตัวเมื่อถูกความร้อนที่สูงมาก และพอลิเมอร์เหล่านี้มีความคงทนต่อความร้อนได้ดีด้วยเหมือนกัน นั่นคือสามารถพิจารณาได้จากการสลายตัวของสายโพลิเมอร์ซึ่งเหมือนกับเซลล์โลส คือจะมีค่าอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 170°C และสูงที่สุดที่อุณหภูมิ 230°C และนอกจากนี้ทั้งโคติน และโคโคแซนยังมีคุณสมบัติที่ดีในการส่งผ่านแสงที่มองเห็นได้อีกด้วย โดยโคตินสามารถพิจารณาได้จากความโปร่งแสงเกิน 250 นาโนเมตร และโคโคแซนจะมีความโปร่งแสงมากกว่า 150 นาโนเมตร ในรูปของอะมิโนอิสระ และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่า 220 นาโนเมตร ในรูปของแอมโมเนียม (ammonium) ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบไอออนิกของไคโตแซน

2.4.2 คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของไคโตแซน [4]

1. ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการละลายของไคตินใน DMAC และ NMP ในรูปของลิเทียมคลอไรด์ (Lithium chloride) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นส่วนประกอบของลิเทียมไอออน (Lithium ions) กับ $-OH$ และกลุ่ม Carbonyl amide ซึ่งนำไปสู่การแตกของพันธะไฮโดรเจน ส่วนไคโตแซนความสามารถในการละลายขึ้นอยู่กับความสมดุลระหว่างการจับออกของ Electrostatic ซึ่งมาจากหมู่ Protonated amine และพันธะไฮโดรเจน โดยกลุ่มอะมิโนอิสระซึ่งมีผลทำให้ pH สูงขึ้น ส่วนความสามารถในการละลายขึ้นอยู่กับค่าของ pKa ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการละลายคือ pKa ปริมาณหมู่อะซิติก ปริมาณโปรตอน ความเป็นกลาง ความเข้มข้นและความแรงของไอออน ส่วนการที่ไม่ละลายในของเหลวที่มีขอบเขต pH ต่ำกว่า เป็นการยากที่จะหาหลักการมาอธิบาย แต่ก็มีข้อสันนิษฐานว่าอาจมีความเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของพอลิเมอร์และความแรงของ ไอออน

มีข้อสังเกตที่น่าสนใจ คือ ความสามารถในการละลายของไคโตแซนขึ้นอยู่กับการใช้กรดในการละลายนั้น เช่น HCl หรือ HNO_3 ซึ่งกรดทั้ง 2 ชนิดนี้ไม่เป็นกรดมาก และมีความเป็นไปได้ดีที่จะปล่อยให้กรดมีความเป็นอิสระ สารละลายไคโตแซนที่มีสภาพเป็นกรดนี้จะให้ลักษณะที่มีความเฉพาะที่เกิดจากกรดอินทรีย์ คือ สารละลายไคโตแซนจะไม่เกิดการตกตะกอน หลังจากเติมแอลกอฮอล์ อะซิโตน หรือ Cyclic ethers ซึ่งลักษณะเฉพาะนี้จะอธิบายได้โดยการอ้างอิงถึง Thermoreversible gels ในรูปของ Oxalic acid หรือการไม่ละลายของเกลือ sulfate

2. พฤติกรรมสถานะของแข็งของเกลือไคโตแซน ความเสถียรภาพของเกลือไคโตแซนในสถานะของแข็งขึ้นอยู่กับธรรมชาติของกรดที่เกี่ยวข้อง พฤติกรรมหลาย ๆ อย่างเช่น ความเสถียรภาพสามารถสังเกตได้จาก Strong mineral acids เช่น กรดฟอสฟอริกจะมีความเสถียรภาพเนื่องจาก เมื่อมีการระเหยของสารละลาย Acylation สามารถนำไปวางระหว่างองค์ประกอบของแข็งได้ ส่วนในกรณีของไคโตแซนอะซิเตท เมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างทางเคมีรูปแบบของของแข็งจะไม่มีเสถียรภาพที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า ความเป็นกรดอ่อนของกรดนี้และน้ำที่อยู่ในเกลือไคโตแซนซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 13 เมื่อกรดอะซิติกถูกทำให้ระเหยเกลือจะเข้าไปแทนที่อย่างค่อนเนื่อง ทำให้มีอะมิโนอิสระเพิ่มขึ้นตามลำดับ

3. ปฏิกริยา (Interaction) ในความสัมพันธ์ของ โครงสร้างทางเคมีของไคโตแซน ส่วนที่เหลือของ กลูโคซามีน (Glucosamine) และ เอ็น-อะซิติกกลูโคซามีน (N-acetylglucosamine) สามารถทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เกิดปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ กับสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาที่สำคัญได้แก่ Ionic, Complexation, พันธะไฮโดรเจน และ Hydrophobic และสิ่งที่สำคัญสำหรับปฏิกิริยาเหล่านี้ขึ้นอยู่กับปริมาณหมู่อะซิดิล pH และความแรงของไอออน

3.1 ปฏิกิริยาไอออน (Ionic Interactions) โคลิโดแซนเป็น Polyelectrolyte ที่อ่อนซึ่งมีความหนาแน่นแผ่นประจุต่ำและขึ้นอยู่กับ pKa ปริมาณหมู่อะซิดิล และ pH ซึ่งมีความสอดคล้องกันสูงสุดที่ 1 ประจุต่อทุก ๆ 5.15 นาโนเมตร ซึ่งจะทำให้ความสามารถของโคลิโดแซนในการเป็นผู้เปลี่ยนแปลง Anion น้อยมาก ลักษณะการเป็น Polycationic ของ Polysaccharide นี้ เป็นที่สนใจอย่างกว้างขวางในการนำไปประยุกต์ใช้หลายอย่างที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของ Polyelectrolyte complexes โดยในธรรมชาติของโคลิโดแซนจะมี Polyanion เป็นหลักและ Polyanion เหล่านี้ส่วนใหญ่สามารถถูกเหนี่ยวนำให้เปลี่ยนเป็นรูป Polyanion-polycation complexes ได้ ส่วนเหลือ Glucosamine หรือ N-acetylglucosamine สามารถทำการนำเอาโปรตอนออกที่ pH มากกว่า 11 ซึ่งสามารถพบได้ในกลุ่มแอลกอฮอล์ พฤติกรรมการเป็น Anion นี้จะพบในรูปของ Alcoholates ionic interaction ซึ่งเกี่ยวข้องกับกลไกของปฏิกิริยาระหว่างโคลิโดแซนและสารที่ Anionic

3.2 Complexation ของอะตอมที่อยู่เป็นคู่ๆ ในสภาพอิสระของไนโตรเจนอะตอม และอาจจะเป็นไปได้ที่จะเป็นกลุ่มอะตอมของออกซิเจน สามารถถูกนำไปใช้ในการทำปฏิกิริยากับโลหะ ในสถานะของแข็งมี 4 ปัจจัยที่แสดงบทบาทสำคัญทั้งในรูปแบบจลนศาสตร์ (Kinetics) ของการดูดซับ (Sorption) และความจุของโลหะที่เพิ่มขึ้น

1. เกี่ยวข้องกับการเข้าถึงผิวหน้าของไอออนโลหะ ซึ่งขึ้นกับขนาดของชิ้นส่วนและสิ่งที่เป็นรูพรุน มีผู้วิจัยหลาย ๆ ท่านพยายามปรับปรุงคุณสมบัติของ Crude chitosan หลังจากทำการบดและทำการร่อน ซึ่งได้มีการเปลี่ยนแปลงที่ผิวหน้าภายนอกแต่ไม่ได้ปรับปรุงปริมาณรูพรุนทั้งหมด ดังนั้นทางที่ดีที่สุดควรปรับปรุงปัจจัยทั้งคู่ไปพร้อม ๆ กัน ความสามารถนี้ได้จากการตกตะกอนของโคลิโดแซนแล้วเกิด Solubilization

2. เกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายโมเลกุลในกรณีของโคลิโดแซนมีความเกี่ยวข้องกับผลึกซึ่งเป็นข้อจำกัดของโลหะที่เพิ่มขึ้นและทำให้เข้าถึงวงของ Amorphous ได้น้อย และจะเกี่ยวข้องกับ Hydration ของวง Amorphous ด้วยเหมือนกันซึ่งเป็นปัจจัยที่ถูกลืมมองข้ามเสมอในงานวิจัย

3. เป็นการปรับปรุงปฏิกิริยาทางเคมีกับโลหะ การปรับปรุงนี้เป็นสิ่งจำเป็นในการลดผลึกและทำให้เกิด Kinetics และความจุของ Sorption เพิ่มขึ้น การปรับปรุงปฏิกิริยาทางเคมีนี้โดยทั่วไปจะมีน้อยและจะนำมาใช้เพื่อจุดประสงค์ในเรื่องความสะดวกต่ำ

4. มีบทบาทในด้านการเติมเกลือในการทำ Kinetics ของ Sorption โดยทั่ว ๆ ไปมีการแสดงความสามารถของไอออนสูงน้อย แต่ความจุของโลหะสูงขึ้นในขณะที่ยังไม่มีการปรับปรุง ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านของไอออนซัลเฟต (Sulfate Ions) ซึ่งจัดเป็นกรณีเฉพาะ เนื่องจากการทำปฏิกิริยาของไอออนซัลเฟตกับกลุ่มอะมิโนทำให้กลุ่มโลหะน้อยลง ในสารแขวนลอยกลไกของ Sorption ของโลหะกับโคโคแซนจะอธิบายได้ไม่ดี แต่อย่างไรก็ตามผู้วิจัยส่วนมากเห็นด้วยกับการพิจารณาการเกิดโครงสร้างที่ซับซ้อนระหว่างกลุ่มอะมิโนของโคโคแซนและไอออนของโลหะ แต่มีความคิดเห็นขัดแย้งกันในด้านของเรขาคณิตของโครงสร้างที่ซับซ้อน

ในสารละลายมีการศึกษากันเพียงเล็กน้อย โดยส่วนมากจะนำมาใช้กับไอออนทองแดง ซึ่งข้อสรุปของการศึกษานี้เป็นเพียงโครงสร้างที่ซับซ้อน 1 ชนิดที่ถูกสร้างขึ้นเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม ระดับที่เป็นกลางของกลุ่มอะมิโนหรือความเข้มข้นของไอออนทองแดง จะใช้ pH มากกว่า 5 การที่ความหนืดไม่มีประจวบเหมาะขึ้นรูปเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนสามารถสรุปได้คือการ Coordination ของโมเลกุลไม่มี Inter หรือ Intra และในระหว่างการสร้างโครงสร้างที่ซับซ้อนมีกลุ่ม Amine ต่อกับ ไอออนโลหะไม่มากกว่า 1 ซึ่งเป็นไปได้มาก ในการ Coordination ชนิดนี้ มีความเป็นไปได้ที่กลุ่ม -OH 1 กลุ่มของส่วนเหลือบางตัวเข้าครอบครองจุดของการ Coordination ซึ่งจะพบเสมอเมื่อมีปริมาณหมู่อะซิดิกเพิ่มขึ้น และการสร้างโครงสร้างที่ซับซ้อนลดลง พฤติกรรมเช่นนี้เป็นสิ่งที่เกี่ยวข้องกับความจริงที่ว่าจุดที่มีการเชื่อมจะมีกลุ่มอะมิโนเท่านั้นที่เป็นผู้ใช้จุดนั้น เมื่อพิจารณาไอออนของโคโคแซนที่อยู่เป็นคู่ ๆ จะไม่สามารถเข้าใจถึงการสร้างโครงสร้างที่ซับซ้อนของไอออนแคลเซียมถึงแม้ว่าจะมีการรายงานเกี่ยวกับการสร้างโครงสร้างที่ซับซ้อนของไอออนแคลเซียมถึง 3.3 เท่า และในรูปแบบ Fatty acid ในสารละลาย ซึ่งเกิดจากไอออนแคลเซียมกับกลุ่ม Carboxylic ของ Fatty acids

3.3 พันธะไฮโดรเจนและปฏิกิริยาพลังงานต่ำ โปรตีนสามารถสร้างพันธะกับโคโคแซนด้วยพันธะไฮโดรเจน หรือปฏิกิริยาแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der waals interaction) ถ้าพิจารณาในกรณีของ Collagen เมื่อเติมโคโคแซนเข้าไปจับกับโปรตีน ซึ่งไม่มากนักเกิดปกติ โครงสร้างที่ซับซ้อนของ Polyelectrolyte จะถูกสร้างขึ้นซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริงที่เกิด Encapsulation ของ Collagen microgels ในทางตรงกันข้ามเมื่อมีการเติมโคโคแซนที่มากเกินไปใน Collagen จะสังเกตพบว่าการสร้างปฏิกิริยาพันธะไฮโดรเจน ปฏิกิริยาชนิดนี้ไม่ค่อยมีความแข็งแรงในการเหนี่ยวนำของพันธะที่เกิดจากการเปลี่ยนลักษณะทางธรรมชาติของ Collagen double helix structure ในปฏิกิริยาระหว่างพันธะประเภทที่มีพลังงานต่ำ สามารถอธิบายได้โดยการดูดซึมของ Halogens ภายในสายโคโคแซน ปฏิกิริยานี้มีคุณสมบัติในการส่งต่อประจุที่มีโครงสร้างซับซ้อนกับกลุ่มอะมิโน ส่วนการดูดซึมของสารหลาย ๆ ตัว เช่น Phenols ปฏิกิริยา Interaction มีคุณสมบัติในการสร้างโครงสร้างที่ซับซ้อน โดยการเชื่อมของพันธะไฮโดรเจนระหว่างกลุ่ม -OH ของ Phenol และ-NH ของกลุ่ม Acetamide ปฏิกิริยาที่มีพลังงานต่ำเหล่านี้มีความเป็นไปได้ในการรับบทบาทการนำโคโคแซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และไคโตแซนไปใช้ในการเคลือบไฟเบอร์ เพื่อข้อมสึได้ง่ายหรือทำให้ Phases ของ Chromatography อยู่กับที่

เมื่อพิจารณาสูตรโครงสร้างของไคโตแซน พบว่าไคโตแซนมีคุณสมบัติเป็น Cationic polyelectrolyte เนื่องจากไคโตแซนมีหมู่ Amino อิสระ ($-NH_2$) ที่ตำแหน่งคาร์บอนตัวที่สอง ซึ่งมีความเป็นประจุบวกบนหมู่ NH_2 และไคโตแซนจะจับกับสารที่มีประจุลบ ดังนั้น จึงทำให้ไคโตแซนสามารถละลายได้ในสารละลายหลายชนิดที่มี pH ในช่วงที่เป็นกรด (pH น้อยกว่า 5.5) [13] ไคโตแซนจึงมีศักยภาพในการใช้ประโยชน์สูง จากคุณสมบัติในการเป็น Cationic Polyelectrolyte ของไคโตแซน จึงทำให้สามารถสรุปคุณสมบัติเชิงหน้าที่ [4] ได้ดังนี้

1. คุณสมบัติ Hydrophilic ไคโตแซนส่วนใหญ่ จะละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ที่เป็นกรดเจือจาง เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดไพพิโอนิก กรดออกซาลิก กรดมาโลนิก กรดซัลซิินิก กรดอะซิติก กรดแลกติก กรดไพรูวิก กรดมาลิก กรดทาร์ทาริก และกรดซิตริก แต่ไม่ละลายในสารอินทรีย์ที่เป็นกลางและด่าง ที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน 6.5 ขึ้นไป ไคโตแซนสามารถละลายได้ในกรดไฮโดรคลอริกเจือจางและกรดไนตริก เข้มข้นร้อยละ 0.15-1.1 นอกจากนี้ ยังละลายได้เล็กน้อยในสารละลายกรดอโรฟอสฟอริก ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร กรดเปอร์คลอริก และกรดฟอสฟอริก แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ ที่เป็นกรดและด่าง เช่น Dimethylformamide และ Dimethylsulfoxide รวมทั้งสารละลายกรดซัลฟูริกไม่ว่าที่ความเข้มข้นใดๆ ที่อุณหภูมิห้อง ไคโตแซนไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในรูปเกลือของกรดหลายชนิด ยกเว้น เกลือซัลเฟต และเกลือซัลไฟท์ ไคโตแซนไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป แต่ละลายในสารละลายพอลิออลที่มีสภาพเป็นกรด (Acidified polyols) เช่น ละลายในส่วนผสมระหว่างกลีเซอรอลและน้ำที่มีกรดอะซิติก เข้มข้นร้อยละ 1 ในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 ตัวทำละลายไคโตแซนที่ดีที่สุดคือ สารละลายกรดฟอร์มิก เข้มข้นตั้งแต่ร้อยละ 0.2-100 โดยปริมาตร ไคโตแซนไม่สามารถละลายในน้ำที่มีค่า pH สูงกว่า 6.5 แต่ถ้านำไคโตแซนมาบดแห้ง (Dry blending) กับกรดอินทรีย์จะได้ ไคโตแซนที่สามารถละลายน้ำได้

2. คุณสมบัติในการจับสี (Dye binding properties) Knorr [14] ได้รายงานไว้ว่า ไคตินและไคโตแซนจะมีบทบาทในการจับสีได้แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสีของไคตินและไคโตแซน และคุณสมบัติในการจับสีของไคติน ขึ้นอยู่กับ pH โดยทั่วไปจะมีค่าคงที่ ที่ pH 2.0-7.0 โดยจะมีค่าในการจับสีเท่ากับ 0.8 มิลลิกรัมของสีต่อกรัมไคติน ส่วนความสามารถในการจับสีของไคโตแซนจะมีค่าคงที่ ที่ pH 5.5-7.0 และที่ pH ค่าจะสามารถทำให้ไคโตแซนอยู่ในรูปเจล

3. คุณสมบัติในการจับน้ำและไขมัน (Water binding และ Fat binding properties) Knorr [15] ได้รายงานไว้ว่า คุณสมบัติในการจับน้ำของไคติน ไคโตแซน และ Microcrystalline chitin จะอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงร้อยละ 230–440 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ไคโตแซนมีคุณสมบัติในการจับน้ำได้ดีกว่าไคติน ซึ่งความแตกต่างนี้อาจเกิดจากความแตกต่างในผลึกของวัตถุและปริมาณของกลุ่มเกลือ นอกจากนี้คุณสมบัติในการจับน้ำจะเกี่ยวข้องกับปริมาณโปรตีน ที่เหลืออยู่หลังทำการสกัดโปรตีนออกแล้ว นั่นคือหลังทำการสกัดโปรตีนออกแล้วและมีโปรตีนเหลืออยู่มาก คุณสมบัติในการจับน้ำก็จะลดน้อยลง ส่วนคุณสมบัติในการจับไขมันจะอยู่ในช่วงร้อยละ 170–315 โดยไคโตแซนมีคุณสมบัติในการจับ ไขมันต่ำสุด ส่วนไคตินจะมีคุณสมบัติในการจับไขมันดีที่สุด

4. คุณสมบัติการขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม (Film-Forming properties) ไคโตแซนสามารถนำมาขึ้นรูปให้เป็นแผ่นฟิล์มที่มีลักษณะใสเหนียวและยืดหยุ่นสามารถใช้ห่อหุ้มอาหาร เนื่องจากไคโตแซนโดยตัวของมันเองสามารถบริโภคได้ และทนอุณหภูมิสูง

5. คุณสมบัติเป็นสารตัวพา ไคโตแซนมีคุณสมบัติเป็นสารตัวพาเนื่องจากไคโตแซนสามารถเกิดเป็นร่างแห (Matrix) และมีลักษณะเป็นเจล (Ionotropic gel) ซึ่งสามารถหุ้มสารที่จะพาเอาไว้มั่งในได้ และเนื่องจากไคโตแซนสามารถย่อยสลายได้โดยไลโซโซม (Lysosome) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่มีอยู่ในร่างกายของคนเรา และผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่ก่อให้เกิดโทษแก่ร่างกาย

นอกจากนี้ไคโตแซนยังมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่อื่น ๆ อีก เช่น สามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และรักษาความชื้นให้อยู่ในสภาพสมดุล จึงมีผลต่อการควบคุมเมตาบอลิซึมของผลไม้ มีคุณสมบัติเป็นสารกันรา และแบคทีเรีย ก่อให้เกิดความคงตัว (Stabilizer) ในความข้นหนืด (Thickener) และย่อยสลายได้ในธรรมชาติจึงทำให้ง่ายต่อการกำจัด และไม่มีสารตกค้าง เหล่านี้เป็นต้น

2.5 สมบัติที่สำคัญของสารธรรมชาติไคตินและไคโตแซน [2] มีดังต่อไปนี้

1. เป็นวัสดุทางชีวภาพ (biomaterial) ที่มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) และเป็นสารที่มีส่วนร่วมในกิจการทางชีวภาพ (bioactivity) อีกทั้งยังย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (biodegradable) ดังนั้นจึงปลอดภัยในการใช้กับมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม

2. ไคโตแซนเป็นสารพอลิเมอร์ที่มีประจุบวก (dominantly positive charge) สารละลายไคโตแซนมีความเหนียว (viscous) มีพฤติกรรมแบบนอน-นิวโตเนียน (non-newtonian) และ มีความใส (clear solution)

3. ไคตินไม่สามารถละลายในน้ำและในสารอินทรีย์ทั่ว ๆ ไป ส่วนไคโตแซนสามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์หลายชนิดแล้วเปลี่ยนกลับคืนสภาพเดิม

4. สามารถขึ้นรูปได้หลายแบบเช่นเป็นเจล เม็ด เส้นใย colloid และสารเคลือบเป็นต้น มีหมู่ อะมิโน ($-NH_2$) และหมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) ซึ่งสามารถจะทำปฏิกิริยาทางเคมี เพื่อที่จะเปลี่ยนให้เป็น สารอื่น ๆ (derivatives) ได้มากมาย

ด้วยลักษณะสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์ (unique properties) ซึ่งโดดเด่นเฉพาะตัวนี้ ดังนั้นจึงมีการนำเอาไคตินและไคโตแซนมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย ขณะนี้ได้ผ่านการขึ้น ทะเบียนเป็น Food Processing Aids แล้วโดยคณะกรรมการอาหาร (Codex Committee on Food Additives and Contaminants) ที่กรุงเฮก ประเทศเนเธอร์แลนด์ เมื่อปี 1990 นอกจากนี้ยังได้รับการ ยอมรับให้ใช้ผสมอาหารและยาได้ในประเทศญี่ปุ่นมานานแล้ว

2.6 ประโยชน์ของไคตินและไคโตแซน [2]

การใช้ประโยชน์จากสารธรรมชาติไคตินและไคโตแซนซึ่งได้รับการพัฒนาจนสามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ ดังนี้

1. ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางค์

ไคโตแซนสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมในแชมพูสระผม ครีมนวดผม และครีมปรับสภาพผมได้ เนื่องจากสารละลายของไคโตแซนมีความหนืด และยังมีคุณสมบัติในการเคลือบ นอกจากนี้แล้วยังเก็บความชุ่มชื้นไว้ได้อีก จะทำให้เส้นผมนุ่ม ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางค์หลายชนิดที่ขาย ในนามของบริษัท เวลดา ประเทศเยอรมนี และผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางค์หลายชนิดของประเทศ ญี่ปุ่น ก็มีสารไคโตแซนประกอบอยู่ นอกจากนี้แล้ว Guerlain Foundation ยังใช้สารไคตินเป็นส่วน ประกอบในแป้งแต่งหน้า เพื่อเพิ่มความชุ่มชื้น ความเรียบ ให้กับการแต่งหน้าได้นาน และได้มีการ ผลิตและวางตลาดมานานแล้ว ส่วน โกลชั่นทาผิว เพื่อความเนียนนุ่ม และรักษาความสะอาดบนผิว- หนึ่ง ผลิตในประเทศไทยตั้งแต่สามปีที่แล้ว (พ.ศ. 2539)

2. ผลิตภัณฑ์ป้องกันเชื้อจุลินทรีย์

จากการทดสอบพบว่า การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ *E.coli* ถูกยับยั้งเมื่ออยู่ในสาร อาหารที่ประกอบด้วยไคโตแซนเข้มข้นมากกว่า 0.02 % และการเจริญเติบโตของศัตรูพืชหลายชนิด ก็ถูกยับยั้งเช่นกัน ดังนั้นจึงมีการนำไคโตแซนไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหลายประเภท ทั้งใน เครื่องสำอางค์บำรุงผิว และในการป้องกันศัตรูพืชทางการเกษตรอีกมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลกระทบต่ออาหารควบคุมน้ำหนัก

จากการวิจัยในสัตว์ทดลองหลายชนิดพบว่า การบริโภคไคโตแซนสามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอล (Cholesterol) ในเลือดได้ ดังนั้นในประเทศญี่ปุ่นจึงมีการผลิตขนมคุกกี้ควบคุมน้ำหนัก และบะหมี่สำเร็จรูป ซึ่งมีส่วนผสมไคโตแซนออกมาจำหน่าย นอกจากนี้แล้วยังมีน้ำส้มสายชูที่มีไคโตแซนผสมอยู่ออกมาจำหน่ายอีกด้วย สำหรับในประเทศไทยได้วางตลาดผลิตภัณฑ์ไคโตแซนแคปซูล (Chitosan capsules) เพื่อลดคอเลสเตอรอล และควบคุมน้ำหนักซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในรูปแบบอาหารเสริม

4. ผลิตภัณฑ์ไคโตแซนที่ขึ้นรูปเป็นเม็ด

ไคโตแซนที่ขึ้นรูปเป็นเม็ด สามารถนำไปใช้ประโยชน์กับถั่วงอกได้ ดังเช่น เป็นตัวหุ้มและเป็นตัวยึดเกาะสำหรับเอนไซม์และโปรตีน (Immobilize) และยังสามารถใช้เป็นตัวกลางในการจับโลหะโดยปฏิกิริยาการเกิดคีเลต (Chelating agents reaction)

5. ผลิตภัณฑ์เพื่อใช้สร้างและตกตะกอน

ไคโตแซนสามารถจำหน่ายเป็นตัวสร้างตะกอน (Flocculant) สำหรับใช้ในกระบวนการสร้างตะกอนและตกตะกอน (Coagulation and flocculation) เพื่อการบำบัดน้ำเสีย (Wastewater treatment) โดยใช้ไคโตแซนที่มีประจุบวกจะจับกับสารพอลิเมอร์ที่มีประจุลบ แล้วเกิดเป็นสารประกอบพอลิอิเล็กโตรไลต์ (Polyelectrolyte) นอกจากนี้แล้วปฏิกิริยานี้ยังสามารถใช้ได้กับการตกตะกอนพวกสารพอลิเมอร์ที่มีประจุลบ (Anionic polymer) ต่าง ๆ อีกด้วย

6. ผลิตภัณฑ์ไคโตแซนขึ้นรูปเป็นตัวยึดเกาะ

ไคโตแซนเมื่อทำปฏิกิริยากับอัลดีไฮด์ในสารละลายกรดอินทรีย์จะสามารถขึ้นรูปเป็นเจล (Gel) ได้หลายแบบ ซึ่งปฏิกิริยานี้ได้นำไปใช้ในการจับเซลล์ หรือ อวัยวะต่าง ๆ เพื่อจะนำแผ่นสไลด์ไปศึกษารายละเอียด จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning electron microscope, SEM)

7. ผลิตภัณฑ์บำรุงผิว

CM-Chitin หรือมีชื่อทางการค้าว่า Chitin Liquid ได้รับการพัฒนาเพื่อนำมาเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์บำรุงผิวของหลายบริษัท ทั้งนี้เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหนียวและสามารถรักษาความชุ่มชื้นได้ดี (Moisture lotion) และยังช่วยรักษาสมดุลให้ผิวหนัง (Balancing skin)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ผลกระทบทางการแพทย์

ไคโตแซนปัจจุบันได้รับการพัฒนา เพื่อใช้เป็นแผ่นปิดไฟไหม้ น้ำร้อนลวก ออกขายในตลาด นอกจากนี้แล้วยังมีการผลิตผิวหนังเทียมจากส่วนประกอบของไคโตแซนและคอลลาเจน ออกจำหน่ายอีกด้วย

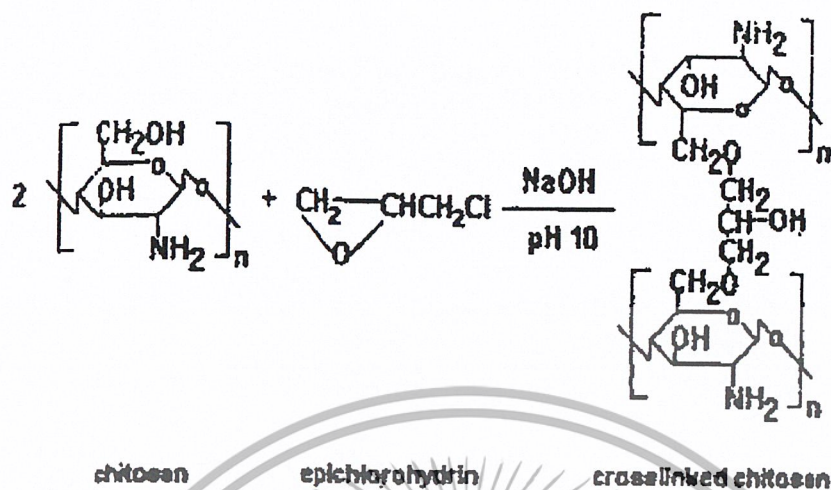
2.7 อีพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin) [5]



ชื่อเรียกอีกแบบหนึ่งว่า Chloromethyloxirane น้ำหนักโมเลกุล 92.53
 ลักษณะทางกายภาพ จุดหลอมเหลวที่ -57°C จุดเดือดที่ $115-117^{\circ}\text{C}$
 ความหนาแน่น 1.183 g/cm^3 ละลายในน้ำ 6.6 wt %

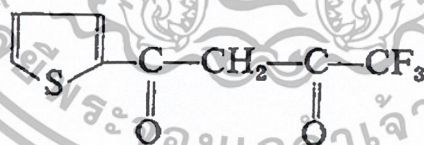
อีพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin) นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้งเป็นตัวเชื่อม (Cross-linking agent) ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ เช่น ไคโตแซน โครงร่างตาข่าย (Cross-linked chitosan) ดังรูปที่ 2.6 แล้วยังนำไปใช้เป็นตัวดักจับ (Trapping agent) เช่น HCl, HBr หรือ แอลกอฮอล์ที่ถูกผลิตขึ้นระหว่างการขึ้นรูป ซึ่งตัวอีพิคลอโรไฮดรินนี้มีอันตรายต่อร่างกาย โดยมีผลทำลายปอด, ตับ และไต แต่อย่างไรก็ตาม ตัวอีพิคลอโรไฮดรินนั้นจะไม่มีกลิ่น และไม่ไวต่อการทำปฏิกิริยากับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงการสังเคราะห์ไคโตแซนโครงร่างตาข่าย (Cross-linked chitosan) จากไคโตแซนและสารเชื่อม โยงอีพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin) [7]

2.8 ทีโนอิลไตรฟลูออโรอะซิโตน (TTA) [8-9]



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของทีโนอิลไตรฟลูออโรอะซิโตน(TTA) [8-9]

ทีโนอิลไตรฟลูออโรอะซิโตน (TTA) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 222.2 และจุดหลอมเหลวที่ 42.5–43.2 °C สาร TTA เป็นผลึกสีเหลืองอ่อน ละลายน้ำได้เล็กน้อย แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์หลายชนิด เป็นสารที่ว่องไวต่อแสง ควรที่จะเก็บสารไว้ในขวดสีชา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

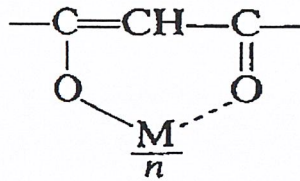
TTA เป็นสาร Chelating agent สำหรับสกัดไอออนของโลหะต่างๆ มีค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายตัวระหว่างเบนซีน (Benzene) และสารละลายกรด ประมาณ 40 ถ้า TTA อยู่ในสารละลายเบสอ่อนจะเปลี่ยนรูปเป็นอีโนเลทไอออน (Enolate ion) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายตัวต่ำลง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของการกระจายตัวระหว่างเบนซีน (Benzene) และสารละลายเบสอ่อนที่ pH ประมาณ 8 มีค่าเท่ากับ 1 อย่างไรก็ตาม ถ้า pH ของสารละลายมีค่าสูงกว่า 9 สาร TTA จะแตกตัวเป็น Trifluoroacetone และ Acetylthiophene



รูปที่ 2.8 แสดงการเปลี่ยนรูปเป็นอีโนล (Enol form) ของ TTA [10]

TTA มีหมู่ Trifluoromethyl ที่สามารถเพิ่มความเป็นกรดให้กับสาร TTA ที่อยู่ในรูปอีโนล (Enol form) ทำให้สามารถสกัดไอออนของโลหะออกจากสารละลายกรดแก่ได้ดีกว่า สารเบต้าไดคีโตน (β -diketone) ตัวอื่นๆ โดยเกิดการรบกวนจากปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำ (Hydrolysis) น้อย โดยทั่วไปโลหะทรานซิชัน (Transition metal) ในอนุกรมแอกทิไนด์ (Actinides) สามารถเกิด Chelate กับ TTA โดยในการเกิดพันธะกับโลหะหมู่ไดคีโตนของ TTA จะอยู่ในรูปอีโนล และไฮโดรเจนที่เกาะกับออกซิเจนหลุดออกและเกิดพันธะกับไอออนโลหะ ดังรูปที่ 2.9 ได้สารประกอบเชิงซ้อน $M(TTA)_n$ โดยที่ n เป็นประจุของโลหะไอออน ยกเว้น 2 ธาตุ คือ Strontium (II) และ Uranium (VI) เกิดสารประกอบเชิงซ้อน $M(TTA)_nHTTA$ ในการสกัดไอออนด้วยตัวทำละลาย จะใช้ความเข้มข้นของ TTA ในเบนซีน (Benzene), โทลูอีน (toluene), ไซลีน (Xylene) หรือ เมทิลไอโซบิวทิลคีโตน (Methyl isobutly ketone) เท่ากับ 0.1-0.5 โมลาร์ สารเชิงซ้อนของ TTA บางตัวจะให้สีที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงแสงที่เรามองเห็น เช่น สารเชิงซ้อนของ Uranium (VI) ให้สีเหลือง, Copper (II) ให้สีเขียวและ Chromium (III) ให้สีเหลืองอ่อนเป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงนำสารละลายเชิงซ้อนที่เกิดสีไปหาปริมาณของโลหะโดยวิธีวัดการดูดกลืนแสง (Photometric) TTA มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 330 นาโนเมตร และค่าสภาพดูดกลืนโมลาร์ (Molar extinction coefficient) เท่ากับ 11,900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงการจับไอออนโลหะที่หมู่ไคลิโตนของ TTA [11]

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Gao และคณะ[16] ได้ศึกษาพฤติกรรมการดูดซับของธาตุ 60 ชนิดที่ระดับ 10 ng/ml บนไคโตแซนที่ถูกเชื่อมโยงที่มีรพุนสูงในคอลัมน์ขนาดเล็ก ไคโตแซนสามารถดูดซับไอออนลบ เช่น Oxoanions หรือ Chloro complex anions ของโลหะเช่น Ti V Mo W Ga Bi Au(III) Pt และ Pd ในสารละลายโดยกลไกแลกเปลี่ยนไอออนและสามารถดูดซับไอออนของโลหะบางชนิดโดยกลไก Chelating ไอออนของโลหะที่ถูกดูดซับอยู่บนไคโตแซนจะถูกชะออกมาโดยใช้ 1 M HNO₃ และโลหะมีตระกูลตัวอื่นๆเช่น Au Pt และ Pd ถูกชะออกมาโดยสารละลายที่ประกอบด้วย 1 M HCl และ 0.05 M Thiourea สัดส่วนการดูดซับของไอออนของโลหะถูกตรวจสอบโดยการวัดไอออนของโลหะที่ถูกชะออกมาโดยเทคนิค ICP-MS ในการใช้วิธีการเตรียมคอลัมน์โลหะไอออนจะปรากฏในรูป Oxoanions จากตัวอย่างน้ำในแม่น้ำ เช่น Ti V Mo W Ga และ Bi โดยจะถูกสะสมอยู่บนไคโตแซนที่ถูกเชื่อมโยง ซึ่งจะถูกระบายออกมาและทำการวัดไอออนของโลหะที่ถูกชะออกมา

Wei และคณะ[17] ได้ศึกษาสิ่งที่จำเป็นในการพัฒนาของการบรรจุหีบห่อโดยใช้วัสดุที่สลายตัวได้ไคโตแซนเป็นพอลิเมอร์ที่มีประโยชน์ซึ่งมีคุณสมบัติมากมายสำหรับการประยุกต์นี้ งานวิจัยนี้บรรยายการเชื่อมโยงของเส้นใยไคโตแซน Epichlorohydrin จะนิยมใช้เป็นสารเร่งและสารเชื่อมโยงความแข็งแรงของเส้นใย โดยเฉพาะ Wet tenacity ถูกพัฒนาขึ้นโดยการเชื่อมโยง

Omar และคณะ[18] ได้ศึกษาดิบบุกอนินทรีย์ในน้ำธรรมชาติสามารถถูกดูดซับ และแยกออกมาโดยใช้ Polyurethane foam ใน Toluene-3,4-dithiol สารประกอบที่รบกวนจะกำจัดได้โดยเปลี่ยน Tin ให้เป็น Tin(IV)iodide และสกัดสารนี้ใน Toluene วัด Tin ได้โดยเกิดสารเชิงซ้อนกับ Catechol violet และ Cetyltrimethylammonium bromide ซึ่งดูดซับที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร วิธีแยก Tin(II) จาก Tin(IV) โดยใช้ Polyurethane foam และ Diethylammonium diethyldithiocarbamate ถูกใช้สำหรับน้ำบริสุทธิ์แต่จะประสบความสำเร็จน้อยสำหรับน้ำจากแหล่งธรรมชาติ วิธี Spectrophotometry ถูกทดสอบ และอ้างอิงทางธรณีวิทยา 8 ชนิดและทางชีววิทยา 4 ชนิด และนำวิธีดังกล่าวไปวิเคราะห์หาปริมาณ Tin จากแหล่งน้ำธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชมพูนุชและคณะ[1] ได้ศึกษาความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนของโลหะโดยใช้ไคโตแซน พบว่า ความสามารถในการดูดซับโลหะไอออนของไคโตแซนจะขึ้นอยู่กับชนิดของไอออนโลหะ และชนิดของไคโตแซน โดยไคโตแซนที่ใช้เวลาในการกำจัดหมู่อะซิติลนานจะมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับไอออนโลหะและค่าความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนมาก ซึ่งไคโตแซนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ก็จะมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับไอออนโลหะและความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนสูงกว่าไคโตแซนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เมื่อเปรียบเทียบชนิดของโลหะพบว่า ในสารละลายไอออนของโลหะเพียงชนิดเดียวมีลำดับความสามารถในการถูกดูดซับดังนี้ $Cu^{2+} > Pb^{2+}, Zn^{2+} > Cd^{2+}, Fe^{3+}$ และในสารละลายไอออนของโลหะผสมนั้นจะมีลำดับความสามารถในการถูกดูดซับดังนี้ $Cu^{2+} > Zn^{2+}, Pb^{2+} > Cd^{2+}, Fe^{3+}$

Qian และคณะ [19] ได้ศึกษาวิธีการแยกและสะสมไอออนของ Mn (VII) และ Mn (II) บนไคโตแซน โครงร่างตาข่าย และทำการวิเคราะห์หาปริมาณไอออนของโลหะที่เหลืด้วยเทคนิค Flame Atomic Absorption Spectrophotometry (FAAS) พบว่า อัตราการดูดซับของ Mn (VII) บนไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่ pH 3 เท่ากับ 98% ในขณะที่ Mn (II) จะดูดซับน้อยมาก Mn (VII) จะถูกชะออกจากไคโตแซน โครงร่างตาข่ายโดยใช้ Oxammonium hydrochloride เข้มข้นร้อยละ 10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) และวิเคราะห์หาปริมาณไอออนของโลหะที่เหลือโดยเทคนิค FAAS สำหรับ Mn (II) วิเคราะห์หาปริมาณโดยคิดจากปริมาณ Mn ทั้งหมดที่มีอยู่หลังจาก Mn (II) ที่อยู่ในน้ำตัวอย่างถูกเปลี่ยนไปเป็น Mn (VII) ค่าขีดจำกัดการตรวจหา (Detection limit) สำหรับ Mn (VII) เท่ากับ $1.98 \mu\text{g/l}$ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative standard deviation) มีค่าน้อยกว่า 6.6% ที่ $10 \mu\text{g/l}$ และเมื่อนำวิธีการดังกล่าวนี้ไปประยุกต์ใช้กับตัวอย่างของน้ำในธรรมชาติ พบว่าเปอร์เซ็นต์ของไอออนโลหะที่ได้กลับคืนมาอยู่ในช่วง 95 – 103%

Tan และคณะ [20] ได้ศึกษาอนุพันธ์ของไคโตแซน คือ Cross-linked chitosan dibenzo-16-C-5 acetate crown ether (CCTS-1) และ Cross-linked chitosan 3, 5-di-tert-butyl dibenzo-14-C-4 diacetate crown ether (CCTS-2) ทำการสังเคราะห์โดยปฏิกิริยาระหว่าง Cross-linked chitosan กับ Dibenzo-16-C-5 chloroacetate crown ether และ 3,5-di-tert-butyl dibenzo-14-C-4 dichloroacetate crown ether โดยพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้นี้นำไปดูดซับกับโลหะหนักที่เป็นพิษ และตรวจพิสูจน์การเกิดสารประกอบด้วยเทคนิค IR spectrophotometry และ X-ray diffraction พบว่าสเปกตรัมของ CCTS-1 และ CCTS-2 ปรากฏแถบการสั่นของสารประกอบ Aromatic ที่ 1595 และ 1500 cm^{-1} และความเข้มของแถบการสั่นของ N-H และ O-H Stretching ที่อยู่ในช่วง $3150-3200 \text{ cm}^{-1}$ มีค่าลดลงอย่างมาก สำหรับเทคนิค X-ray diffraction พบว่า Peak ที่ $2\theta = 20^\circ$ มีค่าลดลงอย่างมาก และทำการศึกษาความจำเพาะเจาะจงในการดูดซับ CCTS-1 และ CCTS-2 ของ Pb(II), Cu(II), Cr(III) และ Ni(II) พบว่า Pb(II) และ Cu(II) มีความสามารถในการดูดซับสูงกว่าไอออนโลหะตัวอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และนอกจากนี้ Pb(II) และ Cu(II) ยังมีความจำเพาะเจาะจงในการดูดซับสูงในสารละลายผสมที่มี Ni(II) ร่วมด้วย สำหรับสารละลายผสมที่ประกอบด้วย Pb(II), Ni(II) หรือ Cu(II), Ni(II) พบว่า CCTS-1 ดูดซับเฉพาะ Pb(II) หรือ Cu(II) สำหรับสารละลายผสมที่ประกอบด้วย Pb(II), Cr(III) และ Ni(II) พบว่า Pb(II) มีความจำเพาะเจาะจง และประสิทธิภาพในการดูดซับ CCTS-2 สูง

Majumdar และคณะ[21] ได้ศึกษาวิธีการสกัดสารประกอบเชิงซ้อนด้วยตัวทำละลาย และวิธีวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารที่ให้สี พบว่าปริมาณ Cr(III) ในหน่วยมิลลิกรัม สามารถเกิดคีเลต (Chelate) กับ 2-Thenoyltrifluoroacetone (TTA) ได้สารประกอบเชิงซ้อนของ Cr(III) ที่มีสีส้ม แล้วทำการสกัดด้วย Benzene และเมื่อนำสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีส้มนี้ไปวัดค่าความยาวคลื่นที่ถูกดูดกลืนมากที่สุด พบว่ามีค่าเท่ากับ 430 nm ในช่วงความเข้มข้นของ Cr(III) เท่ากับ 0.08–2 mg/l และเมื่อทำการสกัดด้วย Benzene เพียงครั้งเดียวในช่วง pH5–6.5 ได้เปอร์เซ็นต์ของการสกัดประมาณ 80% สำหรับเสถียรภาพของสารประกอบเชิงซ้อนจะเสถียรตลอดช่วง 1 สัปดาห์ และพบว่า Ag(III), Al(III), Hg (II) และ Citrate มีผลต่อการแทรกสอดภายในระบบน้อย ในขณะที่ Fe(III), U(VI), Th(IV), Zr(IV), Bi(III), Tartrate และ EDTA มีผลต่อการแทรกสอดภายในระบบมาก อย่างไรก็ตามการแทรกสอดของ Fe(III), Th(IV) และ Zr(IV) สามารถแก้ไขโดยสกัดโลหะดังกล่าวออกก่อน โดยอาศัยสารละลายกรด pH 1 สำหรับวิธีการดังกล่าวพบว่าค่าความถูกต้อง และแม่นยำมีความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2\%$

อรุณี [6] ได้ศึกษาการแยกโคโคตินจากเปลือกทุเรียน และผลิตโคโคแซนจากโคโคติน โดยเริ่มจากกำจัดโปรตีนด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% กำจัดแร่ธาตุด้วยกรดไฮโดรคลอริก 5% แล้วกำจัดหมู่ acetyl ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50% อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 1 ชม. ผลการวิเคราะห์หาปริมาณการดูดซับของโลหะ โดยโคโคติน และโคโคแซนที่ผลิตได้ พบว่าไอออนโลหะ Pb(II), Zn(II), Cu(II) และ Cd(II) ถูกดูดซับโดยโคโคตินเท่ากับ 7.0×10^{-3} , 3.4×10^{-2} , 0.01–0.07, 0.01–0.07 mmole/g ตามลำดับ และโดยโคโคแซนเท่ากับ 7.0×10^{-3} , 6.2×10^{-2} , 0.01–0.07, 0.01–0.07 mmole/g ตามลำดับ และสามารถลดปริมาณโลหะ Pb(II) ในแหล่งน้ำทิ้งบริเวณใกล้โรงงานอุตสาหกรรม จากความเข้มข้น 2.17×10^{-3} และ 1.3×10^{-3} mmole/L เหลือ 1.06×10^{-3} และ 0.53×10^{-3} mmole/L ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง FT-IR Spectrophotometer GX รุ่น 60237
2. เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer รุ่น UV-160 (UV/visible spectrophotometer model UV-160)
3. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, รุ่น LEO 1455VP)
4. เครื่องวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง รุ่น 215 (Denver pH meter model 215)
5. เครื่องปั่นกวนแบบให้ความร้อน (Fisher stirring hot plate)
6. เครื่องเขย่าสาร รุ่น A007452 (Gallenkamp orbital shaker model A007452)
7. เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าแบบละเอียด รุ่น 205A (Precisa analytical balance model 205A)
8. เครื่องบดสาร (Grinding machine รุ่น A600; Bosco engineering)
9. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) รุ่น SANYO
10. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
11. บีกเกอร์ (Beaker)
12. เซลล์ควอตซ์ (Quartz cell)
13. กระบอกดวง (Cylinder)
14. ปิเปต (Pipette)
15. กระจกนาฬิกา (Watch glass)
16. ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)
17. แท่งแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)
18. เครื่องกรองสุญญากาศ
19. หลอดหยด (Dropper)
20. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
21. แท่งแก้วคน
22. กระดาษลิตมัส
23. กระดาษกรองเบอร์ 42 ของบริษัทวอทแมน (Whatman)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ตัวอย่างและสารเคมี

1. เปลือกปู
2. อีพ็อกซีโรไซคริน เกรดการค้า ของบริษัท Thai Epoxy and Allied Product
3. สารละลายบัฟเฟอร์กรดอะซิติก-โซเดียมอะซิเตต pH 7.35 และ 5.75
4. ทีโนอิลไตรฟลูออโรอะซีโตน เกรดวิเคราะห์ ของบริษัท Fluka
5. เบนซีน เกรดการค้า ของบริษัท Merck
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดวิเคราะห์ ของบริษัท Merck
7. กรดไฮโครคลอริก เกรดการค้า ของบริษัท Merck
8. เอทานอล เกรดวิเคราะห์ ของบริษัท Merck
9. กรดอะซิติก เกรดการค้า ของบริษัท Merck
10. กรดซัลฟูริก เกรดการค้า ของบริษัท Merck
11. โครเมียมไนเตรตโนนไฮเดรต ($\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ ของบริษัท Merck
12. แมงกานีสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ ของบริษัท Merck
13. น้ำกลั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การสกัดสารไคโตแซน (Chitosan)

นำเปลือกปูที่สุกแล้วมาล้างทำความสะอาด ผึ่งแดดให้แห้งและบดให้ละเอียดด้วยเครื่อง Grinder แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 12 เมส (Mesh) เก็บเปลือกปูที่มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 12 เมส (Mesh) ทำการกำจัดโปรตีน โดยนำเปลือกปูที่มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 12 เมส (Mesh) 50 กรัม แช่ใน 1 นอร์มอล ของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 500 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนจน pH เป็นกลาง ทำการกำจัดแร่ธาตุ โดยแช่ตะกอนจากขั้นตอนการกำจัดโปรตีนใน 1.25 นอร์มอล ของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนจน pH เป็นกลาง ทำการกำจัดสีและไขมันโดยแช่ตะกอนจากขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุ ในเอทิลแอลกอฮอล์ เข้มข้นร้อยละ 95 จำนวน 500 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้องนาน 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการกำจัดหมู่ อะซิติก โดยแช่ตะกอนจากขั้นตอนการกำจัดสีและไขมันในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น ร้อยละ 50 จำนวน 150 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการ ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนจน pH เป็นกลาง ทำการกรองตะกอนไคโตแซน นำตะกอนไปอบแห้ง เป็นเวลา 1 วัน โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 65 องศาเซลเซียส นำสารไคโตแซนที่สกัดได้ไปตรวจสอบองค์ ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี

3.3.2 การเตรียมไคโตแซนโครงร่างตาข่าย (Cross-linked chitosan)

ในการเตรียมไคโตแซนโครงร่างตาข่ายเตรียมตามอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของ ไคโตแซน ต่อ อีพิคลอโรไฮดรินดังนี้ 1:1 1:2 1:3 และ 1:6 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม ในการ ดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป สำหรับการเตรียมไคโตแซนโครงร่างตาข่าย สามารถทำได้ดังนี้

1) นำสารไคโตแซนที่สกัดได้ 10 กรัม แช่ในสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 1 (น้ำหนักต่อปริมาตร) จำนวน 320 มิลลิลิตร

2) นำอีพิคลอโรไฮดริน จำนวน 10 20 30 และ 60 มิลลิลิตร สำหรับอัตราส่วน 1:1 1:2 1:3 และ 1:6 ตามลำดับ ผสมกับสารละลายที่ได้จากข้อ 1 จากนั้น เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอก-

ไซค์เข้มข้นร้อยละ 5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) จำนวน 50 มิลลิลิตร แล้วการกวนด้วย Magnetic Stirrer ตลอดเวลา

3) ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 18 ชั่วโมง

4) แยกพอลิเมอร์ออกจากสารละลายโดยเซ็นตริฟิวก์ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 2500 รอบต่อนาที

5) ล้างพอลิเมอร์ด้วยน้ำปราศจากไอออน ครั้งละ 50 มิลลิลิตร 3 ครั้ง

6) นำไลโคเซน โครงร่างตาข่ายที่ได้ไปอบแห้ง เป็นเวลา 1 วัน โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส

7) นำสารไลโคเซน โครงร่างตาข่ายที่สังเคราะห์ได้ไปตรวจองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี

3.3.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+})

ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) จะเลือกใช้ไลโคเซน โครงร่างตาข่าย ที่มีอัตราส่วนโดยมวลของไลโคเซนต่อปริมาตรอีพิคลอโรไฮดรินที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะได้สูงสุด โดยสภาวะที่ศึกษามีดังนี้

3.3.3.1 การศึกษาความเข้มข้นของไอออนโลหะที่เหมาะสมในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+})

เตรียมสารละลายมาตรฐานโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ความเข้มข้นต่างๆ ดังนี้ 20 40 60 และ 100 ส่วนในล้าน จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) แต่ละความเข้มข้น จำนวน 5 10 15 20 25 มิลลิลิตร เติม 20 ของสารละลายบัฟเฟอร์กรดอะซิติก-โซเดียมอะซิเตต pH 5.75 และ 7.35 สำหรับไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ตามลำดับ เติม 10 มิลลิลิตร ของสารละลาย TTA เข้มข้น 0.15 โมลาร์ แล้วสกัดแยกสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะด้วยเบนซีนครั้งละ 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี ที่ความยาวคลื่น 402 และ 395 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับไอออนโลหะโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ตามลำดับ นำผลที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อใช้เทียบหาความเข้มข้นของไอออนโลหะ

ศึกษาผลของความเข้มข้นของไอออนโลหะโครเมียม(Cr^{3+})และแมงกานีส (Mn^{2+}) ที่ความเข้มข้น 4 8 12 และ 20 ส่วนในล้าน โดยทำการศึกษาการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะ ตามขั้นตอนดังนี้

- 1) ปิเปตสารละลายมาตรฐานโครเมียม(Cr^{3+}) ที่มีความเข้มข้น 20 40 60 และ 100 ส่วนในล้านอย่างละ 5 มิลลิลิตร ถ่ายใส่กรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) เติม 20 มิลลิลิตร ของสารละลายบัฟเฟอร์กรดอะซิติก-โซเดียมอะซิเตต pH 5.75
- 3) เติม 10 มิลลิลิตรของสารละลาย TTA เข้มข้น 0.15 โมลาร์ เขย่ากรวยแยกให้สารละลายเข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้บนวงแหวนยึดติดกับขาตั้ง 1-2 นาที จนเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ จะสังเกตเห็นสีเหลืองของสารประกอบเชิงซ้อนของโครเมียม
- 4) เติมเบนซีน 10 มิลลิลิตร เขย่ากรวยแยกนาน 1 นาที เพื่อสกัดเอาสารประกอบเชิงซ้อนของโครเมียมเข้ามาในชั้นเบนซีน จะสังเกตเห็นสีเหลืองในชั้นน้ำหายไป ขณะสกัดให้เปิดก๊อกกรวยแยกเพื่อปล่อยแก๊สออกเป็นครั้งคราว ทิ้งสารละลายให้แยกชั้น แยกชั้นเบนซีนเก็บไว้ในบีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระดาษฟิวส์
- 5) ทำการสกัดซ้ำอีกครั้งหนึ่งด้วยเบนซีน 10 มิลลิลิตร
- 6) รวบรวมชั้นเบนซีนที่สกัดได้ทั้งหมดเข้าด้วยกัน ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยเบนซีนให้ถึงขีดบอกปริมาตร (จะได้ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.6 โมลาร์ และความเข้มข้นของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) 4 8 12 และ 20 ส่วนในล้าน ตามลำดับ)
- 7) ทำการทดลองซ้ำ ข้อ 1) – 6) สำหรับสารละลายมาตรฐานแมงกานีส (Mn^{2+}) ใช้สารละลายบัฟเฟอร์กรดอะซิติก-โซเดียมอะซิเตต pH 7.35
- 8) เติม 20 มิลลิลิตร ของสารละลายในข้อ 6) ลงในโคโคแซนโครจางตาข่าย 180 มิลลิกรัม (จะได้ความหนาแน่นของสารแขวนลอย 9 กรัมต่อสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะ 1 ลิตร)
- 9) เขย่าสารในข้อ 8) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที กรองเก็บส่วนที่เป็นของเหลวด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42
- 10) วิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของไอออนโลหะที่เหลือด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี ที่ความยาวคลื่น 402 และ 395 นาโนเมตร สำหรับไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.2 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลาย TTA ที่เหมาะสมในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+})

เตรียมสารละลายมาตรฐานโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ที่ความเข้มข้นในการดูดซับสูงสุดจากการทดลองในข้อ 3.3.3.1 แล้วสร้างกราฟมาตรฐานโดยใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย เหมือนการทดลองในข้อ 3.3.3.1 โดยปรับเปลี่ยนปริมาตรสารละลาย TTA เข้มข้น 0.15 โมลาร์ให้เท่ากับ 5 10 15 และ 20 มิลลิลิตร เพื่อใช้เทียบหาความเข้มข้นของไอออนโลหะและนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี ที่ความยาวคลื่น 402 และ 395 นาโนเมตร สำหรับไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ตามลำดับ

ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลาย TTA โดยปรับเปลี่ยนปริมาตรสารละลาย TTA เข้มข้น 0.15 โมลาร์ให้เท่ากับ 5 10 15 และ 20 มิลลิลิตร โดยทำการศึกษาการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะ ตามขั้นตอนดังนี้

- 1) ปิเปตสารละลายมาตรฐานโครเมียม (Cr^{3+}) ที่ความเข้มข้นในการดูดซับสูงสุด จากการทดลองในข้อ 3.3.3.1 จำนวน 5 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 2) เติม 20 มิลลิลิตร ของสารละลายบัฟเฟอร์ pH 5.75 ที่งสารละลายให้เย็นแล้วถ่ายใส่กรวยแยกขนาด 250 มิลลิลิตร
- 3) เติมสารละลาย TTA เข้มข้น 0.15 โมลาร์ จำนวน 5 10 15 และ 20 มิลลิลิตร
- 4) ทำตามขั้นตอนที่ 4) - 10) จากการทดลองในข้อ 3.3.3.1 (จะ ได้ความเข้มข้นของสารละลาย TTA ในปริมาตรรวม เท่ากับ 0.3 0.6 0.9 และ 1.2 โมลาร์)

3.3.3.3 การศึกษาความหนาแน่นของสารแขวนลอยโคโคแซน โครงร่างตาข่ายที่เหมาะสมในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+})

ศึกษาผลของความหนาแน่นของสารแขวนลอยโคโคแซน โครงร่างตาข่ายที่เหมาะสม ในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะ โดยปรับเปลี่ยนปริมาณโคโคแซน โครงร่างตาข่ายเป็น 40 120 180 และ 240 มิลลิกรัม ทำการศึกษาการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะ ตามขั้นตอนดังนี้

- 1) ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 1) - 7) จากการทดลองในข้อ 3.3.3.1 โดยปรับค่าความเข้มข้นของไอออนโลหะและความเข้มข้นของสารละลาย TTA ที่ให้ค่าการดูดซับสูงสุด จากการทดลองในข้อ 3.3.3.1 และ 3.3.3.2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2)เติม 20 มิลลิลิตรของชั้นเบนซีนที่สกัดได้ลงในโคโคเซน โครงร่างตาข่ายที่ปรับเปลี่ยนปริมาณเป็น 40 120 180 และ 240 มิลลิกรัม (จะได้ความหนาแน่นของสารแขวนลอยเท่ากับ 2 6 9 และ 12 กรัม ต่อ สารเชิงซ้อนของไอออนโลหะ 1 ลิตร)

3)เขย่าสารในข้อ 2) เป็นเวลา 2 ชั่วโมงด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที กรองเก็บส่วนที่เป็นของเหลวด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42

4)วิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของ ไอออนโลหะที่เหลือด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี ที่ความยาวคลื่น 402 และ 395 นาโนเมตร สำหรับไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ตามลำดับ

3.3.3.4 การศึกษาเวลาในการสัมผัสที่เหมาะสมในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+})

ศึกษาผลของเวลาในการสัมผัสที่เหมาะสม ในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะ โดยปรับเปลี่ยนเวลาในการเขย่าเป็นดังนี้ 5 10 30 60 120 180 และ 240 นาที ทำการศึกษาการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะ ตามขั้นตอนดังนี้

1)ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 1) - 7) จากการทดลองในข้อ 3.3.3.1 โดยปรับค่าความเข้มข้นของไอออนโลหะและความเข้มข้นของสารละลาย TTA ที่ให้ค่าการดูดซับสูงสุด จากการทดลองในข้อ 3.3.3.1 และ 3.3.3.2 ตามลำดับ

2)เติม 20 มิลลิลิตรของชั้นเบนซีนที่สกัดได้ลงในโคโคเซน โครงร่างตาข่ายที่ความหนาแน่นของสารแขวนลอยของพอลิเมอร์ที่ให้ค่าการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.3.3.3

3)เขย่าสารในข้อ 2) ตามเวลาในการสัมผัสที่ทำการปรับเปลี่ยนเป็น 5 10 30 60 120 180 และ 240 นาที ด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที กรองเก็บส่วนที่เป็นของเหลวด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42

4)วิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของ ไอออนโลหะที่เหลือด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี ที่ความยาวคลื่น 402 และ 395 นาโนเมตร สำหรับไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ตามลำดับ

3.3.4 การนำโคโคแซนโครงสร้างตาข่ายกลับมาใช้ใหม่

นำโคโคแซนโครงสร้างตาข่ายที่ผ่านการใช้แล้ว ในการทดลองข้อ 3.3.3.4 นำมาล้างด้วยเบนซีนครั้งละ 20 มิลลิลิตร 3 ครั้ง แล้วนำโคโคแซนโครงสร้างตาข่ายไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน จากนั้นนำมาทำการทดลองหาประสิทธิภาพในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะ ทำการทดลองดังนี้

1) ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 1) - 7) จากการทดลองในข้อ 3.3.3.1 โดยปรับค่าความเข้มข้นของไอออนโลหะ และความเข้มข้นของสารละลาย TTA ที่ให้ค่าการดูดซับสูงสุด จากการทดลองในข้อ 3.3.3.1 และ 3.3.3.2 ตามลำดับ

2) เติม 20 มิลลิลิตรของชั้นเบนซีนที่สกัดได้ลงในโคโคแซนโครงสร้างตาข่ายที่ความหนาแน่นของสารแขวนลอยของพอลิเมอร์ที่ให้ค่าการดูดซับสูงสุดที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.3.3.3

3) นำสารในข้อ 2) ไปเขย่าด้วยเวลาในการสัมผัสที่ให้ค่าการดูดซับสูงสุดจากการทดลองในข้อ 3.3.3.4 ด้วยความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที กรองเก็บส่วนที่เป็นของเหลวด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42

4) วิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของไอออนโลหะที่เหลือด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี ที่ความยาวคลื่น 402 และ 395 นาโนเมตร สำหรับไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ตามลำดับ

3.3.5 การศึกษารูปแบบของการดูดซับระหว่างโคโคแซนโครงสร้างตาข่ายกับไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+})

นำโคโคแซนโครงสร้างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) มาทดสอบด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี เพื่อยืนยันรูปแบบการดูดซับระหว่างโคโคแซนโครงสร้างตาข่ายกับไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+})

3.3.6 การศึกษารูปแบบของการดูดซับระหว่างโคโคแซนโครจรงตาข่ายกับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+})

นำโคโคแซนโครจรงตาข่ายที่ผ่านการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) มาทดสอบด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี เพื่อยืนยันรูปแบบการดูดซับระหว่างโคโคแซนโครจรงตาข่ายกับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+})



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของโคโคแซนด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี

ในการวิจัยเพื่อพิสูจน์ว่าสารที่สกัดได้คือ โคโคแซน ทำโดยศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมของโคโคแซนที่สกัดได้เทียบกับโคโคแซนที่สั่งซื้อจากบริษัท Fluka ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ [1] ซึ่งในอินฟราเรดสเปกตรัมมีหมู่ฟังก์ชันที่น่าสนใจศึกษา ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงตำแหน่ง และลักษณะเฉพาะของแถบอินฟราเรดสเปกตรัมของโคโคแซน

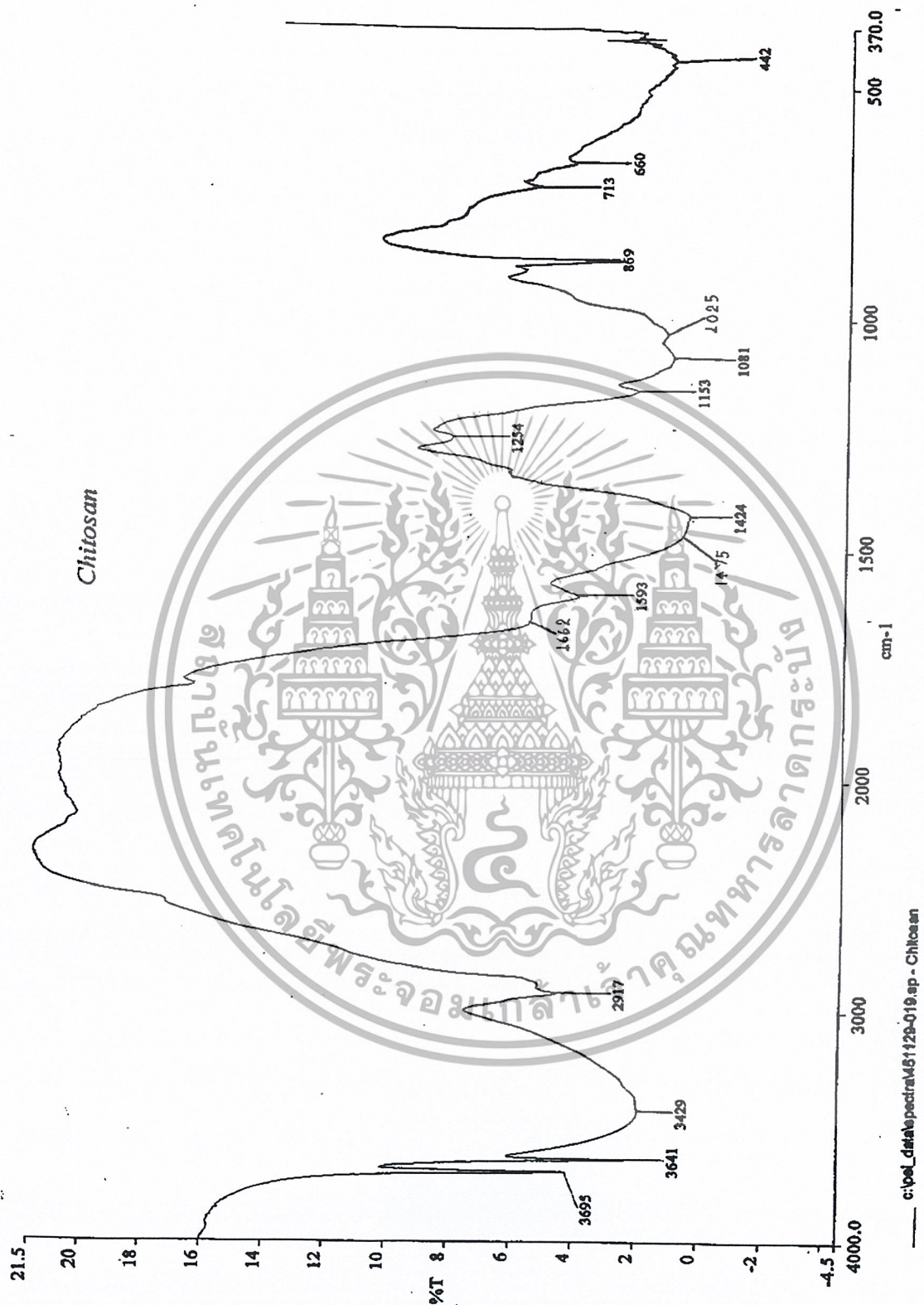
ตำแหน่งแถบ (cm ⁻¹)	ลักษณะเฉพาะของแถบ (Peak characteristic)	หมายเหตุ
3200-3600	N-H stretching ของ 2° Amide O-H stretching ของหมู่ Hydroxy N-H stretching ของ 1° Amine	แถบกว้าง แถบเดี่ยวและต่ำ แถบกว้างและสูง แถบคู่และต่ำ
2917	C-H stretching ของหมู่ CH ₂ ใน 2° Amide	
1662	C=O stretching ของ 2° Amide	แถบกว้างและสูง
1593	N-H bending ของ 1° Amine	แถบเดี่ยวและสูง
1460	C-H bending ของหมู่ CH ₂	
1424	C-H bending ของหมู่ CH ₃ ใน 2° Amide	
1081	C-O stretching ของ 2° Alcohol	แถบเดี่ยวและสูง
1025	C-O stretching ของ 1° Alcohol	แถบเดี่ยวและสูง

สำหรับอินฟราเรดสเปกตรัมของโคโคแซนที่สกัดได้จากเปลือกปู โคโคแซนชนิดมวล

โมเลกุลสูง และมวลโมเลกุลต่ำ จากบริษัท Fluka [1] แสดงดังรูปที่ 4.1-4.3

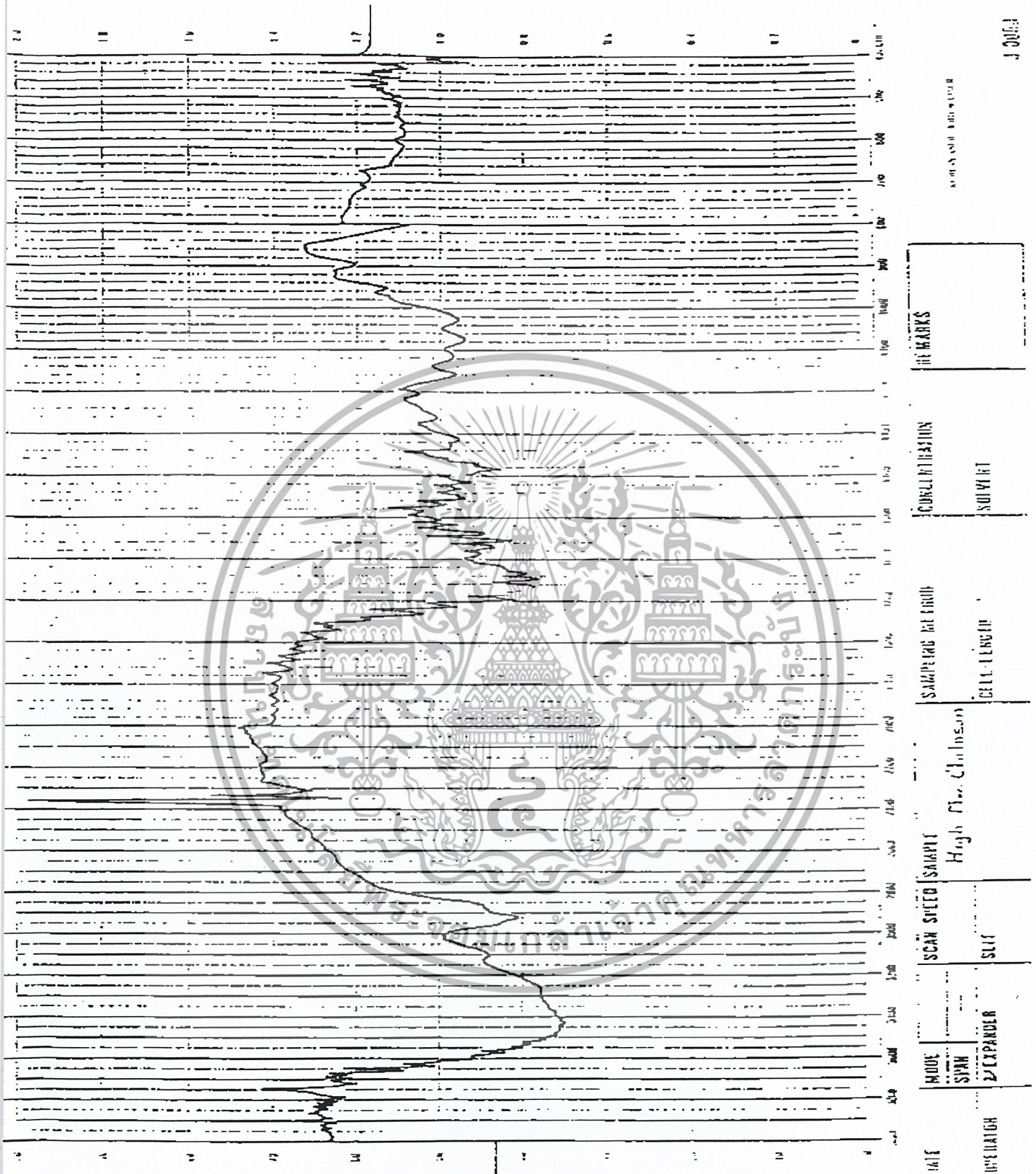
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดง FT-IR สเปกตรัมของไคโตแซนที่สกัดได้

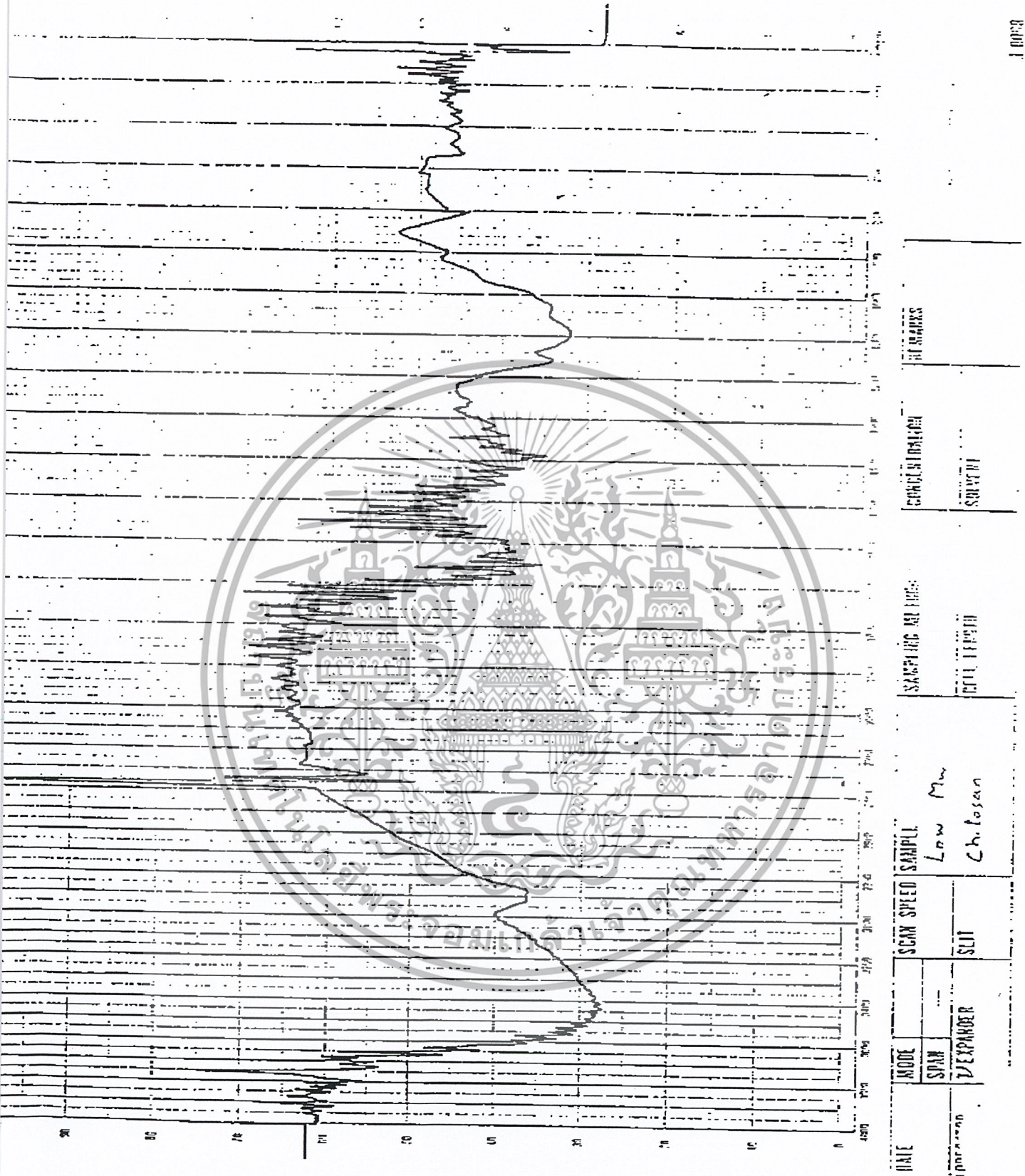
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของ โค โดเซนชนิดมวล โมเลกุลสูง [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของโคโคแซนชนิดมวลโมเลกุลต่ำ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซนที่สกัดได้จากเปลือกปู กับไคโตแซนชนิดมวลโมเลกุลสูง และมวลโมเลกุลต่ำ จากบริษัท Fluka [1] พบว่าไคโตแซนที่สกัดได้มีโครงสร้างคล้ายกับไคโตแซนชนิดมวลโมเลกุลต่ำ โดยมีส่วนที่แตกต่างกันที่แถบ C=O stretching ของ 2°Amide ที่ 1662 cm^{-1} คือไคโตแซนที่สกัดได้จะมีความชัดเจนน้อยกว่าไคโตแซนชนิดมวลโมเลกุลต่ำ และพบว่าไม่สามารถสังเกตเห็นแถบ N-H stretching ของ 1°Amine ที่เกิดขึ้นได้เนื่องจากมีอินฟราเรดสเปกตรัมขึ้นในบริเวณเดียวกันกับ O-H stretching ของหมู่ O-H ซึ่งออกซิเจนอะตอมมีสถานะไฟฟ้าลบสูงกว่าไนโตรเจนอะตอม ทำให้การเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ของพันธะมีมากกว่าพันธะ N-H แถบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของ O-H stretching ของหมู่ O-H จึงเข้มกว่าของ N-H stretching ของ 1°Amine ทำให้ไม่สามารถมองเห็นแถบของ N-H ใน 1°Amine ซึ่งปกติจะเห็นแถบคู่ นอกจากนี้พบว่าแถบอินฟราเรดสเปกตรัมของ C=O stretching ของ 2°Amide ที่ 1662 cm^{-1} ยังคงมีอยู่ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการกำจัดหมู่อะซิติลทำได้ไม่สมบูรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของโคโคแซนโครงสร้างตาข่ายด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี

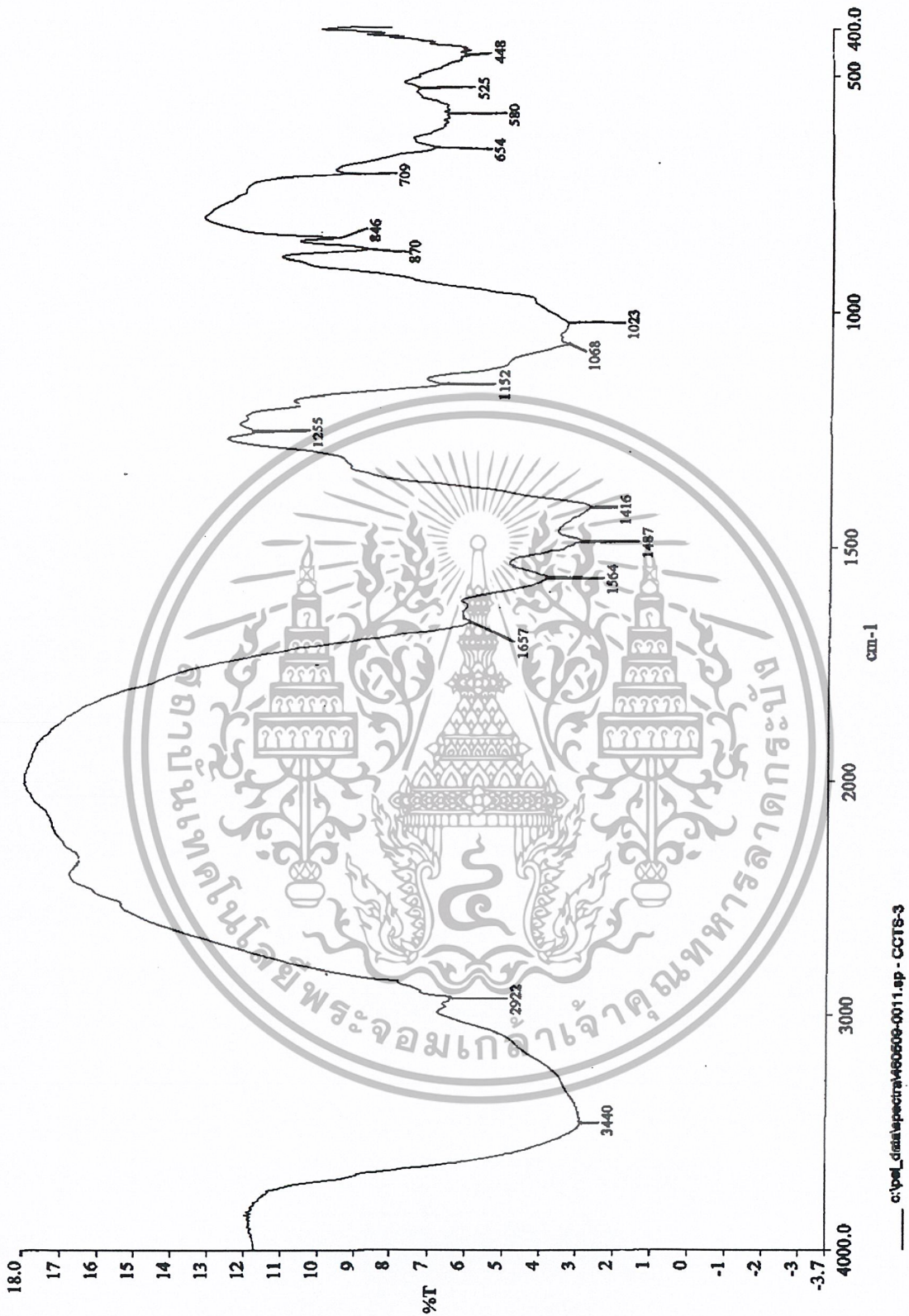
ในการวิจัยเพื่อพิสูจน์ว่าสารที่สังเคราะห์ได้คือ โคโคแซนโครงสร้างตาข่าย ทำโดยศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมของโคโคแซน โครงสร้างตาข่ายเทียบกับโคโคแซน ซึ่งในอินฟราเรดสเปกตรัมมีหมู่ฟังก์ชันที่สนใจศึกษา ตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงตำแหน่ง และลักษณะเฉพาะของแถบอินฟราเรดสเปกตรัมของโคโคแซน โครงสร้างตาข่าย

ตำแหน่งแถบ (cm^{-1})	ลักษณะเฉพาะของแถบ (Peak characteristic)	หมายเหตุ
3200-3600	N-H stretching ของ 2° Amide O-H stretching ของหมู่ Hydroxy N-H stretching ของ 1° Amine	แถบกว้าง แถบเดี่ยวและต่ำ แถบกว้างและสูง แถบคู่และต่ำ
2922	C-H stretching ของหมู่ CH_2 ใน 2° Amide	
1657	C=O stretching ของ 2° Amide	แถบกว้างและสูง
1564	N-H bending ของ 1° Amine	แถบเดี่ยวและสูง
1487	C-H bending ของหมู่ CH_2	
1416	C-H bending ของหมู่ CH_3 ใน 2° Amide	
1068	C-O stretching ของ 2° Alcohol	แถบเดี่ยวและสูง
1023	C-O stretching ของ 1° Alcohol	แถบเดี่ยวและสูง

สำหรับอินฟราเรดสเปกตรัมของโคโคแซนโครงสร้างตาข่าย แสดงดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดง FT-IR สเปกตรัมของโพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากอินฟราเรดสเปกตรัมที่วิเคราะห์ได้ พบว่าไคโตแซน โครงร่างตาข่ายมีลักษณะที่แตกต่างกับไคโตแซน ดังนี้

สเปกตรัมที่เลขคลื่น $3200-3600\text{ cm}^{-1}$ แสดงการสั่นของ N-H stretching ของ 2° Amide, O-H stretching ของหมู่ O-H และ N-H stretching ของ 1° Amine ของไคโตแซน โครงร่างตาข่ายมีลักษณะแถบที่กว้างขึ้นเมื่อเทียบกับไคโตแซน แสดงให้เห็นว่าลักษณะแถบที่กว้างขึ้นอาจเนื่องมาจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล (Intramolecular hydrogen bonding) และพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล (Intermolecular hydrogen bonding) ของหมู่ O-H ของไคโตแซน โครงร่างตาข่าย และสเปกตรัมที่เลขคลื่น $1564\text{ } 1487\text{ และ } 1068\text{ cm}^{-1}$ แสดงการสั่นของ N-H bending ของ 1° Amine, C-H bending ของหมู่ CH_2 และ C-O stretching ของ 2° Alcohol ตามลำดับ ของไคโตแซน โครงร่างตาข่ายมีแถบที่เข้มและชัดเจนกว่าของไคโตแซน แสดงได้ว่าโครงสร้างไคโตแซน โครงร่างตาข่ายมีหมู่ NH_2 ของ 1° Amine, CH_2 และ OH ของ 2° Alcohol ภายในโครงสร้างมากกว่าไคโตแซน จากสเปกตรัมข้างต้น และพิจารณาลักษณะ โครงสร้างของไคโตแซน โครงร่างตาข่ายในรูปที่ 2.6 สามารถยืนยันได้ว่าไคโตแซน โครงร่างตาข่ายเกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันระหว่างไคโตแซนกับอีพิคลอโรไฮดรินจริง

4.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+})

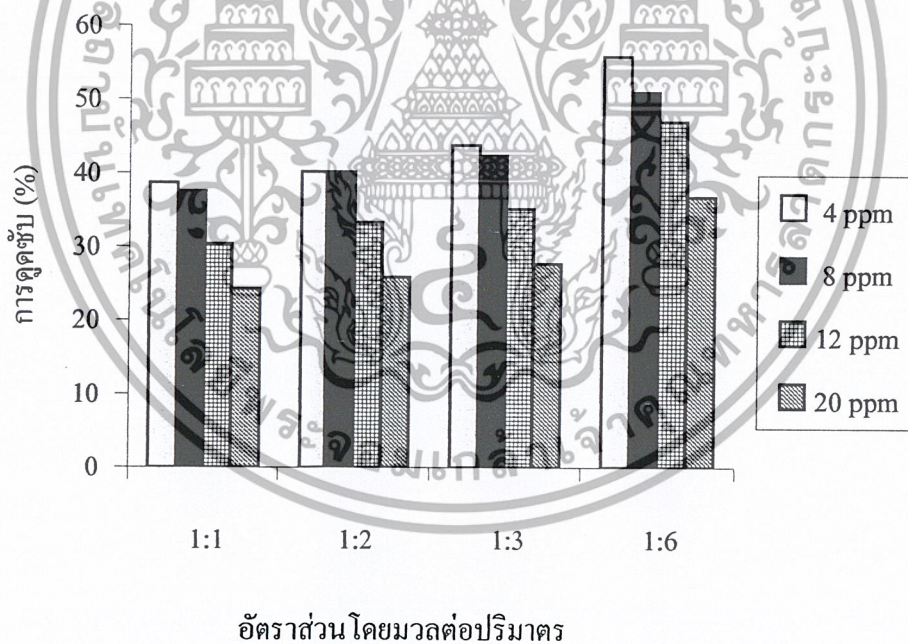
4.3.1 ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโลหะ

ในการทดลอง เมื่อใช้ไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่มีอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของไคโตแซนกับอีพิคลอโรไฮดรินเป็น 1:1 1:2 1:3 และ 1:6 ในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) เท่ากับ 4 8 12 และ 20 ppm ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.6 โมลาร์ ความหนาแน่นของสารแขวนลอยไคโตแซน โครงร่างตาข่าย 9 กรัมต่อลิตร และเวลาในการสัมผัส 180 นาที สำหรับการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) ได้ทำการทดลองในสภาวะเดียวกัน พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และสารเชิงซ้อนของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) แสดงในตารางที่ 4.3-4.4 และรูปที่ 4.5-4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) 4 8 12 และ 20 ppm ตามลำดับ ด้วยไคโตแซนโครงร่างตาข่ายที่มีอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของไคโตแซนกับอีพิกลอโรไฮดรินต่างๆ

อัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตร ของไคโตแซนกับอีพิกลอโรไฮดริน	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)			
	4 ppm	8 ppm	12 ppm	20 ppm
1:1	38.69	37.53	30.35	24.30
1:2	40.19	40.18	33.34	25.87
1:3	43.78	42.38	35.10	27.72
1:6	55.79	50.95	47.02	36.70

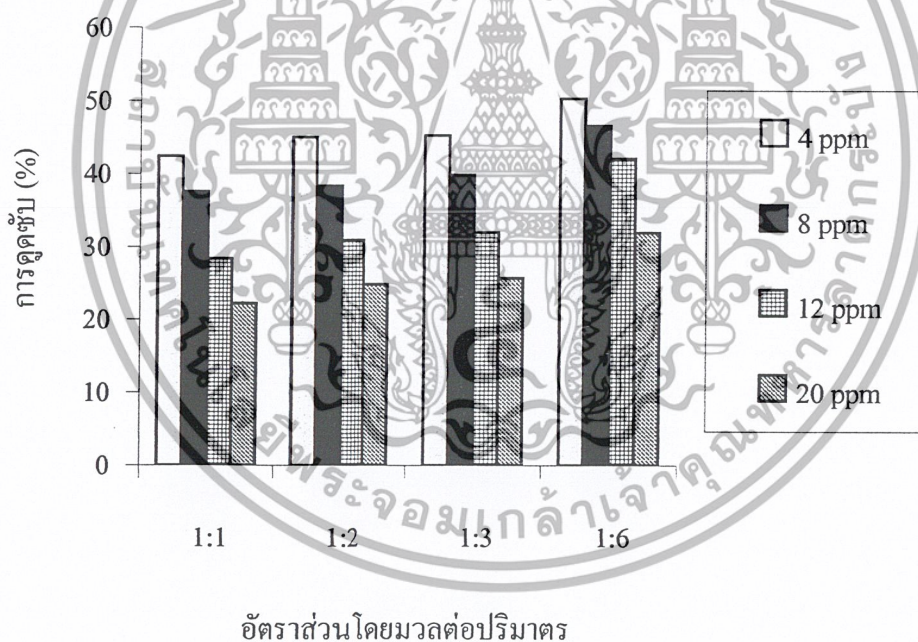


รูปที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) 4 8 12 และ 20 ppm ตามลำดับ ด้วยไคโตแซนโครงร่างตาข่ายที่มีอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของไคโตแซนกับอีพิกลอโรไฮดรินต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) 4 8 12 และ 20 ppm ตามลำดับ ด้วยไคโตแซน โครงร่างตายที่มีอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของไคโตแซนกับอีพิคลอโรไฮดรินต่างๆ

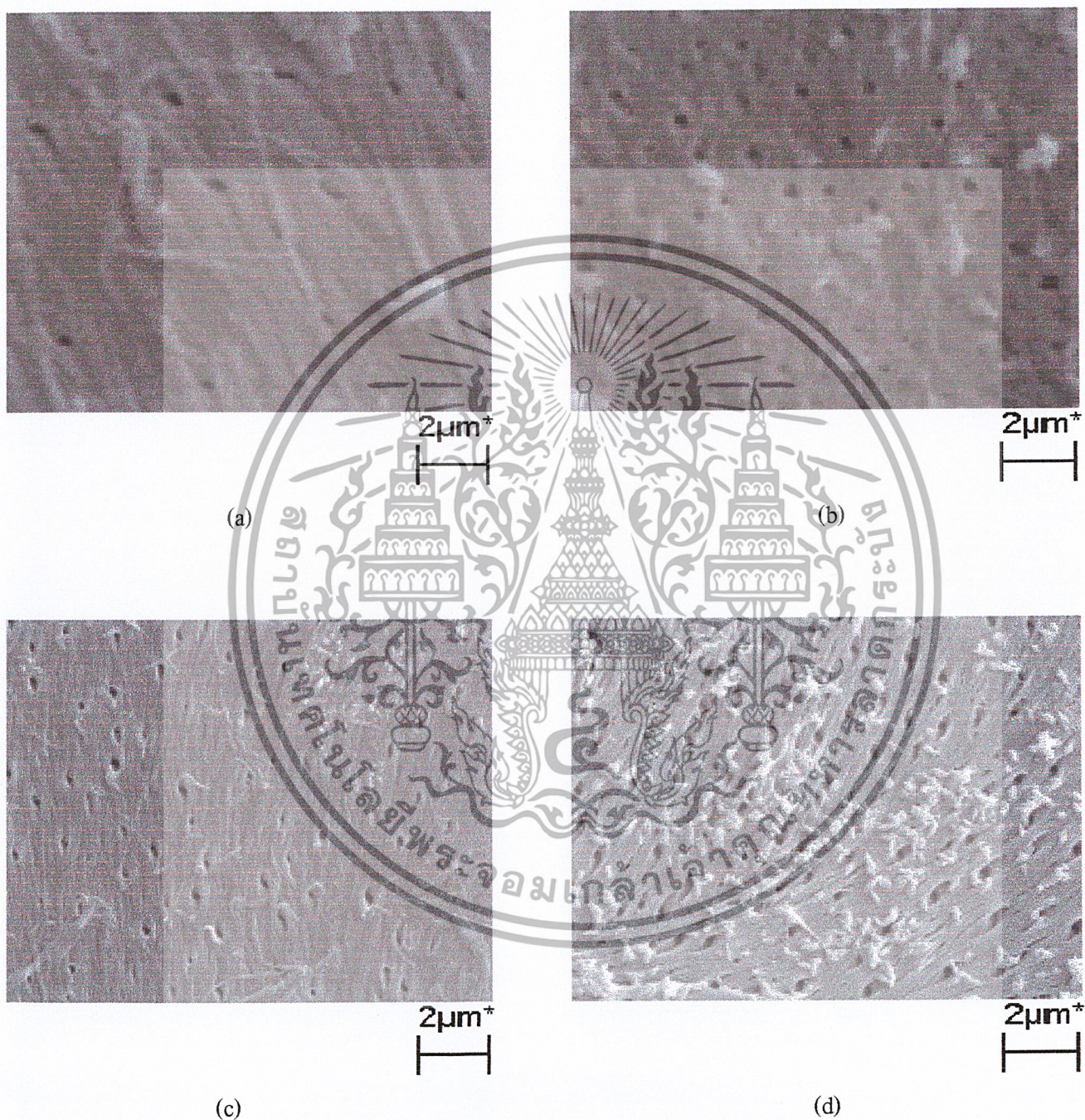
อัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตร ของไคโตแซนกับอีพิคลอโรไฮดริน	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)			
	4 ppm	8 ppm	12 ppm	20 ppm
1:1	42.39	37.59	28.33	22.19
1:2	45.00	38.40	30.90	24.83
1:3	45.30	39.87	32.04	25.74
1:6	50.36	46.59	42.11	31.97



รูปที่ 4.6 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) 4 8 12 และ 20 ppm ตามลำดับ ด้วยไคโตแซน โครงร่างตายที่มีอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตร ของไคโตแซนกับอีพิคลอโรไฮดรินต่างๆ

จากการทดลอง พบว่าการใช้ไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่มีอัตราส่วนโดยมวลต่อ ปริมาตรของไคโตแซนกับอีพิคลอโรไฮดริน เท่ากับ 1:6 จะให้ประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อน ของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) สูงสุด ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโลหะ ทั้ง 2 เท่ากับ 4 ppm คือไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) มีประสิทธิภาพการดูดซับ เท่ากับ 55.79% และ ไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) เท่ากับ 50.36% โดยประสิทธิภาพการดูดซับของไคโตแซน โครงร่างตา- ข่ายที่มีอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของไคโตแซนกับอีพิคลอโรไฮดรินต่างๆ จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น จากอัตราส่วน 1:1 ไปจนถึงอัตราส่วน 1:6 ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่มีอัตราส่วน 1:6 นั้นจะมีการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลไคโตแซนมาก อันเนื่องมาจากตัวเชื่อมติด (Epichlorohydrin) มีมาก ทำให้โครงสร้างของพอลิเมอร์มีขนาดใหญ่ มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสสารเชิงซ้อนของไอออน โลหะ และปริมาณรูพรุนที่เกิดจากโพรงของไคโตแซนที่ใช้ในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออน โลหะมีมาก จึงทำให้ปริมาณการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะมากขึ้น ในทำนองเดียวกัน ไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่มีอัตราส่วนน้อยกว่า 1:6 นั้นจะมีการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลไคโต- แซนน้อย อันเนื่องมาจากตัวเชื่อมติด (Epichlorohydrin) นั้นมีน้อยลง ทำให้โครงสร้างของพอลิเมอร์ มีขนาดเล็ก มีพื้นที่ผิวในการสัมผัสสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะ และปริมาณรูพรุนที่เกิดจากโพรง ของไคโตแซนที่ใช้ในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะมีน้อยลง จึงทำให้ปริมาณการดูดซับ สารเชิงซ้อนของไอออนโลหะได้น้อยลง เมื่อเทียบกับไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่มีอัตราส่วน 1:6 และ เมื่อนำไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่มีอัตราส่วน 1:1 1:2 1:3 1:6 มาทำการตรวจวิเคราะห์ ลักษณะของพื้นผิว และปริมาณรูพรุนในไคโตแซน โครงร่างตาข่าย ด้วยเครื่อง Scanning electron microscope (SEM) แสดงดังรูปที่ 4.7 พบว่าปริมาณรูพรุนที่เกิดจากโพรงของไคโตแซนจะเพิ่มขึ้น ตามปริมาณของตัวเชื่อมโยง (Epichlorohydrin) ที่ผสมลงไปตามอัตราส่วน โดยไคโตแซน โครง- ร่างตาข่ายที่มีอัตราส่วน 1:6 นั้นจะมีปริมาณรูพรุนที่เกิดจากโพรงของไคโตแซนมากกว่าไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่มีอัตราส่วน 1:3 1:2 1:1 ซึ่งไคโตแซน โครงร่างตาข่ายอัตราส่วนดังกล่าวจะมี ปริมาณของตัวเชื่อมโยง (Epichlorohydrin) และปริมาณรูพรุนในไคโตแซน โครงร่างตาข่ายลดลง ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันกับประสิทธิภาพการดูดซับของไคโตแซน โครงร่างตาข่าย ที่ความเข้ม- ขันเริ่มต้นของไอออนโลหะทั้ง 2 ต่างๆ จะค่อยๆ ลดลงจาก 4 ppm ไปจนถึง 20 ppm แสดงให้เห็น ว่าที่ความเข้มข้นต่ำๆ นั้นจะมีปริมาณของตัวถูกละลายในสารละลายน้อย ทำให้สารเชิงซ้อนของ ไอออนโลหะทั้ง 2 มีเวลาในการสัมผัสพื้นที่ผิว และเข้าไปอยู่ในรูพรุนของไคโตแซน โครงร่างตา- ข่ายมากขึ้น จึงทำให้ปริมาณการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวของโคโคแซน โครงร่างตาข่าย ที่มีอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของโคโคแซนกับอีพ็อกซีเรซินอัตราส่วน ดังนี้ (a) 1:1 (b) 1:2 (c) 1:3 (d) 1:6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) จึงนำโคโคแซนโครงร่างตาข่ายที่มีอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของโคโคแซนกับอีพิคลอโรไฮดรินเท่ากับ 1:6 และความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) เท่ากับ 4 ppm มาใช้ในการทดลองในขั้นต่อไป

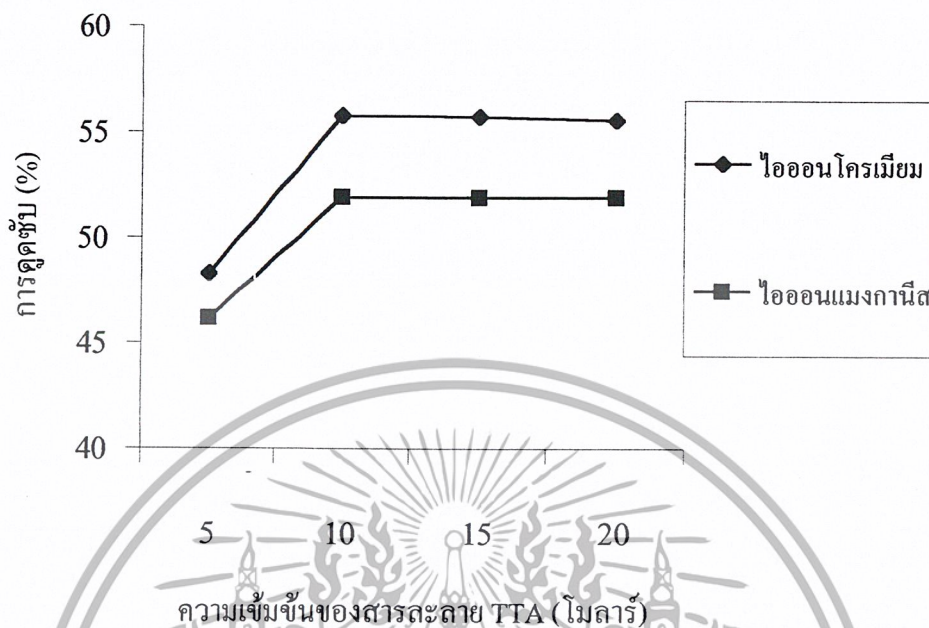
4.3.2 ความเข้มข้นของสารละลาย Thenoyltrifluoroacetone (TTA)

ในการศึกษาสภาวะความเข้มข้นของสารละลาย TTA ที่เหมาะสมที่จะให้ประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) สูงสุด ทำโดยการปรับเปลี่ยนปริมาตรสารละลาย TTA เข้มข้น 0.15 โมลาร์ ค่าต่างๆ ดังนี้ คือ 5 10 15 และ 20 (จะได้ความเข้มข้นของสารละลาย TTA ในปริมาตรรวม เท่ากับ 0.3 0.6 0.9 และ 1.2 โมลาร์) ซึ่งใช้สภาวะในการทดลอง คือ ความเข้มข้นของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) เท่ากับ 4 ppm ความหนาแน่นของสารแขวนลอยโคโคแซนโครงร่างตาข่าย 9 กรัมต่อลิตร และเวลาในการสัมผัส 180 นาที พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) แสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ด้วยโคโคแซนโครงร่างตาข่าย ที่ความเข้มข้นของสารละลาย TTA ต่างๆ

ความเข้มข้นของสารละลาย TTA (โมลาร์)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)	
	ไอออนโครเมียม (Cr^{3+})	ไอออนแมงกานีส (Mn^{2+})
0.3	48.28	46.17
0.6	55.77	51.92
0.9	55.73	51.89
1.2	55.55	51.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ด้วยโคโคแซน โครงร่างตาข่าย ที่ความเข้มข้นของสารละลาย TTA ต่างๆ

สำหรับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) จากผลการทดลอง พบว่า การดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลาย TTA เพิ่มขึ้นจาก 0.3 โมลาร์ ไปเป็น 0.6 โมลาร์ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย TTA จาก 0.6 โมลาร์ ไปเป็น 0.9 และ 1.2 โมลาร์ การดูดซับจะเริ่มคงที่ ดังนั้นในการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในขั้นต่อไป จะใช้ความเข้มข้นของสารละลาย TTA เท่ากับ 0.6 โมลาร์

สำหรับสารเชิงซ้อนของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) จากผลการทดลองพบว่า การดูดซับจะมีแนวโน้มคล้ายกับไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) คือ ประสิทธิภาพการดูดซับมีค่าสูงสุดเท่ากับ 51.92% เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.6 โมลาร์ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย TTA การดูดซับจะเริ่มคงที่ ดังนั้นในการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในขั้นต่อไป จะใช้ความเข้มข้นของสารละลาย TTA เท่ากับ 0.6 โมลาร์

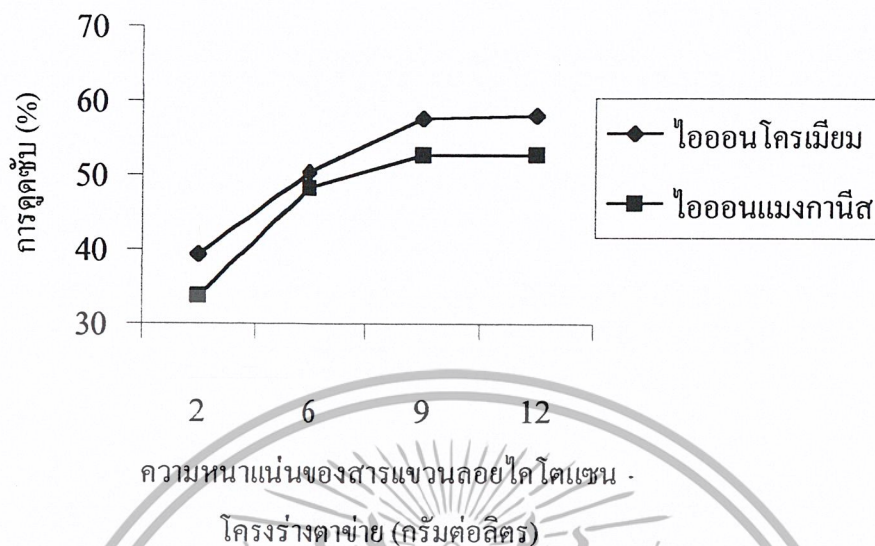
4.3.3 ความหนาแน่นของสารแขวนลอยไคโตแซนโครงร่างตาข่าย

ในการทดลองหาความหนาแน่นของสารแขวนลอยไคโตแซนโครงร่างตาข่ายที่เหมาะสมที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) สูงสุด โดยในการทดลองปรับเปลี่ยนปริมาณไคโตแซนโครงร่างตาข่ายต่างๆ ดังนี้ คือ 40 120 180 และ 240 มิลลิกรัม (จะได้ความหนาแน่นของสารแขวนลอย เท่ากับ 2 6 9 และ 12 กรัม ต่อ สารเชิงซ้อนของไอออนโลหะ 1 ลิตร) ซึ่งใช้สภาวะในการทดลอง คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) เท่ากับ 4 ppm ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.6 โมลาร์ และเวลาในการสัมผัส 180 นาที พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) แสดงดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.6 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ด้วยไคโตแซนโครงร่างตาข่าย ที่ความหนาแน่นของสารแขวนลอยไคโตแซนโครงร่างตาข่ายต่างๆ

ความหนาแน่นของสารแขวนลอย ไคโตแซนโครงร่างตาข่าย (กรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)	
	ไอออนโครเมียม (Cr^{3+})	ไอออนแมงกานีส (Mn^{2+})
2	39.28	33.72
6	50.34	48.27
9	57.55	52.64
12	58.05	52.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ด้วยโคโคเชนโครงร่างตาข่าย ที่ความหนาแน่นของสารแขวนลอยโคโคเชนโครงร่างตาข่ายต่างๆ

จากการทดลอง พบว่าการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) มีค่าเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นของสารแขวนลอยโคโคเชนโครงร่างตาข่าย ในกรณีสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) การดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาแน่นของสารแขวนลอยโคโคเชนโครงร่างตาข่ายเพิ่มขึ้นจาก 2 กรัมต่อลิตร ไปเป็น 6 กรัมต่อลิตร และจะเริ่มคงที่ ที่ความหนาแน่นของสารแขวนลอยโคโคเชนโครงร่างตาข่ายเท่ากับ 9 กรัมต่อลิตร ส่วนในกรณีสารเชิงซ้อนของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) จะมีแนวโน้มที่คล้ายกับไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) โดยการดูดซับจะเริ่มคงที่ ที่ความหนาแน่นของสารแขวนลอยโคโคเชนโครงร่างตาข่าย เท่ากับ 9 กรัมต่อลิตร ดังนั้นทั้งในกรณีของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) เราจะเลือกใช้ความหนาแน่นของสารแขวนลอยโคโคเชนโครงร่างตาข่าย เท่ากับ 9 กรัมต่อลิตร ในการทดลองขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

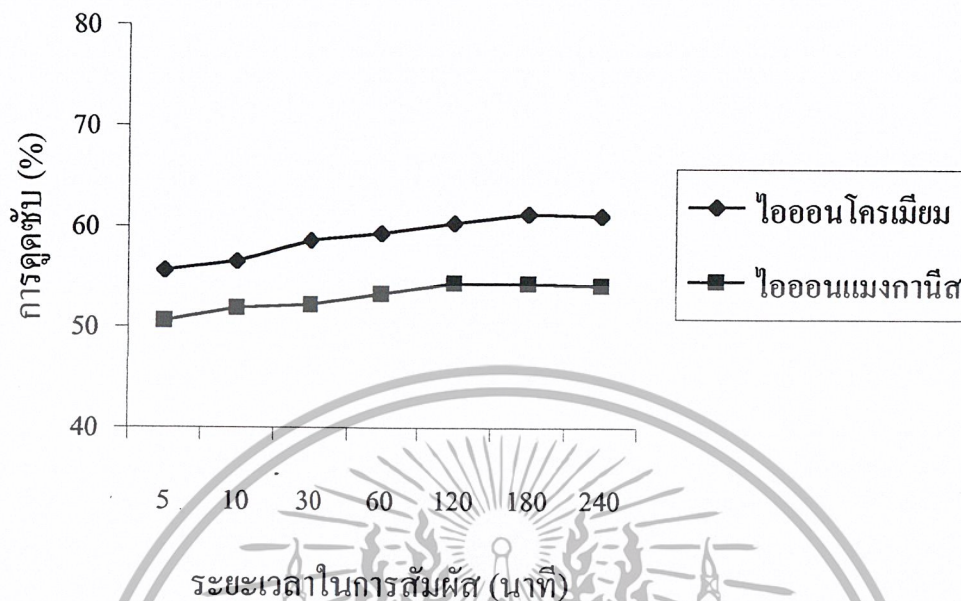
4.3.3 เวลาในการสัมผัส

ในการศึกษาหาเวลาในการสัมผัสที่เหมาะสมที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม(Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) สูงสุด โดยในการทดลองปรับเปลี่ยนเวลาในการสัมผัส ตั้งแต่ 5 10 30 60 120 180 และ 240 นาที ซึ่งใช้สภาวะในการทดลอง คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโครเมียม(Cr^{3+}) และแมงกานีส(Mn^{2+}) เท่ากับ 4 ppm ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.6 โมลาร์ และความหนาแน่นของสารแขวนลอยโคโคเซน โครงร่างตาข่าย 9 กรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) แสดงดัง ตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.7 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ด้วยโคโคเซน โครงร่างตาข่าย ที่เวลาในการสัมผัสต่างๆ

ระยะเวลา ในการสัมผัส (นาที)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)	
	ไอออนโครเมียม (Cr^{3+})	ไอออนแมงกานีส (Mn^{2+})
5	55.88	50.70
10	56.37	51.87
30	58.61	52.12
60	59.05	53.33
120	69.06	54.76
180	61.12	54.34
240	61.03	54.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ด้วยไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่เวลาในการสัมผัสต่างๆ

จากการทดลองพบว่า ในกรณีของสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) การดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการสัมผัสเป็น 5 10 30 60 120 180 และ 240 นาที โดยประสิทธิภาพการดูดซับ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 61.23% ที่ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที ดังนั้นจึงเลือกเวลาในการสัมผัสดังกล่าวมาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป ส่วนในกรณีสารเชิงซ้อนของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับคล้ายกับไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) โดยประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดมีค่าเท่ากับ 54.40 % ที่เวลาสัมผัส 120 นาที หลังจากเวลาสัมผัสที่ 120 นาที การดูดซับมีค่าลดลง ดังนั้นจึงเลือกเวลาในการสัมผัสเท่ากับ 120 นาที มาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

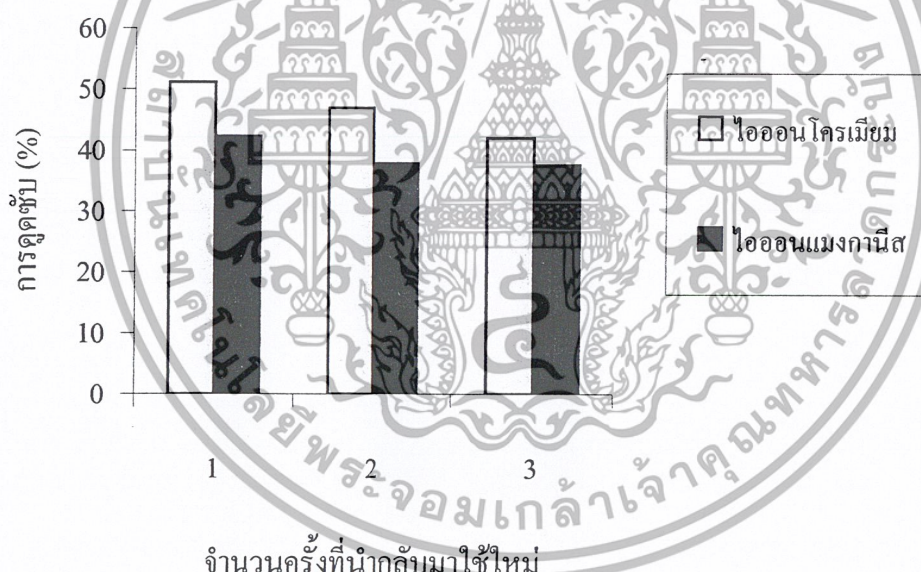
4.4 การนำไคโตแซนโครงร่างตาข่ายกลับมาใช้ใหม่

จากการนำไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่ใช้ในการดูดซับสารเชิงซ้อนของ ไอออน โครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) แล้ว นำกลับมาใช้ใหม่ โดยนำมาล้างด้วยเบนซีน จากการทดลองประสิทธิภาพในการนำไคโตแซน โครงร่างตาข่ายกลับมาใช้ใหม่ แสดงดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพในการนำโคโคแซน โครงร่างตาข่ายกลับมาใช้ใหม่ในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+})

จำนวนครั้งที่นำโคโคแซน โครงร่างตาข่าย กลับมาใช้ใหม่	ประสิทธิภาพการดูดซับ (%)	
	ไอออนโครเมียม (Cr^{3+})	ไอออนแมงกานีส (Mn^{2+})
1	51.18	42.37
2	47.01	37.90
3	42.11	37.59



รูปที่ 4.11 แสดงประสิทธิภาพในการนำโคโคแซน โครงร่างตาข่ายกลับมาใช้ใหม่ในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+})

จากการทดลองพบว่า เมื่อนำโคโคแซน โครงร่างตาข่ายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ โดยการล้างด้วยเบนซีน จะสามารถดูดซับได้อีก ซึ่งประสิทธิภาพการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะทั้ง 2 จะลดลงตามจำนวนครั้งที่นำโคโคแซน โครงร่างตาข่ายกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากหลังการล้างด้วยเบนซีนแล้ว โคโคแซน โครงร่างตาข่ายยังมีสีของสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะติดอยู่จางๆ นั้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงว่า เบนซีนไม่สามารถล้างสีของสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะได้หมด เมื่อนำกลับมาใช้ดูดซับอีกครั้ง การดูดซับจะลดลงกว่าเดิม

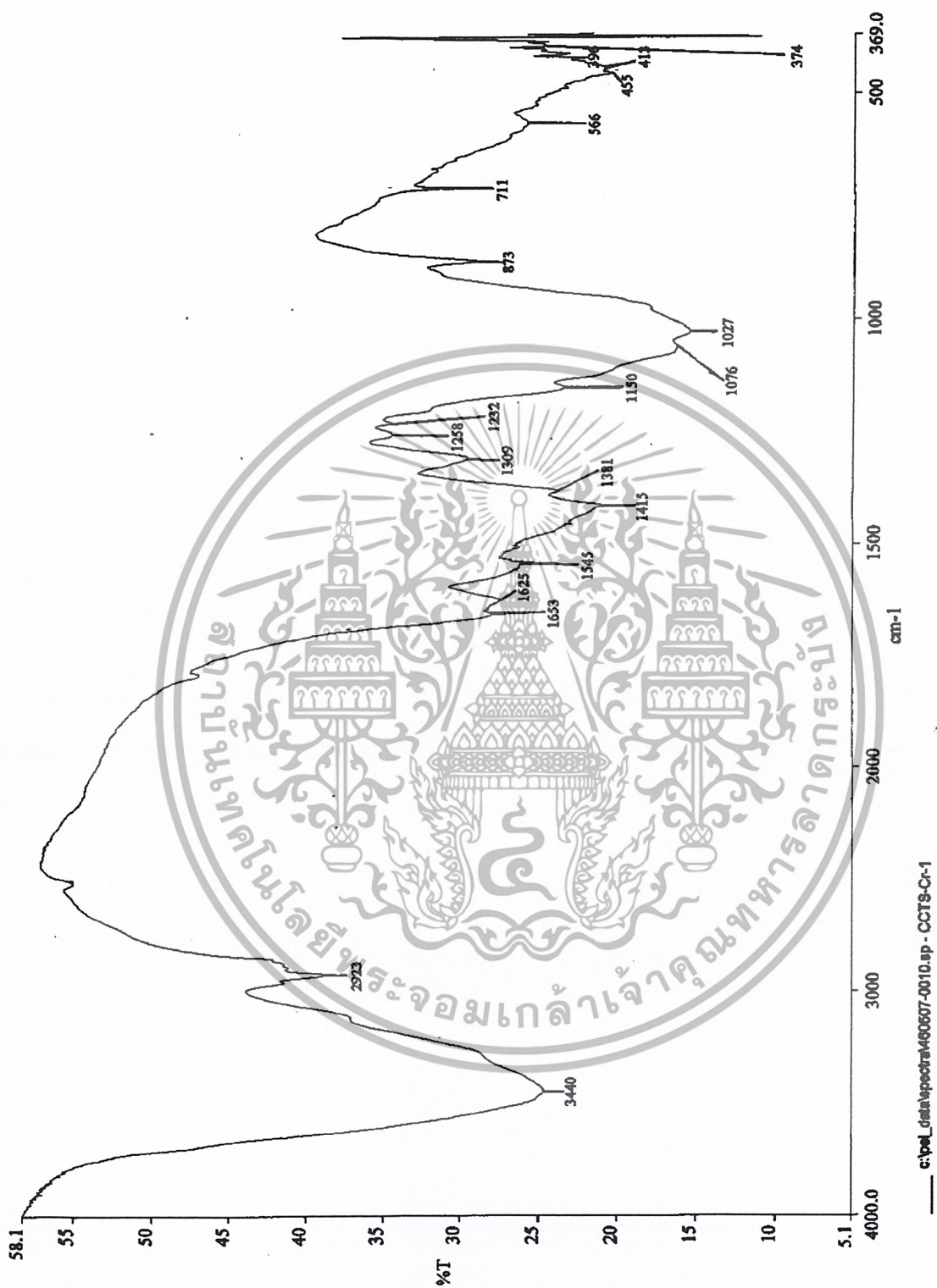
4.5 การศึกษารูปแบบของการดูดซับระหว่างโคโคแซนโครงสร้างตาข่ายกับไอออนโครเมียม(Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี

ในการวิจัยเพื่อศึกษารูปแบบของการดูดซับระหว่างโคโคแซนโครงสร้างตาข่ายกับไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ทำโดยศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมของสารโคโคแซนโครงสร้างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับไอออนโลหะเทียบกับโคโคแซนโครงสร้างตาข่าย ซึ่งในอินฟราเรดสเปกตรัมมีหมู่ฟังก์ชันที่สนใจศึกษา ตามตารางที่ 4.9-4.10 และอินฟราเรดสเปกตรัมของโคโคแซนโครงสร้างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับไอออนโลหะ แสดงดังรูปที่ 4.12-4.13

ตารางที่ 4.9 แสดงตำแหน่งและลักษณะเฉพาะของแถบอินฟราเรดสเปกตรัมของโคโคแซนโครงสร้างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับไอออนโครเมียม (Cr^{3+})

ตำแหน่งแถบ (cm^{-1})	ลักษณะเฉพาะของแถบ (Peak characteristic)	หมายเหตุ
3200-3600	N-H stretching ของ 2° Amide O-H stretching ของหมู่ Hydroxy N-H stretching ของ 1° Amine	แถบกว้าง แถบเดี่ยวและต่ำ แถบกว้างและสูง แถบคู่และต่ำ
2923	C-H stretching ของหมู่ CH_3 ใน 2° Amide	
1653	C=O stretching ของ 2° Amide	แถบกว้างและสูง
1545	N-H bending ของ 1° Amine	แถบเดี่ยวและสูง
1076	C-O stretching ของ 2° Alcohol	แถบเดี่ยวและสูง
1027	C-O stretching ของ 1° Alcohol	แถบเดี่ยวและสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



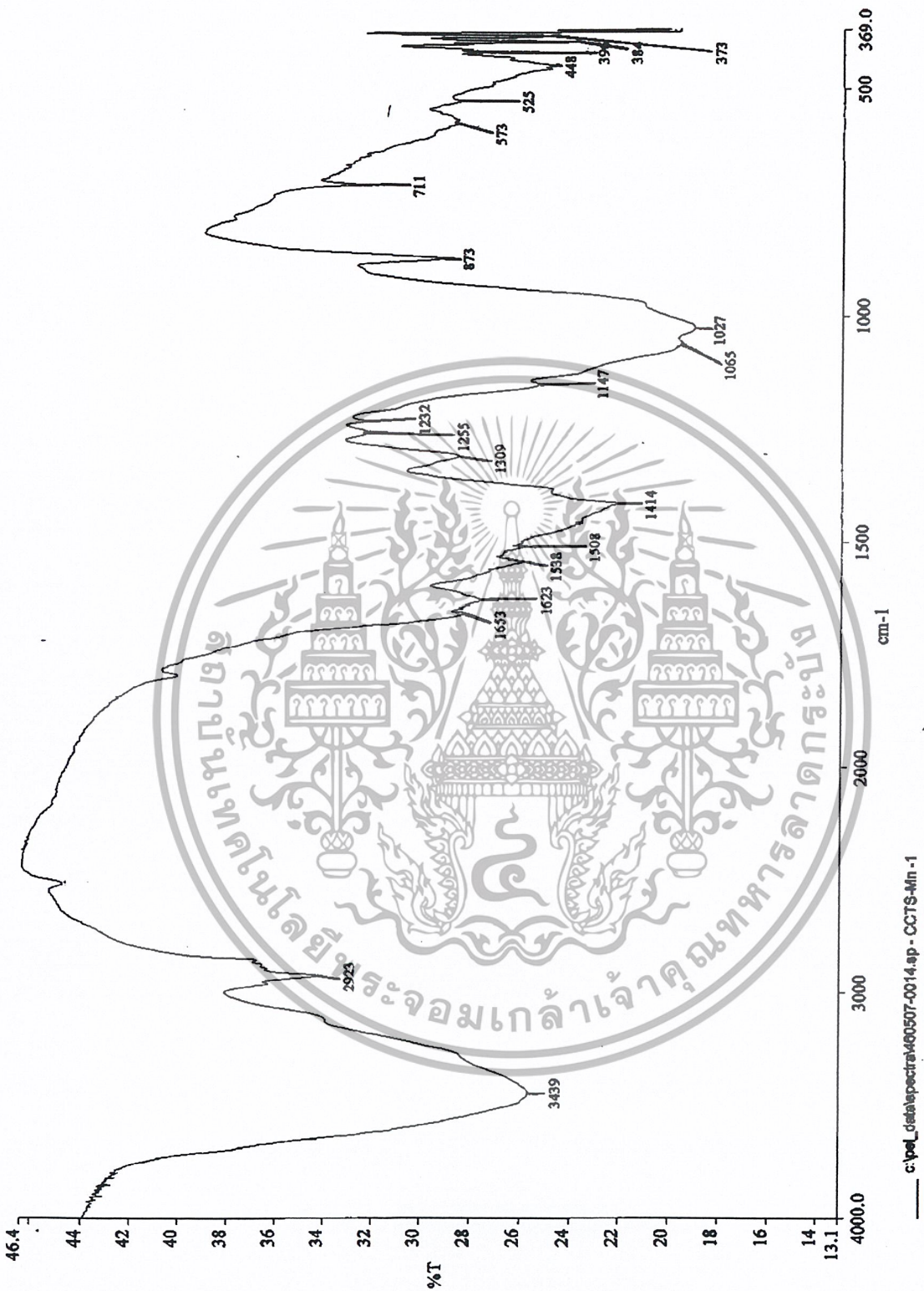
รูปที่ 4.12 แสดง FT-IR สเปกตรัมของโครโมแซน โครงร่างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับไอออนโครเมียม (Cr^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงตำแหน่งและลักษณะเฉพาะของแถบอินฟราเรดสเปกตรัมของโคโคเซน โครงสร้างตายายที่ผ่านการดูดซับ กับ ไอออนแมงกานีส (Mn^{2+})

ตำแหน่งแถบ (cm^{-1})	ลักษณะเฉพาะของแถบ (Peak characteristic)	หมายเหตุ
3200-3600	N-H stretching ของ 2° Amide O-H stretching ของหมู่ Hydroxy N-H stretching ของ 1° Amine	แถบกว้าง แถบเดี่ยวและต่ำ แถบกว้างและสูง แถบคู่และต่ำ
2923	C-H stretching ของหมู่ CH_3 ใน 2° Amide	
1653	C=O stretching ของ 2° Amide	แถบกว้างและสูง
1538	N-H bending ของ 1° Amine	แถบเดี่ยวและสูง
1065	C-O stretching ของ 2° Alcohol	แถบเดี่ยวและสูง
1027	C-O stretching ของ 1° Alcohol	แถบเดี่ยวและสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



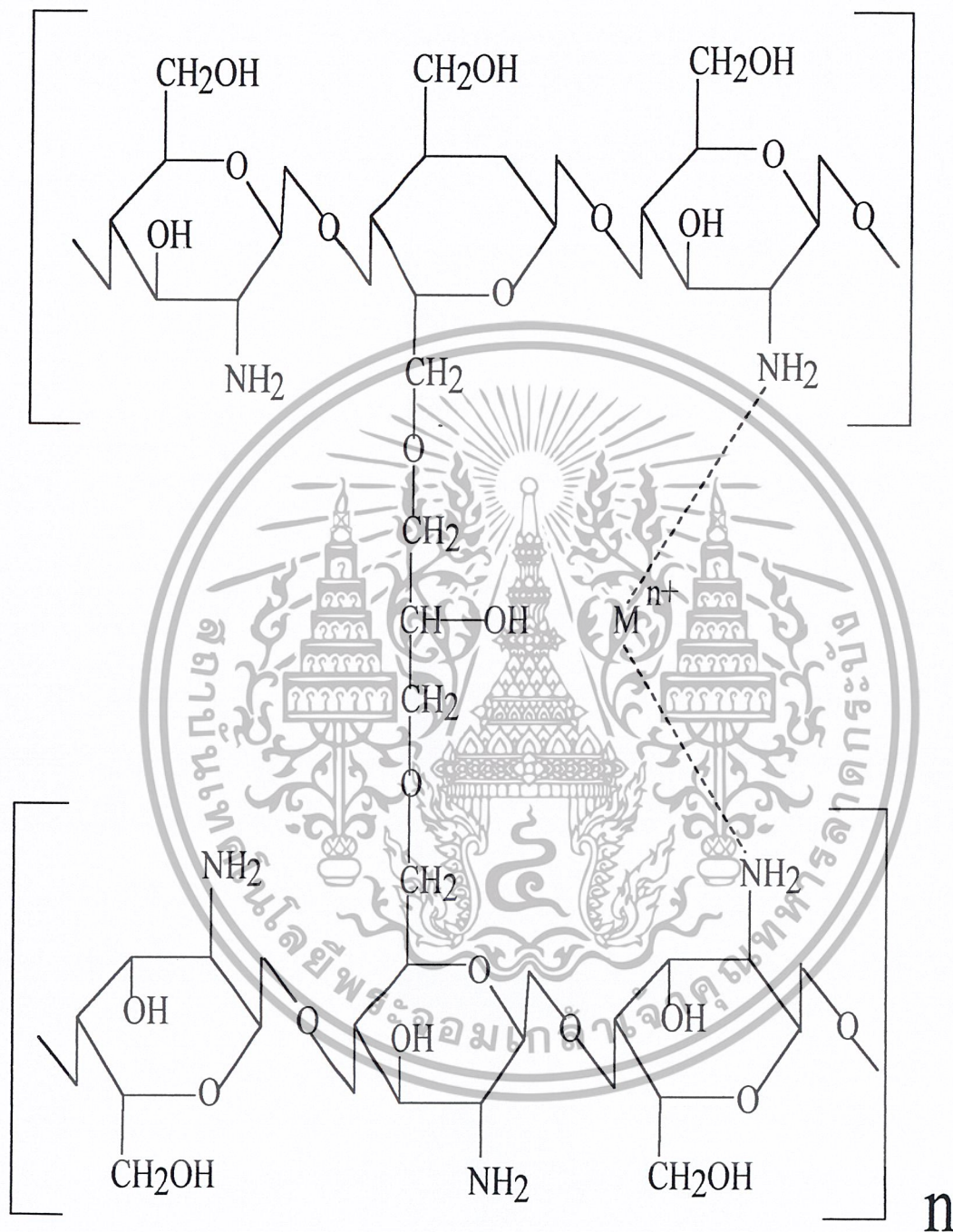
รูปที่ 4.13 แสดง FT-IR สเปกตรัมของไคโตแซน โครจรงค้ำขำยที่ผ่านการคู้ขบกับไอออนแมงกานีส (Mn²⁺)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับ ไอออนโครเมียม(Cr^{3+}) และแมงกานีส(Mn^{2+}) กับไคโตแซน โครงร่างตาข่าย พบว่ามีโครงสร้างคล้าย กับไคโตแซน โครงร่างตาข่าย โดยมีส่วนที่แตกต่าง ในสเปกตรัมที่เลขคลื่น $3200\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$ แสดง การสั่นของ N-H stretching ของ 2° Amide, O-H stretching ของหมู่ O-H และ N-H stretching ของ 1° Amine คือ ไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับไอออนโลหะ มีลักษณะแถบที่แหลมคม กว่าไคโตแซน โครงร่างตาข่าย และไม่พบแถบอินฟราเรดสเปกตรัมของ C-H bending ของหมู่ CH_2 ที่ 1487 cm^{-1} ในไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับไอออนโลหะ

เนื่องจากไคโตแซนเป็นพอลิเมอร์ที่มีหมู่วงไวเคิลติงลิแกนด์ (Chelating ligand) หรือมัลติ-เดนเทตลิแกนด์ (Multidentate ligand) เชื่อมต่อกับโครงสร้างด้วยพันธะโคเวเลนต์ [1] ซึ่งความสามารถในการเกิดคีเลตกับไอออนโลหะของไคโตแซน โครงร่างตาข่ายจะขึ้นอยู่กับหมู่เอมีน เพราะ ฉะนั้น จึงทำการวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับ ไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) เทียบกับไคโตแซน โครงร่างตาข่าย ในตำแหน่งและ ลักษณะเฉพาะของแถบสเปกตรัมของ 1° Amine ว่ามีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมหรือไม่

โดยพบว่า สเปกตรัมที่เลขคลื่น $3200\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$ แสดงการสั่นของ N-H stretching ของ 2° Amide, O-H stretching ของหมู่ O-H และ N-H stretching ของ 1° Amine สำหรับไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) และ สเปกตรัมที่เลขคลื่น 1545 และ 1538 cm^{-1} แสดงการสั่นของ N-H bending ของ 1° Amine สำหรับไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ตามลำดับ ยังคงปรากฏอยู่ เมื่อเทียบกับไคโตแซน โครงร่างตาข่าย แสดงให้เห็นว่า การดูดซับระหว่างไคโตแซน โครงร่างตาข่ายกับไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) เป็นการดูดซับโดยแรงแวนเดอร์วาลส์ หรือแรงทางกายภาพ ไม่ใช่การดูดซับทางเคมี ซึ่งเกิดสารประกอบเชิงซ้อนขึ้น ดังนั้นกลไกการดูดซับไอออนโลหะบนไคโตแซน โครงร่างตาข่าย จึงมีรูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงกลไกการดูดซับไอออนโลหะบนไซโคลเดกซ์ทริน โครงร่างตาข่าย โดยที่ M^{n+} คือไอออนโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การศึกษารูปแบบของการดูดซับระหว่างโคโตแซนโครงสร้างตาข่ายกับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมตรี

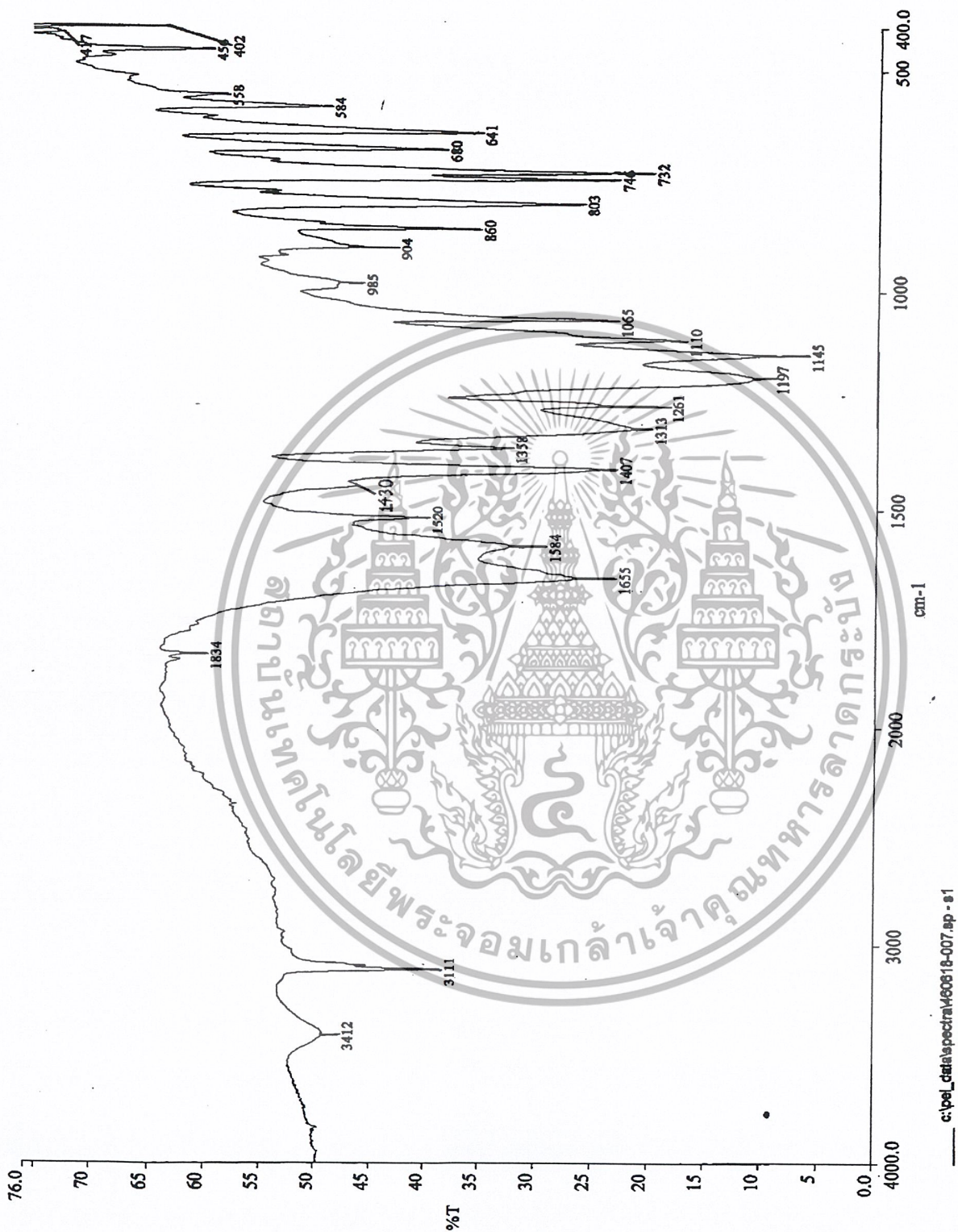
ในการวิจัยเพื่อศึกษารูปแบบของการดูดซับระหว่างโคโตแซนโครงสร้างตาข่ายกับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ทำโดยการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมของสารโคโตแซนโครงสร้างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะเทียบกับโคโตแซนโครงสร้างตาข่าย ซึ่งในอินฟราเรดสเปกตรัมมีหมู่ฟังก์ชันที่สนใจศึกษาตาม ตารางที่ 4.11-4.13 อินฟราเรดสเปกตรัมของทีโนอิลไตรฟลูออโรอะซิโตน (TTA) และ สารโคโตแซนโครงสร้างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะแสดงดังรูปที่ 4.15-4.17



ตารางที่ 4.11 แสดงตำแหน่งและลักษณะเฉพาะของแถบอินฟราเรดสเปกตรัมของทีโนอิลไตรฟลูออโรอะซิโตน (TTA)

ตำแหน่งแถบ (cm^{-1})	ลักษณะเฉพาะของแถบ (Peak characteristic)	หมายเหตุ
3412	แถบโอเวอร์โทนของ C=O stretching ของหมู่ Diketone ใน TTA	ความถี่เป็น 2 เท่าของแถบ C=O stretching ของหมู่ Diketone ใน TTA
3111	C-H stretching ของ Thiophene	ตำแหน่งแถบสำหรับ Thiophene ที่มีหมู่แทนที่ ในตำแหน่งที่ 2
1685-1640	C=O stretching ของหมู่ Diketone ใน TTA	ตำแหน่งแถบสำหรับสารประกอบ β -diketone
1520, 1430	C=C stretching ของ Thiophene	ตำแหน่งแถบสำหรับ Thiophene ที่มีหมู่แทนที่ ในตำแหน่งที่ 2
1358	C-S-C stretching ของ Thiophene	ตำแหน่งแถบสำหรับ Thiophene ที่มีหมู่แทนที่ ในตำแหน่งที่ 2
1313	C-F stretching ของหมู่ CF_3	แถบเดี่ยวและสูง
985, 860	C-H bending ของ Thiophene	ตำแหน่งแถบสำหรับ Thiophene ที่มีหมู่แทนที่ ในตำแหน่งที่ 2
746	Ring bending ของ Thiophene	ตำแหน่งแถบสำหรับ Thiophene ที่มีหมู่แทนที่ ในตำแหน่งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



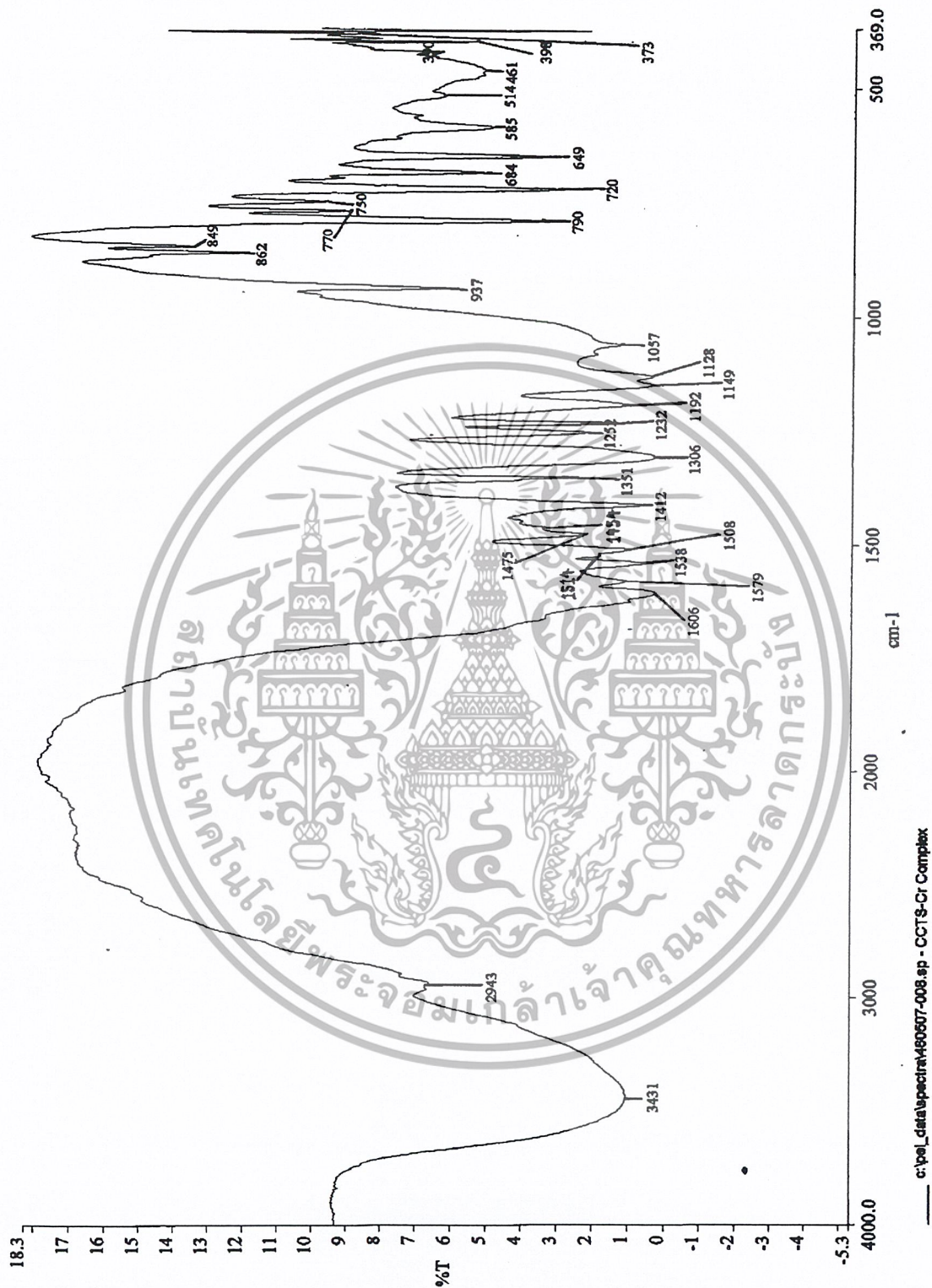
รูปที่ 4.15 แสดง FT-IR สเปกตรัมของทีโนอีลไตร์ฟลูออโรอะซีโตน (TTA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 แสดงตำแหน่งและลักษณะเฉพาะของแถบอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซน โครง-
ร่างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+})

ตำแหน่งแถบ (cm^{-1})	ลักษณะเฉพาะของแถบ (Peak characteristic)	หมายเหตุ
3200-3600	N-H stretching ของ 2° Amide O-H stretching ของหมู่ Hydroxy N-H stretching ของ 1° Amine	แถบกว้าง แถบเดี่ยวและต่ำ แถบกว้างและสูง แถบคู่และต่ำ
2943	C-H stretching ของหมู่ CH_3 ใน 2° Amide	
1590-1572	C=C stretching ของหมู่ Diketone ที่อยู่ในรูปอินอล ใน TTA	ตำแหน่งแถบสำหรับ ไอออนโลหะChelate กับ สารประกอบ β -diketone
1554-1526	C=O stretching ของหมู่ Diketone ที่อยู่ในรูปอินอล ใน TTA	ตำแหน่งแถบสำหรับ ไอออนโลหะChelate กับ สารประกอบ β -diketone
1538	N-H bending ของ 1° Amine	แถบเดี่ยวและสูง
1514, 1454	C=C stretching ของ Thiophene	ตำแหน่งแถบสำหรับ Thiophene ที่มีหมู่แทนที่ ในตำแหน่งที่ 2
1351	C-S-C stretching ของ Thiophene	ตำแหน่งแถบสำหรับ Thiophene ที่มีหมู่แทนที่ ในตำแหน่งที่ 2
1306	C-F stretching ของหมู่ CF_3	แถบเดี่ยวและสูง
937, 849	C-H bending ของ Thiophene	ตำแหน่งแถบสำหรับ Thiophene ที่มีหมู่แทนที่ ในตำแหน่งที่ 2
750	Ring bending ของ Thiophene	ตำแหน่งแถบสำหรับ Thiophene ที่มีหมู่แทนที่ ในตำแหน่งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



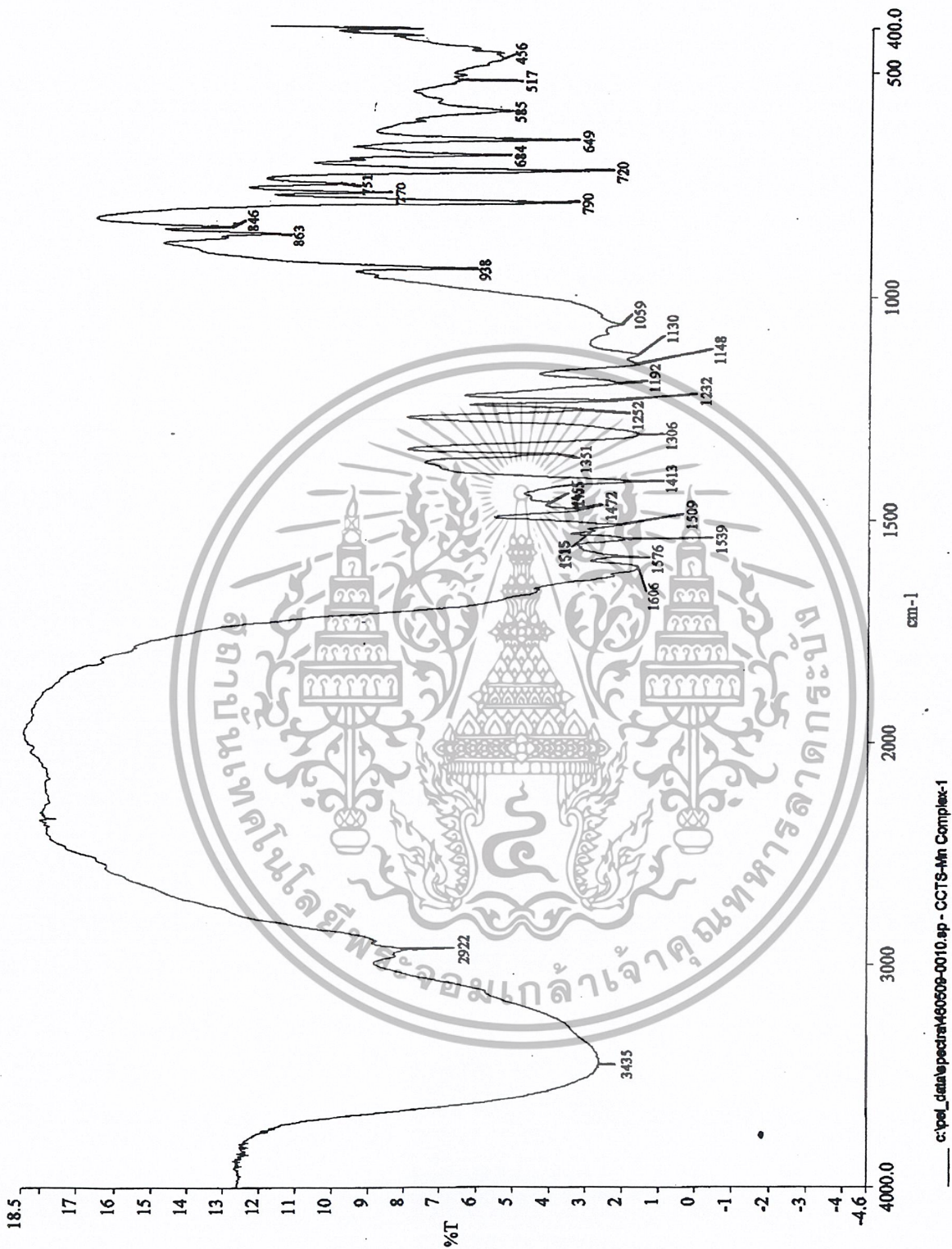
รูปที่ 4.16 แสดง FT-IR สเปกตรัมของโคโคแซน โครงร่างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 แสดงตำแหน่งและลักษณะเฉพาะของแถบอินฟราเรดสเปกตรัมของโคโคแซน โครง-
ร่างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับสารเชิงซ้อนของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+})

ตำแหน่งแถบ (cm^{-1})	ลักษณะเฉพาะของแถบ (Peak characteristic)	หมายเหตุ
3200-3600	N-H stretching ของ 2° Amide O-H stretching ของหมู่ Hydroxy N-H stretching ของ 1° Amine	แถบกว้าง แถบเดี่ยวและต่ำ แถบกว้างและสูง แถบคู่และต่ำ
2922	C-H stretching ของหมู่ CH_3 ใน 2° Amide	
1590-1572	C=C stretching ของหมู่ Diketone ที่อยู่ในรูปอินอล ใน TTA	ตำแหน่งแถบสำหรับ ไอออนโลหะChelate กับ สารประกอบ β -diketone
1554-1526	C=O stretching ของหมู่ Diketone ที่อยู่ในรูปอินอล ใน TTA	ตำแหน่งแถบสำหรับ ไอออนโลหะChelate กับ สารประกอบ β -diketone
1539	N-H bending ของ 1° Amine	แถบเดี่ยวและสูง
1515, 1455	C=C stretching ของ Thiophene	ตำแหน่งแถบสำหรับ Thiophene ที่มีหมู่แทนที่ ในตำแหน่งที่ 2
1351	C-S-C stretching ของ Thiophene	ตำแหน่งแถบสำหรับ Thiophene ที่มีหมู่แทนที่ ในตำแหน่งที่ 2
1306	C-F stretching ของหมู่ CF_3	แถบเดี่ยวและสูง
938, 846	C-H bending ของ Thiophene	ตำแหน่งแถบสำหรับ Thiophene ที่มีหมู่แทนที่ ในตำแหน่งที่ 2
751	Ring bending ของ Thiophene	ตำแหน่งแถบสำหรับ Thiophene ที่มีหมู่แทนที่ ในตำแหน่งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แสดง FT-IR สเปกตรัมของโคโตแซนโครงสร้างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับสารเชิงซ้อนของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของโคโคแซน โครงร่างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับ สารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) กับโคโคแซน โครงร่างตาข่าย พบว่า มีโครงสร้างแตกต่างกัน ดังนี้

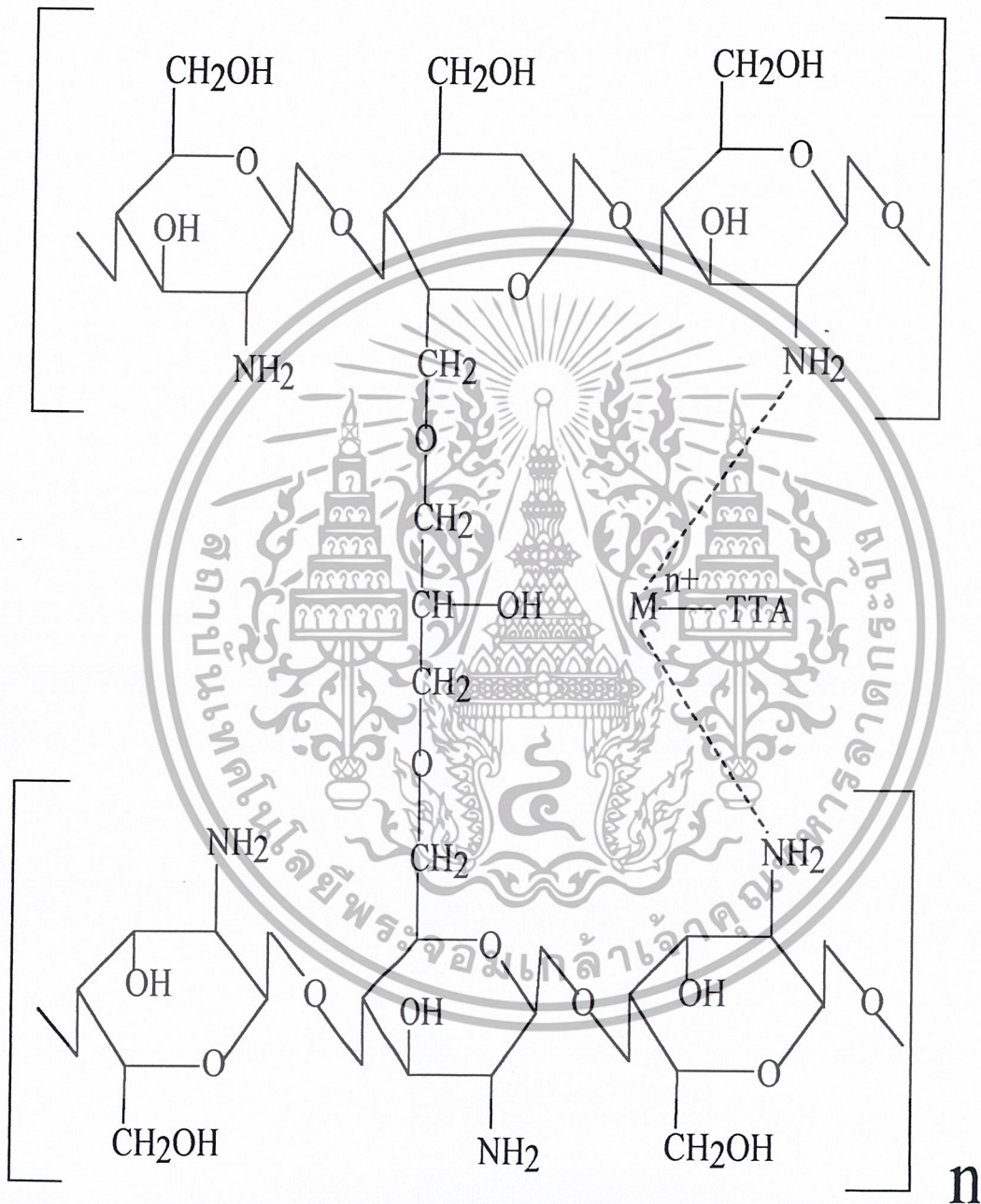
สเปกตรัมที่เลขคลื่น $3200\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$ แสดงการสั่นของ N-H stretching ของ 2° Amide, O-H stretching ของหมู่ O-H และ N-H stretching ของ 1° Amine สำหรับโคโคแซน โครงร่างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) พบว่ามีลักษณะ ที่เหมือนกับโคโคแซน โครงร่างตาข่าย แต่เมื่อพิจารณาสเปกตรัมในช่วงเลขคลื่น $1653\text{-}400\text{ cm}^{-1}$ สำหรับโคโคแซน โครงร่างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับสารเชิงซ้อนไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และ แมงกานีส (Mn^{2+}) เทียบกับโคโคแซน โครงร่างตาข่าย พบว่ามีลักษณะที่แตกต่างกัน โดยมีตำแหน่ง และลักษณะเฉพาะของแถบสเปกตรัมตามตารางที่ 4.12-4.13 เมื่อพิจารณาอินฟราเรดสเปกตรัมของ ทีโนอิลไดรฟลูออโรอะซิโตน (TTA) ดังรูปที่ 4.15 และจากลักษณะ โครงสร้างของ TTA ที่เกิด พันธะกับไอออนโลหะที่หมู่ Diketone (ในรูปอินอล) ดังรูปที่ 2.9 ควบคู่ไปด้วย ปรากฏว่ามีลักษณะ โครงสร้างของ TTA ที่เกิดพันธะกับไอออนโลหะที่หมู่ Diketone (ในรูปอินอล) ในอินฟราเรด สเปกตรัม และจากลักษณะ โครงสร้างดังกล่าว โดยเฉพาะหมู่ CF_3 ที่อยู่ในโครงสร้าง ทำให้แถบ อินฟราเรดสเปกตรัมของ C=C stretching และ C=O stretching ของหมู่ Diketone (ในรูปอินอล) ใน TTA เปลี่ยนไป กล่าวคือ แถบอินฟราเรดสเปกตรัมของ C=C stretching ที่ช่วงเลขคลื่น $1590\text{-}1572\text{ cm}^{-1}$ จะเปลี่ยนไปเป็นที่ 1606 cm^{-1} และ C=O stretching ที่ช่วงเลขคลื่น $1554\text{-}1526\text{ cm}^{-1}$ จะเปลี่ยนไปเป็นที่ 1579 cm^{-1} สำหรับสารเชิงซ้อนของ ไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) ส่วนสารเชิงซ้อนของ ไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) แถบอินฟราเรดสเปกตรัมของ C=C stretching ที่ช่วงเลขคลื่น $1590\text{-}1572\text{ cm}^{-1}$ จะเปลี่ยนไปเป็นที่ 1606 cm^{-1} และ C=O stretching ที่ช่วงเลขคลื่น $1554\text{-}1526\text{ cm}^{-1}$ จะเปลี่ยน ไปเป็นที่ 1576 cm^{-1}

เนื่องจากผลของ Inductive effect ของหมู่ CF_3 ที่เกาะติดกับหมู่ Diketone (ในรูปอินอล) จะ ไปลดความยาวของพันธะ C=C และ C=O จึงทำให้ค่าคงตัวของความแรง (Force constant) ของ พันธะ C=C และ C=O มีค่าเพิ่มขึ้น ผลที่ตามมา คือ แถบการยืดของ C=C และ C=O จะปรากฏที่ ความถี่สูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบแถบอินฟราเรดสเปกตรัมของ N-H bending ของ 1° Amine ที่ 1538 และ 1539 cm^{-1} ในโคโคแซน โครงร่างตาข่ายที่ผ่านการดูดซับกับสารเชิงซ้อน ไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า การดูดซับระหว่างโคโคแซน โครงร่างตา- ข่ายกับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) เป็นการดูดซับโดยแรงแวน- เดอร์วาลส์หรือแรงทางกายภาพ เนื่องจากลักษณะ โครงสร้างของ TTA ที่เกิดพันธะกับไอออนโลหะ ที่หมู่ Diketone (ในรูปอินอล) นั้นเสถียร ทำให้ $\text{Cr}^{3+}\text{-TTA}$ และ $\text{Mn}^{2+}\text{-TTA}$ ไม่สามารถเกิดพันธะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางเคมี กับโคโตแซนโครงร่างตาข่ายได้ ดังนั้นกลไกการเกิดดิวคซัสสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะบนโคโตแซนโครงร่างตาข่ายจึงมีรูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 แสดงกลไกการดิวคซัสสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะบนโคโตแซนโครงร่างตาข่าย โดยที่ M^{n+} คือ ไอออนโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. จากผลการตรวจวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของไคโตแซนที่สกัดได้จากเปลือกปูกับไคโตแซนชนิดมวลดโมเลกุลสูง และมวลดโมเลกุลต่ำ จากบริษัท Fluka [1] ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตแซนที่สกัดได้มีโครงสร้างคล้ายกับไคโตแซนชนิดมวลดโมเลกุลต่ำ

2. ไคโตแซนที่สกัดได้จากเปลือกปูนั้นสามารถทำปฏิกิริยากับอีพิคลอโรไฮดรินที่เป็นสารเชื่อมโยงเกิดเป็นไคโตแซนโครงร่างตาข่าย ซึ่งยืนยันได้จากผลการตรวจวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี

3. อัตราส่วนในการเตรียมพอลิเมอร์ระหว่างไคโตแซนกับอีพิคลอโรไฮดริน ที่เหมาะสมในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ด้วยไคโตแซนโครงร่างตาข่ายในงานวิจัยนี้คือ ไคโตแซนโครงร่างตาข่ายที่มีอัตราส่วนเท่ากับ 1:6 จะได้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุด ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และโลหะแมงกานีส (Mn^{2+}) 4 ppm เท่ากับ 55.79% และ 50.36% สำหรับ ไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) ตามลำดับ

4. สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) 4 ppm ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.6 โมลาร์ ความหนาแน่นของสารแขวนลอยไคโตแซนโครงร่างตาข่าย 9 กรัมต่อลิตร และ เวลาในการสัมผัส 180 นาที ส่วนสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) 4 ppm ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.6 โมลาร์ ความหนาแน่นของสารแขวนลอยไคโตแซนโครงร่างตาข่าย 9 กรัมต่อลิตร และ เวลาในการสัมผัส 120 นาที

5. ในการนำไคโตแซนโครงร่างตาข่ายกลับมาใช้ใหม่โดยการล้างด้วยเบนซีน สามารถนำกลับมาดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโลหะได้อีก แต่ประสิทธิภาพการดูดซับมีค่าลดลงตามจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งผลการทดลองเป็นไปในทำนองเดียวกัน ทั้งสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+})

6. การดูดซับไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) บนไคโตแซนโครงร่างตาข่ายเป็นการดูดซับโดยแรงแวนเดอร์วาลส์ หรือแรงทางกายภาพ ซึ่งยืนยันได้จากผลการตรวจวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.การดูดซับสารเชิงซ้อนของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) และแมงกานีส (Mn^{2+}) บนไคโตแซน โครงร่างตาข่ายเป็นการดูดซับโดยแรงแวนเดอร์วาลส์ หรือแรงทางกายภาพ ซึ่งยืนยันได้จากลักษณะ โครงสร้างของ TTA ที่เกิดพันธะกับ ไอออนโลหะที่หมู่ Diketone (ในรูปอินอล) และผลการตรวจ วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี

5.2 ข้อเสนอแนะ

1.ในการคัดขนาดของเปลือกปูนั้นได้ขนาดของเปลือกปูไม่สม่ำเสมอ อาจมีผลต่อการกำจัด หมู่อะซิดิล ทำให้กำจัดได้น้อย หรือเพียงบางส่วน ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพของพอลิเมอร์

2.ในขั้นตอนการเตรียมไคโตแซนโครงร่างตาข่ายนั้น ควรจะมีการควบคุมอุณหภูมิด้วย เพื่อให้ตัวเชื่อมโยงทำงานได้ดีขึ้น คือ เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันระหว่างไคโตแซนกับอีพิกลอโรไฮดรินได้อย่างสมบูรณ์ พอลิเมอร์ที่ได้จะมีอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรตามที่ต้องการ และนอกจากนี้ ควรปิดฝาภาชนะที่ใช้เตรียมพอลิเมอร์ เพื่อป้องกันไม่ให้อากาศแทรกตัวอยู่ระหว่างช่องว่างของรูพรุนของไคโตแซนถูกไล่ออกไป ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของพอลิเมอร์ที่ได้ ทำให้มีปริมาณรูพรุนลดลง โดยจะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพการดูดซับของพอลิเมอร์

3.ในการนำไคโตแซนโครงร่างตาข่ายกลับมาใช้ใหม่ โดยการล้างด้วยเบนซีนนั้นยังไม่สามารถล้างที่ติดในไคโตแซนโครงร่างตาข่ายได้หมด ดังนั้นจึงควรศึกษาตัวทำละลายที่สามารถล้าง ลี้ออกจากไคโตแซนโครงร่างตาข่ายได้ดีที่สุด

เอกสารอ้างอิง

1. ชมพูนุช คตสุขเลิศ, วรวิภา ศรีวิภา และ วันชัย สัทธานัตถมมงคล. 2539. การสกัดไคติน และไคโตแซน และความจุของการแลกเปลี่ยนไอออนบวก. โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
2. สุวดี จันทร์กระจ่าง. 2542. สารไคตินและไคโตแซนผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ และการประยุกต์ใช้ประโยชน์. เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่อง ความร่วมมือของภาครัฐและเอกชนในการพัฒนาการผลิต และการใช้สารไคติน-ไคโตแซนแบบครบวงจร, หน้า1-17. โรงแรมไอเฟล จังหวัดระนอง, 2-3 เมษายน.
3. วิราภรณ์ เชาวดีสุขุมาวาสี. 2544. ไคติน-ไคโตแซน สารมหัศจรรย์จากธรรมชาติ. วารสาร LAB. TODAY. 1(2):14-17.
4. ขวัญใจ สุชินพงศ์พันธ์. 2541. การนำไคโตแซนไปใช้ประโยชน์ทางด้านภษณะบรรจุ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
5. วิภา พอดี. 2544. การกำจัดสีย้อมผ้าในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยพอลิเมอร์บีต้าไซโคลเดกซ์ทริน. โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
6. อรุณี เทอดเทพพิทักษ์. 2534. การกำจัดโลหะหนักบางตัวในน้ำทิ้งโดยใช้ไคโตแซนจากเปลือกปูที่เหลือทิ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา.
7. Zeng, X.F. and Ruckenstein, E. 1996. Control of Pore Sizes in Macroporous Chitosan and Chitin Membranes. *Ind. Eng. Chem. Res.* 35(11): 4174.
8. Burger, K. 1973. **Organic Reagents in Metal Analysis.** 116 p. New York: Pergamon Press Ltd.
9. Sary, J. and Irving, H. 1964. **The Solvent Extraction of Metal Chelates.** 70 p. London: Pergamon Press Ltd.
10. Minczewski, J.; Chwastowska J. and Dybczynski, R. 1982. **Separation and Preconcentration Methods in Inorganic Trace Analysis.** 184 p. New York: John Wiley & Sons, Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. Sandell, E.B. and Onishi, H. 1978. **Photometric Determination of Traces of Metals**. 293p.
New York: John Wiley & Sons, Inc.
12. Muzzarelli, R.A.A. 1977. **Chitin**. London: Pergamon Press Ltd.
13. Filar, L.J. and Wirick, M.G. 1978. Bulk and Solution Properties of Chitin/Chitosan.
In: Proceeding of the First International Conference on Chitin/Chitosan, pp.169-181.
Muzzarelli, R.A.A. and Pariser, E.R., eds. MIT Sea Program: Cambridge.
14. Knorr, D. 1984. Use of Chitinous Polymers in Food. **Food Technology**. 38:85-97.
15. Knorr, D. 1982 Functional Properties of Chitin and Chitosan. **J. Food. Sci.** 47:593-595.
16. Gao, Y.H.; Lee, K.-H.; Oshima, M. and Motomizu, S. 2000. Adsorption Behavior of Metal Ions on Cross-Linked Chitosan and the Determination of Oxoanions after Pretreatment with a Chitosan Column. **Anal. Sci.** 16:1303-1308.
17. Wei, Y.C.; Hudson, S.M.; Mayer, J.M. and Kaplan, D.L. 1992. The Crosslinking of Chitosan Fibers. **J. Polym. Sci.: Part A: Polym. Chem.** 30:2187-2193.
18. Omar, M. and Bowen, H.J.M. 1982. Pre-concentration of Environmental Tin and Its Determination Using Catechol Violet. **Analyst**. 107:654-658.
19. Qian, S.H.; Wang, Y.T.; Peng C.H. and Tang, Y.R. 1999. Separation and Preconcentration of Mn(VII) and Mn(II) Speciation on Crosslinked Chitosan and Determination by Flame Atomic Absorption Spectrometry. **Analyst**. 126:239-241.
20. Tan, S.Y.; Wang, Y.T.; Peng, C.H. and Tang, Y.R. 1999. Synthesis and Adsorption Properties for Metal Ions of Crosslinked Chitosan Acetate Crown Ether. **J. Polym. Sci. :Part A: Polym. Chem.** 71:2069-2074.
21. Majumdar, S.K. and De, A.K. 1960. Extraction of Chromium(III) with 2-Thenoyltrifluoroacetone. **Anal. Chem.** 32:1337-1339.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

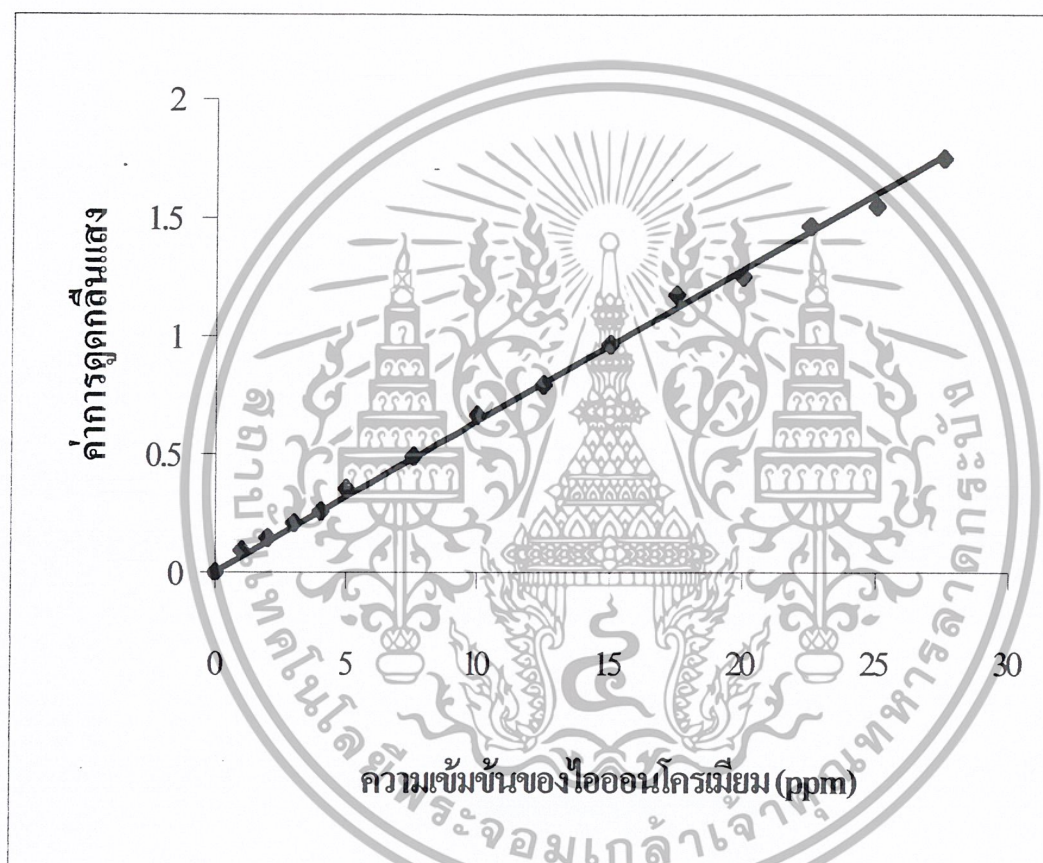
ภาคผนวก ก.

สารละลายมาตรฐานไอออนโครเมียม (Cr^{3+})สารละลายมาตรฐานไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) 20 ppm

ตารางที่ 1.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ ไอออน โครเมียม (Cr^{3+}) กับ ค่าการดูดกลืนแสง โดยวัดที่ความยาวคลื่น 402 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของ ไอออน โครเมียม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1.00	0.092	0.095	0.091	0.093
2.00	0.143	0.146	0.145	0.145
3.00	0.209	0.210	0.207	0.209
4.00	0.257	0.259	0.263	0.259
5.00	0.351	0.357	0.360	0.356
7.50	0.490	0.493	0.493	0.492
10.00	0.667	0.665	0.669	0.667
12.50	0.792	0.794	0.798	0.794
15.00	0.967	0.963	0.966	0.965
17.50	1.173	1.177	1.174	1.174
20.00	1.250	1.255	1.252	1.252
22.50	1.463	1.461	1.467	1.463
25.00	1.559	1.543	1.550	1.550
27.50	1.751	1.751	1.751	1.751

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) โดยวัดที่ความยาวคลื่น 402 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) ของไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่เกิดจากอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของไคโตแซนกับอีพิกลอโรไฮดรินต่างๆ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโลหะโครเมียม (Cr^{3+}) 4 ppm ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.6 โมลาร์ ความหนาแน่นของสารแขวนลอยไคโตแซนโครงร่างตาข่าย 9 กรัมต่อลิตร และเวลาในการสัมผัส 180 นาที

อัตราส่วนโดย มวลต่อปริมาตร ของไคโตแซน กับอีพิกลอโร- ไฮดริน	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการ ดูดซับ (%)	ค่าการดูด ซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูด กลืนแสง	ความ เข้มข้น (ppm)	ค่าการดูด กลืนแสง	ความ เข้มข้น (ppm)		
1:1	1	0.255	3.98	0.149	2.33	41.45	38.69
	2	0.250	3.91	0.153	2.39	38.87	
	3	0.256	4.00	0.164	2.57	35.75	
1:2	1	0.248	3.88	0.151	2.36	39.17	40.19
	2	0.253	3.95	0.149	2.33	41.01	
	3	0.254	3.96	0.151	2.36	40.40	
1:3	1	0.257	4.02	0.147	2.30	42.78	43.78
	2	0.258	4.03	0.141	2.20	45.40	
	3	0.277	4.33	0.157	2.46	43.18	
1:6	1	0.221	3.46	0.010	1.56	54.91	55.79
	2	0.259	4.05	0.129	2.01	50.37	
	3	0.275	4.30	0.104	1.63	62.09	

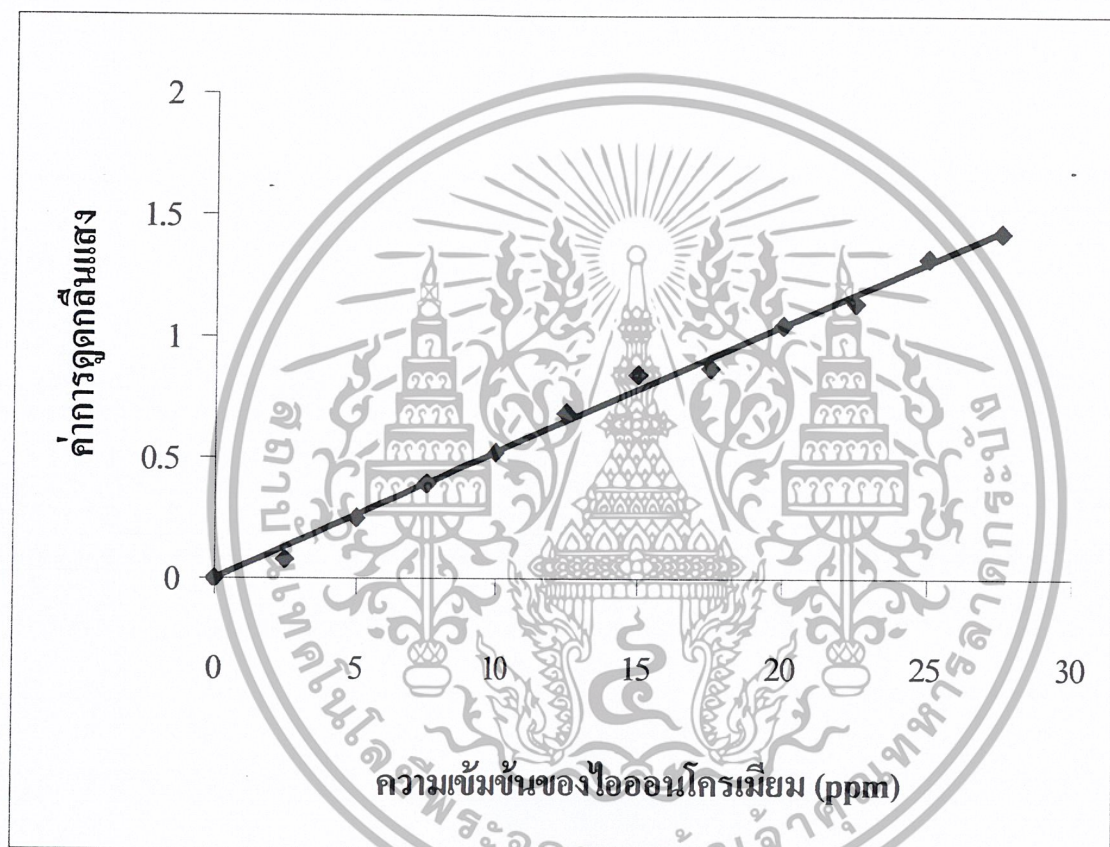
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายมาตรฐานไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) 40 ppm

ตารางที่ 1.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ ไอออนโครเมียม(Cr^{3+}) กับ ค่าการดูดกลืนแสง โดย วัดที่ความยาวคลื่น 402 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของ ไอออนโครเมียม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
2.50	0.085	0.073	0.080	0.079
5.00	0.250	0.225	0.275	0.250
7.50	0.399	0.395	0.380	0.391
10.00	0.521	0.521	0.520	0.521
12.50	0.688	0.685	0.690	0.687
15.00	0.849	0.840	0.843	0.844
17.50	0.874	0.877	0.860	0.870
20.00	1.045	1.047	1.050	1.047
22.50	1.139	1.137	1.137	1.138
25.00	1.329	1.320	1.321	1.323
27.50	1.423	1.426	1.430	1.426

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนโครเมียม(Cr^{3+}) โดยวัดที่ความยาวคลื่น 402 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.4 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) ของไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่เกิดจากอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของไคโตแซนกับอีพิกลอโรไฮครินต่างๆ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโลหะโครเมียม (Cr^{3+}) 8 ppm ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.6 โมลาร์ ความหนาแน่นของสารแขวนลอยไคโตแซน โครงร่างตาข่าย 9 กรัมต่อลิตร และเวลาในการสัมผัส 180 นาที

อัตราส่วน โดย มวลต่อปริมาตร ของไคโตแซน กับอีพิกลอโร- ไฮคริน	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการ ดูดซับ (%)	ค่าการดูด ซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูด กลืนแสง	ความ เข้มข้น (ppm)	ค่าการดูด กลืนแสง	ความ เข้มข้น (ppm)		
1:1	1	0.417	8.00	0.262	5.03	37.12	37.53
	2	0.420	8.06	0.267	5.12	36.47	
	3	0.415	7.97	0.253	4.86	39.02	
1:2	1	0.417	8.00	0.232	4.45	44.37	40.18
	2	0.420	8.06	0.242	4.65	42.30	
	3	0.415	7.97	0.275	5.27	33.87	
1:3	1	0.411	7.89	0.243	4.67	40.81	42.38
	2	0.413	7.93	0.240	4.59	42.11	
	3	0.416	7.98	0.232	4.45	44.23	
1:6	1	0.411	7.89	0.173	3.33	57.79	50.95
	2	0.413	7.93	0.194	3.73	52.96	
	3	0.416	7.98	0.241	4.62	42.10	

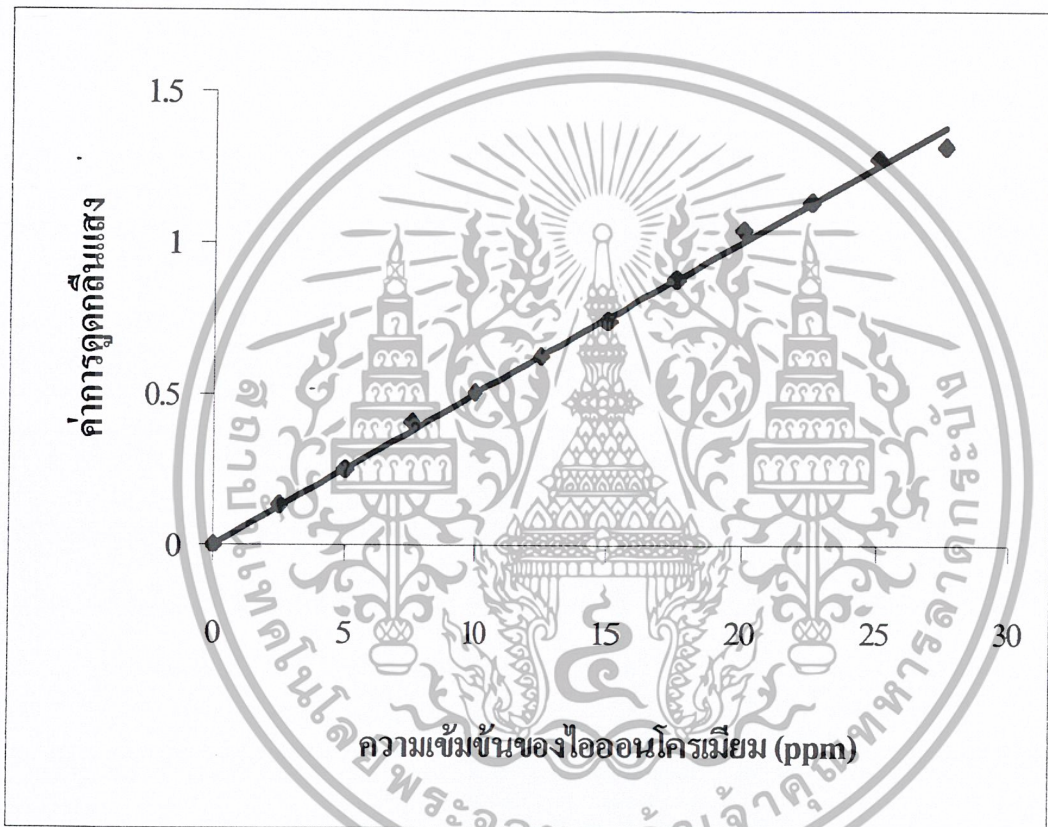
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายมาตรฐานไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) 60 ppm

ตารางที่ 1.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนโครเมียม(Cr^{3+}) กับ ค่าการดูดกลืนแสง โดย วัดที่ความยาวคลื่น 402 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของ ไอออนโครเมียม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
2.50	0.138	0.133	0.134	0.135
5.00	0.259	0.243	0.253	0.251
7.50	0.400	0.399	0.427	0.409
10.00	0.501	0.498	0.521	0.507
12.50	0.620	0.637	0.625	0.627
15.00	0.740	0.740	0.751	0.744
17.50	0.887	0.876	0.880	0.881
20.00	1.037	1.056	1.043	1.045
22.50	1.129	1.135	1.147	1.137
25.00	1.277	1.279	1.280	1.279
27.50	1.321	1.325	1.318	1.321

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) โดยวัดที่ความยาวคลื่น 402 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.6 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) ของไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่เกิดจากอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของไคโตแซนกับอีพิกลอโรไฮครินต่างๆ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโลหะโครเมียม (Cr^{3+}) 12 ppm ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.6 โมลาร์ ความหนาแน่นของสารแขวนลอยไคโตแซน โครงร่างตาข่าย 9 กรัมต่อลิตร และเวลาในการสัมผัส 180 นาที

อัตราส่วนโดย มวลต่อปริมาตร ของไคโตแซน กับอีพิกลอโร- ไฮคริน	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูด ซับ (%)	ค่าการดูด ซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูด กลืนแสง	ความ เข้มข้น (ppm)	ค่าการดูด กลืนแสง	ความ เข้มข้น (ppm)		
1:1	1	0.614	12.21	0.407	8.09	33.74	30.35
	2	0.607	12.07	0.440	8.74	27.58	
	3	0.602	11.97	0.423	8.41	29.74	
1:2	1	0.614	12.33	0.411	8.17	33.73	33.34
	2	0.607	12.07	0.410	8.14	32.56	
	3	0.604	11.97	0.398	7.93	33.75	
1:3	1	0.602	12.33	0.372	7.39	40.06	35.10
	2	0.617	12.27	0.396	7.87	35.85	
	3	0.604	12.01	0.427	8.48	29.36	
1:6	1	0.602	12.33	0.349	6.94	43.71	47.02
	2	0.617	12.27	0.296	5.88	52.07	
	3	0.604	12.01	0.330	6.57	45.29	

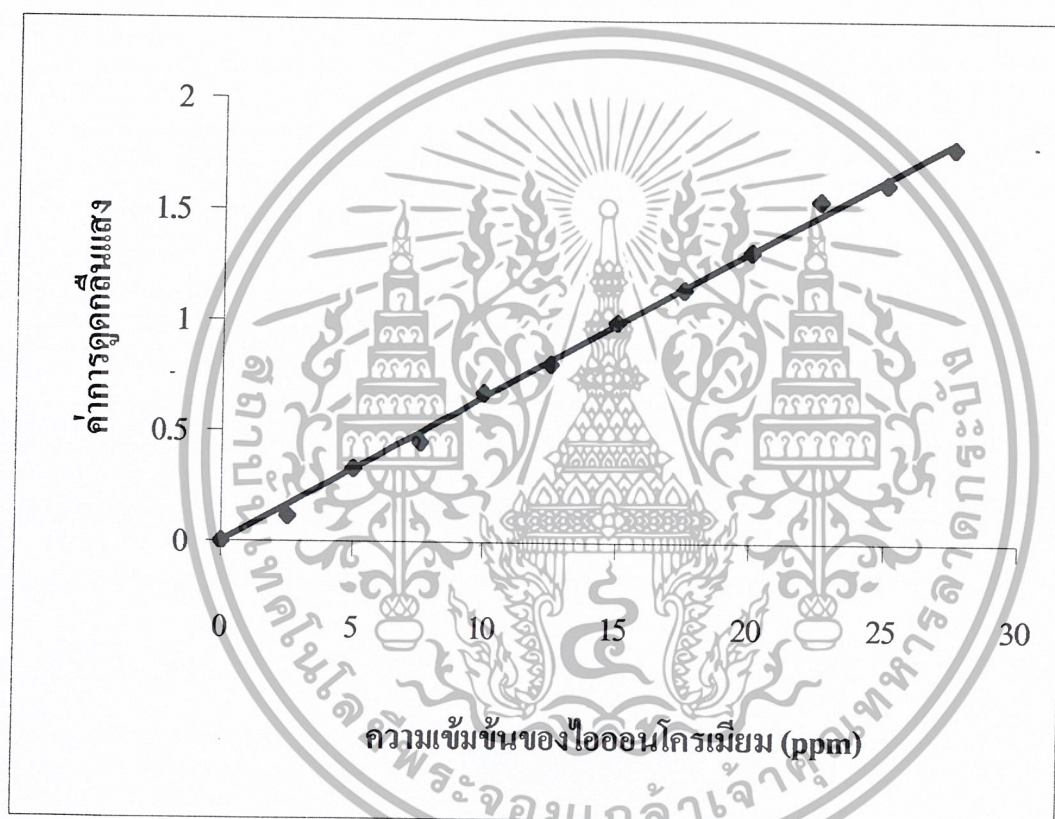
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายมาตรฐานไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) 100 ppm

ตารางที่ 1.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนโครเมียม(Cr^{3+}) กับ ค่าการดูดกลืนแสง โดยวัดที่ความยาวคลื่น 402 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของ ไอออนโครเมียม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
2.50	0.106	0.113	0.126	0.115
5.00	0.312	0.437	0.328	0.329
7.50	0.443	0.475	0.432	0.450
10.00	0.653	0.678	0.693	0.674
12.50	0.817	0.798	0.803	0.806
15.00	0.998	0.997	0.997	0.997
17.50	1.126	1.179	1.130	1.145
20.00	1.309	1.321	1.318	1.316
22.50	1.550	1.569	1.521	1.547
25.00	1.611	1.630	1.625	1.622
27.50	1.785	1.790	1.783	1.786

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) โดยวัดที่ความยาวคลื่น 402 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.8 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) ของโคโคแซน โครงร่างตาข่าย ที่เกิดจากอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของโคโคแซนกับอีพิคลอโรไฮดรินต่างๆ โดยใช้สถานะในการทดลอง คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโลหะโครเมียม (Cr^{3+}) 20 ppm ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.6 โมลาร์ ความหนาแน่นของสารแขวนลอยโคโคแซน โครงร่างตาข่าย 9 กรัมต่อลิตร และเวลาในการสัมผัส 180 นาที

อัตราส่วนโดย มวลต่อปริมาตร ของโคโคแซน กับอีพิคลอโร- ไฮดริน	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการ ดูดซับ (%)	ค่าการดูด ซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูด กลืนแสง	ความ เข้มข้น (ppm)	ค่าการดูด กลืนแสง	ความ เข้มข้น (ppm)		
1:1	1	1.317	20.05	0.997	15.18	24.28	24.30
	2	1.305	19.86	0.993	15.11	23.91	
	3	1.320	20.09	0.993	15.12	24.73	
1:2	1	1.317	20.05	0.934	14.22	29.07	25.87
	2	1.305	19.86	1.033	15.72	20.84	
	3	1.320	20.09	0.954	14.52	27.72	
1:3	1	1.321	20.11	1.005	15.30	23.91	27.72
	2	1.319	20.08	0.916	13.94	30.53	
	3	1.320	20.09	0.940	14.32	28.72	
1:6	1	1.321	20.11	0.830	12.64	37.14	36.70
	2	1.319	20.05	0.856	13.03	35.01	
	3	1.320	20.09	0.819	12.46	37.97	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

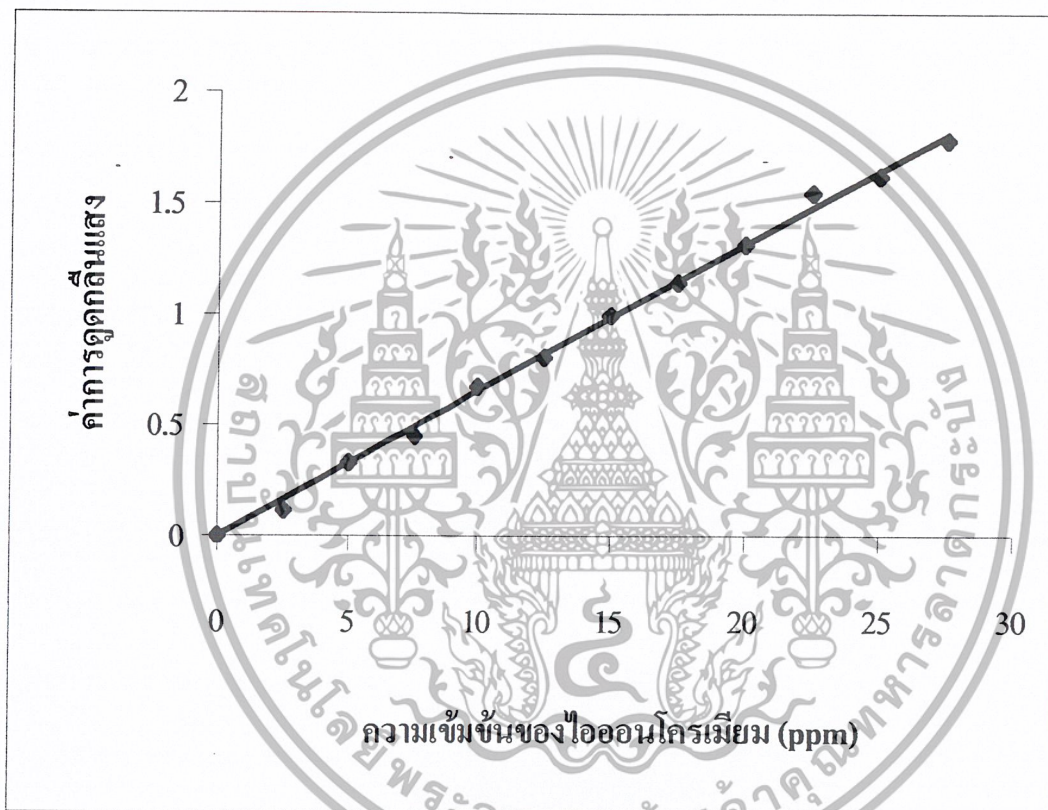
สารละลายมาตรฐานไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) 20 ppm

ตารางที่ 1.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนโครเมียม(Cr^{3+}) กับ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.3 โมลาร์ โดยวัดที่ความยาวคลื่น 402 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของ ไอออนโครเมียม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
5.00	0.256	0.255	0.260	0.257
10.00	0.568	0.570	0.566	0.568
15.00	0.863	0.864	0.863	0.863
20.00	1.147	1.145	1.143	1.145
25.00	1.490	1.488	1.493	1.490



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.5 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) ที่ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.3 โมลาร์ โดยวัดที่ความยาวคลื่น 402 นาโนเมตร

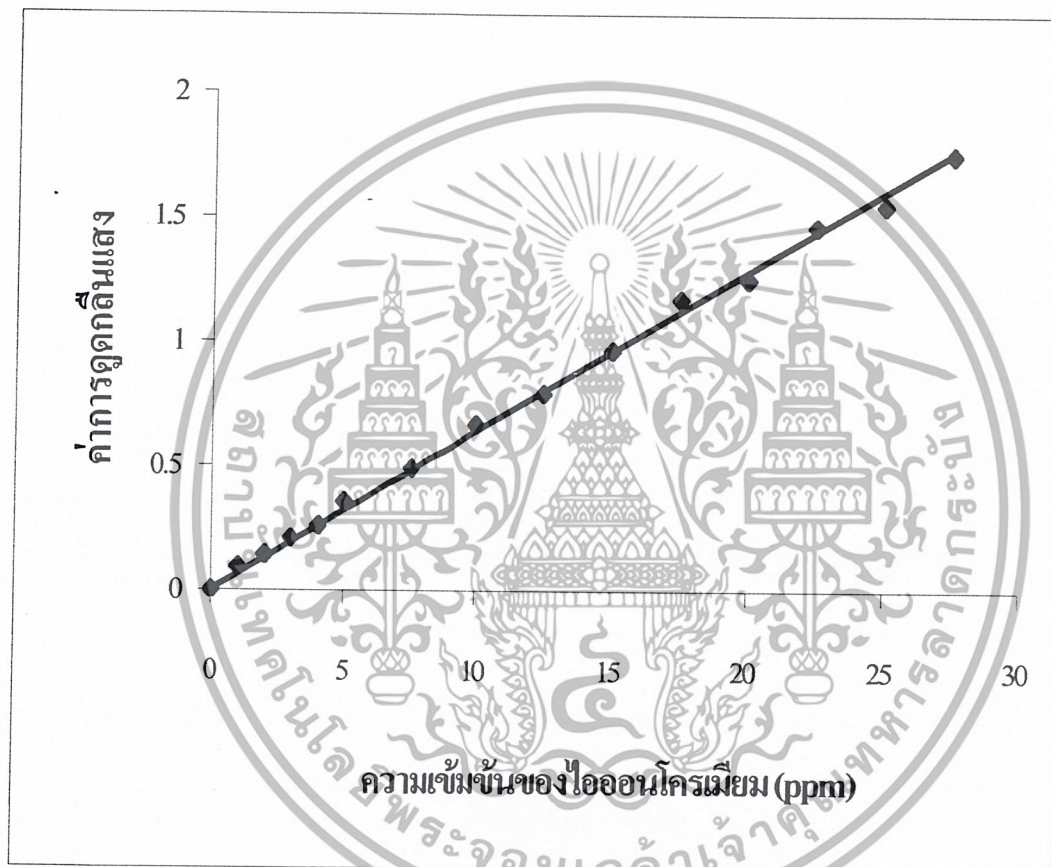
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายมาตรฐานไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) 20 ppm

ตารางที่ 1.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) กับ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.6 โมลาร์ โดยวัดที่ความยาวคลื่น 402 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของ ไอออนโครเมียม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1.00	0.092	0.095	0.091	0.093
2.00	0.143	0.146	0.145	0.145
3.00	0.209	0.210	0.207	0.209
4.00	0.257	0.259	0.263	0.259
5.00	0.351	0.357	0.360	0.356
7.50	0.490	0.493	0.493	0.492
10.00	0.667	0.665	0.669	0.667
12.50	0.792	0.794	0.798	0.794
15.00	0.967	0.963	0.966	0.965
17.50	1.1.73	1.177	1.174	1.174
20.00	1.250	1.255	1.252	1.252
22.50	1.463	1.461	1.467	1.463
25.00	1.559	1.543	1.550	1.550
27.50	1.751	1.751	1.751	1.751

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



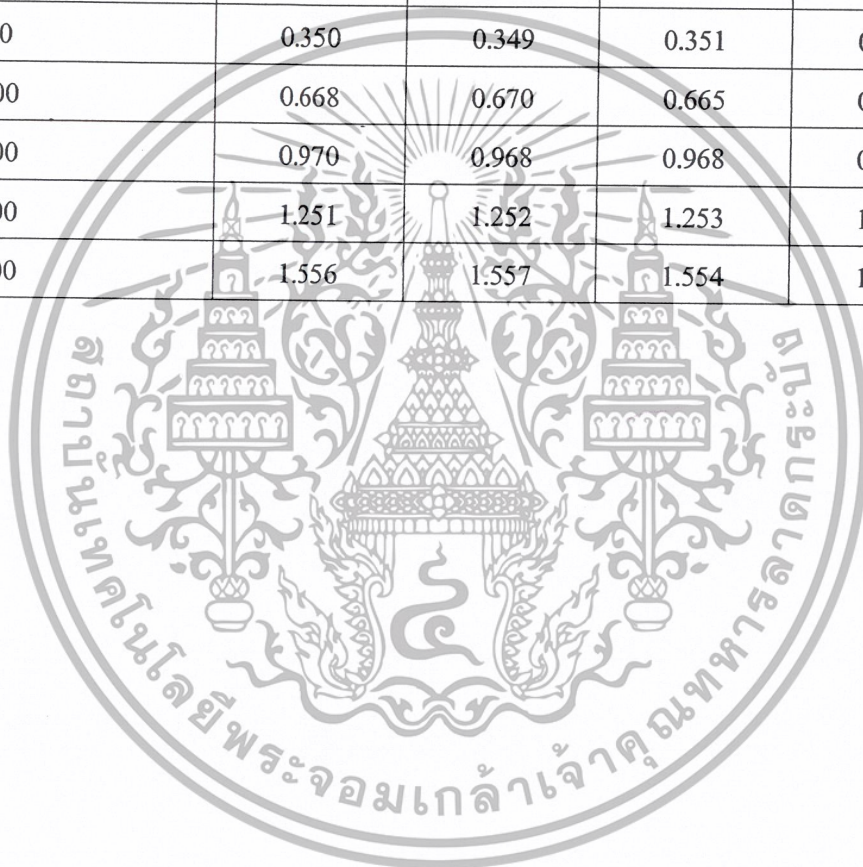
รูปที่ 1.6 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนโครเมียม (Cr^3) ที่ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.6 โมลาร์ โดยวัดที่ความยาวคลื่น 402 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

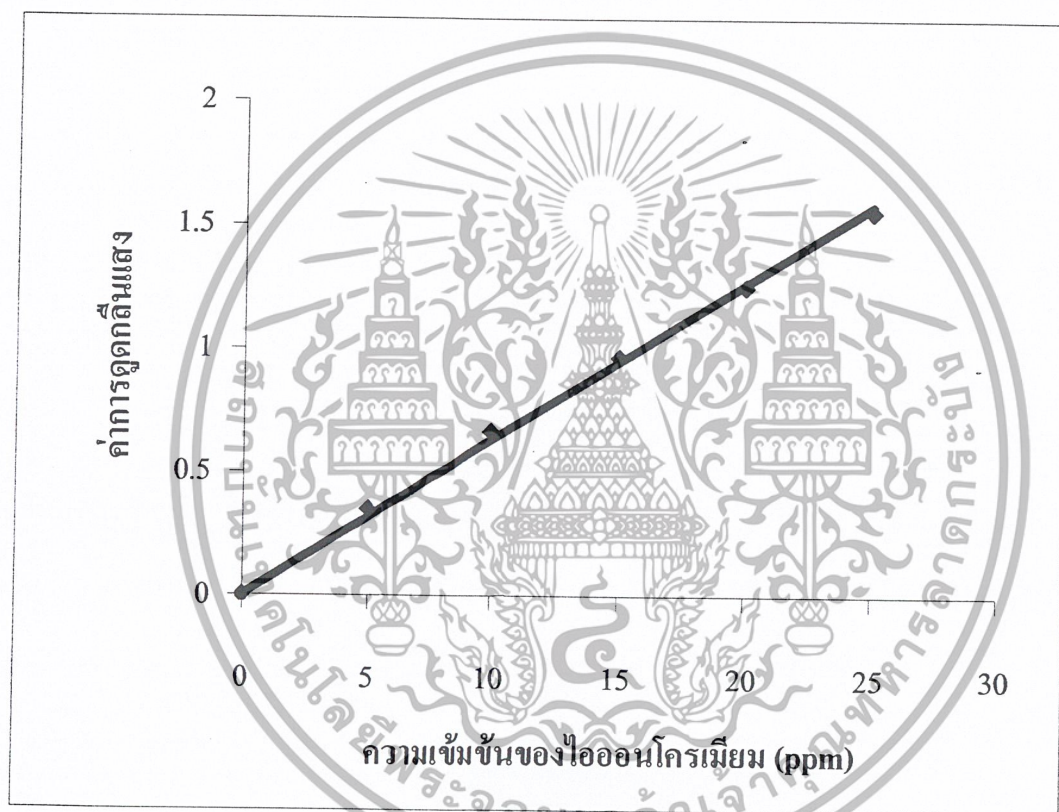
สารละลายมาตรฐานไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) 20 ppm

ตารางที่ 1.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) กับ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.9 โมลาร์ โดยวัดที่ความยาวคลื่น 402 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของ ไอออนโครเมียม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
5.00	0.350	0.349	0.351	0.350
10.00	0.668	0.670	0.665	0.667
15.00	0.970	0.968	0.968	0.968
20.00	1.251	1.252	1.253	1.252
25.00	1.556	1.557	1.554	1.555



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



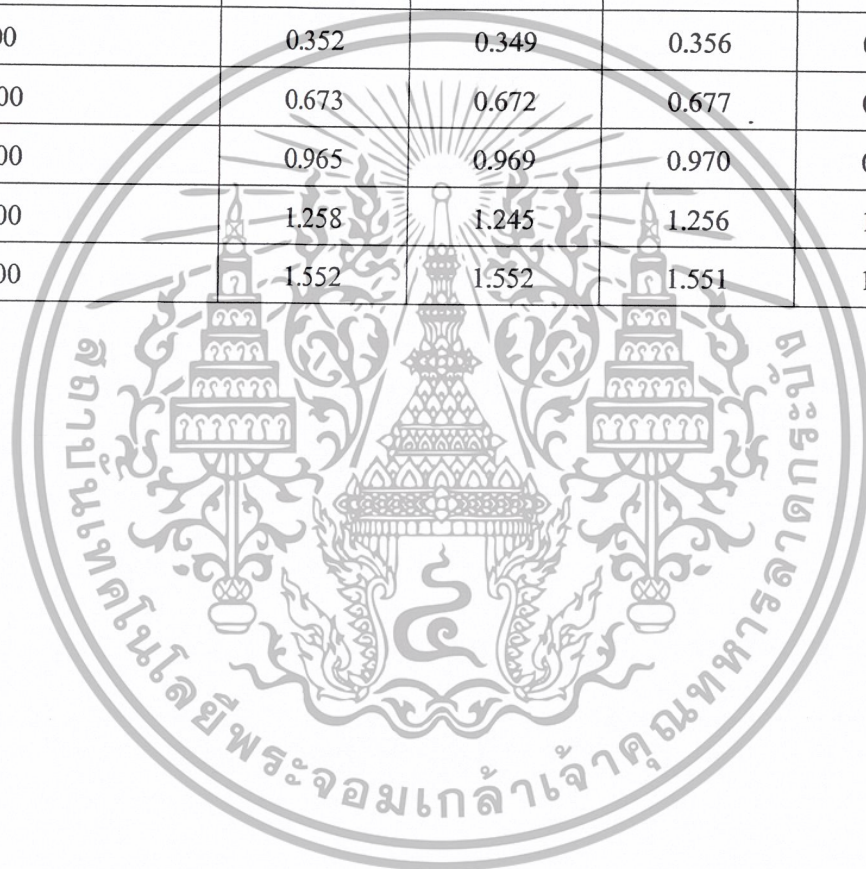
รูปที่ 1.7 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของโครเมียม (Cr^{3+}) ที่ความเข้มข้นของสารละลาย TTA เข้มข้น 0.9 โมลาร์ โดยวัดที่ความยาวคลื่น 402 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

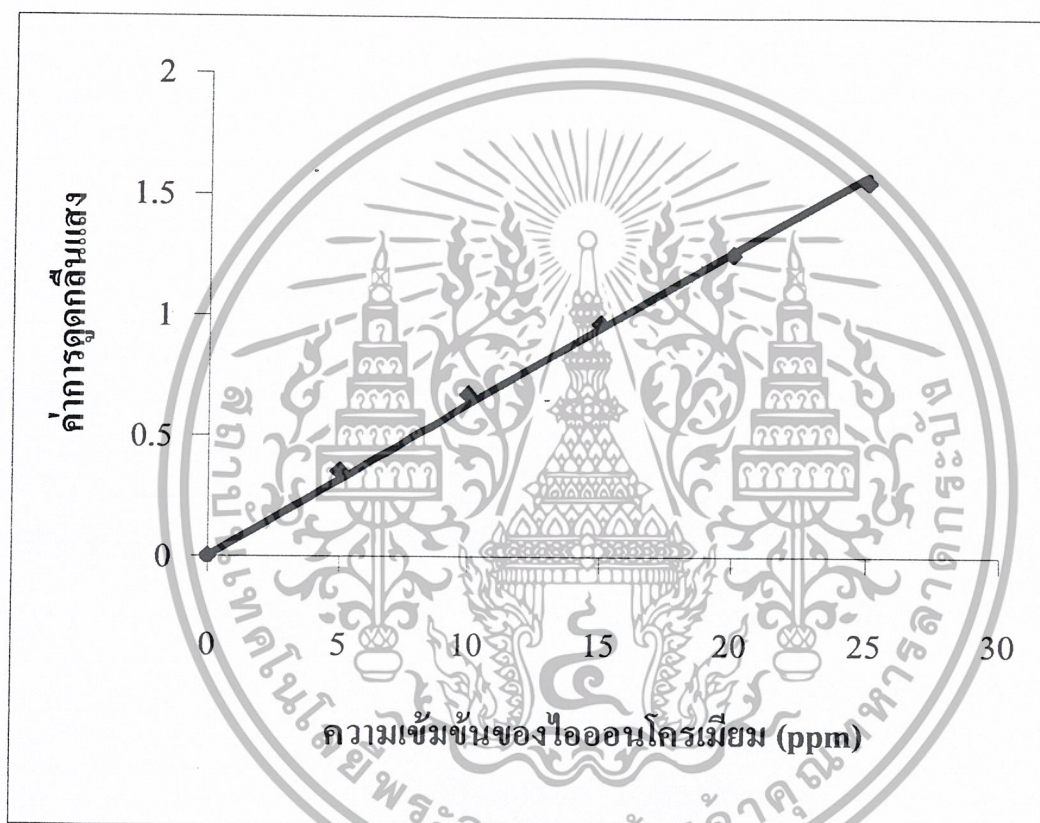
สารละลายมาตรฐานไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) 20 ppm

ตารางที่ 1.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) กับ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นของสารละลาย TTA เข้มข้น 1.2 โมลาร์ โดยวัดที่ความยาวคลื่น 402 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของ ไอออนโครเมียม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
5.00	0.352	0.349	0.356	0.352
10.00	0.673	0.672	0.677	0.674
15.00	0.965	0.969	0.970	0.968
20.00	1.258	1.245	1.256	1.253
25.00	1.552	1.552	1.551	1.552



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.8 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนโครเมียม (Cr^3) ที่ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 1.2 โมลาร์ โดยวัดที่ความยาวคลื่น 402 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.13 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) ของโคโตะแซน โครงร่างตาข่ายที่เกิดจากอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของโคโตะแซนกับอีพิคลอโรไฮดรินเท่ากับ 1:6 ที่ความเข้มข้นของสารละลาย TTA ต่างๆ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) 4 ppm ความหนาแน่นของสารแขวนลอยโคโตะแซน โครงร่างตาข่าย 9 กรัมต่อลิตร เวลาในการสัมผัส 180 นาที

ความเข้มข้น ของสาร ละลาย TTA (โมลาร์)	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการ ดูดซับ (%)	ค่าการดูด ซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูด กลืนแสง	ความเข้ม ขึ้น (ppm)	ค่าการดูด กลืนแสง	ความเข้ม ขึ้น (ppm)		
0.3	1	0.167	2.87	0.084	1.44	49.82	48.15
	2	0.150	2.58	0.074	1.28	50.38	
	3	0.163	2.8	0.090	1.55	44.64	
0.6	1	0.261	4.08	0.104	1.62	60.29	55.74
	2	0.258	4.03	0.119	1.86	53.84	
	3	0.260	4.06	0.122	1.90	53.20	
0.9	1	0.257	4.07	0.110	1.74	57.24	55.73
	2	0.261	4.13	0.125	1.97	52.30	
	3	0.264	4.18	0.112	1.77	57.65	
1.2	1	0.266	4.21	0.105	1.66	60.51	55.55
	2	0.253	4.00	0.123	1.95	51.25	
	3	0.265	4.19	0.119	1.89	54.89	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.14 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) ของไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่เกิดจากอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของไคโตแซนกับอีพิกโลโรไฮดริน เท่ากับ 1:6 ที่ ความหนาแน่นของสารแขวนลอยไคโตแซน โครงร่างตาข่ายต่างๆ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) 4 ppm ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.6 โมลาร์ และเวลาในการสัมผัส 180 นาที

ความหนาแน่น ของสารแขวนลอย ไคโตแซน โครง- ร่างตาข่าย (กรัมต่อลิตร)	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการ ดูดซับ (%)	ค่าการดูด ซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูด กลืนแสง	ความเข้ม ขึ้น (ppm)	ค่าการดูด กลืนแสง	ความเข้ม ขึ้น (ppm)		
2	1	0.255	3.98	0.161	2.51	36.93	39.28
	2	0.258	4.03	0.156	2.45	39.20	
	3	0.259	4.05	0.151	2.36	41.72	
6	1	0.255	3.98	0.109	1.70	57.28	50.34
	2	0.258	4.03	0.140	2.19	45.65	
	3	0.259	4.05	0.134	2.10	48.14	
9	1	0.260	4.06	0.088	1.37	66.25	57.55
	2	0.252	3.94	0.126	1.97	50.00	
	3	0.254	3.97	0.111	1.73	56.42	
12	1	0.260	4.06	0.110	1.69	58.37	58.05
	2	0.252	3.94	0.105	1.64	58.37	
	3	0.254	3.97	0.108	1.69	57.43	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.15 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) ของโคโคแซน โครงร่างตาข่ายที่เกิดจากอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของโคโคแซนกับอีพิคลอโรไฮดรินเท่ากับ 1:6 ที่เวลาในการสัมผัสต่างๆ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) 4 ppm ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.6 โมลาร์ ความหนาแน่นของสารแขวนลอยโคโคแซนโครงร่างตาข่าย 9 กรัมต่อลิตร

เวลาในการสัมผัส (นาที)	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (ppm)		
5	1	0.261	4.08	0.102	1.59	60.02	55.59
	2	0.254	3.97	0.131	2.05	48.36	
	3	0.263	4.11	0.109	1.71	58.39	
10	1	0.261	4.08	0.114	1.78	56.37	56.50
	2	0.254	3.97	0.089	1.40	64.73	
	3	0.263	4.11	0.136	2.12	48.41	
30	1	0.257	4.02	0.102	1.59	60.44	58.67
	2	0.264	4.13	0.047	1.73	58.11	
	3	0.253	3.95	0.106	1.68	57.46	
60	1	0.257	4.02	0.132	2.06	48.75	59.31
	2	0.264	4.13	0.084	1.20	70.94	
	3	0.253	3.95	0.099	1.56	60.50	
120	1	0.251	3.92	0.099	1.55	60.45	60.26
	2	0.255	3.98	0.114	1.78	55.27	
	3	0.258	4.03	0.089	1.40	65.26	
180	1	0.251	3.92	0.103	1.61	58.92	61.23
	2	0.255	3.98	0.104	1.62	59.29	
	3	0.258	4.03	0.089	1.39	65.50	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาในการ สัมผัส (นาที)	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการ ดูดซับ (%)	ค่าการดูด ซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูด กลืนแสง	ความเข้ม ชั้น (ppm)	ค่าการดูด กลืนแสง	ความเข้ม ชั้น (ppm)		
240	1	0.260	4.06	0.103	1.61	60.34	61.03
	2	0.260	4.06	0.102	1.59	60.83	
	3	0.257	4.02	0.098	1.53	61.94	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.16 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) ของไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) 4 ppm ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.6 โมลาร์ ความหนาแน่นของสารแขวนลอยไคโตแซน โครงร่างตาข่าย 9 กรัมต่อลิตร และ เวลาในการสัมผัส 180 นาที

จำนวนครั้งที่นำพอลิเมอร์กลับมาใช้ใหม่	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (ppm)		
1	1	0.257	4.02	0.127	1.98	50.74	51.18
	2	0.263	4.11	0.129	2.01	51.09	
	3	0.261	4.08	0.126	1.97	51.71	
-2	1	0.257	4.02	0.134	2.10	47.76	47.01
	2	0.263	4.11	0.137	2.14	47.93	
	3	0.261	4.08	0.143	2.23	45.34	
3	1	0.257	4.02	0.142	2.22	44.77	42.11
	2	0.263	4.11	0.157	2.46	40.14	
	3	0.261	4.08	0.153	2.39	41.42	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

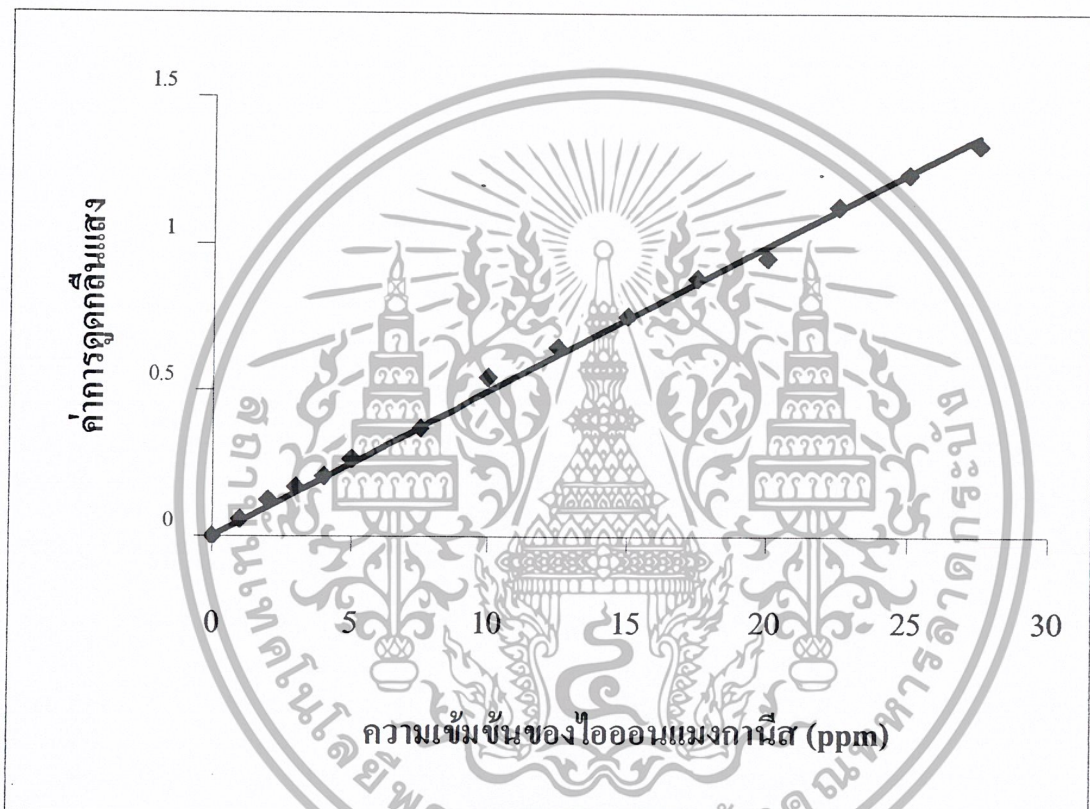
ภาคผนวก ข.

สารละลายมาตรฐานไอออนแมงกานีส (Mn^{2+})สารละลายมาตรฐานไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) 20 ppm

ตารางที่ 1.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) กับ ค่าการดูดกลืนแสง โดยวัดที่ความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของ ไอออนโครเมียม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1.00	0.092	0.095	0.091	0.093
2.00	0.143	0.146	0.145	0.145
3.00	0.209	0.210	0.207	0.209
4.00	0.257	0.259	0.263	0.259
5.00	0.351	0.357	0.360	0.356
7.50	0.490	0.493	0.493	0.492
10.00	0.667	0.665	0.669	0.667
12.50	0.792	0.794	0.798	0.794
15.00	0.967	0.963	0.966	0.965
17.50	1.173	1.177	1.174	1.174
20.00	1.250	1.255	1.252	1.252
22.50	1.463	1.461	1.467	1.463
25.00	1.559	1.543	1.550	1.550
27.50	1.751	1.751	1.751	1.751

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) โดยวัดที่ความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) ของไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่เกิดจากอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของไคโตแซนกับอีพิกลอโรไฮดรินต่างๆ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) 4 ppm ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.6 โมลาร์ ความหนาแน่นของสารแขวนลอยไคโตแซนโครงร่างตาข่าย 9 กรัมต่อลิตร และเวลาในการสัมผัส 180 นาที

อัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของไคโตแซนกับอีพิกลอโรไฮดริน	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (ppm)		
1:1	1	0.215	4.33	0.125	2.52	41.80	42.39
	2	0.198	3.98	0.113	2.28	42.71	
	3	0.204	4.10	0.117	2.35	42.68	
1:2	1	0.215	4.33	0.122	2.45	43.41	45.00
	2	0.198	3.98	0.105	2.12	46.73	
	3	0.204	4.10	0.112	2.26	44.87	
1:3	1	0.217	4.37	0.129	2.61	40.27	45.30
	2	0.206	4.14	0.095	1.91	53.86	
	3	0.206	4.14	0.119	2.41	41.78	
1:6	1	0.217	4.37	0.109	2.19	49.88	50.36
	2	0.206	4.14	0.097	1.96	52.65	
	3	0.206	4.14	0.106	2.13	48.55	

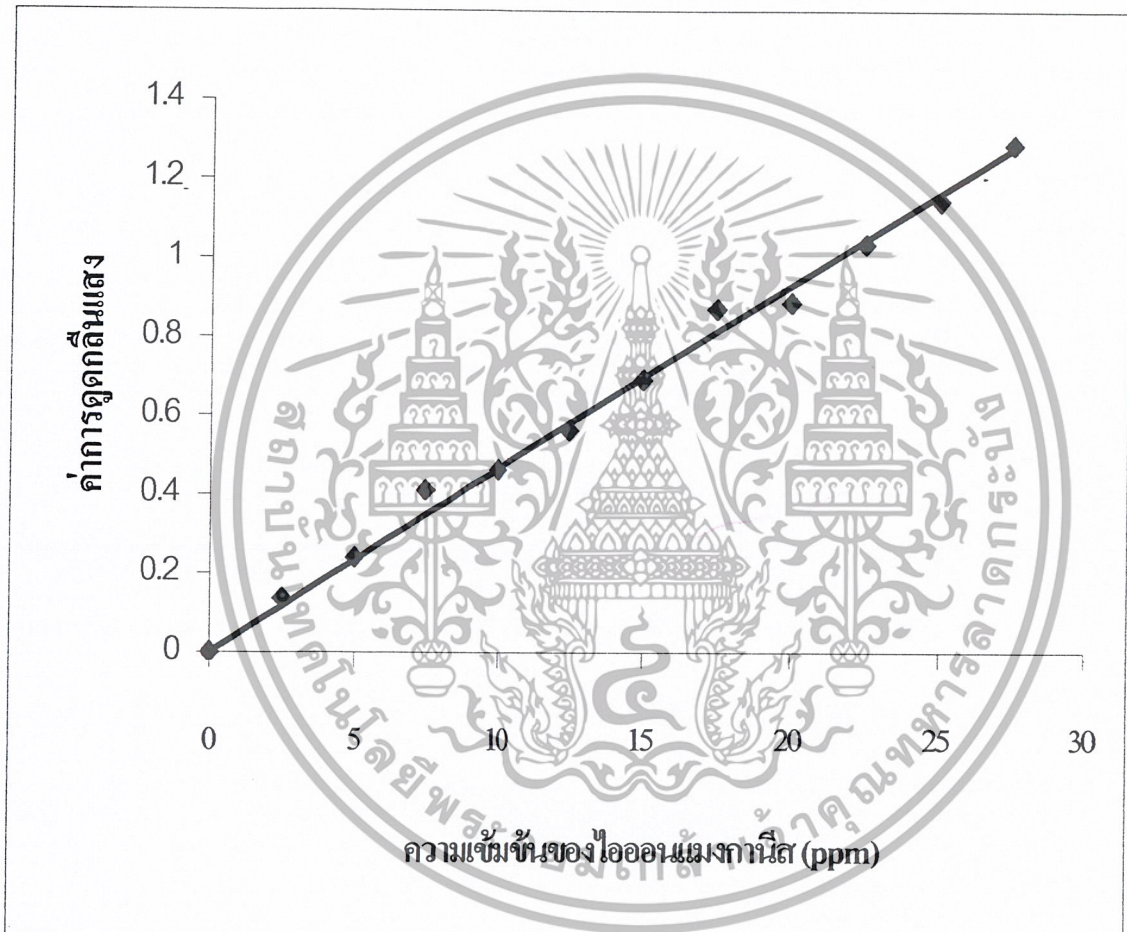
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายมาตรฐานไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) 40 ppm

ตารางที่ 1.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) กับ ค่าการดูดกลืนแสง โดยวัดที่ความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของ ไอออนแมงกานีส (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
2.50	0.139	0.133	0.137	0.136
5.00	0.257	0.239	0.221	0.239
7.50	0.395	0.395	0.447	0.412
10.00	0.486	0.450	0.453	0.463
12.50	0.567	0.553	0.569	0.563
15.00	0.699	0.687	0.690	0.692
17.50	0.853	0.887	0.874	0.871
20.00	0.899	0.886	0.873	0.886
22.50	1.037	1.033	1.035	1.035
25.00	1.137	1.140	1.159	1.145
27.50	1.285	1.289	1.289	1.288

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) โดยวัดที่ความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) ของโคโคแซน โครงร่างตาข่ายที่เกิดจากอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของโคโคแซนกับอีพิกลอโรไฮดรินต่างๆ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) 8 ppm ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.6 โมลาร์ ความหนาแน่นของสารแขวนลอยโคโคแซนโครงร่างตาข่าย 9 กรัมต่อลิตร และเวลาในการสัมผัส 180 นาที

อัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของโคโคแซนกับอีพิกลอโรไฮดริน	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (ppm)		
1:1	1	0.374	8.04	0.236	5.08	36.81	37.59
	2	0.405	8.71	0.252	5.41	37.88	
	3	0.375	8.06	0.232	4.99	38.08	
1:2	1	0.374	8.04	0.231	4.97	38.18	38.40
	2	0.405	8.71	0.250	5.37	38.34	
	3	0.375	8.06	0.230	4.94	38.70	
1:3	1	0.357	7.68	0.215	4.63	39.71	39.87
	2	0.339	7.29	0.201	4.32	40.74	
	3	0.367	7.89	0.223	4.80	39.16	
1:6	1	0.357	7.68	0.203	4.37	43.09	46.59
	2	0.339	7.29	0.169	3.65	49.93	
	3	0.367	7.89	0.196	4.22	46.76	

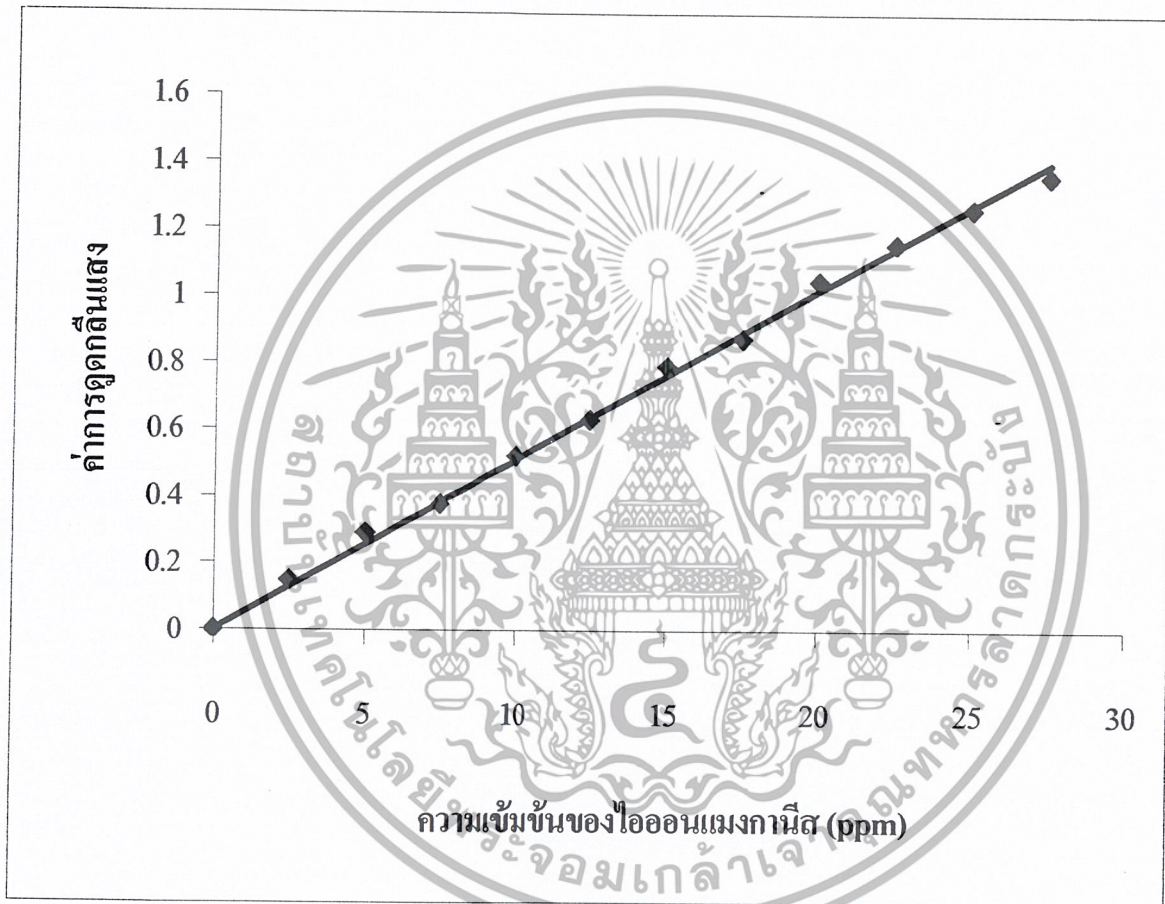
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายมาตรฐานไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) 60 ppm

ตารางที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) กับ ค่าการดูดกลืนแสง โดยวัดที่ความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของ ไอออนแมงกานีส (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
2.50	0.149	0.150	0.147	0.149
5.00	0.289	0.290	0.290	0.290
7.50	0.392	0.391	0.350	0.378
10.00	0.502	0.539	0.521	0.521
12.50	0.633	0.621	0.637	0.630
15.00	0.795	0.783	0.796	0.791
17.50	0.873	0.865	0.887	0.875
20.00	1.009	1.073	1.056	1.046
22.50	1.157	1.139	1.178	1.158
25.00	1.267	1.257	1.267	1.264
27.50	1.366	1.347	1.369	1.361

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) โดยวัดที่ความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) ของไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่เกิดจากอัตราส่วน โดยมวลต่อปริมาตรของไคโตแซนกับอีพิคลอโรไฮดรินต่างๆ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) 12 ppm ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.6 โมลาร์ ความหนาแน่นของสารแขวนลอยไคโตแซนโครงร่างตาข่าย 9 กรัมต่อลิตร และเวลาในการสัมผัส 180 นาที

อัตราส่วนโดย มวลต่อปริมาตร ของไคโตแซน กับอีพิคลอโร- ไฮดริน	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการ ดูดซับ (%)	ค่าการดูด ซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูด กลืนแสง	ความ เข้มข้น (ppm)	ค่าการดูด กลืนแสง	ความ เข้มข้น (ppm)		
1:1	1	0.579	11.38	0.426	8.36	26.53	28.33
	2	0.611	12.00	0.444	8.72	27.33	
	3	0.590	11.59	0.406	7.98	31.14	
1:2	1	0.579	11.38	0.388	7.62	33.04	30.90
	2	0.611	12.00	0.411	8.07	32.75	
	3	0.590	11.59	0.431	8.47	26.91	
1:3	1	0.597	11.73	0.416	8.17	30.34	32.04
	2	0.603	11.85	0.387	7.61	35.78	
	3	0.614	12.06	0.429	8.44	30.01	
1:6	1	0.597	11.73	0.344	6.76	42.36	42.11
	2	0.603	11.85	0.343	6.73	43.20	
	3	0.614	12.06	0.363	7.14	40.79	

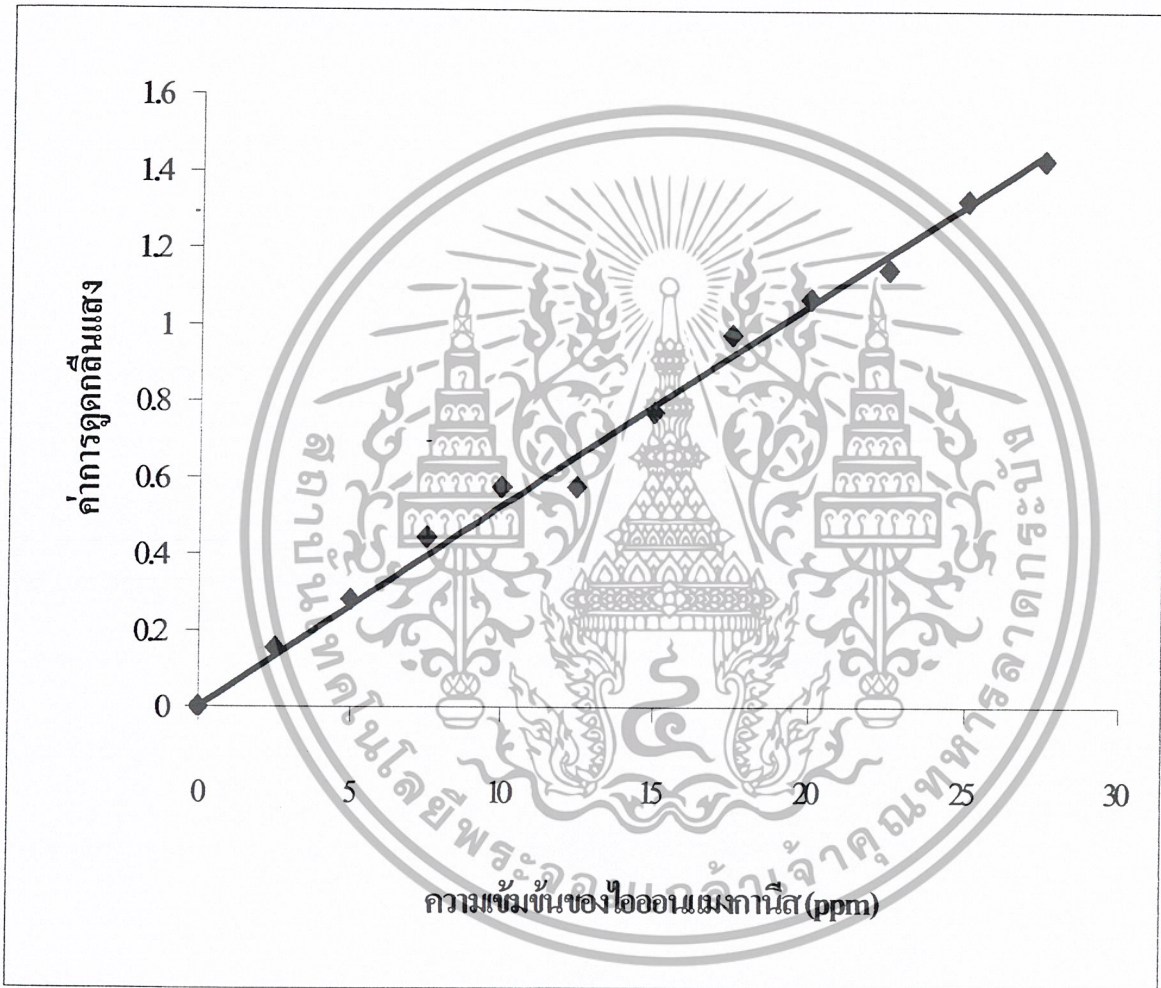
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายมาตรฐานไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) 100 ppm

ตารางที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) กับ ค่าการดูดกลืนแสง โดยวัดที่ความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของ ไอออนแมงกานีส (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
2.50	0.155	0.152	0.157	0.155
5.00	0.287	0.265	0.290	0.281
7.50	0.437	0.442	0.453	0.444
10.00	0.569	0.580	0.575	0.575
12.50	0.574	0.577	0.582	0.578
15.00	0.773	0.769	0.774	0.772
17.50	0.963	0.967	0.997	0.976
20.00	1.065	1.065	1.078	1.069
22.50	1.143	1.145	1.148	1.145
25.00	1.317	1.335	1.328	1.327
27.50	1.432	1.427	1.439	1.432

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) โดยวัดที่ความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) ของโคโตนเซน โครงร่างตาข่ายที่เกิดจากอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของโคโตนเซนกับอีพิกลอโรไฮครินต่างๆ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) 20 ppm ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.6 โมลาร์ ความหนาแน่นของสารแขวนลอยโคโตนเซนโครงร่างตาข่าย 9 กรัมต่อลิตร และเวลาในการสัมผัส 180 นาที

อัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของโคโตนเซนกับอีพิกลอโรไฮคริน	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (ppm)		
1:1	1	1.063	20.21	0.827	15.73	22.16	22.19
	2	1.001	19.03	0.784	14.91	21.65	
	3	1.074	20.42	0.829	15.77	22.77	
1:2	1	1.063	20.21	0.814	15.48	23.40	24.83
	2	1.001	19.03	0.756	14.38	24.43	
	3	1.074	20.42	0.787	14.97	26.68	
1:3	1	1.069	20.32	0.768	14.60	28.14	25.74
	2	1.069	20.32	0.826	15.70	22.73	
	3	1.117	21.24	0.823	15.64	26.36	
1:6	1	1.069	20.32	0.731	13.90	31.59	31.97
	2	1.069	20.32	0.737	14.01	31.05	
	3	1.117	21.24	0.745	14.17	33.28	

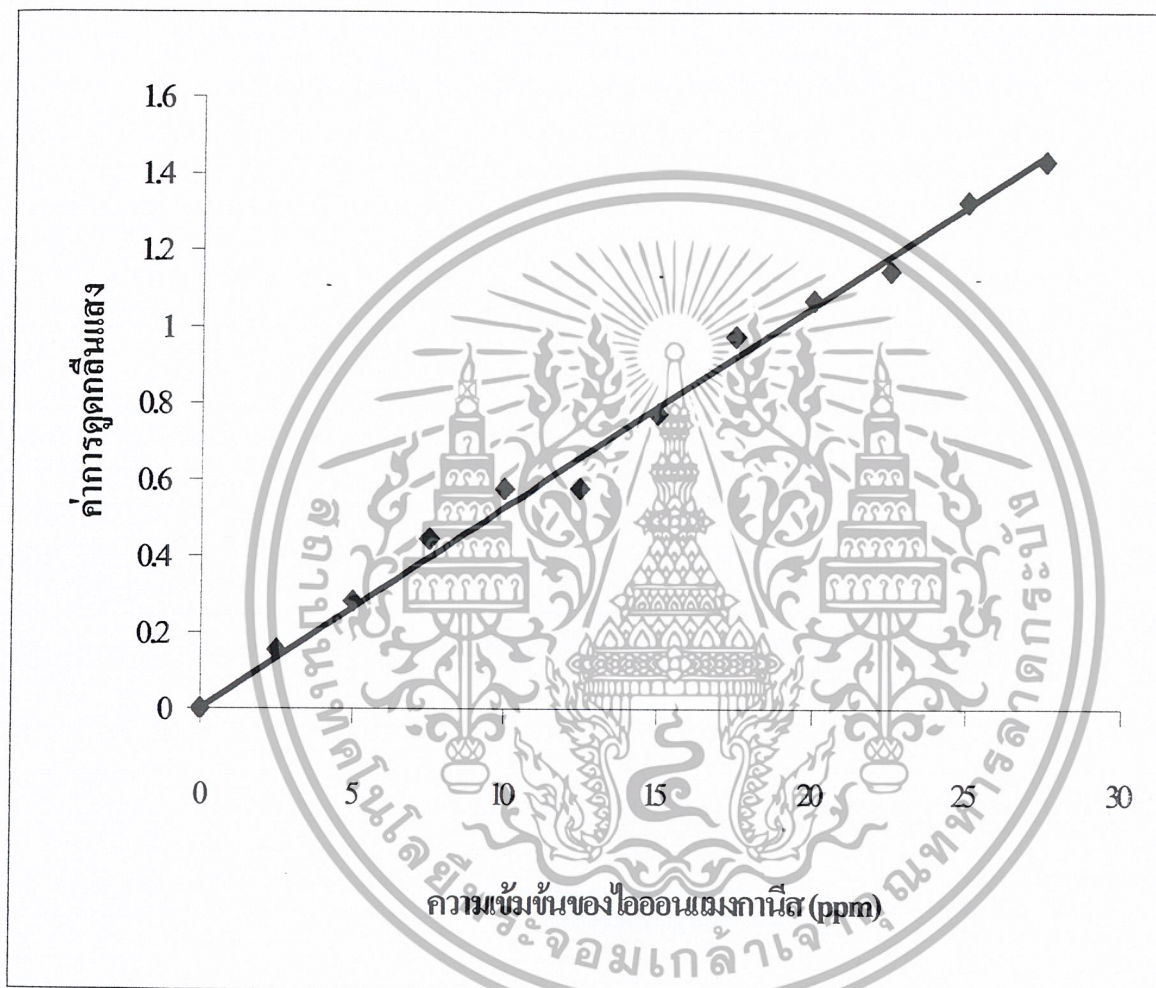
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายมาตรฐานไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) 20 ppm

ตารางที่ 1.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) กับ ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.3 โมลาร์ โดยวัดที่ความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของ ไอออนแมงกานีส (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
5.00	0.162	0.165	0.160	0.162
10.00	0.453	0.467	0.463	0.461
15.00	0.631	0.691	0.632	0.651
20.00	0.837	0.847	0.811	0.832
25.00	1.120	1.118	1.119	1.119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.5 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) ที่ความเข้มข้นของสารละลาย TTA เข้มข้น 0.3 โมลาร์ โดยวัดที่ความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร

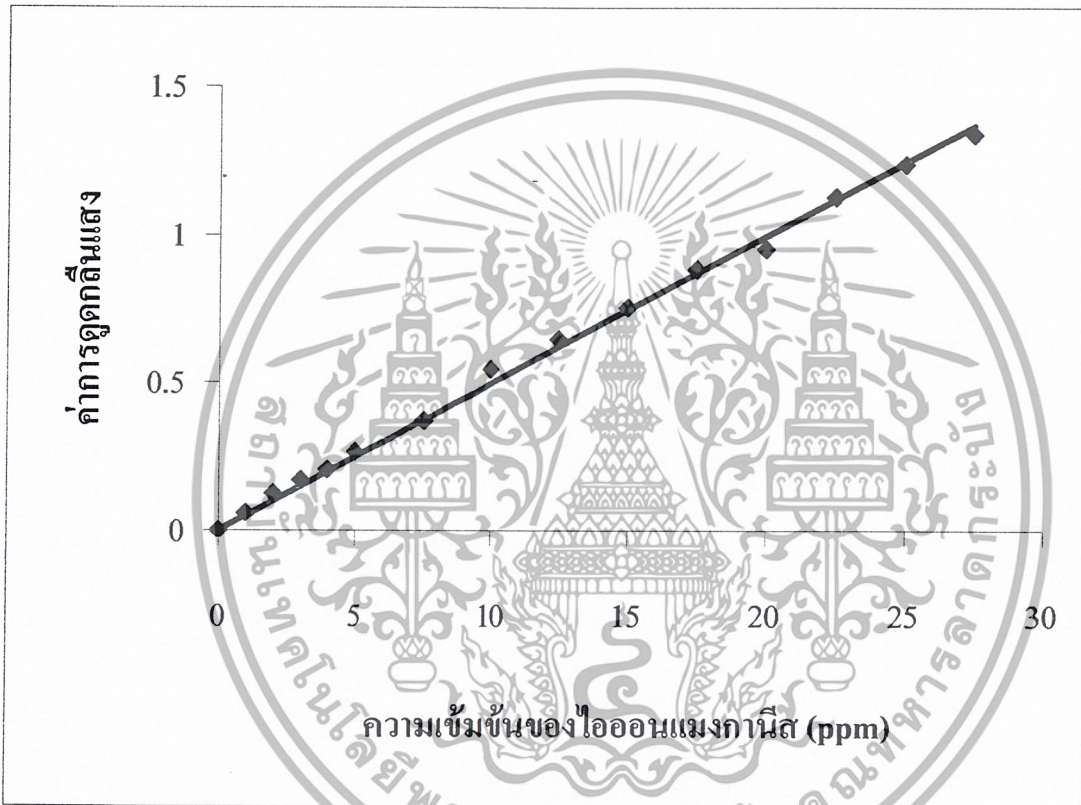
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายมาตรฐานไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) 20 ppm

ตารางที่ 1.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) กับ ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย TTA เข้มข้น 0.6 โมลาร์ โดยวัดที่ความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของ ไอออน โครเมียม (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1.00	0.092	0.095	0.091	0.093
2.00	0.143	0.146	0.145	0.145
3.00	0.209	0.210	0.207	0.209
4.00	0.257	0.259	0.263	0.259
5.00	0.351	0.357	0.360	0.356
7.50	0.490	0.493	0.493	0.492
10.00	0.667	0.665	0.669	0.667
12.50	0.792	0.794	0.798	0.794
15.00	0.967	0.963	0.966	0.965
17.50	1.173	1.177	1.174	1.174
20.00	1.250	1.255	1.252	1.252
22.50	1.463	1.461	1.467	1.463
25.00	1.559	1.543	1.550	1.550
27.50	1.751	1.751	1.751	1.751

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.6 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนแมงกานีส(Mn^{2+}) ที่ความเข้มข้นของสารละลาย TTA เข้มข้น 0.6 โมลาร์ โดยวัดที่ความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร

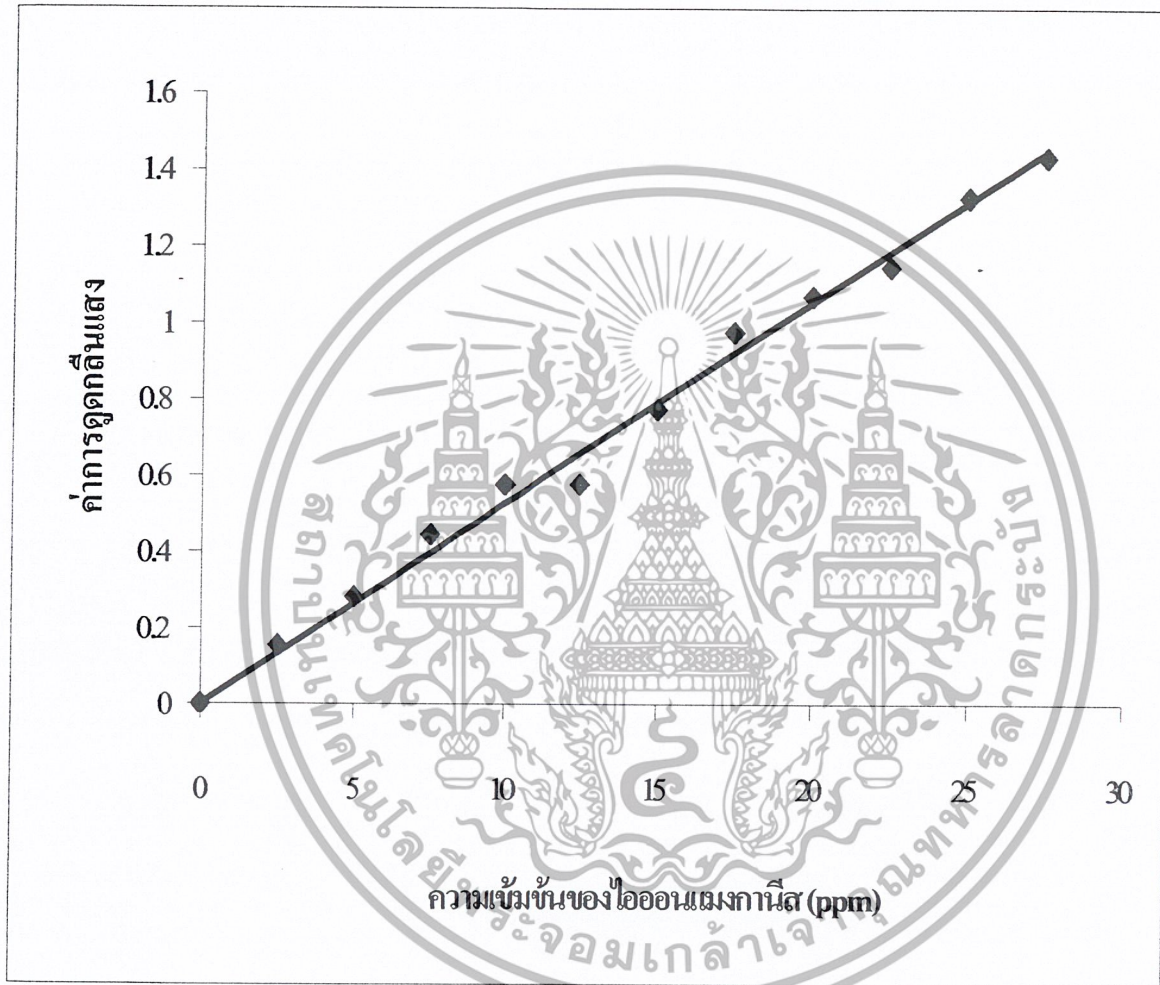
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายมาตรฐานไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) 20 ppm

ตารางที่ 1.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) กับ ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย TTA เข้มข้น 0.9 โมลาร์ โดยวัดที่ความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของ ไอออนแมงกานีส (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
5.00	0.273	0.272	0.273	0.272
10.00	0.546	0.544	0.547	0.546
15.00	0.742	0.740	0.745	0.742
20.00	0.988	0.979	0.986	0.984
25.00	1.240	1.241	1.242	1.241

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.7 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) ที่ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.9 โมลาร์ โดยวัดที่ความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร

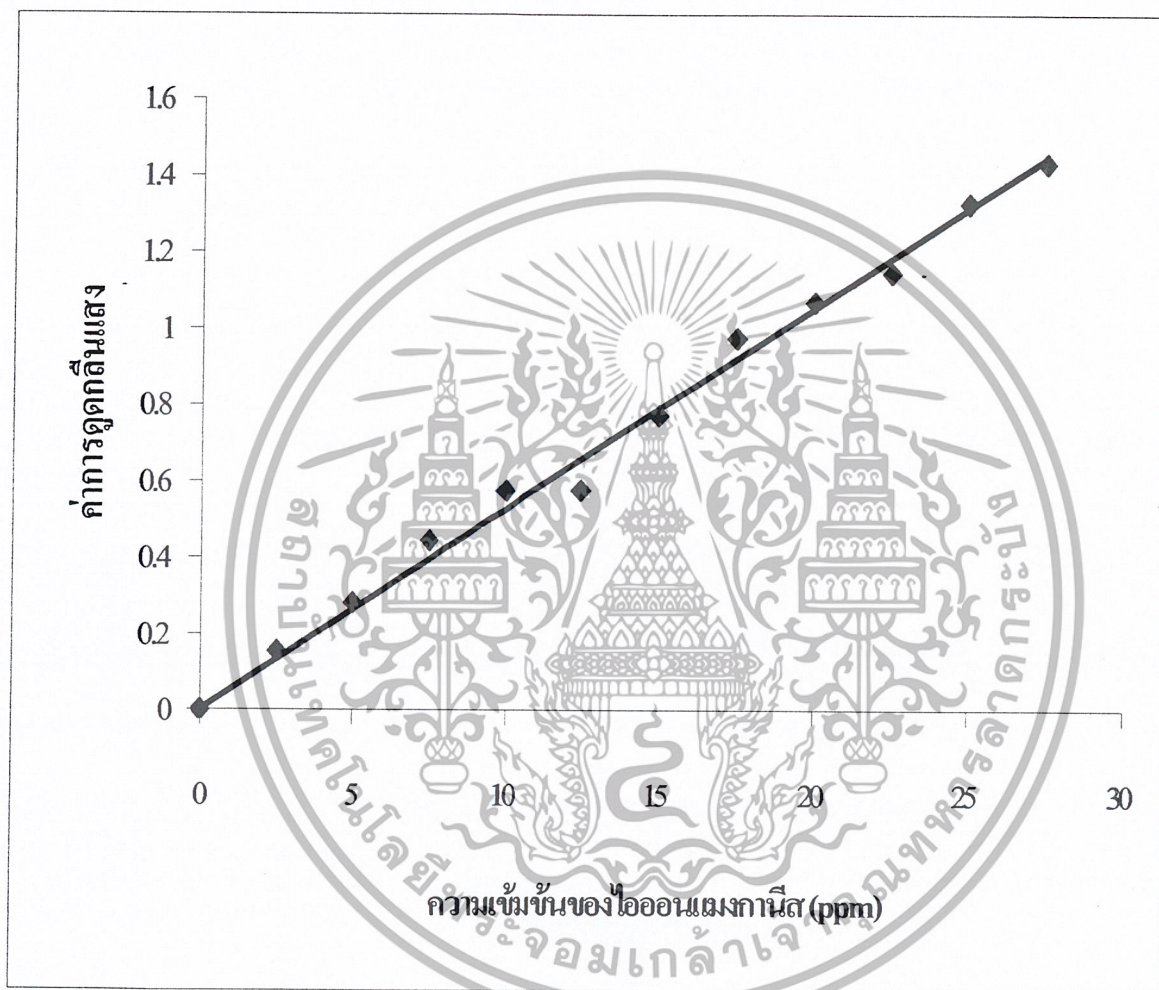
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายมาตรฐานไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) 20 ppm

ตารางที่ 1.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) กับ ค่าการดูดกลืนแสง ที่ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 1.2 โมลาร์ โดยวัดที่ความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของ ไอออนแมงกานีส (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
5.00	0.277	0.280	0.273	0.277
10.00	0.545	0.541	0.543	0.543
15.00	0.743	0.744	0.744	0.744
20.00	0.989	0.986	0.984	0.986
25.00	1.243	1.243	1.243	1.243

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.8 แสดงกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) ที่ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 1.2 โมลาร์ โดยวัดที่ความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายมาตรฐานไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) ของไคโตแซนโครงร่างตาข่ายที่เกิดจากอัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของไคโตแซนกับอีพิกโลโรไฮดรินเท่ากับ 1:6 ที่ความเข้มข้นของสารละลาย TTA ต่างๆ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) 4 ppm ความหนาแน่นของสารแขวนลอยไคโตแซนโครงร่างตาข่าย 9 กรัมต่อลิตร เวลาในการสัมผัส 180 นาที

ความเข้มข้นของสารละลาย TTA (โมลาร์)	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (ppm)		
0.3	1	0.104	2.39	0.054	1.24	48.11	46.17
	2	0.115	2.64	0.061	1.41	46.59	
	3	0.109	2.51	0.061	1.41	43.82	
0.6	1	0.202	4.06	0.099	2.00	50.73	51.92
	2	0.204	4.10	0.098	1.97	51.95	
	3	0.217	4.37	0.102	2.05	53.08	
0.9	1	0.218	4.37	0.110	2.21	49.42	51.89
	2	0.204	4.09	0.098	1.96	52.07	
	3	0.208	4.17	0.095	1.91	54.19	
1.2	1	0.216	4.32	0.105	2.10	51.38	51.90
	2	0.209	4.18	0.104	2.07	50.47	
	3	0.207	4.14	0.096	1.91	53.86	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.14 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) ของไคโตแซน โครงร่างตาข่าย ที่อัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของไคโตแซนกับอีพิคลอโรไฮดรินเท่ากับ 1:6 ที่ความหนาแน่นของสารแขวนลอยไคโตแซน โครงร่างตาข่ายต่างๆ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) 4 ppm ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.6 โมลาร์ และเวลาในการสัมผัส 180 นาที

ความหนาแน่นของสารแขวนลอยไคโตแซน โครงร่างตาข่าย (กรัมต่อลิตร)	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (ppm)		
2	1	0.220	4.43	0.146	2.94	33.63	33.72
	2	0.198	3.98	0.131	2.64	33.66	
	3	0.207	4.16	0.137	2.75	33.89	
6	1	0.220	4.43	0.110	2.21	50.11	48.27
	2	0.198	3.98	0.109	2.19	44.97	
	3	0.207	4.16	0.104	2.09	49.75	
9	1	0.183	3.68	0.086	1.74	52.71	52.64
	2	0.196	3.94	0.092	1.86	52.79	
	3	0.204	4.10	0.097	1.95	52.43	
12	1	0.183	3.68	0.090	1.81	50.81	52.72
	2	0.196	3.94	0.095	1.91	51.52	
	3	0.204	4.10	0.090	1.81	55.85	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น. ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.15 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) ของโคโตะแซน โครงร่างตาข่ายที่อัตราส่วนโดยมวลต่อปริมาตรของโคโตะแซนกับอีพิคลอโรไฮดรินเท่ากับ 1:6 ที่เวลาในการสัมผัสต่างๆ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) 4 ppm ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.6 โมลาร์ ความหนาแน่นของสารแขวนลอยโคโตะแซนโครงร่างตาข่าย 9 กรัมต่อลิตร

เวลาในการสัมผัส (นาทีก)	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (ppm)		
5	1	0.211	4.25	0.110	2.21	48.00	50.70
	2	0.213	4.29	0.107	2.15	49.88	
	3	0.217	4.37	0.100	2.01	54.00	
10	1	0.211	4.25	0.103	2.08	51.05	51.88
	2	0.213	4.29	0.104	2.09	51.28	
	3	0.217	4.37	0.101	2.04	53.31	
30	1	0.208	4.19	0.099	1.99	52.50	52.22
	2	0.208	4.19	0.100	2.02	51.78	
	3	0.218	4.39	0.104	2.09	52.39	
60	1	0.208	4.19	0.096	1.94	53.69	53.34
	2	0.208	4.19	0.095	1.91	54.41	
	3	0.218	4.39	0.105	2.11	51.93	
120	1	0.189	3.80	0.084	1.70	55.26	54.40
	2	0.215	4.33	0.102	2.05	52.65	
	3	0.210	4.23	0.094	1.89	55.31	
180	1	0.189	3.80	0.062	1.25	67.10	54.32
	2	0.215	4.33	0.099	2.01	53.57	
	3	0.210	4.23	0.240	2.44	42.31	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาในการสัมผัส (นาที)	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (ppm)		
240	1	0.220	4.43	0.097	1.96	55.75	54.09
	2	0.206	4.14	0.094	1.89	54.34	
	3	0.214	4.31	0.102	2.06	52.20	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.16 แสดงความเข้มข้นก่อนและหลังการดูดซับสารละลายไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) ของไคโตแซน โครงร่างตาข่ายที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้สภาวะในการทดลอง คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนแมงกานีส (Mn^{2+}) 4 ppm ความเข้มข้นของสารละลาย TTA 0.6 โมลาร์ ความหนาแน่นของสารแขวนลอยไคโตแซน โครงร่างตาข่าย 9 กรัมต่อลิตร และเวลาในการสัมผัส 120 นาที

จำนวนครั้งที่นำพอลิเมอร์กลับมาใช้ใหม่	ครั้งที่	ก่อนการดูดซับ		หลังการดูดซับ		ค่าการดูดซับ (%)	ค่าการดูดซับเฉลี่ย (%)
		ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้น (ppm)		
1	1	0.189	3.80	0.111	2.24	41.05	42.37
	2	0.201	4.04	0.116	2.34	42.07	
	3	0.207	4.16	0.114	2.33	43.99	
2	1	0.189	3.80	0.120	2.42	36.31	37.90
	2	0.201	4.04	0.116	2.35	41.83	
	3	0.207	4.16	0.133	2.68	35.57	
3	1	0.196	3.94	0.141	2.54	35.53	37.59
	2	0.193	3.88	0.121	2.44	37.11	
	3	0.214	4.31	0.128	2.58	40.13	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การเตรียมสารละลาย

การเตรียมสารละลายทีโนลิไทรฟลูออโรอะซิโตน (TTA) เข้มข้น 0.15 โมลาร์

ชั่งทีโนลิไทรฟลูออโรอะซิโตน (TTA) 3.33 กรัม ละลายด้วยเบนซีนเล็กน้อยในบีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้ละลาย ถ่ายสารละลายผ่านกรวยกรองลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ล้างบีกเกอร์และกรวยกรองด้วยเบนซีนอีกครั้ง แล้วเจือจางสารละลายด้วยเบนซีนให้ถึงขีดบอกริมาตร ควรเก็บสารละลายที่เตรียมได้ไว้ในที่มืด และเย็น

การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์กรดอะซิติก-โซเดียมอะซิเตต pH 5.75

ละลายโซเดียมอะซิเตต 332 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดอะซิติกเข้มข้น 14.35 มิลลิลิตร แล้วเจือจางให้มีปริมาตร 500 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ควรเก็บสารละลายบัฟเฟอร์นี้ในขวดพอลิเอทิลีน

การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์กรดอะซิติก-โซเดียมอะซิเตต pH 7.35

ละลายโซเดียมอะซิเตต 529 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดอะซิติกเข้มข้น 0.58 มิลลิลิตร แล้วเจือจางให้มีปริมาตร 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น ควรเก็บสารละลายบัฟเฟอร์นี้ในขวดพอลิเอทิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.



รูปที่ 1.1 สารโคโตแซนที่สกัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้