ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการจับโลหะของไคตินและไคโตแซน

Factors Affecting Metal Binding Capacity of Chitin and Chitosan

เถวียน บัวตุ่ม

Thawien Bourtoom

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Science Thesis in Fishery Products Technology

Prince of Songkla University

2541

เลขหมู่ QP702.C5 ถ49 2541 ฉ.2

Bib Key 144907

วิทยานิพนธ์ ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการจับโลหะของไคตินและไคโตแซน

ผู้เขียน นายเถวียน บัวตุ่ม

สาขาวิชา เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง

คณะกรรมการที่ปรึกษา	คณะกรรมการสอบ
...............................ประธานกรรมการ (รองศาสตราจารย์ ดร. ไพรัตน์ โสภโณดร)	...............................ประธานกรรมการ (รองศาสตราจารย์ ดร. ไพรัตน์ โสภโณดร)
...............................กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นงพร โตวัฒนะ)	...............................กรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นงพร โตวัฒนะ)
	...............................กรรมการ (อาจารย์ วรพงษ์ อัศวเกศมณี)
	...............................กรรมการ (ดร. อุตสาห์ จันทร์อำไพ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง

....

(รองศาสตราจารย์ ดร. ก้าน จันทร์พรหมมา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	**ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการจับโลหะของไคตินและไคโตแซน**
ผู้เขียน	**นายเถวียน บัวตุ่ม**
สาขาวิชา	**เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง**
ปีการศึกษา	2540

บทคัดย่อ

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการจับโลหะโครเมี่ยมและตะกั่วของพอลิเมอร์ไคตินและไคโตแซนจากเปลือกกุ้งกุลาดำ (*Panaeus monodon*) ประกอบด้วย พีเอช ขนาดอนุภาคของพอลิเมอร์ ความเข้มข้นของสารละลายโลหะ เวลา อัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์ต่อสารละลายโลหะและระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตแซน พบว่าเมื่อพีเอช ความเข้มข้นของสารละลายโลหะ และเวลาเพิ่มขึ้น ความสามารถในการจับโลหะของไคตินและไคโตแซนมีค่าเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันเมื่อขนาดอนุภาคของพอลิเมอร์ใหญ่ขึ้นและอัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์ต่อสารละลายเพิ่มขึ้น กลับส่งผลให้ความสามารถในการจับของพอลิเมอร์ทั้งสองมีแนวโน้มลดลง

ความสามารถในการจับโลหะของไคตินและไคโตแซนเกิดขึ้นสูงสุดที่พีเอช 9.0 เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโลหะและเวลาเพิ่มขึ้น ความสามารถในการจับโลหะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ขนาดอนุภาค และอัตราส่วนของสารละลายโลหะต่อไคตินและไคโตแซนเพิ่มขึ้นความสามารถในการจับโลหะทั้งสองของไคตินและไคโตแซนลดลง นอกจากนี้ไคโตแซนที่มีระดับหมู่อะซิติลที่สูงกว่าคาดว่าจะมีความสามารถในการจับโลหะที่สูงกว่า แต่จากการศึกษาไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ($P > 0.05$)

จากการศึกษาความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมและตะกั่วของไคตินและไคโตแซนในลักษณะคอลัมน์เดี่ยวและคอลัมน์คู่ พบว่าความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมและตะกั่วเป็นไปในลักษณะเดียวกันคือ ความสามารถในการกำจัดลดลงเมื่ออัตราเร็วของการเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์เพิ่มขึ้นจาก 800 เป็น 1000 และ 1200 มิลลิลิตร/ชั่วโมง ตามลำดับ เนื่องจากการเคลื่อนที่ในอัตราเร็วสูงมีผลทำให้การสัมผัสระหว่างไอออนโลหะต่อพอลิเมอร์น้อยลงจึงทำให้สามารถลดปริมาณของโลหะได้น้อยกว่า

เมื่อใช้อัตราการเคลื่อนที่ต่ำ ความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมและตะกั่วของไคตินและไคโตแซนเกิดขึ้นสูงสุดที่อัตราเร็ว 800 มิลลิลิตร/ชั่วโมง มีค่าประมาณร้อยละ 39 และ 45 เมื่อใช้ไคตินคอลัมน์เดี่ยว และประมาณร้อยละ 64 และ 77 เมื่อใช้ไคโตแซนคอลัมน์เดี่ยว ในลักษณะเดียวกันความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมและตะกั่วมีค่าประมาณร้อยละ 55 และ 90 เมื่อใช้ไคตินคอลัมน์คู่ และประมาณร้อยละ 82 และ 92 เมื่อใช้ไคโตแซนคอลัมน์คู่ ตามลำดับ

แม้ว่าความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมและตะกั่วในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปปลาทูน่ากระป๋องของไคตินและไคโตแซนมีลักษณะเดียวกับการใช้สารละลายโลหะที่เตรียมในห้องปฏิบัติการแต่พบว่าความสามารถในการกำจัดมีค่าลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปปลาทูน่ากระป๋องมีการปนเปื้อนของสารประกอบอื่นๆ เช่น สารประกอบอินทรีย์ ของแข็งแขวนลอย และไอออนอื่น เช่น แคลเซี่ยม และ แมกนีเซี่ยม น้ำทิ้งที่ผ่านคอลัมน์เดี่ยวของไคตินและไคโตแซนมีค่าซีโอดี ของแข็งทั้งหมด และความขุ่นลดลงประมาณร้อยละ 31 27 และ 77 สำหรับไคติน และ ลดลงประมาณร้อยละ 39 30 และ 73 เมื่อใช้ไคโตแซน ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันเมื่อน้ำทิ้งผ่านไคตินคอลัมน์คู่ ค่าซีโอดี ของแข็งทั้งหมด และความขุ่นลดลงประมาณร้อยละ 44 37 และ 84 และลดลงประมาณร้อยละ 56 46 และ 84 เมื่อผ่านไคโตแซนคอลัมน์คู่ ตามลำดับ

Thesis Title Factors Affecting Metal Binding Capacity of Chitin and Chitosan
Author Mr. Thawien Bourtoom
Major Program Fishery Products Technology
Academic 1997

Abstract

The binding capacity of the natural marine polymer chitin and its deacetylated derivatives chitosan from Black Tiger shrimp shell (*Penaus monodon*) with chromium (Cr^{3+}) and lead (Pb^{2+}) has been investigated. Metal binding of chitin and chitosan was affected by pH, particle size, metal solution concentration, contact time, ratio of chitin and chitosan to metal solution and degree of deacetylation of chitosan. Increases in pH, metal solution concentration and contact time resulted in the increase of binding capacity of both chitin and chitosan. The larger particle size and higher ratio between chitin and chitosan to metal solution trend to give lower binding capacity.

Metal binding capacities of chitin and chitosan were affected by pH showing the maximum binding at pH 9. A higher metal solution concentration and longer contact time seemed to show higher binding capacity of chitin. The binding capacity of chitin and chitosan were decreased, however, when the larger particle size and ratio of chitin and chitosan to metal solution were increased. Chitosan with higher degree of deacetylation expected to result in more binding capacity, but in this study it showed non significantly increase ($P>0.05$).

Chromium and lead removing capacity from the prepared solution using single and double columns of chitin and chitosan were studied. The effect of

flow rate on metal removing capacity of chitin and chitosan showed that when flow rate was increased from 800 to 1000 and 1200 mL/h.,the metal removing capacity of chitin and chitosan were decreased, probably due to the shorter contact time of the higher flow rate .

The most efficiency in chromium and lead removing by both chitin and chitosan were observed when using single and double column at flow rate of 800 mL/h. Chromium and lead could be removed about 39 and 45 % when single column of chitin was used and about 64 and 70 % when single column of chitosan was used. The similar results occured when double columns were used, showing that chromium and lead could be removed at about 55 and 90% when double column of chitin was used whereas double column of chitosan could remove those two metals at about 82 and 92% , respectively.

The experiment on the removal of chromium and lead in the effluent from tuna canning factory showed the similar results as the prepared metal solution. However, there were decreases in removing capacity dued to the contamination of other compounds i.e., organic matter, suspended solid and other ions such as magnesium and calcium in the effluent from the factory. The treated effluent after passing through single column of chitin and chitosan contained lower COD, total solid and turbidity than initial values, which were reduced about 31, 27 and 77 % and 39, 30 and 73 % for chitin and chitosan , respectively .The same results were observed when double columns were used. COD, total solid and turbidity were reduced about 44, 37 and 84% and about 56, 46 and 84 % when double column of chitin and chitosan were used , respectively.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ไพรัตน์ โสภโณดร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นงพร โตวัฒนะ กรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำในการค้นคว้า และการเขียนวิทยานิพนธ์ตลอดจนตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบพระคุณอาจารย์ วรพงษ์ อัศวเกศมณี กรรมการผู้แทนจากคณะอุตสาหกรรมเกษตร ดร. อุตส่าห์ จันทร์อำไพ กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติและมูลนิธิมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การอนุเคราะห์สนับสนุนเงินทุนในการวิจัย ขอขอบคุณ British Council และบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ให้การสนับสนุนในการเดินทางไปทำวิจัย ณ มหาวิทยาลัย Humberside and Lincolnshire ประเทศอังกฤษ เป็นเวลา 2 เดือน

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่คณะอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ให้การช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการศึกษาทดลอง

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ พ่อ แม่ และพี่ๆ ด้วยความเคารพยิ่งที่ให้การสนับสนุนการศึกษาและกำลังใจในการศึกษาครั้งนี้ ขอบคุณบุคลากรคณะอุตสาหกรรมเกษตรที่ให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา

เถวียน บัวตุ่ม

สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบาญ	(8)
รายการตาราง	(9)
รายการตารางผนวก	(10)
รายการรูป	(12)
บทที่	
1. บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
ตรวจเอกสาร	2
วัตถุประสงค์	24
2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ	25
3. ผลและวิจารณ์	34
4. สรุป	60
เอกสารอ้างอิง	62
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์เคมี	75
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ	80
ประวัติผู้เขียน	90

รายการตาราง

ตารางที่ หน้า

1. ผลของความเข้มข้นกรดและระยะเวลาการกำจัดแร่ธาตุต่อ
ความหนืดของไคโตแซน 7
2. ค่าความขุ่นของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตสัตว์ปีก เมื่อใช้ไคโตแซนและ
สารตกตะกอนชนิดต่าง ๆ 15
3. ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตแซนที่กำจัดหมู่อะซิติลครั้งที่ 1 2 และ 3 34
4. ผลของความเข้มข้นของสารละลายโครเมี่ยม ขนาดอนุภาค และพีเอช
ต่อความสามารถในการจับของไคติน 36
5. ผลของความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว ขนาดอนุภาค และพีเอช
ต่อความสามารถในการจับของไคติน 39
6. ผลของความเข้มข้นของสารละลายโครเมี่ยม ขนาดอนุภาค และพีเอช
ต่อความสามารถในการจับของไคโตแซน 42
7. ผลของความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว ขนาดอนุภาค และพีเอช
ต่อความสามารถในการจับของไคโตแซน 49
8. สภาวะที่เหมาะสมในการจับโครเมี่ยมและตะกั่วของไคตินและ
ไคโตแแซนแบบกะ 53
9. ความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมและตะกัวของไคตินและไคโตแซน
โดยใช้ คอลั มน์ เดี่ ยว
54
10. ความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมและตะกั่วของไคตินและไคโตแซน
โดยใช้คอลัมน์คู่ 56
11. องค์ประกอบเริ่มต้นและความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมและตะกั่ว
ในน้ำทิ้งจากโรงงานปลาทูน่ากระป๋องโดยใช้ไคตินและไคโตแซนใน
คอลัมน์เดี่ยวและคอลัมน์คู่ 59

รายการตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ หน้า

1. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของความเข้มข้นของสารละลายโครเมี่ยม พีเอช และขนาดอนุภาคต่อความสามารถในการจับของไคติน 80
2. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของความเข้มข้นของสารละลายโครเมี่ยม พีเอช และขนาดอนุภาคต่อความสามารถในการจับของไคตินที่พีเอช 5.0 7.0 และ 9.0 81
3. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว พีเอช และขนาดอนุภาคต่อความสามารถในการจับของไคติน 82
4. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว พีเอช และขนาดอนุภาคต่อความสามารถในการจับของไคตินที่พีเอช 5.0 7.0 และ 9.0 83
5. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของความเข้มข้นของสารละลายโครเมี่ยม พีเอช และขนาดอนุภาคต่อความสามารถในการจับของไคโตแซน 84
6. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของความเข้มข้นของสารละลายโครเมี่ยม พีเอช และขนาดอนุภาคต่อความสามารถในการจับของไคโตแซนที่พีเอช 5.0 7.0 และ 9.0 85
7. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว พีเอช และขนาดอนุภาคต่อความสามารถในการจับของไคโตแซน 86
8. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว พีเอช และขนาดอนุภาคต่อความสามารถในการจับของไคโตแซนที่พีเอช 5.0 7.0 และ 9.0 87
9. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมของไคตินในลักษณะคอลัมน์เดี่ยว ที่อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ 800 1000 และ 1200 มิลลิลิตร/ชั่วโมง 88

รายการตารางผนวก(ต่อ)

ตารางภาคผนวกที่ หน้า

10. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมของไคโตแซนในลักษณะคอลัมน์เดี่ยว ที่อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ 800 1000 และ 1200 มิลลิลิตร/ชั่วโมง 88
11. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมของไคตินในลักษณะคอลัมน์คู่ ที่อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ 800 1000 และ 1200 มิลลิลิตร/ชั่วโมง 89
12. ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมของไคโตแซนในลักษณะคอลัมน์เดี่ยว ที่อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ 800 1000 และ 1200 มิลลิลิตร/ชั่วโมง 89

รายการรูป

รูปที่		หน้า
1.	โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตแซน	3
2.	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติล	9
3.	ผลของความเข้มข้นด่าง และระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติลต่อความหนืดของไคโตแซน	9
4.	ลักษณะคอลัมน์แก้ว	26
5.	ลักษณะคอลัมน์เดี่ยว (Single column)	33
6.	ลักษณะคอลัมน์คู่ (Double column)	33
7.	ผลของเวลาและอัตราส่วนระหว่างไคตินต่อสารละลายโครเมี่ยมต่อความสามารถในการจับของไคติน	37
8.	ผลของอัตราส่วนระหว่างไคตินต่อสารละลายตะกั่วต่อความสามารถในการจับของไคติน	40
9.	ผลของอัตราส่วนระหว่างไคโตแซนต่อสารละลายโครเมี่ยม ระยะเวลาและระดับของการกำจัดหมู่อะซิติลร้อยละ (A),60.97% ; (B),81.81 และ (C)86.69% ต่อความสามารถในการจับของไคโตแซน	47
10.	ผลของอัตราส่วนระหว่างไคโตแซนต่อสารละลายตะกั่วต่อความสามารถในการจับของไคโตแซน	50

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

โลหะบางชนิดเป็นสารที่จำเป็นต่อกระบวนการทางชีวเคมีของสิ่งมีชีวิต โดยเข้าไปทำงานร่วมกับเอนไซม์ที่เรียกว่า โคเฟคเตอร์ (cofactor) แต่ต้องได้รับในปริมาณที่พอเหมาะ ถ้าได้รับมากเกินพออาจทำให้เป็นพิษได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะหนัก แหล่งน้ำธรรมชาติอาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนักจากการปล่อยน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมหรือโรงงานถลุงแร่ที่มีสารเหล่านี้ผสมอยู่ ดังนั้นจึงควรมีการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนก่อนการนำน้ำนั้นไปใช้ประโยชน์ต่อไป ในการกำจัดโลหะหนักที่ปนเปื้อนมากับแหล่งน้ำมีการใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ เช่น การกรอง การใช้สารเคมีหรือสารช่วยตกตะกอน (Chemical precipitation) การใช้ตัวแลกเปลี่ยนไอออน (Ion-exchanger) และการใช้สารดูดซับชนิดต่างๆ เทคโนโลยีดังกล่าวอาจมีทั้งข้อเด่นและข้อจำกัดของการประยุกต์ใช้ อาทิเช่น การใช้สารเคมีในการกำจัดโลหะหนักจำเป็นต้องมีการกำจัดสารเคมีที่ปนเปื้อนมาก่อนการปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติในทำนองเดียวกันสารดูดซับบางตัวอาจมีราคาแพง

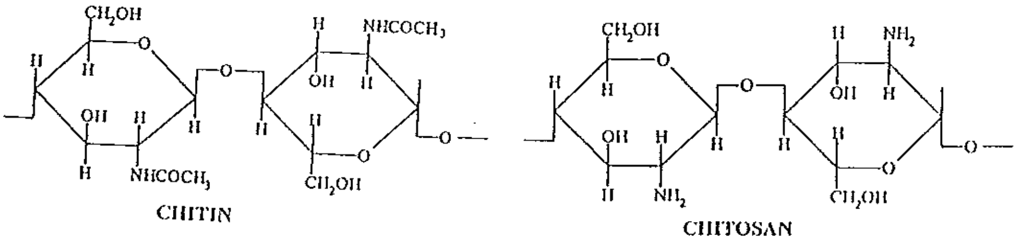
ดังนั้นจึงมีการศึกษาการใช้ไคตินและไคโตแซน ซึ่งจัดว่าเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่สามารถสกัดได้จากพวกครัสตาเชียนมาทดแทนการใช้สารเคมีดังกล่าว ซึ่งไคตินและไคโตแซนเป็นตัวจับโลหะทางธรรมชาติที่ดีและมีความสามารถในการจับที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวจับโลหะชนิดอื่นๆทางการค้า คุณสมบัติของไคตินและไคโตแซนในการจับโลหะมีลักษณะซับซ้อนและขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่นขนาดของพอลิเมอร์ ความเข้มข้นของโลหะ พีเอช และไอออนอื่น เป็นต้น เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้ไคติน และไคโตแซนได้กว้างขวางมากยิ่งขึ้นจึงสมควรที่จะทำการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความสามารถในการจับโลหะของไคตินและไคโตแซนเพื่อเป็นข้อมูลในการประยุกต์ใช้จับโลหะในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล ต่อไป

ตรวจเอกสาร

ไคตินและไคโตแซน

ไคตินเป็นสารพอลิแซคคาไรด์ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่เชื่อมต่อกันโดยพันธะไกลโคซิดิก ชนิด β-1,4 มีลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นตรงยาวเช่นเดียวกับเซลลูโลส แต่ตำแหน่งของคาร์บอนตัวที่ 2 จะจับกับหมู่อะซิติลเอมีน (-$NHCONH_3$)แทนที่จะเป็นหมู่ไฮดรอกไซด์ (-OH) ดังนั้นไคตินจึงเป็นพอลิเมอร์ของ N-acetyl-amino-2-deoxy β-D-glucopyranose หรือ N-acetyl-1-D-glucosamine (Conrad,1965) ไคตินเป็นสารอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรตหรือสารพอลิแซคคาไรด์ที่พบมากในธรรมชาติ(ชิดชม ฮิรางะ และคณะ, 2537) ซึ่งรู้จักกันดีว่าเป็นสารให้ความแข็งแรงแก่เปลือกสัตว์ กุ้ง หอย ปู และแมลง (ธีระพล ประมวลกิจจา, 2534) โดยพบในปริมาณที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ไคตินในเศษกุ้ง และปู พบอยู่ในช่วงร้อยละ 14 - 27 และ13 -15 ตามลำดับ (Ashford, *et al*., 1977) ไคตินจากวัสดุเศษเหลือจากเคยมีร้อยละ 24 (Anderson, *et al*., 1978) ไคตินในเปลือกกุ้งมีอยู่ร้อยละ 23.5 (No, *et al*., 1989) ไคตินที่พบในเปลือกกุ้งกุลาดำประมาณร้อยละ 37 (Benjakul and Sophanodora, 1993) ไคตินในกระดองปู Snows crab มีร้อยละ 24 และไคตินในกระดองปลาหมึกมีประมาณร้อยละ 36 (Sornprasit, 1997)

ไคโตแซนเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่เกิดจากการแยกหมู่อะซิติล (deacetylation) ออกจากไคติน เกิดหมู่อะมิโนอิสระที่สามารถรับโปรตอน และทำให้พอลิเมอร์ที่ได้มีประจุเป็นบวก ด้วยเหตุนี้ไคโตแซนจึงมีคุณสมบัติที่ละลายได้ในสารละลายหลายชนิดซึ่งมีพีเอชในช่วงที่เป็นกรดต่ำกว่า 5.5 (Filar and Wirick,1978) และทำให้การใช้ประโยชน์จากไคโตแซนสูงกว่าไคติน ลักษณะโครงสร้างของไคตินและไคโตแซนดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตแซน
ที่มา : Bough และคณะ (1978)

คุณสมบัติของไคตินและไคโตแซน

1. คุณสมบัติการละลาย (Solubility)

ไคตินบริสุทธิ์มีสีขาวคล้ายเยื่อกระดาษ ไม่ละลายน้ำ กรดอ่อน ด่างอ่อน ด่างแก่ และตัวทำละลายอินทรีย์ทั้งหมด แต่ละลายในกรดฟอร์มิกบริสุทธิ์ สารละลายไฮเปอร์คลอไรท์และกรดเข้มข้น สาเหตุที่ไคตินไม่ละลายในสารละลายทั่วไปเนื่องจากไคตินเป็นสารโมเลกุลยาวที่ไร้ประจุ (Conrad, 1965) ดังนั้นบางครั้งการนำมาใช้จึงค่อนข้างจำกัด อาจต้องมีการดัดแปลงโครงสร้างของไคตินให้อยู่ในรูปอนุพันธ์ต่างๆเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ เช่น อาจทำให้อยู่ในรูปคาร์บอกซีเมทธิลไคติน (carboxymethyl chitin : CM-chitin) ที่เตรียมได้จากปฏิกิริยาของไคติน ที่เป็นด่างกับกรดโมโนคลอโรอะซิติกในไอโซโพรพานอล (monochloro acetic acid in isopropanal) ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษคือละลายได้ในน้ำ และจากการศึกษา Tokura และคณะ (1984) พบว่า CM-chitin มีคุณสมบัติเป็นสารจับโลหะ และเป็นสารอีเล็คโทรไลท์เมื่อนำมาละลายน้ำจะให้ความหนืด นอกจากนี้พบว่ายังเป็นสารไม่มีพิษและมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับ คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose) (CMC)

Rutherford และ Austin (1978) พบว่าสารละลายที่เหมาะสมในการละลายไคติน โดยไม่มีผลต่อโครงสร้างของสารประกอบ คือสารละลาย N,N-dimethyl acetamide (DMAC) ที่มี 1.5% $LiCl_2$ และ N-methyl-2-pyrrolidone (NMP) ที่มี 5% $LiCl_2$

ส่วนไคโตแซนสามารถละลายได้ในสารละลายหลายชนิด ได้แก่ สารละลายกรดอินทรีย์เจือจาง เช่น กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดออกซาลิก กรดมาโลนิก กรดแลคติก กรดไพรูวิก กรดมาลิก กรดทาทาริก และกรดซิตริก นอกจากยังสามารถละลายในกรดไนตริก กรดไฮโปคลอริก กรดไฮโดรคลอริกเจือจาง (ความเข้มข้นร้อยละ 1 หรือน้อยกว่า) และละลายได้เล็กน้อยในกรดฟอสฟอริก (ความเข้มข้นร้อยละ 0.5) แต่ไม่ละลายในกรดซัลฟูริก ไคโตแซนไม่ละลายน้ำแต่จะละลายในรูปของเกลือของกรดหลายชนิดยกเว้นเกลือซัลเฟตและเกลือซัลไฟต์ ไคโตแซนไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วๆไป แต่ละลายในสารละลายพอลิออลที่มีสภาพเป็นกรด เช่นในสารผสมของกลีเซอรอลและน้ำ (3:1) ที่มีกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 1 สารละลายที่ได้จะใส และสามารถละลายได้ในเอทธิลีนไกลคอล (ethylene glycol) โดยพบว่าการละลายในสารละลายอินทรีย์พวก พอลิออลจะมีผลต่อความหนืดของไคโตแซนเล็กน้อย ถ้ามีกลีเซอรอลอยู่ในสารละลายไคโตแซนจะมีลักษณะเป็นเจล ขณะที่มีซอร์บิทอลอยู่จะมีลักษณะเจลกึ่งแห้ง (Filar and Wirick, 1978 ; Kienzle-Sterzer, *et al.*, 1982 ; Anonymous, 1989) นอกจากนี้ไคตินและไคโตแซนยังมีคุณสมบัติการชอบน้ำ และมีความชอบน้ำแตกต่างไปตามชนิดของไคติน พบว่าความสามารถในการอุ้มน้ำของไคตินและไคโตแซนเท่ากับร้อยละ 230-440 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) โดยพบว่าไคโตแซนมีค่าการอุ้มน้ำที่สูงกว่าไคติน ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของผลึกไคติน ปริมาณโปรตีนรวมทั้งหมู่ที่สามารถเกิดเกลือกับตัวทำละลาย (Knorr, 1982)

2. คุณสมบัติการทำปฏิกิริยาระหว่างเฟส (Interphasic properties)

คุณสมบัติการทำปฏิกิริยาระหว่างเฟสที่สำคัญคือความสามารถในการจับไขมันของไคตินและไคโตแซน (fat binding capacity) มีค่าในช่วงร้อยละ170-215 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) (Knorr,1982) และคุณสมบัติการเป็นสารที่ก่อให้เกิดอิมัลชัน พบว่าไคตินในรูปผลึกขนาดเล็กให้ผลดีกว่าเซลลูโลสในรูปผลึกขนาดเล็ก โดยให้ความสามารถในการเกิดอิมัลชันเท่ากับ

900 ± 47 มิลลิลิตรน้ำมัน/กรัม ที่ระดับความเข้มข้น 0.12 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (Knorr,1982) นอกจากนี้อนุพันธ์ของไคติน คือ CM-chitin ยังสามารถนำมาใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ในอุตสาหกรรมอาหารได้ (ชิดชม ฮิรางะ และคณะ,2537)

3. คุณสมบัติการทำปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุล (Intermolecular propeties)

คุณสมบัติที่สำคัญ คือการเกิดแผ่นฟิล์มเป็นคุณสมบัติที่เกิดจากการเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลหรืออนุภาค หรือการเกิดสานต่อกันระหว่างโมเลกุลหรืออนุภาค โดยการนำไคโตแซน ปริมาณ 4 กรัมละลายในกรดฟอร์มิกหรือกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 2 (นน./นน.) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วแช่ไว้ค้างคืนจนได้สารละลายที่มีความหนืด 1500-2000 เซนติพอยส์ นำสารละลายดังกล่าวมาขึ้นรูปบนแผ่นพลาสติกชนิดพอลีเอทธิลีน หรือขึงแผ่นฟิล์มบนกรอบ แล้วทำให้แห้งอีกครั้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ฟิล์มที่ได้มีลักษณะใส เหนียว และยืดหยุ่น สามารถห่อหุ้มอาหารเนื่องจากรับประทานได้และทนต่ออุณหภูมิสูง (Averbach , 1978)

4. คุณสมบัติด้านอื่นๆ

การเข้ากันได้กับสิ่งมีชีวิต (biocompatible) โดยพบว่าไคโตแซนจะมีความเป็นพิษต่ำต่อร่างกายสัตว์ (Arai, et al., 1968 อ้างโดย Hirano and Akiyama, 1995) นอกจากนี้พบว่าสามารถลดระดับคอเลสเตอรอล (hypocholesterolaemic action) โดยมีผู้ทำการทดลองในสัตว์ กระต่าย และคน กินอาหารที่มีส่วนผสมของไคโตแซนพบว่า ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดลดต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากไคโตแซนช่วยลดการดูดซึมคอเลสเตอรอลที่ลำไส้เล็ก รวมทั้งลดการดูดซึมกลับ (reabsorption) ของเกลือน้ำดี (bile salts) ที่ลำไส้ใหญ่ด้วย (Hirano and Akiyama, 1995)

ปัจจัยการผลิตที่มีผลต่อคุณสมบัติของไคตินและไคโตแซน

1. ขนาดของวัตถุดิบ

ขนาดของวัตถุดิบที่แตกต่างกันมีผลต่อกระบวนการผลิตและคุณสมบัติของไคตินและไคโตแซนที่แตกต่างกัน โดยพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดโปรตีนจากเปลือกกุ้งที่มีขนาดใหญ่มีค่าน้อยกว่าเปลือกกุ้งขนาดเล็ก ในทำนองเดียวกันกับประสิทธิภาพการกำจัดแร่ธาตุ ทั้งนี้เนื่องจากเปลือกกุ้งขนาดเล็กมีพื้นที่สัมผัสในการทำปฏิกิริยามากกว่าจึงทำให้มีประสิทธิภาพที่สูงกว่า นอกจากนี้ไคตินขนาดเล็กเมื่อนำมาผลิตไคโตแซนภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติจะให้ไคโตแซนที่มีความหนืดที่สูงกว่าไคตินที่มีขนาดใหญ่ เพราะไคตินขนาดเล็กมีพื้นที่สัมผัสกับสารละลายด่างที่สูงกว่าการกำจัดหมู่อะซิติลจึงสมบูรณ์กว่า (Bough, *et al.*, 1978)

สุทธวัฒน์ เบญจกุล และไพรัตน์ โสภโณดร (2533) ผลิตไคโตแซนจากเปลือกกุ้งแชบ๊วยที่ขนาดต่างๆ พบว่าไคโตแซนที่ได้จากเปลือกกุ้งขนาด 1.4-2.0 มิลลิเมตร มีความหนืดที่สูงกว่าไคโตแซนที่ได้จากการใช้เปลือกกุ้งขนาด 2.0-4.0 มิลลิเมตร

Bough และคณะ (1978) รายงานไว้ว่าเมื่อนำเปลือกกุ้งขนาด 1, 2 และ 6.4 มิลลิเมตรมาผลิตไคโตแซน พบว่าเปลือกกุ้งขนาดเล็กให้ไคโตแซนที่มีความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลที่สูงคือ มีความหนืด 2449, 960 และ 313 เซนติพอยส์ และน้ำหนักโมเลกุล $1.331X10^3$,$1.225X10^3$ และ$1.051X10^3$ ดาลตัน ตามลำดับ

2. สภาวะการกำจัดแร่ธาตุ

การใช้สารละลายกรดที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันจะมีผลต่อความสามารถในการกำจัดแร่ธาตุแตกต่างกัน และพบว่าเมื่อระดับความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้นสูงกว่า 1.0 นอร์มอล มีผลทำให้ปริมาณไคตินลดลงและมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของไคตินและไคโตแซน ทำให้ความหนืดของไคโตแซนลดลง

Madhavan และ Ramachandranair (1974) พบว่าการใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นมากกว่า 1.25 นอร์มอล มีผลทำให้ความหนืดของไคโตแซนลดลง (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลของความเข้มข้นกรดและระยะเวลาในการกำจัดแร่ธาตุต่อความหนืดของไคโตแซน

ความเข้มข้นกรด(นอร์มอล)	ระยะเวลาการกำจัดแร่ธาตุ(นาที)	ความหนืด (เซนติพอยส์)[a]
0.75	30	14.63
1.00	30	32.03
1.25	30	106.85
1.50	30	49.28
2.00	30	37.66

[a] ละลายไคโตแซนเข้มข้นร้อยละ 1.0 ในสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ1.0

ที่มา : ดัดแปลงจาก Madhavan และ Ramachandrannair (1974)

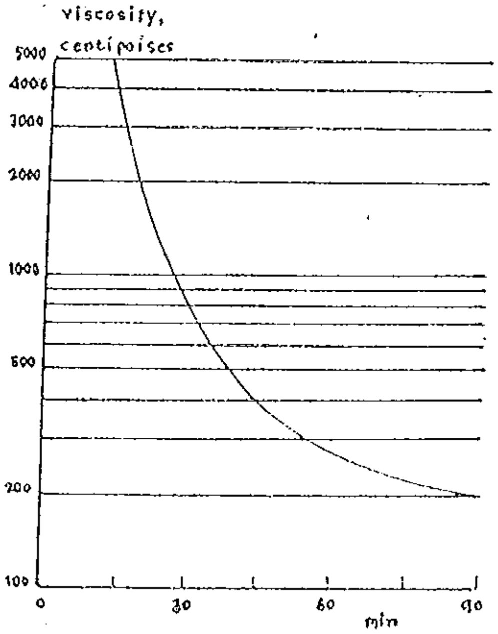
สุทธวัฒน์ เบญจกุล และไพรัตน์ โสภโณดร (2533) รายงานว่าการกำจัดแร่ธาตุโดยใช้ระดับความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่สูงกว่า 1.0.นอร์มอล และระยะเวลามากกว่า 1 ชั่วโมงมีผลทำให้ผลผลิตไคตินจากเปลือกกุ้งแชบ๊วยลดลง และมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของไคตินและไคโตแซน

3. สภาวะในการกำจัดหมู่อะซิติล

ความเข้มข้นด่างและระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติลมีผลต่อคุณภาพของไคโตแซน เมื่อระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติลเพิ่มขึ้นก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลทำให้คุณภาพของไคโตแซนลดลง และเมื่อความเข้มข้นของด่างเพิ่มขึ้นทำให้ไคโตแซนมีความหนืดลดลง (Wu and Bough, 1978)

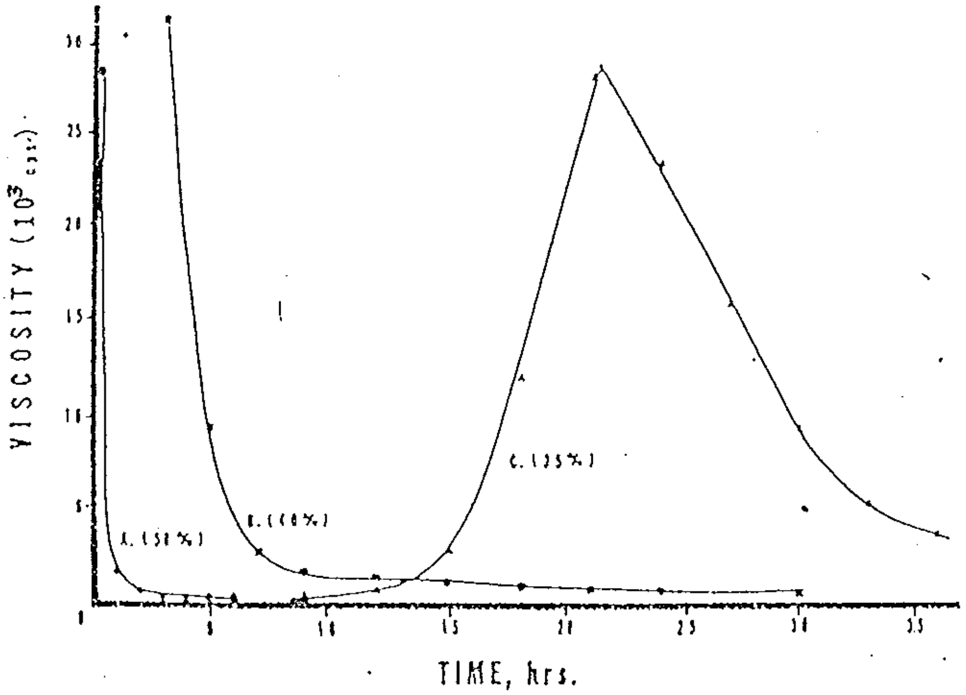
Muzzarelli (1977) พบว่าความหนืดของไคโตแซนลดลงเมื่อระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติลเพิ่มขึ้น การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 50 อุณหภูมิ 118 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที เพียงพอสำหรับการกำจัดหมู่อะซิติล และได้ไคโตแซนที่มีความหนืดสูงสุด (รูปที่ 2) ความเข้มข้นของด่างที่เพิ่มสูงขึ้นอาจมีผลต่อการทำลายโครงสร้างหรือพอลิเมอร์ของไคโตแซนโดยทำให้สายโซ่ของไคโตแซนสั้นลง (น้ำหนักโมเลกุลต่ำ) และทำให้ความหนืดของไคโตแซนลดลง

Wu และ Bough (1978) ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 35 40 และ 50 และระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติลที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส พบว่าที่ระดับความเข้มข้นด่างสูง เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความหนืดลดลงทั้งระดับความเข้มข้นร้อยละ 40 และ 50 สำหรับความเข้มข้นร้อยละ 35 นั้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งที่เวลา 21 ชั่วโมงหลังจากนั้นความหนืดจึงลดลง (รูปที่ 3)



รูปที่ 2 : ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติล

ที่มา : Muzzarelli (1977)



รูปที่ 3 : ผลของความเข้มข้นด่างและระยะเวลาในการกำจัดหมู่อะซิติลต่อความหนืดของไคโตแซน

ที่มา : Wu และ Bough (1978)

สภาพบรรยากาศในการกำจัดหมู่อะซิติลมีผลต่อคุณสมบัติของไคโตแซนเช่นกัน คือ ในสภาวะที่มีอากาศส่งผลให้ไคโตแซนมีความหนืดน้อยกว่าในสภาวะสุญญากาศและในสภาวะที่มีไนโตรเจนภายใต้อุณหภูมิเดียวกัน เนื่องจากออกซิเจนมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นส่งผลต่อการทำลายโครงสร้างของไคโตแซน (Bough, *et al.*, 1978)

สุทธวัฒน์ เบญจกุล และไพรัตน์ โสภโณดร (2533) พบว่าการกำจัดหมู่อะซิติลในสภาวะที่มีออกซิเจนจะได้ไคโตแซนที่มีความหนืดน้อยกว่าในสภาวะสุญญากาศหรือในสภาวะที่มีไนโตรเจน เช่นเดียวกับการทดลองของ Bough และคณะ (1978) ที่พบว่าการผลิตไคโตแซนในสภาวะที่มีออกซิเจน จะได้ไคโตแซนที่มีความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าในสภาวะที่ใช้ไนโตรเจน

การใช้ประโยชน์ของไคตินและไคโตแซน

เนื่องจากไคตินและไคโตแซนมีคุณสมบัติด้านดีหลายประการด้วยกัน เช่น เป็นชีวโมเลกุลที่มีสีขาว ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และมีพิษต่ำเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดอื่น (Sigh and Ray, 1994 : Qurashi, *et al.*, 1992) จึงมีการนำมาใช้ประโยชน์เป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศญี่ปุ่นมีการใช้ประโยชน์ของไคโตแซนค่อนข้างสูงโดยพบว่าในปี 1986 มีการผลิตไคโตแซนถึง 700 ตันโดย 500 ตันใช้เป็นสารตกตะกอน ขณะที่ 100 ตันใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ อาหารสัตว์และอุตสาหกรรมอาหาร และที่เหลือใช้ทางด้านเทคโนโลยี ชีวภาพ(Hirano,1989) การใช้ประโยชน์ของไคโตแซนมีหลายด้านด้วยกัน ตัวอย่างเช่น

ด้านการเกษตร

มีการใช้ไคโตแซนเคลือบเมล็ดข้าวสาลีเพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 20 ส่วนการใช้ไคตินในการเตรียมดินสำหรับการเพาะปลูกสามารถลดโรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในดิน (Brzeski and Prudden,1987) ซึ่งไคโตแซนมีคุณสมบัติที่สำคัญคือสามารถยับยั้งเชื้อรา และสนับสนุนการผลิตไคติเนสจากจุลินทรีย์ ทำให้สามารถป้องกันการเข้าทำลายของราต่อพืช (Hirano, *et al.*, 1989)

Austin และคณะ(1981) ใช้ไคตินในรูปผลึกขนาดเล็กร้อยละ 2 ผสมกับหางนมร้อยละ 20 ในอาหารเลี้ยงไก่ พบว่าหลังจาก 46 วัน ไก่ที่กินอาหารผสมที่มีทั้งไคตินและหางนมมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อเทียบกับไก่ที่เลี้ยงด้วยอาหารปกติและอาหารที่มีการเติมหางนมหรือไคตินเพียงอย่างเดียว

ด้านการแพทย์และเภสัชวิทยา

Ballasa และ Prudden (1978) พบว่าสามารถใช้ไคโตแซนในการรักษาแผลทั้งชนิดที่รักษาให้หายได้ช้าและแผลที่ไม่สามารถรักษา (ulcers)

Brzeski และ Prudden (1987) และAnonymous (1989) ได้สรุปงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากไคตินและไคโตแซนด้านการแพทย์และเภสัชวิทยาไว้ดังนี้คือ ใช้เป็นวัสดุเชื่อมหรือจัดกระดูก ใช้เป็นเลนส์สายตาเนื่องจากมีคุณสมบัติยอมให้ออกซิเจนผ่านเข้าออกได้และไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ ใช้เป็นแคปซูลบรรจุยา ใช้ผลิตเป็นหนังไตเทียมและใช้เป็นวัสดุทันตกรรมสำหรับเชื่อมหรืออุดฟัน

Maezaki และคณะ (1993) ศึกษาการใช้ไคโตแซนในการลดปริมาณคอเลสเตอรอลในกระแสเลือด โดยทำการศึกษาในผู้ชายที่มีร่างกายแข็งแรงปกติ พบว่าเมื่อมีการบริโภคไคโตแซน 3-6 กรัม/วัน โดยผสมในขนมปังแครกเกอร์ สามารถลดคอเลสเตอรอลได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับคนที่ไม่ได้บริโภคไคโตแซน โดยได้อธิบายว่าไคโตแซนสามารถละลายหรือพองตัวในของเหลวที่เป็นกรดในกระเพาะอาหารและสามารถจับไขมันและคอเลสเตอรอลในร่างกาย ทำให้ลดการดูดซึมของไขมันและคอเลสเตอรอลเข้าสู่กระแสเลือด นอกจากนี้พบว่าไคโตแซนสามารถจับกับเกลือน้ำดี ซึ่งเป็นตัวทำให้ไขมันเกิดการดูดซึม ส่งผลให้ระดับไขมันและคอเลสเตอรอลในเลือดต่ำ จากคุณสมบัติการจับไขมันที่ไม่จำเพาะของไคโตแซน อาจเกิดผลเสียแก่ร่างกายได้ เนื่องจากกรดไขมันที่จำเป็นหรือวิตามินที่ละลายในไขมันอาจไม่มีการดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย (Hirano and Akiyama,1995)

ด้านอุตสาหกรรมอาหาร

เนื่องไคโตแซนเป็นสารที่สกัดจากธรรมชาติ สามารถย่อยสลายได้และเป็นสารที่มีพิษต่ำเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์สังเคราะห์อื่น ๆ ได้มีการนำมาใช้ประโยชน์กันหลากหลายในอุตสาหกรรมอาหารเช่น

การทำให้น้ำผลไม้ใส

การผลิตน้ำผลไม้ส่วนใหญ่มักพบปัญหาความขุ่นและสีของผลิตภัณฑ์ มีงานวิจัยหลายชิ้นที่มีการใช้ไคโตแซนเป็นสารตกตะกอนในการผลิตน้ำผลไม้ พบว่าไคโตแซนไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของน้ำแคร์รอทและน้ำแอปเปิ้ล แต่พบว่าน้ำผลไม้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และปริมาณกรดลดลง (Imeris and Knorr, 1988) แสดงให้เห็นว่าไคโตแซนมีศักยภาพในการควบคุมปริมาณกรดในอาหารอื่นๆได้ มีการใช้ไคโตแซนในการผลิตน้ำส้มในประเทศญี่ปุ่นเพื่อป้องกันการเกิดตะกอนระหว่างการเก็บรักษา และพบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผักดองได้ด้วย (Muzzarelli,1983 ; Hirano,1989) เนื่องจากในสภาวะที่เป็นกลางหรือด่าง หมู่อะมิโนในโมเลกุลของไคโตแซนมีอิเลคตรอนอิสระ (lone pair electron) จึงสามารถทำปฏิกิริยากับสารที่เป็นกรด เช่น พวกพอลิฟีนอล และพบว่าเหมาะที่จะใช้เป็นตัวกำจัดกรด (Deacidification) ในน้ำผลไม้ น้ำผัก และกาแฟที่สกัด (Muzzarelli,1983)

ศิริพงษ์ เกื้อมิตร (2536) ศึกษาการใช้ไคโตแซนในการปรับปรุงความใสของน้ำผลไม้ คือ น้ำมะนาว น้ำมะขาม น้ำองุ่น และ น้ำตาลโตนดที่ระดับความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม/100มิลลิลิตร เปรียบเทียบกับการใช้เบนโตไนท์(10 มก./ลิตร) และเจลาติน (290 มก./ลิตร) พบว่าไคโตแซนสามารถปรับปรุงความใสได้ดีกว่า

Soto-Peralta และคณะ(1989) ศึกษาผลของไคโตแซนต่อความใสของน้ำแอปเปิล โดยใช้ไคโตแซนทั้งชนิดที่ละลายในน้ำ และละลายในกรด เปรียบเทียบกับการใช้อะกาโรส เจลาตินและเบนโตไนท์ร่วมกัน จากการทดลองพบว่าไคโตแซนทั้งสองชนิดมีประสิทธิภาพในการลดความขุ่นของน้ำแอปเปิลเหมือนกับการใช้สารตกตะกอนทั้ง 3 ตัวร่วมกัน

การเคลือบผิวผลไม้

ไคโตแซนสามารถเกิดแผ่นฟิล์มที่มีคุณสมบัติป้องกันน้ำและอากาศ เมื่อละลายในกรดอินทรีย์เจือจาง เช่น กรดอะซิติกหรือกรดฟอร์มิก คุณภาพแผ่นฟิล์มในการป้องกันน้ำและอากาศขึ้นอยู่กับกระบวนการเตรียมไคโตแซน ชนิดของวัตถุดิบและขั้นตอนการกำจัดหมู่อะซิติล Averbach (1978) รายงานว่าแผ่นฟิล์มไคโตแซนสามารถทนทานต่อแรงดึง 20,000 ปอนด์/ตารางนิ้ว และสามารถยืดได้ยาวเพิ่มขึ้นร้อยละ 6 และเป็นแผ่นฟิล์มที่มีคุณสมบัติดีที่สุดสามารถป้องกันการผ่านเข้าออกของน้ำและอากาศได้สมบูรณ์ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการเคลือบผิวผลไม้ได้ดี การหุ้มผลไม้ด้วยฟิล์มของไคโตแซนสามารถยืดการสุกและอายุการเก็บรักษา (Davies, *et al.*, 1989) เท่าที่ปรากฏในอเมริกามีการใช้หุ้มผลไม้ที่ปอกเปลือกก่อนการบริโภค

El Ghaouth และคณะ (1991) ได้ทดลองเคลือบสตรอเบอร์รี่ด้วยไคโตแซน (ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 และ 1.5 (น้ำหนัก/ปริมาตร) พบว่าสามารถเก็บรักษาความสดของสตรอเบอร์รี่ไว้ได้ ถึงแม้จะเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูง (13 องศาเซลเซียส) ทั้งนี้เนื่องจากสตรอเบอร์รี่ที่ถูกเคลือบผิวจะมีสภาพดัดแปลงบรรยากาศภายในชั้นที่ถูกเคลือบ นอกจากนี้พบว่าการเคลือบผิวดังกล่าวสามารถเพิ่มศักยภาพในการยับยั้งเชื้อราและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้

ไพรัตน์ โสภโณดร และคณะ (2536) ได้ศึกษาผลของการเคลือบผิวมะนาวด้วยไคโตแซนในการยืดอายุการเก็บรักษา โดยใช้ไคโตแซนที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 $\pm$ 2 องศาเซลเซียสพบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษามะนาวได้นานถึง 8 สัปดาห์ (ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.25 น้ำหนัก/ปริมาตร)

สนั่น แซ่แจง (2537) ศึกษาการเคลือบผิวมะเขือเทศด้วยไคโตแซนชนิดที่ละลายน้ำที่ความเข้มข้นต่างกัน (ร้อยละ 0.5 0.75 และ1.0) พบว่าสามารถยืดอายุการเก็บรักษามะเขือเทศได้ยาวนานกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีการเคลือบด้วยไคโตแซน โดยชุดควบคุมและเคลือบผิวด้วยไคโตแซนเข้มข้นร้อยละ 0.5 0.75 และ 1.0 จะมีอายุการเก็บรักษาได้ 18 21 26 และ 28 วันที่อุณหภูมิห้องและสามารถเก็บรักษาได้มากกว่า 30 วันที่อุณหภูมิต่ำที่ทุกระดับความเข้มข้น

การใช้เป็นสารตกตะกอน

ได้มีการนำไคโตแซนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร รวมถึงการนำกลับมาใช้ใหม่ของตะกอนโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้มีการนำไคโตแซนมาใช้ทำน้ำดื่มและน้ำใช้ให้บริสุทธิ์ ซึ่งปัจจุบันมีการยอมรับโดยสำนักงานสิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (USEPA) เนื่องจากไคโตแซนเป็นสารคาร์โบไฮเดรต โมเลกุลยาวที่มีประจุ จึงมีผลทำให้เกิดการจับตัวเป็นก้อนตะกอนของสารอินทรีย์จากน้ำทิ้งในกระบวนการแปรรูปอาหาร (Bough and Landes, 1976) จากรายงานของ วิสิฐ จะวะสิต และ ลูกจันทร์ ภัครัชพันธุ์ (2533) พบว่าการใช้ไคโตแซนตกตะกอนโปรตีนของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ สามารถลดปริมาณสารแขวนลอยได้ร้อยละ 70 - 80 และแยกโปรตีนจากน้ำเสียได้ร้อยละ 16 - 68 เมื่อมีการใช้ร่วมกับพอลิเมอร์ที่มีประจุบวกหรือเกลืออนินทรีย์ เช่น อลูมิเนียมซัลเฟตหรือ เฟอริกซัลเฟตจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นด้วย

ธรรมรัตน์ ธรรมเดชศักดิ์ และ แกมกาญจน์ รักษาพราหมน์ (2535) ศึกษาการใช้ไคโตแซนจากเปลือกกุ้งกุลาดำในการตกตะกอนสารอินทรีย์ จากน้ำทิ้งโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ พบว่าสามารถลดตะกอนสารประกอบอินทรีย์ในน้ำทิ้ง 3 ชนิดคือ น้ำนึ่งปลาทูน่า น้ำต้มกุ้ง และน้ำล้างปลาหมึก ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการใช้สารช่วยตกตะกอนร่วมกับไคโตแซนสามารถลดความขุ่นของน้ำทิ้งได้ดีกว่าการใช้ไคโตแซนเพียงอย่างเดียว โดยพบว่าการใช้เฟอร์ริกซัลเฟตร่วมกับไคโตแซนสามารถลดความขุ่นของน้ำนึ่งปลาทูน่า และน้ำต้มกุ้งได้ร้อยละ 95.91 และ 96.15 ตามลำดับ การใช้สารส้มร่วมกับไคโตแซนในการตกตะกอนสามารถลดความขุ่นได้ร้อยละ 97.01

Bough (1975) ศึกษาการใช้ไคโตแซนที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ในการลดความขุ่นของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตสัตว์ปีก เปรียบเทียบกับสารตกตะกอนสังเคราะห์ชนิดต่างๆ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าเมื่อใช้ไคโตแซนที่ความเข้มข้น 5 และ 10 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถลดค่าความขุ่นของน้ำทิ้งให้เหลือค่าต่ำสุดเมื่อเทียบกับตัวตกตะกอนสังเคราะห์ตัวอื่นที่ระดับความเข้มข้นเดียวกันยกเว้น Atlalep 1050 ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถลดค่าความขุ่นได้สูงกว่าไคโตแซนเล็กน้อย

ตารางที่ 2 ค่าความขุ่นของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตสัตว์ปีก เมื่อใช้ไคโตแซนและสารตกตะกอนชนิดต่างๆ

สารตกตะกอน	ประจุสุทธิของโมเลกุล	ความขุ่น (FTU)* ความเข้มข้นของสารตกตะกอน(มิลลิกรัม/ลิตร) 1	5	10	50
Chitosan	+	89	10	16	68
WT-3000	-	85	82	85	85
Floc. 550	+	88	98	88	95
Floc. Aid 6400	-	100	100	100	100
NJAL 240	-	100	100	100	100
Natron 86	+	83	45	17	44
Natron 88	+	100	100	52	45
Atlasep 4A4	-	34	60	72	89
Atlasep 5A5	-	62	28	26	61
Atlasep 1050	+	83	25	13	65
Atlasep 1 N	ไม่แสดงประจุ	85	80	79	80

* FTU คือ Formazin Turbidity Unit

ที่มา : Bough (1975)

Bough และ Landes (1976) ศึกษาการใช้ไคโตแซนในการตกตะกอนสารแขวนลอยในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารพวกสัตว์ปีก ผลิตภัณฑ์เนื้อ กุ้ง เนย และผัก ทำการแยกสารแขวนลอยดังกล่าวโดยการตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วง เติมอากาศและผ่านการเหวี่ยงแยก พบว่าสามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยได้ถึงร้อยละ 90 และค่าซีโอดี ในน้ำทิ้งของกระบวนการผลิตอาหารพวกสัตว์ปีก เนื้อ และกุ้งลดลงถึงร้อยละ 60 - 80

Senstad และ Almas (1985) ทำการเก็บเกี่ยวโปรตีนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่จากอุตสาหกรรมการผลิตกุ้งต้ม พบว่าสามารถนำโปรตีนกลับมาใช้ใหม่สูงสุดร้อยละ 60 ที่พีเอช 4.5 เมื่อพีเอชต่ำกว่า 4.5 ความสามารถในการนำกลับมาลดลงและความสามารถ

ในการนำกลับมาสูงสุดที่พีเอชประมาณ 6.5 (ร้อยละ 65) โดยใช้ไคโตแซนต่อโปรตีน ร้อยละ 12

Jun และคณะ (1994) ศึกษาการใช้ไคโตแซนในการเก็บเกี่ยวของแข็งพวกโปรตีนจากน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเต้าหู้ พบว่าสามารถลดความขุ่นได้ถึงร้อยละ 97 เมื่อมีการใช้ไคโตแซน 300 มิลลิกรัม/ลิตร ที่พีเอชของน้ำทิ้ง 5.8 เมื่อเทียบกับการตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วง 1 ชั่วโมงซึ่งสามารถลดความขุ่นได้ร้อยละ 30

Hollland และ Shahbas (1995) ใช้ไคโตแซนในการเก็บเกี่ยวโปรตีน จากน้ำทิ้งอุตสาหกรรมการผลิตหอยแมลงภู่โดยทำการทดลองแบบกะ พบว่าสามารถนำโปรตีนกลับมาใช้ใหม่ได้ถึงร้อยละ 80 โดยความเข้มข้นของไคโตแซนที่ใช้ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 6.0 - 7.0

Hwang และ Domodaran (1995) ศึกษาการใช้ไคโตแซนในการตกตะกอน และกำจัดไขมันออกจากเวย์ที่เกิดขึ้นในการผลิตเนยโดยใช้ไคโตแซนความเข้มข้นร้อยละ 0.01 - 0.02 ที่พีเอช 4.5 พบว่าโมเลกุลของไขมันเกิดเป็น Fat globule membrane complex แล้วทำการแยกเหวี่ยงออก พบว่าปริมาณไขมันในเวย์ลดลงเหลือน้อยกว่า 0.26 กรัม/100 กรัมโปรตีนและตรวจไม่พบว่ามีไคโตแซนหลงเหลืออยู่ในเวย์ภายหลังการแยกโปรตีนออกไป

ความสำคัญของโลหะหนักต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

โลหะบางชนิดในปริมาณที่เหมาะสมมีความจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์ แต่ในทางตรงกันข้ามโลหะบางชนิดสามารถทำให้คนเสียชีวิตได้เมื่อได้รับในปริมาณเพียงไม่กี่มิลลิกรัม โลหะเป็นสารมลพิษที่สำคัญชนิดหนึ่งที่ไม่สามารถสลายตัวได้ตามธรรมชาติ ซึ่งแตกต่างจากสารอินทรีย์มลพิษชนิดอื่น มีโลหะเพียงจำนวนน้อยมากที่ไม่มีพิษต่อสิ่งมีชีวิต ในสภาพแวดล้อมสามารถพบสารโลหะได้โดยมีแหล่งที่มาจากธรรมชาติและจากมนุษย์ ส่วนที่มนุษย์ทำขึ้นเป็นผลจากการปล่อยโลหะเข้าสู่สภาพแวดล้อม เช่น น้ำเสียและอากาศเป็นพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม การเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ อาจจัดแบ่งกลุ่มของโลหะตามลักษณะความเป็นพิษได้ดังนี้คือ (ชูสง่า สุวรรณศรี , 2526)

1. โลหะที่ทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบหายใจ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของอนุภาคแขวนลอยในอากาศ ได้แก่ เหล็ก ทังสเตน และ ไนโอเบียม

2. โลหะและสารประกอบของโลหะบางตัวที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของการทำหน้าที่ของอวัยวะภายในร่างกาย เช่น ตับ ไต และหัวใจ ทำให้เกิดโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบหายใจตัวอย่างโลหะเหล่านี้ได้แก่ โครเมียม โมลิบดินัม วาเนเดียม นิกเกิล โคบอลท์ ทองแดง เงินและแคดเมี่ยม

3. โลหะที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพอย่างร้ายแรงและทำให้เกิดโรคเรื้อรังรักษาให้หายขาดยาก ได้แก่ ปรอท ตะกั่ว แมงกานิส สารหนู และพลวง เพราะนอกจากจะทำให้เกิดโรคที่เกี่ยวกับระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหารซึ่งเกี่ยวข้องกับตับและไตแล้วยังมีอันตรายต่อระบบหัวใจและประสาทส่วนกลางอีกด้วย

จากการสำรวจในปัจจุบันพบว่าโลหะที่เป็นพิษจริงๆ ส่วนมากมักอยู่ในรูปอนุภาคขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร และโลหะเหล่านั้นสามารถละลายได้ในบางกระบวนการทางชีวเคมี ตัวอย่างโลหะที่พบมากและมีอันตรายต่อมนุษย์พอที่จะยกตัวอย่างได้ดังนี้

ตะกั่ว (Lead) เป็นโลหะชนิดหนึ่งที่มนุษย์รู้จักและนำมาเป็นเวลานาน การพบตะกั่วในธรรมชาติพบในรูปอิสระเพียงเล็กน้อยเท่านั้นส่วนใหญ่มักพบในรูปของสารประกอบดังนี้

ก. สารประกอบอนินทรีย์ เช่น ซัลไฟด์ ไนเตรต คลอเรต คลอไรด์ เป็นต้น

ข. สารประกอบอินทรีย์ เช่น เตตราเอทิลเลต เตตราเมทิลเลต เป็นต้น

ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 2 ทางคือ ทางอาหารและทางลมหายใจ นอกจากนี้การใช้สารตะกั่วในสารประกอบเตตราเอทิลเลตที่เติมในน้ำมันเชื้อเพลิงอาจถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายโดยการซึมผ่านผิวหนัง โดยเฉพาะผิวหนังที่มีรอยถลอกหรือเป็นแผลหากไปถูกหรือสัมผัสกับสารตะกั่วที่มีปริมาณมากๆ เป็นเวลานานๆ สารตะกั่วบางส่วนจะซึมเข้าสู่ร่างกายทางผิวหนัวส่วนนั้นได้ (ชูสง่า สุวรรณศรี ,2526) ในชีวิตประจำวันปริมาณตะกั่วในอาหารและน้ำมีค่าประมาณ 110 ไมโครกรัม/วัน (วงศ์พันธ์ ลิมปาเสนีย์ และคณะ, 2525) เมื่อตะกั่วเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากเกินความต้องการมักจะสะสมอยู่ในกระดูก โลหิต และสมอง มีผลทำให้เกิดความผิดปกติในระบบและอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย เช่น ระบบประสาท ระบบสืบพันธุ์ และอวัยวะอื่นๆ ตะกั่วที่สะสมในเลือดเป็นตัวการที่ไปขัดขวางการ

สร้างฮีโมโกลบินของเม็ดเลือดแดง นอกจากตะกั่วจะมีผลต่อเม็ดเลือดแดงแล้วยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของฮีโมโกลบินที่มีอายุมากเกิดเป็นเมทิลไมโอโกลบิน(Methylmyoglobin) เร็วขึ้น ซึ่งทำให้การนำออกซิเจนลดลง นอกจากนี้ตะกั่วยังทำให้เกิดการสูญเสียกรดอะมิโน กลูโคส และฟอสเฟต โดยทำลายไมโตคอนเดรียในไต และเร่งการทำงานของม้ามและตับในการกำจัดเม็ดเลือดแดงด้วย ก่อให้เกิดโรคโลหิตจาง (วงศ์พันธ์ ลิมปาเสนีย์ และคณะ,2525)

แคดเมี่ยม (Cadmium) เป็นโลหะที่มีสีขาวปนน้ำเงิน แต่จะเปลี่ยนเป็นสีคล้ำถ้าทิ้งไว้ในที่มีความชื้นสูง ปกติโลหะตัวนี้มีความเหนียวมาก แต่ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะเปราะ ส่วนใหญ่มักไม่พบแคดเมี่ยมในรูปอิสระ แต่จะพบอยู่ในรูปของสารประกอบ โดยมักพบแคดเมี่ยมควบคู่กับสังกะสีเสมอ แคดเมี่ยมเป็นโลหะที่มีพิษร้ายแรงมาก พิษของแคดเมี่ยมถ้าหากได้รับมากจะมีอาการเริ่มแรกที่ระบบไตทำงานผิดปกติ ต่อมาเกิดความเจ็บปวดที่กระดูกในส่วนต่างๆ ของร่างกาย เช่นกระดูกขา กระดูกสันหลัง กระดูกซี่โครง และทำให้คนไข้เดินเหมือนเป็ดหรือเป็นง่อย และในที่สุดกระดูกจะแตกหรือหักได้ง่าย โรคนี้มีชื่อว่า อิไตอิไต การเข้าสู่ร่างกายของแคดเมี่ยมโดยการบริโภค การหายใจและเข้าทางผิวหนัง (วงศ์พันธ์ ลิมปาเสนีย์ และคณะ,2525) ความรุนแรงของโรคจะขึ้นอยู่กับปริมาณและเวลาที่ได้รับแคดเมี่ยม (ซูสง่า สุวรรณศรี,2526)

ทองแดง (Copper) เป็นโลหะที่มนุษย์รู้จักดี พบได้ทั้งในรูปของโลหะอิสระและในรูปของสารประกอบ ทองแดงเป็นโลหะที่ถูกนำมาใช้มากเพราะมีคุณสมบัติที่ดีเยี่ยม นอกจากนี้ทองแดงยังเป็นโลหะที่ร่างกายมนุษย์ต้องการอีกด้วยคือใช้ในกระบวนการเผาผลาญอาหาร เป็นธาตุที่จำเป็นในการช่วยสร้างฮีโมโกลบิน การสังเคราะห์เอนไซม์ และการทำงานของเอนไซม์บางชนิดเช่น คาทาเลส เปอร์ออกซิเดส และ ไซโตโครมซี ออกซิเดส นอกจากนี้ในทางการแพทย์ได้นำเอาทองแดงมาเป็นส่วนผสมของยาสมานแผล ยาห้ามเลือด ในด้านโภชนาการ ใช้ทำสีผสมอาหาร ในทางการเกษตรใช้เป็นยาปราบศัตรูพืช ดังนั้นทองแดงจึงเป็นโลหะที่สามารถแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อม ทั้งในดิน ในน้ำ และในอากาศได้ แม้ทองแดงจะเป็นโลหะที่มีความจำเป็นต่อร่างกายก็ตาม แต่ถ้าร่างกายได้รับทองแดงในปริมาณที่มากเกินไปก็อาจเกิดโทษได้เช่นกัน โดยมีผลต่อระบบทางเดินอาหาร ทำให้เกิดอาการผื่นคันตามผิวหนังอาจทำให้เกิดอาการระคายเคืองตา ตาอักเสบ และตาขุ่นมัว

จากที่ทราบกันแล้วว่าโลหะหนักเป็นสิ่งที่มีพิษต่อร่างกายเมื่อได้รับมากเกินไป และอาจมีฤทธิ์สะสมก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ จึงมีวิธีการต่างๆ มากมายเพื่อกำจัดออกไปจากแหล่งปนเปื้อนเช่น การใช้สารเคมี การใช้สารตกตะกอน การกรองด้วยตัวดูดจับชนิดต่าง ๆ รวมทั้งการใช้ไคตินและไคโตแซน กลไกและความสามารถในการจับโลหะของไคตินและไคโตแซนมีลักษณะที่ซับซ้อนและขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย

ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการจับโลหะของไคตินและไคโตแซน

1. คุณสมบัติของไคตินและไคโตแซน

1.1 ปริมาณหมู่อะมิโน ที่พบในโครงสร้างทางเคมีมีผลต่อความสามารถในการจับโลหะของไคโตแซน โดยพบว่าไคโตแซนที่มีปริมาณหมู่อะมิโนที่มากกว่ามีความสามารถในการจับไอออนของโลหะได้มากกว่า เนื่องจากหมู่อะมิโนเป็นจุดที่ว่องไวต่อความสามารถในการจับ (Trezos and Volsky, 1981)

Kurita และคณะ (1986) ศึกษาการจับไอออนปรอทและทองแดงด้วยไคโตแซนซึ่งได้มาจากกระบวนการผลิต 2 วิธี คือ กระบวนการผลิตโดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นด่างที่แตกต่างกันตามเวลา และการกำจัดหมู่อะซิติลที่ใช้ความเข้มข้นของด่างร้อยละ 10 เพียงระดับเดียวตลอด ทำให้ปริมาณหมู่อะมิโนในโมเลกุลของไคโตแซนผลิตได้แตกต่างกัน และส่งผลต่อความสามารถในการจับโลหะของไคโตแซน โดยพบว่า เมื่อปริมาณหมู่อะมิโนของไคโตแซนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 15 เป็นร้อยละ 50 ความสามารถในการจับโลหะของไคโตแซนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วประมาณร้อยละ 80 แสดงว่าเกิดการรวมตัวกันของไนโตรเจนจากหมู่อะมิโนของไคโตแซนกับไอออนโลหะ แต่เมื่อปริมาณหมู่อะมิโนของโตแซนเพิ่มมากกว่าร้อยละ 60 ความสามารถในการจับเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (ประมาณร้อยละ 85) ความสัมพันธ์ไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งจากผลที่ได้นี้แสดงว่า การจับโลหะของไคโตแซนไม่ได้เกิดจากหมู่อะมิโนของไคโตแซนอย่างเดียว อาจเกิดจากปัจจัยอื่นด้วยหรืออาจเกิดร่วมกัน

Xian และ Junhui (1996) ศึกษาความสามารถในการจับไอออนคอปเปอร์ (Cu^{2+}) และ ไอออนนิเกิล (Ni^{2+}) ของไคโตแซน พบว่าความสามารถในการจับ Cu^{2+} สูงสุดประมาณ

ฝ่ายหอสมุด
คุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร

1.9 มิลลิโมล/กรัมของไคโตแซน ขณะที่ Ni^{2+} สามารถจับได้ประมาณ 2.56 มิลลิโมล/กรัมของไคโตแซน ที่พีเอช 2.2 และ 4.2 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อระดับการกำจัดหมู่อะซิติลเพิ่มขึ้นทำให้ความหนาแน่นของหมู่อะมิโนเพิ่มขึ้น เกิดการชักนำในการจับของโลหะทั้งสองเพิ่มขึ้น

1.2 ขนาดอนุภาคของไคตินและไคโตแซน ความสามารถในการจับโลหะแตกต่างกัน เมื่อใช้ไคตินและไคโตแซนที่มีขนาดอนุภาคที่ต่างกัน โดยพบว่าไคตินหรือไคโตแซน ที่มีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวที่มากกว่า (Piron, *et al.*, 1996) ทำให้ความสามารถในการจับมีแนวโน้มสูงกว่า

Muzzarelli และคณะ (1970) ศึกษาการจับไอออนสังกะสี (Zn^{2+}) ด้วยไคโตแซนชนิดแผ่น (ขนาด2 มม.) และชนิดผง ขนาด 100-200 เมช โดยทำการควบคุมสภาวะอื่นให้คงที่คือ ความเข้มข้นสารละลายสังกะสี 0.44 มิลลิโมล ปริมาณ 50 มิลลิลิตรต่อไคโตแซน 200 มิลลิกรัม พบว่าไคโตแซนชนิดผงสามารถจับไอออนสังกะสีได้ดีกว่าไคโตแซนชนิดแผ่น อาจเนื่องจากพื้นที่ผิวที่มากกว่าจึงสามารถจับได้มากกว่า

Maruca (1982) ศึกษาการจับไอออนโครเมี่ยม (Cr^{3+}) ที่ระดับความเข้มข้น 2 - 10 โมล/ลิตร โดยใช้ไคตินและไคโตแซนที่มีขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกัน (<0.42 , 0.42-1.00 และ 2.00-4.00 มม.) พบว่าอนุภาคของพอลิเมอร์ที่เล็กกว่า (<0.42 มม.) มีความสามารถในการจับโครเมียมได้มากกว่า แต่ความสัมพันธ์ไม่เป็นเส้นตรง ในทำนองเดียวกันกับการศึกษาของ Xian และ Junhui (1996) รายงานว่าผลของขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันทำให้ความสามารถในการจับที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของพื้นที่สัมผัสต่อหน่วยแตกต่างกัน

2. พีเอชของสารละลายโลหะจะมีผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนรูปแบบการเรียงตัวของอิเลคตรอน (electronic configuration) ของโลหะและทำให้การละลายลดลง (Jansson- Charrier, 1995) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเป็นปัจจัยหลักในการจับและการควบคุมการแพร่ของไอออนโลหะภายในโมเลกุล (Saucedo, *et al.*, 1992) นอกจากนี้พบว่าที่พีเอชต่ำๆ เกิดการแย่งกันจับระหว่าง H_3O^+ และไอออนของโลหะต่อไคโตแซนซึ่งทำให้ความสามารถในการจับลดลง ไคโตแซนจะเกิดการบวมพอง (swelling) และการละลายเพิ่มขึ้นในสารละลายที่เป็นกรดทำให้ความสามารถในการจับลดลงเนื่องจากหมู่ที่มีความไวต่อการจับลดลงเพราะต้องจับกับโมเลกุลของสารละลาย (Xian and Junhui, 1996)

Sakaguchi และคณะ (1981) ทำการศึกษาผลของพีเอชต่อความสามารถในการจับยูเรเนียมที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำทะเลของไคตินฟอสเฟตและไคโตแซนฟอสเฟต พบว่าความสามารถในการจับเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น จนถึงที่พีเอชประมาณ 5.0 และเมื่อพีเอชเพิ่มสูงขึ้นอีกความสามารถในการจับจะลดลง

Maruca (1982) พบว่าพีเอชมีผลต่อความสามารถในการจับโครเมี่ยม (Cr^{3+}) ของไคตินและไคโตแซน โดยพบว่าเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นความสามารถในการจับโครเมียมของไคตินและไคโตแซนจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการรวมกันของโลหะและหมู่ไฮดรอกไซด์โดยจะอยู่ในรูปของ $Cr(OH)^{2+}$ และ $Cr(OH)^{+}_{2}$ ทำให้ความสามารถในการจับเพิ่มขึ้น

Jha และคณะ (1988) ศึกษาการจับแคดเมี่ยมด้วยไคโตแซน พบว่าที่พีเอชเท่ากับ 3 การจับแคดเมียมของไคโตแซนมีค่าประมาณร้อยละ 18 แต่เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นการจับเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 80 ช่วงพีเอช 4 ถึง 8.3 ความสามารถในการจับเพิ่มขึ้นอย่างมาก แต่เมื่อพีเอชมากกว่า 9.0 การจับเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นเกิดการจับกันระหว่างโลหะและ OH^- เป็น $Cd(OH)^+$ ทำให้ความเข้มข้นของแคดเมียมลดลงและเกิดเป็น $Cd(OH)^+$ เพิ่มขึ้นซึ่งจะจับกับไคโตแซน แต่เมื่อพีเอชเพิ่มมากขึ้นอีกปริมาณ OH^- มากขึ้นเกิดการจับกันของโลหะและ OH^- ที่มีปริมาณมากเกิดเป็น $Cd(OH)_2$ ซึ่งจะตกตะกอนลงมา ทำให้การจับของไคโตแซนต่อแคดเมียมเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและมีแนวโน้มลดลง

Annachhtre และคณะ(1996) ศึกษาความสามารถในการจับไอออนคอปเปอร์ด้วยไคโตแซน โดยทำการศึกษาผลของพีเอชต่อความสามารถในการจับ พบว่าความสามารถในการจับสูงสุดเท่ากับ 8.32 มิลลิกรัม/กรัมไคโตแซนที่พีเอช 6.0 แต่ที่พีเอช 4.7 ความสามารถในการจับมีเพียงร้อยละ 34 และความสามารถในการจับเกือบร้อยละ 85 เมื่อพีเอชเพิ่มขึ้น 1 หน่วย และมีค่าคงที่ระหว่างพีเอช 6.0-10.0 ทั้งนี้เนื่องจากคอปเปอร์เกิดเมทอลไฮดรอกไซด์ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Muzzarelli และ Turbettini (1986) ที่พบว่าความสามารถในการจับไอออนของโลหะของไคตินและไคโตแซนลดลงเมื่อพีเอชของสารละลายลดลงจาก 7.0 ถึง 2.5 ในทำนองเดียวกัน Trezos (1983) พบว่าความสามารถในการจับยูเรเนียมของไคตินลดลงเมื่อพีเอชลดลง นอกจากนี้ Annachhtre และคณะ(1996)

ยังกล่าวว่าหากพีเอชเพิ่มขึ้นมากๆอาจไม่พบว่ามีการจับกันเนื่องจากช่วงพีเอช 6.0-10.0 เกิดการตกตะกอนของ $Cu(OH)_2$

3. ความเข้มข้นของสารละลายโลหะ มีผลต่อความสามารถในการจับของไคตินและไคโตแซน เมื่อความเข้มข้นของโลหะมากขึ้นช่วยทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลเพิ่มขึ้นโอกาสสัมผัสกับพอลิเมอร์มากขึ้น (Weber, 1972)

Sakaguchi และคณะ (1981) รายงานความสามารถในการจับยูเรเนี่ยมของไคตินฟอสเฟตและไคโตแซนฟอสเฟตในน้ำทะเลเพิ่มขึ้นมีลักษณะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง เมื่อความเข้มข้นของยูเรเนี่ยมเพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 100 ไมโครโมล ภายใต้สภาวะอัตราส่วนของพอลิเมอร์กับสารละลาย 1:10 เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

4. ระยะเวลา เมื่อใช้เวลาในการจับที่เพิ่มขึ้นโอกาสที่ไคตินหรือไคโตแซนสามารถสัมผัสกับไอออนของโลหะเพิ่มขึ้น ความสามารถในการแพร่ของโลหะเข้าหรือสัมผัสมากขึ้นความสามารถในการจับเพิ่มขึ้นเช่นกัน

Peniche-Covas และคณะ (1992) ศึกษาเวลาในการกวนต่อความสามารถในการจับปรอทของไคโตแซน พบว่าที่ตั้งแต่ 10 นาที ถึง 100 นาทีความสามารถในการจับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นความสามารถในการจับจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และมีแนวโน้มคงที่

5. ไอออนอื่นๆ ที่ปนเปื้อนจะเกิดการแย่งกันจับกันต่อไคตินและไคโตแซนและนอกจากนี้พบว่าอาจเกิดการจับกันระหว่างไอออนที่ปนเปื้อนกับไอออนของโลหะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งจะมีผลต่อความสามารถในการจับโลหะของไคตินและไคโตแซน

Sakaguchi และคณะ (1981) ศึกษาผลของไอออนคาร์บอเนตต่อความสามารถในการจับยูเรเนี่ยม ซึ่งปนเปื้อนอยู่ในน้ำทะเลของไคตินฟอสเฟตและไคโตแซนฟอสเฟต ซึ่งไอออนตัวนี้สามารถที่จะจับกับยูเรเนียมในรูปของ $UO_2(CO_3)_2^{2-}$ หรือ $(UO_2(CO_3)_3)^{4-}$ พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของคาร์บอเนตไอออน 0 - 0.3 โมล ไม่มีผลต่อการจับยูเรเนียมทั้ง 2 พอลิเมอร์ แต่เมื่อความเข้มข้นของคาร์บอเนตไอออนเพิ่มขึ้นความสามารถในการจับจะลดลง

Maruca (1982) ศึกษาผลของไอออนฟอสเฟตต่อความสามารถในการจับไอออนโครเมียม (Cr^{3+}) ของไคตินและไคโตแซน พบว่าเมื่อความเข้มข้นของฟอสเฟตเพิ่มขึ้นความสามารถในการจับโครเมียมของไคตินและไคโตแซนลดลง

Jha และคณะ (1988) ศึกษาผลของไอออนคลอไรด์ที่ปนอยู่ต่อความสามารถในการจับแคดเมี่ยมของไคโตแซน พบว่าเมื่อความเข้มข้นของไอออนคลอไรด์เพิ่มขึ้นจนถึงประมาณ 1000 มิลลิกรัม/ลิตร ไม่มีผลต่อการจับแคดเมียมของไคโตแซน แต่เมื่อความเข้มของไอออนคลอไรด์เพิ่มมากกว่า 1000 มิลลิกรัม/ลิตร ความสามารถในการจับแคดเมี่ยมของไคโตแซน ลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากอาจเกิดการจับกันของคลอไรด์เกิดเป็น $CdCl^{+}$ หรือ $CdCl_2$ ทำให้ความสามารถในการจับกับไคโตแซนลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าหากมีไอออนอื่นเช่นไอออนแคลเซียม ซึ่งไอออนเหล่านี้มักพบในน้ำอาจเกิดการจับกับแคดเมียมโดยพบว่าเมื่อมีไอออนแคลเซียมในปริมาณที่สูงกว่า 1000 มิลลิกรัม/ลิตร อัตราการจับของไคโตแซนต่อแคดเมี่ยมลดลงต่ำกว่าในกรณีที่ไม่มีแคลเซียมไอออน

ในกรณีที่มีโคไอออนอื่นปนอยู่ เช่น ไอออนสังกะสี พบว่าจากความเข้มข้นของแคดเมียมเริ่มต้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร การจับของไคโตแซนต่อแคดเมียมเริ่มต้นประมาณ 8.75 มิลลิกรัม/ลิตร แต่เมื่อมีสังกะสีไอออน ที่มีความเข้มข้น 5 และ 20 มิลลิกรัม/ลิตร ความสามารถในการจับแคดเมี่ยมของไคโตแซนจะลดลงเหลือแค่ 3.75 และ 1.75 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และเมื่อความเข้มข้นของไอออนสังกะสีเพิ่มเป็น 50 มิลลิกรัม/ลิตร จะไม่พบการจับแคดเมียมของไคโตแซน จากการศึกษาของ Jha และคณะ (1988) ถึงผลของ EDTA ต่อความสามารถในการจับแคดเมียมของไคโตแซน พบว่าเมื่อความเข้มข้นของ EDTA เพิ่มขึ้นความสามารถในการจับแคดเมี่ยมของไคโตแซนลดลงและไม่มีการจับแคดเมี่ยมเมื่อความเข้มข้นของ EDTA มากกว่า 10 โมล เนื่องจาก EDTA สามารถจับกับโลหะเกิดเป็นสารเชิงซ้อนในช่วงพีเอชที่กว้าง 2.0-14.0 ดังนั้นหากมี EDTA อยู่ทำให้แคดเมียมมีการแข่งขันในการจับต่อหมู่อะมิโนลดลง

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปัจจัยทางกายภาพที่มีผลต่อความสามารถในการจับโลหะหนัก ของไคตินและไคโตแซน
2. ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ไคตินและไคโตแซนในการกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม
3. พัฒนาศักยภาพการประยุกต์ใช้ไคตินและไคโตแซนในการรักษาสภาพแวดล้อม

บทที่ 2

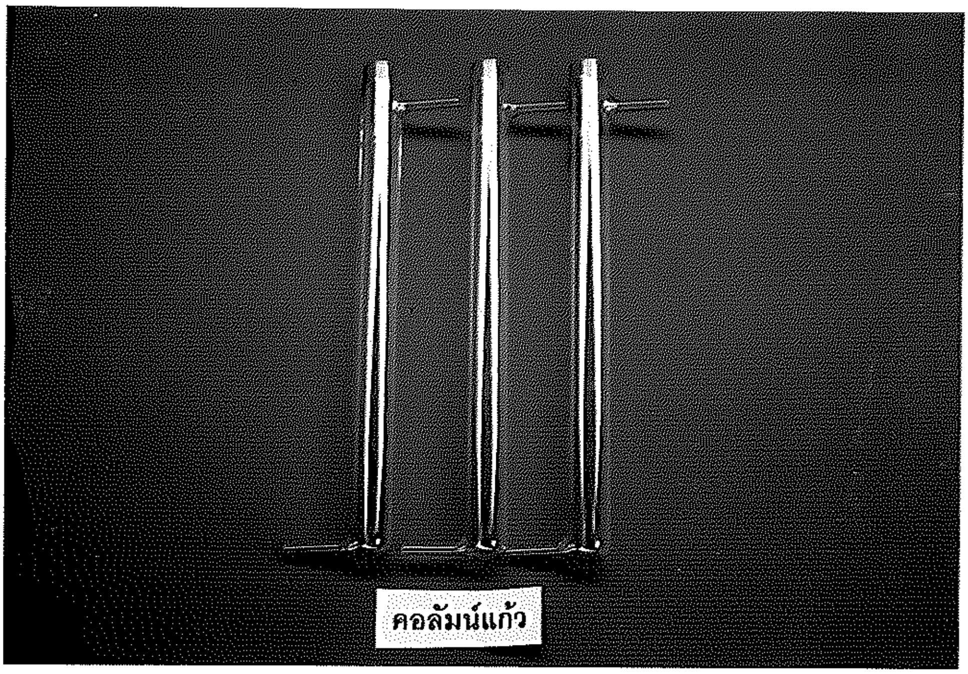
วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

วัสดุ

1. เปลือกกุ้งกุลาดำจากโรงงานแปรรูปกุ้งที่ได้จากการเพาะเลี้ยง
2. ตัวอย่างน้ำทิ้งบ่อพักสุดท้ายก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติของโรงงานอุตสาหกรรมปลาทูน่ากระป๋อง
3. สารเคมีที่ใช้ในการผลิตไคตินและไคโตแซน และสารประกอบโลหะหนัก 2 ชนิดเพื่อใช้เตรียมสารละลาย คือ $Cr(NO_3)_3 . 9H_2O$ และ $Pb(NO_3)$(AR grade)

อุปกรณ์

- ตู้อบลมร้อน
- เครื่องบด Hammer mill
- พีเอชมิเตอร์ ยี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น ACCUMENT MODEL 5
- เครื่องกวน (Magnetic stirrer) ยี่ห้อ Fisher Scientific รุ่น LR 49683C
- เครื่อง Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy (ICP-AES) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Plasma 1000
- ปั๊มชนิดควบคุมอัตราเร็วได้ (Peristaltic pump)
- คอลัมน์แก้วขนาด 2.6X 30 เซ็นติเมตร ด้านล่างมีช่องน้ำเข้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.0 มม. และด้านบนมีช่องน้ำออกจากฐาน 28 เซ็นติเมตร ตรงช่องน้ำเข้ามีใยแก้วปิดไว้เพื่อป้องกันการหลุดออกของพอลิเมอร์ (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 ลักษณะคอลัมน์แก้ว

วิธีการ

1. การเตรียมเปลือกกุ้งบด

ล้างเปลือกกุ้งแล้วทิ้งให้สะเด็ดน้ำ นำมาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมงแล้วบดด้วยเครื่องบด Hammer mill ใช้ตะแกรงร่อนเพื่อแยกเปลือกกุ้งบดให้มีขนาด 1.4-4.0 มิลลิเมตร เก็บตัวอย่างเปลือกกุ้งบดในถุงพลาสติกที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2. **การผลิตไคตินและไคโตแซน** (ดัดแปลงจาก สุทธวัฒน์ เบญจกุล และไพรัตน์ โสภโณดร ,2533)

2.1 **การกำจัดโปรตีน** โดยแช่เปลือกกุ้งกุลาดำที่เตรียมไว้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มอล อัตราส่วน 1:6 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 100

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาล้างให้มีสภาพเป็นกลางด้วยน้ำกรองที่ผ่านการกรองด้วยเรซินชนิดแคทไอออนิกและแอนไอออนิก

2.2 การกำจัดแร่ธาตุ นำเปลือกกุ้งกุลาดำที่ผ่านการกำจัดโปรตีน และล้างจนมีสภาพเป็นกลางแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1.25 นอร์มอล อัตราส่วน 1:12 (น้ำหนัก/ปริมาตร) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ล้างให้มีสภาพเป็นกลางด้วยน้ำกรอง อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่ ผลผลิตที่ได้เรียกว่าไคติน

2.3 การกำจัดหมู่อะซิติล นำไคตินที่ได้ทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 50 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) อัตราส่วนระหว่างไคตินและสารละลายด่างเท่ากับ 1:15 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที ภายใต้สภาวะสุญญากาศ ล้างให้เป็นกลางแล้วนำไปทำแห้ง ผลผลิตที่ได้คือไคโตแซน ทำการกำจัดหมู่อะซิติลซ้ำอีก 1 และ 2 ครั้งเพื่อให้ได้ไคโตแซนที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิติลแตกต่างกัน และวิเคราะห์หาระดับการกำจัดหมู่อะซิติลโดยวิธี Infrared Spectroscopy (Domszy and Robert, 1985) (ภาคผนวก ก) โดยการวัดการผ่านของแสงจากการยืดของพันธะ (bond stretching) C = O และ N - H ที่ความถี่ 1655 cm^{-1} และ 3450 cm^{-1} ตามลำดับ จากนั้นจึงคำนวณหาระดับการกำจัดหมู่อะซิติลจากความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล} = 100 - [A_{1655} / A_{3450} \times 115]$$

A_{1655} = ค่าการผ่านของแสงที่ความถี่ 1655 cm^{-1}

A_{3450} = ค่าการผ่านของแสงที่ความถี่ 3450 cm^{-1}

115 = ค่าคงที่จากกราฟมาตรฐาน (calibration curve)

3. การศึกษาความสามารถในการจับโลหะหนักของไคติน

ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการจับโลหะหนักของไคติน ประกอบด้วยขนาดอนุภาคไคติน ความเข้มข้นโลหะ พีเอช อัตราส่วนระหว่างไคตินและสารละลายโลหะ และระยะเวลา โดยทำการทดลองกับโลหะหนัก 2 ชนิดคือ โครเมี่ยม และตะกั่ว ครั้งละ 1 ชนิดและแบ่งการทดลองออกเป็นดังนี้

3.1 ปัจจัยกลุ่มแรก ประกอบด้วย

- ขนาดอนุภาคไคติน 3 ขนาดคือ 0.4 - 1.0 1.0 - 1.4 และ 1.4 - 2.0 มม.
- ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนัก 3 ระดับคือ 2 3 และ 4 พีพีเอ็ม
- พีเอช 3 ระดับคือ 5 7 และ 9

3.2 ปัจจัยกลุ่มสอง ประกอบด้วย

- อัตราส่วนระหว่างไคตินและสารละลายโลหะหนัก 3 ระดับ คือ 1:1 1:5 และ 1:10 (มก./มล.)
- เวลาที่ใช้ในการจับ 3 ระดับคือ 24 48 และ 72 ชั่วโมง

ปัจจัยกลุ่มแรกดังกล่าวเมื่อออกแบบการทดลองแบบ Factorial in CRD สามารถจัดชุดการทดลองได้จำนวน 3X3X3 = 27 ชุดการทดลอง สำหรับโลหะแต่ละชนิดแต่ละชุดทดลองทำ 3 ซ้ำ วิธีการโดยนำตัวอย่างไคตินมาผสมกับสารละลายโลหะในอัตราส่วน 1:1 (น้ำหนัก:ปริมาตร) ภายใต้สภาวะของชุดทดลอง ทำการกวนด้วย Magnetic stirrerเป็นเวลา 5 นาทีทุกๆ 12 ชั่วโมงเมื่อครบเวลา 24 ชั่วโมงแล้วทำการแยกไคตินที่จับกับโลหะหนักออกด้วยการกรองผ่านกระดาษกรองปราศจากเถ้าเบอร์ 1 (Whatman No.1) นำสารละลายส่วนใสวิเคราะห์ปริมาณโลหะด้วยเครื่อง ICP-AES ข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA และ DMRT) (ไพศาล เหล่าสุวรรณ, 2531) เพื่อประเมินผลของความเข้มข้นโลหะ พีเอช และขนาดอนุภาคต่อความสามารถในการจับโลหะของไคติน ขณะเดียวกันชุดควบคุมใช้สารละลายโลหะที่ไม่มีการผสมไคติน

หลังจากนั้นทำการศึกษาปัจจัยกลุ่มสอง เมื่อออกแบบการทดลองแบบ Factorial in CRD สามารถจัดชุดการทดลองได้จำนวน 3X3 = 9 ชุดการทดลอง สำหรับโลหะแต่ละชนิดแต่ละชุดทดลองทำ 3 ซ้ำ โดยนำไคตินมาผสมกับสารละลายโลหะหนักแต่ละชนิด ตามสภาวะปัจจัยที่คัดเลือกที่ได้จากการทดลองในกลุ่มแรก แต่มีความแตกต่างในปัจจัยที่ทำการศึกษาในกลุ่มที่สอง ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างไคตินต่อสารละลายโลหะและเวลาที่ใช้ในการจับ ทำการกวนเป็นเวลา 5 นาทีทุกๆ 12 ชั่วโมงเก็บตัวอย่างที่ 24 , 48 และ 72 ชั่วโมง ทำการแยกไคตินที่จับกับโลหะหนักออกด้วยการกรองผ่านกระดาษกรองปราศจากเถ้าเบอร์ 1 (Whatman No.1) นำสารละลายส่วนใสมาวิเคราะห์ปริมาณโลหะ

ด้วยเครื่อง ICP-AES ข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA และ DMRT) (ไพศาล เหล่าสุวรรณ , 2531) เพื่อประเมินผลของอัตราส่วนระหว่างไคตินและสารละลายโลหะ และเวลาที่ใช้ต่อความสามารถในการจับโลหะของไคติน ขณะเดียวกันชุดควบคุมไม่มีการเติมไคติน

4. การศึกษาความสามารถในการจับโลหะหนักของไคโตแซน

ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการจับโลหะหนักของไคโตแซนประกอบด้วย ขนาดอนุภาคไคโตแซน ความเข้มข้นโลหะ พีเอช อัตราส่วนระหว่างไคโตแซนและสารละลายโลหะ ระยะเวลา และ ระดับในการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตแซน โดยทำการทดลองกับโลหะครั้งละ 1 ชนิดและแบ่งการทดลองออกเป็นดังนี้

4.1 ปัจจัยกลุ่มแรก ประกอบด้วย

- ขนาดอนุภาคไคโตแซน 3 ขนาดคือ 0.4 - 1.0 1.0 - 1.4 และ1.4 - 2.0 มม.
- ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนัก 3 ระดับคือ 2 3 และ 4 พีพีเอ็ม
- พีเอช 3 ระดับคือ 5 7 และ 9

4.2 ปัจจัยกลุ่มสอง ประกอบด้วย

- อัตราส่วนระหว่างไคโตแซนและสารละลายโลหะหนัก 3 ระดับ คือ 1:1 1:5 , และ 1:10 (มก./มล.)
- เวลาที่ใช้ในการจับ 3 ระดับคือ 24 48 และ72 ชั่วโมง
- ระดับของการกำจัดหมู่อะซิติล 3 ระดับ โดยใช้ไคโตแซนที่ผ่านการกำจัดหมู่อะซิติล1 2 และ 3 ครั้ง เมื่อทำการวิเคราะห์พบว่ามีค่าระดับการกำจัดหมู่อะซิติลคือ ร้อยละ 60.97 81.81 และ 86.69 ตามลำดับ

จากปัจจัยกลุ่มแรกดังกล่าวเมื่อออกแบบการทดลองแบบ Factorial in CRD สามารถจัดชุดการทดลองได้จำนวน 3X3X3 = 27 ชุดการทดลอง สำหรับโลหะแต่ละชนิด แต่ละชุดทดลองทำ 3 ซ้ำ วิธีการโดยนำตัวอย่างไคโตแซนมาผสมกับสารละลายโลหะในอัตราส่วน 1:1 (น้ำหนัก:ปริมาตร) ภายใต้สภาวะของชุดทดลอง แล้วทำการกวนเป็น

เวลา 5 นาทีทุกๆ 12 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างที่เวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการแยกไคโตแซนที่จับกับโลหะหนักออกด้วยการกรองผ่านกระดาษกรองปราศจากเถ้าเบอร์ 1 (Whatman No.1) นำสารละลายส่วนใสมาวิเคราะห์ปริมาณโลหะด้วยเครื่อง ICP-AES ข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ ทางสถิติ (ANOVA และ DMRT) (ไพศาล เหล่าสุวรรณ, 2531) เพื่อประเมินผลของความเข้มข้นโลหะ พีเอช และขนาดอนุภาคต่อความสามารถในการจับโลหะของไคโตแซน ชุดควบคุมมีลักษณะเดียวกันแต่ไม่มีการเติมไคโตแซน

หลังจากนั้นทำการศึกษาปัจจัยกลุ่มสอง เมื่อออกแบบการทดลองแบบ Factorial in CRD สามารถจัดชุดการทดลองได้จำนวน 3X3X3 = 27 ชุดการทดลอง สำหรับโลหะแต่ละชนิดแต่ละชุดทดลองทำ 3 ซ้ำ โดยนำไคโตแซนมาผสมกับสารละลายโลหะหนักแต่ละชนิด ตามสภาวะของปัจจัยที่คัดเลือกได้จากการทดลองในปัจจัยกลุ่มแรก เพื่อศึกษาหาปัจจัยกลุ่มสองคือ อัตราส่วนระหว่างไคโตแซนต่อสารละลายโลหะ เวลาที่ใช้ในการจับและระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตแซนต่างกัน ทำการกวนเป็นเวลา 5 นาที ทุกๆ 12 ชั่วโมงเก็บตัวอย่างที่ 24 , 48 และ 72 ชั่วโมง ทำการแยกไคโตแซนที่จับกับโลหะหนักออกด้วยการกรองผ่านกระดาษกรองปราศจากเถ้าเบอร์ 1 (Whatman No.1) นำสารละลายส่วนใสมาวิเคราะห์ปริมาณโลหะด้วยเครื่อง ICP-AES ข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA และ DMRT) (ไพศาล เหล่าสุวรรณ,2531) เพื่อประเมินผลของอัตราส่วนระหว่างไคโตแซนและสารละลายโลหะ ระดับในการกำจัดหมู่อะซิติล และเวลาต่อความสามารถในการจับโลหะของไคโตแซน โดยชุดควบคุมไม่มีการเติมไคโตแซน

5. การศึกษาการประยุกต์ใช้ไคตินและไคโตแซนเพื่อจับโลหะหนักในตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ

ตัวอย่าง

- สารละลายโครเมี่ยม ความเข้มข้น 4 พีพีเอ็ม โดยเตรียมจาก $Cr(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ ในน้ำปราศจากไอออน
- สารละลายตะกั่วความเข้มข้น 4 พีพีเอ็มโดยเตรียมจาก $Pb(NO_3)$ ในน้ำปราศจากไอออน
- น้ำทิ้งบ่อสุดท้ายก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ จากโรงงานอุตสาหกรรมปลาทูน่ากระป๋อง วิเคราะห์หา พีเอช ค่าความขุ่น ค่าซีโอดี ปริมาณ ของแข็งทั้งหมด (APHA, AWWA and WPCF, 1985) และปริมาณโลหะโครเมี่ยม และตะกั่วในตัวอย่างน้ำทิ้งบ่อสุดท้าย เริ่มต้น

5.1 การศึกษาการจับโครเมี่ยมและตะกั่วด้วยไคตินและไคโตแซนโดยใช้คอลัมน์เดี่ยว (Single column)

นำตัวอย่างสารละลายโลหะที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการแต่ละชนิดภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 3 และ 4 มาผ่านคอลัมน์ ที่บรรจุไคตินหรือไคโตแซนที่มีระดับความสูง 20 เซ็นติเมตร (น้ำหนัก 20 กรัม) ปริมาตรที่เคลื่อนที่ผ่านทั้งหมด 20 ลิตร เพื่อให้มีอัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์กับตัวอย่างสารละลายและเวลาที่ใช้ในการจับที่เหมาะสมจากผลการทดลองในข้อ 3 และ 4 โดยตัวอย่างสารละลายโลหะเคลื่อนที่เข้าทางด้านล่างของคอลัมน์และออกทางด้านบนของคอลัมน์ (รูปที่ 5) ความเร็วของสารละลายเข้าและออกควบคุมด้วยปั๊มในอัตราเร็วที่ศึกษา 3 ระดับคือ 800 1000 และ 1200 มิลลิลิตร/ ชั่วโมง

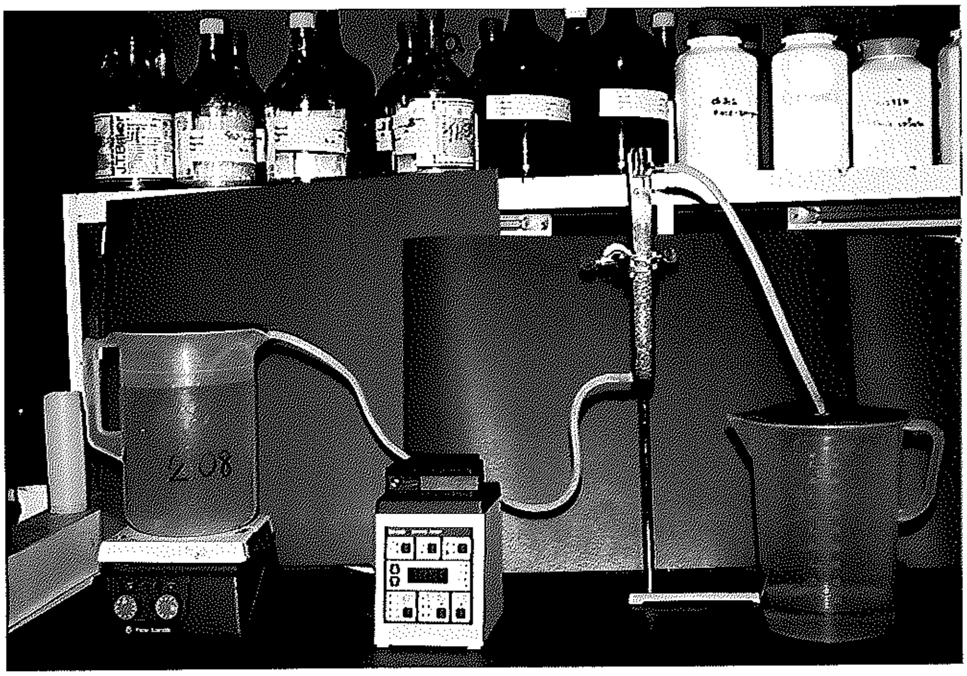
สำหรับโลหะแต่ละชนิดแต่ละชุดทดลองทำ 3 ซ้ำ นำสารละลายที่ผ่านคอลัมน์มาวิเคราะห์ปริมาณโลหะด้วยเครื่อง ICP-AES และข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA และ DMRT) (ไพศาล เหล่าสุวรรณ, 2531) เพื่อประเมินผลของอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของสารละลายต่อความสามารถในการจับโลหะแต่ละชนิดของไคตินและไคโตแซน นำสภาวะที่เหมาะสมที่คัดเลือกได้ มาใช้กับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมปลาทูน่า

กระป๋อง และวิเคราะห์หาค่า ซีโอดี ค่าความขุ่น ค่าของแข็งทั้งหมด (APHA, AWWA and WPCF, 1985) และปริมาณโลหะที่เหลือเมื่อตัวอย่างน้ำทิ้งผ่านคอลัมน์

5.2 การศึกษาการจับโครเมี่ยมและตะกั่วของไคตินและไคโตแซนโดยใช้คอลัมน์คู่ (Double column)

นำตัวอย่างสารละลายโลหะแต่ละชนิดภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 3 และ 4 มาผ่านคอลัมน์คู่ ที่บรรจุไคตินหรือไคโตแซนที่มีระดับความสูง 20 เซ็นติเมตร (น้ำหนัก 20 กรัม แต่ละคอลัมน์) ปริมาตรที่เคลื่อนที่ผ่านทั้งหมด 20 ลิตร เพื่อให้มีอัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์กับตัวอย่างสารละลายและเวลาที่ใช้ในการจับที่เหมาะสมจากผลการทดลองในข้อ 3 และ 4 โดยตัวอย่างสารละลายโลหะเคลื่อนที่เข้าทางด้านล่างของคอลัมน์ที่หนึ่งด้วยความเร็ว ที่ควบคุมด้วยปั๊มตัวที่หนึ่ง และเคลื่อนที่ออกทางด้านบนของคอลัมน์ที่หนึ่งเข้าสู่คอลัมน์ ที่สองทางด้านล่างด้วยความเร็วที่ควบคุมด้วยปั๊มตัวที่สอง และออกทางด้านบนของคอลัมน์ (รูปที่ 6) ความเร็วของสารละลายเข้าและออกควบคุมด้วยปั๊มในอัตราเร็วที่ศึกษา 3 ระดับคือ 800 1000 และ 1200 มิลลิลิตร/ ชั่วโมง

สำหรับโลหะแต่ละชนิดแต่ละชุดทดลองทำ 3 ซ้ำ นำสารละลายที่ผ่านคอลัมน์มาวิเคราะห์ปริมาณโลหะด้วยเครื่อง ICP-AES และข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ทางสถิติ (ANOVA และ DMRT) (ไพศาล เหล่าสุวรรณ, 2531) เพื่อประเมินผลของอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของสารละลายต่อความสามารถในการจับโลหะแต่ละชนิดของไคตินและไคโตแซน นำสภาวะที่เหมาะสมที่คัดเลือกได้ มาใช้กับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมปลาทูน่ากระป๋อง และวิเคราะห์หาค่า ซีโอดี ค่าความขุ่น ค่าของแข็งทั้งหมด (APHA, AWWA and WPCF, 1985) และปริมาณโลหะที่เหลือเมื่อตัวอย่างน้ำทิ้งผ่านคอลัมน์



รูปที่ 5 ลักษณะของคอลัมน์เดี่ยว (Single column)

รูปที่ 6 ลักษณะของคอลัมน์คู่ (Double column)

บทที่ 3

ผลและวิจารณ์

1. ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล

ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตแซนที่ทำการกำจัดหมู่อะซิติลครั้งที่ 1 2 และ 3 โดยการหาระดับการกำจัดหมู่อะซิติลด้วยเครื่อง Infared spectroscopy แสดงผลดังตารางที่ 1 พบว่าเมื่อจำนวนครั้งในการกำจัดหมู่อะซิติลเพิ่มขึ้นมีระดับการกำจัดหมู่อะซิติลเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 ระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตแซนที่กำจัดหมู่อะซิติลครั้งที่ 1 2 และ 3

จำนวนครั้งในการกำจัดหมู่อะซิติล	ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล (ร้อยละ)
1	60.97
2	81.81
3	86.89

2. ความสามารถในการจับโครเมียมของไคติน

ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการจับโครเมี่ยมของไคตินที่ประกอบด้วย ขนาดอนุภาคไคติน ความเข้มข้นของสารละลายโครเมี่ยม และพีเอช (ตารางที่ 4) พบว่า ความสามารถในการจับโครเมี่ยมของไคตินสูงขึ้น (P<0.05) เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโลหะเพิ่มขึ้นทุกระดับพีเอช และทุกขนาดอนุภาคที่ทำการศึกษา โดยที่ระดับความสามารถในการจับโครเมี่ยมของไคตินที่ระดับความเข้มข้น 4 พีพีเอ็ม สูงกว่าที่

ระดับความเข้มข้น 3 และ 2 ตามลำดับ ที่พีเอช 7.0 และขนาดอนุภาคไคติน 0.4 - 1.0 มิลลิเมตร (ประมาณร้อยละ 90.19) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Sagaguchi และคณะ (1981) ที่พบว่าปริมาณการดูดซับยูเรเนี่ยมด้วยไคตินฟอสเฟตเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายยูเรเนี่ยมเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของโลหะมากขึ้นปริมาณไอออนของโลหะมากขึ้นโอกาสในการสัมผัสกันระหว่างพอลิเมอร์กับไอออนมีมาก ผลที่ตามมาคือเกิดความสามารถในการจับไอออนโลหะเพิ่มขึ้น (Weber,1972)

ความสามารถในการจับโครเมี่ยมของไคตินขึ้นอยู่กับพีเอช ที่ระดับพีเอชต่ำคือ 5.0 ความสามารถในการจับของไคตินมีค่าต่ำกว่าที่ระดับพีเอช 7.0 และ 9.0 ทุกระดับความเข้มข้นของสารละลายโครเมี่ยมและทุกขนาดอนุภาคของไคติน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นมีผลต่อรูปแบบการเรียงตัวของอิเลคตรอน (electronic configuration) ซึ่งมีผลต่อการจับและแพร่ภายในอนุภาคของไคติน (intraparticular diffusion) และพีเอชยังเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเกิดสมดุลและ sorption isotherm ของการดูดซับที่เรียกว่า monolayer adsorption (Saucedo, *et al.*, 1992) นอกจากนี้ยังพบว่าพีเอชและความเข้มข้นของสาร ละลายโครเมี่ยมแสดงผลร่วมกันต่อความสามารถในการจับโครเมี่ยมของไคตินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 1)

ไคตินที่มีขนาดอนุภาคเล็ก (0.4 -1.0 มิลลิเมตร) มีแนวโน้มความสามารถในการจับโลหะโครเมี่ยมที่สูงกว่าไคตินที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวมากกว่าทำให้ความสามารถในการดูดจับที่สูงกว่า (Piron, *et al.*, 1996)

ดังนั้นจึงสามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมต่อความสามารถในการจับโครเมี่ยมของไคตินในการทดลองนี้คือ ขนาดอนุภาคไคติน 0.4 - 1.0 มิลลิเมตร ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Maruca (1982) ที่ศึกษาการจับโครเมี่ยมของไคตินและไคโตแซนพบว่าอนุภาคพอลิเมอร์ที่เล็กกว่า (<0.42 มม.) มีความสามารถในการจับโครเมี่ยมได้สูงกว่าอนุภาคที่ใหญ่กว่า (0.42-1.00 และ 2.00-4.00 มม.) สารละลายโครเมี่ยมเข้มข้น 4 พีพีเอ็ม ซึ่งเป็นความเข้มข้นสูงสุดที่ใช้ในการทดลอง และ พีเอช 9.0

ตารางที่ 4 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโครเมี่ยม ขนาดอนุภาค และพีเอชต่อความสามารถในการจับของไคติน [1]

ความเข้มข้นของสารละลายโครเมี่ยม (พีพีเอ็ม)	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	ความสามารถในการจับ (ร้อยละ) * พีเอช		
		5.0	7.0	9.0
1.988	0.4-1.0	40.09±1.19 [b]	72.43±2.02 [b]	76.69±2.61 [bc]
	1.0-1.4	32.62±1.17 [a]	71.86±2.86 [b]	71.34±2.03 [abc]
	1.4-2.0	31.91±1.23 [a]	64.23±2.06 [a]	67.10±2.14 [a]
3.009	0.4-1.0	47.10±1.93 [c]	82.01±2.45 [c]	84.80±1.73 [de]
	1.0-1.4	54.20±2.96 [d]	84.61±2.87 [b]	77.35±2.18 [c]
	1.4-2.0	39.03±2.16 [b]	74.61±2.06 [b]	71.18±2.78 [c]
4.017	0.4-1.0	57.87±2.74 [d]	90.19±1.78 [d]	89.86±2.50 [e]
	1.0-1.4	65.85±2.44 [e]	83.33±1.15 [c]	83.32±2.07 [d]
	1.4-2.0	46.98±1.39 [c]	86.38±1.03 [c]	71.53±1.37 [abc]

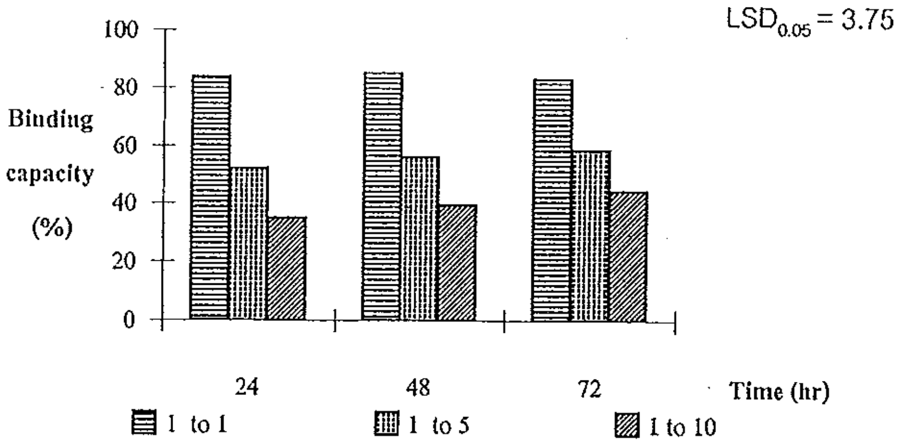
[1] อัตราส่วนระหว่างไคตินต่อสารละลายโลหะเท่ากับ 1:1 (นน./ปริมาตร)ที่เวลา 24 ชั่วโมง

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำที่มีอักษรเหมือนกันในแต่ละสดมภ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ผลการศึกษาปัจจัยอื่นที่มีผลต่อความสามารถในการจับโครเมี่ยมของไคติน คือ อัตราส่วนระหว่างไคตินต่อสารละลายโลหะโครเมี่ยม และเวลาในการจับคือ 24 48 และ 72 ชั่วโมง โดยใช้สารละลายโครเมี่ยมที่ความเข้มข้น 4 พีพีเอ็มจำนวน 50 มิลลิลิตรเท่ากันทุกชุดการทดลอง และใช้ไคติน 50 มิลลิกรัมสำหรับอัตราส่วน 1 ต่อ 1 และใช้ไคตินจำนวน 10 และ 5 มิลลิกรัมสำหรับอัตราส่วน 1 ต่อ 5 และ 1 ต่อ 10 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าความสามารถในการจับโครเมี่ยมลดลง ($P<0.05$) เมื่ออัตราส่วนระหว่างไคตินต่อสารละลายโลหะเพิ่มขึ้นทุกๆเวลาของการจับที่ทำการศึกษา (รูปที่ 7) และความสามารถในการจับโครเมี่ยมของไคติน ที่อัตราส่วนระหว่างไคตินต่อสารละลายโลหะเท่ากับ 1 ต่อ 1

สูงกว่าที่อัตราส่วนระหว่างไคตินต่อสารละลายโลหะ 1 ต่อ 5 และ 1 ต่อ 10 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนระหว่างไคตินต่อสารละลายโครเมี่ยมเพิ่มขึ้น จำนวนไคตินลดลง ทำให้ความสามารถในการจับลดลง

เมื่อพิจารณาผลของเวลาต่อความสามารถในการจับโครเมี่ยมของไคติน พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นความสามารถในการจับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากในการทดลองที่เวลา 24 ชั่วโมง คาดว่าความสามารถในการจับที่อิ่มตัวของโครเมี่ยมต่อไคติน ซึ่งผลการทดลองมีแนวโน้มเป็นไปในลักษณะเดียวกับการทดลองของ Annachhtre และคณะ (1996) ที่พบว่าอัตราเร็วของความสามารถในการจับคอปเปอร์ของไคโตแซนเกิดขึ้นเร็วมากในช่วงแรกประมาณ 2 ชั่วโมงมีค่าประมาณร้อยละ 50 และปริมาณการจับเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 70 เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 5 ชั่วโมง จนเพิ่มเป็นร้อยละ 86 ในเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 7 ผลของเวลาและอัตราส่วนระหว่างไคติน กับสารละลายโครเมี่ยมต่อความสามารถในการจับของไคติน

ดังนั้นจึงสามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมต่อความสามารถในการจับโครเมี่ยมของไคติน คือ การใช้ไคตินที่มีขนาดอนุภาค 0.4 -1.0 มิลลิเมตร กับสารละลายโครเมี่ยมเข้มข้น 4 พีพีเอ็ม ที่ระดับพีเอช 9.0 อัตราส่วนระหว่างไคตินต่อสารละลายโครเมี่ยมเท่ากับ 1 ต่อ 1 และเวลา 24 ชั่วโมง

3. ความสามารถในการจับตะกั่วของไคติน

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการจับตะกั่วของไคตินประกอบด้วยขนาดอนุภาคของไคติน ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วและพีเอช ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่าความสามารถในการจับตะกั่วของไคตินในแต่ละขนาดอนุภาคมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของโลหะมากขึ้น ปริมาณไอออนของโลหะเพิ่มขึ้นไปสัมผัสกับพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น ความสามารถในการจับจึงเพิ่มขึ้นเช่นกัน (Weber, 1972) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลของพีเอชต่อความสามารถในการจับตะกั่วของไคติน พบว่าเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นจาก 5.0 เป็น 9.0 ความสามารถในการจับตะกั่วของไคตินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างพีเอช 7.0 กับ 9.0 ในทุกขนาดอนุภาคและทุกระดับความเข้มข้น และเมื่อพิจารณาถึงผลร่วมของพีเอชและความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วพบว่าทั้งสองปัจจัยมีผลร่วมกัน ต่อความสามารถในการจับตะกั่วของไคติน (ตารางผนวกที่ 3) ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกับที่กล่าวแล้วข้างต้น ขนาดอนุภาคของไคตินมีผลต่อความสามารถในการจับตะกั่ว โดยพบว่าไคตินที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่ามีแนวโน้มที่สามารถจับตะกั่วได้ดีกว่าไคตินที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าที่พีเอช 5.0 แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) เมื่อพีเอชเท่ากับ 7.0 และ 9.0

ดังนั้นจึงสามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมต่อความสามารถในการจับตะกั่วของไคตินคือ การใช้ไคตินที่มีขนาดอนุภาค 1.4 - 2.0 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าการจับโครเมี่ยมของไคติน ทั้งนี้เนื่องจากตะกั่วมีความสามารถในการจับสูงกว่าโครเมี่ยม แสดงว่าตะกั่วมี binding affinity สูงกว่าโครเมี่ยม ส่วนความเข้มข้นสารละลายตะกั่วที่ใช้คือ 4 พีพีเอ็ม ซึ่งเป็นความเข้มข้นสูงสุดที่ใช้ในการทดลอง และที่ระดับพีเอช 7.0 เพื่อการศึกษาต่อไป

ตารางที่ 5 ผลของความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว ขนาดอนุภาค และพีเอชต่อความสามารถในการจับของไคติน [1]

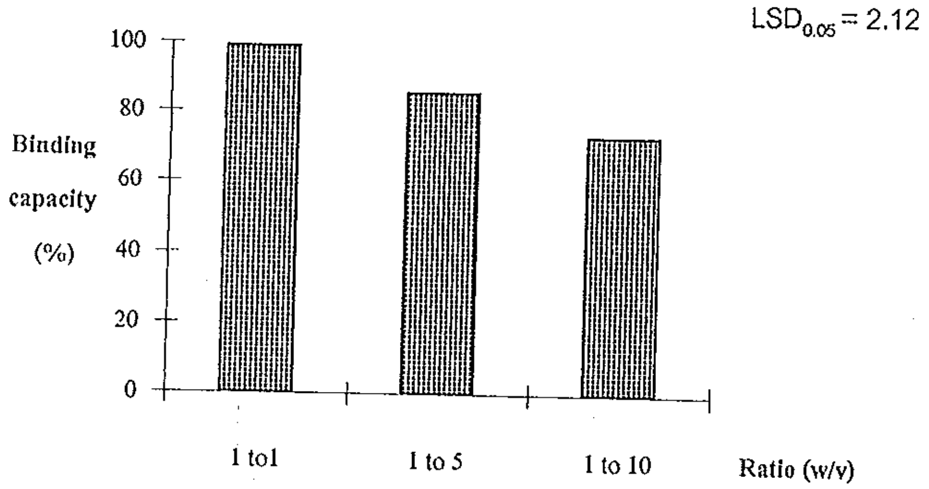
ความ เข้มข้นของสารละลายตะกั่ว (พีพีเอ็ม)	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	ความสามารถในการจับ (ร้อยละ) * พีเอช		
		5.0	7.0	9.0
1.988	0.4 -1.0	69.00±1.5 [bc]	99.00±0.50[c]	99.00±1.00 [c]
	1.0 -1.4	55.88±0.49 [a]	98.36±0.05[bc]	99.00±1.00 [c]
	1.4 -2.0	53.81±1.98 [a]	97.40±0.05 [a]	96.95±0.16 [a]
3.009	0.4 -1.0	73.64±1.00 [cd]	98.00±1.00[ab]	98.87±0.20[abc]
	1.0 -1.4	64.24[b]±2.00 [b]	98.44±0.08 [bc]	97.51±0.28[ab]
	1.4 -2.0	69.46±2.00 [bc]	98.03±0.08 [abc]	97.34±0.18[ab]
4.017	0.4 -1.0	78.27±1.75 [d]	98.73±0.35 [bc]	98.58±0.23 [ab]
	1.0 -1.4	69.82±1.41 [bc]	98.7±0.20 [bc]	97.78±0.60 [bc]
	1.4 -2.0	71.47±0.89 [c]	97.54±0.23 [ab]	97.32±0.76 [a]

[1] อัตราส่วนระหว่างไคตินต่อสารละลายโลหะเท่ากับ 1:1 (นน./ปริมาตร)ที่เวลา 24 ชั่วโมง

* ค่าเฉลี่ย± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ ที่มีอักษรเหมือนกันในแต่ละสดมภ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

เนื่องจากผลการทดลองในตารางที่ 5 แสดงความสามารถในการจับตะกั่วของไคตินมีค่าใกล้ 100 (การจับสมบูรณ์) ที่พีเอช 7.0 ขนาดอนุภาคทั้ง 3 ขนาด (0.4-1.0 1.0-1.4 และ 1.4-2.0 มม.) ความสามารถในการจับไม่มีความแตกต่างกัน จึงเลือกขนาดอนุภาค 1.4-2.0 มม. เพื่อไม่ต้องเสียเวลาในการลดขนาด และสารละลายตะกั่วเข้มข้น 4.017 พีพีเอ็ม เมื่อใช้เวลา 24 ชั่วโมง ดังนั้นในการทดลองต่อมาจึงได้ศึกษาเฉพาะผลของอัตราส่วนระหว่างไคตินต่อสารละลายโลหะตะกั่วต่อความสามารถในการจับตะกั่วของไคติน ซึ่งทำการทดลองโดยใช้สารละลายตะกั่ว ที่ความเข้มข้น 4 พีพีเอ็มในปริมาตร 50 มิลลิลิตร เท่ากันทุกชุดการทดลอง และใช้ไคติน 50 10 และ 5 มิลลิกรัมสำหรับอัตราส่วน

1 ต่อ 1 , 1 ต่อ 5 และ 1 ต่อ 10 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าความสามารถในการจับตะกั่วลดลง (P < 0.05) เมื่อสัดส่วนระหว่างไคตินต่อสารละลายโลหะลดลงทุกเวลาของการจับที่ทำการศึกษา (รูปที่ 8) และพบว่าความสามารถในการจับตะกั่วของไคตินที่อัตราส่วนระหว่างไคตินต่อสารละลายโลหะเท่ากับ 1 ต่อ 1 สูงกว่าอัตราส่วนของไคตินต่อสารละลายโลหะเท่ากับ 1 ต่อ 5 และ 1 ต่อ 10 ตามลำดับ



รูปที่ 8 ผลของอัตราส่วนระหว่างไคตินต่อสารละลายตะกั่วต่อความสามารถในการจับของไคติน

เนื่องจากความสามารถในการจับตะกั่วของไคตินที่พีเอช 7.0 และ 9.0 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) แต่ได้เลือกพีเอช 7.0 ไปศึกษาในขั้นตอนต่อไปเนื่องจากน้ำทิ้งจากโรงงานปลาทูน่ากระป๋องที่ปล่อยออกสู่ธรรมชาติโดยทั่วไปมีพีเอชประมาณ 6.0 - 7.0 ซึ่งไม่มีความจำเป็นที่ต้องปรับพีเอชเมื่อนำไปใช้กับน้ำทิ้ง ส่วนสภาวะที่เหมาะสมอื่นประกอบด้วย ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว 4 พีพีเอ็ม ขนาดอนุภาคไคติน 1.4 - 2.0 มิลลิเมตร อัตราส่วนระหว่างไคตินต่อสารละลายตะกั่วเท่ากับ 1 ต่อ 1 และใช้เวลา 24 ชั่วโมง

4. ความสามารถในการจับโครเมียมของไคโตแซน

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการจับโครเมียมของไคโตแซน ประกอบด้วย ความเข้มข้นของสารละลายโครเมี่ยม พีเอช และ ขนาดอนุภาคของไคโตแซน พบว่าความสามารถในการจับโครเมี่ยมของไคโตแซนมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโลหะเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 6) เป็นไปในแนวเดียวกับกับการทดลองของ Sagaguchi และคณะ(1981) ซึ่งพบว่าปริมาณการดูดซับยูเรเนี่ยมด้วยไคโตแซนฟอสเฟตเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง เมื่อความเข้มข้นของสารละลายยูเรเนี่ยมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าความสามารถในการจับโครเมี่ยมของไคโตแซนมีค่าสูงสุดที่ระดับความเข้มข้นของโลหะ 4 พีพีเอ็ม (ประมาณร้อยละ 88.07) การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารละลายโลหะเป็นปัจจัยหลักของการควบคุมการแพร่ภายในโมเลกุล (Saucedo,*et al.*, 1992) อีกทั้งเนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของโลหะมากขึ้นปริมาณไอออนของโลหะมากขึ้นช่วยเพิ่มโอกาสการสัมผัสไอออนโลหะกับพอลิเมอร์มากขึ้นอีกทั้งเป็นการเพิ่มการแพร่ของไอออนโลหะเข้าสัมผัสหรือเข้าสู่อนุภาคมากขึ้น ผลที่ตามมาคือความสามารถในการจับเพิ่มขึ้น (Weber,1972)

ความสามารถในการจับโครเมี่ยมของไคโตแซนยังขึ้นอยู่กับพีเอช โดยพบว่าที่ระดับพีเอชต่ำคือ 5.0 ความสามารถในการจับของไคโตแซนมีค่าต่ำกว่าที่ระดับพีเอช 7.0 และ 9.0 ทุกระดับความเข้มข้นของสารละลายโครเมี่ยม และทุกขนาดอนุภาคของไคติน Saucedo และคณะ (1992) กล่าวว่าการเปลี่ยนแปลงของพีเอชทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหมู่อะมิโนอิสระของไคโตแซน และรูปแบบการเรียงตัวของอิเลคตรอน (electronic configuration) ของโลหะ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักสำคัญในการควบคุมการจับและการแพร่ภายในโมเลกุล ซึ่งรูปแบบการแพร่ของโลหะเพื่อเข้าไปจับกับไคโตแซนประกอบด้วยหลายขั้นตอนคือ ลำดับแรกเกิดการเคลื่อนที่ของโลหะจากสารละลาย (bulk solution) ไปเกาะยังชั้นฟิล์มของของเหลวที่หุ้มผิวนอกของไคโตแซน ต่อมาเป็นการเคลื่อนที่ของโลหะผ่านฟิล์ม (boundary film) ของเหลวที่หุ้มไคโตแซนไปยังผิวของไคโตแซน ต่อมาเป็นการเคลื่อนที่ของโลหะจากผิวผ่านเข้าไปภายใน (intraparticular transfer) ตรงบริเวณที่มีความ

จำเพาะสุดท้ายเกิดการจับกันของไอออนโลหะตรงจุดที่มีความว่องไว ซึ่งอาจเกิดลักษณะการจับกันแบบเชิงซ้อน การดูดซับ หรือการตกตะกอนภายในอนุภาค โดยพบว่าลำดับแรกมีความสัมพันธ์กับการตีกวนและความสม่ำเสมอของสารละลายโลหะ ลำดับต่อมาจะบอกถึงความต้านทานต่อการถ่ายเทมวลฟิลม์ (Film mass transfer resistance) และจะบอกถึง Intraparticular diffusion model และลำดับสุดท้ายเกิดขึ้นเร็วมากและไม่มีข้อจำกัดในจุดนี้ ที่สำคัญพบว่ากลไกในลำดับสุดท้ายและรองสุดท้ายเป็นขั้นควบคุมความเร็วในการจับโลหะของพอลิเมอร์ (Weber and Moris, 1962 ; Base and Mesmer, 1976 ; Jansson-charrier, 1995)

ตารางที่ 6 ผลของความเข้มข้นของสารละลายโครเมี่ยม ขนาดอนุภาค และพีเอชต่อความสามารถในการจับของไคโตแซน [1]

ความเข้มข้นของสารละลายโครเมี่ยม (พีพีเอ็ม)	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	ความสามารถในการจับ (ร้อยละ) * พีเอช 5.0	7.0	9.0
1.988	0.4-1.0	50.57±1.06 ^{bc}	65.87±1.15 ^{a}	70.09±2.11 ^{c}
	1.0-1.4	46.01±2.20 ^{b}	62.35±2.08 ^{a}	63.99±2.59 ^{ab}
	1.4-2.0	42.29±1.64 ^{a}	64.88±0.76 ^{a}	62.17±1.05 ^{a}
3.009	0.4-1.0	53.25±2.41 ^{c}	71.98±2.27 ^{bc}	85.58±1.14 ^{e}
	1.0-1.4	52.27±2.80 ^{c}	65.22±1.35 ^{a}	69.62±1.76 ^{c}
	1.4-2.0	49.21±1.72 ^{bc}	67.98±3.02 ^{abc}	75.40±1.90 ^{d}
4.017	0.4-1.0	66.11±2.06 ^{e}	73.96±1.66 ^{c}	88.07±1.34 ^{e}
	1.0-1.4	58.60±1.57 ^{d}	71.93±2.54 ^{bc}	74.58±2.14 ^{d}
	1.4-2.0	64.09±1.66 ^{e}	67.38±2.36 ^{ab}	67.72±1.47 ^{bc}

[1] อัตราส่วนระหว่างไคโตแซนต่อสารละลายโลหะเท่ากับ1:1(นน./ปริมาตร)ที่เวลา24 ชั่วโมง

* ค่าเฉลี่ย± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ ที่มีอักษรเหมือนกันในแต่ละสดมภ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

จากการศึกษาความสามารถในการจับยูเรเนี่ยมของไคโตแซนโดย Saucedo และคณะ (1992) พบว่าความสามารถในการจับมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อพีเอชเพิ่มจาก 3.0 เป็น 5.0 ขณะที่พีเอชประมาณ 6.0 ความสามารถในการจับเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับการทดลองของ Jha และคณะ (1988) ที่พบว่าความสามารถในการจับแคดเมี่ยมที่พีเอชประมาณ 3.0 มีค่าเพียงร้อยละ 15 และมีค่าเพิ่มมากขึ้นเป็นร้อยละ 80 เมื่อพีเอชของสารละลายโลหะเพิ่มขึ้น 1 หน่วย Annachhatre และคณะ (1996) พบว่าความสามารถในการจับ แคดเมี่ยมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อพีเอชเพิ่มขึ้นจาก 4.0 เป็น 8.3 และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อพีเอช 9.0 ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่า ที่พีเอชต่ำไอออนของโลหะเกิดการแย่งกันจับกับไฮโดรเนี่ยมไอออน (H_3O^+) ตรงหมู่อะมิโนอิสระของไคโตแซนซึ่งเป็นหมู่ที่ว่องไว ทำให้หมู่อะมิโนอิสระของไคโตแซนอยู่ในรูปของแอมโมเนี่ยม (NH_3^+) ซึ่งมีประจุบวกที่ไม่สามารถจับกับไอออนโลหะ นอกจากนี้พบว่าการเพิ่มขึ้นของพีเอชทำให้หมู่อะมิโนอิสระขอ ไคโตแซนอยู่ในรูปของ $-NH_2$ หรือ NH^+ ซึ่งมีอิเลคตรอนอิสระที่สามารถเกิด coordination complex กับไอออนโลหะ อีกทั้งการเพิ่มพีเอชทำให้การละลายของไอออนลดลงและ ไอออนโลหะอยู่ในรูปของโลหะไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นทำให้การจับเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการทดลองของ Jansson-Charrier (1995) ที่ศึกษาความสามารถในการจับวาเนเดี่ยมของไคโตแซน พบว่าการเพิ่มขึ้นของพีเอชทำให้เกิดปฏิกิริยา hydroxylation ของประจุบวกดังสมการ (Base and Mesmer, 1976)

$$VO^{2+} + 2H_2O \rightleftharpoons VO(OH)^+ H_3O^+ \qquad pKa = 5.6$$

$$2VO^{2+} + 4H_2O \rightleftharpoons (VO)_2(OH)_2^{2+} + 2H_3O^+ \qquad pKa = 6.67$$

จากสมการอาจกล่าวได้ว่าพีเอชมีผลต่อการกระจายชนิด (species) ของวาเนเดี่ยม นอกจากนี้ที่พีเอชน้อยกว่า 4.0 จะไม่พบวาเนเดี่ยมในรูปของ OH^- แต่เมื่อพีเอชเพิ่ม มากกว่า 6.0 สิ่งที่พบคือ $(VO)_2(OH)_2^{2+}$ เพิ่มมากขึ้นทำให้ความสามารถในการจับเพิ่มขึ้นด้วยซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของโลหะด้วย สอดคล้องกับการทดลองของ Guibal และคณะ(1992) และ Saucedo (1993) ที่พบว่าความสามารถในการจับของยูเรเนี่ยมของไคโตแซนมีมากที่สุดเมื่อเกิดไฮดรอกไซด์ของไอออนโลหะ และในทำนองเดียวกันกับการศึกษาการจับคอปเปอร์และโคบอลท์ด้วยมวลชีวภาพของเชื้อรา (fungal biomass) ซึ่งมี

องค์ประกอบของไคตินและไคโตแซนเป็นองค์ประกอบหลัก (Guibal, 1990 อ้างโดย Guibal, *et al.*, 1994) ในทางตรงกันข้ามหากพีเอชต่ำๆ จะเกิดปฏิกิริยา protonation ของไคโตแซน ทำให้ประจุหมู่อะมิโนของไคโตแซนเป็นบวก (NH_3^+) ไม่สามารถจับกับประจุบวกของไอออนโลหะได้ ทำให้การจับของไคโตแซนลดลง นอกจากนี้พบว่าความสามารถในการจับของโลหะทั่วไปของไคโตแซนมีค่าลดลงเมื่อพีเอชของสารละลายโลหะลดลงจาก 7.0 เป็น 2.5 (Muzzarelli and Turbetini ,1969)

เมื่อพิจารณาผลร่วมกันระหว่างความเข้มข้นของสารละลายโลหะและพีเอชพบว่าเกิดผลร่วมกันต่อความสามารถในการจับโครเมี่ยมของไคโตแซนอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) (ตารางผนวกที่ 9) ทั้งนี้เนื่องจากพีเอชมีผลชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารละลายโลหะโดยลักษณะทางเคมีที่สำคัญคือเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเรียงตัวของอิเลคตรอน (electronic configuration) ทำให้การละลายลดลง (Jansson - Charrier, 1995) อีกทั้งการเรียงตัวของอิเลคตรอนของไอออนโลหะยังเป็นปัจจัยหลักในการควบคุมการแพร่ภายในโมเลกุล (Saucedo, *et al.*,1992)

ไคโตแซนที่มีขนาดอนุภาคเล็ก (0.4-1.0 มิลลิเมตร) มีแนวโน้มความสามารถในการจับโลหะโครเมี่ยมได้ดีกว่าไคโตแซนที่มีขนาดใหญ่ในทุกระดับพีเอชและความเข้มข้นของสารละลายโลหะที่ทำการศึกษา ซึ่งเป็นไปในแนวเดียวกับการทดลองของ Muzzrelli และคณะ(1980) ที่พบว่าขนาดอนุภาคไคโตแซนมีผลต่อความสามารถในการจับโลหะ โดยพบว่าขนาดอนุภาคไคโตแซนที่เล็กกว่า (<0.25 มม.) มีแนวโน้มความสามารถในการจับที่สูงกว่าขนาดอนุภาคไคโตแซนที่สูงกว่า (>0.25 มม.) โดยโลหะที่ทำการศึกษาคือ ไอออนคิวปริก และ ไอออนเมอร์คิวริก ในลักษณะเดียวกันนี้ Jansson - Charrier และคณะ(1995) รายงานว่าขนาดอนุภาคไคโตแซนมีผลต่อความสามารถในการจับโลหะ และอธิบายว่าความสามารถในการจับโลหะของไคโตแซนเป็นฟังก์ชันกับพื้นที่ผิวจำเพาะ (specific area) การลดขนาดเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวของแต่ละอนุภาค (Guibal, *et al.*,1994) โดยพบว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็กมีความสามารถในการคลื่อนที่ของอนุภาคที่มากกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ ทำให้มีความสามารถในการจับสูงกว่า (Piron, *et al.*, 1996) นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของขนาดอนุภาคทำให้การแพร่เข้าไปภายในอนุภาคของไอออนของโลหะจึงใช้เวลานานขึ้น (Jansson - Charrier, *et al.*,1995) ดังนั้นจึงสามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมต่อความสามารถในการจับโครเมี่ยมของไคโตแซนในการทดลองนี้ คือ การใช้

ไคโตแซนที่มีขนาดอนุภาค 0.4 - 1.0 มิลลิเมตร กับสารละลายโครเมี่ยมเข้มข้น 4 พีพีเอ็ม ที่ระดับพีเอช 9.0 เพื่อการศึกษาต่อไป

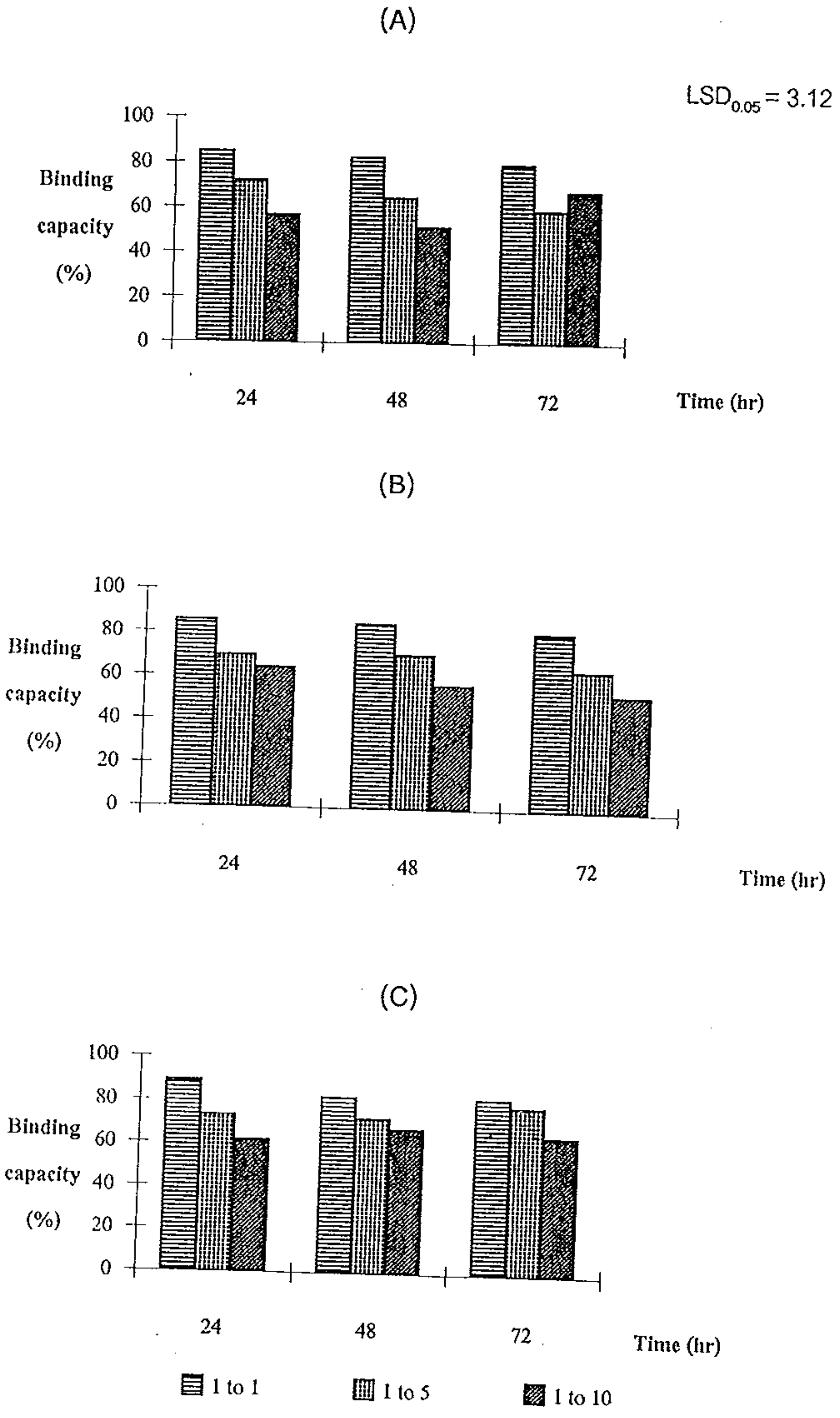
ต่อมาได้ทำการศึกษาปัจจัยอื่นได้แก่อัตราส่วนระหว่างไคโตแซนกับสารละลายโลหะ ระยะเวลาและระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตแซน พบว่าเมื่ออัตราส่วนระหว่างไคโตแซนต่อสารละลายโลหะเพิ่มขึ้นความสามารถในการจับโครเมี่ยมของไคโตแซนมีแนวโน้มลดลง ($P<0.05$) ทุกระดับเวลาที่ทำการทดลอง (รูปที่ 9) ความสามารถในการจับประมาณร้อยละ 84.87 เมื่ออัตราส่วนระหว่างไคโตแซนต่อสารละลายโลหะเท่ากับ 1 ต่อ 1 และค่าความสามารถในการจับของไคโตแซนประมาณร้อยละ 56.86 เมื่ออัตราส่วนระหว่างไคโตแซนต่อสารละลายโลหะเท่ากับ 1 ต่อ 10 แสดงว่าเมื่อปริมาณของไคโตแซนลดน้อยลงประสิทธิภาพความสามารถในการจับโครเมี่ยมมีค่าลดลง ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมคืออัตราส่วนระหว่างไคโตแซนต่อสารละลายโครเมี่ยมเท่ากับ 1 :1

เมื่อพิจารณาผลของเวลาต่อความสามารถในการจับโครเมี่ยมของไคโตแซน (รูปที่ 9) พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ความสามารถในการจับไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ดังนั้นการใช้เวลา 24 ชั่วโมงก็เพียงพอต่อการจับ ซึ่งคาดว่าเป็นเวลาที่เกิดการจับโครเมี่ยมอย่างอิ่มตัวของไคโตแซน ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกับการทดลองของ Jha และคณะ (1988) ที่พบว่าความสามารถในการจับแคดเมี่ยมของไคโตแซนในช่วงแรกเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและหลังจาก 4 ชั่วโมง ความสามารถเพิ่มขึ้นเล็กน้อย นอกจากนี้ Ramachandran Nair และ Madhavan (1982) ยังรายงานว่าความสามารถในการจับโลหะชนิดต่างๆของไคโตแซนเกิดขึ้นเร็วมากในเวลา 1 ชั่วโมงแรกของการจับ และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหรืออาจคงที่หลังจาก 3 ชั่วโมงซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของไอออนโลหะที่จับ โดยพบว่าความสามารถในการจับสูงสุดและต่ำสุดเมื่อจับไอออนเมอร์คิวรี่ และ ไอออนโคบอลท์ ตามลำดับ

ความสามารถในการจับโครเมี่ยมของไคโตแซนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ไคโตแซนที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิติลเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Kurita และคณะ (1986) ที่ศึกษาผลของปริมาณหมู่อะมิโนต่อความสามารถในการจับของไคโตแซน โดยพบว่าไคโตแซนที่มีปริมาณหมู่อะมิโนที่สูงกว่ามีความสามารถในการดูดจับไอออนโลหะได้มากกว่า จากผลดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่าเกิดจากการรวมตัวกัน (coordination) ของ

ไนโตรเจนของหมู่อะมิโนของไคโตแซน ซึ่งเป็นจุดที่ว่องไวต่อการจับไอออนโลหะ (Trezos and Volsky, 1981) แต่จากการทดลองครั้งนี้ใช้ไคโตแแซนที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิติลต่างกันคือ ร้อยละ 60.97 81.81 และ 86.69 เมื่อระดับการกำจัดหมู่อะซิติลเพิ่มขึ้นความสามารถในการจับโครเมี่ยมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) จากปรากฏการณ์นี้ แสดงว่าความสามารถในการจับโครเมี่ยมของไคโตแซนไม่ได้เกิดจากปริมาณหมู่อะมิโนอย่างเดียว อาจเกิดจากกลไกอื่นที่มีผลต่อความสามารถในการจับโครเมี่ยมของไคโตแซน (Kurita, *et al.*, 1986) กลไกการจับโลหะของไคโตแซนที่อาจเป็นไปได้คือเกิดการดูดซับ (Adsorption) หรือ การแพร่ของโลหะเข้าภายในอนุภาคของไคโตแซน (Diffusion) (Onosoyen and Skaugrud, 1990)

ดังนั้นจึงสามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมต่อความสามารถในการจับโครเมี่ยมของไคโตแซนในการทดลองนี้คือ การใช้ไคโตแซนที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิติลร้อยละ 60.97 ขนาดอนุภาค 0.4 - 1.0 มิลลิเมตร กับสารละลายโครเมี่ยมความเข้มข้น 4 พีพีเอ็ม ที่พีเอช 9.0 และอัตราส่วนระหว่างไคโตแซนต่อสารละลายโครเมี่ยมเท่ากับ 1 ต่อ 1 โดยใช้เวลาในการจับ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 9 ผลของอัตราส่วนระหว่างไคโตแซนต่อสารละลายโครเมี่ยม ระยะเวลาและระดับของการกำจัดหมู่อะซิติลร้อยละ (A),60.97% ;(B),81.81% และ (C), 86.69 % ต่อความสามารถในการจับของไคโตแซน

5. ความสามารถในการจับตะกั่วของไคโตแซน

ผลการทดลองพบว่าความสามารถในการจับตะกั่วของไคโตแซนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วเพิ่มขึ้นที่ พีเอช 5.0 ของแต่ละขนาดอนุภาค ส่วนที่พีเอช 7.0 และ 9.0 ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วไม่มีผลต่อความสามารถในการจับอย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ในทุกขนาดอนุภาคไคโตแซนที่ศึกษา (ตารางที่ 6) ทั้งนี้เนื่องจากที่พีเอชต่ำอาจเกิดการแย่งกันจับของ H_3O^+ และไอออนของโลหะตรงตำแหน่งที่ว่องไวของไคโตแซน ทำให้ความสามารถในการจับลดลง (Jha, *et. al.*, 1988) ซึ่งตรงกับรายงานของ Muzzarelli และ Tubertini (1969) ที่พบว่าความสามารถในการจับโลหะหลายตัวมีค่าลดลงเมื่อพีเอชลดลงจาก 7.5 เป็น 2.5 และ Trezos (1983) ได้ศึกษาการจับยูเรเนี่ยมด้วยไคโตแซน นอกจากนี้ในสภาวะของสารละลายที่เป็นกรดอาจเกิดการบวมพอง (swelling) ของไคโตแซน เมื่อมีความเป็นกรดมากขึ้น การพองก็มากขึ้น ทำให้พื้นที่ที่จะสัมผัสกับกรดก็มากขึ้นเกิดการละลายเพิ่มขึ้นโดยการละลายจะใช้หมู่ที่ชอบน้ำ (หมู่อะมิโน) จับกับโมเลกุลของน้ำ ทำให้ความหนาแน่นของของหมู่อะมิโนที่มีผลต่อการจับไอออนโลหะลดลง (Xian and Junhui, 1996) และจากผลการทดลองพบว่าที่พีเอช 7.0 และ 9.0 ความสามารถในการจับตะกั่วของไคโตแซนมีค่าเกือบสมบูรณ์ และไม่มีความแตกต่างกัน ($P<0.05$) ในทุกขนาดอนุภาคและทุกระดับความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว(ตารางที่ 7)

นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของโลหะและพีเอชเป็นปัจจัยที่แสดงผลร่วมกันต่อความสามารถในการจับตะกั่วของไคโตแซน (ตารางผนวกที่ 13) ซึ่งเป็นผลเนื่องจากความเข้มข้นของโลหะและพีเอชทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารละลายโลหะและเป็นปัจจัยหลักในการควบคุมการแพร่ภายในของโมเลกุล (Saucedo, *et al.*, 1992)

ไคโตแซนที่มีขนาดอนุภาคต่างกันมีความสามารถในการจับตะกั่วได้ต่างกัน โดยพบว่าไคโตแซนที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า มีแนวโน้มความสามารถในการจับที่สูงกว่าไคโตแซนที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกับการทดลองของ Jha และคณะ (1988) ที่พบว่าขนาดอนุภาคของไคโตแซนที่เล็กกว่าสามารถจับได้สูงกว่าเช่น

เดียวกับ Guibal และคณะ (1994) Milot และคณะ (1996) ทั้งนี้เนื่องจากขนาดอนุภาคที่เล็กกว่ามีพื้นที่ผิวที่มากกว่า และสามารถเข้าสู่สภาวะที่สมดุลได้เร็วกว่า (Muzzarelli, *et al.*, 1970)

ตารางที่ 7 ผลของความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว ขนาดอนุภาค และพีเอชต่อความสามารถในการจับของไคโตแซน [1]

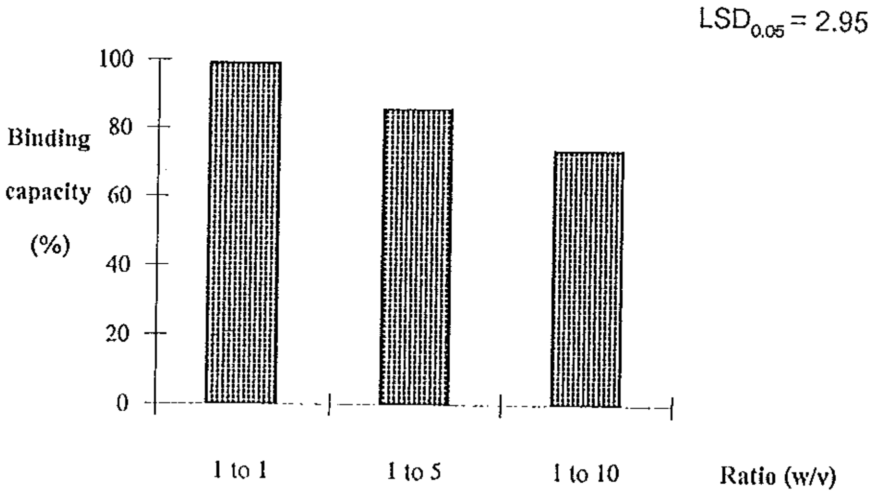
ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว (พีพีเอ็ม)	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	ความสามารถในการจับ (ร้อยละ) * พีเอช		
		5.0	7.0	9.0
1.988	0.4 -1.0	68.22±1.05 [ab]	99.00±1.00 [b]	99.00±1.00 [b]
	1.0 -1.4	67.19±1.50 [ab]	99.00±1.00 [b]	96.66±0.26 [abc]
	1.4 -2.0	65.97±1.01 [a]	99.00±1.00 [b]	96.96±0.47 [bc]
3.009	0.4 -1.0	72.96±2.19 [b]	98.46±0.18 [b]	99.00±1.00 [c]
	1.0 -1.4	71.31±1.00 [ab]	98.57±0.10 [b]	99.00±1.00 [c]
	1.4 -2.0	67.99±1.01 [ab]	98.07±0.22 [b]	98.25±0.20 [bc]
4.017	0.4 -1.0	85.87±1.32 [c]	96.59±1.12 [a]	95.49±0.15 [ab]
	1.0 -1.4	88.33±2.16 [c]	97.99±1.02 [b]	94.87±1.16 [a]
	1.4 -2.0	86.00±1.16 [c]	98.88±0.36 [b]	95.42±1.55 [a]

[1]อัตราส่วนระหว่างไคโตแซนต่อสารละลายโลหะเท่ากับ1:1(นน./ปริมาตร)ที่เวลา24 ชั่วโมง

* ค่าเฉลี่ย± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ ที่มีอักษรเหมือนกันในแต่ละสดมภ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมต่อความสามารถในการจับตะกั่วของไคโตแซน คือ การใช้ไคโตแซนที่มีขนาดอนุภาค 1.4 -2.0 มิลลิเมตร กับสารละลายตะกั่วเข้มข้น 4 พีพีเอ็ม ที่ระดับพีเอช 7.0 สภาวะดังกล่าวพบว่าความสามารถในการจับตะกั่วของไคโตแซนเกือบ

สมบูรณ์ดังนั้นในการศึกษาปัจจัยอื่นต่อมาจึงศึกษาเฉพาะผลของอัตราส่วนระหว่างไคโตแซนต่อสารละลายตะกั่ว พบว่าเมื่ออัตราส่วนระหว่างไคโตแซนต่อสารละลายตะกั่วเพิ่มขึ้นความสามารถในการจับตะกั่วของไคโตแซนมีแนวโน้มลดลง ($P<0.05$) (รูปที่ 10) ความสามารถในการจับประมาณร้อยละ 99 เมื่ออัตราส่วนระหว่างไคโตแซนต่อสารละลายโลหะเท่ากับ 1 ต่อ 1 และค่าความสามารถในการจับของไคโตแซน ต่ำสุดประมาณร้อยละ 73.5 เมื่ออัตราส่วนระหว่างไคโตแซนต่อสารละลายโลหะเท่ากับ 1 ต่อ 10



รูปที่ 10 ผลของอัตราส่วนระหว่างไคโตแซนต่อสารละลายตะกั่วต่อความสามารถในการจับของไคโตแซน

ดังนั้นจึงสามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมต่อความสามารถในการจับตะกั่วของไคโตแซนในการทดลองนี้คือ การใช้ไคโตแซนที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิติลร้อยละ 60.97 ขนาดอนุภาค 0.4 - 1.0 มิลลิเมตร กับสารละลายตะกั่วความเข้มข้น 4 พีพีเอ็มที่พีเอช 7.0 และอัตราส่วนระหว่างไคโตแซนต่อสารละลายตะกั่วเท่ากับ 1 ต่อ 1 โดยใช้เวลาในการจับ 24 ชั่วโมง

6. การประยุกต์ใช้ไคตินและไคโตแซนเพื่อกำจัดโลหะหนักในตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำ

6.1 การศึกษาการกำจัดโครเมี่ยมและตะกั่วด้วยไคตินและไคโตแซนโดยใช้คอลัมน์เดี่ยว

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการจับโลหะหนักของไคตินและไคโตแซนแบบกะ (ข้อ2 - 5) สามารถสรุปสภาวะที่เหมาะสมในการจับโครเมี่ยมและตะกั่วของไคตินและไคโตแซน ดังตารางที่ 8 เมื่อพิจารณาผลของพีเอชและขนาดอนุภาคต่อความสามารถในการจับโครเมี่ยมและตะกั่วของไคตินและไคโตแซน ซึ่งพบว่าขนาดอนุภาคของไคตินและไคโตแซน (0.4 - 1.0 1.0 - 1.4 และ 1.4 - 2.0 มม.) มีผลต่อความสามารถในการจับต่อโลหะดังกล่าว โดยขนาดอนุภาคที่เล็กกว่ามีความสามารถในการจับที่สูงกว่า แต่ความสามารถในการจับตะกั่วด้วยขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่ายังคงมีความสามารถในการจับที่สูงและไม่แตกต่างกับขนาดอนุภาคขนาดเล็ก จึงเลือกขนาดอนุภาคที่ใหญ่ที่สุดมาทำการศึกษา (1.4 - 2.0 มม.) เพื่อไม่ต้องเสียเวลาในการลดขนาด จากผลดังกล่าวแสดงถึงค่า binding affinity ของโครเมี่ยมต่ำกว่าตะกั่ว (ใช้ขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า) จากเหตุผลทำนองเดียวกันนี้ พบว่าที่พีเอช 7.0 เป็นระดับที่เพียงพอต่อความสามารถในการจับตะกั่ว แต่สำหรับโครเมี่ยมความสามารถในการจับที่เหมาะสมคือ พีเอช 9.0 เนื่องจากที่พีเอชสูงความเข้มข้นของหมู่อะมิโนอิสระ (NH_2) เพิ่มขึ้นมีอิเลคตรอนอิสระเพิ่มขึ้น ความสามารถในการจับจึงเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามที่พีเอชต่ำ หมู่อะมิโนอิสระเป็นบวก (NH_3^+) ไม่สามารถจับกับประจุบากของโลหะได้ ส่วนเวลาที่ใช้ในการจับพบว่าเวลา 24 ชั่วโมง ก็เพียงพอ (ซึ่งเป็นเวลาที่น้อยที่สุดในการทดลอง) และอัตราส่วนระหว่างไคตินและไคโตแซนต่อสารละลายโลหะทั้งสองคือ 1 ต่อ 1

ตารางที่ 8 สภาวะที่เหมาะสมในการจับโครเมี่ยมและตะกั่วของไคตินและไคโตแซนแบบกะ

	ไคติน		ไคโตแซน	
สภาวะ	โครเมี่ยม	ตะกั่ว	โครเมี่ยม	ตะกั่ว
ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	4.0	4.0	4.0	4.0
พีเอช	9.0	7.0	9.0	7.0
ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	0.4 - 1.0	1.4 - 2.0	0.4 - 1.0	1.4 - 2.0
เวลา (ชั่วโมง)	24	24	24	24
อัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์ต่อสารละลายโลหะ	1:1	1:1	1:1	1:1
ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล (ร้อยละ)	-	-	60.97	60.97

เมื่อทำการทดลองปล่อยให้ตัวอย่างสารละลายโลหะที่มีความเข้มข้นประมาณ 4 พีพีเอ็ม จำนวนทั้งหมด 20 ลิตร ไหลเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์เดี่ยวที่บรรจุไคตินหรือไคโตแซนด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกันคือ 800 1000 และ 1200 มิลลิลิตร/ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างสารละลายที่ผ่านคอลัมน์มาวิเคราะห์ปริมาณโลหะที่เหลืออยู่ พบว่าอัตราการไหลของสารละลายโลหะในคอลัมน์เดี่ยวมีผลต่อความสามารถในการกำจัดโลหะของไคตินและไคโตแซน (ตารางที่ 9) ความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมและตะกั่วมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราการไหลของสารละลายผ่านคอลัมน์เร็วขึ้น โดยพบว่าโครเมี่ยมสามารถถูกกำจัดออกไปได้ร้อยละ 38.91 31.51 และ 31.30 เมื่อใช้ไคตินคอลัมน์เดี่ยวและอัตราการไหล 800 1000 และ 1200 มิลลิลิตร/ชั่วโมง ตามลำดับ และร้อยละ 45.21 43.40 และ

38.16 เมื่อใช้ไคโตแซนคอลัมน์เดี่ยว ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันตะกั่วสามารถถูกกำจัดออกไปได้ร้อยละ 63.72 56.63 และ 53.79 เมื่อใช้ไคตินคอลัมน์เดี่ยว และอัตราการไหล 800 1000 และ 1200 มิลลิลิตร/ชั่วโมง และร้อยละ 77.47 74.60 และ 67.86 เมื่อใช้ไคโตแซนคอลัมน์เดี่ยว ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออัตราเร็วของการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นทำให้เวลาของการสัมผัสของไอออนโลหะกับไคตินหรือไคโตแซนลดลง ความสามารถในการจับจึงลดลง (Yang and Zall, 1984) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Muzzarelli และคณะ (1980) ที่ศึกษาการจับไอออนคิวปริกและไอออนเมอร์คิวริกได้ด้วย chitosan-glucan ที่ผลิตจาก *Aspergillus niger* ในรูปแบบของคอลัมน์ โดยให้สารละลายโลหะไหลผ่านในอัตราเร็วต่างๆ คือ 1.0 2.5 5.0 และ 10.0 มิลลิลิตร/นาที พบว่าเมื่ออัตราเร็วการไหลของสารละลายโลหะเพิ่มขึ้นความสามารถในการจับมีค่าลดลง โดยที่อัตราเร็วของการไหลที่ต่ำที่สุดคือ 1.0 มิลลิลิตร/นาที มีความสามารถในการจับไอออนโลหะสูงสุด ในทำนองเดียวกัน Yang และ Zall (1984) พบว่าอัตราการไหลผ่านคอลัมน์ในอัตราเร็วที่สูงกว่าสามารถตรวจพบไอออนโลหะในสารละลายที่ผ่านคอลัมน์ออกมามากกว่า เมื่อปริมาตรของสารละลายที่เคลื่อนที่ผ่านเท่ากัน สอดคล้องกับการทดลองของ Muzzarelli และคณะ (1971) ที่ศึกษาการจับโลหะชนิดต่างๆ ที่ปนเปื้อนในน้ำทะเลด้วยไคโตแซนที่บรรจุแบบคอลัมน์ พบว่าที่อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ 3 มิลลิลิตร/นาที มีความสามารถในการจับที่สูงกว่าที่อัตราเร็ว 10 มิลลิลิตร/นาที และสอดคล้องกับการทดลองของ Muzzarelli และ Rocchetti (1974) ซึ่งพบว่าความสามารถในการกำจัดเมอร์คิวรี่ของไคโตแซนแบบคอลัมน์เมื่ออัตราเร็วของการไหลเพิ่มขึ้นความสามารถในการจับมีค่าลดลง

ดังนั้นในการคัดเลือกอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์เดี่ยวที่เหมาะสมต่อความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมและตะกั่วของไคตินและไคโตแซน คือ 800 มิลลิลิตร/ชั่วโมง เพื่อใช้ในการศึกษาความสามารถในการกำจัดโลหะโครเมี่ยมและตะกั่วที่ปนเปื้อนจากโรงงานอุตสาหกรรมปลาทูน่ากระป๋อง

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการจับโลหะทั้งสองของไคตินและไคโตแซน พบว่าไคโตแซนสามารถจับโลหะทั้งสองได้มากกว่าไคตินทั้งนี้เนื่องจากไคโตแซนมีหมู่อะมิโนอิสระ ซึ่งเป็นหมู่ที่มีความว่องไวต่อการจับโลหะ สอดคล้องกับการทดลองของ Elson และคณะ (1980) ที่ศึกษาการจับไอออนอะซินิคในน้ำดื่มด้วยไคตินและไคโตแซน โดยทำการ

ผสมไคติน และไคโตแซนในอัตราส่วนที่แตกต่างกันในลักษณะของคอลัมน์ เมื่ออัตราส่วนระหว่างไคโตแซนต่อไคตินเพิ่มขึ้น ความสามารถในการจับเพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลที่กล่าวต้น

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดโลหะทั้งสองชนิดของไคตินและไคโตแซนในคอลัมน์เดี่ยวพบว่าความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมต่ำกว่าตะกั่ว ซึ่งแสดงให้เห็นว่า โครเมี่ยมมีค่า binding affinity ต่อไคตินและไคโตแซนที่ต่ำกว่าตะกั่ว

ตารางที่ 9 ความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมและตะกั่วของไคตินและไคโตแซนโดยใช้คอลัมน์เดี่ยว

โลหะ	อัตราเร็ว (มิลลิลิตร/ชั่วโมง)	ความสามารถในการกำจัด [1](ร้อยละ)	
		ไคติน	ไคโตแซน
โครเมี่ยม	800	38.91±0.12[b]	45.21±1.59[b]
	1000	31.51±1.54[a]	43.4±0.80[b]
	1200	31.30±0.83[a]	38.16±2.00[a]
ตะกั่ว	800	63.72±0.66[e]	77.47±1.10[e]
	1000	56.53±0.78[d]	74.6±1.57[d]
	1200	53.79±1.06[c]	67.86±1.95[c]

[1] ค่าเฉลี่ย± ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ ที่มีอักษรเหมือนกันในแต่ละสดมภ์เดียวกันจะไม่มีความแตกต่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

6.2 การศึกษาการกำจัดโครเมี่ยมและตะกั่วของไคตินและไคโตแซนโดยใช้คอลัมน์คู่

สภาวะที่ใช้ในการทดลองเป็นสภาวะเดียวกับการทดลองข้อ 6.1 ผลการทดลองพบว่า ความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมและตะกั่วของไคตินและไคโตแซนโดยใช้คอลัมน์คู่ มีแนวโน้มที่เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับการใช้คอลัมน์เดี่ยวเมื่อพิจารณาอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้นจาก 800 เป็น 1000 และ 1200 มิลลิลิตร/ชั่วโมง มีผลทำให้ความสามารถในการจับโลหะลดลง (ตารางที่ 10) โดยพบว่าโครเมี่ยมถูกกำจัดออกไปได้ร้อยละ 55.33 51.18 และ 50.45 เมื่อใช้ไคตินคอลัมน์คู่ และอัตราการไหล 800 1000 และ 1200 มิลลิลิตร/ชั่วโมง ตามลำดับ และร้อยละ 81.84 72.63 และ 63.81 เมื่อใช้ไคโตแซนคอลัมน์คู่ ในลักษณะเดียวกันตะกั่วสามารถถูกกำจัดออกไปได้ร้อยละ 90.26 86.07 และ 78.39 เมื่อใช้ไคตินคอลัมน์คู่และอัตราการไหล 800 1000 และ 1200 มิลลิลิตร/ ชั่วโมง ตามลำดับ และร้อยละ 92.38 91.33 และ 78.39 เมื่อใช้ไคโตแซนคอลัมน์คู่

ดังนั้นในการคัดเลือกอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์คู่ที่เหมาะสมต่อความสามารถในการจับโครเมี่ยมและตะกั่วของไคตินและไคโตแซน คืออัตราเร็ว 800 มิลลิลิตร/ชั่วโมง เพื่อใช้ในการศึกษาความสามารถในการจับโลหะโครเมี่ยมที่ปนเปื้อนจากโรงงานอุตสาหกรรมปลาทูน่ากระป๋อง

เมื่อพิจารณาความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมของไคตินและไคโตแซน ระหว่างการใช้คอลัมน์เดี่ยวและคอลัมน์คู่ พบว่าความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมและตะกั่วของคอลัมน์คู่สูงกว่าคอลัมน์เดียวประมาณ 1.5 ถึง 2 เท่า เท่าทั้งนี้อาจเนื่องจากการเพิ่มจำนวนคอลัมน์ เป็นการเพิ่มเวลาและปริมาณการสัมผัสไอออนโลหะต่อไคติน หรือไคโตแซนเพิ่มขึ้น อีกทั้งเมื่อจำนวนคอลัมน์เพิ่มขึ้นเป็นการเพิ่มปริมาณไคโตแซนและเป็นการเพิ่มปริมาณหมู่อะมิโนอิสระนั่นเอง เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดโลหะทั้งสองระหว่างไคตินและไคโตแซน พบว่าไคโตแซนมีความสามารถในการกำจัดโลหะทั้งสองได้สูงกว่าไคติน เนื่องจากเหตุผลที่กล่าวตอนต้น

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมและตะกั่วของไคตินและไคโตแซนในคอลัมน์คู่ให้ผลลักษณะเดียวกับคอลัมน์เดี่ยวคือ โครเมี่ยมถูกกำจัดออกไปได้น้อยกว่าตะกั่วในทุกอัตราเร็วที่ทำการศึกษา ซึ่งแสดงว่าโครเมี่ยม binding affinity ต่ำกว่าตะกั่ว

ตารางที่ 10 ความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมและตะกั่วของไคตินและไคโตแซนโดยใช้คอลัมน์คู่

โลหะ	อัตราเร็ว (มิลลิลิตร/ชั่วโมง)	ความสามารถในการกำจัด[1] (ร้อยละ)	
		ไคติน	ไคโตแซน
โครเมี่ยม	800	55.33 ± 3.16^{b}	81.74 ± 0.82^{d}
	1000	51.18 ± 0.77^{a}	72.69 ± 0.73^{b}
	1200	50.45 ± 2.28^{a}	63.81 ± 0.55^{a}
ตะกั่ว	800	90.26 ± 1.05^{e}	92.38 ± 0.31^{e}
	1000	86.07 ± 0.52^{d}	91.33 ± 0.78^{e}
	1200	78.39 ± 1.16^{c}	78.39 ± 1.16^{c}

[1] ค่าเฉลี่ย± ค่าเบี่ยงแบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ ที่มีอักษรเหมือนกันในแต่ละสดมภ์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

6.3 การศึกษาการกำจัดโครเมี่ยมและตะกั่วในน้ำทิ้งจากโรงงานปลาทูน่ากระป๋องของไคตินและไคโตแซนโดยใช้คอลัมน์เดี่ยวและคอลัมน์คู่

ตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานปลาทูน่ากระป๋อง ซึ่งเป็นบ่อสุดท้ายก่อนปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ มีองค์ประกอบที่สำคัญดังแสดงในตารางที่ 11 โดยปริมาณโครเมี่ยมที่ปนเปื้อนประมาณ 0.35 พีพีเอ็ม และตรวจไม่พบตะกั่ว จึงได้เติมโลหะทั้งสองลงไปในน้ำทิ้งเพื่อให้ได้ความเข้มข้นประมาณ 4 พีพีเอ็ม หลังจากนั้นจึงปล่อยให้ผ่านคอลัมน์ของไคตินและไคโตแซนทั้งชนิดคอลัมน์เดี่ยวและคอลัมน์คู่ โดยใช้สภาวะจากการทดลองในข้อ 2 - 5 และอัตราเร็วที่เหมาะสมจากข้อ 6.1 และ 6.2 ผลการทดลองพบว่าเมื่อผ่านน้ำทิ้งที่ที่มีโครเมี่ยมปนเปื้อนอยู่ 4.09 พีพีเอ็ม ในคอลัมน์ที่บรรจุไคตินแบบคอลัมน์เดี่ยวและคอลัมน์คู่ พบว่าโครเมี่ยมถูกกำจัดออกไปได้ร้อยละ 33.25 และร้อยละ 52.07 ตามลำดับ และถูกกำจัดออกไปได้ร้อยละ 43.27 และ ร้อยละ 70.17 เมื่อผ่านน้ำทิ้งในคอลัมน์ที่บรรจุไคโตแซน ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันความสามารถในการกำจัดตะกั่วที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำทิ้ง 4.12 พีพีเอ็ม ในคอลัมน์ที่บรรจุไคตินแบบคอลัมน์เดี่ยวและคอลัมน์คู่ สามารถกำจัดตะกั่วออกไปได้ร้อยละ 56.79 และ ร้อยละ 81.79 ตามลำดับ และถูกกำจัดออกไปได้ร้อยละ 71.60 และ 86.96 เมื่อผ่านน้ำทิ้งในคอลัมน์ที่บรรจุไคโตแซน (ตารางที่ 11)

ความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมและตะกั่วของไคตินและไคโตแซนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคอลัมน์เพิ่มขึ้น โดยตรวจพบปริมาณโลหะทั้งสองในน้ำทิ้งที่ผ่านคอลัมน์คู่น้อยกว่าคอลัมน์เดี่ยว เมื่อพิจารณาความสามารถในการจับโครเมี่ยมและตะกั่วของไคตินและไคโตแซนทั้งแบบคอลัมน์คู่และแบบคอลัมน์เดี่ยวในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดต่ำกว่าสารละลายที่เตรียมขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการปนเปื้อนของสารประกอบอื่นในน้ำทิ้ง โดยพบว่าในน้ำทิ้งมีของแข็งทั้งหมดปนเปื้อนอยู่ 1.73 - 1.78 มิลลิกรัม/ลิตร แคลเซี่ยม แมกนีเซี่ยม และเมื่อวัดค่าซีโอดี มีค่า 172 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้อาจมีผลต่อความสามารถในการจับของไคตินและไคโตแซนต่อโลหะทั้งสอง

การผ่านน้ำทิ้งเข้าสู่คอลัมน์ไคตินและไคโตแซนทั้งคอลัมน์เดี่ยวและคอลัมน์คู่ พบว่าสามารถลดค่าซีโอดีจาก 172 เหลือ 118 และ 96 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อใช้ไคตินคอลัมน์

เดี่ยวและคอลัมน์คู่ ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันลดลงเหลือ 105 และ 75.5 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อใช้ไคโตแซนแบบคอลัมน์เดี่ยวและคอลัมน์คู่ ตามลำดับ ซึ่งค่าที่เหลือมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งกำหนดโดยกระทรวงอุตสาหกรรม (ซีโอดี ไม่เกิน 120 มิลลิกรัม/ลิตร)

ตารางที่ 11 องค์ประกอบเริ่มต้นและความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมและตะกั่วในน้ำทิ้งจากโรงงานปลาทูน่ากระป๋องของไคตินและไคโตแซนโดยใช้คอลัมน์เดี่ยวและคอลัมน์คู่

องค์ประกอบ	เริ่มต้น	ปริมาณที่พบภายหลังการผ่านคอลัมน์ (พีพีเอ็ม)			
		ไคติน		ไคโตแซน	
		คอลัมน์เดี่ยว	คอลัมน์คู่	คอลัมน์เดี่ยว	คอลัมน์คู่
โครเมี่ยม (พีพีเอ็ม)	4.09	2.73 ± 0.11(32.25)[1]	1.96 ± 0.03(52.07)	2.32 ± 0.09(43.27)	1.22 ± 0.10(70.17)
ตะกั่ว (พีพีเอ็ม)	4.12	1.78 ± 0.11(56.79)	0.75 ± 0.06(81.79)	1.17 ± 0.08(71.60)	0.54 ± 0.08(86.96)
ซีโอดี (มก./ลิตร)	172	118 ±3(31.39)	96±3 (44.18)	105 ±5(38.95)	75.5 ±4(56.27)
ของแข็งทั้งหมด (มก./ลิตร)	1.78	1.30 ±0.18(26.96)	1.12±0.12 (37.07)	1.24 ±0.09(30.33)	0.95±0.11 (46.26)
ความขุ่น (OD650)	0.075	0.020±0.011(77.33)	0.012 ±0.005(84.00)	0.020±0.013(73.33)	0.012 ±0.010(84.00)
แคลเซี่ยม (พีพีเอ็ม)	8.96	-	-	-	-
แมกนีเซี่ยม (พีพีเอ็ม)	7.39	-	-	-	-
พีเอช	6.5 - 6.7				

หมายเหตุ [1] ความสามารถในการกำจัด (ร้อยละ)

บทที่ 4

สรุป

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการจับโครเมี่ยมและตะกั่วของไคตินและไคโตแซน ประกอบด้วย ขนาดอนุภาคของไคติน ความเข้มข้นของสารละลายโลหะ พีเอช อัตราส่วนระหว่างไคตินต่อสารละลายโลหะ และเวลา พบว่าความสามารถในการจับสูงสุดเมื่อพีเอชของสารละลายเท่ากับ 9.0 โลหะที่มีความเข้มข้นสูงกว่าและเวลาในการสัมผัสที่สูงกว่ามีความสามารถในการจับที่สูงกว่า ความสามารถในการจับลดลงเมื่อเมื่อขนาดอนุภาคและอัตราส่วนระหว่างไคตินหรือไคโตแซนต่อสารละลายโลหะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าไคโตแซนที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซิติลที่สูงกว่า มีความสามารถในการจับโลหะที่สูงกว่าแต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

. ความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมและตะกั่วในรูปแบบคอลัมน์เดี่ยวและคอลัมน์คู่เป็นไปในลักษณะเดียวกันคือ ความสามารถในการกำจัดลดลงเมื่ออัตราเร็วของการเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์สูงขึ้นจาก 800 1000 และ 1200 มิลลิลิตร/ชั่วโมง โดยพบว่าโครเมี่ยมสามารถถูกกำจัดออกไปได้ประมาณร้อยละ 39 32 และ 31 เมื่อใช้ไคตินคอลัมน์เดี่ยวและอัตราการไหล 800 1000 และ 1200 มิลลิลิตร/ชั่วโมง ตามลำดับ และประมาณร้อยละ 45 43 และ 38 เมื่อใช้ไคโตแซนคอลัมน์เดี่ยว ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันตะกั่วสามารถถูกกำจัดออกไปได้ประมาณร้อยละ 64 57 และ 54 เมื่อใช้ไคตินคอลัมน์เดี่ยวและอัตราการไหล 800 1000 และ 1200 มิลลิลิตร/ชั่วโมง และประมาณร้อยละ 77 75 และ 68 เมื่อใช้ไคโตแซนคอลัมน์เดี่ยว ตามลำดับ ความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมและตะกั่วของไคตินและไคโตแซนในลักษณะคอลัมน์คู่เป็นไปในลักษณะเดียวกับคอลัมน์เดี่ยว โดยพบว่าโครเมี่ยมถูกกำจัดออกไปได้ประมาณร้อยละ 55 51และ 50 เมื่อใช้ไคตินคอลัมน์คู่ และอัตราการไหล 800 1000 และ 1200 มิลลิลิตร/ชั่วโมง ตามลำดับ และประมาณร้อยละ 82 73 และ 64 ตามลำดับ เมื่อใช้ไคโตแซนคอลัมน์คู่ ในลักษณะเดียวกันตะกั่วสามารถถูกกำจัดออกไปได้ประมาณร้อยละ 90 86 และ 78 เมื่อใช้ไคตินคอลัมน์คู่และอัตราการไหล 800 1000 และ 1200 มิลลิลิตร/ ชั่วโมง ตามลำดับ และประมาณร้อยละ 92 91 และ 78เมื่อใช้ไคโตแซนคอลัมน์คู่

การผ่านน้ำทิ้งเข้าสู่คอลัมน์ไคตินและไคโตแซนทั้งคอลัมน์เดี่ยวและคอลัมน์คู่ สามารถลดค่า ซีโอดี ของแข็งทั้งหมด และความขุ่น พบว่าสามารถลดค่า ซีโอดีจาก 172 เหลือ 118 และ 96 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อใช้ไคตินแบบคอลัมน์เดี่ยวและคอลัมน์คู่ ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันลดลงเหลือ 105 และ 75.5 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อใช้ไคโตแซนแบบคอลัมน์เดี่ยวและคอลัมน์คู่ ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. ในการนำไคตินและไคโตแซนไปใช้กำจัดโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมจำเป็นต้องพิจารณาถึง ความสามารถในการกำจัด การนำกลับมาใช้ใหม่ และค่าใช้จ่ายเป็นหลัก
2. การใช้ไคตินหรือไคโตแซนในรูปของสารละลายจับโลหะน่าจะให้ผลความสามารถในการจับที่ดีกว่าการใช้ในรูปของผลึก

เอกสารอ้างอิง

ชิดชม ฮิรางะ, จุฬาลักษณ์ จารุนุช และกาญจนารัตน์ ทวีสุข. 2537. การผลิต Carboxymethyl-chitin เพื่อใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร. ว. เกษตรศาสตร์. 28 (2) : 273-282.

ชูสง่า สุวรรณศรี. 2526. พิษของโลหะและสารประกอบโลหะ. วิทยาศาสตร์. 37 (12) : 759-766.

ธรรมรัตน์ ธรรมเดชศักดิ์ และ แกมกาญจน์ รักษาพราหมณ์. 2535. การตกตะกอนสารประกอบสารอินทรีย์จากน้ำทิ้งโรงงานแปรรูปสัตว์น้ำด้วยไคโตแซน. ปัญหาพิเศษ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่. สงขลา. 88 หน้า.

ธีระพล ประมวลกิจจา. 2534. อุตสาหกรรมการผลิตไคตินและไคโตแซนจากเปลือกกุ้ง. อุตสาหกรรมสาร. 12 (34) : 3-7.

ไพรัตน์ โสภโณดร, สุทธวัฒน์ เบญจกุล และ วิคเนตร พระพุทธ. 2536. การใช้ไคโตแซนเป็นสารเคลือบผิวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษามะนาว. ว.สงขลานครินทร์. 15(3) :259-265.

ไพศาล เหล่าสุวรรณ. 2531. สถิติสำหรับการวิจัยทางเกษตร. คณะทรัพยากรธรรมชาติ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ใ หาดใหญ่ สงขลา 278 หน้า.

วงศ์พันธ์ ลิมปาเสนีย์, นิตยา มหาผล และ ธีระ เกรอต. 2525. มลภาวะอากาศ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 293 หน้า.

วิสิฐ จะวะสิต และ ลูกจันทร์ ภครัชพันธุ์. 2533. ไคโตแซนโพลิเมอร์ใหญ่จากของเหลือทิ้งอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ. ว. อุตสาหกรรมเกษตร1 (1) : 4-8.

ศิริพงษ์ เกื้อมิตร. 2536. การปรับปรุงความใสของน้ำผลไม้ด้วยไคโตแซน. ปัญหาพิเศษ ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่. สงขลา. 42 หน้า

สนั่น แซ่แจง . 2537. การยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ โดยการเคลือบผิวด้วย ไคโตแซนชนิดละลายน้ำ. ปัญหาพิเศษ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์ หาดใหญ่. สงขลา. 41 หน้า.

สุทธวัฒน์ เบญจกุล และ ไพรัตน์ โสภโณดร. 2533. การผลิตไคโตแซนจากเปลือกกุ้งแชบ้วย. ว. สงขลานครินทร์ 12(4) : 439-443.

Anderson, C.G., de Pablo, N. and Romo, C.R. 1978. Antartic krill (*Euphausies superba*) as a source of chitin and chitosan. In Proceeding of the First International Conference on Chitin/Chitosan. Muzzarelli, R.A.A. and Pariser, E.R. (eds). MIT. Sea Grant Program : Cambridge. MA; P 54-63.

Annachhatre, A.P, Win, N.N. and Chandrkrachang, S. 1996. Adsorption of copper on chitosan. In Proceeding of the Second Asia Pacific Symposium on Chitin and Chitosan. : Enviromental Friendly and Versatile Biomaterials.(ed. Steven, W.J., Rao, M.S. and Chandkrachang, S.). Asian Institute of Technology : Bangkok ; PP. 169-173.

Anonymous. 1989. Chitosan makes the grade. Manufacture Chemist. 60 (10) : 31-35.

APHA, AWWA and WPCF. 1985 . Standard Methods for the Examination of Water and Waste water. New York, APHA Inc.

Ashford , N.A. , Hattis, D. and Murray , A.E. 1977. Industrial prospect for chitin and protein from shellfish waste : MIT. Sea Grant Report MISG. 77-3. Report MIT : Cambridge, MA. Cited by No, H.K. , Meyers, S.P. and Lee, K.S. 1989. Isolation and characterization of chitin from crawfish shell waste. J. Agri. Food. Chem : 37 : 575-578.

Austin , P.R. , Brine , C.J. , Castle , J.E. and Zikakis , J.P. 1981. Chitin : New facets of research. Science 212 : 749.

Averbach , B.L. 1978. Film - forming capacity of chitosan. In Proceeding of the First International Conference on Chitin/Chitosan. Muzzarelli, R.A.A. and Pariser, E.R. (eds). MIT. Sea Grant Program : Cambridge. MA; P 199 - 205.

Ballasa , L.L. and Prudden , J.F. 1978. Application of chitin and chitosan in wound healing acceleration.In Proceeding of the First International Conference on Chitin/Chitosan. Muzzarelli, R.A.A. and Pariser, E.R. (eds). MIT. Sea Grant Program : Cambridge. MA; P 296-305.

Base, C.F.Jr and Mesmer, R.E. 1976. Les Actinides-Uranium : Hydrolysis of Cation. New York, U.S.A., John Wiley and sons. P 174 -182.

Benjakul , S. and Sopanodora , P. 1993. Chitosan production from carapace and shell of Black Tiger shrimp (*Penaeus monodon*) . ASEAN Food J. 8(4) : 145-148.

Bough , W.A. 1975. Coagulation with chitosn an aid to recovery of the by products from egg breaking wastes. Poultry Sci. 54 : 1904-1912.

Bough , W.A. and Landes , D.R. 1976. Recovery and nutritional evaluation of protienous solid seperated from whey by cogulation with chitosan. J. Dairy. Sci. 59 (11) : 1874-1880.

Bough , W.A. , Salter , W.L. Wu, A.C.M. and Perkins , B.E. 1978. Influence of manufacturing variables on the characteristics and molecular- weight distribution of chitosan products . Biotech. Bioen. 20 : 1931-1943.

Bržeski , L.L. and Prudden , J.F. 1987. Chitin and chitosan- putting waste to good use. INFOFISH International 5 : 31-36.

Conrad , J. 1965. Chitin In Encycobedia of Polymer Science and Technology : Plastic Rubber Fiber. Vol. 3. Mark, H.F. , Gaylord, N.G. and Bikales, N.M. (eds). USA, John Willey Sons , Inc.

Davies, D.H., Elson, C.M., Hayes, E.R. 1989. Carboxymethylchitosan, a new water soluble chitin derivities, In : Chitin and Chitosan, Source, Chemistry, Biochemistry, Physical Properties and Applications. Skjak-Braek, G., Anthosen, T. and Sanford, P. (eds). London and New York, Elsevier Applied Science,. P. 467-475.

Deans, J.R. and Dixon, B.G. 1992. Uptake of Pb^{2+} and $Cu^{2+}$by novel biopolymers. Water Resource. 26(4) : 469-472.

Domszy, J.G and Roberts, G.A.F.1985. Evaluation of Infrared Spectroscopic Techniques for Analysing Chitosan. Makromoleculere Chemie. 186 : 1671-1678.

El Ghaouth, A. , Arul, J. , Ponnampalam, R. and Boulet, M. 1991. Chitosan coating effect on storability and quality of fresh strawberries. J. Food Sci. 56(6) : 1618-1620.

Elson, C.M., Davies, D.H. and Hayes, E.R. 1980. Removal of arsenic from contaminated drinking water by a chitosan/chitin mixture. Water Resource. 14 : 1307-1311.

Filar, L.J. and Wirick, M.G. 1978. Bulk solution properties of chitosan. In Proceeding of the First International Conference on Chitin/Chitosan. Muzzarelli, R.A.A. and Pariser, E.R. (eds). MIT. Sea Grant Program : Cambridge. MA; P 296-305.

Guibal, E., Roulph, C. and Le cloirec, P. 1992. Uranium biosorption by filamentous fungus Mucor miehi : pH effect on mechanisms and performance of uptake. Water Resource. 26 : 1139-1145.

Guibal, E., Jansson-charrier, M., Saucedo, I. and Le cloice, P. 1995. Enhancement of metal ion sorption performances of chitosan : effect of the structure on the diffusion properties. Langmuir. 11(2) : 591-598. cited by Jansson-Charrier, M., Guibal, E., Roussy, J., Delaghe, B. and Lecioirec, P. 1996. Vanadium (IV) sorption by chitosan : kinetics and equilibrium. Water Resource. 30(2) : 465-475.

Guibal, E. Saucedo, I., Jasson-Charrier, M. and Delanghe, B. 1994. Uranium and vanadium sorption bu chitosan and derivatives. Water Sci. Tech. 30(9) : 183-190.

Hirano, S. 1989. Production and application of chitin and chitosan in japan. In : Chitin and Chitosan Source, Chemistry, Biochemistry, Physical Properties and Applications. Skjak- Break, G., Anthosen, T. and Sandford, P. (eds). London and New York ,Elsevier Applied Science . P 37-44.

Hirano, S. and Akiyama, Y. 1995. Absence of hypocholesterolaenic action of chitosan in high-serum-cholesterol rabbit. J. Sci. Food Agric. 69 : 91-94.

Holland, C.R. and Shabaz, M.I.A. 1985. The utilisation of chitosan in mussel protein recovery. Irish J. of Food Sci. and Tech. 9 : 107-114.

Hutchine, G.P. and Sanford, P.A. 1987. Chitosan- A natural, cationic biopolymer : commercial applications In : Industrial polysaccharide; genetic engineering, structure, property relations and applications. Yalpani, M. (eds). London, Netherland ,Elsevier Applied Science. P. 363-376.

Hwang, D.C. and Damodaran, S. 1995. Selective precipitation and removal of lipids from cheese whey using chitosan. J. Agric. Food Chem. 43 : 33 - 37.

Imeri, A.G. and Knorr, D. 1988. Effects on yield and composition data of carrot and apple juice. J. Food Sci. 53(6) : 1707-1709.

Jansson-Charrier, M., Guibal, E., Roussy, J., Delaghe, B. and Lecioirec, P. 1996. Vanadium (IV) sorption by chitosan : kinetics and equilibrium. Water. Resource. 30(2) : 465-475.

Jha, I.N. , Iyengar, L. and Prabhakara Rao, A.V.S. 1988. Removal of cadmium using chitosan. J. of Environ. Eng. 114(4) : 965-974.

Jun, H.K. , Kim, J.S. , No, H.K. and Meyers, S.P. 1994. Chitosan as a coagulant for recovery of proteinaceous solids from tofu wastewater. J. Agri. Food Chem. 42 : 1834-1838.

Kienzle-Sterzer, C. , Rodiguze-sanchez, D. and Rha, C. 1982. Dilute solution behavior of a cationic polyelectrolyte. J. of Appl. Poly. Sci. 27: 4467-4470.

Knorr, D. 1982. Funtional properties of chitin and chitosan. J. Food Sci. 47 : 593-595.

Knorr, D. 1984. Use of chtinous polymer in food. Food Technol. 38 : 85-97.

Kurita, K, Koyama, Y. and Taniguchi, A. 1986. Study on chitin. IX crosslinking of water soluble chitin and evaluation of the products as adsorbents for cupric ion. J. of Appl. Poly. Sci. 31 : 1169-1176.

Madhavan, P. and Ramachandrannair, K.G. 1974. Utilization of prawn waste - isolation of chitin and its vonversion to chitosan. Fish. Technol.11(1) : 50-53.

Maezaki, Y. , Tsuji, K . , Nagawa, Y. , Kawai, Y. , Akimoto, M. , Tsugita, T. , Takekawa, W. , Terada, A. , Hara, H. and Mitsuoka, T . 1993. Hypocholesterolenic effect of chitosan in adult males. Biosci. Biotech. Biochem. 57 (9) : 1439-1444.

Maruca, R . 1982. Interaction of heavy metal with chitin and chitosan III Chromium. J. of Appl. Poly.Sci. 27 : 4827-4837.

Milot, C., Gillet, D., Contandriopoulos, Y. and Guibal, E. 1996. Chitosan ? a promising metal ion sorbent influenced by diffusion properties. In Proceeding of the Second Asia Pacific Symposium on Chitin and Chitosan : Enviromental Friendly and Versatile Biomaterials.(ed. Steven, W.J., Rao, M.S. and Chandkrachang, S.). Asian Institute of Technology : Bangkok ; PP. 140-147.

Miya, M., Iwamoto, R., Yoshikawa, S. and Mima, S. 1980. I.R. spectroscopic determination of CONH content in hightly deacetylated chitosan. International J. of Biol. Macro. 2 : 323-324.

Muzzarelli, R.A.A. 1971. Chitosan for the collection from seawater of naturally occuring zinc, cadmium, lead and copper. Talanta. 18 : 853-858.

Muzarelli, R.A.A. 1977. Chitin . Pergamon Press Ltd. New York. 309pp.

Muzzarelli, R.A.A. 1983. Chitin and its derivatives : New trends of applied research. Carbohydrate Poly. 3 : 53-73.

Muzzarelli, R.A.A. and Rocchetti, R. 1974. The use of chitosan column for the removal of mercury from waters. J. Chromatog. 96 : 115-121.

Muzzarelli, R.A.A. and Tubertini, O. 1969. Chitin and chitosan and chromatographic supports and adsorbents for collection of metal ions from organic and aqueous solution and sea water. Talanta, 16 : 1571 - 1577.

Muzzarelli, R.A.A., Tafani, F., Scarpini, G. and Tucci, E. 1980. Removal and recovery of cupric and mercuric ions from solution using chitosan-glucan from *Aspergillus niger*. J. Appl. Biochem. 2 : 54-56.

No, H.K. , Meyer, S.P. and Lee, K.S. 1989. Isolation and characterization of chitin from crawfish shell waste. J. Agri. Food Chem. 37 : 575-579.

Onsoyen, E. and Skaugrud, O. 1990. Metal recovery using chitosan. J. Chem. Tech. Biotechnol. 49 : 395-404.

Peniche-Covas, C., Alvarez, L.W. and Arguelle-Monal. 1992. The adsorption of mercuric ions by chitosan. J. of Appl. Poly. Sci. 46 : 1147-1150.

Piron, E., Accominotti, M. and Domard, A. 1996. Kinetics stidies of the interactions between chitosan and uranyl ion. Effect of chitosan structure and hydration. In Proceeding of the Second Asia Pacific Symposium on Chitin and Chitosan : Enviromental Friendly and Versatile Biomaterials.(ed. Steven, W.J., Rao, M.S. and Chandkrachang, S.). Asian Institute of Technology : Bangkok ; PP. 126-132.

Qurashi, M.T., Blair, H.S. and Allen. 1992. Studies on modification chitosan membrane. II. Dialysis of low molecular weight metabolites. J. of Appl. Poly. Sci.46 : 263 -269.

Ramachandran - Nair, K. and Madhavan, P. 1982. Metal binding property of chitosan from different source. In Proceeding of the Second International Conference on Chitin/Chitosan. Hirano, S. and Tokura, S. (eds) Sapporo Japan ; P. 187-190.

Rutherford, F.A. and Austin, P.R. 1978. Marine chitin properties and solvent In Proceeding of the First International Conference onChitiin/Chitosan. Muzzarelli, R.A.A. and Pariser, E.R. (eds). MIT. Sea Grant Program Cambridge. MA; P 182- 192.

Sakaguchi, T., Horikoshi, T. and Nakajima,A. 1981. Adsorption of uranium by chitin phosphate and chitosan phosphate. Agri. Biol. Chem . 45(10) : 2191-2195.

Saucedo, I., Guibal, E., Roulph, CH. and Lecloirec, P. 1992. Sorption of uranyl ions by modified chitosan : kinetic and equilibrium studies. Envion. Technol. 13 : 1101-1115.

Senstad, C. and Almas, K.A. 1985. Use of chitosanin the recovery of protein from shrimp processing wastewater. In Chitin in nature and technology. Muzzarelli, R.A.A., Jeuniax, C. and Gooday, G.W. (eds). New York and London, Plenum Press; P. 568-570.

Sigh, D.K. and Ray, A.R. 1994. Graft copolymerization of 2 - hydroxyethylmethacrylate onto chitosan films and their blood compatibility. J.of Appl. Poly. Sci.53 : 1115 - 1121.

Simson, K. 1978. The recovery of protien and pigments from shrimps and crab meal and their use in salmonid pigmentation. In Proceeding of the First International Conference onChitin/Chitosan. Muzzarelli, R.A.A. and Pariser, E.R. (eds). MIT. Sea Grant Program Cambridge. MA; P 253-262.

Sornprasit, P. 1997. Characterization of chitin and chitosan from squid pens . Maseter of Science Thesis in Biological Sciences. Princs of Songkla university.102 pp.

Soto- Peralta, N.V. , Muller, H. and Knorr, D. 1989. A research note : Effect of chitosan treatments on the clarify and color of apple juice. J. Food Sci. 54(2) : 459-496.

Tokura, S. , Nishi, N. , Nishimura, S. Ikeuchi, Y. Azuma, I. and Nishimura, K.1984. Physiochemical biochemical and biological properties of chitin derivatives. In J.P. Zikakis (eds). Chitin, Chitosan and Related Enzymes Academic Press, Inc. Orlando,Florida. P 303-325.

Townsley, C.C., Ross, I.S. and Atkin, A.S. 1986. Fundamental and applied biohydromettaurgy. Lawrence, R.W., Bramon, R.M.R. and Ebner, H.G. (eds). Amsterdam, Elsevier Applied Science.

Trezos, M. 1983. The role of chitin in uranium adsorption by R. *arrhizus* . Biotechnol. Bioeng. 23 : 2025 - 2040.

Trezos, M. and Volsky, B. 1982. The mechanism of uranium biosorption by Rhizopus arrhizus. Biotechnol. and Bioeng. 24 : 385-401.

Weber, W.J. 1972. Adsorption in : Physio-Chemical Process for Water Quality Control. New York, John Wiley and sons . U.S.A. P 199-259.

Weber, W.J. and Maris, J.C. 1962. Advance in water pollution research : removal of biologically- resistance polluatants from waste waters by adsorption. In Proceeding International Conference on Water Pollution Symposium. Vol. 2 Pergamon. Press. P 231-266.

Wu, A.C.M. and Bough, W.A. 1978. A study- of variations in the chitosan manufacturing process in relation to molecular weight distribution chemical characteristics and waste treatment effectiveness. In Proceeding of the First International Conference on Chitiin/Chitosan. Muzzarelli, R.A.A. and Pariser, E.R. (eds). MIT. Sea Grant Program Cambridge. MA; P 88-102.

Xian, S.D and Junhui, J. 1996. Studes on the adsorption beahavior and mechanism of chitosan on metal ions.In Proceeding of the Second Asia Pacific Symposium on Chitin and Chitosan., Enviromental Friendly and Versatile Biomaterials.(ed. Steven, W.J., Rao, M.S. and Chandkrachang, S.). Asian Institute of Technology : Bangkok ; PP. 156-161.

Yang, T. and Zall, R.R. 1984. Removal of metals from sludge using chitosan column. Ind. Water Engineering. 21(4) : 16-20.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางเคมี

1.การวิเคราะห์หาระดับการกำจัดหมู่อะซิติลของไคโตแซน โดยอาศัยการยืดออกของพันธะ (stretching bond) (Domzy and Robert, 1985)

1. เตรียมสารละลายไคโตแซนเข้มข้นร้อยละ 1 (นน./ปริมาตร) ในกรดอะซิติเข้มข้นร้อยละ1
2. นำสารละลายไคโตแซนเทบางๆ บนเพลทพลาสติก(plastic plate)
3. ทำแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง
4. นำเพลทพลาสติกที่มีฟิลม์ไคโตแซนแช่ในสารละลายผสมของ เมทธานอลและ 0.88 กรัม/ซม^3 ของแอมโมเนีย (อัตราส่วน 7:3) 16 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปแช่ใน สารละลายโซเดี่ยมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 10 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
5. นำฟิล์มที่ได้ล้างด้วยน้ำกลั่นและเมทธานอล
6. ทำแห้งในเดสซิเคเตอร์ภายใต้สภาวะสุญญากาศ 24 ชั่วโมง
7. นำฟิล์มที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยเครื่องอินฟาเรด รุ่น Pye Unicam SP-200S Infared Spectrophotometer (ภายในเวลา 3 นาที)

ระดับการกำจัดหมู่อะซิติล (ร้อยละ) = 100 - [A_{1655} / A_{3450} X115]

A_{1655} = ค่าการผ่านแสงที่ความถี่ 1655 cm^{-1}

A_{3450} = ค่าการผ่านแสงที่ความถี่ 3450 cm^{-1}

2. การวิเคราะห์หาซีโอดี โดยวิธีของ APHA, AWWA และ WPCF (1985)

1.1 วัสดุอุปกรณ์

1. อุปกรณ์กลั่นไหลกลับ (Reflux)

- ขวดกลมขนาด 250 มิลลิลิตร

- เครื่องควบแน่น

- เตาให้ความร้อน (hot plate)

2. บิวเรตต์

1.2 สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซี่ยมไดโครเมตเข้มข้น 0.025 นอร์มอล

2. ละลายโพแทสเซี่ยมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ซึ่งอบให้แห้งที่ 103 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง จำนวน 12.259 กรัมในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟามิก 0.12 กรัม แล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร

3. สารผสมกรดซัลฟูริก (Sulfuric acid reagent)

ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต ($AgSO_4$) 22 กรัมในกนดซัลฟูริกเข้มข้น บรรจุขวดขนาด 1 ปอนด์ (2.65 ลิตร) เนื่องจากซิลเวอร์ซัลเฟตละลายยากมาก อาจใช้เวลา 1-2 วันจึงละลายหมด (เติมซิลเวอร์ซัลเฟตลงในกรดซัลฟูริกเข้มข้นในอัตรา 5.5 กรัม/1 กก.)

3. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนี่ยมซัลเฟตเข้มข้น 0.10 นอร์มอล

3.1 การเตรียมสารละลาย

ละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต [$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$] จำนวน 39 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร ทำให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นให้ครบ 1000 มิลลิลตร

3.2 การหาความเข้มข้นของสารละลาย

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซี่มไดโคาเมต (0.25นอร์มอล) จำนวน 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมสารผสมกรดซัลฟูริก 30 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น ไทเตรทด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนี่ยมซัลเฟต เติมเฟอร์โรอีน 2-3 หยดเป็นอินดิเคเตอร์

ความเข้มข้น (นอร์มอล) = ปริมาณสารละลายโพแทสเซี่ยมไดโครเมต (มิลลิลตร) X0.25 / ปริมาณสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนี่ยมซัลเฟต (มิลลิลิตร)

4. สารละลายเฟอร์โรอีน

ละลาย 1, 10- ฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต ($C_{12}H_8N_2.H_2O$) จำนวน 1.485 กรัม และเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4.7H_2O$) จำนวน 0.695 กรัม เติมน้ำจนปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

5. ซิลเวอร์ซัลเฟตชนิดผง ($AgSO_4$)

6. เมอร์คิวริกซัลเฟต ($HgSO_4$) ชนิดเป็นผลึกบริสุทธิ์หรือเป็นผง (ใช้เป็นตัวกำจัดอนุภาคคลอไรด์ (Cl^-) ในอัตราส่วน $HgSO_4$ ต่อ Cl^- = 10 :1

7. กรดซัลฟามิก ใช้ในกรณีกำจัดไนไตรท์เท่านั้น

1.3 วิธีการวิเคราะห์

1. เติมเมอร์คิวรีซัลเฟต 0.4 กรัม ลงในขวดกลม

2. เติมตัวอย่าง 20 มิลลิลิตร หรือส่วนของตัวอย่างที่เจือจางด้วยน้ำกลั่นเป็น 20 มิลลิลิตร

3. เติมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 10 มิลลิลิตร และเม็ดแก้ว (glass bead) 3-5 เม็ด

4. ค่อย ๆ เติมสารผสมกรดซัลฟูริก 30 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันเพื่อละลายเมอร์คิวริกซัลเฟต ควรทำให้เย็นขณะเขย่าเพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียของสารที่เป็นไอในตัวอย่าง (อาจแช่ในอ่าง)

5. กลั่นด้วยอุปกรณกลั่นไหลกลับ ประมาณ 2 ชั่วโมง

6. ไทเทรตสารละลายไดโครเมี่ยมไดโครเมตที่เกินพอด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนี่ยมซัลเฟต ใช้เฟอร์โรอีนเป็นอินดิเคเตอร์ เมื่อจุดยุติจะเปลี่ยนจากสีเขียวปนน้ำเงินไปเป็นสีน้ำตาลแดง

7. ทำ blank โดยใช้น้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร แทนตัวอย่างน้ำและทำเช่นเดียวกับตัวอย่าง (ข้อ 1-6)

$$\text{ซีโอดี (มก./ลิตร)} = \frac{(a-b) \times N \times 8 \times 1000}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง(มิลลิลิตร)}}$$

a คือ ปริมาณสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ไทเทรต blank (มิลลิลิตร)

b คือ ปริมาณสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (นอร์มอล)

3. การวิเคราะห์หาของแข็งทั้งหมด (Total solids) โดยวิธีของ APHA, AWWA และ WPCF (1985)

2.1 วัสดุอุปกรณ์

1. ถ้วยกระเบื้องเคลือบสำหรับระเหย
2. ตู้อบ ที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103 องศาเซลเซียส
3. อ่างไอน้ำ
4. เดซิกเคเตอร์
5. เครื่องชั่งชนิดละเอียด

2.2 วิธีการวิเคราะห์

1.นำถ้วยกระเบื้องระเหยมาล้างให้สะอาด อบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในเดซิกเคเตอร์แล้วชั่ง

2. ตวงตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร หรือน้อยกว่าใส่ในถ้วยระเหยที่ทราบน้ำหนัก

1. แน่นอน

3.นำไประเหยให้แห้งบนอ่างไอน้ำ

4. อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

5. ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ประมาณ 45 นาที

6. ชั่งน้ำหนัก

$$\text{ของแข็งทั้งหมด (มก./ลิตร)} = \frac{\text{น้ำหนักของแข็ง (มก.)} \times 1000}{\text{ปริมาตรตัวอย่าง(มิลลิลิตร)}}$$

ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

ตารางผนวกที่ 1 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของความเข้มของสารละลายโครเมี่ยม พีเอช และขนาดอนุภาคต่อความสามารถในการจับไคติน

SV	DF	SS	MS	F
Teratment	26	24430.6648	939.6409	97.10 **
Conc (C)	2	3646.9867	1823.4934	188.43 **
pH (P)	2	18160.3393	9080.1696	938.31 **
Size (S)	2	1504.4457	752.2228	77.73 **
CXP	4	341.2944	85.3236	8.82 **
CXS	4	121.1683	30.2920	3.13 **
PXS	4	261.2733	65.3183	6.75 **
CXPXS	8	395.1568	49.3496	5.10 **
Error	54	522.5684	9.6771	
Total	80	24953.233		

หมายเหตุ CV = 4.6 %

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$)

ตารางผนวกที่ 2 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของความเข้มข้นของสารละลายโครเมี่ยม และขนาดอนุภาคต่อความสามารถในการจับของไคตินที่พีเอช 5.0 7.0และ 9.0

SV	DF	SS	MS	F
(pH 5.0)				
Treatment	8	3195.4860	399.4357	36.18 **
Error	18	198.8076	11.0448	
CV = 7.2 %				
(pH 7.0)				
Treatment	8	1685.3575	210.6696	29.24 **
Error	18	129.6758	7.2042	
CV = 3.4 %				
(pH 9.0)				
Treatment	8	1375.3912	171.9239	15.78 **
Error	18	196.0648	10.8924	
CV = 4.3 %				

หมายเหตุ ** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$)

ตารางผนวกที่ 3 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของความเข้มของสารละลายตะกั่ว พีเอช และขนาดอนุภาคต่อความสามารถในการจับไคติน

SV	DF	SS	MS	F
Teratment	26	19109.3557	734.9751	179.37**
Conc (C)	2	251.4468	125.7234	30.68 **
pH (P)	2	17522.7191	8761.3595	2138.26 **
Size (S)	2	277.5191	138.7595	33.87 **
CXP	4	675.7433	168.9353	41.23 **
CXS	4	56.3384	14.0846	3.44 **
PXS	4	278.8395	69.7099	17.01 *
CXPXS	8	46.7492	5.8436	1.43 ns
Error	54	221.2610	4.0974	
Total	80	19330.6147		

หมายเหตุ CV = 2.3 %

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.05)

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01)

ตารางผนวกที่ 4 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วและขนาดอนุภาคต่อความสามารถในการจับของไคตินที่พีเอช 5.0 7.0 และ 9.0

SV	DF	SS	MS	F
(pH 5.0)				
Treatment	8	1558.5060	194.8132	86.88 **
Error	18	40.3622	2.2423	
CV = 2.2 %				
(pH 7.0)				
Treatment	8	7.2414	0.9051	3.48 **
Error	18	4.6860	0.2603	
CV =0.5 %				
(pH 9.0)				
Treatment	8	13.5438	1.6929	4.69 **
Error	18	6.4988	0.3610	
CV = 0.6 %				

หมายเหตุ ** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$)

ตารางผนวกที่ 5 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของความเข้มของสารละลายโครเมี่ยม พีเอช และขนาดอนุภาคต่อความสามารถในการจับไคโตแซน

SV	DF	SS	MS	F
Teratment	26	9284.4909	357.0958	50.58 **
Conc (C)	2	1833.0690	916.5345	129.83 **
pH (P)	2	5480.1186	2740.0593	388.14 **
Size (S)	2	873.3574	36.6878	61.86 **
CXP	4	455.8018	113.9504	16.14 **
CXS	4	70.4333	17.6083	2.49 ns
PXS	4	264.2657	66.0664	9.36 *
CXPXS	8	307.4265	38.4283	5.44 **
Error	54	367.0897	7.0594	
Total	80	9658.0471		

หมายเหตุ CV = 4.1 %

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01)

ตารางผนวกที่ 6 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของความเข้มข้นของสารละลายโครเมี่ยม และขนาดอนุภาคต่อความสามารถในการจับของไคโตแซนที่พีเอช 5.0 7.0 และ 9.0

SV	DF	SS	MS	F
(pH 5.0)				
Treatment	8	1490.7305	186.3413	31.28 **
Error	18	106.8801	5.9377	
CV = 4.5 %				
(pH 7.0)				
Treatment	8	356.4561	44.5570	4.53 **
Error	18	177.0513	9.8363	
CV = 4.6 %				
(pH 9.0)				
Treatment	8	1919.2422	239.9052	49.78 **
Error	18	86.7541	4.8196	
CV = 3.0 %				

หมายเหตุ ** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$)

ตารางผนวกที่ 7 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของความเข้มของสารละลายตะกั่ว พีเอช และขนาดอนุภาคต่อความสามารถในการจับไคโตแซน

SV	DF	SS	MS	F
Teratment	26	11915.3145	485.2813	126.40**
Conc (C)	2	355.4267	177.7133	48.91**
pH (P)	2	9762.4002	4881.2001	1343.52**
Size (S)	2	18.4015	9.2007	2.53 ns
CXP	4	1706.3970	426.5992	117.42 **
CXS	4	30.4719	7.6179	2.10ns
PXS	4	28.8360	7.2090	1.98ns
CXPXS	8	13.3810	1.6726	<1
Error	54	196.1892	3.6331	
Total	80	12111.5038		

หมายเหตุ CV = 2.1 %

ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05)

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01)

ตารางผนวกที่ 8 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนผลของความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว และขนาดอนุภาคต่อความสามารถในการจับของไคโตแซนที่พีเอช 5.0 7.0 และ 9.0

SV	DF	SS	MS	F
(pH 5.0)				
Treatment	8	2060.0076	257.5009	62.20 **
Error	18	74.5215	4 .1400	
CV = 2.7 %				
(pH 7.0)				
Treatment	8	13.8728	1.7340	2.31 ns
Error	18	13.5252	0.7540	
CV = 0.9 %				
(pH 9.0)				
Treatment	8	67.2503	8.4063	9.01 **
Error	18	16.7949	0.9330	
CV = 1.0 %				

หมายเหตุ ** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01)

ตารางผนวกที่ 9 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมและตะกั่วของไคตินในลักษณะคอลัมน์เดี่ยว ที่อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ 800 1000 และ 1200 มิลลิลิตร/ชั่วโมง

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	5	2884.682	576.936	663.34 **
Error	12	10.436	0.867	
Total	17	2895.119		

หมายเหตุ CV = 2.0 %

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$)

ตารางผนวกที่ 10 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยมและตะกั่วของไคโตแซนในลักษณะคอลัมน์เดี่ยว ที่อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ 800 1000 และ 1200 มิลลิลิตร/ชั่วโมง

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	5	5027.973	1005.594	325.94 **
Error	12	37.022	3.085	
Total	17	5064.995		

หมายเหตุ CV =2.6 %

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$)

ตารางผนวกที่ 11 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยม ตะกั่วของไคตินในลักษณะคอลัมน์คู่ ที่อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของสารละลายโลหะ 800 1000 และ 1200 มิลลิลิตร/ชั่วโมง

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	5	4565.703	913.146	373.41 **
Error	12	29.344	2.445	
Total	17	4595.048		

หมายเหตุ CV = 2.7 %

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01)

ตารางผนวกที่ 12 ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการกำจัดโครเมี่ยม ตะกั่วของไคโตแซนในลักษณะคอลัมน์คู่ ที่อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของสารละลายโลหะ 800 1000 และ 1200 มิลลิลิตร/ชั่วโมง

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	5	1810.615	326.123	936.83 **
Error	12	4.638	0.386	
Total	17	1815.235		

หมายเหตุ CV =0.8 %

** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายเถวียน บัวตุ่ม

วัน เดือน ปีเกิด 1 เมษายน 2514

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (อุตสาหกรรมเกษตร)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2536

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนการศึกษาของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช)

ทุนผู้ช่วยสอน