

การกำจัดอินโดเลอะนิกในน้ำเสียโดยโคโตแซน



นายเกษม สีดอกบวบ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

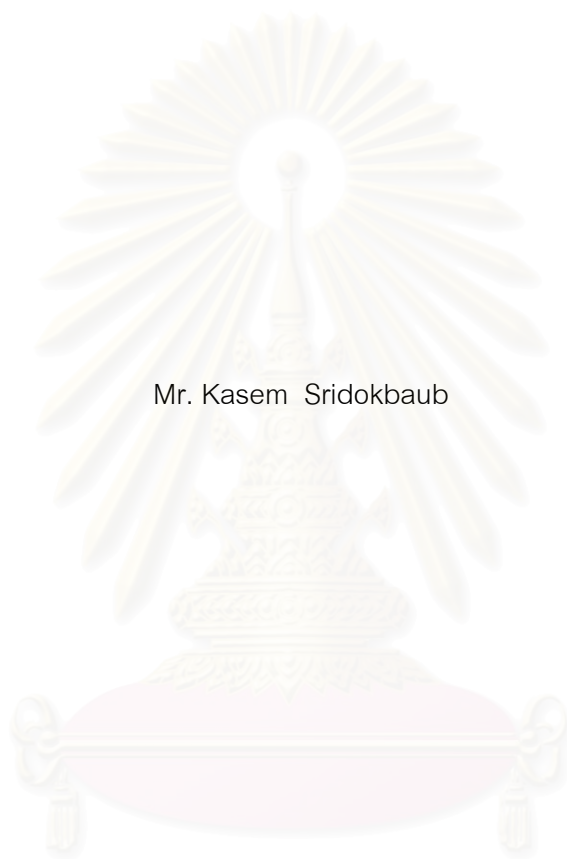
สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค  
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-130-141-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REMOVAL OF HEAVY METAL IONS IN WASTEWATER USING CHITOSAN



Mr. Kasem Sridokbaub

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-130-141-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์                      การกำจัดอโลหะหนักในน้ำเสียโดยโคไตเซน  
โดย    นายเกษม สีดอกบวบ  
สาขาวิชา                                    เคมีเทคนิค  
อาจารย์ที่ปรึกษา                          ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชันทอง สุนทรภา

---

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย โพธิ์พิจริต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตสานต์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชันทอง สุนทรภา)

..... กรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.แก้ววดี พฤษชาทร)

เกษม สีดอกบวบ : การกำจัดไอออนโลหะหนักในน้ำเสียโดยไคโตแซน (REMOVAL OF HEAVY METAL IONS IN WASTEWATER USING CHITOSAN) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชันทอง สุนทรภา จำนวนหน้า 122 หน้า. ISBN 974-130-141-3

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของไคโตแซนซึ่งสกัดมาจากเปลือกกุ้ง เปลือกปู และกุ้ง ผลมปู สำหรับการกำจัดไอออนโลหะหนัก 5 ตัว คือ  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  และ  $\text{Hg}^{2+}$  ในน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมและจากห้องปฏิบัติการ การวิจัยได้แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การสกัดไคโตแซนจากเปลือกกุ้ง เปลือกปู การศึกษาหาพีเอชและปริมาณไคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดไอออนโลหะหนัก และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของไคโตแซนในการดูดซับไอออนโลหะหนักจากน้ำเสียของศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ, บริษัทสยามเบตเตอร์ อินดัสทรี, บริษัทไทยอາซาฮีเคมีภัณฑ์, ห้องปฏิบัติการเคมี 1 และห้องปฏิบัติการเคมี 2 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการศึกษาพบว่า ได้ไคโตแซนร้อยละ 25.9 และ 29.9 ของน้ำหนักเปลือกกุ้งแห้งและเปลือกปูแห้ง มวลโมเลกุลเฉลี่ยเท่ากับ  $3.3 \times 10^5$  และ  $2.7 \times 10^5$  ดาลตัน ร้อยละการกำจัดหมู่แอซเตลมีค่าเท่ากับ 93-94 และ 98 ของไคโตแซนที่เตรียมมาจากเปลือกกุ้งแห้งและเปลือกปูแห้งตามลำดับ

ภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  และ  $\text{Cd}^{2+}$  ในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำคือ พีเอช 5.5 โดยใช้ปริมาณไคโตแซน 1.5 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพมากกว่าร้อยละ 76.9, 66.4-95.5 และ 73.1-79.8 ตามลำดับ

ภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด  $\text{Pb}^{2+}$  ในน้ำเสียจากบริษัทสยามเบตเตอร์อินดัสทรี คือ พีเอช 5.5 ใช้ปริมาณไคโตแซน 1.7 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร โดยตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพมากกว่าร้อยละ 90.3

ภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด  $\text{Hg}^{2+}$  ในน้ำเสียจากบริษัทไทยอາซาฮีเคมีภัณฑ์ คือ พีเอช 5.0 ใช้ปริมาณไคโตแซน 2.2 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร โดยตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพมากกว่าร้อยละ 97.8

ภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ , และ  $\text{Hg}^{2+}$  ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 คือพีเอช 5.5 ใช้ปริมาณไคโตแซน 1.5 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร โดยตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพร้อยละ 94.5-97.7 มากกว่า 14.9, 66.4-67.6 และ 48.0-76.7 ตามลำดับ

ภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด  $\text{Cu}^{2+}$  ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2 คือ พีเอช 5.5 ใช้ไคโตแซนปริมาณ 8.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพมากกว่าร้อยละ 96.4

ภาควิชา เคมีเทคนิค  
สาขาวิชา เคมีเทคนิค  
ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิติ.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

# # 4172227223 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: Shrimp and crab shells / Chitosan / Removal / Heavy metal ions / Wastewater

KASEM SRIDOKBAUB : THESIS TITLE : REMOVAL OF HEAVY METAL IONS IN WASTEWATER USING CHITOSAN. THESIS ADVISOR :ASSIST.PROF.KHANTONG SOONTARAPA.PHD, 122 pp. ISBN 974-130-141-3.

This research was aimed to study the removal efficiency of chitosan on 5 heavy metal ions; i.e.,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ , and  $\text{Hg}^{2+}$ , from industrial and laboratory wastewater. The study was separated into 3 parts; i.e., preparation of chitosan from shrimp and crab shells, determination of optimum pH and optimum dose and removal efficiency analysis. The wastewater was taken from 5 sources; i.e., industrial wastewater from General Environmental Conservation Public Company (Genco), Siam Battery Industry Co., Ltd., Thai Asahi Chemical Co., Ltd., and laboratory wastewater from Chemical Laboratory Building 1 and 2 of Department of Chemistry, Faculty of Science, C.U.

The chitosan yields, average molecular weight, and degree of deacetylation were 25.9% and 29.9%,  $3.3 \times 10^5$  and  $2.7 \times 10^5$  Dalton, 93-94% and 98% of dried shrimp and crab shells, respectively.

For Genco wastewater, it consisted of 3 interest ions; i.e.,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , and  $\text{Cd}^{2+}$ . The optimum pH was 5.5. The optimum doses and removal efficiencies with 24 hr settling times were 1.5 g/400 ml and more than 76.9, 66.4-95.5, 73.1-79.8, respectively.

For Siam Battery Industry Co. wastewater, it consisted of 1 interest ion; i.e.,  $\text{Pb}^{2+}$ . The optimum pH was 5.5. The optimum doses and removal efficiencies with 24 hr settling times were 1.7 g/400 ml and more than 90.3.

For Thai Asahi Chemical Co. wastewater, it consisted of 1 interest ion; i.e.,  $\text{Hg}^{2+}$ . The optimum pH was 5.0. The optimum doses and removal efficiencies with 24 hr settling times were 2.2 g/400 ml and more than 97.8.

For Chem. Lab. Build. 1 wastewater, it consisted of 4 interest ions; i.e.,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ , and  $\text{Hg}^{2+}$ . The optimum pH was 5.5. The optimum doses and removal efficiencies with 24 hr settling times were 1.5 g/400 ml and 94.5-97.7, more than 14.9, 66.4-67.6, 48.0-76.7, respectively.

For Chem. Lab. Build. 2 wastewater, it consisted of 1 interest ion; i.e.,  $\text{Cu}^{2+}$ . The optimum pH was 5.5. The optimum doses and removal efficiencies with 72 hr settling times were 8.0 g/400 ml and more than 96.4.

Department Chemical Technology

Student's signature.....

Field of study Chemical Technology

Advisor's signature.....

Academic year 2000

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาระดับมหาบัณฑิตและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชันทอง สุนทรภา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ ตักเตือน และชี้แนะแนวทางต่างๆ ขอขอบคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ให้คำแนะนำ

ขอขอบคุณหน่วยบริการเทคนิค ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ

ขอขอบคุณอาจารย์อรพิน โกมุติบาล และฝ่ายวิชาโปรแกรมเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันราชภัฏสวนดุสิต ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชัน สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

ขอขอบคุณ บริษัทสุรพล นิธิเรฟูด จำกัด ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์วัสดุดิบคือ เปลือกกุ้ง ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ ศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ บริษัทสยามเบตเตอร์ อินดัสทรี จำกัด และ บริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์ จำกัด ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์น้ำเสีย ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกๆ ท่าน ของภาควิชาเคมีเทคนิค ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดมา

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจและแรงกายช่วยเหลือจนผู้วิจัยสามารถทำการวิจัยได้เสร็จสิ้น

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่มอบทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้จนทำให้สามารถทำการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบคุณครอบครัวผู้วิจัยที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมาจนสำเร็จการศึกษา

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ลักษณะทั่วไปของไคตินและไคโตแซน.....	3
2.2 แหล่งของไคติน.....	7
2.3 กระบวนการเตรียมไคติน.....	10
2.4 กระบวนการเตรียมไคโตแซน.....	12
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของไคโตแซน.....	13
2.6 สมบัติของไคตินและไคโตแซน.....	15
2.7 การใช้ประโยชน์จากไคตินและไคโตแซน.....	19
2.8 กระบวนการโคแอกกูเลชัน.....	23
2.9 การควบคุมโดยวิธีจาร์เทสต์.....	29
2.10 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม.....	31
2.11 สารมลพิษทางน้ำ.....	31
2.12 การบำบัดและกำจัดสลัดจ์.....	33
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	37
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	41
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	41
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	41



## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.3 การดำเนินการวิจัย.....	43
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	49
4.1 ผลการเตรียมโคติน โคโตแซนจากเปลือกกุ้งและเปลือกปู.....	49
4.2 ผลของการวิเคราะห์น้ำเสียตัวอย่างเริ่มต้น.....	51
4.3 ผลการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมของโคโตแซนในการกำจัดอิมอนโละหะหนัก.....	52
4.4 ผลการศึกษาปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอิมอนโละหะหนัก.....	65
4.5 สรุปผลการศึกษาค่าพีเอชและปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอิมอน โละหะหนักในน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ.....	73
4.6 การบำบัดและกำจัดสลัดจ์.....	79
5. สรุปผลการวิจัย.....	80
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	80
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	82
รายการอ้างอิง.....	83
ภาคผนวก.....	85
ภาคผนวก ก. ....	86
ภาคผนวก ข. ....	92
ภาคผนวก ค. ....	107
ประวัติผู้เขียน.....	122



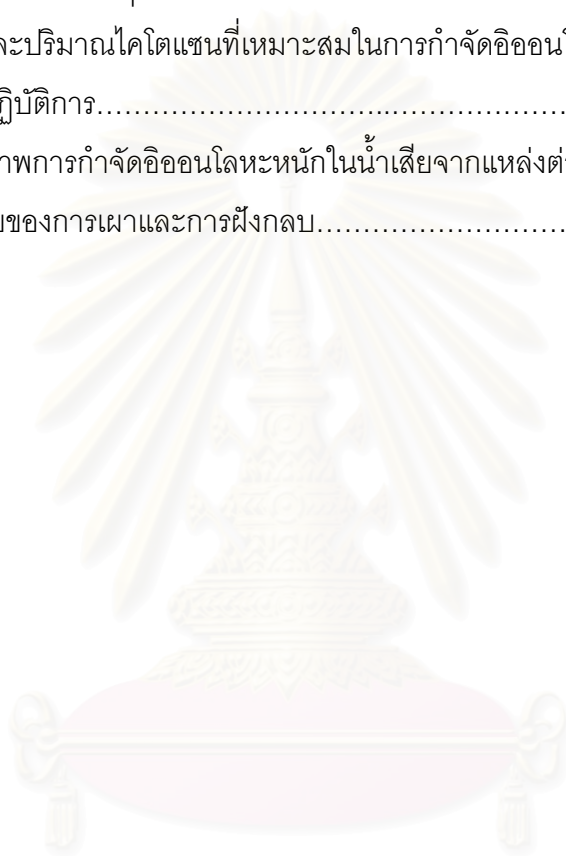
## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ปริมาณไคตินที่มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ.....	8
2.2 การประมาณปริมาณผลผลิตทั่วโลกของสารประเภทไคตินจากแหล่งต่างๆ.....	9
2.3 สมบัติทางเคมีและกายภาพของไคตินและไคโตแซน.....	16
2.4 ความสามารถในการละลายของไคโตแซนในการละลายกรดชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นของกรดต่างๆ กัน.....	18
2.5 ประเภทของสารพิษและวิธีการทำลายฤทธิ์.....	34
4.1 ผลการเตรียมไคติน/ไคโตแซนจากเปลือกกุ้งและเปลือกปู.....	49
4.2 สมบัติของไคโตแซนที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับไคโตแซนอื่น.....	51
4.3 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียตัวอย่างเริ่มต้นที่ใช้ในงานวิจัย.....	52
4.4 การทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของไคโตแซนในการกำจัดอ็อกสน โลหะหนักในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ.....	54
4.5 การทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของไคโตแซนในการกำจัดอ็อกสน โลหะหนักในน้ำเสียจากบริษัทสยามเบตเตอร์.....	57
4.6 การทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของไคโตแซนในการกำจัดอ็อกสน โลหะหนักในน้ำเสียจากบริษัทไทยอาสาฮีเคมีภัณฑ์.....	58
4.7 การทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของไคโตแซนในการกำจัดอ็อกสน โลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1.....	61
4.8 การทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของไคโตแซนในการกำจัดอ็อกสน โลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2.....	64
4.9 ปริมาณไคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอ็อกสนโลหะหนักในน้ำเสียจากศูนย์กำจัด น้ำเสียแสมดำ.....	67
4.10 ปริมาณไคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอ็อกสนโลหะหนักในน้ำเสียจาก บริษัทสยามเบตเตอร์.....	69
4.11 ปริมาณไคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอ็อกสนโลหะหนักในน้ำเสียจาก บริษัทไทยอาสาฮีเคมีภัณฑ์.....	70
4.12 ปริมาณไคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอ็อกสนโลหะหนักในน้ำเสียจาก ห้องปฏิบัติการเคมี 1.....	72

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ญ

ตาราง	หน้า
4.13 ปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจาก ห้องปฏิบัติการเคมี 2.....	74
4.14 ค่าพีเอชและปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสีย จากอุตสาหกรรมต่างๆ.....	76
4.15 ค่าพีเอชและปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสีย จากห้องปฏิบัติการ.....	77
4.16 ประสิทธิภาพการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ.....	78
4.17 ข้อดีข้อเสียของการเผาและการฝังกลบ.....	79



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของไคติน.....	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของไคโตแซน.....	5
รูปที่ 2.3 IR Spectra ของไคตินและไคโตแซน.....	5
รูปที่ 2.4 IR Spectra ของไคตินและไคโตแซนโดยวิธี CP-MAS.....	6
รูปที่ 2.5 การเกิดคีเลทของทองแดงกับไคโตแซน.....	7
รูปที่ 2.6 ขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการเตรียมไคติน.....	10
รูปที่ 2.7 ขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการเตรียมไคโตแซน.....	12
รูปที่ 2.8 ค่าความหนืดของไคตินที่ละลายใน Formic acid anhydrous ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน วัดค่าความหนืดที่ 25 องศาเซลเซียส.....	17
รูปที่ 2.9 ผลของเวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซทิล (ในสารละลาย NaOH ร้อยละ 50 อุณหภูมิ 118 องศาเซลเซียส) ที่มีต่อความหนืดของสารละลายไคโตแซน.....	19
รูปที่ 2.10 แรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่ระยะห่างต่างๆ.....	25
รูปที่ 2.11 ผลของการเติมอิออนที่มีประจุตรงข้ามให้กับอนุภาคคอลลอยด์.....	25
รูปที่ 2.12 ลักษณะการเกิดโคแอกกูเลชันโดยกลไกการดูดติดและทำลายเสถียรภาพและกลไกแบบจับอนุภาคไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้น.....	27
รูปที่ 2.13 กลไกการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์แบบเชื่อมต่อกันด้วยพอลิเมอร์.....	28
รูปที่ 2.14 อุปกรณ์ใช้ในการทำจาร์เทสต์.....	30
รูปที่ 2.15 ระบบการบำบัดและกำจัดกากของเสียอันตราย.....	36
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมไคโตแซนจากเปลือกกุ้งและเปลือกปู.....	45
รูปที่ 4.1 ลักษณะเกล็ดของไคโตแซนที่เตรียมมาจากเปลือกกุ้งและเปลือกปู.....	50
รูปที่ 4.2 พีเอชที่เหมาะสมของไคโตแซนในการกำจัดอิออนทองแดงในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ.....	55
รูปที่ 4.3 พีเอชที่เหมาะสมของไคโตแซนในการกำจัดอิออนสังกะสีในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ.....	55
รูปที่ 4.4 พีเอชที่เหมาะสมของไคโตแซนในการกำจัดอิออนแคดเมียมในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ.....	56
รูปที่ 4.5 พีเอชที่เหมาะสมของไคโตแซนในการกำจัดอิออนตะกั่วในน้ำเสียจากบริษัทสยามแปตเตอร์รี่.....	57

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ฎ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.6 พีเลขที่เหมาะสมของโคโตแซนในการกำจัดอออนปรอทในน้ำเสียจาก บริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์.....	59
รูปที่ 4.7 พีเลขที่เหมาะสมของโคโตแซนในการกำจัดอออนสังกะสีในน้ำเสียจาก ห้องปฏิบัติการเคมี 1.....	62
รูปที่ 4.8 พีเลขที่เหมาะสมของโคโตแซนในการกำจัดอออนปรอทในน้ำเสียจาก ห้องปฏิบัติการเคมี 1.....	62
รูปที่ 4.9 พีเลขที่เหมาะสมของโคโตแซนในการกำจัดอออนแคดเมียมในน้ำเสียจาก ห้องปฏิบัติการเคมี 1.....	63
รูปที่ 4.10 พีเลขที่เหมาะสมของโคโตแซนในการกำจัดอออนตะกั่วในน้ำเสียจาก ห้องปฏิบัติการเคมี 1.....	63
รูปที่ 4.11 พีเลขที่เหมาะสมของโคโตแซนในการกำจัดอออนทองแดงในน้ำเสียจาก ห้องปฏิบัติการเคมี 2.....	65

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยได้ประสบปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก โดยปัญหาที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตประจำวันของประชากรในขณะนี้คือ มลพิษทางน้ำ เนื่องจากการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งสาธารณะ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม บ้านเรือน และจากเกษตรกรรม ซึ่งน้ำเสียที่ปล่อยออกมามีสิ่งเจือปนอยู่เป็นอันมาก เช่น สิ่งปฏิภูมิ สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์และสารเคมีอื่นๆ เป็นต้น การปนเปื้อนของอิออนโลหะหนักในสภาพแวดล้อมไม่ว่าจะโดยธรรมชาติหรือการกระทำของมนุษย์ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ โดยในระยะยาวมนุษย์สามารถรับพิษจากอิออนโลหะหนักได้โดยตรงและผ่านทางสารสะสมของอิออนโลหะหนักในห่วงโซ่อาหาร โรคที่เกิดจากการสะสมของโลหะหนักในร่างกายมนุษย์ ได้แก่ มินามาตะจากอิออนปรอทและอิไต - อิไตจากอิออนแคดเมียม เป็นต้น ปัจจุบันปริมาณอิออนโลหะหนัก เช่น ปรอท ตะกั่ว ทองแดง แคดเมียม และสังกะสี ที่มีในแหล่งน้ำมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นทุกวัน เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมขยายตัวมากขึ้น ดังนั้นจึงควรนำมาผ่านการบำบัดโลหะหนักก่อนแล้วนำตะกอนที่ผ่านการบำบัดมาฝังกลบ เพราะหากขาดการบำบัดที่ดีอิออนโลหะหนักเหล่านี้จะก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมต่อไป

ของเสีย (Solid wastes) ที่มาจากการแปรรูปอาหารทะเลจำพวกกุ้ง ปู มีปริมาณสูงถึงร้อยละ 80 ของน้ำหนักสดของกุ้งและปู และปริมาณของเสียเหล่านี้ประกอบด้วยไคติน (Chitin) ร้อยละ 20-30 ของน้ำหนักแห้ง [1] ของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลจำนวนมากเหล่านี้ นับวันจะมีปริมาณสูงขึ้น ดังนั้นการกำจัดของเสียเหล่านี้ทำให้สิ่งแวดล้อมทรุดโทรม และอาจก่อให้เกิดของเสียตัวใหม่ในกระบวนการกำจัดที่เราระบายอยู่ทุกวันนี้ แนวความคิดที่ดีกว่าในยุคปัจจุบันคือการนำมาแปรรูป หรือการนำมาประยุกต์กับงานบางอย่าง เช่น การแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ซึ่งนอกจากเป็นการกำจัดของเสียแล้วยังช่วยเพิ่มมูลค่าขึ้นด้วย

ไคตินและไคโตแซน (Chitosan) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไคติน เป็นไบโอพอลิเมอร์ (Biopolymers) ที่พบมากในสัตว์ทะเลที่มีเปลือกแข็งภายนอก เช่น กุ้ง ปู กุ้ง เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันพอลิเมอร์ทั้งสองตัวนี้ทำให้นักวิจัยและนักอุตสาหกรรมสนใจอย่างมาก ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง เช่น ทำเป็นตัวกรองเพื่อทำให้น้ำบริสุทธิ์สำหรับดื่มได้ การนำมา

ประยุกต์ใช้ในด้านเกษตรกรรมและเครื่องสำอาง ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบการกำจัดของเสีย ตัวอย่าง เช่น ใช้เป็นตัวตกตะกอน การกำจัดอเนกโลหะหนักจากน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม การกำจัดดีเยี่ยมและการกำจัดยาฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ เป็นต้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เตรียมโคโตนแซนจากเปลือกกุ้ง เปลือกปู ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน [2]
2. ประยุกต์ใช้โคโตนแซนจากเปลือกกุ้ง เปลือกปู และเปลือกกุ้งผสมกับเปลือกปูที่อัตราส่วน 1:1 เป็นสารตกตะกอนอเนกโลหะหนักในน้ำเสียจริง
3. ศึกษาความสามารถของโคโตนแซนในการกำจัดอเนกโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี และหาภาวะที่เหมาะสม
4. ศึกษาความสามารถของโคโตนแซนในการกำจัดอเนกโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และหาภาวะที่เหมาะสม

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ในงานวิจัยนี้ศึกษาอเนกโลหะหนัก 5 ชนิด คือ ปรอท ตะกั่ว ทองแดง แคดเมียม และสังกะสี
2. ทดลองหาภาวะการกำจัดที่เหมาะสมด้วยระบบจาร์เทสต์ (Jar test)
3. น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีนำมาจาก ห้องปฏิบัติการเคมี 1 และ 2 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมนำมาจาก ศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ บริษัทสยามเบตเตอร์ อินดัสทรี จำกัด และบริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์ จำกัด

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ช่วยลดปริมาณของเสียจากเปลือกกุ้ง เปลือกปูและสามารถใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าจากวัสดุเหลือทิ้งของอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เย็น
2. ได้ภาวะที่เหมาะสมในการใช้โคโตนแซนในการดูดซับอเนกโลหะหนักในน้ำทิ้งจริง ซึ่งจะเป็นข้อมูลเบื้องต้นของระบบบำบัดน้ำเสียแบบการตกตะกอนทางเคมี



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ลักษณะทั่วไปของไคตินและไคโตแซน

จากแนวโน้มการขยายตัวของอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่เย็น แช่แข็งและผลิตภัณฑ์อื่น ส่งผลให้มีปริมาณวัสดุเหลือใช้อันได้แก่ หัวกุ้ง เปลือกกุ้ง เปลือกปู และเศษเนื้อเพิ่มขึ้น การผลิตไคตินจากเปลือกกุ้งและเปลือกปูจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งเหล่านั้น

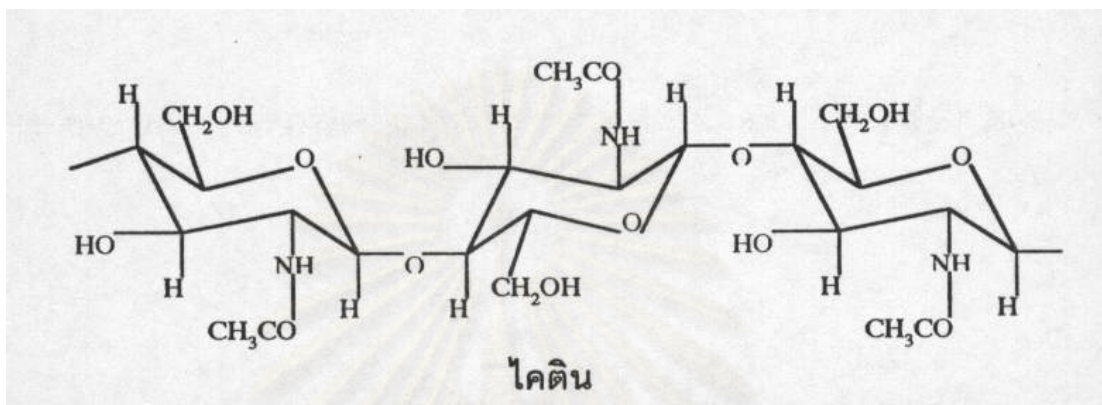
ไคตินและไคโตแซนเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีอยู่มากเป็นอันดับสองของโลก รองจากเซลลูโลส (Cellulose) ในจำพวกพอลิเมอร์ชีวภาพทั้งหมด มีการค้นพบและศึกษาเกี่ยวกับไคตินและไคโตแซนมานานแล้ว แต่ไม่มีใครเป็นที่รู้จักและนำมาใช้ประโยชน์กันมากนักทั้งในเชิงอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวันหรือการนำมาประยุกต์ใช้ทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความสะดวกและความคุ้นเคยของมนุษย์ในการใช้ประโยชน์จากเซลลูโลส ถึงแม้ว่าไคติน ไคโตแซน และเซลลูโลส เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพในกลุ่มเดียวกันก็ตามคือคาร์โบไฮเดรตพอลิเมอร์ แต่มีคุณสมบัติทางเคมีที่ต่างกันในส่วนขององค์ประกอบพอลิเมอร์ ซึ่งทำให้ไคติน ไคโตแซนมีคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพทั้งที่คล้ายกันกับเซลลูโลสและแตกต่างกันจากเซลลูโลส

ไคติน (Chitin) ประกอบด้วยสารพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ซึ่งเป็นโพลีพอลิเมอร์ที่พบมากในสัตว์ทะเลที่มีเปลือกแข็งภายนอก เช่น กุ้ง ปู กิ้ง เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบในแมลงมีปีก เช่น แมลงสาบ ตั๊กแตน และยังพบในผนังเซลล์ของเห็ด รา และยีสต์บางชนิด [3]

ไคตินมีชื่อทางเคมีว่า Poly- $\beta$ -(1,4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucose หรือ Poly N-acetyl-glucosamine เป็นพอลิเมอร์อินทรีย์โมเลกุลยาวที่มีโครงสร้างคล้ายเซลลูโลส (Cellulose) ต่างกันที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 เป็นหมู่ Acetylated amino (-NH-CO-CH<sub>3</sub>) แทนที่จะเป็นหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ดังในเซลลูโลส ไคตินมีสูตรทั่วไปเป็น (C<sub>8</sub>H<sub>13</sub>NO<sub>5</sub>)<sub>n</sub> ประกอบด้วย คาร์บอนร้อยละ 47.29 ไฮโดรเจนร้อยละ 6.45 ไนโตรเจนร้อยละ 6.89 และออกซิเจนร้อยละ 39.37 [4] อย่างไรก็ตามไคตินในธรรมชาติจะมีบางหน่วยที่ไม่มีหมู่แอเซทิล (-CO-CH<sub>3</sub>) โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 10 ในสายพอลิเมอร์ เมื่อพิจารณาจากสูตรโครงสร้างของไคติน พบว่าไคตินเป็นสาร



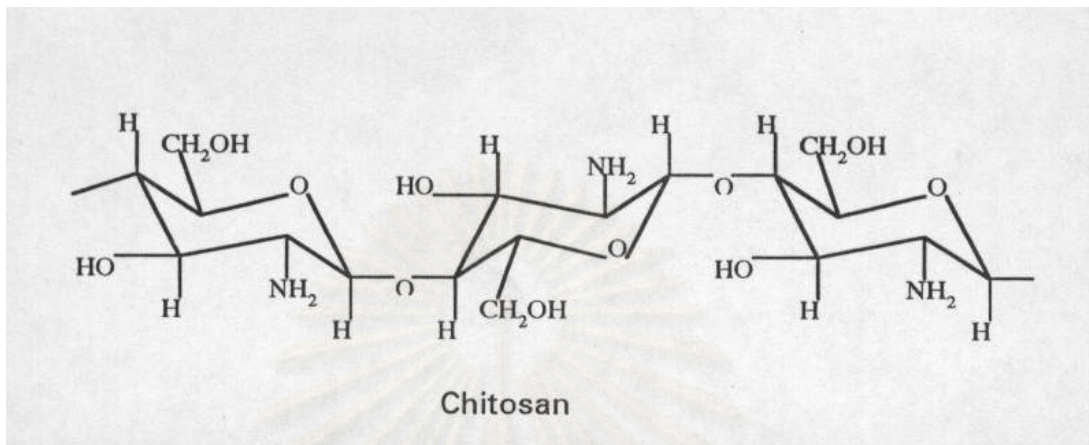
โมเลกุลยวที่ไร้ประจุ (Non-electrolytic polymer) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งทำให้ไคตินไม่ละลายในสารละลายทั่ว ๆ ไปโดยง่าย การใช้ประโยชน์จากไคตินจึงไม่แพร่หลายนัก อย่างไรก็ตามสามารถดัดแปรไคตินโดยวิธีการทางเคมีเพื่อเพิ่มประโยชน์ในการใช้งานมากขึ้นคือการเตรียมเป็นไคโตแซน (Chitosan)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของไคติน [2]

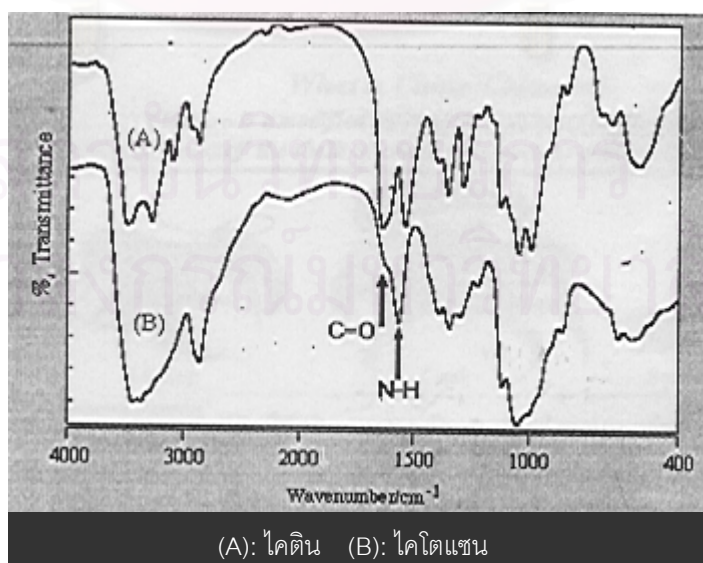
ไคโตแซนเป็นอนุพันธ์ของไคตินมีชื่อทางเคมีว่า Poly- $\beta$ -(1,4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose ซึ่งสามารถเตรียมขึ้นได้โดยการแยกหมู่แอสติลออก (Deacetylation) จากไคตินเหลือเป็นหมู่อะมิโนอิสระ ( $-NH_2$ ) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยทั่วไปถ้าหมู่แอสติล ถูกตัดหรือหลุดไปประมาณร้อยละ 60 ไคตินจะถูกเรียกว่าไคโตแซน และถ้าหมู่แอสติลถูกตัดหรือหลุดไปประมาณร้อยละ 90-100 จะเรียกว่า Fully deacetylated chitosan [5] ในทางทฤษฎีไคตินประกอบด้วยไนโตรเจนร้อยละ 6.89 และในไคโตแซนร้อยละ 8.70 แต่ในทางปฏิบัติการแยกเอาหมู่แอสติลออกมักจะไม่สมบูรณ์ ดังนั้นปริมาณไนโตรเจน จะไม่แน่นอน จะอยู่ในช่วงร้อยละ 6.89–8.70 เมื่อพิจารณาสูตรโครงสร้างของไคโตแซนแล้ว จะเห็นว่าไคโตแซนสามารถมีประจุบวกบนหมู่อะมิโนและอาจพิจารณาว่าเป็น Cationic polymer คุณสมบัติ Polyelectrolyte ของไคโตแซนมีคุณสมบัติในการดูดซับ (Adsorp) สารจำพวกอินทรีย์ รวมถึง Polychlorinated biphenyls โปรตีนและ Nucleic acid รวมถึงอิออนโลหะ เนื่องจากคุณสมบัติการดูดซับที่ดีเลิศ ไคโตแซนจึงทำหน้าที่เป็น Coagulating agent ได้ดี [6] นอกจากนี้มีคุณสมบัติในการละลายในตัวทำละลายกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น สารละลายกรดฟอร์มิก สารละลายกรดอะซิ

ติก เป็นต้น และละลายได้เล็กน้อยในกรดอินทรีย์เจือจาง เช่น กรดเกลือ เป็นต้น จึงเป็นเหตุผลที่สำคัญซึ่งทำให้การใช้ประโยชน์จากไคโตแซนมีสูงกว่าไคติน

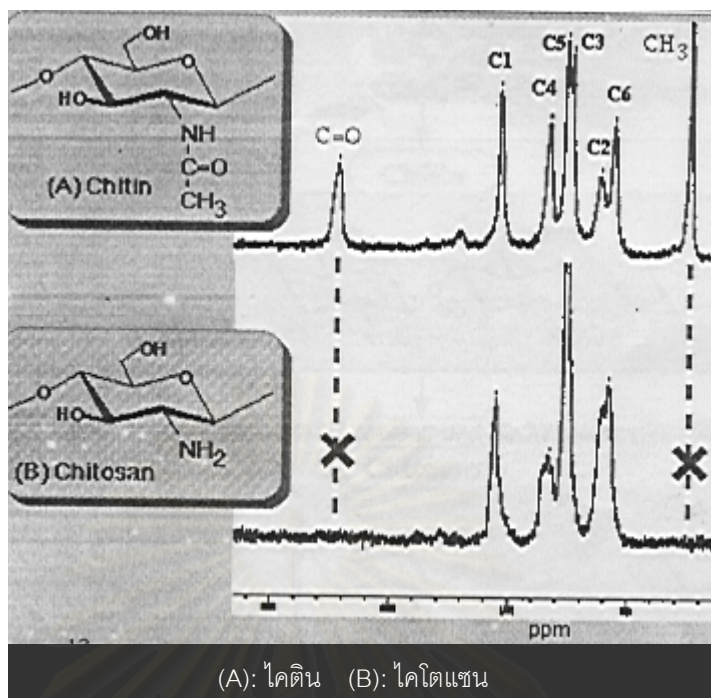


รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของไคโตแซน [2]

IR spectra และ NMR spectra ของไคตินและไคโตแซนมีโครงสร้างต่างกันดังแสดงในรูปที่ 2.3 และ 2.4 [7]



รูปที่ 2.3 IR spectra ของไคตินและไคโตแซน [7]

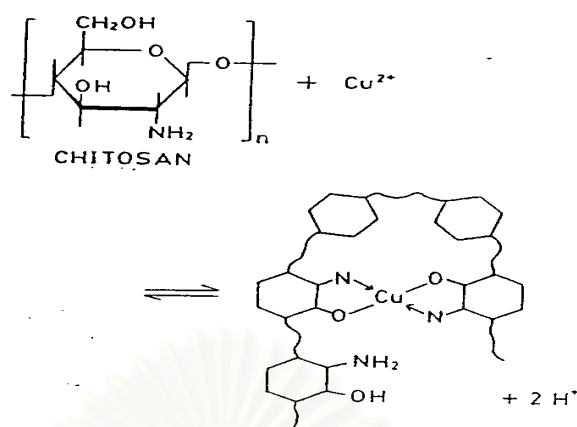


รูปที่ 2.4 NMR spectra ของไคตินและไคโตแซนโดยวิธี CP-MAS [7]

ความสามารถของไคตินและไคโตแซนในการรวมกับ Alkali และ Alkaline metals จะน้อยมาก แต่ Transition-metal ions ของแถวแรกเช่น สังกะสี นิกเกิล และทองแดง จะเกิดคีเลทได้ดีกับไคโตแซน ความสามารถในการเกิดคีเลทของไคโตแซนสูงมากกว่าไคติน เนื่องจากมีหมู่อะมิโนมากกว่า

ไคโตแซนเกิดคีเลทกับอิออนโลหะปล่อยไฮโดรเจนอิออน ( $H^+$ ) ออกมาดังรูปที่ 2.5

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.5 การเกิดคีเลทของทองแดงกับไคโตแซน [6]

## 2.2 แหล่งของไคติน [3]

ไคตินเป็นสารอินทรีย์ที่เกิดตามธรรมชาติ ซึ่งมีปริมาณมากเป็นที่สองของโลกรองจากเซลลูโลส เราจะพบไคตินตามผนังเซลล์ของพืชและสัตว์ เช่น ในยีสต์ที่ใช้ทำเบียร์และไวน์ ในพืชบางชนิดอาจจะมีไคตินแทนเซลลูโลสหรือเกิดร่วมกับเซลลูโลสก็ได้ ส่วนในสัตว์จะมีไคตินอยู่เป็นคิวติเคิล (Cuticle) ที่ผนังของอีพิทีเลียม (Epithelium) ส่วนมากเราจะพบไคตินในเปลือกของสัตว์ทะเลที่ไม่มีกระดูกสันหลัง แมลง เชื้อรา เชื้อยีสต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสัตว์ที่มีโครงร่างแข็งภายนอก (Exoskeleton) ของสัตว์ใน Phylum Arthropoda โดยเฉพาะอย่างยิ่งใน Class Crustacean ได้แก่ กุ้ง ปู กุ้ง ตลอดจนใน Class Insecta ได้แก่ แมลงสาบ ตัวด้วง เป็นต้น ไคตินที่พบในแหล่งต่างๆ จะมีปริมาณแตกต่างกันออกไปดังแสดงในตารางที่ 2.1 ได้มีผู้รายงานไว้ [3] หากนำเอาสิ่งที่เหลือทิ้งจากการแปรรูปกุ้ง ปู เคย (Krill) ทั่วโลกมารวมกัน จะได้ไคตินถึง 150 ล้านกิโลกรัมดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ปริมาณไคตินที่มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ [8]

ชนิด	ปริมาณไคติน (%)	ชนิด	ปริมาณไคติน (%)
<b><u>Crustacea</u></b>		<b><u>Insects</u></b>	
Cancer (Crab)	72.1 <sup>c</sup>	Periplaneta (Cockroach)	2.0 <sup>a</sup>
Carcinus (Crab)	0.4-3.3 <sup>a</sup>	Blatella (Cockroach)	18.4 <sup>c</sup>
	8.29 <sup>b</sup>		10 <sup>b</sup>
	64.2 <sup>b</sup>		35 <sup>c</sup>
Paralithodes (King crab)	35 <sup>b</sup>	Colcoptera (Beetle)	5-15 <sup>b</sup>
Callinectes (Blue crab)	14 <sup>a</sup>		27-35 <sup>c</sup>
Pleuroncodes (Red crab)	1.3-1.8 <sup>b</sup>	Tenebrio (Beetle)	2.1 <sup>a</sup>
Crangon (Shrimp)	5.8 <sup>b</sup>		4.9 <sup>b</sup>
	69.1 <sup>c</sup>		31.3 <sup>c</sup>
Nephropes (Lobster)	69.8 <sup>c</sup>	Diptera (True fly)	54.8 <sup>c</sup>
	6.7 <sup>b</sup>	Pieris (Sulfur butterfly)	64 <sup>c</sup>
Homarus (Lobster)	60.8-77.0 <sup>c</sup>	Grasshopper	2-4 <sup>c</sup>
Lepas (Barnacles)	58.3 <sup>c</sup>		20 <sup>c</sup>
		Bombyx (Silk worm)	44.2 <sup>c</sup>
		Calleria (Wax worm)	33.7 <sup>c</sup>
<b><u>Fungi</u></b>			
<u>Aspergillus niger</u>	42.2 <sup>e</sup>	<b><u>Molluscan Organs</u></b>	
<u>Penicillium notatum</u>	18.5 <sup>e</sup>	Clamshell	6.1 <sup>b</sup>
<u>Penicillium chrysogenum</u>	20.1 <sup>e</sup>	Oyster shell	3.6 <sup>a</sup>
<u>Saccharomyces cerevisiae</u>	2.9 <sup>e</sup>	Squid, skeletalpen	41.0 <sup>c</sup>
<u>Mucor rouxii</u>	44.5 <sup>e</sup>	Krill, deproteinized shell	40.2 <sup>c</sup>
<u>Lactarius vellereus</u>	19.0 <sup>e</sup>	May (Beetle)	16 <sup>b</sup>
Alaskan shrimp	28 <sup>d</sup>		

a Wet body weight

b Dry body weight

c Organ weight of cuticle

d Total dry weight of cuticle

e Dry weight of the cell wall



ตารางที่ 2.2 การประมาณปริมาณผลผลิตทั่วโลกของสารประเภทไคตินจากแหล่งต่างๆ<sup>a</sup> [3]

Chitin resources	Quantity Harvested <sup>b</sup> (10 <sup>3</sup> metric tons)	Chitinaceous waste				
		As fraction of harvest (%)	Wet Weight (10 <sup>3</sup> metric tons)	Solids Content (%)	Dry Weight (10 <sup>3</sup> metric tons)	Chitin Potential <sup>c</sup> (10 <sup>3</sup> metric tons)
Shellfish <sup>d,e</sup>	1,700	50-60	468	30-35	154	39
Krill <sup>f</sup>	18,200	40	3,640	22	801	56
Clam/oysters <sup>e</sup>	1,390	65-85	521	90-95	482	22
Squid <sup>e,g</sup>	660	20-40	99	21	21	1
Fungi <sup>h</sup>	790	100	790	20-26	182	32
Insects	negligible	-	-	21-26	-	-
<b>Total</b>	<b>22,740</b>		<b>5,118</b>		<b>1,640</b>	<b>150</b>

<sup>a</sup> Estimates are based upon mean values and are given in 10<sup>3</sup> metric tons

<sup>b</sup> It is assumed that only half of the harvested organisms are processed, except for fungi where the entire production is already processed for the principal product of the fermentation

<sup>c</sup> Calculated using mean chitin content values

<sup>d</sup> Shellfish includes crab, shrimp, prawn, lobster and crayfish

<sup>e</sup> Five-year (1970-1974) average landings

<sup>f</sup> FOA (Rome) projection of potential landings

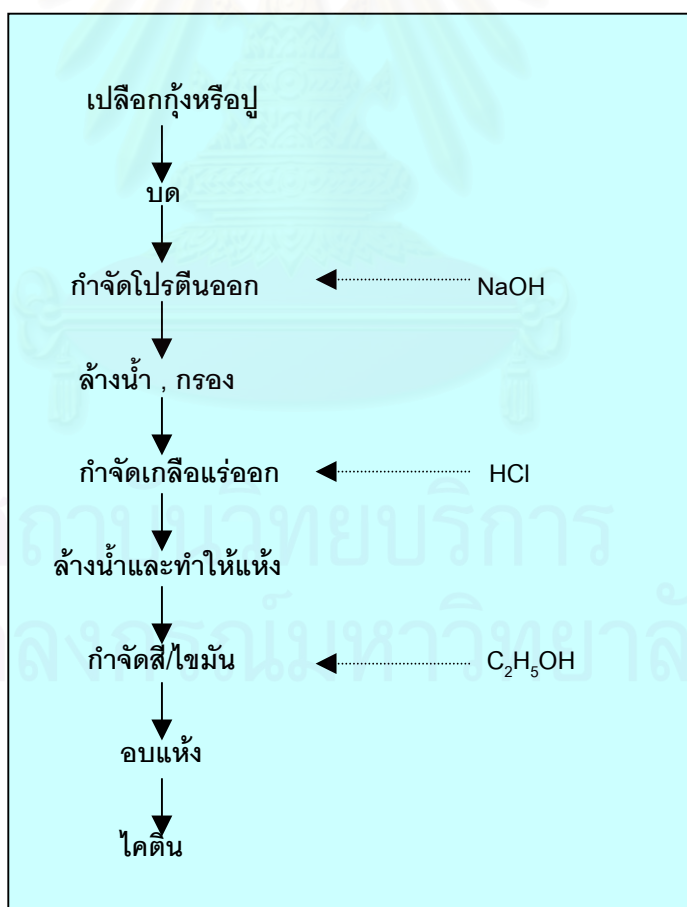
<sup>g</sup> Calculated on the assumption that the pen is 50 % water

<sup>h</sup> By-products of citric acid and antibiotic manufacture; it is assumed that quantity of citric acid and its mycelium are equivalent, antibiotic waste is 50 % nonfungl and world production is twice that of the U.S.

### 2.3 กระบวนการเตรียมไคติน [2]

การเตรียมไคตินขึ้นกับวัตถุดิบและสารประกอบที่มีอยู่ในวัตถุดิบนั้น ซึ่งส่วนใหญ่ผลิตจากเปลือกกุ้งและเปลือกปูที่เหลือทิ้ง องค์ประกอบของวัตถุดิบส่วนใหญ่จะเป็นโปรตีน และแคลเซียมคาร์บอเนต นอกจากนี้จะมีพวกสีและไขมันต่างๆ โปรตีนสามารถแยกออกได้โดยการต้มกับสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมคาร์บอเนตสามารถแยกออกได้โดยการต้มกับกรดไฮโดรคลอริกหรือกรดไนตริก ส่วนรงควัตถุสามารถแยกออกได้โดยใช้สารฟอกสี

กระบวนการเตรียมไคตินจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนที่สำคัญคือ ขั้นตอนการกำจัดโปรตีน (Deproteinization) ขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุ (Deminerlization) และขั้นตอนการกำจัดไขมันและเม็ดสี (Elimination of lipids and pigments) ขั้นตอนทั่วไปของการเตรียมไคตินแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการเตรียมไคติน



### 2.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมวัตถุดิบเพื่อแยกโคติน เริ่มจากการนำวัตถุดิบ ได้แก่ เปลือกกุ้ง เปลือกปูมาล้างน้ำให้สะอาดหลายๆ ครั้ง ในกรณีที่ต้องเก็บสะสมวัตถุดิบไว้ระยะหนึ่งก่อน นำเปลือกที่ล้างสะอาดแล้วไปต้มและล้างด้วย Antioxidant solution แล้วนำไปตากแห้งหรืออบให้แห้ง เพื่อจะได้เก็บสะสมที่อุณหภูมิห้องได้ และสะดวกต่อการขนส่ง หลังจากนั้นอาจมีการลดขนาดเช่นบดละเอียด

### 2.3.2 การกำจัดแร่ธาตุ

ขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุโดยการใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจางเป็นตัวละลายแร่ธาตุ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเกลือแคลเซียมคาร์บอเนต โดยมีกลไกของปฏิกิริยาดังนี้



นอกจากนี้ยังมีการใช้กรดซัลฟูรัส ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ในการกำจัดแร่ธาตุสำหรับกระบวนการเตรียมโคตินในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งมีข้อได้เปรียบ คือ ลดปฏิกิริยาการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโคตินเนื่องจากกรดซัลฟูรัสเป็นกรดอ่อน และสามารถทำ Recycle นำกลับมาใช้ได้อีก ตลอดจนได้ผลพลอยได้เช่น แคลเซียมซัลไฟต์ ( $\text{CaSO}_3$ ) แคลเซียมซัลเฟต ( $\text{CaSO}_4$ ) และแคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ) ซึ่งสามารถนำไปขายได้

### 2.3.3 การกำจัดโปรตีน

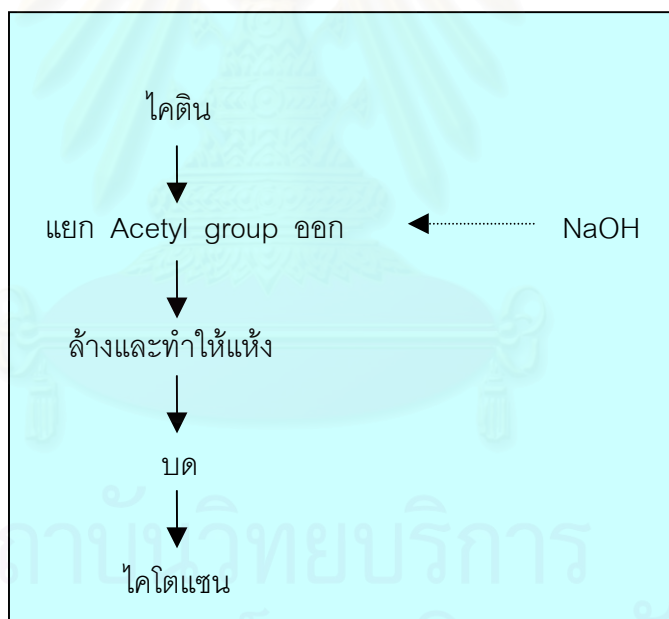
ขั้นตอนการกำจัดโปรตีน โดยการใช้สารละลายต่าง ส่วนมากนิยมใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้มีการใช้สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ มีรายงานอ้างอิงใน [2] ว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดโปรตีน คือ 11.5 นอกจากนี้พบว่า การลดขนาดของวัตถุดิบมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการกำจัดโปรตีน นอกจากการใช้สารละลายต่างในการกำจัดโปรตีนแล้วยังมีการใช้เอนไซม์ในการกำจัดโปรตีนด้วย ซึ่งจะทำให้ความหนืดของสารละลายโคโตแซนลดลง

### 2.3.4 การกำจัดสีและไขมัน

ขั้นตอนการกำจัดสีและไขมันโดยมากนิยมใช้ตัวทำละลายต่างๆ เช่น อีทิลแอลกอฮอล์ อะซีโตน และอีเทอร์ หรือสารละลายเปอร์มังกาเนต ซึ่งขั้นตอนการกำจัดสีและไขมัน อาจทำในระหว่างขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุและโปรตีน หรือภายหลังจากการกำจัดแร่ธาตุและโปรตีนแล้ว อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนการกำจัดสีและไขมันนี้ไม่จำเป็นต้องทำได้

## 2.4 กระบวนการเตรียมโคโตแซน [2]

กระบวนการเตรียมโคโตแซน มีขั้นตอนหลักอยู่เพียงขั้นตอนเดียว คือ ขั้นตอนการกำจัดหมู่แอซิติล (Deacetylation) ในไคติน ด้วยสารละลายต่างร้อน สำหรับขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการเตรียมโคโตแซน แสดงได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการเตรียมโคโตแซน

## 2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของโคโคเตแซน [2]

### 2.5.1 ชนิดของสารละลายต่าง

โดยทั่วไป สารละลายต่างที่นิยมใช้ในการกำจัดหมู่แอเซทิลในโคโคเตแซน คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้ ได้แก่ สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ มีรายงานอ้างอิงใน [2] ว่าการใช้สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ในการกำจัดหมู่แอเซทิล มีผลทำให้ได้สารละลายโคโคเตแซนที่มีความหนืดดีกว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

### 2.5.2 ความเข้มข้นของสารละลายต่าง

นิยมใช้ต่างในรูปของสารละลายกำจัดหมู่แอเซทิล โดยทั่วไปมีความเข้มข้นอยู่ในช่วงร้อยละ 40-60 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังมีการใช้ต่างในรูปอื่น เช่น Alkali fusion โดยหลอมโคโคเตแซน 30 กรัมกับโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 150 กรัม ใน Nickel crucible ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน นอกจากนี้ได้มีการเตรียมโคโคเตแซนในหลอดทดลอง โดยผสมโคโคเตแซน 10-50 มิลลิกรัมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิกรัม และ Benzenethiol 100 มิลลิกรัม ละลายในน้ำ 1 มิลลิลิตร แล้วใช้ความร้อนภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน มีรายงานอ้างอิงใน [2] ว่าการใช้สารละลายต่างที่มีความเข้มข้นสูงเกินไป จะทำให้โคโคเตแซนที่ผลิตได้สูญเสียสภาพธรรมชาติได้ เนื่องจากสภาวะที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซทิลเป็นสภาวะที่รุนแรง ทั้งอุณหภูมิที่สูงและเวลาค่อนข้างนาน แต่การใช้สารละลายต่างที่มีความเข้มข้นต่ำเกินไป มีผลต่อสมบัติการละลายของโคโคเตแซนในสารละลายกรดอ่อน โดยจะทำให้ละลายได้ยากขึ้นหรือไม่สามารถละลายได้เลย

### 2.5.3 อุณหภูมิในการกำจัดหมู่แอเซทิล

อุณหภูมิในการกำจัดหมู่แอเซทิลโดยมากมักจะทำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ได้แก่ ที่อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส และที่สูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เช่น 145-150 องศาเซลเซียส มีรายงานอ้างอิงใน [2] ว่าอัตราเร็วในการทำ Deacetylation ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส มากกว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เกือบ 2 เท่าตัว แต่ที่อุณหภูมิสูง คือที่ 110 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้โคโคเตแซนที่มีมวลโมเลกุลลดลง และการใช้อุณหภูมิในการกำจัดหมู่แอเซทิลที่สูงเกินไปจะทำให้โคโคเตแซนที่ผลิตได้เสียสภาพธรรมชาติ และทำให้โมเลกุลของโคโคเตแซนเกิดปฏิกิริยา Degradation ได้ ทำให้โคโคเตแซนมีมวลโมเลกุลลดลง ถ้าใช้ความเข้มข้นของสาร

ละลายต่างสูงขึ้น อุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซติลควรลดลง เพื่อไม่ให้ภาวะที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซติลรุนแรงเกินไป

#### 2.5.4 เวลาในการกำจัดหมู่แอเซติล

ได้มีการศึกษา [2] ผลของเวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซติล ในการเตรียมโคโตแซนโดยใช้เวลาต่างๆ ดังนี้ คือ 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซติลมากขึ้น โคโตแซนจะมีปริมาณหมู่แอเซติลและขนาดของโมเลกุลลดลง แต่มี Charge density สูงขึ้น และพบว่าการใช้เวลามากกว่า 2 ชั่วโมง ไม่ได้มีผลต่อการเพิ่ม Degree of deacetylation มากนัก เวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซติลเป็นปัจจัยที่ใช้ในการแบ่งเกรด (Grade) หรือคุณภาพต่าง ๆ อย่างไรก็ตามเวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซติลขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการกำจัดหมู่แอเซติล เช่น ความเข้มข้นของสารละลายต่างและอุณหภูมิ เป็นต้น

#### 2.5.5 ปฏิกริยาออกซิเดชัน (Oxidation)

มีรายงานอ้างอิงใน [2] ว่าปฏิกริยาออกซิเดชันเนื่องจากออกซิเจนในอากาศ มีผลต่อขนาดของโมเลกุลของโคโตแซน โดยถ้ามีปฏิกริยาออกซิเดชันเกิดขึ้น หรือมีแก๊สออกซิเจนปรากฏในขั้นตอนระหว่างกำจัดหมู่แอเซติลจะทำให้โคโตแซนเกิดปฏิกริยา Degradation ได้ ทำให้โคโตแซนที่ผลิตได้มีโมเลกุลลดลง และมีการศึกษา [2] ผลของปฏิกริยาออกซิเดชันในขั้นตอนการกำจัดหมู่แอเซติลโดยเติม Oxidizing agent เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าทำให้โคโตแซนที่ผลิตได้มีความหนืดลดลง ดังนั้นในขั้นตอนการกำจัดหมู่แอเซติลจึงจำเป็นต้องทำภายใต้บรรยากาศของแก๊สเฉื่อย ได้แก่ แก๊สไนโตรเจน มีการทดลองพบว่า [2] โคโตแซนที่ผลิตภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจนมีขนาดโมเลกุลและความหนืดสูงกว่าโคโตแซนที่ผลิตภายใต้บรรยากาศธรรมดา นอกจากนี้อาจมีการเติมสารดักจับออกซิเจน เช่น Thiophenol ซึ่งนอกจากสามารถดักจับออกซิเจนแล้วยังมีผลเป็นตัวเร่งปฏิกริยาอีกด้วย

#### 2.5.6 คุณภาพของโคติน

คุณภาพของโคติน มีผลต่อคุณภาพของโคโตแซนที่เตรียมได้ เนื่องจากโคตินเป็นสารตั้งต้นในการเตรียมโคโตแซน สมบัติของโคตินมีผลต่อการกำจัดหมู่แอเซติลที่สำคัญ ได้แก่ ขนาดของโคติน และความหนาแน่นของโคติน โดยมีผลต่ออัตราการ Penetrate ของต่างในขั้นตอน

การกำจัดหมู่แอเซทิลเป็นอย่างยิ่ง โดยทั่วไปสมบัติและคุณภาพของไคตินจะขึ้นกับปัจจัยสำคัญ 2 อย่าง คือ แหล่งของไคตินหรือวัตถุดิบที่นำมาเตรียมไคติน และกรรมวิธีที่ใช้ในการเตรียมไคติน

## 2.6 สมบัติของไคตินและไคโตแซน

สมบัติทางเคมีและกายภาพของไคตินและไคโตแซนดังแสดงในตารางที่ 2.3

### 2.6.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของไคติน

#### 2.6.1.1 การละลาย (Solubility) [9]

ไคตินเป็นพอลิเมอร์ที่ไร้ประจุทำให้ไม่สามารถละลายได้ในน้ำ กรดอ่อน และด่าง แต่ไคตินสามารถละลายได้ในกรดแก่ เช่น กรดซัลฟูริก กรดไฮโดรคลอริก กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 78-79 โดยน้ำหนัก กรดคาร์บอกซิลิก และกรดซัลโฟนิก เช่น กรดฟอร์มิก ไคคลอโรแอซิติค ไตรคลอโรแอซิติค และกรดมีเทนซัลโฟนิก ไคตินจะละลายในกรดฟอร์มิกที่มีความแรงของกรดสูง แต่ระบบตัวทำละลายนี้จะว่องไวต่อน้ำซึ่งทำให้การละลายของไคตินลดลง อย่างไรก็ตามสามารถจะปรับปรุงการละลายได้โดยการเติมเกลือที่ละลายน้ำได้ เช่น NaCl, NaBr, CaCl<sub>2</sub>, LiCl, KCl และ KSCN การละลายของไคตินในกรดแก่จะทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการสลายตัวได้ (Degrade) และพบว่าตัวทำละลายประเภท Tertiary amide (R-CO-N-R<sub>2</sub>) ที่มี Lithium chloride (LiCl) ในปริมาณอย่างน้อยร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร สามารถที่จะละลายไคตินได้ดีโดยเฉพาะ N,N-Dimethyl-acetamine และ N-Methyl-2-pyrrolidinone ซึ่งระบบตัวทำละลายนี้ไม่มีผลทำให้ไคตินเกิดการสลายตัว นอกจากนี้แล้วไคตินยังสามารถละลายได้ในตัวทำละลาย Hexafluoroisopropanal (HFIP) และ Hexafluoroacetone sesquihydrate (HFAS) แต่สาร HFIP จะก่อให้เกิดความระคายเคืองและ HFAS เป็นสารที่มีพิษมากทำให้การใช้งานของตัวทำละลายทั้ง 2 นี้ลดน้อยลง

#### 2.6.1.2 ความหนืด (Viscosity) [9]

ความหนืดของสารละลายไคตินจะมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรง (Non-linear) กับระยะเวลาและความเข้มข้นของสารละลาย ดังแสดงในรูป 2.8 ความหนืดของสารละลายไคตินจะ

ลดลงตามระยะเวลาถึงช่วงเวลานึงความหนืดจะคงที่ และเมื่อความเข้มข้นของสารละลายไคตินมากขึ้นจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากสายโซ่พอลิเมอร์เกิดลักษณะ Entangle มากขึ้น

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางเคมีและกายภาพของไคตินและไคโตแซน [9]

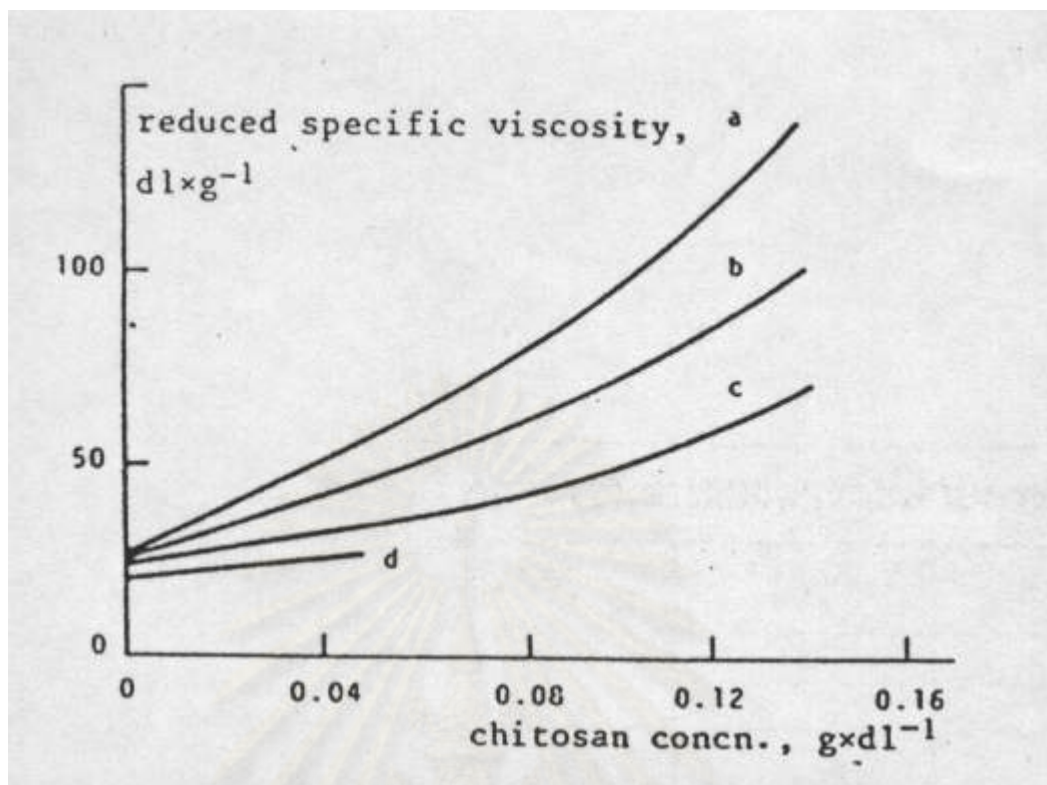
Characteristic parameter	Chitin	Chitosan
Molecular weight (Dalton) <sup>a</sup>	>10 <sup>6</sup> (native chitin) (1-5) x 10 <sup>5</sup> (commercial product)	(1-5)x10 <sup>5</sup> (commercial product)
Degree of polymerization (Average no. of the repeating unit in a molecule)	600-1800	600-1800
X-ray diffraction (Peaks)	8°58' - 10°26' 19°58' - 20°00'	8°58' - 10°26' 19°58' - 20°00'
Idealized composition (Empirical composition)	C <sub>8</sub> H <sub>13</sub> O <sub>5</sub> N	C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>4</sub> N
Nitrogen content (%) (Commercial product)	6-7	7-9.5
%Moisture (Air dried product)	2-10	2-10
Extent of deacetylated (%)	10	60-80
Viscosity (cP)	Insoluble	250-2500 (1% in Acetic acid) Non-Newtonian and shear thinning
%Ash at 900°C	<1.0	<1.0
Transition metals <sup>b</sup> , µg/g	<0.5	<0.5 <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Molecular weight and degree of polymerization (DP) is variable and depend on the source. The commercial products have low molecular weight and degree of polymerization because of degradation during extraction process.

<sup>b</sup> Excluding Fe which is present but not detrimental to application

<sup>c</sup> Crab chitosan contain typically (µg/g): V=0.12; Cr=0.04; Mn=0.09; Ni=1.3; Cu=1.03; Ag= 0.02; Cd=0.22; Hg=0.025 and Pb=0.15





รูปที่ 2.8 ค่าความหนืดของไคตินที่ละลายใน Formic acid anhydrous ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน วัดความหนืดที่ 25 องศาเซลเซียส โดยจุดตัดเป็นค่า Intrinsic viscosities, a = วันที่ 4, b = วันที่ 5, c = วันที่ 6 และ d = วันที่ 14 [9]

นอกจากนี้อุณหภูมิของสารละลายยังมีผลต่อความหนืดซึ่งพบว่าเมื่อสารละลายมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้มีความหนืดลดลง

## 2.6.2 สมบัติทางเคมีและกายภาพของไคโตแซน

### 2.6.2.1 การละลาย (Solubility)

ไคโตแซนจะไม่ละลายน้ำที่มีค่าความเป็นกรดต่างสูงกว่า 6.5 ตัวทำละลายที่เป็นต่างและ Mineral acid ที่เข้มข้น เช่น กรดซัลฟูริก ไคโตแซนสามารถละลายได้ในสารละลายกรดอินทรีย์เจือจาง ได้แก่สารละลายกรดแอสติค สารละลายกรดซิตริก และสารละลายกรดฟอร์มิกที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0.2-100 โดยปริมาตร [8] และในภาวะที่เป็นกรดนี้หมู่เอมีนอิสระ ( $-NH_2$ ) จะถูกโปรตอนตไปอยู่ในรูปของหมู่ Cationic amino ( $-NH_3^+$ ) [9] นอกจากนี้ไคโตแซนยังสามารถละลายได้ใน



ตัวทำละลายกรดอินทรีย์เจือจาง ได้แก่ สารละลายไฮโดรคลอริก, สารละลายกรดไนตริก และละลายได้เล็กน้อยในสารละลายกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยปริมาตร ความสามารถในการละลายของโคโคแซนในสารละลายกรดชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ความสามารถในการละลายของโคโคแซนในสารละลายกรดชนิดต่างๆ ที่ความเข้มข้นของกรดต่างๆ กัน [9]

ชนิดของกรด	ความเข้มข้นของสารละลายกรด (v/v)				
	1%	5%	10%	50%	>50%
Acetic	+	+	+	+	
Adipic	+				
Citric	-				
Formic	+	+	+	+	+
Lactic	+	+	+		
Malic	+	+	+		
Tartalic	-		+		
Hydrochloric	+	-	-		
Nitric	+	-	-		
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> *	-	-	-		
Sulfuric	-	-	-		

#### หมายเหตุ

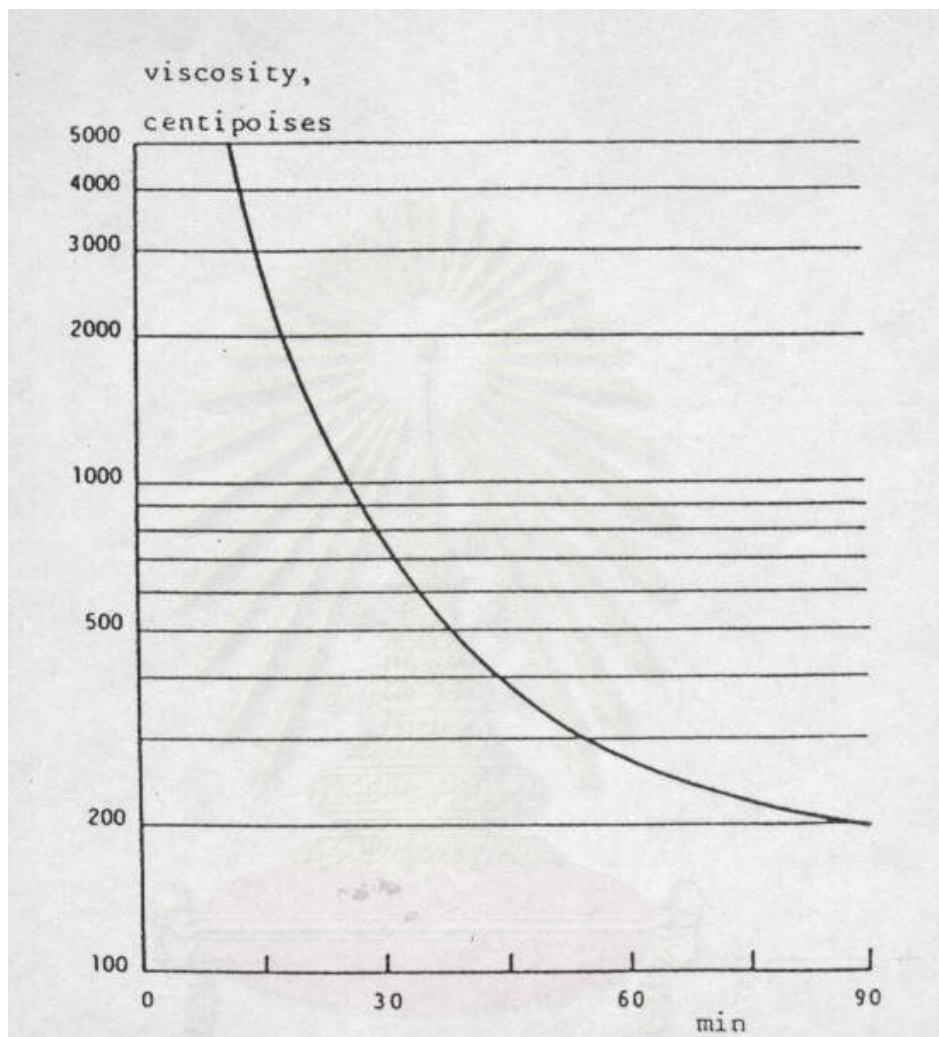
+ แสดงว่าโคโคแซนสามารถละลายได้ - แสดงว่าโคโคแซนไม่สามารถละลายได้

\* แสดงว่าโคโคแซนไม่สามารถละลายได้ในกรดซัลฟูริกและกรดฟอสฟอริก แต่สามารถละลายได้ในกรดฟอสฟอริกที่ความเข้มข้นกรดน้อยกว่า 0.5%

#### 2.6.2.2 ความหนืด (Viscosity) [9]

ความหนืดของสารละลายโคโคแซนขึ้นอยู่กับภาวะที่ใช้การกำจัดหมู่แอเซทิล (Deacetylation) ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และเวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซทิล ซึ่งพบว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นมากและเวลานาน จะทำให้ความหนืดของสารละลายลดลง เนื่องจากภาวะที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซทิลรุนแรงโดยจะมีผลทำให้เกิดการแตกขาดของสายโซ่โมเลกุล เวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซทิลทำให้ความหนืดของสาร

ละลายโคโตแซนเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งพบว่าทำให้มีปัญหาในการผลิตโคโตแซนที่มีมวลโมเลกุลสูง



รูปที่ 2.9 ผลของเวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซทิล (ในสารละลาย NaOH ร้อยละ 50 อุณหภูมิ 118 องศาเซลเซียส) ที่มีต่อความหนืดของสารละลายโคโตแซน [9]

## 2.7 การใช้ประโยชน์จากโคตินและโคโตแซน [10]

ในการใช้ประโยชน์จากโคตินและโคโตแซน อาจจะกล่าวได้ว่าสามารถใช้ได้อย่างกว้างขวางโดยอาศัยคุณลักษณะทั่วไปและคุณลักษณะพิเศษจำเพาะของมัน แต่ถ้าเทียบกับเซลลูโลสแล้วยังนับว่าน้อยมาก เนื่องจากยังอยู่ในขั้นตอนการพัฒนาวิธีการทางอุตสาหกรรมให้สามารถ

ผลิตขึ้นมาในเชิงการค้าได้ แต่เนื่องจากไคตินและอนุพันธ์ของมันมีศักยภาพในการใช้ประโยชน์สูง จึงมีการใช้พอลิเมอร์ชนิดนี้ใน 200 กว่าสายงานในสาขาต่างๆ พอจะแบ่งเป็นกลุ่มได้ดังนี้คือ

### 2.7.1 ด้านการเกษตร [11]

ในสหรัฐมีการใช้ไคโตแซนเคลือบเมล็ดข้าวสาลีเพื่อป้องกันเชื้อรา ทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น จากเดิมร้อยละ 20 ส่วนการใช้ไคตินในการเตรียมดินสำหรับเพาะปลูก สามารถลดโรคพืชที่เกิดจากเชื้อราในดิน นอกจากนี้มีการศึกษาการใช้ไคตินจับกับสารเคมี หรือยากำจัดโรคพืชชนิดต่างๆ เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวปลดปล่อยสารเหล่านั้น ซึ่งเป็นแนวทางลดการสูญเสียสารเคมีและยากำจัดโรคพืชซึ่งใช้ในทางเกษตรกรรมได้

### 2.7.2 ด้านการแพทย์และเภสัชวิทยา [12,13]

ได้มีการสรุปงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์ไคตินและไคโตแซนในด้านการแพทย์และเภสัชวิทยาดังต่อไปนี้ ใช้ทำไหมเย็บแผล โดยใช้ไคตินปั่นเป็นเส้นใช้เย็บแผลได้ดีกว่าไหมเย็บสังเคราะห์เพราะผูกเป็นปมง่าย แผลหายเร็ว เพราะเป็นสารอินทรีย์สามารถสลายตัวได้เองเมื่อแผลติดกันและคนไข้ไม่เกิดอาการแพ้ ใช้เป็นวัสดุเชื่อมหรือตัดกระดูก ใช้เป็นเลนส์สายตาเนื่องจากคุณสมบัติยอมให้ออกซิเจนผ่านเข้าออกได้และไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ ใช้เป็นแคปซูลบรรจุยา อนุพันธ์ของไคโตแซนบางชนิดใช้เป็นสารป้องกันการตกตะกอนของเลือด ใช้เป็นตัวจับและตกตะกอนเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว ใช้ผลิตเป็นหนังเทียม ใช้เป็นสารลดคลอเรสเตอรอล และใช้เป็นสะพานเชื่อมหรืออุดฟันในด้านทันตกรรม ในต่างประเทศได้มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวาง โดยใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตผิวหนังเทียม เพื่อใช้ในการรักษาแผลผ่าตัดและไฟไหม้ ซึ่งจะช่วยให้แผลหายเร็ว

### 2.7.3 ด้านอุตสาหกรรม

#### 2.7.3.1 อุตสาหกรรมอาหาร [10]

นำมาทำมายองเนสและเนยถั่ว ใช้ทำแผ่นฟิล์มห่อหุ้มอาหารโดยการนำไคโตแซนมาละลายในกรดฟอร์มิกหรือกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 2 (นน./นน) มาขึ้นรูปบนแผ่นพลาสติกชนิด

พอลิเอทิลีนหรือแผ่นแก้วแล้วทำให้แห้ง พิล์มที่ได้มีลักษณะใส เหนียว และยืดหยุ่น สามารถใช้ห่อหุ้มอาหารได้ เนื่องจากรับประทานได้และทนอุณหภูมิสูง

### 2.7.3.2 ใช้ทำแผ่นกรองรีเวอร์สออสโมซิส

มีรายงานอ้างอิงใน [10] ได้ผลิตแผ่นกรองรีเวอร์สออสโมซิสโดยละลายไคโตแซนในกรดอะซิติกร้อยละ 2 แล้วแผ่เป็นแผ่นบางๆ บนแผ่นกระจก แล้วปรับให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 แผ่นฟิล์มชนิดนี้ทนต่อค่า (pH 13) แต่ยังคงละลายในกรด ดังนั้นการเติมหมู่แอเซทิลให้กับหมู่อะมิโนอิสระทำให้แผ่นฟิล์มคงทนต่อกรด ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบกว่าแผ่นกรองที่ผลิตจากเซลลูโลสอะซิเตท

### 2.7.3.3 อุตสาหกรรมผลิตกระดาษ [14, 15]

ไคตินมีศักยภาพมากที่สุดในการผลิตกระดาษเพราะการเพิ่มไคตินเพียงร้อยละ 1 โดยน้ำหนักลงในเยื่อกระดาษจะเพิ่มความทนทานของกระดาษและเร่งอัตราเร็วในการแยกน้ำออกจากเยื่อกระดาษและเพิ่มปริมาณของเส้นใยที่เหลือเมื่อทำเป็นแผ่นกระดาษแล้ว ทำให้สามารถผลิตเยื่อกระดาษที่ต้นทุนต่ำกว่า พร้อมทั้งประหยัดพลังงานที่ใช้ดีเยื่อกระดาษได้มากถึงร้อยละ 90 กระดาษที่ผสมไคตินจะมีความแข็งแรงขณะเปียกดีขึ้นอย่างมาก ซึ่งเป็นข้อดีสำหรับทำผ้าอ้อมแบบใช้แล้วทิ้ง ถุงช้อปปิ้งและกระดาษเช็ดมือ

## 2.7.4 ใช้เป็นสารตกตะกอน

### 2.7.4.1 ใช้บำบัดน้ำเสีย [10]

ไคโตแซนเป็นสารพอลิเมอร์โมเลกุลยาวที่มีประจุบวก จึงมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการเป็นสารช่วยตกตะกอนอีกชนิดหนึ่งที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย ไคโตแซนไม่ละลายน้ำ จึงมีการใช้ไคโตแซนในรูปสารละลายกรดเนื่องจากไคโตแซนละลายได้ในกรดหลายชนิด ปริมาณไคโตแซนและสภาวะต่างๆ ในการตกตะกอนแตกต่างกันไปตามชนิดของน้ำทิ้งและสารชนิดอื่นที่เข้าร่วมกับไคโตแซนในการตกตะกอน

มีรายงานอ้างอิงใน [10] เรื่องการทดลองตกตะกอนสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปไข่ โดยใช้โคโคแทนในช่วง 100-200 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับพอลิเมอร์ที่มีประจุลบ (Betz 1130) ปริมาณ 2-20 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าการใช้โคโคแทนปริมาณ 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ Betz 1130 ปริมาณ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนนาน 1 ชั่วโมง โดยพีเอชของน้ำมีค่า 6.7-7.1 สามารถลดปริมาณของแข็งแขวนลอยและซีไอดีได้ร้อยละ 72 และ 76 ตามลำดับ ปริมาณตะกอนที่ได้หลังจากการตกตะกอนมีค่าเท่ากับ 1.16 กรัมต่อลิตร และเมื่อใช้การแยกตะกอนด้วยวิธีลอยตัวด้วยอากาศสามารถลดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 90.8 และลดค่าซีไอดีได้ร้อยละ 62.1 ปริมาณตะกอนมีค่าเท่ากับ 1.75 กรัมต่อลิตร

#### 2.7.4.2 ใช้กำจัดไอออนโลหะหนักและสารพิษ [16]

ไอออนโลหะหนักเป็นสิ่งที่พิษต่อร่างกายเมื่อได้รับในปริมาณมากเกินไป และอาจมีฤทธิ์สะสมก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ ดังนั้นจึงมีการใช้โคโคตินและโคโคแทนในการกำจัดไอออนโลหะหนักเช่น  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Cr}^{+3}$ ,  $\text{Ni}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{Hg}^{+2}$  และ  $\text{Mn}^{+2}$

#### 2.7.5 ใช้ตรึงเอนไซม์และกักเซลล์ด้านเทคโนโลยีชีวภาพ [10]

โครงสร้างของโคโคตินอาจประกอบด้วยกลุ่มอะมิโนอิสระซึ่งสามารถจับกับเอนไซม์ได้ และเพิ่มประสิทธิภาพในการจับกับเอนไซม์จึงมีการเตรียมโคโคตินให้เหมาะสม เช่น แซนสารละลายกลูตารัลดีไฮด์ หรือสารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ เนื่องจากสารพวกไดหรือพอลิอัลดีไฮด์สามารถทำปฏิกิริยากับกลุ่มอะมิโนอิสระได้ง่าย แล้วทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางสำหรับการจับระหว่างเอนไซม์กับโคโคตินได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการตรึงเอนไซม์ด้วยโคโคแทนไม่จำเป็นต้องใช้สารพวกไดหรือพอลิอัลดีไฮด์เป็นสะพานเชื่อมระหว่างเอนไซม์กับตัวค้ำจุน เนื่องจากโคโคแทนมีกลุ่มอะมิโนอิสระเพียงพอในการจับกับเอนไซม์

#### 2.7.6 ด้านอื่นๆ [10]

ได้มีการใช้โคโคตินในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางครั้งแรกในปีค.ศ. 1969 บริษัทในประเทศญี่ปุ่นและเยอรมันได้ผลิตเกลือของโคโคแทนซึ่งสามารถละลายน้ำเพื่อใช้เป็นส่วนผสมเครื่องสำอางสำหรับผิวและเส้นผม โดยอาศัยคุณสมบัติการเกิดแผ่นฟิล์มของโคโคแทนสำหรับผลิตสเปรย์และยาเคลือบเล็บ ตลอดจนอาศัยคุณสมบัติการเป็นสารให้ความหนืดสำหรับเป็นส่วนผสม

ของครีม สำหรับในอิตาลีได้ผลิตเอ็นคาร์บอกซีบิวทิว-โคโตแซน แทนการใช้กรดไฮยาโลโรนิก สำหรับผลิตภัณฑ์แชมพู สบู่เหลว ยาสีฟัน ครีม โลชั่น

ในการถ่ายภาพ การเติมโคโตแซนลงในฟิล์มถ่ายรูปสามารถเพิ่มความไวในการสร้างภาพ  
[10]

## 2.8 กระบวนการโคแอกกูเลชัน

### 2.8.1 ความสำคัญของโคแอกกูเลชัน [17]

เนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์มีขนาดเล็กทำให้ไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักตัวเอง ในเวลาจำกัด ดังนั้นจึงต้องมีการทำให้อนุภาคคอลลอยด์รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่เรียกว่า ฟล็อก (Floc) เพื่อให้ตกตะกอนได้ง่ายขึ้น กระบวนการที่ทำให้อนุภาคคอลลอยด์รวมกันเป็นก้อนฟล็อก เรียกว่า กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation)

สารเคมีหลักที่ใช้ในกระบวนการโคแอกกูเลชันเรียกว่า โคแอกกูแลนต์ (Coagulant) และ สารเคมีที่ทำให้สารโคแอกกูแลนต์มีประสิทธิภาพดีขึ้นเรียกว่า โคแอกกูแลนต์เอ็ด (Coagulant aid) สารโคแอกกูแลนต์ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ สารส้ม ส่วนโคแอกกูแลนต์เอ็ดที่นิยมใช้ก็คือ สารพอลิเมอร์สังเคราะห์

กระบวนการโคแอกกูเลชันมีส่วนประกอบสำคัญ 2 ขั้นตอน คือ

#### 1. การกวนเร็ว (Rapid mixing)

มีหน้าที่กระจายสารเคมีไปให้ส่วนต่างๆ ของน้ำอย่างรวดเร็ว เพื่อให้มีการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์โดยการเติมสารโคแอกกูแลนต์ ภายใต้สภาวะที่มีความปั่นป่วนรุนแรง



## 2. การกวนช้า (Slow mixing)

เป็นการทำให้อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว มีโอกาสสัมผัสและรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะตกตะกอนได้ง่ายขึ้น โดยอนุภาคความขุ่นจะเคลื่อนที่ไปกับน้ำที่มีการกวนด้วยความเร็วที่แตกต่างกันจึงทำให้เกิดการชนและรวมตัวกันในที่สุด

### 2.8.2 กลไกของกระบวนการโคแอกกูเลชัน [10]

กลไกของกระบวนการโคแอกกูเลชันประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

#### 2.8.2.1 การทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) ของคอลลอยด์

คอลลอยด์นั้นถือว่ามีเสถียรภาพก็ต่อเมื่อสามารถดำรงสถานะแขวนลอยในน้ำได้โดยไม่ตกตะกอนในเวลาสั้นๆ เสถียรภาพของคอลลอยด์นั้นขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างอนุภาค แรงผลักต้องสูงกว่าแรงดึงดูดจึงจะทำให้คอลลอยด์มีเสถียรภาพ ถ้าแรงดูดมีมากกว่าแรงผลักอนุภาคคอลลอยด์ก็จะสามารถจับตัวกันเป็นก้อนฟล็อก (Floc) ทำให้เสถียรภาพของคอลลอยด์หมดไป

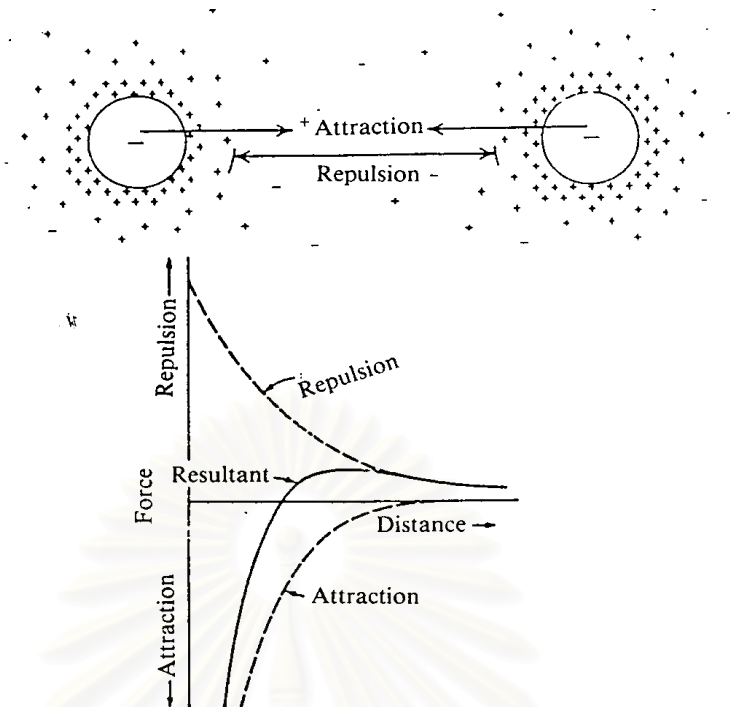
แรงดูดระหว่างอนุภาคเรียกว่า Van Der Waal force ส่วนแรงผลักระหว่างอนุภาคเป็นผลจากประจุไฟฟ้าของอนุภาคคอลลอยด์ หรือซีตาโพเทนเชียล (Zeta potential) ผลลัพธ์ของแรงทั้ง 2 ชนิดขึ้นอยู่กับระยะห่างของอนุภาคดังแสดงในรูปที่ 2.10 แรงดูดจะมีอำนาจเหนือแรงผลักเมื่ออนุภาคเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันมากๆ แต่โดยปกติแล้วแรงผลักซึ่งเกิดจากประจุของอนุภาคจะไม่เปิดโอกาสให้อนุภาคต่างๆ เข้ามาใกล้จนแรงดูดสามารถดึงดูดอนุภาคเข้าหากันได้

การทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์สามารถกระทำโดยอาศัยกลไก 4 แบบ

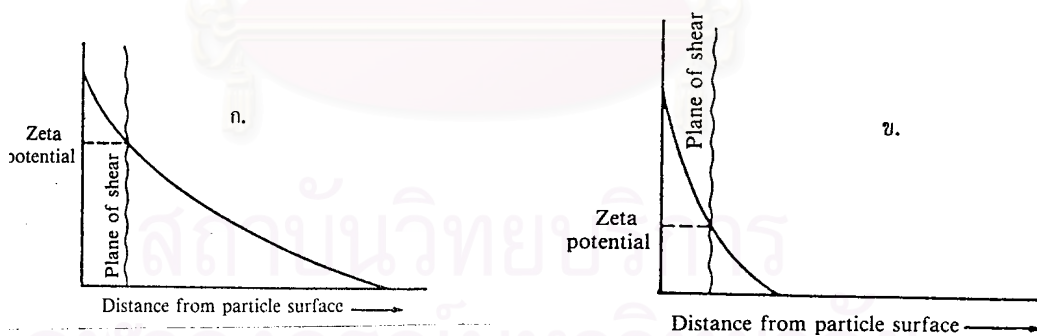
#### 1) การลดความหนาของชั้นกระจาย (Diffuse layer)

กลไกนี้เป็นการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์โดยลดค่าซีตาโพเทนเชียล เนื่องจากการเพิ่มจำนวนอิออนที่มีประจุตรงข้ามกับประจุของอนุภาค ผลที่ได้คือชั้นกระจายมีความหนาลดลงทำให้ซีตาโพเทนเชียลลดลงด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.11





รูปที่ 2.10 แรงระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ที่ระยะห่างต่างๆ [10]



ก) ก่อนการเติมอิออน

ข) หลังการเติมอิออนแล้ว

รูปที่ 2.11 ผลของการเติมอิออนที่มีประจุตรงข้ามให้กับอนุภาคคอลลอยด์ [10]

## 2) การดูดติดผิวและทำลายประจุไฟฟ้า (Adsorption & charge neutralization)

กลไกนี้เกิดขึ้นโดยการเติมสารเคมีที่มีประจุไฟฟ้าตรงข้ามกับประจุของอนุภาคคอลลอยด์ และสามารถดูดติดบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ก.

## 3) การจับอนุภาคคอลลอยด์ไว้ในผลึกสารประกอบ (Sweep coagulation)

กลไกนี้เกิดขึ้นได้โดยการเติมสารเคมีบางชนิดลงไป ทำให้เกิดผลึกของสารประกอบซึ่งมีลักษณะเหนียวที่สามารถห่อหุ้มอนุภาคคอลลอยด์ได้ ทำให้ได้ผลึกมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากขึ้น กระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์ ในระบบผลิตน้ำประปาที่พบอยู่เสมอเป็นตัวอย่างของกลไกนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ข.

## 4) การใช้สารพอลิเมอร์เป็นสะพานเชื่อมระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ (Polymer bridging)

สารประกอบตามธรรมชาติหลายชนิด เช่น แป้ง เซลลูโลส น้ำตาลบางชนิด และโปรตีนบางชนิด รวมทั้งสารอินทรีย์พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้น สามารถใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ในการกำจัดคอลลอยด์ได้ สารเหล่านี้ประจุไฟฟ้าประจำตัวอาจเป็นบวก ลบ หรือไม่มีประจุก็ได้

การทำลายเสถียรภาพด้วยการใช้พอลิเมอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.13 เกิดจากการที่โมเลกุลของพอลิเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคได้หลายตำแหน่ง การเกาะติดอาจเป็นผลมาจากประจุที่ต่างกันหรือแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาคของพอลิเมอร์และอนุภาคของคอลลอยด์ อนุภาคที่มีพอลิเมอร์เกาะติดอยู่โดยมีปลายอิสระของพอลิเมอร์เหลืออยู่สำหรับที่จะเกาะอนุภาคอื่น ถือได้ว่าเป็นอนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว (Destabilized particles) และเมื่ออนุภาคดังกล่าวไปจับตัวกับอนุภาคอื่นๆ โดยมีพอลิเมอร์เป็นตัวเชื่อม ก็จะได้ฟล็อกที่มีขนาดใหญ่และตกตะกอนง่ายขึ้น แต่ถ้ามีการเติมพอลิเมอร์มากเกินไป พอลิเมอร์หลายโมเลกุลจะไปเกาะบนอนุภาคจนกระทั่งไม่มีที่ว่างสำหรับเป็นที่จับของปลายอิสระของพอลิเมอร์ที่อยู่บนอนุภาคอื่น ทำให้อนุภาคคอลลอยด์มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่



ก) กลไกการดูดติดและทำลายเสถียรภาพ                      ข) กลไกแบบจับอนุภาคไว้ในผลึกสารประกอบ

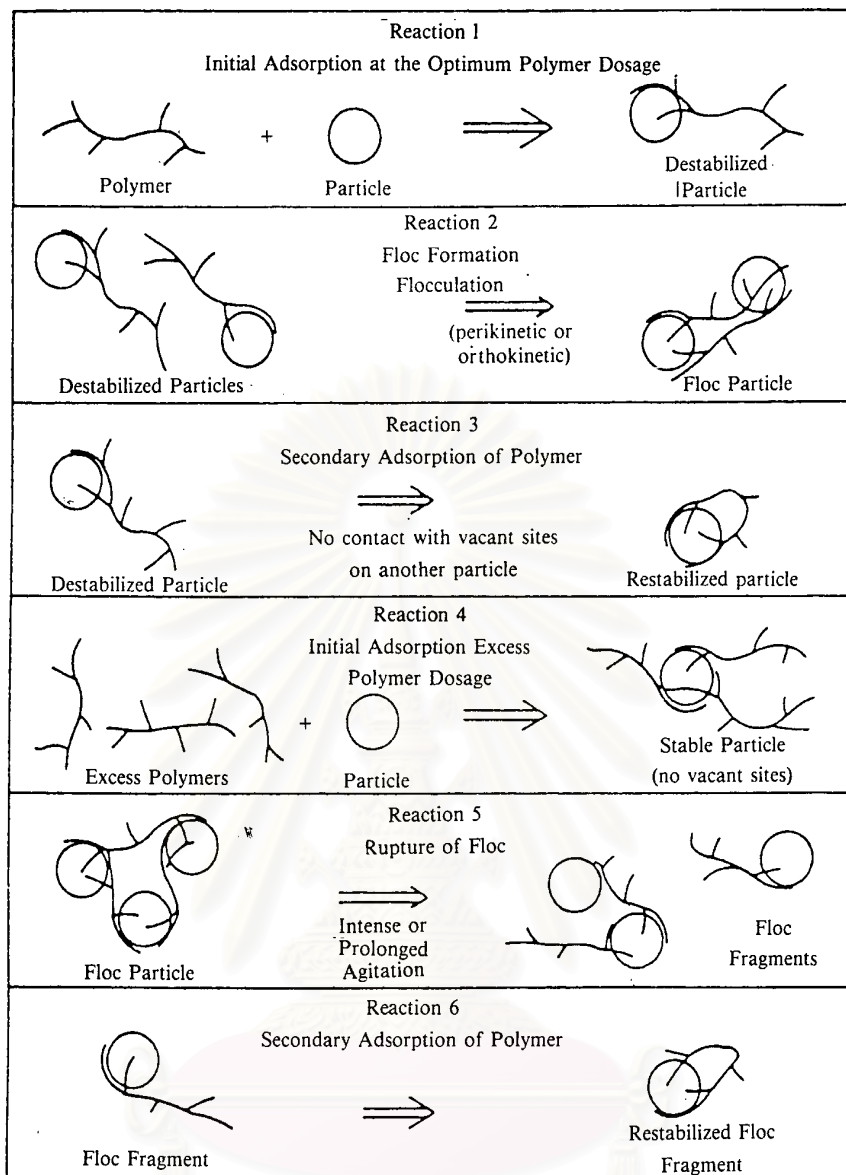
รูปที่ 2.12 ลักษณะการเกิดโคแอกกูเลชันโดยกลไกการดูดติดและทำลายเสถียรภาพ และกลไกแบบจับอนุภาคไว้ในผลึกสารประกอบที่สร้างขึ้น [10]

### 2.8.2.2 การทำให้อนุภาคคอลลอยด์เคลื่อนที่มากระทบหรือสัมผัสกันให้มากที่สุด (Transport of colloidal particles)

เมื่ออนุภาคถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว การสร้างโอกาสสัมผัสระหว่างอนุภาคย่อมเกิดขึ้นง่ายกว่าเดิม ดังนั้นเมื่ออนุภาคมาสัมผัสกันก็จะเกาะติดแน่นเป็นก้อนฟlocs

### 2.8.3 การควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน [17]

การควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชันให้ได้ผลดี จะต้องควบคุมสภาวะต่างๆ ให้เหมาะสม ปัจจัยที่ต้องควบคุมได้แก่ ปริมาณและชนิดของสารโคแอกกูแลนต์ ระดับพีเอชของน้ำ ความเร็วเกรเดียนท์ และระยะเวลาทวนน้ำ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความเร็วเกรเดียนท์และระยะเวลาทวนน้ำ มักกำหนดไว้ก่อนแล้วในต่อนอกแบบและไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ การควบคุมโคแอกกูเลชันจึงมุ่งหมายในการควบคุมปริมาณของโคแอกกูแลนต์ที่เหมาะสมและระดับพีเอชของน้ำ เพื่อให้เกิดโคแอกกูเลชันที่ดีที่สุด



รูปที่ 2.13 กลไกการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์แบบเชื่อมต่อกันด้วยพอลิเมอร์ [10]

### 2.8.3.1 พีเอช

น้ำแต่ละตัวอย่างจะมีช่วงพีเอชเฉพาะตัวที่จะเกิดการรวมตัวและการตกตะกอนได้ดี การเติมสารตะกอนลงในค่าพีเอชที่ไม่เหมาะสม นอกจากจะเปลืองสารเคมีแล้วยังทำให้น้ำที่ผลิตได้มีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควรด้วย

### 2.8.3.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่ลดต่ำลงจะมีผลทำให้ปฏิกิริยาเคมีช้าลง และยังมีผลต่อพีเอชอีกด้วย

### 2.8.3.3 ชนิดและขนาดของอนุภาค

น้ำที่มีความเข้มข้นของพารามิเตอร์สูงอาจใช้ปริมาณสารเคมีเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่มีความเข้มข้นต่ำ

### 2.8.3.4 ความเร็วในการกวนผสม

การกวนต้องไม่เร็วหรือช้าเกินไป โดยทั่วไปการกวนเร็วจะใช้เวลา 30-60 วินาที ส่วนการกวนช้าใช้เวลา 30-60 นาที

### 2.8.3.5 ความเข้มข้นของเกลือ

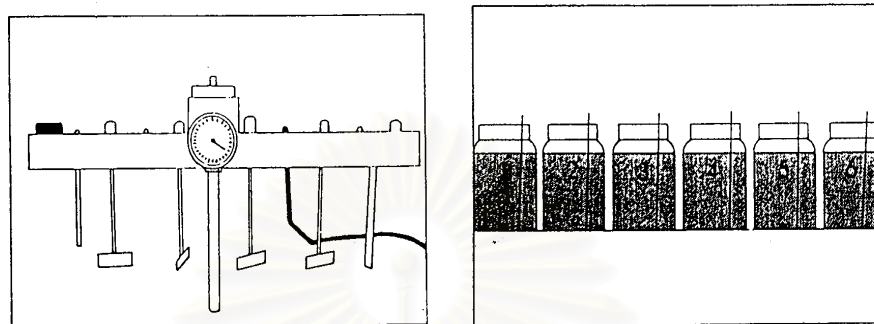
เกลืออนินทรีย์ที่ละลายอยู่มีผลต่อช่วงพีเอชที่เหมาะสม ระยะเวลารวมตัว และปริมาณของสารโคแอกกูแลนต์

การควบคุมสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเกิดโคแอกกูเลชันสามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ โดยวิธีจาร์เทสต์ (Jar test) และวิธีวัดศักย์ไฟฟ้าซีตาโพเทนเชียล (Zeta potential) การควบคุมโดยการวัดศักย์ไฟฟ้านี้ ไม่ได้รับความนิยมมากนัก เนื่องจากอุปกรณ์มีราคาแพงและการวัดต้องอาศัยความชำนาญมาก

## 2.9 การควบคุมโดยวิธีจาร์เทสต์ [17]

วิธีควบคุมโคแอกกูเลชัน ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดและใช้กันมานานแล้วคือ วิธีจาร์เทสต์ ซึ่งเป็นวิธีทดสอบในบีกเกอร์ (Beaker) เครื่องมือทดสอบเป็นเครื่องกวนที่ปรับความเร็วรอบได้ ซึ่งส่วนมากมักมีใบพัดกวนน้ำ 6 ใบ ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ในการทดลองแต่ละครั้งจะเลือกชนิดของสารเคมีและกำหนดสภาวะต่างๆ ซึ่งได้แก่ปริมาตรของตัวอย่างน้ำ ความเร็วรอบ และระยะเวลากวนน้ำ (ทั้งกวนเร็วและกวนช้า) และระยะเวลาตกตะกอน จากนั้นจึงทดลองโดย

เติมสารเคมีในปริมาณต่างๆ ลงในบีกเกอร์แต่ละใบ ระดับพีเอชอาจรักษาให้คงที่หรือแปรเปลี่ยน  
 ทั้งนี้แล้วแต่ความมุ่งหมายของการทำจาร์ทดสอบ



รูปที่ 2.14 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำจาร์ทดสอบ [17]

ขั้นตอนต่างๆ ในการทำจาร์ทดสอบ อาจเป็นดังนี้

1. วิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำตัวอย่างตามแต่ความจำเป็น
2. เติมน้ำตัวอย่าง 400-600 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์แต่ละใบ และเติมสารเคมีที่ใช้เป็นโคแอกกูแลนทลงไปในแก้ว ตามปริมาณที่ต้องการใช้ (ต้องเติมสารเคมีเมื่อมีการกวนเร็วเกิดขึ้นแล้ว)
3. กวนน้ำและสารเคมีอย่างรวดเร็ว (ความเร็ว 100 รอบต่อนาที) เป็นเวลา 1 นาที
4. กวนอย่างช้า (ความเร็ว 30 รอบต่อนาที) เป็นเวลา 20 นาที (ระยะเวลาการกวนช้า อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามจุดมุ่งหมายของการทำจาร์ทดสอบ)
5. จดบันทึกเวลาที่เริ่มมีฟล็อก (กลุ่มตะกอน) ปรากฏให้เห็น
6. ทิ้งให้ตกตะกอน (โดยปิดเครื่องกวน)
7. ใช้ปิเปตดูดเอาแต่น้ำใสออกจากแก้วโดยไม่ให้กระเทือนถึงตะกอนที่จมอยู่ก้นแก้ว
8. วิเคราะห์น้ำใสเพื่อหาค่าพารามิเตอร์น้ำหลังการตกตะกอน
9. พล็อตกราฟระหว่างปริมาณสารเคมีที่ใช้กับพารามิเตอร์ที่ต้องการศึกษาเพื่อหาปริมาณสารเคมีที่สามารถกำจัดพารามิเตอร์ศึกษาได้มากที่สุด



## 2.10 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม [18]

กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐานไอออนโลหะหนักในน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรมดังต่อไปนี้

สังกะสีไม่มากกว่า	5	มิลลิกรัมต่อลิตร
ทองแดงไม่มากกว่า	1	มิลลิกรัมต่อลิตร
ปรอทไม่มากกว่า	0.005	มิลลิกรัมต่อลิตร
แคดเมียมไม่มากกว่า	0.03	มิลลิกรัมต่อลิตร
ตะกั่วไม่มากกว่า	0.2	มิลลิกรัมต่อลิตร

## 2.11 สารมลพิษทางน้ำ [19]

สารมลพิษทางน้ำ (Water pollutant) หมายถึง สิ่งที่เจือปนในน้ำที่มนุษย์ทำ ใช้บริโภคและทิ้งทั่วไป รวมทั้งสารมลพิษอันเกิดจากการขนส่ง การอุตสาหกรรม การเกษตรและธุรกิจการค้า สิ่งเจือปนหรือสารมลพิษดังกล่าวมีทั้งชนิดที่ไม่สลายตัว (Non-degradable pollutant) เช่น ดีดีที ตะกั่ว ปรอท เป็นต้น และสารพิษที่สลายตัวด้วยวิธีการทางชีวภาพ (Bio-degradable pollutant) เช่น ขยะที่เป็นสารอินทรีย์ น้ำทิ้งจากครัวเรือน เป็นต้น

แหล่งมลพิษทางน้ำของประเทศไทยส่วนใหญ่มาจากชุมชนต่างๆ โรงงานอุตสาหกรรม การเกษตรกรรม และห้องปฏิบัติการเคมี เนื่องจากชุมชนส่วนใหญ่ยังไม่มีระบบบำบัดน้ำทิ้ง น้ำโสโครกจากอาคารบ้านเรือนจึงถูกปล่อยลงสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะ ไหลลงสู่ลำคลองและแม่น้ำในที่สุด น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ปนเปื้อนไอออนโลหะหนักก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมได้มาก เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ยังไม่มีระบบบำบัดโดยเฉพาะสำหรับน้ำเสียที่ปนเปื้อนไอออนโลหะหนัก หรือที่มีอยู่ก็มีประสิทธิภาพไม่ดีพอ ส่วนในด้านเกษตรกรรมได้มีการใช้สารเคมีต่างๆ ในรูปของปุ๋ยหรือสารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ต่างๆ เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรในปริมาณที่สูงขึ้นซึ่งกิจกรรมต่างๆ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบนิเวศทางน้ำเป็นอย่างมาก สำหรับห้องปฏิบัติการเคมีโดยเฉพาะในมหาวิทยาลัย มักไม่ได้รับการบำบัดใดๆ แต่ถูกปล่อยลงสู่ท่อระบายน้ำสาธารณะรวมกับน้ำทิ้งชุมชน

น้ำเสียที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมอาจมีอิออนโลหะหนักเจือปนอยู่หลายชนิด อิออนโลหะหนักแต่ละชนิดจะก่อให้เกิดโรคต่างๆ ตามชนิดของอิออนโลหะหนักนั้น ซึ่งก่อให้เกิดโรคร้ายแรงได้เช่น

1. พรอท ที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้โลหะพรอท เช่น อุตสาหกรรมสีทากระจกเงา หลอดฟลูออเรสเซนต์ พรอทที่ปล่อยลงในน้ำทำให้เกิดการสะสมพรอทในพืชและสัตว์น้ำ เช่น สาหร่ายและปลา เมื่อคนบริโภคพืชและสัตว์น้ำดังกล่าวจะทำให้เกิดการสะสมในร่างกายมากขึ้น จนปรากฏอาการเกี่ยวกับระบบประสาท สายตาคิดปกติ มือสั่น เดินเซ เจ็บปวดพูดไม่ได้ การเคลื่อนไหวผิดปกติ โรคพิษจากสารพรอทดังกล่าวนี้ เรียกว่า โรคมินามาตะ [19]

2. ตะกั่ว เป็นธาตุที่จัดอยู่ในพวกโลหะหนักที่ใช้กันมากในการทำแบตเตอรี่รถยนต์ ทำสี เป็นต้น เมื่อเข้าสู่ร่างกายในความเข้มข้นที่สูงเป็นระยะเวลาานานจะก่อให้เกิดโรคโลหิตจาง โรคไต ความผิดปกติทางสมอง เยื่อหุ้มสมองอักเสบ และอาจถึงตายได้ [19]

3. แคดเมียม เป็นโลหะที่ใช้ในงานเคลือบโลหะด้วยไฟฟ้า ทำเหล็กเส้น ทำแบตเตอรี่ ทำอัลลอยด์ตะกั่ว โรงงานทำพลาสติก เป็นต้น อันตรายจากพิษของแคดเมียม คือ ทำให้เกิดโรคอิต-อิต โดยผู้ที่ได้รับสารนี้จะเกิดอาการเจ็บปวดมาก กระดูกในร่างกายเริ่มมีอาการปวดร้าวจนเดินไม่ไหว [19]

4. ทองแดง ถ้าได้รับเข้าไปในปริมาณมากๆ จะเกิดการกัดกร่อนและระคายเคืองต่อเยื่อภายใน และจะกระจายเข้าไปทำอันตรายเส้นเลือดฝอย เป็นอันตรายต่อไต ระคายเคืองระบบประสาทส่วนกลาง ระคายเคืองต่อระบบทางเดินอาหารอย่างรุนแรง เกิดการตายเฉพาะบางส่วนในตับและไตได้ [20]

5. สังกะสี ประมาณร้อยละ 20-30 ของสังกะสีที่กินเข้าไป จะถูกดูดซึมจากทางเดินอาหาร สังกะสีที่เข้าไปในปอดจะถูกดูดซึมเข้าไปในเลือดและไปจับกับพลาสมาโปรตีน สังกะสีจะกระจายไปในเนื้อเยื่อ ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในกล้ามเนื้อลาย พิษจากสังกะสีจะทำให้เกิดอาการมีไข้ เพลีย ปวดศีรษะ รู้สึกถึงรสของโลหะในปาก ตามมาด้วยอาการปวดกล้ามเนื้อและข้อ เหนื่อยอ่อน หนาวสั่น เหงื่อออกมาก ไอและเจ็บหน้าอก ผู้ที่ได้สัมผัสกับสังกะสีจะทำให้เกิดโรคผิวหนังที่เป็นแผลเรื้อรังหรือผิวหนังไวต่อการแพ้ ถ้าได้รับโดยการหายใจจะทำให้เกิดความระคายเคืองที่

ไซนัสและคอ ไอเป็นเลือดและหายใจลำบาก ถ้าได้รับสารมากจะทำให้เกิดน้ำคั่งในปอดและปอดบวม [20]

จากปัญหามลพิษทางน้ำที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน นอกจากจะมีปริมาณมากขึ้นแล้ว ยังมีสารมลพิษแปลกๆ ใหม่ๆ ของผลิตภัณฑ์สมัยใหม่เจือปนอยู่ด้วย ซึ่งจะทำให้น้ำเสียเป็นปัญหาที่ยุ่งยากมากขึ้นตามลำดับ ดังนั้น การแก้ไขปัญหาน้ำเสียจากชุมชนหรือโรงงานอุตสาหกรรม เป็นเรื่องที่มีความสำคัญมาก เพื่อควบคุมน้ำเสียอย่างจริงจัง โดยอาศัยหลักวิชาการ งบประมาณตามภาวะการณ์ของประเทศ เพื่อรักษาไว้ซึ่งแหล่งน้ำที่สะอาดเพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ต่อไปในอนาคต

## 2.12 การบำบัดและกำจัดสลัดจ์ (Sludge treatment and disposal) [19]

สารโลหะหนักที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการต่างๆ หลังจากใช้เสร็จสิ้นแล้วจะเกิดกากของเสียขึ้นซึ่งเป็นสารที่มีอันตรายมากจำเป็นต้องนำไปกำจัด การกำจัดกากของเสียเหล่านี้บางส่วนอาจจะถูกนำกลับไปขายเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ในขณะที่บางส่วนจะถูกปล่อยทิ้งไว้เพื่อรอการทำลาย ซึ่งอาจจะกองวางทิ้งไว้ที่โรงงานหรือนำออกไปทิ้งภายนอก

โดยทั่วไปวิธีการกำจัดพิษของสารอันตรายมี 3 วิธีการใหญ่ๆ ดังนี้ แสดงดังรูปที่ 2.15

### 1. วิธีการเคมีฟิสิกส์ (Physical chemical treatment) อาจทำได้ 4 วิธีคือ

1.1 การทำให้เป็นกลาง ได้แก่ การปรับพีเอชด้วยการเติมกรดหรือด่าง เพื่อปรับพีเอชให้เป็นกลางคือ 7 เสียก่อน

1.2 การแยกสิ่งที่ไม่ต้องการออกจากตะกอน เช่น การรีดน้ำ การตากแห้ง การทำให้ตกตะกอน การกรอง เป็นต้น

1.3 การทำให้เป็นก้อน ได้แก่ การผสมกับซีเมนต์ทำให้เป็นก้อนแข็ง เพื่อจับกับสารพิษอันตรายเอาไว้ในก้อนซีเมนต์ ซึ่งมักจะใช้ Additive เพื่อป้องกันการซึมของสารด้วย

1.4 การทำลายฤทธิ์ ได้แก่ การทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี เพื่อเปลี่ยนสภาพจากสารพิษให้เป็นสารที่ไม่มีพิษ ซึ่งวิธีการทำลายขึ้นอยู่กับสารพิษแต่ละชนิด ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ประเภทของสารพิษและวิธีการทำลายฤทธิ์ [19]

ประเภท	วิธีการ
1. กากตะกอนที่มีไอออนปรอท	ผสมกับสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}$ ให้เปลี่ยนเป็น $\text{HgS}$ แล้วทำให้เป็นก้อนโดยใช้ซีเมนต์และ Additive ก่อนนำไปฝัง
2. หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ที่มีปรอท	นำมาบดให้ละเอียดก่อนแล้วจึงทำลายฤทธิ์ตามแบบข้อ 1
3. กากหรือฝุ่นที่มีโลหะหนัก เช่น $\text{Cd}^{2+}$ $\text{Mg}^{2+}$ $\text{Cr}^{3+}$	ใช้สารละลายต่างเช่น ปูนขาว ( $\text{CaO}$ ) หรือโซดาไฟ ( $\text{NaOH}$ ) ผสมเพื่อเปลี่ยนให้เป็นเกลือ ทิ้งไว้ให้แห้ง หรือกรอง แล้วทำเป็นก้อนด้วยซีเมนต์ก่อนนำไปฝัง
4. กากที่มีสารฆ่าแมลงหรือสารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์	ใช้ปูนขาวหรือโซดาไฟ ทำลายฤทธิ์ก่อนแล้วจึงนำตะกอนเกลือที่ได้ไปฝัง

## 2. การเผา

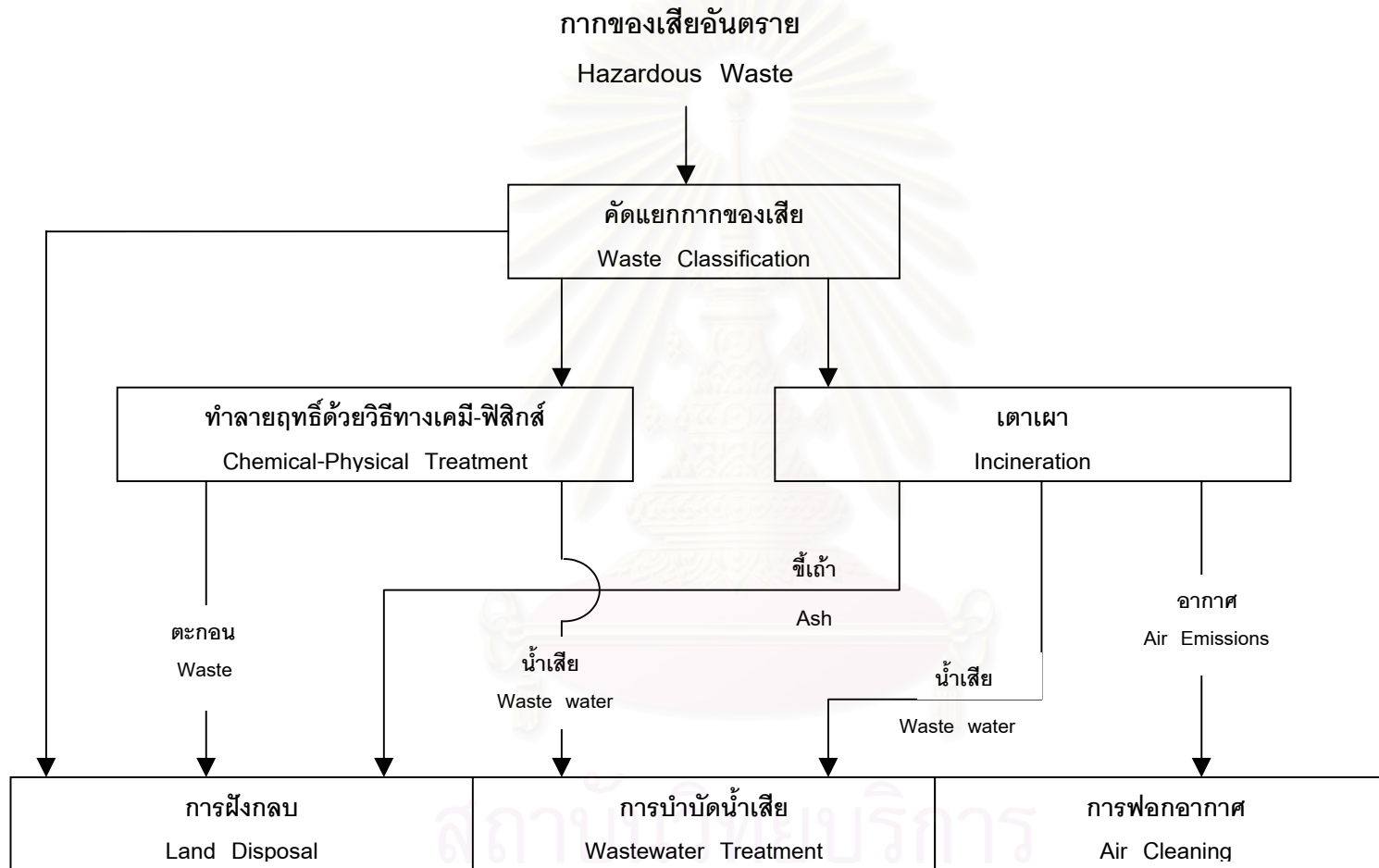
วิธีนี้นิยมใช้บำบัดกากของเสียอันตรายพวกกากน้ำมันหรือกากของเสียอันตรายอื่นๆ ที่มีสารเจือปนอยู่ไม่มากนัก เตาเผาที่ใช้จะต้องมีอุณหภูมิสูง 1,000-2,000 องศาเซลเซียส ให้กลายเป็นซีเมนต์แล้วจึงนำไปฝังกลบอีกทีหนึ่ง การเผาจะทำให้เกิดแก๊สพิษและฝุ่นอีกเป็นจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องใช้ After burner เพื่อให้การเผาไหม้สมบูรณ์ และต้องใช้เครื่องฟอกอากาศ เช่น Scrubber เข้าดักฝุ่นและแก๊สพิษด้วย ดังนั้น ระบบการเผาก็มีราคาค่อนข้างสูง นอกจากนี้แล้วน้ำเสียจาก Scrubber และซีเมนต์ ก็ยังเป็นสารพิษที่จะต้องกำจัดต่อไปอีก สารพิษที่นิยมกำจัดโดยการเผา ได้แก่ สารฆ่าแมลงบางชนิด สีสังเคราะห์ สารทำละลาย ยา เป็นต้น อย่างไรก็ตามการใช้เตาเผาจะไม่เหมาะสมกับกากของเสียอันตรายบางชนิดเช่น กากที่มีไอออนปรอทปรอทตะกั่ว แคดเมียม หรืออาร์เซนิกปนเปื้อนอยู่ ทั้งนี้เนื่องจากระบบดักและฟอกฝุ่นหรือแก๊สยังมีประ

สิทธิภาพไม่เพียงพอที่จะดักจับแก๊สเหล่านี้ได้ จึงจำเป็นต้องบำบัดด้วยวิธีอื่นที่เหมาะสมกว่า เช่น ทำให้เป็นก้อน และฝังกลบ ต่อไป

### 3. การฝังกลบ

การฝังกลบเป็นวิธีการที่ใช้กำจัดกากที่ปนเปื้อนด้วยอิลอน โปรท แคดเมียม อาร์เซนิก ที่ไม่สามารถกำจัดได้โดยการเผา นอกจากนี้ขี้เถ้าและเกลือที่เกิดจากการกำจัดวิธีอื่นๆ ต้องนำมากำจัดโดยวิธีฝังกลบเป็นขั้นสุดท้าย บางครั้งสารอันตรายหรือของเสียบางชนิดที่ไม่สามารถกำจัดโดยวิธีอื่นๆ ได้ เช่น สารกัมมันตรังสี ก็อาจใช้วิธีกำจัดโดยการฝังกลบโดยนำไปฝังในบ่อคอนกรีต (Encapsulation) มีผนังหนาแน่นขึ้น โดยแยกเป็นช่องและใช้คอนกรีตเทหุ้มถึงหนา 30 เซนติเมตร พร้อมจัดระบบติดตามตรวจสอบด้วย

การเลือกสถานที่ฝังกลบจะต้องพิจารณาเป็นพิเศษเพื่อมิให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต จะต้องเป็นที่ที่อยู่ห่างไกลจากชุมชน น้ำไม่ท่วม ไกลจากแหล่งน้ำผิวดิน ไม่มีชั้นบาดาลหรือน้ำใต้ดินหรือถ้ามีกั้นหลุมจะต้องอยู่สูงจากระดับน้ำใต้ดิน 2 เมตร ไม่ควรเป็นจุดที่น้ำซึมลงใต้ดินหรือเป็นที่ต่ำมาก ชั้นดินควรเป็นชั้นที่น้ำซึมยาก (Permeability ไม่เกิน  $1 \times 10^{-6}$  เซนติเมตร ต่อวินาทีหรือ 0.1 ฟุตต่อปี) ใช้ Lining ด้วยแผ่นยางกันซึม ชั้นดินเหนียว คอนกรีตหรือยางมะตอย มีท่อรวบรวมน้ำที่กั้นหลุมมีระบบตรวจสอบน้ำบาดาลและระบบระบายน้ำรอบบริเวณ



รูปที่ 2.15 ระบบการบำบัดและกำจัดกากของเสียอันตราย [19]



### 2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ (2540) [21] เตรียมโคโตแซนจากหัวกุ้งดังนี้ แยกโปรตีนด้วยการทำปฏิกิริยาของหัวกุ้งกับ 1.0 N NaOH ในอัตราส่วน 1:6 ที่อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทำการแยกเกลือแร่โดยทำปฏิกิริยากับ 1.25 N HCl ในอัตราส่วน 1:10 ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แยกหมู่แอสเติลด้วยการทำปฏิกิริยากับ 50% w/v NaOH ในอัตราส่วน 1:15 ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ยีสต์โคโตแซนร้อยละ 28.6 ประกอบด้วย ซีไกร้อยละ 0.16 ไนโตรเจนร้อยละ 7.9 มี Degree of deacetylation เท่ากับร้อยละ 82.04 การละลายของโคโตแซนใน 0.5% Acetic acid สมบูรณ์ ร้อยละ 100 ความหนืด 1372 เซนติพอยส์ มีสมบัติเกณฑ์เดียวกับโคโตแซนที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ เมื่อนำไปดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนของ  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  และ  $\text{Zn}^{2+}$  เท่ากับร้อยละ 70.00 10.12 และ 20.49 ตามลำดับ

อรุณี เทอดเทพพิทักษ์ (2534) [1] ผลการวิเคราะห์หาปริมาณการดูดซับของโลหะโดยไคตินและโคโตแซนที่ผลิตได้ พบว่า ไอออนโลหะ  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  และ  $\text{Cd}^{2+}$  ถูกดูดซับโดยไคตินได้เท่ากับ  $7.0 \times 10^{-3}$   $3.4 \times 10^{-2}$  0.01-0.07 และ 0.01-0.07 มิลลิโมลต่อกรัม ตามลำดับ และโดยโคโตแซนได้เท่ากับ  $7.0 \times 10^{-3}$   $6.2 \times 10^{-2}$  0.01-0.07 และ 0.01-0.07 มิลลิโมลต่อกรัม ตามลำดับ สามารถลดปริมาณโลหะ  $\text{Pb}^{2+}$  ในแหล่งน้ำทิ้งบริเวณใกล้โรงงานอุตสาหกรรม จากความเข้มข้น  $2.17 \times 10^{-3}$  และ  $1.3 \times 10^{-3}$  มิลลิโมลต่อลิตร เหลือ  $1.06 \times 10^{-3}$  และ  $0.53 \times 10^{-3}$  มิลลิโมลต่อลิตร ตามลำดับ

Varaporn Cholumpai (1998) [22] ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์ของโคโตแซนดักจับตะกั่วในน้ำเสียโดยศึกษาความเป็นกรด-ด่าง ความเข้มข้นและรูปแบบของโคโตแซนที่ใช้ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการจับตะกั่วสูงสุดโดยใช้รูปแบบของสารละลายตะกั่วที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการในการทดลองและนำผลที่ได้ไปทดลองใช้ดักจับตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ผลจากการทดลองพบว่า โคโตแซนสามารถลดระดับตะกั่วในน้ำได้ ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการดักจับตะกั่วคือ 6 และ 7 เมื่อความเข้มข้นของโคโตแซนสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการดักจับตะกั่วจะสูงขึ้นด้วย โคโตแซนมีประสิทธิภาพในการดักจับตะกั่วได้ดีกว่าสารละลายโคโตแซน เมื่อนำโคโตแซนผงไปทดลองใช้ดักจับตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมพบว่าสามารถลดสารตะกั่วได้แต่ประสิทธิภาพจะต่ำกว่าเมื่อทดลองใช้กับสารละลาย

ตะกั่วที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าในน้ำเสียอาจมีไอออนของโลหะอื่นที่สามารถแย่งจับกับไคโตแซนได้ด้วย จากการศึกษาที่น่าจะสามารถแนะนำให้ใช้ไคโตแซนในการบำบัดน้ำเสียที่มีตะกั่วปนอยู่ อย่างไรก็ตามเพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดควรจะได้ศึกษาในรายละเอียดต่อไป

Nyein Nyien Auns (1998) [23] ศึกษาผลกระทบความเป็นกรด-ด่าง ขนาดของอนุภาค อุณหภูมิ ความเร็วในการกวน โดยพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักบนไคโตแซนคือ 5.5, 6.0 และ 4.0 สภาวะความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการคายการดูดซับคือ 2.4, 2.5 และ 2.5 สำหรับ  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$  และ  $\text{Pb}^{2+}$  ตามลำดับ ขนาดอนุภาคของไคโตแซนเท่ากับ 710 และ 425 ไมครอน สามารถดูดซับไอออนทองแดงได้ 2 และ 7 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ จากสารละลายความเข้มข้นสมมูล 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้นสมมูล 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถดูดซับไอออนทองแดงได้ 6.5 และ 11 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่อุณหภูมิ 37.5 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สารละลายความเข้มข้นสมมูลของไอออนทองแดง 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อทำการกวนที่ความเร็ว 50 และ 250 รอบต่อนาที ปริมาณไอออนทองแดงที่ถูกดูดซับไว้เท่ากับ 16 และ 17 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ในกรณีการคายการดูดซับ เมื่อปริมาณไอออนทองแดงที่ถูกดูดซับเริ่มต้นเท่ากับ 2.5 มิลลิกรัมต่อกรัม ปริมาณไอออนทองแดงที่คายออกจากอนุภาคไคโตแซนขนาด 710 และ 425 ไมครอน เท่ากับ 1.05 และ 1.19 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อปริมาณไอออนทองแดงที่ถูกดูดซับเริ่มต้นเท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อกรัม ปริมาณไอออนทองแดงที่คายออกเท่ากับ 3.5 และ 4.5 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่อุณหภูมิ 37.5 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อปริมาณไอออนทองแดงที่ถูกดูดซับเริ่มต้นเท่ากับ 17 มิลลิกรัมต่อกรัม ปริมาณไอออนทองแดงที่คายออกเท่ากับ 1.9 และ 10 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อทำการกวนที่ความเร็ว 50 และ 250 รอบต่อนาทีตามลำดับ และแนวโน้มของ  $\text{Cr}^{3+}$  กับ  $\text{Pb}^{2+}$  เป็นไปในทำนองเดียวกัน โดยขนาดอนุภาคที่เล็กลง อุณหภูมิที่สูงขึ้น และความเร็วในการกวนที่สูงขึ้นทำให้การดูดซับและการคายการดูดซับดีขึ้น

Yoshiichi Asao และคณะ (1986) [24] ได้ทำการทดลองกำจัดไอออนปรอทจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้อุพันธ์ไคโตแซนไม่ละลายน้ำ N-dithiocarboxy chitosan alkali metal salt เป็นสารตกตะกอน โดยเตรียมจากการใช้ไคโตแซนที่มีระดับการกำจัดหมู่แอสเซทิลร้อยละ 85 ทำปฏิกิริยากับ  $\text{CS}_2$  และ Alkali metal hydroxide ที่อุณหภูมิ 5-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-48 ชั่วโมง จะได้อนุพันธ์ไคโตแซนที่มีกำมะถันประกอบอยู่ร้อยละ 4-25

เมื่อนำมากำจัดอออนปรอทในน้ำเสียมีความเข้มข้น 100 ส่วนในล้านส่วน ด้วย 0.1 กรัม ของ N-dithiocarboxy chitosan Na salt ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จะเหลืออออนปรอทน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 ส่วนในพันล้านส่วน

Yoshiichi Asao และคณะ (1987) [25] ได้ทำการทดลองใช้อนุพันธ์ไคโตแซนชนิดละลายน้ำ N-dithiocarboxy chitosan (I) salt เพื่อกำจัดโลหะหนัก ได้แก่  $Hg^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  และ  $Pb^{2+}$  จากน้ำเสียอุตสาหกรรม โดยได้จากการทำปฏิกิริยาของไคโตแซนที่มีระดับการกำจัดหมู่แอสเทิลร้อยละ 90 น้ำหนักโมเลกุล 16,000 กับ  $CS_2$ , NaOH และน้ำ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากกรองแล้วผสมกับอะซีโตนจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นผงสีเหลืองอ่อน ที่ประกอบด้วยกำมะถันร้อยละ 13.8 มีระดับการแทนที่เท่ากับ 0.5 ต่อหน่วยกลูโคซามีน นำผงมาละลายในน้ำให้มีความเข้มข้นร้อยละ 10 เติมน้ำละลายดังกล่าว ปริมาณ 1.8 มิลลิลิตร ลงในน้ำเสียปริมาณ 200 มิลลิลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 3.5 ซึ่งมีอออนแคดเมียมเข้มข้น 100 ส่วนในล้านส่วน ทำการกรองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากกรองจะสามารถกำจัดอออนแคดเมียมได้เหลือความเข้มข้นน้อยกว่า 0.05 ส่วนในล้านส่วน

Catherine A. Eiden และคณะ (1980) [26] ได้ศึกษาอันตรกิริยาการดูดซับของอออนโลหะ  $Pb^{2+}$  และ  $Cr^{3+}$  บนไคตินและไคโตแซน พบว่าการดูดซับเฉลี่ยของ  $Pb^{2+}$  บนไคโตแซน เท่ากับ  $(1.9 \pm 0.1) \times 10^{-4}$  โมลต่อกรัมของไคโตแซนและการดูดซับเฉลี่ยของ  $Pb^{2+}$  บนไคตินเท่ากับ  $3.9 \times 10^{-5}$  โมลต่อกรัมของไคติน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 21 ของความสามารถการดูดซับของไคโตแซน อัตราส่วนของจำนวนอะตอมไนโตรเจนในพอลิเมอร์ต่อจำนวนอออนของโลหะหนักที่ถูกดูดซับ สำหรับ  $Pb^{2+}$  บนไคตินและไคโตแซน (N/Pb ratio) เท่ากับ 0.5 และ 11 ตามลำดับ พบว่า  $Cr^{3+}$  ถูกดูดซับโดยไคโตแซนได้อย่างมาก และทำให้ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายของ  $Cr^{3+}$  ที่อยู่ในสภาวะสมดุลกับไคโตแซนเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยค่าการดูดซับเฉลี่ยของ  $Cr^{3+}$  บนไคโตแซนเท่ากับ 2.5 โมลต่อกรัมของไคโตแซน โดยมีค่า N/Cr ratio เท่ากับ 18

Gordon McKay และคณะ (1989) [27] ได้ศึกษาการดูดซับของอออนโลหะ 4 ชนิด ได้แก่  $Hg^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  และ  $Zn^{2+}$  บนไคโตแซน พบว่าการดูดซับเป็นแบบ Monolayer มีค่าเท่ากับ 815 222 164 และ 115 มิลลิกรัมต่อกรัมของไคโตแซนตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 710-1,000 ไมครอน จากการวิเคราะห์ Equilibrium isotherm โดยใช้ Langmuir isotherm model

John R. Deans และคณะ (1992) [28] ได้สังเคราะห์ไบโอพอลิเมอร์หลายชนิด ได้แก่ Cellulose, Alginic acid, Chitin, Chitosan, Carrageenan และอนุพันธ์ Carboxymethyl และ Hydroxamic acid ของไบโอพอลิเมอร์ข้างต้น แล้วทดสอบประสิทธิภาพการกำจัด  $Pb^{2+}$  และ  $Cu^{2+}$  จากน้ำสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นในระดับส่วนในล้านส่วน พบว่าไม่มีไบโอพอลิเมอร์เพียงชนิดเดียวที่ดีที่สุดในการดูดซับไอออนโลหะหนักทุกชนิด โดย  $Cu^{2+}$  ที่ความเข้มข้น 10 และ 100 ส่วนในล้านส่วน ตัวดูดซับที่ดีที่สุดคือ Carboxymethyl chitosan และสำหรับ  $Pb^{2+}$  ตัวดูดซับที่ดีที่สุดคือ Carboxymethyl cellulose hydroxamic acid และได้กล่าวว่าไคโตแซนเป็นทางเลือกที่ดีมากในการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

##### 3.1.1 สารเคมีสำหรับเตรียมโคติน/โคโตแซน

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (AR Grade) BDH
2. ไฮโดรคลอริก 37% (AR Grade) BDH
3. เอทานอล (Commercial Grade)
4. แก๊สไนโตรเจน

##### 3.1.2 สารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ออลิโอะนโลหะหนัก

1. สารละลายมาตรฐานปรอท (AR Grade) BDH
2. สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (AR Grade) BDH
3. สารละลายมาตรฐานสังกะสี (AR Grade) BDH
4. สารละลายมาตรฐานแคดเมียม (AR Grade) BDH
5. สารละลายมาตรฐานทองแดง (AR Grade) BDH

##### 3.1.3 อื่นๆ

1. กรดแอสติค 100% (AR Grade) BDH
2. กรดไนตริก 69% (AR Grade) BDH
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (AR Grade) BDH

#### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

##### 3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการเตรียมโคติน/โคโตแซน

1. ตู้อบ (Hot air oven)
2. แผ่นความร้อน (Hot plate)

3. ชุดเครื่องกวนชนิดปรับความเร็วรอบและใบกวนเทพลอน
4. ชุดปฏิกรณ์เคมีแบบ 5 คอ ขนาด 2000 มิลลิลิตร สำหรับเตรียมไคติน ไคโตแซน
5. เทอร์โมมิเตอร์ช่วงอุณหภูมิ 0-100 และ 0-200 องศาเซลเซียส
6. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
7. เครื่องชั่งน้ำหนัก
8. เครื่องแก้วอื่นๆ ในห้องปฏิบัติการ

### 3.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการหาสถานะการดูดซับอินโพลีเมอร์

1. เครื่องวัดพีเอช (pH meter)
2. อุปกรณ์จาร์เทสต์ (Jar test)
3. Vacuum Pump
4. กระจกทรงเบอร์ 5
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก
6. เครื่องแก้วอื่นๆ ในห้องปฏิบัติการ

### 3.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

เครื่องมือวิเคราะห์อื่นๆ ที่ได้รับความอนุเคราะห์ให้ ได้แก่

เครื่องมือวิเคราะห์	สถานที่
1. Gel Permeation Chromatography	MTEC
2. Brookfield	บ.ไทยซินอุตสาหกรรม
3. NMR Spectrometer	MTEC
4. Atomic Absorption Spectrophotometer/Flame type	สถาบันราชภัฏสวนดุสิต
5. Atomic Absorption Spectrophotometer/Graphite type	วิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### 3.3 การดำเนินการวิจัย

การวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การสกัดโคโคแซนจากเปลือกกุ้งและเปลือกปู การศึกษาหาพีเอชและปริมาณโคโคแซนที่เหมาะสมในการดูดซับอื้ออนโลหะหนัก และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโคโคแซนในการดูดซับอื้ออนโลหะหนัก รูปแบบของการวิจัยขั้นตอนต่างๆ เป็นดังนี้

#### 3.3.1 การสกัดโคโคแซนจากเปลือกกุ้งและเปลือกปู

วิธีการเตรียมโคโคแซนจากเปลือกกุ้งและเปลือกปูในการวิจัยนี้ ใช้สภาวะที่เหมาะสมตามการศึกษาของเยาวภา [2] ซึ่งมีขั้นตอนประกอบด้วย การเตรียมโคโคแซน โดยประกอบด้วย การกำจัดโปรตีน การกำจัดแร่ธาตุ การกำจัดสีและไขมัน และการเตรียมโคโคแซนโดยการกำจัดหมู่แอเซทิล ดังขั้นตอนในรูปที่ 3.1 ดังนี้

- 1) นำเปลือกกุ้งอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้ง ซึ่งใช้เวลาประมาณ 8-10 ชั่วโมง
- 2) นำเปลือกกุ้งในข้อ 1) มาทำการบดให้มีขนาดประมาณ 1-2 มิลลิเมตร
- 3) นำเปลือกกุ้งในข้อ 2) ผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 2 โมลาร์ ในอัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้งต่อสารละลายต่าง 1:10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง รอให้เย็นแล้วนำไปล้างด้วยน้ำจนเป็นกลาง แยกเฉพาะส่วนของเปลือกกุ้งทำให้สะอาดน้ำ นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้ง
- 4) นำเปลือกกุ้งในข้อ 3) ผสมกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ในอัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้งต่อสารละลายกรด 1:10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง เสร็จแล้วนำไปล้างด้วยน้ำจนเป็นกลาง แยกเฉพาะส่วนของเปลือกกุ้งทำให้สะอาดน้ำ นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้ง

5) นำเปลือกกุ้งในข้อ 4) ผสมกับเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้งต่อเอทานอล 1:8 (น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แยกเฉพาะส่วนของเปลือกกุ้งแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้ง สารที่ได้คือ ไคติน

6) นำสารไคตินที่ได้จากข้อ 5) ผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วนระหว่างไคตินต่อสารละลายต่าง 1:20 (น้ำหนักต่อปริมาตร) นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง รอให้เย็นแล้วนำไปล้างด้วยน้ำจนเป็นกลาง นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้ง สารที่ได้คือ ไคโตแซน

7) ทำการทดลองในข้อ 1) ถึง 6) ซ้ำ โดยเปลี่ยนวัตถุดิบจากเปลือกกุ้งเป็นเปลือกปู ขั้นตอนต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 3.1

8) วิเคราะห์สมบัติของไคโตแซนที่เตรียมได้ ได้แก่ น้ำหนักโมเลกุล ความหนืด ร้อยละการกำจัดหมู่แอสติล

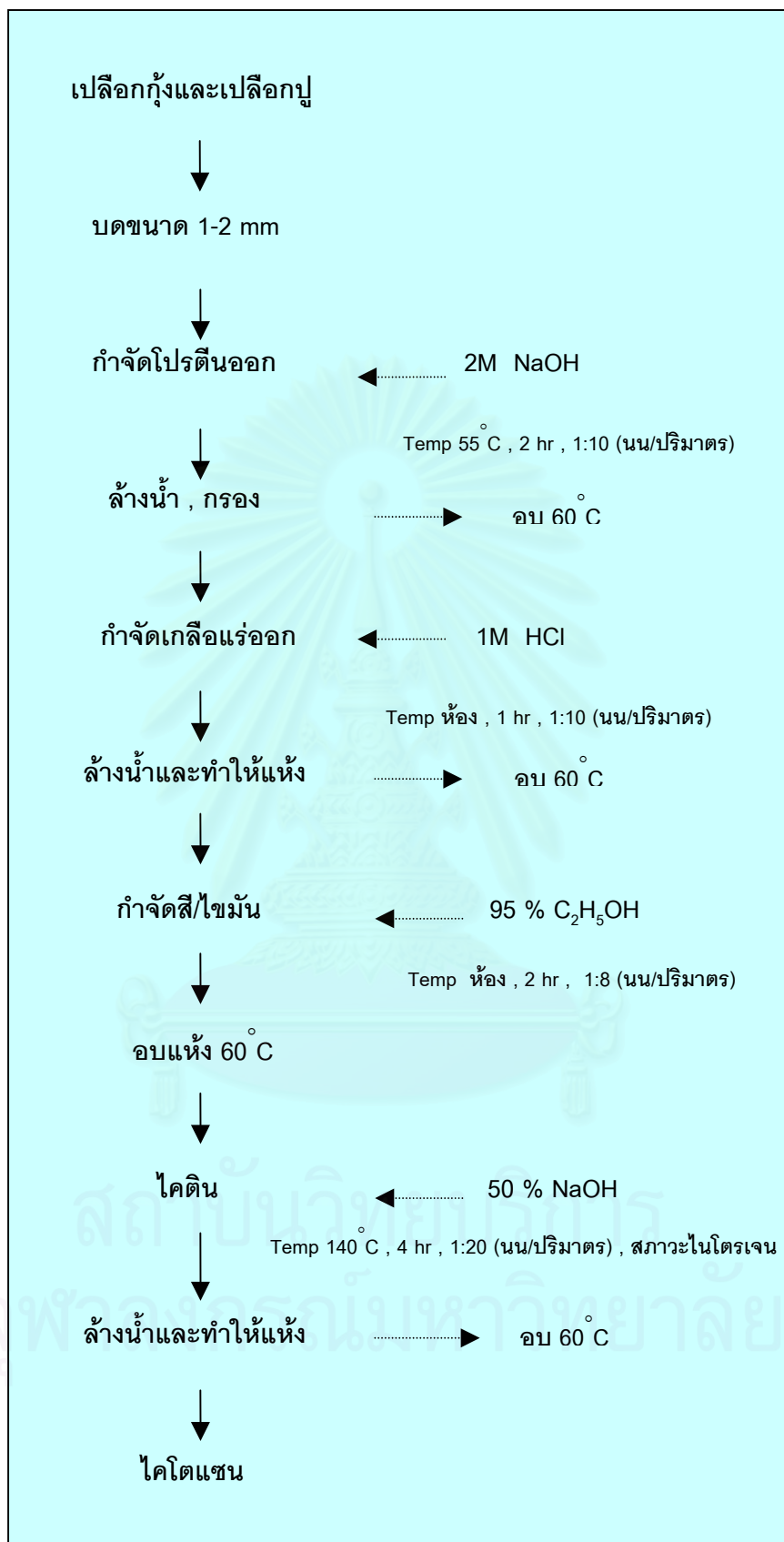
### 3.3.2 การศึกษาหาพีเอชและปริมาณไคโตแซนที่เหมาะสมในการดูดซับอออนโลหะหนัก

การกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ การเตรียมน้ำ การศึกษาหาพีเอชที่เหมาะสม การศึกษาหาปริมาณการใช้ไคโตแซนที่เหมาะสมในการดูดซับอออนโลหะหนัก ขั้นตอนต่างๆ เป็นดังนี้

#### ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมน้ำ

1. นำน้ำตัวอย่างที่เก็บมาทำการปรับค่าพีเอช โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ให้ได้ค่าต่างๆ กัน 6 ค่า ในช่วง 4-8 ตั้งทิ้งไว้จนตกตะกอนหมด

2. เก็บตัวอย่างน้ำส่วนที่ใสด้านบนมากรองแล้วทำการวัดปริมาณอออนโลหะหนักที่เหลือ เป็นค่าความเข้มข้นของอออนโลหะหนักก่อนเติมไคโตแซน



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมไคโตแซนจากเปลือกกุ้งและเปลือกปู

## ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาหาพีเอชที่เหมาะสม

1. นำน้ำตัวอย่างที่แต่ละค่าพีเอชจากขั้นตอนที่ 1 ปริมาตร 400 มิลลิลิตร ลงในแต่ละปีคเกอร์จำนวน 6 ใบ แล้วจัดวางบนเครื่องทดสอบ Jar test
2. เติมโคโคแทนที่สกัดได้ลงในปีคเกอร์แต่ละใบ 0.7 กรัม เท่าๆ กัน สำหรับน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ และเติมโคโคแทน 1.0 กรัม เท่าๆ กัน สำหรับน้ำเสียจากบริษัทสยามแปตเตอร์ จำกัด บริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์ จำกัด น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 และ 2 กวนสารละลายที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที แล้วกวนช้าที่ความเร็ว 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนในสภาวะสงบนิ่งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้กลไกการดูดซับอออนโลหะหนักบนโคโคแทนดีขึ้น
3. เก็บตัวอย่างส่วนน้ำใส นำไปวิเคราะห์ปริมาณอออนโลหะหนัก เพื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดอออนโลหะหนักที่ดีที่สุด เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกพีเอชที่เหมาะสม
4. ทำการทดลองตั้งแต่การเตรียมน้ำซ้ำ เมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชศึกษา เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุด ในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำตัวอย่าง

## ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาหาปริมาณการใช้โคโคแทนที่เหมาะสมในการดูดซับอออนโลหะหนัก

1. ตวงน้ำตัวอย่างปริมาตร 400 มิลลิลิตร หลังจากขั้นตอนการเตรียมน้ำ ที่ค่าพีเอชซึ่งได้จากขั้นตอนที่ 2 ลงในปีคเกอร์จำนวน 6 ใบ จัดวางบนเครื่องทดสอบ Jar test
2. เติมโคโคแทนปริมาณต่างๆ กันลงในปีคเกอร์แต่ละใบ
3. กวนสารละลายที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที แล้วกวนช้าที่ความเร็ว 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนในสภาวะสงบนิ่ง

4. เก็บตัวอย่างส่วนน้ำใสในเวลาต่างๆ นำไปวิเคราะห์ปริมาณอิออนโลหะหนัก เพื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดอิออนโลหะหนักที่ดีที่สุด เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจปริมาณการใช้โคโคแซนและเวลาที่เหมาะสม

5. ทำการทดลองในข้อ 1 ถึง 4 ซ้ำ เมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้โคโคแซนเพื่อหาปริมาณการใช้โคโคแซนที่เหมาะสมที่สุด ในการกำจัดอิออนโลหะหนักในน้ำตัวอย่าง

จากการนำโคโคแซนที่เตรียมได้ มาทดสอบความสามารถในการดูดซับอิออนโลหะหนัก โดยวิธีจาร์เทสเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ดังต่อไปนี้

ก. ตัวแปรอิสระ ได้แก่

- 1) ชนิดของโคโคแซนที่สกัดมาจากเปลือกกุ้งและเปลือกปู
- 2) ชนิดของน้ำตัวอย่าง ได้แก่ น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการ

การ

- 3) พีเอชของน้ำตัวอย่าง ในการวิจัยนี้จะทำการศึกษาที่พีเอช 4, 5, 5.5, 6, 7 และ 8
- 4) ปริมาณของโคโคแซนที่ใช้
- 5) เวลาในการเก็บน้ำตัวอย่าง

ข. ตัวแปรตาม ได้แก่

- 1) ปริมาณอิออนโลหะหนักที่เหลือของน้ำตัวอย่าง

ค. ตัวแปรคงที่ ได้แก่

- 1) ความเร็วแก๊รเดียนท์
- 2) เวลาในการกวน

### 3.3.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโคโคแซนในการดูดซับอิออนโลหะหนัก

ผลการศึกษาในขั้นต้นจะนำมาทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโคโคแซน ว่ามีความเหมาะสมในการดูดซับอิออนโลหะหนักหรือไม่ โดยจะทำการหาปริมาณอิออนโลหะหนักที่เหลือจากน้ำตัวอย่างด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

การตรวจสอบค่าไอออนทองแดง สังกะสี แคดเมียม และตะกั่ว ใช้วิธี Atomic absorption direct aspiration และ การตรวจสอบค่าไอออนปรอท ใช้วิธี Atomic absorption cold vapor technique



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

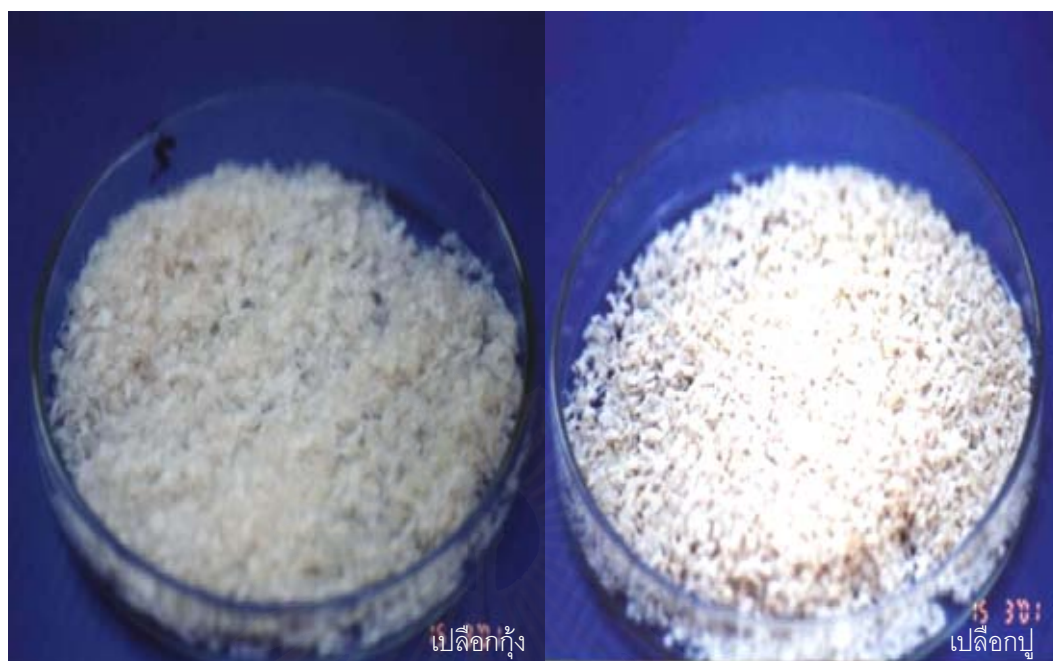
#### 4.1 ผลการเตรียมโคติน ไคโตแซนจากเปลือกกุ้งและเปลือกปู

##### 4.1.1 ผลการสกัด

จากเปลือกกุ้ง เปลือกปู อบแห้งปริมาณ 1,304.65 และ 1,350.00 กรัม สามารถสกัดโคตินได้ 438.41 และ 541.86 กรัม โดยปริมาณร้อยละของโคตินเทียบกับเปลือกกุ้งแห้งและเปลือกแห้งปูเท่ากับ 33.60 และ 40.14 ตามลำดับ เมื่อนำโคตินที่เตรียมได้จากเปลือกกุ้งเปลือกปู ปริมาณ 450.00 และ 444.35 กรัม มาผ่านกระบวนการกำจัดหมู่แอสติลออกเพื่อให้ได้ไคโตแซน พบว่าจะได้ไคโตแซนปริมาณ 346.29 และ 330.88 กรัม โดยปริมาณร้อยละของไคโตแซนเทียบกับเปลือกกุ้งแห้งและเปลือกปูแห้งเท่ากับ 25.86 และ 29.89 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับผลการศึกษาก่อนหน้านี้ [2] เกล็ดไคโตแซนดังแสดงในรูปที่ 4.1 เก็บไว้ใน Disiccator เพื่อรอการนำไปใช้ต่อไป

ตารางที่ 4.1 ผลการเตรียมโคติน/ไคโตแซนจากเปลือกกุ้งและเปลือกปู

ร้อยละยี่สิบ เทียบกับเปลือกแห้ง	งานวิจัยนี้		เอกสารอ้างอิง เยาวภา [2] กุ้ง
	เปลือกกุ้ง	เปลือกปู	
โคติน	33.60	40.14	27.82 – 32.78
ไคโตแซน	25.86	29.89	21.58 – 24.28



รูปที่ 4.1 ลักษณะเมล็ดของโคโตแซนที่เตรียมมาจากเปลือกกุ้งและเปลือกปู

#### 4.1.2 สมบัติ

สมบัติของโคโตแซนที่เตรียมได้ ได้แก่ มวลโมเลกุลเฉลี่ย ความหนืด และดีกรีการกำจัด หมูแอสติล ได้ผลคือ มวลโมเลกุลเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ  $3.3 \times 10^5$  และ  $2.7 \times 10^5$  ดาลตัน ความหนืดมีค่าเท่ากับ 30 และ 12.5 เซนติพอยส์ ดีกรีการกำจัดหมูแอสติลมีค่าเท่ากับ 93-94 และ 98 ของโคโตแซนที่เตรียมมาจากเปลือกกุ้งและเปลือกปู ตามลำดับ แสดงผลดังตารางที่ 4.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 สมบัติของโคโตแซนที่เตรียมได้เปรียบเทียบกับโคโตแซนอื่น

สมบัติ	วิธีวิเคราะห์	หน่วย	งานวิจัยนี้		เอกสารอ้างอิง เยวภา [2]
			กึ่ง	ปู	
Molecular weight	GPC	Dalton	$3.3 \times 10^5$	$2.7 \times 10^5$	—
Viscosity	Brookfield	cP	30	12.5	51-67
Degree of deacetylation	NMR	%	93-94	98	91-92

#### 4.2 ผลของการวิเคราะห์น้ำเสียตัวอย่างเริ่มต้น

น้ำเสียตัวอย่างเริ่มต้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี ซึ่งน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมได้มาจาก 3 แหล่ง คือ ศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ พบว่ามีค่าพีเอชเท่ากับ 3.08 ค่าของอิออนทองแดง 20.48 ส่วนในล้านส่วน ค่าของอิออนสังกะสี 108.60 ส่วนในล้านส่วน และค่าของอิออนแคดเมียม 0.176 ส่วนในล้านส่วน น้ำเสียจากบริษัทสยามเบตเตอร์อินดัสทรีจำกัด มีค่าพีเอชเท่ากับ 0.22 และค่าของอิออนตะกั่ว 2.177 ส่วนในล้านส่วน น้ำเสียจากบริษัทไทยอາซาฮีเคมีภัณฑ์จำกัด มีค่าพีเอชเท่ากับ 12.13 และค่าของอิออนปรอท 0.375 ส่วนในล้านส่วน ส่วนน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี ได้มาจาก 2 แหล่งคือ ห้องปฏิบัติการเคมี 1 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่าค่าพีเอชเท่ากับ 0.98 ค่าของอิออนสังกะสี 54.20 ส่วนในล้านส่วน ค่าของอิออนปรอท 71.78 ส่วนในล้านส่วน ค่าของอิออนแคดเมียม 3,203 ส่วนในล้านส่วน ค่าของอิออนตะกั่ว 12.18 ส่วนในล้านส่วน และจากห้องปฏิบัติการเคมี 2 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีค่าพีเอชเท่ากับ 0.19 ค่าของอิออนทองแดงเท่ากับ 30.94 ส่วนในล้านส่วน ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียตัวอย่างเริ่มต้นที่ใช้ในงานวิจัย

ประเภทของน้ำเสีย	แหล่งของน้ำเสีย	ชนิดของอิออนโลหะหนัก	ปริมาณอิออนโลหะหนักเริ่มต้น (ppm)	ค่าพีเอชเริ่มต้น
โรงงานอุตสาหกรรม	ศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ	Cu	20.48	3.08
		Zn	108.60	
		Cd	0.176	
	บ.สยามแบตเตอรี่	Pb	2.117	0.22
	บ.ไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์	Hg	0.375	12.13
ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาฯ	ห้องปฏิบัติการเคมี 1	Zn	54.20	0.98
		Hg	71.78	
		Cd	3,203	
		Pb	12.18	
	ห้องปฏิบัติการเคมี 2	Cu	30.94	0.19

#### 4.3 ผลการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมของโคโคแซนในการกำจัดอิออนโลหะหนัก

##### 4.3.1 ค่าพีเอชที่เหมาะสมของโคโคแซนในการกำจัดอิออนโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้มาจาก 3 แหล่ง คือ ศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ บริษัทสยามแบตเตอรี่และบริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์ ซึ่งจะทำการหาพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำแต่ละแหล่งดังต่อไปนี้

#### 4.3.1.1 ค่าพีเอชที่เหมาะสมของไคโตแซนในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ

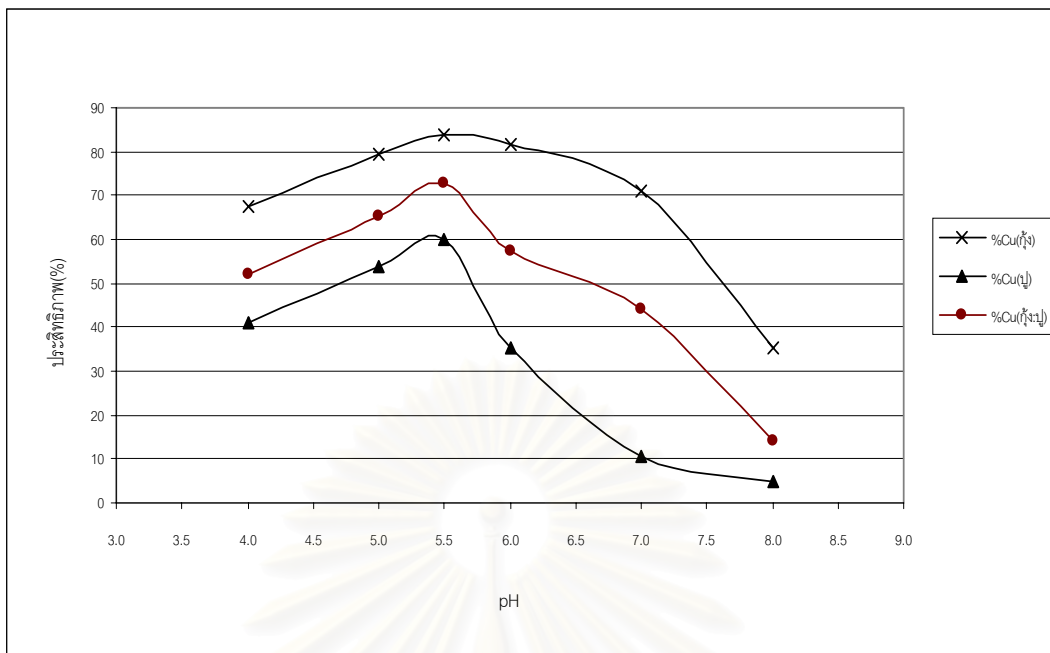
ศึกษาผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพในการกำจัดอออนโลหะหนัก เริ่มต้นน้ำเสียในระบบมีปริมาณอออนทองแดง 20.48 ส่วนในล้านส่วน อออนสังกะสี 108.60 ส่วนในล้านส่วน และอออนแคดเมียม 0.176 ส่วนในล้านส่วน ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ทำการปรับพีเอชเป็น 4, 5, 5.5, 6, 7 และ 8 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.2-4.4

เริ่มต้นทำการปรับค่าพีเอชในน้ำตัวอย่างตามที่กำหนดไว้ ซึ่งปริมาณอออนโลหะหนักบางส่วนจะตกตะกอนเป็นตะกอนไฮดรอกไซด์ออกมา ทำการกรอง นำส่วนน้ำใสวิเคราะห์หาปริมาณอออนโลหะหนักที่เหลืออยู่เป็นค่าก่อนการบำบัด ทำการเติมปริมาณไคโตแซน 0.7 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ทำการกวนและตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยไคโตแซนแล้วไปวิเคราะห์หาปริมาณอออนโลหะหนักที่เหลืออยู่ ผลปรากฏว่า ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดอออนทองแดงคือ 5.5 แสดงดังรูปที่ 4.2 โดยมีปริมาณอออนทองแดงก่อนการบำบัดเท่ากับ 4.919 ส่วนในล้านส่วน หลังจากผ่านการบำบัดแล้วจะเหลือปริมาณอออนทองแดงเท่ากับ 0.796 1.957 และ 1.333 ส่วนในล้านส่วน โดยร้อยละของปริมาณอออนทองแดงที่ลดลงเท่ากับ 83.8 60.2 และ 72.9 ของไคโตแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง ปู และกุ้งผสมปูตามลำดับ ส่วนค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดอออนสังกะสีคือ 6, 8 และ 7 แสดงดังรูปที่ 4.3 โดยมีปริมาณอออนสังกะสีก่อนการบำบัดที่พีเอชเท่ากับ 6 เท่ากับ 23.400 ส่วนในล้านส่วน หลังจากบำบัดแล้วจะเหลือปริมาณอออนสังกะสีเท่ากับ 12.050 ส่วนในล้านส่วน ของไคโตแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง สำหรับที่ค่าพีเอชเท่ากับ 8 มีปริมาณอออนสังกะสีก่อนการบำบัด 1.502 ส่วนในล้านส่วน หลังจากบำบัดแล้วจะเหลือปริมาณ 0.420 ส่วนในล้านส่วน ของไคโตแซนที่เตรียมมาจากปู และสำหรับกุ้งผสมปูจะอยู่ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 7 มีปริมาณอออนสังกะสีก่อนการบำบัดเท่ากับ 3.230 ส่วนในล้านส่วน หลังจากบำบัดแล้วจะเหลือปริมาณ 1.700 ส่วนในล้านส่วน โดยร้อยละของปริมาณอออนสังกะสีที่ลดลงเท่ากับ 48.5 72.0 และ 47.4 ของไคโตแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง ปู และกุ้งผสมปูตามลำดับ ในการกำจัดอออนแคดเมียม ค่าพีเอชที่เหมาะสมคือ 5.5 แสดงดังรูปที่ 4.4 โดยมีปริมาณแคดเมียมก่อนการบำบัดเท่ากับ 0.111 ส่วนในล้านส่วน หลังจากผ่านการบำบัดแล้วจะเหลือปริมาณอออนแคดเมียมเท่ากับ 0.050 0.045 และ 0.046 ส่วนในล้านส่วน โดยร้อยละของปริมาณอออนแคดเมียมที่ลดลงเท่ากับ 54.9 59.5 และ 58.6 ของไคโตแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง ปู และกุ้งผสมปูตามลำดับ

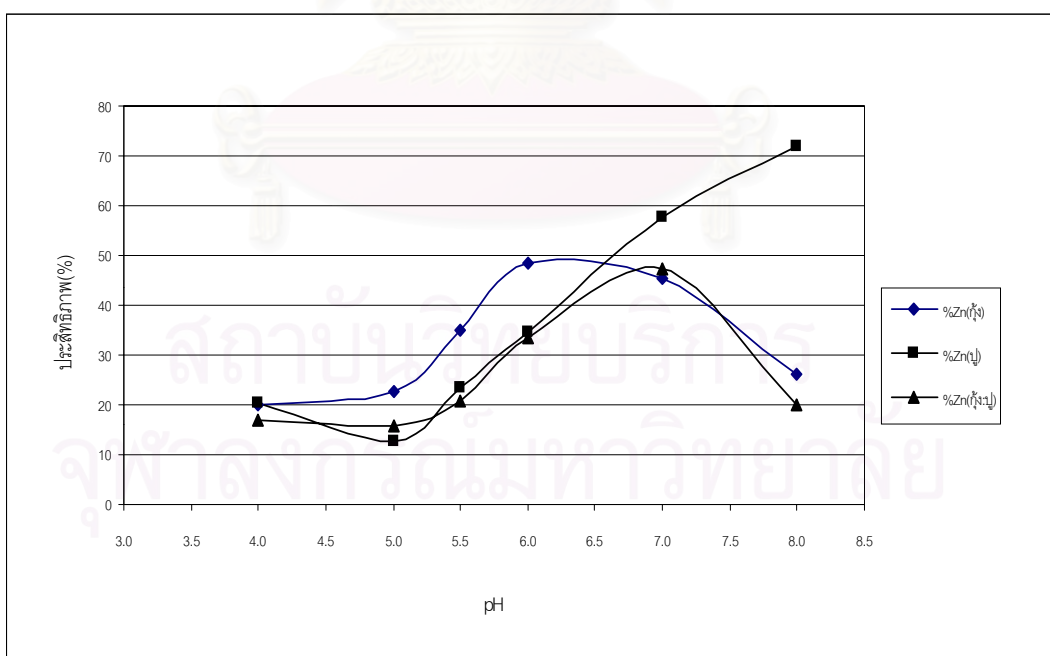
ตารางที่ 4.4 การทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของโคโคแซนในการกำจัดอิออนโลหะหนักในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ

พีเอช	ชนิดของอิออนโลหะหนัก	ปริมาณอิออนโลหะหนักก่อนเติมโคโคแซน (ppm)	ปริมาณอิออนโลหะหนักหลังเติมโคโคแซน 0.7 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร (ppm)			ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)		
			กุ่ม	ปุ๋	กุ่ม:ปุ๋=1:1	กุ่ม	ปุ๋	กุ่ม:ปุ๋=1:1
4.0	Cu	19.916	6.451	11.770	9.525	67.61	40.90	52.17
	Zn	103.100	82.400	81.900	85.800	20.08	20.56	16.78
	Cd	0.106	0.071	0.078	0.074	33.02	26.42	30.19
5.0	Cu	16.102	3.304	7.419	5.620	79.48	53.92	65.10
	Zn	91.100	70.500	79.500	76.800	22.61	12.73	15.70
	Cd	0.119	0.068	0.068	0.059	42.86	42.86	50.42
5.5	Cu	4.919	0.796	1.957	1.333	83.82	60.22	72.90
	Zn	84.300	54.900	64.600	66.700	34.88	23.37	20.88
	Cd	0.111	0.050	0.045	0.046	54.95	59.46	58.56
6.0	Cu	0.824	0.153	0.534	0.350	81.43	35.19	57.52
	Zn	23.400	12.050	15.330	15.600	48.50	34.49	33.33
	Cd	0.111	0.053	0.060	0.056	52.25	45.95	49.55
7.0	Cu	1.059	0.308	0.945	0.594	70.92	10.76	43.91
	Zn	3.230	1.760	1.370	1.700	45.51	57.59	47.37
	Cd	0.100	0.051	0.055	0.052	49.00	45.00	48.00
8.0	Cu	2.496	1.616	2.380	2.145	35.26	4.65	14.06
	Zn	1.502	1.110	0.420	1.200	26.10	72.04	20.11
	Cd	0.105	0.054	0.055	0.056	48.57	47.62	46.67

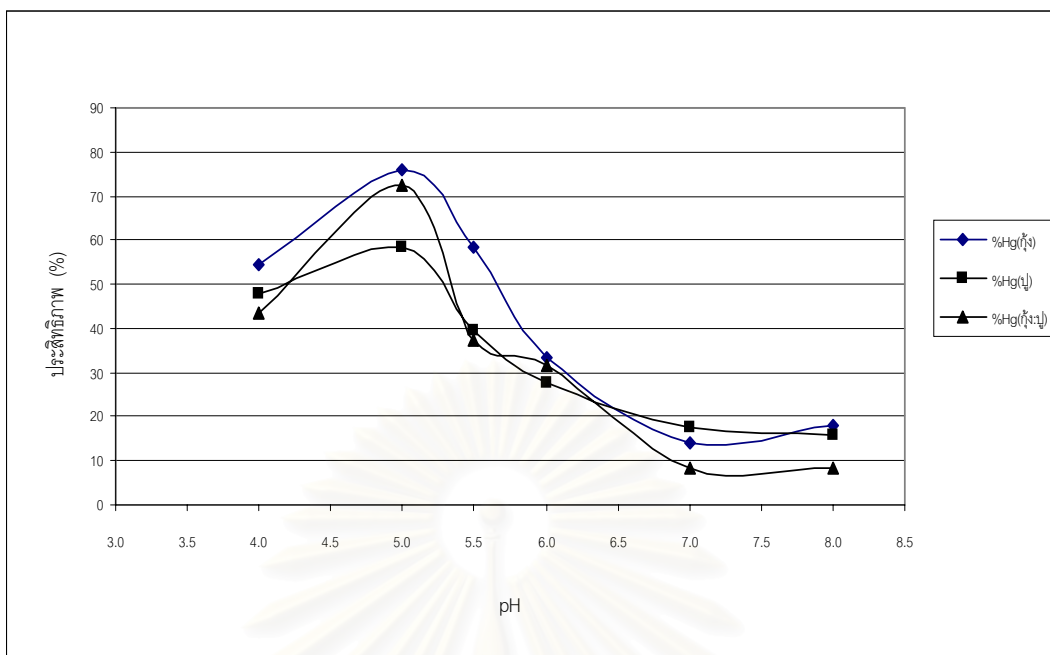




รูปที่ 4.2 พีเอชที่เหมาะสมของโคโตแซนในการกำจัดอิออนทองแดงในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ



รูปที่ 4.3 พีเอชที่เหมาะสมของโคโตแซนในการกำจัดอิออนสังกะสีในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ



รูปที่ 4.4 พีเอชที่เหมาะสมของโคโตแซนในการกำจัดอออนแคดเมียมในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ

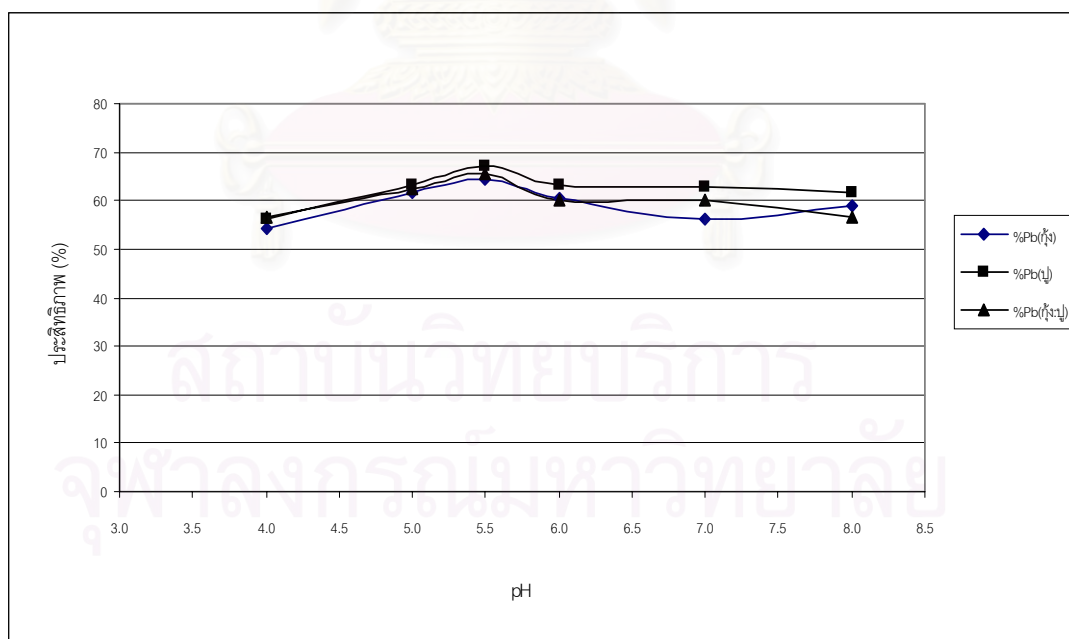
สรุปได้ว่าเมื่อต้องการกำจัดอออนโลหะหนักโดยรวมในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ ค่าพีเอชที่เหมาะสมของโคโตแซนในการกำจัดอออนโลหะหนัก ควรเลือกที่พีเอชเท่ากับ 5.5 เนื่องจากทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดอออนทองแดงและอออนแคดเมียมมากกว่าที่พีเอชอื่นๆ ถึงแม้ว่าจะสูญเสียประสิทธิภาพในการกำจัดอออนสังกะสีไปบ้าง

#### 4.3.1.2 ค่าพีเอชที่เหมาะสมของโคโตแซนในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากบริษัทสยามเบตเตอร์

ทำการทดลองในระบบจาร์เทสต์ ที่ภาวะเดียวกันกับน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ ปริมาณอออนตะกั่วเริ่มต้นในระบบมีค่าเท่ากับ 2.117 ส่วนในล้านส่วน เติมโคโตแซนปริมาณ 1.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ที่ค่าพีเอชต่างๆ ทำการกวนและตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5 ดังนี้

ตารางที่ 4.5 การทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของโคโตแซนในการกำจัดอ๊อนโลหะหนักในน้ำเสียจากบริษัทสยามแบตเตอรี่

พีเอช	ปริมาณอ๊อนตะกั่วก่อนเติมโคโตแซน (ppm)	ปริมาณอ๊อนตะกั่วหลังเติมโคโตแซน 1.0 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร (ppm)			ประสิทธิภาพ (%)		
		กึ่ง	ปุ	กึ่ง:ปุ=1:1	กึ่ง	ปุ	กึ่ง:ปุ=1:1
4.0	2.103	0.963	0.922	0.914	54.21	56.12	56.54
5.0	2.001	0.767	0.734	0.748	61.67	63.32	62.62
5.5	1.983	0.705	0.650	0.680	64.45	67.22	65.71
6.0	1.858	0.736	0.684	0.740	60.39	63.19	60.17
7.0	1.998	0.877	0.739	0.799	56.11	63.01	60.01
8.0	1.974	0.807	0.759	0.860	59.12	61.55	56.43



รูปที่ 4.5 พีเอชที่เหมาะสมของโคโตแซนในการกำจัดอ๊อนตะกั่วในน้ำเสียจากบริษัทสยามแบตเตอรี่

พีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากบริษัทสยามเบตเตอร์มีค่าเท่ากับ 5.5 เนื่องจากทำให้ประสิทธิภาพสูงกว่าที่ค่าพีเอชอื่นๆ ที่ค่าพีเอชนี้มีปริมาณอิออนตะกั่วก่อนบำบัดเท่ากับ 1.983 ส่วนในล้านส่วน หลังจากบำบัดแล้วจะเหลือปริมาณ 0.705 0.650 และ 0.680 ส่วนในล้านส่วน โดยร้อยละของปริมาณอิออนตะกั่วที่ลดลงเท่ากับ 64.4 67.2 และ 65.7 ของโคโคไตแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง ปู และกุ้งผสมปู ตามลำดับ ใกล้เคียงกันจากโคโคไตแซน 3 ชนิด

#### 4.3.1.3 ค่าพีเอชที่เหมาะสมของโคโคไตแซนในการกำจัดอิออนโลหะหนักในน้ำเสียจากบริษัทไทยอາซาฮีเคมิคัล

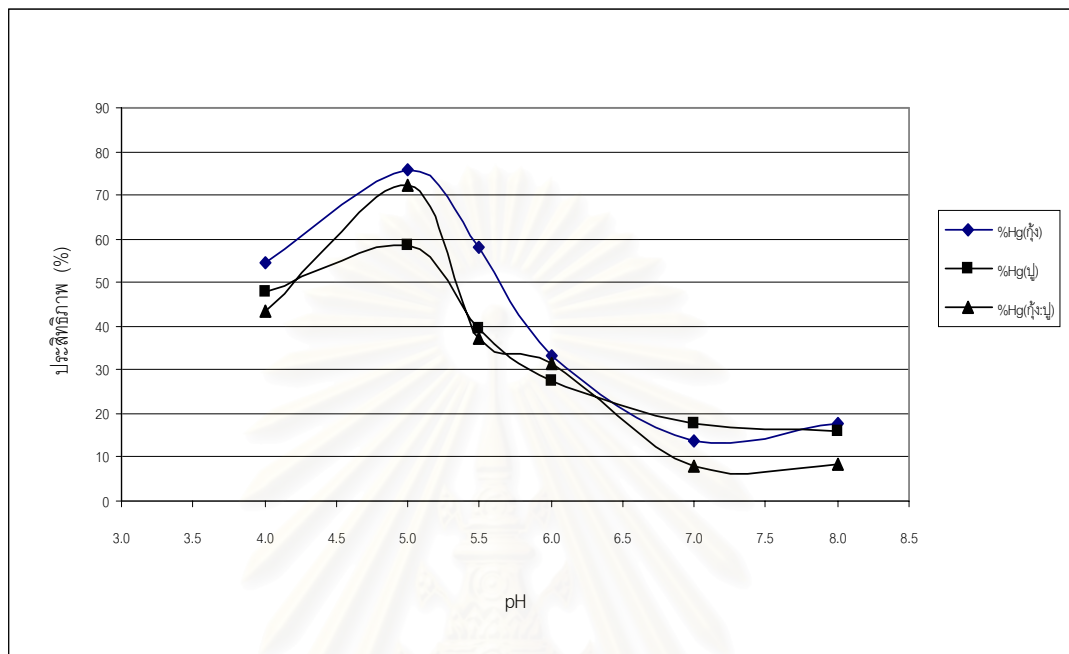
ปริมาณอิออนปรอทเริ่มต้นในระบบมีค่าเท่ากับ 0.375 ส่วนในล้านส่วน ผลการศึกษาในระบบจาร์เทสต์เมื่อเติมโคโคไตแซนปริมาณ 1.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ที่ค่าพีเอชต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.6 ดังนี้

ตารางที่ 4.6 การทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของโคโคไตแซนในการกำจัดอิออนโลหะหนักในน้ำเสียจากบริษัทไทยอາซาฮีเคมิคัล

พีเอช	ปริมาณอิออนปรอทก่อนเติมโคโคไตแซน (ppm)	ปริมาณอิออนปรอทหลังเติมโคโคไตแซน 1.0 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร (ppm)			ประสิทธิภาพ (%)		
		กุ้ง	ปู	กุ้ง:ปู=1:1	กุ้ง	ปู	กุ้ง:ปู=1:1
4.0	0.285	0.130	0.148	0.161	54.39	48.07	43.51
5.0	0.207	0.050	0.086	0.057	75.85	58.45	72.46
5.5	0.225	0.094	0.136	0.141	58.22	39.56	37.33
6.0	0.213	0.142	0.154	0.146	33.33	27.70	31.46
7.0	0.244	0.210	0.201	0.224	13.94	17.62	8.20
8.0	0.298	0.245	0.251	0.251	17.79	15.77	8.39

ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 5.0 โดยปริมาณอิออนปรอทก่อนเติมโคโคไตแซน 0.207 ส่วนในล้านส่วน เมื่อผ่านการบำบัดแล้วจะเหลืออิออนปรอทปริมาณ

0.050 0.086 และ 0.057 ส่วนในล้านส่วน โดยร้อยละของปริมาณอิออนปรอทที่ลดลงเท่ากับ 75.8 58.4 และ 72.5 ของโคโตแซนที่เตรียมมาจากกุ่ม ปู และกุ่มผสมปู ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 พีเอชที่เหมาะสมของโคโตแซนในการกำจัดอิออนปรอทในน้ำเสียจากบริษัทไทยอาซาฮี เคมีภัณฑ์

#### 4.3.2 ค่าพีเอชที่เหมาะสมของโคโตแซนในการกำจัดอิออนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ

น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้มาจาก 2 แหล่งคือ น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 และน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งจะทำให้การหาพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียแต่ละแหล่งดังต่อไปนี้

##### 4.3.2.1 ค่าพีเอชที่เหมาะสมของโคโตแซนในการกำจัดอิออนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1

น้ำเสียที่ได้จากห้องปฏิบัติการเคมี 1 มีปริมาณความเข้มข้นของอิออนโลหะหนักที่สูงมากและมีปริมาตรไม่เพียงพอต่องานวิจัย ดังนั้นจึงนำมาเจือจางเป็น 2 เท่า เป็นน้ำเสียดิบของงานวิจัยนี้ หลังจากนั้นทำการทดลองตามขั้นตอนต่างๆ

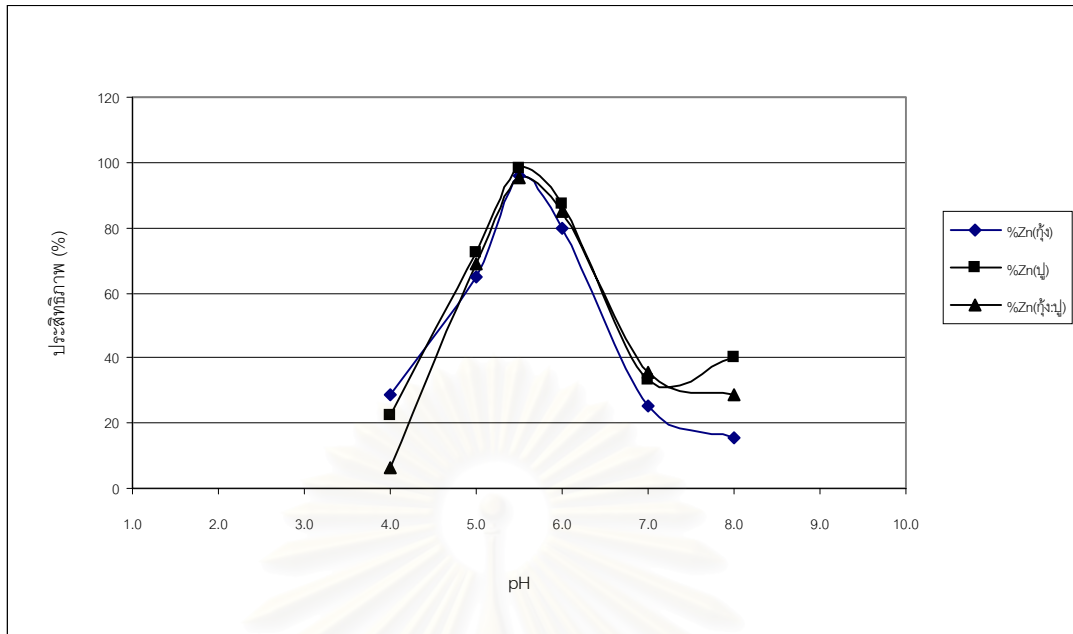
ปรับค่าพีเอชน้ำเสียตัวอย่างเป็น 4, 5, 5.5, 6, 7 และ 8 นำส่วนน้ำใสที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณอิออนโลหะหนักที่เหลือเป็นค่าก่อนการบำบัด เติมโคโคแซนเพื่อการบำบัด 1.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ทำการกวนในระบบจาร์เทสต์แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำส่วนน้ำใสไปวิเคราะห์หาปริมาณอิออนโลหะหนักเป็นค่าหลังการบำบัด แสดงดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.7-4.10 ดังนี้

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณอิออนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 พบอิออนโลหะหนักที่สนใจ 4 ชนิด คือ สังกะสี พรอท แคดเมียมและตะกั่ว โดยอิออนโลหะหนักตัวอื่นที่ปะปนอยู่ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ ปริมาณอิออนโลหะหนักเริ่มต้นในระบบมีสังกะสีเท่ากับ 54.20 ส่วนในล้านส่วน พรอท 71.78 ส่วนในล้านส่วน แคดเมียม 3,203 ส่วนในล้านส่วน และตะกั่ว 12.18 ส่วนในล้านส่วน ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ในการทดลองจาร์เทสต์จากตารางที่ 4.7 ผลปรากฏว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดอิออนสังกะสี คือ 5.5 ดังรูปที่ 4.7 โดยมีปริมาณอิออนสังกะสีก่อนการบำบัดเท่ากับ 8.820 ส่วนในล้านส่วน หลังจากบำบัดแล้วจะเหลือปริมาณอิออนสังกะสีเท่ากับ 0.354 0.147 และ 0.393 ส่วนในล้านส่วน ร้อยละของปริมาณอิออนสังกะสีที่ลดลงเท่ากับ 96.0 98.3 และ 95.5 ของโคโคแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง ปู และกุ้งผสมปู ตามลำดับ สำหรับค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดอิออนพรอทคือ 5.5 ดังรูปที่ 4.8 โดยมีปริมาณอิออนพรอทก่อนการบำบัดเท่ากับ 50.53 ส่วนในล้านส่วน หลังจากบำบัดแล้วจะเหลือปริมาณอิออนพรอทเท่ากับ 19.23 27.17 และ 22.30 ส่วนในล้านส่วน ร้อยละของปริมาณอิออนพรอทที่ลดลงเท่ากับ 61.9 46.2 และ 55.9 ของโคโคแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง ปู และกุ้งผสมปู ตามลำดับ สำหรับค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดอิออนแคดเมียมคือ 7.0 ดังรูปที่ 4.9 โดยมีปริมาณอิออนแคดเมียมก่อนการบำบัดเท่ากับ 70.75 ส่วนในล้านส่วน หลังจากบำบัดแล้วจะเหลือปริมาณอิออนแคดเมียมเท่ากับ 15.90 44.96 และ 31.76 ส่วนในล้านส่วน ร้อยละของปริมาณอิออนแคดเมียมที่ลดลงเท่ากับ 77.5 36.4 และ 55.1 ของโคโคแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง ปู และกุ้งผสมปู ตามลำดับ และค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดอิออนตะกั่วคือ 5.5 ดังรูปที่ 4.10 ซึ่งมีปริมาณอิออนตะกั่วก่อนการบำบัดเท่ากับ 0.554 ส่วนในล้านส่วน หลังจากบำบัดแล้วจะเหลือปริมาณอิออนตะกั่วเท่ากับ 0.270 0.275 และ 0.263 ส่วนในล้านส่วน ร้อยละของปริมาณอิออนตะกั่วที่ลดลงเท่ากับ 51.3 50.4 และ 52.5 ของโคโคแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง ปู และกุ้งผสมปู ตามลำดับ จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดอิออนพรอทและอิออนแคดเมียมของโคโคแซนที่เตรียมมาจากกุ้งจะสูงกว่าโคโคแซนที่เตรียมมาจากปู สำหรับการกำจัดอิออนสังกะสีและอิออนตะกั่วโดยโคโคแซนที่เตรียมมาจากกุ้งและปูจะให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน

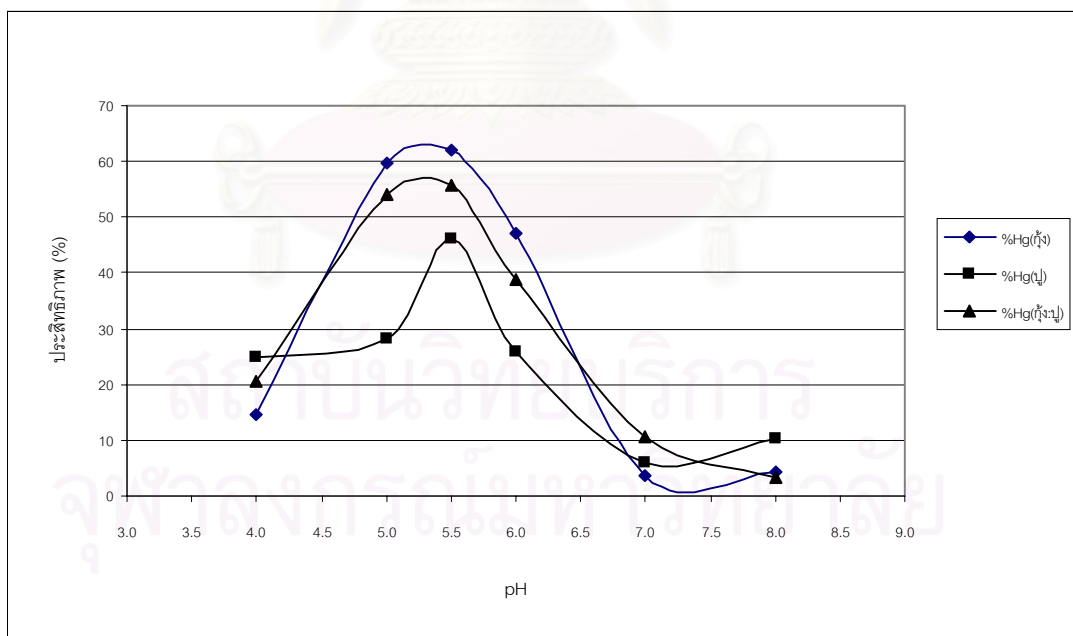


ตารางที่ 4.7 การทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของโคโคแซนในการกำจัดอโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1

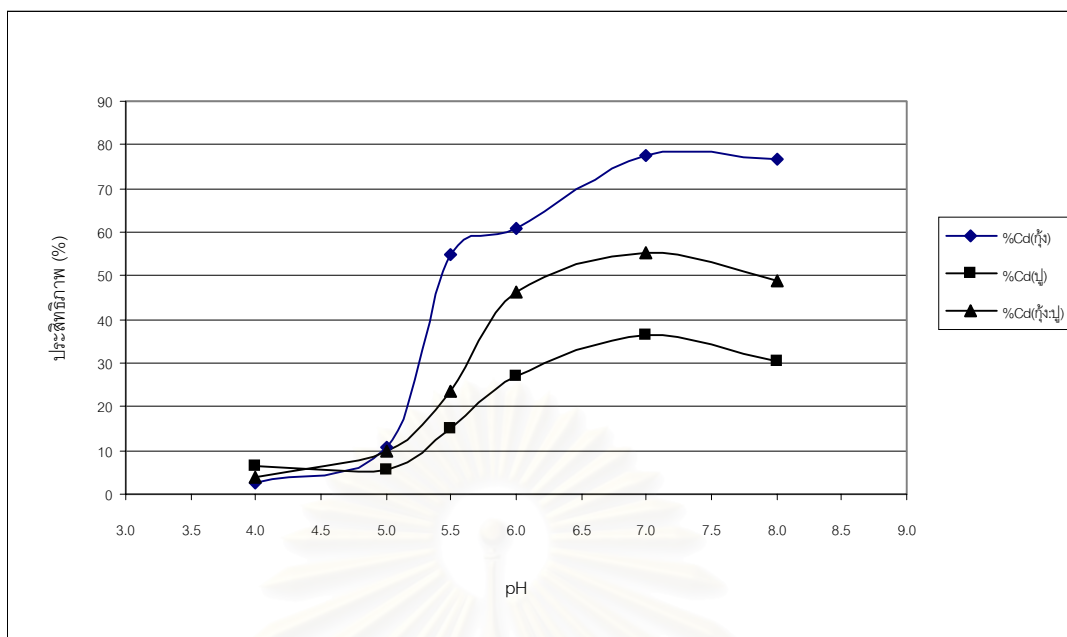
พีเอช	ชนิดของอโลหะหนัก	ปริมาณอโลหะหนักก่อนเติมโคโคแซน (ppm)	ปริมาณอโลหะหนักหลังเติมโคโคแซน 1.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร (ppm)			ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)		
			กึ่ง	ปุ้	กึ่ง:ปุ้ =1:1	กึ่ง	ปุ้	กึ่ง:ปุ้ =1:1
4.0	Zn	49.300	35.100	38.300	46.200	28.80	22.31	6.29
	Hg	70.060	59.750	52.610	55.690	14.72	24.91	20.51
	Cd	3181.000	3093.0	2977.0	3059.0	2.77	6.41	3.84
	Pb	5.690	5.015	4.560	4.580	11.86	19.86	19.51
5.0	Zn	23.200	8.120	6.410	7.220	65.00	72.37	68.88
	Hg	61.350	24.590	44.000	28.080	59.84	28.28	54.23
	Cd	2643.000	2358.0	2494.0	2378.0	10.78	5.64	10.03
	Pb	0.532	0.407	0.384	0.416	23.50	27.82	21.80
5.5	Zn	8.820	0.354	0.147	0.393	95.99	98.33	95.54
	Hg	50.530	19.230	27.170	22.300	61.94	46.23	55.87
	Cd	1288.000	854.00	1096.0	985.00	54.66	14.91	23.52
	Pb	0.554	0.270	0.275	0.263	51.26	50.36	52.53
6.0	Zn	0.678	0.138	0.088	0.103	79.65	87.02	84.81
	Hg	38.430	20.300	28.460	23.510	47.18	25.94	38.82
	Cd	539.800	212.00	393.60	290.00	60.73	27.08	46.28
	Pb	0.331	0.217	0.256	0.221	34.44	22.66	33.23
7.0	Zn	0.115	0.108	0.097	0.093	25.52	33.10	35.86
	Hg	18.980	18.270	17.850	16.990	3.74	5.95	10.48
	Cd	70.750	15.900	44.960	31.760	77.53	36.45	55.11
	Pb	0.309	0.190	0.233	0.213	38.51	24.60	31.07
8.0	Zn	0.103	0.097	0.069	0.082	15.65	40.00	28.70
	Hg	9.570	9.171	8.584	9.258	4.17	10.30	3.26
	Cd	6.610	1.545	4.600	3.376	76.63	30.41	48.93
	Pb	0.265	0.232	0.203	0.226	12.45	23.40	14.71



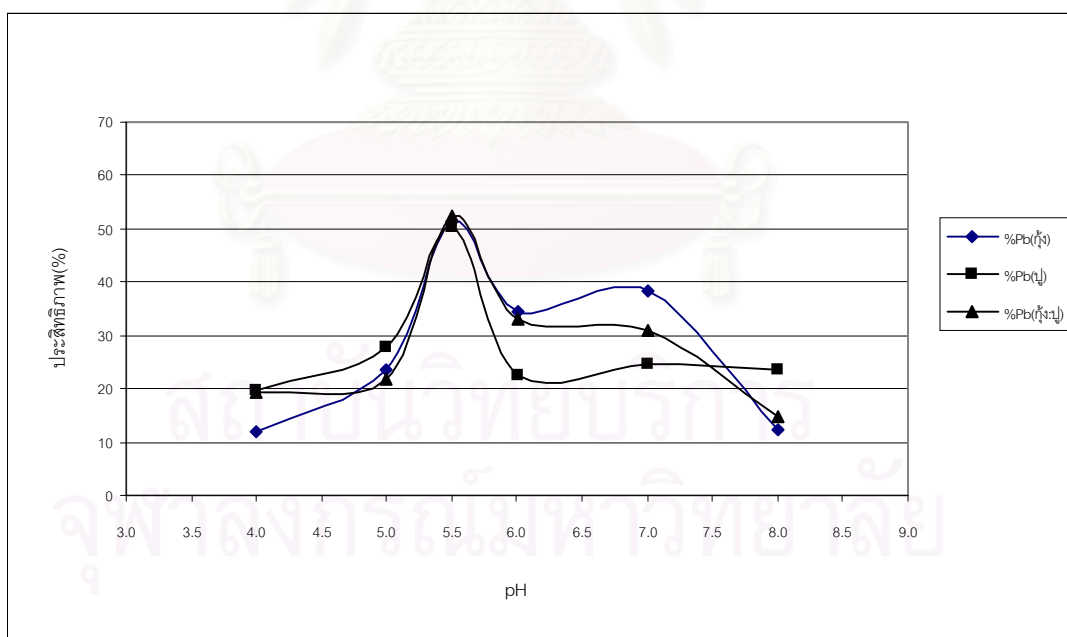
รูปที่ 4.7 พีเอชที่เหมาะสมของโคโคเตแซนในการกำจัดอออนสังกะสีในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1



รูปที่ 4.8 พีเอชที่เหมาะสมของโคโคเตแซนในการกำจัดอออนปรอทในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1



รูปที่ 4.9 พีเอชที่เหมาะสมของไคโตแซนในการกำจัดอออนแคดเมียมในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1



รูปที่ 4.10 พีเอชที่เหมาะสมของไคโตแซนในการกำจัดอออนตะกั่วในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1

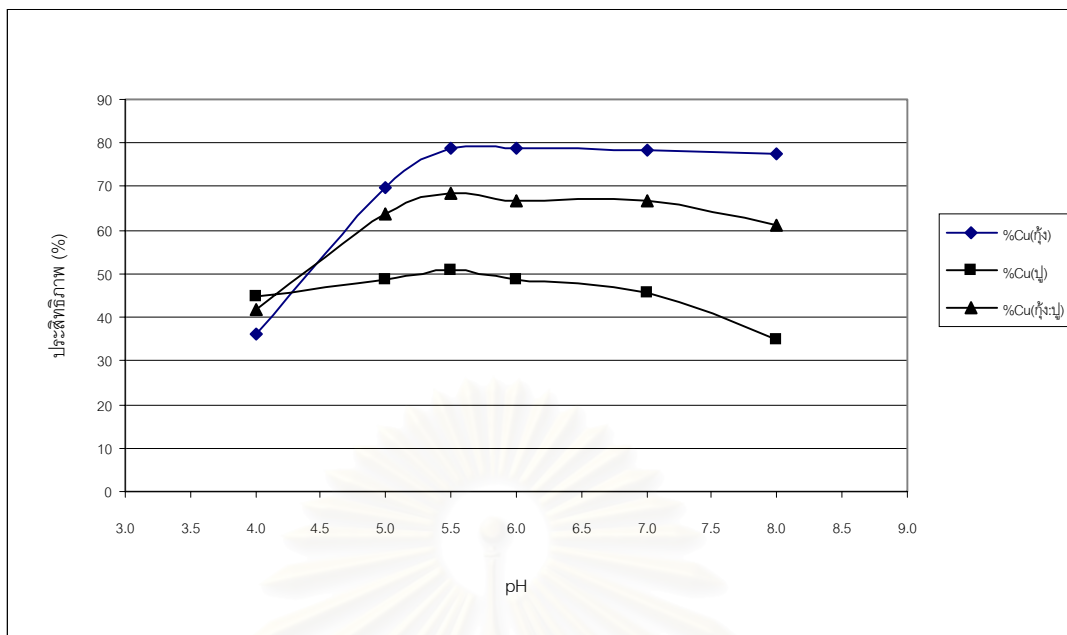
สรุปได้ว่า เมื่อต้องทำการกำจัดอินโดโซนิกโดยรวมในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ควรเลือกที่พีเอชเท่ากับ 5.5 เนื่องจากทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดอินโดโซนิก สังกะสี พรอท และ ตะกั่ว มากกว่าที่พีเอชอื่นๆ ถึงแม้ว่าจะสูญเสียประสิทธิภาพในการกำจัดอินโดโซนิกแคดเมียมไปบ้าง

#### 4.3.2.2 ค่าพีเอชที่เหมาะสมของโคโคแซนในการกำจัดอินโดโซนิกในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2

ปริมาณอินโดโซนิกแดงเริ่มต้นในระบบมีค่าเท่ากับ 30.94 ส่วนในล้านส่วน ทำการบำบัดโดยใช้โคโคแซน 1.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ที่ค่าพีเอชต่างๆ ทำการรวนในระบบจาร์เทสต์แล้วทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.11 ดังนี้

ตารางที่ 4.8 การทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของโคโคแซนในการกำจัดอินโดโซนิกในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2

พีเอช	ปริมาณอินโดโซนิกแดงก่อนเติมโคโคแซน (ppm)	ปริมาณอินโดโซนิกแดงหลังเติมโคโคแซน 1.0 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร (ppm)			ประสิทธิภาพ (%)		
		กุ่ม	ปู	กุ่ม:ปู=1:1	กุ่ม	ปู	กุ่ม:ปู=1:1
4.0	29.26	18.700	16.106	17.046	36.09	44.96	41.74
5.0	29.72	9.132	15.290	10.750	69.27	48.55	63.83
5.5	29.56	6.273	14.520	9.315	78.78	50.88	68.49
6.0	28.90	6.147	14.860	9.573	78.73	48.58	66.88
7.0	27.78	6.024	15.130	9.202	78.32	45.54	66.88
8.0	23.22	5.222	15.090	9.032	77.51	35.01	61.10



รูปที่ 4.11 พีเอชที่เหมาะสมของโคโคแซนในการกำจัดอิออนทองแดงในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ เคมี 2

ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียคือ 5.5 โดยปริมาณอิออนทองแดงก่อนเติมโคโคแซนเท่ากับ 29.56 ส่วนในล้านส่วน เมื่อผ่านการบำบัดแล้วจะเหลือปริมาณอิออนทองแดง 6.273 14.520 และ 9.315 ส่วนในล้านส่วน พบว่าร้อยละของปริมาณอิออนทองแดงที่ลดลงเท่ากับ 78.8 50.9 และ 68.5 ของโคโคแซนที่เตรียมมาจาก กึ่ง ปู และ กึ่งผสมปู ตามลำดับ

#### 4.4 ผลการศึกษาปริมาณโคโคแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอิออนโลหะหนัก

ผลการทดลองจากหัวข้อ 4.3 ได้ค่าพีเอชที่เหมาะสมของโคโคแซนในการกำจัดอิออนโลหะหนักแต่ละชนิดจากน้ำเสียแหล่งต่างๆ ได้ทำการทดลองต่อคือ หาปริมาณโคโคแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอิออนโลหะหนักเหล่านั้นต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร เพื่อให้น้ำเสียที่ได้มีปริมาณอิออนโลหะหนักอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ในการทดลองได้นำน้ำเสียดิบจำนวนใหม่มาทำการปรับค่าพีเอชให้ได้ค่าพีเอชที่เหมาะสมซึ่งหาได้จากหัวข้อ 4.3 ดังนั้นปริมาณอิออนโลหะหนักที่เหลือก่อนการเติมโคโคแซนจึงไม่เท่ากับที่กล่าวในหัวข้อ 4.3

#### 4.4.1 ปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

##### 4.4.1.1 ปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ

ในการกำจัดอออนทองแดง ที่พีเอช 5.5 ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณโคโตแซนที่ใช้อยู่ในช่วง 0.4-1.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ดังตารางที่ ข 1-3 ในภาคผนวก ข และรูปที่ ค 1-3 ในภาคผนวก ค ปริมาณอออนทองแดงหลังจากปรับพีเอชก่อนการเติมโคโตแซนมีค่าเท่ากับ 2.375 ส่วนในล้านส่วน พบว่าปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการบำบัดเท่ากับ 0.4 0.5 และ 0.5 กรัม เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณอออนทองแดงเหลือ 0.560 0.827 และ 0.526 ส่วนในล้านส่วน พบว่าร้อยละของปริมาณอออนทองแดงที่ลดลงเท่ากับ 76.4 65.2 และ 77.8 ของโคโตแซนที่สกัดมาจากกุ่ม ปู และกุ่มผสมปู ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.9

ในการกำจัดอออนสังกะสี ที่พีเอช 6.0 ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณโคโตแซนที่ใช้อยู่ในช่วง 1.0 - 3.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ดังตารางที่ ข 4-6 ในภาคผนวก ข และรูปที่ ค 4-6 ในภาคผนวก ค ปริมาณอออนสังกะสีหลังจากปรับพีเอชก่อนการเติมโคโตแซนมีค่าเท่ากับ 52.70 ส่วนในล้านส่วน พบว่าปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการบำบัดเท่ากับ 3.0 1.6 และ 3.0 กรัม เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 72 24 และ 24 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณอออนสังกะสีเหลือ 3.42 2.37 และ 2.28 ส่วนในล้านส่วน พบว่าร้อยละของปริมาณอออนสังกะสีที่ลดลงเท่ากับ 93.5 95.5 และ 95.7 ของโคโตแซนที่เตรียมมาจากกุ่ม ปู และกุ่มผสมปู ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.9 มีข้อสังเกตว่าจากตารางที่ 4.4 ค่าพีเอชที่เหมาะสมของโคโตแซนที่เตรียมมาจากปูและกุ่มผสมปูอยู่ที่ 8.0 และ 7.0 แต่เนื่องจากว่าทั้งสองภาวะนี้มีปริมาณอออนสังกะสีน้อยกว่า 5 ส่วนในล้านส่วน ของมาตรฐานน้ำทิ้ง โดยไม่ได้ใช้โคโตแซนเข้ามาในการบำบัด ดังนั้นจึงเลือกที่ค่าพีเอชเท่ากับ 6.0 เพื่อดูประสิทธิภาพการทำงานของโคโตแซน 3 ชนิด

ในการกำจัดอออนแคดเมียม ที่พีเอช 5.5 ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณโคโตแซนที่ใช้อยู่ในช่วง 1.5-2.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ดังตารางที่ ข 7-9 ในภาคผนวก ข และรูปที่ ค 7-9 ในภาคผนวก ค ปริมาณอออนแคดเมียมหลังจากปรับพีเอชมีค่าเท่ากับ 0.104 ส่วนในล้านส่วน พบว่าใช้ปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการบำบัดเท่ากับ 1.5 กรัม เมื่อทิ้งให้ตก



ตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณไอออนแคดเมียมเหลือ 0.023 0.021 และ 0.028 ส่วนในล้านส่วน พบว่าร้อยละของปริมาณไอออนแคดเมียมที่ลดลงเท่ากับ 77.9 79.8 และ 73.1 ของไอโตแซนที่สกัดมาจากกุ่ม ปู และกุ่มผสมปู ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ปริมาณไอโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดไอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ

น้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ	ชนิดของไอโตแซน	พีเอชในการบำบัดเท่ากับ 5.5			พีเอชในการบำบัดเท่ากับ 6.0		
		Cu <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup>
ปริมาณไอออนโลหะหนักก่อนเติมไอโตแซน (ppm)	-	2.375	-	0.104	-	52.70	-
ปริมาณไอออนโลหะหนักหลังเติมไอโตแซน (ppm)	กุ่ม	0.560	-	0.023	-	3.42	-
	ปู	0.827	-	0.021	-	2.37	-
	กุ่ม:ปู=1:1	0.526	-	0.028	-	2.28	-
ปริมาณไอโตแซนที่ใช้ (กรัม)	กุ่ม	0.40	-	1.50	-	3.00	-
	ปู	0.50	-		-	1.60	-
	กุ่ม:ปู=1:1	0.50	-		-	3.00	-
เวลาในการตกตะกอน (ชั่วโมง)	กุ่ม	24.00	-	24.00	-	72.00	-
	ปู		-		-	24.00	-
	กุ่ม:ปู=1:1		-		-	24.00	-
ประสิทธิภาพ (%)	กุ่ม	76.4	-	77.9	-	93.5	-
	ปู	65.2	-	79.8	-	95.5	-
	กุ่ม:ปู=1:1	77.8	-	73.1	-	95.7	-

หมายเหตุ : ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานของ Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup> เท่ากับ 1.0, 5.0, 0.03 ppm ตามลำดับ

โดยสรุปค่าพีเอชและปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสีย โดยรวมจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ ควรใช้โคโตแซนปริมาณ 1.5 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร ที่ค่าพีเอช 5.5 ทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะทำให้ปริมาณอออนโลหะหนักของทองแดงและแคดเมียมสามารถผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม (1.0 และ 0.03 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ) พบว่าร้อยละของปริมาณอออนทองแดงที่ลดลงมากกว่า 76.9 และร้อยละของปริมาณอออนแคดเมียมที่ลดลงอยู่ในช่วง 73.1–79.8 แต่ร้อยละของปริมาณอออนสังกะสีที่ลดลงอยู่ในช่วง 66.4–95.5 ถ้าจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดอออนสังกะสีมากขึ้นต้องเพิ่มปริมาณโคโตแซน เนื่องจากปริมาณอออนสังกะสีเริ่มต้นมีปริมาณที่สูงมาก หรือหลังจากบำบัดด้วยโคโตแซนที่ค่าพีเอช 5.5 แล้ว ให้ทำการปรับค่าพีเอชในน้ำเสียเป็น 7.0 ปริมาณอออนสังกะสีที่ได้ก็จะผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ (5 ส่วนในล้านส่วน) (จากผลในตารางที่ 4.4)

#### 4.4.1.2 ปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากบริษัทสยามแบตเตอรี่

ในการกำจัดอออนตะกั่ว ที่พีเอช 5.5 ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณโคโตแซนที่ใช้ดังนี้ 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 และ 2.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ดังตารางที่ ข 10-12 ในภาคผนวก ข และรูปที่ ค 10-12 ในภาคผนวก ค ปริมาณอออนตะกั่วหลังจากปรับพีเอชก่อนการเติมโคโตแซนมีค่าเท่ากับ 2,019.32 ส่วนในพันล้านส่วน พบว่าปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการบำบัดเท่ากับ 1.7 1.6 และ 1.7 กรัม เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณอออนตะกั่วเหลือ 194.77 186.48 และ 191.11 ส่วนในพันล้านส่วน พบว่าร้อยละของปริมาณอออนตะกั่วที่ลดลงเท่ากับ 90.3 90.8 และ 90.5 ของโคโตแซนที่เตรียมมาจาก กุ้ง ปู และกุ้งผสมปู ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ปริมาณโคโคแทนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากบริษัท สยามแบตเตอรี

น้ำเสียจากบริษัทสยามแบตเตอรี	ชนิดของโคโคแทน	พีเอชในการบำบัด เท่ากับ 5.5
ปริมาณอออนตะกั่วก่อนเติมโคโคแทน (ppb)	-	2,019.32
ปริมาณอออนตะกั่วหลังเติมโคโคแทน (ppb)	กึ่ง	194.77
	ปุ้	186.48
	กึ่ง:ปุ้=1:1	191.11
ปริมาณโคโคแทนที่ใช้ (กรัม)	กึ่ง	1.70
	ปุ้	1.60
	กึ่ง:ปุ้=1:1	1.70
เวลาในการตกตะกอน (ชั่วโมง)	กึ่ง	24.00
	ปุ้	24.00
	กึ่ง:ปุ้=1:1	24.00
ประสิทธิภาพ (%)	กึ่ง	90.3
	ปุ้	90.8
	กึ่ง:ปุ้=1:1	90.5

หมายเหตุ : ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานของ  $Pb^{2+}$  เท่ากับ 0.2 ppm

#### 4.4.1.3 ปริมาณโคโคแทนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากบริษัทไทยอซาฮีเคมีภัณฑ์

ในการกำจัดอออนปรอท ที่พีเอช 5.0 ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณโคโคแทนที่ใช้ในช่วง 1.2-2.2 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ดังตารางที่ ข 13-15 ในภาคผนวก ข และรูปที่ ค 13-15 ในภาคผนวก ค ปริมาณอออนปรอทหลังจากปรับพีเอชก่อนการเติมโคโคแทนมีค่าเท่ากับ 218.15 ส่วนในพันล้านส่วน พบว่าปริมาณโคโคแทนที่เหมาะสมในการบำบัดเท่ากับ 2.0 2.2 และ 2.2 กรัม เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณอออนปรอทเหลือ 4.31 4.73 และ 4.50 ส่วนในพันล้านส่วน พบว่าร้อยละของปริมาณอออนปรอทที่ลดลงเท่ากับ

98.0 97.8 และ 97.9 ของโคโตแซนที่เตรียมมาจากกึ่ง ปู และกึ่งผสมปู ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากบริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์

น้ำเสียจากบริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์	ชนิดของโคโตแซน	พีเอชในการบำบัดเท่ากับ 5.0
ปริมาณอออนปรอทก่อนเติมโคโตแซน (ppb)	-	218.15
ปริมาณอออนปรอทหลังเติมโคโตแซน (ppb)	กึ่ง	4.31
	ปู	4.73
	กึ่ง:ปู=1:1	4.50
ปริมาณโคโตแซนที่ใช้ (กรัม)	กึ่ง	2.0
	ปู	2.2
	กึ่ง:ปู=1:1	2.2
เวลาในการตกตะกอน (ชั่วโมง)	กึ่ง	24.0
	ปู	
	กึ่ง:ปู=1:1	
ประสิทธิภาพ (%)	กึ่ง	98.0
	ปู	97.8
	กึ่ง:ปู=1:1	97.9

หมายเหตุ : ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานของ  $Hg^{2+}$  เท่ากับ 0.005 ppm

#### 4.4.2 ปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ

##### 4.4.2.1 ปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1

ในการกำจัดอ็อกซาลิกแอซิด ที่พีเอช 5.5 ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณโคโคแซนที่ใช้ดังนี้ 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ดังตารางที่ ข 16-18 ในภาคผนวก ข และรูปที่ ค 16-18 ในภาคผนวก ค ปริมาณอ็อกซาลิกแอซิดหลังจากปรับพีเอชก่อนการเติมโคโคแซนมีค่าเท่ากับ 12.27 ส่วนในล้านส่วน พบว่าปริมาณโคโคแซนที่เหมาะสมในการบำบัดเท่ากับ 0.5 กรัม เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที สามารถลดปริมาณอ็อกซาลิกแอซิดเหลือ 1.375 0.782 และ 1.010 ส่วนในล้านส่วน พบว่าร้อยละของปริมาณอ็อกซาลิกแอซิดที่ลดลงเท่ากับ 88.8 93.6 และ 91.8 ของโคโคแซนที่เตรียมมาจากกุ่ม ปู และกุ่มผสมปู ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.12

ในการกำจัดอ็อกซาลิกแอซิด ที่พีเอช 5.5 ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณโคโคแซนที่ใช้ดังนี้ 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 และ 3.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ดังตารางที่ ข 19-21 ในภาคผนวก ข และรูปที่ ค 19-21 ในภาคผนวก ค ปริมาณอ็อกซาลิกแอซิดหลังจากปรับพีเอชก่อนการเติมโคโคแซนมีค่าเท่ากับ 56.02 ส่วนในล้านส่วน พบว่าปริมาณโคโคแซนที่เหมาะสมในการบำบัดเท่ากับ 3.0 กรัม เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณอ็อกซาลิกแอซิดเหลือ 6.36 17.77 และ 10.68 ส่วนในล้านส่วน โดยร้อยละของปริมาณอ็อกซาลิกแอซิดที่ลดลงเท่ากับ 88.6 68.3 และ 80.9 ของโคโคแซนที่เตรียมมาจากกุ่ม ปู และกุ่มผสมปู ตามลำดับ แสดงไว้ดังตารางที่ 4.12 แต่ค่าปริมาณอ็อกซาลิกแอซิดที่ได้ยังไม่ผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (0.005 ส่วนในล้านส่วน) แต่ร้อยละการกำจัดอยู่ในเกณฑ์สูงแล้ว ดังนั้นการบำบัดด้วยโคโคแซนเพียงขั้นตอนเดียวจึงไม่เพียงพอ

ในการกำจัดอ็อกซาลิกแอซิดที่พีเอช 7.0 ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณโคโคแซนที่ใช้ในช่วง 2.5-15.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ดังตารางที่ ข 22-24 ในภาคผนวก ข และรูปที่ ค 22-24 ในภาคผนวก ค ปริมาณอ็อกซาลิกแอซิดหลังจากปรับพีเอชก่อนการเติมโคโคแซนมีค่าเท่ากับ 133.60 ส่วนในล้านส่วน พบว่าปริมาณโคโคแซนที่เหมาะสมในการบำบัดเท่ากับ 10.0 15.0 และ 12.0 กรัม เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 72 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณอ็อกซาลิกแอซิดเหลือ 1.08 6.30 และ 3.46 ส่วนในล้านส่วน โดยร้อยละของปริมาณอ็อกซาลิกแอซิดที่ลดลงเท่ากับ 99.2 95.3 และ 97.4 ของโคโคแซนที่เตรียมมาจากกุ่ม ปู และกุ่มผสมปู ตามลำดับ แสดงไว้ดังตารางที่ 4.12 แต่ค่าปริมาณอ็อกซาลิกแอซิดที่ได้ยังไม่ผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (0.03 ส่วนในล้านส่วน) ดังนั้นการบำบัดด้วยโคโคแซนเพียงขั้นตอนเดียวไม่เพียงพอ เช่นเดียวกับอ็อกซาลิกแอซิด

ในการกำจัดอโลหะหนัก ที่พีเอช 5.5 ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณโคโตะแซนที่ใช้ดังนี้ 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 และ 3.0 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร ดังตารางที่ ข 25-27 ในภาคผนวก ข และรูปที่ ค 25-27 ในภาคผนวก ค ปริมาณอโลหะหนักหลังจากปรับพีเอชก่อนการเติมโคโตะแซนมีค่าเท่ากับ 1.078 ส่วนในล้านส่วน พบว่าปริมาณโคโตะแซนที่เหมาะสมในการบำบัดคือ 1.5 กรัม เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณอโลหะหนักเหลือ 0.194 0.190 และ 0.187 ส่วนในล้านส่วน โดยร้อยละของปริมาณอโลหะหนักที่ลดลงเท่ากับ 66.4 67.1 และ 67.6 ของโคโตะแซนที่เตรียมมาจากกึ่ง ปู และกึ่งผสมปู ตามลำดับ แสดงไว้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ปริมาณโคโตะแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1

น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1	ชนิดของโคโตะแซน	พีเอชในการบำบัดเท่ากับ 5.5			พีเอชในการบำบัดเท่ากับ 7.0
		Zn <sup>2+</sup>	Hg <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup>
ปริมาณอโลหะหนักก่อนเติมโคโตะแซน (ppm)		12.27	56.02	1.078	133.6
ปริมาณอโลหะหนักหลังเติมโคโตะแซน (ppm)	กึ่ง	1.375	6.36	0.194	1.08
	ปู	0.782	17.77	0.190	6.30
	กึ่ง:ปู=1:1	1.010	10.68	0.187	3.46
ปริมาณโคโตะแซนที่ใช้ (กรัม)	กึ่ง	0.5	3.0	1.5	10.0
	ปู				15.0
	กึ่ง:ปู=1:1				12.0
เวลาในการตกตะกอน (ชั่วโมง)	กึ่ง	0.5	24.0	24.0	72.0
	ปู				
	กึ่ง:ปู=1:1				
ประสิทธิภาพ (%)	กึ่ง	88.8	88.6	66.4	99.2
	ปู	93.6	68.3	67.1	95.3
	กึ่ง:ปู=1:1	91.8	80.9	67.6	97.4

หมายเหตุ : ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานของ Zn<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup> เท่ากับ 5.0, 0.005, 0.2, 0.03 ppm ตามลำดับ



โดยสรุปปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักโดยรวมในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ควรใช้ปริมาณโคโตแซน 1.5 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ที่ค่าพีเอช 5.5 ทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะสามารถกำจัดปริมาณอิออนโลหะหนักของสังกะสีและตะกั่วผ่านมาตรฐานน้ำเสียที่กำหนดได้ (5.0 และ 0.2 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ) พบว่าร้อยละของปริมาณอิออนสังกะสีที่ลดลงอยู่ในช่วง 94.5–97.7 และร้อยละของปริมาณอิออนตะกั่วที่ลดลงอยู่ในช่วง 66.4-67.6 แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดอิออนปรอทและอิออนแคดเมียมอยู่ที่ร้อยละ 48.0–76.7 และคาดว่ามากกว่า 14.91 ตามลำดับ

#### 4.4.2.2 ปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอิออนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2

ในการกำจัดอิออนทองแดง ที่พีเอช 5.5 ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณโคโตแซนที่ใช้ในช่วง 2.0-8.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ดังตารางที่ ข 28-30 ในภาคผนวก ข และรูปที่ ค 28-30 ในภาคผนวก ค ปริมาณอิออนทองแดงหลังจากปรับพีเอชก่อนการเติมโคโตแซนมีค่าเท่ากับ 27.26 ส่วนในล้านส่วน พบว่าปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการบำบัดเท่ากับ 5.0 และ 5.0 กรัม เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 72 และ 72 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณอิออนทองแดงเหลือ 0.986 0.944 และ 0.856 ส่วนในล้านส่วน พบว่าร้อยละของปริมาณอิออนทองแดงที่ลดลงเท่ากับ 96.4 96.5 และ 96.9 ของโคโตแซนที่เตรียมมาจากกึ่ง ปู และกึ่งผสมปู ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.13

#### 4.5 สรุปผลการศึกษาค่าพีเอชและปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอิออนโลหะหนักในน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.3 และ 4.4 สามารถสรุปผลค่าพีเอชและปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอิออนโลหะหนักชนิดต่างๆ จากน้ำเสียแหล่งต่างๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.14, 4.15 และ 4.16 กล่าวคือ

- น้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำพบอิออนโลหะหนักที่สนใจ 3 ชนิดคือ อิออนทองแดง อิออนสังกะสี และอิออนแคดเมียม โดยอิออนโลหะหนักตัวอื่นที่ปะปนอยู่ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ เมื่อต้องการกำจัดอิออนโลหะหนักโดยรวมจะเห็นว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 5.5

และปริมาณโคโคแทนที่เหมาะสมคือ 1.5 กรัมต่อน้ำตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถกำจัดอิมอนทองแดงและอิมอนแคดเมียมผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมได้

- น้ำเสียจากบริษัทสยามเบตเตอร์ พบอิมอนโลหะหนักที่สนใจคือ อิมอนตะกั่ว ค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 5.5 และปริมาณโคโคแทนที่เหมาะสมคือ 1.7 กรัมต่อน้ำตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถกำจัดอิมอนตะกั่วผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมได้

ตารางที่ 4.13 ปริมาณโคโคแทนที่เหมาะสมในการกำจัดอิมอนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2

น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2	ชนิดของโคโคแทน	พีเอชในการบำบัด เท่ากับ 5.5
ปริมาณอิมอนทองแดงก่อนเติมโคโคแทน (ppm)	-	27.26
ปริมาณอิมอนทองแดงหลังเติมโคโคแทน (ppm)	กึ่ง	0.986
	ปู	0.944
	กึ่ง:ปู=1:1	0.856
ปริมาณโคโคแทนที่ใช้ (กรัม)	กึ่ง	5.00
	ปู	8.00
	กึ่ง:ปู=1:1	5.00
เวลาในการตกตะกอน (ชั่วโมง)	กึ่ง	24.00
	ปู	72.00
	กึ่ง:ปู=1:1	72.00
ประสิทธิภาพ (%)	กึ่ง	96.4
	ปู	96.5
	กึ่ง:ปู=1:1	96.9

หมายเหตุ : ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานของ  $\text{Cu}^{2+}$  เท่ากับ 1.0 ppm

- น้ำเสียจากบริษัทไทยอาสาฮีเคมีภัณฑ์ พบอิมอนโลหะหนักที่สนใจคือ อิมอนปรอท ค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 5.0 และปริมาณโคโคแทนที่เหมาะสมคือ 2.2 กรัมต่อน้ำตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถกำจัดอิมอนปรอทผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมได้

- น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 พบอิออนโลหะหนักที่สนใจ 4 ชนิดคือ อิออนสังกะสี อิออนปรอท อิออนแคดเมียม และอิออนตะกั่ว โดยอิออนโลหะหนักตัวอื่นที่ปะปนอยู่ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ เมื่อต้องการกำจัดอิออนโลหะหนักโดยรวมจะเห็นว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 5.5 และปริมาณโคโคแซนที่เหมาะสมคือ 1.5 กรัมต่อน้ำตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถกำจัดอิออนสังกะสีและอิออนตะกั่วผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมได้

- น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2 พบอิออนโลหะหนักที่สนใจคือ อิออนทองแดง ค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 5.5 และปริมาณโคโคแซนที่เหมาะสมคือ 8.0 กรัมต่อน้ำตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร เป็นเวลา 72 ชั่วโมง สามารถกำจัดอิออนทองแดงผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมได้

- ลำดับความสามารถของโคโคแซนในการดูดซับอิออนโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เมื่อคิดจากการใช้โคโคแซน 1.0 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร และที่ภาวะพีเอช 5.5 ได้ดังนี้  $Cu^{2+} > Pb^{2+} > Hg^{2+} > Cd^{2+} \geq Zn^{2+}$

- ลำดับความสามารถของโคโคแซนในการดูดซับอิออนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ เมื่อคิดจากการใช้โคโคแซน 1.0 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร และที่ภาวะพีเอช 5.5 ได้ดังนี้  $Zn^{2+} > Cu^{2+} > Hg^{2+} > Cd^{2+} \geq Pb^{2+}$

ตารางที่ 4.14 ค่าพีเอชและปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดไอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมต่างๆ

แหล่งน้ำเสีย	ชนิดของไอออนโลหะหนัก	ปริมาณไอออนโลหะหนักเริ่มต้น (ppm)	ค่าพีเอชที่เหมาะสม			ปริมาณไอออนโลหะหนักหลังปรับพีเอช (ppm)	เวลาในการตกตะกอน(ชั่วโมง)/ ปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสม ต่อ น้ำเสีย 400 มิลลิลิตร (g)		
			กุ่ม	ปู	กุ่ม:ปู=1:1		กุ่ม	ปู	กุ่ม:ปู=1:1
ศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ	Cu <sup>2+</sup>	20.480	5.50	5.50	5.50	2.375	24/0.4	24/0.5	24/0.5
	Zn <sup>2+</sup>	108.60	6.00	6.00	6.00	52.700	72/3.0	24/1.6	24/3.0
	Cd <sup>2+</sup>	0.176	5.50	5.50	5.50	0.104	24/1.5	24/1.5	24/1.5
บ.สยามเบตเตอร์	Pb <sup>2+</sup>	2.177	5.50	5.50	5.50	2.019	24/1.7	24/1.6	24/1.7
บ.ไทยอาสาฮีเคมีภัณฑ์	Hg <sup>2+</sup>	0.375	5.00	5.00	5.00	0.218	24/2.0	24/2.2	24/2.2

ตารางที่ 4.15 ค่าพีเอชและปริมาณโคโคแซนที่เหมาะสมในการกำจัดไอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ

แหล่งน้ำเสีย	ชนิดของไอออนโลหะหนัก	ปริมาณไอออนโลหะหนักเริ่มต้น (ppm)	ค่าพีเอชที่เหมาะสม			ปริมาณไอออนโลหะหนักหลังปรับ พีเอช (ppm)	เวลาในการตกตะกอน(ชั่วโมง)/ ปริมาณโคโคแซนที่เหมาะสม ต่อ น้ำเสีย 400 มิลลิลิตร (g)		
			กึ่ง	ปู	กึ่ง:ปู=1:1		กึ่ง	ปู	กึ่ง:ปู=1:1
ห้องปฏิบัติการเคมี 1 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	Zn <sup>2+</sup>	54.20	5.50	5.50	5.50	12.27	0.5/0.5	0.5/0.5	0.5/0.5
	Hg <sup>2+</sup>	71.78	5.50	5.50	5.50	56.02	24/>3.0	24/>3.0	24/>3.0
	Cd <sup>2+</sup>	3,203	7.00	7.00	7.00	133.60	72/>10.0	72/>15.0	72/>15.0
	Pb <sup>2+</sup>	12.18	5.50	5.50	5.50	1.078	24/1.5	24/1.5	24/1.5
ห้องปฏิบัติการเคมี 2 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	Cu <sup>2+</sup>	30.94	5.00	5.00	5.00	27.26	24/5.0	72/8.0	72/5.0

ตารางที่ 4.16 ประสิทธิภาพการกำจัดอิออนโลหะหนักในน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ

แหล่งน้ำเสีย	ค่าพีเอชที่เหมาะสม	ปริมาณโคโคแชนท์ที่เหมาะสมต่อน้ำเสีย 400 ml (กรัม)	เวลาที่ใช้ในการตกตะกอน (ชั่วโมง)	ประสิทธิภาพ (%)				
				Cu <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Hg <sup>2+</sup>
ศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ	5.50	1.5	24	>76.9 <sup>a</sup>	66.4-95.5 <sup>b</sup>	73.1-79.8 <sup>c</sup>	-	-
บ.สยามแบตเตอรี่	5.50	1.7	24	-	-	-	>90.3 <sup>d</sup>	-
บ.ไทยอາซาฮีเคมีภัณฑ์	5.00	2.2	24	-	-	-	-	>97.8 <sup>e</sup>
ห้องปฏิบัติการเคมี 1	5.50	1.5	24	-	94.5-97.7 <sup>g</sup>	>14.91 <sup>h</sup>	66.4-67.6 <sup>i</sup>	48.0-76.7 <sup>j</sup>
ห้องปฏิบัติการเคมี 2	5.50	8.0	72	>96.4 <sup>f</sup>	-	-	-	-

<sup>a</sup> จากตารางที่ ข 1-3

<sup>d</sup> จากตารางที่ 4.10

<sup>g</sup> จากตารางที่ ข 16.18

<sup>j</sup> จากตารางที่ ข 19-20

<sup>b</sup> จากตารางที่ ข 4-6

<sup>e</sup> จากตารางที่ 4.11

<sup>h</sup> จากตารางที่ 4.7

<sup>c</sup> จากตารางที่ 4.9

<sup>f</sup> จากตารางที่ 4.13

<sup>i</sup> จากตารางที่ 4.12



#### 4.6 การบำบัดและกำจัดสลัดจ์

การบำบัดและกำจัดสลัดจ์ มีกระบวนการได้หลายแบบ ดังนั้นการเลือกวิธีการบำบัดที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญมาก ในงานวิจัยนี้เลือกทำการบำบัดด้วยการตากแห้งและกำจัดสลัดจ์ด้วยวิธีผสมซีเมนต์ทำให้เป็นก้อนแข็งแล้วนำไปฝังกลบอีกทีหนึ่ง เนื่องจากการบำบัดโดยการตากแห้งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายโดยใช้ความร้อนจากธรรมชาติ ส่วนการเผาจะทำให้เกิดแก๊สพิษและฝุ่น ซึ่งต้องนำมากำจัดโดยวิธีการฝังกลบอีกเป็นขั้นสุดท้าย การฝังกลบจึงนำเป็นวิธีการเหมาะสมกว่า ข้อดีข้อเสียสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ข้อดีข้อเสียของการเผาและการฝังกลบ

ข้อดีข้อเสียของการเผาและการฝังกลบ	
การเผา	การฝังกลบ
<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีราคาค่อนข้างสูง เนื่องจากต้องใช้พลังงานในการเผาที่อุณหภูมิสูง 1,000-2,000 องศาเซลเซียส</li> <li>- เกิดมลพิษทางอากาศและซีเถ้า ซึ่งจะต้องนำมากำจัดโดยวิธีการฝังกลบอีกครั้ง</li> <li>- ไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์หนักบางชนิดได้ เช่น ปะอศคแคดเมียม</li> <li>- เหมาะสำหรับของเสียอันตรายพวกกากน้ำมันหรือสารอันตรายอื่นๆ ที่มีสารเจือปนอยู่ไม่มากนัก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- สามารถกำจัดโลหะหนักประเภทต่างๆได้</li> </ul>

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาวิจัย การกำจัดอิออนโลหะหนักในน้ำเสียจากโคโตแซน โดยใช้โคโตแซนที่เตรียมมาจากเปลือกกุ้ง เปลือกปู ในรูปของของแข็งเพียงอย่างเดียวกับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ร้อยละผลิตภัณฑ์ของโคโตแซนที่เตรียมได้มีค่าเท่ากับ 25.9 และ 29.9 เมื่อเทียบกับน้ำหนักเปลือกกุ้งและเปลือกปูแห้ง ความหนืดเท่ากับ 30 และ 12.5 เซนติพอยส์ มวลโมเลกุลเฉลี่ยเท่ากับ  $3.3 \times 10^5$  และ  $2.7 \times 10^5$  ดาลตัน และร้อยละการกำจัดหมู่แอสติลเท่ากับ 93-94 และ 98 ของโคโตแซนที่เตรียมมาจากเปลือกกุ้งและเปลือกปู ตามลำดับ

2. โคโตแซนเป็นสาร Chelating polymer ที่สามารถดูดซับอิออนโลหะหนักในน้ำเสียได้ ในการทดลองใช้โคโตแซนที่เตรียมมาจากเปลือกกุ้ง ปู และกุ้งผสมปู กำจัดอิออนโลหะหนักในน้ำเสียโดยรวม ซึ่งสามารถสรุปออกเป็น 2 กลุ่ม จาก 5 แหล่งดังนี้

2.1 น้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียเสมดำ ภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดคือพีเอช 5.5 โดยใช้ปริมาณโคโตแซน 1.5 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดอิออนทองแดงมากกว่า 76.9 อิออนสังกะสีเท่ากับ 66.4-95.5 และอิออนแคดเมียมเท่ากับ 73.1-79.8

2.2 น้ำเสียจากบริษัทสยามแบตเตอรี่ ภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดคือพีเอช 5.5 โดยใช้ปริมาณโคโตแซน 1.7 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดอิออนตะกั่วมากกว่าเท่ากับ 90.3

2.3 น้ำเสียจากบริษัทไทยอາซาฮีเคมีภัณฑ์ ภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดคือพีเอช 5.0 โดยใช้ปริมาณโคโตแซน 2.2 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดอิออนปรอทมากกว่าเท่ากับ 97.8

2.4 น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดคือพีเอช 5.5 โดยใช้ปริมาณไคโตแซน 1.5 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดอิมูนสังกะสี 94.5-97.7 อิมูนแคดเมียมค่าต่ำกว่ามากว่า 14.9 อิมูนตะกั่วเท่ากับ 66.4-67.6 และอิมูนปรอทเท่ากับ 48.0-76.7

2.5 น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2 ภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดคือพีเอช 5.5 โดยใช้ปริมาณไคโตแซน 8.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 72 ชั่วโมง จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดอิมูนทองแดงมากกว่า 96.4

3. การเพิ่มปริมาณไคโตแซนลงไปใต้น้ำเสียมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก

4. การเพิ่มเวลาให้ไคโตแซนดูดซับอิมูนโลหะหนักในสภาวะนิ่งนานขึ้นทำให้การกำจัดอิมูนโลหะหนักออกจากน้ำเสียดีขึ้น

5. ไคโตแซนที่เตรียมมาจากกุ้งผสมปูจะให้ประสิทธิภาพส่วนใหญ่อยู่ระหว่างไคโตแซนที่เตรียมมาจากเปลือกกุ้งและเปลือกปู สำหรับไคโตแซนที่เตรียมมาจากเปลือกกุ้งจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักแตกต่างจากไคโตแซนที่เตรียมมาจากปู ดังนี้

5.1 น้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ ร้อยละความแตกต่างของอิมูนทองแดงเฉลี่ยเท่ากับ 15.0 อิมูนสังกะสีเฉลี่ยเท่ากับ 18.7 และอิมูนแคดเมียมเฉลี่ยเท่ากับ 3.4

5.2 น้ำเสียจากบริษัทสยามเบตเตอร์ ร้อยละความแตกต่างของอิมูนตะกั่วเฉลี่ยเท่ากับ 1.5

5.3 น้ำเสียจากบริษัทไทยอาสาฮีเคมีภัณฑ์ ร้อยละความแตกต่างของอิมูนปรอทเฉลี่ยเท่ากับ 2.2

5.4 น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ร้อยละความแตกต่างของอิมูนสังกะสีเฉลี่ยเท่ากับ 3.2 อิมูนปรอทเฉลี่ยเท่ากับ 21.1 อิมูนแคดเมียมเฉลี่ยเท่ากับ 28.4 และอิมูนตะกั่วเฉลี่ยเท่ากับ 9.4

5.5 น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2 ร้อยละความแตกต่างของอิออนทองแดงเฉลี่ยเท่ากับ 20.4

6. ขั้นตอนของการบำบัดทางเคมีต่ออิออนโลหะหนักในน้ำเสียต้องประกอบด้วย 2 ขั้นตอนเป็นอย่างน้อยคือ การตกตะกอนในรูปของไฮดรอกไซด์เพื่อปรับพีเอชน้ำเสียให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม และขั้นตอนการดูดติดผิวของอิออนโลหะหนักบนโคโคแชน

7. จากการพิจารณาเบื้องต้นการบำบัดและกำจัดสลัดจ์โคโคแชนที่ดูดซับอิออนโลหะหนักโดยวิธีตากแห้งผสมกับซีเมนต์ทำเป็นก้อนแข็งและฝังกลบเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดที่ต้องศึกษาในรายละเอียดต่อไป

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

- ศึกษาแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์ของโคโคแชน โดยคิดค้นกรรมวิธีในการผลิตโคโคตินและโคโคแชนที่เหมาะสมสำหรับงานประยุกต์นั้นๆ หรือดัดแปรโคโคแชนเป็นอนุพันธ์ต่างๆ ที่อาจเหมาะสมและให้ประสิทธิภาพในการกำจัดอิออนโลหะหนักสูงกว่าโคโคแชนชนิดธรรมดา

- ในกรณีของการนำผลจากการศึกษาไปใช้ใน Pilot plant จำเป็นต้องมีการทดสอบการกำจัดอิออนโลหะหนักเหล่านั้นใหม่เพื่อให้ได้ทราบถึงภาวะและปริมาณการใช้โคโคแชนที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการกำจัดอิออนโลหะหนักที่สุดและใช้ปริมาณโคโคแชนในการบำบัดน้อยที่สุด ซึ่งในน้ำเสียจากแหล่งอื่นๆ หรือน้ำเสียที่มีลักษณะแตกต่างไปจากน้ำเสียตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย อาจมีภาวะที่เหมาะสมแตกต่างกันออกไป

- การใช้โคโคแชนในการกำจัดอิออนโลหะหนักในน้ำเสียสามารถทำได้ในระดับหนึ่ง อาจใช้สารช่วยตกตะกอนร่วมด้วยเพื่อประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักที่ดีกว่า

- ศึกษาภาวะและปริมาณโคโคแชนที่เหมาะสมในการกำจัดอิออนโลหะหนักประเภทอื่น

- ควรศึกษาผลของความเข้มข้นที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดอิออนโลหะหนัก

## รายการอ้างอิง

1. อรุณี เทอดเทพพิทักษ์. การกำจัดโลหะหนักบางตัวในน้ำทิ้งโดยใช้ไคโตแซนจากเปลือกปูที่เหลือทิ้ง. มหาวิทยาลัยบูรพา, 2534.
2. ยาวพา ไหวพริบ. การผลิตไคตินและไคโตแซนจากเปลือกกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญา  
มหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,  
2534.
3. วิสิฐ กระจะสิต และลูกจันทร์ ภัครชพันธ์ุ. ไคโตแซน (CHITOSAN) โพลีเมอร์ตัวใหม่จากของ  
เหลือทิ้งอุตสาหกรรมสัตว์น้ำ. วารสารอุตสาหกรรมเกษตร ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม –  
เมษายน 2533.
4. V. Lee. Solution and Shear properties of chitin and chitosan. Ann Arbor 29  
(1974):446.
5. R. A. A. Muzzarelli. The polysaccharide. Vol 3. New York: Academic Press, 1985.
6. K. Inone, Y. Baba, K. Yoshizuka, H. Noguchi and M. Yoshizaki. Selectivity Series  
in the adsorption of Metal Ions on a Resin Prepared by Crosslinking Copper (II) –  
Complexed Chitosan. Chemistry Letters (1988) : 1281-1284.
7. <http://user.chollian.net/~chitin/prechitosan.gif>, “what is chitin/chitosan?”.
8. D. Knorr. User of chitinous polymer in food. Food Technology 38 (1984): 85.
9. R.A.A. Muzzarelli. Chitin. Oxford : Pergamon press, 1977.
10. อัครวิน กิตติชัชวาล. โคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอตจากไคโตแซน. วิทยานิพนธ์  
ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลง  
กรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
11. จิราภรณ์ สุขุมาวาสี. ไคติน(2).กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม สถาบัน  
วิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย : 86.
12. ธีระพล ประมวลกิจจา. อุตสาหกรรมผลิตไคตินและไคโตแซนจากเปลือกกุ้ง. วารสารกรมส่งเสริม  
อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ปีที่34 ฉบับที่12 (ธันวาคม 2534): หน้า 3-7.
13. ประโยชน์ของสารไคตินและไคโตแซน. เดลินิวส์ (10 พฤศจิกายน 2534).
14. ฉกามาศ วงศ์ข้าหลวง. การใช้ประโยชน์จากไคติน. วารสารอาหาร ปีที่ 16 ฉบับที่ 4 (ตุลาคม  
– ธันวาคม 2529): หน้า 219-221.
15. โพลีเมอร์ชีวภาพกับการวิจัยเพื่อใช้ประโยชน์. เดลินิวส์ (11 สิงหาคม 2542).

16. การดูดซับโลหะหนักด้วยไคโตแซนจากเปลือกกุ้ง. วารสารการวิจัยและพัฒนา ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม – สิงหาคม 2540): หน้า 129-130.
17. มั่นสิน ตันทุลเวศม์. วิศวกรรมกรรมประปา. เล่ม 1. ครั้งที่พิมพ์ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ ฤ.วิวรรณ, 2526.
18. ประกาศกรมเจ้าท่า. กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ที่ 214/2537
19. โยธิน สุริยพงศ์. มลพิษสิ่งแวดล้อม. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏนครราชสีมา, 2542.
20. เอกสารการสอนชุดวิชา. พิษวิทยาเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมและอาชีวอนามัย. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2538.
21. สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ. การใช้ประโยชน์โพลีแซคคาไรด์จากของเหลือทิ้งของผลิตภัณฑ์ทะเล. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2540.
22. Varaporn Cholumpai. Utilization of chitosan for chelation of lead in waste water. The Degree of Master of Science Mahidol University. 1988.
23. Nyein Nyien Auns. Adsorption / Desorption of Heavy Metals Using Chitosan. Journal of Enviroment research Vol. 20 No. 2:10-38.
24. A. Yoshiichi, I Masao. Removal of heavy metals from industrial waste water. Jpn.Kokai Tokkyo Jp Vol.62 No.262: 743.
25. A. Yoshiichi, I. Masao, A.Akira. Collecting agent for removal of water-soluble heavy metal ions from wastewaters. Jpn.Kokai Tokkyo Koho Jp Vol.62 No.262: 196.
26. C. A. Eiden, C. A. Jewell, and J. P. Wightman. Internation of Lead and Chronium with Chitin and chitosa. Journal of Applied Polymer Science Vol.25(1980): 1587-1599.
27. M. Gordon, B. Henry. Equilibrium studies for the sorption of metal ions on to chitosan. Indian J. Chem. Sect Vol. 60(1989): 356.
28. J. R. Deans and B. G. Dixon. Up take of  $Pb^{2+}$  and  $Cu^{2+}$  by novel biopolymers. Water Research Vol. 26 No. 4, (1992): 469-472.





ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ภาคผนวก ก**  
**ผลการเตรียมไคติน ไคโตแซน จากเปลือกกุ้งและเปลือกปู**

ตารางที่ ก.1 ผลการเตรียมไคติน ไคโตแซนจากเปลือกกุ้ง

ชุดที่	น้ำหนัก เปลือกกุ้ง (g)	น้ำหนัก ไคติน (g)	% yield ไคติน เทียบกับ เปลือกกุ้ง	น้ำหนัก ไคติน (g)	น้ำหนัก ไคโตแซน (g)	% yield ไคโตแซน เทียบกับ ไคติน	% yield ไคโตแซน เทียบกับ เปลือกกุ้ง
1	150	50.72	33.81	75	57.24	76.32	25.64
2	150	52.06	34.70	75	57.06	76.08	25.56
3	150	50.76	33.84	75	57.36	76.48	25.70
4	150	51.80	34.53	75	58.67	78.23	26.28
5	150	51.54	34.36	75	59.59	79.45	26.70
6	150	48.47	32.31	75	56.37	75.16	25.25
7	200	65.86	32.93	-	-	-	-
8	204.65	67.20	32.84	-	-	-	-
รวม	1304.65	438.41	33.60	450	346.29	76.95	25.86

ตารางที่ ก.2 ผลการเตรียมไคติน ไคโตแซนจากเปลือกปู

ชุดที่	น้ำหนักเปลือกกุ้ง (g)	น้ำหนักไคติน (g)	% yield ไคติน เทียบกับเปลือกกุ้ง	น้ำหนักไคติน (g)	น้ำหนักไคโตแซน (g)	% yield ไคโตแซน เทียบกับไคติน	% yield ไคโตแซน เทียบกับเปลือกกุ้ง
1	150	56.48	37.65	75	58.88	78.51	31.51
2	150	59.77	39.85	74.77	57.62	77.06	30.93
3	150	61.13	40.75	75	52.77	70.36	28.24
4	150	59.82	39.88	75	56.53	75.37	30.25
5	150	60.35	40.23	75	53.70	71.60	28.74
6	150	61.60	41.07	69.58	51.38	73.84	29.64
7	150	61.52	41.01	-	-	-	-
8	150	60.55	40.37	-	-	-	-
9	150	60.64	40.43	-	-	-	-
รวม	1,350	541.86	40.14	444.35	330.88	74.46	29.89

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Polymer Laboratories  
PL LogiCal GPC Software

11:42 Fri Jul 07 2000

Unknown T707.002  
1

Acquired : 10:32 Fri Jul 07 2000  
Operator Tamsiri Wangtaveesab

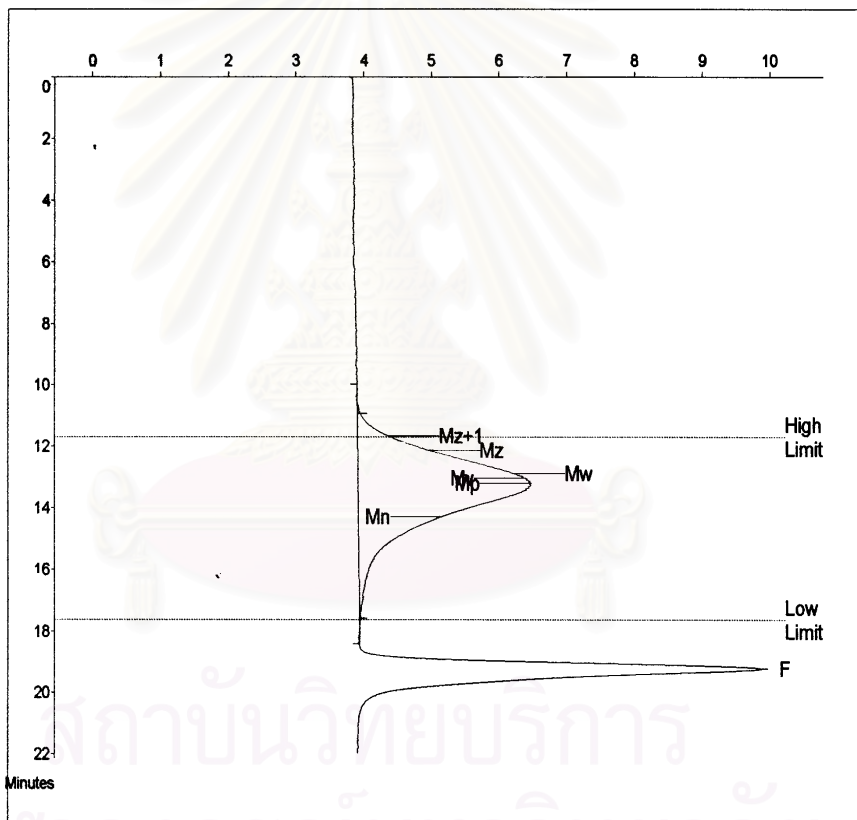
Concentration :  
Injection Volume :  
Solvent : AcOH : NaOAc (1:1)  
Column Set : Ultralinear hydrogel

Detector : RI  
Temperature : 30 C  
Flow Rate : 0.600  
Standards : Pullulan

Method 18  
Comments : 1M NaOAc + 1M AcOH (Buffer)

Calibration Using : Narrow Standards Curve Used : 1st Order Polynomial  
Calibration Limits : 11.70 to 17.63 Mins Last Calibrated : Fri Jul 07 09:13:02 2000  
Flow Rate Marker : found at : 19.22 in Standards at : 19.55 Mins

Broad Peak Start : 10.93 End : 17.58 Mins



**Molecular Weight Averages**

Mp =	220791	Mz =	853237
Mn =	56508	Mz+1 =	1526038
Mw =	325865	Mv =	273714
Polydispersity =	5.767	Peak Area =	69905

รูปที่ ก.1 การหามวลโมเลกุลเฉลี่ยของโคโตนที่เตรียมมาจากเปลือกกุ้งโดยวิธี GPC

Polymer Laboratories  
PL LogiCal GPC Software

11:43 Fri Jul 07 2000

Unknown T707.003  
2

Acquired : 11:05 Fri Jul 07 2000  
Operator Tamsiri Wangtaveesab

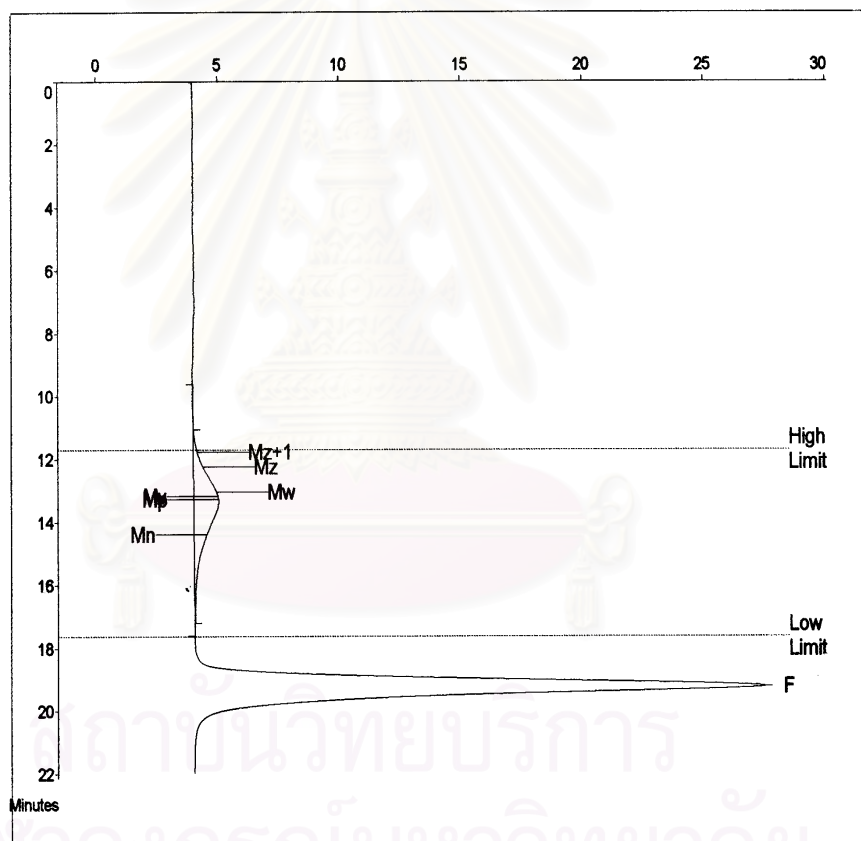
Concentration :  
Injection Volume :  
Solvent : AcOH : NaOAc (1:1)  
Column Set : Ultralinear hydrogel

Detector : RI  
Temperature : 30 C  
Flow Rate : 0.600  
Standards : Pullulan

Method 18  
Comments : 1M NaOAc + 1M AcOH (Buffer)

Calibration Using : Narrow Standards Curve Used : 1st Order Polynomial  
Calibration Limits : 11.70 to 17.63 Mins Last Calibrated : Fri Jul 07 09:13:02 2000  
Flow Rate Marker : found at : 19.22 in Standards at : 19.55 Mins

Broad Peak Start : 11.05 End : 17.20 Mins

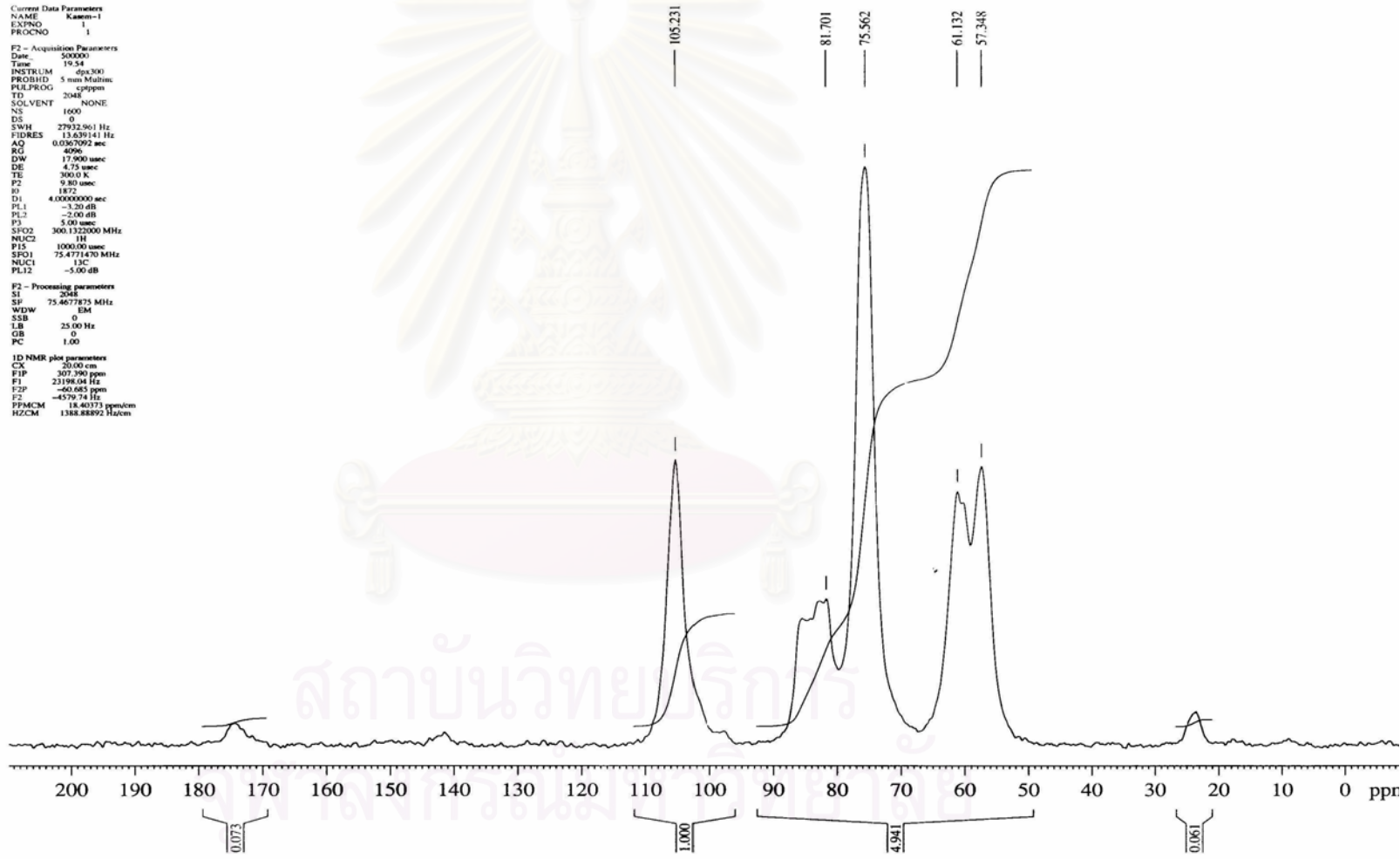


**Molecular Weight Averages**

Mp =	202985	Mz =	740964
Mn =	50047	Mz+1 =	1357141
Mw =	272746	Mv =	227875
Polydispersity =	5.450	Peak Area =	28674

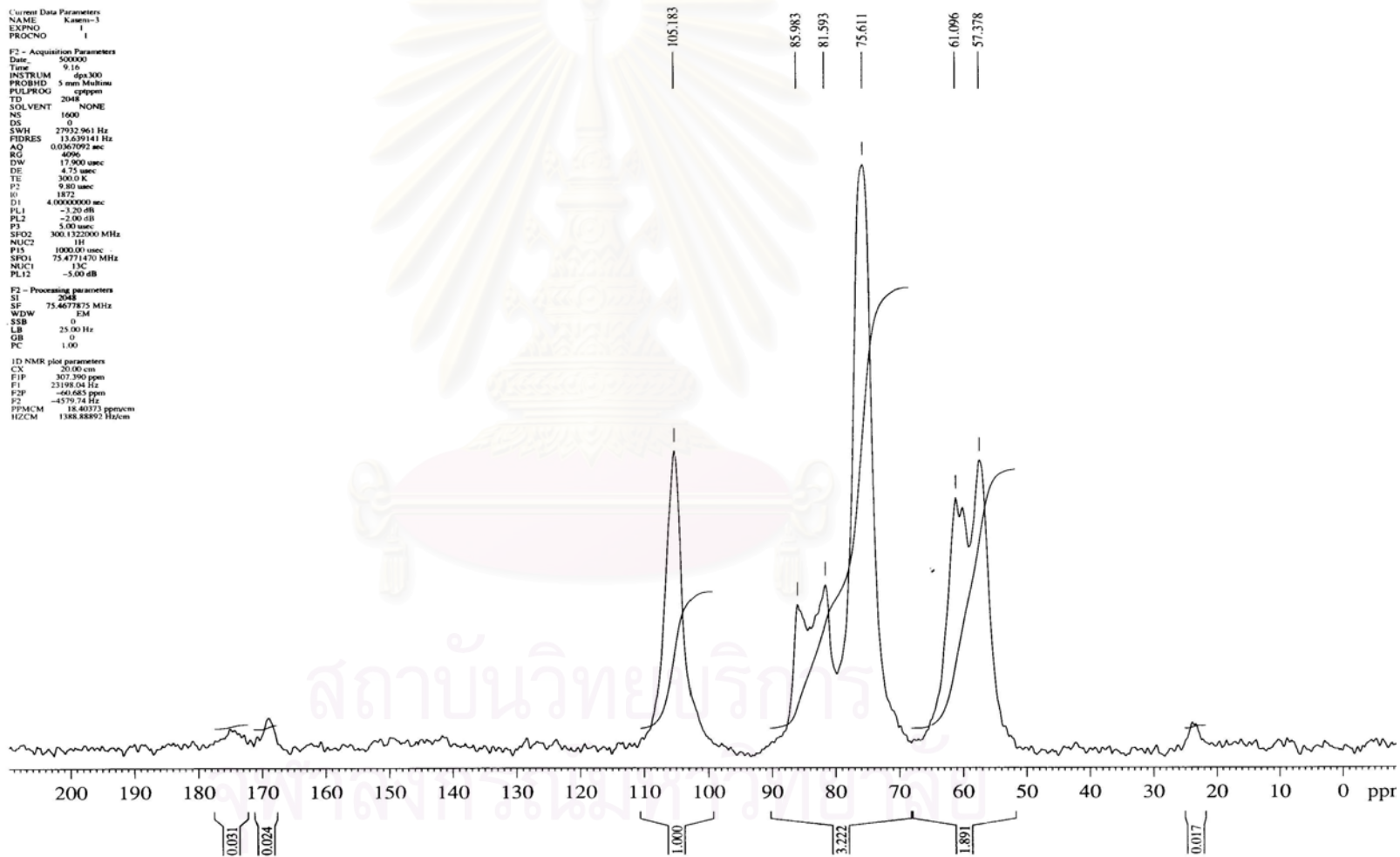
รูปที่ ก.2 การหามวลโมเลกุลเฉลี่ยของโคโตนที่เตรียมมาจากเปลือกงูโดยวิธี GPC

1H NMR spectrum of compound 3. The spectrum shows several peaks in the aromatic region (6.1-8.2 ppm) and a small peak in the aliphatic region (105.2 ppm). The x-axis is labeled in ppm from 0 to 200.





รูปที่ 4.4 การหาตัวการกำเนิดหมู่เอเธอของใบเตยแห้งเตรียมจากเปลือกใบเตยวิธี NMR



**ภาคผนวก ข**  
**ผลการกำจัดอิออนโลหะหนักด้วยโคโตแซน**

ปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอิออนโลหะหนักในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสีย  
แสมดำ

ตารางที่ ข.1 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนทองแดงที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโตแซนที่เตรียมมา  
จากกุ้ง ปริมาณอิออนทองแดงก่อนบำบัดด้วยโคโตแซนมีค่าเท่ากับ 2.375 ppm

Settling time	ปริมาณอิออนทองแดง (Cu <sup>2+</sup> , ppm)			ร้อยละของปริมาณอิออนทองแดง ที่ลดลง		
	30 min	5 hr	24 hr	30 min	5 hr	24 hr
Dose (g)						
0.4	1.325	1.117	0.560	44.21	52.97	76.42
0.5	1.187	0.903	0.421	50.02	61.98	82.27
0.6	1.018	0.815	0.376	57.14	65.68	84.17
0.7	0.968	0.723	0.320	59.24	69.56	86.52
0.8	0.934	0.714	0.309	60.67	69.94	86.99
0.9	0.829	0.591	0.248	65.09	75.12	89.56

ตารางที่ ข.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนทองแดงที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโตแซนที่เตรียมมา  
จากปู ปริมาณอิออนทองแดงก่อนบำบัดด้วยโคโตแซนมีค่าเท่ากับ 2.375 ppm

Settling time	ปริมาณอิออนทองแดง (Cu <sup>2+</sup> , ppm)			ร้อยละของปริมาณอิออนทองแดง ที่ลดลง		
	30 min	5 hr	24 hr	30 min	5 hr	24 hr
Dose (g)						
0.5	1.899	1.535	0.827	20.04	35.37	65.18
0.6	1.829	1.443	0.764	22.99	39.24	67.83
0.7	1.743	1.284	0.670	26.61	45.94	71.79
0.8	1.716	1.210	0.652	27.75	49.05	72.55
0.9	1.581	1.115	0.548	33.43	53.05	76.93
1.0	1.568	1.066	0.543	33.98	55.12	77.14

ตารางที่ ข.3 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนทองแดงที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมไคโตแซนที่เตรียมมาจากกั๋งผสมปูน ปริมาณอิออนทองแดงก่อนบำบัดด้วยไคโตแซนมีค่าเท่ากับ 2.375 ppm

Settling time	ปริมาณอิออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ , ppm)			ร้อยละของปริมาณอิออนทองแดงที่ลดลง		
	30 min	5 hr	24 hr	30 min	5 hr	24 hr
Dose (g)						
0.5	1.460	1.210	0.526	38.53	49.05	77.85
0.6	1.320	0.901	0.427	44.42	62.06	82.02
0.7	1.293	0.836	0.395	45.56	64.80	83.37
0.8	1.214	0.793	0.344	48.88	66.61	85.52
0.9	1.103	0.778	0.323	53.56	67.24	86.40
1.0	1.024	0.703	0.321	56.88	70.40	86.48

ตารางที่ ข.4 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนสังกะสีที่ค่าพีเอช 6.0 เมื่อเติมไคโตแซนที่เตรียมมาจากกั๋ง ปริมาณอิออนสังกะสีก่อนบำบัดด้วยไคโตแซนมีค่าเท่ากับ 52.70 ppm

Settling time	ปริมาณอิออนสังกะสี ( $\text{Zn}^{2+}$ , ppm)				ร้อยละของปริมาณอิออนสังกะสีที่ลดลง			
	30 min	5 hr	24 hr	72 hr	30 min	5 hr	24 hr	72 hr
Dose (g)								
1.0	37.80	32.60	23.00	14.16	28.27	38.14	56.36	73.13
1.1	37.20	29.80	22.10	13.79	29.41	43.45	58.06	73.83
1.2	34.00	27.20	23.10	13.18	35.48	48.39	56.17	74.99
1.3	33.90	26.50	18.50	11.75	35.67	49.72	64.90	77.70
1.4	31.50	25.80	17.70	10.99	40.23	51.04	66.41	79.15
1.6	27.00	21.70	15.30	9.96	48.77	58.82	70.97	81.10
3.0	14.20	11.20	6.02	3.42	73.06	78.75	88.58	93.51

ตารางที่ ข.5 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนสังกะสีที่ค่าพีเอช 6.0 เมื่อเติมโคโคแชนท์ที่เตรียมมาจากปฏี ปริมาณอิออนสังกะสีก่อนบำบัดด้วยโคโคแชนท์มีค่าเท่ากับ 52.70 ppm

Settling time	ปริมาณอิออนสังกะสี ( $Zn^{2+}$ , ppm)			ร้อยละของปริมาณอิออนสังกะสีที่ลดลง		
	30 min	5 hr	24 hr	30 min	5 hr	24 hr
Dose (g)						
1.0	50.50	31.50	17.00	4.17	40.23	67.74
1.1	50.40	30.30	13.70	4.36	30.30	74.00
1.2	48.80	28.40	12.00	7.40	46.11	77.23
1.4	46.30	21.30	6.80	12.14	59.58	87.10
1.6	43.60	20.30	2.37	17.27	61.48	95.50
1.8	41.20	15.20	0.95	21.82	71.16	98.20

ตารางที่ ข.6 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนสังกะสีที่ค่าพีเอช 6.0 เมื่อเติมโคโคแชนท์ที่เตรียมมาจากกึ่งผสมปฏี ปริมาณอิออนสังกะสีก่อนบำบัดด้วยโคโคแชนท์มีค่าเท่ากับ 52.70 ppm

Settling time	ปริมาณอิออนสังกะสี ( $Zn^{2+}$ , ppm)				ร้อยละของปริมาณอิออนสังกะสีที่ลดลง			
	30 min	5 hr	24 hr	72 hr	30 min	5 hr	24 hr	72 hr
Dose (g)								
1.0	48.20	40.60	26.80	12.84	8.54	22.96	49.15	75.64
1.1	45.80	35.90	22.70	12.35	13.09	31.88	56.93	76.57
1.2	41.10	38.50	20.80	10.85	22.01	26.94	60.53	79.41
1.4	37.70	32.30	15.20	9.31	28.46	38.71	71.16	82.33
1.6	36.60	28.90	12.60	7.88	30.55	45.16	76.09	85.05
1.8	32.30	25.00	10.00	6.05	38.71	52.56	81.02	88.52
3.0	14.20	11.70	2.28	-	73.06	77.80	95.67	-

ตารางที่ ข.7 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนแคดเมียมที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมไคโตแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง ปริมาณอิออนแคดเมียมก่อนบำบัดด้วยไคโตแซนมีค่าเท่ากับ 0.104 ppm

Settling time	ปริมาณอิออนแคดเมียม (Cd <sup>2+</sup> , ppb)			ร้อยละของปริมาณอิออน แคดเมียมที่ลดลง		
	30 min	5 hr	24 hr	30 min	5 hr	24 hr
Dose (g)						
1.5	39.34	32.27	23.19	62.04	68.86	77.62
1.6	38.26	29.74	22.42	63.08	71.30	78.36
1.7	35.23	28.33	21.62	66.00	72.66	79.14
1.8	34.09	26.75	19.52	67.10	74.19	81.16
1.9	31.33	24.88	17.99	69.77	75.99	82.64
2.0	28.79	21.57	15.04	72.22	79.19	85.49

ตารางที่ ข.8 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนแคดเมียมที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมไคโตแซนที่เตรียมมาจากปู ปริมาณอิออนแคดเมียมก่อนบำบัดด้วยไคโตแซนมีค่าเท่ากับ 0.104 ppm

Settling time	ปริมาณอิออนแคดเมียม (Cd <sup>2+</sup> , ppb)			ร้อยละของปริมาณอิออน แคดเมียมที่ลดลง		
	30 min	5 hr	24 hr	30 min	5 hr	24 hr
Dose (g)						
1.5	41.82	32.98	21.44	59.64	68.17	79.31
1.6	39.63	31.89	18.03	61.76	69.23	82.60
1.7	37.71	30.06	17.37	63.61	70.99	83.24
1.8	35.49	26.12	15.28	65.75	74.79	85.25
1.9	33.88	23.45	14.45	67.31	77.37	86.06
2.0	32.02	19.88	12.12	69.10	80.82	88.30

ตารางที่ ข.9 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนแคดเมียมที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโคแชนท์ที่เตรียมมาจากกึ่งผสมปุ๋ย ปริมาณอิออนแคดเมียมก่อนบำบัดด้วยโคโคแชนท์มีค่าเท่ากับ 0.104 ppm

Settling time	ปริมาณอิออนแคดเมียม (Cd <sup>2+</sup> , ppb)			ร้อยละของปริมาณอิออน แคดเมียมที่ลดลง		
	30 min	5 hr	24 hr	30 min	5 hr	24 hr
Dose (g)						
1.5	42.70	37.89	27.83	58.79	63.44	73.14
1.6	41.04	35.31	22.67	60.40	65.93	78.12
1.7	38.23	33.51	20.51	63.11	67.66	80.21
1.8	33.96	29.54	15.60	67.23	71.49	84.95
1.9	32.06	26.17	12.56	69.06	74.75	87.88
2.0	29.93	23.38	10.03	71.12	77.44	90.32

ปริมาณโคโคแชนท์ที่เหมาะสมในการกำจัดอิออนโลหะหนักในน้ำเสียจากบริษัทสยามแปดเตอร์

ตารางที่ ข.10 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนตะกั่วที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโคแชนท์ที่เตรียมมาจากกึ่งผสมปุ๋ย ปริมาณอิออนตะกั่วก่อนบำบัดด้วยโคโคแชนท์มีค่าเท่ากับ 2,019.32 ppb

Settling time	ปริมาณอิออนตะกั่ว (Pb <sup>2+</sup> , ppb)			ร้อยละของปริมาณอิออนตะกั่ว ที่ลดลง		
	30 min	5 hr	24 hr	30 min	5 hr	24 hr
Dose (g)						
1.5	728.15	605.11	285.22	63.94	70.03	85.88
1.6	627.98	517.25	227.17	68.90	74.38	88.75
1.7	563.43	445.84	194.77	72.10	77.92	90.35
1.8	532.32	408.47	170.78	73.64	79.77	91.54
1.9	495.43	385.19	139.41	75.67	80.92	93.10
2.0	455.21	333.78	113.21	77.46	83.47	94.39



ตารางที่ ข.11 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนตะกั่วที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโคแตนทีเตรียมมาจากบ่  
ปริมาณอิออนตะกั่วก่อนบำบัดด้วยโคโคแตนมีค่าเท่ากับ 2,019.32 ppb

Settling time	ปริมาณอิออนตะกั่ว ( $Pb^{2+}$ , ppb)			ร้อยละของปริมาณอิออนตะกั่วที่ลดลง		
	30 min	5 hr	24 hr	30 min	5 hr	24 hr
Dose (g)						
1.5	589.96	444.84	215.93	70.78	77.97	89.31
1.6	546.14	413.54	186.48	72.95	79.52	90.77
1.7	501.65	363.21	175.61	75.16	82.01	91.30
1.8	484.15	348.92	167.85	76.02	82.72	91.69
1.9	462.81	314.70	151.26	77.08	84.42	92.51
2.0	421.38	297.43	146.13	79.13	85.27	92.76

ตารางที่ ข.12 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนตะกั่วที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโคแตนทีเตรียมมาจากบ่  
จากกึ่งผสมบ่ ปริมาณอิออนตะกั่วก่อนบำบัดด้วยโคโคแตนมีค่าเท่ากับ 2,019.32 ppb

Settling time	ปริมาณอิออนตะกั่ว ( $Pb^{2+}$ , ppb)			ร้อยละของปริมาณอิออนตะกั่วที่ลดลง		
	30 min	5 hr	24 hr	30 min	5 hr	24 hr
Dose (g)						
1.5	730.87	571.13	269.23	63.81	71.72	86.67
1.6	674.65	483.42	215.86	66.59	76.06	89.31
1.7	651.68	423.79	191.11	67.73	79.01	90.54
1.8	609.33	395.71	184.52	69.82	80.40	90.86
1.9	554.63	384.42	174.94	72.53	80.96	91.34
2.0	503.04	360.85	170.51	75.09	82.13	91.56

**ปริมาณโคโคแทนที่เหมาะสมในการกำจัดอิมโคโนโลหะหนักในน้ำเสียจากบริษัทไทยอาซาฮี เคมีภัณฑ์**

ตารางที่ ข.13 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิมโคโนปรอทที่ค่าพีเอช 5.0 เมื่อเติมโคโคแทนที่เตรียมมาจากกึ่ง ปริมาณอิมโคโนปรอทก่อนบำบัดด้วยโคโคแทนมีค่าเท่ากับ 218.15 ppb

Settling time	ปริมาณอิมโคโนปรอท ( $\text{Hg}^{2+}$ , ppb)			ร้อยละของปริมาณอิมโคโนปรอทที่ลดลง		
	30 min	5 hr	24 hr	30 min	5 hr	24 hr
Dose (g)						
1.2	33.26	12.54	9.61	84.75	94.25	95.59
1.3	32.70	10.49	7.88	85.01	95.19	96.39
1.4	29.81	10.16	7.08	86.34	95.34	96.75
1.5	28.48	8.96	6.62	86.94	95.89	96.96
1.7	27.21	6.82	5.21	87.53	96.87	97.61
2.0	25.27	6.04	4.31	88.42	97.23	98.02

ตารางที่ ข.14 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิมโคโนปรอทที่ค่าพีเอช 5.0 เมื่อเติมโคโคแทนที่เตรียมมาจากปู ปริมาณอิมโคโนปรอทก่อนบำบัดด้วยโคโคแทนมีค่าเท่ากับ 218.15 ppb

Settling time	ปริมาณอิมโคโนปรอท ( $\text{Hg}^{2+}$ , ppb)			ร้อยละของปริมาณอิมโคโนปรอทที่ลดลง		
	30 min	5 hr	24 hr	30 min	5 hr	24 hr
Dose (g)						
1.5	40.90	15.13	11.90	81.25	93.04	94.55
1.6	39.73	14.42	10.63	81.79	93.39	95.13
1.7	37.37	12.53	9.62	82.87	94.26	95.59
1.8	35.91	12.22	9.57	83.54	94.40	95.61
1.9	34.77	10.76	7.45	84.06	95.07	96.58
2.2	32.33	8.04	4.73	85.18	96.31	97.82

ตารางที่ ข.15 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนปรอทที่ค่าพีเอช 5.0 เมื่อเติมไคโตแซนที่เตรียมมาจากกุ้งผสมปุ๋ย ปริมาณอิออนปรอทก่อนบำบัดด้วยไคโตแซนมีค่าเท่ากับ 218.15 ppb

Settling time	ปริมาณอิออนปรอท ( $\text{Hg}^{2+}$ , ppb)			ร้อยละของปริมาณอิออนปรอทที่ลดลง		
	30 min	5 hr	24 hr	30 min	5 hr	24 hr
Dose (g)						
1.5	35.62	12.25	11.12	83.67	94.38	94.90
1.6	34.12	11.39	9.19	84.36	94.78	95.79
1.7	32.34	10.05	8.75	85.18	95.39	95.99
1.8	30.88	8.70	7.92	85.84	96.01	96.37
1.9	29.33	7.37	6.25	86.56	96.02	97.14
2.2	28.07	6.11	4.50	87.13	97.20	97.94

ปริมาณไคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอิออนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1

ตารางที่ ข.16 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนสังกะสีที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมไคโตแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง ปริมาณอิออนสังกะสีก่อนบำบัดด้วยไคโตแซนมีค่าเท่ากับ 12.27 ppm

Settling time	ปริมาณอิออนสังกะสี ( $\text{Zn}^{2+}$ , ppm)			ร้อยละของปริมาณอิออนสังกะสีที่ลดลง		
	30 min	5 hr	24 hr	30 min	5 hr	24 hr
Dose (g)						
0.5	1.375	1.081	0.983	88.79	91.19	91.99
1.0	0.924	0.877	0.863	92.47	92.85	92.97
1.5	0.853	0.782	0.671	93.05	93.63	94.53
2.0	0.668	0.472	0.438	94.56	96.15	96.43

ตารางที่ ข.17 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนสังกะสีที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโคแชนที่เตรียมมาจากปฏู ปริมาณอิออนสังกะสีก่อนบำบัดด้วยโคโคแชนมีค่าเท่ากับ 12.27 ppm

Settling time	ปริมาณอิออนสังกะสี ( $Zn^{2+}$ , ppm)			ร้อยละของปริมาณอิออนสังกะสีที่ลดลง		
	30 min	5 hr	24 hr	30 min	5 hr	24 hr
Dose (g)						
0.5	0.782	0.568	0.500	93.63	95.37	95.93
1.0	0.575	0.475	0.464	95.31	96.13	96.22
1.5	0.453	0.324	0.276	96.31	97.36	97.75
2.0	0.241	0.144	0.121	98.04	98.83	99.01

ตารางที่ ข.18 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนสังกะสีที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโคแชนที่เตรียมมาจากกุ้งผสมปฏู ปริมาณอิออนสังกะสีก่อนบำบัดด้วยโคโคแชนมีค่าเท่ากับ 12.27 ppm

Settling time	ปริมาณอิออนสังกะสี ( $Zn^{2+}$ , ppm)			ร้อยละของปริมาณอิออนสังกะสีที่ลดลง		
	30 min	5 hr	24 hr	30 min	5 hr	24 hr
Dose (g)						
0.5	1.010	0.897	0.813	91.77	92.69	93.37
1.0	0.803	0.632	0.594	93.46	94.85	95.16
1.5	0.611	0.446	0.403	95.02	96.37	96.72
2.0	0.453	0.370	0.230	96.31	96.98	98.13

ตารางที่ ข.19 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนปรอทที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมไคโตแซนที่เตรียมมา จากกุ้ง ปริมาณอิออนปรอทก่อนบำบัดด้วยไคโตแซนมีค่าเท่ากับ 56.02 ppm

Settling time	ปริมาณอิออนปรอท ( $\text{Hg}^{2+}$ , ppm)			ร้อยละของปริมาณอิออนปรอท ที่ลดลง		
	30 min	5 hr	24 hr	30 min	5 hr	24 hr
Dose (g)						
0.5	36.13	33.60	27.40	35.51	40.02	51.09
1.0	27.33	23.11	19.48	51.21	58.75	65.23
1.5	22.61	18.94	13.93	59.64	66.19	75.13
2.0	16.42	14.90	12.17	70.69	73.40	78.28
2.5	13.57	12.53	9.85	75.78	77.63	82.42
3.0	10.90	8.44	6.36	80.54	84.93	88.65

ตารางที่ ข.20 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนปรอทที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมไคโตแซนที่เตรียมมา จากปู ปริมาณอิออนปรอทก่อนบำบัดด้วยไคโตแซนมีค่าเท่ากับ 56.02 ppm

Settling time	ปริมาณอิออนปรอท ( $\text{Hg}^{2+}$ , ppm)			ร้อยละของปริมาณอิออนปรอท ที่ลดลง		
	30 min	5 hr	24 hr	30 min	5 hr	24 hr
Dose (g)						
0.5	47.85	42.44	33.60	14.58	24.24	40.02
1.0	40.14	34.66	33.28	28.35	38.13	40.59
1.5	39.10	34.52	29.10	30.20	38.38	48.05
2.0	35.45	30.99	24.53	30.72	44.68	56.21
2.5	33.43	27.02	21.67	40.32	51.77	61.32
3.0	28.89	24.33	17.77	48.43	56.57	68.28

ตารางที่ ข.21 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนปรอทที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมไคโตแซนที่เตรียมมาจากกุ้งผสมปูน ปริมาณอิออนปรอทก่อนบำบัดด้วยไคโตแซนมีค่าเท่ากับ 56.02 ppm

Settling time Dose (g)	ปริมาณอิออนปรอท ( $\text{Hg}^{2+}$ , ppm)			ร้อยละของปริมาณอิออนปรอทที่ลดลง		
	30 min	5 hr	24 hr	30 min	5 hr	24 hr
0.5	35.20	33.78	23.46	37.17	39.70	58.12
1.0	26.78	21.15	15.98	52.20	62.25	71.47
1.5	20.97	16.63	13.03	62.57	70.31	76.74
2.0	18.72	14.88	12.62	66.58	73.44	77.47
2.5	18.05	14.02	11.82	67.78	74.97	78.90
3.0	15.81	11.30	10.68	71.78	79.83	80.94

ตารางที่ ข.22 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนแคดเมียมที่ค่าพีเอช 7.0 เมื่อเติมไคโตแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง ปริมาณอิออนแคดเมียมก่อนบำบัดด้วยไคโตแซนมีค่าเท่ากับ 133.60 ppm

Settling time Dose (g)	ปริมาณอิออนแคดเมียม ( $\text{Cd}^{2+}$ , ppm)				ร้อยละของปริมาณอิออนแคดเมียมที่ลดลง			
	30 min	5 hr	24 hr	72 hr	30 min	5 hr	24 hr	72 hr
2.5	30.66	18.10	8.44	4.13	77.05	86.45	93.68	96.91
3.0	23.56	14.18	6.46	3.42	82.37	89.39	95.16	97.44
3.5	20.36	13.11	6.15	2.88	84.76	90.19	95.40	97.85
4.0	17.60	10.33	5.11	2.58	86.83	92.27	96.18	98.07
4.5	15.24	8.89	4.69	2.57	88.59	93.35	96.49	98.08
5.0	12.46	7.83	3.75	2.19	90.67	94.14	97.21	98.36
7.0	4.72	3.50	1.83	1.17	96.47	97.38	98.63	99.13
10.0	3.14	2.69	1.15	1.08	67.65	97.99	99.14	99.19



ตารางที่ ข.23 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนแคดเมียมที่ค่าพีเอช 7.0 เมื่อเติมไคโตแซนที่เตรียมมาจากปู ปริมาณอิออนแคดเมียมก่อนบำบัดด้วยไคโตแซนมีค่าเท่ากับ 133.60 ppm

Settling time	ปริมาณอิออนแคดเมียม ( $\text{Cd}^{2+}$ , ppm)				ร้อยละของปริมาณอิออนแคดเมียมที่ลดลง			
	30 min	5 hr	24 hr	72 hr	30 min	5 hr	24 hr	72 hr
Dose (g)								
2.5	82.40	73.84	72.28	53.52	38.32	44.73	45.90	59.94
3.0	80.84	65.60	60.24	49.96	39.49	50.90	54.91	62.60
3.5	75.28	63.40	58.88	49.88	43.65	52.54	55.93	62.66
4.0	72.01	62.56	54.28	40.52	46.10	53.17	59.37	69.67
4.5	69.98	60.73	53.55	40.32	47.62	54.53	59.92	69.82
5.0	67.75	59.40	51.00	36.48	49.29	55.54	61.83	72.69
10.0	42.76	35.66	24.34	14.86	67.99	73.31	81.78	88.88
15.0	33.64	26.26	12.58	6.30	74.82	80.34	90.58	95.28

ตารางที่ ข.24 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนแคดเมียมที่ค่าพีเอช 7.0 เมื่อเติมไคโตแซนที่เตรียมมาจากกุ้งผสมปู ปริมาณอิออนแคดเมียมก่อนบำบัดด้วยไคโตแซนมีค่าเท่ากับ 133.60 ppm

Settling time	ปริมาณอิออนแคดเมียม ( $\text{Cd}^{2+}$ , ppm)				ร้อยละของปริมาณอิออนแคดเมียมที่ลดลง			
	30 min	5 hr	24 hr	72 hr	30 min	5 hr	24 hr	72 hr
Dose (g)								
2.5	71.56	50.84	21.56	21.56	46.44	61.95	70.93	83.86
3.0	44.84	37.04	21.44	21.44	66.44	72.28	77.01	83.95
3.5	36.13	24.78	13.20	13.20	72.96	81.45	85.97	90.12
4.0	31.65	22.65	12.58	12.58	76.31	83.05	86.60	90.58
4.5	27.74	20.44	11.66	11.66	79.24	84.70	88.29	91.27
5.0	25.24	17.76	8.88	8.88	81.11	86.71	89.91	93.35
8.0	17.52	12.48	4.55	4.55	86.89	90.66	91.44	96.59
12.0	14.49	9.10	3.46	3.46	89.15	93.19	96.75	97.41

ตารางที่ ข.25 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนตะกั่วที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโคแชนที่เตรียมมาจากกึ่ง ปริมาณอิออนตะกั่วก่อนบำบัดด้วยโคโคแชนมีค่าเท่ากับ 1.078 ppm

Settling time	ปริมาณอิออนตะกั่ว ( $Pb^{2+}$ , ppm)			ร้อยละของปริมาณอิออนตะกั่วที่ลดลง		
	30 min	5 hr	24 hr	30 min	5 hr	24 hr
Dose (g)						
0.5	0.563	0.531	0.505	2.60	8.13	12.63
1.0	0.548	0.446	0.401	5.19	22.84	30.62
1.5	0.397	0.242	0.194	31.31	58.13	66.44
2.0	0.222	0.110	0.105	61.59	80.83	81.83
2.5	0.204	0.094	0.073	64.70	81.74	87.37
3.0	0.149	0.075	0.051	74.22	87.02	91.18

ตารางที่ ข.26 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนตะกั่วที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโคแชนที่เตรียมมาจากปู ปริมาณอิออนตะกั่วก่อนบำบัดด้วยโคโคแชนมีค่าเท่ากับ 1.078 ppm

Settling time	ปริมาณอิออนตะกั่ว ( $Pb^{2+}$ , ppm)			ร้อยละของปริมาณอิออนตะกั่วที่ลดลง		
	30 min	5 hr	24 hr	30 min	5 hr	24 hr
Dose (g)						
0.5	0.532	0.472	0.423	7.96	18.34	26.82
1.0	0.493	0.422	0.324	14.71	26.99	43.94
1.5	0.387	0.293	0.190	33.04	49.31	67.13
2.0	0.211	0.184	0.177	63.49	68.17	69.38
2.5	0.165	0.143	0.129	71.45	75.26	77.68
3.0	0.111	0.093	0.087	80.80	83.91	84.95

ตารางที่ ข.27 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนตะกั่วที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโคแตนที่เตรียมมาจากกึ่งผสมปุ๋ย ปริมาณอิออนตะกั่วก่อนบำบัดด้วยโคโคแตนมีค่าเท่ากับ 1.078 ppm

Settling time	ปริมาณอิออนตะกั่ว ( $Pb^{2+}$ , ppm)			ร้อยละของปริมาณอิออนตะกั่วที่ลดลง		
	30 min	5 hr	24 hr	30 min	5 hr	24 hr
Dose (g)						
0.5	0.548	0.502	0.452	5.19	13.15	21.80
1.0	0.521	0.434	0.373	9.86	24.91	35.47
1.5	0.392	0.238	0.187	32.18	58.82	67.65
2.0	0.217	0.147	0.141	62.46	74.52	75.61
2.5	0.185	0.119	0.101	67.99	79.41	82.53
3.0	0.130	0.091	0.069	77.51	84.26	88.06

ปริมาณโคโคแตนที่เหมาะสมในการกำจัดอิออนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2

ตารางที่ ข.28 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนทองแดงที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโคแตนที่เตรียมมาจากกึ่ง ปริมาณอิออนทองแดงก่อนบำบัดด้วยโคโคแตนมีค่าเท่ากับ 27.26 ppm

Settling time	ปริมาณอิออนทองแดง ( $Cu^{2+}$ , ppm)			ร้อยละของปริมาณอิออนทองแดงที่ลดลง		
	30 min	5 hr	24 hr	30 min	5 hr	24 hr
Dose (g)						
2.0	8.997	7.203	3.278	67.00	73.58	87.96
2.5	7.300	5.552	2.628	73.22	79.63	90.36
3.0	6.335	4.482	2.016	76.76	83.56	92.60
3.5	5.202	3.531	1.525	80.91	87.05	94.41
4.0	4.613	3.095	1.376	83.08	88.65	94.95
5.0	3.712	2.598	0.986	86.38	90.47	96.38

ตารางที่ ข.29 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนทองแดงที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโคโตแซนที่เตรียมมาจากปฏู ปริมาณอิออนทองแดงก่อนบำบัดด้วยโคโคโตแซนมีค่าเท่ากับ 27.26 ppm

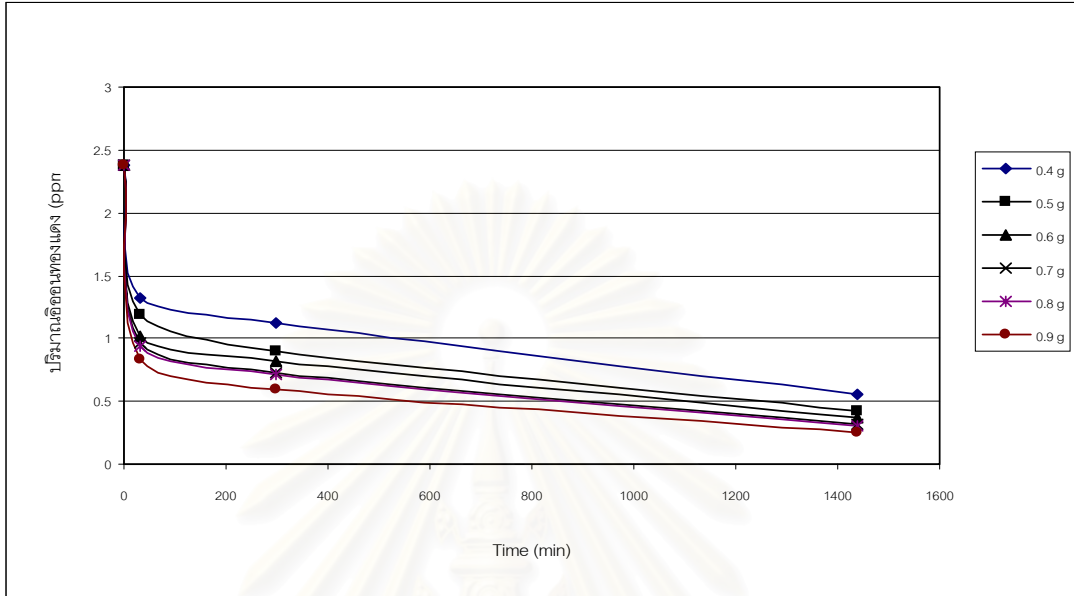
Settling time Dose (g)	ปริมาณอิออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ , ppm)				ร้อยละของปริมาณอิออนทองแดงที่ลดลง			
	30 min	5 hr	24 hr	72 hr	30 min	5 hr	24 hr	72 hr
4.0	13.55	12.41	6.703	2.456	50.29	54.48	75.41	90.99
4.5	12.79	11.77	7.397	2.317	53.08	56.82	72.87	91.50
5.0	12.01	11.33	6.784	2.109	55.94	58.44	75.11	92.26
5.5	10.44	9.94	5.781	1.844	61.70	63.55	78.79	93.24
6.0	9.03	8.56	4.163	1.311	66.87	68.60	84.73	95.19
8.0	7.862	7.29	3.699	0.944	71.16	73.24	86.43	96.54

ตารางที่ ข.30 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนทองแดงที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโคโตแซนที่เตรียมมาจากกึ่งผสมปฏู ปริมาณอิออนทองแดงก่อนบำบัดด้วยโคโคโตแซนมีค่าเท่ากับ 27.26 ppm

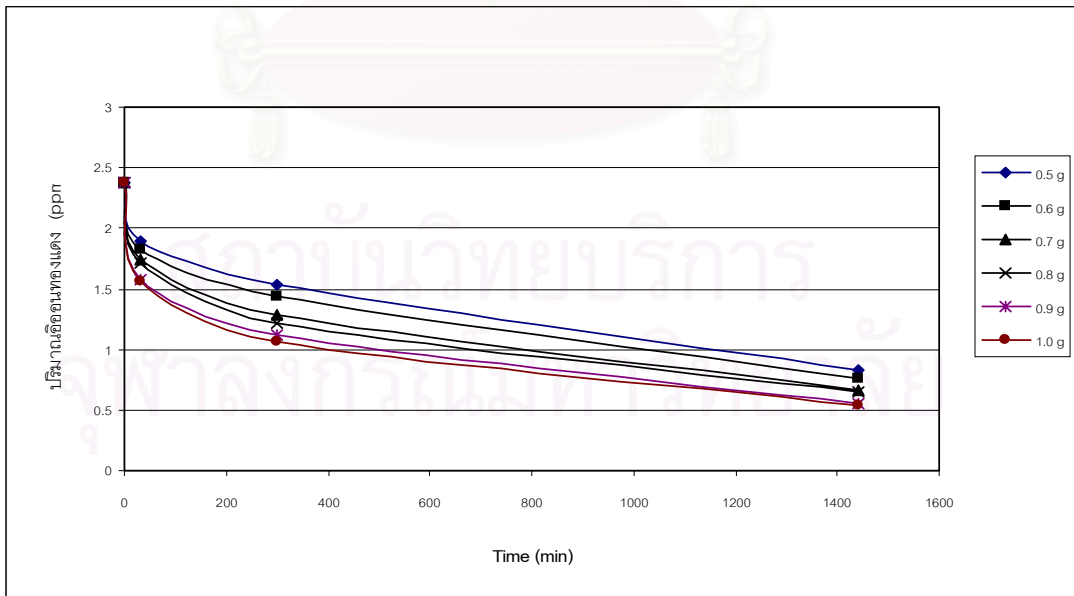
Settling time Dose (g)	ปริมาณอิออนทองแดง ( $\text{Cu}^{2+}$ , ppm)				ร้อยละของปริมาณอิออนทองแดงที่ลดลง			
	30 min	5 hr	24 hr	72 hr	30 min	5 hr	24 hr	72 hr
3.0	10.09	9.160	4.319	1.562	62.99	66.40	84.16	94.27
3.5	8.401	6.864	3.110	1.204	69.18	74.82	88.59	95.58
4.0	7.080	6.120	3.054	1.175	74.03	77.55	88.80	95.69
4.5	6.987	5.818	2.790	1.006	74.37	78.66	89.77	96.31
5.0	6.053	5.052	2.273	0.856	77.80	81.47	91.66	96.86
6.0	4.452	3.583	1.442	0.579	83.67	86.86	94.71	97.88

### ภาคผนวก ค

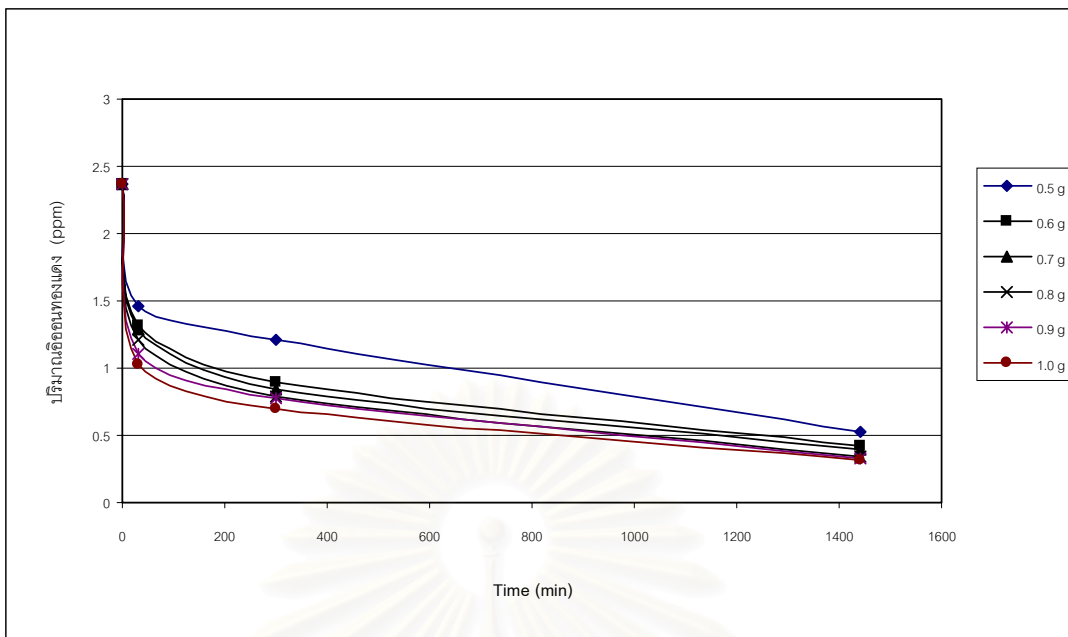
## ปริมาณโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอื้อนโลหะหนัก



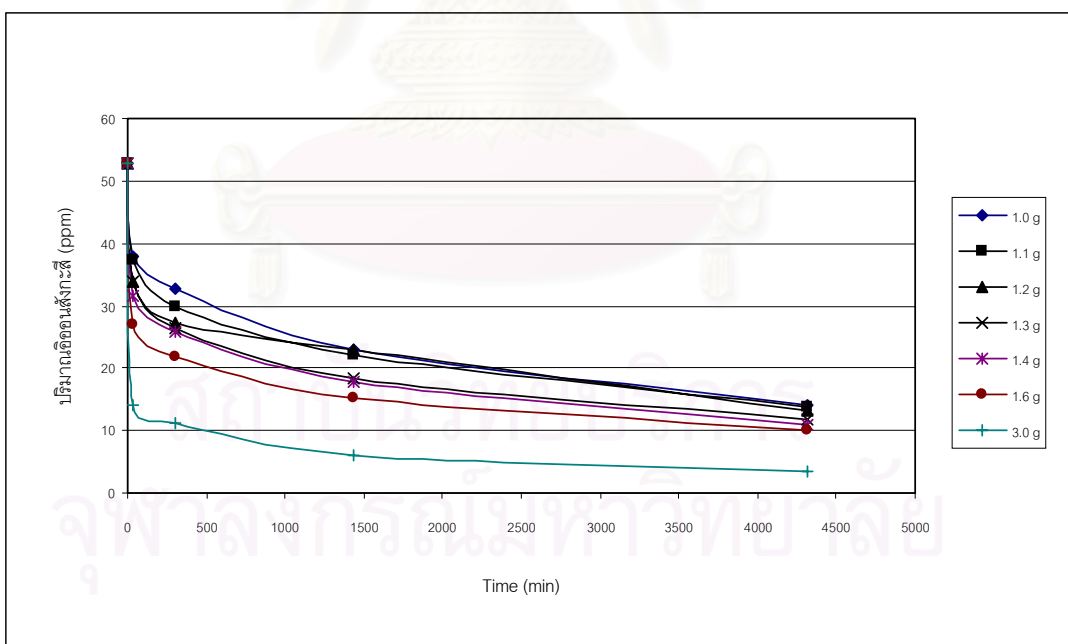
รูปที่ ค.1 ผลการเปลี่ยนแปลงของอื้อนทองแดงในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโตแซนที่เตรียมมาจากกึ่ง



รูปที่ ค.2 ผลการเปลี่ยนแปลงของอื้อนทองแดงในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโตแซนที่เตรียมมาจากปู

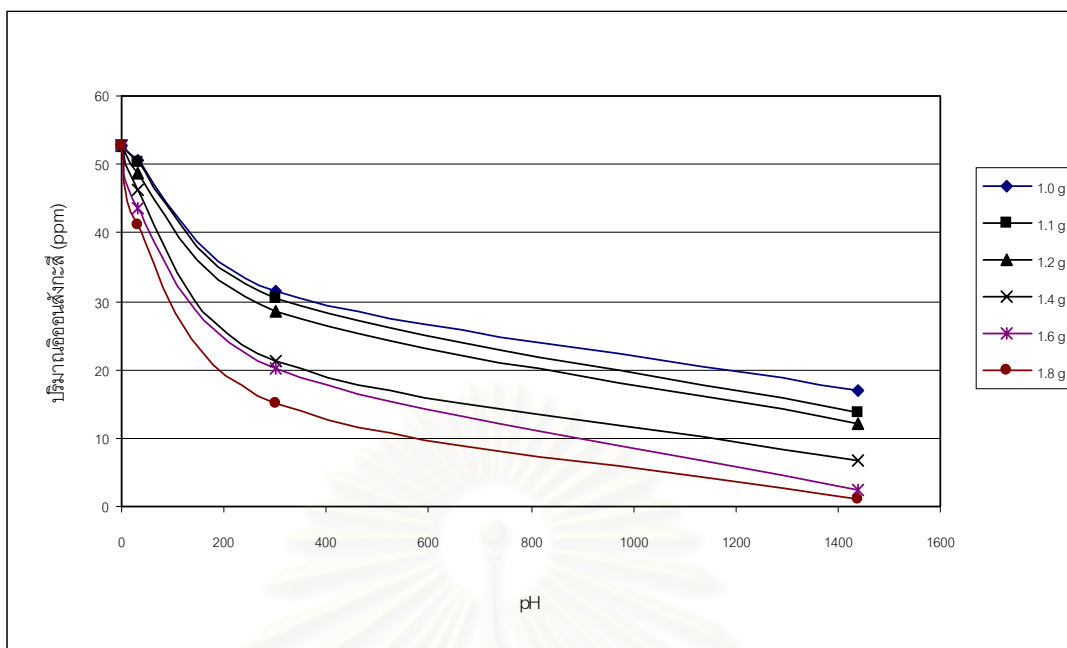


รูปที่ ค.3 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนทองแดงในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโตแซนที่เตรียมมาจากกุ้งผสมปุ๋ย

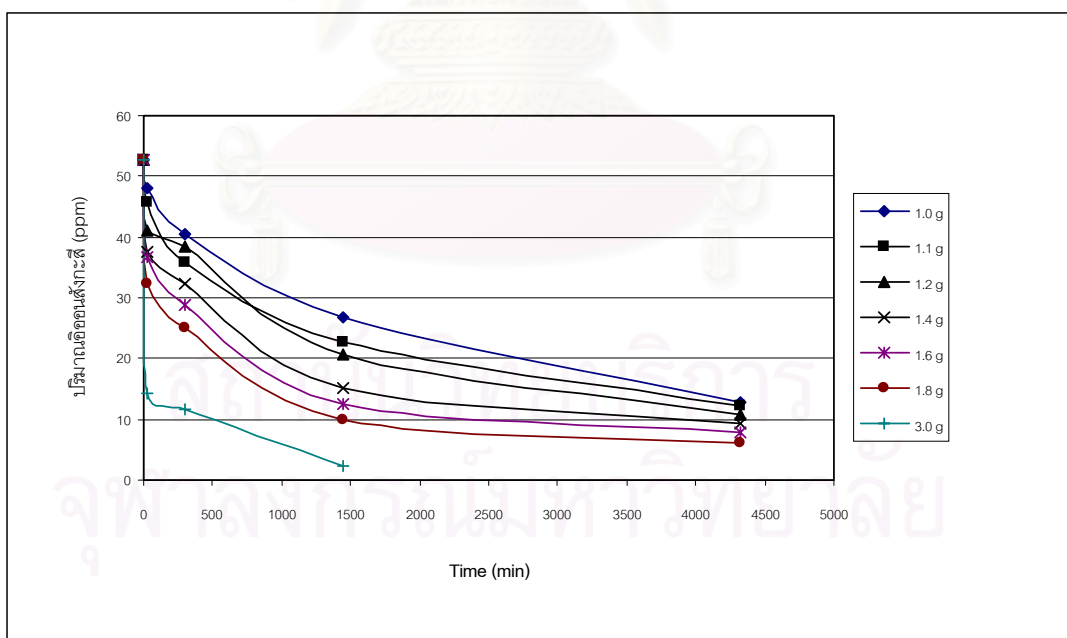


รูปที่ ค.4 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนสังกะสีในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำที่ค่าพีเอช 6.0 เมื่อเติมโคโตแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง

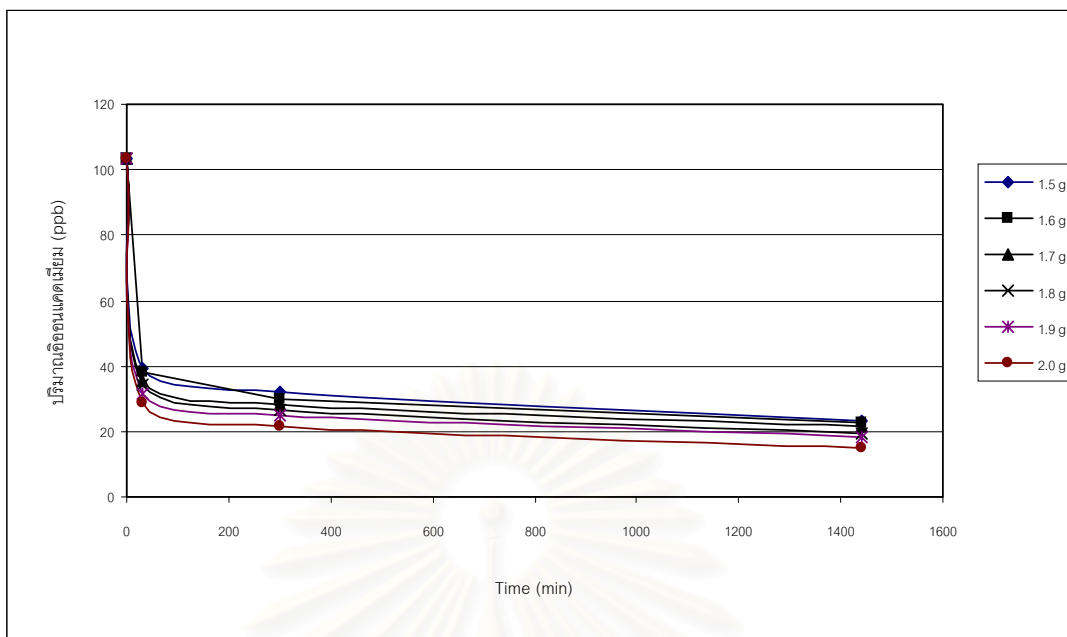




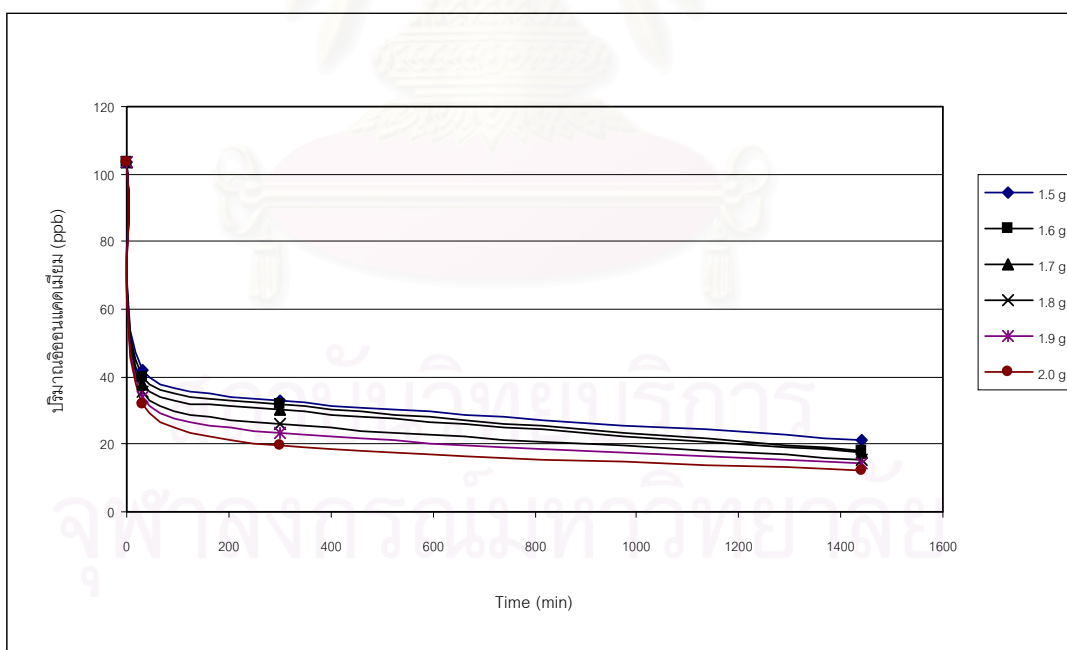
รูปที่ ค.5 ผลการเปลี่ยนแปลงของอ็อกซิเจนคลอรีนในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำที่ค่าพีเอช 6.0 เมื่อเติมโคโคไคโตนที่เตรียมมาจากปู



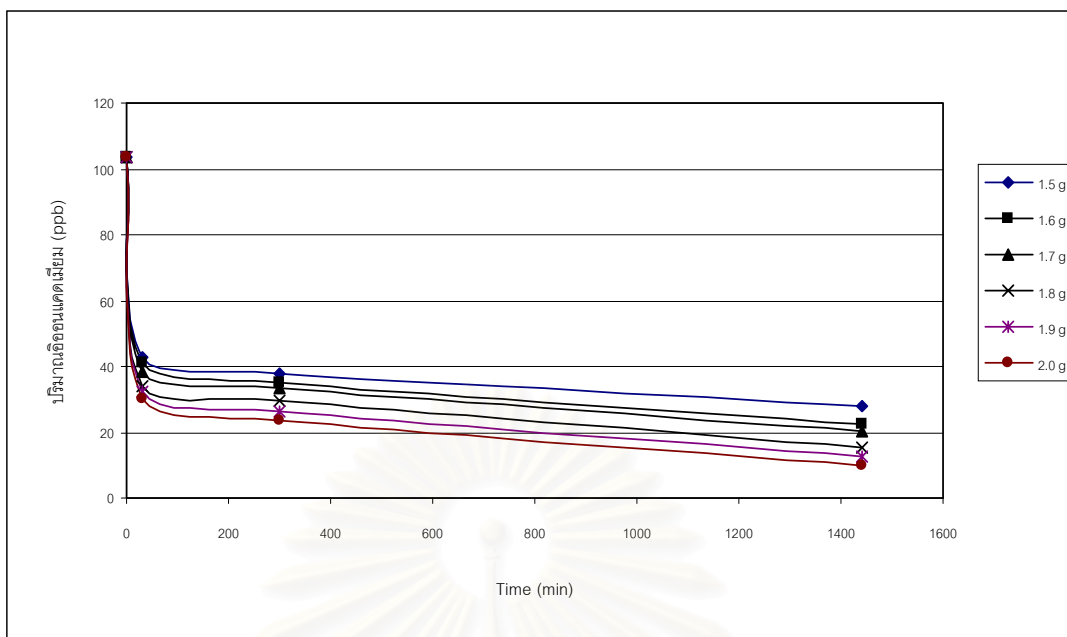
รูปที่ ค.6 ผลการเปลี่ยนแปลงของอ็อกซิเจนคลอรีนในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำที่ค่าพีเอช 6.0 เมื่อเติมโคโคไคโตนที่เตรียมมาจากกุ้งผสมปู



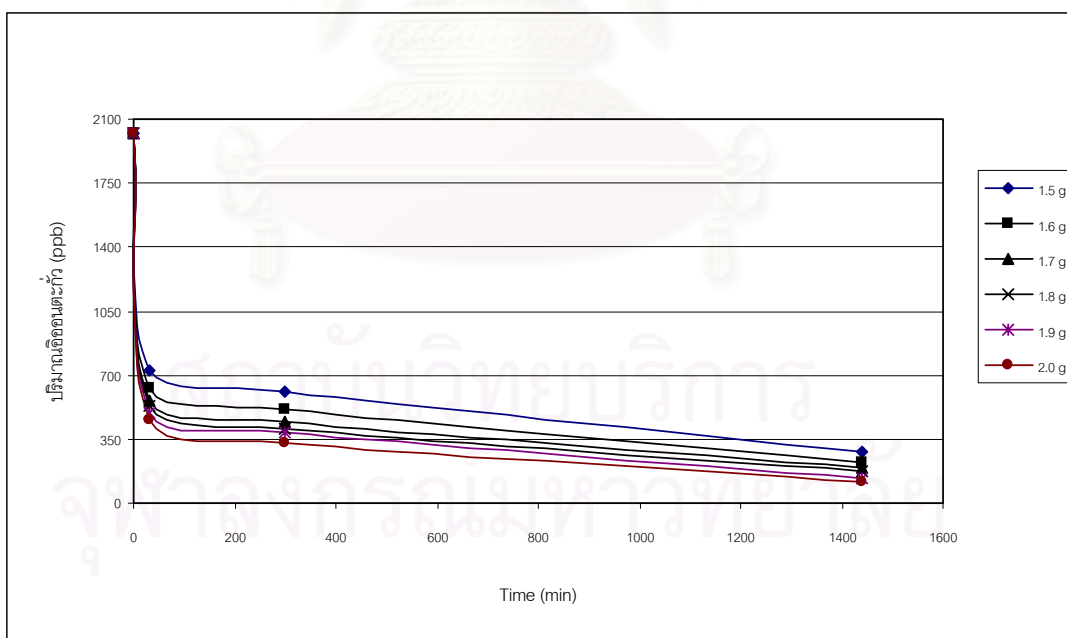
รูปที่ ค.7 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนแคดเมียมในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโคแทนที่เตรียมมาจากกุ้ง



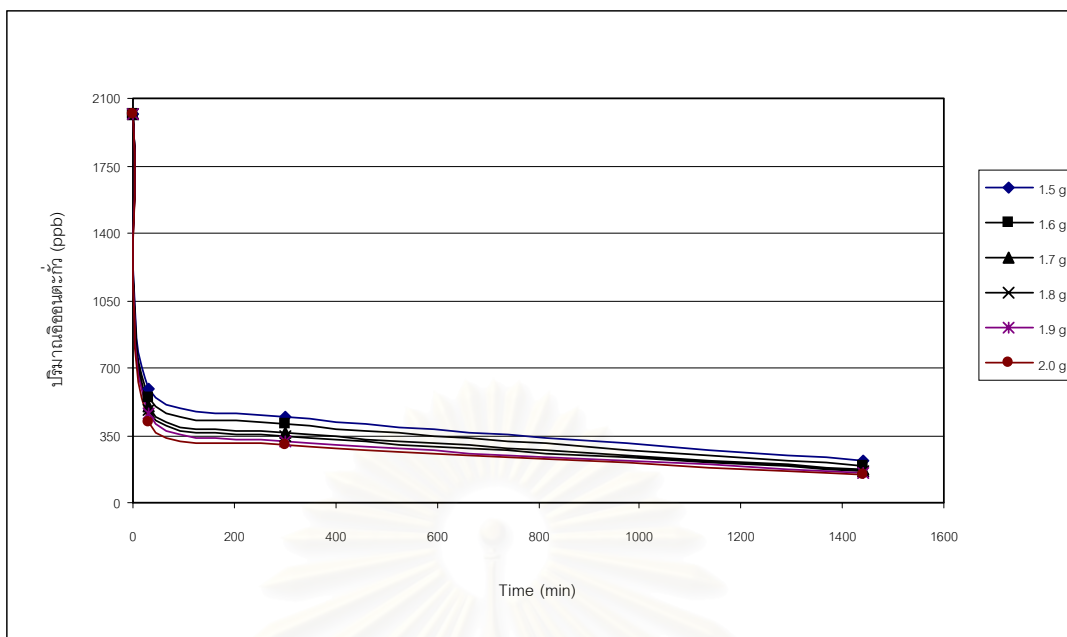
รูปที่ ค.8 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนแคดเมียมในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโคแทนที่เตรียมมาจากปู



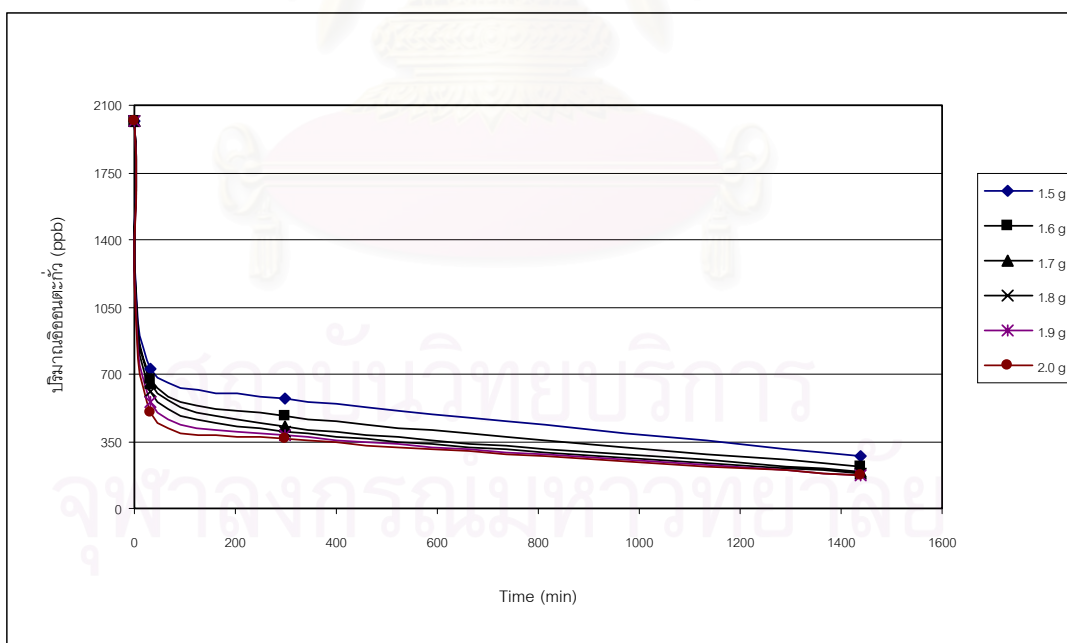
รูปที่ ค.9 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนแคดเมียมในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโคแทนทีเตรียมมาจากกุ้งผสมปู



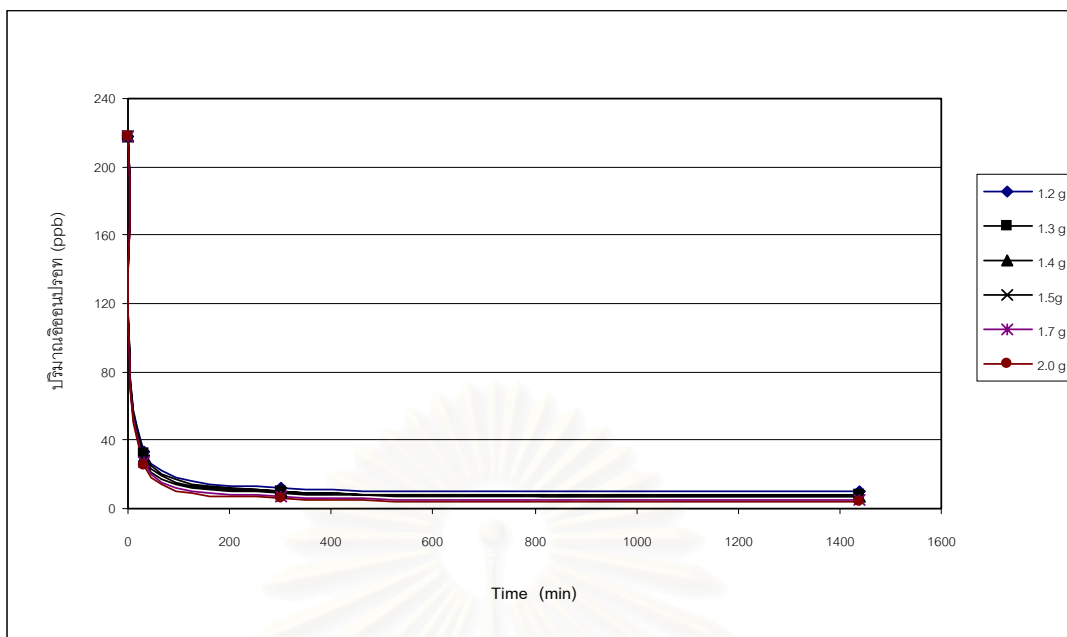
รูปที่ ค.10 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนตะกั่วในน้ำเสียจากบริษัทสยามแบตเตอรี่ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโคแทนทีเตรียมมาจากกุ้ง



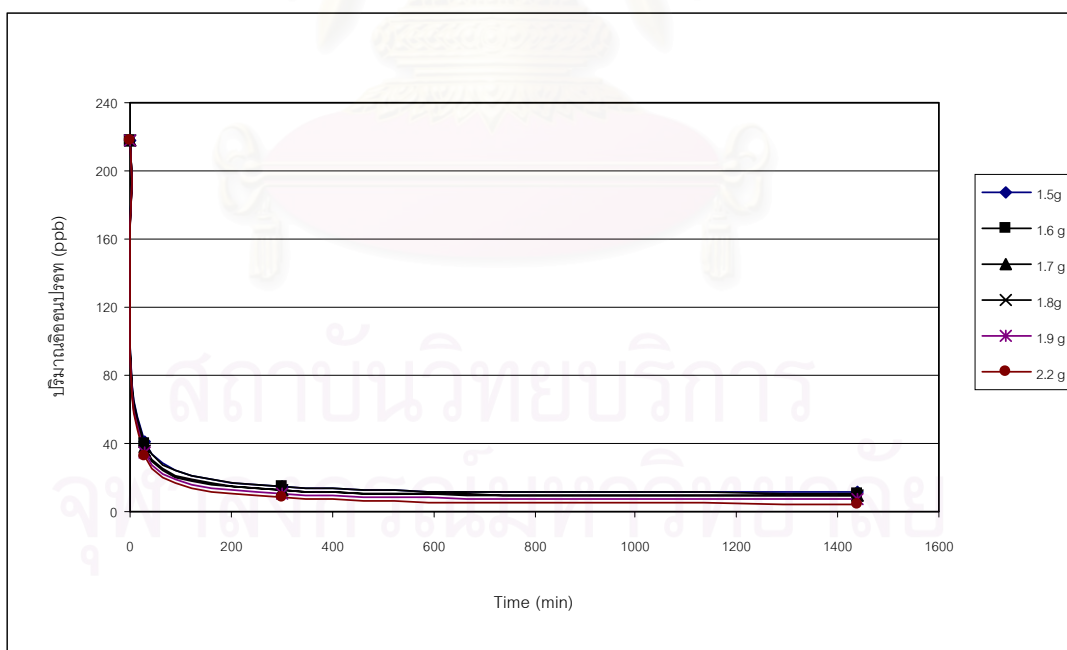
รูปที่ ค.11 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนตะกั่วในน้ำเสียจากบริษัทสยามแบตเตอรี่ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโตะแซนที่เตรียมมาจากปุย



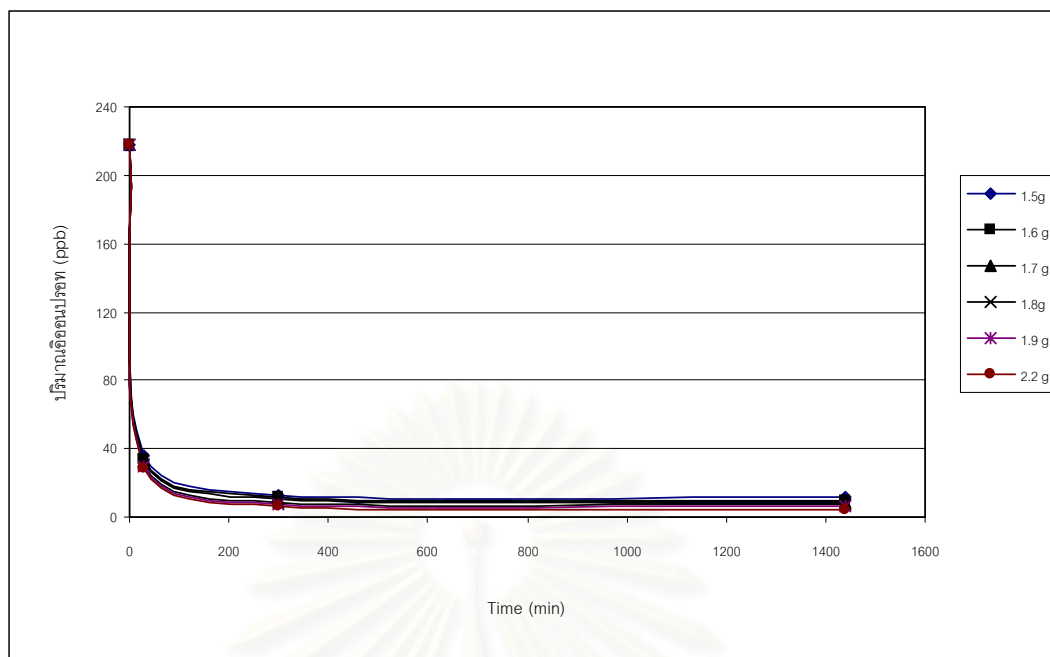
รูปที่ ค.12 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนตะกั่วในน้ำเสียจากบริษัทสยามแบตเตอรี่ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโตะแซนที่เตรียมมาจากกึ่งผสมปูน



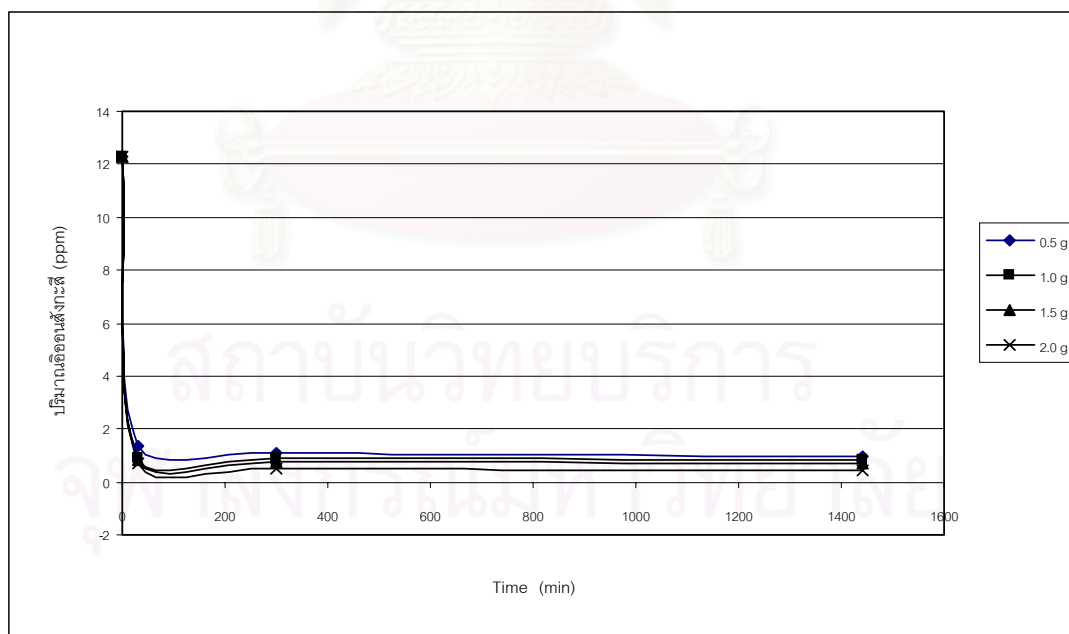
รูปที่ ค.13 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนปรอทในน้ำเสียจากบริษัทไทยอາซาฮีเคมีภัณฑ์ที่ค่าพีเอช 5.0 เมื่อเติมโคไตเซนที่เตรียมมาจากกุ้ง



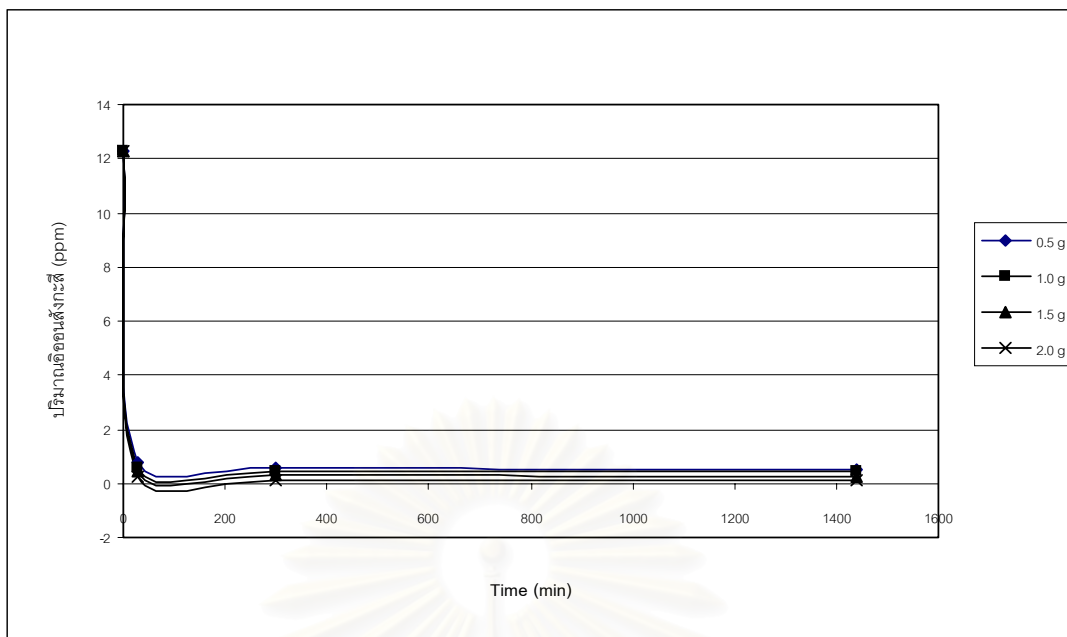
รูปที่ ค.14 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนปรอทในน้ำเสียจากบริษัทไทยอາซาฮีเคมีภัณฑ์ที่ค่าพีเอช 5.0 เมื่อเติมโคไตเซนที่เตรียมมาจากปู



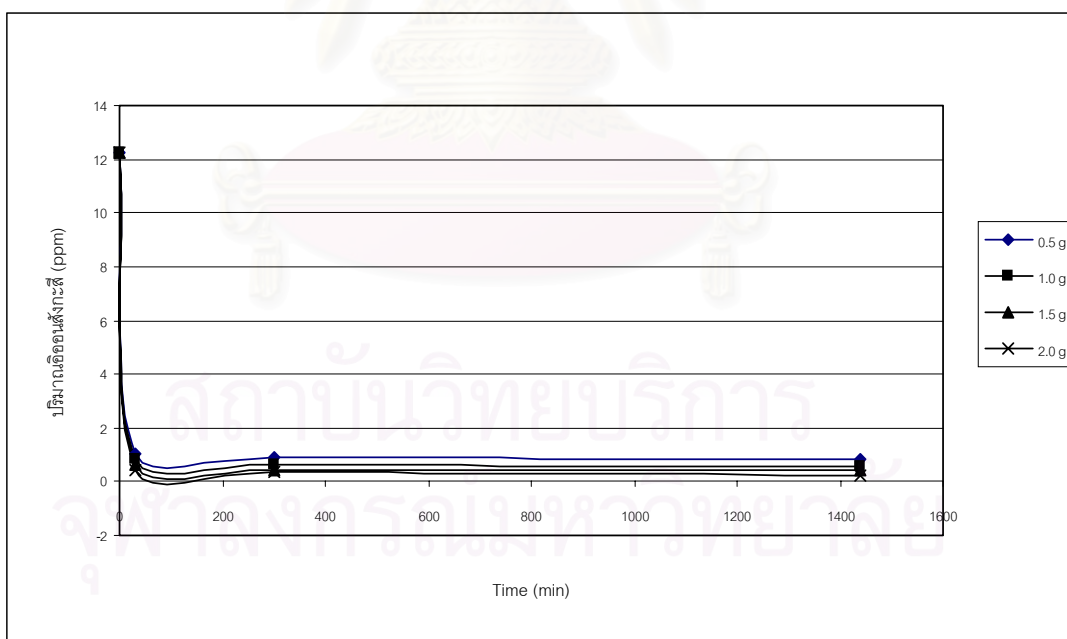
รูปที่ ค.15 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนปรอทในน้ำเสียจากบริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์ที่ค่าพีเอช 5.0 เมื่อเติมโคไตเซนที่เตรียมมาจากกึ่งผสมปุ๋ย



รูปที่ ค.16 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนสังกะสีในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคไตเซนที่เตรียมมาจากกึ่ง

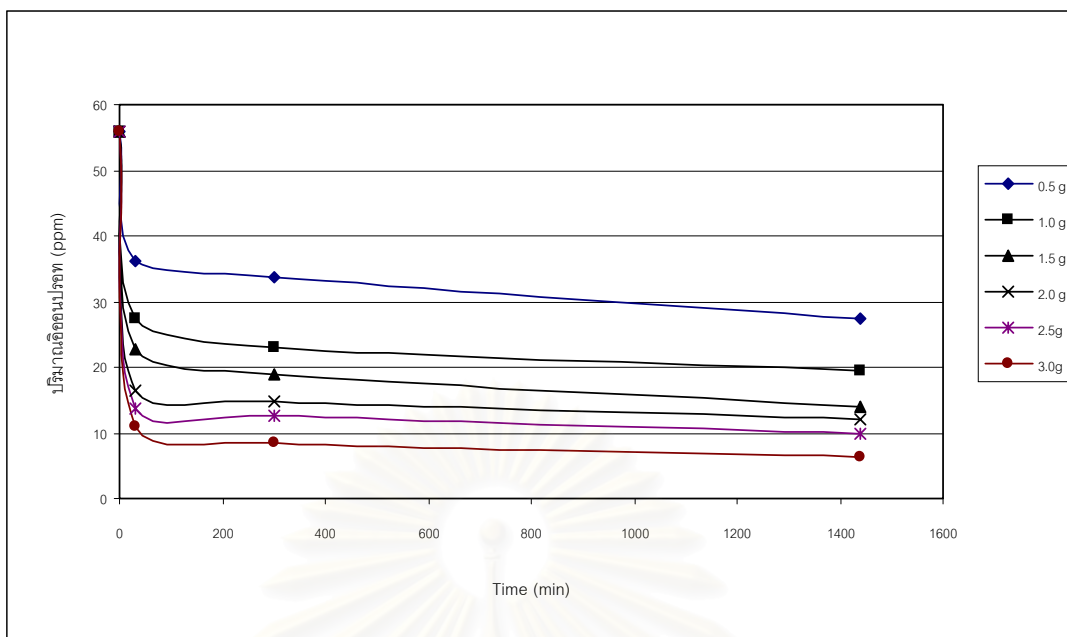


รูปที่ ค.17 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนสังกะสีในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโตนที่เตรียมมาจากปู

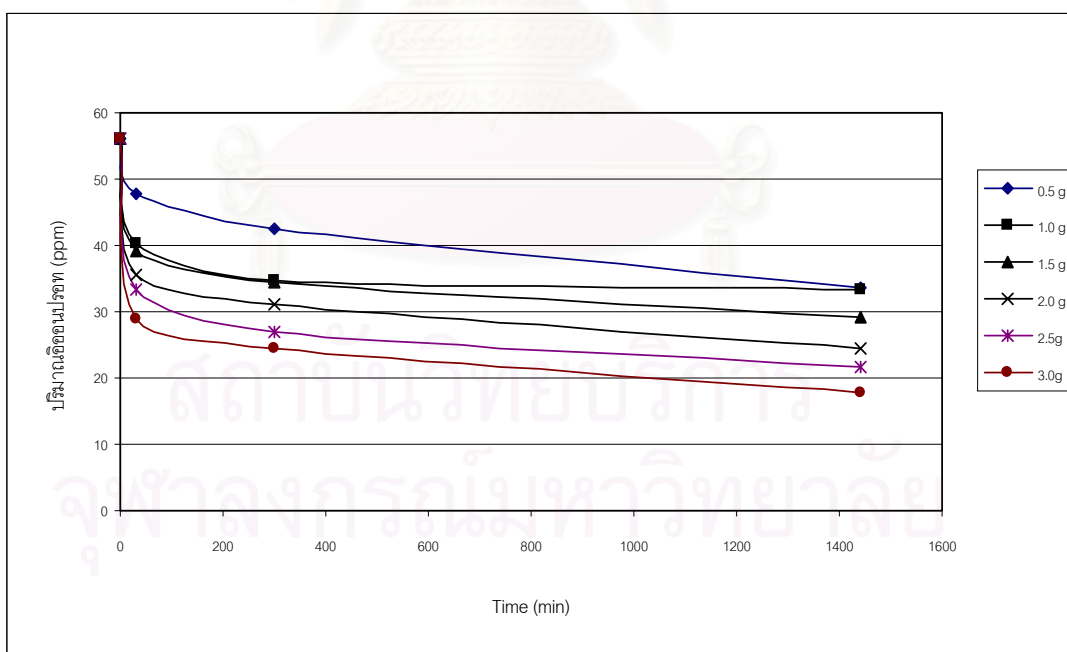


รูปที่ ค.18 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนสังกะสีในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโตนที่เตรียมมาจากกุ้งผสมปู

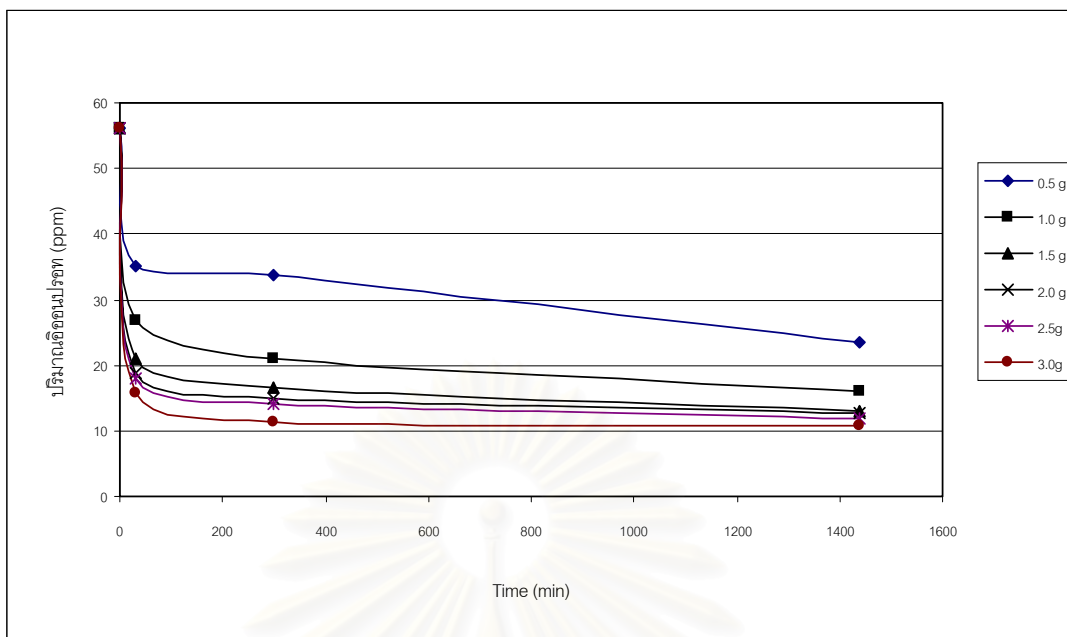




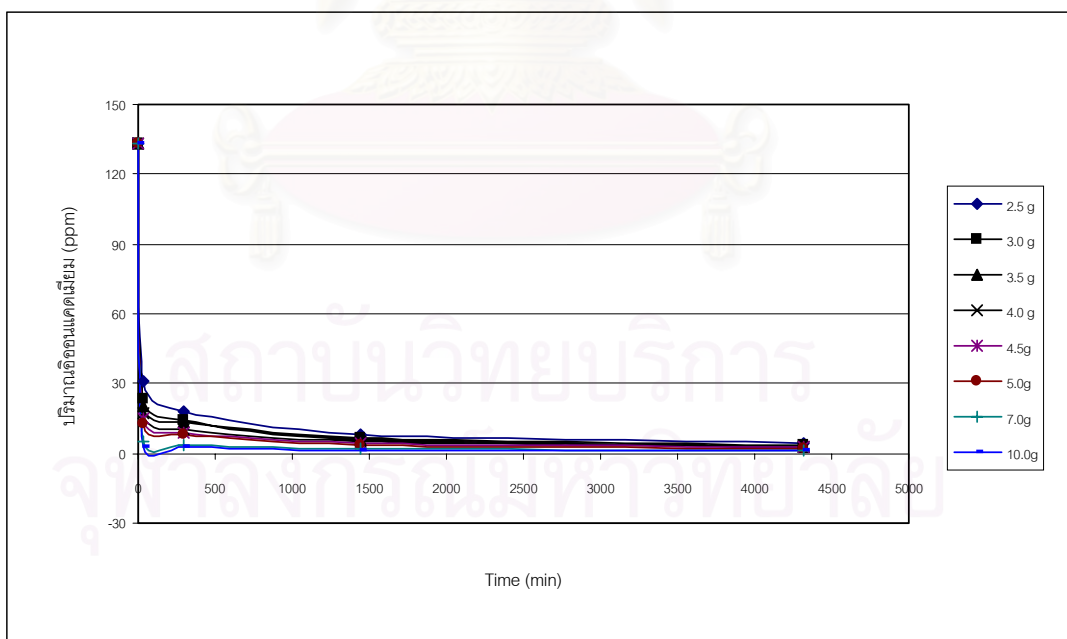
รูปที่ ค.19 ผลการเปลี่ยนแปลงของคลอรีนพรอทในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโตแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง



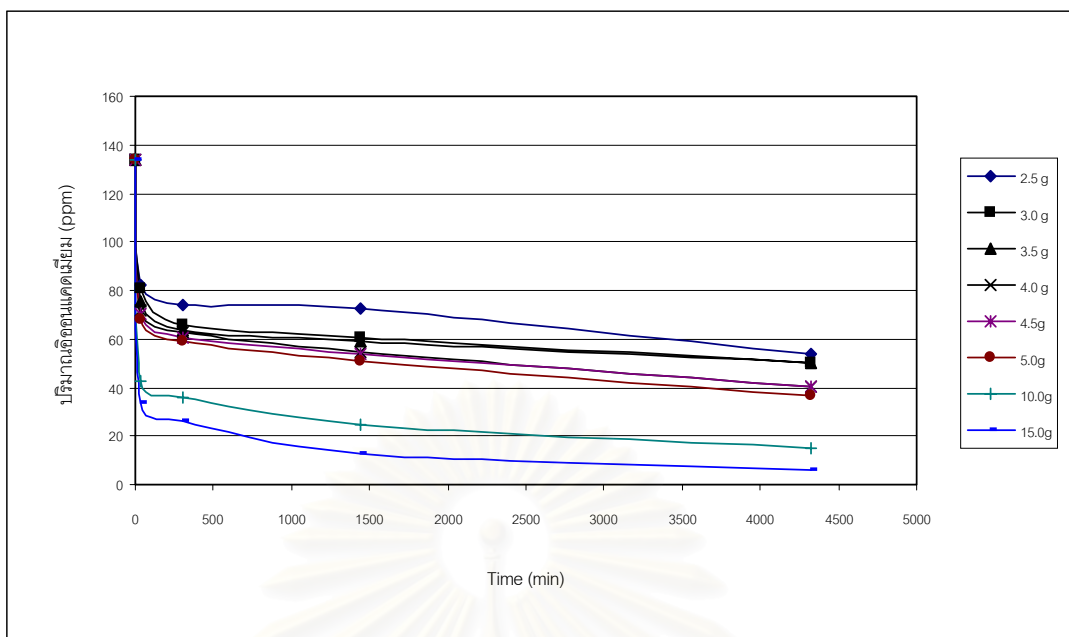
รูปที่ ค.20 ผลการเปลี่ยนแปลงของคลอรีนพรอทในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโตแซนที่เตรียมมาจากปู



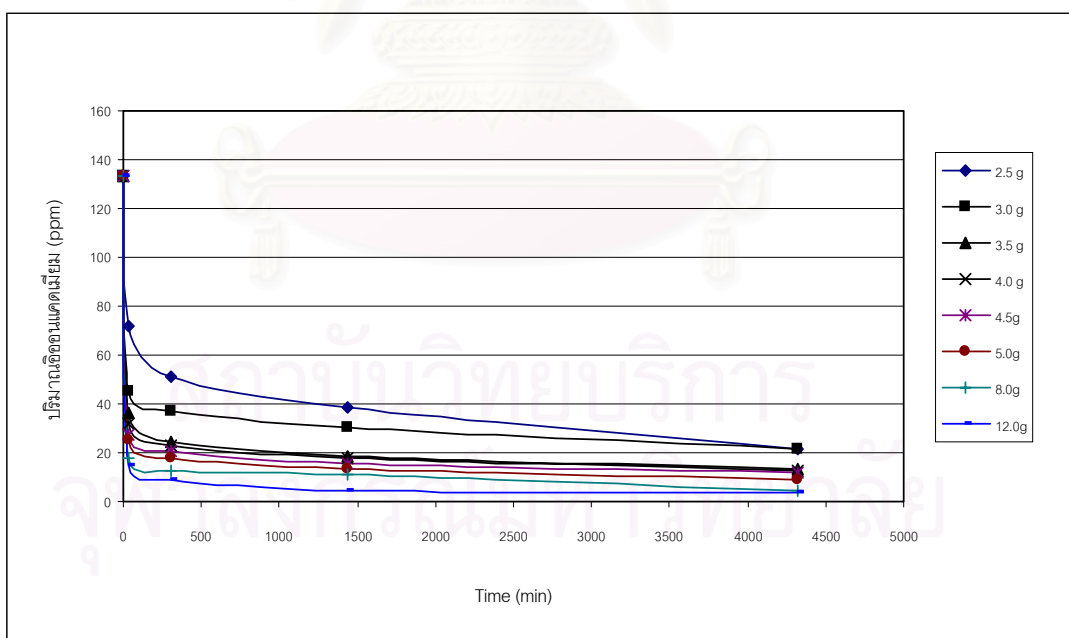
รูปที่ ค.21 ผลการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์เอในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโคแทนที่เตรียมมาจากกุ้งผสมปุ๋ย



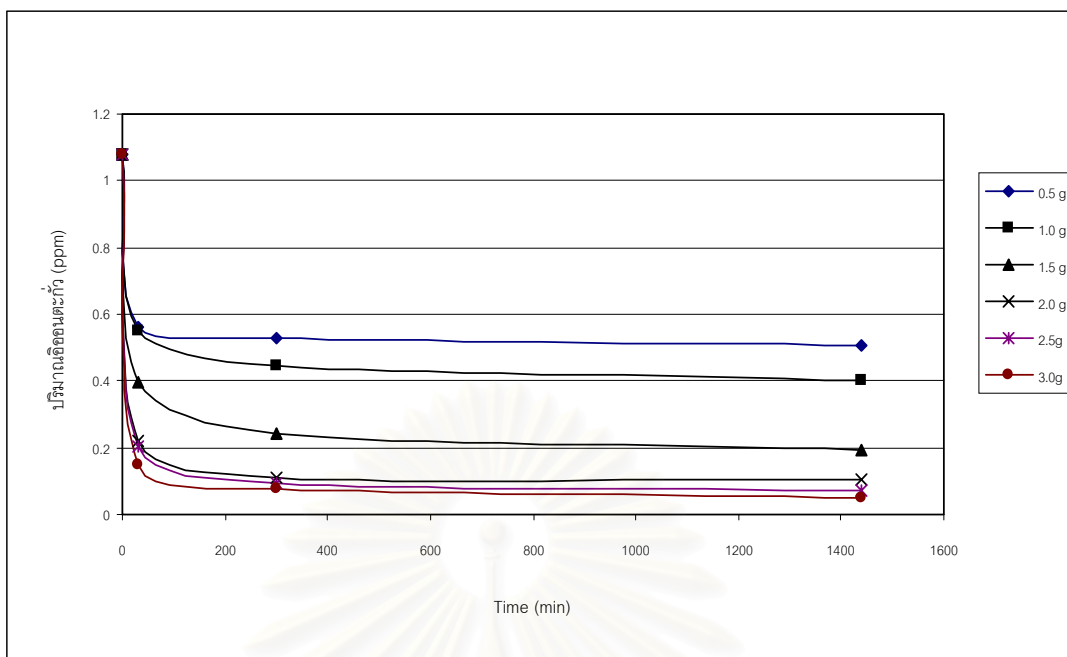
รูปที่ ค.22 ผลการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์เอในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 7.0 เมื่อเติมโคโคแทนที่เตรียมมาจากกุ้ง



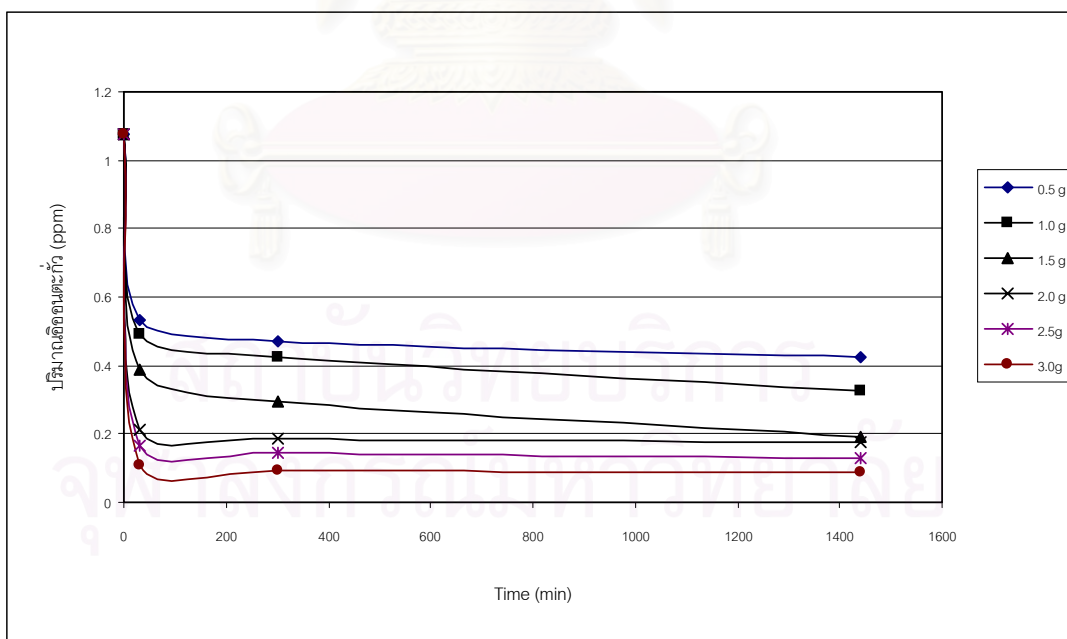
รูปที่ ค.23 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนแคดเมียมในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 7.0 เมื่อเติมโคโตแซนที่เตรียมมาจากปุ๋ย



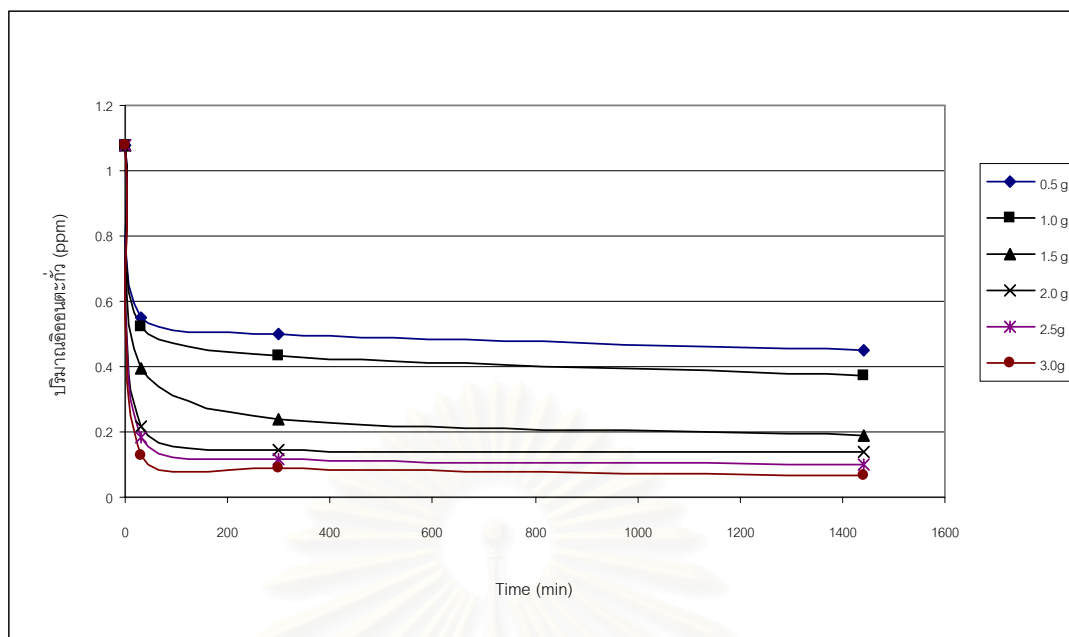
รูปที่ ค.24 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนแคดเมียมในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 7 เมื่อเติมโคโตแซนที่เตรียมมาจากกึ่งผสมปุ๋ย



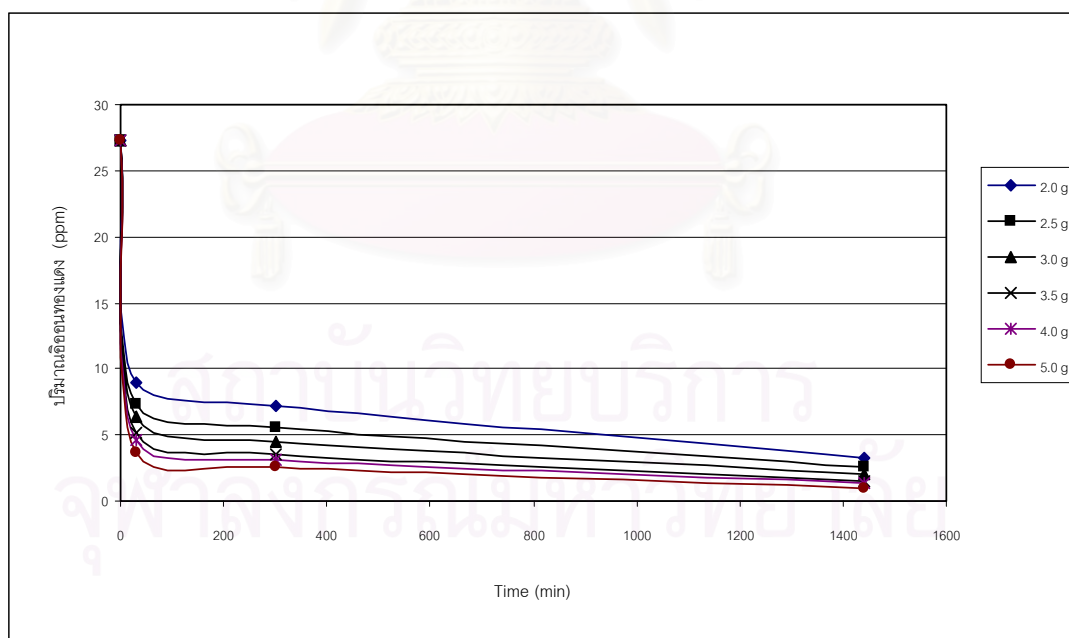
รูปที่ ค.25 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนตะกั่วในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโคแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง



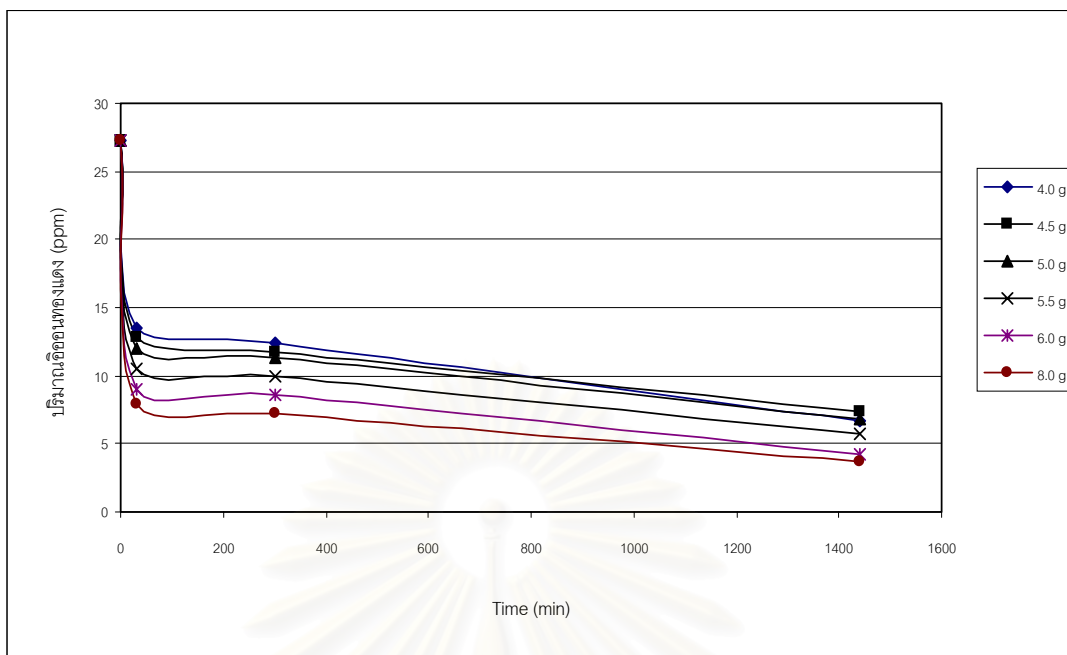
รูปที่ ค.26 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนตะกั่วในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโคแซนที่เตรียมมาจากปู



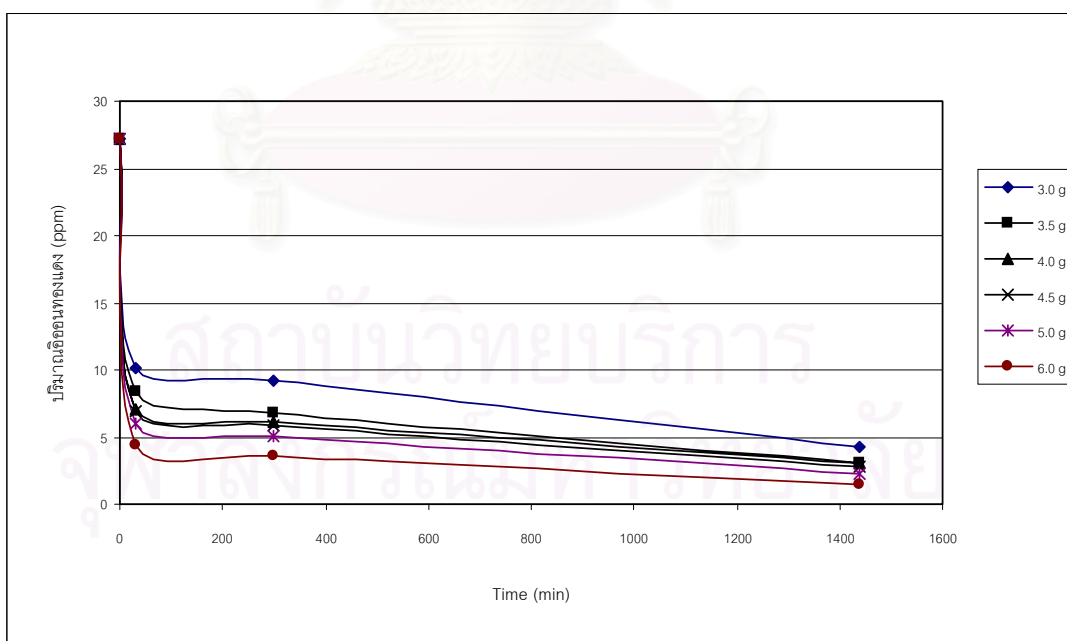
รูปที่ ค.27 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนตะกั่วในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโตนที่เตรียมมาจากกิ่งผสมปุ๋ย



รูปที่ ค.28 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนทองแดงในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโตนที่เตรียมมาจากกิ่ง



รูปที่ ค.29 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนทองแดงในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโคแชนที่เตรียมมาจากปู



รูปที่ ค.30 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนทองแดงในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมโคโคแชนที่เตรียมมาจากกุ้งผสมปู

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเกษม สีดอกบวบ เกิดเมื่อวันที่ 4 มกราคม พ.ศ. 2517 ที่ตำบลหลังสวน อำเภอหลังสวน จังหวัดชุมพร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ในปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2541



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย