

# รายงานฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

Study on the Application of Chitosan in Decontamination of Heavy  
Metal Polluted Wastewater

การศึกษาการประยุกต์ใช้ไคโตแซนในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนัก

โดย

ผศ. ดร. ชันทอง สุนทรภา

ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จพ  
วท 15  
010809

เงินทุนงบประมาณแผ่นดินเพื่อการวิจัย

ประจำปี 2543

Study on the Application of Chitosan in Decontamination of  
Heavy Metal Polluted Wastewater  
การศึกษาการประยุกต์ใช้ไคโตแซนในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนัก



โดย  
ผศ. ดร. ชันทอง สุนทรภา  
ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เงินทูลงบประมาณแผ่นดินเพื่อการวิจัย

ประจำปี 2543

กันยายน 2544

๕๒๐๑๔๑๐๐๒

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถดำเนินการลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2543 ขอขอบคุณนิสิตปริญญาโท นายเกษม สีดอกบวบ ที่ช่วยเหลือด้านการทดลอง ขอขอบคุณบริษัทสุรพลนิเชิเรฟู้ดจำกัด ศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ บริษัทสยามแบตเตอรี่อินดัสทรีจำกัด บริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์จำกัด และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์เปลือกกุ้ง และน้ำเสีย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านของภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่อำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เลขที่	กฟ
	๐๓ 15
เลขทะเบียน	๐1๐8๐9
วัน,เดือน,ปี	7 มก. 45

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถการดูดซับของเกล็ดไคโตแซนซึ่งสกัดมาจากเปลือกกุ้ง กระจดองปู และกุ้งผสมปู ต่อการกำจัดอิออนโลหะหนัก 5 ตัว คือ อิออนทองแดง อิออนสังกะสี อิออนแคดเมียม อิออนตะกั่ว และอิออนปรอท ในน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรม และจากห้องปฏิบัติการ

ผลการศึกษาพบว่า ได้เกล็ดไคโตแซนร้อยละ 25.8 และ 29.9 ของน้ำหนักเปลือกกุ้งแห้งและกระจดองปูแห้ง มวลโมเลกุลเฉลี่ยเท่ากับ  $3.3 \times 10^5$  และ  $2.7 \times 10^5$  ดัลดัน ร้อยละการกำจัดหมู่แอซิติลเท่ากับ 94 และ 98 ของไคโตแซนที่เตรียมมาจากเปลือกกุ้งแห้งและกระจดองปูแห้ง ตามลำดับ

กลไกการกำจัดอิออนโลหะหนักเป็นการดูดซับอิออนโลหะหนักและเกิดการแลกเปลี่ยนอิออนโลหะหนักกับหมู่เอมีนในไคโตแซนพร้อมทั้งปล่อยอิออนไฮโดรเจน พบว่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียและเกล็ดไคโตแซนทุกประเภทที่ใช้ในงานวิจัยนี้อยู่ในช่วง 5 – 5.5 ปริมาณเกล็ดไคโตแซนที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียปริมาณ 400 มิลลิลิตร จากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ (ประกอบด้วยอิออนทองแดง, อิออนสังกะสี และอิออนแคดเมียม) จากบริษัทสยามเบตเตอร์อินดัสทรีจำกัด (อิออนตะกั่ว) และจากบริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์จำกัด (อิออนปรอท) เท่ากับ 1.5, 1.7 และ 2.2 กรัม ตามลำดับ เวลาการตกตะกอนที่เหมาะสมของน้ำเสียอุตสาหกรรมจากทุกแหล่งเท่ากับ 24 ชั่วโมง

ปริมาณเกล็ดไคโตแซนและเวลาการตกตะกอนที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียปริมาณ 400 มิลลิลิตร จากห้องปฏิบัติการเคมี 1 (ประกอบด้วยอิออนสังกะสี, อิออนแคดเมียม, อิออนตะกั่ว และอิออนปรอท) เท่ากับ 1.5 กรัม และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ และภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2 (อิออนทองแดง) เท่ากับ 8 กรัม และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ

## Abstract

This research was aimed to study the adsorption capability of flake chitosan prepared from shrimp shell, crab shell and mixture of both on 5 ion types; i.e.  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ , and  $\text{Hg}^{2+}$ , from industrial and laboratory wastewater.

The chitosan yield from shrimp, degree of deacetylation and average molecular weight were 25.8%, 94% (based on dried shell) and  $3.3 \times 10^5$  Dalton, and those from crab were 29.9%, 98% and  $2.7 \times 10^5$  Dalton, respectively.

The removal mechanism is that chitosan undergoes chelation with metal ions and releasing hydrogen ions. It was found that the optimum pH for all wastes and all types of chitosan employed was 5 – 5.5. The optimum doses for 400 milliliters wastewater from Genco Co. (containing  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , and  $\text{Cd}^{2+}$ ), Siam Battery Industry Co. ( $\text{Pb}^{2+}$ ) and Thai Asahi Chemical Co. ( $\text{Hg}^{2+}$ ) were 1.5, 1.7 and 2.2 grams, respectively. The optimum settling time for all industrial sources was 24 hours.

The optimum doses and settling time for 400 milliliters wastewater from Chemistry Laboratory 1 (containing  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  and  $\text{Hg}^{2+}$ ) were 1.5 grams and 24 hours, and those from Chemistry Laboratory 2 ( $\text{Cu}^{2+}$ ) were 8 grams and 72 hours, respectively.

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ข
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. วารสารปริทรรศน์	
2.1 ลักษณะทั่วไปของโคตินและโคโตแซน	3
2.2 กระบวนการเตรียมโคติน	4
2.3 กระบวนการเตรียมโคโตแซน	7
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของโคโตแซน	7
2.5 วิธีจาร์เทสต์	9
2.6 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม	10
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
3. วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	14
3.2 การดำเนินการวิจัย	14
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
4.1 ผลการเตรียมเกล็ดโคโตแซน	19
4.2 ผลของการวิเคราะห์น้ำเสียตัวอย่างเริ่มต้น	20
4.3 ผลการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโตแซนในการกำจัดอออนโลหะหนัก	21
4.4 ผลการศึกษาปริมาณเกล็ดโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนัก	34
4.5 สรุปผลการศึกษาค่าพีเอชและปริมาณเกล็ดโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอออน	

โลหะหนักในน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ	41
4.6 กลไกการกำจัดอโลหะหนักด้วยเกลือโคโคไตเซน	47
5. สรุปผลการวิจัย	
5.1 สรุปผลการทดลอง	48
5.2 ข้อเสนอแนะ	49
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก ก	52
ภาคผนวก ข	67



สถาบันวิทยบริการ  
 าลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 อุปกรณ์การทดลองและเครื่องวิเคราะห์หลัก	14
4.1 ผลการเตรียมเกล็ดโคตินและโคโตแซน	19
4.2 สมบัติของโคโตแซน	20
4.3 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียตัวอย่างเริ่มต้นที่ใช้ในงานวิจัย	21
4.4 การทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโตแซนในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียเสมด้า	23
4.5 การทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโตแซนในการกำจัด $Pb^{2+}$ ในน้ำเสียจากบริษัทสยามแบตเตอรี่อินดัสทรีจำกัด	26
4.6 การทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโตแซนในการกำจัด $Hg^{2+}$ ในน้ำเสียจากบริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์จำกัด	27
4.7 การทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโตแซนในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1	30
4.8 การทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโตแซนในการกำจัด $Cu^{2+}$ ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2	33
4.9 ปริมาณเกล็ดโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียเสมด้า	36
4.10 ปริมาณเกล็ดโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัด $Pb^{2+}$ ในน้ำเสียจากบริษัทสยามแบตเตอรี่อินดัสทรีจำกัด	37
4.11 ปริมาณเกล็ดโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัด $Hg^{2+}$ ในน้ำเสียจากบริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์จำกัด	38
4.12 ปริมาณเกล็ดโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1	40
4.13 ปริมาณเกล็ดโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัด $Cu^{2+}$ ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2	42
4.14 สรุปค่าพีเอชและปริมาณเกล็ดโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากอุตสาหกรรม	44
4.15 สรุปค่าพีเอชและปริมาณเกล็ดโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ	45
4.16 สรุปประสิทธิภาพการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ	46



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างโมเลกุลของไคติน	4
2.2 โครงสร้างโมเลกุลของไคโตแซน	4
2.3 ขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการเตรียมไคติน	5
2.4 ขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการเตรียมไคโตแซน	7
2.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำจาร์เจสต์	9
3.1 ขั้นตอนการเตรียมเกล็ดไคโตแซนจากเปลือกกุ้งและกระดองปู	16
4.1 พีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดไคโตแซนในการกำจัด $Cu^{2+}$ ในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ	24
4.2 พีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดไคโตแซนในการกำจัด $Zn^{2+}$ ในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ	24
4.3 พีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดไคโตแซนในการกำจัด $Cd^{2+}$ ในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ	25
4.4 พีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดไคโตแซนในการกำจัด $Pb^{2+}$ ในน้ำเสียจากบริษัทสยามแบตเตอรี่อินดัสทรีจำกัด	26
4.5 พีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดไคโตแซนในการกำจัด $Hg^{2+}$ ในน้ำเสียจากบริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์จำกัด	28
4.6 พีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดไคโตแซนในการกำจัด $Zn^{2+}$ ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1	31
4.7 พีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดไคโตแซนในการกำจัด $Hg^{2+}$ ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1	31
4.8 พีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดไคโตแซนในการกำจัด $Cd^{2+}$ ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1	32
4.9 พีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดไคโตแซนในการกำจัด $Pb^{2+}$ ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1	32
4.10 พีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดไคโตแซนในการกำจัด $Cu^{2+}$ ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2	34
4.11 กลไกการแลกเปลี่ยนไอออนโลหะหนักของเกล็ดไคโตแซน	47



## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยได้ประสบปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก โดยปัญหาที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตประจำวันของประชากรในขณะนี้คือ มลพิษทางน้ำ เนื่องจากการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งสาธารณะ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม บ้านเรือน และจากเกษตรกรรม ซึ่งน้ำเสียที่ปล่อยออกมามีสิ่งเจือปนอยู่เป็นอันมาก เช่น สิ่งปฏิกูล สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และสารเคมีอื่นๆ เป็นต้น การปนเปื้อนโลหะหนักในสภาพแวดล้อมไม่ว่าจะโดยธรรมชาติหรือการกระทำของมนุษย์ล้วนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์ โดยในระยะยาวมนุษย์สามารถรับพิษจากโลหะหนักได้โดยตรงและผ่านทางห่วงโซ่อาหาร

ของเหลือทิ้ง (Solid wastes) ที่มาจากการแปรรูปอาหารทะเลจำพวกกุ้ง ปู มีปริมาณสูงถึง 80% ของน้ำหนักสดของกุ้งและปู และปริมาณของเสียเหล่านี้ประกอบด้วยไคติน (Chitin) 20 – 30% ของน้ำหนักแห้ง [1] ของเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเลจำนวนมากเหล่านี้นับวันจะมีปริมาณสูงขึ้น ดังนั้นการกำจัดของเสียเหล่านี้ทำให้สิ่งแวดล้อมทรุดโทรม และอาจก่อให้เกิดของเสียตัวใหม่ในกระบวนการกำจัด แนวความคิดที่ดีกว่าในยุคปัจจุบันคือการนำมาแปรรูปหรือการนำมาประยุกต์กับงานบางอย่าง เช่น การแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ซึ่งนอกจากเป็นการกำจัดของเสียแล้วยังช่วยเพิ่มมูลค่าขึ้นด้วย

ไคติน และ ไคโตแซน (Chitosan) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของไคติน เป็นไบโอพอลิเมอร์ (Biopolymer) ที่พบมากในสัตว์ทะเลที่มีเปลือกแข็งภายนอก เช่น กุ้ง ปู กุ้ง เป็นต้น ปัจจุบันนักวิจัยและนักอุตสาหกรรมให้ความสนใจในพอลิเมอร์ทั้งสองตัวนี้อย่างมาก โดยได้มีการนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง เช่น ทำเป็นตัวกรองเพื่อทำให้น้ำบริสุทธิ์สำหรับดื่มได้ การนำมาประยุกต์ใช้ในด้านเภสัชกรรมและเครื่องสำอาง ใช้ในระบบการกำจัดของเสีย ตัวอย่างเช่น เป็นตัวตกตะกอน การกำจัดสีย้อม และการกำจัดยาฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ เป็นต้น

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ประยุกต์ใช้ผลิตไคโตแซนจากเปลือกกุ้ง เปลือกปู และเปลือกกุ้งผสมกับเปลือกปูที่อัตราส่วน 1:1 เป็นสารดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียจริง

- 2) ศึกษาความสามารถของเกล็ดโคโตแซนในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี และหาภาวะที่เหมาะสม
- 3) ศึกษาความสามารถของเกล็ดโคโตแซนในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและหาภาวะที่เหมาะสม

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) เตรียมเกล็ดโคโตแซนจากเปลือกกุ้ง เปลือกปู ภายใต้สภาวะบรรยากาศในโตรเจน ตามวิธีของเยาวภา [2]
- 2) ในงานวิจัยนี้ศึกษาโลหะหนัก 5 ชนิด คือ ปรอท ตะกั่ว ทองแดง แคดเมียม และสังกะสี และใช้โคโตแซนในสภาพเป็นเกล็ด
- 3) ทดลองหาภาวะการกำจัดที่เหมาะสมด้วยระบบจาร์เทสต์ (Jar test)
- 4) น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีนำมาจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 และ 2 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 5) น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมนำมาจากศูนย์กำจัดน้ำเสียเสมดำ บ.สยามแบตเตอรี่ อินดัสทรี จก. และ บ.ไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์ จก.

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) แนวทางการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมอาหารทะเล
- 2) ข้อมูลเบื้องต้นของระบบบำบัดน้ำเสียแบบการตกตะกอนทางเคมี

าลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### วารสารปริทรรศน์

#### 2.1 ลักษณะทั่วไปของไคตินและไคโตแซน

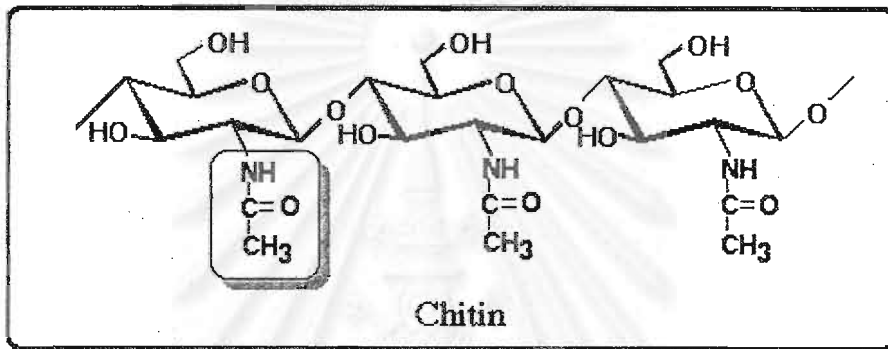
จากแนวโน้มการขยายตัวของอุตสาหกรรมกุ้งแช่เย็น แช่แข็งและผลิตภัณฑ์อื่น ส่งผลให้มีปริมาณวัสดุเหลือใช้อันได้แก่ หัวกุ้ง เปลือกกุ้ง กระดองปู และเศษเนื้อเพิ่มขึ้น การผลิตไคตินจากเปลือกกุ้งและกระดองปูจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งเหล่านั้น

ไคตินและไคโตแซนเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีอยู่มากเป็นอันดับสองของโลก รองจากเซลลูโลส (Cellulose) ในจำพวกพอลิเมอร์ชีวภาพทั้งหมด มีการค้นพบและศึกษาเกี่ยวกับไคตินและไคโตแซนมานานแล้ว แต่ไม่มีใครเป็นที่รู้จักและนำมาใช้ประโยชน์กันมากนักทั้งในเชิงอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์ต่างๆที่ใช้ในชีวิตประจำวัน หรือการนำมาประยุกต์ใช้ทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความสละสลวยและความคุ้นเคยของมนุษย์ในการใช้ประโยชน์จากเซลลูโลส ถึงแม้ว่าไคติน ไคโตแซน และเซลลูโลส เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพในกลุ่มเดียวกันก็ตามคือ คาร์โบไฮเดรตพอลิเมอร์ แต่มีคุณสมบัติทางเคมีที่ต่างกันในส่วนขององค์ประกอบพอลิเมอร์ ซึ่งทำให้ไคตินและไคโตแซนมีคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพทั้งที่คล้ายกันกับเซลลูโลส และแตกต่างกันจากเซลลูโลส

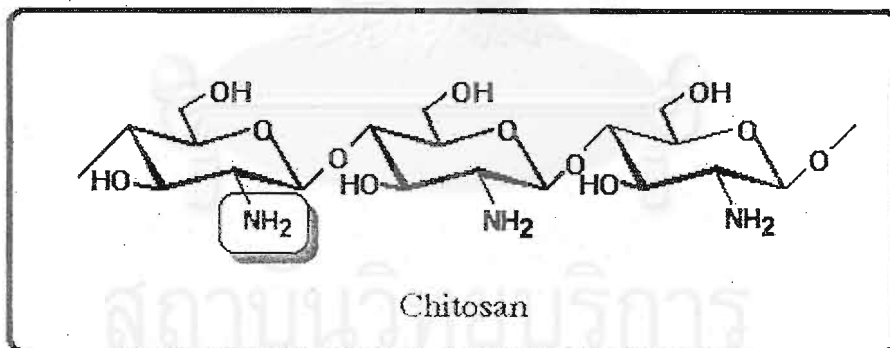
ไคตินมีชื่อทางเคมีว่า Poly- $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucose เป็นพอลิเมอร์อินทรีย์โมเลกุลยาวที่มีโครงสร้างคล้ายเซลลูโลส (Cellulose) ต่างกันที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 มีหมู่ -NH-CO-CH<sub>3</sub> มาเกาะแทนที่จะเป็นหมู่ -OH ดังในเซลลูโลส ไคตินมีสูตรทั่วไปเป็น (C<sub>8</sub>H<sub>13</sub>NO<sub>5</sub>)<sub>n</sub> มีสูตรโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.1 ไคตินเป็นสารโมเลกุลยาวที่ไร้ประจุ (Non-electrolytic polymer) ซึ่งทำให้ไคตินไม่ละลายในสารละลายต่างๆไปโดยง่าย การใช้ประโยชน์จากไคตินจึงไม่แพร่หลายนัก อย่างไรก็ตามสามารถดัดแปรไคตินโดยวิธีการทางเคมีเพื่อเพิ่มประโยชน์ในการใช้งานมากขึ้นคือการเตรียมเป็นไคโตแซน (Chitosan)

ไคโตแซนเป็นอนุพันธ์ของไคตินมีชื่อทางเคมีว่า Poly- $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose ซึ่งสามารถผลิตได้โดยการแยกหมู่แอซิติลออก (Deacetylation) จากไคตินเหลือเป็นหมู่อะมิโนอิสระ (-NH<sub>2</sub>) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่สองดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยทั่วไปถ้าหมู่แอซิติลถูกตัดหรือหลุดไปประมาณร้อยละ 60 จะเรียกว่าไคโตแซน และถ้าหมู่แอซิติลถูกตัดหรือหลุดไปประมาณร้อยละ 90 – 100 จะเรียกว่า Fully deacetylated chitosan [3] เมื่อพิจารณาสูตรโครงสร้างของไค

ไคโตแซน จะเห็นว่าไคโตแซนสามารถมีประจุบวกบนหมู่อะมิโน ( $-NH_2$ ) และอาจพิจารณาว่าเป็น Cationic polymer คุณสมบัติ Polyelectrolyte ของไคโตแซนมีคุณสมบัติในการดูดซับ (Adsorp) สารจำพวกอินทรีย์ รวมถึง Polychlorinated biphenyls ไพรดีน และ Nucleic acid รวมถึงอิออนโลหะ เนื่องจากคุณสมบัติการดูดซับที่ดีเลิศ ไคโตแซนจึงทำหน้าที่เป็น Coagulating agent ได้ดี [4] นอกจากนี้มีคุณสมบัติในการละลายในตัวทำละลายกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น สารละลายกรดฟอร์มิก สารละลายกรดอะซิติก เป็นต้น และละลายได้เล็กน้อยในกรดอินทรีย์เจือจาง เช่น กรดเกลือ เป็นต้น จึงเป็นเหตุผลที่สำคัญซึ่งทำให้การใช้ประโยชน์จากไคโตแซนมีสูงกว่าไคติน



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของไคติน [5]

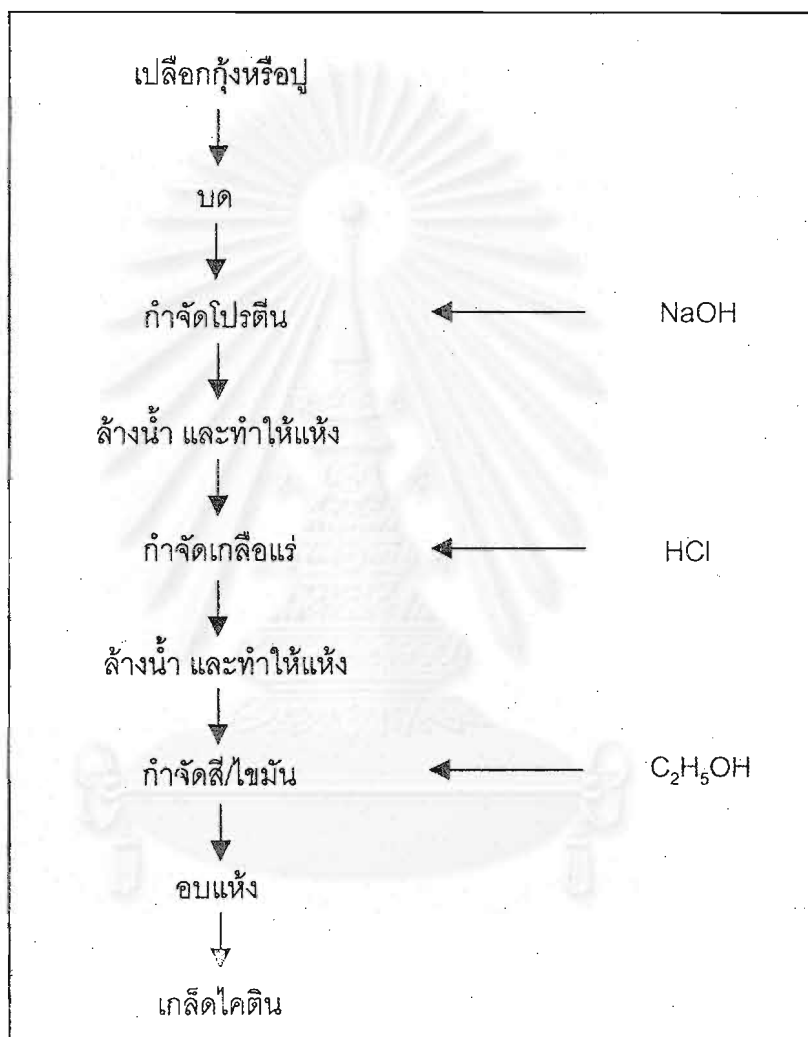


รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของไคโตแซน [5]

## 2.2 กระบวนการเตรียมไคติน [2]

การเตรียมไคตินขึ้นกับวัตถุดิบและสารประกอบที่มีอยู่ในวัตถุดิบนั้น ซึ่งส่วนใหญ่ผลิตจากเปลือกกุ้งและเปลือกปูที่เป็นของเหลือทิ้ง องค์ประกอบของวัตถุดิบส่วนใหญ่จะเป็นไพรดีน และ แคลเซียมคาร์บอเนต นอกจากนี้จะมีพวกรงควัตถุต่างๆ ไพรดีนสามารถแยกออกได้โดยการต้มกับสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ แคลเซียมคาร์บอเนตสามารถแยกออกได้โดยการต้มกับกรดไฮโดรคลอริก หรือกรดไนตริก ส่วนรงควัตถุสามารถแยกออกได้โดยใช้สารฟอกสี

กระบวนการเตรียมไคตินแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนที่สำคัญคือ ขั้นตอนการกำจัดโปรตีน ขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุ และขั้นตอนการกำจัดไขมันและเม็ดสี ขั้นตอนทั่วไปของการเตรียมไคตินแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการเตรียมไคติน

### 2.2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมวัตถุดิบเพื่อแยกโคติน เริ่มจากการนำวัตถุดิบ ได้แก่เปลือกกุ้ง กระดองปูมาล้างน้ำให้สะอาดหลายครั้ง ในกรณีที่ต้องเก็บสะสมวัตถุดิบไว้ระยะหนึ่งก่อน นำเปลือกที่ล้างสะอาดแล้วไปต้มและล้างด้วย Antioxidant solution แล้วนำไปตากแห้งหรืออบให้แห้ง เพื่อจะได้เก็บสะสมที่อุณหภูมิห้อง และสะดวกต่อการขนส่ง หลังจากนั้นอาจมีการลดขนาดเช่นบดละเอียด

### 2.2.2 การกำจัดแร่ธาตุ

ขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุโดยการใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจางเป็นตัวละลายแร่ธาตุ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเกลือแคลเซียมคาร์บอเนต โดยมีกลไกของปฏิกิริยาดังนี้



นอกจากนี้ยังมีการใช้กรดซัลฟูริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) ในการกำจัดแร่ธาตุสำหรับกระบวนการเตรียมโคตินในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งมีข้อได้เปรียบ คือ ลดปฏิกิริยาการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโคติน เนื่องจากกรดซัลฟูริกเป็นกรดอ่อน และสามารถนำกลับมาใช้ได้อีก ตลอดจนได้ผลพลอยได้เช่น แคลเซียมซัลไฟต์ ( $\text{CaSO}_3$ ) แคลเซียมซัลเฟต ( $\text{CaSO}_4$ ) และแคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ) ซึ่งสามารถนำไปขายได้

### 2.2.3 การกำจัดโปรตีน

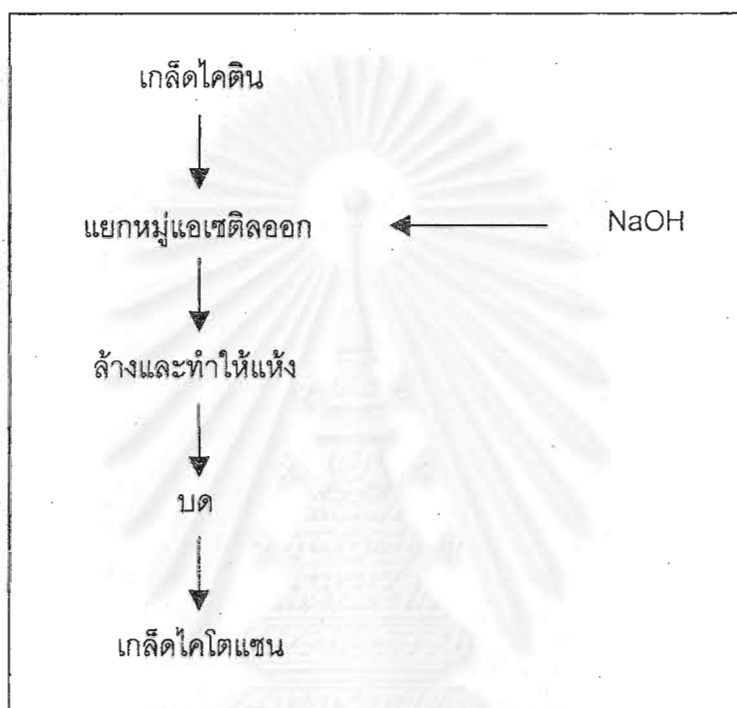
ขั้นตอนการกำจัดโปรตีนโดยการใช้สารละลายต่าง ส่วนมากนิยมใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้มีการใช้สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ มีรายงานอ้างอิงใน [2] ว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดโปรตีน คือ 11.5 นอกจากนี้พบว่า การลดขนาดของวัตถุดิบมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการกำจัดโปรตีน นอกจากการใช้สารละลายต่างในการกำจัดโปรตีนแล้วยังมีการใช้เอนไซม์ในการกำจัดโปรตีนด้วย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

### 2.2.4 การกำจัดสีและไขมัน

ขั้นตอนการกำจัดสีและไขมันโดยมากนิยมใช้ตัวทำละลายต่างๆ เช่น อีทิลอะซิเตต อะซิโตน และอีเทอร์ หรือสารละลายเปอร์มังกานेट ซึ่งขั้นตอนการกำจัดสีและไขมัน อาจทำในระหว่างขั้นตอนการกำจัดแร่ธาตุและโปรตีน หรือภายหลังจากการกำจัดแร่ธาตุและโปรตีนแล้ว อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนการกำจัดสีและไขมันนี้ไม่จำเป็นต้องทำก็ได้

## 2.3 กระบวนการเตรียมโคโคแซน [2]

กระบวนการเตรียมโคโคแซน มีขั้นตอนหลักอยู่เพียงขั้นตอนเดียว คือ ขั้นตอนการกำจัดหมู่ Acetyl (Deacetylation) ในโคโคติน ด้วยสารละลายต่างร้อน สำหรับขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการเตรียมโคโคแซน แสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนทั่วไปของกระบวนการเตรียมโคโคแซน

## 2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของโคโคแซน [2]

### 2.4.1 ชนิดของสารละลายต่าง

โดยทั่วไปสารละลายต่างที่นิยมใช้ในการกำจัดหมู่แอสติลในโคโคตินคือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้ ได้แก่ สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ แต่การใช้สารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ในการกำจัดหมู่แอสติลมีผลทำให้ได้สารละลายโคโคแซนที่มีความหนืดดีว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

### 2.4.2 ความเข้มข้นของสารละลายต่าง

โดยทั่วไปนิยมใช้ต่างในรูปของสารละลายกำจัดหมู่แอสติล โดยทั่วไปมีความเข้มข้นอยู่ในช่วงร้อยละ 40 – 60 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังมีการใช้ต่างในรูปอื่น เช่น Alkali fusion โดยหลอมโคโคติน 30 กรัม กับโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 150 กรัม ใน Nickel crucible ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน



นอกจากนี้ได้มีการเตรียมโคโตแซนในหลอดทดลอง โดยผสมโคติน 10 – 50 มิลลิกรัม กับไซเดียมไฮดรอกไซด์ 400 มิลลิกรัม และ Benzenethiol 100 มิลลิกรัม ละลายในน้ำ 1 มิลลิลิตร แล้วใช้ความร้อนภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน มีรายงานอ้างอิงใน [2] ว่า การใช้สารละลายต่างที่มีความเข้มข้นสูงเกินไป จะทำให้โคโตแซนที่ผลิตได้สูญเสียสภาพธรรมชาติได้ เนื่องจากสภาวะที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซทิลเป็นสภาวะที่รุนแรง ทั้งอุณหภูมิที่สูงและเวลาค่อนข้างนาน แต่การใช้สารละลายต่างที่มีความเข้มข้นต่ำเกินไป มีผลต่อสมบัติการละลายของโคโตแซนในสารละลายกรดอ่อน โดยจะทำให้ละลายได้ยากขึ้นหรือไม่สามารถละลายได้เลย

#### 2.4.3 อุณหภูมิในการกำจัดหมู่แอเซทิล

อุณหภูมิในการกำจัดหมู่แอเซทิลโดยมากมักจะทำที่อุณหภูมิต่ำกว่าสูง ได้แก่ ที่อุณหภูมิ 80 – 100 องศาเซลเซียส และที่สูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เช่น 145 – 150 องศาเซลเซียส มีรายงานอ้างอิงใน [2] ว่า อัตราเร็วในการทำ Deacetylation ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส มากกว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เกือบ 2 เท่าตัว แต่ที่อุณหภูมิสูง คือที่ 110 องศาเซลเซียส จะทำให้โคโตแซนที่มีมวลโมเลกุลลดลง และการใช้อุณหภูมิในการกำจัดหมู่แอเซทิลที่สูงเกินไปจะทำให้โคโตแซนที่ผลิตได้เสียสภาพธรรมชาติ และโมเลกุลของโคโตแซนเกิดปฏิกิริยา Degradation ทำให้มีมวลโมเลกุลลดลง ถ้าใช้ความเข้มข้นของสารละลายต่างสูงขึ้น อุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซทิลควรจะลดลง เพื่อไม่ให้สภาวะที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซทิลรุนแรงเกินไป

#### 2.4.4 เวลาในการกำจัดหมู่แอเซทิล

ได้มีการศึกษา [2] ผลของเวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซทิลในการผลิตโคโตแซนโดยใช้เวลาต่างๆ ดังนี้ คือ 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซทิลมากขึ้น โคโตแซนจะมีปริมาณหมู่แอเซทิลและขนาดของมวลโมเลกุลลดลง แต่มี Charge density สูงขึ้น และพบว่า การใช้เวลามากกว่า 2 ชั่วโมง ไม่ได้มีผลต่อการเพิ่ม Degree of deacetylation มากนัก เวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซทิลเป็นปัจจัยที่ใช้ในการแบ่งเกรด (Grade) หรือคุณภาพต่างๆ อย่างไรก็ตาม เวลาที่ใช้ในการกำจัดหมู่แอเซทิล ขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการกำจัดหมู่แอเซทิล เช่น ความเข้มข้นของสารละลายต่าง และอุณหภูมิ เป็นต้น

#### 2.4.5 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation)

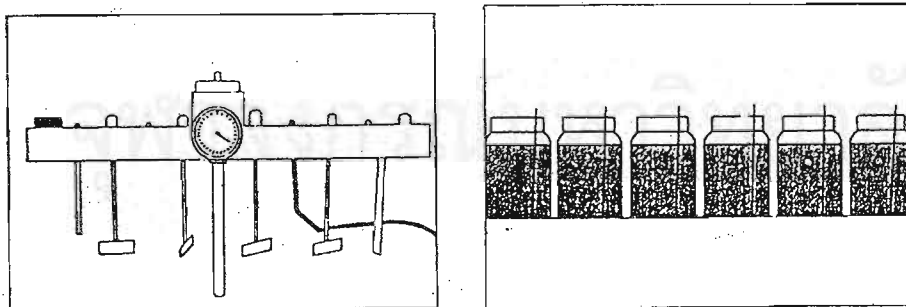
มีรายงานอ้างอิงใน [2] ว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากออกซิเจนในอากาศ มีผลต่อขนาดของโมเลกุลของโคโตแซน โดยถ้ามีปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นหรือมีก๊าซออกซิเจนปรากฏในขั้นตอน

ระหว่างการกำจัดหมู่แอเซติลจะทำให้โคโคแซนเกิดปฏิกิริยา Degradation ได้ ทำให้โคโคแซนที่ผลิตได้มีมวลโมเลกุลลดลง มีการศึกษา [2] ผลของปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้นตอนการกำจัดหมู่แอเซติล โดยเติม Oxidizing agent เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าทำให้โคโคแซนที่ผลิตได้มีความหนืดลดลง ดังนั้นในขั้นตอนการกำจัดหมู่แอเซติลจึงจำเป็นต้องทำภายใต้บรรยากาศของก๊าซเฉื่อย ได้แก่ ก๊าซไนโตรเจน มีการทดลอง [2] พบว่า โคโคแซนที่ผลิตภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจนมีขนาดโมเลกุลและความหนืดสูงกว่าโคโคแซนที่ผลิตภายใต้บรรยากาศธรรมดา นอกจากนี้อาจมีการเติมสารดักจับออกซิเจน เช่น Thiophenol ซึ่งนอกจากสามารถดักจับออกซิเจนแล้วยังมีผลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาอีกด้วย

## 2.5 วิธีจาร์เทสต์

การควบคุมสถานะที่เหมาะสมสำหรับการเกิดโคแอกกูเลชันสามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ โดยวิธีจาร์เทสต์ (Jar test) และวิธีวัดศักย์ไฟฟ้าซีตาโพเทนเชียล (Zeta potential) การควบคุมโดยการวัดศักย์ไฟฟ้านี้ ไม่ได้รับความนิยมมากนัก เนื่องจากอุปกรณ์มีราคาแพงและการวัดต้องอาศัยความชำนาญมาก [6]

วิธีควบคุมโคแอกกูเลชัน ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดและใช้กันมานานแล้วคือ วิธีจาร์เทสต์ ซึ่งเป็นวิธีทดสอบในบีกเกอร์ (Beaker) เครื่องมือทดสอบเป็นเครื่องกวนที่ปรับความเร็วรอบได้ ซึ่งส่วนมากมักมีใบพัดกวนน้ำ 6 ใบ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ในการทดลองแต่ละครั้งจะเลือกชนิดของสารเคมีและกำหนดสถานะต่างๆ ซึ่งได้แก่ ปริมาตรของตัวอย่างน้ำ ความเร็วรอบและระยะเวลาการกวนน้ำ (ทั้งกวนเร็วและกวนช้า) และระยะเวลาตกตะกอน จากนั้นจึงทดลองโดยเติมสารเคมีในปริมาณต่างๆ ลงในบีกเกอร์ แต่ละใบ ระดับพีเอชอาจรักษาให้คงที่หรือแปรเปลี่ยน ทั้งนี้แล้วแต่ความมุ่งหมายของการทำจาร์เทสต์



รูปที่ 2.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำจาร์เทสต์ [6]

ขั้นตอนต่างๆ ในการทำจารทดสอบ อาจเป็นดังนี้

1. วิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำตัวอย่างก่อนการบำบัด ตามที่กำหนด
2. เติมน้ำตัวอย่าง 600 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์แต่ละใบ และเติมสารเคมีที่ใช้เป็นโคแอกกูแลนต์ ลงไปในแก้ว ตามปริมาณที่ต้องการใช้ (โดยเติมสารเคมีเมื่อมีการกวนเร็วเกิดขึ้นแล้ว)
3. กวนน้ำและสารเคมีอย่างรวดเร็ว (ความเร็ว 100 รอบต่อนาที) เป็นเวลา 1 นาที
4. กวนอย่างช้า (ความเร็ว 30 รอบต่อนาที) เป็นเวลา 20 นาที (ระยะเวลาการกวนช้าอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามแต่จุดมุ่งหมายของการทำจารทดสอบ)
5. จุดบันทึกเวลาที่เริ่มมีฟลอค (กลุ่มตะกอน) ปรากฏให้เห็น
6. ทิ้งให้ตกตะกอน (โดยปิดเครื่องกวน) ตามเวลาที่กำหนด
7. ใช้ปิเปตดูดเอาแต่น้ำใสออกจากแก้วโดยไม่ให้กระเทือนถึงตะกอนที่จมอยู่ก้นแก้ว
8. วิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำหลังการตกตะกอน
9. พล็อตกราฟระหว่างปริมาณสารเคมีที่ใช้กับพารามิเตอร์ เพื่อหาปริมาณสารเคมีที่สามารถกำจัดได้มากที่สุด

## 2.6 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม [7]

กรมโรงงานอุตสาหกรรมได้กำหนดมาตรฐานไอออนโลหะหนักในน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานอุตสาหกรรม ดังต่อไปนี้

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

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ (2540) [8] เตรียมโคโคไตแทนจากหัวกุ้งดังนี้ 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 แยกหมู่แอสเตดิลด้วยการทำปฏิกิริยากับ 50% w/v NaOH ในอัตราส่วน 1:15 ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้ยีสต์โคโคไตแทนปริมาณ 28.6% ประกอบด้วย ซีเถ้า 0.16%

ไนโตรเจน 7.9% มี Degree of deacetylation เท่ากับ 82.04% การละลายของโคโคแซนใน 0.5% Acetic acid สมบูรณ์ 100% ความหนืด 1372 เซนติพอยส์ มีคุณสมบัติเด่นชัดเกี่ยวกับโคโคแซนที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ เมื่อนำไปดูดซับโลหะหนักในน้ำทิ้งของอุตสาหกรรมชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ให้ประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนของ  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  และ  $\text{Zn}^{2+}$  เท่ากับ 70.00%, 10.12% และ 20.49% ตามลำดับ

อรุณี เทอดเทพพิทักษ์ (2534) [1] แสดงผลการวิเคราะห์หาปริมาณการดูดซับของโลหะโคโคตินและโคโคแซนที่ผลิตได้ พบว่า ไอออนโลหะ  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ , และ  $\text{Cd}^{2+}$  ถูกดูดซับโดยโคโคตินเท่ากับ  $7.0 \times 10^{-3}$ ,  $3.4 \times 10^{-2}$ , 0.01 - 0.07 และ 0.01 - 0.07 มิลลิโมลต่อกรัม ตามลำดับ และโดยโคโคแซนเท่ากับ  $7.0 \times 10^{-3}$ ,  $6.2 \times 10^{-2}$ , 0.01 - 0.07, 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) [9] ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์ของโคโคแซนดักจับไอออนตะกั่วในน้ำเสียโดยศึกษาความเป็นกรด-ด่าง ความเข้มข้นและรูปแบบของโคโคแซนที่ใช้ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการจับไอออนตะกั่วสูงสุดโดยใช้รูปแบบของสารละลายตะกั่วที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการในการทดลองและนำผลที่ได้ไปทดลองใช้ดักจับไอออนตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ผลจากการทดลองพบว่า โคโคแซนสามารถลดระดับไอออนตะกั่วในน้ำได้ ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการดักจับไอออนตะกั่วคือ 6 และ 7 เมื่อความเข้มข้นของโคโคแซนสูงขึ้นประสิทธิภาพในการดักจับไอออนตะกั่วจะสูงขึ้นด้วย โคโคแซนมีประสิทธิภาพในการดักจับไอออนตะกั่วได้ดีกว่าสารละลายโคโคแซน เมื่อนำโคโคแซนไปทดลองใช้ดักจับไอออนตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมพบว่าสามารถลดได้ แต่ประสิทธิภาพจะต่ำกว่าเมื่อทดลองใช้กับสารละลายตะกั่วที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในน้ำเสียอาจมีไอออนของโลหะอื่นที่สามารถแย่งจับกับโคโคแซนได้ด้วย

Nyein Nyien Auns (1998) [10] ได้ศึกษาผลกระทบความเป็นกรด-ด่าง ขนาดของอนุภาค อุณหภูมิ ความเร็วในการกวน โดยพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักบนโคโคแซนคือ 5.5, 6.0 และ 4.0 และสภาวะความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการคายการดูดซับคือ 2.4, 2.5 และ 2.5 สำหรับ  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{2+}$  และ  $\text{Pb}^{2+}$  ตามลำดับ ได้ผลการศึกษากับ  $\text{Cu}^{2+}$  เป็นดังนี้ ขนาดของอนุภาคโคโคแซนเท่ากับ 710 และ 425  $\mu\text{m}$  สามารถดูดซับไอออนทองแดงได้ 2 และ 7 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับจากสารละลายความเข้มข้นสมมูล 1 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดลองที่ความเข้มข้นสมมูล 0.5

มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถดูดซับไอออนทองแดงได้ 6.5 และ 11 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่อุณหภูมิ 37.5 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ การทดลองกับสารละลายความเข้มข้นสมมูลของไอออนทองแดงเท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อทำการรวนที่ความเร็ว 50 และ 250 รอบต่อนาที ปริมาณไอออนทองแดงที่ถูกดูดซับไว้เท่ากับ 16 และ 17 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ในกรณีการคายการดูดซับ เมื่อปริมาณไอออนทองแดงที่ถูกดูดซับเริ่มต้นเท่ากับ 2.5 มิลลิกรัมต่อกรัม ปริมาณไอออนทองแดงที่คายออกจากอนุภาคไคโตแซนขนาด 710 และ 425  $\mu\text{m}$  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 การทดลองกับปริมาณไอออนทองแดงที่ถูกดูดซับเริ่มต้นเท่ากับ 17 มิลลิกรัมต่อกรัม ปริมาณไอออนทองแดงที่คายออกเท่ากับ 1.9 และ 10 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อทำการรวนที่ความเร็ว 50 และ 250 รอบต่อนาที ตามลำดับ ได้สรุปได้ว่าแนวโน้มของ  $\text{Cr}^{2+}$  กับ  $\text{Pb}^{2+}$  เป็นไปในทำนองเดียวกัน โดยขนาดอนุภาคที่เล็กลง อุณหภูมิที่สูงขึ้น และความเร็วในการรวนที่สูงขึ้นทำให้ทั้งการดูดซับและการคายการดูดซับดีขึ้น

Yoshiichi Asao และคณะ (1986) [11] ได้ทำการทดลองกำจัดไอออนปรอทจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้อนุพันธ์ไคโตแซนไม่ละลายน้ำ N-dithiocarboxy chitosan alkali metal salt เป็นสารตกตะกอน โดยเตรียมจากการใช้ไคโตแซนที่มีระดับการกำจัดหมู่แอสเตดิล 85% ทำปฏิกิริยากับ  $\text{CS}_2$  และ Alkali metal hydroxide ที่อุณหภูมิ 5 – 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 – 48 ชั่วโมง จะได้อนุพันธ์ไคโตแซนที่มีกำมะถันประกอบอยู่ 4 – 25% เมื่อนำมากำจัดไอออนปรอทในน้ำเสียมีความเข้มข้น 100 ppm ด้วย 0.1 กรัม ของ N-dithiocarboxy chitosan Na salt ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จะเหลือไอออนปรอทน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5 ส่วนในพันล้านส่วน

Yoshiichi Asao และคณะ (1987) [12] ได้ทำการทดลองใช้อนุพันธ์ไคโตแซนชนิดละลายน้ำ N-dithiocarboxy chitosan (I) salt เพื่อกำจัดโลหะหนัก ได้แก่  $\text{Hg}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , และ  $\text{Pb}^{2+}$  จากน้ำเสียอุตสาหกรรม โดยได้จากการทำปฏิกิริยาของไคโตแซนที่มีระดับการกำจัดหมู่แอสเตดิลร้อยละ 90 น้ำหนักโมเลกุล 16,000 กับสารละลายผสมของ  $\text{CS}_2$ ,  $\text{NaOH}$  และน้ำ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากกรองแล้วผสมกับอะซีโตน ล้างออกด้วยเมธานอล และทำให้แห้ง จะได้ผลิตภัณฑ์เกลือโซเดียมของอนุพันธ์ไคโตแซนเป็นผงสีเหลืองอ่อน ที่ประกอบด้วยกำมะถันร้อยละ 13.8 มีระดับการแทนที่เท่ากับ 0.5 ต่อหน่วยกลูโคซามีน นำผงมาละลายในน้ำให้ได้ความเข้มข้นร้อยละ 10 เติมสารละลายดังกล่าวปริมาณ 1.8 มิลลิลิตร ลงในน้ำเสียปริมาณ 200 มิลลิลิตร ที่พีเอชเท่ากับ 3.5

ซึ่งมีไอออนแคดเมียมเข้มข้น 100 ส่วนในล้านส่วน ทำการกวนที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังการกรองจะสามารถกำจัดไอออนแคดเมียมได้เหลือความเข้มข้นน้อยกว่า 0.05 ส่วนในล้านส่วน

Catherine A. Eiden และคณะ (1980) [13] ได้ศึกษาอันตรกิริยาการดูดซับของ  $Pb^{2+}$  และ  $Cr^{3+}$  บนไคตินและไคโตแซน พบว่าการดูดซับเฉลี่ยของ  $Pb^{2+}$  บนไคโตแซนเท่ากับ  $(1.9 \pm 0.1) \times 10^{-4}$  โมลต่อกรัมของไคโตแซน และการดูดซับเฉลี่ยของ  $Pb^{2+}$  บนไคตินเท่ากับ  $3.9 \times 10^{-5}$  โมลต่อกรัมของไคติน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 21 ของความสามารถการดูดซับของไคโตแซน เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของจำนวนอะตอมไนโตรเจนในพอลิเมอร์ต่อจำนวนของโลหะหนักที่ถูกดูดซับ สำหรับ  $Pb^{2+}$  บนไคตินและไคโตแซน (N/Pb ratio) เท่ากับ 0.5 และ 11 ตามลำดับ สำหรับ  $Cr^{3+}$  ถูกดูดซับโดยไคโตแซนได้อย่างมาก และทำให้ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายของ  $Cr^{3+}$  ที่อยู่ในสภาวะสมดุลกับไคโตแซนเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยค่าการดูดซับเฉลี่ยของ  $Cr^{3+}$  บนไคโตแซนเท่ากับ 2.5 โมลต่อกรัมของไคโตแซน โดยมีค่า N/Cr ratio เท่ากับ 18

Gordon McKay และคณะ (1989) [14] ได้ศึกษาการดูดซับของไอออนโลหะ 4 ชนิด ได้แก่  $Hg^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  และ  $Zn^{2+}$  บนไคโตแซน พบว่าการดูดซับเป็นแบบ Monolayer มีค่าเท่ากับ 815, 222, 115 และ 164 มิลลิกรัมต่อกรัมของไคโตแซนตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้ไคโตแซนมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 710 – 1000  $\mu m$

John R. Deans และคณะ (1992) [15] ได้สังเคราะห์ไบโอพอลิเมอร์หลายชนิด ได้แก่ Cellulose, Alginate, Chitin, Chitosan, Carrageenan และอนุพันธ์ Carboxymethyl และ Hydroxamic acid ของไบโอพอลิเมอร์ข้างต้น แล้วทดสอบประสิทธิภาพการกำจัด  $Pb^{2+}$  และ  $Cu^{2+}$  จากน้ำสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นในระดับส่วนในล้านส่วน พบว่าไม่มีไบโอพอลิเมอร์เพียงชนิดเดียวที่ดีที่สุดในการดูดซับไอออนโลหะทุกชนิด สำหรับ  $Cu^{2+}$  ที่ความเข้มข้น 10 และ 100 ส่วนในล้านส่วน ตัวดูดซับที่ดีที่สุดคือ Carboxymethyl chitosan และสำหรับ  $Pb^{2+}$  ตัวดูดซับที่ดีที่สุดคือ Carboxymethyl cellulose hydroxamic acid และได้กล่าวว่าไคโตแซนเป็นทางเลือกที่ดีมากในการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม

บทที่ 3  
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์หลักในการทดลองและเครื่องมือวิเคราะห์ มีรายการดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์การทดลองและเครื่องมือวิเคราะห์หลัก

รายการ	วัตถุประสงค์	สถานที่
อุปกรณ์จาร์เทสต์	หาปริมาณโคโตนและพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนัก	ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ฯ
ชุดปฏิกรณ์แบบ 4 คอ	สังเคราะห์โคตินและโคโตนจากเปลือกกุ้งและกระดองปู	ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ฯ
เครื่อง Brookfield	วิเคราะห์สมบัติด้านค่าความหนืดของสารละลายโคโตน	ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ฯ
เครื่องวัดพีเอช	วัดค่าพีเอช	ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ฯ
เครื่อง Gel Permeation Chromatography	วิเคราะห์สมบัติด้านมวลโมเลกุลเฉลี่ยของโคโตน	ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
เครื่อง NMR Spectroscopy	วิเคราะห์หรือยลผลการกำจัดหมู่แอสเซทิล	ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer/Flame type	วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก	สถาบันราชภัฏ สอนดุสิต

3.2 การดำเนินการวิจัย

การวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การสกัดเกล็ดโคโตนจากเปลือกกุ้งและกระดองปู การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนัก และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเกล็ดโคโตนในการดูดซับโลหะหนัก รูปแบบของการวิจัยขั้นตอนต่างๆ เป็นดังนี้

3.2.1 การเตรียมเกล็ดโคโตนจากเปลือกกุ้งและกระดองปู

วิธีการเตรียมเกล็ดโคโตนจากเปลือกกุ้งและกระดองปูในการวิจัยนี้ ใช้สภาวะที่เหมาะสมตามการศึกษาของเยาวภา [2] ซึ่งมีขั้นตอนประกอบด้วย การเตรียมโคติน ที่ประกอบด้วย การกำจัดโปรตีน การกำจัดแร่ธาตุ การกำจัดสีและไขมัน และการเตรียมโคโตนโดยการกำจัดหมู่แอสเซทิล ดังขั้นตอนในรูปที่ 3.1 ดังนี้

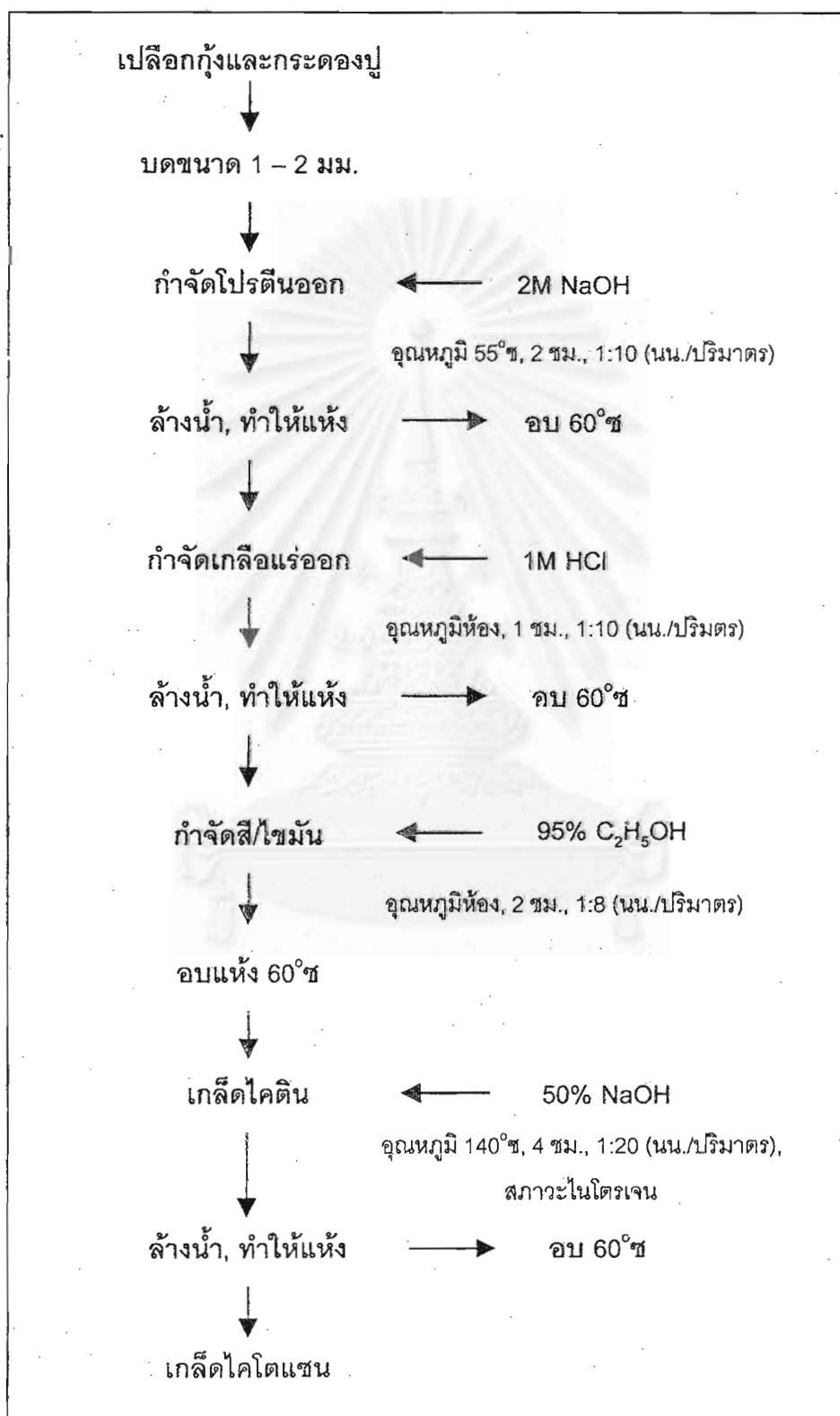
- 1) นำเปลือกกุ้งอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้ง ซึ่งใช้เวลาประมาณ 8 – 10 ชั่วโมง
- 2) นำเปลือกกุ้งในข้อ 1) มาทำการบดให้มีขนาดประมาณ 1 – 2 มิลลิเมตร
- 3) นำเปลือกกุ้งในข้อ 2) ผสมกับสารละลายไซโตียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 2 โมลาร์ ในอัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้งต่อสารละลายต่าง 1:10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง รอให้เย็นแล้วนำไปล้างด้วยน้ำจนเป็นกลาง แยกเฉพาะส่วนของเปลือกกุ้งทำให้สะเด็ดน้ำ นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้ง
- 4) นำเปลือกกุ้งในข้อ 3) ผสมกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ในอัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้งต่อสารละลายกรด 1:10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปล้างด้วยน้ำจนเป็นกลาง แยกเฉพาะส่วนของเปลือกกุ้งทำให้สะเด็ดน้ำ นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้ง
- 5) นำเปลือกกุ้งในข้อ 4) ผสมกับเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วนระหว่างเปลือกกุ้งต่อเอทานอล 1:8 (น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แยกเฉพาะส่วนของเปลือกกุ้งแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้ง ได้เกล็ดไคติน
- 6) นำเกล็ดไคตินที่ได้จากข้อ 5) ผสมกับสารละลายไซโตียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วนระหว่างไคตินต่อสารละลายต่าง 1:20 (น้ำหนักต่อปริมาตร) นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน รอให้เย็นแล้วนำไปล้างด้วยน้ำจนเป็นกลาง นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนแห้ง สิ่งที่ได้คือ เกล็ดไคโตแซน สำหรับใช้เป็นตัวดูดซับโลหะหนักในงานวิจัยนี้
- 7) ทำการทดลองในข้อ 1) ถึง 6) ซ้ำ โดยเปลี่ยนวัตถุดิบจากเปลือกกุ้งเป็นกระดองปู
- 8) วิเคราะห์สมบัติของเกล็ดไคโตแซนที่เตรียมได้ ได้แก่ น้ำหนักโมเลกุล ความหนืด และร้อยละการกำจัดหมู่แอสติล

### 3.2.2 การวิเคราะห์ความหนืดของสารละลายไคโตแซน

ในการวิเคราะห์สมบัติค่าความหนืดต้องเตรียมให้อยู่ในสภาพของสารละลายไคโตแซน โดยเตรียมสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก จากกรดอะซิติกเข้มข้น สำหรับใช้เป็นตัวทำละลายเกล็ดไคโตแซนเพื่อเตรียมเป็นสารละลายไคโตแซนร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก โดยละลายเกล็ดไคโตแซนจำนวน 1 กรัม ด้วยสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ปริมาณ 99 กรัม กวน



จนละลายหมด ตั้งทิ้งไว้ให้หมดฟองอากาศ จากนั้นจึงวัดโดยเครื่อง Brookfield ด้วยเข็มเบอร์ 3 ความเร็วรอบ 30 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 วินาที



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมเกล็ดไคโตแซนจากเปลือกกุ้งและกระดองปู

### 3.2.3 การศึกษาหาพีเอชและปริมาณเกลือโคโคแทนที่เหมาะสมในการดูดซับอออนโลหะหนัก

การกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ การเตรียมน้ำ การหาพีเอชที่เหมาะสม การหาปริมาณการใช้เกลือโคโคแทนที่เหมาะสมในการดูดซับอออนโลหะหนัก ขั้นตอนต่างๆ เป็นดังนี้

#### ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมน้ำ

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

#### ขั้นตอนที่ 2 การหาพีเอชที่เหมาะสม

1. นำน้ำตัวอย่างที่แต่ละค่าพีเอชจากขั้นตอนที่ 1 ปริมาตร 400 มิลลิลิตร ลงในแต่ละบีกเกอร์จำนวน 6 ใบ แล้วจัดวางบนเครื่องทดสอบจาร์เทสต์
2. เติมเกลือโคโคแทนที่สกัดได้ลงในบีกเกอร์แต่ละใบ 0.7 กรัม เท่าๆกัน สำหรับน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียเสมดำ และเติมโคโคแทน 1.0 กรัม เท่าๆกัน สำหรับน้ำเสียจากบริษัทสยามแปดเตอรี่อินดัสทรีจำกัด บริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์จำกัด น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 และ 2 กรนสารละลายที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที แล้วกรนช้าที่ความเร็ว 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนในสภาวะสงบนิ่งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้การดูดซับอออนโลหะหนักอยู่ในสภาวะสมดุล
3. เก็บตัวอย่างส่วนน้ำใส นำไปวิเคราะห์ปริมาณอออนโลหะหนัก เพื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดอออนโลหะหนักที่ดีที่สุด เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจค่าพีเอชที่เหมาะสม
4. ทำการทดลองตั้งแต่การเตรียมน้ำซ้ำ เมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชศึกษา เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุด ในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำตัวอย่าง

#### ขั้นตอนที่ 3 การหาปริมาณการใช้เกลือโคโคแทนที่เหมาะสมในการดูดซับอออนโลหะหนัก

1. ตวงน้ำตัวอย่างปริมาตร 400 มิลลิลิตร หลังจากขั้นตอนการเตรียมน้ำ ที่ค่าพีเอชซึ่งได้จากขั้นตอนที่ 2 ลงในบีกเกอร์จำนวน 6 ใบ จัดวางบนเครื่องทดสอบจาร์เทสต์
2. เติมเกลือโคโคแทนปริมาณต่างๆ กันลงในบีกเกอร์แต่ละใบ

3. กวนสารละลายที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที แล้วกวนซ้ำที่ความเร็ว 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนในสภาวะสงบนิ่ง
4. เก็บตัวอย่างส่วนน้ำใสในเวลาต่างๆ นำไปวิเคราะห์ปริมาณอิออนโลหะหนัก เพื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดอิออนโลหะหนักที่ดีที่สุด เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ ปริมาณการใช้เกล็ดโคโคไธเซนและเวลาที่เหมาะสม
5. ทำการทดลองในข้อ 1 ถึง 4 ซ้ำ เมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้เกล็ดโคโคไธเซน เพื่อหาปริมาณการใช้เกล็ดโคโคไธเซนที่เหมาะสมที่สุด ในการกำจัดอิออนโลหะหนักในน้ำตัวอย่าง

ทดสอบความสามารถในการดูดซับอิออนโลหะหนักโดยวิธีจาร์เทสเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ดังต่อไปนี้

ก. ตัวแปรอิสระ ได้แก่

- 1) ชนิดของเกล็ดโคโคไธเซนที่สกัดมาจากเปลือกกุ้งและกระดองปู
- 2) ชนิดของน้ำตัวอย่าง ได้แก่ น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมี
- 3) พีเอชของน้ำตัวอย่าง ในการวิจัยนี้จะทำการศึกษาที่พีเอช 4, 5, 5.5, 6, 7 และ 8
- 4) ปริมาณของเกล็ดโคโคไธเซนที่ใช้
- 5) เวลาในการเก็บน้ำตัวอย่าง

ข. ตัวแปรตาม ได้แก่ ปริมาณอิออนโลหะหนักที่เหลือของน้ำตัวอย่าง

ค. ตัวแปรคงที่ ได้แก่

- 1) ความเร็วแรงแเดียนท์
- 2) เวลาในการกวน

### 3.2.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเกล็ดโคโคไธเซนในการดูดซับอิออนโลหะหนัก

ผลการศึกษาในขั้นต้นจะนำมาทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเกล็ดโคโคไธเซน ว่ามีความเหมาะสมในการดูดซับอิออนโลหะหนักหรือไม่ โดยจะทำการหาปริมาณอิออนโลหะหนักที่เหลือจากน้ำตัวอย่างด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

การตรวจสอบค่าอิออนทองแดง สังกะสี แคดเมียม และตะกั่ว ใช้วิธี Atomic absorption direct aspiration และการตรวจสอบค่าอิออนปรอท ใช้วิธี Atomic absorption cold vapor technique

บทที่ 4  
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการเตรียมเกล็ดโคโตแซน

4.1.1 ผลการสกัดเกล็ดโคโตแซน

ได้นำเปลือกกุ้งและกระดองปูอบแห้งจำนวนประมาณ 1340 กรัม และ 1350 กรัม มาสกัดเป็นโคตินได้จำนวน 450.2 กรัม และ 541.8 กรัม ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณร้อยละของโคตินเทียบกับเปลือกกุ้งแห้งและกระดองปูแห้งเท่ากับ 33.6 และ 40.1 ตามลำดับ เมื่อนำมาดำเนินกระบวนการกำจัดหมู่เอเซทิล พบว่าได้โคโตแซนปริมาณ 346.3 กรัม และ 403.6 กรัม ตามลำดับ คิดเป็นปริมาณร้อยละของโคโตแซนเทียบกับเปลือกกุ้งแห้งและกระดองปูแห้งเท่ากับ 25.8 และ 29.9 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ใกล้เคียงกับผลการศึกษาก่อนหน้านี้ [2]

ตารางที่ 4.1 ผลการเตรียมเกล็ดโคตินและโคโตแซน

	งานวิจัยนี้						ในเอกสารอ้างอิง [2]	
	เกล็ดโคติน			เกล็ดโคโตแซน			ยลต์โคตินเทียบกับเปลือกแห้ง [%]	ยลต์โคโตแซนเทียบกับเปลือกแห้ง [%]
	น้ำหนักเปลือกแห้ง [กรัม]	ปริมาณโคตินที่สกัดได้ [กรัม]	ยลต์เทียบกับเปลือกแห้ง [%]	ปริมาณโคโตแซนที่สกัดได้ [กรัม]	ยลต์เทียบกับโคติน [%]	ยลต์เทียบกับเปลือกแห้ง [%]		
เปลือกกุ้ง	1340	450.2	33.6	346.3	76.9	25.8	27.8-32.8	21.6-24.3
กระดองปู	1350	541.8	40.1	403.6	74.5	29.9	-	-

4.1.2 สมบัติของโคโตแซน

พารามิเตอร์ที่มักวิเคราะห์เพื่อบ่งบอกสมบัติของโคโตแซน [16–18] ได้แก่ มวลโมเลกุลเฉลี่ย ความหนืด และระดับการกำจัดหมู่เอเซทิล ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2 กล่าวคือ มวลโมเลกุลเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ  $3.3 \times 10^5$  และ  $2.7 \times 10^5$  ดัลดัน ความหนืดมีค่าเท่ากับ 30 และ 12.5 เซนติพอยส์ ระดับการกำจัดหมู่เอเซทิลมีค่าเท่ากับร้อยละ 94 และ 98 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับโคโตแซนเชิงพาณิชย์จัดเป็นโคโตแซนชนิดน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่างต่ำและปานกลาง ความหนืดและน้ำหนักโมเลกุลมีความสัมพันธ์ตามสมการของ Staudinger [20] ดังนี้

$$\log [\eta] = \log [K] + a \times \log [MW] \quad (4.1)$$

เมื่อ  $\eta$  คือความหนืด

a มีค่าตั้งแต่ 0-1 โดยมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อโครงสร้างเรียงตัวเป็นโมเลกุลยาวที่ขดไปมาอย่างสุ่ม และมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อสายโซ่ม้วนตัวเป็นก้อน

K เป็นค่าคงที่ โดยค่าที่สูงกว่าบ่งบอกถึงโครงสร้างของสายโซ่ตรงที่ไม่มีกิ่งก้าน

MW คือน้ำหนักโมเลกุล

เกล็ดโคโคแซนที่ได้จากงานวิจัยนี้ มีค่า  $a=1$  และ  $K=9.1 \times 10^{-5}$  สำหรับโคโคแซน Fluka มีค่า  $a=1$  และค่า  $K=5 \times 10^{-4} - 6.7 \times 10^{-4}$

ตารางที่ 4.2 สมบัติของโคโคแซน

สมบัติ	วิธีวิเคราะห์	หน่วย	งานวิจัยนี้		เอกสารอ้างอิง [2]	โคโคแซนเชิงการค้า Fluka [19]		
			กึ่ง	ปู		ชนิดน้ำหนักโมเลกุลสูง	ชนิดน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง	ชนิดน้ำหนักโมเลกุลต่ำ
มวลโมเลกุลเฉลี่ย	GPC	ดัลตัน	$3.3 \times 10^5$	$2.7 \times 10^5$	-	$6 \times 10^5$	$4 \times 10^5$	$1.5 \times 10^5$
ความหนืด	Brookfield	เซนติพอยส์	30 <sup>a</sup>	12.5 <sup>a</sup>	51-67 <sup>b</sup>	400 <sup>a</sup>	200 <sup>a</sup>	100 <sup>a</sup>
ระดับการกำจัดหมู่แอเซทิล	NMR	%	94	98	91-92	-	-	-

<sup>a</sup> สารละลายโคโคแซนความเข้มข้นร้อยละ 1 ในสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 1

<sup>b</sup> สารละลายโคโคแซนความเข้มข้นร้อยละ 0.5 ในสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 0.5

#### 4.2 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียตัวอย่างเริ่มต้น

น้ำเสียตัวอย่างเริ่มต้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี โดยน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมได้มาจาก 3 แหล่ง คือ ศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ พบว่ามีค่าพีเอชเท่ากับ 3.08 ค่าของอิออนทองแดงเท่ากับ 20.5 ส่วนในล้านส่วน ค่าของอิออนสังกะสีเท่ากับ 108.6 ส่วนในล้านส่วน และค่าของอิออนแคลเซียมเท่ากับ 0.2 ส่วนในล้านส่วน น้ำเสียจากบริษัทสยามเบตเตอร์อินดัสทรีจำกัด มีค่าพีเอชเท่ากับ 0.22 และค่าของอิออนตะกั่วเท่ากับ 2.1 ส่วนในล้านส่วน น้ำเสียจากบริษัทไทยอาชีพเคมีภัณฑ์จำกัด มีค่าพีเอชเท่ากับ 12.13 และค่าของอิออนปรอทเท่ากับ 0.4 ส่วนในล้านส่วน สำหรับน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี ได้มาจาก 2 แหล่ง คือ ห้องปฏิบัติการเคมี 1 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่ามีค่าพีเอชเท่ากับ 0.98 ค่าของอิออนสังกะสีเท่ากับ 54.2 ส่วนใน

ล้านส่วน ค่าของอิออนปรอทเท่ากับ 71.8 ส่วนในล้านส่วน ค่าของอิออนแคดเมียมเท่ากับ 3203 ส่วนในล้านส่วน และค่าของอิออนตะกั่วเท่ากับ 12.2 ส่วนในล้านส่วน และจากห้องปฏิบัติการเคมี 2 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่ามีค่าพีเอชเท่ากับ 0.19 ค่าของอิออนทองแดงเท่ากับ 30.9 ส่วนในล้านส่วน ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียตัวอย่างเริ่มต้นที่ใช้ในงานวิจัย

ประเภทของน้ำเสีย	แหล่งของน้ำเสีย	ชนิดของอิออนโลหะหนัก	ปริมาณอิออนโลหะหนักเริ่มต้น [ส่วนในล้านส่วน]	ค่าพีเอชเริ่มต้น
โรงงานอุตสาหกรรม	ศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ	Cu <sup>2+</sup>	20.5	3.08
		Zn <sup>2+</sup>	108.6	
		Cd <sup>2+</sup>	0.2	
	บ.สยามเบตเตอร์อินดัสทรี จก.	Pb <sup>2+</sup>	2.1	0.22
	บ.ไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์ จก.	Hg <sup>2+</sup>	0.4	12.1
ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ฯ	ห้องปฏิบัติการเคมี 1	Zn <sup>2+</sup>	54.2	0.98
		Hg <sup>2+</sup>	71.8	
		Cd <sup>2+</sup>	3203	
		Pb <sup>2+</sup>	12.2	
	ห้องปฏิบัติการเคมี 2	Cu <sup>2+</sup>	30.9	0.19

#### 4.3 ผลการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโคแตชในการกำจัดอิออนโลหะหนัก

##### 4.3.1 ค่าพีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโคแตชในการกำจัดอิออนโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้มาจาก 3 แหล่ง คือ ศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ บริษัทสยามเบตเตอร์อินดัสทรีจำกัด และบริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์จำกัด ใช้ปริมาณเกล็ดโคโคแตชเพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมต่างกัน คือ 0.7 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร สำหรับน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ และเพิ่มขึ้นเป็น 1 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร สำหรับน้ำเสียจากบริษัทสยามเบตเตอร์อินดัสทรีจำกัด และบริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์จำกัด เพราะประสิทธิภาพในการกำจัดอิออนตะกั่วต่ำ [15] โดยมีพื้นฐานจากงานวิจัยก่อนหน้าที่ใช้ในปริมาณ 0.1 กรัมต่อน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร [8, 10, 15] หรือ 0.2 กรัมต่อน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร [13, 21] หรือ 5 กรัมต่อน้ำเสีย 100 มิลลิลิตร [22] โดยปริมาณการใช้เกล็ดโคโคแตชไม่มีผลต่อการหาค่าพีเอชที่

เหมาะสมแต่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด จึงเลือกใช้ปริมาณดังกล่าวเพื่อทำให้เห็นจุดที่ดีที่สุดชัดเจน

ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียแต่ละแหล่งแสดงได้ดังต่อไปนี้

#### 4.3.1.1 ค่าพีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโคแซนในการกำจัดอิมัลชันโลหะหนักในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ

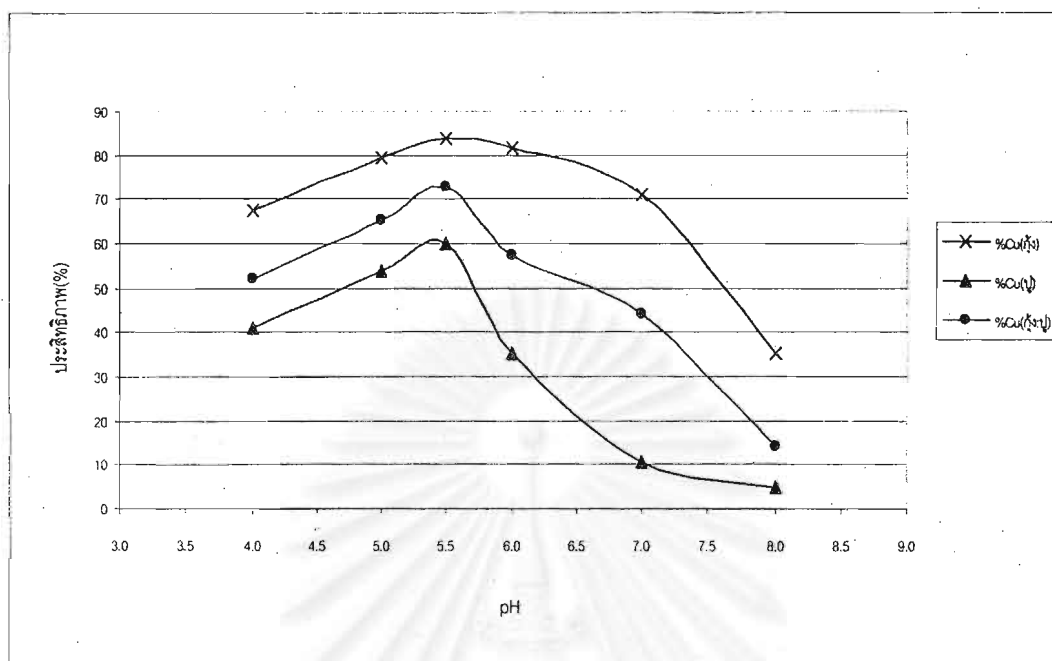
ทำการปรับพีเอชเป็น 4, 5, 5.5, 6, 7 และ 8 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.1–4.3 เมื่อทำการปรับค่าพีเอชในน้ำตัวอย่างตามที่กำหนดไว้ อิมัลชันโลหะหนักบางส่วนจะตกตะกอนเป็นตะกอนไฮดรอกไซด์ออกมา ทำการกรอง นำส่วนน้ำใสวิเคราะห์หาปริมาณอิมัลชันโลหะหนักที่เหลืออยู่เป็นค่าก่อนการบำบัด เติมเกล็ดโคโคแซน 0.7 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร กวนและตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำน้ำตัวอย่างที่ผ่านการบำบัดด้วยเกล็ดโคโคแซนแล้วไปวิเคราะห์หาปริมาณอิมัลชันโลหะหนักที่เหลืออยู่ ผลปรากฏว่า ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดอิมัลชันทองแดงคือ 5.5 ดังรูปที่ 4.1 โดยมีปริมาณอิมัลชันทองแดงก่อนการบำบัดเท่ากับ 4.9 ส่วนในล้านส่วน หลังจากผ่านการบำบัดแล้วจะเหลือปริมาณอิมัลชันทองแดงเท่ากับ 0.8, 2 และ 1.3 ส่วนในล้านส่วน โดยร้อยละของปริมาณอิมัลชันทองแดงที่ลดลงเท่ากับ 83.8, 60.2 และ 72.9 ของเกล็ดโคโคแซนที่เตรียมมาจากกั๋ง ปู และกั๋งผสมปูตามลำดับ ส่วนค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดอิมัลชันสังกะสีคือ 6, 8 และ 7 ดังรูปที่ 4.2 โดยมีปริมาณอิมัลชันสังกะสีก่อนการบำบัดที่พีเอช 6 เท่ากับ 23.4 ส่วนในล้านส่วน หลังจากบำบัดแล้วจะเหลือปริมาณอิมัลชันสังกะสีเท่ากับ 12.1 ส่วนในล้านส่วน ของโคโคแซนที่เตรียมมาจากกั๋ง สำหรับที่ค่าพีเอช 8 มีปริมาณอิมัลชันสังกะสีก่อนการบำบัด 1.5 ส่วนในล้านส่วน หลังจากบำบัดแล้วจะเหลือปริมาณอิมัลชันสังกะสี 0.4 ส่วนในล้านส่วน ของโคโคแซนที่เตรียมมาจากปู และสำหรับกั๋งผสมปูจะอยู่ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 7 มีปริมาณอิมัลชันสังกะสีก่อนการบำบัดเท่ากับ 3.2 ส่วนในล้านส่วน หลังจากบำบัดแล้วจะเหลือปริมาณอิมัลชันสังกะสี 1.7 ส่วนในล้านส่วน โดยร้อยละของปริมาณอิมัลชันสังกะสีที่ลดลงเท่ากับ 48.5, 72 และ 47.4 ของเกล็ดโคโคแซนที่เตรียมมาจากกั๋ง ปู และกั๋งผสมปูตามลำดับ ในการกำจัดอิมัลชันแคดเมียมค่าพีเอชที่เหมาะสมคือ 5.5 ดังรูปที่ 4.3 โดยมีปริมาณแคดเมียมก่อนการบำบัดเท่ากับ 0.1 ส่วนในล้านส่วน หลังจากผ่านการบำบัดแล้วจะเหลือปริมาณอิมัลชันแคดเมียมเท่ากับ 0.05, 0.05 และ 0.05 ส่วนในล้านส่วน โดยร้อยละของปริมาณอิมัลชันแคดเมียมที่ลดลงเท่ากับ 54.9, 59.5 และ 58.6 ของเกล็ดโคโคแซนที่เตรียมมาจากกั๋ง ปู และกั๋งผสมปูตามลำดับ

สรุปได้ว่าเมื่อต้องการกำจัดไอออนโลหะหนักโดยรวมในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ ค่าพีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโคแชนในการกำจัดไอออนโลหะหนัก ควรเลือกที่พีเอชเท่ากับ 5.5 เนื่องจากทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนทองแดงและไอออนแคดเมียมมากกว่าที่พีเอชอื่นๆ ถึงแม้ว่าจะสูญเสียประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนสังกะสีไปบ้าง

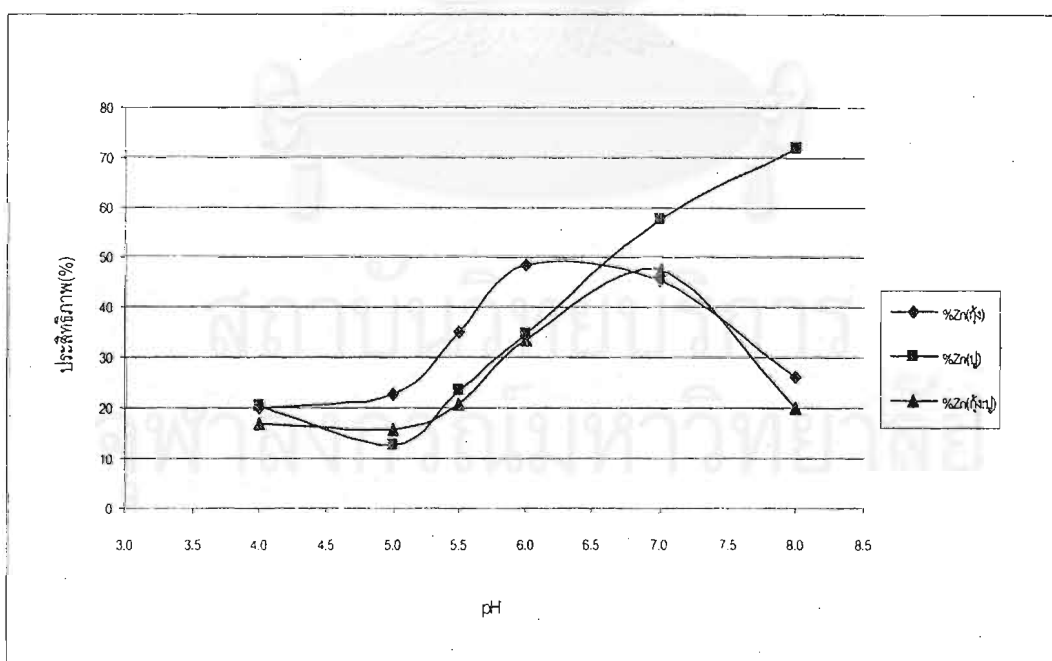
ตารางที่ 4.4 การทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโคแชนในการกำจัดไอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ

พีเอช	ชนิดของไอออนโลหะหนัก	ปริมาณไอออนโลหะหนักก่อนเติมโคโคแชน [ส่วนในล้านส่วน]	ปริมาณไอออนโลหะหนักหลังเติมโคโคแชน 0.7 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร [ส่วนในล้านส่วน]			ประสิทธิภาพการบำบัดของโคโคแชน [%]		
			กั๊ง	ปู	กั๊งผสมปู (1:1)	กั๊ง	ปู	กั๊งผสมปู (1:1)
4.0	Cu <sup>2+</sup>	19.916	6.451	11.77	9.525	67.6	40.9	52.2
	Zn <sup>2+</sup>	103.1	82.4	81.9	85.8	20.1	20.6	16.8
	Cd <sup>2+</sup>	0.106	0.071	0.078	0.074	33	26.4	30.2
5.0	Cu <sup>2+</sup>	16.102	3.304	7.419	5.62	79.5	53.9	65.1
	Zn <sup>2+</sup>	91.1	70.5	79.5	76.8	22.6	12.7	15.7
	Cd <sup>2+</sup>	0.119	0.068	0.068	0.059	42.9	42.9	50.4
5.5	Cu <sup>2+</sup>	4.919	0.796	1.957	1.333	83.8	60.2	72.9
	Zn <sup>2+</sup>	84.3	54.9	64.6	66.7	34.9	23.3	20.9
	Cd <sup>2+</sup>	0.11	0.05	0.045	0.046	54.9	59.5	58.6
6.0	Cu <sup>2+</sup>	0.824	0.153	0.534	0.35	81.4	35.2	57.5
	Zn <sup>2+</sup>	23.4	12.05	15.33	15.6	48.5	34.5	33.3
	Cd <sup>2+</sup>	0.111	0.053	0.06	0.056	52.2	46	49.6
7.0	Cu <sup>2+</sup>	1.059	0.308	0.945	0.594	70.9	10.8	43.9
	Zn <sup>2+</sup>	3.23	1.76	1.37	1.7	45.5	57.6	47.4
	Cd <sup>2+</sup>	0.1	0.051	0.055	0.052	49	45	48
8.0	Cu <sup>2+</sup>	2.496	1.616	2.38	2.145	35.3	4.6	14.1
	Zn <sup>2+</sup>	1.502	1.11	0.42	1.2	26.1	72	20.1
	Cd <sup>2+</sup>	0.105	0.054	0.055	0.056	48.6	47.6	46.7

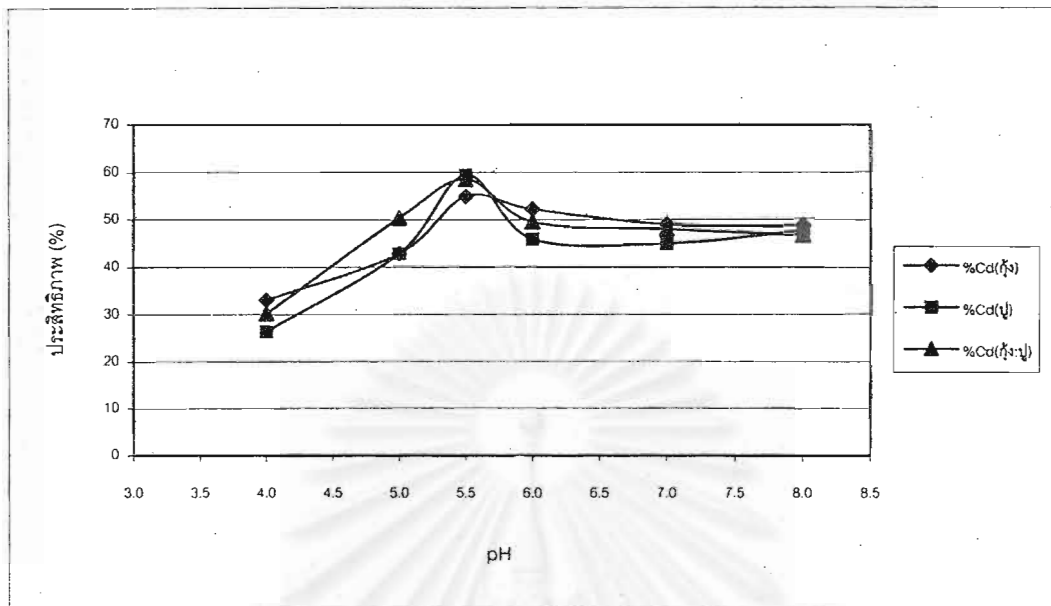




รูปที่ 4.1 พีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโคเตนในการกำจัด  $\text{Cu}^{2+}$  ในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสีย  
แสมดำ



รูปที่ 4.2 พีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโคเตนในการกำจัด  $\text{Zn}^{2+}$  ในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสีย  
แสมดำ



รูปที่ 4.3 พีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโคแชนในการกำจัด  $Cd^{2+}$  ในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสีย  
แสมดำ

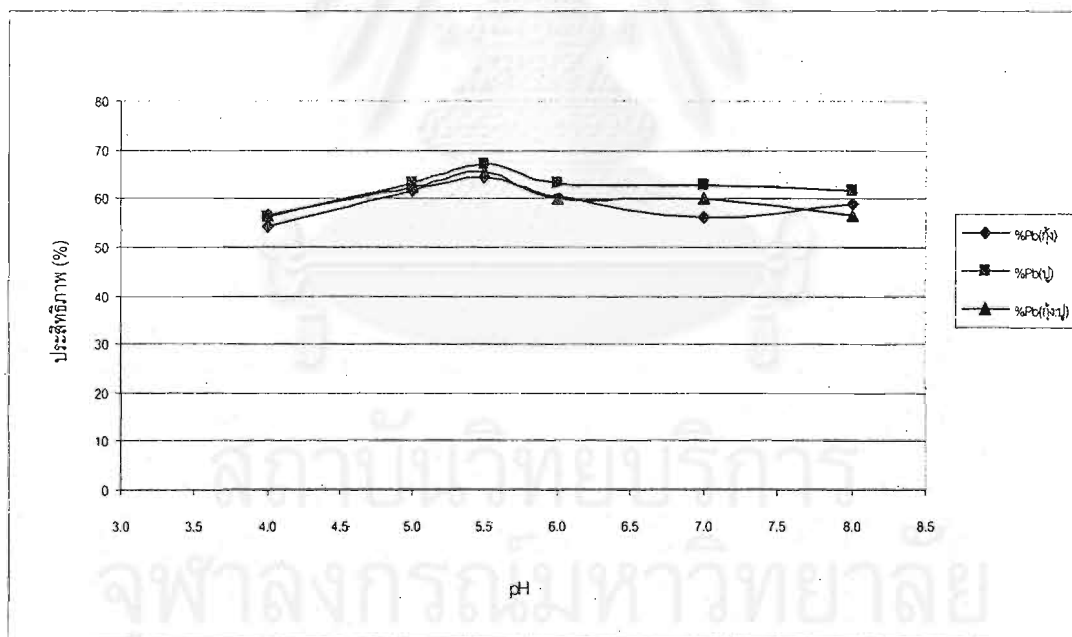
#### 4.3.1.2 ค่าพีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโคแชนในการกำจัดอออนตะกั่วในน้ำเสียจากบริษัทสยาม แบตเตอรี่อินดัสทรีจำกัด

ทำการทดลองในระบบบัจร์เทสต์ ที่ภาวะเดียวกันกับน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ ปริมาณอออนตะกั่วเริ่มต้นในระบบมีค่าเท่ากับ 2.1 ส่วนในล้านส่วน เติมเกล็ดโคโคแชนปริมาณ 1.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ที่ค่าพีเอชต่างๆ ทำการกวนและตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.4

สรุปได้ว่าพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากบริษัทสยามแบตเตอรี่อินดัสทรีจำกัดมีค่าเท่ากับ 5.5 เนื่องจากว่าให้ประสิทธิภาพสูงกว่าที่ค่าพีเอชอื่นๆ ที่ค่าพีเอชนี้มีปริมาณอออนตะกั่วก่อนบำบัดเท่ากับ 2 ส่วนในล้านส่วน หลังจากบำบัดแล้วจะเหลือปริมาณ 0.7, 0.6 และ 0.7 ส่วนในล้านส่วน โดยร้อยละของปริมาณอออนตะกั่วที่ลดลงเท่ากับ 64.4, 67.2 และ 65.7 ของเกล็ดโคโคแชนที่เตรียมมาจากกั๋ง ปู และกั๋งผสมปู ตามลำดับ ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.5 การทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโตแซนในการกำจัด  $Pb^{2+}$  ในน้ำเสียจากบริษัทสยามแบตเตอรี่อินดัสทรีจำกัด

พีเอช	ปริมาณ $Pb^{2+}$ ก่อน เติมโคโตแซน [ส่วนในล้านส่วน]	ปริมาณ $Pb^{2+}$ หลังเติมโคโตแซน 1 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร [ส่วนในล้านส่วน]			ประสิทธิภาพการบำบัดของโคโตแซน [%]		
		กึ่ง	ปู	กึ่งผสมปู (1:1)	กึ่ง	ปู	กึ่งผสมปู (1:1)
4.0	2.103	0.963	0.922	0.914	54.2	56.1	56.5
5.0	2.001	0.767	0.734	0.748	61.7	63.3	62.6
5.5	1.983	0.705	0.65	0.68	64.4	67.2	65.7
6.0	1.858	0.736	0.684	0.74	60.4	63.2	60.2
7.0	1.998	0.877	0.739	0.799	56.1	63	60
8.0	1.974	0.807	0.759	0.86	59.1	61.6	56.4



รูปที่ 4.4 พีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโตแซนในการกำจัด  $Pb^{2+}$  ในน้ำเสียจากบริษัทสยามแบตเตอรี่อินดัสทรีจำกัด

#### 4.3.1.3 ค่าพีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโคแซนในการกำจัดอออนปรอทในน้ำเสียจากบริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์จำกัด

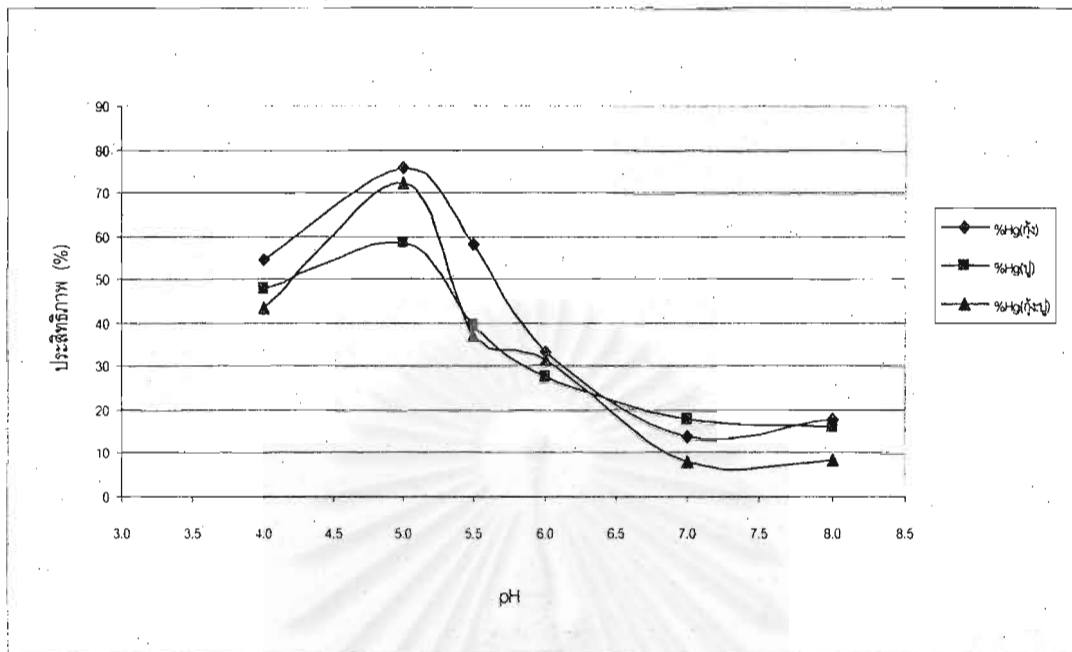
ปริมาณอออนปรอทเริ่มต้นในระบบมีค่าเท่ากับ 0.4 ส่วนในล้านส่วน ผลการศึกษาในระบบจาร์เทสต์เมื่อเติมเกล็ดโคโคแซนปริมาณ 1.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ที่ค่าพีเอชต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.6 การทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโคแซนในการกำจัด  $Hg^{2+}$  ในน้ำเสียจากบริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์จำกัด

พีเอช	ปริมาณ $Hg^{2+}$ ก่อนเติมโคโคแซน [ส่วนในล้านส่วน]	ปริมาณ $Hg^{2+}$ หลังเติมโคโคแซน 1 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร [ส่วนในล้านส่วน]			ประสิทธิภาพการบำบัดของโคโคแซน [%]		
		กึ่ง	ปู	กึ่งผสมปู (1:1)	กึ่ง	ปู	กึ่งผสมปู (1:1)
4.0	0.285	0.13	0.148	0.161	54.4	48.1	43.5
5.0	0.207	0.05	0.086	0.057	75.8	58.4	72.5
5.5	0.225	0.094	0.136	0.141	58.2	39.6	37.3
6.0	0.213	0.142	0.154	0.146	33.3	27.7	31.5
7.0	0.244	0.21	0.201	0.224	13.9	17.6	8.2
8.0	0.298	0.245	0.251	0.251	17.8	15.8	8.4

สรุปว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 5.0 โดยปริมาณอออนปรอทก่อนเติมโคโคแซน 0.2 ส่วนในล้านส่วน เมื่อผ่านการบำบัดแล้วจะเหลืออออนปรอทปริมาณ 0.05, 0.09 และ 0.06 ส่วนในล้านส่วน โดยร้อยละของปริมาณอออนปรอทที่ลดลงเท่ากับ 75.8, 58.4 และ 72.5 ของเกล็ดโคโคแซนที่เตรียมมาจากกึ่ง ปู และกึ่งผสมปู ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 พีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโคแทนในการกำจัด  $Hg^{2+}$  ในน้ำเสียจากบริษัทไทยอาชาฮี้ เคมีภัณฑ์จำกัด

4.3.2 ค่าพีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโคแทนในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ

น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้มาจาก 2 แหล่งคือ น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 และน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2.1 ค่าพีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโคแทนในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1

น้ำเสียที่ได้จากห้องปฏิบัติการเคมี 1 มีความเข้มข้นของอออนโลหะหนักที่สูงมากและมีปริมาณไม่เพียงพอต่องานวิจัย ดังนั้นจึงนำมาเจือจางเป็น 2 เท่า เป็นน้ำเสียดิบของงานวิจัยนี้

ปรับค่าพีเอชน้ำเสียตัวอย่างเป็น 4, 5, 5.5, 6, 7 และ 8 นำส่วนน้ำใสที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณอออนโลหะหนักที่เหลือเป็นค่าก่อนการบำบัด เติมเกล็ดโคโคแทนเพื่อการบำบัด 1.0 กรัม ต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร กวนในระบบจาร์เทสต์แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำส่วนน้ำใสไปวิเคราะห์หาปริมาณอออนโลหะหนักเป็นค่าหลังการบำบัด ดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.6-4.9

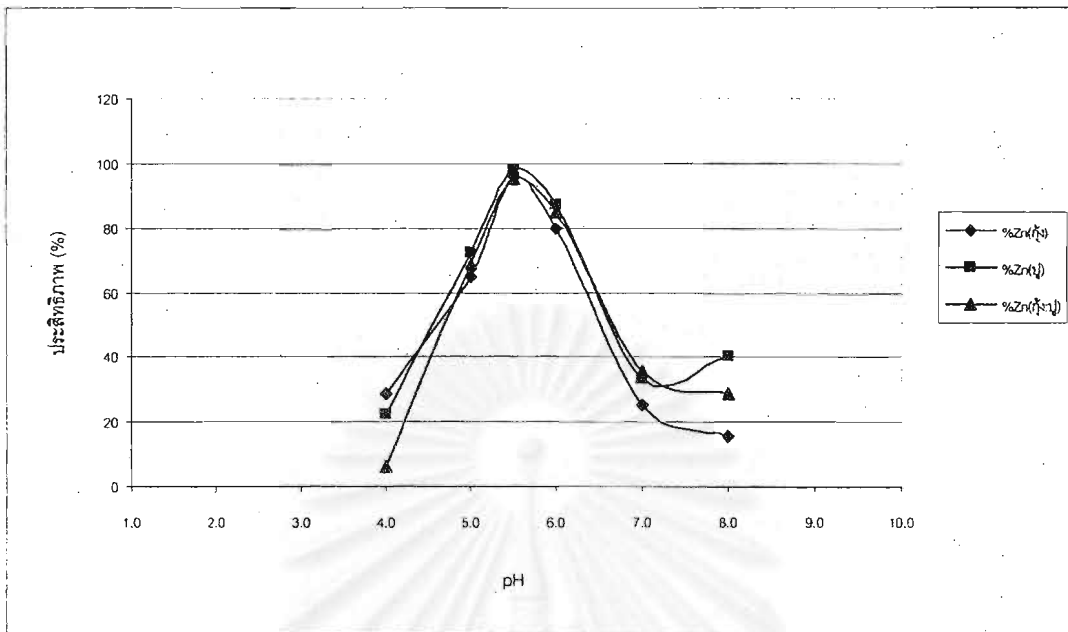
ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 พบไอออนโลหะหนักที่สนใจ 4 ชนิด คือ สังกะสี พรอท แคดเมียม และตะกั่ว โดยไอออนโลหะหนักตัวอื่นที่ปะปนอยู่ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ ปริมาณไอออนโลหะหนักเริ่มต้นในระบบมีสังกะสีเท่ากับ 54.2 ส่วนในล้านส่วน พรอท 71.8 ส่วนในล้านส่วน แคดเมียม 3,203 ส่วนในล้านส่วน และตะกั่ว 12.2 ส่วนในล้านส่วน ดังกล่าวแล้วในตารางที่ 4.3

ผลการทดลองจาร์เทสต์ในตารางที่ 4.7 ปรากฏว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดไอออนสังกะสี คือ 5.5 ดังรูปที่ 4.6 โดยมีปริมาณไอออนสังกะสีก่อนการบำบัดเท่ากับ 8.8 ส่วนในล้านส่วน หลังจากบำบัดแล้วจะเหลือปริมาณไอออนสังกะสีเท่ากับ 0.35, 0.15 และ 0.39 ส่วนในล้านส่วน ร้อยละของปริมาณไอออนสังกะสีที่ลดลงเท่ากับ 96, 98.3 และ 95.5 ของเกล็ดโคโคแซนที่เตรียมมาจากกุ่ม ปู และกุ่มผสมปู ตามลำดับ สำหรับค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดไอออนพรอทคือ 5.5 ดังรูปที่ 4.7 โดยมีปริมาณไอออนพรอทก่อนการบำบัดเท่ากับ 50.5 ส่วนในล้านส่วน หลังจากบำบัดแล้วจะเหลือปริมาณไอออนพรอทเท่ากับ 19.2, 27.2 และ 22.3 ส่วนในล้านส่วน ร้อยละของปริมาณไอออนพรอทที่ลดลงเท่ากับ 61.9, 46.2 และ 55.9 ของเกล็ดโคโคแซนที่เตรียมมาจากกุ่ม ปู และกุ่มผสมปู ตามลำดับ สำหรับค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดไอออนแคดเมียมคือ 7.0 ดังรูปที่ 4.8 โดยมีปริมาณไอออนแคดเมียมก่อนการบำบัดเท่ากับ 70.7 ส่วนในล้านส่วน หลังจากบำบัดแล้วจะเหลือปริมาณไอออนแคดเมียมเท่ากับ 15.9, 45 และ 31.8 ส่วนในล้านส่วน ร้อยละของปริมาณไอออนแคดเมียมที่ลดลงเท่ากับ 77.5, 36.4 และ 55.1 ของเกล็ดโคโคแซนที่เตรียมมาจากกุ่ม ปู และกุ่มผสมปู ตามลำดับ และค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดไอออนตะกั่วคือ 5.5 ดังรูปที่ 4.9 ซึ่งมีปริมาณไอออนตะกั่วก่อนการบำบัดเท่ากับ 0.55 ส่วนในล้านส่วน หลังจากบำบัดแล้วจะเหลือปริมาณไอออนตะกั่วเท่ากับ 0.27, 0.27 และ 0.26 ส่วนในล้านส่วน ร้อยละของปริมาณไอออนตะกั่วที่ลดลงเท่ากับ 51.3, 50.4 และ 52.5 ของเกล็ดโคโคแซนที่เตรียมมาจากกุ่ม ปู และกุ่มผสมปู ตามลำดับ จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนพรอทและไอออนแคดเมียมของเกล็ดโคโคแซนที่เตรียมมาจากกุ่มจะสูงกว่าเกล็ดโคโคแซนที่เตรียมมาจากปู สำหรับการกำจัดไอออนสังกะสีและไอออนตะกั่วโดยเกล็ดโคโคแซนที่เตรียมมาจากกุ่มและปูจะให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน

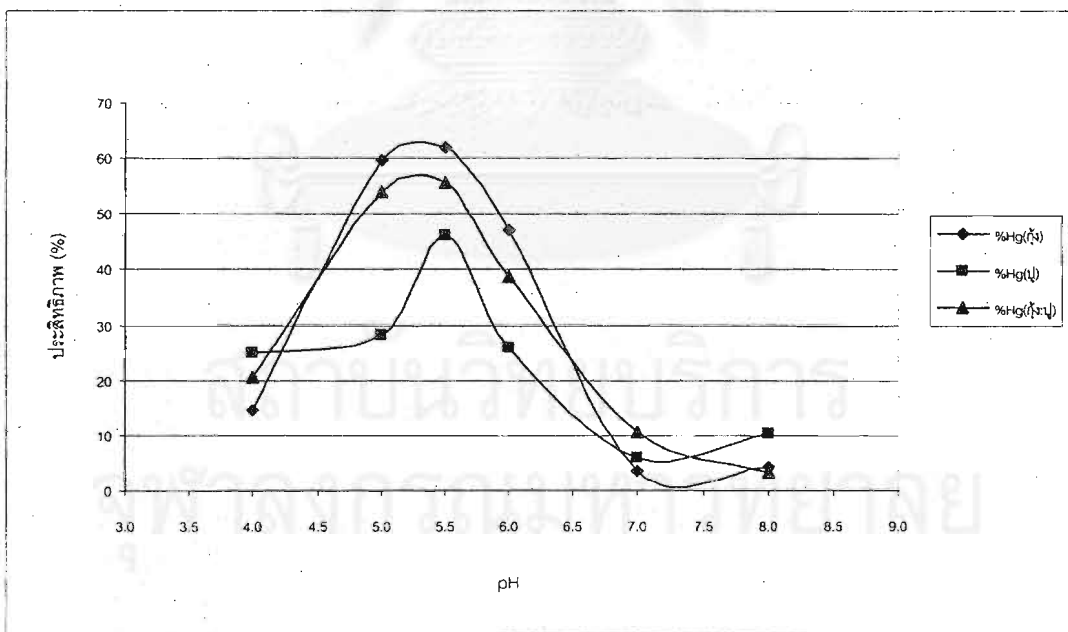
สรุปได้ว่า เมื่อต้องทำการกำจัดไอออนโลหะหนักโดยรวมในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ควรเลือกที่พีเอชเท่ากับ 5.5 เนื่องจากทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนสังกะสี พรอท และตะกั่ว มากกว่าที่พีเอชอื่นๆ ถึงแม้ว่าจะสูญเสียประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนแคดเมียมไปบ้าง

ตารางที่ 4.7 การทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโตแซนในการกำจัดอ๊อนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1

พีเอช	ชนิดของอ๊อนโลหะหนัก	ปริมาณอ๊อนโลหะหนักก่อนเติมโคโตแซน [ส่วนในล้านส่วน]	ปริมาณอ๊อนโลหะหนักหลังเติมโคโตแซน 1 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร [ส่วนในล้านส่วน]			ประสิทธิภาพการบำบัดของโคโตแซน [%]		
			กึ่ง	ปุ	กึ่งผสมปุ (1:1)	กึ่ง	ปุ	กึ่งผสมปุ (1:1)
4.0	Zn <sup>2+</sup>	49.3	35.1	38.3	46.2	28.8	22.3	6.3
	Hg <sup>2+</sup>	70.06	59.75	52.61	55.69	14.7	24.9	20.5
	Cd <sup>2+</sup>	3181	3093	2977	3059	2.8	6.4	3.8
	Pb <sup>2+</sup>	5.69	5.015	4.56	4.58	11.9	19.9	19.5
5.0	Zn <sup>2+</sup>	23.2	8.12	6.41	7.22	65	72.4	68.9
	Hg <sup>2+</sup>	61.35	24.59	44	28.08	59.8	28.3	54.2
	Cd <sup>2+</sup>	2643	2358	2494	2378	10.8	5.6	10
	Pb <sup>2+</sup>	0.532	0.407	0.384	0.416	23.5	27.8	21.8
5.5	Zn <sup>2+</sup>	8.82	0.354	0.147	0.393	96	98.3	95.5
	Hg <sup>2+</sup>	50.53	19.23	27.17	22.3	61.9	46.2	55.9
	Cd <sup>2+</sup>	1288	854	1096	985	54.7	14.9	23.5
	Pb <sup>2+</sup>	0.554	0.27	0.275	0.263	51.3	50.4	52.5
6.0	Zn <sup>2+</sup>	0.678	0.138	0.088	0.103	79.6	87	84.8
	Hg <sup>2+</sup>	38.43	20.3	28.46	23.51	47.2	25.9	38.8
	Cd <sup>2+</sup>	539.8	212	393.6	290	60.7	27.1	46.3
	Pb <sup>2+</sup>	0.331	0.217	0.256	0.221	34.4	22.7	33.2
7.0	Zn <sup>2+</sup>	0.115	0.108	0.097	0.093	25.5	33.1	35.9
	Hg <sup>2+</sup>	18.98	18.27	17.85	16.99	3.7	5.9	10.5
	Cd <sup>2+</sup>	70.75	15.9	44.96	31.76	77.5	36.4	55.1
	Pb <sup>2+</sup>	0.309	0.19	0.233	0.213	38.5	24.6	31.1
8.0	Zn <sup>2+</sup>	0.103	0.097	0.069	0.082	15.6	40	28.7
	Hg <sup>2+</sup>	9.57	9.171	8.584	9.258	4.2	10.3	3.3
	Cd <sup>2+</sup>	6.61	1.545	4.6	3.376	76.6	30.4	48.9
	Pb <sup>2+</sup>	0.265	0.232	0.203	0.226	12.4	23.4	14.7

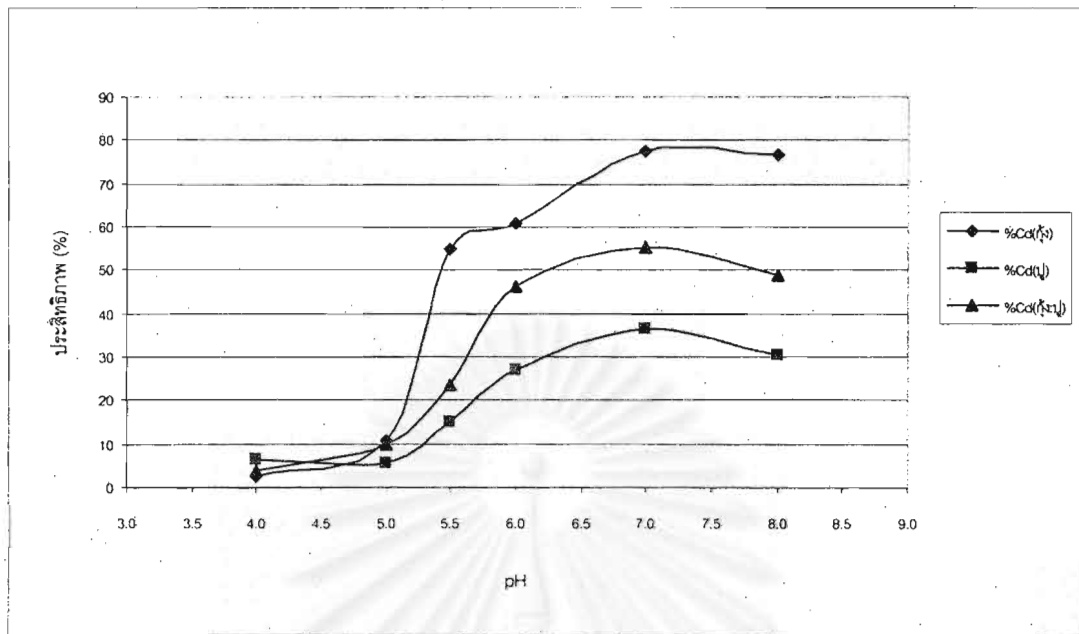


รูปที่ 4.6 พีเอชที่เหมาะสมของเกสต์โคโคโตแทนในการกำจัด  $Zn^{2+}$  ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1

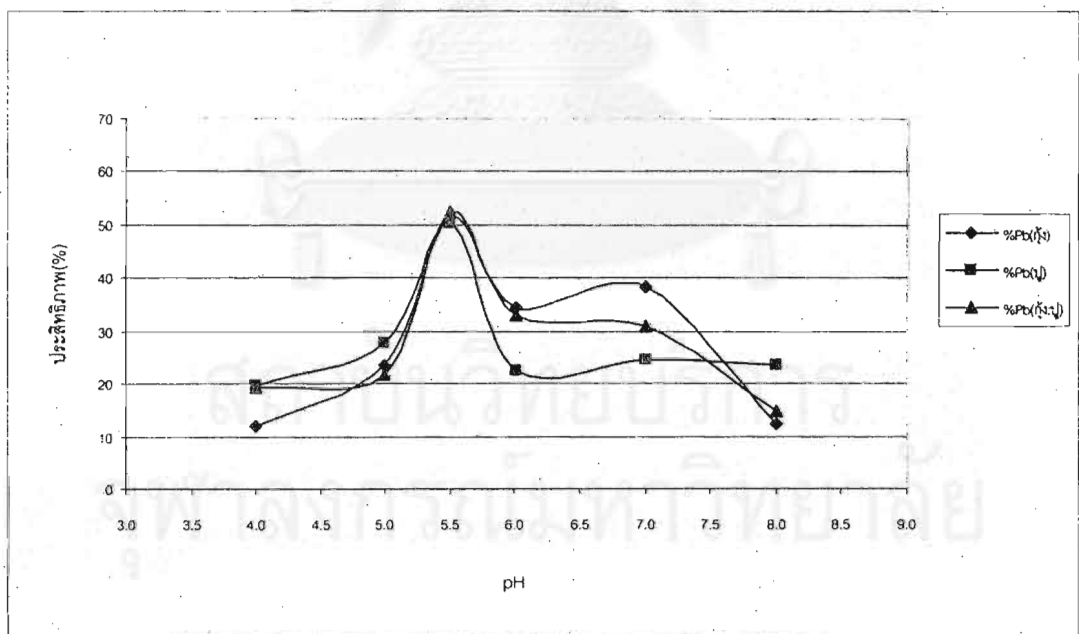


รูปที่ 4.7 พีเอชที่เหมาะสมของเกสต์โคโคโตแทนในการกำจัด  $Hg^{2+}$  ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1





รูปที่ 4.8 พิกซ์ที่เหมาะสมของเกล็ดโคโคแซนในการกำจัด  $\text{Cd}^{2+}$  ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1



รูปที่ 4.9 พิกซ์ที่เหมาะสมของเกล็ดโคโคแซนในการกำจัด  $\text{Pb}^{2+}$  ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1

#### 4.3.2.2 ค่าพีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโคเตแซนในการกำจัดอ๊อนทองแดงในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2

ปริมาณอ๊อนทองแดงเริ่มต้นในระบบมีค่าเท่ากับ 30.9 ส่วนในล้านส่วน ทำการบำบัดโดยใช้เกล็ดโคโคเตแซน 1 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ที่ค่าพีเอชต่างๆ ทำการกวนในระบบจาร์เทสต์แล้วทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.10

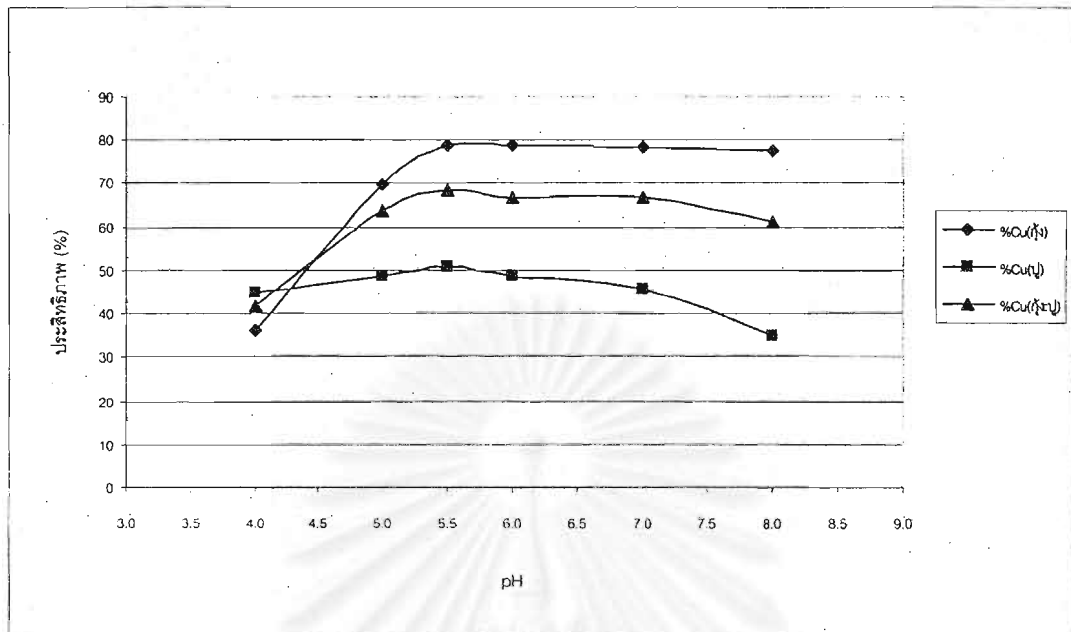
สรุปว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียคือ 5.5 โดยปริมาณอ๊อนทองแดงก่อนเติมเกล็ดโคโคเตแซนเท่ากับ 29.6 ส่วนในล้านส่วน เมื่อผ่านการบำบัดแล้วจะเหลือปริมาณอ๊อนทองแดง 6.3, 14.5 และ 9.3 ส่วนในล้านส่วน พบว่าร้อยละของปริมาณอ๊อนทองแดงที่ลดลงเท่ากับ 78.8, 50.9 และ 68.5 ของเกล็ดโคโคเตแซนที่เตรียมมาจากกึ่ง ปู และกึ่งผสมปู ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 การทดลองจาร์เทสต์เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโคเตแซนในการกำจัด  $\text{Cu}^{2+}$  ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2

พีเอช	ปริมาณ $\text{Cu}^{2+}$ ก่อนเติมโคโคเตแซน [ส่วนในล้านส่วน]	ปริมาณ $\text{Cu}^{2+}$ หลังเติมโคโคเตแซน 1 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร [ส่วนในล้านส่วน]			ประสิทธิภาพการบำบัดของโคโคเตแซน [%]		
		กึ่ง	ปู	กึ่งผสมปู (1:1)	กึ่ง	ปู	กึ่งผสมปู (1:1)
4.0	29.26	18.7	16.106	17.046	36.1	45	41.7
5.0	29.72	9.132	15.29	10.75	69.3	48.6	63.8
5.5	29.56	6.273	14.52	9.315	78.8	50.9	68.5
6.0	28.9	6.147	14.86	9.573	78.7	48.6	66.9
7.0	27.78	6.024	15.13	9.202	78.3	45.5	66.9
8.0	23.22	5.222	15.09	9.032	77.5	35	61.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 4.10 พีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโคไธแซนในการกำจัด  $\text{Cu}^{2+}$  ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2

#### 4.4 ผลการศึกษาปริมาณเกล็ดโคโคไธแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนัก

เมื่อได้ค่าพีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโคไธแซนในการกำจัดอออนโลหะหนักแต่ละชนิดจากน้ำเสียแหล่งต่างๆ ดังกล่าวในหัวข้อ 4.3 แล้ว ทำการทดลองหาปริมาณเกล็ดโคโคไธแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนักเหล่านั้นต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร เพื่อให้น้ำเสียที่ได้มีปริมาณอออนโลหะหนักอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากในการทดลองได้นำน้ำเสียดิบจำนวนใหม่มาทำการปรับค่าพีเอชให้ได้ค่าพีเอชที่เหมาะสมตามหัวข้อ 4.3 ทำให้ปริมาณอออนโลหะหนักที่เหลือก่อนการเติมเกล็ดโคโคไธแซนอาจไม่เท่ากับที่กล่าวในหัวข้อ 4.3 ปริมาณเกล็ดโคโคไธแซนที่เหมาะสมพิจารณาจากปริมาณการใช้เกล็ดโคโคไธแซนและเวลาในการตกตะกอนที่น้อยที่สุดที่ต้องการในการบำบัดอออนโลหะหนักแต่ละชนิดให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง เนื่องจากพบว่าโดยทั่วไปเมื่อใช้ปริมาณเกล็ดโคโคไธแซนเพิ่มขึ้น หรือเพิ่มเวลาในการตกตะกอนนานขึ้น ประสิทธิภาพในการดูดซับอออนโลหะหนักจะสูงขึ้นด้วย จากนั้นจึงพิจารณาปริมาณเกล็ดโคโคไธแซนที่เหมาะสมในภาพรวมสำหรับน้ำเสียจากแต่ละแหล่งที่ทำให้ได้คุณภาพน้ำหลังการบำบัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งๆ

4.4.1 ปริมาณเกล็ดโคโคแทนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

4.4.1.1 ปริมาณเกล็ดโคโคแทนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ

ในการกำจัดอออนทองแดงที่พีเอช 5.5 ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกล็ดโคโคแทนที่ใช้อยู่ในช่วง 0.4–1.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ดังตารางที่ 1–3 ในภาคผนวก ก และรูปที่ 1–3 ในภาคผนวก ข ปริมาณอออนทองแดงหลังจากปรับพีเอชก่อนการเติมเกล็ดโคโคแทนมีค่าเท่ากับ 2.4 ส่วนในล้านส่วน พบว่าปริมาณเกล็ดโคโคแทนที่เหมาะสมในการบำบัดเท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.5 กรัม เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณอออนทองแดงเหลือ 0.6, 0.8 และ 0.5 ส่วนในล้านส่วน พบว่าร้อยละของปริมาณอออนทองแดงที่ลดลงเท่ากับ 76.4, 65.2 และ 77.8 ของเกล็ดโคโคแทนที่สกัดมาจากกุ่ม ปู และกุ่มผสมปู ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.9

ในการกำจัดอออนสังกะสีที่พีเอช 6.0 ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกล็ดโคโคแทนที่ใช้อยู่ในช่วง 1.0–3.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ดังตารางที่ 4–6 ในภาคผนวก ก และรูปที่ 4–6 ในภาคผนวก ข ปริมาณอออนสังกะสีหลังจากปรับพีเอชก่อนการเติมเกล็ดโคโคแทนมีค่าเท่ากับ 52.7 ส่วนในล้านส่วน พบว่าปริมาณเกล็ดโคโคแทนที่เหมาะสมในการบำบัดเท่ากับ 3.0, 1.6 และ 3.0 กรัม เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 72, 24 และ 24 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณอออนสังกะสีเหลือ 3.4, 2.4 และ 2.3 ส่วนในล้านส่วน พบว่าร้อยละของปริมาณอออนสังกะสีที่ลดลงเท่ากับ 93.5, 95.5 และ 95.7 ของเกล็ดโคโคแทนที่เตรียมมาจากกุ่ม ปู และกุ่มผสมปู ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.9 มีข้อสังเกตว่าจากตารางที่ 4.4 ค่าพีเอชที่เหมาะสมของเกล็ดโคโคแทนที่เตรียมมาจากปูและกุ่มผสมปูอยู่ที่ 8.0 และ 7.0 แต่เนื่องจากว่าทั้งสองภาวะนี้มีปริมาณอออนสังกะสีน้อยกว่า 5 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งเป็นเกณฑ์ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง โดยไม่ได้ใช้เกล็ดโคโคแทนเข้ามาในการบำบัด ดังนั้นจึงเลือกที่ค่าพีเอชเท่ากับ 6.0 เพื่อดูประสิทธิภาพการทำงานของเกล็ดโคโคแทน 3 ชนิด

ในการกำจัดอออนแคดเมียมที่พีเอช 5.5 ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกล็ดโคโคแทนที่ใช้ในช่วง 1.5–2.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ดังตารางที่ 7–9 ในภาคผนวก ก และรูปที่ 7–9 ในภาคผนวก ข ปริมาณอออนแคดเมียมหลังจากปรับพีเอชมีค่าเท่ากับ 0.1 ส่วนในล้านส่วน พบว่าปริมาณเกล็ดโคโคแทนที่เหมาะสมในการบำบัดเท่ากับ 1.5 กรัม เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณอออนแคดเมียมเหลือ 0.02, 0.02 และ 0.03 ส่วนในล้านส่วน ร้อยละของปริมาณอออนแคดเมียมที่ลดลงเท่ากับ 77.9, 79.8 และ 73.1 ของเกล็ดโคโคแทนที่สกัดมาจากกุ่ม ปู และกุ่มผสมปู ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.9

โดยสรุป ในการกำจัดไอออนโลหะหนักในน้ำเสียโดยรวมจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ ควรใช้เกล็ดโคโตแซนปริมาณ 1.5 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร ที่ค่าพีเอช 5.5 ทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะทำให้ปริมาณไอออนโลหะหนักของทองแดงและแคดเมียมสามารถผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม (1.0 และ 0.03 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ) โดยมีร้อยละของปริมาณไอออนทองแดงที่ลดลงมากกว่า 77.1 และร้อยละของปริมาณไอออนแคดเมียมที่ลดลงอยู่ในช่วง 73.1–79.8 แต่ร้อยละของปริมาณไอออนสังกะสีที่ลดลงอยู่ในช่วง 66.4–95.5 ถ้าจะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไอออนสังกะสีมากขึ้นต้องเพิ่มปริมาณเกล็ดโคโตแซน เนื่องจากปริมาณไอออนสังกะสีเริ่มต้นมีปริมาณที่สูงมาก หรือหลังจากบำบัดด้วยเกล็ดโคโตแซนที่ค่าพีเอช 5.5 แล้ว ให้ทำการปรับค่าพีเอชในน้ำเสียเป็น 7.0 ปริมาณไอออนสังกะสีที่ได้ก็จะผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ (5 ส่วนในล้านส่วน) (จากผลในตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.9 ปริมาณเกล็ดโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดไอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ

	ชนิดของเกล็ดโคโตแซน	พีเอชในการบำบัดเท่ากับ 5.5		พีเอชในการบำบัดเท่ากับ 6.0
		Cu <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>
ปริมาณไอออนโลหะหนัก ก่อนเติมโคโตแซน [ส่วนในล้านส่วน]		2.375	0.104	52.7
ปริมาณโคโตแซนที่ใช้ [กรัม]	กึ่ง	0.4	1.5	3
	ปู	0.5		1.6
	กึ่งผสมปู (1:1)	0.5		3
เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]	กึ่ง	24	24	72
	ปู			24
	กึ่งผสมปู (1:1)			24
ปริมาณไอออนโลหะหนัก หลังเติมโคโตแซน [ส่วนในล้านส่วน]	กึ่ง	0.56	0.023	3.42
	ปู	0.827	0.021	2.37
	กึ่งผสมปู (1:1)	0.526	0.028	2.28
ประสิทธิภาพ [%]	กึ่ง	76.4	77.9	93.5
	ปู	65.2	79.8	95.5
	กึ่งผสมปู (1:1)	77.8	73.1	95.7

หมายเหตุ: ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานของ Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup> เท่ากับ 1, 5, 0.03 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ

#### 4.4.1.2 ปริมาณเกล็ดโคโคแทนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนตะกั่วในน้ำเสียจากบริษัทสยาม

แบบเตอรือินดัสทรีจำกัด

ในการกำจัดอออนตะกั่วที่พีเอช 5.5 ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกล็ดโคโคแทนที่ใช้ดังนี้ 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9 และ 2.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ดังตารางที่ 10-12 ในภาคผนวก ก และรูปที่ 10-12 ในภาคผนวก ข ปริมาณอออนตะกั่วหลังจากปรับพีเอชก่อนการเติมเกล็ดโคโคแทนมีค่าเท่ากับ 2,019.3 ส่วนในพันล้านส่วน พบว่าปริมาณเกล็ดโคโคแทนที่เหมาะสมในการบำบัดเท่ากับ 1.7, 1.6 และ 1.7 กรัม เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณอออนตะกั่วเหลือ 194.8, 186.5 และ 191.1 ส่วนในพันล้านส่วน ร้อยละของปริมาณอออนตะกั่วที่ลดลงเท่ากับ 90.3, 90.8 และ 90.5 ของเกล็ดโคโคแทนที่เตรียมมาจากกั๋ง ปู และกั๋งผสมปู ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.10

#### ตารางที่ 4.10 ปริมาณเกล็ดโคโคแทนที่เหมาะสมในการกำจัด $Pb^{2+}$ ในน้ำเสียจากบริษัทสยาม

แบบเตอรือินดัสทรีจำกัด

	ชนิดของเกล็ดโคโคแทน	พีเอชในการบำบัดเท่ากับ 5.5
ปริมาณอออนโลหะหนักก่อนเติมโคโคแทน [ส่วนในพันล้านส่วน]		2019.3
ปริมาณโคโคแทนที่ใช้ [กรัม]	กั๋ง	1.7
	ปู	1.6
	กั๋งผสมปู (1:1)	1.7
เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]	กั๋ง	24
	ปู	
	กั๋งผสมปู (1:1)	
ปริมาณอออนโลหะหนักหลังเติมโคโคแทน [ส่วนในพันล้านส่วน]	กั๋ง	194.77
	ปู	186.48
	กั๋งผสมปู (1:1)	191.11
ประสิทธิภาพ [%]	กั๋ง	90.3
	ปู	90.8
	กั๋งผสมปู (1:1)	90.5

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

#### 4.4.1.3 ปริมาณเกล็ดโคโคเดแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนปรอทในน้ำเสียจากบริษัทไทยอาซาอีเคมีภัณฑ์จำกัด

ในการกำจัดอออนปรอทที่พีเอช 5 ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกล็ดโคโคเดแซนที่ใช้ในช่วง 1.2-2.2 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ดังตารางที่ 13-15 ในภาคผนวก ก และรูปที่ 13-15 ในภาคผนวก ข ปริมาณอออนปรอทหลังจากปรับพีเอชก่อนการเติมเกล็ดโคโคเดแซนมีค่าเท่ากับ 218.1 ส่วนในพันล้านส่วน พบว่าปริมาณเกล็ดโคโคเดแซนที่เหมาะสมในการบำบัดเท่ากับ 2.0, 2.2 และ 2.2 กรัม เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณอออนปรอทเหลือ 4.3, 4.7 และ 4.5 ส่วนในพันล้านส่วน ร้อยละของปริมาณอออนปรอทที่ลดลงเท่ากับ 98.0, 97.8 และ 97.9 ของเกล็ดโคโคเดแซนที่เตรียมมาจากกึ่ง ปู และกึ่งผสมปู ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.11

#### ตารางที่ 4.11 ปริมาณเกล็ดโคโคเดแซนที่เหมาะสมในการกำจัด $Hg^{2+}$ ในน้ำเสียจากบริษัทไทยอาซาอีเคมีภัณฑ์จำกัด

	ชนิดของเกล็ดโคโคเดแซน	พีเอชในการบำบัดเท่ากับ 5
ปริมาณอออนโลหะหนักก่อนเติมโคโคเดแซน [ส่วนในพันล้านส่วน]		218.15
ปริมาณโคโคเดแซนที่ใช้ [กรัม]	กึ่ง	2
	ปู	2.2
	กึ่งผสมปู (1:1)	2.2
เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]	กึ่ง	24
	ปู	
	กึ่งผสมปู (1:1)	
ปริมาณอออนโลหะหนักหลังเติมโคโคเดแซน [ส่วนในพันล้านส่วน]	กึ่ง	4.31
	ปู	4.73
	กึ่งผสมปู (1:1)	4.5
ประสิทธิภาพ [%]	กึ่ง	98
	ปู	97.8
	กึ่งผสมปู (1:1)	97.9

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

4.4.2 ปริมาณเกล็ดโคโคเดแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ

4.4.2.1 ปริมาณเกล็ดโคโคเดแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1

ในการกำจัดอออนสังกะสีที่พีเอช 5.5 ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกล็ดโคโคเดแซนที่ใช้ดังนี้ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ดังตารางที่ 16-18 ในภาคผนวก ก และรูปที่ 16-18 ในภาคผนวก ข ปริมาณอออนสังกะสีหลังจากปรับพีเอชก่อนการเติมเกล็ดโคโคเดแซนมีค่าเท่ากับ 12.3 ส่วนในล้านส่วน พบว่าปริมาณเกล็ดโคโคเดแซนที่เหมาะสมในการบำบัดเท่ากับ 0.5 กรัม เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 30 นาที สามารถลดปริมาณอออนสังกะสีเหลือ 1.4, 0.8 และ 1 ส่วนในล้านส่วน ร้อยละของปริมาณอออนสังกะสีที่ลดลงเท่ากับ 88.8, 93.6 และ 91.8 ของเกล็ดโคโคเดแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง ปู และกุ้งผสมปู ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.12

ในการกำจัดอออนปรอทที่พีเอช 5.5 ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกล็ดโคโคเดแซนที่ใช้ดังนี้ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ดังตารางที่ 19-21 ในภาคผนวก ก และรูปที่ 19-21 ในภาคผนวก ข ปริมาณอออนปรอทหลังจากปรับพีเอชก่อนการเติมเกล็ดโคโคเดแซนมีค่าเท่ากับ 56 ส่วนในล้านส่วน พบว่าปริมาณเกล็ดโคโคเดแซนที่เหมาะสมในการบำบัดเท่ากับ 3.0 กรัม เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณอออนปรอทเหลือ 6.4, 17.8 และ 10.7 ส่วนในล้านส่วน โดยร้อยละของปริมาณอออนปรอทที่ลดลงเท่ากับ 88.6, 68.3 และ 80.9 ของเกล็ดโคโคเดแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง ปู และกุ้งผสมปู ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.12 แต่ค่าปริมาณอออนปรอทที่ได้ยังไม่ผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (0.005 ส่วนในล้านส่วน) ถึงแม้ร้อยละการกำจัดอยู่ในเกณฑ์สูง ดังนั้นการบำบัดด้วยเกล็ดโคโคเดแซนเพียงขั้นตอนเดียวจึงไม่เพียงพอ

ในการกำจัดอออนแคดเมียมที่พีเอช 7.0 ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกล็ดโคโคเดแซนที่ใช้ในช่วง 2.5-15.0 กรัมต่อน้ำเสียตัวอย่าง 400 มิลลิลิตร ดังตารางที่ 22-24 ในภาคผนวก ก และรูปที่ 22-24 ในภาคผนวก ข ปริมาณอออนแคดเมียมหลังจากปรับพีเอชก่อนการเติมเกล็ดโคโคเดแซนมีค่าเท่ากับ 133.6 ส่วนในล้านส่วน พบว่าปริมาณเกล็ดโคโคเดแซนที่เหมาะสมในการบำบัดเท่ากับ 10, 15 และ 12 กรัม เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 72 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณอออนแคดเมียมเหลือ 1.1, 6.3 และ 3.5 ส่วนในล้านส่วน โดยร้อยละของปริมาณอออนแคดเมียมที่ลดลงเท่ากับ 99.2, 95.3 และ 97.4 ของเกล็ดโคโคเดแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง ปู และกุ้งผสมปู ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.12 แต่ค่าปริมาณอออนแคดเมียมที่ได้ยังไม่ผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม



กรรม (0.03 ส่วนในล้านส่วน) ดังนั้นการบำบัดด้วยเกล็ดโคโตแซนเพียงชั้นตอนเดียวไม่เพียงพอ เช่นเดียวกับอ็อกซิดอนปรอท

ในการกำจัดอ็อกซิดอนตะกั่วที่พีเอช 5.5 ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณเกล็ดโคโตแซนที่ใช้ดังนี้ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร ดังตารางที่ 25-27 ในภาคผนวก ก และรูปที่ 25-27 ในภาคผนวก ข ปริมาณอ็อกซิดอนตะกั่วหลังจากปรับพีเอชก่อนการเติมเกล็ดโคโตแซนมีค่าเท่ากับ 1.1 ส่วนในล้านส่วน พบว่าปริมาณเกล็ดโคโตแซนที่เหมาะสมในการบำบัดคือ 1.5 กรัม เมื่อทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถลดปริมาณอ็อกซิดอนตะกั่วเหลือ 0.2, 0.2 และ 0.2 ส่วนในล้านส่วน โดยร้อยละของปริมาณอ็อกซิดอนตะกั่วที่ลดลงเท่ากับ 66.4, 67.1 และ 67.6 ของเกล็ดโคโตแซนที่เตรียมมาจากกั๋ง ปู และกั๋งผสมปู ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ปริมาณเกล็ดโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอ็อกซิดอนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1

	ชนิดของเกล็ดโคโตแซน	พีเอชในการบำบัดเท่ากับ 5.5			พีเอชในการบำบัดเท่ากับ 7
		Zn <sup>2+</sup>	Hg <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup>
ปริมาณอ็อกซิดอนโลหะหนักก่อนเติมโคโตแซน [ส่วนในล้านส่วน]		12.27	56.02	1.078	133.6
ปริมาณโคโตแซนที่ใช้ [กรัม]	กั๋ง				10
	ปู	0.5	3	1.5	15
	กั๋งผสมปู (1:1)				12
เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]	กั๋ง				
	ปู	0.5	24	24	72
	กั๋งผสมปู (1:1)				
ปริมาณอ็อกซิดอนโลหะหนักหลังเติมโคโตแซน [ส่วนในล้านส่วน]	กั๋ง	1.375	6.36	0.194	1.08
	ปู	0.782	17.77	0.19	6.3
	กั๋งผสมปู (1:1)	1.01	10.68	0.187	3.46
ประสิทธิภาพ [%]	กั๋ง	88.8	88.6	66.4	99.2
	ปู	93.6	68.3	67.1	95.3
	กั๋งผสมปู (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, 0.005, 0.2, 0.03 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 ปริมาณเกล็ดโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัด  $\text{Cu}^{2+}$  ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ เคมี 2

	ชนิดของเกล็ดโคโตแซน	พีเอชในการบำบัดเท่ากับ 5.5
ปริมาณไอออนโลหะหนักก่อนเติมโคโตแซน [ส่วนในล้านส่วน]		27.26
ปริมาณโคโตแซนที่ใช้ [กรัม]	กึ่ง	5
	ปู	8
	กึ่งผสมปู (1:1)	5
เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]	กึ่ง	24
	ปู	72
	กึ่งผสมปู (1:1)	72
ปริมาณไอออนโลหะหนักหลังเติมโคโตแซน [ส่วนในล้านส่วน]	กึ่ง	0.986
	ปู	0.944
	กึ่งผสมปู (1:1)	0.856
ประสิทธิภาพ [%]	กึ่ง	96.4
	ปู	96.5
	กึ่งผสมปู (1:1)	96.9

หมายเหตุ: ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานของ  $\text{Cu}^{2+}$  เท่ากับ 1 ส่วนในล้านส่วน

- ข. น้ำเสียจากบริษัทสยามเบตเตอร์อินดัสทรีจำกัด พบไอออนโลหะหนักที่สนใจคือ ไอออนตะกั่ว ค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 5.5 และปริมาณเกล็ดโคโตแซนที่เหมาะสมคือ 1.7 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถกำจัดไอออนตะกั่วผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมได้
- ค. น้ำเสียจากบริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์จำกัด พบไอออนโลหะหนักที่สนใจคือ ไอออนปรอท ค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 5.0 และปริมาณเกล็ดโคโตแซนที่เหมาะสมคือ 2.2 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถกำจัดไอออนปรอทผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมได้
- ง. น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 พบไอออนโลหะหนักที่สนใจ 4 ชนิดคือ ไอออนสังกะสี ไอออนปรอท ไอออนแคดเมียม และไอออนตะกั่ว โดยไอออนโลหะหนักตัวอื่นที่ปะปนอยู่ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ เมื่อต้องการกำจัดไอออนโลหะหนักโดยรวมจะเห็นว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 5.5 และปริมาณเกล็ดโคโตแซนที่เหมาะสมคือ 1.5 กรัมต่อน้ำเสีย 400

มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถกำจัดอออนสังกะสีและอออนตะกั่วผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมได้

- จ. น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2 พบอออนโลหะหนักที่สนใจคือ อออนทองแดง ค่าพีเอชที่เหมาะสมเท่ากับ 5.5 และปริมาณเกล็ดโคโคแตนที่เหมาะสมคือ 8 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร เป็นเวลา 72 ชั่วโมง สามารถกำจัดอออนทองแดงผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมได้
- ฉ. น้ำเสียจริงที่ประกอบด้วยอออนโลหะหนักหลายชนิดอยู่ด้วยกัน มีผลทำให้การดูดซับอออนโลหะหนักหนึ่งบนเกล็ดโคโคแตนทั้งดีขึ้น (Synergism effect) และเลวลง (Antagonism effect) เช่น ประสิทธิภาพการดูดซับ  $Pb^{2+}$  และ  $Hg^{2+}$  ตกลงจากร้อยละ 90.3 และ 97.8 ในน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีอออนโลหะหนักชนิดเดียวเป็นร้อยละ 66.4–67.6 และ 48–76.7 ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการที่มีอออนโลหะหนักหลายชนิด ตามลำดับ
- ช. ความสามารถของเกล็ดโคโคแตนในการดูดซับ  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  และ  $Pb^{2+}$  ณ สภาวะที่ดีที่สุดเท่ากับ 6.6–8.7, 1.8–2.1, 0.04–2.1, 0.02–5.39 และ 0.2–0.4 มิลลิกรัมของอออนโลหะหนักต่อ 1 กรัมของโคโคแตนที่เตรียมมาจากกุ้ง
- ซ. ความสามารถของเกล็ดโคโคแตนในการดูดซับ  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  และ  $Pb^{2+}$  ณ สภาวะที่ดีที่สุดเท่ากับ 9.2–12.6, 1.2–1.3, 0.04–1.3, 0.02–3.4 และ 0.2–0.5 มิลลิกรัมของอออนโลหะหนักต่อ 1 กรัมของโคโคแตนที่เตรียมมาจากปู
- ฅ. ความสามารถของเกล็ดโคโคแตนในการดูดซับ  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  และ  $Pb^{2+}$  ณ สภาวะที่ดีที่สุดเท่ากับ 6.7–9, 1.5–2.1, 0.04–2.1, 0.02–4.3 และ 0.2–0.4 มิลลิกรัมของอออนโลหะหนักต่อ 1 กรัมของโคโคแตนที่เตรียมมาจากกุ้งผสมปู
- ญ. ลำดับความสามารถของเกล็ดโคโคแตนในการดูดซับ  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  และ  $Pb^{2+}$  คือ  $Zn^{2+} > Cd^{2+} > Cu^{2+} > Hg^{2+} > Pb^{2+}$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ตารางที่ 4.16 สรุปประสิทธิภาพการกำจัดไอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ

แหล่งน้ำเสีย	ค่าพีเอชที่เหมาะสม	ปริมาณเกลือโคโคไตน์ที่เหมาะสมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร [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	>77.1 <sup>a</sup>	66.4-95.5 <sup>b</sup>	73.1-79.8 <sup>c</sup>	-	-
บ. สยามแบดเตอร์อินดัสทรี จก.	5.50	1.7	24	-	-	-	>90.3 <sup>d</sup>	-
บ. ไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์ จก.	5.00	2.2	24	-	-	-	-	>97.8 <sup>e</sup>
ห้องปฏิบัติการเคมี 1	5.50	1.5	24	-	94.5-97.7 <sup>g</sup>	>14.9 <sup>h</sup>	66.4-67.6 <sup>i</sup>	48-76.7 <sup>j</sup>
ห้องปฏิบัติการเคมี 2	5.50	8.0	72	>96.4 <sup>f</sup>	-	-	-	-

<sup>a</sup> จากตารางที่ ก 1-3

<sup>d</sup> จากตารางที่ 4.10

<sup>g</sup> จากตารางที่ ก 16-18

<sup>j</sup> จากตารางที่ ก 19-21

<sup>b</sup> จากตารางที่ ก 4-6

<sup>e</sup> จากตารางที่ 4.11

<sup>h</sup> จากตารางที่ 4.7

<sup>c</sup> จากตารางที่ 4.9

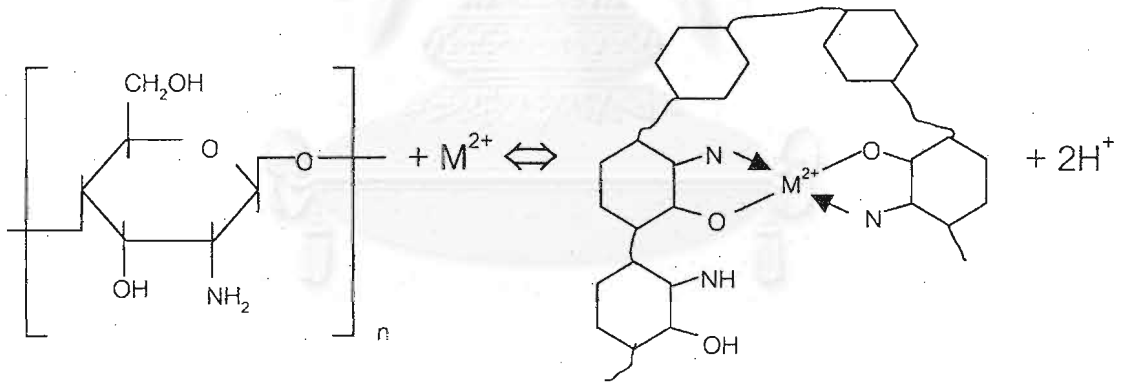
<sup>f</sup> จากตารางที่ 4.13

<sup>i</sup> จากตารางที่ 4.12

#### 4.6 กลไกการกำจัดอโลหะหนักในน้ำเสียด้วยเกล็ดโคโตแซน

ได้มีการกล่าวถึงกลไกการกำจัดอโลหะหนักด้วยโคโตแซนมากมาย [4, 8, 10, 15] ซึ่งส่วนใหญ่อธิบายโดยใช้กลไกการดูดซับ แต่ Deans และคณะ [15] ได้กล่าวถึงเทคนิคการจับอโลหะหนักของสารไบโอพอลิเมอร์แตกต่างออกไปว่าเป็นแบบการแลกเปลี่ยนอโลหะหนักเชิงคีเลชัน (Chelation ion exchange) ซึ่งอาศัยลักษณะเด่นที่เป็นโครงสร้างสามมิติของโมเลกุลไบโอพอลิเมอร์ในการคีเลทและกำจัดอโลหะที่มีขนาดเฉพาะขนาดหนึ่งออกจากอโลหะชนิดอื่นๆที่ไม่อันตราย และการมีหมู่ฟังก์ชันชนิดต่างๆ เช่น หมู่ไฮดรอกซิลและหมู่อะมีน จำนวนมาก ทำให้ประสิทธิภาพการจับอโลหะของไบโอพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น

ผู้วิจัยคณะนี้เห็นด้วยกับการอธิบายของ Deans และคณะ ดังนั้น กลไกที่เกิดขึ้นน่าจะเป็นการผสมผสานของการดูดซับอโลหะหนักและเกิดการแลกเปลี่ยนอโลหะระหว่างอโลหะหนักกับหมู่อะมีนของโคโตแซนเหมือนกับเรซินแลกเปลี่ยนอโลหะ พร้อมทั้งปล่อยอโลหะไฮโดรเจน ( $H^+$ ) ออกมา ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ซึ่งทำให้การดูดซับอโลหะบนโคโตแซนขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของน้ำเสียสอดคล้องกับผลการทดลองในหัวข้อ 4.3



รูปที่ 4.11 กลไกการแลกเปลี่ยนอโลหะหนักของเกล็ดโคโตแซน

บทที่ 5  
สรุปผลการวิจัย



5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาวิจัย การกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและจากห้องปฏิบัติการ โดยใช้เกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมมาจากเปลือกกุ้ง กระดองปู สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ร้อยละผลิตภัณฑ์ของเกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมได้มีค่าเท่ากับ 25.8 และ 29.9 เมื่อเทียบกับน้ำหนักเปลือกกุ้งและกระดองปูแห้ง ความหนืดเท่ากับ 30 และ 12.5 เซนติพอยส์ มวลโมเลกุลเฉลี่ยเท่ากับ  $3.3 \times 10^5$  และ  $2.7 \times 10^5$  ดัลดัน และร้อยละการกำจัดหมู่แอสติลเท่ากับ 94 และ 98 ของเกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมมาจากเปลือกกุ้งและกระดองปูตามลำดับ
2. โคโคไธแซนเป็นสาร Chelating polymer ที่สามารถดูดซับอออนโลหะหนักในน้ำเสียได้ในการทดลองใช้เกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมมาจากเปลือกกุ้ง ปู และกุ้งผสมปู ดังนี้
  - 2.1 น้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำ ภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดคือพีเอช 5.5 โดยใช้ปริมาณเกล็ดโคโคไธแซน 1.5 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดอออนทองแดงมากกว่าร้อยละ 77.1 อออนสังกะสีเท่ากับร้อยละ 66.4-95.5 และอออนแคดเมียมเท่ากับร้อยละ 73.1-79.8
  - 2.2 น้ำเสียจากบริษัทสยามเบตเตอร์ จำกัด ภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดคือพีเอช 5.5 โดยใช้ปริมาณเกล็ดโคโคไธแซน 1.7 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดอออนตะกั่วมากกว่าร้อยละ 90.3
  - 2.3 น้ำเสียจากบริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์ จำกัด ภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดคือพีเอช 5 โดยใช้ปริมาณเกล็ดโคโคไธแซน 2.2 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดอออนปรอทมากกว่าร้อยละ 97.8
  - 2.4 น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ฯ ภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดคือพีเอช 5.5 โดยใช้ปริมาณเกล็ดโคโคไธแซน 1.5 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะให้ประสิทธิภาพใน



การกำจัดอ็อกซาลิกอะไซด์เท่ากับร้อยละ 94.5–97.7 อ็อกซาลิกอะไซด์มีมากกว่าร้อยละ 14.9 อ็อกซาลิกอะไซด์เท่ากับร้อยละ 66.4–67.6 และอ็อกซาลิกอะไซด์เท่ากับร้อยละ 48–76.7

- 2.5 น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2 คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ฯ ภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดคือพีเอช 5.5 โดยใช้ปริมาณเกล็ดโคโคแทน 8.0 กรัมต่อน้ำเสีย 400 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 72 ชั่วโมง จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดอ็อกซาลิกอะไซด์มากกว่าร้อยละ 96.4
3. การเพิ่มปริมาณเกล็ดโคโคแทนลงไปในน้ำเสียมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก
4. เกล็ดโคโคแทนที่เตรียมมาจากกุ้ง และกระดองปู ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดใกล้เคียงกัน โดยเกล็ดโคโคแทนที่เตรียมมาจากกุ้งผสมปูในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 ให้ประสิทธิภาพอยู่ระหว่างเกล็ดโคโคแทนที่เตรียมมาจากเปลือกกุ้งและกระดองปู ทั้งนี้อธิบายได้ว่าประสิทธิภาพการดูดซับอ็อกซาลิกอะไซด์ขึ้นอยู่กับร้อยละการกำจัดหมู่แอเซทิลหรือปริมาณหมู่เอมีนเป็นหลัก เนื่องจากลักษณะกลไกการกำจัดเป็นการแลกเปลี่ยนอ็อกซาลิกอะไซด์กับอ็อกซาลิกอะไซด์กับหมู่เอมีนพร้อมทั้งปล่อยอ็อกซาลิกอะไซด์ออกมา
5. ขั้นตอนของการบำบัดทางเคมีต่ออ็อกซาลิกอะไซด์ในน้ำเสียต้องประกอบด้วย 2 ขั้นตอนเป็นอย่างน้อยคือ การตกตะกอนในรูปของไฮดรอกไซด์เพื่อปรับพีเอชน้ำเสียให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม และขั้นตอนการแลกเปลี่ยนอ็อกซาลิกอะไซด์กับหมู่เอมีนในโคโคแทน
6. น้ำเสียจริงที่ประกอบด้วยอ็อกซาลิกอะไซด์หลายชนิดอยู่ด้วยกัน มีผลทำให้การดูดซับอ็อกซาลิกอะไซด์หนึ่งบนโคโคแทนทั้งดีขึ้น (Synergism effect) และเลวลง (Antagonism effect)

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

วิธีการจัดการกากตะกอนโลหะหนักที่เหมาะสม คือการทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซิเมนต์แล้วนำไปฝังกลบ แต่แนวความคิดของงานวิจัยนี้ที่ใช้โคโคแทนในการดูดซับอ็อกซาลิกอะไซด์ในน้ำเสีย คือ คาดว่าโคโคแทนสามารถพัฒนาจุลินทรีย์ที่มีความคุ้นเคยกับสภาวะแวดล้อมที่มีอ็อกซาลิกอะไซด์ได้ เพราะโคโคแทนเป็นสารอินทรีย์ ดังนั้นจะเกิดการย่อยสลายอ็อกซาลิกอะไซด์ให้หมดไป โดยไม่ทำให้เกิดภาวะการบำบัดไม่สิ้นสุด แต่รายละเอียดของระยะเวลาในการเกิดจุลินทรีย์เพื่อย่อยสลายอ็อกซาลิกอะไซด์บนโคโคแทนและสภาวะที่เหมาะสมยังคงต้องการเวลาในการศึกษาอีกระยะหนึ่ง จึงเสนอแนะเป็นงานวิจัยขั้นต่อไป



## เอกสารอ้างอิง

1. อรุณี เทอดเทพพิทักษ์. การกำจัดโลหะหนักบางตัวในน้ำทิ้งโดยใช้ไคโตแซนจากเปลือกปูที่เหลือทิ้ง. มหาวิทยาลัยบูรพา, 2534.
2. เยาวภา ไหวพริบ. การผลิตไคตินและไคโตแซนจากเปลือกกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.
3. R. A. A. Muzzarelli. The polysaccharide. Vol 3. New York: Academic Press, 1985.
4. K. Inoue, 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.
5. <http://user.chollian.net/~chitin/prechitosan.gif>, "what is chitin/chitosan?".
6. มั่นสิน ดันจุลเวศม์. วิศวกรรมกรรมประปา. เล่ม 1. ครั้งที่พิมพ์ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ ฤ. วิวรรณ, 2526.
7. ประกาศกรมเจ้าท่า. กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ที่ 214/2537.
8. สุมาลัย ศรีกำไลทอง, ปาริชาติ หลายชูไทย, เหวดี นาคดี, พรศ วิจารย์รัฐพันธ์ และณรงค์เดช อาษา. การใช้ประโยชน์โพลีแซคคาไรด์จากของเหลือทิ้งของผลิต ภัณฑ์ทะเล. สถาบันวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2540.
9. Varaporn Cholumpai. Utilization of chitosan for chelation of lead in waste water. The Degree of Master of Science Mahidol University. 1988.
10. Auns, N. N. Adsorption/desorption of heavy metals using Chitosan. Journal of Enviroment research. Vol. 20 No. 2, (1998): 10 – 38.
11. Yoshiichi, A., Masao, I. Removal of heavy metals from industrial wastewater. Jpn. Kokai Tokkyo JP 62,262,743 [87,262,743]. 1987.
12. Yoshiichi, A., Masao, I., Akira, A. Collecting agent for removal of water-soluble heavy metal ions from wastewaters. Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 62,266,196 [87,266,196]. 1987.
13. Eiden, C. A., Jewell, C. A., and Wightman, J. P. Interaction of lead and chromium with chitin and chitosan. Journal of Applied Polymer Science. Vol. 25(1980): 1587 – 1599.

14. Gordon, M., Henry, B. S. Equilibrium studies for the sorption of metal ions onto chitosan. Indian J. Chem. Sect. A. 28A(5), (1989): 356 – 360.
15. Deans, J. R. and Dixon, B. G. Up take of  $Pb^{2+}$  and  $Cu^{2+}$  by novel biopolymers. Water Research. Vol. 26, No. 4, (1992): 469 – 472.
16. Domard, A., Rinaudo, M. Preparation and characterization of fully deacetylated chitosan. Int. J. Biol. Macromol. 5 (1983): 49 – 52.
17. Miyoshi, H., Shimura, K., Watanabe, K., Onodera, K. Characterization of some fungal chitosans. Biotech. Biochem. 56(12), 1992: 1901 – 1905.
18. Qurashi, M. T., Blair, H. S., Allen, S. J. Studies on modified chitosan membranes. I. Preparation and characterization. J. Appl. Poly. Sci. 46 (1992): 255 – 261.
19. Fluka Riedel-de Haën. Laboratory Chemicals and Analytical Reagents. 1999/2000.
20. Muzzarelli, R. A. A. Chitin. 1977, Pergamom Press, Oxford.
21. Kurita, K., Koyama, Y. and Taniguchi, A. Studies of chitin. IX. Crosslinking of water-soluble chitin and evaluation of the products as adsorbents for cupric ion. J. Appl. Poly. Sci. 31 (1986): 1169 – 1176.
22. Mitani, T., Moriyama A. and Ishii, Hiroshi. Heavy metal uptake by swollen chitosan beads. Biosci. Biotech. Biochem. 56(6), 1992: 985.
23. Kurita, K., Koyama, Y. and Taniguchi, A. Studies of chitin. X. Homogeneous crosslinking of chitosan for enhanced cupric ion adsorption. J. Appl. Poly. Sci. 31 (1986): 1951 – 1954.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ผลการกำจัดอื้ออนโลหะหนักด้วยเกลือโคโคไตแซน

ก.1 ปริมาณเกลือโคโคไตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอื้ออนโลหะหนักในน้ำเสียจากศูนย์  
กำจัดน้ำเสียสมตำ

ตารางที่ 1 ผลการเปลี่ยนแปลงของอื้ออนทองแดงที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกลือโคโคไตแซนที่เตรียม  
มาจากกุ้ง ปริมาณอื้ออนทองแดงก่อนบำบัดด้วยโคโคไตแซนมีค่าเท่ากับ 2.375 ส่วนใน  
ล้านส่วน

ปริมาณโคโคไตแซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]					
	0.5	5	24	0.5	5	24
	ปริมาณอื้ออนทองแดง [ส่วนในล้านส่วน]			ร้อยละของปริมาณอื้ออนทองแดงที่ลดลง		
0.4	1.325	1.117	0.560	44.2	53	76.4
0.5	1.187	0.903	0.421	50	62	82.3
0.6	1.018	0.815	0.376	57.1	65.7	84.2
0.7	0.968	0.723	0.320	59.2	69.6	86.5
0.8	0.934	0.714	0.309	60.7	69.9	87
0.9	0.829	0.591	0.248	65.1	75.1	90

ตารางที่ 2 ผลการเปลี่ยนแปลงของอื้ออนทองแดงที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกลือโคโคไตแซนที่เตรียม  
มาจากปู ปริมาณอื้ออนทองแดงก่อนบำบัดด้วยโคโคไตแซนมีค่าเท่ากับ 2.375 ส่วนใน  
ล้านส่วน

ปริมาณโคโคไตแซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]					
	0.5	5	24	0.5	5	24
	ปริมาณอื้ออนทองแดง [ส่วนในล้านส่วน]			ร้อยละของปริมาณอื้ออนทองแดงที่ลดลง		
0.5	1.899	1.535	0.827	20	35.4	65.2
0.6	1.829	1.443	0.764	23	39.2	67.8
0.7	1.743	1.284	0.67	26.6	45.9	71.8
0.8	1.716	1.21	0.652	27.7	49	72.5
0.9	1.581	1.115	0.548	33.4	53	76.9
1	1.568	1.066	0.543	34	55.1	77.1

ตารางที่ 3 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนทองแดงที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคไธเซนที่เตรียมมาจากกุ้งผสมปุ๋ย ปริมาณอิออนทองแดงก่อนบำบัดด้วยโคโคไธเซนมีค่าเท่ากับ 2.375 ส่วนในล้านส่วน

ปริมาณโคโคไธเซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]					
	0.5	5	24	0.5	5	24
	ปริมาณอิออนทองแดง [ส่วนในล้านส่วน]			ร้อยละของปริมาณอิออนทองแดงที่ลดลง		
0.5	1.46	1.21	0.526	38.5	49	77.8
0.6	1.32	0.901	0.427	44.4	62.1	82
0.7	1.293	0.836	0.395	45.6	64.8	83.4
0.8	1.214	0.793	0.344	48.9	66.6	85.5
0.9	1.103	0.778	0.323	53.6	67.2	86.4
1	1.024	0.703	0.321	56.9	70.4	86.5

ตารางที่ 4 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนสังกะสีที่ค่าพีเอช 6.0 เมื่อเติมเกล็ดโคโคไธเซนที่เตรียมมาจากกุ้ง ปริมาณอิออนสังกะสีก่อนบำบัดด้วยโคโคไธเซนมีค่าเท่ากับ 52.7 ส่วนในล้านส่วน

ปริมาณโคโคไธเซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]							
	0.5	5	24	72	0.5	5	24	72
	ปริมาณอิออนสังกะสี [ส่วนในล้านส่วน]				ร้อยละของปริมาณอิออนสังกะสีที่ลดลง			
1	37.8	32.6	23	14.16	28.3	38.1	56.4	73.1
1.1	37.2	29.8	22.1	13.79	29.4	43.4	58.1	73.8
1.2	34	27.2	23.1	13.18	35.5	48.4	56.2	75
1.3	33.9	26.5	18.5	11.75	35.7	49.7	64.9	77.7
1.4	31.5	25.8	17.7	10.99	40.2	51	66.4	79.1
1.6	27	21.7	15.3	9.96	48.3	58.8	71	81.1
3	14.2	11.2	6.02	3.42	73.1	78.7	88.6	93.5

ตารางที่ 5 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนสังกะสีที่ค่าพีเอช 6.0 เมื่อเติมเกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมมาจากปุ๋ย ปริมาณอิออนสังกะสีก่อนบำบัดด้วยโคโคไธแซนมีค่าเท่ากับ 52.7 ส่วนในล้านส่วน

ปริมาณโคโคไธแซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]					
	0.5	5	24	0.5	5	24
	ปริมาณอิออนสังกะสี [ส่วนในล้านส่วน]			ร้อยละของปริมาณอิออนสังกะสีที่ลดลง		
1	50.5	31.5	17	4.2	40.2	67.7
1.1	50.4	30.3	13.7	4.4	30.3	74
1.2	48.8	28.4	12	7.4	46.1	77.2
1.4	46.3	21.3	6.8	12.1	59.6	87.1
1.6	43.6	20.3	2.37	17.3	61.5	95.5
1.8	41.2	15.2	0.95	21.8	71.2	98.2

ตารางที่ 6 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนสังกะสีที่ค่าพีเอช 6.0 เมื่อเติมเกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมมาจากกั๋งผสมปุ๋ย ปริมาณอิออนสังกะสีก่อนบำบัดด้วยโคโคไธแซนมีค่าเท่ากับ 52.7 ส่วนในล้านส่วน

ปริมาณโคโคไธแซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]							
	0.5	5	24	72	0.5	5	24	72
	ปริมาณอิออนสังกะสี [ส่วนในล้านส่วน]				ร้อยละของปริมาณอิออนสังกะสีที่ลดลง			
1	48.2	40.6	26.8	12.84	8.5	23	49.1	75.6
1.1	45.8	35.9	22.7	12.35	13.1	31.9	56.9	76.6
1.2	41.1	38.5	20.8	10.85	22	26.9	60.5	79.4
1.4	37.7	32.3	15.2	9.31	28.5	38.7	71.2	82.3
1.6	36.6	28.9	12.6	7.88	30.5	45.2	76.1	85
1.8	32.3	25	10	6.05	38.7	52.6	81	88.5
3	14.2	11.7	2.28	-	73.1	77.8	95.7	-

ตารางที่ 7 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนแคดเมียมที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง ปริมาณอิออนแคดเมียมก่อนบำบัดด้วยโคโคไธแซนมีค่าเท่ากับ 0.104 ส่วนในล้านส่วน

ปริมาณโคโคไธแซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]					
	0.5	5	24	0.5	5	24
	ปริมาณอิออนสังกะสี [ส่วนในล้านส่วน]			ร้อยละของปริมาณอิออนสังกะสีที่ลดลง		
1.5	39.34	32.27	23.19	62	68.9	77.6
1.6	38.26	29.74	22.42	63.1	71.3	78.4
1.7	35.23	28.33	21.62	66	72.7	79.1
1.8	34.09	26.75	19.52	67.1	74.2	81.2
1.9	31.33	24.88	17.99	69.8	76	82.6
2	28.79	21.57	15.04	72.2	79.2	85.5

ตารางที่ 8 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนแคดเมียมที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมมาจากปู ปริมาณอิออนแคดเมียมก่อนบำบัดด้วยโคโคไธแซนมีค่าเท่ากับ 0.104 ส่วนในล้านส่วน

ปริมาณโคโคไธแซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]					
	0.5	5	24	0.5	5	24
	ปริมาณอิออนแคดเมียม [ส่วนในล้านส่วน]			ร้อยละของปริมาณอิออนแคดเมียมที่ลดลง		
1.5	41.82	32.98	21.44	59.6	68.2	79.3
1.6	39.63	31.89	18.03	61.8	69.2	82.6
1.7	37.71	30.06	17.37	63.6	71	83.2
1.8	35.49	26.12	15.28	65.7	74.8	85.2
1.9	33.88	23.45	14.45	67.3	77.4	86.1
2	32.02	19.88	12.12	69.1	80.8	88.3

ตารางที่ 9 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนแคดเมียมที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคแชนที่เตรียมมาจากกึ่งผสมปุ๋ย ปริมาณอิออนแคดเมียมก่อนบำบัดด้วยโคโคแชนมีค่าเท่ากับ 0.104 ส่วนในล้านส่วน

ปริมาณโคโคแชน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]					
	0.5	5	24	0.5	5	24
	ปริมาณอิออนแคดเมียม [ส่วนในล้านส่วน]			ร้อยละของปริมาณอิออนแคดเมียมที่ลดลง		
1.5	42.7	37.89	27.83	58.8	63.4	73.1
1.6	41.04	35.31	22.67	60.4	65.9	78.1
1.7	38.23	33.51	20.51	63.1	67.7	80.2
1.8	33.96	29.54	15.6	67.2	71.5	84.9
1.9	32.06	26.17	12.56	69.1	74.7	87.9
2	29.93	23.38	10.03	71.1	77.4	90.3

ก.2 ปริมาณเกล็ดโคโคแชนที่เหมาะสมในการกำจัดอิออนโลหะหนักในน้ำเสียจากบริษัทสยามแบตเตอรี่อินดัสทรีจำกัด

ตารางที่ 10 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนตะกั่วที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคแชนที่เตรียมมาจากกึ่งผสมปุ๋ย ปริมาณอิออนตะกั่วก่อนบำบัดด้วยโคโคแชนมีค่าเท่ากับ 2,019.32 ส่วนในพันล้านส่วน

ปริมาณโคโคแชน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]					
	0.5	5	24	0.5	5	24
	ปริมาณอิออนตะกั่ว [ส่วนในพันล้านส่วน]			ร้อยละของปริมาณอิออนตะกั่วที่ลดลง		
1.5	728.15	605.11	285.22	63.9	70	85.9
1.6	627.98	517.25	227.17	68.9	74.4	88.7
1.7	563.43	445.84	194.77	72.1	77.9	90.3
1.8	532.32	408.47	170.78	73.6	79.8	91.5
1.9	495.43	385.19	139.41	75.7	80.9	93.1
2	455.21	333.78	113.21	77.5	83.5	94.4



ตารางที่ 11 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนตะกั่วที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมมาจากปุ๋ย ปริมาณอิออนตะกั่วก่อนบำบัดด้วยโคโคไธแซนมีค่าเท่ากับ 2,019.32 ส่วนในพันล้านส่วน

ปริมาณโคโคไธแซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]					
	0.5	5	24	0.5	5	24
	ปริมาณอิออนตะกั่ว [ส่วนในพันล้านส่วน]			ร้อยละของปริมาณอิออนตะกั่วที่ลดลง		
1.5	589.96	444.84	215.93	70.8	78	89.3
1.6	546.14	413.54	186.48	72.9	79.5	90.8
1.7	501.65	363.21	175.61	75.2	82	91.3
1.8	484.15	348.92	167.85	76	82.7	91.7
1.9	462.81	314.7	151.26	77.1	84.4	92.5
2	421.38	297.43	146.13	79.1	85.3	92.8

ตารางที่ 12 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนตะกั่วที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมมาจากกั๋งผสมปุ๋ย ปริมาณอิออนตะกั่วก่อนบำบัดด้วยโคโคไธแซนมีค่าเท่ากับ 2,019.32 ส่วนในพันล้านส่วน

ปริมาณโคโคไธแซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]					
	0.5	5	24	0.5	5	24
	ปริมาณอิออนตะกั่ว [ส่วนในพันล้านส่วน]			ร้อยละของปริมาณอิออนตะกั่วที่ลดลง		
1.5	730.87	571.13	269.23	63.8	71.7	86.7
1.6	674.65	483.42	215.86	66.6	76.1	89.3
1.7	651.68	423.79	191.11	67.7	79	90.5
1.8	609.33	395.71	184.52	69.8	80.4	90.9
1.9	554.63	384.42	174.94	72.5	81	91.3
2	503.04	360.85	170.51	75.1	82.1	91.6

ก.3 ปริมาณเกลือโคโตแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอออนโลหะหนักในน้ำเสียจากบริษัท  
ไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์จำกัด

ตารางที่ 13 ผลการเปลี่ยนแปลงของอออนปรอทที่ค่าพีเอช 5.0 เมื่อเติมเกลือโคโตแซนที่เตรียมมา  
จากกึ่ง ปริมาณอออนปรอทก่อนบำบัดด้วยโคโตแซนมีค่าเท่ากับ 218.15 ส่วนในพัน  
ล้านส่วน

ปริมาณโคโตแซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]					
	0.5	5	24	0.5	5	24
	ปริมาณอออนปรอท [ส่วนในพันล้านส่วน]			ร้อยละของปริมาณอออนปรอทที่ลดลง		
1.2	33.26	12.54	9.61	84.7	94.2	95.6
1.3	32.7	10.49	7.88	85	95.2	96.4
1.4	29.81	10.16	7.08	86.3	95.3	96.7
1.5	28.48	8.96	6.62	86.9	95.9	97
1.7	27.21	6.82	5.21	87.5	96.9	97.6
2	25.27	6.04	4.31	88.4	97.2	98

ตารางที่ 14 ผลการเปลี่ยนแปลงของอออนปรอทที่ค่าพีเอช 5.0 เมื่อเติมเกลือโคโตแซนที่เตรียมมา  
จากปู ปริมาณอออนปรอทก่อนบำบัดด้วยโคโตแซนมีค่าเท่ากับ 218.15 ส่วนในพัน  
ล้านส่วน

ปริมาณโคโตแซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]					
	0.5	5	24	0.5	5	24
	ปริมาณอออนปรอท [ส่วนในพันล้านส่วน]			ร้อยละของปริมาณอออนปรอทที่ลดลง		
1.5	40.9	15.13	11.9	81.2	93	94.5
1.6	39.73	14.42	10.63	81.8	93.4	95.1
1.7	37.37	12.53	9.62	82.9	94.3	95.6
1.8	35.91	12.22	9.57	83.5	94.4	95.6
1.9	34.77	10.76	7.45	84.1	95.1	96.6
2.2	32.33	8.04	4.73	85.2	96.3	97.8

ตารางที่ 15 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนปรอทที่ค่าพีเอช 5.0 เมื่อเติมเกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมมาจากกึ่งผสมปุ๋ย ปริมาณอิออนปรอทก่อนบำบัดด้วยโคโคไธแซนมีค่าเท่ากับ 218.15 ส่วนในพันล้านส่วน

ปริมาณโคโคไธแซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]					
	0.5	5	24	0.5	5	24
	ปริมาณอิออนปรอท [ส่วนในพันล้านส่วน]			ร้อยละของปริมาณอิออนปรอทที่ลดลง		
1.5	35.62	12.25	11.12	83.7	94.4	94.9
1.6	34.12	11.39	9.19	84.4	94.8	95.8
1.7	32.34	10.05	8.75	85.2	95.4	96
1.8	30.88	8.7	7.92	85.8	96	96.4
1.9	29.33	7.37	6.25	86.6	96	97.1
2.2	28.07	6.11	4.5	87.1	97.2	97.9

#### ก.4 ปริมาณเกล็ดโคโคไธแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอิออนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1

ตารางที่ 16 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนสังกะสีที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมมาจากกึ่งผสมปุ๋ย ปริมาณอิออนสังกะสีก่อนบำบัดด้วยโคโคไธแซนมีค่าเท่ากับ 12.27 ส่วนในล้านส่วน

ปริมาณโคโคไธแซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]					
	0.5	5	24	0.5	5	24
	ปริมาณอิออนสังกะสี [ส่วนในล้านส่วน]			ร้อยละของปริมาณอิออนสังกะสีที่ลดลง		
0.5	1.375	1.081	0.983	88.8	91.2	92
1	0.924	0.877	0.863	92.5	92.8	93
1.5	0.853	0.782	0.671	93	93.6	94.5
2	0.668	0.472	0.438	94.6	96.1	96.4

ตารางที่ 17 ผลการเปลี่ยนแปลงของไอออนสังกะสีที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมมาจากปุ๋ย ปริมาณไอออนสังกะสีก่อนบำบัดด้วยโคโคไธแซนมีค่าเท่ากับ 12.27 ส่วนในล้านส่วน

ปริมาณโคโคไธแซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]					
	0.5	5	24	0.5	5	24
	ปริมาณไอออนสังกะสี [ส่วนในล้านส่วน]			ร้อยละของปริมาณไอออนสังกะสีที่ลดลง		
0.5	0.782	0.568	0.5	93.6	95.4	95.9
1	0.575	0.475	0.464	95.3	96.1	96.2
1.5	0.453	0.324	0.276	96.3	97.4	97.7
2	0.241	0.144	0.121	98	98.8	99

ตารางที่ 18 ผลการเปลี่ยนแปลงของไอออนสังกะสีที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมมาจากกึ่งผสมปุ๋ย ปริมาณไอออนสังกะสีก่อนบำบัดด้วยโคโคไธแซนมีค่าเท่ากับ 12.27 ส่วนในล้านส่วน

ปริมาณโคโคไธแซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]					
	0.5	5	24	0.5	5	24
	ปริมาณไอออนสังกะสี [ส่วนในล้านส่วน]			ร้อยละของปริมาณไอออนสังกะสีที่ลดลง		
0.5	1.01	0.897	0.813	91.8	92.7	93.4
1	0.803	0.632	0.594	93.5	94.8	95.2
1.5	0.611	0.446	0.403	95	96.4	96.7
2	0.453	0.37	0.23	96.3	97	98.1

ตารางที่ 19 ผลการเปลี่ยนแปลงของอ็อกซิปรอกที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง ปริมาณอ็อกซิปรอกก่อนบำบัดด้วยโคโคไธแซนมีค่าเท่ากับ 56.02 ส่วนในล้านส่วน

ปริมาณโคโคไธแซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]					
	0.5	5	24	0.5	5	24
	ปริมาณอ็อกซิปรอก [ส่วนในล้านส่วน]			ร้อยละของปริมาณอ็อกซิปรอกที่ลดลง		
0.5	36.13	33.6	27.4	35.5	40	51.1
1	27.33	23.11	19.48	51.2	58.7	65.2
1.5	22.61	18.94	13.93	59.6	66.2	75.1
2	16.42	14.9	12.17	70.7	73.4	78.3
2.5	13.57	12.53	9.85	75.8	77.6	82.4
3	10.9	8.44	6.36	80.5	84.9	88.6

ตารางที่ 20 ผลการเปลี่ยนแปลงของอ็อกซิปรอกที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมมาจากปู ปริมาณอ็อกซิปรอกก่อนบำบัดด้วยโคโคไธแซนมีค่าเท่ากับ 56.02 ส่วนในล้านส่วน

ปริมาณโคโคไธแซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]					
	0.5	5	24	0.5	5	24
	ปริมาณอ็อกซิปรอก [ส่วนในล้านส่วน]			ร้อยละของปริมาณอ็อกซิปรอกที่ลดลง		
0.5	47.85	42.44	33.6	14.6	24.2	40
1	40.14	34.66	33.28	28.3	38.1	40.6
1.5	39.1	34.52	29.1	30.2	38.4	48.1
2	35.45	30.99	24.53	30.7	44.7	56.2
2.5	33.43	27.02	21.67	40.3	51.8	61.3
3	28.89	24.33	17.77	48.4	56.6	68.3

ตารางที่ 21 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนปรอทที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมมาจากกุ้งผสมปุ๋ย ปริมาณอิออนปรอทก่อนบำบัดด้วยโคโคไธแซนมีค่าเท่ากับ 56.02 ส่วนในล้านส่วน

ปริมาณโคโคไธแซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]					
	0.5	5	24	0.5	5	24
	ปริมาณอิออนปรอท [ส่วนในล้านส่วน]			ร้อยละของปริมาณอิออนปรอทที่ลดลง		
0.5	35.2	33.78	23.46	37.2	39.7	58.1
1.0	26.78	21.15	15.98	52.2	62.2	71.5
1.5	20.97	16.63	13.03	62.6	70.3	76.7
2.0	18.72	14.88	12.62	66.6	73.4	77.5
2.5	18.05	14.02	11.82	67.8	75	78.9
3	15.81	11.3	10.68	71.8	79.8	80.9

ตารางที่ 22 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนแคดเมียมที่ค่าพีเอช 7.0 เมื่อเติมเกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง ปริมาณอิออนแคดเมียมก่อนบำบัดด้วยโคโคไธแซนมีค่าเท่ากับ 133.60 ส่วนในล้านส่วน

ปริมาณโคโคไธแซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]							
	0.5	5	24	72	0.5	5	24	72
	ปริมาณอิออนแคดเมียม [ส่วนในล้านส่วน]				ร้อยละของปริมาณอิออนแคดเมียมที่ลดลง			
2.5	30.66	18.1	8.44	4.13	77	86.4	93.7	96.9
3	23.56	14.18	6.46	3.42	82.4	89.4	95.2	97.4
3.5	20.36	13.11	6.15	2.88	84.8	90.2	95.4	97.8
4	17.6	10.33	5.11	2.58	86.8	92.3	96.2	98.1
4.5	15.24	8.89	4.69	2.57	88.6	93.3	96.5	98.1
5	12.46	7.83	3.75	2.19	90.7	94.1	97.2	98.4
7	4.72	3.5	1.83	1.17	96.5	97.4	98.6	99.1
10	3.14	2.69	1.15	1.08	67.6	98	99.1	99.2

ตารางที่ 23 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนแคดเมียมที่ค่าพีเอช 7.0 เมื่อเติมเกล็ดโคโคแทนที่  
เตรียมมาจากปุ๋ย ปริมาณอิออนแคดเมียมก่อนบำบัดด้วยโคโคแทนมีค่าเท่ากับ 133.60  
ส่วนในล้านส่วน

ปริมาณโคโคแทน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]							
	0.5	5	24	72	0.5	5	24	72
	ปริมาณอิออนแคดเมียม [ส่วนในล้านส่วน]				ร้อยละของปริมาณอิออนแคดเมียมที่ลดลง			
2.5	82.4	73.84	72.28	53.52	38.3	44.7	45.9	59.9
3	80.84	65.6	60.24	49.96	39.5	50.9	54.9	62.6
3.5	75.28	63.4	58.88	49.88	43.6	52.5	55.9	62.7
4	72.01	62.56	54.28	40.52	46.1	53.2	59.4	69.7
4.5	69.98	60.73	53.55	40.32	47.6	54.5	59.9	69.8
5	67.75	59.4	51	36.48	49.3	55.5	61.8	72.7
10	42.76	35.66	24.34	14.86	68	73.3	81.8	88.9
15	33.64	26.26	12.58	6.3	74.8	80.3	90.6	95.3

ตารางที่ 24 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนแคดเมียมที่ค่าพีเอช 7.0 เมื่อเติมเกล็ดโคโคแทนที่  
เตรียมมาจากกั๋งผสมปุ๋ย ปริมาณอิออนแคดเมียมก่อนบำบัดด้วยโคโคแทนมีค่าเท่ากับ  
133.60 ส่วนในล้านส่วน

ปริมาณโคโคแทน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]							
	0.5	5	24	72	0.5	5	24	72
	ปริมาณอิออนแคดเมียม [ส่วนในล้านส่วน]				ร้อยละของปริมาณอิออนแคดเมียมที่ลดลง			
2.5	71.56	50.84	21.56	21.56	46.4	61.9	70.9	83.9
3	44.84	37.04	21.44	21.44	66.4	72.3	77	83.9
3.5	36.13	24.78	13.2	13.2	73	81.4	86	90.1
4	31.65	22.65	12.58	12.58	76.3	83	86.6	90.6
4.5	27.74	20.44	11.66	11.66	79.2	84.7	88.3	91.3
5	25.24	17.76	8.88	8.88	81.1	86.7	89.9	93.3
8	17.52	12.48	4.55	4.55	86.9	90.7	91.4	96.6
12	14.49	9.1	3.46	3.46	89.1	93.2	96.7	97.4

ตารางที่ 25 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนตะกั่วที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโตแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง ปริมาณอิออนตะกั่วก่อนบำบัดด้วยโคโตแซนมีค่าเท่ากับ 1.078 ส่วนในล้านส่วน

ปริมาณโคโตแซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]					
	0.5	5	24	0.5	5	24
	ปริมาณอิออนตะกั่ว [ส่วนในล้านส่วน]			ร้อยละของปริมาณอิออนตะกั่วที่ลดลง		
0.5	0.563	0.531	0.505	2.6	8.1	12.6
1	0.548	0.446	0.401	5.2	22.8	30.6
1.5	0.397	0.242	0.194	31.3	58.1	66.4
2	0.222	0.11	0.105	61.6	80.8	81.8
2.5	0.204	0.094	0.073	64.7	81.7	87.4
3	0.149	0.075	0.051	74.2	87	91.2

ตารางที่ 26 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนตะกั่วที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโตแซนที่เตรียมมาจากปู ปริมาณอิออนตะกั่วก่อนบำบัดด้วยโคโตแซนมีค่าเท่ากับ 1.078 ส่วนในล้านส่วน

ปริมาณโคโตแซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]					
	0.5	5	24	0.5	5	24
	ปริมาณอิออนตะกั่ว [ส่วนในล้านส่วน]			ร้อยละของปริมาณอิออนตะกั่วที่ลดลง		
0.5	0.532	0.472	0.423	8	18.3	26.8
1	0.493	0.422	0.324	14.7	27	43.9
1.5	0.387	0.293	0.19	33	49.3	67.1
2	0.211	0.184	0.177	63.5	68.2	69.4
2.5	0.165	0.143	0.129	71.4	75.3	77.7
3	0.111	0.093	0.087	80.8	83.9	84.9



ตารางที่ 27 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนตะกั่วที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคแชนที่เตรียมมาจากกึ่งผสมปุ ปริมาณอิออนตะกั่วก่อนบำบัดด้วยโคโคแชนมีค่าเท่ากับ 1.078 ส่วนในล้านส่วน

ปริมาณโคโคแชน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]					
	0.5	5	24	0.5	5	24
	ปริมาณอิออนตะกั่ว [ส่วนในล้านส่วน]			ร้อยละของปริมาณอิออนตะกั่วที่ลดลง		
0.5	0.548	0.502	0.452	5.2	13.1	21.8
1	0.521	0.434	0.373	9.9	24.9	35.5
1.5	0.392	0.238	0.187	32.2	58.8	67.6
2	0.217	0.147	0.141	62.5	74.5	75.6
2.5	0.185	0.119	0.101	68	79.4	82.5
3	0.13	0.091	0.069	77.5	84.3	88.1

ก.5 ปริมาณเกล็ดโคโคแชนที่เหมาะสมในการกำจัดอิออนโลหะหนักในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2

ตารางที่ 28 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนทองแดงที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคแชนที่เตรียมมาจากกึ่งผสมปุ ปริมาณอิออนทองแดงก่อนบำบัดด้วยโคโคแชนมีค่าเท่ากับ 27.26 ส่วนในล้านส่วน

ปริมาณโคโคแชน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]					
	0.5	5	24	0.5	5	24
	ปริมาณอิออนทองแดง [ส่วนในล้านส่วน]			ร้อยละของปริมาณอิออนทองแดงที่ลดลง		
2	8.997	7.203	3.278	67	73.6	88
2.5	7.3	5.552	2.628	73.2	79.6	90.4
3	6.335	4.482	2.016	76.8	83.6	92.6
3.5	5.202	3.531	1.525	80.9	87	94.4
4	4.613	3.095	1.376	83.1	88.7	95
5	3.712	2.598	0.986	86.4	90.5	96.4

ตารางที่ 29 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนทองแดงที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมมาจากปุ๋ย ปริมาณอิออนทองแดงก่อนบำบัดด้วยโคโคไธแซนมีค่าเท่ากับ 27.26 ส่วนในล้านส่วน

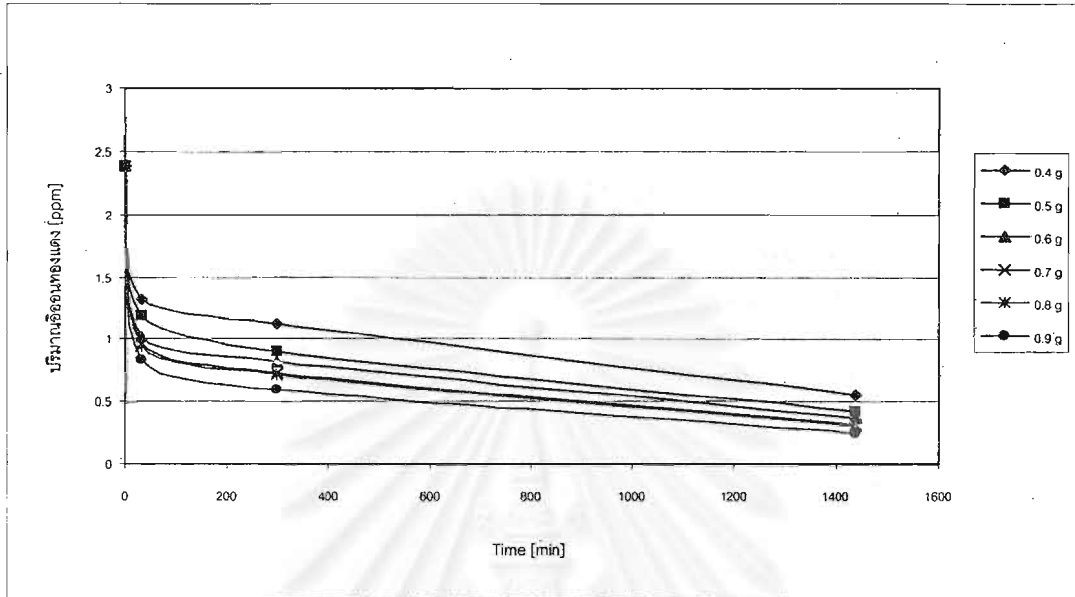
ปริมาณโคโคไธแซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]							
	0.5	5	24	72	0.5	5	24	72
	ปริมาณอิออนทองแดง [ส่วนในล้านส่วน]				ร้อยละของปริมาณอิออนทองแดงที่ลดลง			
4	13.55	12.41	6.7	2.46	50.3	54.5	75.4	91
4.5	12.79	11.77	7.4	2.32	53.1	56.8	72.9	91.5
5	12.01	11.33	6.78	2.11	55.9	58.4	75.1	92.3
5.5	10.44	9.94	5.78	1.84	61.7	63.5	78.8	93.2
6	9.03	8.56	4.16	1.31	66.9	68.6	84.7	95.2
8	7.86	7.29	3.7	0.94	71.2	73.2	86.4	96.5

ตารางที่ 30 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนทองแดงที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมมาจากกึ่งผสมปุ๋ย ปริมาณอิออนทองแดงก่อนบำบัดด้วยโคโคไธแซนมีค่าเท่ากับ 27.26 ส่วนในล้านส่วน

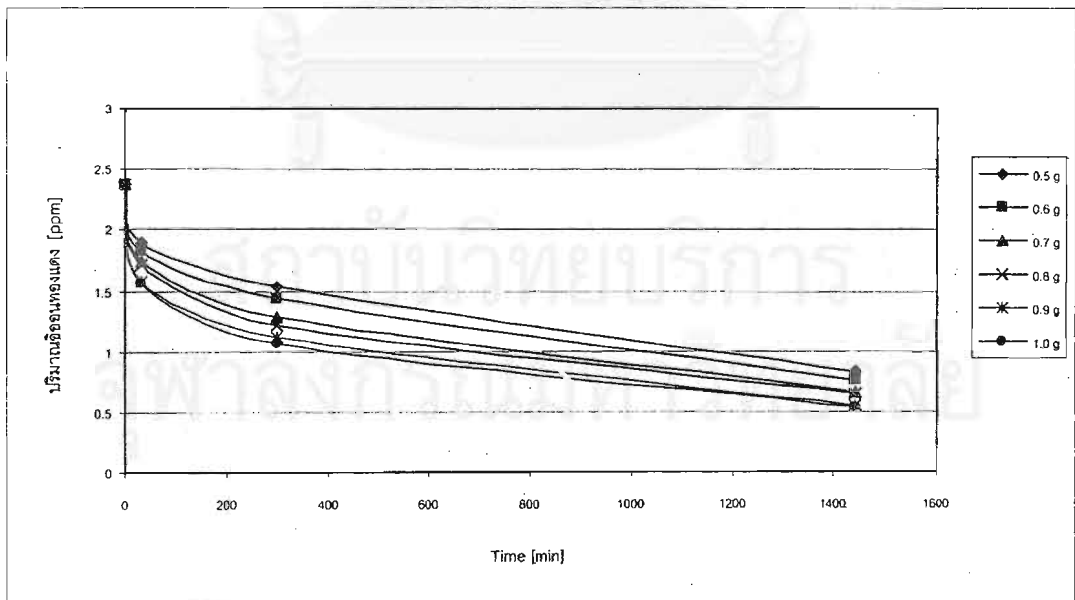
ปริมาณโคโคไธแซน [กรัม]	เวลาในการตกตะกอน [ชั่วโมง]							
	0.5	5	24	72	0.5	5	24	72
	ปริมาณอิออนทองแดง [ส่วนในล้านส่วน]				ร้อยละของปริมาณอิออนทองแดงที่ลดลง			
3	10.09	9.16	4.32	1.56	63	66.4	84.2	94.3
3.5	8.4	6.86	3.11	1.2	69.2	74.8	88.6	95.6
4	7.08	6.12	3.05	1.17	74	77.6	88.8	95.7
4.5	6.99	5.82	2.79	1.01	74.4	78.7	89.8	96.3
5	6.05	5.05	2.27	0.86	77.8	81.5	91.7	96.9
6	4.45	3.58	1.44	0.58	83.7	86.9	94.7	97.9

ภาคผนวก ข

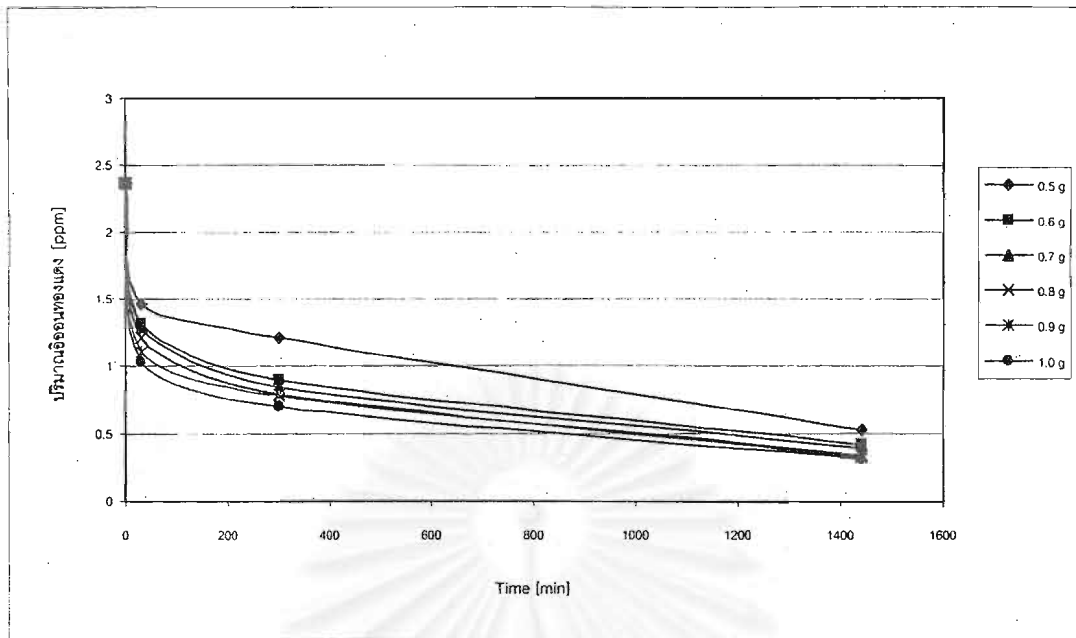
ปริมาณเกลือโคโคแซนที่เหมาะสมในการกำจัดอิมโคโนไลอะหนัก



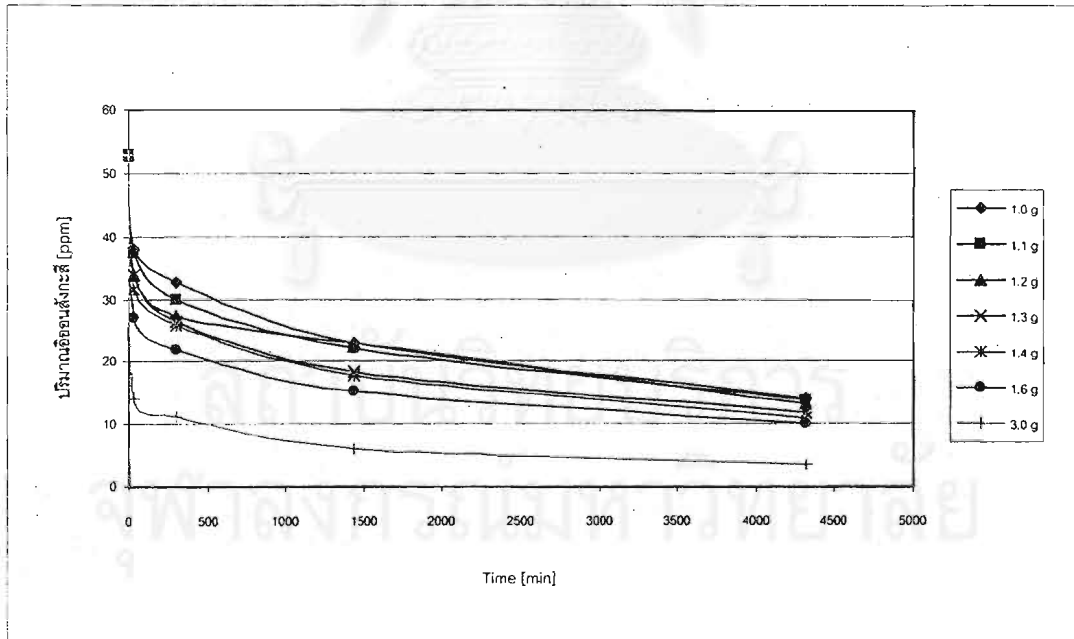
รูปที่ 1 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิมโคโนไลอะนในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกลือโคโคแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง



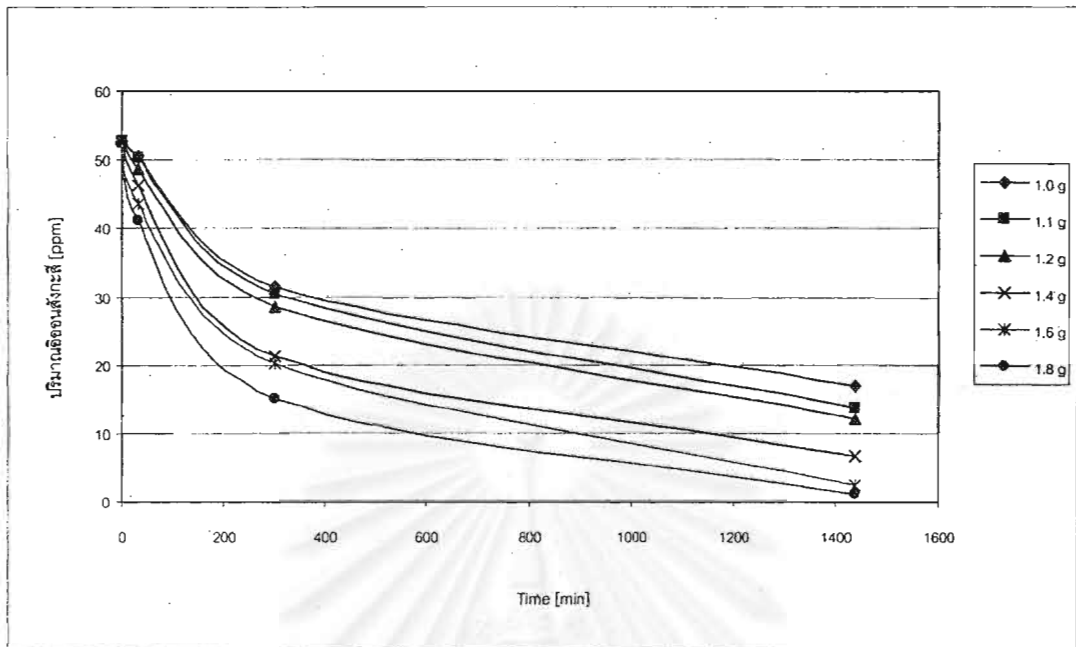
รูปที่ 2 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิมโคโนไลอะนในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกลือโคโคแซนที่เตรียมมาจากปู



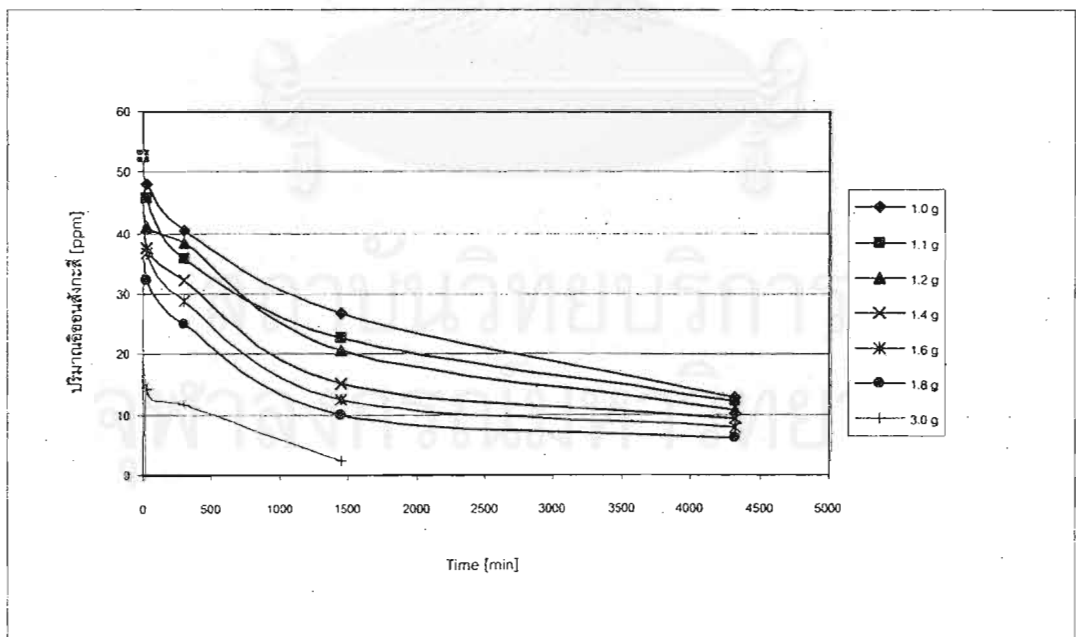
รูปที่ 3 ผลการเปลี่ยนแปลงของอออนทองแดงในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมมาจากกุงผสมปุ๋ย



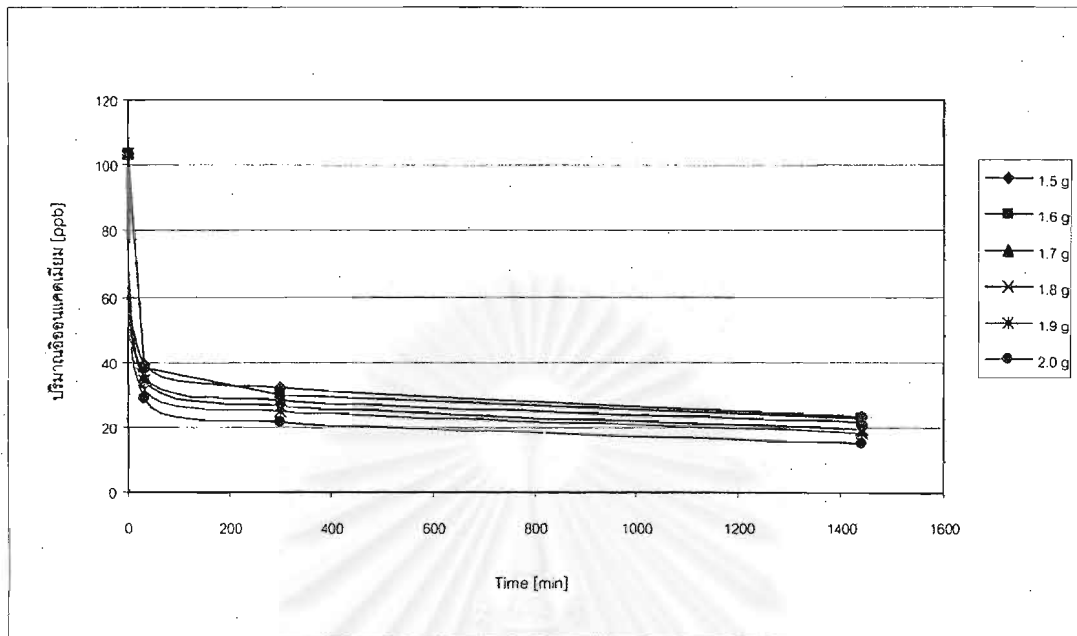
รูปที่ 4 ผลการเปลี่ยนแปลงของอออนสังกะสีในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำที่ค่าพีเอช 6.0 เมื่อเติมเกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมมาจากกุง



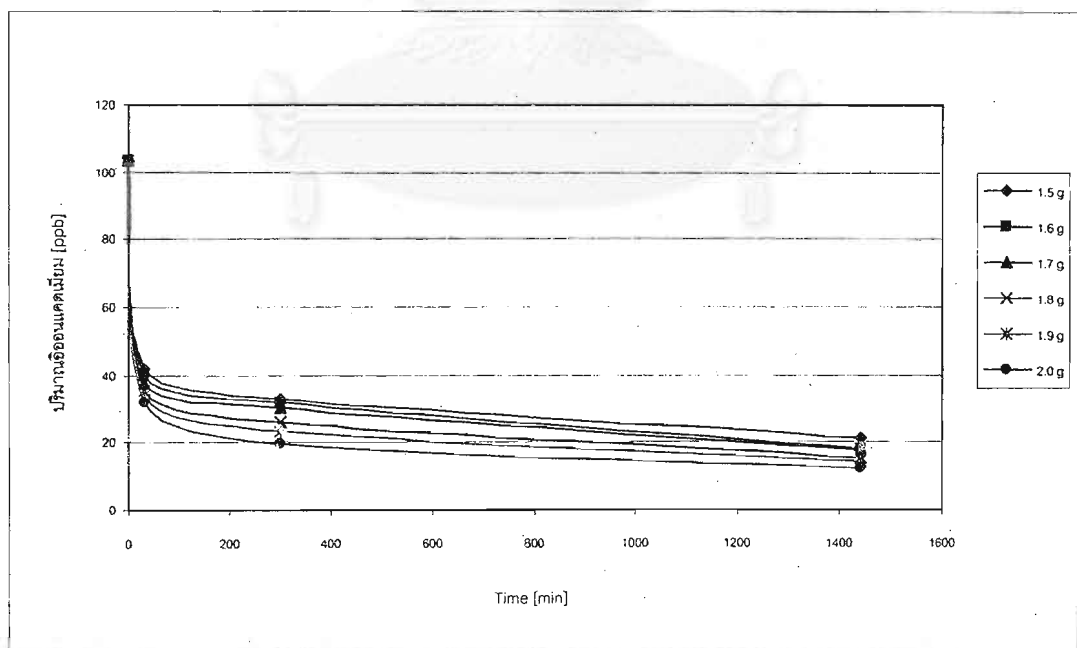
รูปที่ 5 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนสังกะสีในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำที่ค่าพีเอช 6.0 เมื่อเติมเกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมมาจากปู



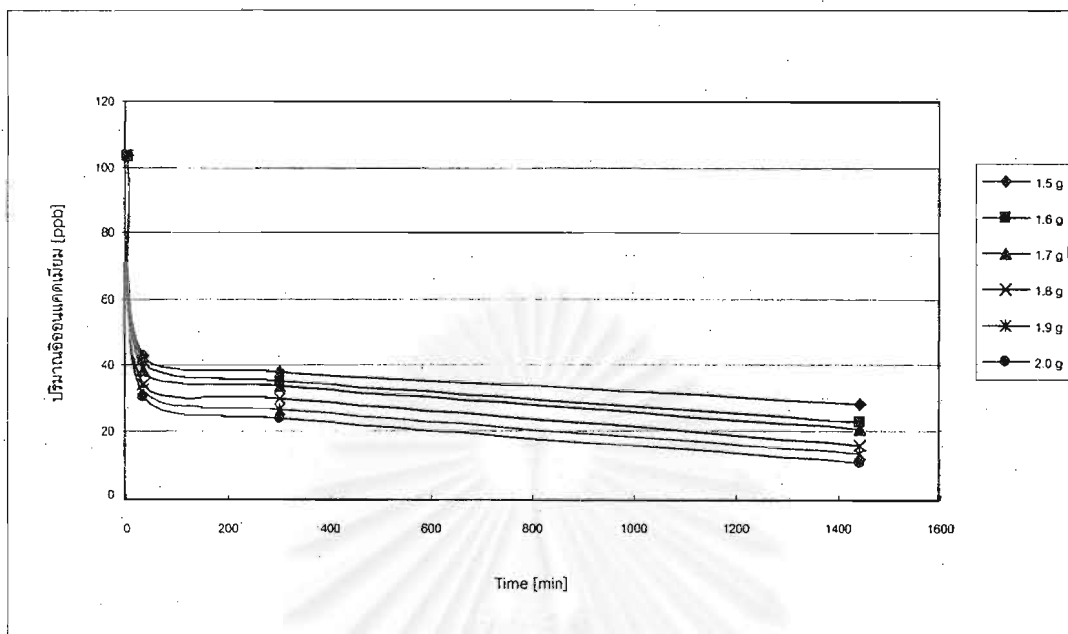
รูปที่ 6 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนสังกะสีในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำที่ค่าพีเอช 6.0 เมื่อเติมเกล็ดโคโคไธแซนที่เตรียมมาจากกุ้งผสมปู



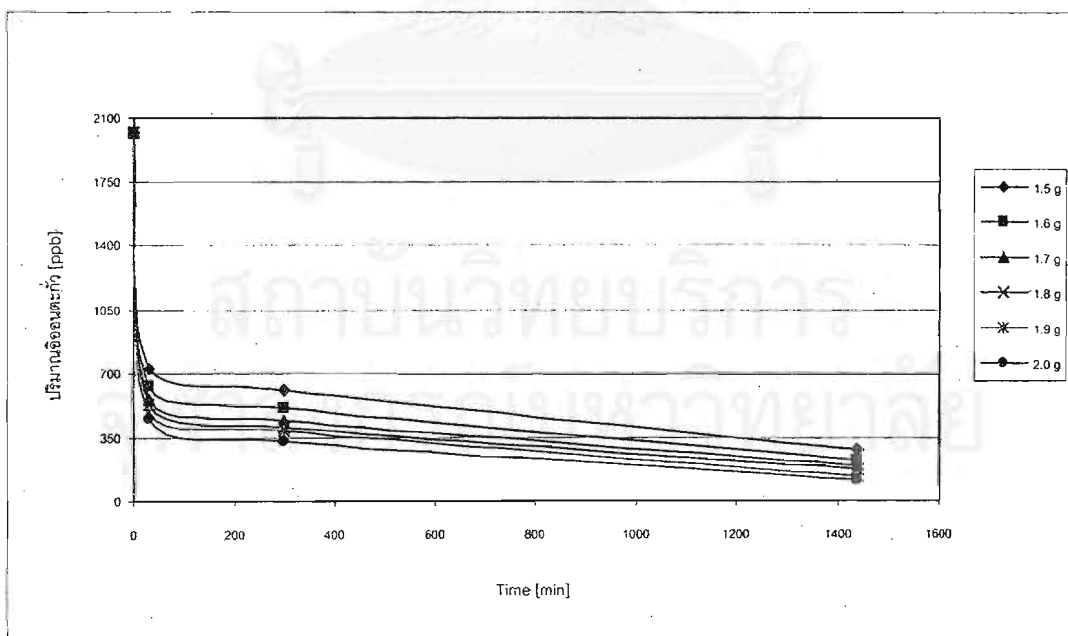
รูปที่ 7 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนแคดเมียมในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโตะแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง



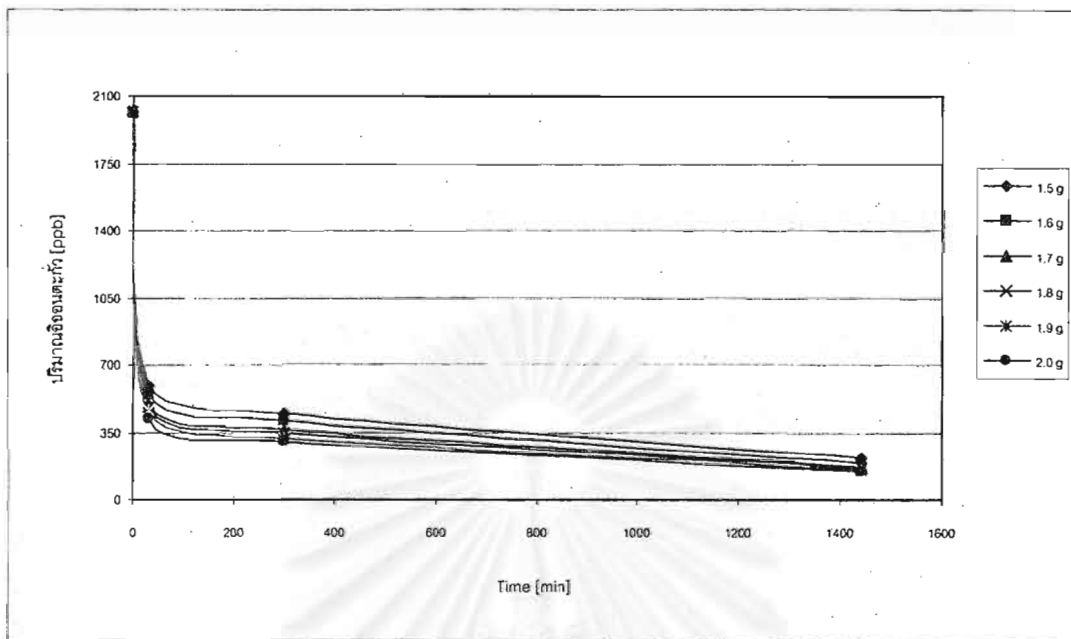
รูปที่ 8 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนแคดเมียมในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโตะแซนที่เตรียมมาจากปู



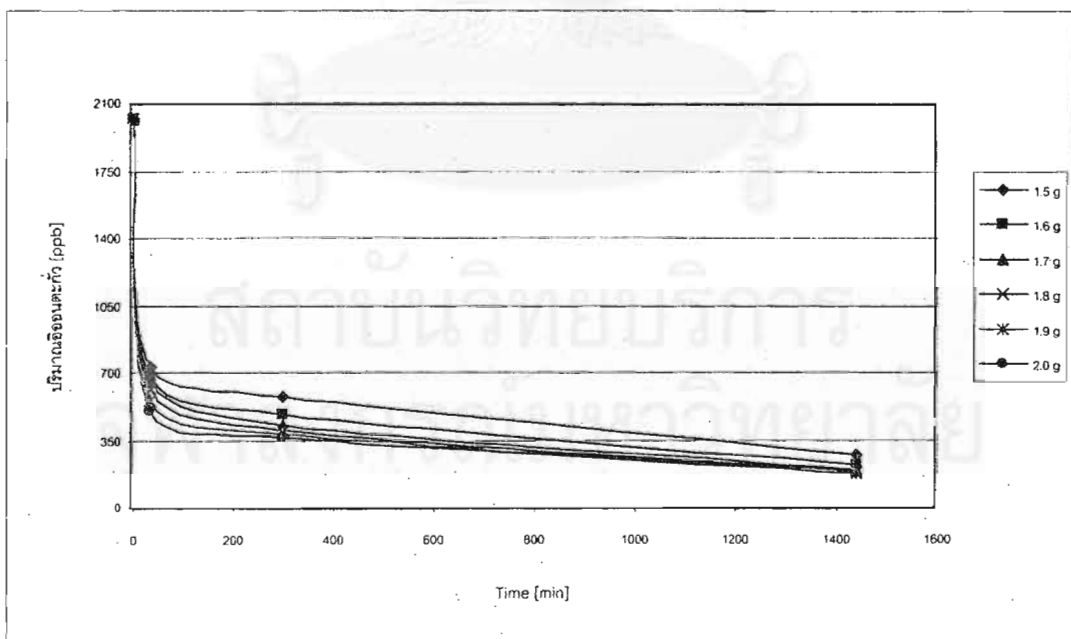
รูปที่ 9 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิลอนแคดเมียมในน้ำเสียจากศูนย์กำจัดน้ำเสียแสมดำที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโตแซนที่เตรียมมาจากกุ้งผสมปู



รูปที่ 10 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิลอนตะกั่วในน้ำเสียจากบริษัทสยามแบตเตอรี่ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโตแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง

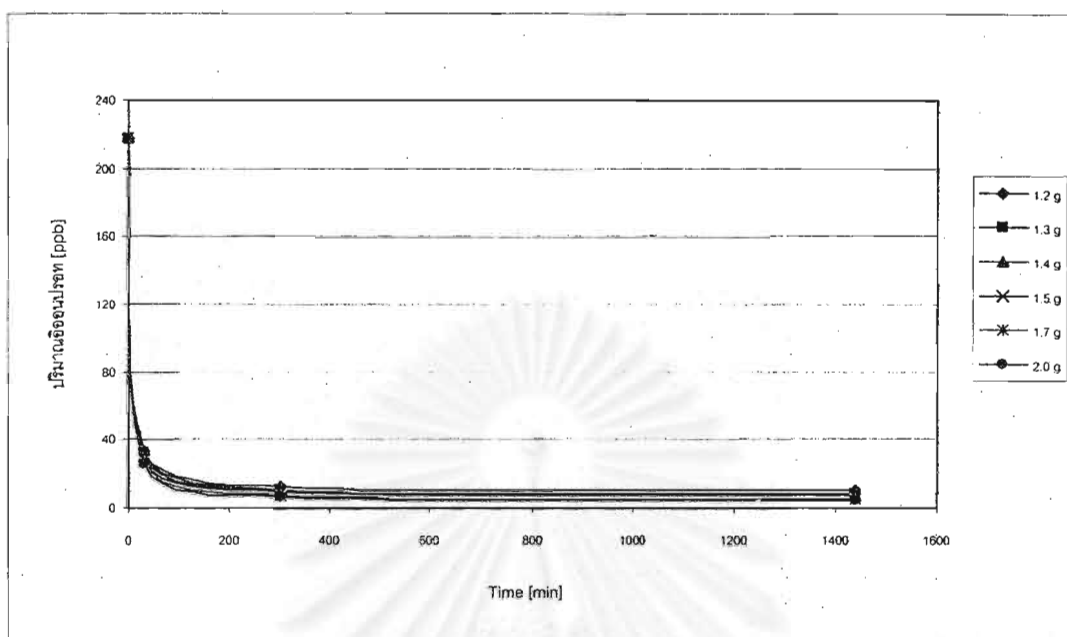


รูปที่ 11 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนตะกั่วในน้ำเสียจากบริษัทสยามแบตเตอรี่ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคแซนที่เตรียมมาจากปู

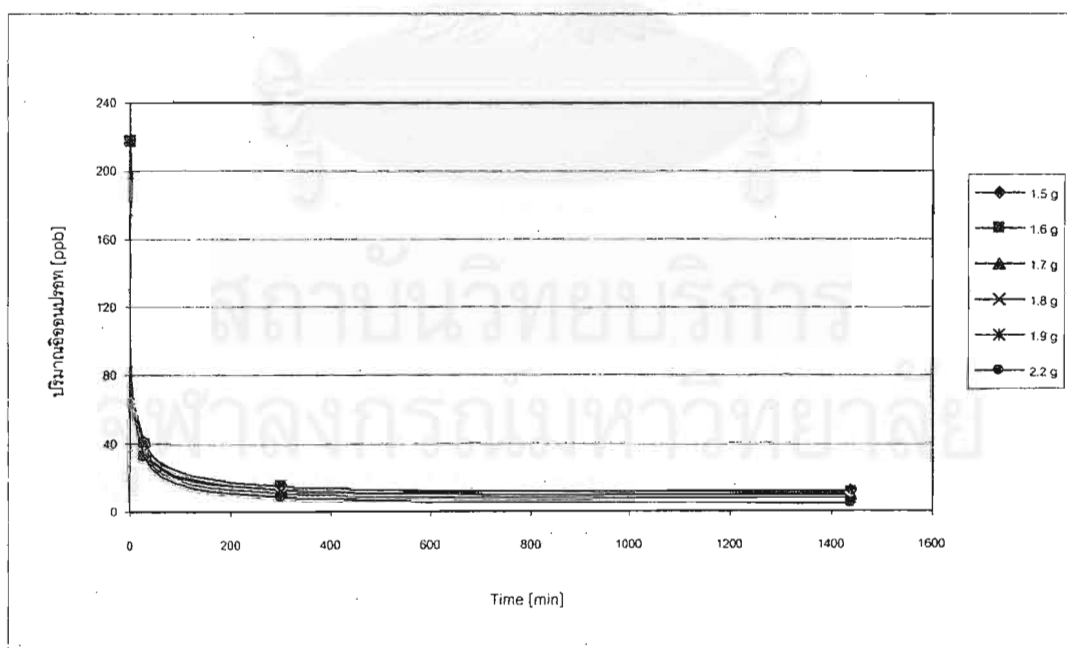


รูปที่ 12 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนตะกั่วในน้ำเสียจากบริษัทสยามแบตเตอรี่ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคแซนที่เตรียมมาจากกุ้งผสมปู

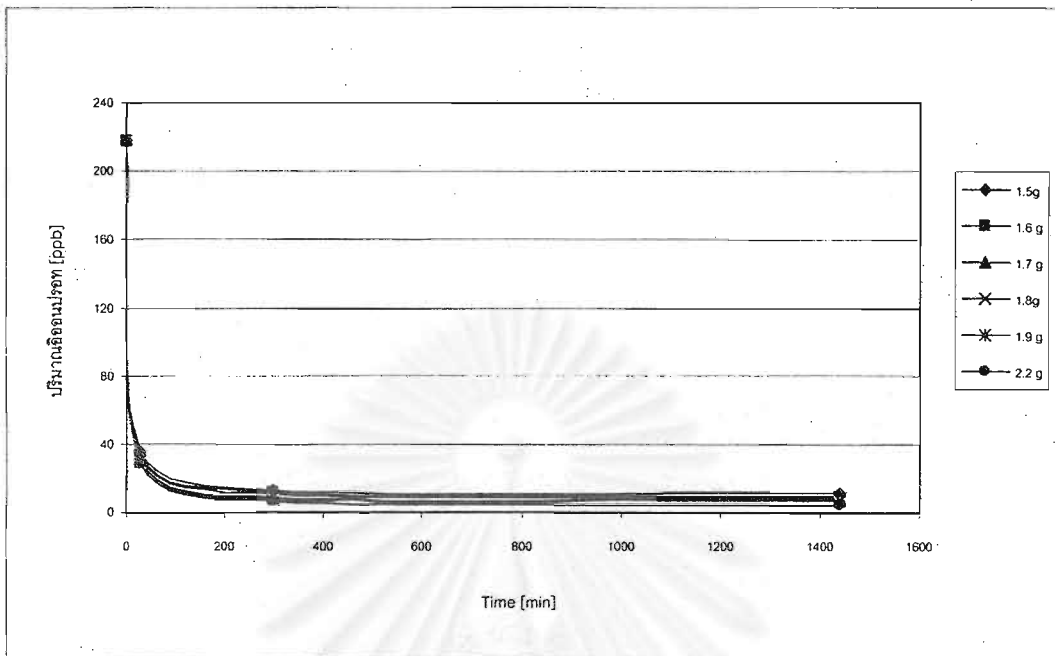




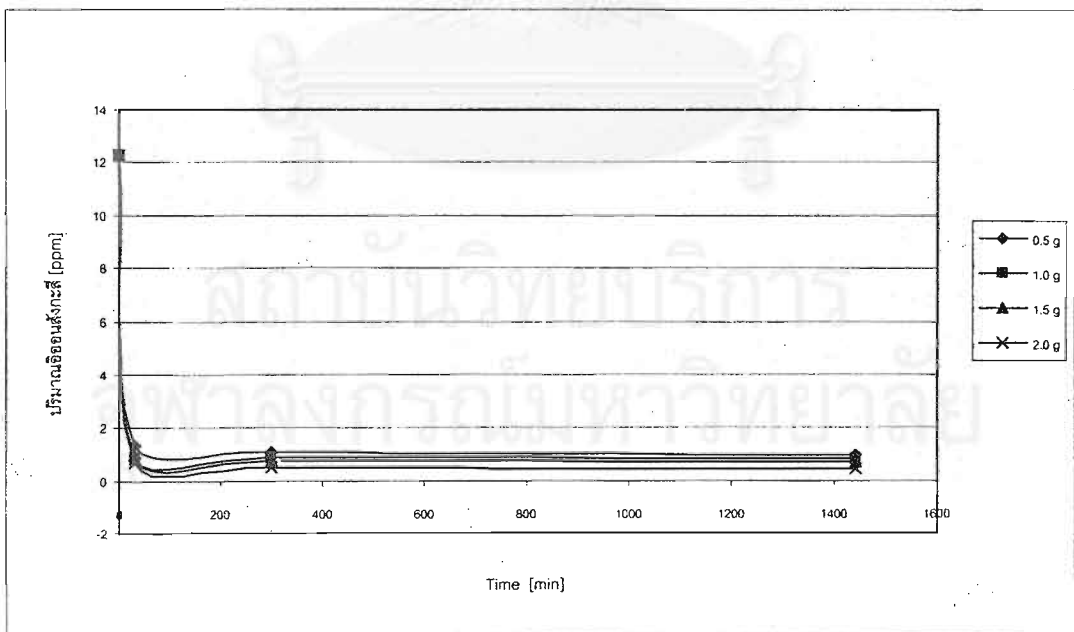
รูปที่ 13 ผลการเปลี่ยนแปลงของอออนปรอทในน้ำเสียจากบริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์ที่ค่าพีเอช 5.0 เมื่อเติมเกล็ดโคโคแทนที่เตรียมมาจากกุ้ง



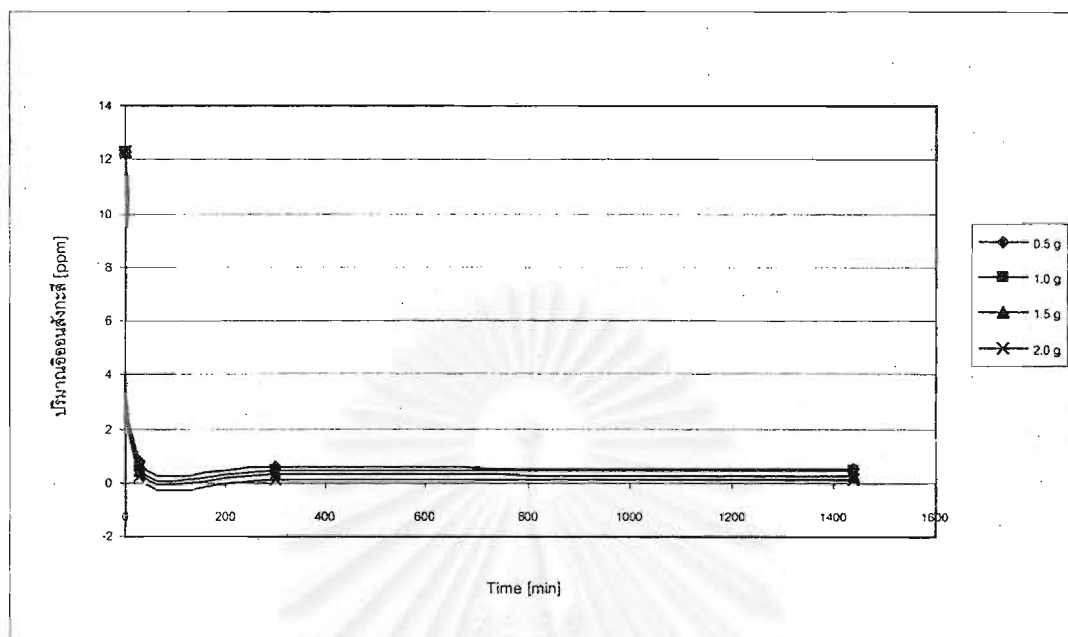
รูปที่ 14 ผลการเปลี่ยนแปลงของอออนปรอทในน้ำเสียจากบริษัทไทยอาซาฮีเคมีภัณฑ์ที่ค่าพีเอช 5.0 เมื่อเติมเกล็ดโคโคแทนที่เตรียมมาจากปู



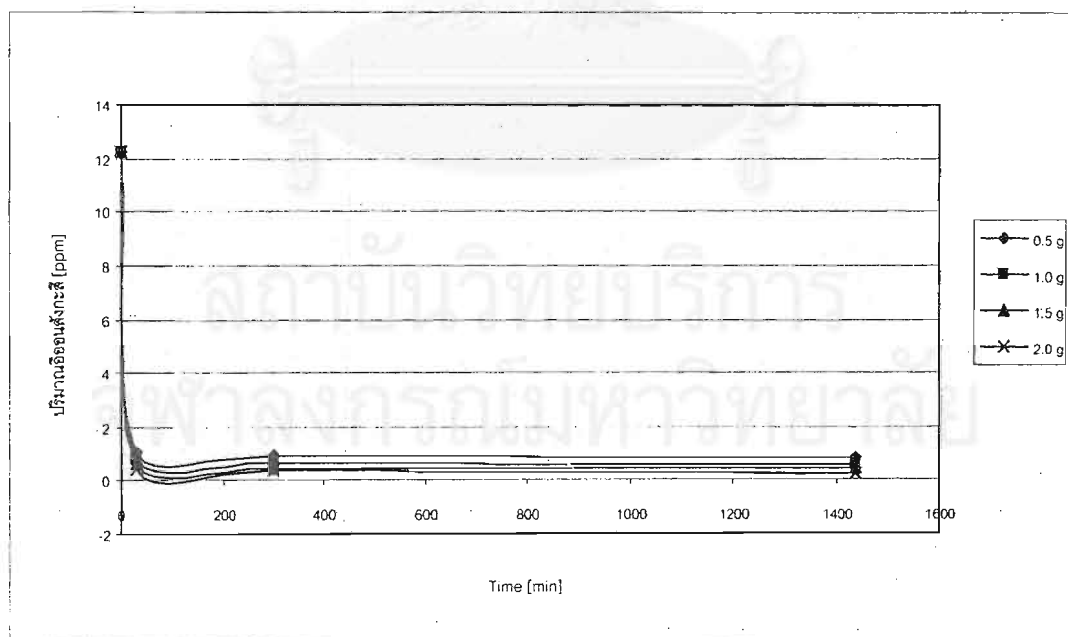
รูปที่ 15 ผลการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์เอในน้ำเสี้ยวจากบริษัทไทยอาชาฮีเคมีภัณฑ์ที่ค่าพีเอช 5.0 เมื่อเติมเกล็ดโคโคแทนที่เตรียมมาจากกุ้งผสมปู



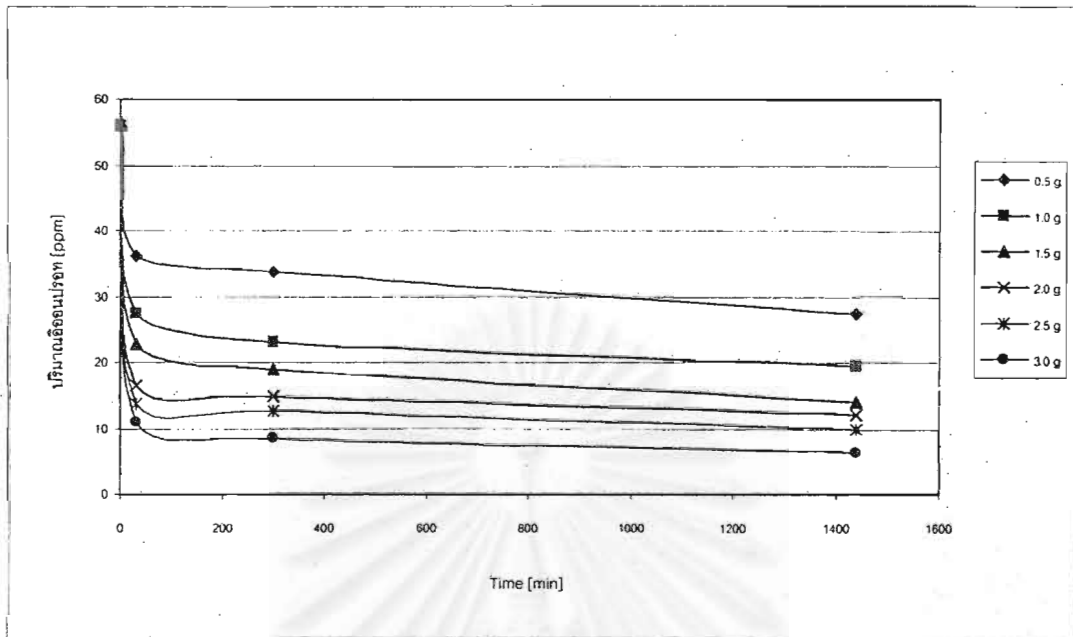
รูปที่ 16 ผลการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์บีในน้ำเสี้ยวจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคแทนที่เตรียมมาจากกุ้ง



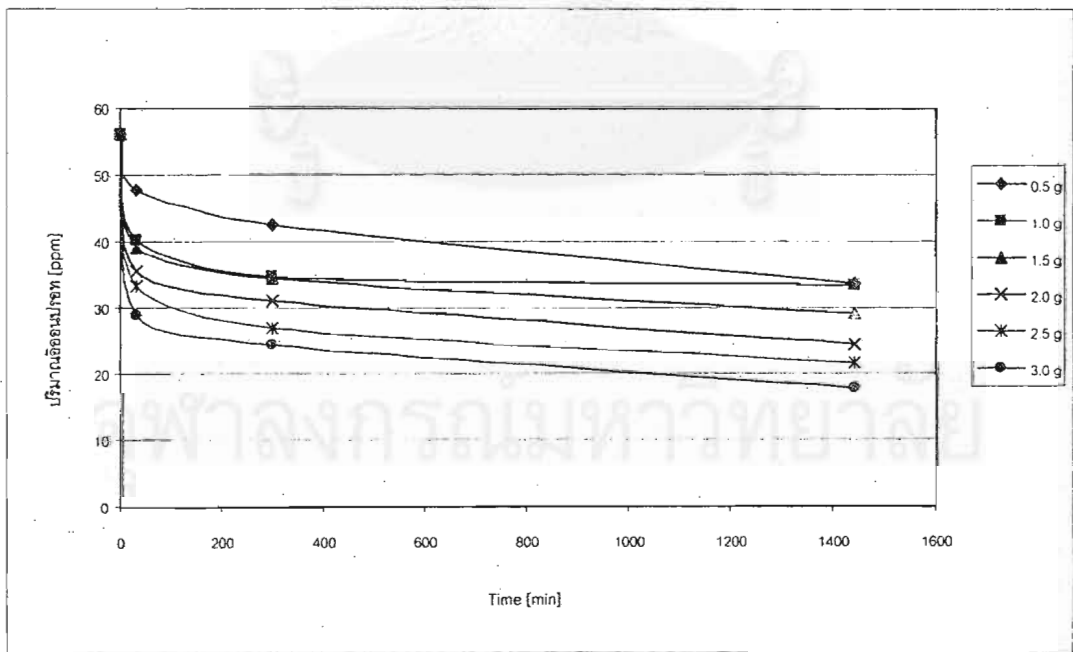
รูปที่ 17 ผลการเปลี่ยนแปลงของอออนสังกะสีในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคเตแซนที่เตรียมมาจากปู



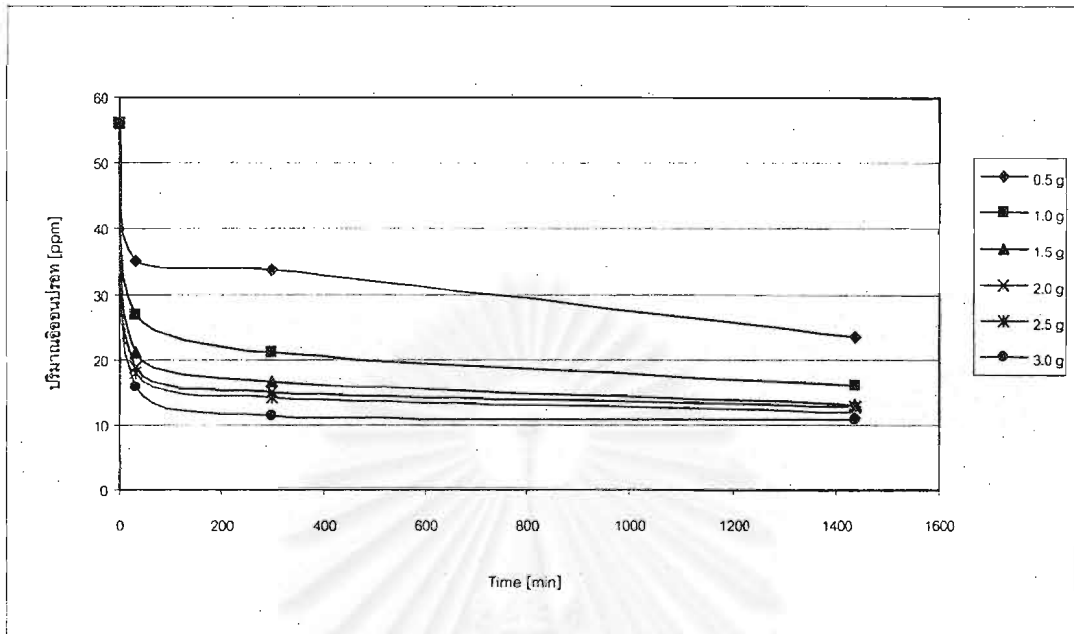
รูปที่ 18 ผลการเปลี่ยนแปลงของอออนสังกะสีในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคเตแซนที่เตรียมมาจากกุ้งผสมปู



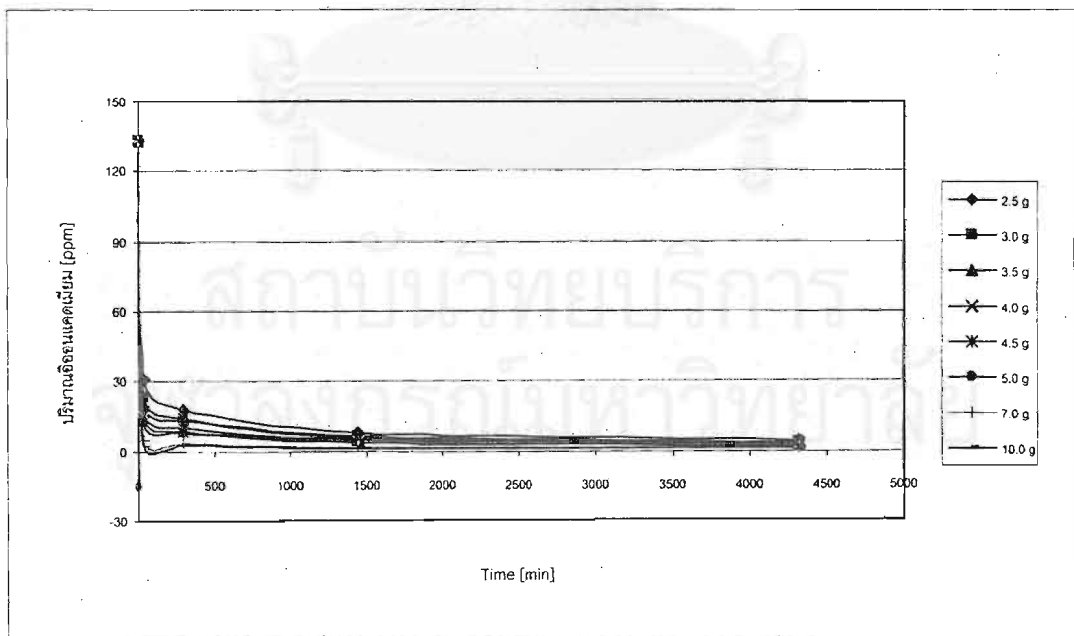
รูปที่ 19 ผลการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์เอในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคเตแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง



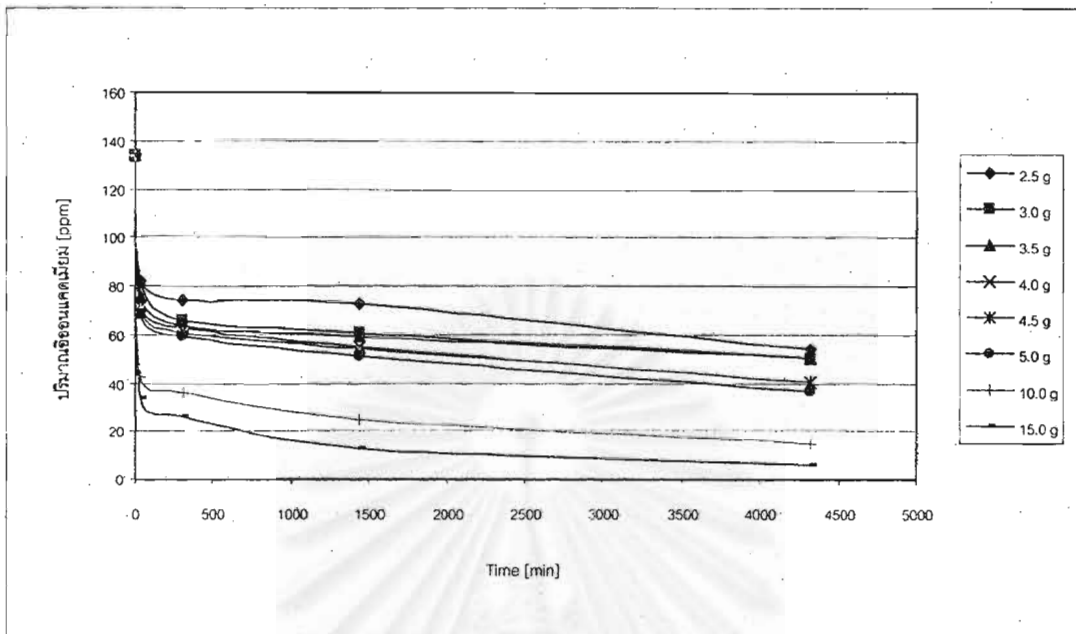
รูปที่ 20 ผลการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์เอในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคเตแซนที่เตรียมมาจากปู



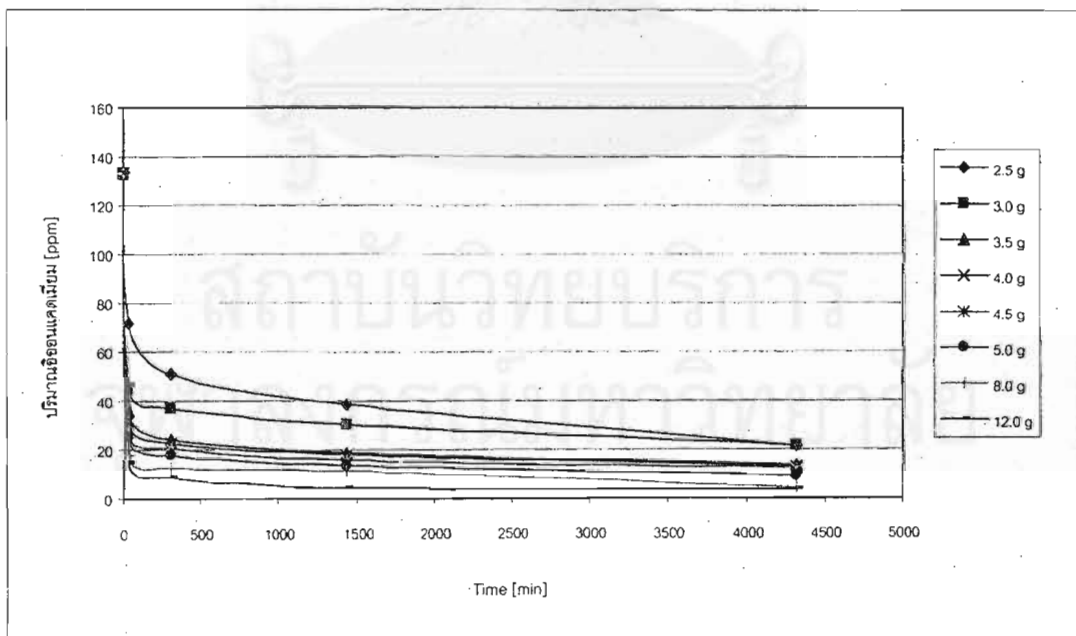
รูปที่ 21 ผลการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์เอในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคไดเตนที่เตรียมมาจากกุ้งผสมปุ๋ย



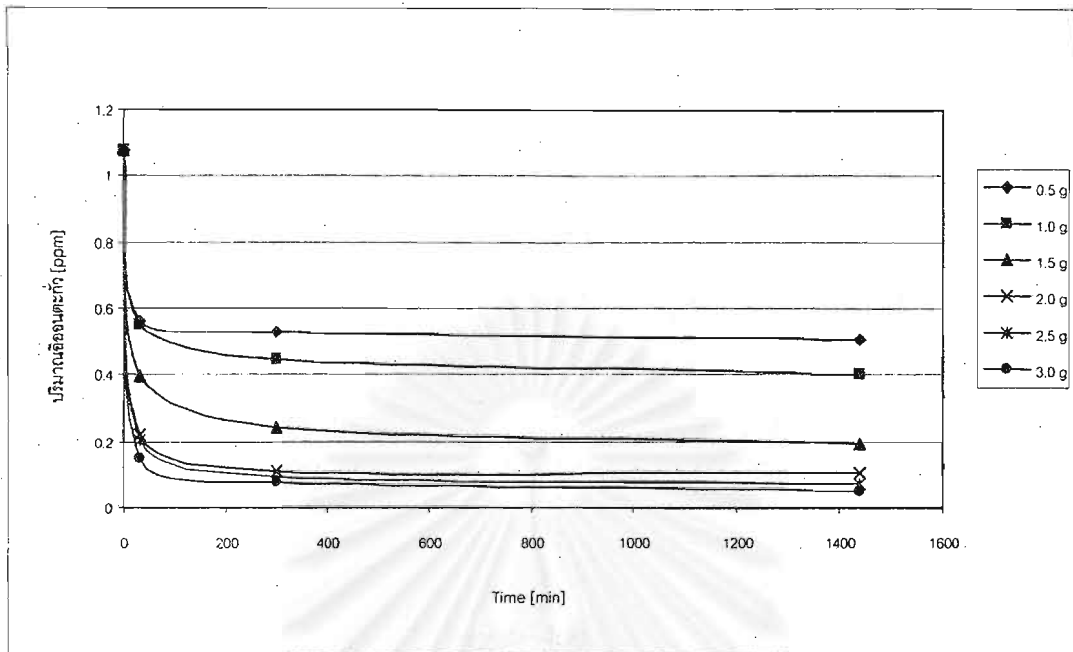
รูปที่ 22 ผลการเปลี่ยนแปลงของคลอโรฟิลล์เอในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 7.0 เมื่อเติมเกล็ดโคไดเตนที่เตรียมมาจากกุ้ง



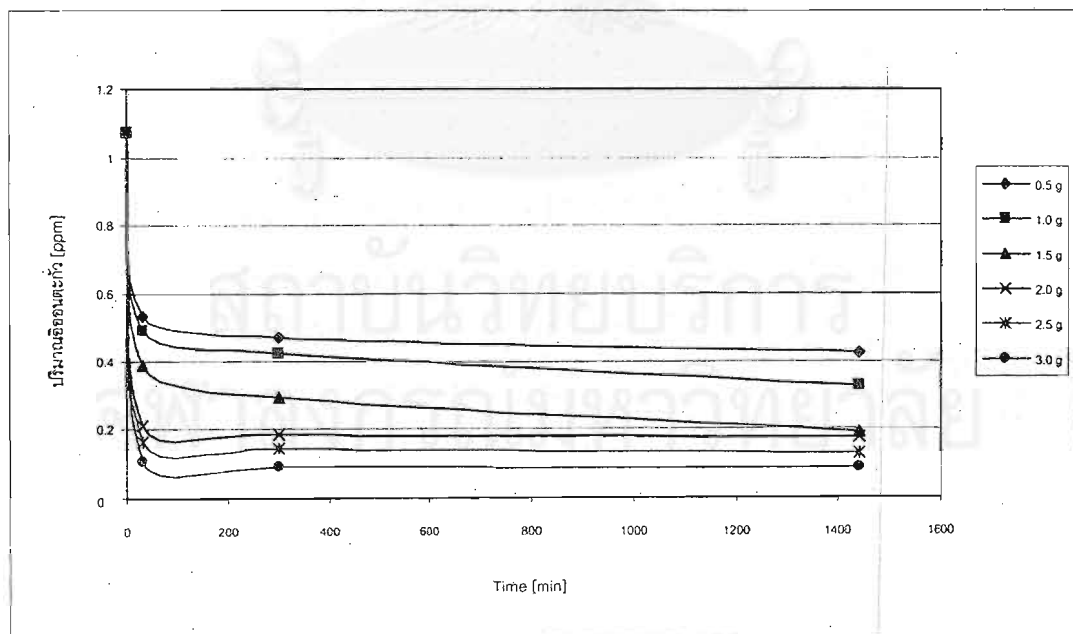
รูปที่ 23 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนแคดเมียมในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 7.0 เมื่อเติมเกล็ดโคโคธเซนที่เตรียมมาจากปู



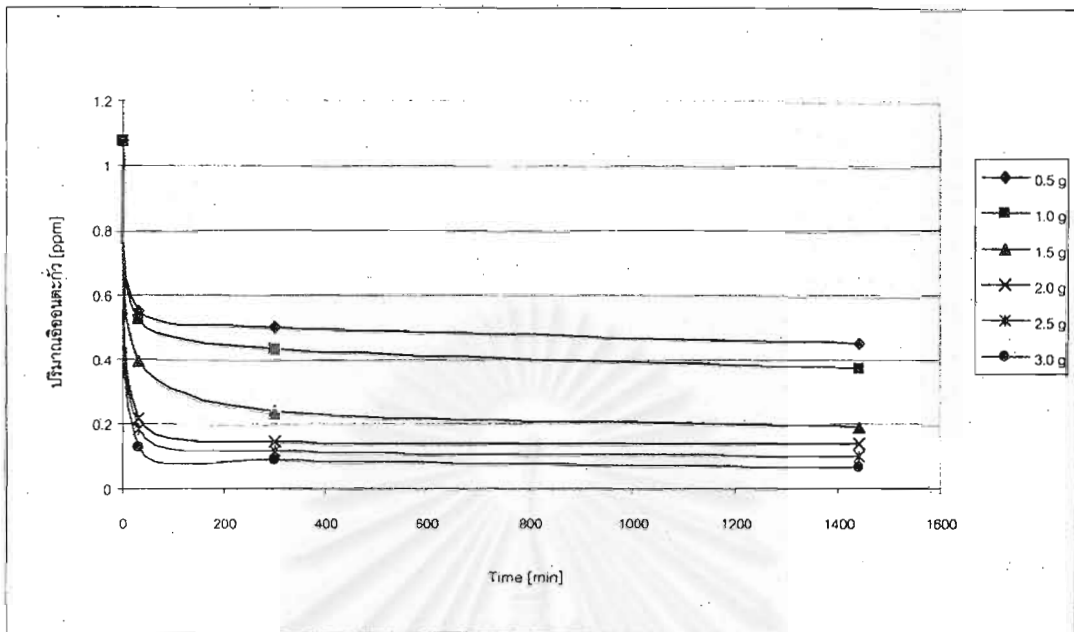
รูปที่ 24 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนแคดเมียมในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 7.0 เมื่อเติมเกล็ดโคโคธเซนที่เตรียมมาจากกั้วผสมปู



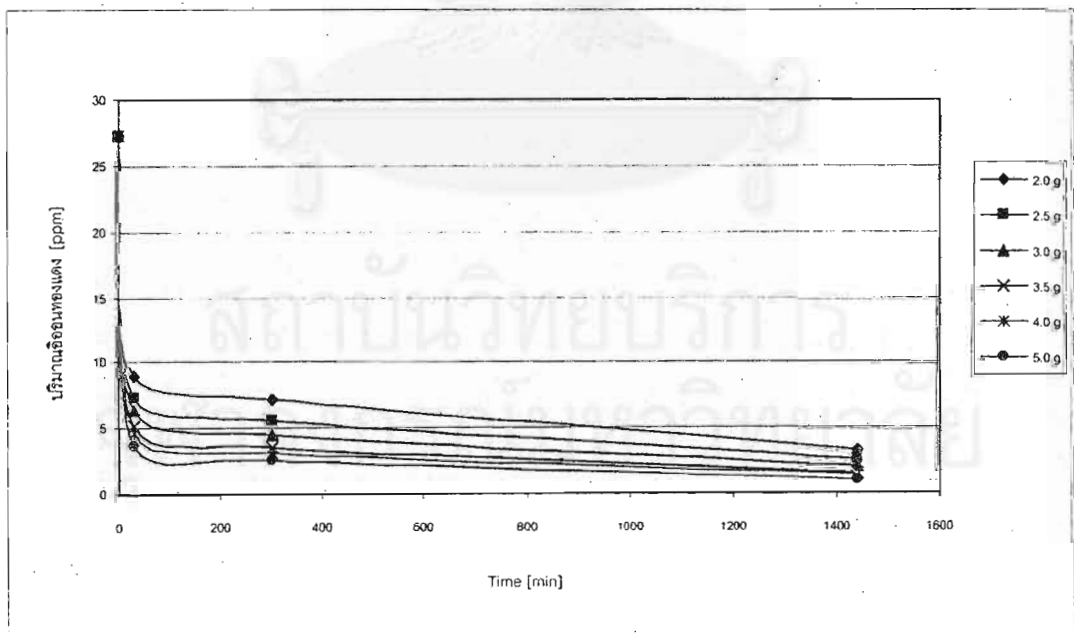
รูปที่ 25 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนตะกั่วในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคเตนที่เตรียมมาจากกุ้ง



รูปที่ 26 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนตะกั่วในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคเตนที่เตรียมมาจากปู

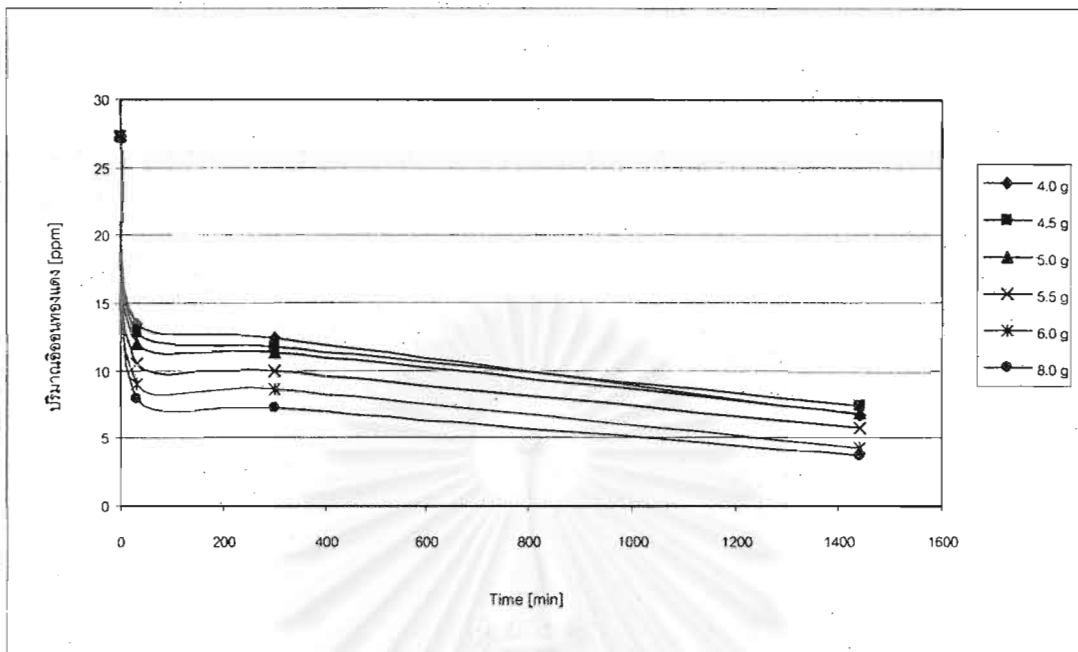


รูปที่ 27 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนตะกั่วในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 1 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคแซนที่เตรียมมาจากกุ้งผสมปุ๋ย

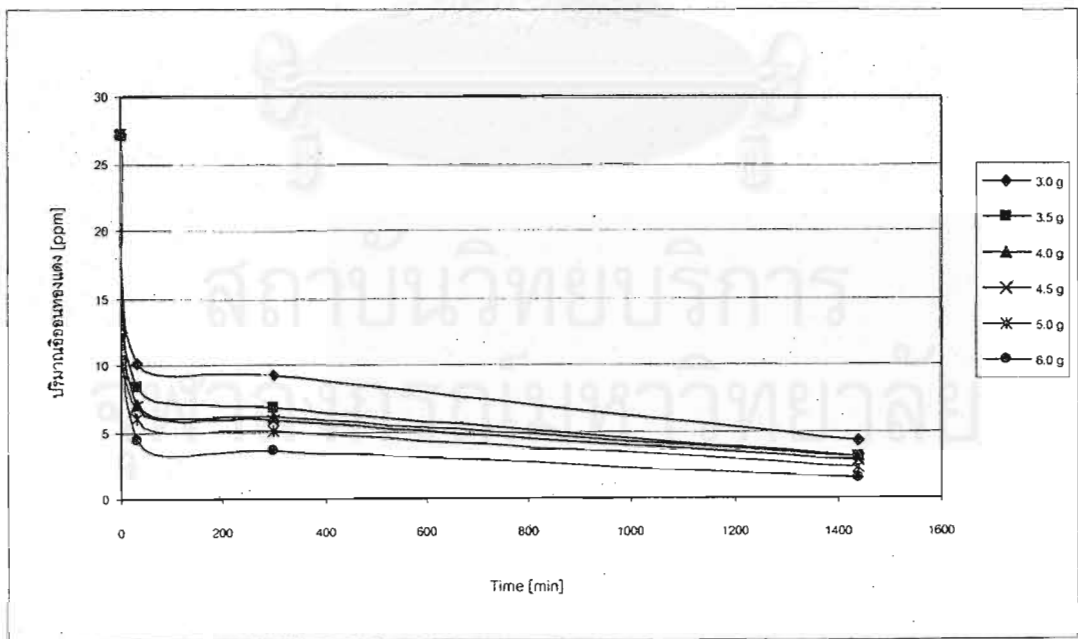


รูปที่ 28 ผลการเปลี่ยนแปลงของอิออนทองแดงในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคแซนที่เตรียมมาจากกุ้ง





รูปที่ 29 ผลการเปลี่ยนแปลงของอินทอทองแดงในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคเชนที่เตรียมมาจากปู



รูปที่ 30 ผลการเปลี่ยนแปลงของอินทอทองแดงในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี 2 ที่ค่าพีเอช 5.5 เมื่อเติมเกล็ดโคโคเชนที่เตรียมมาจากกุ้งผสมปู